東北大学

電気通信研究所

研究活動報告

第25号（2018年度）

Annual Report 2018

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University



目　　次

【本編】

第１章　はじめに…… 1

第２章　組織・運営

１．組織図…… 3
２．運営協議会委員名簿…… 4
３．共同研究組織…… 5
４．教育組織…… 6

第３章　研究活動

１．情報デバイス研究部門の目標と成果…… 7
(1) ナノフォトエレクトロニクス研究室…… 8
(2) 固体電子工学研究室…… 10
(3) 誘電ナノデバイス研究室…… 12
(4) 物性機能設計研究室…… 14
(5) スピントロニクス研究室…… 16
(6) ナノ集積デバイス・プロセス研究室…… 18
(7) 量子デバイス研究室…… 20
２．ブロードバンド工学研究部門の目標と成果…… 22
(1) 超高速光通信研究室…… 24
(2) 応用量子光学研究室…… 26
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室…… 28
(4) 情報ストレージシステム研究室…… 30
(5) 超ブロードバンド信号処理研究室…… 32
(6) 量子光情報工学研究室…… 34
３．人間情報システム研究部門の目標と成果…… 36
(1) 生体電磁情報研究室…… 39
(2) 先端音情報システム研究室…… 41
(3) 高次視覚情報システム研究室…… 43
(4) 情報コンテンツ研究室…… 45
(5) 実世界コンピューティング研究室…… 47
(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室…… 49
(7) 多感覚情報統合認知システム研究室…… 51
４．システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果…… 53
(1) ソフトウェア構成研究室…… 55
(2) コンピューティング情報理論研究室…… 57
(3) コミュニケーションネットワーク研究室…… 59
(4) 環境調和型セキュア情報システム研究室…… 61
(5) ソフトコンピューティング集積システム研究室…… 63
(6) 新概念 VLSI システム研究室 …… 65

５．ナノ・スピン実験施設…… 67
６．ブレインウェア研究開発施設…… 71
（1）認識・学習システム研究室…… 73
７．21 世紀情報通信研究開発センター …… 75
（1）産学官研究開発部　ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト …… 78
（2）学術連携研究部　情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト…… 80
（3）萌芽研究部　ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発…… 82
（4）萌芽研究部　安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発…… 84
８．安全衛生管理室…… 86
９．やわらかい情報システムセンター…… 88
10．研究基盤技術センター…… 90
11．機動的研究グループ…… 92

第４章　共同プロジェクト研究

１．共同プロジェクト研究の理念と概要…… 95
Ｈ２８／Ａ０１　ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用 …… 100
Ｈ２８／Ａ０２　フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた電力増幅器高効率化の研究…… 103
Ｈ２８／Ａ０３　Si-Ge 系ナノ構造制御による室温エレクトロルミネッセンス…… 106
Ｈ２８／Ａ０４　超伝導検出器と読出回路の高性能化に関する研究 …… 109
Ｈ２８／Ａ０５　半導体中の局在電子分極における局所電場効果に関する研究 …… 112
Ｈ２８／Ａ０６　キラルナノ導波路に結合される量子エミッター …… 114
Ｈ２８／Ａ０８　ブレインウェアのアーキテクチャの研究 …… 117
Ｈ２８／Ａ０９　知的創造活動支援のためのお菓子提示デバイスの効果研究 …… 120
Ｈ２８／Ａ１０　人工知能技術を利用した音源分離システムの構築 …… 123
Ｈ２８／Ａ１１　音声の感性情報から人間の認知・行動を制御する通信システムの研究 …… 126
Ｈ２８／Ａ１３　視覚モデル構築のための協調的環境実現に関する研究 …… 128
Ｈ２８／Ａ１４　Dissipative Infrastructure の設計と国際展開 …… 131
Ｈ２８／Ａ１５　Japan-USA International Collaborative Research on Graphene-Based Atomically-Thin 2D Heterostructures and their Terahertz Applications …… 134
Ｈ２８／Ａ１６　スピン軌道相互作用の電気的制御による磁化・スピンダイナミクス操作に関する研究 …… 137
Ｈ２８／Ａ１７　逆磁歪効果を利用したアモルファス磁歪薄膜の磁気異方性誘導技術とその応用に関する研究 …… 140
Ｈ２８／Ａ２３　多数生体信号の分析により異常の予測と検索 …… 143
Ｈ２８／Ａ２４　次世代 IoT プラットフォームを支える知的ネットワークセキュリティ技術 …… 146
Ｈ２９／Ａ０２　低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発 …… 149
Ｈ２９／Ａ０３　走査型非線形誘電率顕微法による層構造誘電デバイスの構造評価 …… 152
Ｈ２９／Ａ０４　超高感度核スピン計測で探るスピントロニクス材料のナノ物性 …… 153
Ｈ２９／Ａ０５　原子層物質を用いた高性能光電子集積デバイスの開発 …… 155
Ｈ２９／Ａ０７　単結晶グラフェンのデバイス化の研究 …… 158
Ｈ２９／Ａ０８　新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究…… 160
Ｈ２９／Ａ０９　各種 high-k/Ge 構造において成膜後プロセスがもたらす効果の検討 …… 163
Ｈ２９／Ａ１０　Development of graphene based devices for terahertz applications …… 166
Ｈ２９／Ａ１１　Theoretical study of nonequilibrium dynamics of electrons and plasmons

in two-dimensional electron systems…… 169
Ｈ２９／Ａ１２　QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究 …… 171
Ｈ２９／Ａ１３　ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究 …… 174
Ｈ２９／Ａ１４　深層学習を用いた３次元動作解析、生成の研究、および HCI への応用 …… 177
Ｈ２９／Ａ１５　集団脳波に基づく視聴覚コンテンツ評価に関する研究 …… 179
Ｈ２９／Ａ１６　色名に関する文化差および個人差の研究 …… 182
Ｈ２９／Ａ１７　半導体微細加工と脂質二分子膜の機能融合に基づく高感度・高精度イオンチャネルセンシングの創成 …… 185
Ｈ２９／Ａ１８　屋外拡声システム開発のための音声了解度評価とその推定に関する研究 …… 188
Ｈ２９／Ａ１９　協調作業における視線情報の可視化 …… 191
Ｈ２９／Ａ２０　包囲型スピーカアレイと音空間レンダリングによるオブジェクトベースオーディオの試み …… 193
Ｈ２９／Ａ２１　非線形系・複雑系理論の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究 … 196
Ｈ２９／Ａ２２　多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究 …… 199
Ｈ２９／Ａ２３　Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiences …… 201
Ｈ２９／Ａ２４　Mind and environment interface：Human attention in the brain …… 204
Ｈ２９／Ａ２５　The effect of attention on the integration of image components in the human visual system …… 207
Ｈ２９／Ａ２６　Social communication：behavioral and brain representations …… 209
Ｈ２９／Ａ２７　人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤 …… 211
Ｈ２９／Ａ２８　耳介の３次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究 …… 214
Ｈ２９／Ａ２９　新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究 …… 217
Ｈ２９／Ａ３０　実世界に展開するソーシャルネットワーキングサービスの研究 …… 220
Ｈ２９／Ａ３２　圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術 …… 223
Ｈ２９／Ａ３３　酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発研究 …… 226
Ｈ２９／Ａ３４　大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明 …… 228
Ｈ２９／Ａ３５　ミニマルブレインの理解と再構築 …… 231
Ｈ２９／Ａ３６　Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic…… 234
Ｈ３０／Ａ０１　オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究 …… 237
Ｈ３０／Ａ０２　気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成 …… 240
Ｈ３０／Ａ０３　薄膜型量子デバイスに関する研究 …… 243
Ｈ３０／Ａ０４　Japan-Russia International collaborative research on gated GaAs structures with an array of self-assembled Sn-nanothreads and their terahertz applications…… 245
Ｈ３０／Ａ０５　高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用 …… 248
Ｈ３０／Ａ０６　汎用型量子系制御技術に関する研究 …… 251
Ｈ３０／Ａ０７　光－スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究 …… 253
Ｈ３０／Ａ０８　カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御 …… 255
Ｈ３０／Ａ０９　量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究 …… 258
Ｈ３０／Ａ０１　高性能 IV 族半導体量子ナノデバイスのための低エネルギープラズマプロセスの開発 …… 260
Ｈ３０／Ａ１１　移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究 …… 263

Ｈ３０／Ａ１２　広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究 …… 266
Ｈ３０／Ａ１３　共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用 …… 269
Ｈ３０／Ａ１４　高効率非接触給電のための損失解究 …… 272
Ｈ３０／Ａ１５　選択によって感情体験を変容させる方法の研究 …… 275
Ｈ３０／Ａ１６　自己運動に伴う身体近傍空間の変容 …… 276
Ｈ３０／Ａ１７　単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究 …… 279
Ｈ３０／Ａ１８　繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電磁波環境対策に関する研究 …… 282
Ｈ３０／Ａ１９　光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究 …… 285
Ｈ３０／Ａ２０　脳型計算ハードウェア基盤とその応用 …… 288
Ｈ３０／Ａ２１　感覚情報の認知がコンテンツの臨場感・迫真性の判断に与える影響に関する検討 …… 291
Ｈ３０／Ａ２２　IoT 技術を用いた津波災害時の避難支援システムの構築…… 293
Ｈ３０／Ａ２３　実環境計測に基づく音源定位の高精度化 …… 296
Ｈ３０／Ａ２４　PVDF 薄膜を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究 …… 299
Ｈ３０／Ａ２５　話者映像が音声刺激の聞き取りおよび再生成績に及ぼす影響 …… 302
Ｈ３０／Ａ２６　IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究…… 304
Ｈ３０／Ａ２７　超高性能耐災害ネットワーク制御に関する研究 …… 307
Ｈ３０／Ａ２８　薄膜デバイスを用いた脳型集積システム …… 309
Ｈ３０／Ａ２９　IoT 用ハードウェアセキュリティの研究…… 312
Ｈ３０／Ａ３０　インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究 …… 315
Ｈ３０／Ａ３１　多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究 …… 318
Ｈ３０／Ａ３２　セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究 …… 321
Ｈ３０／Ａ３３　エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究 …… 323
Ｈ３０／Ａ３４　Ge-on-Insulator 基板上でのメタル・ソース／ドレイン型 CMOS の実現 …… 326
Ｈ３０／Ａ３５　量子デバイスとフォノン技術に関する研究 …… 329
Ｈ３０／Ａ３６　Effect of sample geometry on the damping mechanism of CoFeB magnetic thin films with perpendicular easy axis using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance spectroscopy …… 331
Ｈ３０／Ａ３７　超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究 …… 334
Ｈ３０／Ａ３８　多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究 …… 337
Ｈ３０／Ａ３９　水蒸気スペクトル検出用広帯域２GH ｚサンプルホールド回路の開発…… 340
Ｈ３０／Ａ４０　SHF 帯用平面型電磁ノイズ抑制体の機構解析および設計に関する研究 …… 343
Ｈ３０／Ａ４１　広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化 …… 346
Ｈ３０／Ａ４２　インターネットにおける新しい輻輳に基づく輻輳制御の研究開発 …… 349
Ｈ３０／Ａ４３　エージェントを用いた IoT サービスの構築と運用支援に関する研究 …… 351
Ｈ２８／Ｂ０１　電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用 …… 354
Ｈ２８／Ｂ０３　荷電現象がもたらす微粒子－流体混成系の多様性と機能性 …… 357
Ｈ２８／Ｂ０４　視覚的な物体質感の認知メカニズムに関する研究 …… 360
Ｈ２８／Ｂ０７　産業的プログラミング言語開発とプログラミング言語基盤研究の技術融合 …… 363
Ｈ２８／Ｂ０８　マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究 …… 366
Ｈ２８／Ｂ０９　HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの確立 …… 369

Ｈ２８／Ｂ１０　磁気光学効果を利用した磁界計測システム …… 372
Ｈ２８／Ｂ１１　アジアにおける HCI 研究の活性化 …… 375
Ｈ２８／Ｂ１３　化学センサを応用したマルチパラメータ測定デバイス研究 …… 378
Ｈ２８／Ｂ１４　情報の質と価値を扱う科学技術の創造 …… 380
Ｈ２９／Ｂ０２　磁性材料の微細構造の観察および制御を通じた次世代通信機器用磁気デバイスの研究 …… 383
Ｈ２９／Ｂ０３　高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムに関する研究　386
Ｈ２９／Ｂ０５　ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとその新概念情報処理応用に関する研究 …… 389
Ｈ２９／Ｂ０６　IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用 …… 392
Ｈ２９／Ｂ０７　無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術とそのシステム応用 …… 395
Ｈ２９／Ｂ０８　光波とマイクロ波をシームレスに繋ぐフルコヒーレント通信・計測システムに関する研究 …… 398
Ｈ２９／Ｂ０９　人の三次元的身体的な行動解析に基づいた空間型ユーザインタフェース …… 401
Ｈ２９／Ｂ１１　自己運動知覚を含む多感覚統合 …… 403
Ｈ２９／Ｂ１２　Search Science：an interdisciplinary endeavor …… 406
Ｈ２９／Ｂ１３　超並列計算を表現する宣言的な枠組の構築とそれを実現する言語の研究開発 …… 409
Ｈ２９／Ｂ１５　新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究 …… 412
Ｈ２９／Ｂ１６　セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究 …… 415
Ｈ２９／Ｂ１７　ブレインウェア LSI とその応用 国際共同研究 …… 418
Ｈ２９／Ｂ１８　先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究 …… 422
Ｈ２９／Ｂ１９　スマートデバイスの電磁情報セキュリティに関する研究 …… 424
Ｈ２９／Ｂ２０　産学連携による半導体技術の新たな展開と応用 …… 427
Ｈ２９／Ｂ２１　カラスの行動制御のための広域音声システムの開発 …… 429
Ｈ２９／Ｂ２３　脳型システム実現に向けた非同期ストカスティック演算の研究 …… 432
Ｈ３０／Ｂ０１　高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用 …… 434
Ｈ３０／Ｂ０２　磁性材料の機能性を活用した磁気デバイス …… 437
Ｈ３０／Ｂ０３　東北地区横断スピニクス研究 …… 440
Ｈ３０／Ｂ０４　プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成 …… 443
Ｈ３０／Ｂ０５　固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用 …… 446
Ｈ３０／Ｂ０６　光の空間モードに関する研究開発 …… 448
Ｈ３０／Ｂ０７　酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用 …… 450
Ｈ３０／Ｂ０８　集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立 …… 453
Ｈ３０／Ｂ０９　動物の心理・行動分析のためのビッグデータ収集に関する研究 …… 455
Ｈ３０／Ｂ１０　音空間知覚の理解と立体音響技術の高度化に関する研究 …… 457
Ｈ３０／Ｂ１１　Creating Smart and Informative Society for the Elderly …… 459
Ｈ３０／Ｂ１２　高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立 …… 462
Ｈ３０／Ｂ１３　高次元ニューロダイナミクスとそのニューロハードウエア構築への展開 …… 465
Ｈ３０／Ｂ１４　未来型オフィス空間とインタラクション …… 468
Ｈ３０／Ｂ１５　ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究会 …… 470
Ｈ３０／Ｂ１６　メディア技術の高機能化によるディジタルコンテンツの高付加価値化に関する研究 …… 473
Ｈ３０／Ｂ１７　非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究 …… 476

Ｈ３０／Ｂ１８　ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究 … 479
Ｈ３０／Ｂ１９　音声・音楽情報処理のための深層学習技術の高度化に関する研究 …… 482
Ｈ３０／Ｂ２０　「こころ」を生み出す脳内機構の理解 …… 484
Ｈ３０／Ｂ２１　聴覚モデルに基づく都市空間における音情報伝達性能の評価 …… 487
Ｈ２９／Ｓ１　コヒーレント波に基づく学際的先端科学技術の創成 …… 489
Ｈ２９／Ｓ２　ナノエレクトロニクスに関する連携研究 …… 492
Ｈ２９／Ｓ３　デザイン学に基づく電気通信システムの革新 …… 495
Ｈ３０／ＳＩ１　AI and Human Studies …… 498

第５章　シンポジウム・国際会議等

１．通研国際シンポジウム…… 501
(1) 磁性材料ならびに磁気デバイスに関する日韓シンポジウム…… 501
Japan-Korea International Symposium on Magnetic Devices and Materials
(2) ユニバーサル音コミュニケーション国際シンポジウム 2018 …… 502
International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018
(3) 2018 アジアワイヤレス電力伝送ワークショップ（AWPT2018） …… 503
Asian Wireless Power Transfer Workshop（AWPT2018）
(4) 第 3 回 日本ーヨーロッパ グラフェンおよび関連する 2 次原材料に関する
フラッグシップワークショップ…… 504
3rd Japan-EU Flagship Workshop on Graphene and Related 2D Materials
(5) 第 2 回 東北大学 / 国立台湾大学連携シンポジウム ー人工知能と人間科学の学際的研究ー…… 505
The 2nd Tohoku-NTU U Symposium on Interdisciplinary - AI and Human Studies -
(6) 第 14 回 知的情報ハイディングとマルチメディア信号処理に関する国際会議…… 506
The 14th International Conference on Intelligent Information Hiding and
Multimedia Signal Processing
(7) ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム…… 507
RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction
（The Third ACM SIGCHI Asian Symposium）
(8) 第 16 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ …… 508
16th RIEC International Workshop on Spintronics
(9) 第 7 回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム …… 509
The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
(10) ブレインウェア LSI に関する国際シンポジウム …… 510
The 6th RIEC International Symposium on Brainware LSI
(11) 第 10 回 ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ …… 511
The 10th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics

２．国際会議等の開催状況…… 512
(1) 第 12 回 新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ …… 512
12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

３．工学研究会…… 513
(1) 伝送工学研究会…… 514
(2) 音響工学研究会…… 518

(3) 仙台“プラズマフォーラム” …… 519
(4) EMC 仙台ゼミナール …… 519
(5) コンピュータサイエンス研究会…… 520
(6) システム制御研究会…… 520
(7) 情報バイオトロニクス研究会…… 521
(8) スピニクス研究会…… 522
(9) ニューパラダイムコンピューティング研究会…… 523
(10) 超音波エレクトロニクス研究会 …… 524
(11) ブレインウェア工学研究会 …… 531
(12) 情報・数物研究会 …… 532
(13) 生体・生命工学研究会 …… 532
(14) ナノ・スピン工学研究会 …… 533
(15) 先進的情報通信工学研究会 …… 534

４．通研講演会…… 535
(1) 木俵　豊 「ユニバーサルコミュニケーションを実現する人工知能技術 ― NICT けいはんな拠点における国研の研究― 」…… 535
(2) 礒田　陽次 「マイクロ波高効率増幅器とシグナルインテグリティ」…… 536
(3) 土井　祐仁 「ネオジム焼結磁石と開発動向」…… 536
(4) 佐野健太郎 「FPGA を用いた高性能計算の可能性とデータフロープログラミング」…… 537
(5) 藤井　啓祐 「疑似古典確率的ハミルトニアンによる断熱量子計算の量子加速」…… 537
(6) 佐藤　誠 「バーチャルリアリティとハプティックインタフェース」…… 538
(7) MITIN Vladimir 「Real Space Transfer in Graphene-Phosphorene Heterostructures」…… 539
(8) 松井加奈絵 「人間活動をサポートする IoT システム：スマートコミュニティを事例として」…… 540

第６章　通研教員が中核的役割を果たす他部局組織等

１．設立に関与した組織
(1) 省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター（CSIS） …… 541
(2) 電気通信研究機構（ROEC） …… 542
(3) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES） …… 543
(4) スピントロニクス学術連携研究教育センター（CSRN） …… 544
(5) ヨッタインフォマティクス研究センター…… 545

２．参画する事業・プログラム
(1) 博士課程教育リーディングプログラム…… 546
(2) イノベーション戦略推進本部 革新的イノベーション研究機構 …… 547
(3) スピントロニクス国際共同大学院プログラム…… 548
(4) 先端スピントロニクス研究開発センター…… 549
(5) 卓越大学院プログラム…… 550

第７章　評価と分析

運営協議会報告…… 551

【資料編】

第 1　人事 …… 587
①教員　②客員外国人教員　③客員教員　④非常勤研究員　⑤各種研究員
⑥客員外国人教員（外国人研究員）　⑦学術研究員　⑧学振特別研究員
⑨教員以外の研究員（ポスドク）の転出先　⑩支援職員

第 2　予算 …… 592
①電気通信研究所における予算の推移　②外部資金受入状況
第 3　教育 …… 594
①学部学生・大学院生　②留学生　③研究所等研究生・特別訪問研修生　④論文題目一覧（修士・博士）
第 4　研究 …… 600
①研究成果の掲載・公表状況　②トピックス一覧
③科学研究費助成事業採択一覧（平成 30 年度研究代表者）
④競争的資金状況　⑤受賞・表彰件数　⑥受賞・表彰者一覧　⑦発表論文数
第 5　共同プロジェクト研究 …… 611
①共同プロジェクト研究件数　②共同プロジェクト研究者数　③共同プロジェクト研究予算額
④共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト
第 6　国際活動 …… 618
①電気通信研究所国際シンポジウム　②本研究所教員が編集員をしている国際ジャーナル
③組織委員をつとめた最近の国際会議件数　④国際学会における招待講演数
⑤国際共同研究の実施状況　⑥国際共同研究一覧　⑦外国人研究者の招へい状況
⑧研究者の海外派遣状況　⑨国際学術交流協定一覧
第 7　社会貢献 …… 639
①東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台フォーラム参加者数　②通研一般公開参加者数
③学会名誉会員及びフェローの状況　④学会名誉会員及びフェロー一覧　⑤学会役員の状況
⑥学会役員一覧　⑦各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献
第 8　産学官連携 …… 642
①発明届出件数、特許出願数、特許登録数　②電気通信研究所における技術的相談、指導件数
第 9　広報活動と情報公開 …… 643

付　録　職員…… 645

第　1　章　　はじめに

は じ め に

「人間性豊かなコミュニケーションの実現」が、電気通信研究所のミッションです。コミュニケーションが人間社会にとって持つ意味は計り知れません。情報通信技術は、コミュニケーションのあり方を大きく変え、人間の持つ限界を超えた情報交換を実現してきました。現代におけるコミュニケーション、情報通信は、人と人から人とモノ、モノとモノとその対象を広げ、また空間的時間的限界を超え拡張し続けています。本研究所は、さらにその先にある豊かな情報社会の実現を目指し、我が国の学術と社会の繁栄に、また広く人類社会の福祉に貢献することを目的としています。

第 5 期科学技術基本計画では超スマート社会へ向けイノベーション回路をまわしていく、そのために基盤技術となるサイバーセキュリティ、IoT、ビッグデータ、AI（人工知能)、デバイスを強化することが示されています。これらは言うまでもなく、本研究所が先導するべき研究領域であり、時代の要請に貢献するためにも注力すべきテーマです。一方で、教員の自由な発想に基づく基礎研究、基盤研究は大学の欠くことのできない重要な役割です。本所の歴史を振りかえっても、西澤潤一教授の光通信の 3 要素の提案、岩崎俊一教授の垂直磁気記録など、全く新しい分野を切り開く契機となる基盤的研究がその後大きく発展したものも少なくありません。最近の話題としては、今後の ICT デバイスとして注目されている磁気抵抗メモリ（MRAM）は、大野英男教授が基礎研究から先導してきたスピントロニクス技術に基づくものです。大学、そして本研究所を取り巻く環境は時々刻々と変化していますが、大学の研究者が果たすべき役割を十分認識した上で、ミッション遂行のために資源を有効活用していくこと、またそのための環境を構築することが必要です。

本研究所の体制は、平成 16 年度(2004 年度)から情報デバイス、ブロードバンド工学、人間情報システム、システム・ソフトウェアの 4 つの研究部門と、ナノ・スピン実験施設及びブレインウェア研究開発施設の 2 つの施設、21 世紀情報通信研究開発センターの 1 センターの組織からなっています。それぞれ研究部門は長期(20 年)、施設は中期(10 年)、センターは短期(5 年)の研究期間を念頭におき研究を進めています。さらに、大学院工学研究科、情報科学研究科及び医工学研究科の本学電気情報系と密接に連携し、幅広い最先端研究分野をカバーすると共に、優れた研究者、技術者を輩出するための体制を整えています。

本研究所はまた、文部科学省から情報通信共同研究拠点として、共同利用・共同研究拠点の認定を受けています。2019 年度は第 2 期の第４年度目です。運営費交付金が減少する中、国内外の情報通信コミュニティのさらなる発展に資する役割はますます重要になります。このため、産官学の外部研究者・技術者との共同プロジェクト研究を組織的に進めています。

情報通信が不可欠の社会基盤となった今日、より高速・大容量の情報通信を省エネルギーで実現しなければなりませんし、東日本大震災の経験により、社会基盤には高い耐災害性が要求されることも改めて認識しました。さらに、最先端技術を基盤に、人と人との意思疎通の向上に貢献する、これまでとは質的に異なった高次の情報処理やコミュニケーションを実現することも期待されています。本研究所が 20 年以上にわたって研究を続けてきたブレインウェアは、近年広範囲の発展を続ける人工知能研究の中でますます重要となってきています。本研究所は、これらの社会的な要請を受けとめ、総合大学の附置研究所という強みを最大限に発揮して、時代に先駆けたコミュニケーションの新しい世界を開くと共に、それらを通じた教育を今後とも進めて参ります。

本研究活動報告は、本研究所における研究、教育、及び社会貢献にわたる諸活動を点検するとともに広く社会に公開して、研究活動等の改善と今後の発展に資することを目的に毎年発行しています。内容は、本編が各部門、附属施設などの研究活動と、共同プロジェクト研究、国際活動、社会貢献などの活動、通研シンポジウム、工学研究会活動、通研講演会などに関する活動報告です。なお、資料編には過去 5 年間の各種活動のデータを掲載しています。

本報告をご高覧いただいた皆様には、電気通信研究所の活動について忌憚のないご意見を賜りますようお願い申し上げますと共に、今後ともご指導、ご鞭撻をどうぞよろしくお願い申し上げます。

令和元年 5 月 31 日

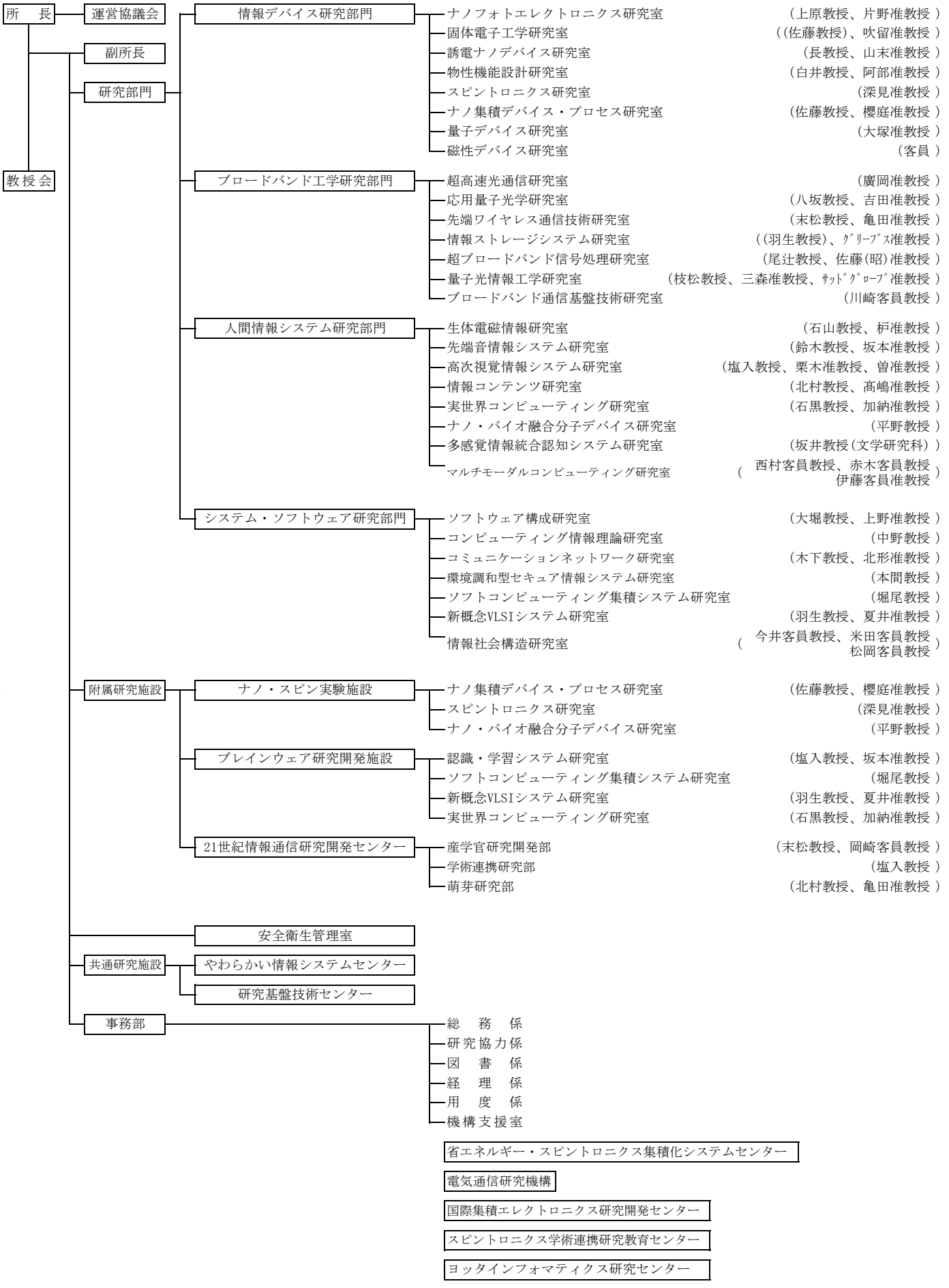
電気通信研究所 所長

塩　入　　諭

第　2　章　　組織・運営

２．１　組　織　図

31.3.31現在



２．２　運営協議会委員名簿

運営協議会は、東北大学電気通信研究所長の諮問に応じ、共同利用・共同研究拠点としての活動に関する重要事項、その他研究所長が必要と認める事項について協議する組織である。

合　原　一　幸	（委　員）	東京大学生産技術研究所 教授
赤　嶺　政　巳	（　〃　）	株式会社東芝　研究開発センター
		メディア AI ラボラトリー シニアフェロー
大　谷　義　近	（　〃　）	東京大学物性研究所　教授
小野寺　　正	（　〃　）	ＫＤＤＩ株式会社 相談役
川　合　眞　紀	（　〃　）	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
		分子科学研究所 所長
喜連川　　優	（委員長）	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構
		国立情報学研究所 所長
		東京大学生産技術研究所 教授
田　中　弘　美	（委　員）	立命館大学　副学長
富　田　二三彦	（　〃　）	国立研究開発法人 情報通信研究機構　理事
中川路　哲　男	（　〃　）	三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 所長
長　田　典　子	（　〃　）	関西学院大学理工学部 人間システム工学科 教授
中　村　祐　一	（　〃　）	日本電気株式会社　中央研究所　理事
波多野　睦　子	（　〃　）	東京工業大学工学院 教授
三　木　幸　信	（　〃　）	国立研究開発法人 産業技術総合研究所　副理事長
三　谷　公　二	（　〃　）	日本放送協会　放送技術研究所　所長
美　濃　導　彦	（　〃　）	国立研究開発法人 理化学研究所 理事
寺　田　眞　浩	（　〃　）	東北大学大学院 理学研究科長
長　坂　哲　也	（　〃　）	東北大学大学院 工学研究科長
中　尾　光　之	（　〃　）	東北大学大学院 情報科学研究科長
高　梨　弘　毅	（　〃　）	東北大学 金属材料研究所長
村　松　淳　司	（　〃　）	東北大学 多元物質科学研究所長
曽　根　秀　昭	（　〃　）	東北大学 サイバーサイエンスセンター長
伊　藤　彰　則	（　〃　）	東北大学大学院 工学研究科 教授

２．３　共同研究組織

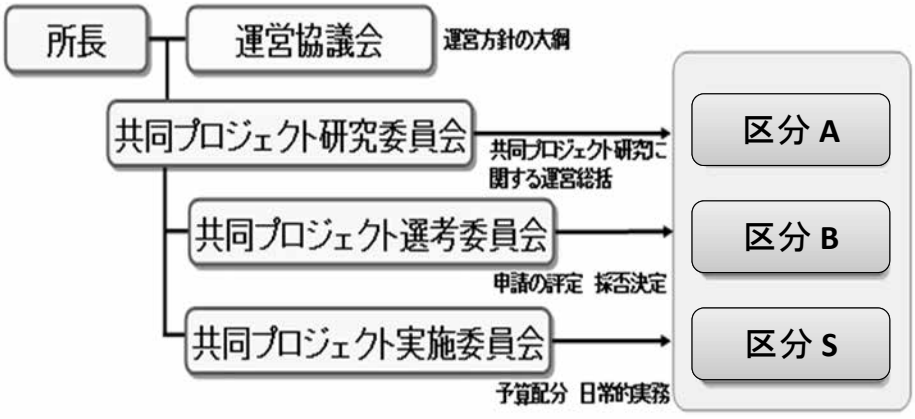
本研究所は平成 6 年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、無線通信、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成 26 年 4 月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の 2 施設として設備を充実し発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共にそれぞれの先導的研究開発を目指すことになった。また平成 14 年には、産学連携による新情報通信産業の創生を目指した「附属二十一世紀情報通信研究開発センター」が設置された。その後本研究所は平成 22 年に共同利用・共同研究拠点に認定された。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により、情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として、本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて、全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携をとりながら、本研究所を中核とする総合的な共同プロジェクト研究を、共同利用・共同研究拠点の活動の一環として行っている。

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるためにユーザーの要望など所内外から広く意見を頂き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同プロジェクト研究委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部研究協力係」より全国の国公私立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、平成 19 年度に外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会を設置した。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト研究委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

運営協議会は、本研究所の「共同プロジェクト研究」に関する運営の大綱について所長の諮問に応じて審議する。

平成22年度以降の体制



２．４　教育組織

東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学科が順次設立されるとともに、これらの電気・情報系 4 学科との「一体運営」の協力関係が維持構築された。

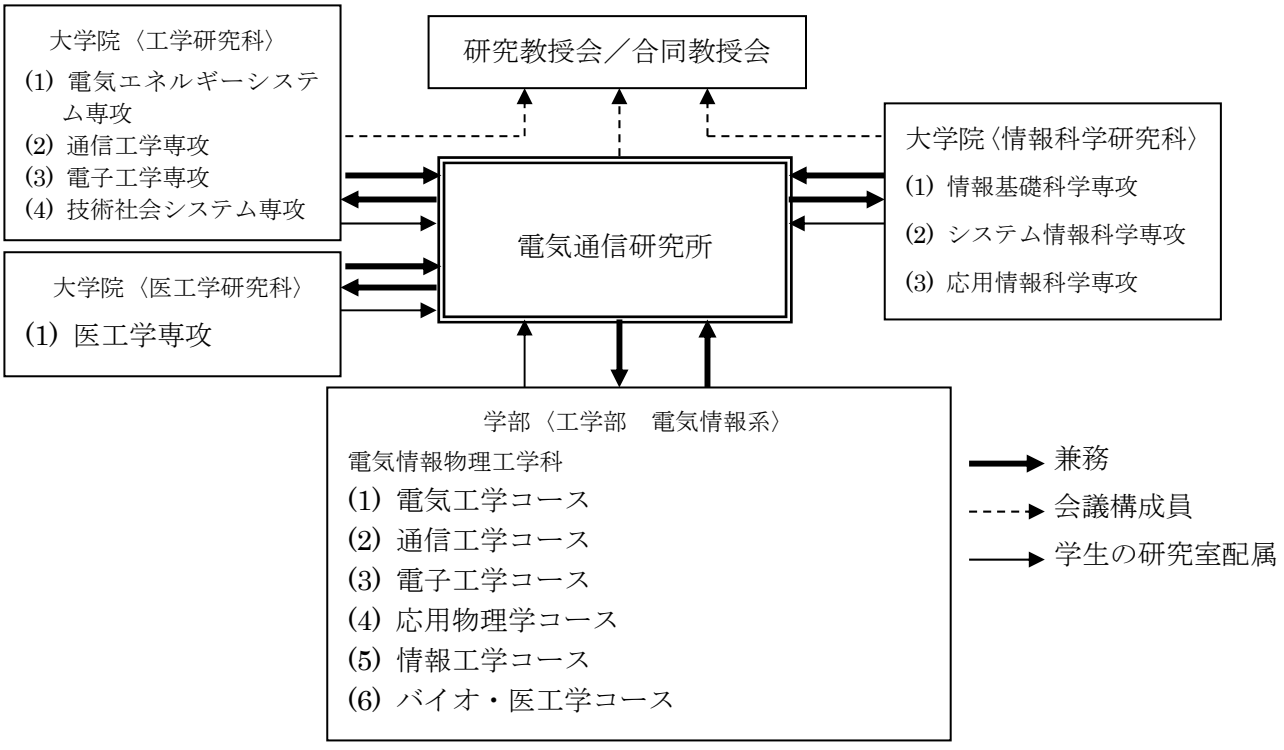
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。2012 年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015 年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2018 年度には通研の 25 研究室のうち 2 研究室が大学院工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、5 研究室が同研究科通信工学専攻に、10 研究室が同研究科電子工学専攻に、1 研究室が大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 研究室が同研究科システム情報科学専攻に、1 研究室が同研究科応用情報科学専攻に、1 研究室が同研究科人間社会情報科学専攻に、さらに 3 研究室は大学院医工学研究科医工学専攻にもそれぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は 164 名、学部生は 57 名となっている。

通研と電気・情報系学科の関係で特徴的な点は、全教員が兼務として互いに協力し合っていることである。通研の教授・准教授は全員、学部学生に対する講義を担当し、助教は実験を指導して教育に協力している。一方、電気・情報系の教員も通研兼務であり、大学院学生だけでなく学部学生も通研の各研究室に配属されている。これにより学生にとっても研究室選択の幅が広がり、世界最先端の研究指導が受けられるようになっている。一方、通研にとっても若い行動力は重要であり、研究活動が活性化される。通研が電気通信の分野で多くの成果をあげてきた理由には、このような教育面での協力関係に因るところが大きい。

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会ならびに准教授・講師も含む合同教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。教育上の具体的な事項の実行、運用に関しては、大学院に工学研究科電通・電子専攻教員会議、電気・情報系 7 コースに大学院教務委員会があり、通研からも委員が参加している。

通研は工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり、研究のみならず教育でも COE、卓越した大学院拠点等重要な一翼を担っている。



第　3　章　　研究活動

３．１　情報デバイス研究部門の目標と成果

本部門は「物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成」という大きな目標の下に，材料設計，評価，プロセス，デバイス，システムにわたる研究を実施している．この部門で展開している研究は本研究所の設置目的達成のための重要な基礎となるもので，次世代情報処理通信の基盤となる未開拓の新機能情報デバイスの実現を図ることを目的としている．そのために，新材料やナノ構造を用いて新しい機能の実現を図ると共に，これら機能を活用したナノフォトエレクトロニックデバイス，誘電情報デバイス，スピントロニクスデバイス、量子エレクトロニクスデバイス，次世代半導体デバイスなどを実現することを目標とする．

目標に到達するために，下記の8研究室が研究開発を行っている．

1. ナノフォトエレクトロニクス研究室
2. 固体電子工学研究室
3. 誘電ナノデバイス研究室
4. 物性機能設計研究室
5. スピントロニクス研究室
6. ナノ集積デバイス・プロセス研究室
7. 量子デバイス研究室
8. 磁性デバイス研究室 （客員研究室）

各分野の目標ならびに2018年度の研究活動の成果の概要を，次ページ以降に記述する．

ナノフォトエレクトロニクス研究室

ナノ構造物性の探索とデバイス応用

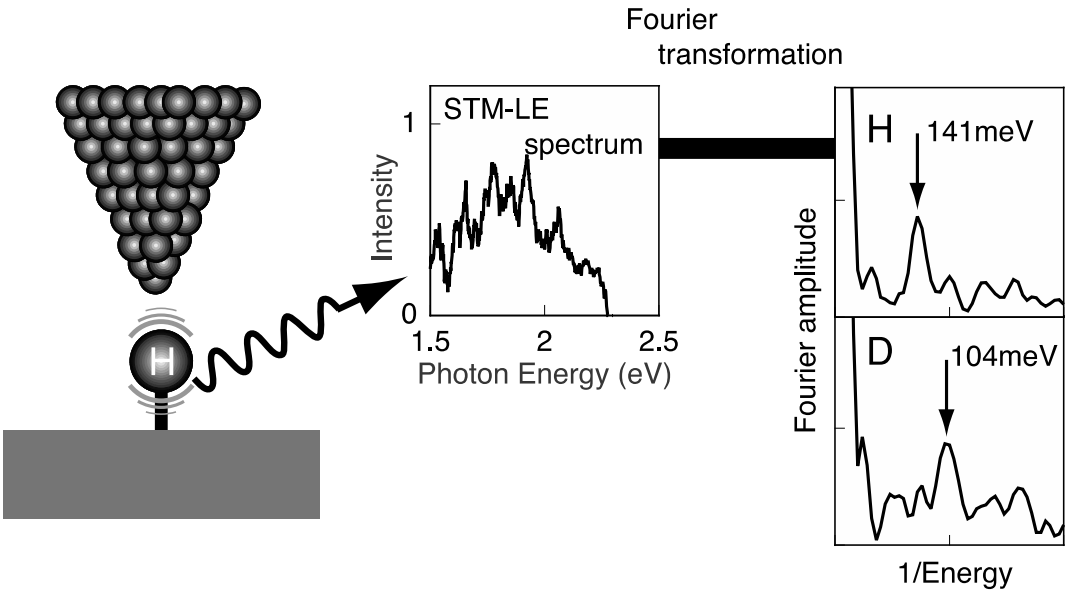


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

ナノフォトエレクトロニクス研究分野　　教授　　上原洋一
ナノ光分子エレクトロニクス研究分野　　准教授　片野 諭

＜研究室の目標＞

本分野の研究目標はナノメートル領域における新規な物理・化学現象の探索とナノフォトエレクトロニック・デバイスへの応用にある。光と電子の作用場としてのナノ構造に着目し、そこで生起する新規な光・電子物性を探索発見し、次世代ナノ量子デバイスへ応用展開を目指す。走査プローブ顕微鏡を用いた局所分光（走査トンネル顕微鏡 (STM) 発光分光、走査トンネル分光（STS）、探針増強ラマン分光，原子間力顕微鏡など）、レーザー分光、光電子分光などの測定手法と分子吸着や蒸着、レーザー・アブレーションなどの孤立ナノ構造作製手法を組み合わせ、個々の分子や孤立ナノ構造の有する物性を研究している。また、新規な物性探索のための新しい計測手法の開発も分野の研究目標に含まれる。図１は本分野で開発したSTM発光分光による個々の表面吸着種の振動分光の概略図である。

＜2018 年度の主な成果＞

１．時間分解STM発光分光：Ni(110)-ST(2×1) H

ポンプ-プローブレーザー分光法と組み合わせることにより、ピコ秒の時間分解能をSTM発光分光に与える研究を行っている。これまで、VO_2の光相転移時間の決定（2016年報告書、*J. Phys.: Condens. Matter.*, **29**, 405001_1-7 (2017)）、Sb_2Te_3の結晶–アモルファス相転移時間の決定（2017年報告書、*J. Appl. Phys.*, **124**, 075104_1-7 (2018)）を行って来た。今年度はNi(110)-ST(2×1) Hの水素原子の振動エネルギーの時間発展を決定した。この系の水素原子の吸着サイトは１種類であるため、３つの振動モードが観測される。最初に最も高い振動エネルギーを有する表面垂直方向に分極した振動モードが観測され、その後、数psの間により振動エネルギーの低い振動状態に緩和してゆく様子が観測された。この計測は原子位置分解能で行われた。時間分解STM発光分光の空間分解能がSTMの性能を引き継いでいることがわかる。

２．STM発光分光振動分光：Ni(110)-(2 × 1) O

STMは高い空間分解能を有するが材料同定能力は劣る。しかし、個々の表面吸着種の振動エネルギーがSTM発光スペクトル中の量子カットオフ近傍のステップ構造から決定されることが我々の研究により明らかになった（例えば、*J. Phys. Chem. Lett.* **1** (2010) 2763.）。従って、STM発光分光により振動分光学的に材料同定が可能になる。Ni(110)-(2 × 1) OのSTM像はナノスケールの２種類のドメインが組み合わさった構造をとる。ともに2 × 1の表面構造をとるため、酸素原子の吸着ドメインはSTM像からは判断されない。個々のドメインについてSTM発光分光を行った。その結果、一方のドメインに酸素原子の振動に起因する振動構造が見いだされ、酸素吸着ドメインの決定に成功した。また、STM発光スペクトル中に吸着種の振動エネルギーを反映したステップ構造が発現する量子力学的な機構を明らかにした。

３．酸化グラフェンのナノスケール光電子物性

酸化グラフェン（GO）の微視的な光電子物性をSTMにより解明する研究を行った。単層GOが吸着した試料基板を作製し、熱還元に伴うGOの局所構造変化を明らかにした。STSを用いたGOの電子状態計測により、グラフェン構造の保たれた個々のsp^2ドメインの存在を初めて明らかにした。さらに、発光性を示す熱還元GOのナノ光物性をSTM発光を用いて調べた。トンネル電子をSTM探針からGOに注入すると、GOシート内の一部の領域から強い発光が観測された。STM発光のマッピング計測より、数nmの領域に局在した発光性sp^2ドメインを初めて可視化することに成功した。

４．銀ナノキューブ集合体のナノスケール光電子物性

立方体の形状を有する銀ナノキューブ（AgNC）は、球体のナノ微粒子よりも高い波長共鳴性や高い電場増強度を有するため新しいプラズモニック材料として注目されている。本研究では、大きさ80 nmのAgNCをAu(111)上に集積し、その表面ナノ物性を走査プローブ顕微鏡（AFM, STM）、およびラマン分光法により検討した。AgNCの配列構造が集積方法に依存することをAFMで明らかにした。また、キューブ面の微細構造をSTMで示した。さらに、ラマンスペクトルの励起波長依存性からAgNCに付着した高分子鎖（PVP）の吸着状態を明らかにした。

＜職員名＞

教　授　上原　洋一（2005 年より）
准教授　片野　諭（2012 年より）

＜プロフィール＞

上原 洋一　1979 年 3 月　大阪府立大学工学部電子工学科卒業、1986 年 3 月　同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了(工学博士)。1986 年 4 月 東北大学電気通信研究所助手。1992 年 4 月 同助教授。2005 年 6 月　同教授、現在に至る。電子ならびに光学的分光手法による表面ナノ物性の研究に従事。レーザー学会論文賞(1986 年)、日本学術振興会 167 委員会・ナノプローブテクノロジー賞(2006 年)。

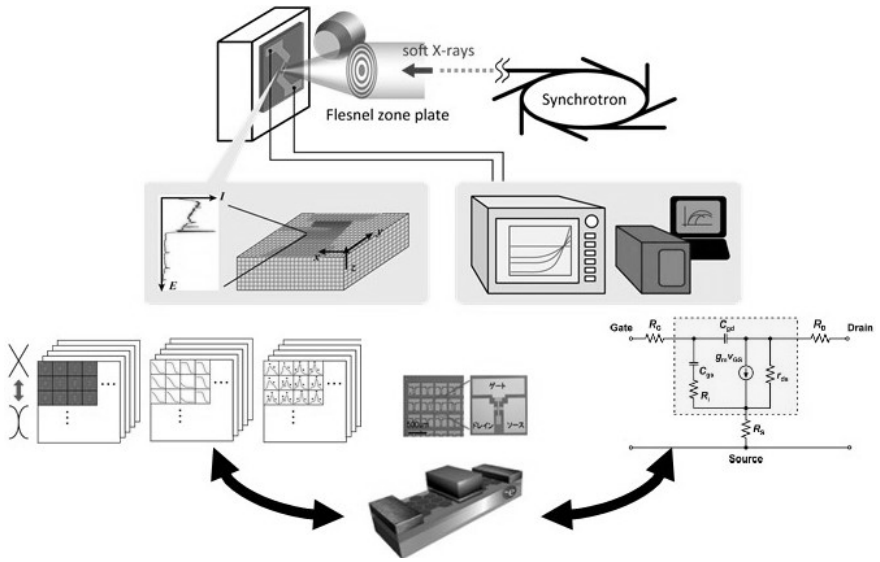
片野 諭　2003 年 3 月　東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士後期課程修了。2003 年 4 月　独立行政法人 理化学研究所中央研究所 博士研究員。2006 年 8 月　東北大学電気通信研究所助手。2007 年 4 月　同助教。2012 年 5 月　同准教授、現在に至る。固体表面における吸着原子・分子の表面物理化学・ナノ光物性研究に従事。第 23 回応用物理学会講演奨励賞（2008 年）、石田實記念財団研究奨励賞(2018 年)。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

1. Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, T. Tanno, and J. Sakai, "Pump–probe scanning-tunneling-microscope light-emission spectroscopy of Sb_2Te_3," *J. Appl. Phys.*, **124**, 075104_1-7 (2018).
2. Y. Uehara, T. Inaoka, T. Nishio, and S. Katano, "Vibration-induced Structures in Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectra of Ni(110)-(2 × 1) O," *J. Appl. Phys.*, **123**, 224302_1-8 (2018).
3. S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, R. Kasama, and Y. Uehara, "Localized electronic structures of graphene oxide studied using scanning tunneling microscopy and spectroscopy," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **20**, 17977-17982 (2018).
4. S. Katano, H. Fujita, and Y. Uehara, "Investigation of local modification and luminescence of a carbon nanotube by scanning tunneling microscopy," *Appl. Phys. Lett.*, **112**, 011601_1-5 (2018).

固体電子工学研究室

グラフェンなどの次世代デバイスを学理に基づいて研究開発



固体電子物性工学研究分野　准教授　吹留　博一

＜研究室の目標＞

固体電子工学研究室は、シリコンの百倍という速さで電子が走るグラフェンをシリコン基板の上に形成することに世界で初めて成功し、世界の注目を集めている。さらに，最近は，動作中のデバイスの電子状態の時空間変化を 10 nm スケールで明らかにする時空間オペランド X 線分光を世界にさきがけて開拓している。現在、このグラフェンを高周波トランジスタや光デバイスに応用する研究を進めている。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　高性能グラフェン・トランジスタの高性能化

我々は、独自のゲート絶縁膜作製技術を構築し、ドレイン電流の飽和を達成した。これにより，実用的ゲート長 100 nm で、THz 帯で動作し得る高周波特性を得た。現在、住友電工および情報通信研究機構と共同で、GFET の実用化に取り組んでいるところである。

２．　GaN-HEMT の電流コラプス現象の解明

高周波・高出力動作できる GaN-HEMT は有望な次世代通信デバイスである。GaN-HEMT の動作信頼性を低下させる電流コラプス現象に関し、その原因となる表面電子捕獲の時空間ダイナミクスを時空間オペランド X 線分光を用いた定量分析に成功している。

３．　時空間オペランド X 線分光の開拓

高時空間分解能（<100 ns, 100 nm）を有するオペランド（＝動作下）X 線分光を開拓した。この手法は、高速で動作しているデバイスの電子状態変化の観測を可能にする。現在、この手法を用いて、GFET や GaN-HEMT の動作機構解明および高性能化を図っているところである。

＜職員名＞

准教授　吹留 博一（2008 年より）
技術補佐員　波入　久美
技術補佐員　鈴木　美沙子
産学連携研究員　佐々木　文憲
産学連携研究員　金 觀洙

＜プロフィール＞

吹留　博一　1995 年 3 月　大阪大学基礎工学部合成化学科卒業。2000 年 3 月　同大学院基礎工学研究科化学系専攻博士後期課程修了。米国ベル研究所、理化学研究所等を経て、2008 年 12 月　東北大学電気通信研究所助教。2012 年 4 月　同大電気通信研究所准教授。二次元 Dirac 電子系の結晶成長、MEMS、オペランド顕微分光及びデバイス応用の研究に従事。日本表面科学会論文賞受賞（2011 年）。石田實記念財団（2015 年）。RIEC Award 東北大学研究者賞（2016 年）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, T. Someya, T. Iimori, F. Komori, I. Matsuda, and M. Suemitsu, “A table-top formation of bilayer quasi-free-standing epitaxialgraphene on SiC(0001) by microwave annealing in air” Carbon, 130. (2018), pp. 792-798.

[2] S. Yamamoto, K. Takeuchi, Y. Hamamoto, R.-Y. Liu, Y. Shiozawa, T. Koitaya, T. Someya, K. Tashima, H. Fukidome, K. Mukai, S. Yoshimoto, M. Suemitsu, Y. Morikawa, J. Yoshinobu and I. Matsuda, “Enhancement of CO_2 adsorption on oxygen-functionalized epitaxial graphene surface at near-ambient conditions”, Physical Chemistry Chemical Physics, 20 (2018) pp. 19532-19538.

[3] T. Someya, H. Fukidome, N. Endo, K. Takahashi, S. Yamamoto, and I. Matsuda, “Interfacial carrier dynamics of graphene on SiC, traced by the full-range time-resolved core-level photoemission spectroscopy”, Applied Physics Letters, 113 (2018), pp. 051601-1-051601-4.

[4] K. Omika, Y. Tateno, T. Kouchi, T. Komatani, S. Yaegassi, K. Yui, K. Nakata, N. Nagamura, M. Kotsugi, K. Horiba, M. Oshima, M. Suemitsu, and H. Fukidome, “Operation Mechanism of GaN-based Transistors Elucidated by Element-Specific X-ray Nanospectroscopy”, Scientific Reports, 8 (2018), 13268.

[5] G. Kamata, G. Venugoapl, M. Kotsugi, T. Ohkochi, M. Suemitsu, and H. Fukidome, “Element- and Site-specific Many-body Interactions in Few-layer MoS_2 during X-ray Absorption Processes”, Physica Status Solidi A, 216. (2018) pp. 1800539-1800539-7.

[6] K. S. Kim, H. Fukidome, and M. Suemitsu, “Direct formation of solution-based Al_2O_3 on epitaxial graphene surface for sensor applications”, Sensors and Materials, (2019), accepted.

誘電ナノデバイス（長・山末）研究室

強誘電体，圧電体材料などの評価・開発とそれを用いた高機能信号処理及び超高密度記憶素子の研究

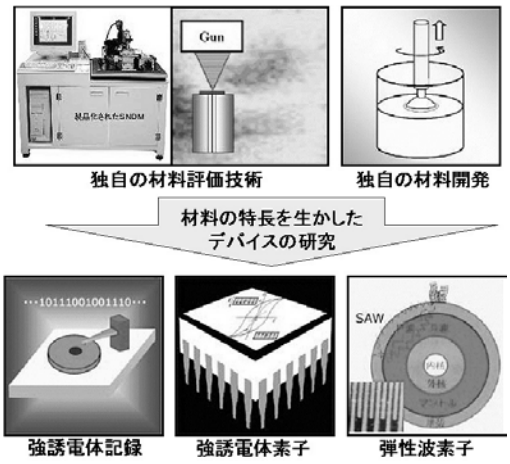


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

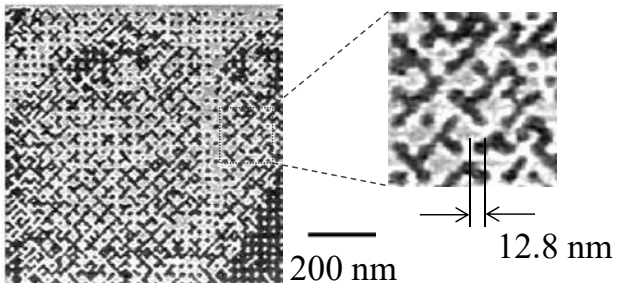


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

誘電ナノデバイス研究分野　教　授　長 康雄
誘電ナノ物性計測システム研究分野　准教授　山末 耕平

＜研究室の目標＞

本研究室では、強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と、それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用誘電・圧電デバイス・誘電体記録デバイスの研究を行っている。具体的には、超音波や光及び Fe-RAM 等に多用されている強誘電体単結晶や薄膜の分極分布、様々な結晶の局所的異方性を高速かつ高分解能に観測できる走査型非線形誘電率顕微鏡(Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy; SNDM)の研究・開発を行っている。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価を純電気的に行える世界で初めての装置であり、既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイル，界面欠陥の観測や固体中の単一双極子モーメントの可視化など SNDM の高機能・高分解能化を目指した研究を行っている。更に SNDM は強誘電体ドメインをナノレベルで観測・制御できるため、次世代超高密度誘電体記録への応用研究も推進している。

＜18 年度の主な成果＞

１． SNDM によるパワー半導体材料・デバイス評価に関する研究

前年度に引き続き、局所 DLTS（Deep Level Transient Spectroscopy）の改良を進め、従来の局所 DLTS に比較して大幅な広帯域化、高速化、高分解能化を達成した。また、局所 DLTS をパワーエレクトロニクスデバイスに用いられる炭化ケイ素（SiC）材料を評価する研究に応用し、絶縁体/SiC 基板界面に生じる界面欠陥の分布をナノスケールで可視化することに成功した。

２． SNDM による原子層半導体材料評価に関する研究

SNDM を用いて、数原子層以下の層数しか持たない二硫化モリブデン（MoS_2）など、極薄層状半導体材料のキャリア分布観察が行えることを実証した。また、原子層状材料評価における間欠接触方式 SNDM の有用性（探針や試料損傷を抑制可能）を明らかにした。

３．超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

ハードディスク型強誘電体記録デバイスの開発を進め、薄膜状のチタン酸ジルコン酸鉛（PZT）を記録媒体に用いることで、従来のタンタル酸リチウム（$LiTa0_3$）結晶を用いる場合と比較して，データ読み出し速度を約 2 倍高速化可能であることを示した。

＜職員名＞

教　授　　長　康 雄（２００１年より）
准教授　　山末　耕平（２０１６年より）
助　教　　平永　良臣
特任助教　山岸　裕史（２０１８年５月まで）

＜プロフィール＞

長　康雄　1980 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1986 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1985 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1990 年 3 月　山口大学工学部助教授。1997 10 月　東北大学電気通信研究所助教授 2001 年 7 月　同教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡及び超高密度強誘電体記録の研究開発に従事。市村学術賞功績賞受賞（2004 年）、藤尾フロンティア賞受賞（2005 年）、ドコモ・モバイル・サイエンス賞（2006 年）、ISIF^2 2009 OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD 受賞（2009 年）、服部報公賞（2014 年）、文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）（2015 年）、応用物理学会論文賞（2018 年）。

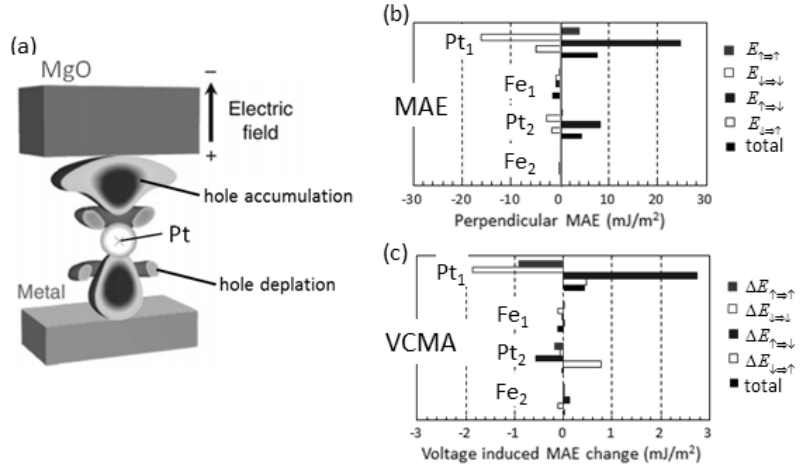
山末　耕平　2002 年 3 月　京都大学工学部電気電子工学科卒業。2007 年 3 月　同大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。2007 年 4 月 同大ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー研究員。2008 年 8 月　同助教。2010 年 4 月 東北大学電気通信研究所助教。2016 年 7 月　同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率ポテンショメトリの開発とその電子材料・デバイス評価への応用に関する研究に従事。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Yamagishi and Y. Cho: “Improvement of local deep level transient spectroscopy for microscopic evaluation of SiO_2/4H-SiC interfaces”, Materials Science Forum, Vol. 924, pp. 289-292, 2018.
[2] T. Abe, Y. Yamagishi, and Y. Cho: “Visualization of traps at SiO_2/SiC interfaces near the conduction band by local deep level transient spectroscopy at low temperatures”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.57, No. 8S1, pp. 08NB12-1-5, 2018.
[3] J. Hirota, S. Takeno, Y. Yamagishi, and Y. Cho: “Novel carrier measurement methodology for floating gate of sub-20 nm node flash memory using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Conference Proceedings from the 44th International Symposium for Testing and Failure Analysis (ISTFA2018), pp. 547-549, 2018.
[4] K. Yamasue and Y. Cho: “Local carrier distribution imaging on few-layer MoS_2 exfoliated on SiO_2 by scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol. 112, No. 24, pp. 243102-1-243102-5, 2018.
[5] Y. Cho and S. Hong: “Scanning probe-type data storage beyond hard disk drive and flash memory”, MRS Bulletin, Vol. 43, No. 5, pp. 365-370, 2018.
[6] R. M. Abeysinghe, Y. Hiranaga, and Y. Cho: “HDD type high speed data readout demonstrations in ferroelectric data storage using $Pb(Zr,Ti)O_3$ recording medium”, 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (May 27th - June 1th, Hiroshima, Japan), 2018.
[7] 長 康雄: “走査型プローブ顕微鏡（非線形誘電率顕微鏡）を用いたデバイス観察”, 表面と真空, Vol. 61, No. 4, pp. 221-226, 2018.

物性機能設計研究室

次世代情報デバイス創製のための物性・機能の理論設計



MgO/Pt/Fe 界面の Pt に電界誘起される電子分布 (a) と磁気異方性エネルギー (b) およびその電界変調における二次摂動項の寄与 (c).

物性機能設計研究分野　教　授　白井 正文
極限物性研究分野　准教授　阿部 和多加

＜研究室の目標＞

本研究室では、次世代情報デバイスの基盤となる材料やナノ構造において発現する量子物理現象を理論的に解明し、デバイス性能の向上につながる新しい機能を有する材料やナノ構造を理論設計することを研究目標としている。同時に大規模シミュレーション技術や機械学習などの情報科学的アプローチを駆使した画期的な物性や機能の設計手法を確立することを目指している。

現在は、スピントロニクス研究の一環として、高スピン偏極材料を用いたデバイス構造におけるスピン依存電気伝導の理論解析と強磁性金属薄膜における磁気異方性の電界制御に関する理論研究に取り組んでいる。一方、高密度領域で現れる特異な物性を、第一原理的手法により探る研究も進めている。これからはデータ駆動型の新物質・材料設計手法の研究に重点を置く。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　界面磁気異方性の電界制御

MgO/Co/Fe および MgO/Pt/Fe 界面における電圧制御磁気異方性(VCMA)効果の起源解明を、第一原理計算と X 線磁気円二色性(XMCD)測定により解明した。Co 原子では軌道磁気モーメントの電界変調が VCMA の起源であることを確認することができた。一方、Pt 原子では軌道磁気モーメントに加え電気四極子の電界変調が VCMA へ大きく寄与していることを明らかにした。また、Pt においては軌道磁気モーメントと電気四極子の VCMA 効果への寄与は Co に比べ一桁以上大きな値であることを明らかにし、*5d* 遷移金属を用いることによる VCMA 増大の可能性を示すことができた[4]。

２． 高密度金属水素化合物

MgH_4、ZrH_4、ZrH_6 における、新たな高圧金属相の可能性を第一原理計算から示した。いずれも高い超伝導転移温度（T_c）を持つと期待され、特に ZrH_6 では、T_c の予測値は 300 GPa で 150 K に達する。また、Mg、Sc、Zr 水素化合物における構造類似性も指摘している。同様の構造は Ca、Sr、Y 水素化合物でも提案されているが、ただその圧力領域をみると、周期表で対角線上に並ぶ元素間でより相関が強い。この対角関係は、さらに他の元素にも適用できるのではと予想している。

＜職員名＞

教　授　白井 正文（2002 年より）　准教授　阿部 和多加（2017 年より）　助　教　辻川 雅人

＜プロフィール＞

白井 正文　1988 年 3 月　大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程中退。同大学基礎工学部助手・助教授を経て、2002 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。工学博士。

阿部 和多加　1998 年 3 月　大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。大阪大学基礎工学部非常勤講師、高輝度光科学研究センター協力研究員、日本学術振興会海外特別研究員、Cornel University Postdoctoral Fellow、東北大学電気通信研究所助手・助教を経て、2017 年 4 月　同准教授、現在に至る。博士（理学）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] L. Bainsla, R. Yilgin, M. Tsujikawa, K. Z. Suzuki, M. Shirai and S. Mizukami, “Low magnetic damping for equiatomic CoFeMnSi Heusler alloy,” J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 51, Article no. 495001, pp. 1-7, 2018

[2] Y. Goto, M. Araki, N. Takahashi, T. Yanase, T. Shimada, M. Tsujikawa, M. Shirai, A. Kamimaki, S. Iihama, S. Mizukami and T. Nagahama, “Synthesis of metastable B2-type Fe-Sn alloy epitaxial films and study of their magnetic properties,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 57, Article no. 120302, pp. 1-5, 2018

[3] K Abe, “High-pressure properties of dense metallic zirconium hydrides studied by ab initio calculations,” Phys. Rev. B, Vol. 98, Article No. 134103, pp. 1-7, 2018

[4] S. Miwa, M. Suzuki, M. Tsujikawa, T. Nozaki, T. Nakamura, M. Shirai, S. Yuasa and Y. Suzuki, “Perpendicular magnetic anisotropy and its electric-field-induced change at metal-dielectric interfaces,” J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 52, Article no. 063001, pp. 1-22, 2019

[5] R. Y. Umetsu, M. Tsujikawa, K. Saito, K. Ono, T. Ishigaki, R. Kainuma and M. Shirai, “Atomic ordering, magnetic properties, and electronic structure of Mn_2CoGa Heusler alloy,” J. Phys.: Condens. Matter, Vol. 31, Article no. 065801, pp. 1-10, 2019

[6] Y. Jibiki, M. Goto, M. Tsujikawa, P. Risius, S. Hasebe, X. Xu, K. Nawaoka, T. Ohkubo, K. Hono, M. Shirai, S. Miwa and Y. Suzuki, “Interface resonance in Fe/Pt/MgO multilayer structure with large voltage controlled magnetic anisotropy change,” Appl. Phys. Lett., Vol. 114, Article no. 082405, pp. 1-5, 2019

[7] 阿部和多加, “水素と水素化合物の金属相探索,” 高圧力の科学と技術, Vol. 28, pp. 281-290, 2018

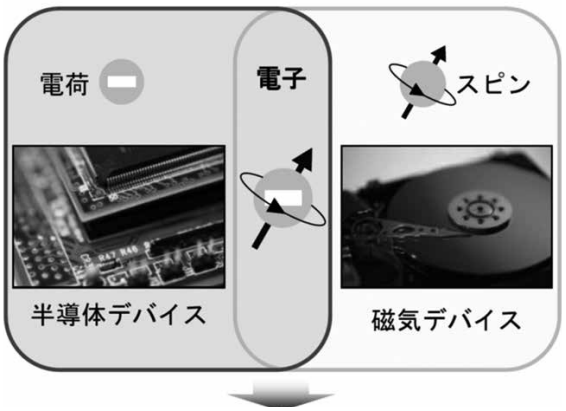
[8] M. Tsujikawa and M. Shirai, “Enhancement of voltage-controlled magnetic anisotropy by Ir doing in Co-based Heusler alloys,” 2019 Joint Magnetism and Magnetic Materials/International Magnetics (MMM-Intermag) Conference, Washington, DC, USA (14-18 January, 2019)

[9] T. Kanemura, T. Roy, M. Tsujikawa and M. Shirai, “Theoretical prediction of new quaternary Heusler alloys having high Curie temperatures and high spin polarizations with the aid of machine learning,” 2019 Joint Magnetism and Magnetic Materials/International Magnetics (MMM-Intermag) Conference, Washington, DC, USA (14-18 January, 2019)

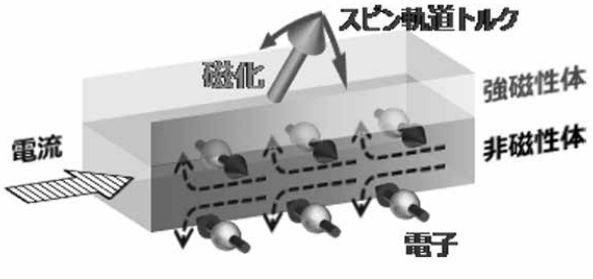
[10] M. Shirai, “Enhancement of voltage-controlled magnetic anisotropy in Fe/MgO junctions by inserting heavy elemencts,” 2nd Tohoku/SG-Spin Workshop on Spintronics, Singapore (22-23 February, 2019)

スピントロニクス研究室

スピントロニクスを用いた省エネルギー・高機能な素子の創製



省エネルギー・高機能な
スピントロニクス素子



スピン・軌道相互作用を利用した磁化制御
（文献 [2,4,5,7,8,9]）

ナノスピン材料デバイス研究分野　准教授　深見 俊輔

＜研究室の目標＞

固体中のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現を目的として、磁性体におけるスピン関連現象、及びそれらを利用した新規スピントロニクス素子の創製に関する研究を行っている。具体的には、スピントロニクス材料・構造の作製、電流や電界を用いた磁化反転などのスピン依存物理現象の評価と理解、それらを利用した新機能素子の開発、及びスピントロニクス素子を用いた種々の集積回路応用に関する研究を進めている。

＜2018 年度の主な成果＞

１．高抵抗率タングステンを用いた高いスピン軌道トルク生成効率の達成

高い抵抗率を有するタングステンを用いた W/CoFeB/MgO ヘテロ構造における電流誘起スピン軌道トルクをハーモニック法で測定し、世界最高の実効スピンホール角 0.62 を観測した（文献 [2]）

２．反強磁性 / 非磁性金属ヘテロ構造における反強磁性体のネールベクトルの電気的検出

反強磁性金属 PtMn と非磁性金属 Pt または W からなるヘテロ積層構造を用い、反強磁性金属のネールベクトルを世界で初めて電気的に検出し、その主な起源がスピンホール磁気抵抗効果であることを明らかにした（文献 [7]）

３．面内磁化スピン軌道トルク磁化反転の効率的評価手法確立とデバイス設計

面内磁化容易軸を有するスピン軌道トルク磁化反転素子のデバイス特性を高いスループットで評価できる素子構造と評価手法を確立し、デバイス構造依存性などを評価した。（文献 [9]）

＜職員名＞

准教授　深見 俊輔（2016 年より）
助　教　金井 駿，Justin Llandro

＜プロフィール＞

深見　俊輔　2005 年名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻修了。博士（工学）。2005 年日本電気株式会社、2011 年東北大学助教、2015 年より東北大学准教授。2012 年応用物理学会論文賞、2013 年 RIEC Award 東北大学研究者賞、2014 年船井研究奨励賞、2014 年応用物理学会講演奨励賞、2015 年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2015 年原田研究奨励賞、2016 年 DPS Paper Award、2017 年 ImPACT Symposium - Best Poster Award、2017 年青葉工学振興会賞受賞、2018 年 Asian Union of Magnetics Societies, Young Researchers Award、2018 年日本磁気学会優秀研究賞、2019 年田中貴金属記念財団貴金属に関わる研究助成金ゴールド賞。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。

＜ 2018 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Okada, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Electric-field effect on the easy cone angle of the easy-cone state in CoFeB/MgO investigated by ferromagnetic resonance," Applied Physics Letters **111**, 172402 (2018).

[2] Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO," Applied Physics Letters **112**, 192408 (2018).

[3] N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Non-linear variation of domain period under electric field in demagnetized CoFeB/MgO stacks with perpendicular easy axis," Applied Physics Letters **112**, 202402 (2018).

[4] W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, "Characterization of spin–orbit torque-controlled synapse device for artificial neural network applications," Japanese Journal of Applied Physics **57**, 1002B2 (2018).

[5] S. Fukami, and H. Ohno, "Perspective: Spintronic synapse for artificial neural network," Journal of Applied Physics **124**, 151904 (2018).

[6] M. Bersweiler, E. C. I. Enobio, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "An effect of capping-layer material on interfacial anisotropy and thermal stability factor of MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO/capping-layer structure," Applied Physics Letters **113**, 172401 (2018).

[7] S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno, "Angle dependent magnetoresistance in heterostructures with antiferromagnetic and non-magnetic metals," Applied Physics Letters **113**, 202404 (2018).

[8] B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Scalability and wide temperature range operation of spin-orbit torque switching devices using Co/Pt multilayer nanowires," Applied Physics Letters **113**, 212403 (2018).

[9] Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque-induced switching of inplane magnetized elliptic nanodot arrays with various easy-axis directions measured by differential planar Hall resistance," Applied Physics Letters **114**, 012410 (2019).

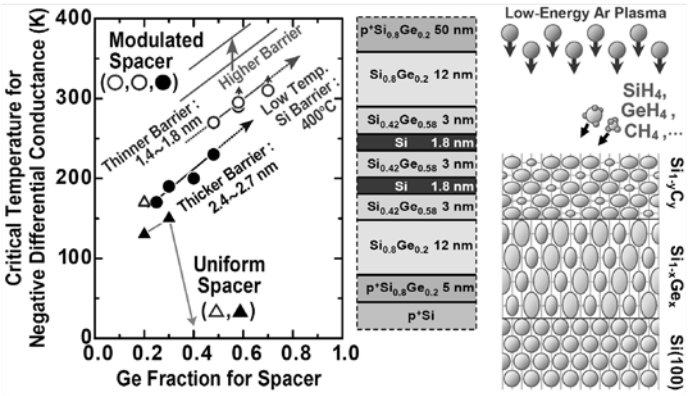
[10] T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Reversal of domain wall chirality with ferromagnet thickness in W/(Co)FeB/MgO systems," Applied Physics Letters **114**, 042405 (2019).

ナノ集積デバイス・プロセス研究室

従来技術の限界を打ち破るナノ集積化技術の研究



脳型計算機のプロトタイプ実現に向けて



量子ヘテロ構造高集積化プロセスの構築に向けて

ナノ集積デバイス研究分野　　教　授　佐藤 茂雄
量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野　准教授　櫻庭 政夫

＜研究室の目標＞

従来の高速性や大容量性に加え、低炭素社会実現へ向けた低消費電力性や災害時でも動作するロバスト性など多様な要求に対応できる次世代情報通信基盤技術の開発に向けて、3 次元ナノプロセス技術を駆使したシリコン系半導体デバイスの高機能・高性能化と、それらを用いた大規模集積回路の実現が重要な課題である。デバイスの高機能・高性能化においては、新材料や立体構造を導入した新トランジスタ素子・新メモリ素子の開発、量子効果など新しい原理によって動作する新原理動作デバイスの開発、これらに必要な 3 次元プロセス技術の開発を進める。併せて、3 次元集積化実装技術の開発、アナ・デジ混在ディペンダブル大規模集積回路の実現、非ノイマンアーキテクチャの実現に取り組む。

現在の具体的な研究課題として、ナノ集積デバイス研究分野では、不揮発性記憶機能と乗算・加算機能を有する脳型計算デバイスの開発、これらデバイスの高密度実装、並びに量子力学の原理を利用した知能デバイスの開発を当面の目標とする。将来的には、これらデバイス技術の、脳型計算機を始めとする非ノイマン型計算機への応用を図る。また、量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野では、低損傷基板非加熱プラズマ CVD 表面反応などを駆使してナノメートルオーダ極薄領域における高度歪ヘテロ構造形成の原子精度制御を可能にするとともに、量子現象を含めた電荷の移動現象を学問的に体系化し、新規電子物性を探索する。同時に、IV 族半導体量子ヘテロナノ構造において顕在化する量子現象を制御し、Si 集積回路への大規模集積化が可能な IV 族半導体の量子ヘテロ構造および高性能ナノ構造デバイスの実現を図る。

＜2018 年度の主な成果＞

1. ナノ集積デバイス

脳型計算の手法を模倣した断熱的量子計算用ハードウェアの開発を目的として、ジョセフソン接合により結合される超伝導電荷量子ビットネットワークを用いた実装方法を検証し、学習により連想記憶機能を獲得しうることを数値計算により明らかにした。また、脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、電源電圧 1V で動作するニューロン MOS アナログ回路の設計を行った。強反転領域で動作する MOS トランジスタ 40 個程度で構成されるニューロン回路が 20μW 程度の低消費電力で良好に動作することを SPICE シミュレーションにより確認した。さらに、神経回路の構造や、興奮性結合と抑制性結合のバランスが時空間ダイナミクスに及ぼす影響を明らかにすべく、モジュール構造を有する神経回路網の活動を計算機シミュレーションから調べた。抑制性結合が 20%程度含まれるモジュラーネットワークにおいて、ダイナミクスの複雑性が最大となることを定量的に明らかにした。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

基板非加熱プラズマ CVD により形成した P ドープ及び B ドープ Si エピタキシャル薄膜中のキャリア濃度の深さ方向分布を調査した結果、表面に向かって徐々にキャリア濃度が増加する傾向があることを確認した。また、成長を中断して一定時間のプラズマ照射を行うことにより、高濃度領域での B 原子の電気的活性化率が 50%超まで改善することが可能であることを見いだした。

＜職員名＞

教　授　佐藤 茂雄（2012 年より）
准教授　櫻庭 政夫（2002 年より）

＜プロフィール＞

佐藤 茂雄　1989 年 3 月　東北大学工学部電子工学科卒業。1994 年 12 月　同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、1996 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2002 年 10 月　同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月　同准教授。2012 年 4 月　同教授、現在に至る。脳型計算機や量子計算機に関する研究に従事。IEICE 論文賞受賞（2000 年）、石田記念財団研究奨励賞受賞（2005 年）。

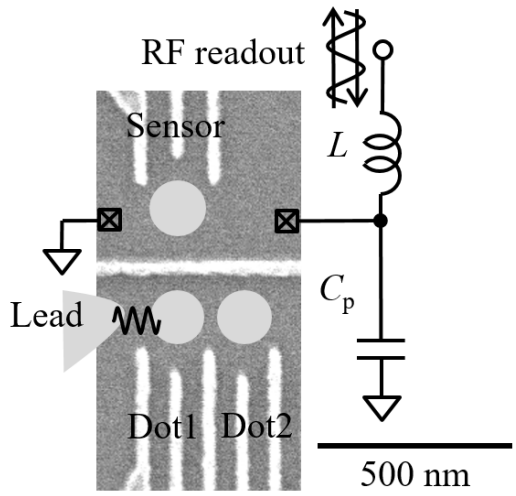
櫻庭 政夫　1990 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1995 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2002 年 8 月　同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月　同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料（SSDM）国際会議 Young Researcher Award 受賞（1992 年）、第 12 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞（2002 年）。石田記念財団研究奨励賞受賞（2015 年）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

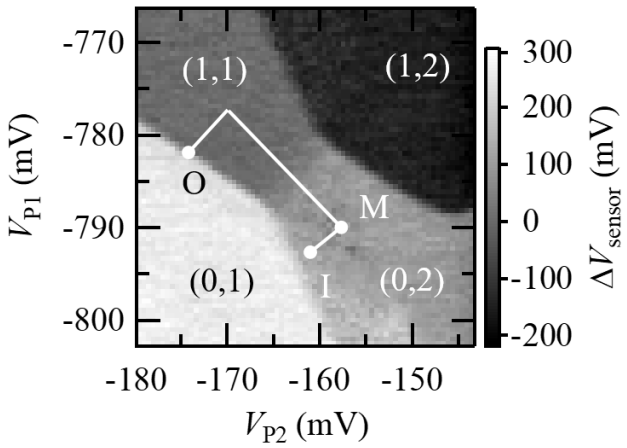
[1] S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Mean-field analysis of directed modular networks,” Chaos, vol. 29, 013142, 2019.
[2] H. Akima, S. Kurihara, S. Moriya, S. Kawakami, J. Madrenas, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, S. Sato, “Motion Stereo Vision LSI for Spatial Perception,” Proc. 2018 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018), 663, 2018.
[3] M. Sakuraba and S. Sato, "Epitaxy and In-Situ Doping in Low-Energy Plasma CVD Processing for Group-IV Semiconductor Nanoelectronics" (**Invited Lecture**), 11th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Application for Nitrides and Nanomaterials / 12th Int. Conf. on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma/IC-PLANTS), Nagoya, Japan, Mar. 17-21, 2019, No.19aC06I.

量子デバイス研究室

固体ナノ構造の物性解明とデバイス応用



固体ナノ構造試料の電子顕微鏡写真



固体ナノ構造中局所電子状態の制御・測定

量子デバイス研究分野　准教授　大塚　朋廣

＜研究室の目標＞

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。ナノメートルスケールの微小な固体ナノ構造では量子効果等の特異な物理現象が生じ、これらを活用することにより新しい機能性デバイスを創製することができる。本研究室では固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速観測、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、また固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。これにより量子エレクトロニクスやナノエレクトロニクス等を通して、新しい情報処理、通信技術に貢献することを目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　固体ナノ構造を用いた高速ミクロプローブの開発

固体ナノ構造中の電子物性を担う局所電子状態を解明するためには、従来のマクロな電極を用いた電気測定だけでなく、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるミクロな電気的プローブが重要となる。このようなプローブとして、我々は半導体量子ドット等を用いたミクロなプローブを開発してきた。このミクロプローブについて、高周波測定技術、データ科学手法の活用等により、局所的な電子状態を高速に測定できる高速ミクロプローブを開発、改良した[7]。

２．　固体ナノ構造中の局所電子状態ダイナミクスの観測

固体ナノ構造中の局所電子状態およびそのダイナミクスは、物性物理等の基礎科学やデバイス応用等の観点から注目を集めている。我々は高速ミクロプローブを活用することにより、半導体量子ドットと電極が結合した複合系等における局所電荷・スピン状態ダイナミクスを測定した。この結果、単一電子レベルでの電荷・スピン状態変化を観測し、その詳細をミクロな観点から解明した[1, 6]。

３． 局所電子状態観測技術の量子ビットデバイスへの応用

半導体量子ドット中の電子スピンは比較的長いコヒーレンス時間を持ち、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態観測技術を活用して、量子ビットデバイスの研究を行った。量子ビット操作の高精度化や、異種量子ビット間の変換、多重量子ドットを活用した素子数の改善等を行った[2, 3, 4, 5]。

＜職員名＞

准教授　大塚　朋廣（2018 年より）

＜プロフィール＞

大塚　朋廣　2005 年 3 月　東京大学理学部物理学科卒業。2010 年 3 月　同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。2010 年 4 月　同工学系研究科特任研究員。2013 年 4 月　理化学研究所創発物性科学研究センター特別研究員。2016 年 1 月　同研究員。2018 年 2 月　東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。人工固体ナノ構造における物性解明とデバイス応用の研究に従事。東京大学理学系研究科研究奨励賞（2010 年）、エヌエフ基金研究開発奨励賞（2016 年）、日本物理学会若手奨励賞（2017 年）、理化学研究所研究奨励賞（2017 年）、矢崎科学技術振興記念財団学術奨励賞（2018 年）、文部科学大臣表彰若手科学者賞（2018 年）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Difference in charge and spin dynamics in a quantum dot-lead coupled system”, Physical Review B 99, 085402 (2019).

[2] A. Noiri, T. Nakajima, J. Yoneda, M. R. Delbecq, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, S. Amaha, G. Allison, K. Kawasaki, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “A fast quantum interface between different spin qubit encodings”, Nature Communications 9, 5066 (2018).

[3] K. Takeda, J. Yoneda, T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, G. Allison, Y. Hoshi, N. Usami, K. M. Itoh, S. Oda, T. Kodera, and S. Tarucha, “Optimized electrical control of a Si/SiGe spin qubit in the presence of an induced frequency shift”, npj Quantum Information 4, 54 (2018).

[4] T. Ito, T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Four single-spin Rabi oscillations in a quadruple quantum dot”, Applied Physics Letters 113, 093102 (2018).

[5] T. Nakajima, M. R. Delbecq, T. Otsuka, S. Amaha, J. Yoneda, A. Noiri, K. Takeda, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, X. Hu, F. Nori, and S. Tarucha, “Coherent transfer of electron spin correlations assisted by dephasing noise”, Nature Communications 9, 2133 (2018).

[6] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Charge and Spin Dynamics in a Quantum Dot-Lead Hybrid System”, International Symposium on Frontiers of Quantum Transport in Nano Science, Kashiwa, Japan, Nov. 9, 2018.

[7] T. Otsuka, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, and S. Tarucha, “Speed up of quantum dot charge sensing utilizing Bayesian estimation”, International Conference on the Physics of Semiconductors, Montpellier, France, Jul. 30, 2018.

３．２　ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

将来の大容量情報通信に柔軟に対応する電子デバイスと高速通信技術の未来システムの構築を目的に、マイクロ波、ミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、光波の広範な領域での各種情報信号の発生、伝送、処理、情報ストレージ技術の研究開発を行っている。

(1)超高速光通信研究室

（目標）超短光パルス伝送技術、デジタルコヒーレント光伝送技術、ならびにそれらを融合した超高速・高効率光伝送技術の研究開発を通じて、高速・大容量光通信システムの構築、限られた周波数帯域を有効に活用するための周波数利用効率の高い光伝送方式の実現、ならびに光通信と無線通信とを同じ電磁波として融合する新領域の開発を目指している。

（成果）サブピコ秒光ナイキストパルスの生成、高次分散補償技術、および超高速多重分離回路を構築し、光の位相差で情報を伝送するノンコヒーレント方式により、単一チャネルで 10 Tbit/s-300 km のリアルタイム超高速伝送に世界で初めて成功した。また、光注入同期を用いた双方向デジタルコヒーレント方式により 80 Gbit/s, 256 QAM 伝送を 14 dB のロスバジェットで実証し、デジタルコヒーレント技術の超高速モバイルフロントホールへの有用性を明らかにした。

(2)応用量子光学研究室

（目標）高性能・高機能な半導体光デバイス実現へ向け、超高速、超低雑音動作可能な半導体光源、高機能半導体光変調器の研究を進めている。また、新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、高機能半導体光デバイス及び新機能半導体光集積回路の研究を進めている。

（成果）提案した混合変調半導体レーザ光源の高速直接変調において、高速光信号の伝送特性を決定するチャープ量を大幅に低減できることを数値解析および検証実験で明らかにした。また、面発光レーザの活性層内電子スピン偏極を変調することで高速発振偏光変調を実現した。本変調法では共振器内の複屈折に起因した発振偏光モード間の分離周波数に一致した変調周波数での共鳴的変調感度向上効果が得られることを理論、実験の両面から明らかにし、緩和振動周波数に制限されない広い変調周波数帯域でのレーザ出力偏光変調が可能であることを明らかにした。

(3)先端ワイヤレス通信技術研究室

（目標）高信頼な情報ネットワークである「ディペンダブル・エア」の実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

（成果）広帯域・高信頼通信を実現するミリ波無線ボディエリアネットワーク（WBAN）を提案している。電波暗室内での実測評価や計算機シミュレーションによる評価を行い、従来のマイクロ波帯を用いた WBAN に比べて広帯域化が可能であることを示した。また、5G（第 5 世代移動通信システム）をはじめとする次世代無線通信システムの大容量化を目指した非直交多元接続（NOMA）が送受信器や伝搬路における不完全性によって受ける影響について評価を行った。

⑷情報ストレージシステム研究室

（目標）IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。高密度・低コストのストレージに対する需要の高まりに応え、次世代垂直磁気記録の研究を進めている。

（成果）複数の個別の記録層を持つ記録媒体に対して選択的に記録することを可能にする、新しい3次元エネルギーアシスト記録技術を研究している。記録層間の相互作用を低減する方法を提案するとともに、熱アシスト磁気記録システムの記録性能を改善するための複合記録媒体設計を開発した。このような複合記録媒体構造は、より高いデータレートでの記録を可能にする。さらに、高速なデータ転送性能と高面密度記録を実現するために、ディスク上の 2 つのトラックの磁気情報を同時並列に読み出す信号処理技術を開発し、データ転送の 150%の高速化を達成した。

⑸超ブロードバンド信号処理研究室

（目標）いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し，次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として，新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と，それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

（成果）単原子層炭素材料：グラフェンを利得媒質とする新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイスプロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9％のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した。また、光無線融合デバイスの実現に向け、InGaAs 系高電子移動度トランジスタに単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子を試作し、1.5μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を3桁以上向上させることに成功した。

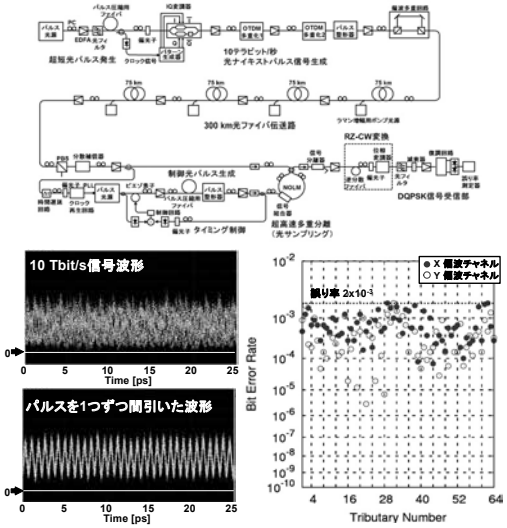
⑹量子光情報工学研究室

（目標）電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し，未来の量子情報通信の中核となるべき極限技術の開発に挑戦する。

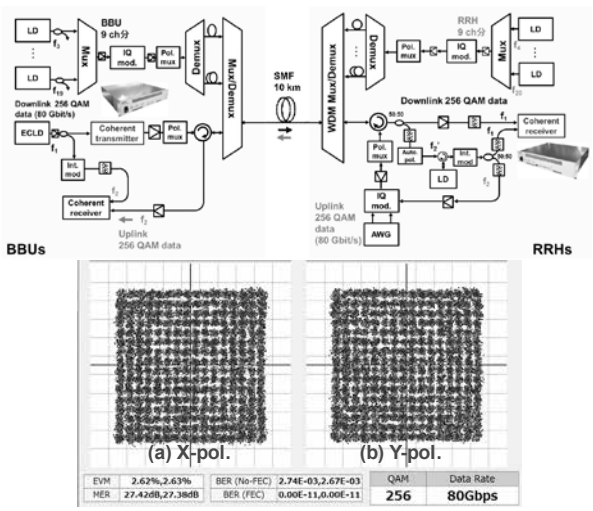
（成果）（1)光の周波数（色）の量子もつれ発生に成功。（2）微小な重力の測定を可能とする小型低雑音重力センサーを開発。（3)半導体中の不純物中心における局所電場効果の観測。励起子共鳴エネルギーが励起光強度に依存することを初めて検証。(4)ナノ光ファイバに複数の金ナノ粒子を付着した系における光のキラル偏光特性を観測。水中のナノ光ファイバ近傍へのナノ・マイクロ粒子の捕捉，輸送の観測に成功。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



単一チャネル10 Tbit/sナイキストパルス伝送実験系、
生成したナイキストパルスならびに300 km伝送結果



モバイルフロントホール用256 QAM（80 Gbit/s）x 10 ch
WDM双方向伝送システムの構成とオンライン復調結果

超高速光通信研究分野　教　授　廣岡 俊彦

＜研究室の目標＞

超高精細映像伝送や超臨場感通信をはじめとする高度なグローバル ICT サービスの実現のためには、高速・大容量な光伝送システムの構築が不可欠である。それと同時に、限られた周波数帯域を有効に活用するために、周波数利用効率の高い光伝送方式が望まれている。本研究室では、光時分割多重方式による 1 チャネルあたり Tbit/s 級の超高速光伝送、QAM と呼ばれるデジタルコヒーレント光伝送、ならびにそれらを融合した超高速・高効率光伝送技術の研究開発を進めている。また、5G、IoT 等の新たな ICT サービスの進展を見据えて、デジタルコヒーレント伝送のアクセスネットワークおよびモバイルフロントホールへの展開と、光通信と無線通信とを同じ電磁波として融合する新領域の開発を目指している。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　超高速光伝送技術に関する研究

本研究室では、スペクトル広がりを抑えつつ高速伝送を実現できる新たな光パルス「光ナイキストパルス」を提案している。2018 年度は、光の位相差で情報を伝送するノンコヒーレント方式により、単一チャネルで 10 Tbit/s のリアルタイム超高速伝送に世界で初めて成功した。本伝送ではパルス幅 340 fs の超短光ナイキストパルスを生成してシンボルレートを 2.56 Tbaud まで高速化し、ファイバ伝送路の 4 次までの高次分散を高精度に補償することにより長距離伝送を実現している。受信側では 230 fs のゲート幅でサンプリングを行うことにより超高速多重分離を実現している。本伝送はノンコヒーレント方式でありながら 2.5~3.7 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を有している。

２． コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究室では、光張り出し方式で構成される第 5 世代移動通信システム(5G)等の無線アクセスネットワークにおいて、広帯域化および長延化を実現するために、デジタルコヒーレント方式による超高速モバイルフロントホール伝送技術の実現を目指している。2018 年度は、我々が開発した FPGA 光送受信装置を用いて、光注入同期を用いた双方向デジタルコヒーレント方式により 80 Gbit/s, 256 QAM 伝送を 14 dB のロスバジェットで実現した。さらに、複数のアンテナへの光信号の配信を想定して 80 Gbit/s×10 ch WDM 伝送を行い、上り・下りの全 20 チャネルにおいてエラーフリー伝送を実現した。これらの結果は、デジタルコヒーレント伝送技術がモバイルフロントホールの高速化に大変有用であることを示している。

＜職員名＞

教　授　廣岡 俊彦（2018 年より）
助　教　葛西 恵介
研究員　黒田 久雄

＜プロフィール＞

廣岡 俊彦　2000 年 3 月大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月コロラド大学博士研究員。2002 年 4 月東北大電気通信研究所助手、2007 年 10 月同准教授、2018 年 4 月同教授、現在に至る。超高速光通信、非線形ファイバ光学の研究開発に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、光科学技術研究振興財団研究表彰、文部科学大臣表彰若手科学者賞、RIEC Award など受賞。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Nakazawa, M. Yoshida, M. Terayama, S. Okamoto, K. Kasai, and T. Hirooka, "Observation of guided acoustic-wave Brillouin scattering noise and its compensation in digital coherent optical fiber transmission," Opt. Express vol. 26, no. 7, pp. 9165-9181, April (2018).

[2] K. Kimura, J. Nitta, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-channel 7.68 Tbit/s, 64 QAM coherent Nyquist pulse transmission over 150 km with a spectral efficiency of 9.7 bit/s/Hz," Opt. Express vol. 26, no. 13, pp. 17418-17428, June (2018).

[3] Y. Wang, S. Okamoto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "Single-channel 200 Gbit/s, 10 Gsymbol/s-1024 QAM injection-locked coherent transmission over 160 km with a pilot-assisted adaptive equalizer," Opt. Express vol. 26, no. 13, pp. 17015-17024, June (2018).

[4] M. Yoshida, N. Takefushi, M. Terayama, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Reverse Phase Modulation Technique for GAWBS Noise Error Floor Elimination in 1024 QAM-160 km Digital Coherent Transmission," OECC 2018, 4B1-3, July (2018).

[5] T. Kan, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "50.4 Tbit/s, 128 QAM L-band WDM Injection Locked Coherent Transmission over 160 km with Spectral Efficiency of 10.5 bit/s/Hz," OECC 2018, 5B3-3, July (2018).

[6] K. Kasai, M. Nakazawa, Y. Tomomatsu, and T. Endo, “Tunable Laser Diode with a Linewidth of 8 kHz and a RIN of -130 dB/Hz,” CLEO-PR 2018, W1J.4, August (2018).

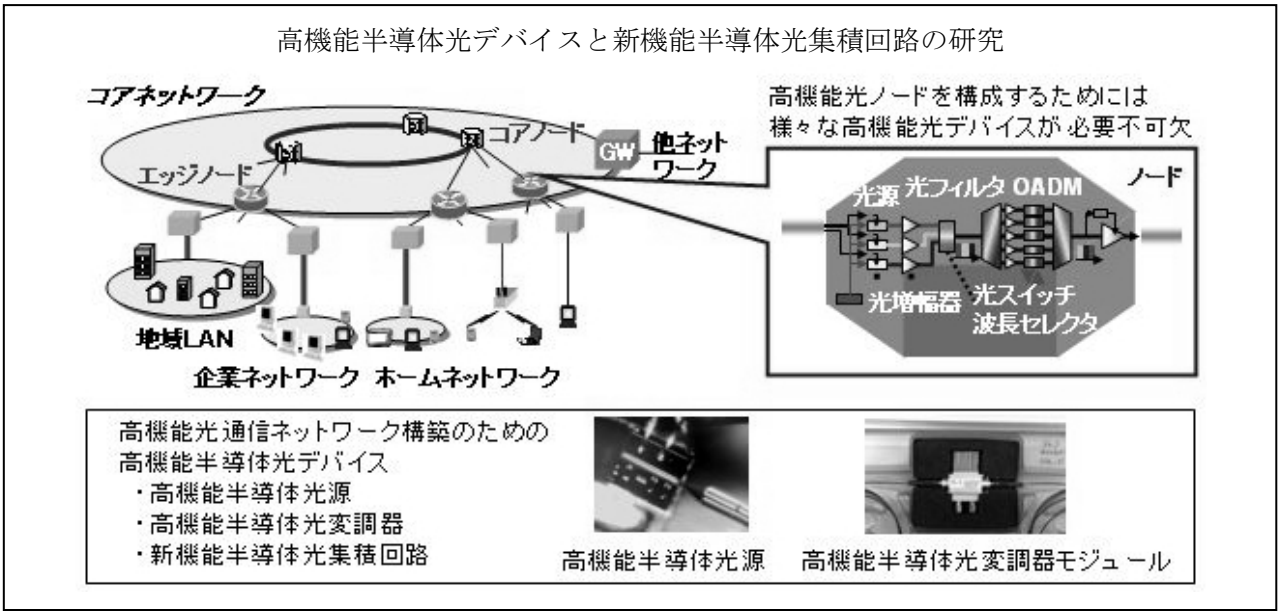
[7] K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Iwatsuki, and M. Nakazawa, “Backward-Rayleigh-Scattering Suppressed 160 Gbit/s 256 QAM Injection-Locked Bidirectional Coherent Transmission for Next Generation Mobile Fronthaul,” ECOC 2018, Th2.71, September (2018).

[8] T. Hirooka, R. Hirata, J. Wang, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Single-channel 10.2 Tbit/s (2.56 Tbaud) optical Nyquist pulse transmission over 300 km,” Opt. Express, vol. 26, no. 21, pp. 27221-27236, October (2018).

[9] M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Dual-polarization on-line 256 and 512 QAM digital coherent transmission,” OFC 2019, M2H.4.

応用量子光学研究室

革新的光通信用高機能半導体光デバイスの創出に関する研究



高機能フォトニクス研究分野　教　授　八坂　洋
高精度光計測研究分野　　准教授　吉田　真人

＜研究室の目標＞

新世代光通信ネットワークを構築する上で必要不可欠な高性能・高機能な半導体光源実現へ向け、超高速動作可能な半導体レーザ、超低位相ノイズ半導体レーザ、および高機能光変調器の研究を進めている。また、新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、高機能半導体光デバイス及び新機能半導体光集積回路の研究を行っている。光の強度、位相、周波数、偏波を自由に操ることのできる半導体光デバイス・光集積回路を実現することで、超大容量、高機能光通信ネットワークシステムの実現を目指している。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　超高速半導体レーザ光源

超高速・超大容量光通信ネットワークを構築する上で、100Gb/s 以上の動作速度を有する高機能半導体光源の実現が必須である。半導体レーザの応答帯域拡大に向け、応答特性制御技術としてレーザ共振器損失と注入電流量を同時に変調可能な混合変調法を提案し、本変調法を用いることで高速光信号の伝送特性を決定する周波数チャープ量を大幅に低減できることを数値解析および検証実験で明らかにした。また、面発光レーザの活性層内電子スピン偏極変調法を提案した。本変調法ではレーザ共振器内の複屈折に起因した発振偏光モード間の分離周波数に一致した変調周波数での共鳴的変調感度向上効果が実現できることを理論・実験の両面から明らかにし、緩和振動周波数に制限されない広い変調周波数帯域でのレーザ出力偏光変調が可能であることを明らかにした。

２． 小型狭線幅半導体レーザ光源

近年注目されているデジタルコヒーレント光通信システムへの適用を目指し、簡便な構成の光学的負帰還回路による半導体レーザの線幅狭窄化の研究を継続して進めた。提案している光負帰還原理に関して、その動作特性を詳細に理論解析することで、本手法が従来の共振器特性の向上によるスペクトル線幅低減手段とは動作モードが異なり、全く新奇な半導体レーザのスペクトル線幅低減法であることを明らかにした。本手法における光学的負帰還回路としての光フィルタはレーザ共振器を形成しておらず、周波数弁別回路としてのみ機能することから、光学的負帰還回路（光フィルタ）を小型化することで、超小型な狭線幅半導体レーザ光源が実現できることを明らかにした。本知見を基に、集積型小型狭線幅光源の実現可能性を追及している。

＜職員名＞

教　授　八坂　洋　　（2008 年より）
准教授　吉田　真人　（2018 年より）
助　教　横田　信英

＜プロフィール＞

八坂　洋　1983 年 3 月　九州大学理学部物理学科卒業。1985 年 3 月　同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。1985 年 4 月　日本電信電話（株）入社、NTT 厚木電気通信研究所、NTT 光エレクトロニクス研究所、NTT 光ネットワークシステム研究所、NTT フォトニクス研究所勤務。1993 年 12 月　工学博士（北海道大学）。2008 年 4 月　東北大電気通信研究所教授、現在に至る。光通信用高機能半導体光デバイスの研究開発に従事。

吉田　真人　1997 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。2001 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期課程修了。2001 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2011 年 7 月　同准教授、現在に至る。ファイバレーザおよびそれを用いた光計測の研究開発に従事。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Yokota, K. Nisaka, H. Yasaka and K. Ikeda, "High-Speed Modulation of 1.55-μm VCSELs with Spin Polarization Modulation," Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2018), STu3Q.2, May, 2018. (San Jose, CA, 13-18, May)

[2] 菅野光成、三枝慈、横田信英、石井啓之、八坂洋、"混合変調レーザにおける高速変調時のチャープ特性"、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会（LQE）、LQE2018-15, pp. 21-24, 2018.

[3] M. Kanno, S. Mieda, N. Yokota, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "Chirp Control of Semiconductor Laser by Hybrid Modulation Scheme (invited)," IEICE Transactions on Electronics, vol. E101-C, No. 7, pp. 561-565, 2018. / DOI 10.1587/transele.E101.C.561

[4] K. Aoyama, N. Yokota, and H. Yasaka, "Strategy of optical negative feedback for narrow linewidth semiconductor lasers," Optics Express, vol. 26, No. 16, pp. 21159-21169, 2018. / DOI 10.1364/OE.26.021159

[5] 横田信英、小向知也、八坂洋、"注入同期による SSB 変調光周波数コムの広帯域・高 S/N 化"、2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-3-53、2018.

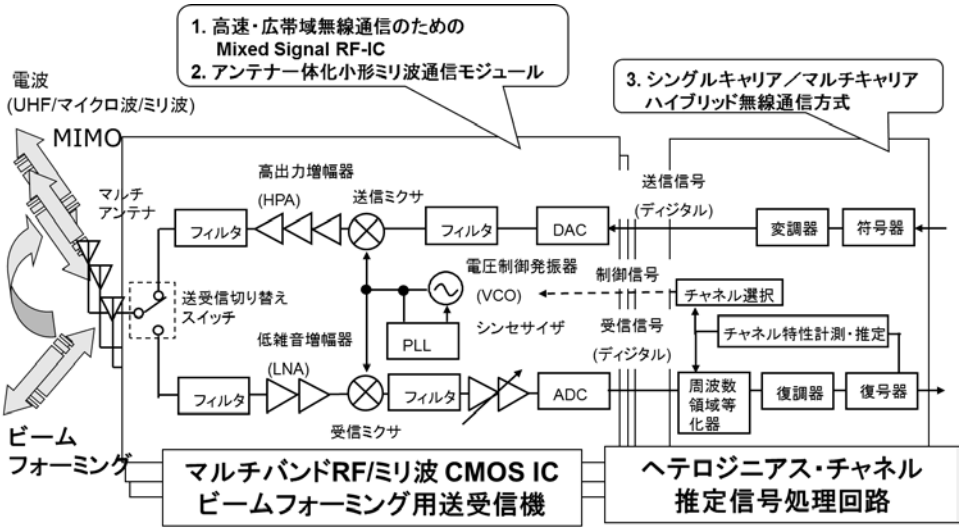
[6] N. Yokota, K. Nisaka, H. Yasaka, and K. Ikeda, "Spin polarization modulation for high-speed vertical-cavity surface-emitting lasers," Applied Physics Letters, vol. 113, Issue 17, 171102, 2018. / DOI 10.1063/1.5040914

[7] K. Aoyama, S. Kobayashi, M. Wada, N. Yokota, T. Kita, and H. Yasaka, "Compact narrow linewidth optical negative feedback laser with Si optical filter," Applied Physics Express, vol. 11, No. 11, 112703, 2018. / DOI 10.7567/APEX.11.112703

[8] 横田信英、二坂薫平、池田和浩、八坂洋、"高速化に向けた面発光レーザの電子スピン偏極変調特性"、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会（LQE）、LQE2018-61, pp. 47-50, 2018.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信ネットワークの実現へ向けて



広帯域ワイヤレス通信用 1 チップ送受信機の研究

信号処理回路・デバイス・実装技術の研究として、シリコン CMOS 技術を用いた超高周波帯 RF パワーアンプ・シンセサイザ・ミキサなどの設計・開発、超小型アンテナモジュールの開発を行っている。そして、これらのシリコン RF デバイス、アンテナモジュールなどのワイヤレス通信端末に必要な回路の特性を、ディジタル回路技術を用いて補償するディジタルアシステッド RF アナログ回路の研究・開発を行っている。

先端ワイヤレス通信技術研究分野　　教　授　末松　憲治
先端ワイヤレスネットワーク技術研究分野　准教授　亀田　　卓

＜研究室の目標＞

人々の交流や情報のやりとりが世界規模に広がった昨今の高度情報化社会は、ユビキタス化・ブロードバンド化が進むネットワークの進化とともに発展してきた。このネットワークのさらなるユビキタス化・ブロードバンド化には無線通信技術がますます重要となる。無線通信技術の中でも、特に信号処理回路・デバイス・実装技術と変復調・ネットワーク技術はその実現に必要不可欠な両輪である。当研究室では高度情報ネットワークの実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術（Advanced Wireless IT）に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで一貫して研究・開発を行っている。

＜2018 年度の主な成果＞

１．広帯域・高信頼通信を実現するミリ波無線ボディエリアネットワーク（WBAN）

スマートグラスや医療機器の普及などにより人体周辺で無線通信ネットワークを構成する WBAN が今後ますます普及する一方、満員電車などの混雑環境においては WBAN 間干渉が大きな課題となると予測される。我々は WBAN 間干渉を抑えつつ広帯域・高信頼通信を実現するために

ミリ波帯を用いた WBAN を提案している。今年度は人体によるブロッキングの影響を電波暗室内での実測により評価した。さらにその実測評価の結果を用いて、WBAN 間干渉を考慮した通信特性の評価を計算機シミュレーションにて行った。その結果、従来のマイクロ波帯を用いた WBAN に比べて WBAN 間干渉が小さくなることにより、広帯域化が可能であることを示した。

２．次世代無線通信システムの大容量化を目指した非直交多元接続（NOMA）

5G（第 5 世代移動通信システム）をはじめとする次世代移動通信システムではシステム容量や接続数の向上が重要な技術的課題であり、その解決策として NOMA の適用が考えられている。しかし、送受信器ならびに伝搬路における不完全性が NOMA に与える影響についてはまだ十分検討されていない。今年度は不完全性のうち、送信器内部の電力増幅器における非線形歪みが下り回線 NOMA に与える影響について評価を行った。また、多元接続チャネル間干渉（MAI）が上り回線 NOMA に与える影響に対して周波数領域送信等化の適用を提案した。

＜職員名＞

教　授　末松 憲治（2010 年より）
准教授　亀田　 卓（2012 年より）
助　教　本良 瑞樹（2014 年より）
技術補佐員　富澤 幸恵　　山田 かおり

＜プロフィール＞

末松 憲治　1987 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。博士 (工学) (2000 年)。1987 年 4 月三菱電機 (株) 入社。1992 年 9 月～1993 年 9 月英国リーズ大学客員研究員。2008 年 4 月～2010 年 3 月東北大学電気通信研究所客員教授。2010 年 4 月教授。1997 年、2006 年、2009 年関東地方発明表彰発明奨励賞、2002 年第 50 回電気科学技術奨励賞 (オーム技術賞)、2009 年文部科学大臣表彰科学技術賞 (開発部門)、2012 年電子情報通信学会エレクトロニクス賞各受賞。電子情報通信学会、IEEE 各会員。

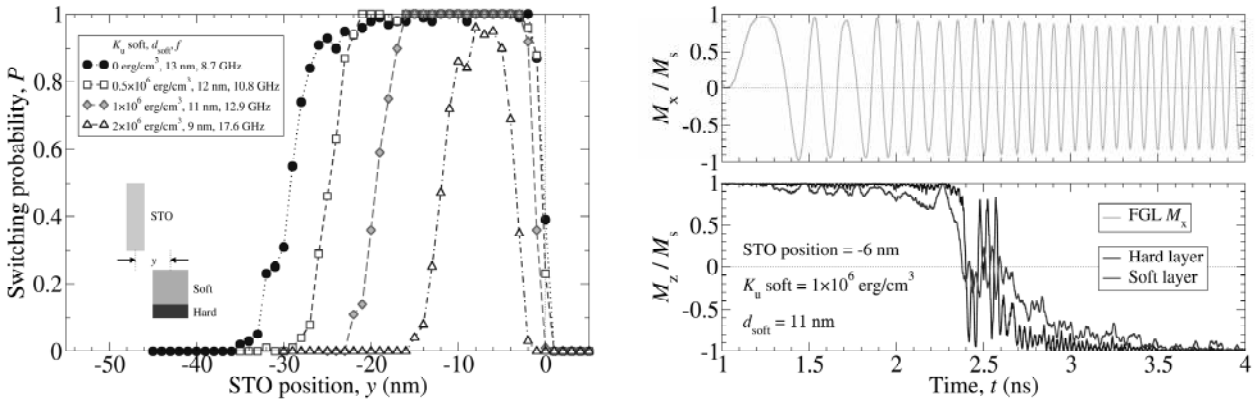
亀田　 卓　1997 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒業。2001 年 9 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。同年 10 月電気通信研究所助手、2007 年 4 月同助教、2012 年 4 月同准教授。2018 年 9 月～2019 年 3 月米国ラトガース大学 WINLAB 客員研究員。平成 29 年度一般財団法人石田實記念財団研究奨励賞受賞。電子情報通信学会、エレクトロニクス実装学会、IEEE 各会員。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Akimoto, *et al.*, “Measurement of on-body propagation loss for directional millimeter-wave WBAN,” in Proc. Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM) 2018, May 2018
[2] N. Takeda, *et al.*, “A study of inductive coupling wireless power transfer for IC chips on tablets in a pill case,” in Proc. Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT), Nov. 2018
[3] K. Mayama, *et al.*, “Evaluation of link level performance considering EVM of transmit signal for downlink NOMA,” in Proc. 2018 Asia Pacific Microwave Conference (APMC), Nov. 2018
[4] J. Zhang, *et al.*, “A 26GHz-band image enhancement type 1-bit DAC for direct digital RF 1-bit modulator,” in Proc. 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Nov. 2018
[5] S. Kameda, *et al.*, “Random access control scheme with reservation channel for capacity expansion of QZSS safety confirmation system,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E102-A, no.1, pp.186-194, Jan. 2019
[6] 秋元 他, “人体の減衰を考慮した複数ユーザ環境における 60 GHz 帯 WBAN 間干渉環境のシミュレーション評価,” 信学論, vol.J102-B, no.2, pp.44-51, Feb. 2019

情報ストレージシステム研究室

高密度と高速エネルギーアシスト磁気記録



左：単粒子の磁化反転確率とスピントルク発振器の位置の依存性。
右：スピントルク発振器（上）と磁性粒子（下）の磁化ダイナミクス。

情報ストレージシステム研究分野　准教授　サイモン　グリーブス

＜研究室の目標＞

IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。この膨大な情報の蓄積を担うのがデータセンターであり、その中心的な技術がハードディスク装置を代表とする磁気記録ストレージである。増大する情報量に対応して、高記録密度化による磁気ディスク装置の記録容量増加の努力が続けられており、本分野では超高密度情報ストレージデバイスを目指し研究を続けている。このためにコンピュータシミュレーションを含めた記録と再生理論の検討と、今後の高速データ転送速度と高面密度記録を実現するための記録再生方式の確立に取り組んでいる。

＜2018 年度の主な成果＞

磁気記録装置の高速化、高密度化のための技術開発に取り組んでいる。今年度の研究はマイクロ波アシスト磁気記録（MAMR）に集中し、熱アシスト磁気記録（HAMR）の研究も追加された。磁気抵抗ランダムアクセスメモリ（ＭＲＡＭ）のモデル化も行った。

ＭＡＭＲシステムでは、異なる強磁性共鳴周波数を有する記録層を利用することによって、複数の別々の記録層からなる媒体に情報を記録することが可能である。記録中、書き込みヘッドの隣に配置されたスピントルク発振器は、適切な記録層の共振周波数で高周波磁界を発生し、その層のみに選択的な記録を可能にする。 論文[３]の研究は、層間静磁気相互作用を軽減するために記録層間に反強磁性結合を導入することによって二重層システムを最適化する方法を記載している。

論文[４]の研究は、スピントルク発振器のみを用いた磁気記録を実証している。交換結合複合構造を有する磁性粒子の磁化反転は、広範囲の条件下で可能であることが示された。

熱アシスト磁気記録の概説は[６]に与えられている。

＜職員名＞

准教授　サイモン　グリーブス　（2003 年より）

＜プロフィール＞

サイモン　グリーブス　1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] S. J. Greaves, H. Muraoka and Y. Kanai, "Magnetisation switching of ECC grains in microwave-assisted magnetic recording", AIP Advances 8, 056502-1-7, (2018), doi 10.1063/1.5006362.

[2] S. J. Greaves, Y. Kanai and H. Muraoka, "Antiferromagnetically coupled media for microwave-assisted magnetic recording", IEEE Transactions on Magnetics 54(2), 3000111-1-11, (2018), doi 10.1109/TMAG.2017.2730881.

[3] S. J. Greaves, T. Kikuchi, Y. Kanai and H. Muraoka, "Optimizing dual-layer recording using antiferromagnetic exchange coupling", IEEE Transactions on Magnetics 54(11), 3001805-1-5, (2018), doi 10.1109/TMAG.2018.2829509.

[4] S. J. Greaves, "Magnetic recording using a spin torque oscillator", IEEE Transactions on Magnetics 54(11), 3001705-1-5, (2018), doi 10.1109/TMAG.2018.2834933.

[5] S. J. Greaves and Y. Kanai, "Effect of spin torque oscillator tilt angle in microwave assisted magnetic recording", IEEE Transactions on Magnetics 55(3), 3000404-1-6, (2019), doi 10.1109/TMAG.2018.2868279.

[6] S. J. Greaves: "Ultra-Fast Dynamics for Heat-Assisted Magnetic Recording", Handbook of Materials Modeling Volume 2: Applications: Current and Emerging Materials, editors W. Andreoni and S. Yip, Springer, Cham, 2018. doi 10.1007/978-3-319-50257-1_106-1, ISBN 978-3-319-50257-1 (Online).

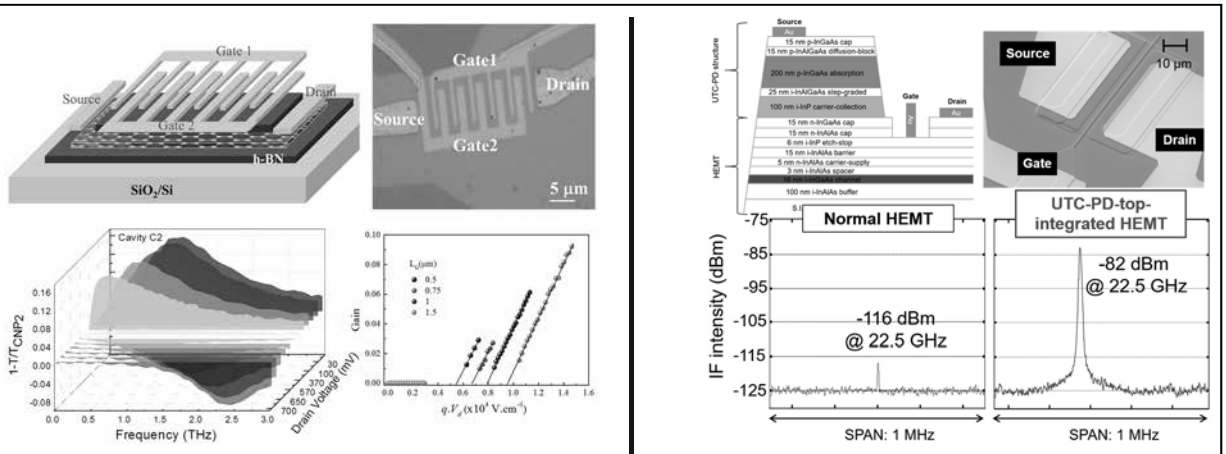
[7] T. Kikuchi, S. Greaves and H. Muraoka, "Effect of exchange coupling between top & bottom layers in dual layer microwave assisted magnetic recording", T. Mag. Soc. Jpn. 2, p1-4, (2018).

[8] Y. Kanai, R. Itagaki, S. J. Greaves and H. Muraoka, "Micromagnetic model analysis of spin-torque oscillator (STO) integrated into recording head for microwave-assisted magnetic recording - oscillation of STO vs. rise time of in-gap field", IEEE Transactions on Magnetics 54(11), 3001005-1-5, (2018), doi 10.1109/TMAG.2018.2848279.

[9] Y. Kanai, R. Itagaki, S. J. Greaves and H. Muraoka, "Micromagnetic model simulations considering write head, spin-torque oscillator, and double-layered medium altogether", IEEE Transactions on Magnetics 55(3), 3000613-1-13, (2019), doi 10.1109/TMAG.2018.2869208.

超ブロードバンド信号処理研究室

ミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と その情報通信への応用に関する研究



左：非対称二重回折格子ゲート構造を有するグラフェンテラヘルツトランジスタの構造図および試作素子の顕微鏡写真（上）、室温下で観測された透過テラヘルツ波コヒーレント増幅の減衰・利得スペクトル（左下、負が利得を示す）、および最大利得のドレイン電圧依存性（右下）、右：UTC-PD 集積 HEMT 光無線周波数下方変換素子の断面構造図およびその電子顕微鏡写真（上）、従来型 HEMT と UTC-PD 集積 HEMT を用いて 1.5-μm 帯光信号から周波数下方変換されたミリ波帯 IF 信号出力強度比較結果（下）。

超ブロードバンドデバイス・システム研究分野　教　授　尾辻　泰一
超ブロードバンドデバイス物理研究分野　准教授　佐藤　昭

＜研究室の目標＞

本研究分野では，いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し，次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として，半導体ヘテロ接合構造内に凝集した二次元電子系の分散特性や緩和応答を利用した新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と，それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

＜2018 年度の主な成果＞

１．超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、単原子層炭素材料:グラフェンを利得媒質とする新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイスプロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9%のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した。

２．超ブロードバンドデバイス物理研究分野

新規材料・新規動作原理に基づくミリ波・テラヘルツ波デバイスの創出を目指し、デバイス内の電子輸送現象や光電子物性といった物理の理論的解明や実験的実証を行なっている。また、将来の超高速無線通信や光電子融合ネットワークへのデバイス実用化に向けた研究開発を進めている。今年度は、InGaAs 系高電子移動度トランジスタに単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子を試作し、1.5μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を３桁以上向上させることに成功した。

＜職員名＞

教　授　尾辻　泰一　（2005 年より）
准教授　佐藤　昭　（2017 年より）
助　教　渡辺　隆之　（2017 年より）
学術研究員　RYZHII Victor　（2017 年より）
秘　書　上野　佳代

＜プロフィール＞

尾辻　泰一　1982 年 3 月　九州工業大学工学部電子工学科卒業。1984 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1984 年 4 月　電電公社厚木電気通信研究所入所。1999 年 4 月　九州工業大学情報工学部助教授。2001 年 9 月　同教授。2005 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。テラヘルツデバイスとその超ブロードバンド信号処理への応用に関する研究開発に従事。IEEE GaAs IC Symposium 最優秀論文賞受賞（1998 年）。IEEE Electron Device Society Distinguished Lecturer, IEEE Fellow, OSA Senior Member, MRS, SPIE，電子情報通信学会，応用物理学会，各会員。

佐藤　昭　2003 年 3 月　会津大学コンピュータ理工学部ハードウェア学科卒業。2005 年 3 月　同大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム学専攻博士前期課程修了。2006 年 4 月－2008 年 3 月　日本学術振興会特別研究員（DC2）。2008 年 3 月　同専攻博士後期課程修了。2008 年 4 月　同大学情報センター助教。2009 年 4 月　同大学先端情報科学研究センター助教。2010 年 4 月　東北大学電気通信研究所助教。2017 年 11 月　同准教授，現在に至る。テラヘルツ・ミリ波デバイス物理の研究開発に従事。IEEE Senior Member，APS，応用物理学会，IEICE，各会員。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Omori, T. Hosotani, T. Otsuji, K. Iwatsuki, and A. Satou, "UTC-PD-integrated HEMT for optical-to-millimeter-wave carrier frequency down-conversion," OFC: Optical Fiber Conference Dig., Th3B.5, pp. Th3B.5-1-3, 2019.

[2] V. Ryzhii, D.S. Ponomarev, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Negative and positive terahertz and infrared photoconductivity in uncooled graphene," Opt. Mat. Exp., vol. 9, no. 2, pp. 585-597, 2019.

[3] D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenev, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, Y.G. Goncharov, M. Ryzhii, T. Otsuji, I.E. Spector, M. Shur, M. Skorobogatiy, K.I. Zaytsev, and D. Ponomarev, "Terahertz photoconductive emitter with dielectric-embedded high-aspect-ratio plasmonic grating for operation with low-power optical pumps," AIP Advances, vol. 9, pp. 015112-1-5, 2019.

[4] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, D.S. Ponomarev, V.E. Karasik, V.G .Leiman, V. Mitin and M.S. Shur, "Electrical modulation of terahertz radiation using graphene-phosphorene heterostructures," Semicond. Sci. Technol., vol. 33, pp. 124010-1-8, 2018.

[5] V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, V.G. Leiman, P.P. Maltsev, D.S. Ponomarev, V. Mitin, M.S Shur, and T. Otsuji, "Real-space-transfer mechanism of negative differential conductivity in gated graphene-phosphorene hybrid structures: Phenomenological heating model," J. Appl. Phys., vol. 124, pp. 114501-1-9, 2018.

[6] M. Suzuki, T. Hosotani, T. Otsuji, T. Suemitsu, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Coupling of 2D plasmons in grating-gate plasmonic THz detector to THz wave with lateral polarization," IRMMW-THz: the 43rd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Dig., Tu-A2-1a-2, 2018.

[7] S. Boubanga-Tombet, D. Yadav, W. Knap, V.V. Popov, and T. Otsuji, "Graphene-channel-transistor terahertz amplifier," DRC: the 76th Annual Device Research Conference Dig., pp. 1-2, UCSB, CA, USA, 2018.

[8] S. Boubanga-Tombet, D. Yadav, W. Knap. V.V. Papov, and T. Otsuji, "Terahertz light amplification by current-driven plasmon instabilities in graphene," CLEO: Int. Conf. on Lasers and Electro-Optics Dig., SW4D.4, San Jose, CA, USA, 2018.

[9] V. Aleshkin, A. Dubinov, S. Morozov, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, M. Shur, and V. Ryzhii, "Interband infrared photodetectors based on HgTe-CdHgTe quantum-well heterostructures," Opt. Mat. Exp., vol. 8, no. 5, pp. 1349-1358, 2018.

[10] I. Gayduchenko, G. Fedorov, M. Moskotin, D. Yagodkin, S. Seliverstov, G. Gol'tsman, A. Kuntsevich, M. Rybin, E. Obraztsova, V. Leiman, M. Shur, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Manifestation of plasmonic response in the detection of sub-terahertz radiation by graphene based devices," Nanotechnology, vol. 29, pp. 245204-1-8, 2018.

量子光情報工学研究室

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

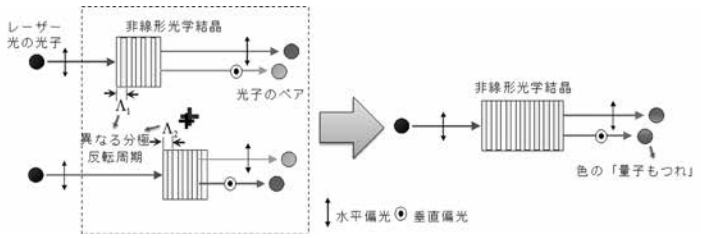


図 1. 周波数の量子もつれ光子発生方法概念図。複雑な光学系を必要とせず、高効率かつ安定な周波数の量子もつれの発生を可能とした。



図 2. 新開発した重力センサー。100 mg の物体が生成する重力を 1 秒で測定可能な性能を実現した。

量子光情報工学研究分野　　教　授　枝松 圭一
量子レーザー分光工学研究分野　准教授　三森 康義
量子ナノフォトニクス研究分野　准教授　Mark Sadgrove

＜研究室の目標＞

現在の情報処理・通信技術は，信号を電圧や周波数などの古典的でマクロな物理量に対応させて様々な処理を行っているが，近い将来，情報の高密度化と高速化に限界が訪れることが指摘されている。これに対し，個々の電子や光子などのミクロな量に情報を保持させ，量子力学の原理を直接応用することによって，従来の限界を打ち破る性能を持ちうる量子情報通信技術の実用化が強く期待されている。本研究室は，電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し，未来の量子情報通信の中核となる極限技術の開発に積極的に挑戦する。

＜ 2017 年度の主な成果＞

(1) 光の周波数（色）の量子もつれ発生に成功

２つの周期をもつ分極反転結晶にレーザー光を通すことにより，光の周波数（色）の量子もつれを有する光子の直接発生技術の実現に成功した（図１）。今後、光子の周波数を用いた大容量量子情報技術の実現に重要な役割を果たすことが期待される。

(2) 微小な重力の測定を可能とする小型低雑音重力センサーを開発

従来の限界よりも 3 桁軽い 100 mg の物体が生成する微小重力を 1 秒で測定可能な低雑音の重力センサーを実現した（図２）。今後、重力の量子的な性質を明らかにする新たな研究分野の創成が期待される。

(3) 半導体量子ドット，量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し，半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究している。本年度は半導体中の不純物中心に局在している励起子が関与する局所電場効果の観測に成功し、励起子共鳴エネルギーが励起光強度に依存することを初めて検証した。

(4) ナノ光ファイバを用いた単一光子光源の開発

ナノ光ファイバを用いた単一光子光源，およびナノフォトニクスデバイスとナノ粒子の結合と制御を目指した研究を行っている。本年度は，ナノ光ファイバに複数の金ナノ粒子を付着した系における光のキラル偏光特性を観測した。また，水中のナノ光ファイバ近傍へのナノ・マイクロ粒子の捕捉，輸送の観測に成功した。

＜職員名＞

教授　　枝松圭一（2003 年より）
准教授　三森康義（2011 年より）
准教授　Mark Sadgrove（2015 年より）
助教　　松本伸之（学際科学フロンティア研究所，2015 年より）
助教　　金田文寛（学際科学フロンティア研究所，2018 年より）
助教　　BAEK, Soyoung（2018 年より）
事務補佐員　渋谷美奈子

＜プロフィール＞

枝松　圭一　1987 年東北大学大学院理学研究科博士課程修了，東北大学工学部助手，California Institute of Technology 客員研究員，東北大学大学院工学研究科助教授，大阪大学大学院基礎工学研究科助教授，2003 年 1 月より現職

三森　康義　1998 年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了，日本学術振興会特別研究員，NTT 基礎研究所研究員，東京工業大学大学院非常勤講師，独立行政法人通信総合研究所専攻研究員，東北大学電気通信研究所助教，2011 年 7 月より現職

Mark Sadgrove　2006 年オークランド大学（ニュージーランド）Ph.D 修了，電気通信大学レーザー新世代研究センター博士研究員，学習院大学理学部博士研究員，電気通信大学フォトニックイノベーション研究センター特任助教，2015 年 4 月より現職

＜ 2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Y.Mitsumori, S.Watanabe,K.Asakura,K.Seki, K.Edamatsu,K.Akahane,and N.Yamamoto, “Effect of the depolarization field on coherent optical properties in semiconductor quantum dots”, Phys. Rev. B **97**, 235305 (2018)

[2] F.Kaneda,H.Suzuki,R.Shimizu, and K.Edamatsu,“Direct generation of frequency-bin entangled photons via two- period quasi-phase-matched parametric downconversion”, Opt. Exp. **27**,001416(2019)

[3] N.Matsumoto,S.B.Cataño-Lopez,M.Sugawara,S.Suzuki,N.Abe,K.Komori,Y.Michimura,Y.Aso,and K.Edamatsu,“Demonstration of Displacement Sensing of a mg-Scale Pendulum for mm- and mg- Scale Gravity Measurements”,Phys.Rev.Lett.**122**.071101(2019)

[4] 枝松圭一，「単一光子と量子もつれ光子−量子光学と量子光技術の基礎−」，共立出版，ISBN 978-4-320-03539-3 (2018)

３．３　人間情報システム研究部門の目標と成果

情報通信システムの高度化のためには，人間の情報処理過程の仕組みの解明とその応用，いつでも・どこでも通信できる環境の実現が重要である．本部門は，生体情報生成の解明，音声・視覚を中心とした人間情報処理過程の解明を進め，情報通信環境の最適化を行うことにより，人間によりフレンドリーな高度情報通信システムを実現することを目標としている．

この目標をより確実に達成するため，昨年度に組織変更を行い，6 分野体制に強化して研究を進めている：(1) 生体と情報通信環境について有用な情報の創成と制御システム実現を目指す生体電磁情報研究分野，(2) 聴覚認識情報処理過程の解明と高次音環境及びマルチモーダル情報の認識・符号化・提示システムの研究開発を行う先端音情報システム研究分野，(3) 視覚を中心とした脳の情報処理機構の解明と視環境・情報環境評価などの応用的展開の研究を行う高次視覚情報システム研究分野，(4) インタラクティブコンテンツの技術開発を進める情報コンテンツ研究分野，(5) 生物のようにしなやかかつタフに実世界環境に適応可能なシステムの設計原理の理解を目指す実世界コンピューティング研究分野，(6)微細加工技術とバイオ材料との融合により新機能バイオ情報デバイスの創成を目指すナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野，(7) 五感すべての情報を扱うために必要な基盤的研究を行う多感覚情報統合認知システム研究分野．
2018 年度の各分野の研究目標と成果の概要を以下に示す．

(1) 生体電磁情報研究分野

(目標)磁気的微細構造を制御した磁性体を利用し，磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで，生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立，ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行した．
(成果)超高感度センシングシステムに関して，磁歪の逆効果を検出原理とする超高感度ひずみセンサを動的に活用した微少振動計測システムを実現するとともに高性能化を行い，市販の加速度センサに比べて極めて感度の高いセンサシステムを構築した．高周波磁界計測に関して，磁性ガーネットを用い，プローブ部分から金属を排した新たな手法で 6GHz までの高周波磁界計測可能であることを実証するとともに，実用化を目指した可搬型装置をメーカーと共同で開発し，市販化に向けた検討を行なっている．新機能磁性材料の開発においては，磁性ナノ粒子を利用した新しい構造を持つ磁性材料の開発を行い，次世代磁石として期待される高い保磁力を持つ材料の合成技術を確立した．

(2) 先端音情報システム研究分野

（目標）ヒトの最重要情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程と，聴覚を含む複合感覚情報処理過程を明らかにするとともに，その知見を応用して，臨場感あふれる音響通信システムやユーザインターフェイス等の開発を行っている．

（成果）本年度は，聴覚的注意のメカニズムについて様々な視点で研究を進めた．その結果，聴覚的注意における時間的手掛かりと空間的手掛かりの寄与度が定量的に明らかになったほか，特に身体近傍空間において距離方向における空間的注意がターゲットの検出に寄与することが実験的に示された．さらに，得られた知見を応用した聴覚情報処理障害の早期診断法についても診断法の妥当性を評価した．
一方，ディジタル信号処理に基づいた 3 次元音空間制御法に関する研究も精力的に行った．ウェーブレットと用いて，バイノーラル収音・再生技術の基盤となる頭部伝達関数の局所的な特徴を効率的に表現する方法を提案したほか，球面調和関数に基づく音場共有型 3 次元音空間合成技術を提案し，実際にスピーカアレイを用いて合成した音場の合成精度の検証を行った．

(3) 高次視覚情報システム研究分野

（目標）人間の視覚に関する脳内の情報処理機構を解明する事により，人間に適した視環境・情報環境の設計や，情報機器の評価などの応用的展開を目標として研究を行っている．
（成果）2018 年度は，以下の成果を得た．1）直接見ることができない背後情報も無意識に学習し、処理していることを明らかにした。文脈手がかり効果という視覚探索を利用した、空間配置の無意識学習の実験を、３６０度視野の刺激に対して行い、自身を取り巻く環境にある物体配置を無意識に学習していることを示した。被験者が身体、頭、視線を移動して探索することから、行動を介した視覚処理により視野に制限されない周囲の理解する機能として重要である。２）３次元の回転運動する物体による、方位誘導効果という新規の錯視を発見した。これは、CG の頭部が左右に回転するとき、正面を向いた条件で他の顔と入れ替えると、その顔が、運動方向にずれて見えるものである。この現象は顔に限らず、正面が決まる（方向がある）対象であれば生じることから、物体の方向変化を物体認識と独立に処理する視覚処理があることを示唆する興味深い現象と言える。

(4) 情報コンテンツ研究分野

（目標）コンピュータで直接扱えるようにデジタル化されているものだけでなく，身の回りのあらゆるものをコンテンツと捉え，これらを活用して人々が快適に，または効率的・直感的に作業をしたり，円滑かつ豊かなコミュニケーションができるようにするために，人と空間（およびその構成物）のインタラクションを考慮して，インタラクティブコンテンツに関する研究に取り組む．
（成果） 本年度は，ドローン操縦インタフェースの拡張を目的として，空間的に連動する 2 台のドローンを利用してドローン操縦を拡張するインタフェースを提案した．主たるドローンに加えて，空間連携する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで，パイロットの空間把握と操縦を大幅に改善することができた．また，これまでより，人と空間とコンテンツの関係性を調べるため，様々なセンサデバイス，壁面や床ディスプレイ，自律移動ディスプレイ等によって構成される空間を試作しているが，本年度では，タスクに応じて自律的に変形が可能なテーブル型ディスプレイ開発し，身体的に最適な作業空間構築技術について検討を進めた．さらに，バーチャルリアリティにおける体験をより強化するために，跳躍動作中の感覚を疑似的に制御できる手法と，ブロックのメタファを用いたバーチャル世界構築インタフェースを研究開発した．その他，本研究室で開発中の磁気式モーショントラッキングシステムにおけるマーカ位置計算の初期値取得課題を解決するアルゴリズムを開発した．

(5) 実世界コンピューティング研究分野

（目標）生物が示すしなやかかつレジリアントな振る舞いに内在する適応能力の発現原理の解明，ならびにその人工物システムへの実装方策の構築を目指す.
（成果）2018 年度の主たる研究成果は以下の通りである:（1）ムカデが示す足並みの粗密波の伝搬方向の遷移や，歩行・遊泳間の運動パターンの遷移のメカニズムを，行動観察実験に基づく数理モデリングにより明らかにした.（2）四脚動物などが示す胴体−脚間の相互作用（胴体のピッチ・ヨー軸方向の運動と脚運動の連関）について，ミニマルモデルを構築し，検証用の実機プラットフォームを開発した.（3）ヘビやヤツメウナギなどが示す蛇行運動について，以前に提案した手応え制御則を改良し，稼働環境を拡幅化することに成功した.（4）五放射相称の身体構造を有するクモヒトデの進行方向の決定メカニズムを,周口神経環を部分的に切断した行動実験に基づく数理モデリングにより明らかにした.

(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野

（目標）ナノテクノロジーとバイオマテリアルや有機材料との融合により固体チップ上に多様な生体機能を再構成し，これらに基づく種々の電子・イオンデバイスを開発し，健康社会のための新技術として展開することを目指している.
（成果）本年度は，人工細胞膜デバイス化に向けて最大の課題となっている膜の脆弱性の問題に取り組み，膜保持体となるシリコンチップの表面化学修飾について検討し，チップ表面を両疎媒性に化学修飾することにより脂質二分子膜の安定化に成功した．さらに，薬物副作用のリスク評価において最も重要な hERG チャネルを対象に，この安定化脂質二分子膜への包埋を試み，シリコンチップ中での薬物副作用の検出に成功した．また，神経回路網における構造機能相関を実験・数理モデルの両面から系統的に解析し，同期と非同期状態が混在した複雑な時空間ダイナミクスを安定に保持するうえで，神経回路におけるモジュール構造が果たす役割を明らかにした．この他，有機半導体共存下での脂質分子の自己組織化を行い，有機半導体分子ー脂質二分子膜ハイブリッドを形成することにより，水中で動作する高感度な光応答デバイスを構築した.

(7)多感覚情報統合認知システム研究分野

（目標）電気通信研究所設置当初から続く音情報、聴覚関連研究分野および平成 16 年度の改組で設置された視覚に関する研究分野に加えて、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感すべての情報を扱うために必要な基盤的研究を行う本研究分野を設置することで、今後多感覚化が進むことが予想される情報通信分野を牽引し、発展に大きく貢献することを目指す。
（成果） 2018 年度は、モニタ上に提示された人物の印象が嗅覚情報によって変容すること、視覚的に提示されたブランド情報が嗅覚や味覚の知覚に影響を及ぼすこと、食物知覚における食感（口腔内触覚、運動感覚）の役割、食物の持つ色情報が味覚や嗅覚と相互作用を示すことなどに関する実験を行った。また、並行して、視覚情報と運動情報の間にミスマッチが生じたときの脳応答の計測や、選択する行動あるいは選択したという意識が感覚に影響を与える効果など、従来行ってきた受動的な感覚・知覚の研究に加えて、人の意図や意思などを組み込んだ能動的な感覚・知覚に関する研究を開始した。

生体電磁情報研究室

生体との良好なコミュニケーションを目指して

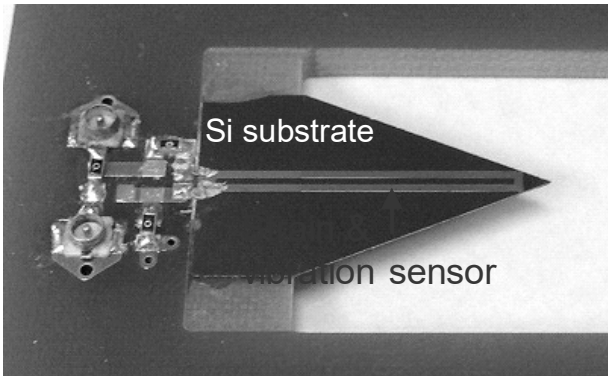


図 1 逆磁歪効果を利用した磁性薄膜型高感度ひずみ&振動センサ素子

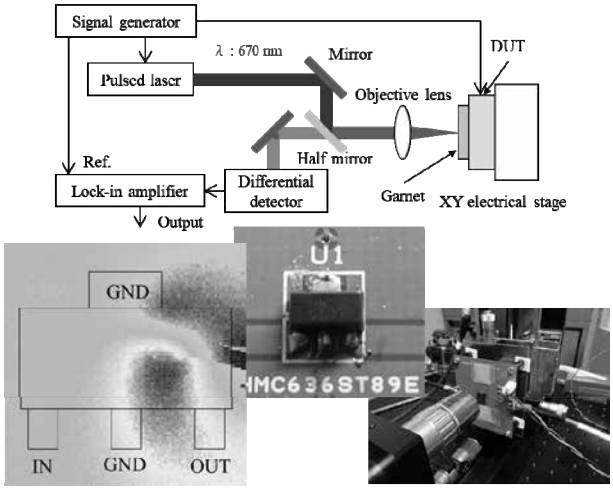


図 2 磁気光学結晶プローブとパルスレーザを用いた高周波磁界分布計測システム

生体電磁情報研究分野　教　授　石山　和志
生体電磁材料研究分野　准教授　杤　修一郎

＜研究室の目標＞

磁気的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサおよびシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行する。これらの研究を通じて、生体の発する情報を受け取る技術ならびに生体に対して働きかけを行う技術の確立を目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　高感度ひずみセンサを用いた微小振動計測システムの開発に関する研究

磁性体の特徴の一つである磁歪効果と、本研究室で開発した磁気異方性の誘導技術を適用することで、磁性薄膜型高感度ひずみセンサ素子を実現した。また、開発した低ノイズの位相差検出回路との組み合わせにより、橋梁などの健全性診断に用いられる数十 Hz 以下の低振動周波数における微小振動が検知可能な高感度計測システムを実現した [1]。

２．　ワイヤレス磁気モーションキャプチャシステムに関する研究

LC 共振を利用した小型ワイヤレス磁気マーカの三次元位置を検出するモーションキャプチャシステムにおいて、磁気マーカの小型・薄型化を目的とした、積層型アモルファス磁性リボンの磁心材としての評価を行った。リボン材の磁気異方性誘導のための磁場中熱処理条件、積層数や積層法の最適化により、検出位置精度低下の抑制と磁気マーカの更なる小型化・薄型化を両立可能な指針が得られた。

３． 高周波磁界計測に関する研究

磁性ガーネットとパルスレーザを用いた、被測定磁界に対して低侵襲な高周波磁界測定システムの高性能化により、電子部品近傍から発生する高周波磁界分布の高感度計測を実現した。また、プローブ用磁性ガーネットについて評価を行い、さらなる高感度化に必要な磁気光学特性の指針を明らかにした。

４． 高感度磁界センサに関する研究

磁気異方性の誘導された軟磁性薄膜と高周波キャリア電流通電のための導体層を積層した、高周波キャリア型磁界センサ素子において、高感度化のための素子構造の最適化について、実験及び理論の両面から検討を行い、更なる高感度化に向けた素子構造の設計指針が得られた[4]。

＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）
准教授　栃 修一郎（2010 年より）
助　教　林　禎彰　（2016 年より）

＜プロフィール＞

石山 和志　1986 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1988 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1988 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1993 年 1 月　博士(工学)学位取得。2003 年 1 月　同助教授。2003 年 4 月から 2005 年 3 月まで内閣府総合科学技術会議事務局参事官補佐(兼務)。2007 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。磁気工学ならびに磁気応用に関する研究開発に従事。電気学会優秀論文発表賞(1991)、原田研究奨励賞(1996)、Best Paper Award on International Conference on Ferrites (2000)、生体医工学シンポジウムベストリサーチアワード(2004)、日本応用磁気学会論文賞(2005)。

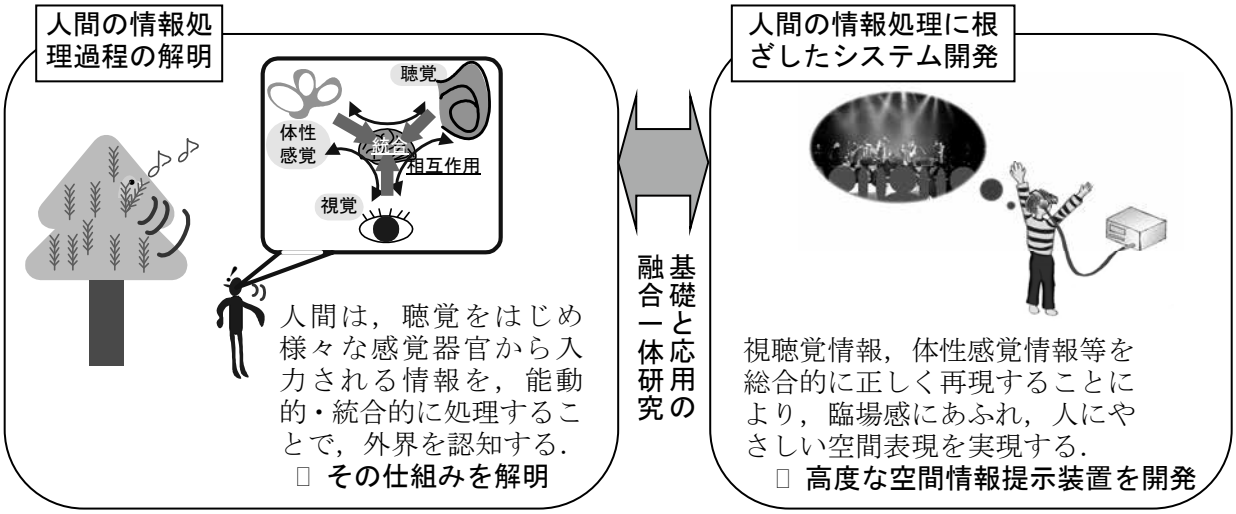
栃 修一郎　1990 年 3 月　琉球大学工学部電気工学科卒業。1992 年 3 月　同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992 年 4 月　本田技研工業（株）入社。1998 年 3 月　東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998 年 4 月　医薬品機構派遣研究員。2000 年 7 月　岐阜大学工学部助手。2007 年 4 月　同大工学部助教。2008 年 4 月　東北大学電気通信研究所助教。2010 年 6 月　同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] 久保結人，栃修一郎，横井甫，荒井薫，石山和志，「磁性薄膜の磁気歪みを利用した歪み・振動センサの開発」，電気学会論文誌 E, Vol. 138, No. 4, pp. 153-158 (2018).
[2] Jingyan Ma, Sho Muroga, Yasushi Endo, Shuichiro Hashi Hiroo Yokoyama Yoshiaki Hayashi, Kazushi Ishiyama, "Analysis of Magnetic Film-Type Noise Suppressor Integrated on Transmission Lines for On-Chip Crosstalk Evaluation," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 54, No. 6, 2800404 (2018).
[3] Shun Fujieda, Shimpei Asano, Shuichiro Hashi, Kazushi Ishiyama, Tsuguo Fukuda, Shigeru Suzuki, "Significant reduction in Young's modulus of Fe-Ga alloy single crystal by inverse magnetostrictive effect under tensile stress," Journal of Applied Physics, Vol. 124, 233901 (2018).
[4] Hiroo Yokoyama, Kosuke Kusunoki, Yoshiaki Hayashi, Shuichiro Hashi, Kazushi Ishiyama, "Magneto-impedance properties of thin-film type sensors using CoNbZr/SiO_2 multilayer films," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 478, pp. 38-42, (2019).

先端音情報システム研究室

高次音響情報通信システムの実現を目指して



本分野での研究テーマのイメージ図

先端音情報システム研究分野　教　授　鈴木　陽一
聴覚・複合感覚情報システム研究分野　准教授　坂本　修一

＜研究室の目標＞

本分野の研究目標は，人間の知覚情報処理系の中で最重要な情報処理過程の一つである“聴覚”における情報処理過程を明らかにすることである．さらに，聴覚情報と視覚・体性感覚情報とのマルチモーダル処理過程についても研究を行っている．これらの知見を応用し，高度な音響情報通信システムやユーザインターフェース，さらには臨場感にあふれ快適な3次元音空間表現を実現する．

＜2018 年度の主な成果＞

１．　聴覚および聴覚を含むマルチモーダル感覚情報処理過程の解明

人間は複数の感覚情報を統合並列処理することで外界をより安定・正確に認識している．本分野ではマルチモーダル感覚情報処理過程における聴覚情報の役割に着目して研究を進めている．2018年度は，自己運動中の音空間知覚に関する研究を引き続き精力的に進め多くの知見を得た．特に，水平方向の音像定位における自己回転運動と持続時間との関係を調べ，能動聴取により音像定位性能が改善される可能性のあること，また，ターゲット音の長さは音像定位精度にそれほど重要でないこと等を明らかにした［1].

２．　3 次元音空間認識と制御・再現手法の研究

3 次元音空間高精度収音・再生技術は，高臨場感など高次の感性情報に基づくコミュニケーションシステムを構築するうえで，重要な要素技術である．2018 年度は，球面調和関数に基づく音場収音再生技術において，収音環境と再生環境の各境界面の組み合わせに応じて最適な駆動信号を生成するためのマッチングフィルタに関する理論を提案した．この成果は，国際的学術誌に論文[2]として掲載された.

３． 聴覚・マルチモーダル空間の感性評価

人間の様々な感覚情報を用いた外界空間知覚過程の解明は，「その場にいるような」「リアル」な空間をバーチャルに提示する次世代通信システム開発の基盤となる．2018 年度は「その場にいるような感じ」を表す臨場感と「本物らしい」ことを表す迫真性の知覚様相の差異について，振動情報を含むマルチモーダルコンテンツを用いて検討を行い，音から作る振動によってもオリジナル振動と同様に高い高次感性評価が得られること，迫真性評価においてはオリジナル振動よりも高い印象評価が得られる場合のあることを示した．これらの成果については，推薦論文として学術誌に掲載された[3]．

＜職員名＞

教　授　　鈴木 陽一（1999 年より）
准教授　　坂本 修一（2011 年より）
助　教　　崔 正烈，トレビーニョ ホルヘ
特任助教　サルバドール ダニエル セザール
技術職員　齋藤 文孝
事務補佐員　小野寺 美紀，箕輪 牧子

＜プロフィール＞

鈴木　陽一　1976 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業．1981 年 3 月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了．工学博士．1981 年 4 月同電気通信研究所助手．同大型計算機センター助教授，同電気通信研究所助教授を経て．1999 年 8 月同教授，現在に至る．音の大きさおよび音色，騒音の評価，3 次元音空間知覚と制御，音信号のディジタル信号処理手法等，人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事．日本音響学会佐藤論文賞受賞（1992，1994，2017），日本音響学会会長（2005 年 5 月～2007 年 5 月），日本 VR 学会理事（2014 年 4 月～現在）．アメリカ音響学会フェロー．

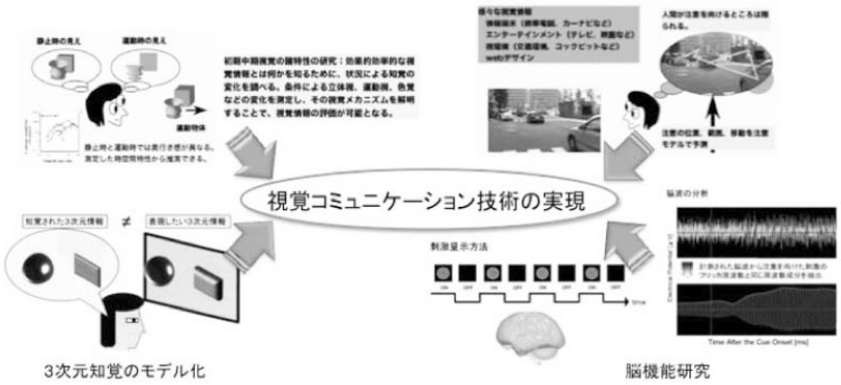
坂本　修一　1995 年 3 月　東北大学工学部情報工学科卒業．1997 年 3 月　同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士前期課程修了．2000 年 10 月　東北大学電気通信研究所助手，2011 年 7 月同准教授，現在に至る．この間，2004 年 3 月に東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士後期課程修了．2007 年　McGill University 客員研究員．聴覚を含む複数感覚情報処理過程の解明，および，その工学応用に関する研究に従事．日本音響学会粟屋潔学術奨励賞（2005 年），同佐藤論文賞受賞（2017）受賞．日本音響学会理事（2016 年 6 月～現在）

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Honda, S. Tsunokake, S. Sakamoto and Y. Suzuki , “Effects of listener's whole-body rotation and sound duration on horizontal sound localization,” Acoustical Science and Technology, 39(4), 305-307 (2018).
[2] C. D. Salvador, S. Sakamoto, J. Trevino and Y. Suzuki, “Boundary matching filters for spherical microphone and loudspeaker arrays,” IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 26(3), 461-474 (2018).
[3] 崔正烈，柳生寛幸，坂本修一，鈴木陽一，行場次朗, “多感覚コンテンツの音情報から生成した床振動の高次感性促進効果,” 情報処理学会誌, 59(11), 1986-1994 (2018).（推薦論文）
[4] S. Sakamoto, T. Miyashita, Z. Cui, M. Morimoto, Y. Suzuki and H. Sato, “Effects of inter-word pauses on speech intelligibility under long-path echo conditions,” Applied Acoustics, 140, 263-274 (2018).

高次視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



ものの見え方は様々な要因で変化し，画像や環境のどこを見るかで視覚情報の効果は変わる．それらを予測するためには，視覚の特性を理解しモデルを構築する必要がある。それらの研究に基づき，真の視覚コミュニケーションが実現できる．

高次視覚情報システム研究分野　教　授　塩入　諭
知覚脳機能研究分野　准教授　栗木　一郎
注意・学習研究分野　准教授　曽　加蕙

＜研究室の目標＞

人間の脳機能は，環境に柔軟に適応できるシステムによって実現されている．このような脳機能を知ることは，工学を含め我々を取り巻く環境のデザインや評価にとってもっとも重要な課題のひとつである．本研究分野では，脳機能について特に視覚系の働きの研究から探求し，その成果を情報通信における人間工学，画像工学などへ展開することを目的としている．人間の視覚特性を知るための心理物理学的実験を中心に脳機能測定やコンピュータビジョン的アプローチを利用して，視覚による立体認識，運動認識、色認識、注意や眼球運動による選択機構の研究を行っている．

＜2018 年度の主な成果＞

１．　後ろの視覚情報処理過程の発見

直接見ることができない背後情報も無意識に学習し、処理していることを明らかにした。文脈手がかり効果という視覚探索を利用した、空間配置の無意識学習の実験を、３６０度視野の刺激に対して行い、自身を取り巻く環境にある物体配置を無意識に学習していることを示した。被験者が身体、頭、視線を移動して探索することから、行動を介した視覚処理により視野に制限されない周囲の理解する機能として重要である。

方位誘導錯視の発見

３次元の回転運動する物体による、方位誘導錯視という新規の錯視を発見した。これは、CG の頭部が左右に回転するとき、正面を向いた条件で他の顔と入れ替えると、その顔が、運動方向にずれて見えるものである。実験では、頭部 CG 映像を 15 度の回転角で順次呈示して回転運動を知覚させ、正面向きの位置において、全く異なるマンガ顔を、±4 度の範囲で様々な向きで呈示した。

その結果、正面向きに見えるためには、頭部回転と 1-2 度程度逆方向に向いた条件で呈示する必要があることが示され、知覚される顔方向が頭部回転によって影響されることが明らかにされた。この現象は顔に限らず、正面が決まる（方向がある）対象であれば生じることから、物体の方向変化を物体認識と独立に処理する視覚処理があることを示唆し、物体の方向知覚の新しい知見として注目される。

＜職員名＞

教　授　塩入　諭（2005 年より）、准教授　栗木　一郎（2006 年より）、准教授　曽　加蕙（2016 年より）、助教　羽鳥　康裕（2018 年より）助教（兼任）金子沙永（2017 年より）、特任助教（兼任）佐藤好幸（2018 年より）、秘　書　今野　亜未

＜プロフィール＞

塩入　諭　1986 年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了．その後 1989 年 5 月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務．カナダより帰国後，1990 年 4 月まで ATR 視聴覚機構研究所で勤務．1991 年 5 月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手，助教授，同大学メディカルシステム工学科教授を経て，2005 年 3 月より東北大学電気通信研究所・教授．1988.5 Fight for Sight 賞受賞，1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞，1999.7 照明学会論文賞受賞，2000.5，映像情報メディア学会丹生高柳著述賞受賞，2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 SID International Symposium.

栗木　一郎　1996 年，東京工業大学大学院 総合理工学研究科 博士課程修了．その後，東京工業大学理工学部 像情報工学研究施設 助手，東京大学大学院 工学系研究科 計数工学専攻 助手，NTT コミュニケーション科学基礎研究所 研究員を経て，2006 年１月より東北大学 電気通信研究所 助教授（2007 年４月より准教授）．知覚と脳活動の対応に着目した視覚情報処理のメカニズムに関する研究に従事．また 2010 年４月から 2012 年３月まで JST 研究開発戦略センターに勤務（兼務）し，電子情報通信分野の俯瞰と研究開発戦略の立案に関与．1996 年８月照明学会論文賞，2001 年３月応用物理学会光学論文賞を受賞．

曽　加蕙　台湾国立大学で学士号および修士号を取得後，カリフォルニア大学アーバイン校にて博士号を取得．その後，米国ラトガース大学認知科学センター視覚研究室で博士研究員．多くのアジアの都市でコミュニティへの参加を促すために科学アウトリーチ活動を行っている．また，香港で乳児科学者プログラムと乳児研究施設の所長を務める．台湾と香港で大学教員を務めた後，2016 年より東北大学電気通信研究所准教授．

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Emoto, Y. Fang, S. Shioiri, (2019), Viewers' Susceptibility to Image Blurs in Watching Ultra-high-definition TV Correlates with Their Dynamic Visual Acuity, ITE Transactions on Media Technology and Applications 7 (2), 103-110

[2] S. Shioiri, K. Hashimoto, K. Matsumiya, I. Kuriki, S. He, (2018), Extracting the orientation of rotating objects without object identification: Object orientation induction, Journal of vision 18 (9), 17-17

[3] S. Shioiri, M. Kobayashi, K. Matsumiya, I. Kuriki, (2018), Spatial representations of the viewer’s surroundings, Scientific reports 8 (1), 7171

[4] Sun W, Li SX, Jiang Y, Xu X, Spruyt K, Zhu Q, Tseng CH, Jiang F. A community-based study of sleep and cognitive development in infants and toddlers. Journal of Clinical Sleep Medicine 2018;14(6):977–984.

[5] Tseng, C.H., Chow, H.M., Ma, Y.K. and Ding, J. (2018) Preverbal infants utilize cross-modal semantic congruency in artificial grammar acquisition, Scientific Report, 8:12707.

[6] Kuriki, I. (2018). A Novel Method of Color Appearance Simulation Using Achromatic Point Locus With Lightness Dependence. *I-Perception, 9*(2). Artn 2041669518761731

[7] Wang, H., Matsubara, K., Wada, Y., Tseng, C.H., Matsumiya, K., Kuriki, I. and Shioiri, S., The Evaluation of Images based on Human Preference with Convolutional Neural Networks, Asia-Pacific Conference on Vision 2018,

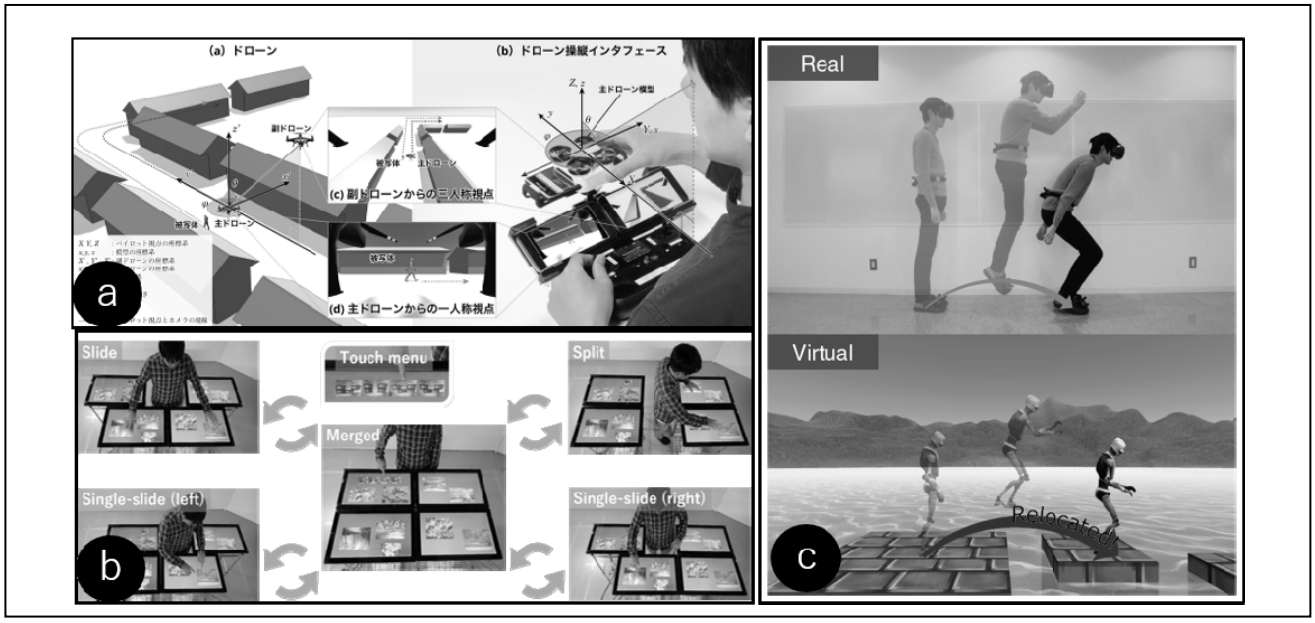
[8] Wu, W., Tseng, C.H., Matsumiya, K., Kuriki, K., and Shioiri,S., A pooling model based on inter-ocular velocity for human perception of motion direction in depth, Asia-Pacific Conference on Vision 2018,

[9] Shioiri, S., Zhu, B., Matsumiya, K., and Kuriki, I., Implicit learning of layout sequences, Asia-Pacific Conference on Vision 2018,

[10] Shioiri, S., Miura, T., Matsumiya, K., Kuriki, K., and Amano, K., Spatial spread of visual attention measured using Steady-State Visually Evoked Fields (SSVEF), ECVP 2018

情報コンテンツ研究室

インタラクティブコンテンツを実現する技術の研究開発



インタラクティブコンテンツ研究分野　教　授　北村 喜文
ヒューマンコンテンツインタラクション研究分野　准教授　高嶋 和毅

＜研究室の目標＞

コンピュータで直接扱えるようにデジタル化されているものだけでなく，身の回りのあらゆるものをコンテンツと捉え，これらを活用して人々が快適に，または効率的・直感的に作業をしたり，円滑かつ豊かなコミュニケーションができるようにするために，人と空間（およびその構成物）のインタラクションを考慮して，インタラクティブコンテンツに関する研究を進めています.

＜2018 年度の主な成果＞

１．　拡張ドローン操縦インタフェース

空間的に連動する 2 台のドローンを利用してドローン操縦を拡張するインタフェースを提案した[2]. 主たるドローンに加えて，空間連携する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで，パイロットの空間把握と操縦を大幅に改善することができた（図 a).

２．　動的・適応的ワークスペース

タスクに応じて自律的に変形が可能なテーブル型ディスプレイ開発し，身体的に最適な作業空間について検討を進めた．また，また自走式ディスプレイの物理的な動きを用いて（図 b)，コンテンツのアニメーションやインタラクションを強化する方法についても検討した[5] [6].

３．　VR/3D ユーザインタフェース

バーチャルリアリティにおける体験をより強化するために，本年度は，限られたキャプチャエリアで効果的な移動を実現する跳躍動作による疑似移動感覚提示手法[1]（図 c)，ブロックのメタファを用いたバーチャル世界構築インタフェースを発表した[3]. その他, 本研究室で開発中の磁気式

モーショントラッキングシステムにおける初期値取得課題をランダムフォレスト法による解決する方法について検討した[4].

＜職員名＞

教　授　北村 喜文
准教授　高嶋 和毅
助　教　藤田　和之

＜プロフィール＞

北村 喜文　1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年キヤノン株式会社情報システム研究所，1992 年 ATR 通信システム研究所，1997 年大阪大学大学院工学研究科助教授，2002 年同大学大学院情報科学研究科助教授／准教授．2010 年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る．博士（工学）．1997 年電子情報通信学会論文賞，2006 年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞などを受賞．国際会議 ACM SIGGRAPH Asia, CHI, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE などで Conference/Symposium Chair, Program Chair, Steering Committee, IFIP TC-13 日本代表，Japan ACM SIGCHI Chapter の Chair, ACM SIGCHI Asian Development Committee の日本代表および Chair, などを務めている．日本バーチャルリアリティ学会フェロー.

高嶋 和毅　2008 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了．同年大阪大学大学院国際公共政策研究科助教（兼任：情報科学研究科），2011 年東北大学電気通信研究所助教，2018 年東北大学電気通信研究所准教授，現在に至る．博士（情報科学）．2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞 DIS 2016 Honorable Mention Award, 2017 年情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文等を受賞.

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Daigo Hayashi, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Robert W. Lindeman and Yoshifumi Kitamura, Redirected Jumping: Imperceptibly Manipulating Jump Motions in Virtual Reality, Proc. of *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, 10 pages, March 2019.

[2] 天間 遼太郎, 高嶋 和毅, 末田 航, 北村 喜文, 藤田 和之, 空間連動する 2 つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張, 情報処理学会シンポジウムインタラクション, 102-111, 2019 年 3 月.

[3] Shotaro Ichikawa, Kazuki Takashima, Anthony Tang and Yoshifumi Kitamura, VR Safari Park: A Concept-based World Building Interface using Blocks and World Tree, Proc. of *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 6, 5page, November 2018.

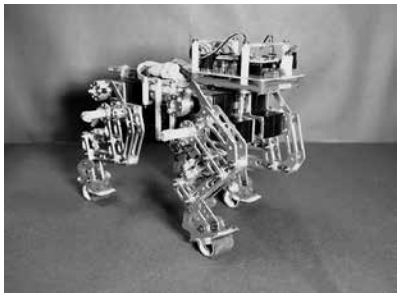
[4] Ryo Sugawara, Jiawei Huang, Kazuki Takashima, Taku Komura and Yoshifumi Kitamura, Random-Forest-Based Initializer for Solving Inverse Problem in 3D Motion Tracking Systems, Proc. *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 116, November 2018.

[5] Yuki Onishi, Yoshiki Kudo, Kazuki Takashima, Anthony Tang and Yoshifumi Kitamura, Living Wall Display: Physical Augmentation of Interactive Content Using an Autonomous Mobile Display, SIGGRAPH Asia Emerging Technologies, 15, December 2018.

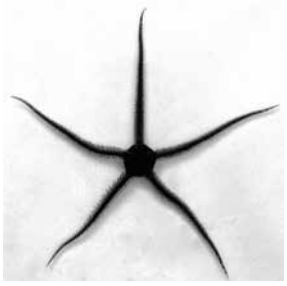
[6] Yoshiki Kudo, Kazuki Takashima, Morten Fjeld and Yoshifumi Kitamura, AdapTable: Extending Reach over Large Tabletops through Flexible Multi-Display Configuration, Proc. of *ACM Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, 213-225, November 2018.

実世界コンピューティング研究室

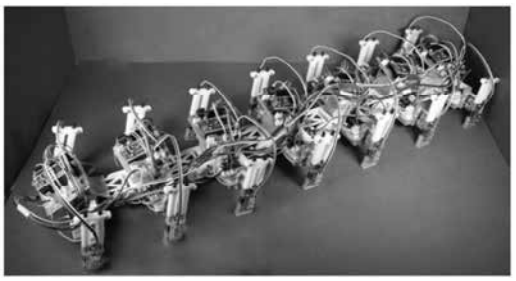
生き物のようにレジリアントな知能システムの創成



身体の支持と推進の手応えを活用する四脚ロボット



クモヒトデの腕間協調を司る周口神経環の機能解明



胴体の屈曲運動の活用により足並みを変化させるフナムシ型ロボット

実世界コンピューティング研究分野　教　授　石黒　章夫

＜研究室の目標＞

実世界コンピューティング研究室では，生物のようにしなやかかつタフに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解を目指した研究を進めている．その中核となる概念が「自律分散制御」である．自律分散制御とは，比較的単純な認知・判断・運動機能を持つ要素（自律個）が多数存在し，それらが相互作用することによって，個々の要素の単純性には帰着できないような非自明な大域的特性（機能）を自律個集団から創発させるという，「三人寄れば文殊の知恵」をまさに地でいくような制御方策である．本研究室では，ロボティクスや数理科学，生物学，物理学といったさまざまな学問領域を縦横無尽に行き来しながら，「ハードでリジッド」なシステムを基盤とする既存技術では決して達成し得ない，生物のような「しぶとさ」や「したたかさ」，「打たれ強さ」，「多芸多才さ」といった知を有する，「ソフトでウェット，コンティニュアム」な知的人工物システムの創成を目指す．

＜2018 年度の主な成果＞

１．　身体の支持と推進の手応えを活用する四脚ロボット

走行を得意とする四脚動物は，左右の足をスキップのように協調させるギャロップ走行や，左右の足を揃えて走るバウンド走行を好んで用いる．本研究では，これらの異なる高速歩容を生み出すメカニズムを明らかにするために，脚が担う役割である「身体の支持」と「身体の推進」に着目し，環境からの「手応え」に基づく脚間協調制御則を構築した．シミュレーションとロボット実機による検証の結果，異なる高速歩容の発現には身体支持と推進のバランスが重要であることが明らかとなった．本成果は，適応的かつ高速に移動可能な脚式ロボットの基盤技術となることが期待される．

２．クモヒトデの腕間協調を司る周口神経環の機能解明

クモヒトデは，脳のような中枢を持たない極めて単純な神経系しかもたないにも関わらず，状況に応じて５本の腕を巧みに協調させ，複雑な環境を進むことができる．本研究では，５本の腕を繋ぐ周口神経環と呼ばれるリング状の神経が腕間協調運動に与える影響を調べるため，様々なパターンにより周口神経環を切断し，クモヒトデの運動パターンを観察した．その結果，忌避刺激などに対する逃避行動において，神経環の接続を断たれた腕同士に明確な協調パターンが生じないことが明らかになった．このことから，クモヒトデが示す適応的な振る舞いを生み出す背後には，局所的な腕間の神経的なコミュニケーションの存在が示唆される．

３．胴体の屈曲運動の活用により足並みを変化させるフナムシロボット

等脚目であるフナムシは，外敵から逃避する際に，あたかもチーターのように胴体を背・腹側へ大きく屈曲し，高速に移動することができる．更に興味深いことに，左右の脚の協調関係は胴体の活用前後で大きく異なる．本研究では，脚と胴体との間の協調運動を生み出す自律分散制御則を構築し，開発したフナムシ型ロボットにより検証を行った．実機実験の結果，胴体の屈曲運動を引き金に足並みの変化が自発的に発現し，フナムシが示す速度に応じた足並みの変化の再現に成功した．これは，全身に備わる運動自由度を活用可能なロボット制御の基盤技術となることが期待される．

＜職員名＞

教　授　　石黒　章夫（2011 年より）
准教授　　加納　剛史（2016 年より）
助教　　福原　洸　（2018 年より）
秘　書　　才田　昌子（2011 年より）

＜プロフィール＞

石黒　章夫　1991 年 3 月　名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了（工学博士）. 1991 年 4 月　名古屋大学工学部助手．　1997 年 5 月　名古屋大学大学院工学研究科助教授．2006 年 4 月　東北大学大学院工学研究科教授．　2011 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授, 現在に至る. 生物規範ロボティクス，数理生物システム論に関する研究に従事. IEEE/RSJ IROS Best Paper Award（2004 年）, IEEE/RSJ IROS Best Paper Award Nomination Finalist（2003 年，2009 年）, Ig Nobel Prize（2008 年），IEEE/RSJ NTF Award Finalist for Entertainment Robots and Systems（2011 年），IEEE/RSJ JCTF Novel Technology Paper Award for Amusement Culture Finalist（2012 年），計測自動制御学会論文賞（2014 年），CLAWAR Association Best Technical Paper Award（2014 年），計測自動制御学会システム情報部門 Best Research Award（2014 年）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

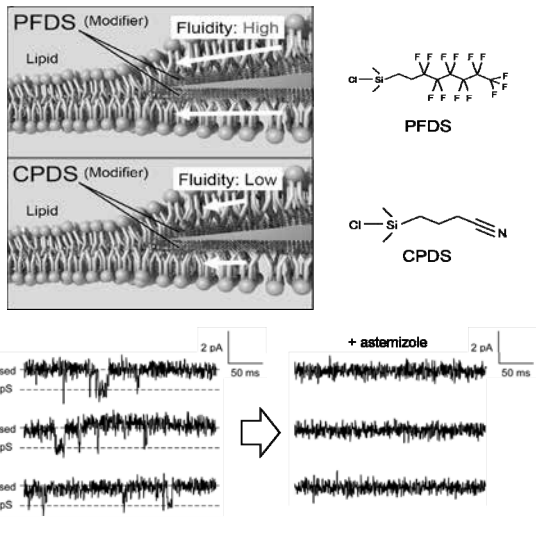
[１] A.Fukuhara, D. Owaki, T. Kano, R. Kobayashi, and A. Ishiguro, " Spontaneous gait transition to high-speed galloping by reconciliation between body support and propulsion,” in Advanced Robotics, vol. 32, 794-808, 2018

[２] E. G. Clark, D. Kanauchi, T. Kano, H. Aonuma, D. E. G. Briggs, and A. Ishiguro, " The function of the ophiuroid nerve ring: how a decentralized nervous system controls coordinated locomotion,” Journal of Experimental Biology, (2019) 222, jeb192104. doi:10.1242/jeb.192104

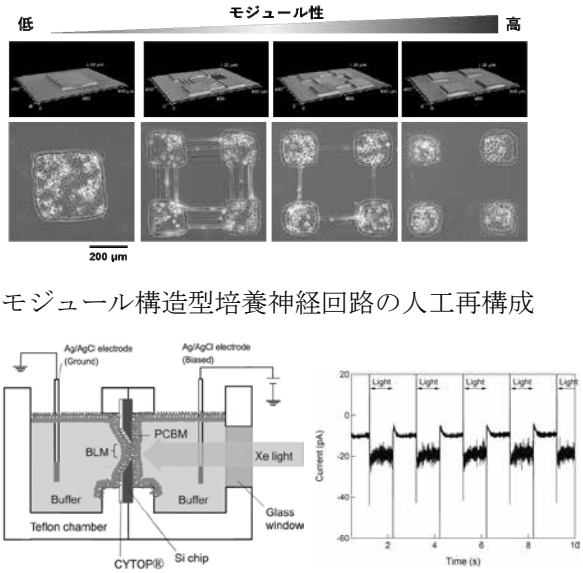
[３] T. Kano, Y. Ikeshita, A. Fukuhara, and A. Ishiguro, "Body-limb coordination mechanism underlying speed-dependent gait transitions in sea roaches," Scientific Reports, 9:2848(2019), doi: 10.1038/s41598-019-39862-3

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室

ナノテクノロジーとバイオ材料との融合による新機能デバイスの創出



保持体表面修飾による脂質膜の特性制御，及び hERG チャネルの包埋による薬物副作用の検出例



モジュール構造型培養神経回路の人工再構成

脂質二分子膜－有機半導体ハイブリッドデバイス

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野　教　授　平野 愛弓

＜研究室の目標＞

微細加工技術とバイオ・有機材料との融合により，高次情報処理を可能にする様々な分子デバイスの開発を目指す．半導体微細加工技術を薬物スクリーニング等に応用するバイオエレクトロニクスの研究や，有機材料に基づくデバイス開発，生きた細胞を使って神経回路を作り上げ，固体基板上に脳機能を再構成しようとする研究を進めている．これらのデバイスは情報通信システムと結合可能であり，健康社会のための新技術として実現することを目指している．

＜2018 年度の主な成果＞

１．　薬物副作用センサ開発のための自立型脂質二分子膜の安定性の向上

細胞膜を模して形成した自立型脂質二分子膜は，その安定性に課題があり，センサ開発のための大きな障壁となってきた．我々は，脂質二分子膜が周りの脂質単分子膜とシームレスに継がっていること，また，その単分子膜は表面修飾した基板上に保持されていることに着目し，基板表面の化学修飾により，自立した部分の脂質二分子膜の安定性の向上を試みた．その結果，基板表面が両疎媒性になるように化学修飾することにより，基板中の脂質二分子膜の安定性，特に機械的強度が向上することを見出した．両疎媒性表面では，その上に形成した脂質単分子膜の流動性が高くなり，脂質膜の流動性により機械的な衝撃が緩和されやすくなったためと考えられる．さらに，薬物副作用リスクの評価で最も重要なタンパク質である hERG チャネルを対象に，この安定化脂質二分子膜に包埋し，薬物副作用の検出に成功した．以上の成果を国際誌 Langmuir, **34**, 5615-5622 (2018). に発表した．

２． モジュール構造型培養神経回路の人工再構成

生体大脳皮質を特徴づけるネットワーク構造であるモジュール性に着目し，神経回路網における構造機能相関を実験・数理モデルの両面から系統的に解析した．その結果，同期と非同期状態が混在した複雑な時空間ダイナミクスを安定に保持するうえで，神経回路におけるモジュール構造が果たす役割などを明らかにすることができた．加えて，神経細胞の膜インピーダンスの細胞形態依存性の解析，さらには培養細胞と神経細胞モデルを機能的に結合したハイブリッド神経回路システムの構築も進め，これらの成果を Science Advances をはじめとする国際誌に発表した．

３． 脂質二分子膜－有機半導体ハイブリッドに基づく光応答デバイスの開発

半導体微細加工技術により作製したシリコンチップ上で，有機半導体共存下での脂質分子の自己組織化を行い，有機半導体分子－脂質二分子膜ハイブリッドを形成し，水中で動作する光センシングデバイスを構築した．厚さ数 nm の超薄膜である脂質二分子膜中では，有機分子周辺の電場が極めて大きく，デバイス中の有機半導体分子数が少ないにも拘らず，本デバイスは固体デバイスと同等の光感受性を示した．以上の成果を国際誌 J. Electroanal. Chem., **832**, 55-58 (2019). に発表した．

＜職員名＞

教　授　平野 愛弓
助　教　但木 大介
助　教　小宮 麻希

＜プロフィール＞

平野 愛弓　1998 年　東京大学大学院理学系研究科博士課程修了．博士（理学）．1998 年日本学術振興会特別研究員（PD），2001 年　日本大学文理学部助手，2003 年　日本学術振興会海外特別研究員，2005 年　英国国立医学研究所博士研究員，2006 年　東北大学電気通信研究所助手，2008 年同大大学院医工学研究科准教授，2016 年　同大電気通信研究所教授，現在に至る．微細加工技術に基づくに新機能バイオデバイスの開発に従事．所属学会は，応用物理学会，日本表面科学会，日本化学会，日本分析化学会，日本薬理学会．

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Ken-ichi Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, Ryusuke Miyata, Hideaki Yamamoto, Ryugo Tero, Masao Sakuraba, Toshio Ogino, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Amphiphobic septa enhance the mechanical stability of free-standing bilayer lipid membranes”, Langmuir, **34**, 5615-5622 (2018).

[2] Kazuki Ito, Yuta Ogawa, Keiji Yokota, Sachiko Matsumura, Tamiko Minamisawa, Kanako Suga, Kiyotaka Shiba, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Yuzuru Takamura, Toshio Ogino, “Host cell prediction of exosomes using morphological features on solid surfaces analyzed by machine learning”, J. Phys. Chem. B, **122**, 6224-6235 (2018).

[3] Hideaki Yamamoto, Satoshi Moriya, Katsuya Ide, Takeshi Hayakawa, Hisanao Akima, Shigeo Sato, Shigeru Kubota, Takashi Tanii, Michio Niwano, Sara Teller, Jordi Soriano, Ayumi Hirano-Iwata, “Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks”, Sci. Adv., **4**, eaau4914 (2018).

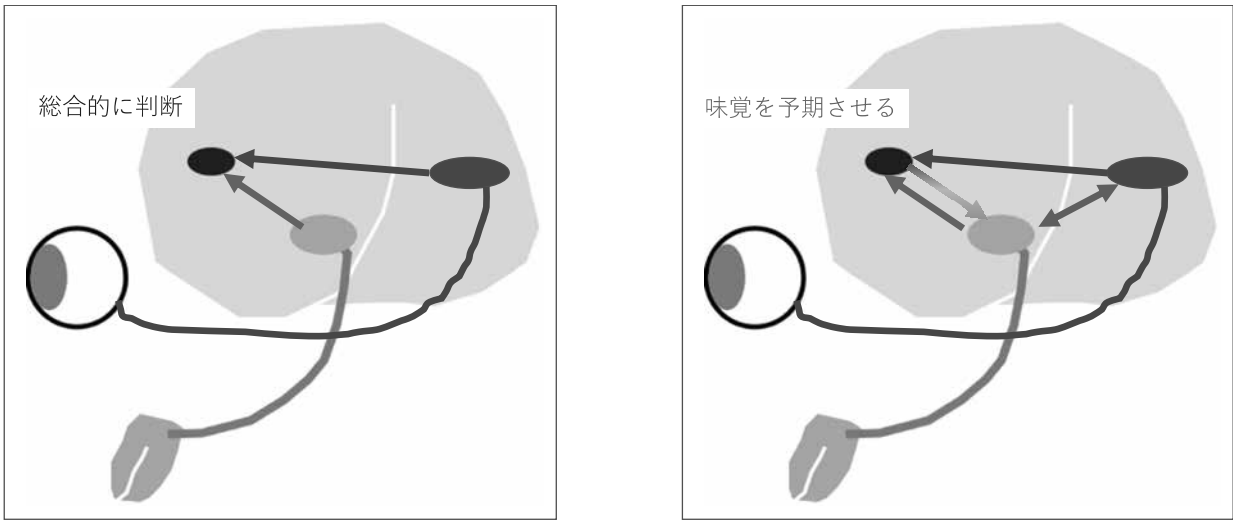
[4] Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Takeshi Hayakawa, Shutaro Katsurabayashi, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Dependence and homeostasis of membrane impedance on cell morphology in cultured hippocampal neurons”, Sci. Rep., **8**, 9905 (2018).

[5] Hideaki Yamamoto, Takeshi Hayakawa, Theoden I. Netoff, Ayumi Hirano-Iwata, “A single-cell based hybrid neuronal network configured by integration of cell micropatterning and dynamic patch-clamp”, Appl. Phys. Lett., **113**, 133703 (2018).

[6] Kensaku Kanomata, Takafumi Deguchi, Teng Ma, Takumi Haseyama, Masanori Miura, Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, Fumihiko Hirose, “Photomodulation of electrical conductivity of a PCBM-doped free-standing lipid bilayer in buffer solution”, J. Electroanal. Chem., **832**, 55-58 (2019).

多感覚情報統合認知システム研究室

食物認知を例に多感覚統合のメカニズムを探る



従来考えられてきたボトムアップ的判断　　本研究で採用するトップダウン的判断

食物認知における感覚情報処理とトップダウン判断の関係を示した模式図

多感覚情報統合認知システム研究分野　教　授　坂井　信之
多感覚情報統合認知システム研究分野　助　教　山本　浩輔

＜研究室の目標＞

味覚、嗅覚、口腔内化学感覚に視覚、聴覚を加えることで、食物を人がどのように受容し、認知しているかについて研究を進める。食物認知を五感統合の例として、その知識を応用することにより、多感覚統合に関する認知システムの研究を進める。本研究室の目標は今後多感覚化が進むことが予想される情報通信分野を牽引し、発展に大きく貢献することを目指すことである。

＜2018 年度の主な成果＞

2018 年度は、以下の成果を得た。

1 . 五感の統合による食物の知覚

柿の種を食べている時の食感（口腔内触覚、運動感覚）が、柿の種の評価にどのように関わるかということについて、官能評価学の方法を用いて明らかにした。また、食物の持つ色情報が味覚や嗅覚と相互作用を示すことなどに関する実験を行った。これらの研究から、食物の知覚・認知においては、従来中心的に行われてきた嗅覚や味覚以外にも多くの感覚が深く関与していることが明らかとなった。

２．人物・食物の認知における感覚の役割

モニタ上に提示された人物の印象が嗅覚情報によって変容することに関する研究から、人物の印象はその人から漂ってくる香りによって影響を強く受けることを心理学・脳科学的に明らかにした。また、視覚的に提示されたブランド情報がコーヒーの嗅覚や味覚の知覚に影響を及ぼすことを心理学的・官能評価学的に明らかにした。これらの結果は人物や食物の認知において、これまであまり触れられてこなかった周辺関連（文脈）情報が、大きな役割を果たしており、その文脈情報が中心的な感覚情報にトップダウン的に影響を与えていることを示している。

３．人間の行動と感覚情報の相互作用性

視覚情報と運動情報の間にミスマッチが生じたときの脳応答の計測や、選択する行動あるいは選択したという意識が感覚に影響を与える効果など、従来行ってきた受動的な感覚・知覚の研究に加えて、人の意図や意思などを組み込んだ能動的な感覚・知覚に関する研究を開始した。

＜職員名＞

教　授　坂井　信之（2018 年より）
助　教　山本　浩輔（2018 年より）

＜プロフィール＞

坂井　信之　1998 年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士（人間科学）。日本学術振興会特別研究員（広島修道大学）、科学技術振興事業団科学技術特別研究員（（独法）産業技術総合研究所）、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011 年 10 月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017 年 4 月同教授。2006 年におい・かおり環境協会学術賞、2009 年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013 年・2017 年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016 年・2018 年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014 年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016 年日本応用心理学会齊藤勇記念出版賞、2017 年平成 28 年度東北大学全学教育貢献賞

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Takuya Onuma, Hiroaki Maruyama, and Nobuyuki Sakai Enhancement of Saltiness Perception by Monosodium Glutamate Taste and Soy Sauce Odor: A Near-Infrared Spectroscopy Study. Chemical Senses, Volume 43, Issue 3, Pages 151–167 (2018)
[2] Takuya Onuma and Nobuyuki Sakai Fabric Softener Fragrances Modulate the Impression Toward Female Faces and Frontal Brain Activity. Japanese Psychological Research, 60(4), 276-287 (2018)
[3] Hiroshi Shibata, Takuya Onuma, Yasuhiro Takeshima, Yuwadee Penwannakul, and Nobuyuki Sakai Role of the Right Dorsolateral Prefrontal Cortex in the Cognitive Process of Matching Between Action and Visual Feedback. Japanese Psychological Research, 60(4), 288-299 (2018)
[4] 坂井信之・ペンナンワクル　ユワディー・大沼卓也 ブランド認知が美味しさ評定に及ぼす効果. 睡眠と科学, 30-31(1), 34-40 (2018)
[5] 山本浩輔・山道海路・竹井亮・鷲尾英明・坂井信之 柿の種のおいしさに寄与する食感：TDL 法による予備的検討. 日本味と匂学会誌　第 52 回大会 Proceeding 集, S17-S20 (2018)
[6] 坂井信之・安藤史織・宮澤利男 香りによるストレス緩和効果における香りを選択することの影響. 日本味と匂学会誌　第 52 回大会 Proceeding 集, S117-120 (2018)
[7] 大沼卓也・佐々木日佳莉・坂井信之 文脈刺激としての香りによる再任促進効果. 日本味と匂学会誌　第 52 回大会 Proceeding 集, S39-42 (2018)
[8] 坂井信之 五感の中心にある嗅覚 人間生活工学, 20(1), 5-8 (2019)
[9] 山本浩輔・丸山弘明・坂井信之食物の味に色が与える影響について. 日本色彩学会誌, 43(2), 103-106 (2019)

３．４　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果

システム･ソフトウェア研究部門は「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかもリアルタイムでコミュニケーションできるユビキタス環境の構築を目的としている。本部門は、2016 年度の改組により、通信とコンピュータを融合した高度なシステム・ソフトウェア・コンテンツに関して高信頼・高機能ソフトウェアの研究を行うソフトウェア構成研究室、新しいソフトウェアの基礎理論の研究を行うコンピューティング情報理論研究室、共生コンピューティングの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究室、安全な情報通信システムの研究を行う環境調和型セキュア情報システム研究室、脳型コンピュータハードウェアの研究を行うソフトコンピューティング集積システム研究室、ポストバイナリコンピューティングの研究を行う新概念 VLSI システム研究室の 6 基幹研究室と情報社会構造研究室（客員）から構成される。以下、基幹研究室における 2018 年度の研究活動成果の概要を述べる。

（１）ソフトウェア構成研究室

高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の確立、さらに基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指し、理論と実践の両面から研究を行ってきた。本年度の主要な成果は、新しい型理論である有限多相性(Finitary Polymorphism)の理論の構築である。多相型ラムダ計算における型抽象を明示的な有限型集合で制約する言語体系とその操作的意味論を構築し、型システムの健全性を確立した。さらに、この新しい型理論を基礎に多相型プログラミング言語の最適化方式を構築し、本研究分野で推進している次世代高信頼プログラミング言語 SML#に実装し、型抽象が８４％以上削減できるなど、実用的に有意義な結果であることを確認した。

（２）コンピューティング情報理論研究分野

ソフトウェアの効率的な開発やその動作の保証の理論的基盤となる複数の計算モデルや形式言語理論について研究を進めた。第一に、木構造データに対する再帰的計算の形式モデルである木トランスデューサについて、等価性判定アルゴリズムの実装を行い、その実用性を確認した。第二に、古典的な計算モデルである結合子論理について、関数合成子の特異な性質の部分的な解明に成功した。第三に、形式言語族の一つである高階言語について、その表現力の限界を示す反復補題の正しさを裏付ける重要な補助定理を証明した。

（３）コミュニケーションネットワーク研究室

人々の多様な活動を支える協調分散知識処理とその応用に係る以下の研究を推進した。すなわち、知的ネットワークに関する研究では、人間-エージェント集団コンセプトに基づくネットワーク管理者と管理システムの協働方式の設計とシステム試作・実験を通して提案手法の有用性を検証した。また、人間と情報システムの協働促進手法を提案し、教育・訓練を対象とした試作と実験により有効性を確認した、更に、エージェント型 IoT（AIoT）とその応用に関する研究では、多様な IoT デバイスを対象と

したエージェント化手法に基づく AIoT デバイス構築手法の実証実験を継続すると共に、AIoT ドローンを用いた災害時避難誘導の実験システムを構築し、フィールド実験により当該システムの有効性を実証した。

（４）環境調和型セキュア情報システム研究室

次世代情報通信技術の恩恵を誰もが安全に享受できる社会の実現を目指して、セキュア情報通信システムの基礎理論と実装技術の研究に取り組んでいる。本年度は、IoT 機器向けセキュリティコンピューティング技術として、物理攻撃耐性を有する世界最高速レベルの PRINCE 暗号ハードウェアの設計技術を開発した。また、ハードウェアから抽出されて個体識別や秘密鍵生成などに利用される物理複製困難関数の安定性と一様性を効率的に高める新たな手法を開発し、その有効性を理論と実験の両面から示した。さらに、組込みシステムに挿入され得る悪意のあるハードウェア（ハードウェアトロイ）を検知するための手法を考案し、同手法に基づくハードウェア機能評価技術を開発した。

（５）ソフトコンピューティング集積システム研究室

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフィックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度は、昨年度提案したカオスリザバーネットワークの性能や性質を、カオス時系列予測を通して解析した。さらに、大規模なカオス最適化ハードウェアのためのスイッチト・カレントカオスニューロン集積回路テストチップを、TSMC 65 nm CMOS プロセスにより試作した。また、高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用したストリーム暗号として、拡張 Lorenz 写像に基づく疑似乱数生成器の高速ハードウェア実装についての検討を行った。

（６）新概念 VLSI システム研究室

２値 CMOS ロジックで発展してきた従来型コンピューティングによる性能向上限界を打破するため、全く新しい視点に基づく新概念 VLSI コンピューティングパラダイムを拓く研究を行っている。本年度の主な成果は、まず、(1) IoT（Internet of Things）センサノード応用向け MTJ（Magnetic Tunnel Junction）ベース不揮発性マイクロコントローラユニット（MCU）の設計・試作を実施。不揮発性記憶＆不揮発性 FPGA とパワーゲーティング技術の活用により、無駄な消費電力を徹底的に排除した。その結果、考案した MCU では、超低消費電力性（50μW 以下）かつ高速性（200MHz 動作）の両立に成功した。また、(2)人間の視覚情報処理機能（第一次視覚野；Gabor フィルタ）を脳型向き演算である確率的演算（ストカスティック演算）方式で実現した。その結果、脳型物体認識アプリケーションの一つである HMAX において、従来のバイナリ演算方式に基づく実現と比較し、同等の演算精度と同等のスループットを保ちつつ、電力消費を 5%未満（従来比：1/20 未満）に低減することに成功した。上記を含め本年度の成果を、ISSCC や IEEE TVLSI など学術論文 9 編、査読付国際会議論文 9 編、招待講演 6 件（うち国際会議 4 件）にて報告した。

ソフトウェア構成研究室

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装

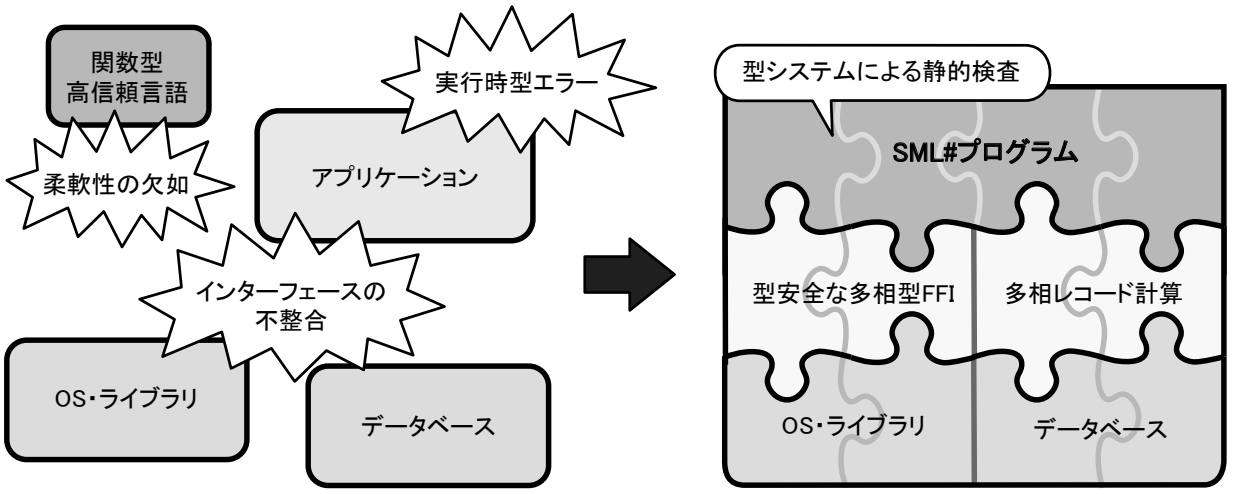


図１：SML#による高信頼言語と既存言語を統合した次世代プログラミング環境の実現

ソフトウェア構成研究分野 教　授　大堀 淳
高信頼ソフトウェア開発研究分野 准教授 上野雄大

＜研究室の目標＞

今実現しつつある高度情報化社会が、従来通りの信頼性と安全性を確保しながら発展していくためには、高信頼ソフトを効率よく構築する技術の確立が必須である。高信頼プログラミング言語の開発は、その中核をなす重要な課題である。そこで、当研究室では、高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の研究、さらに、基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指している。具体的には、これまでに我々の基礎研究によって得られたレコード多相性などの先端機能を装備した次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進めるとともに、より堅牢で信頼性の高いソフトウェア構築原理の確立を目指し、コンパイルの論理学的基礎の確立、低レベルコードの検証理論の構築、高信頼コンポーネントフレームワークのための型理論の構築などの基礎研究を進めている。

＜2018 年度の主な成果＞

１．SML#コンパイラの開発

SML#は、当研究室で設計・開発している高信頼プログラミング言語であり、 (1) 多相型レコード演算やランク１多相性等の先端機能を初めて実現、(2) C などの既存言語やデータベースなどのシステムとの高い相互運用性、(3) Standard ML と上位互換性、などを含む特徴を持つ。これらの特長および SML#コンパイラに含まれる諸機能は、我々の基礎研究成果によって可能となった最先端のものと評価されている。本年度は、項目２で報告する有限多相性の型理論に基づく多相関数のコ

ンパイルの最適化処理を実現し大部分の冗長な型抽象を取り除き、多相関数を含むプログラムのより高速実行を実現した。さらに、コードレベルのデバッグ環境の試作、および、昨年度開発した軽量超並列スレッドのための GC と実行時処理系のさらなる改良を行った。

２．有限多相性の型理論の提案およびそのコンパイラ最適化への応用.

SML#を含む多相型プログラミング言語は、多相型ラムダ計算の型理論を基礎とし、設計・実装がなされている。多相型ラムダ計算の基本である型抽象は、すべての型を含む型の無限集合を動く型変数を導入する。この機構により、簡潔な記述で強力な多相関数が定義可能となっている。しかし、この無限な多相性を基礎とする多相関数では、引数の型に関する情報が原理的に存在しないため、多相型の引数を含む式のコンパイルの最適化が困難である。この問題の解決の基本として、まず、型変数の可能なインスタンスの集合を明示した有限多相性（Finitary Polymorphism)の型理論を構築し、多相型ラムダ計算を有限多相性に基づく型抽象で洗練した体系を構築し、その操作的意味論を構築し、型システムの健全性を確立した。さらに、この有限多相性の型理論を基礎として、多相関数の最適化が可能な型主導コンパイル方式とその実装技術を開発し、SML#コンパイラに実装した。ベンチマークによる評価の結果、型抽象が８４％以上削減できるなど、実用的に有意義な結果であることが確認された。これら成果は、関数型言語のトップコンファレンス ACM ICFP 2018 にて発表された。

＜職員名＞

教　授　大堀 淳（2005 年より）
准教授　上野 雄大(2016 年より）

＜プロフィール＞

大堀 淳　１９５７年生．１９８１年東京大学文学部哲学科卒業．同年沖電気工業（株）入社．１９８９年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了．Ph. D．その後、英国王立協会特別研究員（グラスゴー大学)、沖電気工業（株）関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、２００５年４月より東北大学電気通信研究所教授．プログラミング言語およびデータベースの基礎研究に従事．１９９６年第１０回日本ＩＢM科学賞受賞.

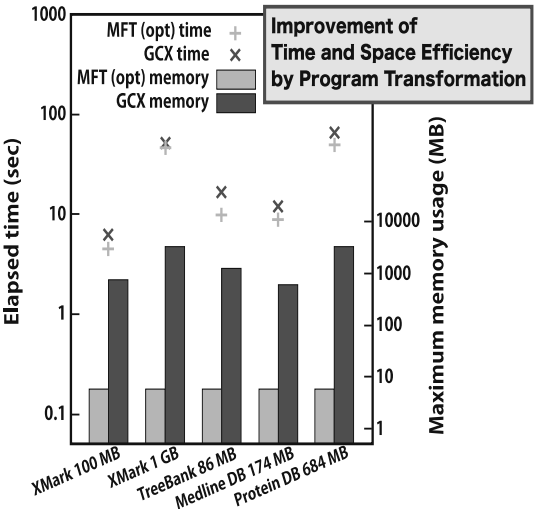
上野 雄大　１９８１年生．２００９年３月東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了．２００９年４月同大学電気通信研究所助教．２０１６年６月同准教授、現在に至る．プログラミング言語理論およびコンパイラ実装技術に関する研究に従事．日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞（２０１１年)、トーキン財団奨励賞受賞（２０１６年).

＜2018 年度の主な発表論文等＞

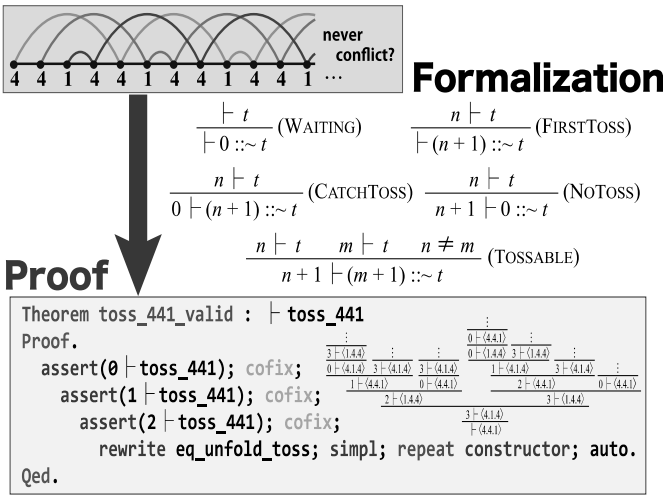
[1] 逢坂美冬, 上野雄大, 大堀淳: 部分動的レコードを活用した型付きテンプレートエンジンの実現, コンピュータソフトウェア, vol. 35, no, 3, pp. 3_79-3_95, 2018 年 7 月, DOI: https: 10.11309/jssst.35.3_79.
[2] Atsushi Ohori, Katsuhiro Ueno, Hisayuki Mima: Finitary Polymorphism for Optimizing Type-Directed Compilation, In Proceedings of the International Conference on Functional Programming (ICFP'18), 2018, DOI: 10.1145/3236776.
[3] 大野一樹, 上野雄大, 大堀淳: 関数型言語 SML#のためのコードレベルデバッグ 環境の実現方式, 情報処理学会論文誌プログラミング（PRO）, Vol. 11, No. 3, pp. 1-13, 2018 年 9 月

コンピューティング情報理論研究室

ヒトとコンピュータのギャップを埋める



プログラム変換による効率化



「ジャグリングの数学」の形式化

コンピューティング情報理論研究分野　教　授　中野 圭介

＜研究室の目標＞

プログラミングは人間が計算機に命令するための最も基本的な道具であるが、「人間にとっての考えやすさ」と「計算機にとっての処理のしやすさ」には大きな隔たりがある。人間の思考に沿ったプログラムは可読性が高いものの、必ずしも計算機が効率よく処理できるとは限らない．一方、計算機の処理方法を考慮してプログラムを記述すれば時間効率や空間効率を共に上げることができるが、プログラムとしては複雑になり、デバッグや仕様変更による改良も困難になる。本研究室では、このような「人間」と「計算機」の間のギャップを埋める研究を進めている。具体的な研究テーマは「プログラム変換」と「プログラム検証」である。「プログラム変換」は、人間の思考に合わせた可読性の高いプログラムから、計算機の処理方法を考慮した効率のよいプログラムを自動生成する研究で、「プログラム検証」は、効率のために複雑に記述されたプログラムについて、その動作が与えられた仕様に沿ったものであるかを自動検査する研究である。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　形式木言語理論によるプログラムの検証および性能の改善

形式木言語理論は木構造データの集合や変換を形式化したモデルを扱う理論であり、プログラム検証や効率化に応用できることが知られている。本年度は、二つの再帰的なプログラムが意味的に等しいかを判定する問題について、木構造変換の形式的モデルである木トランスデューサの等価性判定を応用して実装し、そのアルゴリズムの実用性の確認を行った [7]。また、木トランスデューサの合成を応用し、再帰的な関数の融合を実現した [6]。このほか、古典的な計算モデルである結合子論理の特異な性質について、形式木言語理論のアイデアにより解明に成功した [1]。

２． 定理証明支援系のための汎用的な補助プラグインの開発

プログラムの性質の証明を確実に行うためのツールとして定理証明支援系が盛んに利用されている。しかしながら、既存の定理証明支援系は人間にとって自明な性質でも複雑な証明を要求するため、実用性に欠けているという現状がある。本年度の成果 [2] では完備化アルゴリズムを利用することで等式の証明を容易にするプラグインを提供している。また、[4] では一般的に困難とされる余帰納的証明の自動化を補助するプラグインを実現した。

３． 関数型プログラミング言語の意味論と検証理論

関数型プログラミング言語の意味論やプログラムの検証を行う理論を研究している。論文 [3] では非決定計算や確率計算、量子計算などのある種の非決定性を備えたプログラミング言語の意味論を統一的な方法で与えた。高階関数プログラムの検証においては高階モデル検査が利用されているが、モデルとして高階木文法というものが使われており、論文 [8] では高階木文法に対する反復補題を 3 階まで示した。

＜職員名＞

教　授　中野 圭介（2018 年より）
助　教　浅田 和之

＜プロフィール＞

中野 圭介　1997 年東京大学理学部数学科中退。2003 年京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻数理解析系博士後期課程単位取得退学。東京大学大学院情報理工学系研究科産学官連携研究員、電気通信大学先端領域教育研究センター特任助教、同大大学院情報理工学研究科准教授を経て、2018 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。関数型プログラミング，形式言語理論，証明支援系に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会、ACM 各会員。博士（理学）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Ikebuchi and K. Nakano, “On Repetitive Application of B-terms”, Third International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2018), Oxford, UK, July 2018.

[2] M. Ikebuchi and K. Nakano, “ComplCoq: Rewrite Hint Construction with Completion Procedures”, The Coq Workshop 2018, Oxford, UK, 2018.

[3] T. Tsukada, K. Asada, and C.-H. L. Ong, “Species, Profunctors and Taylor Expansion Weighted by SMCC —A Unified Framework for Modelling Nondeterministic, Probabilistic and Quantum Programs—”, 33rd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2018), pp. 889-898, Oxford, UK, 2018.

[4] 小澤祐也、中野圭介、“定理証明支援系 Coq における余帰納的証明のガード条件の漸進的検査”、第 121 回プログラミング研究発表会、東京、2018 年 10 月.

[5] 高橋祐多、中野圭介、“木から文字列への決定性降下型変換器の早期化”、第 121 回プログラミング研究発表会、東京、2018 年 10 月.

[6] 阿部和敬、中野圭介、“高階木変換器を経由したマクロ木変換器の直接的融合”、第 121 回プログラミング研究発表会、東京、2018 年 10 月.

[7] 高橋祐多、中野圭介、“木から文字列への決定性トップダウン変換の等価性判定アルゴリズムの実用性について”、コンピュータソフトウェア、Vol. 35、No. 4、pp. 52-71、2018 年 11 月.

[8] K. Asada and N. Kobayashi, “Lambda-Definable Order-3 Tree Functions are Well-Quasi-Ordered”, 38th IARCS Annual Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2018), LIPIcs 122, 2018, pp. 14:1-14:15, Ahmedabad, India, December 2018.

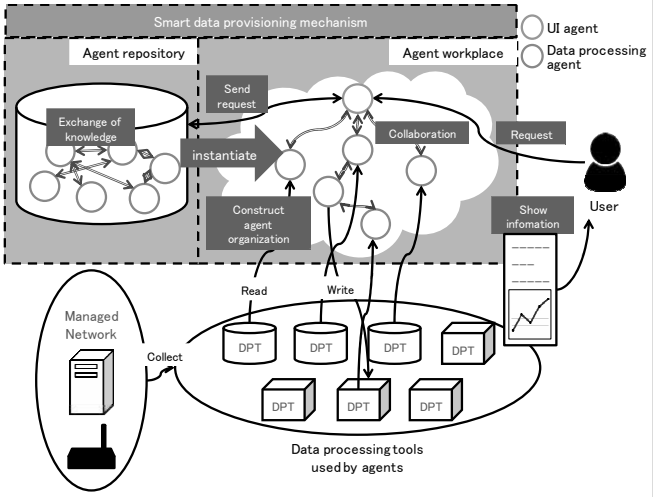
[9] 棚橋健人、中野圭介、“数値や文字列に対するガードを含む累積引数付き再帰関数の融合”、第 21 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL 2019)、花巻、2019 年 3 月.

[10] 高橋祐多、中野圭介、“ランク付き木から文字列への決定性ストリーム変換器の表現力”、第 21 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL 2019)、花巻、2019 年 3 月.

コミュニケーションネットワーク研究室

人間とシステムの協働とコミュニケーションの支援





インテリジェントコミュニケーション研究分野　教　授　木下 哲男
インテリジェントネットワーク研究分野　准教授　北形 元

＜研究室の目標＞

社会の隅々まで浸透してきた様々なネットワークシステム、及び、これらをもとに構築される各種システムは、人々の日常生活や仕事を支援し、新しいライフスタイルや社会を生み出す上で重要な役割を担うシステムとして期待されている。本研究室では、その実現に向けた基礎から応用に至る研究に取り組む。

＜2018 年度の主な成果＞

1. **エージェント型 IoT に関する研究**

センサ、アクチュエータ、携帯端末、家電、自走ロボットなどの通信機能を備えた仕様や用途の異なる IoT(Internet of Things)機器群とクラウド環境などから構成される IoT システムが外部環境の状況や変化に応じて利用者にサービスを提供するためのエージェントプラットフォーム、協調制御機構を提案した。試作システムを用いた実験により本機能の有効性を確認した（文献[4][5]）。

2. **エージェント型ネットワーク管理支援システムに関する研究**

ネットワークデータを収集・加工・可視化するツールをエージェント化し、ネットワーク管理者の要求に応じてそれらのツールを自律的に組み合わせることで、ネットワークデータの解析作業を支援する仕組みや、エージェントと人間が対話を通じて協働し、ネットワーク管理作業を促進する手法を提案し、初級管理者をエージェントにより支援することの有効性を示した。（文献[6][7]）。

3. 能動的な記憶断片を用いた想起支援に関する研究

近年、人々の日々の行動や経験をライフログとして記録することが容易となってきたが、多種多様な記憶断片、すなわち過去の体験を想起するライフログや電子ファイル等を利活用する仕組みは十分ではない。そこで、記憶断片に能動的情報資源(AIR: Active Information Resource)の概念を適用することで能動的な想起支援を行う手法を提案し、実験を通じその有効性を示した。（文献[1]）。

＜職員名＞

教　授　木下 哲男（2010 年より）
准教授　北形　 元（2012 年より）
助　教　高橋 秀幸（2011 年より）、笹井 一人（2012 年より）
事務補佐員　今野 亜未

＜プロフィール＞

木下 哲男　1979 年 3 月 東北大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 沖電気工業（株）入社。1996 年 8 月 東北大学電気通信研究所助教授。2001 年 4 月 同大情報シナジーセンター教授。2010 年 4 月 電気通信研究所教授。現在に至る。工博（1993 年 3 月・東北大学）。知識工学、エージェント工学、知識応用システム・エージェント応用システムなどの研究開発に従事。情報処理学会平成元年度研究賞 (1989 年)および平成 8 年度論文賞 (1997 年)、電子情報通信学会平成 13 年度業績賞 (2001 年)、東北総合通信局長表彰 (2004 年)、INTELEC2009 Outstanding Paper Award (2009 年)など受賞。電子情報通信学会および情報処理学会フェロー。

北形　元　2002 年 3 月 東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年 4 月、東北大学電気通信研究所助手。2007 年 5 月 同准教授。現在に至る。博士（情報科学）。エージェント指向コンピューティング、やわらかい情報システム、インテリジェントネットワークの研究に従事。平成 13 年度電子情報通信学会学術奨励賞。平成 18 年度 情報処理学会山下記念研究賞。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Kaho Takahashi, Takumi Kato, Tetsuo Kinoshita, "Memory Recall Support System Based on Active Acquisition and Accumulation of Memory Fragments," Big Data and Cognitive Computing, Vol.2, No.2, 12, May 2018.

[2] Goutam Chakraborty, Takuya Kamiyama, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "An Efficient Anomaly Detection in Quasi-Periodic Time Series Data—A Case Study with ECG," Time Series Analysis and Forecasting, pp.147-157, Oct. 2018.

[3] 今井信太郎, 今野翔太, 北形元, 新井義和, 猪股俊光, "災害時の間欠的アクセスを可能にする不揮発性ネットワークの設計と評価," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J101-B, No.05, pp.338-346, Jan. 2018.

[4] 菅原研次, 木下哲男, 顧優輝, "IoT アプリケーションを開発するためのエージェント指向技術," 知能と情報（日本知能情報ファジイ学会誌）, Vol.30, No.3, pp.148-156, June 2018.

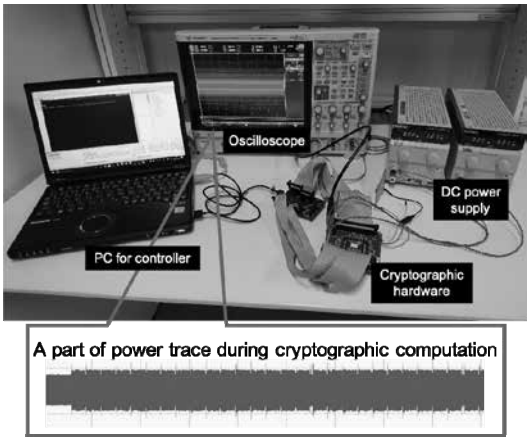
[5] Kenta Katayama, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kazuya Sugiyasu, Tetsuo Kinoshita, “Design and Implementation of Multiagent-based Evacuation Guidance Support System using UAVs,” Proc. of The 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST 2018), pp.196-201, Sep. 2018.

[6] Hiroshi Matsumura, Ryota Fukutani, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Agent-based Smart Data Provisioning Mechanism for Supporting Network and System Administration Tasks,” Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp.89-90, Oct. 2018.

[7] Kazuto Sasai, Takuya Hoshino, Ryota Fukutani, Tetsuo Kinoshita, “Collaboration mechanism between human administrators and agent-oriented network management systems,” Proc. of the First International Workshop on Practical Issues, Systems & Applications for Disaster Risk Reduction in Smart Computing in conjunction with the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), Feb. 2019.

環境調和型セキュア情報システム研究室

安心・安全な社会を支える情報セキュリティ技術の創出



セキュリティハードウェアの設計・検証とその安全性評価実験の様子



電磁波を介する情報セキュリティ技術の理論とその応用

環境調和型セキュア情報システム研究分野　教　授　本間 尚文
助　教　上野 嶺

＜研究室の目標＞

モノのインターネットに代表される次世代情報通信技術は、豊かな社会をもたらすと期待される一方で、新たなセキュリティ上の脅威を生じさせると危惧されている。本研究室では、将来のサービスやテクノロジを誰もが安全に利用できる社会システムを目的として、その基幹となる情報通信システムのセキュリティ設計・評価・検証技術の研究開発に取り組んでいる。特に、暗号等のセキュリティ機能を超高速・極低電力で行うLSIコンピューティング、各種攻撃に頑健なセキュア実装技術、利用環境・応用分野に応じたシステムセキュリティ設計技術に関する研究を中心に推進している。将来的には、膨大かつ多様な情報発生源（センサ端末などのハードウェア）のレベルからシステム実装、利用環境・応用分野まで考慮したセキュア情報通信システムの統一的な構築技術の確立を目指している。また、国内外の大学・企業・政府機関との連携により、上記の研究開発から得られた成果を積極的に社会実装していく。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　セキュリティハードウェアの設計・検証手法の開発

物理攻撃への耐性を有するセキュリティハードウェアの設計手法およびその機能とセキュリティプロパティの検証手法を開発している。2018 年度は、世界で最も広く利用される国際標準暗号AES-GCM や楕円曲線電子署名の実装に対し、消費電力の計測を利用した攻撃とそれらに対する対策を考案し、その有効性を実証した [1, 2]。また、主要なセキュリティ構成要素であるリング発振

器型乱数生成器に対して、その乱数性を著しく低下させるスペクトル解析を併用した電磁的周波数注入攻撃を発見し、その脅威を実験的に示した [4]。さらに、物理複製困難関数からハードウェア識別子を効率的に抽出する手法を開発し、高安全なハードウェア認証システムを実現した [6, 7]。

２． ハードウェアトロイの脅威の基礎評価および対策手法の開発

秘密情報の不正を目的として設計・製造段階で秘密裏に暗号ハードウェアに挿入されるバックドアであるハードウェアトロイの問題に取り組み、その対策手法の開発を行った。2018 年度は、希少活性パストロイと呼ばれる最新のハードウェアトロイに着目し、同トロイの脅威を網羅的実験により定量的に評価するとともに、同トロイの挿入を困難とするための回路設計手法を示した [5]。

３． 電磁情報セキュリティの安全性評価技術の開発

タブレットやスマートフォン、ノートパソコン等の携帯情報通信端末の画面情報が同端末から漏えいする電磁波によって遠隔で復元される電磁的盗視の問題に取り組み、その安全性評価を実施した。2018年度は、特に、タブレットからの放射電磁波による情報漏えいの評価手法を考案した [3]。

＜職員名＞

教　授　本間 尚文（2016 年より）
助　教　上野 嶺（2018 年より）

＜プロフィール＞

本間 尚文　1997 年 3 月　東北大学工学部情報工学科卒業。2001 年 9 月　同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。2001 年 10 月　同大学院助手／助教。2009 年 4 月　同大学院准教授。2016 年 6 月　同大電気通信研究所教授、現在に至る。博士（情報科学）。2009-2010 年／2016-2017 年　国立パリ高等情報通信大学客員教授。RIEC Award（2012 年）、IEEE EMC Best Symposium Paper Award（2013 年）、IACR CHES Best Paper Award（2014 年）、SCIS イノベーション論文賞（2014 年、2015 年）、日本学術振興会賞（2018 年）、市村学術賞（2018 年）、German Innovation Award（2018 年）など受賞。

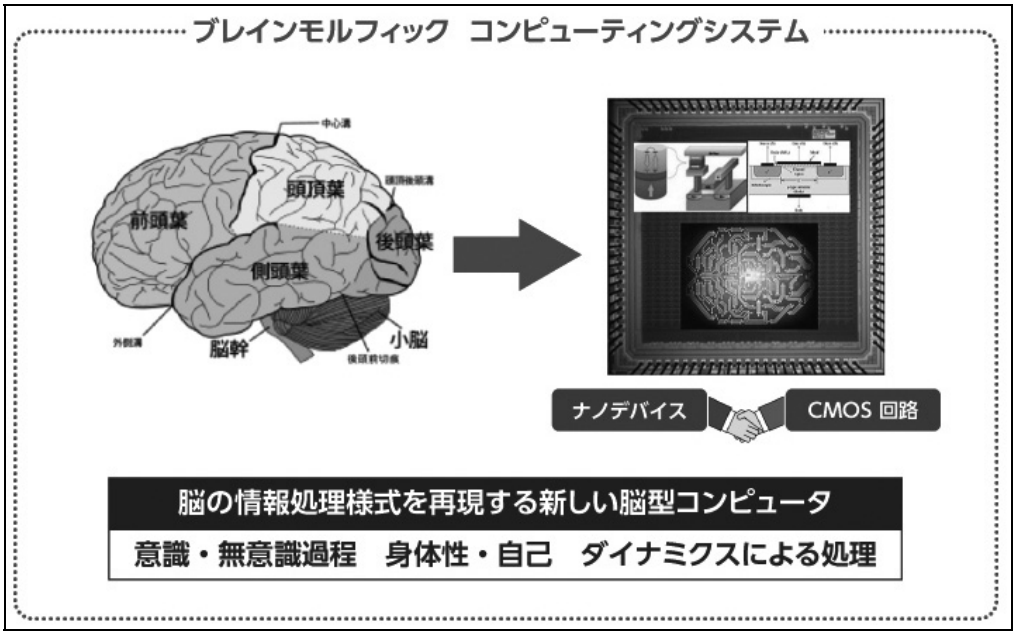
上野 嶺　2013 年 3 月　東北大学工学部情報知能システム総合学科卒業。2018 年 3 月　同大学院情報科学研究科情報基礎科学先行博士後期課程修了。2018 年 4 月　同大学電気通信研究所助教。2018 年 10 月国立研究開発法人科学技術振興機構さきがけ研究員兼任、現在に至る。Kenneth C. Smith Early Career Award in Microelectronics（2017 年）、暗号と情報セキュリティシンポジウム論文賞（2018 年）など受賞。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Kazuhiro Oshida *et al*., “On Masked Galois-Field Multiplication for Authenticated Encryption,” *International Workshop on Constructive Side-Channel Analysis and Secure Design*, pp. 44—60, Springer, April 2018.
[2] Kosuke Koiwa *et al*., “EM Security Analysis of Compact ECDSA Hardware,” *Joint IEEE EMC & APEMC Symposium*, Reviewed Abstract, pp. 12, May 2018.
[3] Ville Yli-Mäyry *et al*., “On the Evaluation of Electromagnetic Information Leakage from Mobile Device Screens,” *Joint IEEE EMC & APEMC Symposium*, pp. 1050—1052, May 2018.
[4] Saki Osuka *et al*., “EM Information Security Threats Against RO-Based TRNGs: The Frequency Injection Attack Based on IEMI and EM Information Leakage,” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Early Access.
[5] Akira Ito *et al*., “Characterizing Parallel Multipliers for Detecting Hardware Trojans,” *Journal of Applied Logics*, Vol. 5, Issue 9, pp. 1815—1831, 2018.
[6] Manami Suzuki *et al.*, “Efficient Fuzzy Extractors Based on Ternary Debiasing Method for Biased Physically Unclonable Functions,” *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, Vol 66., Issue 2, pp. 616—629, 2019.
[7] Rei Ueno *et al*., “Tackling Biased PUFs Through Biased Masking: A Debiasing Method for Efficient Fuzzy Extractor,” *IEEE Trans. Comput.*, Early Access.

ソフトコンピューティング集積システム研究室

ブレインモルフィックコンピューティングハードウェアの開発



ソフトコンピューティング集積システム研究分野　教　授　堀尾　喜彦

＜研究室の目標＞

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理装置である脳型コンピュータハードウェアの実現を目標とする。特に、脳が多数の神経細胞の複雑なネットワークであることに注目し、その生物物理的な高次元複雑ダイナミクス（プロセス）を、アナログ集積回路やデバイスのダイナミクスにより直接的に実装する。そのため、高次元カオス結合系や大規模複雑系集積回路、超低消費電力非同期ニューラルネットワーク集積回路、スピントロニクスデバイスによる不揮発シナプス回路など、脳型コンピュータハードウェア実現のための基盤・応用技術の開発を行っている。これにより、最新の脳科学の知見に基づいた「ブレインモルフィックコンピューティングパラダイム」の創成を目標とする。さらに、ダイナミックに状態や構成が変化する神経ネットワークや、embodiment の導入により、自己や意識を持つ自律的な脳型コンピュータの実現を目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

１．　脳・身体総合体コンピューティングの基礎研究

身体性の導入により、動的な内部状態と外部対象との相互作用により処理を行う、新しい脳型コンピュータパラダイム「脳・身体総合体コンピューティング」の構成についての具体的考察を行うと共に、その重要な構成要素である参照自己システムに適用可能な、昨年度提案したカオスニューラルネットワークリザバーの基本的な性能や性質をカオス時系列予測を通して検討・検証した。

２． ダイナミクス/アルゴリズム 無意識/意識 ハイブリッドコンピュータの開発と応用

高次元複雑アナログダイナミクスを超並列的な脳の無意識過程に、アルゴリズムによるデジタル演算を逐次的・論理的な意識過程に対応させ、さらにこれらを相互作用させた大規模なハイブリッド計算システムを実現するため、スイッチト・カレントカオスニューロン集積回路のテストチップを TSMC 65 nm CMOS プロセスにより試作した。

３． スピントロニクスシナプス学習に関する研究

スピン軌道トルクニューロンデバイスおよびシナプスデバイスを用いて、STDP スパイキングニューラルネットワークハードウェアを構築するための基礎的考察を行うと共に、基本性能を確認するためのネットワークおよび学習アーキテクチャについて重点的に調査・検討した。

４． 高次元カオスストリーム暗号に関する研究

高次元のカオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた乱数生成ハードウェアの構築方法について検討した。

＜職員名＞

教　授　堀尾 喜彦（2016 年より）

＜プロフィール＞

堀尾 喜彦　1982 年 3 月 慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1987 年 3 月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。1987 年 4 月 東京電機大学工学部助手。1991 年 4 月 同講師。1993 年 10 月 同助教授。2000 年 4 月 同教授。2016 年 4 月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。非線形アナログ集積回路、ニューラルネットワーク集積回路、複雑工学システムの研究に従事。安藤博記念学術奨励賞受賞（1990 年）、IEEE Myril B. Reed Award 受賞（1991 年）、NCSPB Best Paper Award 受賞（2005 年、2007 年、2008 年、2013 年）、IEEE NDES Best Paper Award 受賞（2005 年、 2007 年）、ICSI-ISIS Best Paper Award 受賞（2008 年）、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ特別功労賞受賞（2016 年）、電子情報通信学会フェロー（2018 年）。

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Horio, N. Ichinose, and M. Ogawa, "Experimental verification of quasi-periodic-orbit stabilization using a switched-capacitor chaotic neural network circuit," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 218-230, DOI: 10.1587/nolta.9.218, April 1, 2018.

[2] N. Ichinose, Y. Horio, and M. Ogawa, "Statistical test of quasiperiodicity in the presence of dynamical noise," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 231-242, DOI: 10.1587/nolta.9.231, April 1, 2018.

[3] Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in Understanding Complex Systems, V. In,P. Longhini. A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, 2019.

[4] Y. Horio, "Towards a brainmorphic computing paradigm and a brain/body whole organism computation system," in Proc. of RISP Int. Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 703-192, 2018.

[5] Y. Horio, "Brainmorphic computing hardware through gigh-dimensional complex dynamics," in Abstract Book of The 6th RIEC International Symposium on Brainware LSI, p. 16, 2019.

[6] Y. Horio, "Chaotic neural network reservoir and its application to brainmorphic computing hardware," in Abstract Book of The 7th RIEC International Symposium on Brain Fucntions and Brain Computer, p. S-1 2, 2019.

[7] 宮内清孝，堀尾喜彦，宮野尚哉，長憲一郎，「拡張 Lorenz 写像に基づく疑似乱数生成器のハードウェア実装に向けての考察」，電子情報通信学会総合大会講演論文集，N-1-31, p. 279, 2019.

[8] 堀尾喜彦,「ハードウェア意識を目指して」，電子情報通信学会総合大会講演論文集，NK-1-2, pp. SS-22 - SS-25, 2019.

[9] 堀尾喜彦,「ブレインモルフィックコンピューティングとエッジ AI ハードウェア」，電子情報通信学会技術報告，vol. 118, no. 242, CAS2018-42, pp. 31-32，2018.

[10] 田村祐樹，守谷 哲，加藤達暉，櫻庭政夫，堀尾喜彦，佐藤茂雄，「Izhikevich ニューロンモデル MOS 回路の提案」，電子情報通信学会技術報告，NC2018-60, p. 93，2019.

新概念 VLSI システム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

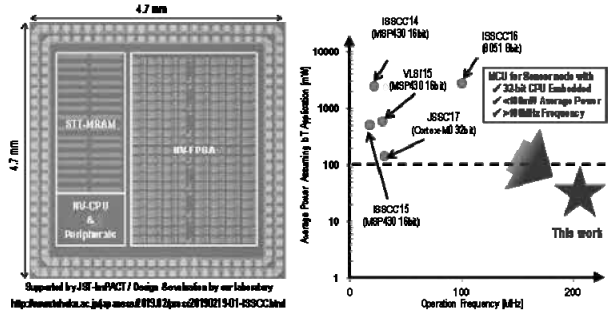


図1.超低消費電力(47.14μW)かつ高性能(200MHz)な動作を実現するIoTセンサノード向けMTJベース不揮発マイクロコントローラユニット.

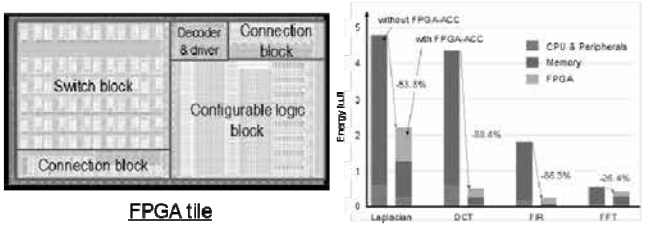


図2. 組込み不揮発FPGAとそのハードウェアアクセラレーションによる不揮発マイクロコントローラユニットの消費エネルギー削減効果.

新概念 VLSI システム研究分野　教　授　羽生 貴弘
新概念 VLSI デザイン研究分野　准教授　夏井 雅典

＜研究室の目標＞

現在の VLSI（Very Large Scale Integration）においては，素子間の配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネック，プロセス微細化に伴うリーク電流がもたらす消費電力の増大，および材料特性ばらつきに起因する信頼性の低下といった様々な要因がシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている．これらの問題を全く新しい視点から解決する新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現を目的とし，本研究室では，従来の延長上にはない新しい概念に基づく VLSI アーキテクチャに関する研究，すなわち不揮発記憶機能を有する新デバイスを演算回路に分散配置させることで高性能性・多機能性と高信頼性の両立を可能にする不揮発性ロジックインメモリ VLSI アーキテクチャ，脳機能を模倣することで人間的判断・意味理解を可能にする VLSI コンピューティングなど，高性能 VLSI プロセッサの実現に関する研究を行っている．

＜2018 年度の主な成果＞

１．超低消費電力・高性能不揮発マイクロコントローラユニットの開発（図 1，図 2）

IoT（Internet of Things）センサノード向け MTJ ベース不揮発マイクロコントローラユニットの設計を行った．搭載される全ての演算部をスピントロニクス素子技術によって不揮発化し，パワーゲーティング技術を細かい粒度で適用することによって無駄な消費電力を徹底的に排除するとともに，センサノード応用における様々な信号処理を高速に実行するための再構成型演算モジュール，および，演算部とメモリのデータ転送ボトルネックを緩和することでシステム全体の高速化を可能とするメモリコントローラを組み込むことで，超低消費電力（47.14μW）かつ高性能（200MHz）な動作を実現した．本成果は最先端集積回路技術に関する国際会議 ISSCC2019（2019 年 2 月）に採択・発表された．

２．確率的演算に基づく低消費電力脳型視覚処理ハードウェアの実現

人間の視覚情報処理機能（第一次視覚野；Gabor フィルタ）を脳型向き演算である確率的演算（ストカスティック演算）方式で実現した．確率的演算を用いることで，複雑な脳機能モデルを非常に

コンパクトなハードウェアで実現可能となった．その結果，脳型物体認識アプリケーションの一つである HMAX において，従来のバイナリ演算方式に基づく実現と比較し，同等の演算精度と同等のスループットを保ちつつ，電力消費を 5%未満（従来比：1/20 未満）に低減することに成功した．この研究成果は，分野最高峰の論文誌の一つである IEEE JETCAS(vol. 8, no. 3, pp. 444-453, Dec. 2018)に採録となった．

＜職員名＞ 注）学際科学フロンティア研究所に所属（メンター教授：羽生貴弘）

教　授　羽生 貴弘（2002 年 4 月より）　　准教授　夏井 雅典（2008 年 4 月より）
助　教　鬼沢 直哉（2013 年 12 月より）　　助　教　鈴木 大輔　（2014 年 4 月より）注)

＜プロフィール＞

羽生 貴弘　1984 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒．1989 年 3 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了．1989 年 4 月同大工学部助手．1993 年 2 月同大工学部助教授．2002 年 4 月同大電気通信研究所教授，現在に至る．不揮発性ロジック，電流モード非同期 NoC 技術とその応用に関する研究に従事．IEEE ISMVL Best Paper Award（1986 年，1988 年），丹羽記念賞（1988 年），坂井記念賞（2000 年），LSI デザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞（2002 年），ASP-DAC2007 Special Feature Award（2007 年），応用物理学会 JJAP 論文賞（2009 年），電子情報通信学会優秀論文賞（2010 年），市村学術賞貢献賞（2010 年），IEEE ISVLSI’10 Best Paper Award（2010 年），SSDM Paper Award（2012 年），IEEE ASYNC’14 Best Paper Finalist（2014 年），平成 27 年度科学技術分野文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）（2015 年）などを受賞．IEEE Senior Member.

夏井 雅典　2000 年 3 月東北大学工学部情報工学科卒．2005 年 3 月同大学院情報科学研究科基礎科学専攻博士後期課程了．2005 年 4 月豊橋技術科学大学情報工学系助手．2008 年 4 月東北大学電気通信研究所助教．2014 年 7 月同准教授，現在に至る．自動回路設計，不揮発性ロジック，多値電流モード回路技術とその応用に関する研究に従事．電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ論文賞（2010 年），K. C. Smith Award（2012 年）などを受賞．IEEE Member.

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Natsui, D. Suzuki, A. Tamakoshi, T. Watanabe, H. Honjo, H. Koike, T. Nasuno, Y. Ma, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "An FPGA-Accelerated Fully Nonvolatile Microcontroller Unit for Sensor-Node Applications in 40nm CMOS/MTJHybrid Technology Achieving 47.14μW Operation at 200MHz," 2019 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC2019), pp. 202-203, Feb. 2019.

[2] N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, T. Hanyu, "An Accuracy/Energy-Flexible Configurable Gabor-Filter Chip Based on Stochastic Computation with Dynamic Voltage-Frequency-Length Scaling," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), Vol.8, No. 3, pp. 444-453, Sep. 2018.

[3] N. Onizawa, M. Imai, T. Yoneda, and T. Hanyu, "MTJ-Based Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing against Power Failures," Microelectronics Journal, Vol.82, pp.46-61, Dec. 2018.

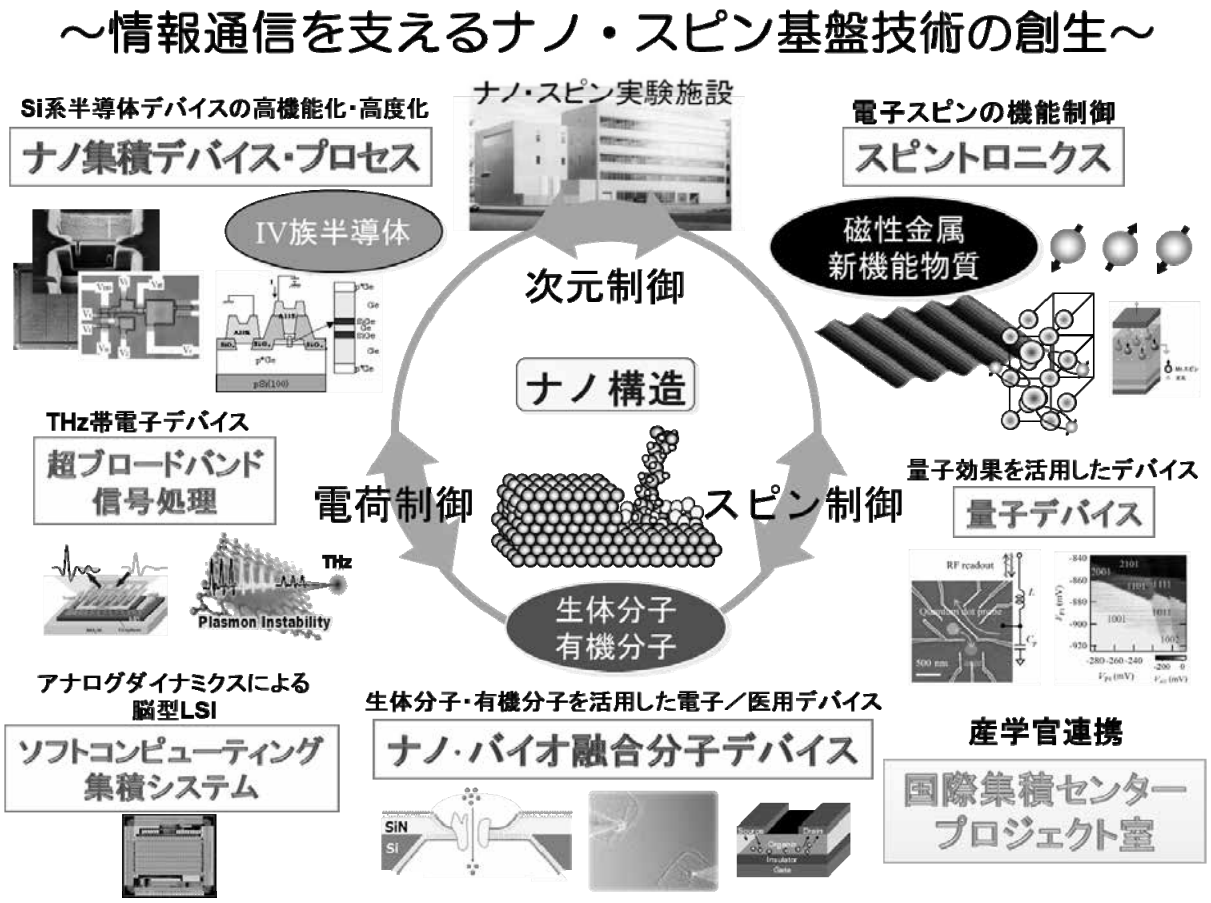
[4] J. Diguet, N. Onizawa, M. Rizk, J. Sepulveda, A. Baghdadi and T. Hanyu, "Networked Power-Gated MRAMs for Memory-Based Computing," in IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 26, no. 12, pp. 2696-2708, Dec. 2018.

（他　学術論文 6 編，査読付国際学会論文等 9 編）

３．５　ナノ・スピン実験施設

「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成１６年４月１日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「ＩＴプログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のＣＯＥとなることを目標としている。



以下に、施設研究部と利用研究室の平成 30 年度の研究成果のハイライトを記す。

ナノ集積基盤技術関連

● ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫）

(1) 脳型計算の手法を模倣した断熱的量子計算用ハードウェアの開発を目的として、ジョセフソン接合により結合される超伝導電荷量子ビットネットワークを用いた実装方法を検証し、学習により連想記憶機能を獲得しうることを数値計算により明らかにした。

(2) 基板非加熱プラズマ CVD により形成した P ドープ及び B ドープ Si エピタキシャル薄膜中のキャリア濃度の深さ方向分布を調査した結果、表面に向かって徐々にキャリア濃度が増加する傾向があることを確認した。また、成長を中断して一定時間のプラズマ照射を行うことにより、高濃度領域での B 原子の電気的活性化率が 50%超まで改善することが可能であることを見いだした。

(3) 脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、電源電圧 1V で動作するニューロン MOS アナログ回路の設計を行った。強反転領域で動作する MOS トランジスタ 40 個程度で構成されるニューロン回路が 20μW 程度の低消費電力で良好に動作することを SPICE シミュレーションにより確認した。

(4) 神経回路の構造や、興奮性結合と抑制性結合のバランスが時空間ダイナミクスに及ぼす影響を明らかにすべく、モジュール構造を有する神経回路網の活動を計算機シミュレーションから調べた。抑制性結合が 20%程度含まれるモジュラーネットワークにおいて、ダイナミクスの複雑性が最大となることを定量的に明らかにした。

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

(1) 新しい脳型コンピュータパラダイムである脳･身体総合体コンピューティングの構成要素の一つである参照自己システムに適用可能なカオスリザバーネットワークの性能・性質を、カオス時系列解析により評価した。

(2) 大規模なカオス最適化ハードウェアを実装するために必要な、スイッチト・カレントカオスニューロン集積回路のテストチップを、TSMC 65 nm CMOS プロセスより試作した。

(3) Spin-orbit torque デバイスにより STDP 学習スパイキングニューラルネットワークを構築するための基礎的な考察を行った。

(4) 高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用したポスト量子計算機ストリーム暗号を構築するため、拡張 Lorenz 写像に基づく疑似乱数生成器の高速なハードウェア実装についての検討を行った。

スピントロニクス基盤技術関連

● スピントロニクス（深見俊輔）

固体中の電子の電荷とスピンの自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現を目的として研究を行い、主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) CoFeB/MgO 積層膜において高次磁気異方性項によって出現するイージーコーン状態のコーン角への電界効果を強磁性共鳴で明らかにした。(2) 高抵抗率タングステンを有した W/CoFeB/MgO ヘテロ構造の電流誘起スピン軌道トルクをハーモニック法で測定しスピン軌道トルク生成効率の世界最高値を達成した。(3) CoFeB/MgO 積層膜の磁区周期に及ぼす電界効果をカー顕微鏡で調べ、磁区周期が非線形に変化すること、及びそれが交換スティフネス定数の変化と関連していることを明らかにした。(4) 人工神経回路網向けアナログスピン軌道トルク磁化反転素子の動作特性と信頼性を詳細に調べた。(5) MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO 積層構造の界面磁気異方性と熱安定性のキャップ層依存性

を調べ、好適なキャップ層材料・構造を明らかにした。(6) 反強磁性 PtMn と非磁性 Pt または W からなる金属積層構造を用い、反強磁性金属の磁気抵抗効果を世界で初めて観測し、それが主にスピンホール磁気抵抗効果に由来していることを明らかにした。(7) 線幅 20 nm のスピン軌道トルク磁化反転素子の磁化反転特性と熱安定性を-50℃から 125℃の範囲で調べ、全温度領域で高い磁気異方性が得られ、かつ電流での磁化反転が可能であることを示した。(8) 面内磁化容易軸を有するスピン軌道トルク磁化反転素子のデバイス特性を高いスループットで評価できる素子構造と評価手法を確立し、デバイス構造依存性などを評価した。(9) W/CoFeB/MgO（または W/FeB/MgO）積層構造におけるジャロシンスキー・守谷相互作用の CoFeB（または FeB）膜厚依存性を調べ、ジャロシンスキー・守谷相互作用の大きさだけでなく符号までもが強磁性層膜厚によって変わることを明らかにした。

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一･佐藤昭）

本研究室では、いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し、次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として、III-V 族化合物半導体ならびに炭素同素体単原子材料グラフェンを材料系として用い、プラズモンなどの新しい動作原理の導入によって、新規の集積型ミリ波・テラヘルツ波電子デバイスと回路システムの創出を目指している。さらに、それらを応用した超高速無線通信システムや安心安全のための分光・イメージング技術などの超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。本年度は、以下の成果を得た。

1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザーの創出

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。我々は、グラフェンを利得媒質とする新しい動作原理による電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイス・プロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得９％のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した。

2. 光無線融合ミキサの開発

将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ（InGaAs-HEMT）の光ダブルミキシング機能の研究を進めている。今年度は、InGaAs 系高電子移動度トランジスタに単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子を試作し、1.5μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を３桁以上向上させることに成功した。

● 量子デバイス（大塚朋廣）

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速観測、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。

(1) 固体ナノ構造中の電子物性を担う局所電子状態を解明するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるミクロな電気的プローブを実現した。高周波測定技術、データ科学手法の活用により、局所的な電子状態を高速に測定できる高速ミクロプローブを改良した。

(2)　高速ミクロプローブを活用することにより、半導体量子ドットと電極が結合した複合系等の固体ナノ構造中における局所電荷・スピン状態ダイナミクスを測定した。この結果、単一電子レベルでの電荷・スピン状態変化を観測し、その詳細をミクロな観点から解明した。
(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。局所電子状態観測技術を活用することにより、量子ビットデバイスの研究を行った。量子ビット操作の高精度化や、異種量子ビット間変換、多重量子ドットを活用した素子数の改善等を行った。

ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連

● ナノ・バイオ融合分子デバイス（平野愛弓）

微細加工技術とバイオ・有機材料との融合により、高次情報処理を可能にする様々な分子デバイスの開発を目指す。半導体微細加工技術を薬物スクリーニング等に応用するバイオエレクトロニクスの研究や、有機材料に基づくデバイス開発、生きた細胞を使って神経回路を作り上げ、固体基板上に脳機能を再構成しようとする研究を進めている。これらのデバイスは情報通信システムと結合可能であり、健康社会のための新技術として実現することを目指している。

(1) 薬物副作用センサ開発のための自立型脂質二分子膜の安定性の向上

細胞膜を模して形成した自立型脂質二分子膜は、その安定性に課題があり、センサ開発のための大きな障壁となってきた。我々は、脂質二分子膜が周りの脂質単分子膜とシームレスに継がっていること、また、その単分子膜は表面修飾した基板上に保持されていることに着目し、基板表面の化学修飾により、自立した部分の脂質二分子膜の安定性の向上を試みた。その結果、基板表面が両疎媒性になるように化学修飾することにより、基板中の脂質二分子膜の安定性、特に機械的強度が向上することを見出した。両疎媒性表面では、その上に形成した脂質単分子膜の流動性が高くなり、脂質膜の流動性により機械的な衝撃が緩和されやすくなったためと考えられる。さらに、薬物副作用リスクの評価で最も重要なタンパク質である hERG チャネルを対象に、この安定化脂質二分子膜に包埋し、薬物副作用の検出に成功した。

(2) モジュール構造型培養神経回路の人工再構成

生体大脳皮質を特徴づけるネットワーク構造であるモジュール性に着目し、神経回路網における構造機能相関を実験・数理モデルの両面から系統的に解析した。その結果、同期と非同期状態が混在した複雑な時空間ダイナミクスを安定に保持するうえで、神経回路におけるモジュール構造が果たす役割などを明らかにすることができた。加えて、神経細胞の膜インピーダンスの細胞形態依存性の解析、さらには培養細胞と神経細胞モデルを機能的に結合したハイブリッド神経回路システムの構築も進めた。

(3) 脂質二分子膜－有機半導体ハイブリッドに基づく光応答デバイスの開発

半導体微細加工技術により作製したシリコンチップ上で、有機半導体共存下での脂質分子の自己組織化を行い、有機半導体分子－脂質二分子膜ハイブリッドを形成し、水中で動作する光センシングデバイスを構築した。厚さ数 nm の超薄膜である脂質二分子膜中では、有機分子周辺の電場が極めて大きく、デバイス中の有機半導体分子数が少ないにも拘らず、本デバイスは固体デバイスと同等の光感受性を示した。

３．６　ブレインウェア研究開発施設

ブレインウェア研究開発施設は、本研究所附属研究施設として平成１６年４月の研究組織の改組・再編と同時にブレインウェア実験施設として新設され、その後、平成２６年度概算要求の採択を機に、平成２６年４月にブレインウェア研究開発施設と名称変更した。その目的は、電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術の創製とその応用分野を展開することである。そのために、本研究所及び本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野の研究成果と全国のブレインウェア分野の研究者の英知を結集して研究を行う。

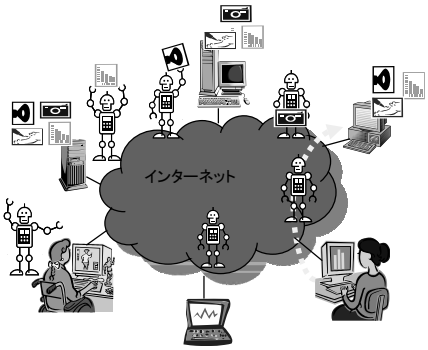
この施設は、適応的認知行動システム研究部（認識・学習システム研究室）、自律分散制御システム研究部（実世界コンピューティング研究室）、脳型 LSI システム研究部（新概念 VLSI システム研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室）、ブレインアーキテクチャ研究部の４研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。

身体性を持つ動的・適応的ハードウェア

・超現実空間構成技術

（ブレインアーキテクチャ）



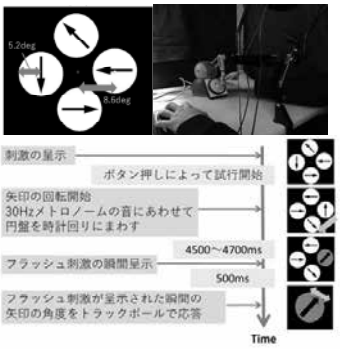


・実世界・動的知能構成技術

（実世界コンピューティグ）

実世界と電脳世界のシームレスな融合

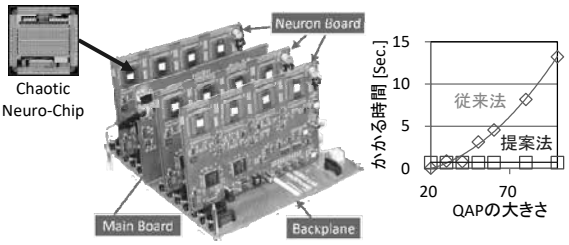
マルチモーダルコンピューティング



・高次多感覚ブレイン情報処理技術

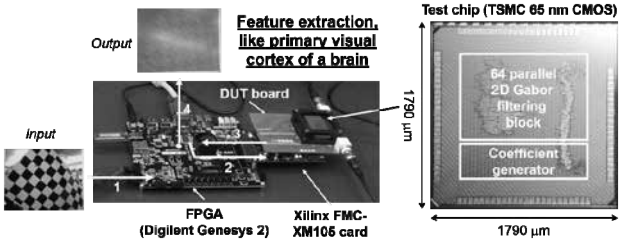
（認識・学習システム）

超並列ブレインLSIによるハードウェア



・アナログダイナミクスによる脳型LSI

（ソフトコンピューティング集積システム）



・脳型LSI実現へ向けたストカスティック計算原理

（新概念VLSIシステム）

＜施設の目標＞

本施設の目標は、電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術の創製とその応用分野を展開することである。この目標の実現へ向け、本施設に参画する各研究室では、下記の個別目標を設定し、研究活動を推進している。

実世界コンピューティング研究室：生物は、自身の身体に持つ膨大な自由度を巧みに操り、自己組織的に振る舞いを生成することで、非構造的かつ予測不能的に変動する実世界環境に対してリアルタイムで対処している。本研究室では、自律分散制御を中核的な概念に据え、生物のようにしなやかかつレジリアントに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解とその知的人工物システムへの実装方策の構築を目指す。

新概念VLSIシステム研究室：配線数、電力消費及び材料特性ばらつきに起因する信頼性低下が超微細VLSIにおいて益々問題となる。そこで本研究室では、従来の延長上にはない新しい概念に基づくVLSIアーキテクチャに関する研究、すなわち不揮発記憶機能を有する新デバイスを演算回路に分散配置させることで高性能性・多機能性と高信頼性の両立を可能にする不揮発性ロジックインメモリVLSIアーキテクチャなど、高性能VLSIプロセッサの実現に関する研究を推進し、従来技術の問題を全く新しい視点から解決する新概念VLSIコンピューティングパラダイムの実現を目指す。

認識・学習システム研究室：人間は、環境の中で頻繁に自らの身体部位を動かしながら、視覚情報や触覚情報といった複数の感覚情報から外界を認識し、その認識に基づいて複雑で多様な行動を効率的かつ適応的に行うことができる。本研究室では、このような人間の認知行動システムが示す適応的な情報処理原理とその機能を実験的に解明し、その知見に基づいて脳内で認識・学習する過程のモデル構築を目指す。

ソフトコンピューティング集積システム研究室：脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストなブレインモルフィックコンピュータパラダイムの創成とそのハードウェア実現を目標とする。特に、物理的な高次元複雑ダイナミクスなどのプロセスによる情報処理を活用し、アナログ集積回路を核とした計算システムとして実装する。さらに、ダイナミックな状態や構造の変化や体性感覚などの導入により、自己や意識を持つ自律的な脳型コンピュータの研究も目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

ブレインウェア研究開発施設の目標である、電脳世界と実世界のシームレスな融合に向けて種々の研究成果を挙げた。特に、2018 年度の下記研究成果は、本目標に向けた重要な前進である：

・「脚の切断状況に応じた歩行運動を生成可能な６脚ロボットの自律分散制御則」で受賞.
（実世界コンピューティング研究室）
http://www.riec.tohoku.ac.jp/ja/information/award/2019/02/post-19266/

・世界に先駆け、200MHz で 50μW 以下の高性能・低消費電力スピントロニクス不揮発マイコンを実証.
（新概念 VLSI システム研究室）
http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/02/press20190219-01-ISSCC.html

・後ろも見る眼を実証～無意識に周囲を捉えるすぐれた視覚能力～.
（認識・学習システム研究室）
http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/05/press20180509-01-ushiromomirume.html

・ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発～脳を模した革新的情報処理への応用に期待～.
（ソフトコンピューティング集積システム研究室）
http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/04/press-20190415-AdvMater.html

なお、各研究室のより詳細な研究成果については以下の通りである：

実世界コンピューティング研究室：
（人間情報システム研究部門実世界コンピューティング研究室を参照）

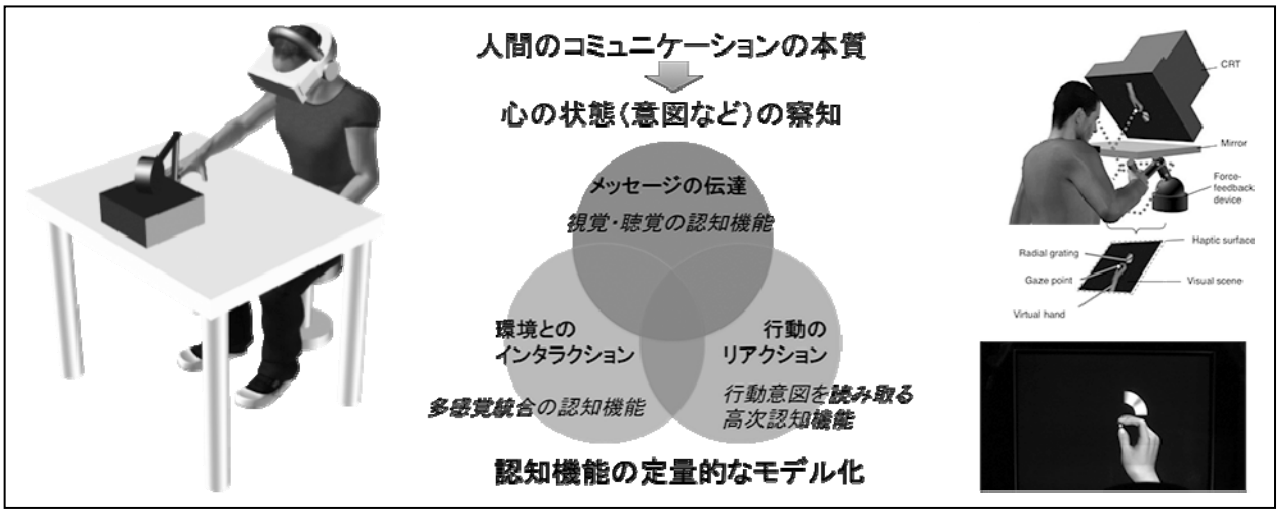
新概念 VLSI システム研究室：
（システム・ソフトウェア研究部門新概念 VLSI システム研究室を参照）

認識・学習システム研究室：
（人間情報システム研究部門高次視覚情報システム研究室を参照）
（人間情報システム研究部門先端音情報システム研究室を参照）

ソフトコンピューティング集積システム研究室：
（システム・ソフトウェア研究部門ソフトコンピューティング集積システム研究室を参照）

認識・学習システム研究室

人間の認識・学習機構の理解



（高次視覚情報システム研究分野　教　授　塩入　諭）
（聴覚・複合感覚情報システム研究分野　准教授　坂本　修一）

＜研究室の目標＞

情報通信技術は，社会活動の基盤となるコミュニケーションを支えている。近年の情報通信技術の急速な進歩に伴い，人の行動に内在する意図や感情も考慮した新たな情報通信環境による，質的に異なったコミュニケーションの実現が期待されている。このような情報通信環境の構築には人間の外界認識に関わる認知機能の理解が必要不可欠である。本研究室では，外界から入力される様々な情報を人間が統合処理し脳内で認識・学習する過程を明らかにし，その知見に基づいてこれまでとは質的に異なった情報通信環境を構築するための感覚情報提示の設計原理の確立，および，脳型 LSI など神経細胞を模擬するハードウェアへの実装を目指して研究を進めている。

＜2018 年度の主な成果＞

1. 両眼間視差に基づく奥行運動知覚のモデル化

3 次元の世界に生きる我々にとって、奥行運動の知覚は重要である。向かってくる対象物を避けたり、手で捕まえたりするために、不可欠の機能である。奥行運動を知覚するためには、左右眼網膜像の速度の差、両眼間速度差、両眼視差の時間変化、網膜像の大きさの変化が利用できることがしられている。上記の目的のためには、特に奥行運動の方向を正確に知ることが重要であり、本研究ではその機能をモデル化した。我々は、両眼間速度差を利用した運動方向知覚モデルにより、運動方向による感度変化、運動方向知覚の非線形性、奥行回転運動知覚の時間特性など多くの視覚特性を予測できることを明らかにした。

２．聴覚の空間的注意が雑音環境下における音声聴取に与える影響

人間は周囲から到来するたくさんの音の中から聴きたい音を選択的に聴取することができる。これはカクテルパーティー効果と呼ばれ、これまで様々な研究者によってそのメカニズムの解明が進められてきたが、現在でも未解明な部分が多い。本研究では、このカクテルパーティー効果の生起要因の一つである聴覚の空間的注意に着目し、聴取者周囲に配置したスピーカから妨害音となる男性音声と目的音の女性音声を同時に提示し、聴覚の空間的注意が目的音の聴き取りにどのような影響を及ぼすか定量的に検討した。その結果、聴覚の空間的注意の空間窓が概ね±30 度程度であることを示唆する実験結果が得られた。さらに、時間的注意と空間的注意の寄与についても検討を行った。この知見は聴覚情報処理障害の患者の聴覚特性の新しい測定法としての応用も期待されるものであり、実際に耳鼻科医との共同研究に発展している。

＜職員名＞

教　授（兼）　塩入 諭（2005 年より）
准教授（兼）　坂本 修一（2011 年より）

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, S. Shioiri: "Influence of auditory selective attention on word intelligibility," Proc. 65th Open Seminar on Acoustics, 307-310, 2018.
[2] N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, T. Hanyu: "An Area/Power-Aware 32-channel compressive gammachirp filterbank chip based on hybrid stochastic/binary computation," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, E9-N(4), 406-422, 2018.
[3] S. Shioiri, K. Hashimoto, K. Matsumiya, I. Kuriki, S. He: "Extracting the orientation of rotating objects without object identification: Object orientation induction," Journal of vision 18 (9), 17-17, 2018.
[4] S. Shioiri, M. Kobayashi, K. Matsumiya, I. Kuriki: "Spatial representations of the viewer’s surroundings," Scientific reports 8 (1), 7171, 2018.
[5] D. Kang, YW. Sung, S. Shioiri: "Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals," Magnetic resonance imaging 46, 121-129, 2018.
[6] M. Emoto, Y. Fang, S. Shioiri: "Viewers' Susceptibility to Image Blurs in Watching Ultra-high-definition TV Correlates with Their Dynamic Visual Acuity," ITE Transactions on Media Technology and Applications 7 (2), 103-110, 2019.

３．７　２１世紀情報通信研究開発センター

産学官連携による実用化技術の研究開発

＜センターの目標＞

電気通信研究所がこれまでに蓄積してきた情報通信技術（IT）に関する実績を，産学官連携研究開発体制により，5 年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的とする．大学の保有する基本技術をコアとして，社会が求めるアプリケーションニーズとマッチングをとり，設計・実装・評価まで行うことで，製品化へ適応可能な実用化技術を完成させる．プロジェクトの推進には，産業界からの技術者を多く受け入れ，大学の保有する先端技術，先端設備を研究開発現場にて体験することで，若手技術者の教育・社会人技術者の再教育センターとしての役割を果たす．また，開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出と有力企業との産学連携などを通じて，全国並びに東北地区の産業と学術の振興に貢献することを目標としている．

＜2018 年度の主な成果＞

産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部と，(A)全学的に認められたプログラムなど本学の複数部局の研究者で組織するものであって，将来の発展が期待できる学際的な研究プロジェクトに対応する学際連携研究部と，(B)将来の発展が期待でき，研究期間終了後に IT21 センターのミッションである産官学連携プロジェクトにつながる可能性が十分に期待できる萌芽的研究プロジェクトに対応する萌芽研究部の 3 部体制で運営した。(A)，(B)に関しては，2017 年度に所内で公募して採択した以下のプロジェクト，(A)については 1 件，(B)については 2 件を，継続実施した．

(A)　1 プロジェクト

・情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト（代表者：塩入　諭教授）

(B)　2 プロジェクト

・ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発
（代表者：北村　喜文教授）

・安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発
（代表者：亀田　卓准教授）

これまでの産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部においては，平成 14 年度から平成 18 年度まで，文部科学省 IT プログラム（RR2002）のプロジェクトとして，「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し，研究開発を進めてきたが，モバイル分野においては平成 19 年度～平成 26 年度はこれらの研究成果を発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」，平成 27 年度からはさらに「低炭素社会に貢献する情報通信用高効率送信電力増幅モジュールの開発」を実施，またストレージ分野においては平成 24 年度から東日本大震災で明らかになったストレージの耐災害性の不備を向上させる「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」を実施してきた．2017 年度からは，総務省のプロジェクトとして，電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」を受託し，実施している．この概要と 2018 年度の成果を以下に示す．

・周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発

工場などの狭空間に，複数の異なる無線システムが共存する環境においては，これら無線システム間の干渉あるいは電磁ノイズを発生する製造装置との干渉により，通信データ速度や応答速度が低下し，ロボットをはじめとする自動化ラインの生産効率が低下する問題が生じている．この干渉を解消するために，無線 IoT 機器に使われている 900GHz から 6GHz の周波数帯で，ms オーダーのバースト状に発生する信号やノイズを監視できる広帯域かつリアルタイム型の周波数モニタリング技術の実現を目指す．本年度は，狭空間の無線 IoT 通信に使われている複数の周波数帯（915～930MHz 帯(RFID, Wi-SUN, LPWA など)、2.4～2.5GHz 帯(W-LAN，Bluetooth など)、5.0～5.85GHz 帯(W-LAN など)）のうち、2 つの周波数帯で、数十μs でバースト状に発生する通信信号あるいは製造機器から発生するノイズの状況監視を 1 系統の高周波受信機で可能とするセンシング技術を開発した．

＜職員名＞

センター長（教授）末松　憲治

産官学研究開発部
ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト
代表・教授（兼）　末松　憲治
准教授（兼）　亀田　　卓
助教（兼）　本良　瑞樹
客員教授　岡崎　浩司

学際連携研究部
情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト
代表・教授（兼）　塩入　　諭
教授（兼）　坂井　信之
助教（兼）　山本　浩輔

萌芽研究部
ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発
代表・教授（兼）　北村　喜文

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発
代表・准教授（兼）亀田　　卓
教授（兼）　末松　憲治
教授（兼）　羽生　貴弘
教授（兼）　石山　和志
教授（兼）　本間　尚文
大学院工学研究科・教授（兼）陳　　強
助教（兼）　本良　瑞樹

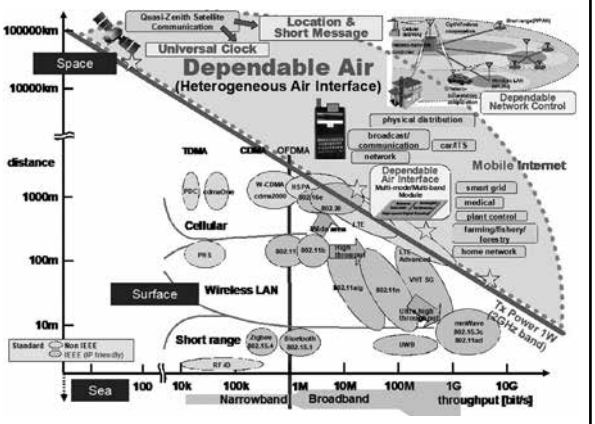
運営委員

本研究所教授	末松　憲治	工学研究科教授	山田　博仁
	長　　康雄		川又　政征
	廣岡　俊彦	情報科学研究科教授	田中　和之
	鈴木　陽一	本研究所事務長	金子　雅人
	木下　哲男		
	佐藤　茂雄		
	羽生　貴弘		

産学官研究開発部
ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト

ディペンダブル・エアの実現へ向けて

図面説明：
ディペンダブル・エア
現在規格化されている無線通信システムの通信速度と通信距離の関係を示したものである。通信距離に応じて、広域系・無線 LAN 系･近距離系の三種類のシステムが存在する。ユーザ端末には、電池の容量や人体への影響から 1W の送信電力制限があると考えると、2GHz 帯では図中の線のように通信距離と伝送速度との間にトレードオフが存在し、各々のシステムの高速化には限界が存在する。当分野では、これら複数のシステムを統合することによって、最適な通信距離・伝送速度で通信できる小型・低消費電力無線通信端末用ハードウェアの実現を目指す。また、これら複数のシステムが存在する場合に問題となるシステム間干渉問題を解消するために必要となる広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の実現を目指す。



教授（兼）　末松 憲治
准教授（兼）　亀田 卓
助教（兼）　本良 瑞樹
客員教授　岡崎 浩司

＜研究室の目標＞

ユーザをネットワークに接続するアクセス回線技術としてのモバイルワイヤレス通信技術は、光ファイバによる超高速バックボーンネットワークとともに、ICT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界の移動通信のリーダシップを担うわが国の移動通信技術は、日本経済を支える原動力としてますます発展する必要がある。IT-21 センター・モバイル分野では、発足以来、国内移動体通信機メーカーや第一種通信事業者との産学連携プロジェクトにより、広域通信と高速・大容量通信を両立し、かつ大規模災害時においても安定した通信回線の提供を可能とするディペンダブル・エアの研究開発を行ってきた。

これまでに、(1) 324Mbit/s 5GHz 帯無線 LAN 端末の開発、(2) ハイビジョン非圧縮伝送超小型 3D SiP（システム・イン・パッケージ）ミリ波無線端末の開発を行い、また (3) 広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス (MBWA) 実証実験により、自動車移動中のシームレスハンドオーバ、無線 LAN と MBWA との異種ネットワーク間シームレスシステムハンドオーバを成功させてきた。さらに、これらの地上系無線通信方式のみならず準天頂衛星システムなどの衛星通信方式を融合することで無線通信ネットワークのディペンダビリティを実現させる提案を行ってきた。

2015 年度からは、産学連携プロジェクトである JST A-STEP タイププロジェクト研究「低炭素社会に貢献する情報通信用高効率送信電力増幅モジュールの開発」を行った。

2017 年度からは、総務省・電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」のプロジェクトを実施しており、複数の無線システムが存在

する際生じるシステム間干渉問題を解決するために必要となる広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の開発を行っている。

＜2018 年度の主な成果＞

１．低消費電力・高速・広帯域無線通信のためのダイレクトディジタル RF 受信機の開発

次世代携帯電話や高速衛星通信(HTS: High Throughput Satellite)などの伝送速度高速化・小型化・低消費電力な無線端末の実現を目指し、ミリ波帯無線通信端末用サンプルアンドホールド（S/H）回路や受信機の開発を 65nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。今まで 5G+などの次世代携帯電話や HST 衛星で使用が検討されている 28GHz 帯で利用できる S/H-IC を世界で初めて実現するなど開発を進めてきた。本年度は、60GHz 帯で動作する S/H-IC を開発し、IEEE802.11ad の 1 チャネル分に相当する 2GHz-BW を受信できる 4GHz クロックでの動作を実現した。

２．広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の開発

工場などの狭空間に、複数の異なる無線システムが共存する環境においては、これら無線システム間の干渉あるいは電磁ノイズを発生する製造装置との干渉により、通信データ速度や応答速度が低下し、ロボットをはじめとする自動化ラインの生産効率が低下する問題が生じている。今後、第 4 次産業革命により、無線通信機能を持つデバイス、センサの急増が予想されており、この干渉問題の解決は喫緊の課題となっている。このため，無線 IoT 機器に使われている 900 MHz から 6GHz の周波数帯で，ms オーダーのバースト状に発生する信号やノイズを監視できる広帯域かつリアルタイム型の周波数モニタリング技術の実現を目指す。本年度は、複数の周波数帯（920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯）の 3 つの周波数帯で、連続した信号の利用状況の監視を 1 系統の高周波受信機で可能とするセンシング技術を開発した。さらに、スペクトログラムとして表示するなどリアルタイム監視に向けた技術を開発した。

＜職員名＞

教授（兼）　末松 憲治
准教授（兼）　亀田 卓
助教（兼）　本良 瑞樹
客員教授　岡崎 浩司

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] 吉野　長浩, 則島　景太, 本良　瑞樹，亀田　卓, 末松　憲治, "28 GHz 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機におけるクロックジッタの受信特性に与える影響," 信学技報, MW2018-18, Jun 2018

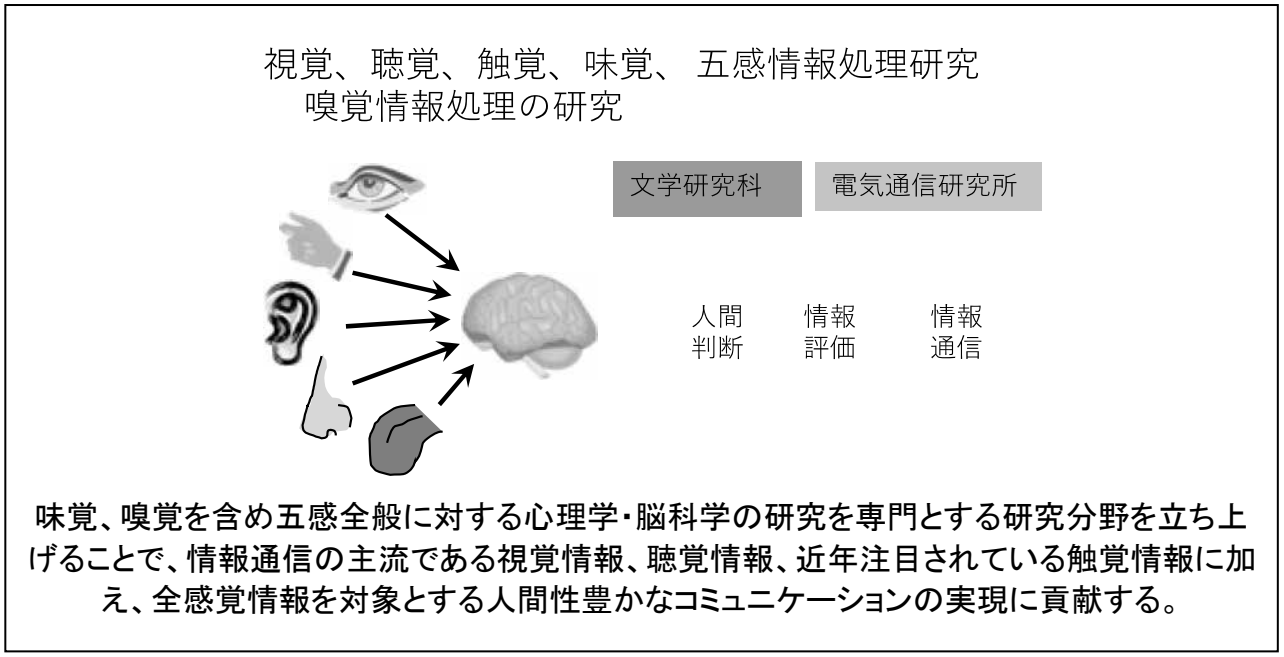
[2] N. Yoshino, K. Norishima, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, N. Suematsu, "28 GHz-Band Direct RF Undersampling S/H CMOS IC with 40 dB SNR," 2018 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT2018), 15-17 Aug. 2018

[3] 呂　行, 吉野　長浩, 本良　瑞樹，亀田　卓, 末松　憲治, "60 GHz 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信用 45nm SOI CMOS S/H IC," 電子情報通信学会 2018 年ソサイエティ大会，Sep 2018

[4] T. Furuichi, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Direct RF undersamplingreceiver for wireless IoT real-time spectrum monitor using high-speed clock switching," SmartCom 2018, IEICE Technical Report, vol.118, no.274, SR2018-68, pp.21-24, Oct. 2018

[5] T. Furuichi, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "A study on Direct RF Undersampling Receiver Configuration considering Timing Skew Spurs using Time-Interleaved ADC," 2018 Asia Pacific Microwave Conference (APMC2018), Nov. 2018

学術連携研究部
情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト



教　授　塩入　諭
教　授　坂井　信之
助　教　山本　浩輔

＜研究室の目標＞

電気通信研究所設置当初から続く音情報、聴覚関連研究分野および平成 16 年度の改組で設置された視覚に関する研究分野に加えて、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感すべての情報を扱うために必要な基盤的研究を行う本研究分野を設置することで、今後多感覚化が進むことが予想される情報通信分野を牽引し、発展に大きく貢献することを目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

2018 年度は、以下の成果を得た。

１）モニタ上に提示された人物の印象が嗅覚情報によって変容すること、視覚的に提示されたブランド情報が嗅覚や味覚の知覚に影響を及ぼすこと、食物知覚における食感（口腔内触覚、運動感覚）の役割、食物の持つ色情報が味覚や嗅覚と相互作用を示すことなどに関する実験を行った。また、並行して、視覚情報と運動情報の間にミスマッチが生じたときの脳応答の計測や、選択する行動あるいは選択したという意識が感覚に影響を与える効果など、従来行ってきた受動的な感覚・知覚の研究に加えて、人の意図や意思などを組み込んだ能動的な感覚・知覚に関する研究を開始した。

２）増大する情報量に対応するために、適切なデータの優先付をすることが重要である。この問題に対応するために、画像に対する人間の高次な質的評価を対象として、計算機よる予測システムについて検討を開始した。お弁当画像に対する高次評価のデータセットを利用して、画像特徴と高次

評価の関係を明らかにすることを試みた。データセットとして、760 枚の画像に対する「お弁当を食べてみたいと思か？」、「男性向けと思いか？女性向けと思うか？」などの質問に対する 2120 人の評価を用いた。物体認識の学習済みの AlexNet を利用し、微調整学習することで、６段階評価に対して 0.3 程度の誤差で予測できることを示した。

＜職員名＞

教　授　塩入　諭（2018 年より）
教　授　坂井　信之（2018 年より）
助　教　山本　浩輔

＜プロフィール＞

塩入　諭　1986 年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了．その後 1989 年 5 月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務．カナダより帰国後，1990 年 4 月まで ATR 視聴覚機構研究所で勤務．1991 年 5 月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手，助教授，同大学メディカルシステム工学科教授を経て，2005 年 3 月より東北大学電気通信研究所・教授．1988.5 Fight for Sight 賞受賞，1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞,1999.7 照明学会論文賞受賞，2000.5，映像情報メディア学会丹生高柳著述賞受賞，2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 SID International Symposium.

坂井　信之　1998 年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士（人間科学）。日本学術振興会特別研究員（広島修道大学）、科学技術振興事業団科学技術特別研究員（（独法）産業技術総合研究所）、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011 年 10 月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017 年 4 月同教授。2006 年におい・かおり環境協会学術賞、2009 年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013 年・2017 年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016 年・2018 年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014 年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016 年日本応用心理学会齊藤勇記念出版賞、2017 年平成 28 年度東北大学全学教育貢献賞

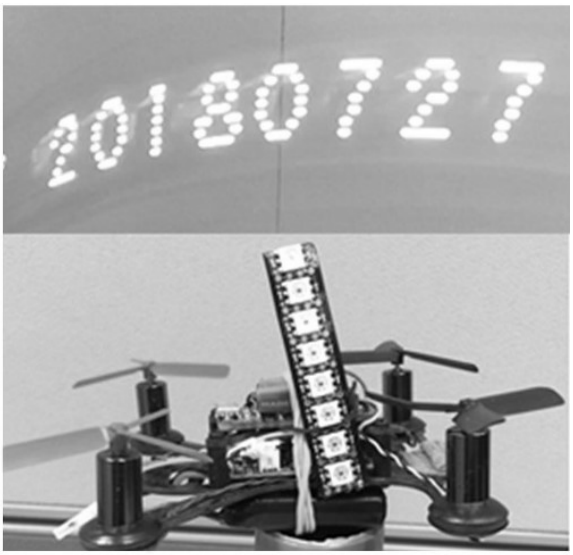
＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] Shioiri, S., Kobayashi, M., Matsumiya, K. & Kuriki, I.　Spatial representations of the viewer's surroundings. Scientific reports 8, 7171, doi:10.1038/s41598-018-25433-5 (2018).
[2] Hao Wang, Kazuya Matsubara, Yuji Wada, Chia-huei Tseng, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki and Satoshi Shioiri, The Evaluation of Images based on Human Preference with Convolutional Neural Networks, APCV 2018.
[3] Takuya Onuma, Hiroaki Maruyama, and Nobuyuki Sakai Enhancement of Saltiness Perception by Monosodium Glutamate Taste and Soy Sauce Odor: A Near-Infrared Spectroscopy Study. Chemical Senses, Volume 43, Issue 3, Pages 151–167 (2018)
[4] Takuya Onuma and Nobuyuki Sakai Fabric Softener Fragrances Modulate the Impression Toward Female Faces and Frontal Brain Activity. Japanese Psychological Research, 60(4), 276-287 (2018)
[5] Hiroshi Shibata, Takuya Onuma, Yasuhiro Takeshima, Yuwadee Penwannakul, and Nobuyuki Sakai Role of the Right Dorsolateral Prefrontal Cortex in the Cognitive Process of Matching Between Action and Visual Feedback. Japanese Psychological Research, 60(4), 288-299 (2018)
[6] 坂井信之・ペンナンワクル　ユワディー・大沼卓也 ブランド認知が美味しさ評定に及ぼす効果．睡眠と科学, 30-31(1), 34-40 (2018)
[7] 山本浩輔・山道海路・竹井亮・鷲尾英明・坂井信之 柿の種のおいしさに寄与する食感：TDL 法による予備的検討．日本味と匂学会誌　第 52 回大会 Proceeding 集, S17-S20 (2018)
[8] 坂井信之・安藤史織・宮澤利男 香りによるストレス緩和効果における香りを選択することの影響．日本味と匂学会誌　第 52 回大会 Proceeding 集, S117-120 (2018)
[9] 坂井信之 五感の中心にある嗅覚 人間生活工学, 20(1), 5-8 (2019)
[10] 山本浩輔・丸山弘明・坂井信之食物の味に色が与える影響について．日本色彩学会誌, 43(2), 103-106 (2019)

萌芽研究部
ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発



カラス剥製ロボットのプロトタイプ



LEDアレイを機体側面に装着したドローンのレース機

代表・教授（兼）北村　喜文

＜研究室の目標＞

本プロジェクトでは，仙台市が国家戦略特区の指定を受けたドローン特区であることも活用して，産官学共同体制で，ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツの基盤技術を確立し，ドローン技術発展の下支えをするとともに，それを活用して社会的ニーズに応える新サービスを生み出すための研究を推進している．

＜2018 年度の主な成果＞

１．　パイロット操縦用ユーザインタフェース(UI)と共有・配信技術の開発

空間的に連動する 2 台のドローンを利用して従来のドローン操縦インタフェースを拡張するユーザインタフェースを提案した．主たる操縦対象のドローン（主ドローン）カメラによる一人称視点に加えて，主ドローンに空間連動する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで，パイロットのドローン周囲への理解（Situational Awareness）を高め，ドローンの操縦や飛行経路計画をより簡単にすることができた[1].

２．　カラスとコミュニケーションするカラスドローンの開発

山形市と那須塩原市で，広域的にスピーカーを複数配置し，各スピーカーからカラスのコミュニケーションの文脈に沿った鳴き声を再生して，カラスの群れを誘導する実験を試みたところ，任意の場所への誘導に成功した．また，サーボモータ等により頭部と尾部が可動する機構を備えたロボットに剥製を被せたカラス剥製ロボットを試作した[2][3][4]．さらに，カラスの剥製ロボットに対するカラスの反応をみる実験を行った．加えて，スピーカーを搭載してカラスの鳴き声を発するドローンを開発し，実験を行った．そして，カラスを模した飛行体を作成するため，カラスの剥製の翼を用いて飛行制御可能なグライダーの開発を開始した．

３． ドローンレースの娯楽性向上のための配信技術研究

レースとパイロットの状況把握を支援する鑑賞者向けのインタラクション技術を検討し, LED アレイによるドローンレース機体の表示装置化と，リアルタイムプロジェクションマッピングによる機体とレース状況の強調表示に取り組んだ[5][6][7].

＜職員名＞

教　授　北村 喜文

＜プロフィール＞

北村 喜文　1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年キヤノン株式会社情報システム研究所，1992 年 ATR 通信システム研究所，1997 年大阪大学大学院工学研究科助教授，2002 年同大学大学院情報科学研究科助教授／准教授．2010 年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る．博士（工学）．1997 年電子情報通信学会論文賞，2006 年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞などを受賞．国際会議 ACM SIGGRAPH Asia, CHI, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE などで Conference/Symposium Chair, Program Chair, Steering Committee, IFIP TC-13 日本代表，Japan ACM SIGCHI Chapter の Chair, ACM SIGCHI Asian Development Committee の日本代表および Chair, などを務めている．日本バーチャルリアリティ学会フェロー.

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] 天間遼太郎，高嶋和毅，末田航，藤田和之，北村喜文: 空間連動する 2 つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張, 情報処理学会シンポジウム，インタラクション, 2019 年 3 月，東京

[2] 末田航、塚原直樹、松田美勇史、 栗本育三郎:カラスと対話するプロジェクト: カラスにとってのカラスらしさの工学的再現，第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会，2018 年 9 月，東北大学.

[3] 松田美勇史，末田航，塚原直樹，内田洋彰，栗本育三郎: Telexistence Cybernetics Crow の 視覚系と剥製翼飛行系の試作，第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会，2018 年 9 月，東北大学

[4] 塚原直樹，永田健，末田航，栗本育三郎: 首と尾羽が可動する剥製ロボットをカラスは生きたカラスと認識するか？，日本鳥学会大会，2018 年 9 月，新潟大学.

[5] Koh Sueda, Takashi Kitada, Yushin Suzuki, and Taiki Wada: Research and Development of Augmented FPV Drone Racing System. In SIGGRAPH Asia 2018 Posters (SA '18). ACM, New York, NY, USA, Article 9, 2 pages, 2018. DOI: https://doi.org/10.1145/3283289.3283322

[6] Koh SUEDA et al: “Introduction Of Augmented FPV Drone Racing”, In SIGGRAPH Asia 2018 Birds of a Feather, 2018 https://sa2018.siggraph.org/en/attendees/birds-of-a-feather/session/204

[7] 鈴木由信: ドローンレースの娯楽性を向上させる機載式ディスプレイ,第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2018 年 9 月，東北大学.

[8] 塚原直樹: 日本畜産学会第 125 回大会　市民公開シンポジウム「農林業の鳥獣被害とジビエ利用を含めたその解決策」, 2019 年 3 月, 麻布大学（神奈川県）（招待講演）

[9] 塚原直樹:カラス対策講習会「カラスの生理・生態を知り対策に生かす」, 2019 年 2 月，坂井北部丘陵地営農推進協議会丘陵地農業支援センター（福井県）（招待講演）

[10] 塚原直樹:カラス対策講演会「カラスの生理・生態を知り対策に生かす」, 2019 年 2 月，飯田市鼎公民館（長野県）（招待講演）

萌芽研究部

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

ワイヤレス IoT 技術の適用による
安心かつ安全な投薬管理システムの社会実装を目指して

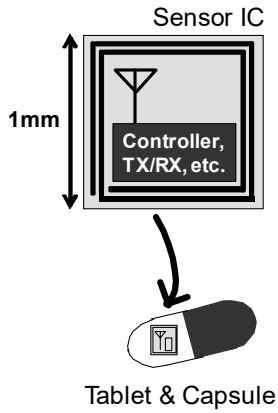


図 1: 錠剤貼り付け型センサ

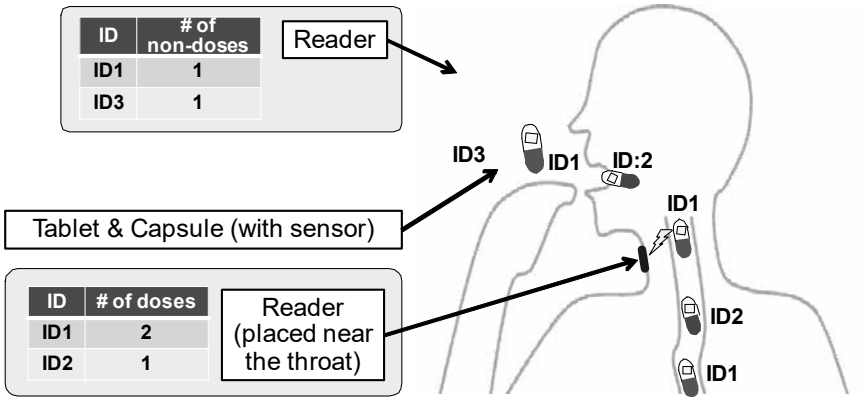


図 2: 投薬管理システム

代表・准教授（兼）亀田　卓
教授（兼）　末松 憲治
教授（兼）　羽生 貴弘
教授（兼）　石山 和志
教授（兼）　本間 尚文
教授（兼）　陳　　強（大学院工学研究科）
助教（兼）　本良 瑞樹

＜研究室の目標＞

我が国のみならず、世界的に見ても高齢化の進展や医療の高度化とともに増え続ける医療費は深刻な社会問題である。医療費の削減のために、在庫管理や服用の確認が可能な投薬管理システムの構築が必要不可欠である。

本グループでは、ワイヤレス IoT（Internet of Things）技術を用いた安心・安全投薬管理システムの構築に関する萌芽的研究を行う。本研究開発では、ワイヤレス IoT 技術を応用して、バッテリレスの錠剤貼り付け型センサおよび投薬管理システムの研究開発を行う。患者が特に意識することなく、いつものように錠剤タイプの薬を服用するだけで、服用したかどうかも管理（投薬管理）できるシステムの構築と社会実装を目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

１． 錠剤貼り付け型センサ用低消費電力送信機の開発

本研究開発で検討しているセンサチップのサイズは 1 mm 角と想定している。このサイズに送受信器や電源などの回路を全て実装する必要があるため、大きな化学電池を搭載することは難しい。よって、外部からの無線電力伝送により一時的に電気をためるチップコンデンサで電源を確保する必要があるが、チップサイズが小さいため大きな電力を保持することができない。そのため、サブミリワット級のミリ波無線通信機が必要となる。

無線トランシーバのキーコンポーネントの 1 つであり、消費電力が大きいのは発振器である。従来、ミリ波帯で研究開発が行われている発振器や無線トランシーバ IC は高速大容量通信用を目標としており、2018 年において今までに報告されているミリ波発振器の消費電力は最も小さくても 1 mW 超となっている。

本年度は、低消費電力発振器の実現に向けた検討を行った。発振器の基本原理として回路の位相および利得からなるバルクハウゼンの発振条件が知られている。これはタンク回路などの受動回路の損失をアンプなどの能動素子でキャンセルしたとき、フィードバックループの位相回転量に従った周波数で発振することを示しており、発振器の設計の基本式として用いられている。しかし、能動素子の利得と消費電力の関係は明確でなく発振器の高効率化という指標には用いることができなかった。本研究開発において、発振器の能動素子の消費電力と利得のトレードオフに着目することで、消費電力の制限を加え発振条件を拡張することを考え、バイアス電圧やトランジスタサイズをパラメータに加えることで消費電力を制限内に抑えながら能動素子を最適化する手法について提案した。65 nm CMOS プロセスを用いて発振器を試作し、57.4 GHz において消費電力 130 μW での発振を確認しており、世界最小電力での発振器を実現した。発振器の性能指標の 1 つである FoM においても従来に比べ 10dB 程度の性能改善を達成した。

本研究開発で実現した低消費電力発振器は、ミリ波領域でのセンサネットワークの実現に用いることができ、新しいワイヤレス IoT の開拓に寄与できる。

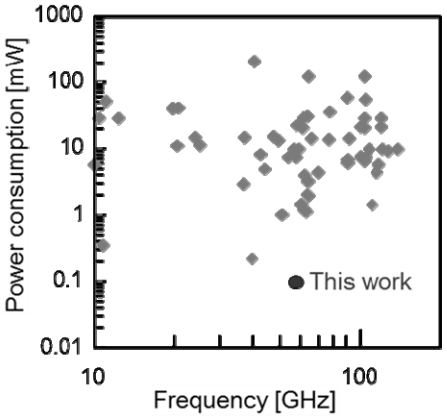


図 3: 消費電力

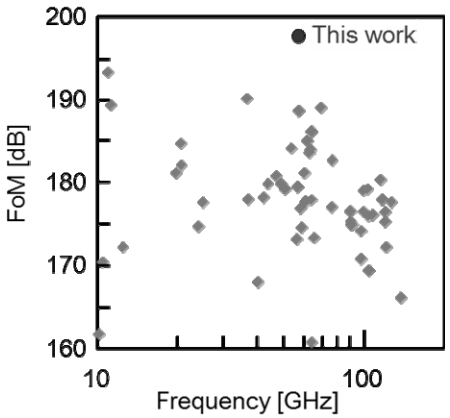


図 4: 性能指標（FoM）

＜2018 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “57 GHz 130 μW CMOS Millimeter-wave oscillator for ultra-low power sensor node,” 11th Global Symposium on Millimeter-Waves, May 2018

[2] 本良瑞樹, 亀田卓, 末松憲治, “人体内外通信システムに関する検討,” 信学技報, MW2018-79, Nov. 2018

３．８　安全衛生管理室

安全で快適な環境の実現と維持による研究支援



安全衛生講習会



応急手当講習会

＜安全衛生管理室の概要＞

安全衛生管理室は研究所で働く職員や学生の安全と健康を維持することを目的とした組織である。研究所における研究活動においては、薬品、高圧ガス、放射線などが使われており、危険性を伴う作業が少なくない。安全衛生管理室では所内での研究活動が安全かつ円滑に行われるように、各種活動を通して研究室や実験施設、研究基盤技術センターの安全衛生管理のサポートを行っている。

＜研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割＞

研究所の組織は、管理組織である所長および教授会、研究活動を行っている各研究室、その支援組織である実験施設や研究基盤技術センターおよび事務機構からなる。所長および教授会が研究所全体の運営管理をおこない、個々の研究室および施設等の運営管理は管理担当者である教授、運営委員会などが行っている。研究所の安全衛生管理においては、所長、研究所の職員、産業医から構成される安全衛生委員会が所内の安全衛生管理体制の整備や安全衛生に関するさまざまな事項を審議し、所長および教授会に勧告を行う。所長および教授会は勧告の内容にしたがって方針を決定し、各研究室、施設などが安全衛生管理の実際の作業を行うことになる。安全衛生管理室はこれら組織との連携の下に安全衛生に関する実務を担当し、研究所での研究活動が安全かつ快適に行われるよう活動している。

＜安全衛生管理室の活動内容＞

所内での実際の安全衛生管理では、まず安全衛生委員会が研究所における安全管理の基本的方針を示し、次に安全衛生管理室がそれに基づく具体的な行動内容の策定と実行を行っている。大学の組織は各部署（研究室など）の独立性が高いために、通常の会社組織と異なりトップダウン型の安全管理は不向きであり、各部署の自立性に即した対応が必要である。また、教職員以外に学生、研究員などさまざまな形で研究活動に携わっている構成員に対する配慮が必要である。さらに、本研究所では、薬品、高圧ガス、X線装置などの危険性の高い材料、設備を使用しており、作業環境もクリーンルームなどの特殊な作業場が存在するために、これらに対応した安全管理が必要になる。したがって、安全衛生管理室では、所内の各部署における状況や特性を把握し、実態に即した管理方法や改善対策の策定と勧告、および実行の支援を行い、安全衛生管理を効率的かつ実効性のあるものにするために活動している。本年度における主な活動内容は以下の通りである。

○ 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会の開催（参加者 349 名）
○ 高圧ガス保安講習会の開催（参加者 84 名）
○ 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援
○ 局所排気装置の定期自主点検の支援
○ 応急手当講習会の開催（参加者 15 名）
○ 危険物質総合管理システムの管理、支援
○ 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集
○ 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供
○ 学内の他部局や監督官庁との連絡調整
○ Ｗｅｂページによる関連情報の提供

＜職員名＞

室　　長（教授）	石山　和志
副 室 長（教授）	上原　洋一
助　　教	佐藤　信之
技術職員	阿部　真帆
事務補佐員	高橋　遥

３．９　やわらかい情報システムセンター



図１　電気通信研究所サーバルームの様子



図２　システムログ分析および可視化

＜センターの目標＞

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである。本センターの目的は、これまでの「かたい」情報処理原理を超えて、人間の意図や環境に合わせて柔軟な情報処理を行い、柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の考え方に基づき、通研所内の円滑な研究活動を支えるための情報ネットワーク、および情報システムを管理・運用することにある。

また、情報ネットワーク、および情報システムの実際の運用を通じて得た技術的ノウハウを活用し、学術情報の高度な組織化、利用、管理・運用、発信を支援する先進的なシステムを設計・構築を行っている。具体的には、次のような活動を行っている。

１．情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境の構築
２．ネットワークの高度な保守・管理・運用
３．研究所の情報ネットワークおよび情報システムに関する技術的支援

＜2018 年度の主な成果＞

１．所内情報システムの管理・運用

本センターでは、通研における学術・研究の基盤となる情報通信ネットワークおよびサーバシステムの管理・運用を行っている。通常業務に加えて、2018 年度は以下のような取り組みを行った。

・新規研究室のためのネットワーク設定
・機器、ソフトウェアの監視、メンテナンス
・ユーザアカウントの追加、変更、削除
・「情報セキュリティ講習会（安全衛生講習会併催)」の開催

・「研究室ネットワーク担当者向け講習会」の開催
・所に関係するシンポジウム・講演会・講習会などの動画コンテンツ作成と公開
・所外に持ち出すコンピュータのセキュリティ対策チェック
・計画停電時の予備電力によるシステム運用
・各研究室からのネットワーク使用に関する相談対応
・セキュリティインシデントへの対応

２．電気通信研究所サブドメイン用の SSL サーバ証明書発行

やわらかい情報システムセンターでは一般公開用 Web サーバの運用を行っており、各研究室 Web ページも同サーバで公開されている。Web サーバではバーチャルホストのサービスを提供しており、各研究室の Web ページ公開ドメインについて電気通信研究所サブドメインを設定可能である。研究室ごとにサブドメインが異なっており、従来は http のみで Web ページ公開を行っていた。学内で年々セキュリティ対策意識が高まっていたこともあり、複数の研究室から https 通信実装の要望があった。東北大学総合情報ネットワークシステム TAINS では UPKI 電子証明書発行サービスを行っており、そのサービスを利用することで電気通信研究所サブドメイン用の SSL サーバ証明書発行が可能であった。発行された証明書を実装することで各研究室 Web ページでの https 通信を実現した。

３．ホスティングサービスの試行運用

以前より研究所内ホスティングサーバの要望があった。研究室によって独自のサーバシステムを運用しているところがあるが、代替わりなどによって運用管理の人的負担やコストが問題となりつつあったため、安定運用可能な研究所情報システムによるホスティングサーバが望まれていた。研究所共用サーバだと動作ソフトウェアの制限や独自開発のシステム等が実装できないため、研究室が自由にメンテナンス可能なサーバ資源をホスティングサーバとして提供した。研究所情報システムではサーバを仮想化しており、使用用途に合わせたサーバのサイジングが容易である。提供されたサーバ資源を活用することで、研究室で開発した独自システムの実装と公開が可能となった。

＜職員名＞

(1) 運営委員会
教授　木下 哲男（2000 年より）
教授　鈴木 陽一（2000 年より）
教授　白井 正文（2003 年より）
教授　大堀　淳　（2007 年より）
教授　菅沼 拓夫（2011 年より）
(2) 常勤職員
准教授　　北形 元（兼務、2007 年より）
助教　　笹井 一人（兼務）
技術職員　佐藤 正彦　太田 憲治
技術補佐員　首藤 睦　大泉 璃歩

３．１０　研究基盤技術センター

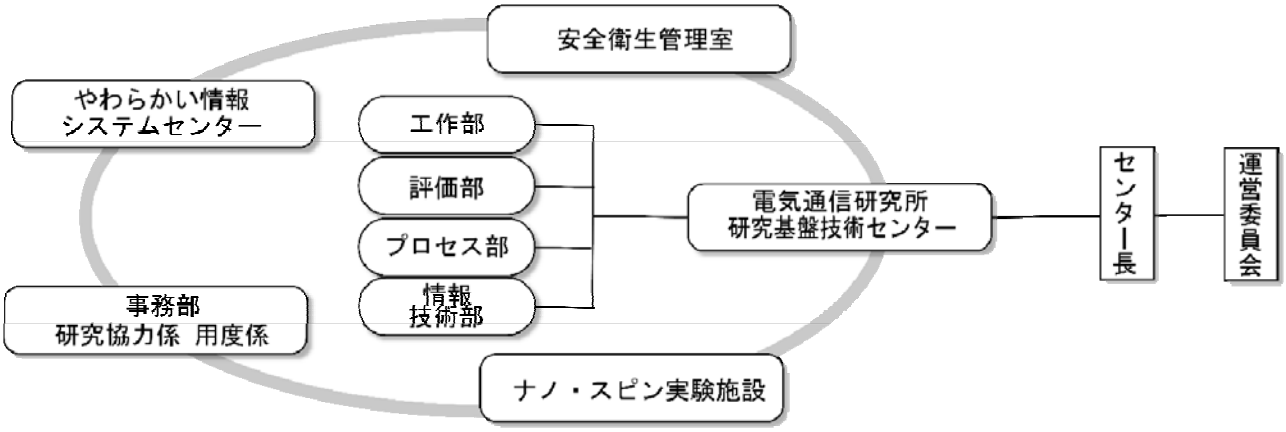


図 1　研究基盤技術センター　組織図

＜分野の目標＞

図 1 は研究基盤技術センターの組織図である。工作部、評価部、プロセス部、情報技術部の 4 部から成る。ナノ・スピン実験施設、やわらかい情報システムセンター、安全衛生管理室、事務部とも連携し、多様な研究開発活動に対して高度な専門知識と技術に基づいた幅広い技術支援を行っている。今年度の活動は次のようにまとめられる。

＜2018 年度の主な成果＞

1. 工作部

工作部は機械工作技術を提供している。研究者からの要求に応じて、120 件の依頼工作を提供した。この中で約 15%は研究所外のからの要求に応じたものである。図 2 は工作例である。

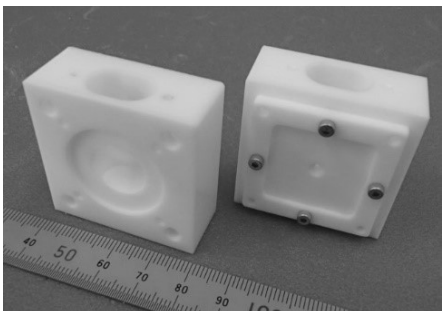


図 2　蛍光測定用チャンバー

2. 評価部

評価部では共通利用計測機器の提供、ガラス工作技術の提供、寒剤（液体ヘリウムと液体窒素）の供給を担っている。図 3 は提供している計測機器の例である。22 の研究室と 1 機関の学外利用者が共通利用計測機器を利用した（総使用時間は 7385 時間）。ガラス工作の依頼は 2 件であった。1011 リッターの液体窒素を供給し、3 研究室での液体ヘリウム利用において技術的支援を行った。また、事務部並びに安全衛生管理室と連携して研究所の安全維持に携わった。

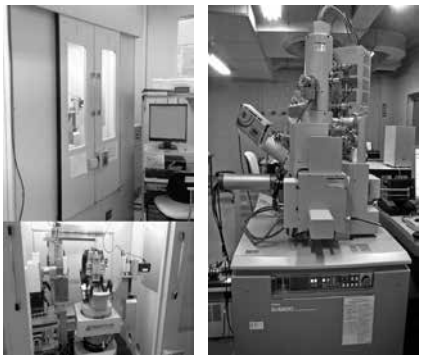


図 3　評価部保有の分析装置
（左：X 線回折装置、右：電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置）

3. プロセス部

プロセス部はナノ･スピン実験施設の共通部と協力して電子ビーム露光技術(図 4)とフォトマスク作製技術(図 5)を提供している。今年度は 141 件の電子ビーム露光サービスと 25 件のフォトマスク提供を行った。関連して、ナノ・スピン実験施設の附帯設備およびクリーンルームの維持・管理を支援している。



図 4　電子ビーム露光装置



図 5 フォトマスク作製装置

4. 情報技術部

情報技術部は、やわらかい情報システムセンターと共同で、所内ネットワークの運営と共通利用の情報機器の管理を担っている。また、知的財産権等に関連した共同研究契約等の企業との折衝や、教員の知的財産権の出願に係る相談対応を行った。

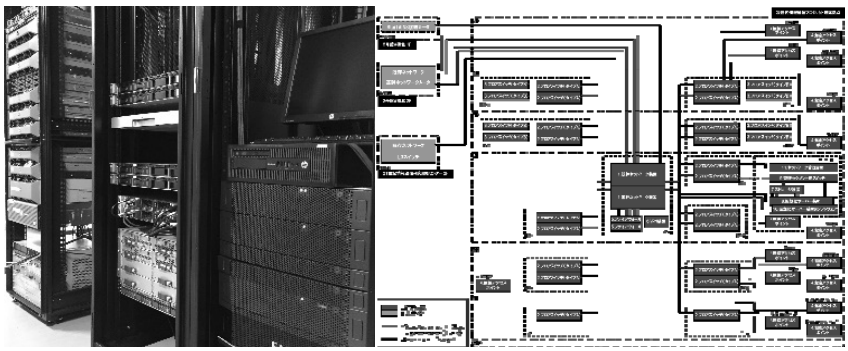


図 6　通研ネットワークシステム（左：システムの様子、右：構成図）

＜職員名＞

センター長（教授）	佐藤　茂雄
助　　教	佐藤　信之
技術職員	末永　保、阿部　健人、前田　泰明、関谷　佳奈、阿部　真帆、丹野　健徳、柳生　寛幸、森田　伊織、小野　力摩、武者　倫正、佐藤　正彦、丸山　由子、太田　憲治、庄子　康一

３．１１　機動的研究グループ

電気通信研究所の幅広い研究ポテンシャルを生かし、萌芽的・挑戦的な研究や市場のニーズに応じた先端応用研究等を行う、研究所の組織にとらわれず機動的に構成される研究グループである。

＜多感覚注意研究グループ＞

複雑で動的な世界で生きるためは、注意による認識対象の選択と的確な行動の選択が不可欠である。そのメカニズムの解明のために膨大な数の注意研究が行われているが、その大半は認識に関連したもので、行動選択と注意の関係についてはほとんど理解されていない。本研究では、複合感覚を統合した空間表象（統合空間）における注意が行動選択に関わるとの作業仮説に基づき、行動に関する注意（行動注意）の解明を目指す。代表者らが開発した視覚的注意の計測方法を視聴覚の複合感覚注意に応用し、それぞれの注意過程の相互作用についての検討を開始した。また、「自発的注意による視聴覚空間注意の制御」との課題で申請した科研費基盤研究(A)が採択された。

＜ヨッタインフォマティクス研究グループ＞

情報化社会の普及を背景に人類が作り出すデータ量は爆発的な増加を続けており、2030 年にはヨッタバイト（１兆バイトの１兆倍、10 の 24 乗バイト）を超える巨大情報量になると予測される。しかし、これほどの情報量は従来技術の延長では適切に取り扱うことができないので情報処理のパラダイムシフトが必要である。本グループでは情報の「量」に加えて「質」をも扱うことができる科学技術基盤の創出を目指している。本プロジェクトでは、情報の質と価値を扱う学術領域の研究のために人文社会科学の研究者と連携した文理連携により、新たなインフォマティクスの研究を進めている。今年度は、ヨッタインフォマティクス研究センターによる、異分野連携プロジェクトへの研究支援し、国際シンポジウム開催に協力し、ヨッタインフォマティクス研究センターの活動本格化に貢献した。

＜サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ＞

IoT、M2M、CPS といった次世代情報通信基盤のため、ソフトウェア構成理論、システムセキュリティ、ハードウェアセキュリティ、回路アーキテクチャおよび次世代プロセッサなどを専門とする多様な研究者による垂直統合的なアプローチにより、膨大かつ多様な情報発生源（センサ端末などのデバイスハードウェア）のレベルからシステムの安全性・信頼性を担保する新しい情報セキュリティ技術の確立を目指す。平成 30 年度は、セミナー・勉強会を数回開催するとともに研究の方向性を検討・確認した。

＜脳型ナノデバイス・回路研究グループ＞

近年、脳型ハードウェアの研究が盛んであるが、未だ真の脳型には程遠く、大きなブレークスルーには至っていない。この研究グループは、脳の最新の生理学的知見に基づき、特に脳における生物物理やダイナミクスを、ナノデバイスや微細低消費電力集積回路の物理とダイナミクスを活用して再現する、新しい脳型情報処理アーキテクチャの開発とその集積回路による実装を目指している。本年度は、脳科学、スピントロニクスデバイス、アナログ及びデジタル集積回路、培養神経回路、非線形複雑ダイナミクスなどの幅広い観点から、ブレインモルフィックハードウェア実装およびバイオトロニクス研究を推進するための基本戦略、特に、新しい学術分野の創成について、議論・検討を行った。

＜Wireless IoT 実現に向けた機動的研究グループ＞

電気通信研究所を中心に各研究者による最先端の研究を有機的に結び付け、世界をリードする新しい IoT の統合ソリューションを提供することを目標にする。本格的な IoT 時代には、電波干渉が少なく、超高速通信が可能なミリ波・サブミリ波帯を利用して、モビリティを持つ極めて多数のモノ（たとえば、1 平方メートルあたり 1000 個）をつなぐラスト・ワン・メートルの通信ネットワーク基盤が必要となる。今年度は，高速かつダイナミックに位置が変化するセンサ等とアクセスポイント間の電波の送受信を高効率化する技術について、議論・検討を行った。

第　4　章　　共同プロジェクト研究

４．１　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE（Center of Excellence）として、その成果をより広く社会に公開し、また研究者コミュニティーがさらに発展するために共同利用・共同研究拠点として所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本研究所の学問の性格上、単なる設備の共同利用ではなく、本研究所教員との共同研究を前提としているところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは、情報通信分野における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし，プロジェクト研究として実施していくものである。

共同プロジェクト研究は、所内外の研究者の英知を集めて企画され、さらにその積極的な参加を得て実施されることが肝要である。これまで、本研究所の共同プロジェクト研究の提案および実施は、国・公・私立大学、国・公立研究機関及び、民間企業・団体等の教員及び研究者を対象として、公募により行われている。

○共同プロジェクト研究委員会

共同プロジェクト研究の運営のために、共同プロジェクト研究委員会及び共同プロジェクト実施委員会、共同プロジェクト選考委員会が設置されている。共同プロジェクト研究委員会は、共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するために所内３名、学内２名と学外５名の合計１０名の委員により構成されている。共同プロジェクト研究委員会の使命は、本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら、所内外の意見を広く求め、研究所の目的である「人間性豊なコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては，公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会が設置されている。

また、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本研究所専任の教員により組織されている共同プロジェクト実施委員会が設置されている。

今年度のテーマは、平成３０年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の４テーマを取り上げることとした。

１）物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成に関する研究
２）超広帯域通信のための次世代システムの創成に関する研究
３）人間と環境を調和させる情報システムの創成に関する研究
４）情報社会を支えるシステムとソフトウェアの創成に関する研究

○平成３０年度共同プロジェクト研究

平成３０年度の共同プロジェクト研究は、所内外から公募され審議の結果次の１４６件（A：９３件，B：４９件，Ｓ：３件,S国際１件）が採択された。なお、区分 A は各々の研究課題について行う研究であり、９３件のうち７２件が外部よりの提案、区分 B は短期開催の研究会形式の研究で、４９件のうち３０件が外部よりの提案のものである。また民間の研究者が参加している研究は区分 A の１２件、区分 B の１９件である。

区分 A に対しては、大型プロジェクト提案型、若手研究者対象型、萌芽的研究支援型、先端的研究推進型、国際共同研究推進型の 5 つの研究タイプ、区分 B に対しては、これらに加え産学共同研究推進型を設けている。

また、区分Ｓは組織間連携に基づく共同プロジェクト研究であり、区分Ｓ国際は国際的連携研究推進を目的として海外組織と共同研究を実施するものである。情報通信分野の特に力点を置いて研究を推進すべき課題について、本研究所が中心となりつつ、相乗・補完効果の期待できる国内外の大学附置研等の研究組織と共同して推進する。

共同プロジェクト研究

平成３０年度共同プロジェクト研究採択一覧

Ｈ２８／Ａ０１	ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用
Ｈ２８／Ａ０２	フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた電力増幅器高効率化の研究
Ｈ２８／Ａ０３	Si-Ge 系ナノ構造制御による室温エレクトロルミネッセンス
Ｈ２８／Ａ０４	超伝導検出器と読出回路の高性能化に関する研究
Ｈ２８／Ａ０５	半導体中の局在電子分極における局所電場効果に関する研究
Ｈ２８／Ａ０６	キラルナノ導波路に結合される量子エミッター
Ｈ２８／Ａ０８	ブレインウェアのアーキテクチャの研究
Ｈ２８／Ａ０９	知的創造活動支援のためのお菓子提示デバイスの効果研究
Ｈ２８／Ａ１０	人工知能技術を利用した音源分離システムの構築
Ｈ２８／Ａ１１	音声の感性情報から人間の認知・行動を制御する通信システムの研究
Ｈ２８／Ａ１３	視覚モデル構築のための協調的環境実現に関する研究
Ｈ２８／Ａ１４	Dissipative Infrastructure の設計と国際展開
Ｈ２８／Ａ１５	Japan-USA International Collaborative Research on Graphene-Based Atomically-Thin 2D Heterostructures and their Terahertz Applications
Ｈ２８／Ａ１６	スピン軌道相互作用の電気的制御による磁化・スピンダイナミクス操作に関する研究
Ｈ２８／Ａ１７	逆磁歪効果を利用したアモルファス磁歪薄膜の磁気異方性誘導技術とその応用に関する研究
Ｈ２８／Ａ２３	多数生体信号の分析により異常の予測と検索
Ｈ２８／Ａ２４	次世代 IoT プラットフォームを支える知的ネットワークセキュリティ技術
Ｈ２９／Ａ０２	低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発
Ｈ２９／Ａ０３	走査型非線形誘電率顕微法による層構造誘電デバイスの構造評価
Ｈ２９／Ａ０４	超高感度核スピン計測で探るスピントロニクス材料のナノ物性
Ｈ２９／Ａ０５	原子層物質を用いた高性能光電子集積デバイスの開発
Ｈ２９／Ａ０７	単結晶グラフェンのデバイス化の研究
Ｈ２９／Ａ０８	新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究
Ｈ２９／Ａ０９	各種 high-k/Ge 構造において成膜後プロセスがもたらす効果の検討
Ｈ２９／Ａ１０	Development of graphene based devices for terahertz applications
Ｈ２９／Ａ１１	Theoretical study of nonequilibrium dynamics of electrons and plasmons in two-dimensional electron systems
Ｈ２９／Ａ１２	QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究
Ｈ２９／Ａ１３	ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究
Ｈ２９／Ａ１４	深層学習を用いた３次元動作解析、生成の研究、および HCI への応用
Ｈ２９／Ａ１５	集団脳波に基づく視聴覚コンテンツ評価に関する研究
Ｈ２９／Ａ１６	色名に関する文化差および個人差の研究
Ｈ２９／Ａ１７	半導体微細加工と脂質二分子膜の機能融合に基づく高感度・高精度イオンチャネルセンシングの創成
Ｈ２９／Ａ１８	屋外拡声システム開発のための音声了解度評価とその推定に関する研究
Ｈ２９／Ａ１９	協調作業における視線情報の可視化
Ｈ２９／Ａ２０	包囲型スピーカアレイと音空間レンダリングによるオブジェクトベース オーディオの試み
Ｈ２９／Ａ２１	非線形系・複雑系理論の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究
Ｈ２９／Ａ２２	多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究
Ｈ２９／Ａ２３	Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiences
Ｈ２９／Ａ２４	Mind and environment interface: Human attention in the brain
Ｈ２９／Ａ２５	The effect of attention on the integration of image components in the human visual system
Ｈ２９／Ａ２６	Social communication: behavioral and brain representations
Ｈ２９／Ａ２７	人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤
Ｈ２９／Ａ２８	耳介の 3 次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究
Ｈ２９／Ａ２９	新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究
Ｈ２９／Ａ３０	実世界に展開するソーシャルネットワーキングサービスの研究
Ｈ２９／Ａ３２	圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術
Ｈ２９／Ａ３３	酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発研究

Ｈ２９／Ａ３４	大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明
Ｈ２９／Ａ３５	ミニマルブレインの理解と再構築
Ｈ２９／Ａ３６	Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music : the CubeHarmonic
Ｈ３０／Ａ０１	オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究
Ｈ３０／Ａ０２	気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成
Ｈ３０／Ａ０３	薄膜型量子デバイスに関する研究
Ｈ３０／Ａ０４	Japan-Russia International collaborative research on gated GaAs structures with an array of self-assembled Sn-nanothreads and their terahertz applications
Ｈ３０／Ａ０５	高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用
Ｈ３０／Ａ０６	汎用型量子系制御技術に関する研究
Ｈ３０／Ａ０７	光-スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究
Ｈ３０／Ａ０８	カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御
Ｈ３０／Ａ０９	量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究
Ｈ３０／Ａ１０	高性能 IV 族半導体量子ナノデバイスのための低エネルギープラズマプロセスの開発
Ｈ３０／Ａ１１	移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究
Ｈ３０／Ａ１２	広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究
Ｈ３０／Ａ１３	共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用
Ｈ３０／Ａ１４	高効率非接触給電のための損失解析
Ｈ３０／Ａ１５	選択によって感情体験を変容させる方法の研究
Ｈ３０／Ａ１６	自己運動に伴う身体近傍空間の変容
Ｈ３０／Ａ１７	単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究
Ｈ３０／Ａ１８	繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電磁波環境対策に関する研究
Ｈ３０／Ａ１９	光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究
Ｈ３０／Ａ２０	脳型計算ハードウェア基盤とその応用
Ｈ３０／Ａ２１	感覚情報の認知がコンテンツの臨場感・迫真性の判断に与える影響に関する検討
Ｈ３０／Ａ２２	IoT 技術を用いた津波災害時の避難支援システムの構築
Ｈ３０／Ａ２３	実環境計測に基づく音源定位の高精度化
Ｈ３０／Ａ２４	PVDF 薄膜を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究
Ｈ３０／Ａ２５	話者映像が音声刺激の聞き取りおよび再生成績に及ぼす影響
Ｈ３０／Ａ２６	IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究
Ｈ３０／Ａ２７	超高性能耐災害ネットワーク制御に関する研究
Ｈ３０／Ａ２８	薄膜デバイスを用いた脳型集積システム
Ｈ３０／Ａ２９	IoT 用ハードウェアセキュリティの研究
Ｈ３０／Ａ３０	インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究
Ｈ３０／Ａ３１	多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究
Ｈ３０／Ａ３２	セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究
Ｈ３０／Ａ３３	エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究
Ｈ３０／Ａ３４	Ge-on-Insulator 基板上でのメタル・ソース／ドレイン型 CMOS の実現
Ｈ３０／Ａ３５	量子デバイスとフォノン技術に関する研究
Ｈ３０／Ａ３６	Effect of sample geometry on the damping mechanism of CoFeB magnetic thin films with perpendicular easy axis using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance spectroscopy
Ｈ３０／Ａ３７	超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究
Ｈ３０／Ａ３８	多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究
Ｈ３０／Ａ３９	水蒸気スペクトル検出用広帯域２GHｚサンプルホールド回路の開発
Ｈ３０／Ａ４０	SHF 帯用平面型電磁ノイズ抑制体の機構解析および設計に関する研究
Ｈ３０／Ａ４１	広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化
Ｈ３０／Ａ４２	インターネットにおける新しい輻輳に基づく輻輳制御の研究開発
Ｈ３０／Ａ４３	エージェントを用いた IoT サービスの構築と運用支援に関する研究
Ｈ２８／Ｂ０１	電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用
Ｈ２８／Ｂ０３	荷電現象がもたらす微粒子－流体混成系の多様性と機能性

共同プロジェクト研究

Ｈ２８／Ｂ０４　視覚的な物体質感の認知メカニズムに関する研究
Ｈ２８／Ｂ０７　産業的プログラミング言語開発とプログラミング言語基盤研究の技術融合
Ｈ２８／Ｂ０８　マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究
Ｈ２８／Ｂ０９　HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの確立
Ｈ２８／Ｂ１０　磁気光学効果を利用した磁界計測システム
Ｈ２８／Ｂ１１　アジアにおける HCI 研究の活性化
Ｈ２８／Ｂ１３　化学センサを応用したマルチパラメータ測定デバイス研究
Ｈ２８／Ｂ１４　情報の質と価値を扱う科学技術の創造
Ｈ２９／Ｂ０２　磁性材料の微細構造の観察および制御を通じた次世代通信機器用磁気デバイスの研究
Ｈ２９／Ｂ０３　高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムに関する研究
Ｈ２９／Ｂ０５　ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとその新概念情報処理応用に関する研究
Ｈ２９／Ｂ０６　IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用
Ｈ２９／Ｂ０７　無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術とそのシステム応用
Ｈ２９／Ｂ０８　光波とマイクロ波をシームレスに繋ぐフルコヒーレント通信・計測システムに関する研究
Ｈ２９／Ｂ０９　人の三次元的身体的な行動解析に基づいた空間型ユーザインタフェース
Ｈ２９／Ｂ１１　自己運動知覚を含む多感覚統合
Ｈ２９／Ｂ１２　Search Science: an interdisciplinary endeavor
Ｈ２９／Ｂ１３　超並列計算を表現する宣言的な枠組の構築とそれを実現する言語の研究開発
Ｈ２９／Ｂ１５　新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究
Ｈ２９／Ｂ１６　セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究
Ｈ２９／Ｂ１７　ブレインウェア LSI とその応用 国際共同研究
Ｈ２９／Ｂ１８　先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究
Ｈ２９／Ｂ１９　スマートデバイスの電磁情報セキュリティに関する研究
Ｈ２９／Ｂ２０　産学連携による半導体技術の新たな展開と応用
Ｈ２９／Ｂ２１　カラスの行動制御のための広域音声システムの開発
Ｈ２９／Ｂ２３　脳型システム実現に向けた非同期ストカスティック演算の研究
Ｈ３０／Ｂ０１　高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用
Ｈ３０／Ｂ０２　磁性材料の機能性を活用した磁気デバイス
Ｈ３０／Ｂ０３　東北地区横断スピニクス研究
Ｈ３０／Ｂ０４　プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成
Ｈ３０／Ｂ０５　固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用
Ｈ３０／Ｂ０６　光の空間モードに関する研究開発
Ｈ３０／Ｂ０７　酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用
Ｈ３０／Ｂ０８　集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立
Ｈ３０／Ｂ０９　動物の心理・行動分析のためのビッグデータ収集に関する研究
Ｈ３０／Ｂ１０　音空間知覚の理解と立体音響技術の高度化に関する研究
Ｈ３０／Ｂ１１　Creating Smart and Informative Society for the Elderly
Ｈ３０／Ｂ１２　高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立
Ｈ３０／Ｂ１３　高次元ニューロダイナミクスとそのニューロハードウエア構築への展開
Ｈ３０／Ｂ１４　未来型オフィス空間とインタラクション
Ｈ３０／Ｂ１５　ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究会
Ｈ３０／Ｂ１６　メディア技術の高機能化によるディジタルコンテンツの高付加価値化に関する研究
Ｈ３０／Ｂ１７　非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究
Ｈ３０／Ｂ１８　ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究
Ｈ３０／Ｂ１９　音声・音楽情報処理のための深層学習技術の高度化に関する研究
Ｈ３０／Ｂ２０　「こころ」を生み出す脳内機構の理解
Ｈ３０／Ｂ２１　聴覚モデルに基づく都市空間における音情報伝達性能の評価
Ｈ２９／Ｓ１　コヒーレント波に基づく学際的先端科学技術の創成
Ｈ２９／Ｓ２　ナノエレクトロニクスに関する連携研究
Ｈ２９／Ｓ３　デザイン学に基づく電気通信システムの革新
Ｈ３０／ＳＩ１　AI and Human Studies

○ 共同プロジェクト研究の公募，実施について

共同プロジェクト研究の公募、実施は年度単位で行われている。研究の公募は、1 月中旬に来年度の研究の公募要項を公開し、第 1 期募集は 2 月末日、第 2 期募集は 7 月中旬が申請書の提案締切となっている。採否の判定には共同プロジェクト選考委員会による書面審査を行い、その結果は、第 1 期募集は 4 月中旬に、第 2 期募集は 9 月中旬に申請者へ通知される。研究期間は、採択決定から翌年 3 月 15 日までであり、研究終了後、共同プロジェクト研究報告書を提出して頂くことになっている。なお、「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるので、申請にあたっては本研究所の対応教員がいることが必要である。

なお、本共同プロジェクト研究については、次の web page にて広報している。

http://www.riec.tohoku.ac.jp/ja/nation_wide/koubo/

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力係
電話：022-217-5422

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　(3)

(先端・国際)

採択番号：H28/A01

ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用

［1］組織

研究代表者
桑原　正史（産業技術総合研究所）
通研対応教員
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
坂井　穣（トゥール大学）
片野　諭（東北大学電気通信研究所）
佐野　陽之（石川工業高等専門学校）

延べ参加人数：7人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	217,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

相変化に伴い材料物性が大きく変化する現象は様々な材料で膨大な観測・研究がなされている。本研究計画では、通常のデバイス動作の環境下(室温、大気圧下）で相転移を制御しうるカルコゲナイドと酸化バナジウム（VO_2）を主たる研究対象に取り上げる。カルコゲナイドは、室温において結晶相とアモルファス相と呼ばれる２つの安定相を有する。この２つの相間では光学特性（例えば、反射率）や電気特性（例えば、電気抵抗）が大きく異なることが知られている。光学特性の変化は既に光記録媒質に応用され、電気特性の変化は相変化メモリーへの展開が期待されている。VO_2は、６０℃近傍での数℃の幅の温度変化により、半導体相（低温側）と金属相（高温側）と呼ばれる相間で結晶構造転移を行う。相転移に伴い、やはり光学的特性や電気的特性が大きく変化する。高温側でみられる金属相では、低温側での半導体相にくらべ、自由電子密度が上昇し、プラズモン共鳴が赤外域に到達する。この結果、金属相の VO_2 は赤外光の高効率遮断材料として機能する。例えば、ガラス窓上に堆積しておき、日光の照射により室内の気温が上昇すると、金属相に転移し、日光の侵入を防ぐ等の応用が考えられている。

本プロジェクトは、今年で3年目となる。これまで、カルコゲナイドの一種である Sb_2Te_3 や VO_2 を試料として、ナノスケールでの電子物性を研究してきた。Sb2Te3 では、STM 発光のピコ秒時間分解実験を実行し、電子構造がピコ秒で変化することを明らかにした。カルコゲナイドでは、近年、非熱過程による相変化が注目されており、本結果は、結晶性の確認はないものの、それを裏付ける成果であった。(Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, and J. Sakai, J. Phys. Phys. **124**, 075104 (2018).) VO_2 を用いた STM 発光では、ナノスケールでの金属相と半導体相の区別が可能であることを見いだし(J. Sakai, M. Kuwahara, M. Hotsuki, S. Katano, and Y. Uehara, J. Phys.：Condens. Matter. **28**, 385002 (2016).)、さらに半導体相から金属相への光誘起相転移が 20 ps 程度で起こることを見いだした（J. Sakai, S. Katano, M. Kuwahara, and Y. Uehara, J Phys-Condens Mat **29**, 405001 (2017).)。

今年度のプロジェクトでは、相変化現象の応用に注目し、デバイスを視野に入れた研究を展開した。VO_2 とカルコゲナイドの複合材料である。最初に、この材料に注目した経緯について述べる。VO_2 は、結晶転移で大きく物性が異なるが、最大の欠点は揮発性である。結晶転移誘起には、熱、電界といった外部要因を加える必要があるが、それらがなくなると元の状態に戻ってしまう。これでは、現実のデバイスに応用が困難、または転移後の状態を保持するため何かしらのエネルギーが必要となり、非効率である。例えば、熱による結晶転移は60-80℃付近で起こり、昇降温で多少のヒステリシスを有するものの、室温になると高温でも金属相は半導体相に戻ってしまうのである。これを降温時に室温以下で転移を起こさせるようにできれば、金属相を室温でも保持することとなり、不揮発性な材料となる。

では、本プロジェクトでどのように VO_2 の転移温度を制御したかについて記す。VO_2 の転移温度は、応力によって変化することが示されている。一方、カ

ルコゲナイドは、アモルファスから結晶に転移する際に、５％程度の体積収縮が起こることが明らかになっている。我々は、カルコゲンの体積収縮が VO_2 への応力として働き、VO_2 の結晶転移温度に何かしらの変化をもたらすのではと考えたのである。さらに、カルコゲナイドは、結晶―アモルファスの相転移制御はある程度可能となっており、VO_2 に加える応力をカルコゲナイドの相転移で制御することは可能なのである。

そこで我々は、最初の基礎実験として、VO_2 の上にカルコゲナイドの一種である Ge2Sb2Te5（GST）を成膜し、GST の結晶、アモルファスにより VO_2 の結晶転移温度の変化を観察した。以下実験内容について記す。

［３］成果

（３－１）研究成果

試料作製では、まず GST 薄膜の成膜から行い、その上に GST を成膜した。これは VO_2 薄膜を成膜する際に、基板温度を 500℃程度にするため、GST の相転移温度 145℃を越えてしまうためである。基板には厚さ 500 ・m のサファイヤ R 面［Al_2O_3（1 -1 0 2)］両面研磨品を用いた。高品質な VO_2 薄膜を形成するための基板としてサファイヤは広く用いられている。また紫外から赤外に至る広い波長域で光透過性を有する、すなわち薄膜層の光学測定に影響を及ぼしにくい点もサファイヤ基板の利点として挙げられる。

その基板上に厚さ 5 nm の VO_2 をパルスレーザー堆積（PLD）法により形成した（図１）。エキシマレーザー光（Lambda Physik, COMPex 102；波長 248 nm、周波数 5 Hz）を集光して真空チャンバー内の多結晶 V_2O_5 焼結体ターゲットに照射し、蒸発した粒子種を 500˚C に加熱した基板上に堆積させた。チャンバー内の雰囲気は酸素 7.5 mTorr、ターゲット表面上のレーザーエネルギーおよびフルエンスはそれぞれ 65 mJ/pulse、2.0 J/cm^2/pulse、ターゲットー基板間距離は 50 mm とした。上記製膜条件における堆積レートは約 3.3 × 10^{-3} nm/pulse であった。得られた極薄膜は(200)$_M$ 配向した VO_2 であることを X 線回折（XRD；2・・・スキャン）によって確認した（添字 M は VO_2 の単斜晶構造相における指数であることを示す)。面間隔は 2.424 Å であり、バルク（2.421 Å）に比べわずかに伸長していた。

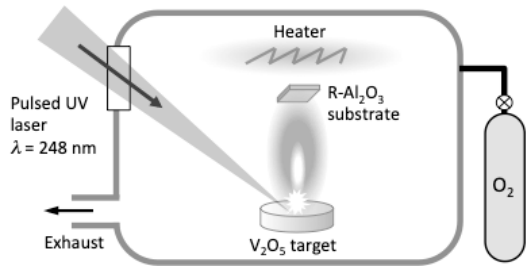


図１　パルスレーザー堆積法の概念図

次に GST 層を RF マグネトロンスパッタ法で成膜した。その時のスパッタ条件は、0.5Pa のアルゴン雰囲気、出力 100W である。膜厚は 100 nm である。このスパッタ条件は、これまでのカルコゲナイドのスパッタ条件と同じであり、スパッタ直後はアモルファス状態となっている。

このようにして作製した試料は、厚さ 5 nm の VO_2 がサファイヤ基板と厚さ 100 nm の GST で挟まれた構造となっている。VO_2 の結晶転移は、試料を加熱冷却ステージに設置し、基板側から白色光を照射し、転移が生じるとその反射光強度が変化することで観測

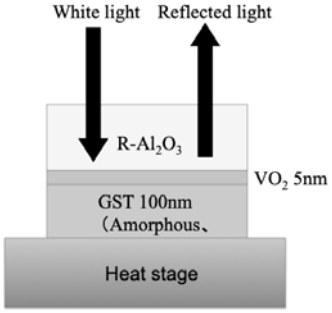


図２　試料構造と反射光強度測定配置図

した（図２)。GST は、アモルファス、結晶とも金属色をしているため、基板側からしか反射光強度の変化は観測できない。GST はスパッタ直後はアモルファスなので、そのまま反射光強度の温度依存性を測定し、その後、200℃に加熱を行い、GST を結晶化させ、反射光強度変化の実験を行った。この実験であると GST の反射光強度の温度依存性が含まれることになるが、GST の光学特性の温度依存性はわずかであり、VO_2 の転移による反射光強度の変化の観測には影響を及ぼさない。

最初に、VO_2 単層の場合について、反射光強度の温度依存性の測定を行った。その結果を図３に示す。結晶転移は昇温時 80℃、降温時 58℃を示し、良好な VO_2 膜であることを確認した。その後、GST を成膜し、GST がアモルファス状態および結晶状態で VO_2 膜の結晶転移温度を測定した結果を図４に載せる。GST がアモルファス状態で、昇温時 68℃、降温時 42℃、GST が結晶状態で昇温時 38℃、降温時 10℃程度である事がわかる。GST がアモルファス時では、成膜直後でそれほど応力はかかっていないと思われるが、VO_2 膜の結晶転移温が低下していることがわ

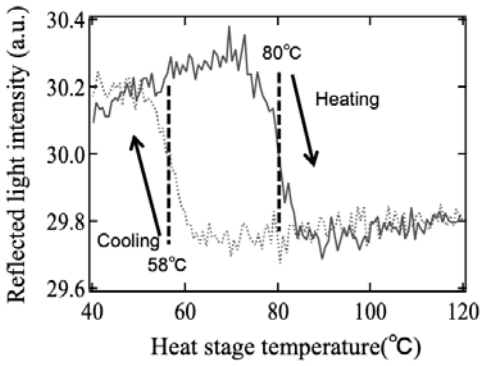


図３ VO_2単層膜での結晶転移温度測定結果

かる。更にGSTを結晶化し、体積が縮小するため、大きな応力がかかると思われ、VO_2膜の結晶転移温度は大きく低下していることがわかる。降温時には10℃程度まで温度を下げないと半導体層に転移しないと思われるため、少なくとも室温での不揮発は実現していることになる。

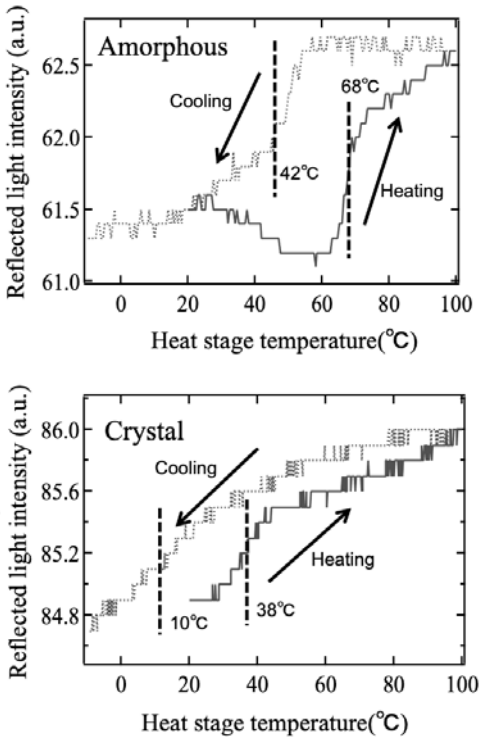


図４　VO_2とGSTの複合膜でのVO_2結晶転移温度測定結果。上：GSTがアモルファス状態、下：GSTが結晶状態

（特別支援（国際）に係る研究成果）

本年度の研究は、共同研究者の坂井穣博士（フランス、トゥール大学）のVO_2膜の研究、産総研と東北大でのカルコゲン材料の研究がうまくマッチングした内容となった。坂井博士、東北大の上原教授、産総研の桑原と様々な議論をメール上で行い、本研究のアイデアに行き着いたものである。坂井博士のもとで、VO_2膜を作製、その後産総研にてGSTの成膜と結晶化転移温度の測定、東北大で構造解析とうまく枠割り分担を行い、研究が進捗した。坂井博士は、2018/12/25-12/27に通研を訪問し、これまでの実験結果に関すること、来年度の共同研究体制について話し会いを行った。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、相転移機構のナノスケールでの解明およびデバイス応用を目指し、研究を行ってきた。これまでは、基礎的な研究が主であったが、今年は応用を念頭においた研究を行うことができた。VO_2膜の揮発性は、これまで実用化に大きな問題であったが、本プロジェクトにおいて不揮発化の可能性が大きくなり、今後の発展に大きな期待が持てる結果となった。結晶化転移温度の大きな変化の詳細な機構解明、更なる転移温度の低温化、応用したデバイスの提案など今後も研究を進める予定である。

［４］成果資料

(1) 'Pump-probe scaning tunneling microscope light emission spectroscopy of Sb_2Te_3,' Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, and J. Sakai, J. Phys. Phys. **124** (2018) 075104 (7 pages).

採択回数	1　2　(3)

(萌芽)

採択番号：H28/A02

フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた電力増幅器高効率化の研究

［1］組織
研究代表者：楳田　洋太郎
（東京理科大学理工学部
電気電子情報工学科）
通研対応教員：佐藤　昭
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：末光　哲也
（東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター）
小池　悠介
(東京理科大学大学院理工学研究科)
明神　史典
(東京理科大学大学院理工学研究科)
澤田　晟
(東京理科大学大学院理工学研究科)
畑　真太郎
(東京理科大学大学院理工学研究科)
延べ参加人数：8 人
研究費：物件費　97,000 円
旅費　156,000 円

［2］研究経過
（1）目的
近年、地球環境の温暖化を抑えるために、二酸化炭素排出量の低減が喫緊の課題となっている。中でも、通信は多くの電力を消費するため、その低消費電力化は等価二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献する。その取り組みの一つとして、ワイヤレス通信のグリーン化の研究が盛んになりつつある。ワイヤレス通信の中で最も広く利用される移動体通信は、送受信機の電力の半分以上が電力増幅器で消費される。このため、電力増幅器の高電力効率化はワイヤレス通信における等価二酸化炭素排出量削減に大きく寄与する。

本プロジェクトでは、電力増幅器の高電力効率化のために、チャンネル材料の移動度および飽和電子速度が高いため高速動作が可能でかつ低損失な、InGaAs HEMT の利用を検討する。さらに、フィールドプレートを備え、高耐圧かつ低帰還の InGaAs HEMT を用いたときの、電力増幅器効率の改善効果を明らかにする。

（2）概要
本プロジェクトは、本年度が第 3 年度であった。

近年、電力増幅器をスイッチング動作（ON/OFF 動作）させることにより線形増幅を行いつつ理論的に効率を 100%とすることができる電力増幅器の研究が精力的に行われている。しかし、電力増幅器に完全なスイッチング動作をさせるためには方形波を出力させることが必要となり、このために電力増幅器には信号周波数より一桁程度以上高い周波数で動作することが要求される。現状の電力増幅器に使用されている Si MOSFET、SiGe HBT、GaN 系 FET では基本周波数が、たとえば 60GHz 帯の通信に使用される周波数帯に対しても電力増幅器としての速度的な余裕がないため、現状の電力増幅器の電力効率は 30%程度にとどまっている。しかし、高速動作特性に優れた InGaAs HEMT をスイッチング動作型電力増幅器に適用することにより、40%を上回る電力効率が得られるものと期待される。また、InGaAs HEMT は材料の移動度が高いため抵抗が小さく、この点でも高効率電力増幅が期待される。さらに、近年、GaN HEMT で適用が検討されているフィールドプレート技術を InGaAs HEMT に導入することにより、さらなる高効率化を図ることが期待できる。

具体的な研究内容として、平成２８年度は、末光哲也准教授（当時）の開発した InGaAs HEMT プロセスに対し、集積回路化に必要な二層配線工程、抵抗・キャパシタ作成の追加のための助言を行った。また、送受信アンテナの外形寸法に制限がある場合、一般に周波数を高くすると素子数を増加させることが出来るため、アレーアンテナの利得が向上し、伝送効率が向上する。この効果を、理論計算を行い、アレーアンテナ間の伝送効率は周波数の二乗に比例して向上することを示した。この結果、電磁波方式無線電力伝送において、ミリ波やテラヘルツ波を用いることにより、高い電力伝送効率を得られる可能性が示された。これにより、フィールドプレート技

術を導入したInGaAs HEMTの応用先として電磁波方式無線電力伝送が有望であることがわかった。

平成２９年度は、末光教授のグループが以前作製したフィールドプレートを持たない通常のInGaAs HEMTの等価回路パラメータを用いて電力増幅器の設計を行い、前年に実施した電磁波方式無線電力伝送系に適用したときの電力伝送特性を理論および計算機シミュレーションにより評価した。その結果、電力伝送効率が最大となる周波数は小形のウェアラブル端末に対しては60GHz以上のミリ波帯にあり、この周波数帯を用いることにより、従来と比べ大幅な電力伝送効率の向上が期待できることを示した。

平成３０年度は、InGaAs HEMT回路モデルの精度を向上し、設計するミリ波帯電力増幅器の電力効率を向上させるため、寄生抵抗を決定するために行うCold FET法の改良提案を行い、その改善効果を末光教授らの試作したInGaAs HEMTの測定データを用いて示した。現在、この寄生抵抗決定法を用いて傾斜型フィールドプレート付InGaAs HEMTの回路モデルを作成中であり、今後この回路モデルを用いて同HEMTの大電力出力特性を明らかにする予定である。

（3）打合せの開催状況

本プロジェクト研究における平成３０年度中の研究打合せの概要を下記に記す。

・第1回研究打合せ

日時：平成31年3月4日（月）13時30分～16時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也（東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター教授）、楳田洋太郎（東京理科大学教授）、谷口　慶伍（東京理科大学理工学部4年）

打合せ内容：

東京理科大学より、傾斜型フィールドプレート付InGaAs HEMTの回路モデル作成の際の寄生抵抗決定に用いるCold FET法の精度を高める方法の提案について報告を行った。また、HEMTモデリングの精度を高める方法、および次年度の研究計画について、東北大学、東京理科大学双方で議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、傾斜型フィールドプレート付InGaAs HEMTの回路モデリングを行う際に必要な寄生抵抗を決定するためのCold FET法の改良について成果があった。

InGaAs HEMTの小信号等価回路モデルを図1に示す。一般に、電界効果トランジスタ（FET）の等価回路をフィッティングにより作成する場合、等価回路パラメータの数が多いため収束性が悪く、精度のよい等価回路モデルを作成することが難しい。このため、あらかじめ、ドレインーソース間電圧（V_{ds}）をゼロ、ゲートーソース間電圧（V_{gs}）をピンチオフ電圧以下（Cold FET）とすることにより等価回路を簡易化し、ゲート、ドレイン、ソースの寄生抵抗（R_g、R_d、R_s）を求め、これを用いて、通常のV_{ds}をノンゼロ、V_{gs}のとしたときの等価回路を求める方法[a]が知られている。しかし、従来のCold FET等価回路モデルはドレインーソース間容量（C_{ds}）を無視していたため、その精度が十分でなかった。本研究成果では、C_{ds}を付け加えたCold FET等価回路モデルを提案することによりモデル精度の改善を図った。

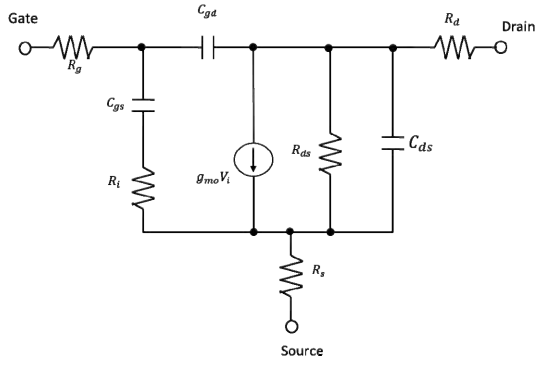


図1　InGaAs HEMTの小信号等価回路モデル

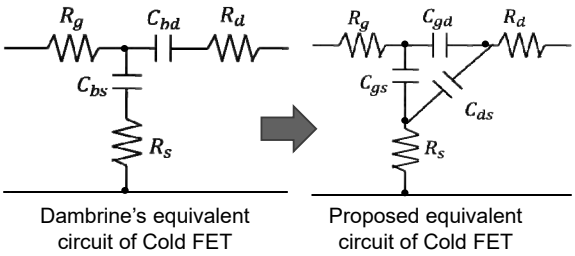


図2　提案するCold FETの等価回路モデル

表1　HEMT高周波測定のパラメータ

Transistor

Type	InGaAs HEMT
Gate width W_g	100 μm
Gate length L_g	80 nm

Biasing condition

V_{gs}	-1.5 V
V_{ds}	0 V

Frequency

Range	2.0～8.5 GHz
Step	100MHz

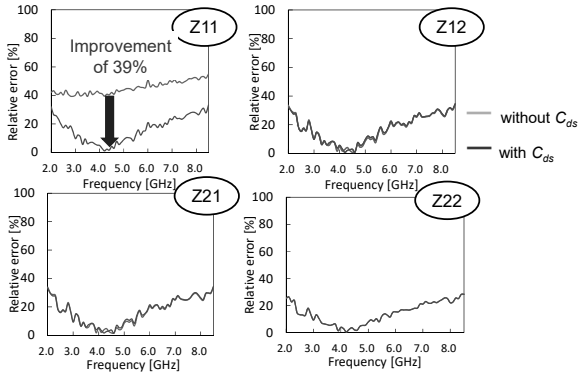


図3　従来モデル(C_{ds}なし)と提案モデル(C_{ds}あり)のZパラメータ相対誤差比較

Dambrineらにより報告された従来のCold FETモデル[a]と本研究で提案するCold FETモデルを図2に示す。提案モデルでは従来モデルにはないC_{ds}が付け加わっている。提案するCold FETモデルによるフィッティング時の精度向上の効果を示すために、末光教授らにより作製されたInGaAs HEMTを用いた。その高周波Sパラメータ測定時の測定条件を表1に示す。

また、従来のモデルと提案するモデルを用いたときの、測定したSパラメータから求めたZパラメータに対する、フィッティングにより求めた等価回路Zパラメータの相対誤差を図3に示す。図よりわかるように、C_{ds}を追加した提案モデルは、従来モデルに比べZ_{11}の相対誤差が最大39%減少している。

本成果により、傾斜型フィールドプレート付InGaAs HEMT回路モデルの決定精度が向上し、より電力効率の高いミリ波帯電力増幅器の設計に寄与すると期待される。

参考文献：[a] Gilles Dambrine, Alain Cappy, Fredric Heliodore, Edouard Playez, "A New Method for Determining the FET Small-signal Equivalent circuit," IEEE Trans. Microw., vol. 36, no. 7, pp. 1151 - 1159, July, 1988.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

スイッチング動作型電力増幅器をフィールドプレート付InGaAs HEMTプロセスを用いて作製することにより、たとえば60GHz帯で電力効率が40%を上回ることが予想される。これにより、ワイヤレス通信における電力消費を大幅に低減し、そのグリーン化に貢献するとともに、等価二酸化炭素排出量の削減に寄与する。

［4］成果資料

（1）Yohtaro Umeda, "A study on InGaAs HEMT modeling, "　平成30年度共同プロジェクト研究発表会, 2019年2月21日.

（2）木下瑞貴, 楳田洋太郎, "2値包絡線パルス幅変調を用いた直交変調型送信機の実装," 信学技報, vol. 118, no. 361, pp. 61-65, 2018年12月3日.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：H28/A03

Si-Ge 系ナノ構造制御による室温エレクトロルミネッセンス

［1］組織
研究代表者：宮崎 誠一
（名古屋大学大学院工学研究科）
通研対応教員：佐藤 茂雄
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
牧原 克典（名古屋大学大学院工学研究科）
室田 淳一（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）
櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）
池田 弥央（名古屋大学大学院工学研究科）
大田 晃生（名古屋大学大学院工学研究科）
東 清一郎（広島大学大学院先端物質科学研究科）

延べ参加人数：８人

研究費：
物件費 97,000 円
旅費 246,000 円

［2］研究経過

Ge-Si 系ナノ構造を活性層に用いて、室温･低電圧（1V 程度）で駆動できる極薄の高効率・高速エレクトロルミネッセンス(EL)デバイスが実現できれば、飛躍的な進歩を遂げているシリコン ULSI 技術をベースに Si 系量子ドットトランジスタやフローティングメモリデバイスを組み合わせて、将来の少数電子･少数光子を使った大規模な高度情報処理へと発展する可能性が高い。本共同プロジェクト研究では、Si-Ge 系ナノ構造(量子ドット)において発光強度を飛躍的に高めるための価電子制御手法を確立し、これを高密度・規則配列した三次元自己整合集積構造を形成することで、電流注入型レーザへ応用可能な高濃度キャリア注入と高効率キャリア再結合を実現できる Si 系エレクトロルミネッセンス材料を創成することを目的として研究を推進した。

初年度は、SiH_4 と GeH_4 の LPCVD において、反応初期過程を交互に精密制御することによって、熱酸化膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成(面密度：~10^{11}cm^{-2}、平均ドット高さ：~8.0nm)し、フォトルミネッセンス特性を評価するとともに、上部および下部 Al 電極を形成した LED 構造において室温 EL 特性を評価した。また昨年度は、Si 量子ドット Ge コアを有する発光ダイオード構造において、可視光照射下における Ge コア Si 量子ドットの EL においては、p-Si(100)基板において光生成された電子と正孔がドットの量子準位に交互注入され、量子準位間での電子ー正孔再結合に起因する発光が顕在化することを明らかにした。最終年度では、Si シェルへの B のデルタドーピングが、Ge コア内での発光再結合レートの増加に有効であることを明らかにした。

また、本共同プロジェクトを推進するために、実験打ち合わせを東北大学にて２回実施し、共同研究分担体制を築くと共に、本プロジェクト分担者の室田淳一教授が中心的に組織・運営する 2nd Joint ISTDM / ICSI 2019 Conference (10th International SiGe Technology and Device Meeting / 12th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures) (June 2nd - June 6th, 2019, University of Wisconsin-Madison)において意見・情報交換を行い、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。さらには、プロジェクト分担者らと協働で、本年 11 月 27-30 日に東北大学、片平キャンパス内で、12th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics と 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces の合同開催を企画し、更なる情報交換・連携体制の強化を行う。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

B 添加が Ge コア Si 量子ドットの室温発光特性に及ぼす影響

昨年度までに、SiH_4 と GeH_4 の LPCVD において、反応初期過程を交互に精密制御することによって、Si 熱酸化膜上に Ge コア／Si シェル量子ドット構造を自己組織化的に高密度・一括形成でき、フォトルミネッセンス(PL)において、Ge コアの量子準位間での電子ー正孔再結合が支配的であることを明らかにした。本年度は、発光強度を高めることを目的とし、Si シェルへの B デルタドーピングが室温発光特性に及ぼす影響を評価した。

形成した試料の AFM 表面形状像から、B 添加の有無に依らず Ge コア Si 量子ドットが面密度 $2\times10^{11}cm^{-2}$（平均 Ge コア高さ：~3.3nm）で形成されていることを確認した。真性および B 添加 Ge コア Si 量子ドットの室温 PL スペクトルには、いずれも 0.62~0.86eV に Ge コアの量子準位間での電子ー正孔再結合に起因した発光が認められた。PL 積分強度は、下地 Si ドットのみに B デルタドーピングした場合、真正ドットに比べ~2.2 倍に増大し、さらに下地 Si ドットと Si キャップ両方に B 添加した場合には、~3 倍に増大した(図 1)。これらの結果は、Ge コア／Si シェル構造のエネルギーバンド構造が Type-II 型であることを考慮すると、下地 Si ドットおよび Si キャップに添加された B から供給された正孔が Ge コアの深いポテンシャル井戸に閉じ込められることで、Ge コアの正帯電と Si クラッドの負帯電が顕在化することに起因して、Si クラッド層で光生成した電子波の Ge コアへの染み込みが増大する結果、電子ー正孔の再結合レートが向上したとして解釈できる(図 2)。

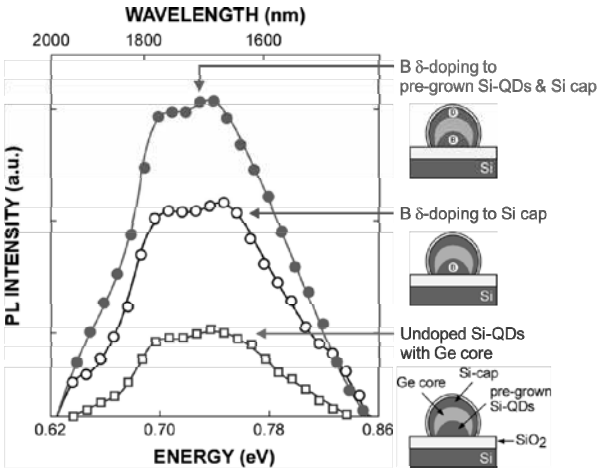


図1　真性および B 添加 Ge コア Si 量子ドットの室温 PL スペクトル

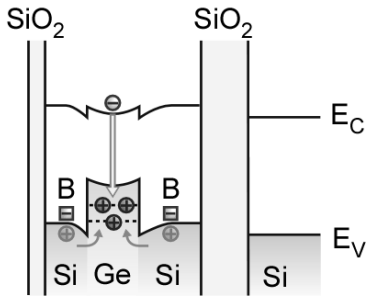


図2　B 添加 Ge コア Si 量子ドットのエネルギーバンド図

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで得られた成果は、シリコン ULSI プロセスとの整合性が高く、シリコン・フォトニクスにおいて実現が極めて困難であると考えられていた電流注入型シリコン系レーザの開発に繋がると期待できる。

また、若手研究者および本プロジェクト研究に参加した学生が本プロジェクトで得られた成果を国際会議で積極的に発表することで、学外研究者および海外研究者との交流が飛躍的に活性化し、若手研究者の新たなネットワーク構築への発展が期待できる。さらには、本申請研究をドイツの IHP(Innovations for High Performance Microelectronics)と共同研究を実施し、国際共同研究体制を築くと共に、関連分野の第一線で活躍している国外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

［4］成果資料

（1）K. Makihara, M. Ikeda, N. Fujimura, K. Yamada, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electroluminescence of superatom-like Ge-core/Si-shell quantum dots by alternate field-effect-induced carrier injection, Applied Physics Express Vol. 11, 011305 (4pages) (2018).

（2）R. Nagai, K. Yamada, S. Fujimori, M. Ikeda, K. Makihara, A. Ohta, and S. Miyazaki, Characterization of electron charging and transport properties of Si-QDs with phosphorus doped Ge core, Semicond. Sci. Technol. Vol. 33, 124021 (4pages) (2018).

（3）R. Nagai, S. Fujimori, T. Maehara, K. Makihara, A. Ohta, M. Ikeda, and S. Miyazaki, Impact of Boron Doping into Si Quantum Dots with Ge Core on Their Photoluminescence Properties, 11th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 12th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science, 20aC03O, (March 17-21, 2019, Nagoya)

（4）S. Fujimori, R. Nagai, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki, Selective Growth of Si for the Formation of Si-QDs with Ge Core and Their Photoluminescence Properties, 12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-04 (Dec. 6-7, Sendai)

（5）S. Fujimori, R. Nagai, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki, Study on photoluminescence from Si quantum dots with Ge core, International Conference of Atomic Control Surface and Interface-14, 24E-14 (Oct. 21-25, 2018, Sendai).

（6）R. Nagai, S. Fujimori, M. Ikeda, K. Makihara, A. Ohta, and S. Miyazaki, Characterization of Electron Charging and Transport Properties of Si-QDs with Phosphorus Doped Ge Core", 1st Joint ISTDM / ICSI 2018 Conference; 9th International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM)/11th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI), P-38 (May 27-31, 2018, Potsdam, Germany).

（7）K. Makihara, M. Ikeda, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electroluminescence from Multiply Stacked Si Quantum Dots with Ge Core by Alternate Carrier Injection, 1st Joint ISTDM / ICSI 2018 Conference; 9th International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM)/11th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI) (May 27-31, 2018, Potsdam, Germany).

（8） [招待講演] 牧原克典、宮崎誠一,「Si-Ge ナノ構造制御で展開する電子デバイス開発」, 2018 年日本表面真空学会中部支部研究会 (静岡大学, 2018 年 11 月 30 日)

（9） [招待講演] 牧原克典、宮崎誠一,「ナノ構造制御で展開する電子デバイス開発と機能進化・高度化への挑戦」, 第 3 回ニューフロンティアリサーチワークショップ (岐阜大学, 2018 年 6 月 8 日)

（10）永井僚、藤森俊太郎、前原拓哉、池田弥央、大田晃生、牧原克典、宮崎誠一、B 添加が Ge コア Si 量子ドットの PL 特性に及ぼす影響、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、10a-W934-7(東京工業大学)

（11）藤森俊太郎, 山田健太郎, 永井僚, 牧原克典, 池田弥央, 宮崎誠一, Ge/Si 量子ドット上への Si 選択成長および発光特性評価, 第 6 回応用物理学会名古屋大学スチューデントチャプター東海地区学術講演会, P31 (名古屋大学, 2018 年 11 月 25 日)

（12）永井僚, 藤森俊太郎, 池田弥央, 牧原克典, 大田晃生, 宮崎誠一, P 添加 Ge コア Si 量子ドットの帯電および局所電気特性評価, 第 6 回応用物理学会名古屋大学スチューデントチャプター東海地区学術講演会, P30 (名古屋大学, 2018 年 11 月 25 日)

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：H28/A04

超伝導検出器と読出回路の高性能化に関する研究

［1］組織

研究代表者

石野　宏和（岡山大学自然科学研究科）

通研対応教員

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

神代　暁　（産業技術総合研究所）
猪股　邦宏　（理化学研究所）
大野　雅史　（東京大学大学院工学系研究科）
伊豫本　直子（九州大学大学院工学研究院）
日高　睦夫　（産業技術総合研究所）
水柿　義直　（電気通信大学情報理工学部）
前澤　正明　（産業技術総合研究所）
明連　広昭　（埼玉大学工学部）
吉川　信行　（横浜国立大学工学部）
藤巻　朗　（名古屋大学工学研究科）
小野美　武　（福岡工業大学工学部）

延べ参加人数：13 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	251,000 円

［2］研究経過

半導体検出器の性能をはるかに凌駕する超伝導検出器は、世界においてますます需要が増している。その理由は、感度や精度のみならず、測定可能対象が、マイクロ波から可視光・近赤外・X線・ガンマ線・荷電粒子に至るまで幅広く、波長領域および多種類の量子測定が可能であるからである。超伝導検出器の種類は多種に及ぶが、今後の動向としては、多素子化が鍵となる。すなわち、個々の超伝導素子としての性能は十分あるが、面積が小さいため、統計精度が上がらない、という欠点がある。例えば、ガンマ線分光器では、既存ゲルマニウム(Ge)検出器が約 600 ㎟ の受光面積を持つのに対し、超伝導検出器１個の受光面積は約１㎟に過ぎない。ミリ波・サブミリ波領域では、酸化物焦電検出器（パイロメータ）、酸化バナジウム(VO_x)ボロメータ、ガリウムヒ素(GaAs)ショットキーダイオード等、$10-10^5$ 画素のイメージャが既に市販されている。従って、超伝導検出器を多素子化し、大面積・大立体角・高統計量を保持するのが今後の課題となる。

多素化（アレイ化）実現の研究課題には、各画素間のパラメータと性能の均一性向上の技術開発がある。また、画素化に伴い増大する、極低温-室温間の信号線数と信号線を介した室温から極低温への流入熱が、検出器システムの体積・消費電力・価格を支配する極低温冷却系の大型化・複雑化を招く。超伝導検出器の普及を妨げる問題への対策として、極低温下での信号多重回路（Multiplexer）開発が挙げられる。欧米では、このような二本柱に沿った超伝導検出器アレイの研究開発が盛んである。一方、日本の超伝導検出器の研究は、単一画素の性能では欧米並みの成果を挙げながら、多画素化で後れをとっているように見える。これは、多画素化研究には多くのマンパワー・資金・時間が必要とされるのに対し、国内機関によるこれまでの研究が、標記目的のため組織化されているとは言い難いことが１つの原因と考えられる。

以上の状況を鑑み、本プロジェクトでは、日本の超伝導検出器大規模アレイ化の研究活性化を目的とし、国内各機関の関係者の英知を集めた技術討論を活動の１つとしている。３年目にあたる 2018 年度は、10 月 10,11 日の二日間にわたって、東北大学にて、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会との共催研究会を開催した。招待講演２件のほか、超伝導遷移端検出器、超伝導ナノワイヤ、超伝導技術を用いた電子回路および超伝導薄膜の特質の研究に対する研究発表が行われた。研究会には約 30 名の参加があり、昨年度に比べ画素数増大が図られる等、進捗著しい成果の発表と活発な意見交換がなされ、有意義な研究会となった。

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会のトピックスを以下に記述する。

宇宙科学研究所の中島は高速応答マイクロ波SQUIDによるTES型X線カロリメータの読み出しの開発状況を報告した。この研究では、1万以上の素子からなる大規模検出器アレイを読み出すために周波数領域での多重読み出しを目指すものである。SQUIDマルチプレクサを用いてX線を照射することにより、エネルギー分解能についてFe-55 (5.9kev)について11.8eVを得た。この分解能は、雑音に換算すると、120pA/rtHzに相当し、TES自信の熱雑音より大きいことがわかった。この雑音を改善するための研究が行われており、成功すれば6分の1程度まで軽減することができると期待される。

埼玉大の明連は、超伝導ナノワイヤを用いた光子数検出器の比較を行った。超伝導ナノワイヤ単一光子検出器を様々な方法でアレイ化することにより、光子数分解能を持つ光子数検出器を構成することが可能である。先行研究では、抵抗シャント超伝導ナノワイヤ直列アレイ、光検出器集中定数型力学インダクタンス検出器アレイ、および単一磁束量子論理回路読み出しによる超伝導ナノワイヤアレイを用いた光子数検出器の提案が行われてきたが、本講演では、これらの光子数検出器の比較研究が行われた。その結果、SNSPDアレイ検出器を用いることにより、GHzを超える動作速度を得るための指針を得た。

名古屋大学の三木は、超伝導ディジタル信号処理回路の適用による超伝導単一光子検出システムの高度化を行った。超伝導単一磁束量子(SFQ)回路を適用した超伝導単一光子検出器(SSPD)アレイ出力の多重化信号処理、量子情報通信応用のための光子同時計測測定や、光子イメージングカメラの実現に向けてた時空間エンコード回路を用いたSSPDアレイ動作実証・断熱磁束量子回路を用いた読み出し回路の動作実証を行った。

情報通信研究機構の宮嶋は64ピクセル超伝導ナノワイヤ単一光子検出器を用いたリアルタイム光子イメージングを行った。SFQとFPGA(Field Programmable Gate Array)を組み合わせた信号処理システムを構築することに成功し、30kcpsまで線形性を保った状態で読み出しシステムが作動したことを確認した。

名古屋大学の佐野は、SFQ-CMOSハイブリッドメモリ構築に向けた超伝導ナノ構造トランジスタの設計と評価を行った。超高速動作に優れているSFQ回路と高集積性に優れているCMOSメモリーを組み合わせることにより、高性能な大容量メモリシステムが実現可能になる。256-MBのメモリシステムを構築し、その消費電力が3-4mWであることが示された。また、nTronと異なる原理を有する新提案デバイスにおいて、18kΩの大きな出力抵抗を単素子で得られることを実験的に確認した。

国立天文台の野口は、高品質Nb薄膜を用いた超伝導共振器の特性について報告した。残留抵抗RRRが80以上を持つ高品質Nb薄膜を用いて共振器を作製することにより、内部Q値の最大値は4000千万に達した。Q値の温度依存性を測定することにより、超伝導薄膜内で生じる電子・電子および電子・フォノン散乱への物理過程を探ることができる。熱励起による残留準粒子の力学的インダクタンスと近藤効果の温度依存性を考慮することにより、実験結果をうまく説明することに成功した。これらの準粒子は超伝導ギャップ内に存在し、フェルミ液体に近い状態を形成していることを示唆している。

横浜国立大学のChristopher Ayalaはadiabatic quantum flux parametron (AQFP)について報告した。AQFPは、消費エネルギーが小さいコンピュータシステムを構築する有望な技術だと考えられている。コンピュータを構築するためには、それぞれのゲートの作動の同期をとる必要がある。この研究では、その同期を調べるための手法について報告された。
横浜国立大学の大熊は、非対称AQFPゲートを用いた論理回路の小面積化及び動作実証を行った。その結果従来の論理回路と比較して、十分に広い動作マージンを有することが示された。非対称AQFPゲートを用いることにより、4入力16出力デコーダを作製し、従来の者より面積を32%、接合数を18%削減することに成功し、かつ正常に動作することを確認した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいて、これまで異分野で交流が無かった宇宙素粒子物理実験系と超伝導エレクトロニクスの工学系の研究者の交流が促進されるに至り、超伝導技術の利用に幅が広がりつつある。最近の宇宙・素粒子物理分野においては、超高精度・超高感度が要求され、超伝導検出器の利用は今後おおいに期待される。このような状況において、本プロジェクトは異分野融合・横断型の架け橋を担い、これまで無縁であった研究者間の交流が可能になり、新しい境界領域での研究領域の開拓が可能になった。今後、大型外部予算獲得に向けた動きも促進され、今後の発展が期待される。

［4］成果資料

学術論文

[1] N. Takeuchi, N. Yoshikawa, “Minimum energy dissipation required for a logically irreversible

operation,” Phys. Rev., vol. E 97 (2018) 012124.
[2] N. Takeuchi, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, “(Invited Paper) Recent Progress on Reversible Quantum-Flux-Parametron for Superconductor Reversible Computing,” IEICE Transaction on Electronics, vol. E101-C (2018) 352.
[3] Y. Yamanashi, S. Nakaishi1, A. Sugiyama, N. Takeuchi, N. Yoshikawa, “Design methodology of single-flux-quantum flip-flops composed of both 0- and π-shifted Josephson junctions,” Supercond. Sci. Technol., vol. 31 (2018) 105003
[4] T. Yamae, N. Takeuchi, N. Yoshikawa, “A reversible full adder using adiabatic superconductor logic,” Supercond. Sci. Technol., vol. 32 (2018) 035005.
[5] N. Takeuchi, T. Yamae, C. L. Ayala, H. Suzuki, N. Yoshikawa, “An adiabatic superconductor 8-bit adder with 24kBT energy dissipation per junction,” Appl. Phys. Lett., vol. 114 (2019) 042602.
[6] C. J. Fourie, K. Jackman, M. M. Botha, S. Razmkhah, P. Febvre, C. L. Ayala, Q. Xu, N. Yoshikawa, E. Patrick, M. Law, Y. Wang M. Annavaram P. Beerel S. Gupta S. Nazarian M. Pedram “ColdFlux Superconducting EDA and TCAD Tools Project: Overview and Progress,” IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 29 (2018) 1300407.
[7] Y. Nakashima et al., "Readout of X-ray Pulses from a Single-pixel TES Microcalorimeter with Microwave Multiplexer Based on SQUIDs Directly Coupled to Resonators," J. Low Temp. Phys., vol. 193 (2018) 618. DOI: 10.1007/s10909-018-2030-0
[8] S. Kohjiro, F. Hirayama, “Frequency-domain cascading microwave superconducting quantum interference device multiplexers; beyond limitations originating from room-temperature electronics,” Supercond. Sci. Technol., vol. 31 (2018) 035005. DOI: 10.1088/1361-6668/aaa3c1
[9] Y. Arai et al., "Double-Flux-Quantum Amplifier with a Single-Flux-Biasing Line," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1054 (2018) 012062.
[10] Y. Yamada et al., "Frequency-Domain Multiplexing Readout with a Self-Trigger System for Pulse Signals from Kinetic Inductance Detectors", Low Temp. Phys., Vol. 193, Issue 3-4, (2018) 518-524; doi:10.1007/s10909-018-1911-6
[11] Y. Kida et al., 「等間隔共振周波数を目指したニオブ製集中定数型力学インダクタンス検出器の設計と制作の改善」、低温工学、54 巻 1 号、(2019) 33-36; doi.org/10.2221/jcsj.54.33
[12] H. Myoren et al., "Readout Circuit Based on Single-Flux-Quantum Logic Circuit for Photon-Number-Resolving SNSPD Array," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 28 (2018) 2500304 .

国際会議発表

[1] N. Yoshikawa, “(Invited) Recent Development of Extremely Energy-Efficient Integrated CircuitsUsing Adiabatic Flux Parametron” The 14th International Workshop of High-Temperature Superconductors in High Frequency Field (HTSHFF2018), Zao, Yamagata, June 5-8, 2018.
[2] C. Ayala, Q. Xu, R. Saito, T. Tanaka, N. Takeuchi, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, “Execution units for a RISC-based adiabatic quantum-flux-parametron microprocessor datapath, ” Applied Superconductivity Conference (ASC2018), Seattle, Oct. 28-Nov. 2, 2018.
[3] A. Sanada, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, “Study on Single Flux Quantum Floating-Point Divider Based on Goldschmidt’s Algorithm, ” Applied Superconductivity Conference (ASC2018), Seattle, Oct. 28-Nov. 2, 2018.
[4] F. China, N. Takeuchi, T. Ortlepp, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, “A High-Speed Voltage Driver using a 4JL Gate for Adiabatic Quantum Flux Parametron, ” Applied Superconductivity Conference (ASC2018), Seattle, Oct. 28-Nov. 2, 2018.
[5] Y. Tomitsuka, Y. Abe, N. Zen, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, “Demonstration of picosecond time resolution of double-oscillator time-to-digital converters using single-flux-quantum circuits, ” Applied Superconductivity Conference (ASC2018), Seattle, Oct. 28-Nov. 2, 2018.
[6] N. Takeuchi, T. Yamashita, S. Miyajima, S. Miki, N. Yoshikawa, H. Terai, “Demonstration of a superconducting nanowire single-photon detector using adiabatic quantum-flux-parametron logic in a 0.1 W Gifford–McMahon cryocooler, ” Applied Superconductivity Conference (ASC2018), Seattle, Oct. 28-Nov. 2, 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(萌芽)

採択番号：H28/A05

半導体中の局在電子分極における局所電場効果に関する研究

［1］組織

研究代表者：

三森　康義（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

三森　康義（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

小川　佳宏（上越教育大学大学院学校教育研究科　自然・生活教育学系）

延べ参加人数：2人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	82,000円

［2］研究経過

半導体中の局在電子分極は空間的な並進対称性が破れているため、縦波、横波の両方の波としての性質を備えている。このうち縦波成分は光誘起電荷と等価であるため、局在電子分極を光励起すると、必然的に光誘起電荷も励起される。この光誘起電荷は電子分極内でクーロン相互作用し、共鳴周波数を変調し、局所電場効果を発現する。このため、光励起強度の操作を通じて、電子分極の共鳴周波数は制御可能であると予測されている。本研究では、半導体中の局在電子分極の局所電場効果の実験的検証と、その効果を利用する非常に大きな光学非線形性を有する光デバイス開発に向けた基礎研究を行った。

半導体中の局所電場効果は電子分極の共鳴周波数を励起光の照射強度により変調するため、非常に大きな屈折率変化や複雑な励起過程を示すと期待されている。そのような光学効果を利用することにより、新動作原理の光デバイスや、新型の自己位相変調素子等が理論的に提案されている。一方、局所電場効果の実験的観測は現在、半導体量子ドットにおいてのみ成功している。半導体量子ドットは個々の量子ドット中の電子分極の共鳴周波数を制御し、均一に結晶成長することは、現在、非常に難しい技術的課題となっている。このため局所電場効果特有の光学効果の検証、また局所電場効果を最大限利用する光学デバイス開発において難点が生じている。そこで、本研究プロジェクトでは局所電場効果特有の光学効果の実験的検証が容易でかつデバイス応用に向けた新材料として、半導体中の不純物中心に局在している束縛励起子に着目し、束縛励起子分極の局所電場効果の発現について、非線形分光法を用いて実験的検証を行った。

本研究では研究分担者である上越教育大学の小川佳宏准教授から提供されたGaAs基板上のZnSe薄膜中の中性ドナー準位に束縛にされた励起子分極において検証実験を行った。なお、小川准教授との研究打ち合わせ、共同実験を平成３０年１２月４日～１２月６日において実施した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、GaAs基板上に結晶成長したZnSe薄膜(膜厚3.2μm)中のGa不純物準位に局在した中性束縛励起子を用いて実験を行った。サンプルの発光スペクトルを図1に示す。測定量子状態は図中のD^0X_{lh}で示すライトホール束縛励起子であり、励起レーザー光をその準位に共鳴させ、四光波混合(FWM)信号のスペクトル測定を行い、局所電場効果特有の光学効果の観測を行った。

図2に遅延時間100psにおけるFWMスペクトルの励起強度依存性を示す。励起強度 I_{pump} ～0.3I_0時のスペクトルで2.7960eVの主ピークはD^0X_{lh}の最低エネルギー状態からの信号で、2.7969eV のピークはD^0X_{lh}の第一励起状態からの信号を表している。光励起強度を増加すると２つのピークは徐々に低エネルギー側にシフトしていく様子が観測された。これは局所電場効果特有の光学効果である。つまり、光励起強度の増加により励起子分極内の光誘起電荷量が増加し、その電荷間のクーロンエネルギーの変化により、共鳴周波数が低エネルギー側にシフトしたと

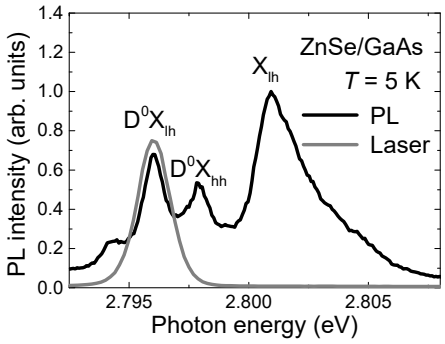


図１：ZnSe/GaAs の発光スペクトルと励起レーザースペクトル。$D^0X_{lh(hh)}$はライトホール(ヘビーホール)束縛励起子を表し、X_{lh}は自由ライトホール励起子を表している。

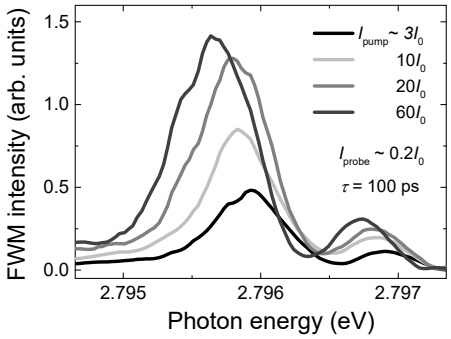


図２：FWM スペクトルの励起強度依存性。遅延時間を 100ps に設定。中央の主ピークがD^0X_{lh}の最低エネルギー状態（ｎ＝０）、高エネルギー側の副ピークが第一励起状態（ｎ＝１）からのシグナルに対応。

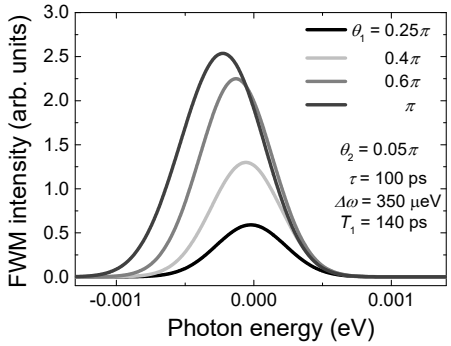


図３：FWM スペクトルの数値計算結果。遅延時間を 100ps に設定。

考えられる。観測された FWM スペクトルの励起強度依存性が局所電場効果に由来する光学効果であるか確かめるために、局所電場効果を考慮した光学的ブロッホ方程式を利用して FWM スペクトルの励起強度依存性の数値計算を行った。簡単化のため、主ピークのみについて数値計算を行った。図３に計算結果を示す。数値計算結果は非常に実験結果のスペクトル変化を再現している。また、数値計算内におけるパラメータも過去に報告された文献値ともよく一致しており、観測された FWM スペクトルの変化が局所電場効果に由来することを理論的にも示すことができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

半導体中の不純物中心に束縛されている励起子分極の研究は従来、エネルギー構造を求める研究が主流であった。また、近年では単一光子源、量子メモリ中のスピン操作に関する研究が行われている。本研究プロジェクトにより、束縛励起子は局所電場効果を発現し、さらに局所電場効果を利用すると、光励起強度によって局在励起子の共鳴エネルギーの制御が可能であることを立証した。半導体中の不純物中心に束縛されている電子分極はほぼ全ての半導体で観測される量子状態である。このような一般的な量子状態において新量子物性機能を開拓したことは、今後の材料物性、新動作原理の量子光デバイス開発に非常に大きな自由度を与えると考えられる。

［４］成果資料

本研究期間内おいて下記３件の学会発表を行った。また、現在、論文投稿中である。

（１）日本物理学会　2018 年秋季大会、“ZnSe 中の不純物中心に局在する励起子の四光波混合 III”、三森康義、常盤圭佑、Mark Sadgrove、 枝松圭一、小川佳宏

（２）日本物理学会　第 74 回年次大会、“ZnSe 中の不純物中心に局在する励起子共鳴エネルギーのコヒーレント制御”、鈴木聖也、三森康義、Mark Sadgrove、枝松圭一、小川佳宏

（３）日本物理学会　第 74 回年次大会、“ZnSe 不純物中心に局在する励起子四光波混合の減衰形状の励起強度依存性”、三森康義、鈴木聖也、Mark Sadgrove、枝松圭一、小川佳宏

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	③

（若手・国際）

採択番号：H28/A06

キラルナノ導波路に結合される量子エミッター

［１］組織

研究代表者

Mark Sadgrove（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

Mark Sadgrove（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Scott Parkins (University of Auckland, Physics Department)

Sandro Wimberger (Parma University, Physics Department)

延べ参加人数　４人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	246,000 円
国際特別支援費	220,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［２］研究経過

In recent years, progress has been made in coupling solid state emitters to sub-wavelength dimension waveguides. However, for use in quantum information, these single photon sources should be polarized, uni-directional, and storage of quantum states on the waveguide should be possible. In this research we aim to **i)** create polarized, fiber coupled single photon sources, **ii)** use the newly discovered chiral properties of nanowaveguides to create directional single photon sources and **iii)** control cold atoms near a nanowaveguide and couple their emitted single photons directionally to an optical fiber using metal nanoparticles. **These novel research goals i)-iii) have not been achieved by other groups.**

In the proposed research we will combine colloidal quantum dots with gold nanorods and deposit the combined particles on a nanofiber. This will allow us to create a polarized fiber coupled single photon source (SPS) due to the gold rod plasmonic enhancement of just one polarization. The same method can be applied to other quantum emitters such as vacancy centers in nano-diamond particles.

We will also demonstrate polarization dependent directional fiber coupling for quantum emitters (either quantum dots or defect centers in nanodiamond) combined with gold nanorods. This is known as the “chiral waveguide” effect, and has never been demonstrated for single photon sources. **iii)** We will create a cloud of cold atoms in a vacuum cell containing a nanofiber. By coupling atoms and quantum dots deposited on the same nanofiber, we plan to create a hybrid system with the superior coherence of atoms (for quantum memory) and the convenience of quantum dots.

［３］成果（３－１）研究成果

We have achieved the following results in the project so far:

- Proposal for a new type of atom trap using a composite nanofiber device. ([M. Sadgrove and K. P. Nayak New Journal of Physics **19**, 063003 (2017)]).
  In this paper, I worked with my colleague Kali Nayak to propose a novel scheme for interfacing cold atoms with a nanofiber. The scheme used a combination of a nanofiber and a nanostructured grating to both diffract incident light, creating optical traps for atoms near the fiber, and to create a cavity mode with the nanofiber. By carefully designing the nano-grating element, it was possible to create an array of traps whose centers align with the cavity mode antinodes. This means that the atoms are optimally coupled to the nanofiber cavity - solving a difficult problem in nano-optical cavities.
- Measurement of the chiral polarization response of a gold particle on a nanofiber.
  ([M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori,

and K. Edamatsu, Sci. Rep. **7**, 17085 (2017)])

In this paper we measured the chiral coupling to modes of an optical nanofiber by using a gold nanoparticle on the nanofiber's surface as an optical antenna.

We reconstructed the polarization response over the entire Poincare sphere (see Fig. 1) and found an approximate mirror image response for the left and right hand sides of the fiber as expected for a chiral system.

We also developed a scaling theory in order to summarize our data. This work will also be used to allow us to distinguish single and multiple particles on the nanofiber surface.

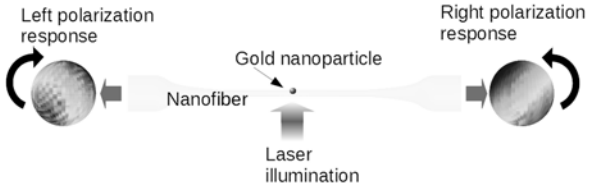


Figure 1: Polarization response of coupling to a nanofiber measured for arbitrary polarization for the first time. The results show the response plotted on the Poincare sphere.

- Apart from published results, we have made the following progress in the lab:
  - Realization of single photons from quantum dots coupled to gold nano-rods on a nanofiber.
    [M. Sugawara *et al.*, Japan Physical Society Meeting, 16PK201-3 Kyushu Univ., Spring 2019]
  - Realization of a magneto-optical trap of rubidium atoms in the presence of an optical nanofiber with a gold nanorod attached to its surface
    [M. Sadgrove, Japan Physical Society Meeting, 16PK201-5 Kyushu Univ., Spring 2019].
  - Development of a new microscope system to manipulate nanoparticles in a liquid. We may use this for our quantum dot experiments in order to combine quantum dots and gold nanoparticles.
    [T. Yoshino *et al.*, Japan Physical Society Meeting, 16PK201-4 Kyushu Univ., Spring 2019]

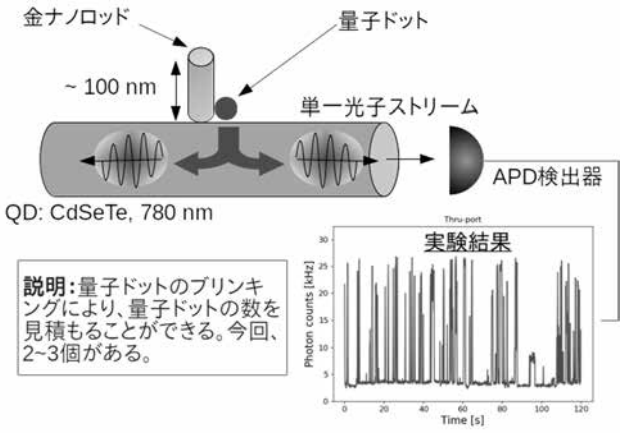


Figure 2: Measured blinking statistics for quantum dots deposited with gold nanorods on an optical nanofiber. The blinking statistics suggest between 2 and 3 quantum dots - close to our single emitter goal. Results measured by M. Sugawara.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The research we have developed as part of this project makes our group a leader in chirally coupled emitters and nanowaveguides in Japan, and makes us competitive on the world stage.

We have presented our results at the following meetings and symposia:

- International meeting:
  Optical Nanofiber Applications (ONNA), June 5-8 (2017)
  Okinawa Institute of Science and Technology.
  Participant number: ~50
  M. Sadgrove "Composite techniques using nanofibers"
- International symposium:
  International Symposium on Photonics and Optical Communications
  Tohoku University.
  Oct. 25-26 [OP](2017).
  M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, "Characterization of a Chiral Nano-Optical Device".
- International symposium:
  Japan Society of Applied Physics Meeting JSAP-OSA Joint Symposium

Fukuoka Convention center
5-8 September (2017)
M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “Chiral polarization response of a nano-photonic device, 78, 8a-A409-7,

- National syposium:
Nanofiber Discussion Mini-symposium,
University of Electro-communication
18 March (2019)
M. Sadgrove, *et al.* “Optical trapping and transport of liposomes along an optical nanofiber.”
Participant number: ~ 20
- National symposium:
Light Manipulation Symposium
Jan. 22-23 (2018)
Osaka University.
M. Sadgrove “Composite nanofiber / metal nanoparticle devices for the manipulation of nanoparticles”,
Participant number: ~50

［４］成果資料

[1] K. Nayak, M. Sadgrove, R. Yalla, F. L. Kien, and K. Hakuta, “Nanofiber Quantum Photonics”, Journal of Optics **20**, 073001 (2018). {5 citations}

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：H28/A08

ブレインウェアのアーキテクチャの研究

［1］組織

研究代表者

加納　敏行（日本電気（株））

通研対応教員

堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

大堀 淳，塩入 諭，鈴木 陽一，佐藤 茂雄，石黒 章夫，北村 喜文，羽生 貴弘，加納 剛史，夏井 雅典（東北大学電気通信研究所）

中尾 光之，松宮 一道，片山 統裕（東北大学大学院情報科学研究科）

大脇 大（東北大学大学院工学研究科）

川上 進（東北大学電気通信研究所 元教授）

虫明 元（東北大学大学院医学系研究科）

矢野 雅文，中島 康治（東北大学名誉教授）

坂本 一寛（東北医科薬科大学医学部）

外池 光雄（藍野大学医療保健学部）

中嶋 宏（オムロン（株））

江村 克己，小川 雅嗣（日本電気（株））

松田 雄馬（アイキュベータ本社）

濱本将樹，足立佳久（シャープ(株)）

山川 宏（ドワンゴ人工知能研究所）

植野 研（(株)東芝）

牧野 悌也（東北学院大学情報科学科）

小野田 邦広，光本 直樹（(株) デンソー）

佐藤 直行（はこだて未来大学システム情報科学部）

山崎 匡（電気通信大学情報理工学研究科）

佐藤 俊治（電気通信大学システム学研究科）

青沼 仁志（北海道大学電子科学研究所）

近藤 敏之（東京農工大学工学府）

高草木 薫（旭川医科大学脳機能医工学研究センター）

淺間 一（東京大学大学院工学研究科）

太田 順（東京大学人工物研究センター）

中溝 克己，村田 哲（近畿大学医学部）

青井 伸也（京都大学大学院工学研究科）

三宅 美博（東京工業大学総合理工学研究科）

多田 順次（東京デザインテクノロジーセンター専門学校学校長）

延べ参加人数：76 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	301,000 円

［2］研究経過

近年、AI（人工知能）が第3次ブームとなっているが、これは、ネットワークの発展により可能となったBig Dataを用いて、従来のバックプロパゲーションなどのニューラルネットワーク手法を、最新の高速な計算機上で実行するものであり、脳の情報処理様式とはかけ離れており、その制約・限界も見えている。これに対し我々は、人間の知的な活動を本格的に実現する本物の人工知能を「Brainware」と呼んでおり、このBrainware Architecture創生に向けて、特に、現在のTuring Machineとの比較・検討を基に、研究を進めている。A. Turingは数学の形式体系は簡単なデバイスからなるマシンの動作に置き換えられることを示し、計算とアルゴリズムの関係を明らかにしている。ただし、そこでは予めアルゴリズムが分かり、プログラムを内蔵しておかなくてはならない。これは人間が実世界で、不測の事態にでも適応できるように、新しい情報を創るアーキテクチャとは異なる。そこで、与えられた環境下で「自己言及性」と「仮説の設定」を論理体系に組み込むことによって、不完全情報、曖昧情報からなる不良設定問題を解くことが出来る。そのためのアーキテクチャの構築を目指して、我々はこれまで10年以上に亘り、共同プロジェクト研究を通して、ブレインウェア研究会を継続的に開催してきた。本研究でもこの研究会を継続し、様々な視点からBrainwareのアーキテクチャについて検討した。

本研究は、本年度が3年目（最終年度）であった。前年度は、Brainwareに関し、視覚認識における空間視のLSIシステムの実装と実験や、リザバー計算の数理とシミュレーション、DNNアクセラレータ、予測不可能的に変化する無限定環境下において、大自由度の複雑システムをリアルタイムかつ自律的に制

御する方法についての成果を得た。本年度は、引き続き、Brainware の基本的構成と実装に関する研究を展開した。

以下に実施した研究集会の概要を記す。

研究会開催実績：

第1回 ブレインウェア研究会・平成 30 年 7 月 19 日
東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟 4F A401 室
『脳内神経回路における揺らぎと同期』（立命館大学・情報理工学部・坪 泰宏）、『脳型無線センサネットワークの実現に向けて』（大阪大学大学院・情報科学研究科・若宮 直紀）
出席者 24 名

第 2 回 ブレインウェア研究会・平成 30 年 10 月 15 日
東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟 4F A401 室
『CMOS 技術を用いた光・電気神経インターフェスデバイス』（奈良先端技術大学院大学・先端技術研究科・徳田崇）、『レーザーにおけるコンステンシーとリザーバコンピューティングへの応用』（埼玉大学大学院・理工学研究科・内田 淳史）
出席者 14 名

第 3 回 ブレインウェア研究会・平成 30 年 12 月 10 日
東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟 4F A401 室
『脳情報処理の理解に向けた数理モデリングとデータ解析理論』（東京大学・ニューロインテリジェンス国際研究機構・藤原 寛太郎）、『非同期分岐プロセッサの数理と応用』（法政大学・理工学部・鳥飼 弘幸）
出席者 19 名

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

● 昨年度までに、視覚認識における空間視や形態視を生理学的知見に基づいて発散と収束を繰り返すことで情報処理をする LSI を、TSMC 65nm CMOS プロセスにより実装したが、本年度はこれをシステム化した実験装置を構築し、その有効性を実験的に確認した。

● 身体や環境等による制約条件下で、脳が創発的に発達させた注意の機構や意識など、脳に特有で処理的にもエネルギー的にも効率的な処理様式について検討し、身体性(embodiment)を考慮に入れたハードウェアシステム内で参照自己として活用できる、カオスニューラルネットワークリザバーを提案した。

● 生体とのハイブリッドシステムの研究を通し、脳型情報処理様式について、特に、脳に特有な情報処理機構の基になる基本構造の検討を行った。

● サイバー仮想空間における生命や知能に関する知見と、ロボットを用いた実空間、実時間における知能との比較・検討により、実世界での脳の情報処理について検討した。

● 自然知能と生命知能に関して、特に自然計算と神経活動による計算との比較・検討により、脳内の複雑なスパイク列パターンによる計算について検討した。

● 現在の AI ハードウェアに代わる効率的でより脳に近いハードウェアの構築に向け、確率的な計算を効率よく行う回路や、スピンデバイスについての考察を行った。

● 予測不可能的に変化する無限定環境下において、大自由度の複雑システムをリアルタイムかつ自律的に制御する、制約条件の自己生成・自己充足法についてさらなる検討を行った。

さらに、平成 30 年度東北大学電気通信研究所ブレインウェア研究会報告書を発行した（平成 31 年 3 月刊行）。

（3－2）波及効果と発展性 研究分野への貢献など

本共同プロジェクト研究を推進することで、現在の AI ハードウェアが直面する問題、例えば、大消費電力で大規模・高性能なノイマン型コンピュータの必要性、非リアルタイム学習による限定的な処理、ビッグデータの必要性、などの様々な問題を解決することができ、現状の Business AI、Home AI を超え、Personal AI や Human-centric AI を支える AI ハードウェアデバイスが実現可能になると考えられる。さらに、Turing Architecture を超えて、人間のような知を扱える情報システム実現に加え、真の脳型情報処理様式の解明に貢献できる。また、エッジ AI デバイスやシステムの構築を可能とする基本技術を提供可能である。

［4］成果資料

(1) N. Kon, N. Abe, M. Miyazaki, H. Mushiake, I. Kazama "Partial exposure of frog heart to high-potassium solution: an easily reproducible model mimicking ST segment changes. " J Vet Med Sci. 80(4), 578-582, 2018.

(2) A. Muhammad A. Haider, Y. Matsuzaka, H. Mushiake "Neuronal activity in primate posterior medial prefrontal cortex during selection of behavioral tactics to transform sensory information into action,"The 2nd International Symposium on Embodied-Brain, 2018.

(3) R. Hosaka, H. Watanabe, T. Nakajima, and H. Mushiake "Increasing LFP theta power reflects protecting motor plans from an interruption in primate motor areas" in FENS forum, Berlin,

Germany, 2018.
(4) S. Shioiri, M. Kobayashi, K. Matsumiya, I. Kuriki "Spatial representations of the viewer's surroundings," Scientific Reports, 8, 2018.
(5) N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Non-linear variation of domain period under electric field in demagnetized CoFeB/MgO stacks with perpendicular easy axis," Applied Physics Letters, 112, 202402, doi:10.1063/1.5035487, 2018.
(6) Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO," Applied Physics Letters, 112, 192408, doi:10.1063/1.5027855, 2018.
(7) M. Ikeda, J. Deguchi, S. Fukushima, A. Qingyu, N. Katayama, H. Miura, Y. Oyama "Some adverse actions of chlorothalonil at sublethal levels in rat thymic lymphocytes: Its relation to Zn2." Environmental Toxicology and Pharmacology, 59, 61-65, 2018.
(8) Y. Yoshida, M. Nakao, N. Katayama, "Resting-state functional connectivity analysis of the mouse brain using intrinsic optical signal imaging of cerebral blood volume dynamics," Physiological Measurement, 39(5), 054003, 2018.
(9) A. Fukuhara, D. Owaki, T. Kano, R. Kobayashi, and A. Ishiguro, "Spontaneous gait transition to high-speed galloping by reconciliation between body support and propulsion," Advanced Robotics 32, 794-808, 2018.
(10) Y. Sekiguchi, T. Muraki, D. Owaki, K. Honda, S. Izumi "Regulation of quasi-joint stiffness by combination of activation of ankle muscles in midstances during gait in patients with hemiparesis," Gait & Posture, 62, 378-383, 2018.
(11) T. Nakashima, H. Mushiake, K. Sakamoto, "Earthworm individualities when facing a conflict between turn alternation and aversive learning," Biophysics and Physicobiology, 15, 159-164, 2018.
(12) N. Sato, H. Mizuhara, "Successful encoding during natural reading is associated with fixation-related potentials and large-scale network deactivation," eNeuro, 5(5), ENEURO.0122-18, 2018.
(13) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a highly reliable, high-speed MTJ-based lookup table circuit using fractured logic-in-memory structure," Japanese Journal of Applied Physics, 58(SB), SBBB10~1-SBBB10~7, 2019.
(14) M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "Design of an energy-efficient XNOR Gate based on MTJ-based nonvolatile logic-in-memory architecture for binary neural network hardware," Japanese Journal of Applied Physics, 58(SB), SBBB01~1-SBBB01~7, 2019.
(15) D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, "Circuit optimization technique of nonvolatile logic-in-memory based lookup table circuits using magnetic tunnel junction devices," Microelectronics Journal, 83, 39-49, 2019.
(16) T. Kano, Y. Ikeshita, A .Fukuhara, and A. Ishiguro, "Body-limb coordination mechanism underlying speed-dependent gait transitions in sea roaches," Scientific Reports, 9:2848, doi: 10.1038/s41598-019-39862-3, 2019.
(17) K. Matsumiya, “Separate multisensory integration processes for localization and ownership of body parts”, Scientific Reports, 9:652; https://doi.org/10.1038/s41598-018-37375-z, 2019.
(18) Y. Horio, N. Ichinose, and M. Ogawa, "Experimental verification of quasi-periodic-orbit stabilization using a switched-capacitor chaotic neural network circuit," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 9(2), 218-230, DOI: 10.1587/nolta.9.218, 2018.
(19) N. Ichinose, Y. Horio, and M. Ogawa, "Statistical test of quasiperiodicity in the presence of dynamical noise," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 9(2), 231-242, DOI: 10.1587/nolta.9.231, 2018.
(20) S. Hu, C. D. Salvador, J. Trevino, S. Sakamoto, and Y. Suzuki, “Modeling head-related transfer functions with spherical wavelets,” Appl. Acoust., 146, 81-88, 2019.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(萌芽・国際)

採択番号：H28/A09

知的創造活動支援のためのお菓子提示デバイスの効果研究

［1］組織

研究代表者：
上岡　玲子（九州大学大学院芸術工学研究院）
通研対応教員：
高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
月田有香（Cheers Inc.）
横山ひとみ（東京農工大学，現岡山理科大）
藤原健（大阪経済大学）
Miguel Nacenta（University of St. Andrews）
大塚正斗（九州大学大学院）
桑畑健吾（九州大学大学院）

延べ参加人数：8 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	231,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

近年，情報技術を利用して人の活動を高める研究が盛んである．働き方改革が叫ばれる中，個人の能力を最大限に引き出す作業空間作りや工夫など様々な試みがあるが未だ決定的なアプローチは見出されていない．個人能力だけではなく，幅広い分野の人がチームとなった共創によって効率よくアイデアを創出することを狙うことも盛んにされている．しかしながら，チーム構成によってはディスカッションの進行がぎこちなくなり，共創の効果が得られないばかりか逆効果のときもある．この問題を解決するための手段として，お菓子が注目されている．ディスカッション中にお菓子を提示することで，コミュニケーション，生産性や創造性に影響を与えることを示す研究は多く存在する．しかし，提示するお菓子の種類や提示のタイミングが与える影響は定かではない．

本研究では昨年度までの先行実験の知見から，お菓子の提示が話者間の行動，特に発話の頻度に大きく影響することが示唆されたため，ワークショップ中の発話状況により提示するお菓子の種類と提示タイミングを決定しその効果を定量的に測定するためのお菓子提示デバイスの製作と効果測定実験を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

はじめに，ディスカッション中の発話に応じて数種類のお菓子を提示できる箱型のお菓子提示デバイスを製作した．図1にシステムダイアグラムを示す．本システムは，発話を検出する発話検出部と，検出した発話のデータをもとにお菓子提示のタイミングを決定する提示制御データベースと，実際にお菓子提示を行うお菓子提示部の3つに分けて実装を行った．本プロトタイプは，Raspberry PI，お菓子提示デバイス，ピンマイクで構成されており，Raspberry PI では発話検出部とお菓子提示部を制御する．また，PC でお菓子提示制御の処理を行うためMySQL データベース(Version:5.6.38)を構築した．Raspberry Pi の操作はSecure Shell(ssh)の通信プロトコルを用いて，発話検出部，提示制御データベース，お菓子提示部の処理をPC から操作した．

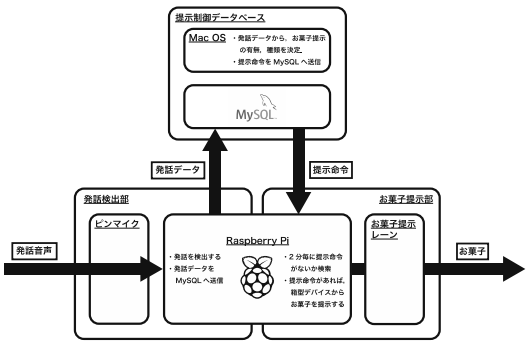


図1　お菓子提示デバイスのシステムダイアグラム

お菓子提示部では，振動を用いたお菓子提示機構を製作した．Raspberry Pi によって振動モーターを制

御しお菓子の乗ったレーンを振動させることでお菓子を提示する．図2にお菓子提示部の外観と内部の様子を示す．

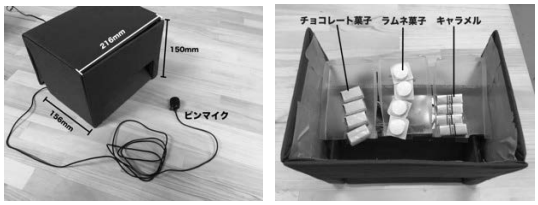


図２　デバイスの外観(左)と内部（右）

発話検出部では，ピンマイクからRaspberry Piに入力された音声データから発話している区間を検出し，そのデータを提示制御データベースへ送信する．その際息継ぎなどで生じる微小な無音時間によって，得られる発話時間が著しく短くなってしまうため，微小な無音時間を除外する補正を行った．音声の入力に使用したピンマイクには指向性があり，装着者の発話音声を集音する．提示命令データベースでは，得られた発話データから，各発話者の発話時間を算出し，その発話時間やディスカッションの経過時間をもとにお菓子提示の判定の行う．今回のプロトタイプでは，(1)発話抑制を目的とし，全体の発話時間のうち50 %以上を占めている発話者にお菓子を提示する(2)発話促進を目的とし，全体の発話時間のうち30 %を下回る発話者にお菓子を提示する(3)話題の切り替えを目的とし，ディスカッションが10分経過したらお菓子を提示する，の３種類である．(1)では，咀嚼による発話の阻害を行うためキャラメルを，(2)では食べながらでも発話しやすいラムネ菓子を，(3)では血糖値をあげて会話を促進する効果を狙いチョコレート菓子を提示した．

このシステムを用いて創造性向上評価のためのパイロット実験を行った．被験者 12 名を 1 グループ 3 名の計 4 つのグループに分け，お菓子提示の有無の 2 条件で，プロトタイプを用いたディスカッションを模した実験を行った．ディスカションのテーマは「午前の講義の遅刻・欠席を減らすためにどうしたら良いか」，「自転車を駐輪場にきちんと駐輪させるためにはどうしたら良いか」である．ディスカッションを行う前に，被験者ごとに個人でのアイデア創出を行ってもらい，そこで創出したアイデアをもとにグループでのディスカッションを行ってもらった．ディスカッションのタスクとして，ディスカッション終了時に，より質の高いアイデア 3 つを提示するように指示を行った．図 3 に実験の様子を示す．



図３　実験の様子

ディスカッション終了後，ディスカッション中の調和，アイデア創出，満足度，対人葛藤などに関する主観アンケートを実施した．また，ディスカッションで創出されたアイデアは全て文字起こしし，ディスカッションの内容を見聞きしていない第三者の3人に，新規性，実現可能性，有用性の３項目を0〜10の11段階で評価するアンケートを実施した．

実験結果から，(1)のお菓子提示後には発話量の減少，(2)のお菓子提示後には発話量の増加が見られ，お菓子提示の目的通りの発話量の変化がみられた．表１に実験グループごとの発話量の変化量を示す．また，最も発話が多い発話者と最も発話が少ない発話者の発話割合の差を「ばらつき度」とし評価を行った結果，図4に示す通り，(1)(2)のお菓子提示後にばらつき度の減少がみられ，お菓子提示により一時的に発話量均一化の効果が現れることが示された．さらに，図5に示す通り(1)(2)のお菓子提示では，お菓子提示前後で最多発話者が変化する割合が高く，議論の主導権の切り替えの効果がある可能性が示唆された．主観評価においては，お菓子提示ありの条件において，相互関心の向上，対人葛藤頻度の低下，気分転換への誘導の結果が得られた．一方，議論への集中の阻害，ディスカッションに対する満足度の低下という負の作用もみられた．アイデアの第三者評定では，図６に示す通りお菓子提示回数が多いほど，創出されるアイデアの新規性が増加することが示唆された．

表１　お菓子提示前後の発話量の変化

グループ	発話抑制	発話促進	話題の切り替え
1	54.34%	-	70.99%
2	48.42%	135.22%	66.90%
3	45.93%	200.42%	112.86%
4	50.11%	85.97%	116.76%
全体	50.99%	155.17%	78.86%

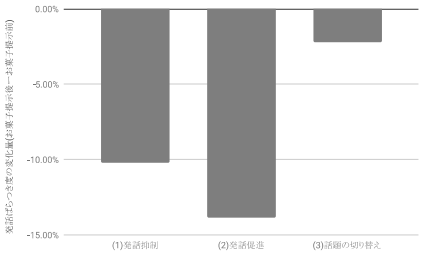


図４　お菓子提示前後の最多発話者の変化率

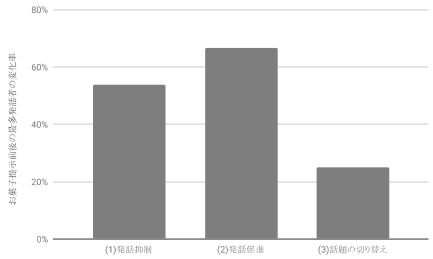


図５お菓子提示後の発話のばらつき度の変化量

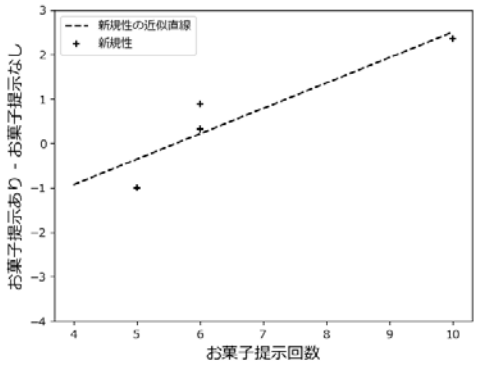


図６　お菓子提示回数とアイデアの新規性

ここから，お菓子提示システムにより発話抑制や発話促進を目的としたお菓子提示を行うことで，一時的に発話量を均一化し，議論の主導権が切り替わり，アイデアの新規性を高める可能性が示唆された．これは，複数人のディスカッションをお菓子提示により一時的に「発散」へと促すことができる可能性を示すものである．「発散」とは，発散収束型のディスカッションの思考フェーズの１つであり，「発散フェーズ」では，アイデアを多く創出する，問題点を洗い出すなど思考を広げて行くのに対して，「収束フェーズ」では，出てきた問題点やアイデアを分類する，解決案を検討する，優先順位をつけるなど，より適切なアイデアや解決策を選択するために思考の範囲を狭めていく．ディスカションでは，「発散フェーズ」と「収束フェーズ」を繰り返すことでより良いアイデアが生まれることがわかっている．これらのことを考慮し，今後ディスカッションの発散と収束を誘導するようなお菓子提示条件を検討したい．

本課題では，国際共同研究推進型の追加支援を受けた．スケジュールの都合が合わずに残念ながら当初に招聘する予定であったMiguel氏を招聘することはかなわなかった．そのため，当該予算については執行していない．Miguel氏はトップ研究者であり，招聘の予算を準備できていたことは，具体的な研究相談や体制づくりを円滑に進めるうえでとても重要であったと考える．本年度の成果は引き続き論文化する作業が残っており，Miguel氏とは遠隔で進めていく予定である．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

共同プロジェクト発表会や九州大学の大塚氏の修士論文としてまとめて発表する機会を得た．それぞれタイプの異なる発表の場であったが，いずれも好意的な反応や今後の発展に向けた建設的な意見を得ることができた．その中で，経済学者とのつながりをもつことができ，お菓子や果物を与えると労働者の生産性が向上するという労働経済分野における研究など本研究を進める上で大きな情報を獲得することができた．共創や働き方改革は情報の分野に限らず社会問題として世界的にも注目が高い．本プロジェクトで提案している自動的にお菓子を提示するデバイスは作業者の精神的身体的な状態を改善して知的作業効率を向上させるものであり，大変ユニークでありながらも期待できるシステムと考える．本課題は３年目であり，その成果を九州大学大塚氏の修士論文としてまとめることができたため，共同プロジェクトの申請としては今年度で終了するが，来年度以降は，これを国際会議発表などよりインパクトの高い成果発表として完成させ，それを種として共同研究や予算獲得を目指したい．

［４］成果資料

（１）大塚正斗「創造性促進のためのお菓子提示デバイス『お菓子くん』のプロトタイプ製作」2018年度九州大学大学院芸術工学府修士論文　2019年２月

採択回数	1　2　(3)

(国際)

採択番号：H28/A10

人工知能技術を利用した音源分離システムの構築

［1］組織

研究代表者

小澤　賢司（山梨大学大学院総合研究部）

通研対応教員

鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Volker Hohmann　(Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg)

坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：７人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	209,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

音声によるコミュニケーションは，人間と環境との調和の実現（古くは対人関係の構築，近年では対機械インタフェース）に関して重要な役割をもつ。人間は両耳という２チャネルの収音系に基づき全空間中の音源について選択的聴取が可能であるが，機械に同等の能力を持たせるための収音・信号処理システムは大規模になりがちである。今後のヒューマン・マシン・インタフェース高度化の礎とするために，本研究では人工知能技術を駆使することで小規模・高性能な収音・信号処理システムを構築することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった。前年度までに，本研究で構築するシステムの動作原理を定式化し，スマートフォンサイズのマイクロホンアレイを利用した場合に 15 dB 程度のSN比の向上があることを計算にシミュレーション実験により明らかにした。本年度は，前年度までの成果を踏まえながら，処理に用いるニューラルネットワークを深層化すること，さらにアレイの形状を変更することで格段の性能向上を目指して，検討を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。研究グループメンバーは，日常的にメール・電話を使って研究打ち合わせを行った。また，代表者の小澤が３回 (2018年9月，10月, 2019年1月）にわたり電気通信研究所（以下，通研と略記）を訪問し，鈴木教授，坂本准教授と研究内容について深い討論を行った。国際共同研究推進のため，2018 年 10 月に Prof. John Culling (Cardiff University) を招聘して討議した。

［3］成果

（3－1）研究成果

1．システムの動作原理と本年度検討課題の概要

本研究では，全空間中の音源分離（音源個々の選択的収録）の実現を目指している。その実現のために，従来法とは一線を画す方策を提案した。

音源分離のためには，一般に多数のマイクロホンを配列したアレイからの出力を処理することで行う。従来法は「マイクロホンごとにわずかに異なる音信号の情報を統合することで所望の信号のみを抽出する」ことから，昆虫などが有する複眼に相当する技術である。それに対して，本研究では，ほ乳類などが有する単眼に相当する技術を確立することを目指している。すなわち，単眼では，異なる方向から到来した光は，レンズを通じて網膜上の異なる位置に結像することで自然と光源分離を実現していることを，音源分離に関して実現することを目指している。これを実現するための基本原理として以下を考えた。各マイクロホンにおいて観測された時系列としての音圧の標本値を，輝度値に変換することで1ピクセル幅の濃淡画像とする。この画像を全てのマイクロホンについて並べることで構成した 2 次元画像を「時空間音圧分布画像」と定義した。この画像に 2 次元高速フーリエ変換 (FFT: Fast Fourier Transform) を適用することで，2 次元振幅スペクトルを得る。その横軸は正規化時間周波数（標本点間での位相回転量）を表し，縦軸は正規化空間周波数（空間折返し歪が発生しない上限間隔で配置された隣接するマイクロホン間での位相回転量）を，そして輝度が成分の振幅を表す。

このスペクトルにおいては，到来方向が異なる平

面波は，異なる直線上の成分として出現する。特に興味深いのは，直線状アレイに対して正面から到来した平面波は，時空間音圧分布画像としては縦縞を構成し，それゆえ2次元スペクトルにおいては「中央を通り水平な直線（空間波形の直流成分）」上のみに局在した成分を有することである。この状況は，球面波に対して，その波面と形状が一致するマイクロホンアレイで録音を行った場合にも観察される。これは，ちょうど単眼が対象物に焦点をあわせた状況に相当する。本研究は，これを基本原理として，複数の人工知能技術を組み合わせることで音源分離システムを構築するものである。

本年度は，具体的検討課題として以下3点を挙げて検討を行った。

(A) 方向が異なる音源の分離（成果資料2, 3, 6, 7）
(B) 距離が異なる音源の分離（同4, 5, 8）
(C) 高精細な時空間音圧分布画像の復元（同1）

このうち課題 (C) についての詳細は成果資料 (1) に譲ることとし，以下では課題 (A), (B) の成果について述べる。

2．深層学習による雑音スペクトルの瞬時推定に基づくスペクトルサブトラクション効果の検証

原理の実践的検証のため，音声帯域に限定した小規模システムを対象とし，標本化周波数 16 kHz で検討を行った。2 cm 間隔でマイクロホン 8 個を配置したアレイを想定する。

音声 /a/ が DOA (Direction of arrival) 0°（アレイ正面）から到来し，白色雑音が DOA 90° から同時に到来した場合の2次元振幅スペクトルを図1に示す（輝度が振幅に対応している）。このスペクトルでは，DOA 90° から到来する白色雑音が，右上に向かう帯として現れている。また，DOA 0° から到来した音声のスペクトルは，図1では空間周波数 0 rad のビン上に局在して現れるが，この図では基本周波数成分のみが視認できる。これは，雑音のスペクトルが空間周波数 0 rad ビン（0番ビン）に漏れ出しており，音声のスペクトルをマスクしている状態である。

そこで，空間周波数 0 番ビン（直流成分）に漏れ出した雑音の振幅値を，ビン −4 〜 −1 および1〜3の計7個の値から推定し，それを減算することで正面から到来した音声のスペクトルを復元することとした。その推定は，ニューラルネットワーク (NN: neural network) による回帰問題として行った。ここでは NN の入力層・中間層（3 層）・出力層のユニット数はそれぞれ 7・15（3 層）・1 とし，活性化関数としては中間層：ReLU (Rectified liner unit)，出力層：恒等関数を用いた。

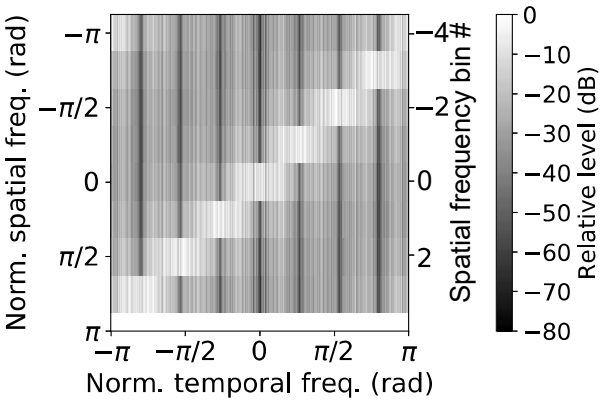


図1　音声 (DOA : 0°) と白色雑音 (DOA: 90°) が到来した場合の2 次元振幅スペクトル

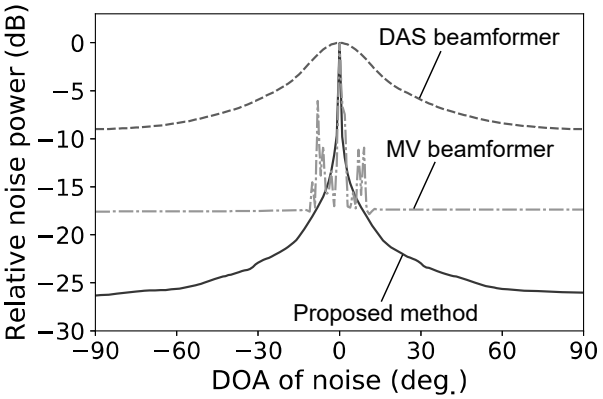


図2　雑音の到来方向 (DOA) の関数としての雑音抑圧の効果音。DOA: 0° には目的音が存在する。DAS: delay and sum, MV: minimum variance。

このようにして分析の時間フレーム（512 点）ごとに推定した雑音の振幅値を，空間周波数ビン0の振幅値から引き去る瞬時推定スペクトルサブトラクションを行い，目的音への雑音の混入量の変化を調べた結果を図2に示す。図から，従来法である遅延和 (DAS) 法や最小分散 (MV) 法 に比べて大きな雑音抑圧量を達成したことが分かる。昨年度は中間層1層で検討を行い減衰量は15 dB 程度に留まっていたが，NN を深層化することで図 2 に示すとおり約 25 dB 程度の雑音抑制を実現した。

3．目的音源に焦点を合わせたマイクロホンアレイ

4 個の実体マイクロホン(M_1〜M_4) を，目的音源の位置を中心とする円弧上に配置する（図3)。また y 軸に関して対称な位置に，鏡像として仮想マイクロホン（M_{-1}〜M_{-4}）を考える。仮想マイクロホンは実際には配置せず，その出力は鏡像位置のマイクロホンの出力と同一とする。全てのマイクロホンは，x 軸方向に関しては等間隔 d_x = 2 (cm) で配置する（実体マイクロホンのアレイ長は 6 cm である)。仮に y 軸上で2 m の位置を焦点と考えると，マイクロホン M_1〜M_4 の y 座標 d_1〜d_4 はそれぞれ 0.025, 0.225,

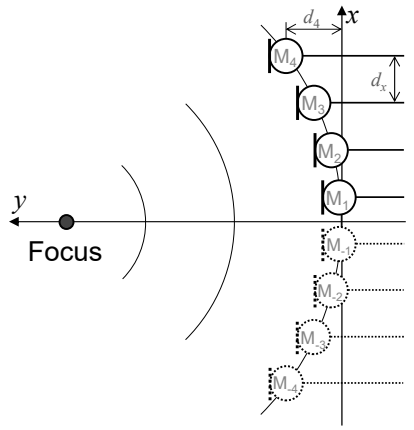


図3 実体マイクロホン（M_1〜M_4）と仮想マイクロホン（M_{-1}〜M_{-4}）の配置

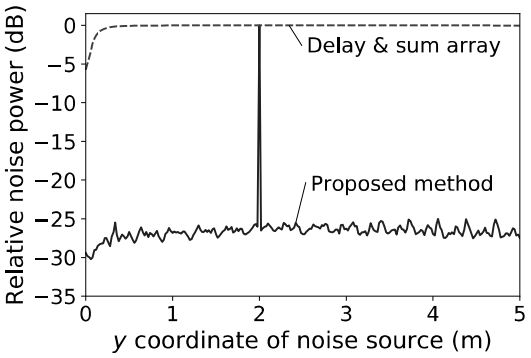


図4　2m位置に焦点を合わせた場合の雑音の低減量

0.625, 1.23 mmとなる。

焦点位置から到来する球面波は，全マイクロホンに同時に到来するので，その2次元スペクトルは空間軸方向の直流成分に局在する。一方，焦点以外の音源のスペクトルは広がるので，上記の平面波の場合と同様な手順によって，焦点位置にある音のスペクトルを抽出することが可能である。

提案法の性能評価のために計算機実験を行った．目的音源(女性音声 “Thank you very much.”)は焦点(2 m) に固定し，白色雑音を放射する雑音源を0〜5 mの範囲で2 cmずつ移動させ，雑音減衰量を測定した。測定結果を図4に示すとおり，同じ8マイクロホンを用いた遅延和法では雑音低減はアレイ近傍にわずかに見られるだけである。それに対して，提案法では約25 dBの低減が実現されているので，提案法は有効であると考える。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献

本プロジェクトについては，申請時点の平成27年度からプロジェクトメンバー間で基礎的な検討を行っていた。その検討に基づき，平成28年度の日本科学技術振興機構 科学研究費に応募し，メンバーのうち小澤・坂本を中心に組織したチームによる基盤研究(C)の課題 16K06384「音響信号処理と人工知能技術との融合による音響空間全周収録法の確立」が採択された。本共同プロジェクト研究と当該課題を密接に関係させながら進め，さらなる大型プロジェクトに発展させる予定である。

本プロジェクトの成果に関して，2件の特許出願を済ませている。音響計測に関する民間企業から共同開発の問い合わせを受けており，産業応用が十分に期待できると考えている。また，医学関係で体内音に関する共同研究を平成31年度から開始する予定である。

［4］成果資料

（1）Ozawa, K., Ito, M., Shimizu, G., Morise, M., and Sakamoto, S., “Proposal of a sound source separation method using image signal processing of a spatio-temporal sound pressure distribution image,” Proc. of the AES Conference on Spatial Reproduction, #44, 7 pages (2018).

（2）小澤賢司, 森勢将雅, 坂本修一, “雑音スペクトルの瞬時推定に基づくスペクトラルサブトラクションによる音源分離に関する考察,” 信学技報 EA2018-31, pp. 19-24 (2018).

（3）小澤賢司, 森勢将雅, 坂本修一, “雑音スペクトルの瞬時推定に基づくスペクトラルサブトラクションによる音源分離に関する一考察,” 秋季音響学会講演集, pp. 153-156 (2018).

（4）小澤賢司, 輿水雄太, 森勢将雅, 坂本修一, ”画像信号処理を用いた同一到来方向の2音源の分離に関する一考察,” 秋季音響学会講演集, pp. 157-158 (2018).

（5）Ozawa, K., Koshimizu, Y., Morise, M., and Sakamoto, S., “Separation of two sound sources in the same direction by image signal processing,” Proc. 7th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp. 479-480 (2018).

（6）Ozawa, K., Morise, M., and Sakamoto, S., “Sound source separation by instantaneous-estimation-based spectral subtraction,” Proc. of the 5th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2018), pp. 870-875 (2018).

（7）小澤賢司, 塩澤光一朗, 森勢将雅, 坂本修一, “平面マイクロホンアレイと時空間音圧分布画像を用いた音源分離に関する考察, ” 春季音響学会講演集, pp. 369-370 (2019).

（8）K. Ozawa, S. Sakamoto, and Y. Suzuki, “Sound source separation by instantaneous-estimation-based spectral subtraction,” 東北大通研―情報通信共同研究拠点―平成30年度共同プロジェクト研究発表会, ポスター発表 (2019).

採択回数	1	2	3

（萌芽・国際）

採択番号：H28/A11

音声の感性情報から人間の認知・行動を制御する通信システムの研究

［1］組織

研究代表者：
田中　章浩（東京女子大学現代教養学部）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
Mariska Kret（Leiden University）

延べ参加人数：7人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	235,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

人間に音声情報を発信する通信システムにおいて，情報の受容の担い手は人間であり，人間の音声知覚の特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる。近年は，高次臨場感通信など感性情報の伝送の重要性が非常に高まってきている。情動や印象などの感性情報の伝送を実現する上では，音声の言語情報のみならず，パラ言語情報も併用することが必要不可欠であると考えられる。しかし，パラ言語情報の音響特徴量がどのような要件を満たせば感性情報を効果的に伝送できるのかは明らかでない。また，伝送された感性情報がどのように受け手の認知や行動に影響するのかも検討が進んでいない。

そこで本研究では，音声の感性情報から人間の認知・行動を制御する通信システムを構築するための基礎的検討として，音声から得た感性情報が認知と行動に影響するプロセスを検討して，システムが満たすべき要件を同定することを目的とする。

本プロジェクトは，平成25～27年度に共同プロジェクトとして採択された「感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研究」の延長として位置づけられる。前回の共同プロジェクトでは，(1) 音声による感性情報の知覚プロセス，(2) 音声知覚における言語情報と感性情報のトレードオフについて検討した。

本プロジェクトは，前回の共同プロジェクトの成果をもとに，音声に含まれる感性情報の知覚特性のみならず，それが認知および行動に及ぼす影響を検討することで，音声の感性情報によって人間の認知・行動を制御する通信システムを実現すべく発展させるものである。

3年目にあたる本年度は，音声の情動情報が認知・行動に及ぼす影響について引き続き検討した。メールでの打ち合わせに加えて，2019年2月の研究打ち合わせには研究員・学生を含む7名が参加し，今年度の実験の結果について議論した。また，共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表し，今後の研究展開，実験結果の応用可能性について議論した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，音声の感性情報から人間の認知･行動を制御する通信システムの構築に向けて，人間の知覚･認知特性について，(A)音の緊急性が認知･行動に及ぼす影響，(B)音声の情動情報が認知･行動に及ぼす影響を中心に検討を進める。平成 30 年度は(B)を中心に進めた。(B)の実験の計画･準備･データ解析にあたっては，この分野のエキスパートであるオランダ・ライデン大学の Mariska Kret 博士の助言を受けた。

(B)音声の情動情報が認知・行動に及ぼす影響

コンピュータやロボットなどの機械が音声を通して情動情報を発信する際，人間が音声を通して発信した情動情報とは異なった形で受け手に知覚される可能性がある。また，受け手がこうした音声に対して反応するときにも，知覚された情動の違いによって反応が異なる可能性がある。あるいは，同じ情動を知覚したとしても，人間に対する反応と機械に対する反応は異なってくる可能性もある。人間の音声に固有の知覚を同定するためには，動物の音声への知覚との比較も有効である。そこで本プロジェクトでは，(1) 機械，動物，および人間の発信した音声からの情動知覚，(2) 音声感情が認知・行動に及ぼす影響，以上2点について検討する。

(1) 機械，動物，および人間の発信した音声からの情動知覚

ヒトが異種（チンパンジー）の感情表現を知覚する際に，ヒトの感情知覚と同様に多感覚相互作用が生じるかどうかを検討した。実験ではヒトおよびチンパンジーの顔（ポジティブ・ネガティブ）および声（ポジティブ・ネガティブ）を組み合わせた視聴覚刺激を呈示し，顔または声の感情判断を求めた。実験の結果，チンパンジーの顔の表情をある程度知覚できる被験者とできない被験者が存在するものの，顔の表情を知覚できる被験者の場合，顔と声の感情が不一致の条件において，一致している条件よりも正答率が下がった。一致条件と不一致条件の正答率の差分（一致性効果）を多感覚知覚の強度の指標としてヒトとチンパンジーで比較したところ，チンパンジーの感情表現に対してもヒトの感情表現の場合と同程度の視聴覚相互作用が生じることが明らかとなった。

(2) 音声感情が認知・行動に及ぼす影響

人間とロボットが共に生活を営みコミュニケーションをとるようになりつつある一方で，ロボットに対して不気味さを感じる人もいる。ロボットと親密になるためには物理的な触れ合いも重要であると考えられる。そこで，人がロボットに能動的接触を試みる場合，ロボットの表出する感情の認知にどのような影響があるか検討した。実験は，接触(あり、なし)×感情(喜び、怒り、悲しみ、恐怖)の 2 要因被験者内計画で行い，従属変数を感情認知の正答率，好感・恐怖感・親近感・無機質さの得点とした。実験の結果，喜びと悲しみにおいては接触あり条件よりも接触なし条件において正答率が高くなり，怒りにおいては接触なし条件よりも接触あり条件において正答率が高かった。接触はポジティブな効果を生み出さなかったことから，今後接触がポジティブになるようなロボットのデザイン，あるいは人とロボットのインタラクションの要件を探っていきたい。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

人間が音から緊急性や情動といった感性情報を知覚する仕組みと，そうした感性情報が認知課題の遂行や社会行動に及ぼす影響を心理実験によって検討することで，音声の感性情報によって人間の認知・行動を制御する通信システムの設計指針を得られることを期待して，研究を進めている。

本プロジェクトは，東北大学および東京女子大学の２大学による共同研究体制の継続に貢献している。プロジェクトには若手研究者が多数参加しており，育成につなげると同時に，研究者ネットワークの拡大に貢献している。

本プロジェクトで得られた新たな人間情報処理計測技法や，日本語話者を対象とした実験結果を活かして国際比較研究をおこなうことで，感性音声情報処理に言語や文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される。

［4］成果資料

(1) 田中章浩. (2018). ″クロスモーダルな情動知覚″. 映像情報メディア学会誌, Vol. 72, No. 1, 10-14.
(2) 田中章浩. (2018). ″感覚器とコミュニケーション″. 日本薬学会会報「ファルマシア」2018 年 11 月号, 1040-1044.
(3) 澤田佳子, 田中章浩 (2018). ″画像と再生方向が音のアニマシーに与える影響″ 第 10 回多感覚研究会
(4) 河原美彩子, 澤田佳子, 田中章浩 (2018). ″ヒューマノイドロボットに対する感情認知と社会行動″ 日本認知科学会第 35 回大会･日本認知心理学会第 16 回大会

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(萌芽)

採択番号：H28/A13

視覚モデル構築のための協調的環境実現に関する研究

［1］組織

研究代表者：酒井　宏
(筑波大学)
通研対応教員：塩入　諭
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
佐藤　俊治（電気通信大学)
細川　研知（NTT)
内川　惠二（東京工業大学)
小川　正（京都大学)
村上　郁也（東京大学)
宇賀　貴紀（順天堂大学)
河原　純一郎（北海道大学)
西田　眞也（NTT)
一川　誠（千葉大学)
石井　雅博（札幌市立大学)

他東北大研究員，学生　10名
延べ参加人数：20人
研究費：物件費　97,000円
旅費　144,000円

［2］研究経過

人間生活にとって，感覚，知覚，認識機能は生物学的意味でも，社会学的意味でももっとも重要なもののひとつである．現在，生理学，心理学，工学を始め様々な取り組みによって，その理解とモデル化が進んでいるが，断片的，局所的なものが多く全体の理解にはほど遠い．本研究では，特に研究が進んでいて，また学際化においても広がりを持つ視覚機能に着目し，その理解を促進するためのモデル研究の協力システムのあり方について検討した．視覚のモデルとしては，色覚，時空間特性，運動視特性，立体視特性など初期視覚処理についての定量的なものが提案されており，注意や物体表象などの高次処理については多くの抽象的なものが提案されている．それらは一般に共通の環境を使用しないため，相互関連を検討することには困難が伴う．本研究は，平成28年度から29年度に進めたプロジェクトでの検討結果に基づき，共通環境の実質化をめざすと共に今後の方向性について研究を行った．

今年度は，各モデルに適用する視覚機能を中心に検討を進め，教育目的への展開などについても議論した．メールによる議論を中心に行い，平成31年2月20日には，代表者酒井・所内対応者塩入を始め，分担者らによるモデル研究について議論を進め，構築プラットフォームの利用方法および今後の展望について打合せを企画した．具体的な研究の進捗として，以下の報告があった．

酒井らは，V4細胞集団による図地情報の表現の分析から，V2が輪郭処理を受け持つのに対してV4は面の処理をしていることを示唆する結果を得た．また，機械学習を利用した計算論的解析から，数十の細胞が群として符号化を行うことによって，自然画像から図地を分離することが可能なことを示した．さらに，V4細胞の図地に関わる受容野構造を推定するための新しいSpike triggered average法を開発した．この方法は，共通環境プロジェクトのデータベースに供された．分担者の細川らは，タブレット型端末を用いた簡易視覚検査キットの開発について報告し，各種の視覚検査が簡易的にできることを示した．またインターネット利用の資格実験システムに関する研究についても報告があった．このシステムは，これまでの実験刺激の共通化も含めた視覚モデルの共通化の問題はより広く展開する方向性を持つことが示された．

また，招待した我妻伸彦らの研究は，Deep Convolutional Network を利用して，その抽象化する特徴と視覚皮質各野の神経細胞の受容野特性を比較検討することで，細胞集団がどのように協働しているかを解析したものである．図は，物体表面の認識であり，中期視覚の重要な特徴といえ，図と地の知覚は，視覚科学に残された大きな問題のひとつである．その理解には，領域の境界である輪郭がいず

れに所属するか，つまり輪郭線所属の問題を解く必要があり，その上で領域を統合する神経回路が必要になる．その統合の結果が，誘目性に貢献することを示す評価結果から，誘目性に面の知覚が影響することを示唆する．また，質感が誘目性に及ぼす効果・細胞反応の疎性の効果についても検討が行われた．

また，共プロ「色名に関する文化差および個人差の研究」と連携して，色知覚に関する研究を議論することによって，色覚のモデル研究およびその要求するモデル構築プラットフォームについて検討を行った．これまでの図地・形状・運動・注意等に加えて，色覚にもプラットフォームを拡張するにあたっては，検討すべき課題があるなどの議論を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

自然画像を局所的に切り抜いたパッチと，輪郭を基に図地をそれぞれ白黒で塗りつぶしたパッチを短時間呈示し，サルV4野から多電極記録をしたデータベースを使って，図に選好性を示す細胞の受容野構造を Spike-Triggered Average によって推定した（Fig. 1）．推定された受容野は，中心に対して選好する側（図または地）に対する促進領域と，その逆側に対する抑制領域をもつ構造を示した．この結果は，図地選好性細胞は，受容野内に投影される局所的な画像情報（輪郭を含む）から，受容野中心周辺が図地のいずれであるかを，拮抗的受容野構造から算出していることを示唆する．この構造は，初期・中次の視覚皮質の神経細胞に共通に見られる性質であり，このような構造を容易にテストできるような機能が視覚モデルの基盤プラットフォームにあることは有用であることが示された．

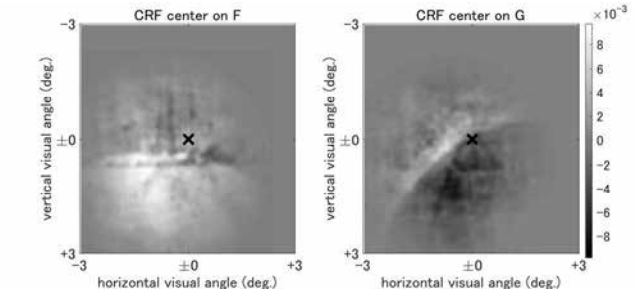


Fig. 1. 図地選好性を示すV4細胞の反応から算出した推定受容野構造。明るい部分が促進領域，暗い部分が抑制領域。

（3－2）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

協調的に視覚モデルを構築利用することで，視覚研究の発展が期待されるのみならず，画像工学的な展開が期待できる．本研究の成果に基づき，フリーソフトを利用した，視覚モデル構築を実現するための方略が確立しつつある．本プロジェクトと目的を共有する Visiome プラットフォーム(RIKEN BSI Neuroinformatics Japan Center.)の継続開発・公開運用とコンテンツ収集・登録を通して，参画者間の連携によって他機関の共同研究および開発企画と協調的な展開を継続して進めた．

・Visiome プラットフォーム(PF)の継続開発・公開運用とコンテンツ収集・登録

・理論的な注意モデルに関する共同研究

［4］成果資料

(1) Invariance to low-level features and partial transfer over space in the tilt aftereffects evoked by symmetrical patterns. Y. Sakata, K. Kurematsu, N. Wagatsuma and K. Sakai (2019)
Journal of Optical Society of America, A, Vol.36, No.2, pp.283-291, doi: 10.1364/JOSAA.36.000283

(2) Interactions evoked by the contradiction between border ownership discrimination and figure-ground segregation. N. Wagatsuma, M. Urabe and K. Sakai (2018)
Frontiers in Psychology, Vol.9, Article 1681, September 2018, https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01681
doi: 10.3389/fpsyg.2018.01681

(3)Figure-Ground Detection by a Population of Neurons with a Variety of Receptive-Field Structures in Monkey V4. K. Sakai, K. Kimura, Y. Yamane, and H. Tamura (2019)
*Computational Neuroscience Meeting (CNS*2019)*

(4)Figure-Ground Coding in Monkey V4 --- Receptive Field Structure and Population Coding. K. Sakai, K. Kimura, Y. Yamane, and H. Tamura (2019)
Annual Meeting, Japan Neuroscience Society (Neuro 2019)

(5)サル V4 図地選好性細胞の受容野構造，木村 耕治, 山根 ゆか子, 田村 弘, 酒井 宏 (2019)
電子情報通信学会技術報告，Vol.118，No.470，181-185（ニューロコンピューティング研究会; March 5, 2019）

(6) Shioiri, S., Kobayashi, M., Matsumiya, K., & Kuriki, I. (2018). Spatial representations of the viewer's surroundings. *Sci Rep*, 8(1), 7171. doi: 10.1038/s41598-018-25433-5

(7) Shioiri, S., Hashimoto, K., Matsumiya, K., Kuriki, I., & He, S. (2018). Extracting the

orientation of rotating objects without object identification: Object orientation induction. *J Vis*, 18(9), 17. doi: 10.1167/18.9.17
(8) Hao Wang, Kazuya Matsubara, Yuji Wada, Chia-huei Tseng, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri, The Evaluation of Images based on Human Preference with Convolutional Neural Networks, *The 14th Asia Pacific Conference on Vision*, 2018/7/13-2018/7/16 Hangzhou, China
(9) Wei Wu, Chia-huei Tseng, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri, A pooling model based on inter-ocular velocity for human perception of motion direction in depth, *The 14th Asia Pacific Conference on Vision*, 2018/7/13-2018/7/16, Hangzhou, China

採択回数	1　2　(3)

（国際）

採択番号：H28/A14

Dissipative Infrastructure の設計と国際展開

［1］組織

研究代表者：
柏崎　礼生（大阪大学・サイバーメディアセンター）
通研対応教員：
北形　元（東北大学・電気通信研究所）
研究分担者：
北口　善明（金沢大学・総合メディア基盤センター）
近堂　徹（広島大学・情報メディア教育研究センター）
市川　昊平（奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科）
菊池　豊（高知工科大学・地域連携機構）
菅沼　拓夫（東北大学・サイバーサイエンスセンター）
中川　郁夫（大阪大学・サイバーメディアセンター）
Haiying Shen (University of Virginia・Department of Computer Science)

延べ参加人数：10 人

研究費：

旅費	273,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

我々は 2012 年から国内外の研究拠点が提供する計算機資源をネットワークで接続し合うことで構成される広域分散プラットフォーム「Distcloud」を利活用した研究を推進している。このプラットフォームを用いた代表的なアプリケーションは広域分散ストレージであり、このストレージの特徴はデータのチャンクを冗長化させ広域に分散配置することでランダムアクセス性能の高い分散ストレージを実現している点にある。この特徴により 2013 年に開催された国際会議 SC13 では仮想計算機を 2.4 万 km という超長距離でライブマイグレーションすることに成功している。また翌年の SC14 では超長距離ライブマイグレーション後の I/O 性能劣化を発生させないアーキテクチャを導入し検証した。この技術は災害回避(Disaster Avoidance)用途での発展が期待される。

一方で、このような広域分散システムにおいてはスプリットブレインシンドロームによる機能停止の問題があるため計算機資源やネットワーク資源の冗長化が求められる。しかし冗長化されたシステムが障害時に想定した通りに動作するか、適切な運用が行われているかの定量的な検証が行われないケースが少なくない。そこで我々は、計算機やネットワーク機器の動作をソフトウェアでコントロールし、仮想的な災害シナリオをもとに意図的に機器の障害状態を作り出すことで「ネットワーク防災訓練」を行い、耐災害性・耐障害性を検証・評価・反映するプラットフォーム「DESTCloud」を開発している。2015 年度には東北大学電気通信研究所による協力のもと、本システムのための機器を設置した。

本研究提案では国際的にこのプラットフォームをより拡大した時に顕在化する運用コストの問題を解決するとともに、より容易にプラットフォームへ参加するための環境整備を行う。拡大したプラットフォーム上で耐災害性・耐障害性検証の実証実験を行い、広域分散システムの可用性を定量的に評価することで、情報システムの新たな評価基準を示すことを目的とする。

本プロジェクトは本年度が第三年度であった。前年度は東北大を含めた Distcloud を用いて DESTCloud の開発の推進および広域分散ストレージをはじめとした実証実験を行った。本年度は前年度の成果を踏まえ、拠点の維持や Distcloud の運用、および参加のハードルを低減するための設計に関する研究を展開した。以下、研究活動状況の概要を示す。

2018 年 12 月 3 日に東北大学電気通信研究所で RICC-RIEC workshop 2018 を開催した。RICC は日本学術振興会産学協力研究委員会インターネット技術第 163 委員会(ITRC)地域間インタークラウド分科会のことであり、広域分散プラットフォーム Distcloud、および前述の DESTCloud の開発を推進する研究者の広域連携組織である。このワークショップでは 3 件の発表が行われ、20 人が参加した。発表者とその内容については以下の通りである。今回のワークショップは台湾の Academia Sinica Grid Computing Centre (ASGC)から Eric Yen に invited talk をお願いした。使用言語は全て英語である。

- **[Keynote] Distributed Cloud for Disaster Mitigation and e-Science** / Eric Yen (Academia Sinica Grid Computing Centre (ASGC), Taiwan)
  Abstract: Distributed cloud has become the norm of advanced scientific computing infrastructure especially for data-driven applications and for e-infrastructure supporting multi-disciplinary research applications. ASGC is growing the distributed cloud computing technologies and applications progressively through experiences learned from supported research projects as well as technologies developed by large-scale collaborations such as WLCG, EGI and XSEDE. Distributed cloud is also used to support the regional collaborations on natural disaster risk analysis in Asia based on deeper understanding approach coordinated by ASGC. Knowledge-oriented hazard risk assessment based on deeper understanding of root cause and drivers of a hazard is carried out. Science gateways with innovative and accurate simulation models are developed from case studies. In this presentation, the design, architecture, and technologies of the ASGC distributed cloud system will be introduced. Implementation of the natural disaster hazard risk evaluation over the distributed cloud will be presented. Experiences of other e-Science applications beyond disaster mitigation will also be included.
- **Proposal of wide area distributed edge computing infrastructure giving incentive based on operation quality** / Hiroki Kashiwazaki (Osaka Univ.)
  Abstract: An edge computing infrastructure, that located at a place where the delay time with the data source is short attracts attention. Therefore, edge computing environment is required to be ubiquitous in the world. A cloud computing environments are built in urban data centers and can realize operational efficiency by concentration of investment. However, since the investment to the edge computing infrastructure is distributed geographically, it is difficult to reduce costs while maintaining high quality operation. Therefore, it is considered difficult for large capitalists (e.g. GAFA) to acquire the dominant position of edge computing environment. Therefore in this proposal, I propose a model that gives incentives according to the operational quality by investing in the environment and using the edge computing environment in the community and realizing high quality operation.
- **An international SDN testbed and NFV applications** / Kohei Ichikawa (NAIST), Atsuko Takefusa (NII), Yasuhiro Watashiba, Yoshiyuki Kido, Susumu Date (Osaka Univ.)
  Abstract: Effective sharable cyberinfrastructure is fundamental for collaborative researches in widely distributed environments. PRAGMA-ENT is a large scale international software-defined networking (SDN) testbed, which is being designed and developed by combining different national academic networks and organizations. It offers complete freedom to researchers to access network resources to develop, experiment, and evaluate their new ideas. This enables the exposure of SDN techniques and technologies to the broader international research communities to foster computation- and data-driven research in the long-tail of eScience by creating new collaborations and new infrastructure. This talk will introduce the PRAGMA-ENT and recent research activities about network function virtualization (NFV) testbed on PRAGMA-ENT.

［３］成果

（３－１）研究成果

2018年12月に開催されたワークショップではAcademia Sinica Grid Computing Centre (ASGC)の Eric Yen 氏に講演して頂き、Asia Pacific Advanced Network (APAN)との連携が強化された。また APAN ではニュージーランドで開催されたAPAN46、韓国で開催された APAN47 でそれぞれ Distcloud の耐災害性向上のための設計と実装について発表した。これらを通じて今後、SINET5 の広帯域をより利活用した、高い品質での耐障害性・対災害性検証を実施するロードマ

ップを構築している。

Distcloud は 2018 年度までに、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)や NII クラウド利活用実証実験、北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究、国立情報学研究所共同研究、SINET5 NFV 実証実験の協力を得て、北海道大学、SINET5 北海道 DC、東北大学、SINET5 東京 DC、NII、Amazon Web Service、Microsoft Azure、東京工業大学、金沢大学、奈良先端科学技術大学院大学、京都大学、大阪大学、SINET5 大阪 DC、広島大学、高知工科大学、九州大学、九州産業大学、SINET5 福岡 DC、琉球大学、カリフォルニア大学サンディエゴ校の 20 拠点まで拡大することができた。特にこれまで Distcloud で用いられていた仮想ルータである vyos と、SINET5 NFV が提供する Juniper VMX および VSRX、Amazon Web Service が提供する Direct Connect、Microsoft Azure が提供する Express Route に加え、Arista Network 社の協力を得て vEOS Router を検証環境に導入することで多様な環境での相互接続実験ができる環境を実現した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

平成 30 年度以降の以下の競争的研究資金への応募を行った。

- 平成 30 年度科学研究費助成事業基盤研究(B)(特設分野研究)「科学的手続きに基づく自律分散システムの継続的な運用改善手法の確立」[不採択]
- 平成 31 年度科学研究費助成事業若手研究「運用品質に因るインセンティブを導入した広域分散エッジコンピューティング環境の研究」[採択]

その他、本研究課題に関連する以下のワークショップを 2018 年度中に 2 回開催した。それぞれのワークショップの概要を以下に記す。

- 第 14 回地域間インタークラウドワークショップ（2018 年 9 月 3 日，北海道大学学術交流会館）
- RICC-PIoT workshop 2019（2019 年 2 月 27～28 日，沖縄産業支援センター）

［４］成果資料

- Shinichiro Miura, Hiroki Kashiwazaki: Fault tolerance evaluation of wide area distributed application based on exhaustive FIT scenario generation, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2019-IOT-45 (2019) [to appear]
- Hiroki Kashiwazaki: Distcloud Update, APAN47: The 47th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, Cloud working group (2019).
- Hiroki Kashiwazaki: Distcloud Update, APAN46: The 46th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, Cloud working group (2018).
- Yong Jin, Masahiko Tomoishi, Satoshi Matsuura, Yoshiaki Kitaguchi: A Secure Container-based Backup Mechanism to Survive Destructive Ransomware Attacks, The 2018 Workshop on Computing, Networking and Communications (CNC2018), pp. 1-6 (March 2018)
- 三浦伸之介, 柏崎礼生: 広域分散システムにおける Cloudian HYPERSTORE の耐障害性評価の自動化, ITRC Technical Report, ISSN 1343-3083 (2019) [to appear]
- Hiroki Kashiwazaki: Proposal of wide area distributed edge computing infrastructure giving incentive based on operation quality, ITRC Technical Report, ISSN 1343-3083 (2019) [to appear]
- 柏崎礼生: 大阪府北部地震と台風 21 号の影響と災害回復に関するあれこれ, ITRC Technical Report, ISSN 1343-3083 (2019) [to appear]
- Hiroki Kashiwazaki: Vulnerability Is the Plan the Plan Is Death, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2018-IOT-42, No. 7, pp.1--4 (2018)
- Hiroki Kashiwazaki: ``Chaos Infrastructure'' for trustworthy transactions of data harvesting, ITRC Technical Report, ISSN 1343-3083 (2018)
- 柏崎礼生: RICC update: RICC における減災への取り組み, ITRC Technical Report, ISSN 1343-3083 (2018)
- 柏崎礼生: Dissipative Infrastructure, Design and Implementation, ITRC Technical Report, ISSN 1343-3083 (2018)
- Hiroki Kashiwazaki: The Beast that Shouted Governance at the Heart of the University, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2018-IOT-41, No. 25, pp. 1--4 (2018)
- Hiroki Kashiwazaki: The devices in the Internet are nodes, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2018-IOT-40, No. 4, pp. 1--4 (2018)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（国際）

採択番号：H28/A15

Japan-USA International Collaborative Research on Graphene-Based Atomically-Thin 2D Heterostructures and their Terahertz Applications

［1］組織

研究代表者：

Prof. MITIN Vladimir　(Univ. Buffalo, SUNY, USA)

通研対応教員：

Prof. OTSUJI Taiichi　(RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者：

Assoc. Prof. SATOU Akira (RIEC, Tohoku Univ.)

延べ参加人数：3 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	252,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

During the year of the collaborative efforts PI Prof. Vladimir Mitin visited the group of Research Collaborator Prof. Taiichi Otsuji twice for five days in November 2018 and then in February 2019. During the third year of this project the efforts were focused on further development of the proposed during the first year the graphene layer (GL) photodetectors (PD) based on the van der Waals (vdW) heterostructures with the radiation absorbing GLs. We have demonstrated [A1, B1-B3] that the operation of the GL PDs that is associated with the electron photoexcitation from the GL valence band to the continuum states above the inter-GL barriers (interband transitions) are superior to the conventional quantum well photodetectors which are based on intraband transitions that have substantially lower probability. We also demonstrated that the proposed photodetectors can be used beyond the graphene technology [A2, B4], i.e. the graphene can be replaced by a thin layer of a narrow bandgap material and such photodetectors also use interband transition and surpass the conventional quantum well photodetectors. We demonstrated that graphene hybrid structures can exhibit negative and positive photoconductivity and operate at room temperatures [A3]. Finally we paved the way for a new cycle of a collaborative research demonstrating [A4-A6, B5, B6] that graphene-phosphorene heterostructures have very broad spectrum of applications due to strong dependence of the phosphorene bandgap on the number of monolayers of phosphorous.

［3］成果

（3－1）研究成果

We proposed new type of the GLPD (Fig. 1) and demonstrated that these PD superior to the conventional quantum well photodetector (QWPD) [A2]. The operation of the GLPDs is associated with the electron photoexcitation from the GL valence band to the continuum states above the inter-GL barriers (either via tunneling or direct transitions to the continuum states). The GLPDs perform the electron photoexcitation from the GL valence band where the number of electron is several orders of magnitude higher than that in QWPDs. Moreover, the GLPD is sensitive to a normal incident radiation (interband absorption), while QWPD is sensitive only to inclined radiation whose polarization is perpendicular to the layers.

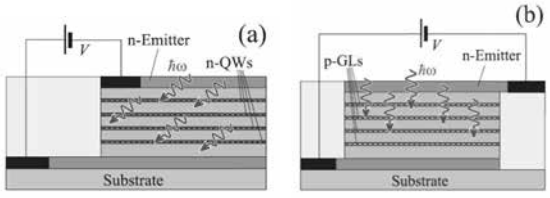


Fig. 1. Schematic views of (a) an n-type QWIP (inclined incident irradiation) and (b) a GLPD (normal incident irradiation) with n-type emitter and collector layers and inner p-type GLs.

We show in Fig 2 that the responsivity of the GLPD can be up to 30 times higher than the responsivity of the QWPD with analogous parameters. Moreover, as it is demonstrated in

[A1], the detectivity of GLPD can be up to 15 times higher than detectivity of QWPD, so the GLPDs offer substantially better performance (see also [B1-B3]).

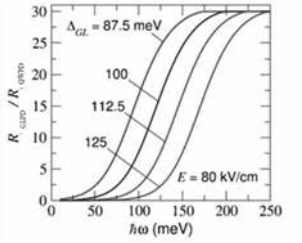


Fig. 2. Ratio of the GLPD to the QWPD responsivities as a function of the photon energy $\hbar\omega$ for the GLIPs with different Δ_{GL} (Δ_{GL} = 87.5, 100, and 125 meV) at E = 80 kV/cm.

We also show that the photoconductivity of GL photodetector at room temperature can be positive or negative depending on the energy of photons relative to the energy of the optical phonons in graphene (Fig. 3) [A3]. We evaluated the responsivity of the THz and IR photodetectors using the calculated GL photoconductivity (Figs. 3 and 4). The obtained results along with the relevant experimental data might reveal the microscopic processes in GLs, and the developed model could be used for the optimization of the GL-based photodetectors.

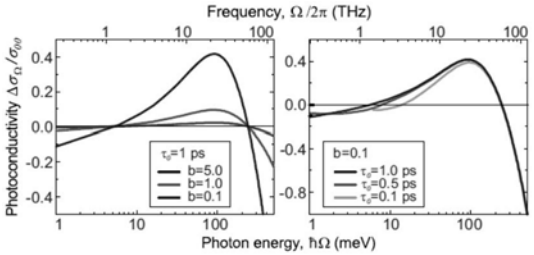


Fig. 3. The normalized GL photoconductivity $\Delta\sigma_\Omega / \sigma_{00}$ as functions of the photon energy $\hbar\Omega$ for the case of dominant short-range scattering for different values of $b = \tau_{Opt} / \tau_{Auger}$ the characteristic value of the momentum scattering, τ_0 = 1 ps (left panel) and different τ_0 and b = 0.1 (right panel).

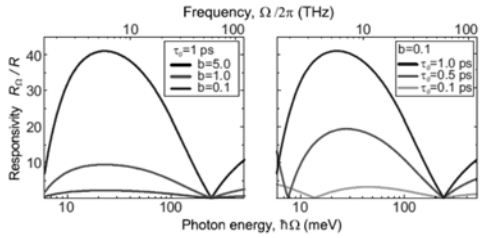


Fig. 4. The spectral characteristics of the responsivity, R_Ω / R, of the GL-based photodetectors with dominant short-range scattering and the same parameters as in Fig. 3.

Since the band gap of the phosphorene strongly depends on the number of its monolayers it is possible to control the frequency of emitters and/or detectors that can operate at room temperatures in a wide spectral range from far terahertz to infrared frequencies and even higher. First we considered field effect transistor (FET) [A4] (Fig. 5). Electrons and holes have high mobility in the G-layer, but due to large effective mass, the mobility in P-layer is substantially lower. As the source-drain electric field increases, electron and hole energy go up and as they reach the energy equal to barrier height Δ^c and Δ^h the carriers transfer to P-layer (real-space-transfer), resulting in NDC: negative differential conductivity (Fig. 6).

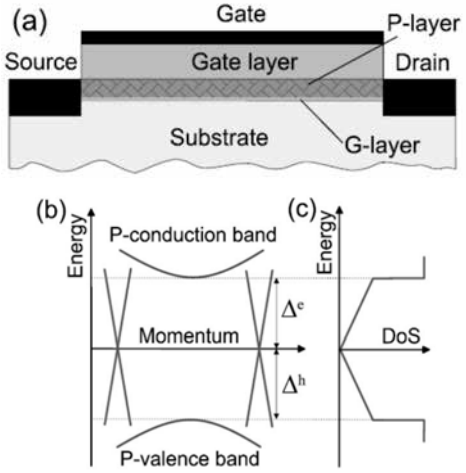


Fig. 5: Schematic view of (a)G-P FET structure, (b) energy spectrum, and (c) density of states (DoS). Cone-shaped parts of energy spectrum corresponds to the K- and K'-valleys in G-layer.

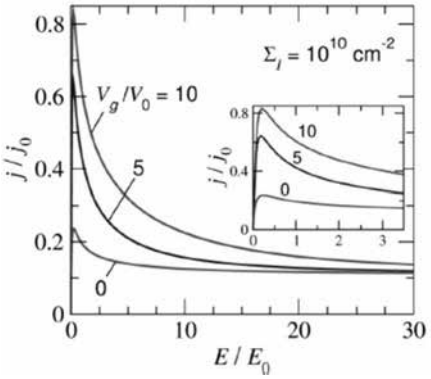


Fig. 6 Current-voltage characteristics for three values of the gate voltage V_g/ V_o shown at the curves for one concentration of scattereres, $\Sigma_i = 10^{10}\,\mathrm{cm}^{-2}$.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Our research was focused on graphene heterostructures, but in paper [A2] (see also [B4]) we demonstrated that the suggested new principals of photodetectors operation [A1, B1-B3] can be used for other materials, especially in the heterostructures where G-layers (see Fig. 1b) are replaced by thin layers of a narrow band gap material such as the quantum

wells of HgTe / $Cd_{0.3}Hg_{0.7}Te$ with the QW thickness as a parameter.

［4］成果資料

Six Peer-reviewed journal articles

A1"Comparison of intersubband quantum-well- and interband graphene-layer-infrared photodetectors," V. Ryzhii, T. Otsuji, V. E. Karasik, M. Ryzhii, V. G. Leiman, V. Mitin, and M. S. Shur, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 54, No 2, 0545108 (2018), https://doi.org/10.1109/JQE.2018.2797912.

A2"Interband infrared photodetectors based on HgTe–CdHgTe quantum-well heterostructures," V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, S.V. Morozov, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, M. S. Shur, and V. Ryzhii, Optical Materials Express, Vol. 8, pp. 1349-1358 (2018), https://doi.org/10.1364/OME.8.001349.

A3"Negative and positive terahertz and infrared photoconductivity in uncooled graphene," V. Ryzhii, D. S. Ponomarev, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur, and T Otsuji, Optical Materials Express, Vol.9, No 2, pp. 585-597 (2019), https://doi.org/10.1364/OME.9.000585

A4"Real-space-transfer mechanism of negative differential conductivity in gated graphene-phosphorene hybrid structures: Phenomenological heating model", V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, V. Leiman, P. Maltsev, D. Ponomarev, V. Mitin, M. Shur, and T. Otsuji, J. Appl. Phys. Vol. 124, No. 11, p. 114501 (2018), https://doi.org/10.1063/1.5046135.

A5"Negative photoconductivity and hot-carrier bolometric detection of terahertz radiation in graphene-phosphorene hybrid structures", V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, D. Ponomarev, V. Leiman, V. Mitin, M. Shur, and T. Otsuji, J. Appl. Phys., Vol. 124, No. 12, (2018), accepted, in press.

A6"Electrical modulation of terahertz radiation using graphene-phosphorene heterostructures", V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, D. S. Ponomarev, V. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, and M. Shur, Semicond. Sci. Technol., Vol. 33, No 12, 124010 (8pp) (2018), https://doi.org/10.1088/1361-6641/aae9b2

Three invited and three regular presentations at international conferences

B1"Comparison of Infrared and Terahertz Photodetectors Based on Graphene, CdHgTe, and A3B5 Quantum-well Heterostructures," V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. E. Karasik, V. G. Leiman, V. Mitin, M. S. Shur , V. Ya. Aleshkin, A. A. Dubinov, and S. V. Morozov. Invited talk at the Progress in Electromagnetics Research Symposium: PIERS 2018, Toyama, Japan, August 1 – 4, 2018 A6, 4P-14a.

B2"Infrared and terahertz photodetectors based on van der Waals/graphene heterostructures: Can they be superior?" V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M. S. Shur, 2018 Advanced Research Workshop: Future Trends in Microelectronics, June 11-15, 2018: Sardinia, Book of Abstracts, p. 31.

B3"Interband multi-graphene-layer versus intersubband quantum well infrared photodetectors V. Mitin, V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, and M.S. Shur, 2018 Advanced Research Workshop: Future Trends in Microelectronics, June 11-15, 2018: Sardinia, Book of Abstracts, p. 44.

B4 "Concepts of Infrared and Terahertz Photodetectors Based on Vertical Graphene and HgTe-CdHgTe Heterostructures," M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Ryzhii, V. Aleshkin, A. Dubinov, V. E. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, and M. S. Shur, Invited talk at The 7th Russia–Japan–USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies "RJUSE TeraTech-2018," Sept 17-21, 2018, Warsaw, Poland. Book of Abstracts.

B5"Electrical carrier heating in graphene-phosphorene heterostructures and its applications," M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Ryzhii, D. Ponomarev, V. Mitin, and M. S. Shur, Applied Nanotechnology and Nanoscience International Conference "ANNIC 2018" Oct. 22-24, 2018, Berlin, Germany. Book of Abstracts.

B6"Graphene-phosphorene hybrid structures and their applications," V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Leiman, D. Ponomarev, P.P. Maltsev, D. Svintsov, V. Mitin, and M. S. Shur, Invited talk at The International Conference "Micro- and Nanoelectronics – 2018" (ICMNE-2018), Zvenigorod, Russia, October 1-5, 2018, Book of Abstracts, p. L2-2.

採択回数	1	2	3

(若手)

採択番号：H28/A16

スピン軌道相互作用の電気的制御による磁化・スピンダイナミクス操作に関する研究

［1］組織

研究代表者：好田　誠
（東北大学大学院工学研究科）
通研対応教員：金井　駿
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
森田　健（千葉大学工学研究科）
千葉　大地（東京大学工学系研究科）
深見　俊輔（東北大学電気通信研究所）
眞田　治樹（NTT 物性科学基礎研究所）
国橋　要司（NTT 物性科学基礎研究所）
石原　淳（東京理科大学理学部）
山根　結太（理化学研究所）
小山　知弘（東京大学工学系研究科）
飯浜　賢志（東北大学 WPI-AIMR）

延べ参加人数：11 人

研究費：物件費　97,000 円
旅費　112,000 円
若手特別支援費　120,000 円

［2］研究経過

スピン軌道相互作用は、そもそも相対論的な効果であり真空中ではその効果が極めて小さい。しかしながら、半導体や金属に代表される固体では、その効果が増強され様々なスピン機能を生み出す重要な概念となっている。この様な分野をスピンオービトロニクスと呼ぶが、本プロジェクトではまさに半導体から金属までの異なる物質をバックグラウンドに持つ研究者が集まり、スピン軌道相互作用を共通言語として、その物理的・工学的な知見を得るのが目的である。そのような研究背景の下、金属および半導体において、電子スピン・磁化の電気的制御を用いたデバイス応用そしてスピンダイナミクスの研究を進めた。

研究分担者には、スピンダイナミクスを専門にする研究者 3 名と、磁気輸送測定からスピン物性を明らかにする研究者 1 名、そして磁性の電場制御、高速磁化ダイナミクス操作および磁性体を用いたニューロモルフィックコンピューティングを専門にする研究者 2 名により構成され、磁化およびキャリアスピンのダイナミクス操作に関する研究に従事した。2019 年 2 月 1 日には、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会として「固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用」(研究代表者：東北大 CIES 松倉 文礼教授)および「スピン軌道相互作用を介した磁化・スピンダイナミクスの電気的操作に関する研究」に関する共同研究会を開催し、8 名の研究者を招いて本分野の最先端研究について成果発表が行われた。具体的には、飯浜賢志氏(東北大 WPI)からは強磁性/非磁性/強磁性構造における超高速スピン輸送を用いた全光学磁化反転、森田健氏(千葉大)からは半導体量子井戸構造におけるスピンモード前の遷移状態における拡散電子スピンダイナミクスとスピン軌道相互作用の評価法について、宗片比呂夫氏(東工大)からは高品位 AlO トンネルバリアを用いた室温純粋円偏光発光ダイオードのメカニズムについて、多々良源氏(理研)からはスピン流を定義しなくても説明できるスピントロニクス現象について、小山知弘氏(東大)からは電場を用いてジャロシンスキー・守谷相互作用を制御することによる高速磁壁ダイナミクスについて、山根結太氏(理研)からは Noncollinear 反強磁性体におけるスピン流誘起磁化ダイナミクスについて、国橋要司氏(NTT)からは GaAs 量子井戸中におけるドリフトスピンダイナミクスについて、最後に石原淳氏(東理大)からは半導体量子井戸における高移動度二次元電子のスピンダイナミクスについて講演を頂いた。質疑応答も活発

に行われ、スピントロニクス分野の更なる広がりに対する可能性を強く感じると共に、異なる分野を網羅的に理解できる良い機会となった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、強磁性半導体(Ga,Mn)As を用いた横型スピン注入素子において、弱磁場下で半導体GaAsチャネル中の核スピン偏極を観測することに成功し、核スピンが 20 μm の長距離にわたって偏極していることを明らかにした。GaAs をはじめとする III-V 族半導体は、電子スピンのゲート電界制御が可能であり、かつ直接遷移型のエネルギーギャップを有することから、スピントランジスタのチャネル材料やスピン発光ダイオードの候補物質として注目されている。これらの物質においては、Ga と As 原子が有限の核スピンを有するため、電子スピンとのフリップフロップ過程で核スピンが偏極すると、最大で数テスラに及ぶ核磁場を生み出すため、電子スピンの寿命を大きく変調させることが知られてる。よって核磁場とスピン流の相互作用を直接観測しその機構を理解することは、半導体を用いたスピンダイナミクスを制御する上で基盤技術となる。しかしながら、スピントランジスタの基本構成要素である微小な横型スピン注入素子のチャネル中における核スピン偏極の空間的な広がりとスピン流に及ぼす影響については調べられてこなかった。本研究では、(Ga,Mn)As/n-GaAs スピン注入・検出構造を用いて横型スピン注入素子を作製し、磁気抵抗効果から電子スピンの偏極率の距離依存性を系統的に調べ、核スピン偏極率やその空間分布について詳細に調べた。図1に磁気抵抗測定の結果を示す。ゼロ磁場付近の電子スピン蓄積に起因するピーク構造に加え、核スピン偏極を示すサテライトピークが観測された。このサテライトピークの検出電極距離依存性から、スピン注入源から20μmまで離れても核スピン偏極が実現されていることを明らかにした。核スピン偏極率はスピン流の伝搬に伴い減衰することが分かった。

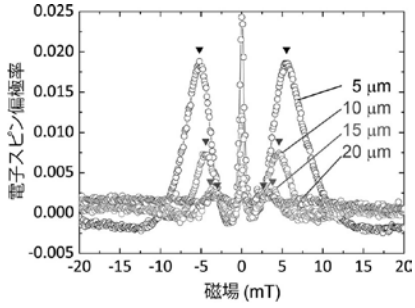


図1. スピン注入源から異なる距離にあるスピン検出端子で測定したスピン電圧の外部磁場依存性

第2に、半導体2次元電子ガスにおいて、スピン軌道ロッキングを用いてスピン緩和の抑制と効率的なスピン制御を両立する新たなスピン回転制御法を見出した。半導体における電子スピンの回転制御は、量子コンピューティングや省電力集積回路を実現する上で基盤技術となる。しかし、電子スピンが磁場の周りを歳差運動しながら回転すると、スピン位相緩和が生じるため、スピン情報が失われてしまう問題を抱えていた。スピン軌道ロッキングは、電子の運動方向に依存しスピンの向きが一意に決まるスピン軌道相互作用の基本的な性質の一つである。この効果を用いることにより、常に電子スピンが有効磁場方向に揃いながらスピン制御できる新たな方法を考案し、ナノ構造素子を用いて実証した。InGaAs 半導体量子井戸を用いた磁気フォーカシング素子を作製し(図 2)、弱い面直磁場を印加しながら電流を流した。ソースから出た電子は、サイクロトロン運動により、円軌道を描きながらドレインに到着する。この時､常に電子スピンは有効磁場方向を向くため、スピン歳差運動を誘起せずに、スピン方向を変化させることが可能となる。ドレインを流れる電流の伝導度の磁場依存性を詳細に評価することで、図3に示すように、スピンの向きが180度回転して、ドレインに到着していることを明らかにし、理論計算結果とも良い一致をすることを明らかにした。

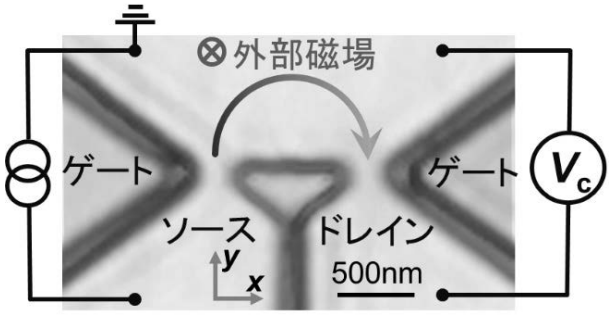


図2. 作製した InGaAs 磁気フォーカシング素子構造

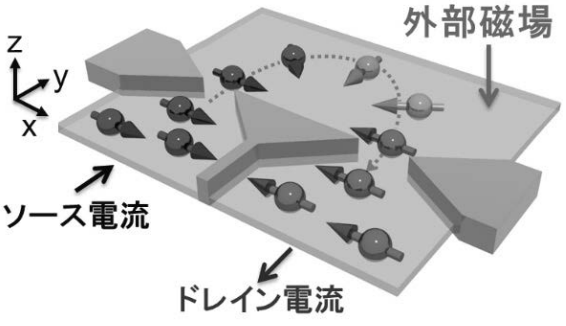


図3. 電子の軌道運動とスピン方向の概念図

また特別支援分の研究費により効率的な研究推進および積極的な情報共有が可能となり、上記に説明したインパクトの高い成果を挙げることが可能となった。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、毎年「固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用」（研究代表者：東北大 CIES 松倉 文礼教授）および「スピン軌道相互作用を介した磁化・スピンダイナミクスの電気的操作に関する研究」（研究代表者：東北大　好田　誠准教授）の共同プロジェクト研究会を実施しており、幅広い研究者を集めた意見交換会を行っている。また年齢層も若手からシニア研究者までをカバーしており、若手研究者の教育的効果を育みながら、真剣に議論する場を作ることで各自の研究にフィードバックを行う体制を持つ。これにより、領域を超えた研究展開の期待や全く新しい研究の芽を生み出す土壌を醸成している。特に、最近のスピントロニクス分野は、物理と材料開発そして理論が一体となり新しい材料系を取り込みながら発展していることから、このような違う分野の研究者が一堂に集まり議論する機会を得たことは、今後の研究において、磁化・スピンダイナミクスの精密制御そしてデバイス応用に向けた指針を考える上で大変重要な機会である。今後もこのようなネットワークを形成して研究を進めていくことを決めた。

［４］成果資料

（１） M. Kohda, T. Okayasu and J. Nitta, “Spin-momentum locked spin manipulation in a two-dimensional Rashba system”, *Scientific Reports* 9, 1909-1-1909-9 (2019).

（２）D. Iizasa, D. Sato, K. Morita, J. Nitta, and M. Kohda, “Robustness of a persistent spin helix against a cubic Dresselhaus field in (001) and (110) oriented two-dimensional electron gases”, *Physical Review B* 98, 165112-1-165112-9 (2018).

（３）J. Shiogai, M. Ciorga, M. Utz, D. Schuh, M. Kohda, D. Bougeard, T. Nojima, D. Weiss, and J. Nitta, “Spatial variation of dynamic nuclear spin polarization probed by the non-local Hanle effect”, *Applied Physics Letters* 112, 132403-1-132403-4 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(萌芽)

採択番号：H28/A17

逆磁歪効果を利用したアモルファス磁歪薄膜の磁気異方性誘導技術とその応用に関する研究

［1］組織

研究代表者：

栃 修一郎（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

栃 修一郎（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

竹澤 昌晃（九州工業大学大学院工学研究院）

菊池 弘昭（岩手大学理工学部）

山本 健一（琉球大学工学部）

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：５人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	196,000 円

［2］研究経過

磁性体は、外部磁界の印加によって磁化されるときに、磁性体内部の磁気モーメントの動きに応じてその体積変化を生じる磁歪（磁気ひずみ）という特性を有する。またこの逆の現象である逆磁歪効果は、外部から応力を印加され磁性体内部の磁気モーメントに変化を生じる現象である。

この磁性体の逆磁歪効果は古くから知られているが、特に薄膜材料ではデバイス作製時に磁化し易さ（or し難さ）の目安となる磁気異方性の制御が難しく工業的に広く使われている例は少ない。この逆磁歪効果を利用することで、薄膜素子に対し振動などの応力印加による磁性膜内部の磁化状態の変化を、素子に巻かれたコイルで磁束の時間的な変化（誘起電圧）として取り出すマイクロ振動発電素子や高感度なマイクロ歪み・振動・加速度センサの実現が期待できる。これら高性能なマイクロ磁気デバイスを実現するには、磁気異方性の制御が重要となる。

本研究では、比較的大きな磁歪を持ち、優れた何磁気特性を有するアモルファス軟磁性膜の逆磁歪効果を用いた、高性能マイクロ磁気デバイスの開発を目的としている。アモルファス磁性薄膜の磁気異方性を誘導する方法としては、主に、①成膜時の磁界印加、②成膜後に磁性膜のキュリー温度以下の磁界中熱処理を施す、の二つが挙げられる。しかし本研究で用いる軟磁性磁歪薄膜（FeSiB，磁歪値≒30～40 ppm）などは、成膜する基板の熱膨張係数や磁気デバイス作製の際の素子形状によって、大きな磁歪を有するが故に残留応力の影響を受け易く異方性の誘導が容易ではない。

これに対し、我々は先行研究において、磁歪薄膜、積層用非磁性金属薄膜、成膜用基板のヤング率や熱膨張係数の差異により、熱処理後に薄膜積層構造の層間に働く残留応力を利用した逆磁歪効果によって磁歪膜の磁気異方性を誘導するという斬新な着想により、成膜後の回転磁界中熱処理のみで、短冊形状素子の幅方向（Mo 薄膜と積層[5.4×10^{-6}/K]）及び長手方向（Ti 薄膜と積層[8.3×10^{-6}/K]）に一軸磁気異方性を誘導できることを見出した。

本研究では、この技術を用いた磁気デバイスの設計指針を確立すると共に、マイクロ振動発電素子やマイクロ歪み・振動・加速度センサへの応用展開について検討を行った。

研究打合せ　2019 年 3 月 25 日，26 日

研究成果について議論を行い、今後の展開について打ち合わせを行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

〇アモルファス磁歪膜の磁気異方性誘導

アモルファス磁性膜(FeSiB)／非磁性金属膜(Mo, Ti）の二層膜において、アスペクト比及び膜厚比を様々に変化させた積層構造を作製し、各構造の磁化特性(印加磁界に対する磁性膜内部の磁化量の変化)、磁気トルク特性（印加磁界に対する磁性体内部磁化の回転力)、磁気 Kerr 効果顕微鏡による磁性膜表面

の磁区構造観察を行い、各測定・観察結果を定量的に整理することによって異方性誘導のメカニズムを明確にする。積層膜素子の作製には、フォトリソグラフィー（リフトオフ法）を用いた。成膜後の熱処理には回転磁界中熱処理装置を用いた。磁化特性の測定には振動試料型磁力計（Vibrating Sample Magnetometer, VSM)、磁気異方性の評価には磁気トルク計を用いた。

具体的には、下部層のMo薄膜の形状を短冊状（膜厚：3 μm, 幅2 mm × L mm, L：変数）に、またその上に成膜するFeSiB薄膜は面内における形状の影響を無くすために円盤状（膜厚：1 μm, 直径2 mm）にして検討を行った。FeSiB 層の形状は固定し、Mo層の短冊長手方向の長さを徐々に延長させた。成膜後には磁性膜中の磁化が面内で等方的になるよう回転磁界中熱処理（250, 300, 350℃）のみを施すと同時に、成膜時に印加された歪を取り除いた。Mo層の形状が正方形（2 mm × 2 mm）の場合、上層のFeSiB層は等方的な磁気特性を示したが、Mo層のアスペクト比が大きくなるに従って、Mo 層の短冊幅方向にFeSiB 層の磁化容易軸が揃うことが、磁化曲線の測定結果および表面磁区観察結果からも確認された。また熱処理温度の変化に対する Mo 層のアスペクト比の影響を調べたところ、350℃の場合Mo層の長さが4 mm以上で、誘導される磁気異方性の度合いは同じであったが、熱処理温度が低くなるに従い、大きな磁気異方性を得るためにはアスペクト比を大きくする必要があることが確認された。特に、Mo膜の寸法が2×8 mm、膜厚が3 μm、基板にスライドガラスを用いた場合のVSMによる磁化曲線の測定結果においては、Mo 膜の形状に対して幅方向に磁化容易軸、長手方向に磁化困難軸が誘導され、良好な軟磁気特性を示した。測定結果から異方性磁界H_kを概算したところ、約0.6 kA/mであった。

○磁気異方性の誘導技術を利用した磁気デバイス

残留応力及び逆磁歪効果を利用した積層構造アモルファス磁歪薄膜（FeSiB）の磁気異方性誘導手法の機構について、実際のデバイス応用を想定した1ターンミアンダコイル形状の長辺部分を積層構造（FeSiB/Mo）とした試料を作製し、アモルファス磁歪薄膜の磁気異方性の制御、また印加歪みによる磁気異方性の変化についての検討を行った。成膜用基板として、Si 基板（厚さ：200μm）とカバーガラス基板（厚さ：150μm）を用いた。これまでに得られた結果より、FeSiB（6.5×10^{-6}/K）と積層する非磁性金属膜及び用いる成膜用基板の熱膨張係数を含む機械的特性の差異によって、磁気異方性の誘導される方向や度合いが大まかに予測できることから、今回用いたMo積層用薄膜（5.4×10^{-6}/K)、Si基板（2.6×10^{-6}/K)、カバーガラス基板（7.2×10^{-6}/K）の熱膨張係数を考慮すると、Si基板では短冊長手方向に、またカバーガラス基板基板では短冊幅方向に誘導されることが予測できる。実際に作製した後、磁気Kerr 効果顕微鏡を用いて誘導された磁気異方性の方向を確認したところ、磁気モーメントの向きは、Si基板上の試料では短冊長手方向を、カバーガラス基板上では短冊幅方向を向いており、成膜後の回転磁界中熱処理によって磁気異方性が誘導されていることが確認された。さらにこれらの試料を用いて、印加応力（印加歪み）に対する磁気異方性の変化の度合いについて評価を行った。まず試料が成膜された基板を短冊状に切り出し、片持ち梁構造になるよう冶具に固定した後、ネットワークアナライザを用いた反射測定法により、1ターンミアンダコイルの高周波インピーダンスを測定しながら、自由端に載せた錘及びマイクロメータヘッドによって変位させることで試料長手方向に引張り及び圧縮の応力を加えて歪みを印加した。試料の1ターンミアンダコイルを形成しているMo層には、ネットワークアナライザによってインピーダンス測定のための高周波電流が通電されており、これによって短冊長辺部分を積層しているアモルファス磁歪薄膜の短冊幅方向には微弱な高周波磁界が印加される。印加歪み（応力）によって、元々誘導されていた磁歪薄膜の磁気モーメントの向きや大きさが変化し、それに伴い磁歪薄膜の幅方向の透磁率が変化する。コイルのインピーダンス（インダクタンス及び抵抗）はこの透磁率の変化に対応して変化するため、印加歪みに対するインピーダンス変化を測定することで、磁気異方性の変化を確認することが可能となる。印加歪みに対する試料のインピーダンス変化の測定を行ったところ、印加歪みに対するインピーダンスの変化の傾きを比較すると、カバーガラス基板基板上の試料の方が急峻な変化を示しており、これは磁歪薄膜の誘導された磁気異方性の均一度が高く、印加歪みに対して薄膜全体の磁気モーメントが一斉に変化していることが確認された。一方、Si基板上の試料では傾きが緩慢であることから、磁気異方性の状態が均一ではなくある程度の分散があるものと考えられる。

Si 基板上の素子では圧縮歪みを加えていくことで、短冊長手方向を向いていた磁気モーメントが、短冊幅方向に変化していくが、その過程において50ppm 付近でインピーダンスがピークを示し、この状態では、見かけ上、磁気異方性が消失し素子幅方向の透磁率が最大となることからインピーダンスが最大値を示す。これに対し、カバーガラス基板上では、引張り歪みの印加により、短冊幅方向を向いて

いた磁気モーメントが、短冊長手方向に変化する過程において、-110ppm 付近で磁気異方性が消失しインピーダンスが最大値を示した。

以上のことから、磁歪薄膜/非磁性金属膜から成る積層構造と成膜用基板の違いにより、磁歪薄膜の磁気異方性の状態を制御できることが明らかとなった。また、評価を行った両試料は、歪み及び振動センサとしての応用が可能であり、それらの性能評価の結果は査読付論文としてまとめると共に、国内外の学会において発表を行った。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまでの取り組みの結果、積層構造膜においてMo 膜のアスペクト比と熱処理時の条件を調整することで、FeSiB 膜の誘導磁気異方性を細かく制御可能であることが明らかとなり、熱処理後の積層構造膜の機械的特性の差異により生じる残留応力の効果とその機構について、一定の設計指針を得ることができた。

本研究で得られた知見を基にして、逆磁歪効果を利用した磁気デバイスの例として、片持ち針構造の高感度な歪センサ及び振動センサが実現できることを示した。また振動発電デバイスとしての評価も行ったところ、現状では微小な出力電力ではあるが、発電できることも確認できている。

よって、今後、用いるデバイス構造に適したアモルファス磁歪膜の異方性誘導技術を充実させていくことで、様々な逆磁歪効果型マイクロ磁気デバイスへの応用展開が期待できる。

［４］成果資料

（１）久保結人，杤修一郎，横井甫，荒井薫，石山和志，「磁性薄膜の磁気歪みを利用した歪み・振動センサの開発」，電気学会論文誌 E（センサ・マイクロマシン部門誌），Vol. 138, No. 4, pp. 153-158 (2018).

（２）S. Hashi, D. Sora, Y. Kubo, K. Arai, K. Ishiyama, “Anisotropy control of magnetostrictive film using thermal stress ant its application for sensor device,” Digest book of International Magnetic Conference (INTERMAG2018) April 23-27, 2018 Singapore, CW-07 p. 747 (2018).

（３）S. Hashi, D. Sora, Y. Kubo, K. Arai, K. Ishiyama, “Sensor application of inverse magnetostriction effect of soft magnetostrictive film,” Abstract of the 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018) June 3-7, 2018 Jeju, Korea, G7-1085, (2018).

（４）曽良大輔，久保結人，荒井薫，杤修一郎，石山和志，「磁歪膜を用いた振動センサの高感度化」，平成 31 年電気学会全国大会講演論文集，平成 31 年 3 月 12～14 日，2-141，p. 162 (2019).

採択回数	1	2	3

(先端・萌芽)

採択番号：H28/A23

多数生体信号の分析により異常の予測と検索

［1］組織
研究代表者：ゴータム・チャクラボルティ
(岩手県立大学・ソフトウェア情報学部)
通研対応教員：木下哲男
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
高橋秀幸（東北大学電気通信研究所）
松原雅文(岩手県立大学・ソフトウェア情報学部)
真部雄介（千葉工業大学情報科学部）

延べ参加人数：6 人

研究費：物件費　97,000 円
旅費　112,000 円

［2］研究経過

Intelligent systems, while interacting with the environment, use environmental information, especially visual information, for making proper decision to accomplish a task. The system need to collect vast amount of data and analyze for correct decision. Thus, intelligent systems are computationally heavy. For face recognition, features from the whole facial image are extracted and compared for a match. Humans, on the other hand, uses a few fixations to perceive the whole image and make recognition decision efficiently and correctly (Noton D, Stark L, "Scanpaths in eye movements during Visual Perception", Science, Jan 22, 1971; Janet Hui-wenHsiao, G. Cottrell, "Two Fixations suffice in Face Recognition", Psychological Science, no. 10, vol. 19, pp: 998-1006). Starting from an arbitrary point, the next fixation point is chosen, extracting features from surrounding a low resolution peripheral view. The whole image is constructed to compare with its nearest match for the task in hand (here face recognition) very efficiently. It is *selective attention,* attending to important points only, facilitating the same goal with less information to process, as shown in Fig.1.

Moreover, for any difficult task requiring visual perception, an expert's eye-fixation sequences gather necessary information much faster than a novice's way of viewing. We verified that using a driving simulator experiment and reading ability experiment. In those projects, we have shown that an expert's viewing pattern is smooth and meaningful, whereas a novice eye tracks haphazardly over the whole field of view. In this project, we propose a way to learn an expert driver's viewing sequence to embed it in an intelligent system. The case study is driving. The idea could be extended to any robotic system

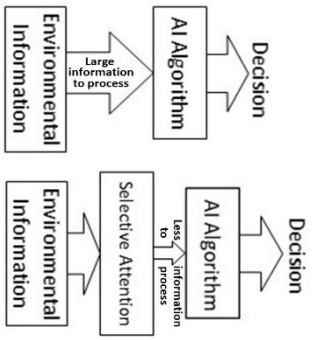


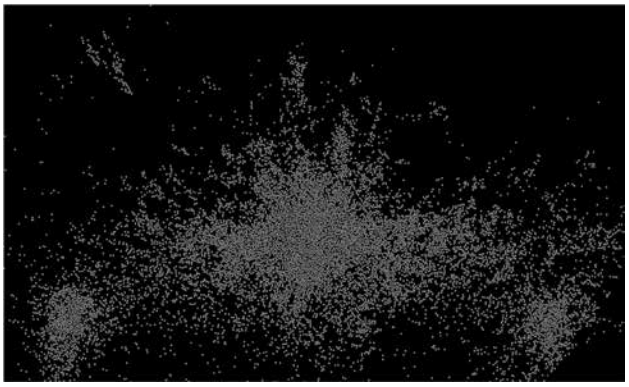
Figure 1: Efficiency improves by selective attention

Keywords: Fovea, Peripheral vision, Perception, Selective Attention,

目的:

Driverless car or self-driving car projects are undertaken by not only many car companies, but also tech companies like Google, uber, Softbank. The general approach is to collect video and audio data from all directions, in addition to sensor data like LIDAR, GPS, odometry data. In addition to the cost of these sensors, processing of the data needs enormous amount of computations, warranting high-end computational power on board. Humans perform the same task, with two eyes and ears. Through experience, human drivers learn to attend to important aspects. Learning this selective attention is the key to reducing the amount of data to analyze for taking





driving decisions efficiently. Outline of the proposed system is shown in the above two figures. The red dots in the bottom figure show where the fixations are, when someone is driving. One important thing to note is that, in addition to fixations clustered in the direction of road, and the two side mirrors, at times the vision goes in

概要:

The goal of this project was to incorporate human expert's visual cues to improve efficiency of an intelligent system. Instead of analyzing the whole visual field, as done in conventional AI system, we grade the visual field into regions with different resolution, high resolution covering only a small area and the rest low-resolution periphery. This will improve efficiency as less number of pixels to analyze. Moreover, the gaze sequence of an expert will reduce time perceive the situation. This idea is applicable for many tasks. It is more important in a moving scenario, like driving, where many frames are to be analyzed. Eye-tracking data, while human experts perform the task, will be used as training data. We get the fixation points superimposed on video frames. Once we learn to incorporate, what features on the frame initiate a saccades, and where the next fixation would be, the system could analyze visual information more efficiently. Considering visual stimulation is the only environmental input, we can map decisions based on visual information alone.

研究目的:

The aim of this work is to realize an efficient implementation of auto-driving vehicle. In addition, with a view to implement human-like vision, we will work on an efficient peripheral vision recognizer, which will reduce the resolution of image around the periphery region, and could realize efficient recognition due to lower number of pixels as input. Once objects of attention are identified, the camera will move towards that direction, and high resolution image will be captured and analyzed.

研究打ち合わせ：

List of Visits to Tohoku University RIEC:

(1) 1st. visit - 2018/10/02
(2) 2nd. visit – 2019/1/15
(3) 3rd. visit - 2019/02/21
(4) 3rd. visit - 2019/03/07 – 2019/03/8

研究会, 研究打ち合わせ・研究討論会, 研究発表会：

Publications relevant to this project:

1. Goutam Chakraborty, L. C. Cheng, L. S. Chen, Cedric Bornand, "Selecting Important Features Related to Efficacy of Mobile Advertisements using Human visual fixations," Intelligent Information and Database Systems, Springer Verlag, 2017,

［3］成果

（3－1）研究成果

In this research, we did our experiments in two steps, (1) investigate whether the visual attention pattern between expert driver and novice one are different or not, (2) identify the visual cues where an expert driver focuses. In Fig. 2, while driving on a road as shown on the top, where there is no other traffic or pedestrians, visual attention is straight or on side mirrors. There is little difference between an expert driver and a novice one. When the driving is tricky, like narrow mountain road or on a crowded road inside a city, the difference in visual attention pattern are very different between expert and novice. In addition, we collected different bio-signals like electroencepahlogram, electrocardiogram, pulse, and muscle contraction data from the driver's body. This data is used to find out the time lag between an alarming event on the road and breaking or steering the car, with minute details to compare between an expert driver and a novice one.

We collected data from 10 subjects, 4 of whom are regular drivers and rest 6 do not drive. The time-series data of eye-fixations (point of attention) are collected. The distance between two time series is calculated using dynamic time warping (DTW), and signals are clustered. When the data is collected in a scenario like in Fig. 2, no clear cluster was observed. When the data is taken while driving narrow mountain roads, two clear clusters were formed, reflecting that the

visual attention for two groups are different. In addition, as shown in Fig. 2, the top one, a novice driver watches many objects (red circles), whereas an expert driver's attention is attracted by the car in the front and a pedestrian about to cross the road.

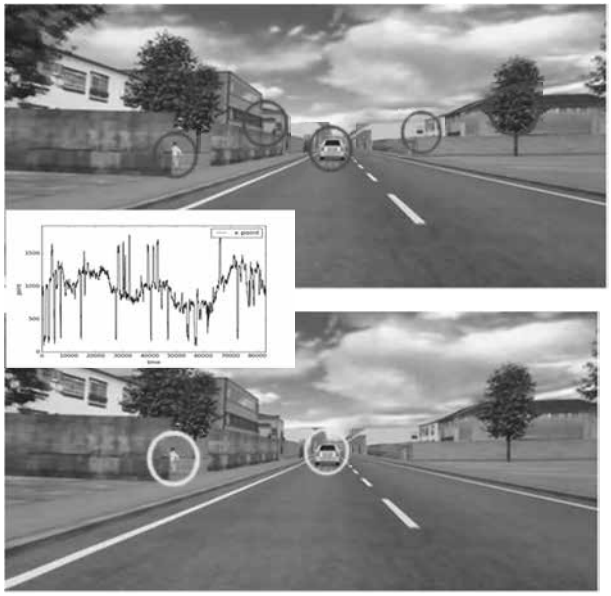


Figure 2: Points of attention and bio-signals

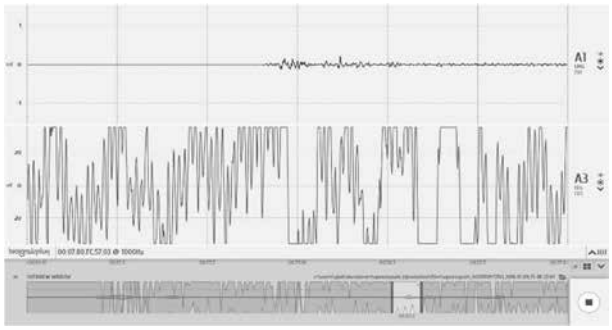


Figure 3: EEG signal and Muscle contraction signal, in case of a sudden brake

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

This research resulted in several international conference presentations, and invited talks. Some of them are listed in section [4]. In addition, this research was also collaborated with Prof. Cedric Bornand of HEIG-VD, Switzerland. We are organizing an IEEE International conference (http://www.chishiki.soft.iwate-pu.ac.jp/icast2019/) where works on perception and selective attention will be presented.

［4］成果資料

1. T. Kamiyama, Goutam Chakraborty, "An Efficient Anomaly Detection in Quasi-Periodic Time Series Data—A Case Study with ECG," Springer Lecture Notes, Contributions to Statistics, ISSN 147-157.
2. Weilun Wang, Goutam Chakraborty, "Selection of Effective Probes for an Individual to Identify P300 Signal Generated from P300 BCI Speller," International Journal of High performance computing and networking, December, 2018, Granada, Spain.
3. Goutam Chakraborty, Eriko Ikeda, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, Cedric Bornanad, "Proposal of a Cheap Pulse Wave Velocity (PWV) Meter Using Photoplethysmography," International conference on Sensing Technology, October, 2018, Limerick, Ireland.
4. Wan-Ting Chien, Goutam Chakraborty, Long-Sheng Chen, "Identifying important factors affecting O2O customers trust from textual reviews," IEEE International conference on Awareness Technology and Science, September, 2018, Fukuoka, Japan.
5. Yuching Lu, Erika Sawada, Goutam Chakraborty, "Earthquake Aftershock Prediction Based Solely on Seismograph Data," IEEE International conference on Big Data and Smart Computing, March, 2019, Kyoto, Japan.

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2	(3)

(萌芽)

採択番号：H28/A24

次世代 IoT プラットフォームを支える 知的ネットワークセキュリティ技術

［1］組織
研究代表者：永山 忍
（広島市立大学大学院情報科学研究科）
通研対応教員：夏井 雅典
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）
堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）
本間 尚文（東北大学電気通信研究所）
張山 昌論（東北大学大学院情報科学研究科）
井上 博之（広島市立大学大学院情報科学研究科）

延べ参加人数：14 人

研究費：物件費　97,000 円
旅費　98,000 円

［2］研究経過

インターネットの普及に伴い，サイバー犯罪による被害は年々増加の一途を辿っている．高度情報化社会（特に IoT: Internet of Things）が叫ばれる現在，電気・ガス・水道の供給システムや鉄道・航空機・自動車など，あらゆるサービスがネットワークを通じて提供・制御されているため，サイバー犯罪による被害は，個人情報の流出やコンピュータの故障だけに止まらず，人的被害にすら及びかねない危険性がある．また，その犯罪の手段も多岐に渡っており，継続的な研究開発が進められている今日の不正侵入防止技術も，その改善が追いつかない状況となりつつある．

以上の背景において，今日の高度情報化社会における人々の生命や財産を守るためには，様々な手段による不正侵入を柔軟かつ確実・高速に検知・遮断するネットワーク侵入検知技術の確立が急務である．そこで，本プロジェクトでは，①決定グラフに基づく高速なプログラマブルネットワーク侵入検知技術，および②機械学習アルゴリズムに基づく自律的不正侵入パターン検出技術，の 2 つについてそれぞれ研究を進めるとともに，各技術の融合あるいは補間による，高度情報化社会の安全・安心を支える次世代ネットワークセキュリティ技術の確立を目的とした研究を推進した．

本プロジェクトは，本年度が 3 年目であった．初期検討では，本プロジェクトの方向性として車載ネットワークを主な適用対象とするのが適切であるとの意見で一致した．そこで，車載セキュリティを専門とする井上博之准教授（広島市立大）を新たに研究メンバーとして迎えた上で，より強固となった研究組織の下，本目的に向けた具体的な研究活動を推進した．以下，研究活動状況の概要を記す．

初年度に決定した方針に基づき，各グループが並列的かつ継続的に担当テーマに関する研究を推進した．2018 年 9 月の研究会多値論理フォーラムにおいて，お互いの進捗の確認を兼ねた研究打合せを行った．次いで，2018 年 12 月の研究会デザインガイア，2019 年 1 月の多値論理とその応用研究会においてそれぞれ 2 回目，3 回目の研究打合せを行い，各研究者の進捗状況の報告，ならびに最終年度の取りまとめに向けた意見交換を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の研究成果を以下に示す．まず，車載ネットワークの現状を調査し、エンターテイメントと自動車制御に係わる電子部品が同一ネットワーク内に混在している非常に危険な状況であることを認識した．この現状を元に，通信の重要度によってネットワークを分割・整理することを提案し，自動車制御用通信のモデル化を容易にした．その中でも，CAN（Control Area Network）と呼ばれるプロトコルが自動車制御の基幹を担うネットワークに用いられていることから，本プロトコルを対象とした①シグネチャ検知型，および②アノマリ検知型アルゴリズムについてそれぞれ検討するとともに，両手法の融合

による柔軟かつ確実なネットワーク侵入検知技術の実現に向けた研究を推進した.

シグネチャ検知型については，検知精度をより高めるために，機械学習による検知手法やデータマイニング（類似データの探索）手法および、そのハードウェア実装に関する研究を行った．機械学習においては，ランダムフォレストやアダブーストを用いることにより，高い精度で高速に検出できることを確認した．また，多次元空間を効率良く分割することで距離的に近いデータを高速に探索する手法も提案した． FPGA 実装により距離計算を並列に行うことで，ソフトウェア実装の数十倍の性能を達成できることを示した.

アノマリ検知型については，リカレントニューラルネットワーク（RNN）に基づく車載ネットワーク向け不正侵入検出アルゴリズムについて，そのさらなる高度化に向けた研究を前年度に引き続き推進するとともに,その性能に関する定量的な評価を行った．ネットワークを伝搬するデータ間の時間間隔を情報として追加することによって，伝搬データを改変する攻撃と，DoS 攻撃等の時間的な傾向に特徴がある攻撃の両方を統一的に検出できるようになることを明らかにするとともに，想定されるいくつかの攻撃シナリオにおいて，提案手法が従来手法よりも高い性能を示すことを，混同行列を用いた定量的評価により明らかにした．並行して，本アルゴリズムを高効率にハードウェア実装するための集積回路技術についても研究を推進し，提案する回路構造が，RNN を含む機械学習アルゴリズムのハードウェア実装における消費電力および回路面積の削減に対して有用であることを明らかにした.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの推進により，学外研究者との交流が飛躍的に活性化することとなり，各研究者が単独ではなし得なかった柔軟かつ確実・高速なネットワーク侵入検知技術の実現がより現実的なものとなった．具体的には，本プロジェクトを通じて，広島市立大学より提供された車載ネットワークに関するデータを東北大学が解析することで，新たな不正侵入検知方法の考案へと繋がった．また，本データの授受および解析に関する学外研究者との交流により，研究者ネットワークが広がった．新しい研究者の参画により強化された研究組織の下，セキュアな車載ネットワークに関する研究を引き続き展開していく.

［４］成果資料

[1] 糸谷 友里，森 啓輔，若林 真一，永山 忍，稲木 雅人，上土井 陽子，″Flexible Distance-based Hashing に基づく大規模多次元データ集合に対する近似最近傍探索手法の改良,″ 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム，A7-1，2019年3月

[2] Toshitaka Ito, Yuri Itotani, Shin'ichi Wakabayashi, Shinobu Nagayama, and Masato Inagi, ″A Nearest Neighbor Search Engine Using Distance-based Hashing,″ International Conference on Field-Programmable Technology, pp.153-160, Dec. 2018.

[3] 片岡 岳，稲木 雅人，永山 忍，若林 真一，″最適ハイパーパラメータ下での機械学習に基づくリソグラフィホットスポット検出手法の比較検討,″ 電子情報通信学会技法 VLD2018-71, pp.215-220，2018年12月.

[4] 湯浅 佑介，永山 忍，稲木 雅人，若林 真一，″モンテカルロ木探索とギブスサンプリング法を用いたモチーフ抽出問題のハイブリッド解法,″ 電子情報通信学会技法 VLD2018-61, pp.149-154，2018年12月.

[5] Shinobu Nagayama, Tsutomu Sasao, and Jon T. Butler, ″An Exact Optimization Method Using ZDDs for Linear Decomposition of Symmetric Index Generation Functions,″ International Federation of Computational Logic Journal of Logic and Their Applications, Vol.5, No.9, pp.1849-1866, Dec. 2018.

[6] 湯浅 佑介，永山 忍，稲木 雅人，若林 真一，″モチーフ抽出問題におけるモンテカルロ木探索に基づく良質な初期解の生成手法の提案,″ 多値論理フォーラム Vol.41, No.2, pp.1-6, 2018年9月.

[7] Gaku Kataoka, Masato Inagi, Shinobu Nagayama, and Shin'ichi Wakabayashi, ″Novel Feature Vectors Considering Distances between Wires for Lithography Hotspot Detection,″ EUROMICRO Conference on Digital System Design Architecture, Methods, and Tools, pp.85-90, Aug. 2018.

[8] Shinobu Nagayama, Tsutomu Sasao, and Jon T. Butler, ″An Exact Optimization Method Using ZDDs for Linear Decomposition of Index Generation Functions,″ 48th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp.144-149, May 2018.

[9] H. Suda, M. Natsui, and T. Hanyu, ″Systematic Intrusion Detection Technique for

In-Vehicle Network Based on Time-Series Feature Extraction," 48th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL2018), pp.56-61, May 2018.

[10] M. Natsui, T. Chiba and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Logic Gate for Binarized Convolutional Neural Networks and Its Impact," Extended Abstracts of 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018), pp.109-110, September 2018.

[11] M. Natsui, T. Chiba and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Ternary Logic Gate for Quantized Convolutional Neural Networks," IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, 2 pages, October 2018.

[12] 千葉智貴, 夏井雅典, 羽生貴弘, "不揮発量子化ニューラルネットワーク構造に基づく小型・超低消費電力 XNOR 回路の構成," 平成 30 年度電気関係学会東北支部連合大会, p. 1E17, 2018 年 8 月.

[13] 千葉智貴, 夏井雅典, 羽生貴弘, "MTJ ベースばらつき補正機能を用いた2値化ニューラルネットワーク向け低消費電力・省面積 bitcount 回路の構成," 第32回多値論理とその応用研究会, pp.15-1-15-6, 2019 年 1 月.

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A02

低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発

［1］組織

研究代表者
内野　俊(東北工業大学工学部電気電子工学科)
通研対応教員
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
吹留　博一（東北大学電気通信研究所）
志賀　佳菜子（東北工業大学工学部電気電子工学科）
菅原　健太（東北大学電気通信研究所）
込山　貴大（東北大学電気通信研究所）
布施　吉貴（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：7 人

研究費
物件費　97,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトは、スーパーレンズやテラヘルツ光源デバイスなどへの応用が期待されているプラズモニック・メタマテリアルを高性能化するために低損失フレキシブル・メタマテリアルを開発し、グラフェントンネルダイオードと集積化することにより高効率太陽光発電が期待される光レクテナを開発することを目的とする。

近年、携帯情報端末の普及にともない情報通信機器のより一層の高性能化や低消費電力化が求められている。プラズモニック・メタマテリアルはプラズモニック材料の表面にナノメートルオーダーの人工的な周期構造を形成することにより、電磁波と相互作用するように設計した機能デバイスである。情報通信機器の高性能化が期待できることから、近年注目を集めている。また、プラズモニック・メタマテリアルにより紫外線からマイクロ波までの広範囲な領域の電磁波が制御可能になるので、従来の材料では実現できなかった負の屈折率を持つ完全レンズのような革新的なデバイスの実現のほか、センサー、カラーフィルタ、太陽電池などの高性能化や小型化が期待できる。しかし、従来のプラズモニック・メタマテリアルでは電磁波で表面プラズモンを励起するときに金属表面で大きなエネルギー損失があり、理論から予想される高性能が得られなかった。

そこで、昨年度は単結晶銀薄膜をマイカ基板上に作製する技術を開発し、収束イオンビームを用いてフレキシブル・メタマテリアルを作製した。その結果、プラズマ伝搬損失を従来の 1/5 にする単結晶銀薄膜作製技術を開発し、従来の約 2 倍の品質係数をもつメタマテリアルを作製することに成功した。

第２年度に当たる本年度は、グラフェン横型トンネルダイオードを作製し､その電気特性を評価した。以下に、研究活動状況の概要を記す。デバイス作製は、東北大学電気通信研究所および東北工業大学のクリーンルームで行なった。作製したデバイスの電気的測定を尾辻研究室、デバイスの構造解析を東北工業大学において実施した。デバイスを作製するにあたり、東北大学電気通信研究所のクリーンルームを平成 30 年 4 月から平成 31 年 2 月にかけて 2 回／月の頻度で利用した。研究成果は MRS Fall Meeting、応用物理学会等において発表した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。まず第１に、グラフェン横型トンネルダイオードの動作原理の解析した結果、ダイオードの順方向電流が Al_2O_3 膜中の欠陥準位を介したトンネル電流に起因することが明らかになった。第２に、グラフェン横型トンネルダイオードの立ち上がり電圧が基板バイアス効果によって変動することがわかった。

グラフェン横型トンネルダイオードを作製するにあたって、接触抵抗の低減を目的として、グラフェン表面を Al_2O_3 膜で保護し、更にフォトレジストの残渣の影響を取り除くため Ti/Pd 電極形成直前に酸素プラズマ処理を行った。トンネル領域は、電子線描画装置および RIE を用いて形成した。トンネル絶

表1　作製したデバイスのパラメータ

#	Dielectric I Thickness	Dielectric II Thickness	SiO_2 Thickness	Tunnel length (L_T)
1	Al_2O_3 (ALD) 20 nm	Al_2O_3 (natural) 6 nm	285 nm	120-220 nm
2	Si_3N_4 (plasma) 30 nm	Al_2O_3 (natural) 6 nm x 2	83 nm	40-140 nm

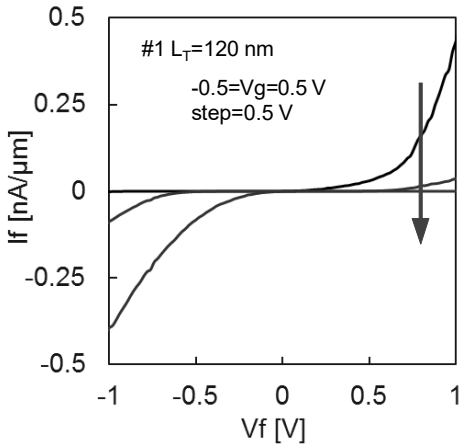


図1　デバイス#1 の電流電圧特性

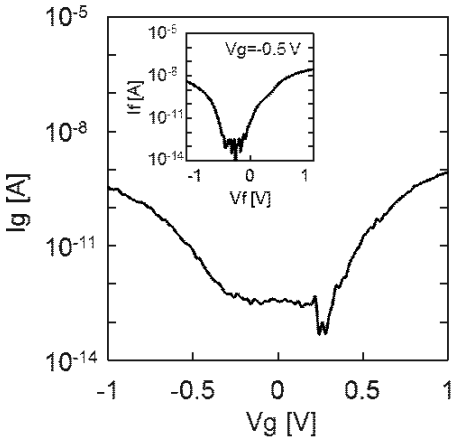


図2　デバイス#1 のゲートリーク電流

縁膜には表1に示すように自然酸化で形成した Al_2O_3 を含む積層膜を用いた。最後に、シリコン基板の裏面に Al を蒸着し、バックゲート電極とした。

図1にデバイス#1 の電流電圧特性を示す。ゲート電圧が-0.5 V のときは n 型ダイオード特性、ゲート電圧が 0.5 V のときは p 型ダイオード特性が強くなる傾向が見られた。これは、基板バイアス効果で MIM ダイオード特性が印加電圧に対して変動したためと考えられる。デバイス#2 についても、同様の電流電圧特性が得られた。

次に、グラフェン横型トンネルダイオードにおける順方向電流の起源について調べた。図2にゲートリーク電流とダイオード電流（挿入図）の絶対値を示す。ダイオード電流がゲートリーク電流より1桁以上大きいことから、アノード・カソード間の電流

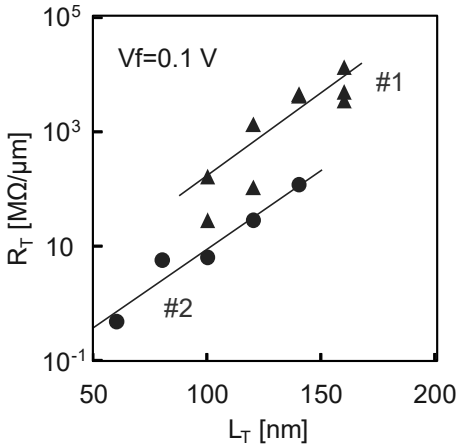


図3　トンネル領域抵抗のトンネル長依存性

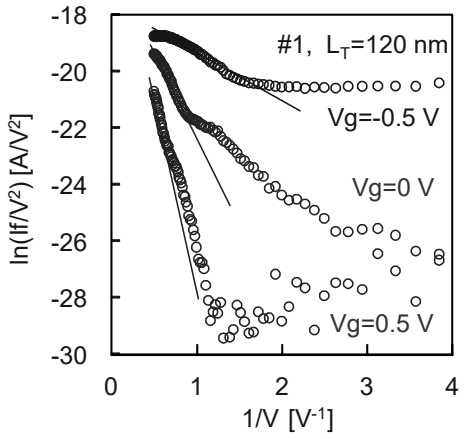


図4　デバイス#1 の FN プロット

はゲートリーク電流ではないことが明らかになった。

図3にトンネル領域の抵抗のトンネル長依存性を示す。抵抗がトンネル長に対して指数関数的に変化していることから、アノード・カソード間の電流はトンネル電流が関与していることが明らかになった。デバイス#2 は、デバイス#1 よりも小さい抵抗を示した。これは絶縁膜層にプラズマ Si_3N_4 を用いたため、プラズマによるダメージが Al_2O_3 に導入されたためと考えられる。

図4に、FN プロットを示す。高電圧領域において、FN トンネル電流が 1/V に対して直線的に変化していることから、絶縁膜中をトンネル電流が流れていることが明らかになった。しかし、測定結果からトンネル障壁を見積もったところ、n 型で 0.95 eV, p 型で 0.6 eV になった。アモルファス Al_2O_3 のバンドギャップが 6.2 eV であることを考慮すると、一般的な FN トンネル電流では説明できない。しかし、順方向電流の大きさに弱い温度依存性があることと、実験結果から見積もった障壁高さが先行研究による Al_2O_3 膜中の酸素起因の不純物準位と一致していることから、本デバイスにおける順方向電流はトラッ

プアシステッド・トンネリングに起因すると考えられる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

MIM トンネルダイオードは、作製プロセスが比較的容易で低消費電力・高速動作という特徴を持つため、マイクロ波及び遠赤外線領域の検波器として注目されているデバイスである。本研究で開発したグラフェン横型トンネルダイオードは、ゲート電圧によりダイオードの立ち上がり電圧を制御することができるので、幅広い応用が期待できる。また、グラフェンの優れた光学特性を利用することにより、ナノアンテナとダイオードを組み合わせた光レクテナの開発が可能になるため、今後の発展が期待できる。

［４］成果資料

（１）T. Uchino, T. Koiwa, J. Y. Ou, and V. A. Fedotov, “Optical properties of single crystal silver thin films on mica for high performance plasmonic devices,” Optical Materials Express, 8 (2018) pp. 1642-1649.

（２）志賀佳菜子、菅原健太、佐藤昭、吹留博一、尾辻泰一、内野俊, “ALD-Al_2O_3 を用いた横型グラフェントンネルダイオードの作製,” 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 (2018. 9 名古屋国際会議場).

（３）K. Shiga, K. Sugawara, H. Fukidome, A. Satou, T. Otsuji, and T. Uchino, “Electrical Characteristics of Gate Tunable Graphene Tunnel Diodes,” 平成 30 年電気関係学会東北支部連合大会 (2018. 9 岩手大学).

（４）志賀佳菜子、菅原健太、佐藤昭、吹留博一、尾辻泰一、内野俊, “横型グラフェントンネルダイオードにおけるゲート電界効果の解析,” 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 (2019.3 東京工業大学).

（５）T. Uchino, K. Shiga, K. Sugawara, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, “Fabrication of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes,” 2018 MRS Fall Meeting (Boston, USA, 2018) NM01.07.16.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A03

走査型非線形誘電率顕微法による層構造誘電デバイスの構造評価

［1］組織

研究代表者：小田川　裕之
(熊本高専地域イノベーションセンター)
通研対応教員：長　康雄
(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：2 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	107,000 円

［2］研究経過

本プロジェクト研究では、SNDM を応用して、層状に極性反転した圧電材料やデバイスの構造を非破壊で評価する技術の確立を目指している。今までの研究で、一層だけ極性反転した強誘電体や圧電薄膜の反転層の厚さを定量的に求める手法を確立し、非破壊で測定可能となった。

本研究では、その技術を応用し、デバイス内部の層状構造の深さプロファイルを測定する方法を確立することを目的としている。昨年度は反転層が 2 層ある構造についてシミュレーションと実験を行った。特に、深さプロファイルを求めるために、金をコーティングしたシリコンゴムを探針として用い、探針を試料に押し付けながら測定することで等価的に探針半径を変え、試料内の電界分布を連続的に変化させることで内部構造の情報を含んだ測定信号を得ることを試みた。しかし、探針を押し付けるにつれて、探針先端の形状が球からずれてきているため、シミュレーション結果と実験結果に違いが生じる問題点があった。そこで本年度は、有限要素法により探針を押し付けたときの電界分布求め、シミュレーションによる検討を行った。

また、強力超音波の発生に用いられる圧電素子では、動作中の分極ドメインの動きが特性に影響することが指摘されているため、動作中のデバイスのドメインの動きを測定する装置の試作と実験を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

まず第１に、有限要素法でシリコンゴムの探針を試料に押し込んだときの押し込み距離と探針の形の変化を求め、そのときの試料内部の電界分布を求めた。その電界分布を用い、2 層の反転層がある場合の SNDM 信号を求めたところ、押し込み距離を大きくするにつれて、試料表面から内部に入った部分の構造に起因する信号を得られることを確認した。

次に、試料に外部から強い電界を印加したときの分極構造の変化を測定するための装置を試作し、試料に正弦波電界を印加しながら SNDM の測定を行い、各位相での分極分布を測定し、ドメインの動きを動画として見られるようにした。本装置で MPB 付近の圧電体を測定したところ、電界の印加とともに分極ドメインの領域が変化している様子を測定することができた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

圧電デバイスやその材料の極性分布や、動作中の分極ドメインの動きを知りたいという要望は潜在的にあるので、本手法が確立すれば多くの場面で役立つ技術になると期待される。

［4］成果資料

(1) H. Odagawa, Y. Tanaka and Y. Cho, "Measurement of Polarization-Inverted Structure in Layered Piezoelectric Material Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy [Invited]", International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators Abstract (IWPMA2018), (September 12-14, 2018, Kobe, Japan).

(2) H. Odagawa, Y. Tanaka and Y. Cho, "Nondestructive Measurements of Double-Layered Piezoelectric Polarity-Inverted Structure Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", European Conference on Applications of Polar Dielectrics Abstract (ECAPD2018), (July 25-28, 2018, Moscow, Russia).

採択回数	1	(2)	3

(先端・萌芽)

採択番号：H29/A04

超高感度核スピン計測で探る スピントロニクス材料のナノ物性

［1］組織

研究代表者：
佐々木　進（新潟大学工学部）
通研対応教員：
深見　俊輔（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
松倉　文礼（東北大学材料科学高等研究所）
Justin Lliandro（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：７人

研究費：

物件費	11,000 円
旅費	137,000 円

［2］研究経過

スピントロニクスの研究は，近年ますますその重要性を増している。そのなかでもとりわけ核スピンが本質的な原因となる新規な現象も数多く見出されている。本プロジェクトでは，代表者が独自に構築してきた核スピン検出装置の超高感度性を最大限に活かし，スピントロニクス材料のナノ物性を解明することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは,昨年度から開始された。以下,研究活動状況の概要を記す。

昨年度は，バルクの半導体材料中のドーピングの位置を特定することを明らかにした。これはいわば静的な情報であるがを，今年度は動的な情報，具体的には最近関心が持たれている核スピンが感じる位相ゆらぎについて知見を得た。

以下，研究活動状況の概要を記す。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

バルク GaAs 基板における As-NMR に対し，適切な「量子パルス」を照射することで，As 核スピンが感じる位相揺らぎの低周波スペクトルを正確に得ることができた。具体的には,

[1]量子パルスを照射して得られる位相ゆらぎスペクトルは，スピン・エコーの減衰における，長時間極限の傾きで定義すべきである。これは理論的にも正当性が示されている（Yuge, Sasaki, Hirayama; PRL2011.）だけでなく，実験的にも測定上の artifact の影響がないことが，パルス NMR 実験では周知の事実であることによる。

[2] スピン系の位相ゆらぎスペクトルを得る報告は複数あり，その周波数依存性のベキにはばらつきがある。これは，スピン・エコーの減衰における，長時間極限の傾きを用いずに,「初期勾配」を用いて定義していることが，我々の一連の実験で示された。位相緩和時間は，核スピンにおいてもっとも長いことゆえ長時間極限を採ることが可能なのであるが，初期勾配では artifact の影響が大きい,という事実が他のスピン系では認識されていないと推察される。

[3]スピン・エコー減衰の長時間極限をもって，その量子パルスの間隔でのスペクトル強度とするだけでは。得られり位相ゆらぎスペクトルのベキに，なおバラツキが生じてしまうことも明らかになった。そして，これを解決する概念として,「ゼロ周波数での位相ゆらぎスペクトル強度が実験的に求められる」ことに着想した。具体的には，Hahn Echo で得られる T2 が，それである。ただし，これまで多くの NMR 実験で定義されてきたように，初期減衰をガウス関数でフィットする，という方法は，原理的に正しくない。以前，我々が理論的に明らかにしたとおり（Yuge, Sasaki, Hirayama; PRL2011.），ここでもやはり長時間極限での傾きで定義すべきものである。

[4]以上の点に留意した結果, GaAs 基板中の As 核スピンが感じる位相ゆらぎスペクトルは，２桁以上にわたってローレンツ関数であることがわかった。このことは,「位相ゆらぎの源が単一である」ことを示す。これは世界で初めての知見である。

[5]さらに，ローレンツ関数の特徴的な周波数（周波数に依存しないゼロ周波数近傍から，周波数の逆２

乗に比例する領域に移行する周波数）の大きさが，最隣接の同種核スピン(＝As 核スピン)の flip-flop によるもの，すなわち最隣接の核スピンの双極子モーメントが作る磁場のゆらぎ，に起因することがわかった。これはも世界で初めての知見である。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

[1] 本研究での知見は，これまでに報告されていて当然かと代表者は考えていたが，調べた限り，関係者に尋ねた限りでは，「これまで報告がない」とのことである。

[2] 今回は，undoped の GaAs 基板であったが，doping 依存性でベキがどのように変わるか，に展開する。さらに，昨年度の成果によって，我々の測定技術が GaN 自立基板に展開できることが着目され，名古屋大学の天野浩　教授，白石　賢二教授との共同研究が進展している。

[3] 我々の測定技術のさらなる展開として，
大型プロジェクトに採択された。

プロジェクト名：多彩な解析情報を得る機能的 NMR の生組織への展開と生体の所望部位を可視化する MRI の開発
資金制度：先端計測分析技術・機器開発　要素技術タイプ
配分期間名：日本医療研究開発機構 AMED
配分期間：2018 年 8 月～2021 年 3 月

［4］成果資料
外国特許 PCT 公開のための JST 支援審査の採択
2018 年 12 月 26 日
「磁気共鳴診断装置，方法，およびプログラム」

採択回数	1	2	3

(若手)

採択番号：H29/A05

原子層物質を用いた高性能光電子集積デバイスの開発

［1］組織

研究代表者

加藤 俊顕

（東北大学 大学院工学研究科）

通研対応教員

山末 耕平（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者

澁田 靖（東京大学 大学院工学研究科）

大野 宗一（北海道大学 大学院工学研究院）

小鍋 哲（東京理科大学 総合研究院）

宮内 雄平(京都大学 エネルギー理工学研究所)

延べ参加人数：70 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	140,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

原子オーダーの厚みを有する原子層物質は，優れた基礎物性を示すことから世界中で活発な研究が展開されている．特に，半導体的性質を有する原子層物質に関する研究・開発は，近年ますますその重要性を増している．本プロジェクトでは，これら原子オーダーの厚みをもつ半導体物質に関して，構造制御合成と新たな光電子デバイス応用を目的として研究を行った．

研究三ヶ年計画の二年目にあたる本年度は，一次元原子層半導体物質であるグラフェンナノリボンの光電子デバイス開発に特化して研究を展開した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

（研究討論会等開催状況）

日時：平成 31 年 1 月 21-22 日

場所：東北大学　大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 南講義棟 103 講義室

1. 「半導体微細構造中局所電子状態の観測と制御」大塚 朋廣（東北大学　電気通信研究所）
2. 「金属水素化物薄膜のエピタキシャル成長と物性制御」清水 亮太（東京工業大学　物質理工学院）
3. 「二次元シートやリボンの熱物性計測」李 秦宜（九州大学　大学院工学研究院）
4. 「原子層2次元シートを利用した透明太陽電池の形成」山口 慶樹（東北大学　大学院工学研究科）
5. 「Enhancement of Vitality and Activity of A Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) by Atmospheric Pressure Non-Thermal Plasma」Sang-Hye Ji (Plasma Technology Research Center, NFRI, Korea)
6. 「Optimum control of cellular homeostasis in photosynthetic organism, cyanobactria and plant cells」Nobuyuki Uozumi (Tohoku University)
7. 「ROS-Mediated Regulation of Development, Reproduction and Stress Responses in Plants: Towards the Control of Growth and Quality of Crops by Plasma Technology」Kazuyuki Kuchitsu (Tokyo University of Science)
8. 「Investigation on Plant Response Marker to Plasma Effluent Gas Exposure」Keisuke Takashima (Tohoku University)
9. 「シャックハルトマンセンサを用いた放電プラズマ内部の 2 次元電子密度分布測定」 稲田 優貴（埼玉大学　大学院理工学研究科）
10. 「プラズマ・液体相互作用の観察」佐々木 浩一 （北海道大学　大学院工学研究院）
11. 「異相界面と温度に着目した大気圧プラズマの分光計測研究」占部 継一郎（京都大学　大学院工学研究科）
12. 「プラズマによる液中活性種の生成」石川 健治（名古屋大学　プラズマナノ工学研究センター）

13. 「プラズマ照射緩衝液を用いた培養細胞に対する短寿命活性種の持続供給」佐々木 渉太（東北大学　大学院工学研究科）

本研究会では学内外を含め延べ７０名以上の参加者があり，講演は「２次元半導体薄膜の構造制御合成と光電子デバイス応用」と「プラズマ医療・バイオ応用」を主テーマに，プラズマとその応用，ナノカーボンの合成・制御と応用，バイオ応用プラズマプロセス，医療応用プラズマプロセス等の立場から，専門分野を越えて活発な議論がなされた．

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，原子オーダーの厚みを有する 1 次元薄膜物質であるグラフェンナノリボン（GNR）を対象として，光電子デバイス応用を目指した研究を行い，以下に示す研究成果を得た．

I. GNR の特異な光電流応答の観測

原子層物質を活用した光電子デバイスを開発するために，まずは１次元原子層物質である GNR をに対して光電流応答の基礎特性を測定した．GNR の合成は既に我々が独自に開発した Ni ナノバーを触媒としたプラズマ CVD により行った．合成した GNR の両端に電圧を印加し電流を計測した状態で光照射を行った結果，光照射によって電流が著しく減少することが判明した．また，光照射を停止すると速やかに電流値は光照射前の値に戻る光応答を示した（図 1 黒線）．この様な変化は光照射により GNR が加熱され一時的に抵抗値が増加したことによる一般的なボロメトリック応答として理解できる．これに対して，大気中に長時間放置した GNR デバイスや酸素プラズマ照射を施した GNR に対して同様の測定を行ったところ，合成直後の GNR デバイスと比較して大きな違いが現れた．光照射後電流値が減少することは同じであったが，光照射を停止した後も電流値が初期値から大きく低下した値で保持されることが判明した（図１紫線）．このような状態は72ｈ以上経過しても安定に保持されることが分かった．この様に光照射後もその変調された電流状態が維持する現象は，パーシステント光伝導（PPC）として知られており，GNR でこの PPC 現象が確認されたのは本研究が初めてのものである．PPC は光により電流情報を変調し，その情報が長時間保持できることから不揮発性メモリとしての応用が期待できる．さらにこの GNR における PPC 特性は，真空中はもちろん，大気中あるいは水中でも安定に発現することが確認され，GNR が耐環境性に非常に優れたフレキシブル不揮発性メモリ開発に極めて有望な材料であることが判明した．

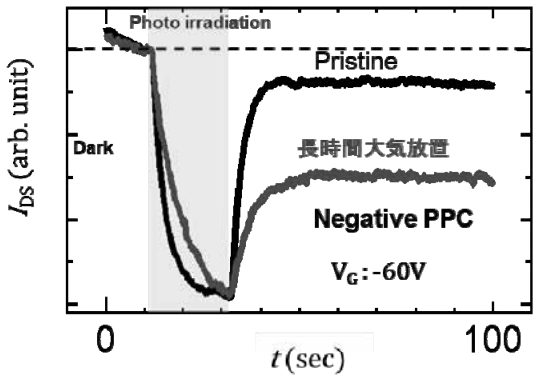


図 1．合成直後の GNR デバイス（黒線）と大気中で長時間放置した GNR デバイス（紫線）の光応答 I_{DS} 特性．

II. GNR を活用した不揮発性メモリ開発

前述の通り，酸素プラズマにより表面修飾した GNR において特異な光電流応答である PPC が発現することが明かとなった．そこでこの GNR 中の PPC を活用した不揮発性メモリの開発を試みた．不揮発性メモリとして動作させるには，“書き込み”，“読み出し”，“消去”という三つの基本動作を実現する必要がある．この中の“書き込み”は光照射で，“読み出し”は電流値の計測でそれぞれ実現できるため，もう一つの必須要素である“消去”の動作実証を試みた．その結果，GNR の下部に設置したゲー

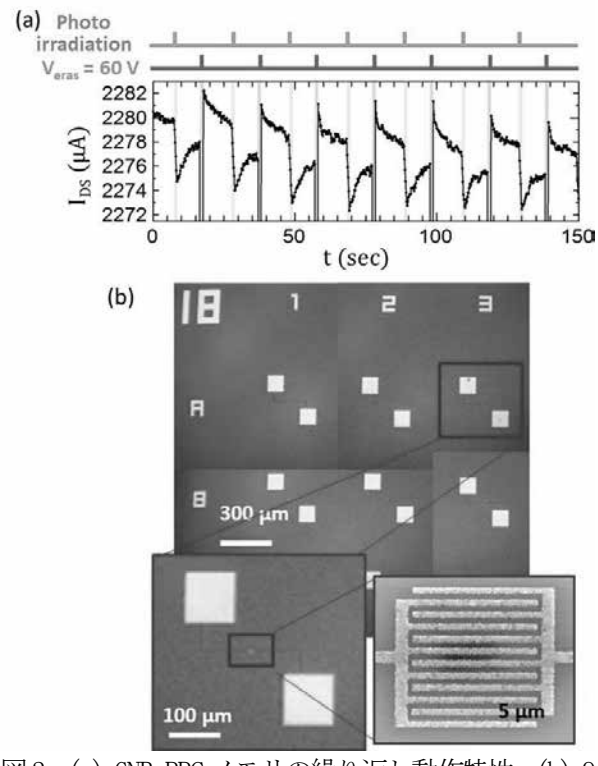


図 2．(a) GNR-PPC メモリの繰り返し動作特性．(b) 9 つのセルに集積化合成した GNR-PPC メモリの光学写真と１つのセルの拡大部の SEM 像．各セルに 440 本の GNR が含まれる．

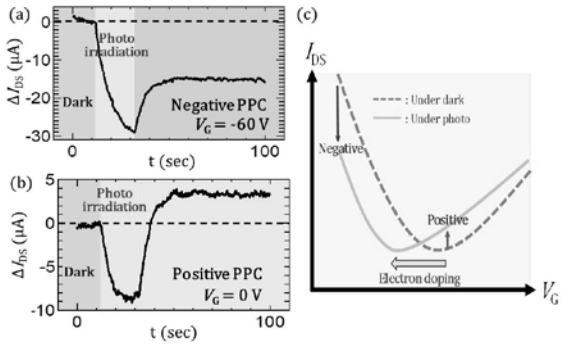


図 3. (a, b) 異なる V_G 電圧 ((a) V_G = −60 V, (b) V_G = 0 V) 下で測定された GNR の典型的な ΔI_{DS}-t プロファイル. (c) 光照射により誘発される I_{DS} − V_G 曲線変化の模式図.

ト電極にパルス的に高電圧を印加することで，光照射により変調した電流値がもとの光照射前に戻ること，つまり“消去”動作が可能であることが明かとなった(図 2(a))．さらに，この三つの基本動作を繰り返し行った結果，“書き込み”，“読み出し”，“消去”動作がいずれも繰り返し安定に動作可能であることを確認し，不揮発性メモリとしての動作実証に成功した(図 2(a))．また，本手法の最大の利点である GNR の集積化を活用することで，約 4000 本の GNR を集積化した GNR−PPC 不揮発性メモリの開発に成功した(図 2(b))．

さらなる動作性能の向上を目指し，動作原理の解明にも試みた．光照射による書き込み動作を異なる V_G 電圧下で行ったところ，V_G = −60 V の時には負の PPC が(図 3(a))，一方 V_G = 0 V の時には正の PPC (図 3(b)) が現れることが判明した．この PPC 極性が V_G の値により反転する現象は，光照射により GNR の電荷中性点となる V_G の値が負方向にシフトしたと解釈することで説明できる(図 3(c))．この様な光照射により V_G 電圧のシフトが生じる現象は，フォトゲーティング効果として知られている．フォトゲーティング効果が生じるには，光照射により GNR 近傍にキャリアがトラップされる必要がある．そこで，GNR と直接接触している唯一の材料である Ni 電極表面の効果を検証した．その結果，酸素プラズマ照射により Ni 表面がナノスケールの凹凸を持つ構造へと変化することが判明し(図 4(a-d))，さらに光電子分光(XPS)スペクトルより，Ni 表面に形成された物質が水酸化 Ni ($Ni(OH)_2$) であることが判明した(図 4(e, f))．また様々な電極種と GNR 接合構造に対して系統的に同様の実験を進めた結果，この様な PPC は酸素プラズマを照射した GNR/Ni デバイスにおいてのみ発現することが確認された．つまり，PPC の発現は GNR/Ni 界面に形成されたキャリアトラップサイトにより誘発されている可能性が高いことが

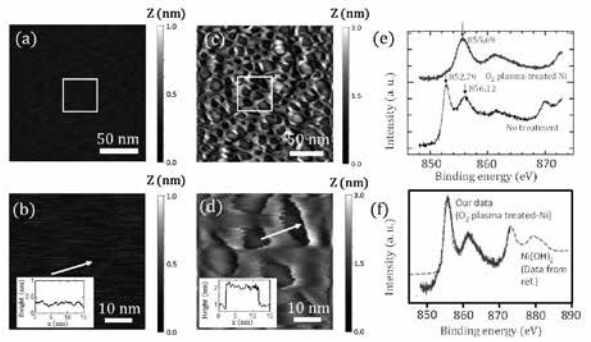


図 4. (a-d) 酸素プラズマ照射(a, b)前(c, d)後の Ni 薄膜表面の(a, c)低倍率と(b, d)高倍率の AFM 像. (e) 酸素プラズマ照射前後の Ni 薄膜の XPS スペクトル. (f) 酸素プラズマ照射後の Ni 薄膜と $Ni(OH)_2$ の XPS スペクトルの比較.

判明した.

(特別支援（若手）にかかる研究成果)
・タイプ：若手研究者対象型
特別支援分の研究費によりナノ材料科学とプラズマプロセス関連で活躍する研究者を集めた研究会を開催した．特にプラズマ材料プロセスを用いた最先端応用に関する意見交換を通じ，GNR の光電子デバイス応用に関する重要な知見を得た.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本研究では，大気中はもちろん，水中でも安定動作が可能な耐環境性に優れた GNR−PPC 不揮発性メモリの開発に成功した．本デバイスを活用することで，フレキシブル不揮発性メモリデバイスの実現が大きく期待できる．さらに光を照射した領域のみの情報が変化するという特性を利用することで，ナノスケールスキャナーや生体センサー等への幅広い応用も期待できる.

［4］成果資料
(1) Highly stable persistent photoconductivity with suspended graphene nanoribbons, H. Suzuki, N. Ogura, T. Kaneko, T. Kato, Scientific Reports **8**, 11819-1-9 (2018).
(2) Improvement in growth yield of single-walled carbon nanotubes with narrow chirality distribution by pulse plasma CVD, Bin Xu, Toshiro Kaneko, and Toshiaki Kato, Frontiers of Chemical Science and Engineering, accepted.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：H29/A07

単結晶グラフェンのデバイス化の研究

［1］組織

研究代表者

永瀬　雅夫

(徳島大学大学院社会産業理工学研究部)

通研対応教員

尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所)

研究分担者

大野　恭秀

(徳島大学大学院社会産業理工学研究部)

延べ参加人数：３人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	210,000 円

［2］研究経過

新規炭素ナノ材料であるグラフェンの研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、大面積単結晶グラフェン基板を活用して各種のデバイス開発を行うことを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第２年度であった。これまでに徳島大学では大面積単結晶グラフェン作製技術を確立しており、その利点を活かすデバイス化に関する研究を行っている。本年度は、グラフェン－グラフェン積層接合デバイスの特性評価を中心に各種の検討をおこなった。

以下、研究活動状況の概要を記す。

グラフェンの接合デバイスは通常は、剥離転写したグラフェン小片を用いて作製するが、我々は、SiC基板上に熱昇華法を用いて作製した２枚の単結晶グラフェン基板を出発物質とする。１枚のグラフェン試料を純水処理を行い、表面にトンネル絶縁膜として機能する構造水層を形成する。構造水層を表面に形成した試料ともう一枚の試料を直接接合することにより極薄絶縁膜を介したグラフェン-グラフェン接合を形成することが出来る。これまでに、平坦なグラフェン試料作製条件、構造水層形成条件等のプロセスに関する検討は終了しているため、今年度は接合デバイスの特性の計測、及び、その解析を行った。

この間、東北大通研を訪問し打合せ及び、今後の研究展開に向けて研究設備の見学を行った（２回 x ２名)。

来年度は、試作した接合ダイオードのテラヘルツ放射特性を東北大通研にて計測する予定である。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

構造水層をトンネル絶縁膜とするグラフェン積層デバイスの電気特性の計測を行った。図１に接合の電気特性を示す。電流-電圧特性(図１(a))から判るように強い非線形特性を示す。図１(b)から On/Off 比は6桁程度と高くトンネルデバイスとして優れた特性を有する。図1(c)の dI/dV 特性には0V 周辺で

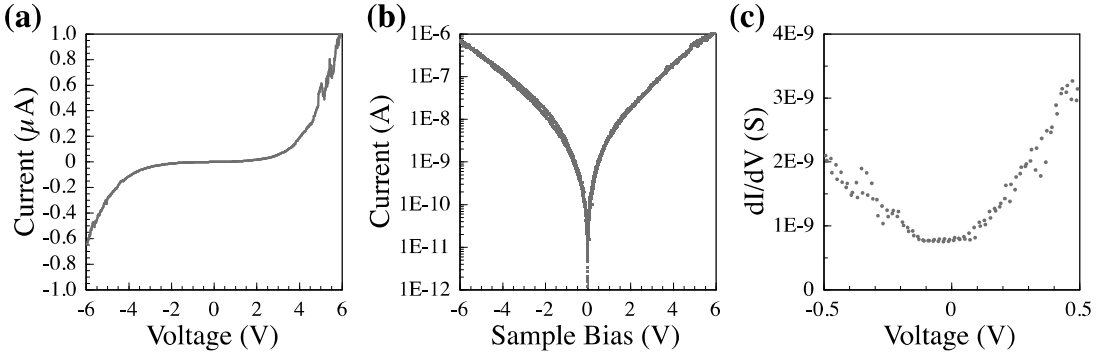


図１　グラフェン積層接合特性　(a)電流-電圧特性、(b) 電流-電圧特性(対数表示)、(c)dI/dV 特性

コンダクタンスが一定となる領域が見られる。これはこの領域では直接トンネリングが起こっていることを示唆している。すなわち、トンネル絶縁膜として用いた構造水層が十分に薄いことを表している。高電界領域(3V 以上)では指数関数的に電流が増加している。この領域のFowler-Nordheim (F-N) プロットに明瞭な負の傾きを持つ直線領域が、正バイアス、負バイアス共に現れることからF-Nトンネルが起こっていることが判る。F-N プロットの解析を行った結果、実効的な絶縁膜厚さは約0.3 nmであり、僅かに見られる正負バイアスの非対称性は２枚のグラフェン試料の仕事関数差に起因することが判った。また、本デバイス特性の再現性は高く、また、絶縁耐圧も高い。現状の最大出力はμW オーダーであるが、接合面積を増大させることにより大きな出力のデバイスが実現できると思われる。

デバイスの放射特性の取得の予備的な検討として、絶縁膜を介さないグラフェン-グラフェン直接接合の赤外線放射特性の取得を行った。図2(a)にデバイスの概略図を示す。２枚の1cm 角のSiC 上グラフェンを45 度互いに回転させて接合する。試料の僅かな反りの影響で試料中心部のみがコンタクトする状況になる。アクリル樹脂製の治具に試料を固定して、コンタクトピンを用いて試料にコンタクトを取る。電源から電流を注入し四端子法で接合部の電位差を測定することにより接合特性が判る。このデバイスは完全なオーミック特性を示した。電流を注入しながら非冷却MEMS ボロメータ (10μm 帯) サーモグラフィ (FLIR ETS320) を用いて温度分布計測を行った (図 2(b), (c))。接合部の温度が周囲よりも僅かに高いことが判る。グラフェンは熱伝導率が高いため、接合部で発生した熱は速やかに拡散していると思われる。このデバイスはコンタクトピンを用いて電気的な接続をしているため、電極を介した熱伝導量が小さく、黒体輻射源としては高い効率(10%以上)を有していることが判った。また、前述のトンネルデバイスに比べると接合抵抗が低く(10kΩ 以下)、投入出来る電力が桁違いに大きく1mW 級のデバイスが容易に実現できる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで実現する新規構造のグラフェン積層接合デバイスはテラヘルツ領域の発光デバイスとして動作する可能性がある。今後、東北大学通研にて本素子の放射特性を計測する予定である。テラヘルツ発光特性を計測できれば、新たなタイプのテラヘルツ素子を実現することとなる。大面積化により高出力なテラヘルツLED が実現できれば、その波及効果は大きく、新しい研究領域の開拓につながる。

［４］成果資料

(1)査読付き学術論文

[1] J. Du, Y. Kimura, M. Tahara, K. Matsui, H. Teratani, Y. Ohno and M. Nagase: Vertically stacked graphene tunnel junction with structured water barrier, Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019) to be published.

(2)国際会議発表

[1] J. Du, Y. Kimura, M. Tahara, K. Matsui, H. Teratani, Y. Ohno and M. Nagase: Vertically stacked graphene tunnel junction with structured water barrier, MNC2018, 16P-11-27, 2018.11.16 (Sapporo, Japan)

(3)国内講演会発表

[1] 永瀬 雅夫, 大野 恭秀 : 単結晶グラフェン積層接合デバイス, LED 総合フォーラム 2019in 徳島, P-14, 2019.2.23 (徳島)

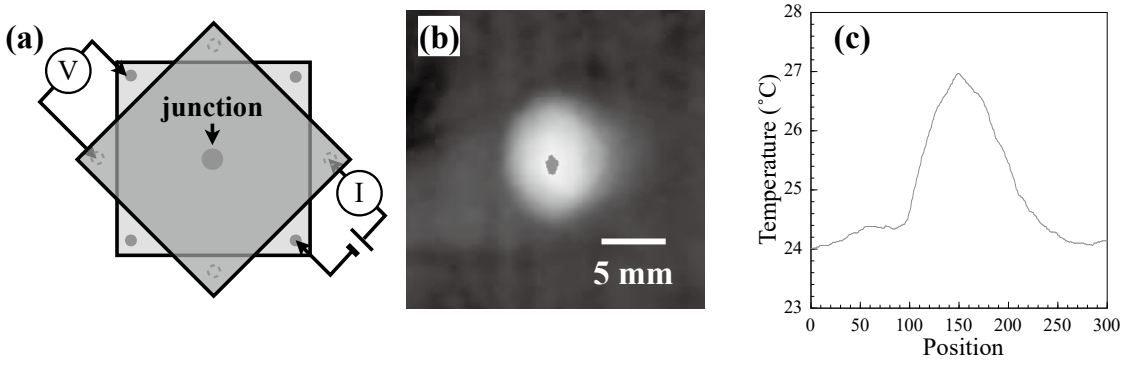


図２　(a)グラフェン-グラフェン直接接合概略図　(b)赤外線像、(c) 温度プロファイル

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端・萌芽・国際)

採択番号：H29/A08

新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究

［1］組織

研究代表者

櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

室田　淳一
（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）
上原　洋一　（東北大学電気通信研究所）
末光　眞希　（東北大学電気通信研究所）
鷲尾　勝由　（東北大学大学院工学研究科）
川島　知之　（東北大学大学院工学研究科）
財満　鎭明　（名古屋大学大学院工学研究科）
中塚　　理　（名古屋大学大学院工学研究科）
宮崎　誠一　（名古屋大学大学院工学研究科）
高木　信一　（東京大学大学院工学研究科）
鳥海　　明　（東京大学大学院工学研究科）
奥村　次徳　（首都大学東京理工学系）
伊藤　利道　（大阪大学大学院工学研究科）
酒井　　朗　（大阪大学大学院基礎工学研究科）
野崎　眞次　（電気通信大学電子工学科）
田部　道晴　（静岡大学電子工学研究所）
堀口　誠二
（秋田大学大学院工学資源学研究科）
佐道　泰造
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
須田　良幸
（東京農工大学総合メディアセンター）
中川　清和　（山梨大学医学工学総合研究部）
塩島　謙次　（福井大学大学院工学研究科）
阿部　孝夫　（信越半導体（株））
国井　泰夫　（日立国際電気（株））
水島　一郎
（(株）東芝セミコンダクター&ストレージ社）
Bernd Tillack　（ドイツ・IHP）
Matty Caymax　（ベルギー・IMEC）
James Sturm　（米国・プリンストン大学）
Eugene Fitzgerald
（米国・マサチューセッツ工科大学）
Joerg Schulze
（ドイツ・シュトゥットガルト大学）
Vinh Le Thanh （フランス・マルセイユ大学）
Stefano Chiussi（スペイン・ビゴ大学）
Roger Loo　（ベルギー・IMEC）
Dan Buca
（ドイツ・ユーリッヒ研究センター）
Detlev Grützmacher
（ドイツ・ユーリッヒ研究センター）

延べ参加人数：34 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	301,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

［目的］Si ベース IV 族半導体を用いた大規模集積回路を高性能化・新機能化するために、高 Ge 比率 Si-Ge 混晶や Ge をベースとした新 IV 族半導体材料を用いたナノ構造形成・ドーピング制御並びにデバイス製作技術の開発が進められつつある。その中で、ナノメートルオーダでの界面急峻性や局所的不純物濃度の評価・分析やその精密制御が重要な研究課題として残されている。本研究では、これまでの化学気相成長法（CVD）による Si-Ge 系原子層積層の研究成果を基盤として、新 IV 族半導体ナノ構造における異種原子の偏析・拡散現象を系統的に明らかにするとともに、新 IV 族半導体ナノ構造形成の精密制御の実現を目標とする。そして、異種原子層配列制御の観点から、新 IV 族半導体デバイスプロセスの技術基盤構築を目指すものである。

［概要］本研究代表者らは、これまで構築してきた Si-Ge 系 IV 族半導体の原子層積層 CVD 技術により、異種原子層配列制御や IV 族半導体中のキャリアの高移動度化と高濃度化の可能性を示してきた。その中で、既存の方法では困難であったナノメートルオーダでの界面急峻性や局所的不純物濃度を推定するための評価・分析方法を模索し、その精密制御の必要性を示唆する結果を得てきた。本プロジェクトは本年度が第 2 年度であり、研究代表者らのこれまでの研究成果を基盤として、実用性の極めて高い CVD による新 IV 族半導体ナノ構造形成の実験と評価・分析を通して、異種原子の偏析・拡散現象を系統的に明らかにする研究を展開した。

［研究集会等の開催状況］本研究プロジェクトが中心となり、以下の４つの国際会議・国際ワークショップを開催した。

- SiGe テクノロジー＆デバイス国際会議＆Si エピタキシー＆ヘテロ構造国際会議 (1st Joint Conf. of 9th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) and 11th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI), Potsdam, Germany, May 27-31, 2018, 副組織委員長＆プログラム委員：室田淳一, https://www.istdm-icsi-2018.com/)
- SiGe, Ge 及び関連化合物：材料・プロセス・デバイス国際会議 (Symp. G03: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 8, AiMES 2018, ECS and SMEQ Joint International Meeting, Cancun, Mexico, Sep. 30-Oct. 4, 2018, ジェネラル委員＆シンポジウムオーガナイザー：室田淳一, エピタキシー部門委員：櫻庭政夫, http://www.sigesymposium.org/ECS_SiGe/)
- IEEE 固体集積回路技術国際会議 (14th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), Qingdao, China, Oct. 31-Nov. 3, 2018, プログラム委員：室田淳一, http://www.icsict.com/)
- 新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ (12th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Dec. 6-7, 2018, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一, http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/EI4GroupIV-WS2018Dec/)

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、熱 CVD による Si や Ge 、SiGe 混晶のエピタキシャル成長中の In-Situ ドーピングにおいて、成長途中に不純物原料ガス供給停止した場合の不純物濃度分布の変化などについて実験を行い、不純物が取りこまれる現象と偏析現象との間の関係について研究を進めた結果、以下に示す研究成果を得た。

まず第１に、P ドーピングの実験において、P 原子が Si や Ge の成長表面に偏析し、そのうちの一部が Si や Ge キャップ層中に取り込まれることを確認した。また、P の表面偏析は、Si 成長中に比べて Ge 成長中の方が起こりやすく、これは P が取りこまれる時の反応速度定数が、Ge 成長時に比べて Si 成長時の方が大きいことを見いだした。さらに、X 線光電子分光装置への試料搬送中に表面偏析した P 原子が脱離する現象についても調べ、成長直後の表面 P 原子密度を推定できるようにした。

第２に、B ドーピングの実験において、B 原子のほとんどは Si や Ge キャップ層中に取り込まれ、Si や Ge の成長表面に偏析することはほとんどないことを明らかにした。また、成長直後の表面 B 原子密度は検出限界以下であることを確認した。

第３に、上記の実験結果から、不純物の取りこまれる現象と偏析現象との間の関係を定式化するとともに実験データとのフィッティングを試みた。特に、SiH_4、GeH_4、B_2H_6 の各分子が、B_2H_6 分子がすでに反応したサイト上においても吸着・反応するような機構を追加することにより、高濃度 B ドーピング時の実験結果を定量的に説明できようになることを確認した。

以上のように、不純物が取りこまれる現象と偏析現象との間の関係を定量的に表現する手法を構築した。成長中の偏析現象を直接的に観測することは困難であることから、本成果は、Si 集積回路の高性能化に不可欠となる Si や Ge のエピタキシャル成長層中の原子レベルで急峻なドーピングプロファイルを実現する上で極めて有用である。

以上の成果は、外部研究機関分担者との共同研究成果を含めて国際会議論文及び学術誌論文（合計 2 件）として発表した。

本研究プロジェクトは国際共同研究推進型であり、国際共同研究への発展を促進することを目的としていることから、仙台で開催した国際ワークショップへの海外共同研究者（ドイツ

2名、フランス1名）の招聘旅費の一部として特別支援費を使用した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化することを念頭に置いて進められており、前述のような先端的・萌芽的な研究成果を得てきているものである。今後も本分野の研究推進により 新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御の学問分野が大きく発展すると期待されていることから、平成 31 年度以降には以下のリストに示すような関連国際会議・国際ワークショップの開催が決定・計画されている。

- SiGe テクノロジー＆デバイス国際会議と Si エピタキシー＆ヘテロ構造国際会議の合同会議 (2nd Joint Conf. of 10th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) & 12th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI), Univ. Wisconsin-Madison, WI, USA, Jun. 3-6, 2019, 国際諮問委員：室田淳一, https://www.istdm-icsi-2019.com/)
- 半導体プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. G03: Semiconductor Process Integration 11, 236th Meeting of the Electrochem. Atlanta, GA, USA, Soc., Oct. 13-17, 2019, シンポジウムオーガナイザー：室田淳一, https://www.electrochem.org/236/)
- 半導体界面制御国際会議＆新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ (8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) & 13th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, RIEC, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 27-30, 2019, International Advisory Committee : 室田淳一, Local Arrangement Committee：櫻庭政夫, http://iscsi8.org/)
- SiGe, Ge と関連化合物の材料・プロセス・デバイスに関する国際会議 (Symp. : SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 9, Pacific Rim Meeting (PRiME 2020) on Electrochem. and Solid-State Sci., Hawaii, USA, Oct. 4-9, 2020, ジェネラル委員＆シンポジウムオーガナイザー：室田淳一, エピタキシー部門委員：櫻庭政夫, http://www.sigesymposium.org/)

これらにより実現される国際交流活動は、新 IV 族半導体ナノ構造における物理現象を踏まえたナノデバイス製作技術、回路・システム化技術の構築と産学独連携体制構築を含む研究活動推進が産業発展のために重要であり、世界規模での研究連携を支えていくものと期待される。

［4］成果資料

(1) J. Murota, Y. Yamamoto, I. Costina, B. Tillack, V. Le Thanh, R. Loo and M. Caymax, “Atomically Controlled Processing for Dopant Segregation in CVD Silicon and Germanium Epitaxial Growth”, ECS J. Solid State Sci. Technol., Vol.7, No.6 (2018) pp.P305-P310.

(2) J. Murota, “Langmuir-Type Mechanism for In-Situ Boron Doping in CVD $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxial Growth” (**Invited Paper**), 14th IEEE Int. Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), Qingdao, China, Oct. 31-Nov. 3, 2018, No.S13-2.

(3) Y. Yamamoto, Y. Itoh, P. Zaumseil, M. A. Schubert, G. Capellini, F. Montalenti, K. Washio and B. Tillack, “Alignment control of self-ordered three dimensional SiGe nanodots”, Semicond. Sci. Technol., Vol.33 (2018) pp. 114014 (7pp).

(4) Y. Yamamoto, P. Zaumseil, M. A. Schubert and B. Tillack, “Influence of annealing conditions on threading dislocation density in Ge deposited on Si by reduced pressure chemical vapor deposition”, Semicond. Sci. Technol., Vol. 33 (2018) pp.124007 (6pp).

(5) Y. Yamamoto, Y. Itoh, P. Zaumseil, M. A. Schubert, G. Capellini, K. Washio and B. Tillack, “Self-Ordered Ge Nanodot Fabrication by Using Reduced Pressure Chemical Vapor Deposition”, ECS J. Solid State Sci. Technol., Vol.8, No.3, (2019) pp.P190-P195.

採択回数	1	2	3

(先端・萌芽)

採択番号：H29/A09

各種 high-k/Ge 構造において 成膜後プロセスがもたらす効果の検討

［1］組織
研究代表者：岡本 浩
(弘前大学大学院理工学研究科)
通研対応教員：佐藤 茂雄
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
室田 淳一 (東北大学マイクロシステム融合研究開発センター)
櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)
小野 俊郎 (弘前大学大学院理工学研究科)
王谷 洋平 (公立諏訪東京理科大学工学部)

延べ参加人数：９人

研究費
物件費 97,000 円
旅費 148,000 円

［2］研究経過

集積度の限界に差しかかっている Si-MOS デバイスにおいて high-k 絶縁膜や立体構造の導入が進んでいるが，さらなる高性能化，低消費電力化を目指して高移動度チャネル層の導入が検討されている。チャネル層の候補としては Si プロセスとの整合性が良く，かつ Si に比べ電子と正孔両方の移動度が大きい Ge が最有力候補の１つであるが，従来の $Si-SiO_2$-MOS 構造に対し，良好な界面や高品質な絶縁膜を得ることが難しいという問題がある。近年，適切な条件下で形成された GeO_2 や GeN_x 中間層を導入することにより最も重要な課題であった MOS(MIS) 構造における界面準位密度（D_{it}）の低減が進んでおり，提案者らのグループも ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ法やリモートプラズマ源による酸素ラジカルを用いた ALD 法（REALD 法）による絶縁膜形成により，低い界面準位密度を有する Ge-MIS 構造を実現している。しかしながらその界面の物理に関しては未だ不明な点が残されている。例えば課題の一つとして成膜後や電極形成後におけるアニールによる特性向上とそのメカニズムの解明が求められている。

本プロジェクトは開始２年目となるが，前回までのプロジェクト研究（H20/A03「ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御」,H23/A03「原子層レベルで制御された Si 並びに Ge-MIS 構造の作製技術とその界面評価技術の開発」，及び H26/A03「プラズマプロセスによる各種 high-k/Ge 構造の作製と界面近傍のトラップの評価」）の成果である，低密度界面準位 Ge-MIS 構造の作製と界面準位密度の高精度な評価手法，界面近傍の絶縁膜中や半導体中に存在するトラップの評価技術を引き継ぐものである。メンバー間の通常の打合せは主として e メールによる紙上会議にて実行し，東北大学電気通信研究所にて成果報告を行った。

今回は前回プロジェクト後半から新たな知見が得られつつある high-k 絶縁膜/Ge 構造について，電極形成後アニールによる特性向上とそのメカニズムの解明に向けた実験及び昨年度の検討における Ge 基板の p 型と n 型による特性差に関する考察の見直しを行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度までのプロジェクト研究において各種の high-k/Ge-MIS 構造を複数のプロセス手法によって形成し，評価を行っている。そのうち以下に酸化物系絶縁膜を用いた Ge-MOS 構造の例を示す。

i) $Al_2O_3/GeO_2/Ge$ 構造
プロセス手法：(ECR プラズマ酸化+ECR スパッタ)[1]，(酸素ラジカル酸化+REALD)[2]

ii) Al_2O_3/Al ジャーマネイト/Ge 構造
プロセス手法：REALD 法による自発形成[3,4]

iii) HfO_2/Hf ジャーマネイト/Ge 構造
プロセス手法：REALD による自発形成[5]

iv) HfO_2/Al ジャーマネイト/Ge 構造
プロセス手法：(REALD による自発形成+REALD)[5]，(ALD+酸素ラジカル照射+ALD)[6]

今回はこのうち，i)の $Al_2O_3/GeO_2/Ge$ 構造において電極形成後アニール（PMA）が成膜後（電極形成前）アニールに比べて顕著な特性改善をもたらす要因を明らかにするための検討，並びに ii)の Al_2O_3/Al ジャーマネイト/Ge 構造において n-Ge 基板上において観察された特異な現象に関する検討を行った。なお，ジャーマネイトとはゲルマニウムと酸素とメタルが結合した絶縁体であり（注：ジャーマナイドとは別物である），このうち Al ジャーマネイト/Ge 構造は第一原理計算によって界面準位フリーとなる可能性が示されている[7]。

まず第１に，i)の $Al_2O_3/GeO_2/Ge$ 構造における PMA の効果を調べるための実験を行った。実験には超高真空中で加熱可能な XPS（X 線光電子分光）装置を用い，アニール前後の Ge の酸化状態を評価した。図１に試料の構造を示す。酸素ラジカル酸化+REALD プロセスによって作製した Al_2O_3(3.2 nm)/GeO_2(1.7 nm)/p-Ge 構造に 0.5 nm の薄い Al 電極を蒸着した試料を作製し，XPS 装置中で超高真空下 500℃のアニール（PMA を模したもの）を行った。ここで Al 電極を 0.5 nm とした理由は電極を通して絶縁膜/Ge 界面の XPS 信号を検出するためである。図２にアニール前後の XPS スペクトルを Ge に関連するスペクトルにピーク分離したものを示す。ここでピーク分離の方針としては Ge3d3/2 と 5/2 の比率を固定し，さらにオキサイド（Ge4+）と各サブオキサイド（Ge1+, Ge2+, Ge3+）のケミカルシフトを固定している。図２に見られる各成分の変化において特徴的なことは，Ge3+ に相当する成分が増大していることである。同様のピーク分離を以前の検討における PDA（N_2+10%H_2 雰囲気中）前後の XPS スペクトルに対して行った結果，PDA 後にはすべてのサブオキサイド成分が減少していた。以上の結果より１つの可能性として，PMA によって Al が絶縁膜/Ge 界面に拡散することによって Ge の酸化状態を変化させたことが考えられるが，この検討には種々の問題点（変化量が小さいこと，蒸着した Al の酸化による影響，PMA と PDA の雰囲気の違い等）があることも明らかになっており，今後の検討を要する。

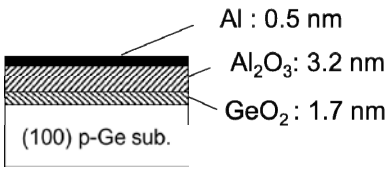


図１．PMA 模擬実験に用いた試料の構造

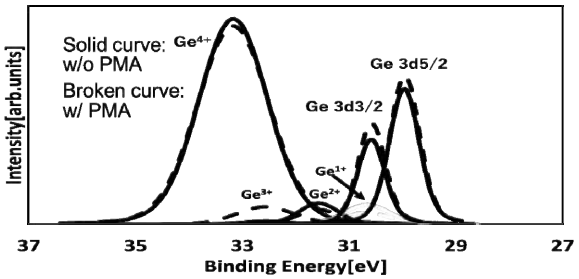


図２．ピーク分離した PMA 前後の Ge 関連 XPS 信号

第２には ii)の Al_2O_3/Al ジャーマネイト/Ge 構造について，前回初めて報告した n 型基板試料における特異な反転電荷の応答特性について再検討を行った。この現象は 180 K という低温下においても反転領域において反転電荷の応答による容量の上昇が見られるというものである。この応答について等価回路解析によって抽出した並列コンダクタンスの温度特性より大まかに活性化エネルギーを見積もった結果，前回は約 0.1 eV という値を報告したが，再検討の結果活性化エネルギーはさらに小さく，0.02～0.03 eV という値となり，ほとんど温度依存性のない現象であるとの結論に至った。いずれにしてもこれらの値はイントリンシックな少数キャリア発生における $E_g/2$ よりも大幅に小さいことから特異な現象と言えるが，今回得た値は前回の仮説モデルについても修正が必要なことを示している。この現象を説明できるモデルとしては p 型の Si-MOS において報告例がある，絶縁膜中の固定電荷によって電極の周囲に反転層が形成されて導電層として働く，というものが挙げられるが，今後定量的な検討が必要である。

[本項の参考文献]

[1] Y. Fukuda, Y. Yazaki, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, and T. Ono, *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 57, No. 1, pp. 282-287 (2010).

[2] Y. Fukuda, D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, and, H. Okamoto, ALD 2016, 0199 (2016)

[3] Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita, Appl. Phys. Lett. 102, 132904 (2013).

[4] Y. Fukuda, D. Yamada, T. Yokohira, K. Yanachi, C. Yamamoto, B. Yoo, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, and H. Okamoto, J. Vac. Sci. Technol. A 34(2), 02D101 (2016).

[5] D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, H. Okamoto, Y. Fukuda, The 6th Int. Symp. Organic and Inorganic Electron. Mat. and

Rel. Nanotechnologies (EM-NANO 2017), PA4-1-2, (Fukui, Japan, 2017).
[6]山田大地, 王谷洋平, 山本千綾, 山中淳二, 佐藤哲也, 岡本浩, 福田幸夫, 応用物理学会 北陸・信越支部 第3回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム,(石川県政記念しいのき迎賓館, 2016)
[7] M. Houssa, G. Pourtois, M. Caymax, M. Meuris, and M. M. Heyns, Appl. Phys. Lett. 92, 242101 (2008).
[8] T. I. Lee, Y. Seo, J. Moon, H. J. Ahn, H-Y. Yu, W. S. Hwang, B. J. Cho, Solid-State Electron. 130, 57 (2017).
[9] S. K. Wang, H-G. Liu, and A. Toriumi, Appl.Phys.Lett.101, 061907(2012).
[10] D. Schnell, A. Bogen, F. J. Himpsel, D. Rieger, Surf. Sci. 172, 455 (1986).
[11] Nicollian & Brews, *"MOS Physics and Technology"*, WILEY INTER-SCIENCE, 140-153.

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトは，多様なプロセス技術による種々のゲートスタック構造による検討が可能であることが強みとなっている。次世代の高性能CMOSデバイスの実現に向け，作成，評価技術，並びにGe界面とその近傍の物理の解明に向けた発展が期待される。

［４］成果資料

今回は前回までの検討で未解明であった課題に取り組んだが，現象が複雑なため明確な結論には至っておらず，成果発表は行っていない。

謝辞
試料作製，機器分析，特性評価にご協力頂くとともに有益なディスカッションを頂いた公立諏訪東京理科大学大学院生の山田大地氏，弘前大学の遠田義晴先生，同大学院生の郡山春人氏，長浜優氏に感謝致します。

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

（国際）

採択番号：H29/A10

Development of graphene based devices for terahertz applications

［1］組織

研究代表者

Prof. MEZIANI Yahya Moubarak（サラマンカ大学応用物理学専攻）

通研対応教員

Prof. OTSUJI Taiichi（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Mr. DELGADO J.A.（サラマンカ大学）

Mr. CLERICO V.（サラマンカ大学）

Assist. Prof. WATANABE T.（東北大学電気通信研究所）

Ms. YADAV D.（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：7 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	273,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

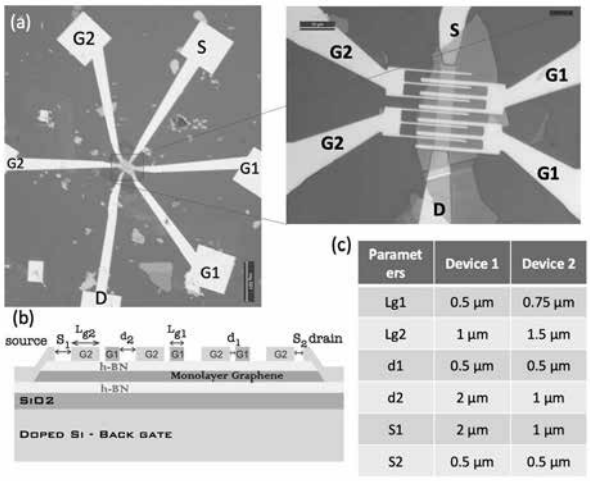
The aim of this project is to continue our investigation by the fabrication of a new generation graphene based devices with dual asymmetric grating gates for detection and /or emission of terahertz radiations. To enhance the mobility of the device, the graphene (Gr) layer was sandwiched between two layer of hexagonal boron Nitride (h-BN). The technique used is based on the hot pick-up method. The fabricated heterostructures (h-bN/Gr/h-bN) were deposited on a doped silicon substrate with SiO2 (Si/SiO2). New graphene based FETs were fabricated in Salamanca and characterized in RIEC toward new generation of terahertz detectors. Y. M. Meziani spent 7 days (17-22/02, 2019) to conduct experiments in RIEC and presented their results in RIEC Nation-Wide Collaborative Research Project Workshop; February 22th in Sendai entitled "**Development of Graphene based devices for Terahertz applications**".

［3］成果

（3－1）研究成果

① Graphene FET

At Salamanca University, we pursue the process of fabrication of new field effect transistors with asymmetric grating gates graphene based (ADGG-GFET). In general, the exfoliated graphene was sandwiched between two h-BN layer. Hot pick-up technique for the construction of the heterostructure (h-BN/Gr/h-BN) and Raman spectroscopy was performed to ensure the presence of the graphene layers as well as the h-BN layers. Asymmetric grating gates was deposited on the top layer of h-BN as shown in Fig. 1. The doped Silicon substrate was used as a back gate. Dirac-point measurements were performed and device 2 shows a mobility of 250 000 cm^2/V.s.



Parameters	Device 1	Device 2
Lg1	0.5 µm	0.75 µm
Lg2	1 µm	1.5 µm
d1	0.5 µm	0.5 µm
d2	2 µm	1 µm
S1	2 µm	1 µm
S2	0.5 µm	0.5 µm

Fig. 1. (a) Microscope photo of the new ADGG-GFETs, (b) Schematic description of the structure, and (c) the geometrical parameters of the fabricated devices.

② THz Detection from ADGG-GFETs

The devices 1 & 2 were subjected to terahertz excitation at 0.15 and 0.3 THz from 4K up to room temperature. The ADGG-GFET FETs were placed inside an optical cryostat and excited with an electronic source of 150 GHz and 300 GHz. The photocurrent was measured using a lock-in technique with a chopping frequency around 298Hz. No DC bias current was applied to the device.

Figure 2 shows the temporal measured photocurrent when the

THz source was manually switched on & off. An intensity of ~2.5 nA was observed at 4K with the device 2. Similar behavior was observed under excitation of 0.15 THz. An enhancement of factor was obtained with the new devices, which is related to a better control of the process resulting in a higher quality graphene heterostructure.

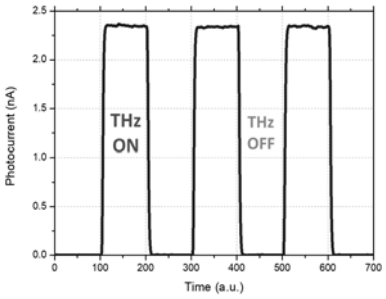


Fig. 2. Measured Photocurrent vs time when the THz source was switched on & off for both devices.

Figure 3 shows the measured photocurrent versus both the top and back gate. It shows the strong dependence of the photocurrent generated with the gate voltage (top and bottom) applied on the ADGG-GFET. Small changes on the gate voltage lead to a drop on the photocurrent generated and vice-versa. By controlling the bias applied to the gates, a clear maximum of the response was observed which indicate an ideal condition for the detection of the incoming THz radiations. Table shows the obtained key parameters in terms of responsivity and Noise Equivalent Power. At room temperature, the device shows a good value of responsivity of around 20 μA/W and a NEP around 90 nW/Hz$^{0.5}$.

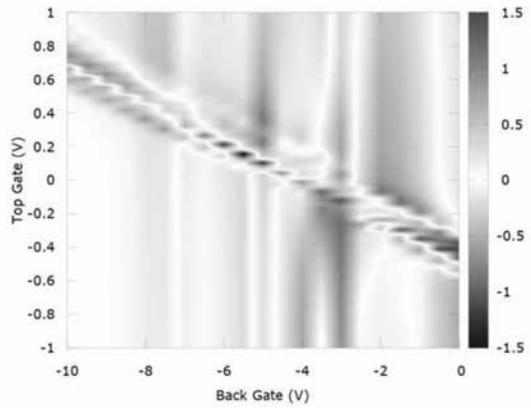


Fig. 3. Density map of the photocurrent generated as function of the top and back-gate voltages at 4.2K and 0.3 THz.

Table 1: Obtained Responsivity and NEP from the device 1.

Responsivity & Noise Equivalent Power (NEP)		
	Resp. μA/W	NEP nW/Hz$^{0.5}$
300 K	20	90
4 K	950	1

③ THz emission from ADGG-GFETs

To investigate the THz emission from the device, a Fourier Transform spectrometer and a highly sensitive Si- Bolometer detector were used. The device was cooled down to 100 K and placed under vacuum inside the FTIR spectrometer. Preliminary results are very encouraging as it can been seen from figure 4. A clear signal was detected by the bolometer with a maximum around 2THz. This is a preliminary results and need to be confirmed by more devices and additional experiments.

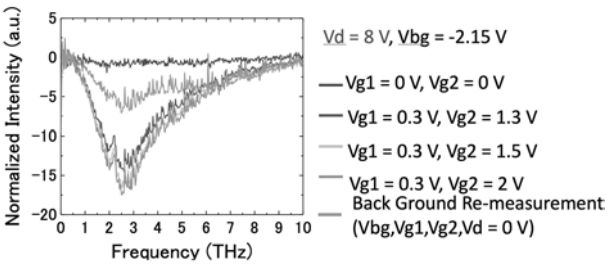


Fig. 4. Detected signal by the Si-Bolometer from the ADGG-GFET.

（特別支援（国際）にかかる研究成果）

Y.M. Meziani, from Salamanca's group stayed 7 days (17-22/02, 2019) at RIEC and performed experiments for graphene FET detectors. This financial support greatly helped accelerate a new field of the research study using a new material of graphene. Thanks to this support a former Ph.D student from Salamanca got the JSPS post-doc fellow ship to integrate the Prof. Otsuji Laboratory from April 2019. A student from RIEC joined our laboratory in Salamanca for a period of one month (03/10/2018 to 06/11/2018)

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The observed results are very encouraging and they showed good responsivities and NEPs. Specially, in case of GFET very exciting results were observed. However, further investigations are needed on other devices first to confirm our present results and second to study the effect of the asymmetry of the ADGG on the photoresponse signal quantitatively. This is the first clear observation of emission of terahertz radiation by this type of devices. More experiments on new devices are needed to convince the scientific community.

［4］成果資料

[1] Ph.D thesis of Juan Delgado Notario from Salamanca University, March 05/2019.

[2] Y.M. Meziani et al. “Asymmetric dual grating gate graphene field effect transistors for detection of terahertz radiations” Invited at he International Conference on Metamaterials and Nanophotonics METANANO2018, 17-21/09/2018, Sochi, Russia

[3] J. A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji, ¨ 0.3 THz detection using an Asymmetric dual grating gate graphene FET ¨ Oral at 4th European Workshop on Epitaxial Graphene and 2D Materials, Salamanca 21-24/05/2018. (http://www.icmm.csic.es/eweg2d-2018/),

[4] J. A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji " Grating-gated graphene-based heterostructures for detection of Terahertz radiation", Graphene 2018, 26-29/06/2018, Dresden, Germany

[5] J. A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji, Terahertz detection by bilayer graphene multifinger field effect transistor, Invited at 7th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE 2018), September 17-21, 2018 Warsaw, Poland

[6] J. A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji, Terahertz detection with Asymmetric dual grating gate bilayer graphene field-effect-transistor, PIERS 2018, 1-04/08/2018, Toyama, Japan.

[7] J.A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. atanabe, D. Yadav and T. Otsuji, Asymmetric dual grating gate graphene FETs for direct detection of Terahertz radiation, ImagineNano2018, The largest European Event in Nanotechnology, March 13-15, Bilbao, Spain

[8] J. A. Delgado-Notario, J. E. Velazquez-Perez, Y. M. Meziani and K. Fobelets, Sub-THz Imaging Using Non-Resonant HEMT Detectors, Sensors 2018, 18, 543

[9] Juan Antonio Delgado-Notario, Vito Clericò, Kristel Fobelets, Jesús Enrique Velázquez-Pérez, Yahya Moubarak Meziani, ¨ Room temperature terahertz detection and imaging by using Strained-Silicon MODFETs¨ Book Chapter, Intech, in press.

採択回数	1	2	3

(若手・国際)

採択番号：H29/A11

Theoretical study of nonequilibrium dynamics of electrons and plasmons in two-dimensional electron systems

［1］組織
研究代表者
Dmitry Svintsov (Laboratory of 2d Materials' Optoelectronics, Moscow Institute of Physics and Technology)
通研対応教員
Akira Satou (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)
研究分担者
Igor Semenikhin (Institute of Physics and Technology, Russian Academy of Science)

延べ参加人数：3 人

研究費：

物件費	50, 000 円
旅費	261, 000 円
国際特別支援費	220, 000 円
若手特別支援費	120, 000 円

［2］研究経過

The project is devoted to the theoretical studies of non-equilibrium phenomena in 2d semiconductors that would enable the creation of novel terahertz detectors and sources. In the main focus of the project, there stand narrow-gap materials enabling interband population inversion and terahertz lasing, and materials supporting long-lived terahertz plasmons.

The aim of the project during 2018-2019 years was the theoretical study of electron-hole population dynamics in prospective narrow-gap materials: graphene, mercury-cadmium telluride quantum wells, Weyl and Dirac semimetals. From one hand, it is known that reduction of band gap leads to aggressive non-radiative Auger recombination in semiconductors. From the other hand, highly symmetric quasi-relativistic electron-hole dispersion in these materials is expected to suppress Auger recombination due to energy-momentum conservation restrictions. The competition of these two factors was at the main focus of the current study. To evaluate realistic non-radiative lifetimes, we have used advanced band structure calculations and modeling of wave function profiles in these materials. We have theoretically revealed the material parameters providing the strongest suppression of Auger process.

This fiscal year, we visited RIEC once for the cooperative research project. The following are the details of our visit:

1. Research Stay (15th, Jan. 2019 – 18th, Jan. 2019)
Dmitry Svintsov stayed RIEC for 4 days for discussions with Akira Satou about the collaborative research topics.

［３］成果

（３－１）研究成果

We have theoretically demonstrated the possibility of strong Auger recombination suppression in Weyl and Dirac semimetals. The resulting non-equilibrium carrier lifetimes at liquid nitrogen temperatures can reach several nanoseconds, which is several orders of magnitude above the lifetimes in gapped parabolic-band semiconductors.

The origin for strong Auger suppression is the combination of symmetric Dirac-like electron-hole dispersion and three-dimensionality of these materials. Symmetric gapless spectrum in Diac materials enforces recombining electrons and holes to move in strictly opposite directions, and the number of such carriers is vanishingly small. However, the Coulomb interactions between collinear carriers are enhanced by the long co-propagation times. The resulting limit of small number of carriers and strong interactions appears to be finite in two-dimensional graphene (if screening is not taken into account) and zero in three-dimensional Dirac and Weyl semimetals.

To evaluate realistic non-equilibrium carrier lifetimes in Dirac and Weyl semimetals, we have incorporated the deviations from perfectly conical gapless dispersion in our calculations. The effects of primary importance are: (i) anisotropy of Dirac/Weyl cones (ii) presence of several cones at the low-symmetry points of the Brillouin zone (iii) tilt of the cones (iv) dissimilar Fermi velocity at the different groups of nodes. We have shown that these spectral deformations still do not open intra-node Auger recombination channels, but do open inter-node channels. The formal expression for Auger rate can be factorized into ‘geometrical’ and ‘statistical’ parts that depend on the shape of the dispersion surfaces and carrier populations respectively.

An important peculiarity of Auger recombination in multi-valley Weyl mayerials is recombination non-reciprocity. Namely, if there exist two valleys with fast and slow Femi velocities, electrons and holes can recombine in ‘slow’ valley by heating electrons in a fast one, but not vice versa. This fact (which we called ‘geometric protection of population inversion’) selectively prolongs the non-equilibrium carrier lifetimes in fast valleys. The band structures favorable for ‘geometric protection’ of population inversion were recently confirmed in ARPES experiment with Weyl semimetal TaAs.

A visit to RIEC indicated in Section 2 was supported both by the International Cooperative Research. During the visit, we had discussions with Research Collaborator of RIEC, Dr. Akira Satou, about some of the above-mentioned results, models, and numerical methods, which were very fruitful for further understanding of the results.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Our results demonstrate the prospective of three-dimensional gapless materials for efficient terahertz lasers. The latter are highly demanded for biological spectroscopy, trace gas sensing and remote identification of dangerous substances.

The idea of Auger recombination suppression has its roots in quantum electrodynamics, where a similar process was analyzed for electron-positron pairs. This demonstrate a deep link between fundamental and applied physics in our project.

The computational codes developed during the project for band structure calculations of two-dimensional quantum wells can prove useful for other applications. Indeed, the band structures and wave function profiles of two-dimensional electrons are required not only for simulation of optoelectronic devices, but for modeling of analog and digital field-effect transistors as well.

［４］成果資料

（１）A. N. Afanasiev, A. A. Greshnov, D. Svintsov “Relativistic suppression of Auger recombination in Weyl semimetals” Physical Review B **99**, 115202 (2019)

（２）G. Alymov, V. Vyurkov, V. Ryzhii, A. Satou, D. Svinstov "Auger recombination in Dirac materials: a tangle of many-body effects", Physical Review B **97**, 205411 (2018)

採択回数	1	(2)	3

(先端・大型)

採択番号：H29/A12

QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究

［1］組織
研究代表者： 小熊 博
(富山高等専門学校)
通研対応教員：亀田 卓
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)
飯塚 昇 (鈴鹿工業高等専門学校)
谷藤 正一 (沖縄工業高等専門学校)
山形 文啓 (釧路工業高等専門学校)
本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)
延べ参加人数：16 人

研究費：物件費 97,000 円
旅費 301,000 円

［2］研究経過

情報通信ネットワークは，今日まで高速・大容量化を中心に研究開発が進められており，近年では5G（第5 世代携帯電話システム）に代表される新しい移動通信ネットワークが整備されつつある．今後は人間同士の情報伝達という従来の枠組みを超え，交通・農業・電力などあらゆる分野において，社会基盤として IoT（Internet of Things）や M2M (machine-to-machine)の利用が進むと想定される．膨大な量のセンサで計測された幅広いデータを解析することで新たなサービスを生み出す，いわゆるビックデータの活用が期待され，無線通信ネットワークも個々のサイズは小さいが膨大な量のパケットがやり取りされる “Massive Connect IoT” へ進展すると考える．Massive Connect IoT ではこれまでの周波数資源の高効率利用 (高速・大容量化) に加え，低機能な端末（センサ）から頻繁にパケットが発生するため，アクセス制御技術の簡素化や高効率化が求められる．

本研究課題では，Massive Connect IoT のための高効率無線通信ネットワークの研究開発を行う．本提案方式は準天頂衛星システム (QZSS) や全地球測位システム (GPS) の測位信号によって得られるナノ秒オーダの時刻情報やメートルオーダの位置情報を基に送信タイミング制御を行うことで高効率な同期通信を実現する．既に終了した文部科学省 IT プログラム (RR2002)「次世代モバイルインターネット端末の開発」, JST CREST タイプ・プロジェクト研究「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」, 総務省・受託研究「災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発」などの成果を活用し，Massive Connect IoT のための高効率無線通信ネットワーク技術の研究開発を行う．

Massive Connect IoT に関する研究議論を，通研を会場に開催した．なお，当日仙台に来訪できない研究者は skype などの遠隔会議システムを用いて参加した．

［3］成果

（3－1）研究成果

今年度は，高精度位置情報を得る方法の１つとして干渉測位に着目した．干渉測位は衛星から送信される信号の搬送波の波数を使用する測位手法であるため，周囲に障害物が存在する場合マルチパスによる位置情報の精度劣化が顕著になる．そのため，干渉測位は SNR マスクと仰角マスクを高く設定し，オープンスカイな環境で使用するのが一般的である．以下に，干渉測位の一つとして RTK (Real Time Kinematic) 測位に着目し，天空率の低い地点においての可用性の検討を行った結果について報告する．

（3－1－1）実験条件

実験は富山高等専門学校射水キャンパスにて障害物に囲まれた環境にて行った．測位地点の天空率は 39.0%である．測定対象は GPS+BeiDou とし，使用機器は SCR-u2C を用いた．QZSS は GPS とコンパチブルな GNSS システムであるため，GPS+BeiDou を評価す

することは発展性が期待できるものである．基準局となる受信機はオープンスカイな環境として天空率95.3%となる地点に設置した．また，基準局から移動局へのデータ転送は双方に携帯端末を用意し携帯回線によるVPN（Virtual Private Network）を構築して行った．マスク設定はSNRマスクが30dB，35dB，40dBの3パターン，仰角マスクは15度，20度，25度の3パターンとし，合計9パターンの条件の下で1時間の測定を行った．

（3－1－2）解析条件

得られたデータについて単位時間当たりの水平方向・鉛直方向における位置捕捉精度を算出し，これらと可視衛星数について1時間分の累積確率分布から中央値を算出した．各条件においてこの中央値を代表値として結果を比較し，天空率 39.0%地点におけるRTK測位の可用性について検討する．

（3－1－3）実験結果

表1に各条件における可視衛星数の中央値を示す．仰角マスクを 15 度，20 度と設定した場合ではSNRマスクが高くなるに従い可視衛星数が減少している．これは高いマスク設定により信号強度の低い信号が除外されているためである．しかし，25度とした場合ではSNRマスクが30dBで6.4基，35dBで6.5基と可視衛星数が増加している．これは今回の実験で測定時間が1時間であったことから衛星配置の変化による誤差である考えられる．一方で，GPSとBeiDouを併用した際の可視衛星の必要最低数である5基であるが，いずれの条件においてもそれを上回っているため，可視衛星数の確保ができていることが分かる．

表2に水平方向における位置捕捉精度の中央値，表3に鉛直方向における位置捕捉精度の中央値を示す．合計9パターンの内，水平方向・鉛直方向共にサブメーター級の精度で測位できている．これらのことから周囲が障害物に囲まれた環境であっても天空率が 39.0%程度確保できていればサブメーター級の精度での測位が可能であると考えられる．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の成果としては，まずMassive Connect IoTの具現化が挙げられる．つまり，種々の異種無線通信システムを効率的・適応的に活用し，いかなる状況においてもネットワークへの接続性を維持し，かつ，その品質を保証できる次世代の無線通信ネットワークを実現できる．また，その途中段階においても，知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで，現状の無線通信ネットワークへの適用を推進することができる．さらに，本研究課題の成果を元に，各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い，産学連携により商用化を目指した，より大規模な研究開発へ発展させることも想定している．また，無線通信ネットワークにおいて，高精度な位置情報を活用して同期通信を行う先行研究例は見当たらず，本研究の独創性は非常に高いと考える．さらに，高精度時刻・位置情報そのものが無線通信のみならず幅広い分野に活用可能である．本研究を通じて時刻･位置情報の活用可能性を実証することで，今後の新たな学問分野の開拓のきっかけになる可能性を秘めており，通研が当該分野の研究者コミュニティーの中核になり得ると考える．今後は，本プロジェクトの研究成果を積極的に活用し，産学官連携による地元地域の移動体通信技術研究開発拠点化に向けた取り組みへの大きな発展が期待できる．

表1　各条件における可視衛星数[基]

		SNRマスク		
		25dB	30dB	35dB
仰角マスク	15度	10	8.1	6.1
	20度	9.9	6.4	5.6
	25度	7.3	6.4	6.5

表2 各条件における水平方向精度[m]

		SNRマスク		
		25dB	30dB	35dB
仰角マスク	15度	0.45	1.12	0.37
	20度	0.54	0.95	0.18
	25度	1.51	0.3	0.53

表3 各条件における鉛直方向精度[m]

		SNR マスク		
		25dB	30dB	35dB
仰角マスク	15 度	0.72	1.22	0.41
	20 度	0.53	4.39	0.79
	25 度	1.37	1.87	0.44

［4］成果資料

○ 学術論文・国際会議発表（査読有）

（1）K. Mayama, K. Akimoto, S. Kameda, and N. Suematsu, “Evaluation of link level performance considering EVM of transmit signal for downlink NOMA,” Proceeding of 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), TH4-K-3, pp. 774-776, Nov. 2018.

（2）S. Kameda, K. Ohya, H. Oguma, and N. Suematsu, “Experimental evaluation of synchronized SS-CDMA transmission timing control method for QZSS short message communication,” IEICE Transactions on Communications, E102-B(8), August 2019. (先行公開)
doi:10.1587/transcom.2018EBP3166

（3）S. Kameda, K. Ohya, T. Takahashi, H. Oguma, and N. Suematsu, “Random access control scheme with reservation channel for capacity expansion of QZSS safety confirmation system,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E102-A(1), 186-194, Jan. 2019.

○ 国内大会・研究会発表

（4）真山 健大, 秋元 浩平, 亀田 卓, 末松 憲治, “下り回線非直交多元接続(NOMA) における EVM を考慮した受信特性の評価,” 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2018 年7 月.

（5）山形 文啓, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, “釧路地域における Kinematic 測位による測位精度,” 信学ソ大, 2018 年9 月.

（6）篠崎 蓮, 辰口 尚, 小熊 博, 山形 文啓, 亀田 卓, 末松 憲治, “マルチパスの GNSS 位置捕捉精度に与える影響,” 信学ソ大, 2018 年9 月.

（7）真山健大, 秋元浩平, 亀田卓, 末松憲治, “下り回線非直交多元接続(NOMA)における送信 EVM を考慮したビット誤り率特性の評価,” 信学ソ大, 2018 年9 月.

（8）駒井 孝紀, 篠崎 蓮, 辰口 尚, 小熊 博, “GNSS 測位における仰角マスクの設定法の検討,” 電気関係学会北陸支部連合大会, 2018 年9 月.

（9）小熊 博, 篠崎 蓮, 駒井 孝紀, 辰口 尚, 亀田 卓, 末松 憲治, “GNSS のマスク設定と位置捕捉精度,” 電子情報通信学会革新的無線通信技術に関する横断型研究会 MIKA2018, 2018 年9 月.

（10）H. Oguma, R. Kawai, T. Asai, M. Motoyoshi, S. Kameda, and N. Suematsu, “Transmitting timing calculation unit with CPU on FPGA for QZSS short message SS-CDMA communication,” The 5th International Workshop on Smart Wireless Communications, Oct. 2018.

（11）K. Mayama, K. Akimoto, S. Kameda, and N. Suematsu, “Uplink non-orthogonal multiple access with single-carrier frequency domain equalization,” The 5th International Workshop on Smart Wireless Communications, Oct. 2018.

（12）真山健大, 秋元浩平, 亀田卓, 末松憲治, “上り回線非直交多元接続(NOMA) における周波数領域送信等化を用いるシングルキャリア伝送の一検討,” 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2018 年 12 月.

（13）篠崎 蓮, 辰口 尚, 小熊 博, 山形 文啓, 亀田 卓, 末松 憲治, ″GPS/BeiDou におけるマルチパスが位置捕捉精度に与える影響,″ 信学総大 D-23-2, 2019 年3 月.

（14）山形 文啓, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, ″釧路地域における準天頂衛星システムによる測位精度,″ 信学総大 A-19-3, 2019 年3 月.

（15）辰口 尚, 篠崎 蓮, 小熊 博, ″種々の天空率環境下における RTK 測位の位置捕捉精度,″ 信学総大 B-15-12, 2019 年3 月.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端・その他)

採択番号：H29/A13

ダイレクトディジタルRF送受信機の研究

［1］組織

研究代表者：

末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

亀田　卓（東北大学電気通信研究所）

本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）

太郎丸　眞（福岡大学）

谷藤　正一（沖縄工業高等専門学校）

丸橋　建一（NEC/(兼)NICT）

延べ参加人数：13人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	198,000円

［2］研究経過

無線通信用マイクロ波・ミリ波帯送受信機の小型，低消費電力化を目指して，RF信号を直接ベースバンドあるいは中間周波数(IF)のディジタル信号に変換する，あるいは，これらディジタル信号を直接RF信号に変換するダイレクトディジタルRF技術が注目されている。従来は3GHz帯以下の受信機での報告例しかなかったものを，我々の研究グループは，2014年度～2016年度の共同プロジェクト研究（タイプA）「ダイレクトディジタルRF変復調技術の研究」を活用して，過去3年間で，約10倍の周波数である28GHz帯のダイレクトディジタルRF受信用S/H（サンプル　アンド　ホールド）ICを開発し，衛星通信の変調信号を受信できることを示してきた。この過程で，2015年度～2016年度には，総務省のSCOPEフェーズⅡに採択され，IC試作を大きく前進することができた。本研究では，Beyond 5Gなどで注目されているミリ波帯での実現と，10GHzを超えるマイクロ波・ミリ波帯で実現例のない，ダイレクトディジタルRF送信機の実現を目標に，国内外の研究者を交えて，ダイレクトディジタルRF方式の送受信サブシステム，送受信機構成，RFIC技術の基礎的な研究を行う。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，2016年度に開発したS/H-ICの2倍の周波数である60GHz帯のミリ波で動作するICの実現性検討を，高周波回路シミュレータを用いて行った。具体的には，これまでの65nm RF CMOSプロセスから，45nm RF SOI CMOSプロセスに変更することで，サンプリングスイッチの高速化と，このスイッチFETの基板との寄生容量の低減が可能となり，60GHz帯での動作が可能であることが明らかになった。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，45nm RF SOI CMOSプロセスを用いた60GHz帯ダイレクトRFアンダーサンプリング受信用S/H-ICの設計，試作を行う予定にしていたが，45nm RF SOI CMOSプロセスのIC製造に不具合があり，性能が劣るものの従来の65nm RF CMOSプロセスを用いて60GHz帯S/H-IC試作，評価を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

4月から6月にかけて，上記S/H-ICの電気設計および設計レビュー，7月から8月にかけてICレイアウト設計および設計レビューを行い，設計データの検証作業の後，出図，試作に入った。IC試作期間中の9月から11月にかけて，ICの評価方法の検討および測定系の立ち上げ，12月以降，試作ICの評価を行った。なお，当初予定していた45nm RF SOI CMOS ICの試作，評価は，2019年度に行う予定である。これら設計レビュー，測定方法の検討，測定系動作確認に合わせて，研究打合せを行った。遠隔地で日程的に出席がかなわない研究分担者には，極力Skypeあるいは電話会議で参加頂いた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

受信系に関しては，65nm RF CMOS プロセスを用いた 60GHz 帯 S/H-IC の試作，評価を行い，世界最高速の動作を確認するとともに，QPSK 信号受信機としての可能性を検討した。

60GHz 帯 WPAN などの 1～2GHz 帯域幅程度の比較的広帯域な変調信号を受信可能とするために，その 2 倍以上の周波数である 4GHz のサンプリングクロックを用いることとした。従来の 28GHz 帯 S/H-IC の場合は，1GHz のサンプリングクロックだったため，クロック信号系の高速化が必要となった。図 1 に従来の 1GHz クロック信号系と，今回試作した 4GHz クロック信号系との回路構成の比較を示す。クロック(CLK)信号系には，連続波(CW)信号から矩形(SW)波へ変換することと逆相の CLK 信号を生成することが要求される。

従来構成では CW-SW 変換回路により矩形波へ波形整形を行った後，インバータによって逆相の信号を生成していた。しかし，CLK 周波数の増加に伴って,Hold 時の安定期間を減少させるインバータの遅延が問題となった。逆相信号の生成方法には伝送線路の遅延を用いる方法や移相器を用いる方法が一般的である。従来の矩形波変換してからの位相調整は広帯域にフラットな群遅延特性を有する伝送線路や移相器が必要となる。そこで変換する前の CW 波の状態で逆相を生成する構成では狭帯域の CW 信号を扱うため逆相 CLK 信号生成のための回路設計が容易となる。

今回試作した回路は CW の逆相信号を生成するために差動増幅器を用いる。逆相信号を生成する方法にはバランや移相器を用いる方法があるが，差動構成によりコモンモードノイズの低減を可能とし，さらに回路規模や可変性などの観点で有利である。また，Series/Shunt スイッチにおいては Shunt スイッチの ON より先に,Series スイッチが OFF しなければならないことから逆相 CLK 信号側に移相器を配置し，CLK 信号の位相を可変できる構成とした。移相器についても CW 波形に対しての位相調整となるので差動増幅器と同様，設計が容易となる。

図 1 のクロック系を採用して試作した 60GHz 帯 S/H-IC のレイアウト図を図 2 に示す。クロック系の回路は，図中，赤線とオレンジ線で囲まれたエリアとなる。図 3 に試作した IC の評価結果を示す。60GHz 帯で 2GHz の帯域にわたり,2GHz の受信帯域時の SNR として約 20dB が得られることがわかり，QPSK 変調であれば，受信可能であることが明らかになった。

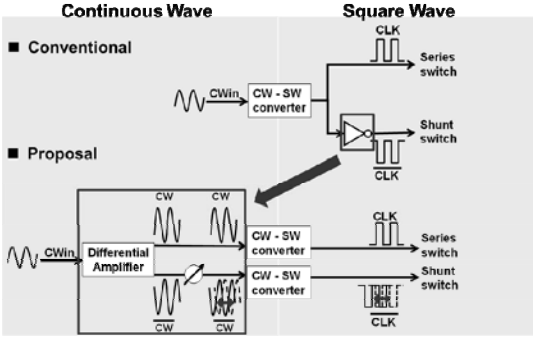


図 1 4GHz 対応クロック信号系のブロック図

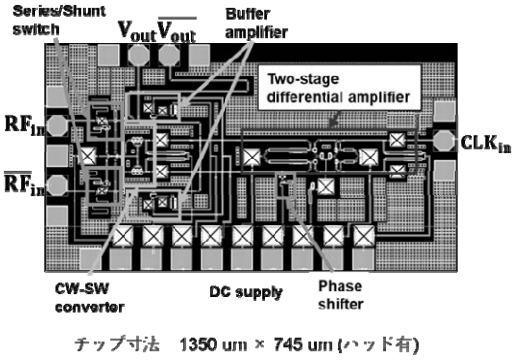


図 2 試作した 60GHz 帯 S/H-IC のレイアウト図

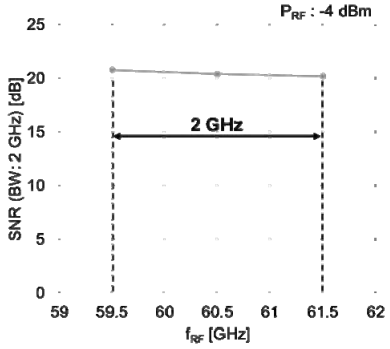


図 3 試作した S/H-IC の SNR の周波数特性

送信系に関しては，2018 年度に 1-bit ΔΣ変調器のイメージ信号を用いたダイレクトディジタル RF 送信機を試作し，OOK 変調の光ファイバ給電の実現性について検討した。

1-bit バンドパスΔΣ変調器を用いた送信機はその入力信号として，1-bit のディジタルデータストリームしか必要としないため，図 4 に示すように，DBF(Digital beam forming)などのマルチアンテナシステムの給電系を含む送信系を簡素化，小型化できる可能性がある。ディジタル信号処理(DSP)部と，1-bit DAC との間の 1-bit のディジタル信号は，OOK 変調の光ファイバリンクにより伝送することができ，この構成によれば，光ファイバ給電による 28GHz 帯あるいはそれ以上の周波数帯であるミリ波帯の DBF アンテナ用送信系が実現できるものと考えられる。

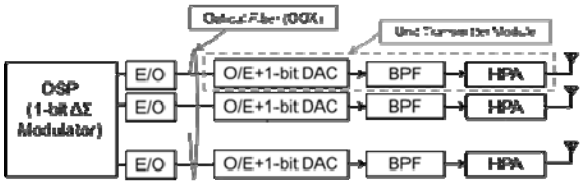


図4 光ファイバ給電ディジタルRF送信系

図5はマンチェスタ符号化した8Gspsの1-bit バンドパスΔΣ変調器で生成したRF信号のスペクトラムおよび26GHz帯イメージ信号の拡大図を示したものである。マンチェスタ符号化信号を用いた場合，7次のナイキストゾーンに生成される26GHz帯の信号のS/Nとして，40dB以上が得られている。図6に，5Mbps，QPSK (quadrature phase shift keying)変調時の26GHz帯イメージ出力信号のコンステレーションとスペクトラムを示す。EVM (error vector magnitude) 2.4%の変調特性と，ノイズシェーピングによる隣接チャネル漏洩電力(ACP) 38dBc 未満という低歪み，低スプリアスな特性が得られ，変調特性の大きな劣化がないことを確認した。

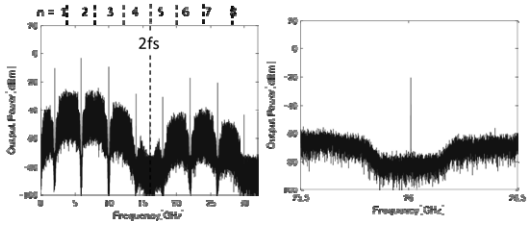


図5 8Gspsの1-bit バンドパスΔΣ変調器で生成したRF信号のスペクトラム

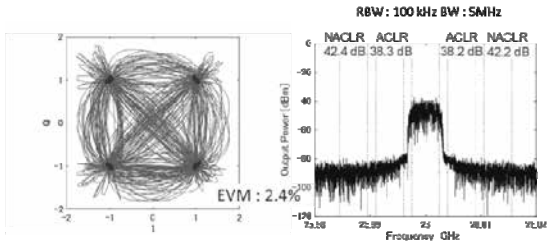


図6 5Mbps，QPSK変調時の26GHz帯イメージ出力信号のコンステレーションとスペクトラム

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，科研費（一般Ａ）の申請につながった。また，本プロジェクトで明らかになったダイレクトディジタルRF送受信機の成果は，ディジタル回路とアナログ回路の融合技術として，ディジタルRF 技術が注目されており，IEEE の国際会議(IEEE MTT-S RFIT シンポジウム2018)での招待講演や，世界三大マイクロ波国際会議である Asia Pacific Microwave Conference (APMC2018)での APMC Student Prize の受賞に結びつき，今後の発展が期待されている。

［４］成果資料　(いずれも，関連成果)

(国際学会・査読あり)

(1) N. Yoshino, K. Norishima, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “28 GHz-band Direct RF Undersampling S/H CMOS with 40 dB SNR,” 2018 IEEE RFIT, TH2-04, Aug. 2018.

(2) N. Suematsu, “Direct Digital RF Technology - Challenges for Beyond Nyquist Frequency Range - (Invited paper),” 2018 IEEE RFIT、FR4-02, Aug. 2018.

(3) J. Zhang, M. Kazuno, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “A 26GHz-band Image Enhancement Type 1-Bit DAC for Direct Digital RF 1-Bit Modulator,” Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) 2018, TH1-103-2, Nov. 2018.

(研究会，大会・査読無し)

(1) 吉野長浩，則島景太，本良瑞樹，亀田卓，末松憲治、“28 GHz帯ダイレクトRFアンダーサンプリング受信機におけるクロックジッタの受信特性に与える影響”、信学技報, Vol. 118, No. 104, MW2018-18, pp. 1-6, (2018年6月)

(2) 末松憲治、[特別講演]“次世代高スループット衛星(HTS)用送受信機へのディジタル RF 技術の適用”、信学技報, vol. 118, no. 176, SAT2018-38, pp. 49-54, (2018年8月)

(3) 呂行，吉野長浩，本良瑞樹，亀田卓，末松憲治、“60GHz帯ダイレクトRFアンダーサンプリング受信用45nm SOI CMOS S/H IC”、2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-2-1, (2018年9月)

(4) 張俊皓，数野将史，本良瑞樹，亀田卓，末松憲治、“26GHz帯ダイレクトディジタルRF変調器用イメージエンハンスメント型1ビットDAC”、信学技報 Vol. 118, No. 218, MW2018-62, pp. 17-21, (2018年9月)

(5) N. Suematsu, M. Motoyoshi, S. Kameda, [Invited Talk] “Direct digital RF transceiver technology for high-SHF fully digital Massive MIMO,” 信学技報, Vol. 118, No. 274, SR2018-96, pp. 103-107 (2018年10月)

(6) 張俊皓，数野将史，本良瑞樹，亀田卓，末松憲治、“26 GHz帯ダイレクトディジタルRF変調器用イメージエンハンスメント型 1 ビット DAC”、2019年信学総大 (2019年3月)

採択回数	1	2	3

(国際)

採択番号：H29/A14

深層学習を用いた３次元動作解析、生成の研究、およびHCIへの応用

［1］組織

研究代表者：幸村　琢（エジンバラ大学）
通研対応教員：　北村 喜文
（東北大学 電気通信研究所）
研究分担者：
Maria Mannone（ミネソタ大学）
Ikhsanal Habibie　（エジンバラ大学）
Daniel Holden　（エジンバラ大学）

延べ参加人数：　5人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	246,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

本研究では、東北大学電気通信研究所の北村研究室で開発中の磁気式モーションキャプチャーシステム IM3D の精度を機械学習的手法を用いることにより高めること、同機器を用いて手の姿勢を推定するためのモデルの構築、機械学習的な手法による照明状態の大局的な描画手法の確立、さらに四足歩行動物の動作学習を行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

エジンバラ大学より幸村琢准教授が2019年2月に東北大学電気通信研究所の平成 30 年度共同プロジェクト研究発表会に参加するため来日し、電気通信研究所に数日間滞在し、東北大学の北村教授のグループと研究の経過について議論した。その際には北村教授、博士課程学生の Jiawei Huang 氏と、現在、行っている研究、および、この先における発展について話し合った。

またそれ以前に、2019 年１月に論文を投稿するため、2018年12月に幸村琢准教授が東京でJiawei Huang氏と東京で研究の実験方法、論文の構成等について話し合った。

［3］成果

（3－1）研究成果

2019年のSIGGRAPHに論文を投稿した。機械学習でセンサ情報とマーカの三次元姿勢との間の対応を取り、そのデータを用いてセンサ情報からマーカの三次元姿勢との間の回帰をニューラルネットワークを用いて行った。特異姿勢において、解が無限に存在するため、回帰がうまくいかなくなるが、その問題を回避するために新たに時空間構造を考慮可能なフィルターを提案し、導入した。国際特別支援分は英国から仙台までの旅費に活用した。

本年は本研究による提案手法を用いて、次のような応用を提案した。

手と物体の動作のモーションキャプチャ

ここではユーザの手と操作する物体の両方にマーカを付け、その両方の動きをキャプチャし、アニメーションを生成した。物体を動かすような動作はオクルージョンが起きやすいため、光学式システムではキャプチャすることが難しい。図１にその様子を示す。

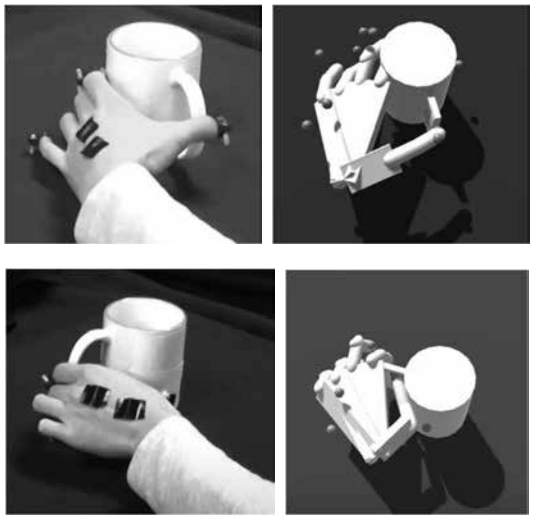


図1：手と物体の動作のモーションキャプチャの様子

流体の流れのキャプチャ

流体動作のキャプチャは流体力学やコンピュータアニメーションの研究に応用可能である。これまで流体の表面の形状のキャプチャ等は行われてきたが、内部の動作をキャプチャすることは難しかった。さらに流体が不透明な状態では光学式キャプチャは難しい。本研究では流体の内部の様子をマーカを用いてトラッキングできることを示した。図 2 にその様子を示す。

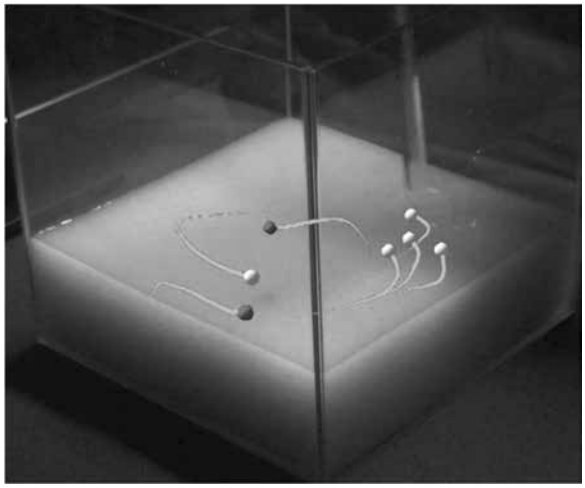


図 2: 流体の流れのキャプチャの様子

小動物の動作のトラッキング

ネズミや昆虫などの小動物のモーショントラッキングは、動物が土にもぐったり物に隠れたりすることが頻繁に起きるため、世の中に広く一般的に普及している光学式システムで計測しようとすると安定性に問題がある。ここではネズミの胴体や尾にマーカをつけることにより、図 3 のように長時間その動きが観察できる様子を示した。また、昆虫においても土に潜ってもその動作をトラッキングできることを示した。

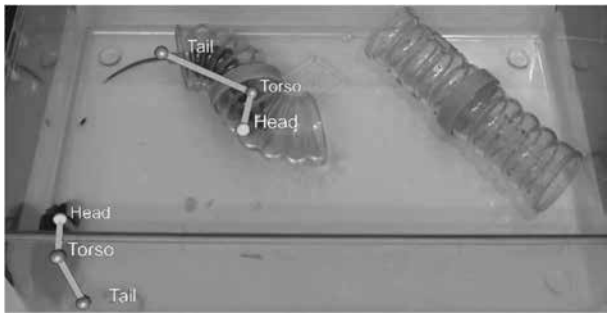


図 3: 小動物の動作キャプチャの様子

バーチャルリアリティにおける指動作のトラッキング

バーチャルリアリティにおいては穴の間や平面以外の物体を対象に手を動かす場合が多いが、その際にはセンサの配置が平面上に規則的に並べられるとは限らず、自由に配置できる必要があった。これまでの手法ではそのような自由度がなかったが、本手法では回帰の安定性が高いため、図 4 に示すようにそのような応用が可能となった。



図 4: バーチャルリアリティにおける指動作のキャプチャの様子

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、今後の発展が期待されている。本年度が第２年度であるが、前年度は時空間的な局所特徴を捉える CNN を用いた手法の検討や励磁コイルを動かす手法の検討を行い、それらの手法では比較的ノイズが多く、精度を高めるのが難しいことが明らかになった。そこで本年度は、前年度の成果を踏まえながら、より単純な回帰を用いることと、回帰が難しい場合に対応できるようにするため、新たな時空間バイラテラルフィルターを考案した。

本プロジェクトでは、音楽の博士号を持つ研究者など、学外の他分野の研究者との交流が研究を飛躍的に活性化し、新たな楽器インタフェース構築のプロジェクトにも発展した。また、本プロジェクトで明らかになった流体の動作キャプチャ手法は、機械学習に基づく流体のアニメーション生成という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき、今後の発展が期待される。

［４］成果資料

Ryo Sugawara, Jiawei Huang, Kazuki Takashima, Taku Komura, Yoshifumi Kitamura: “Random-forest-based initializer for solving inverse problem in 3D motion tracking systems”. VRST 2018: 116:1-116:2

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：H29/A15

集団脳波に基づく視覚コンテンツ評価に関する研究

［1］組織
研究代表者
唐山　英明（富山県立大学工学部電子・情報工学科）
通研対応教員
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
木下　史也（富山県立大学工学部電子・情報工学科）
藤田　晃佑（富山県立大学大学院工学研究科情報システム工学専攻）
宮永　和弥（富山県立大学大学院工学研究科情報システム工学専攻）

延べ参加人数：7 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	129,000 円

［2］研究経過

本研究課題「集団脳波に基づく視覚コンテンツ評価に関する研究」では，昨年度に引き続き，写真画像コンテンツを観察している際の集団の脳波を同時に計測し，2 種類の画像提示手法の脳波への影響を調査することを目的とした．

本プロジェクトは，本年度が 2 年目であり，1 年目の実験の再現性を確認することを大きな目的として，東北大学電気通信研究所における会議（2019 年 11 月，参加人数 5 名，うち富山県立大学 1 名）を開催した．会議においては，画像提示手法 D-FLIP[1] の開発に関する事項，集団脳波計測実験方法[2]や脳波解析方法，研究のねらいや目的などについて再度意識合わせを行った．また，2019 年 2 月には，東北大学電気通信研究所において，ポスター形式による成果発表を行った．（なお，このポスター発表においては，研究代表者に代わり，東北大学電気通信研究所の組織メンバーが対応を行った．）

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度よりも被験者数を増やすことも目的の一つであり，13 名の被験者が今回の実験に参加した．その 13 名の集団の脳波を，図 1 に示すように一部同時に計測した．それぞれの被験者には，前頭葉付近の 2 箇所に脳波電極が装着された．これらの電極は国際的に定められた Fp1, Fp2 の位置に，ペーストを用いて装着された．



図 1　集団脳波計測の様子（2018 年 8 月実施）

この集団に対して，昨年度と同様に，研究用として事前に準備されている画像セット（感情刺激画像 : IAPS International Affective Picture System[3]）を用いて，視覚刺激提示実験を行った．画像セットの中から，快・中立・不快の感情を誘起する画像を 20 枚ずつ抽出して実験に用いた．感情画像の valence 値の平均は，それぞれ，1.53，5.21，8.10 であった．

本研究の目的を達成するため，2 種類の画像刺激手法を採用し，それらの手法ごとに脳波を分析した．一つは単純な Serial Visual Presentation (SVP) 手法であり，画像が一枚ずつ提示されるものであった．もう一つは，東北大学電気通信研究所において開発された D-FLIP[1]を用いた画像提示手法であった．それぞれの手法において，被験者が注目すべき画像は一枚ずつであり，これを集団が観察している際の脳波を分析することとした．

得られた脳波に，周波数解析（高速フーリエ変換）を適用した．周波数計測の結果から，シータ波帯域（4-8Hz），アルファ波帯域（8-13Hz），ベータ波帯域（14-30Hz）のパワースペクトルを算出した．また，これらのパワーの値から以下のエンゲージメント（Engagement）と呼ばれる指標を計算した．

本年度は，さらに対照実験として，感情刺激画像をシャッフルした画像を準備し，同様の計測や解析も行った．従って，本年度においては，以下の４つの条件化での計測と解析を行うものであった．

・D-FLIP 画像提示 & 感情刺激画像
・D-FLIP 画像提示 & シャッフル画像
・SVP　画像提示　 & 感情刺激画像
・SVP　画像提示　 & シャッフル画像

図２に，２つの画像提示条件（SVP: Serial Visual Presentation 手法と D-FLIP 手法）の脳波パワースペクトル密度を示す．この結果，特に感情によるパワーの有意な差は確認できなかったため，今回の実験では，脳波からの感情推定は困難であることが示唆された．さらに，2 つの画像提示条件 (SVP: Serial Visual Presentation 手法と D-FLIP 手法) のそれぞれから得られたエンゲージメント値を用いて[4]，実験回数を重ねた際のそのエンゲージメント値の推移について調査した（図 3）．この結果，D-FLIP 条件においては，実験回数を重ねるにつれて，エンゲージメント値が減少する傾向が見られた．これは，昨年度に得られている結果やその先行研究[4]とも矛盾するものではない．

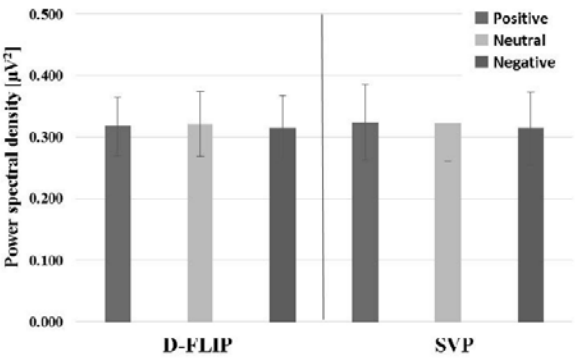


図２　画像提示条件ごとのパワースペクトル密度

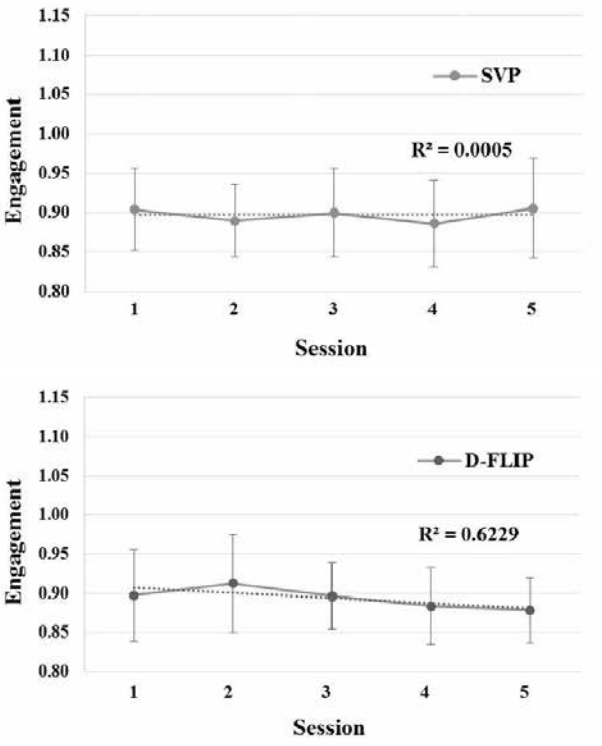


図３　画像提示条件ごとのエンゲージメント値
（上：SVP，下：D-FLIP）

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

昨年度と本年度の研究結果から、集団脳波によって画像提示手法について評価することが可能であることが示唆された．D-FLIP による刺激提示時には（実験回数を重ねた場合に）エンゲージメント値が小さくなる傾向があり，すなわち精神的な負荷が小さくなり，マルチメディア等の視聴者の負担が減ることも考えられる．ただし，なぜD-FLIP 条件においてエンゲージメント値が小さくなる傾向があるかに

いての詳細なメカニズムが明確となっておらず，今後の調査課題となっている．よって，今後は画像提示条件によるエンゲージメント値の挙動の差異について，より緻密な実験計画を立てて検証をするべきと考えている．

参考文献

[1] Yoshifumi Kitamura, Chi Thanh Vi, Gengdai Liu, Kazuki Takashima, Yuichi Itoh, Sriram Subramanian: D-FLIP: Dynamic & Flexible Interactive PhotoShow, SIGGRAPH ASIA 2013, Emerging Technologies, Nov. 2013.

[2] Kosuke Fujita and Hideaki Touyama, Majority rule using collaborative P300 by auditory stimulation, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol.21, No.7, pp.1312-1320, 2017.

[3] Lang, P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.

[4] Chi Thanh Vi, Kazuki Takashima, Hitomi Yokoyama, Gengdai Liu, Yuichi Itoh, Sriram Subramanian and Yoshifumi Kitamura: Dynamic Flexible and Interactive Display Method of Digital Photographs, Entertainment Computing, Elsevier, Volume 5, Issue 4, December 2014, Pages 451-462, 2014

［4］成果資料

2019 年 3 月現在，特になし

採択回数	1	(2)	3

(国際)

採択番号：H29/A16

色名に関する文化差および個人差の研究

［1］組織

研究代表者：
徳永　留美（千葉大学国際教養学部）
通研対応教員：
栗木　一郎（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
内川　惠二（神奈川工科大学）
福田　一帆（工学院大学情報学部）
塩入　諭（東北大学電気通信研究所）
松宮　一道（東北大学大学院情報科学研究科）
Delwin Lindsey（米国・オハイオ州立大学）
Angela Brown（米国・オハイオ州立大学）
Chanprapha Phuangsuwan（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター）
池田　光男（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター）
I-Ping Chen（台湾・国立交通大学）
Su-Ling Yeh（台湾・国立台湾大学）

延べ参加人数：14 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	212,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

色は言語の壁を越え，人類共通のコミュニケーション手段として利用可能な概念である。特に色名と対応した色の知覚であるカテゴリ色は,Berlin & Kay 1969）の研究によって示されたように，使用する言語によらずに共通のグループ化がなされる。そのグループは基本色と呼ばれ，白，黒，灰，赤，緑，青，黄，紫，オレンジ，茶，桃の 11 色がある。利用する色名の数は言語によって異なっても基本カテゴリの分類からはずれないため，文化や言語に依存しない色の概念分類として理解されている。

Lindsey & Brown (2006, 2009) によると，同一言語内の個人差は，異なる言語間に共通ないくつかのパターン（モチーフ）によって表現されるという。これによると，言語差（文化差）と個人差を共通のモデルで説明することができれば，カテゴリ色の利用の最適化など情報通信分野における応用も期待できる。そこで，本研究では，個人差に関する言語間の共通性を検討することを目的としている。

本プロジェクトは，先行プロジェクト（H26/A25）による米国，日本の言語を対象とした色カテゴリ研究を拡張したものである。本年度は昨年度に引き続き台湾の言語のデータ解析に取り組み，タイの言語による実験を実施し，タイ語のカラーネーミングデータを取得した。以下,研究活動状況の概要を記す。

（2-1）打合せの詳細

1) 2018 年 4 月 17～20 日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan,池田光男,栗木一郎，徳永留美
【場所】e-mail にて
【内容】実験で使用する装置作成の進行状況の確認と使用する色票，照明器具の確認について.

2) 2018 年 12 月 6 日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan,Nischanade Panitanang（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター），池田光男，栗木一郎
【場所】ACA2018(アジア色彩学会，タイ)にて
【内容】タイ語に関する実験の実施・取得データの扱いに関する確認と進捗状況の共有. 解析の進め方について.

3) 2018 年 12 月 7 日
【参加者】I-ping Chen，栗木一郎
【場所】ACA2018(アジア色彩学会，タイ)にて
【内容】台湾における中国語のデータ解析について進捗状況を共有し，論文化の方針について検討した.

4) 2019 年 1 月 2～8 日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan,Nischanade Panitanang，池田光男，徳永留美
【場所】e-mail にて
【内容】実験の進捗状況とデータ整理の確認に

ついて.

5) 2019年1月14〜30日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan, Nischanade Panitanang, 池田光男, 徳永留美
【場所】e-mail にて
【内容】実験で取得したタイ語のカラーネーミングデータと処理についての確認.

6) 2019年2月14〜17日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan, Nischanade Panitanang, 池田光男, 徳永留美
【場所】e-mail にて
【内容】実験で取得したデータの整理と記述統計の実施について.

7) 2019年2月19日
【参加者】栗木一郎, 徳永留美
【場所】東北大学電気通信研究所にて
【内容】英語, 日本語, 中国語とで共通した分析を実施するための, タイ語のカラーネーミングデータ解析における k-means 解析の事前処理についての技術的な打合せ.

8) 2019年2月24日
【参加者】Tracy Hsieh (中國文化大學, 台湾), I-ping Chen, 栗木一郎【場所】e-mail にて.
【内容】台湾における中国語の研究に関し, 論文化の具体的な進め方について検討.

（2－2）研究会の開催

通研共同プロジェクト研究会「視覚的な物体質感の認知メカニズムに関する研究」との合同研究発表会において, 招待講演を実施した。

平成30年度第2回研究会（共同発表会）
日時：平成31年2月20日(9:45〜17:30)
場所:東北大学 電気通信研究所 本館3階 セミナー室（M331号室）

栗木一郎・渡邉　岳（東北大)「広輝度ダイナミックレンジ環境における明度および質感知覚」

徳永留美（千葉大)「タイ語の色カテゴリと地域差についての検討」

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は, タイで実施したタイ語の色カテゴリの実験について成果が得られた。

タイ語の色名について調べるため, 先行研究と同じ方法でタイの四地方において, 各地方50名ずつの合計200名のデータ取得を目標として, 実験を実施している。本報告書では, これまでに取得して整理された各地方25名, 総人数100名の取得データについての結果を示す。実験では, 330 色のマンセル色票に対し, 被験者が修飾語（薄いなど）や複合語（黄緑など）を用いない単一語彙による色名呼称を行なった.

被験者が使用した色名の総数は, 被験者により異なり, 12から41色名であった。表1に色名とその色名を使用した被験者の数を示す。赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫, ピンク, 茶, 灰, 空の10色名は全ての被験者が利用し, 白, 黒についても9割の被験者が利用した。日本語の場合では, 被験者が利用した色名が11から52色名であり, 台湾の中国語の場合では, 10から15色名であった。利用する色名数としては, タイ語と日本語の傾向が近いことが分かった。

表1の13, 15, 21, 22番は, 英語表記では単一語彙ではないが, 被験者の応答したタイ語においては単一語彙であった。それぞれに対応するタイ語の読みの英語表記と意味は, 13番がKhi-ma（馬糞), 15番がBan-yen（ピンク色の花), 21番がBai-tong（バナナの木の葉), 22番がSaet（オレンジ色の花）である。また Chicken egg や Old Rose, Thai lemon のような固有名詞が多く使用されていることが示された。生活において利用する物を, その色を表現する色名として利用していることから, 生活における物の利用頻度に対する文化的な色名の成り立ちの解析が可能なると期待できる。

表1　色名とそれを使用した被験者数

	Color Terms			Color Terms	
1	Red	100	16	Skin	46
2	Orange	100	17	Chicken egg	41
3	Yellow	100	18	Ocean	39
4	Green	100	19	Old rose	37
5	Blue	100	20	Cream	34
6	Purple	100	21	Banana leaves	31
7	Pink	100	22	Vivid red-orange	26
8	Brown	100	23	Indigo	26
9	Gray	100	24	Mint	24
10	Sky	100	25	Brick	24
11	White	98	26	Carmine	17
12	Black	92	27	Thai lemon	17
13	Dark yellowish-green	77	28	Peach	15
14	Crimson	72	29	Mustard	15
15	Deep pink	47	30	Mangosteen	14

色名に対する利用者数についての結果を図1に示す。基本11色名にSky, Khi-ma, Crimsonを加えた14色までが利用者が多く, Crimson以降は, 利用者数が急激に減少することが分かる。日本語の結果の場合は, 基本11色名に水色, 肌色, 黄土色を加えた14色までが利用者数が多かった。日本語で利用が多かった肌色は, タイ語の場合では16番目に利用が多

かった。

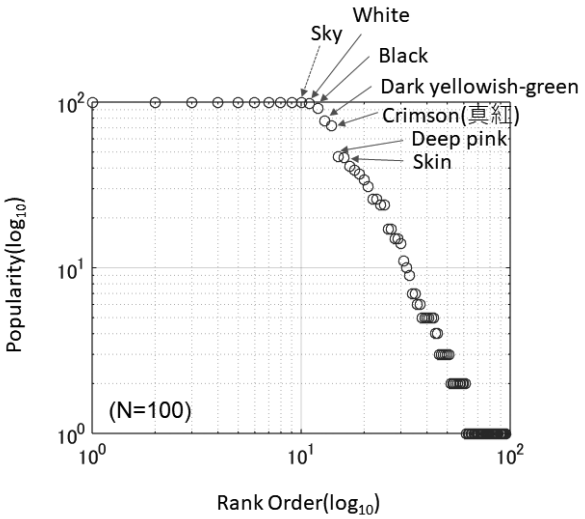


図１　タイ語の色名に対する利用人数

被験者の全ての色名の分布から，全回答の約 91（%）が基本 11 色に Sky を加えた 12 色で構成されていることが示された。日本語の場合も，全回答の約 91（%）が基本 11 色に水色を加えた 12 色で構成されており，共通した傾向を示した。

本実験で得られたタイ語の色名は，四つの地方に分けて解析できる。各地方のタイ語の色名に対する利用人数を図 2 に示す。四地方で共通していた色名が基本 11 色名に Sky を加えた 12 色であった。それ以降の色名の順番は，地方により異なり Khi-ma, Crimson, Ban-yen, Ocean, Chicken egg, Old rose などが多くみられた。例えば北東部では 15 番目に多い色名が Old rose であったが，中央部では Ban-yen，北部では Chicken egg であった。南部においては Skin が 13 番目となり，Khi-ma よりも利用人数が多かった。

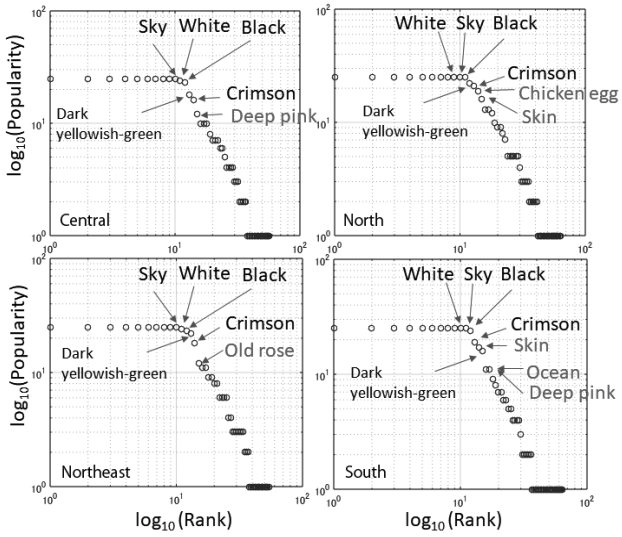


図 2　4 つ地方別にみるタイ語の色名に対する利用人数

タイ語に関しては，引き続き実験を実施し，全被験者のデータを取得し，英語，日本語，中国語の実験と共通のデータ解析として Gap 統計量による評価を行い，最適クラスタ数を求めて比較することを予定している。台湾で実施した中国語の実験については，引き続き，データ解析を実施し論文としてまとめていく予定である。

（特別支援（国際）に係る研究成果）

今年度は，実験実施と結果の整理に携わっているタイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンターの博士後期課程の学生を招聘予定であったが，諸事情により奨励することができなかった。その為，e-メールなどでのやり取りとなった。

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトは，色名に関する文化的相違に着目したもので，複数の言語における色名の利用について，「文化差」と「個人差」を検討していくものである。本プロジェクトの特色は各言語の結果を直接的に比較でき，これまでとは異なった視点から言語，文化差や個人差について，共通の概念を導き出すことが可能と考えている。今後，他の言語についても同様の研究を発展させる計画である.

また，前プロジェクト（H26/A25）の結果が，近年の色名についてテレビ番組としても紹介されており，色名について改めて認識するということの研究の影響は大きいと考える。また，これらの結果は学会での 2 件の招待講演となり注目されていることが伺え，この研究課題が持つ波及効果の裾野の広さを示した。

［４］成果資料

（招待講演）

1）栗木一郎：言葉の中の色，脳の中の色．日本色彩学会平成 30 年度研究会大会，70 周年記念招待講演. 11/24/2018.

2）Ichiro Kuriki: "Study on color category in Japanese by using a clustering analysis." Keynote lecture at Asia Color Association conference 2018, Chiang Mai, Thailand. 12/7/2018.

（報道等）

NHK-G「チコちゃんに叱られる！」，インタビュー「緑色なのになぜ青信号？」放送日 6/22/2018.

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：H29/A17

半導体微細加工と脂質二分子膜の機能融合に基づく高感度・高精度イオンチャネルセンシングの創成

［1］組織

研究代表者
手老　龍吾
（豊橋技術科学大学環境・生命工学系）
通研対応教員
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
井出　徹（岡山大学自然科学研究科）
森垣　憲一（神戸大学バイオシグナル総合研究センター）

延べ参加人数：56 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	171,000 円

［2］研究経過

ナノテクノロジーとバイオマテリアル，トップダウンの微細加工技術とボトムアップの自己組織化構造制御といった，材料・手法の融合による新規コンセプトの創成が期待されている。タンパク質・脂質・糖鎖などが分子集合体として機能を発揮するスケールである 10 ㎚程度の構造体を，半導体微細加工技術が量産技術として作製できるようになり，両者の構造と機能をシームレスに繋ぐことがバイオ計測技術の高機能化と新機能の発現といった次のブレークスルーを生み出すために必要である。特に，様々な生体機能や疾病との関連が次々と解明されつつある生体膜における輸送反応は，物質・情報・エネルギーが互いに不可分に関わってやり取りされる現象であり，これらの情報を取得するための実験系と測定手法の開発が求められている。

本研究では，生体分子の中でも創薬ターゲットや薬物副作用の観点から特に注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に，半導体ナノ微細加工技術と脂質二分子膜系の融合により，新規な高感度・高精度センシングデバイスの開発を目指している。このためには，半導体材料と生体分子との界面における現象の理解し，制御することが必要である。生体分子が自己組織的に形成する集合体である脂質二分子膜と，その中に包埋されたイオンチャネルの構造および機能を分子レベルで明らかにすることが目的の１つである。また，有機半導体分子や金属ナノ粒子，グラフェンなどの機能性ナノ材料を取り込んだ新規脂質二分子膜系の開拓を行う。これらのナノ材料が脂質二分子膜系や細胞膜においてどのような振る舞いをするかについての研究例は少ないため，新規現象の発見が期待される。

プロジェクト２年目となる本年度は，前年度の成果を踏まえて人工脂質二分子膜へのプロテオリポソーム融合サイトとして働く微小ドメインの組成と形成機構について明らかにしたほか，水溶液中の脂質二分子膜に電位を印加した場合の実効的な電位とインピーダンスを評価するための等価回路モデルを構築した。また，有機半導体分子を包含した脂質二分子膜系で生じる光電流生成という新規現象を見出した。支持脂質二分子膜系を用いて多成分平面脂質膜の作製および化学修飾基板上への脂質膜形成についても行った。これらの成果は水溶液中での人工脂質二分子膜と生体膜，ナノ材料と人工脂質二分子膜といった界面で起きる現象を分子レベルで理解するために有用な知見であり，半導体電子デバイスを基盤として脂質二分子膜系との機能融合および新規現象の探索に役立つ。

平成 31 年 3 月 6-7 日には，ナノ，バイオ，エレクトロニクス分野の研究者が集う国際シンポジウムを，本共同プロジェクト研究会の共催として開催した。周辺領域の研究分野における最近の動向と最新の研究成果について情報交換を行い，研究者同士での交流の場とした．以下にその概要を記す。

10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会
CREST, JST
日本表面科学会ソフトナノテクノロジー部会

日時：平成 31 年 3 月 6 日(水) － 7 日(木)
場所：　東北大学電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
4 階カンファレンスルーム

3 月 6 日 (水)
“Multi-pore resistive pulse sensing of microRNA”,
Maurits de Planque (University of Southampton, Southampton, United Kingdom)
“Patterned lipid bilayer combined with a nanometric gap structure as a versatile model of the biological membrane”
Kenichi Morigaki (Kobe University, Japan)
“Impedance mapping of a cultured cell layer for spatiotemporal analysis of its barrier function”
Ko-ichiro Miyamoto (Tohoku University, Japan)
“Stable lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips as a platform for novel biosensors”
Ayumi Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan)
“Less-defect colloidal quantum dots: synthesis, optical properties and application in optoelectronic devices
Qing Shen (The University of Electro-Communications, Japan)
“Back-contact structure for highly efficient perovskite solar cells
Teng Ma (Tohoku University, Japan)

3 月 7 日 (木)
“Self-organized TiO_2 nanotube arrays: photoelectrochemical and photocatalytic applications
Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)
“Room temperature atomic layer deposition and its application to gas barrier coating”
Fumihiko Hirose (Yamagata University, Japan)
“Single-electron devices fabricated using percolative connections of gold nanoparticles”
Yoshinao Mizugaki (The University of Electro-Communications, Japan)
“Cell-free translation system: a tool for producing proteinous nanomachines”
Yuzuru Tozawa (Saitama University, Japan)
“Domain formation and lateral diffusion in lipid bilayer membranes on graphene oxide”
Ryugo Tero (Toyohashi University of Technology, Japan)
“Microdomain formation in bilayer membrane consisting of completely miscible lipids”
Melvin Wei Shern Goh (Toyohashi University of Technology, Japan)

［3］成果
（3－1）研究成果
脂質二分子膜デバイスにイオンチャネルなどの膜タンパク質を埋め込む際には，球殻状の脂質二分子膜構造(リポソーム)に膜タンパク質を埋め込んだ状態(プロテオリポソーム: PL)の状態にして，デバイス中の人工脂質二分子膜と融合させる方法が用いられる。この際に PL の融合効率が実験全体の歩留まりを決める律速段階であるが，膜融合の操作は経験的なパラメータに頼らざるを得ないのが実情であった。前年度までに支持脂質二重膜系を用いて，イオンチャネル計測に用いられる phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), cholesterol (Chol)から成る脂質二分子膜内に, PL 融合サイトとして働く微小ドメインが存在していることを見出した。Chol を含む脂質二分子膜系での液-液相分離についての研究は多くなされているが，通常はゲル相-液晶相に相分離する 2 種類の混合系で Chol を添加することで固-液相分離が液-液相分離に変化する。本研究で用いる PC, PE はいずれも液晶相にあり，完全混合する 2 種類の脂質に Chol を添加することで起きるドメイン形成は新しい現象である。このドメインの組成と形成機構を明らかにするためアシル鎖の異なる PE を用い，その濃度を変えて微小ドメインの面積率を原子間力顕微鏡観察により調べた。いずれの PE を用いた場合でも，微小ドメインの面積率は PE の濃度とともに増加した。また，多価不飽和 PE を用いた際に面積率が著しく増大した。これらの結果から，Chol と親和性の高い比較的飽和度の高い PC の中で，Chol と親和性の低い多価不飽和 PE が π-π 相互作用も働くことで凝集してドメインを形成すると考えた。

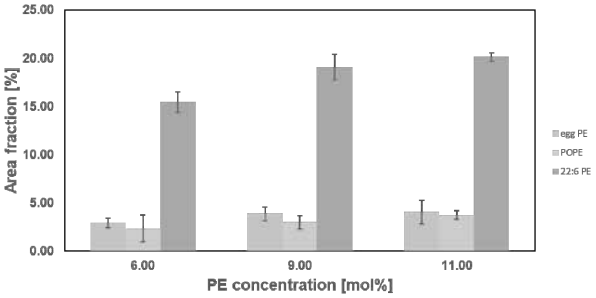


図 1. PC，PE, Chol 混合脂質二分子層膜中に形成される微小ドメインの面積率と，PE 濃度およびアシル鎖への依存性。

また，水溶液中で電極間に存在する脂質二分子層について実効的な印加電圧をインピーダンスを評価

するための等価回路モデルを構築した。イオンチャネル計測に用いるナノ構造デバイスの形状と材質を基にして，脂質二分子層両側に溶液中の電解質による電気二重層を取り入れた。また，有機半導体分子である PCBM を包含した脂質二分子層における光電流発生という新規現象を見出した。PCBM 添加による脂質二分子層の形状変化，また脂質二分子層内での PCBM の分布などについて，蛍光顕微鏡観察などにより調べている。プロジェクト三年目に向けて順調に推移している。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献

成熟した半導体加工技術をバイオテクノロジーと融合することにより、生体分子計測手法のさらなる高度化へと展開することが強く望まれている。イオンチャネルは，アルツハイマー病や禁煙，麻酔，不整脈等の疾患に関わる創薬の主要ターゲットタンパク質であり，イオンチャネルに対する高効率な薬物スクリーニング系への需要が高まっている。また，ナノ材料と生体材料との相互作用は新規計測手法だけでなく，ナノ材料毒性の視点からの重要な研究課題である。本プロジェクトは電子工学，神経科学，生理学、化学の融合により初めて成し遂げられるものであり，それぞれの分野の研究者がその成果をお互いにフィードバックすることで今後の進展が期待される。

昨年度および今年度開催した前述の国際シンポジウムでの交流をきっかけに，2018 年度の日本生物物理学会年会，2019 年度の日本化学会コロイドおよび界面化学部会が主催する国際会議 Okinawa Colloids 2019 におけるシンポジウムを申請し，採択された。

第 56 回日本生物物理学会年会シンポジウム

「生体機能の再構成によるセンシング技術とデバイス応/ Reconstruction of biological functions for sensing methods and device applications」

・2018 年 9 月 16 日 (日) 9:00 - 11:30
・岡山大学
・参加人数 約 100 名

Okinawa Colloids 2019

「Creation and Application of two dimensional atomic and molecular materials and devices」

・2019 年 11 月 3 - 8 日 開催日調整中
・万国津梁館
・参加人数 約 80 名 (見込み)

［４］成果資料

(1) M.W.S. Goh, A. Hirano-Iwata, M. Niwano and R. Tero, "Proteoliposome fusion to artificial lipid bilayer promoted by domains of polyunsaturated phosphatidylethanolamine", Jpn. J. Appl. Phys., accepted.
(2) J. Sato, Y. Niiyama, N. Misawa and R. Tero, "Preparation of tethered-type supported lipid bilayer using water-soluble silane coupling agent", Jpn. J. Appl. Phys., accepted.
(3) Y. Tomioka, S. Takashima, M. Moriya, H. Shimada, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, and Y. Mizugaki, "Equivalent circuit model modified for free-standing bilayer lipid membranes beyond 1 TΩ," Jpn. J. Appl. Phys., accepted.
(4) S. Takashima, M. Moriya, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, and Y. Mizugaki, "Temporal change of AC impedance measured across a free-standing bilayer lipid membrane," AIP Conference Proceedings, 2067, 020015-1-5 (2019). DOI: 10.1063/1.5089448.
(5) K. Kanomata, T. Deguchi, T. Ma, T. Haseyama, M. Miura, D. Yamaura, D. Tadaki, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, F. Hirose, "Photomodulation of electrical conductivity of a PCBM-doped free-standing lipid bilayer in buffer solution", J. Electroanal. Chem. 832, 55-58 (2019). DOI: 10.1016/j.jelechem.2018.10.039.
(6) Y. Kakimoto, Y. Tachihara, Y. Okamoto, K. Miyazawa, T. Fukuma and R. Tero, "Morphology and Physical Properties of Hydrophilic-Polymer-Modified Lipids in Supported Lipid Bilayers", Langmuir, 34, 7201-7209 (2018). DOI: 10.1021/acs.langmuir.8b00870.
(7) Y. Kakimoto and R. Tero, "Supported Lipid Bilayers of Escherichia coli Extracted Lipids and Their Calcium Dependence", Front. Mater., 5, 48 (7 pages) (2018). DOI: 10.3389/fmats.2018.00048.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端・萌芽)

採択番号：H29/A18

屋外拡声システム開発のための音声了解度評価とその推定に関する研究

［1］組織

研究代表者
小林　洋介（室蘭工業大学）
通研対応教員
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
近藤　和弘（山形大学）
太田　健吾（阿南工業高等専門学校）
北川　冬弥（山形大学）
柴田　崇斗（山形大学）
長内　慎一郎（山形大学）
赤泊　寛和（室蘭工業大学）
野口　啓太（室蘭工業大学）

延べ参加人数：１６人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	180,000 円

［2］研究経過

災害時における防災行政無線およびその屋外拡声系は重要な役割を担っている。全国の屋外行政無線の普及率は76.3%と非常に高く，2011 年 3 月の東日本大震災でも多くの人が防災行政無線の屋外拡声系により情報を入手している。屋外拡声系は個々人が特別な装置を持つ必要がないため，有効な情報伝達手段だが，東日本大震災では屋外拡声器による災害情報音声が聴き取れず，改善が求められている。このため，屋外における音響伝達特性の計測，スピーカアレイの利用やサイン音の検討など，これまでの音声・音響工学の知見を活かした取り組みが行われている。特に拡声された音声の聴き取りに直接関係する主観品質である音声了解度に関しては，文章を用いた主観評価法と評価環境のインパルス応答を利用して計算したSTI（Speech Transmission Index）を0.6以上の値を取る環境では十分高い音声了解度が得られるとされている。

一方で，生活空間でのインパルス応答の取得は行政や市民の理解が必要であり，実験規模も小さく，突発的な外乱による測定値のバラつきが発生しやすいといった指摘がある。このため，インパルス応答の取得に用いる基準信号ではなく，通常の音声放送から了解度を推定できるようになれば非常に使い勝手の良い予測システムとなる。

以上の背景より，本研究では，屋外での音声システムの開発に利用可能な音声了解度の予測システムについて，ネットワークを利用した計測システムの開発と，風雑音の影響を処理するフィルタについての検討を行った。

以下に，研究活動状況の概要を記す。

・H30 年 7 月に東北大学にて開催された災害等非常時屋外拡声システムのあり方に関する技術調査研究委員会研究打ち合わせを行った。
・H30 年 7 月に室蘭工大にて，小林と近藤による研究打ち合わせを行った。
・H30 年 9 月に大分大学で開催された日本音響学会秋季研究発表会の際に，研究の進捗状況と外部資金の申請に関して打ち合わせた。
・H31 年 3 月に電気通信大学で開催された音響学会春季研究発表会の際に，本年度の研究成果を総括し，同発表会で成果の一部を発表した。

その他の研究会，研究討論会，研究発表会，研究集会等は開催しなかった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究では，屋外拡声器の聴き取りを改善するために，Internet of things(IoT)技術を利用して，小型のワンボードコンピュータとマイクロホンからなる音環境センサを複数用いて，拡声フィールドの実際の聴取感のフィードバックを検討した。

図1に提案システムのフローを示す。このシステムは，フィールドの音環境を計測するクライアント5台の計測結果を集約し，聴取実験値に変換するサーバからなる。クライアントはRaspberry PI 3 model Bを利用し，オーディオインタフェースに接続したマイクロホンへの入力を100 msにセグメント分割して音響特徴量のMel frequency cepstrum coefficients (MFCC)とパワーの13次元およびそのΔパラメータ13次元の合計26次元を求めた。

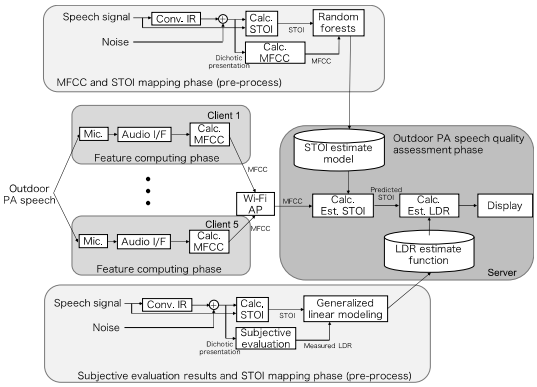


図1提案システムのフロー

セグメントごとのMFCCの計算が終了次第，計算した26次元のMFCCベクトルをサーバに転送する。サーバでは，収集したMFCCを用いて音声の明瞭性/了解性指標として近年広く使われ始めたShort time objective intelligibility(STOI)の推定値を求める。次に主観的な音声の聴き取りにくさの心理実験値であるListening difficulty rate(LDR)の主観評価値とSTOIの関数を利用してLDR推定値を得る。このため，事前に計測したインパルス応答を畳み込んで再現した拡声音声のシミュレーション音声から求めたSTOIとMFCCとの関係を機械学習アルゴリズムの一つであるRandom Forest(RF)でモデリングした。LDRとSTOIのマッピング関数は一般化線形モデルを用いた。最後にLDRの予測値を画面表示する

図1のサーバ内のMFCCからLDRを推定する処理はRFモデルを用いた。LDRの評価音源長は最長で11 sec.を超えたため，100 msごとに計算したMFCCを統合し，3120次元の入力を持つRFモデルとした。RFは複数の決定木を統合する学習アルゴリズムであり，個々の決定木の数と決定木の深さを指定できる。図5に決定木の深さ50-200とした際のRMSEの比較結果を示す。

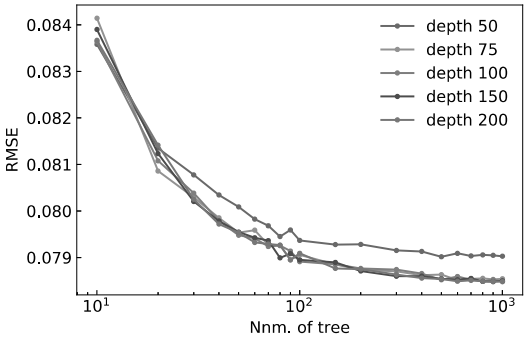


図2 STOI予測時の決定木深さとRMSE

結果と計算速度から，深さ75の決定木数100とした。STOIとLDRのマッピングを行い，一般化線形モデルでシグモイド関数をフィットさせてた。その結果，決定係数は0.93で，RMSEは0.102であった。

提案システムの評価は2018年6月23日土曜日（天候：晴）に室蘭工業大学のV/R棟前の中庭で実機の動作テストを行った。実験は建物による反射を意図して研究棟に向かってメガホン(TOA,ER-2830W)を設置し，サーバから音声放送できるように接続した。音量はメガホンの前2 mに設置した騒音計で80，85，90 dBとし，音素バランス文を50文ずつ放送した。クライアントの設置場所は前年度の予備実験の際に収集したインパルス応答とLDRの主観評価結果から選択した。サーバとクライアントはWi-Fiの屋外で利用できる周波数帯である2.4 GHz帯で接続した。メガホン正面の直線上にある計測点に設置したクライアントの予測LDRを図3に示す。図3の2つの計測地点はメガホン正面の直線上と十分に聴こえやすい地点であり，予測LDRの平均値と標準偏差ともに小さく，聴き取りやすいことが安定して計測されている。図の最初の大きなLDR予測値は放送開始前のタイミングであり，非音声な入力が聴き取りにくいと処理された結果である。また，このほかのわずかに聴き取りにくくなっている点も放送音声間で非音声区間であった。これは現在，音声区間判別VAD(Voice Activity Detection)が実装されていないためであり，今後改善していく。

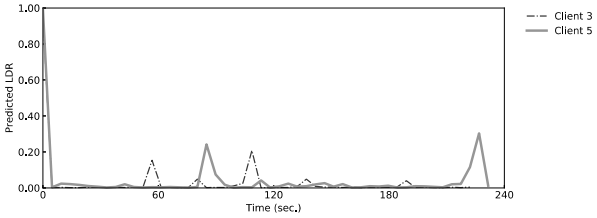


図3 メガホンから直線上にある計測点の予測LDR

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の予想される波及効果としては，屋外拡声器の了解度を予測する機器の開発が挙げられる。提案法を組み込んだ機器があれば，標準放送のみで了解度推定値が求まるため，システム開発時の品質評価の大幅改善が考えられる。

本プロジェクトの成果をもとに,平成30年度は小林と近藤が科研費及び公益財団法人矢崎科学技術振興財団からの研究助成を得た。

［４］成果資料

(1) S. Shibata, K. Kondo, ″On the Comparative Effect of Snowfall, Accumulation, and Density on Speech Intelligibility,″ Proc. APSIPA-ASC, Honolulu, Hawaii, Nov. 2018.
(2) K. Noguch, Y. Kobayashi, J. Kishigami and K. Kurisu, “Listening difficulty estimation model using short-time objective intelligibility measure for outdoor public address systems,” Abstract of UAC2018, p.46, Oct.22-24, 2018, Sendai
(3) T. Kitagawa, K. Kondo, ″Towards a Wind noise reduction method using DNN,″ Proc. The 15th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers, A16, p. 28, Nov. 2018
(4) K. Kondo, K. Taira, Y. Kobayashi, ″Binaural Speech Intelligibility Estimation Using Deep Neural Networks,″ Proc. Interspeech, Hyderabad, India, Sept. 2018.
(5) K. Noguch, Y. Kobayashi, J. Kishigami and K. Kurisu, “Listening Difficulty Meter Using Machine Learning for Assessment of Public-Address Systems,” Proc. GCCE 2018, pp. 471 - 472, Nara, Japan, 2018.
(6) H. Akadomari, K. Ishikawa, Y. Kobayashi, K. Ohta and J. Kishigami, “HMM-based Speech Synthesizer for EasilyUnderstandable Speech Broadcasting,” Proc. GCCE 2018, pp. 714 - 715, Nara, Japan, 2018.
(7) 赤泊寛和，石川耕輔，太田健吾，小林洋介，岸上順一，”「よく聴こえる」拡声システムのための特定話者に適合したHMM音声合成システムの評価，” 日本音響学会2018年秋季研究大会，pp.1183-1184，2018年９月
(8) 野口啓太，小林洋介，岸上順一，栗栖清浩，” 屋外用聴き取りにくさ計プロトタイプの改善，” 日本音響学会 2018 年秋季研究大会，pp.437-440，2018年９月
(9) 小林洋介，野口啓太，栗栖清浩，″拡声音声への環境情報フィードバックシステムの基礎検討，″ 聴覚研究会資料，vol. 48, no. 6, H-2018-106, pp. 591-597,2018年８月
(10) 小林洋介，″雑音下音声了解度と客観的音声了解度指標との関係，″ 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 118, No. 149, EA2018-1, pp. 1-6, 札幌市（2018年７月24-25日）
(11) 北川冬弥，近藤和弘，小林洋介，″自転車用ナビゲーションに向けたDNNを用いた風雑音除去の改良，″ 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 118, No. 149, EA2018-3, pp. 13-18, 2018年７月
(12) 赤泊寛和，石川耕輔，太田健吾，小林洋介，岸上順一，″HMM 音声合成と発話構文解析を利用した「よく聴こえる」拡声システム，″ 情報処理学会研究報告，Vol.2018-MUS-119 No.51, 4 pages，2018年６月
(13) 野口啓太，小林洋介，岸上順一，栗栖清浩，″屋外拡声システムの主観的聴き取りにくさの客観計測器の提案，″ 情報処理学会研究報告，Vol.2018-MUS-119 No.38，4 pages，2018 年６月
(14) T. Kitagawa, K. Kondo, ″Evaluation of a wind noise reduction method using DNN for Bicycle Audio Augmented Reality Systems,″ Proc. IEEE ICCE－Taiwan, Taichung, Taiwan, pp. 369-370, May 2018.

採択回数	1	(2)	3

(先端・萌芽)

採択番号：H29/A19

協調作業における視線情報の可視化

［1］組織

研究代表者

清川　清（奈良先端科学技術大学院大学）

通研対応教員

北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

酒田　信親（奈良先端科学技術大学院大学）

高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：5 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	146,000 円

［2］研究経過

他者の視線の動きを把握することは協調作業に有用であることが指摘されている．本共同プロジェクトでは，共有スクリーンに議論の対象となる情報を提示する協調作業において，参加者が今現在どこに注目しているのか，過去にどこに注目していたのかなどを示すことで，協調作業の質が改善するのかを定量的に評価する．同時に，最適な視線情報の可視化方法についても検討する．

本年度は二年目であり，前年度の資産を利用しながらもより今日的で代表者および分担者の知見が活かせる HMD(Head-mounted Display)を用いた協調作業における視線可視化の研究テーマに取り組んだ．なお，HMD を用いた教育や会議ツールは近年急速に開発が進んでおり，極めて大きな注目を集めている分野である．

本年度は一回のスカイプミーティング，研究分担者の通研訪問，研究代表者の通研訪問，と三回の打ち合わせを実施した．一回目は，研究の進め方や計画，体制などを相談し，実際に利用するデバイスも調達した．さらに，2 月 18-19 日に，分担者である酒田准教授が通研に訪問し，通研対応教員である北村教授および高嶋准教授とテーマ設定と実験計画の詳細について打合せした．また，三回目の打ち合わせとして，２月２１日の共同プロジェクト発表会にて，研究代表者である清川が通研に訪問し，成果をポスター発表すると同時に研究の進捗などを確認した．なお，それ以外でも，代表者と通研対応教員や分担者は，学会等でも会う機会は多くその都度作業の進捗などを報告相談した．

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度は，本プロジェクトでの研究予算にて，Pupil Labs 社製の視線計測装置１台を購入し，リアルタイムでの視線追跡とそれを可視化するソフトウエアを開発した．本年度は頭部搭載型ディスプレイを対象としたため，それらの資産を利用しつつ，以下に示す研究項目に取り組んだ．

ハードウエアの調達・準備：まず，図 1 に示すように，既に所有するものと同じ Pupli Labs 社が提供する HMD 向けのアタッチメント付きの両眼の視線計測装置を調達し，これを通研北村研究室で保有する HTC 社の VIVE に取り付けた．これにより HMD を装着したユーザの両眼の視線方向を 120Hz で取得することができる．

バーチャル協調ミーティングスペースの構築：次に，視線情報を共有する遠隔ミーティングのソフトウエアを既存のライブラリを用いながら開発した．既存のバーチャルミーティングシステムは変更自由度が低いために，本研究では，将来の実験時に自由にカスタマイズができるように自前でソフトウエアを開発した．図 2 にその様子を示す．HMD User1 の視線情報は，アバタ 1 に重畳して表示される．例えば，図では，二人のユーザが一つの資料を共有し，その上に，それぞれのユーザの視線方向をレイで表現した．HMD User2 も，それらの情報を共有ミーティングスペース内で同様に見ることができる．これにより，お互いがそれぞれの注目点や関心を認識したうえで会話や協調的に資料を閲覧することができ

るため，より円滑な作業が期待できる．なお，本来では，二台の視線追跡装置付き HMD をかけたユーザがそれぞれ同じ共有ミーティングスペースに参加するが，現状では，視線計測装置付き HMD は一台しかないため，主と副の関係があるミーティング場面を題材とした．

視線情報可視化アルゴリズム：視線情報を実際に可視化する際のアルゴリズムを開発した．視線自体は高速に揺らいでおり，そこから意味のある視線のみを抽出する必要がある．これには様々な方法があるが，現在，両眼の視線の滞留時間の加算平均値等を利用することにより，会議や協調作業の進行に寄与する視線の情報を安定的に取得できることが分かった．

視線情報に基づくスクリーンの最適化の検討：視線情報を集め，それらをどのようにして作業者間で共有すべきかを検討した．図３にヒートマップの例を示す．これは極端な例を示しているが，可視化が強すぎると，視線情報の理解は進むが共有情報の可視性を著しく低下させてしまう．他の方法として，注目を集めたスクリーンや領域をハイライトすることにより共同注視を促すなど，様々な方法を検討することができる．すべて VR 内での設計であるため，その自由度は無限に存在する．本研究では単純に重要箇所を別の領域に移動させることにより広大な作業スペースを利用しながらも協調作業における注意を分断させないようなインタフェースの検討を始めた．図３にて，移動したウィンドウは二人のユーザの最注目点を表している．





図１．頭部搭載型ディスプレイ内の視線計測装置

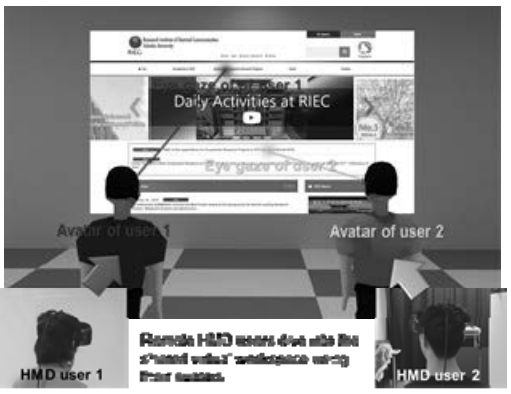


図2．開発したバーチャル協調ミーティングスペース



図3. バーチャル協調ミーティングスペースにおける視線情報に基づくスクリーンの動的最適化の例

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

協調作業における視線情報の有用性は従来から指摘されているが，複数人で視線情報を共有することの有用性や，その際の最適な視線情報の可視化方法に関する研究はほとんどなされていない．また，視線追跡装置を内蔵するヘッドマウントディスプレイが市販されつつあるが，仮想空間内での協調作業の支援についてもまだまだ検討が進んでいない．本研究の成果により視線情報の利用価値を大幅に高めることができると期待できる．また，北村研では，動的なオフィス空間の研究も実施しており，視線を使った複数人作業の状態識別やそれに基づいた各種ディスプレイの制御などへの応用も考えられる．視線計測そのものの研究は多いが，以上のようなバーチャルリアリティや動的空間ユーザインタフェースとの連係はユニークであり，興味深い研究領域を立ち上げることができると考えられる．本プロジェクトは一年目であり，本年度は次の展開のための土台作りに費やしたが，視線計測を研究する研究者は国内外に多く，次年度は周辺分野の研究者らに声をかけるなど研究者ネットワークの拡大や分野横断型の研究に発展させていきたい．

［４］成果資料

なし

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A20

包囲型スピーカアレイと音空間レンダリングによるオブジェクトベースオーディオの試み

［1］組織
研究代表者
土屋　隆生（同志社大学理工学部）
通研対応教員
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
大谷　真　（京都大学大学院工学研究科）
青山　澪　（同志社大学大学院理工学研究科）
竹貫　一生（同志社大学大学院理工学研究科）
大川　直紀（同志社大学大学院理工学研究科）
坂本　大地（同志社大学大学院理工学研究科）
延べ参加人数：8 人
研究費
物件費　97,000 円
旅費　189,000 円

［2］研究経過

まず，本プロジェクトの研究目的を簡単に述べる。立体的な音場を表現・再生する技術の一つとして，オブジェクトベースオーディオ(OBA)が注目を集めている。これは，音波を発するものすべてを音響的なオブジェクトと見なし，各オブジェクトの音源波形と共に音源座標，音量などの時系列データを基に，オブジェクトの3次元的な位置や動きをマルチチェンネルスピーカで再現する技術である。商用的には，ドルビー社が主に映画館などの大規模な音響システム向けに提供しており，次世代の音響基盤技術の一つとしてハリウッド等の映画業界では注目されている。しかしながら現状のOBAは，オブジェクト位置により駆動するスピーカの音量を配分・調整するパンニング方式で制御されており，物理的な妥当性に乏しいことが指摘されている。

本共同研究の目的は，オブジェクトの位置や動きにより変化する音響信号の計算に音空間レンダリングを適用し，電気通信研究所に設置されている157ch包囲型スピーカアレイシステムに出力することで，物理的に妥当なOBA技術を開発・評価することにある。音空間レンダリングは,仮想的な3次元音響空間に対し，物体形状を考慮した音波伝搬計算を行い，任意の聴取点で計算された音響信号を可聴化する技術で，画像分野の画像レンダリング技術に対応する技術である。これまで申請者らの研究グループは，通研に設置されている包囲型スピーカアレイシステムを用いて様々なレンダリングを実施してきた。その結果，CD並(サンプリング周波数40 kHz)の音質で中規模コンサートホールを超える容積(7,000 m^3)のレンダリングが実施可能で，自然で立体的な音響空間の表現が可能であることを示した。本研究では，音空間レンダリングに音源移動のアルゴリズムを組み入れてOBAレンダリングを実施し，その妥当性を評価する。また，インパルス応答の切替による移動音源の新たな表現方式についても検討し，その妥当性を検証する。最終的には，OBAレンダリングをベースとした高自由度で人間と調和可能な多チャンネル立体音響システムの実現を目指す。

本プロジェクトは，本年度が第2年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

・H30年8月に電気通信研究所で開催された電気音響研究会の際に，研究の進め方に関する打ち合わせを行い，移動音源に関する実験を実施した。

・H30年9月に大分大学で開催された音響学会秋季研究発表会の際に，研究の進捗状況について打合せを行った。

その他の研究会，研究討論会，研究発表会，研究集会等は開催しなかった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず，移動音源をインパルス応答を用いて表現する手法を検討した。音源波形を $s(t)$，受音点でのインパルス応答を $h(t)$ とすると，音源が静止している場合に受音点で受音される音響信号 $p(t)$ は

$$p(t) = \int s(\tau)h(t-\tau)d\tau = (s * h)(t)$$

という畳み込み積分で表現される。ただし，$*$は畳み込み積分を表す。これまでの音空間レンダリングでは，インパルス応答 $h(t)$ を Compact Explicit Finite Difference-Time Domain (CE-FDTD)法などで予め数値的に計算しておき，無響室録音された音源信号 $s(t)$ を畳み込むことでレンダリング信号を計算していた。しかしながら，この畳み込み法では移動音源の場合，音源と受音点の位置関係が刻々と変化するため，それに伴いインパルス応答 $h(t)$ も刻々と変化することになり，畳み込み法はそのままでは使用できない。

そこで，昨年度はインパルス応答の畳み込み演算による従来の手法ではなく，FDTD 法による計算の際に音源を移動させながら音源波形 $s(t)$ を放射し，受音点における信号 $p(t)$ を畳み込み演算によらずに直接計算する直接法を検討した。この手法は，音源の移動経路上にある FDTD のグリッド点を音源位置に応じて次々と切り替えて駆動するものである。これにより，移動音源から放射される音波が，物理的に妥当に計算できるようになったが，計算時間が非常に掛かると言う問題に直面した。これは，従来のインパルス応答の計算では，音波が音速で伝搬するため短時間で応答が収束することから計算時間がそれほど必要ないのに対し，直接法では音源の移動速度が音速に比べてはるかに遅いため，音源の移動時間分の計算が必要になるためである。

これに対処するために，本年度は移動音源をインパルス応答により表現する新たな手法を検討した。移動音源の場合，インパルス応答は時刻tのほかに音源位置 $r(t)$ の関数 $g(t,r(t))$ になる。したがって，受音点における信号は

$$p(t) = \int s(\tau)g(t-\tau, r(\tau))d\tau$$

で表されることになる。離散システムで考えると，離散時刻 k における受音点の応答は

$$p(k) = \sum_{m=0}^{k} s(m)g(k-m, r(m))$$

で表される。これは，インパルス応答が音源位置に依存して変化する時変システムであることを意味する。したがって，受音点における応答 $p(n)$ を得るためには，離散時刻 m における音源位置 $r(m)$ と受音点の間のインパルス応答 $g(n,r(m))$ を音源経路上のすべての音源位置で知っておく必要がある。FDTD 法でインパルス応答を計算する場合，音源が 1 つであれば複数の受音点でのインパルス応答を計算するのは容易であるが，複数の音源によるインパルス応答を計算する場合は，一般的に音源の数だけ計算を繰り返す必要がある。しかしながら，受音点が 1 つの場合は複数音源であっても相反性を利用すれば，受音点位置からインパルスを放射し，複数の音源位置で応答を計算することで容易にインパルス応答が得られる。

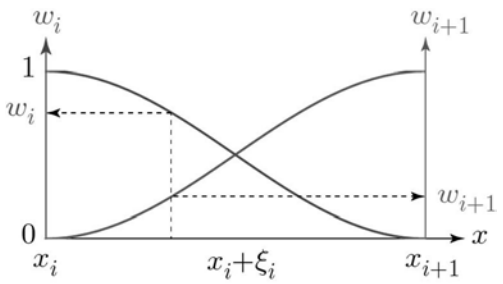


Fig.1 音源重み関数

ただし，この場合問題が 1 つ存在する。それは，音源位置 $r(m)$ 必ずしもグリッド点上にない場合があることである。その場合は，近傍のグリッド点のインパルス応答に重み関数を導入して補間することになる。音源が Fig. 1 のようにグリッド点 i（座標 x_i）とグリッド点 $i+1$（座標 x_{i+1}） の間 $x_i+\xi_i$ にあるとき，音源重み関数は次式で与えられる。

$$w_i = \frac{1+\cos(\pi\xi_i/\Delta)}{2}$$

ここで，Δはグリッド間隔である。また，w はグリッド点に分配された重みで，$w_{i+1} = 1 - w_i$である。したがって，音源位置におけるインパルス応答は

$$g(n,m) = w_i g(n,i) + w_{i+1} g(n,i+1)$$

で補間可能である。このような重み関数は，2 つのオーディオ信号を切り替える際のクロスフェードを空間に適用したものとして考えることができる。

つぎに，上記定式化の精度検証のために数値実験を行った。Fig.2 は移動音源シミュレーションのための 2 次元数値モデルである。領域の大きさは 5 x 5 m^2 で，これを 10 mm の正方形セルで離散化している。したがって，全体を 5000 x 5000 のセルで分割していることになる。音源は，$x = 0.5\sim2.5$ m の位置を直線上に，左から右へ等速度で移動するものとした(図中の矢印)。計算条件として，CFL 数は 1.0，周囲空間の境界条件は Higdon の 2 次吸収境界条件とした。また，畳み込み法では，相反性に基づき音源と受音点を入れ替えて計算する。その場合，$x = 0.5\sim2.5$ m の直線上

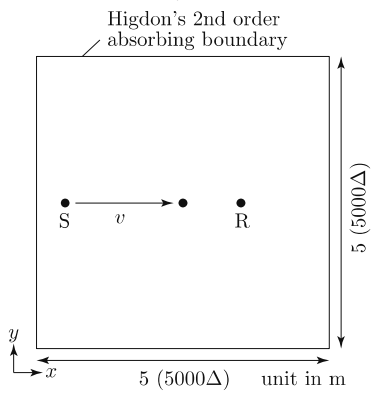


Fig.2 移動音源のための数値モデル

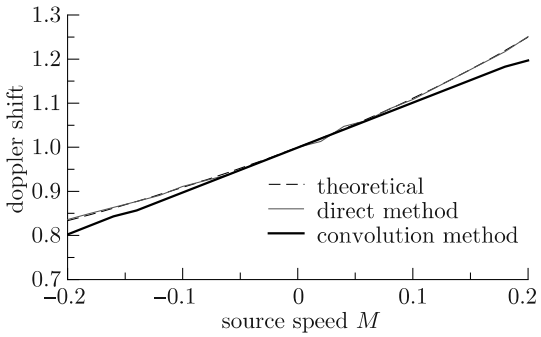


Fig.3 ドップラー効果による周波数変化

に位置するすべてのグリッド点を受音点として，インパルス応答を計算する(合計2001点)。

Fig.3 は，音源周波数を500Hz，移動速度をマッハ数$M = -0.2\sim0.2$ ($v = -68\sim68$ m/s)としたときのドップラーシフトの計算結果である。ただし，負の音源速度は，音源が受音点に対して遠ざかることを意味しており，Fig.2 のモデル図において音源の移動経路を逆に取っている。図中の細線で表されている直接法は，破線の理論値とこの速度範囲でよく一致しており，精度良く移動音源が表現できている。一方，太線で示している畳み込み法は，マッハ数の絶対値が0.1を越える辺りから，誤差が大きくなっている。これは，インパルス応答の補間が空間に対してのみで，時間に対しては行っていないことが一因であると考えられる。ただし，現実的にはマッハ数が0.1以下である場合がほとんどであると考えられ，畳み込み法でも十分な精度で移動音源をレンダリングできることが示された。さらに，反射体をモデル内に設置し，反射波についても数値実験を行ったところ，ほぼ同程度の精度でドップラー効果が計算でき，本手法は反射波に対しても有効であることが示された。

表1は，両手法による計算時間の比較である。移動距離(2m)が固定されているので，直接法では移動速度が遅いほど計算時間が掛かっているが，畳み込み法は移動速度によらず一定である。したがって，移動速度10m/s では1.2倍の高速化率に過ぎないが，1m/s では12倍もの高速化率が達成されている。このように，畳み込み法は，音源速度が遅いほど効果を発揮する。さらに，畳み込み法は畳み込みの際に音源移動を考慮するため，インパルス応答を再計算しなくても，後から自由に音源速度を変更できることも大きな利点である。音源の移動経路が複数であっても，インパルス応答の計算さえ完了していれば，音源経路・速度を自由に変更できるのは大きなメリットと考えられる。同じことを直接法で計算しようとすると，すべての条件について再計算が必要となり，膨大な計算時間を必要としてしまう。

最後に，レンダリング結果を包囲型スピーカアレイに出力して聴覚実験を実施した。1〜10 m/s の音源速度の範囲でピンクノイズを発する点音源を様々な軌道についてレンダリングした(計算時間約10,000 s)。聴取したところ何れの場合でもドップラー効果を伴って，自然な音源移動が確認された。

表1 直接法と畳み込み法の計算時間の比較

移動速度 (m/s)	直接法 (s)	畳み込み法		
		インパルス応答(s)	畳み込み (s)	合計 (s)
1	567.3	46.52	0.89	47.41
10	56.90	46.52	0.89	47.41

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が活性化したことから，今後大型プロジェクトへの発展が期待できる。また，本プロジェクトで対象としている音空間レンダリング技術は，現在ゲームなどで進展の著しいVR/AR 技術にも積極的な応用が可能であることから，さらなる応用分野の拡大が期待できる。

［4］成果資料(含関連資料)

（1）松下　翔，土屋隆生，″全方位に対応したバイノーラルレンダリングの試み″，日本音響学会2018年春季研究発表会，2-P-27 (2018).

（2）竹貫一生，神原拓也，土屋隆生，長谷川光司，″音空間レンダリングによる薬師堂の鳴竜の再現″，電子情報通信学会技術研究報告，EA2017-122 (2018).

（3）T. Tsuchiya, I. Takenuki (M2), and K. Sugiura, ″Sound field renderer with loudspeaker array using real-time convolver,″ AES Conf. Spatial Reproduction, PP-5 (2018).

（4）土屋隆生，金森正史，高橋　孝，″マッハカットオフ再現を目指した温度勾配を持つ大気中の線形音波伝搬解析，″ 日本音響学会 2018 年度秋季研究発表会，1-8-10 (2018).

（5）T. Tsuchiya, M. Kanamori, and T. Takahashi, ″Numerical analysis of linear wave propagation in the atmosphere with temperature gradient for Mach cutoff reproduction,″ Proc. Sympo. on Ultrason. Electron., 39, 2P2-15 (2018).

（6）土屋隆生，金森正史，高橋　孝，″マッハカットオフ再現を目指した温度勾配及び速度擾乱を持つ大気中の線形音波伝搬解析，″ 第56回飛行機シンポジウム 1E16, JSASS-2018-5073 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A21

非線形系・複雑系理論の
実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究

［1］組織

研究代表者

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

安達 雅春（東京電機大学工学部）
池口 徹，長谷川 幹雄，黒田 佳織，島田 裕，
藤原 寛太郎（東京理科大学工学部）
神野 健哉（東京都市大学工学部）
木村 貴幸，進藤 卓也，松浦 隆文（日本工業大学工学部）
関屋 大雄，小室 信喜（千葉大学大学院融合理工学府）
引原 隆士（京都大学大学院工学研究科）
安東 弘泰（筑波大学システム情報系）
黒川 弘章（東京工科大学工学部）
加藤 秀行（大分大学工学部）
高橋 亮（愛知工科大学工学部）
麻原 寛之（岡山理科大学工学部）
小林 幹（立正大学経済学部）
菅野 円隆（福岡大学工学部）
橘 俊宏（湘南工科大学工学部）
保坂 亮介（福岡大学理学部）

延べ参加人数：42 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	301,000 円

［2］研究経過

最新の非線形系および複雑系の理論を、実在する非線形・複雑工学システムに応用することにより、より効率的で高性能な工学システムを実現すると共に、実在システムから得られた知見を理論研究に還元することにより、理論研究と実装技術の相補的な深化をはかることが本研究の目的である。そのため、本研究では、幅広い非線形系・複雑系で共通に見られる普遍的性質や最新理論を活用して、具体的な工学システムの解析や設計を行う。同時に、これらの実在工学システムの解析・設計から得られた知見を、非線形系・複雑系の理論研究に還元し、理論研究と実装・実験研究との循環を図る。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本年度は2年目である。そこで、昨年立ち上げた「非線形系・複雑系理論応用研究会」を、関連の深い 2 つの共同プロジェクト研究、【H30/B12】「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」と【H30/B17】「非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究」、及び、12 大学合同で開催している「非線形ワークショップ」との合同で下記の様に開催した。

[1] 平成 30 年度　非線形系・複雑系理論応用研究会；平成 31 年 2 月 16 日，17 日

東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟 4 階 A401 室、A402 室

1. 『負荷非依存 E^{-1} 級増幅器』、関屋 大雄（千葉大学）
2. 『時間遅れフォードバックを用いた位相スリップの制御』、安東 弘泰（筑波大学）
3. 『多次元カオス力学系に基づく多点探索型最適化手法の実現に向けて』、山仲 芳和（宇都宮大学）
4. 『MOSFET の寄生容量を考慮した E 級発振器の解析と設計』、海老原 史弥（千葉工業大学）
5. 『離散時間カオス力学系を用いた多点探索型最適化手法の回路実装とその応用について』、疋田 葉留（長岡技術科学大学）
6. 『Analysis of single-diode rectifiers with harmonic resonance』、ASIYA（千葉大学）
7. 『カオスダイナミクスを用いたシュタイナー木問題の解法について』、藤田 実沙（東京理科大学）
8. 『グラフ距離を用いた実ネットワークの解析』、毛　福佳（東京理科大学）
9. 『D 級整流器を用いた高周波磁界共鳴型無線電力伝送システムにおける最大効率追従制御』、原 誉志郎（千葉大学）

10.『一般道路における車線検出器の構築』、加藤 諒（東京電機大学）
11.『音色を考慮したニューラルネットワークによる自動作曲』、柴田　透（東京電機大学）
12.『蝸牛に基づく無反射伝送線路モデルの回路実装に向けての考察』、織間 健守, 堀尾 喜彦（東北大学）
13.『スピントロニクス素子を用いた STDP に基づくハードウェア実装に向けた考察』、佐藤 拓, 堀尾 喜彦（東北大学）
14.『拡張 Lorenz 写像に基づく疑似乱数生成器のハードウェア実装に向けて』、宮内 清孝, 堀尾 喜彦（東北大学）
15.『Golden Ratio Encoder 集積回路の測定』、キムジェヒョン, 堀尾 喜彦（東北大学）
16.『拡張 Lorenz 写像に基づく暗号通信プログラムの実装』、高橋 惇人, 堀尾 喜彦（東北大学）
17.『カオスニューラルネットワークリザバー』、堀尾 喜彦（東北大学）
18.『区分線形系粒子群最適化法における回転不変性の解析』、佐々木智志（湘南工科大学）
19.『熱電用電力変換回路』、麻原 寛之（岡山理科大学）
20.『低スイッチ電圧ストレス E 級発振器の解析および設計』、魏　秀欽（千葉工業大学）
21.『翻訳後修飾（PTM）の概念に基づく電力パケット伝送系の機能生成』、引原 隆士（京都大学）
22.『数理モデルを用いたメトロノーム同期の解析』、池口　徹（東京理科大学）
23.『群知能最適化の局所および大域探索能力に関する考察』、神野 健哉（東京都市大学）

参加人数：28 名

なお、これらの発表原稿は、平成 30 年度非線形系・複雑系理論応用研究会 アブストラクト集 として纏めた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、最適化問題に関して、群知能最適化の性能の解析や回転不変性の提案、シュタイナー木問題解法の提案、多点探索型最適化の提案及び回路実装など行った。

第 2 に、電力システムに関して、E 級、D 級コンバーターの解析・設計・最適制御手法の提案や、新たに E^{-1} 級増幅器の提案、さらには、電力パケット伝送系における機能生成に関する基礎的考察を行った。

第 3 に、無線通信システムに関して、複雑ネットワーク理論を応用した周波数リソースの動的割当てやその最適化アルゴリズムの提案と実証実験を行った。

第 4 に、脳の情報処理については、カオスニューラルネットワークリザバーを提案した。また、Spike Timing Dependent Plasticity に基づく学習アルゴリズムのスピントロニクス素子による実装について検討した。また、自動作曲や車線検出などへの応用も行った。

第 5 に、スイッチト・カレント回路を用いて集積回路化した、黄金比を変換基底とする新しい A/D 変換集積回路の測定・評価を行った。

（3－2）波及効果と発展性 研究分野への貢献など

本プロジェクトには幅広い分野の研究者が参加しており、本研究を通して、複雑系・非線形系を核とした異分野間の交流が活発かつ円滑に行われた。この結果、科研費基盤研究(S)と(A)の申請に繋がった。

また、本研究の学術分野への貢献として、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ・非線形問題研究会および複雑コミュニケーション科学研究会に大きな影響を与えると共に、複数の国際シンポジウムでのスペシャルセッションの企画をすることができた。

本研究の成果により、実在する複雑工学システムの普遍的性質が少しずつ明らかになりつつあり、これにより、新しい複雑工学システムの設計・制御論が創造されるものと期待される。

［4］成果資料

(1) Y. Horio, N. Ichinose, and M. Ogawa, "Experimental verification of quasi-periodic-orbit stabilization using a switched-capacitor chaotic neural network circuit," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 218-230, DOI: 10.1587/nolta.9.218, 2018.
(2) N. Ichinose, Y. Horio, and M. Ogawa, "Statistical test of quasiperiodicity in the presence of dynamical noise," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 231-242, DOI: 10.1587/nolta.9.231, 2018.
(3) Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in Understanding Complex Systems, V. In,P. Longhini. A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, 2019.
(4) Y. Itoh and M. Adachi: “Bifurcation diagrams in estimated parameter space using a pruned extreme learning machine,” Physical Review E, Vol.98, 013301, 2018.
(5) Y. Itoh and M. Adachi: "Reconstructing Bifurcation Diagrams of the Duffing Equations," Proc. Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.243-246, 2018.
(6) K. Oyamada, H. Kameoka, T. Kaneko, K. Tanaka, N. Hojo, H. Ando, "Generative adversarial network-based approach to signal reconstruction from magnitude spectrogram," in Proc. European

Signal Processing Conf., pp. 2528-2532, 2018.
(7) H. Ando, T. Hikihara, “A bio-inspired power sharing model in consensus networks,” in Proc. Int. Symp. on Nonlinear Theory and its Applications, pp.84-85, 2018.
(8) H. Ando, R. Takahashi, S. Azuma, M. Hasegawa, T. Yokoyama, T. Hikihara, “A resource sharing model in a power packet distribution network,” in Proc. Int. Power Electronics Conf., pp.3665-3669, 2018.
(9) M. Sanchez, T. Okuda, and T. Hikihara, "Stabilization of mode in imbalanced operation of matrix converter by time-delayed feedback control," Int. J. of Circuit Theory and Applications, John Wiley, DOI: 10.1002/cta.2556, 2019.
(10) S Nawata, A. Maki, T. Hikihara, “Power packet transferability via symbol propagation matrix,” Proc. R. Soc. A 2018 474 20170552; DOI: 10.1098/rspa.2017.0552. 2018.
(11) S. Nawata, R. Takahashi, and T. Hikihara, “Design possibility for covert power packet transfer using asynchronous sampling,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9 Issue 3, pp. 374-381, 2018.
(12) 矢部洋司, 欧陽有界, 中川正基, 宇都宮健介, 永島和治, 関屋大雄, 田中久陽, 「注入同期型 E 級発振器のロックレンジを最大化する入力波形の設計と実験検証」電子情報通信学会和文論文誌 A, vol.J101-A, no.10, pp.250-259, 2018.
(13) A. Lotfi, A. Medi, A. Katsuki, F. Kurokawa, H. Sekiya, M.K. Kazimierczuk, and T. Suetsugu, “Subnominal operation of class-E nonlinear shunt capacitance power amplifier at any duty ratio and grading coefficient,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 65, no. 10, 2018.
(14) S. Ikuma, Z. Li, T. Pei, Y.J. Choi, and H. Sekiya, “Rigorous analytical model of saturated throughput for the IEEE 802.11p EDCA,” IEICE Transactions on Communications, 2019.
(15) S. Nawata, R. Takahashi and T. Hikihara, “Design possibility for covert power packet transfer using asynchronous sampling,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. E9-N, no. 3, pp. 374-381, 2018.
(16) R. Takahashi, Y. Zhou, N. Yoshida, S. Nawata, N. Fujii, and T. Hikihara, “A study on physical behavior of power packet congestion in power packet router,” Proc. Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 79, 2018.
(17) 松下春奈, 富村祐翔, 黒川弘章, 高坂拓司,「1 次元離散力学系における入れ子構造型粒子群最適化法によるサドルノード分岐点導出」電気学会論文誌 C, vol.138, no.12, pp.1646-1647, 2018.
(18) H. Matsushita, H. Kurokawa and T. Kousaka, “Saddle-node bifurcation parameter detection strategy with nested-layer particle swarm optimization,” Chaos, Solitons & Fractals, vol. 119, pp. 126-134, 2019.
(19) T. Komai, S.J. Kim, H. Matsushita, T. Kousaka, H. Kurokawa, “Similarity analysis of Rock-Scissors-Paper game strategy using homology search," in Proc. NCN18, pp.29-32, 2018.
(20) H. Tsushima, T. Matsuura, “Local search method for multiple-vehicle bike sharing system routing problem,” J. of Signal Processing, vol. 22, no. 4, pp. 157-160, 2018.
(21) T. Shindo, T. Hiraguri, K. Jin’no, “Analysis of particle swarm optimization with individual dropout," in Proc. Int. Symp. on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 288-291, 2018
(22) R. Nomura, Y.Z. Liang, K. Morita, K. Fujiwara, and T. Ikeguchi, “Threshold-varying integrate-and-fire model reproduces distributions of spontaneous blink intervals," PLoS ONE, vol. 13, no. 10, e0206528. 2018.
(23) S. Rai, M. Aoki, Y. Shimada, K. Fujiwara, and T. Ikeguchi, “Investigation of ISO generated by dopaminergic modulation and inhibitory synaptic learning," in Proc. Int. Conf. on Mathematical NeuroScience, 2018.
(24) M. Naruse, T. Mihana, H. Hori, H. Saigo, K. Okamura, M. Hasegawa, A. Uchida, “Scalable photonic reinforcement learning by time-division multiplexing of laser chaos," Scientific Reports, vol. 8, 10890, 2018.
(25) K. Oshima, T. Kobayashi, Y. Taenaka, K. Kuroda, M. Hasegawa, “Wireless network optimization method based on cognitive cycle using machine learning," IEICE Communications Express, vol. 7, no. 7, pp. 278-283, 2018.
(26) J. Ma, T. Nagatsuma, S.J. Kim, M. Hasegawa, “A Machine-learning-based channel assignment algorithm for IoT," in Proc. of Int. Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication, pp. 467-472, 2019.
(27) H. Asahara, T. Kousaka, “Stability analysis method using Monodromy matrix for impacting systems," IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E101-A, no. 6, pp. 904-914, 2018.
(28) H. Asahara, T. Kousaka, “Stability analysis of state time dependent nonlinear hybrid dynamical systems," IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, DOI:10.1002/tee.22807, 2018.
(29) T. Kimura, “Congestion avoidance on networks using independent memory information,” in Understanding Complex Systems, V. In,P. Longhini. A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, 2019.

採択回数	1	2	3

（先端・萌芽・国際）

採択番号：H29/A22

多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究

［1］組織
研究代表者：本多　明生
（静岡理工科大学情報学部）
通研対応教員：坂本　修一
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
Ewan Macpherson （School of Communication Sciences and Disorders）

延べ参加人数：４人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	269,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

大容量通信が可能となった現在，次世代通信技術には「量」だけでなく，高臨場感が得られる「質」を兼ね備えた情報通信システムの構築が求められている。そのようなシステムを構築するうえでは，システム内でユーザが示す様々な反応から得られる情報をシステムに適切に反映させることが重要となる。

研究代表者は，上述の考えのもと，通研担当教員とともに，これまで，人間の多感覚音空間知覚過程の解明に取り組んできた。特に，平成26年度から平成 28 年度までは東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト（先端的研究推進型・若手研究者対象型)「動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究」（採択番号: H26/A13）として，研究活動を行った結果，頭部運動が行われている最中に音像を移動させた場合は，聴取者は音像の移動を検知できなくなることを示唆する知見を得ることができた（例えばHonda et al., 2016）。この知見は，多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解するうえで重要な研究成果である。

聴覚を中核とする多感覚情報処理過程を解明するためには，我々が実世界から得られる動的な手がかりをどのように時間的に統合しているのかを解明することが必要となる。研究代表者と通研担当教員は，これまでの共同研究によって，動的な手がかりが音空間知覚に及ぼす影響を明らかにしてきたが，その時間特性に関しては検討してこなかった。この背景から，本研究では，研究代表者と通研担当教員のこれまでの共同研究を発展させることによって，その情報処理過程の時間特性を明らかにしたいと考えている。

平成29年度と平成30年度は音像定位精度における聴取者の身体回転と音持続時間の効果を調べた。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

(1) 2018年5月18日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。
(2) 2018年7月6日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。
(3) 2018年8月7日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。
(4) 2018年9月28日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。
(5) 2018年11月29日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。
(6) 2019年2月7日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。
(7) 2019年2月20日～21日：国際共同研究推進型の支援を得て，動的聴取に関する先駆的な研究を行っているW. Owen Brimijoin氏と多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究打ち合わせを行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

人間の多感覚音空間知覚における情報処理過程に関しては依然として不明確な部分が多い。例えば，聴取者の動的手がかりと音空間知覚の関係を調べた研究からは，聴取者の頭部運動によって得られる動的手がかりが音空間知覚に効率的に寄与することが報告されているが（例えばIwaya et al., 2003），その一方で，聴取者の頭部運動によって音空間知覚に歪みが生じることも報告されている（Cooper et al., 2008）。

研究代表者は，通研担当教員とともに，世界に先駆けて，頭部運動が行われている最中に音像を移動させた場合は，聴取者は音像の移動を検知できなくなることを示唆する知見を得ることができた（Honda et al., 2016）。

聴覚を中核とする多感覚報処理過程を解明するためには，我々が実世界から得られる動的な手がかりをどのように時空間的に統合しているのかを明らかにすることが必要となる。この考えに基づき，本研究では，東北大学電気通信研究所が所有している，身体運動対応型の音空間知覚実験システムを用いた心理実験を行うことで，人間の多感覚音空間知覚における時間特性を検討した。

その結果，聴取者の受動的な身体回転は，身体回転がない場合と比べて，水平面定位精度を高めること，そして音刺激の呈示時間は水平面定位精度には寄与しないことが示された。研究成果の一部は，国際学術誌ならびに国際会議において発表した。

これらの高い研究成果は，研究代表者が東北大学を頻繁に訪問し，共同研究者と数多くの打ち合わせと実験を実施し，積極的・効果的に研究を行うことが可能になったことによって実現できたものである。

さらに平成30年度は，国際共同研究推進型の支援を得て，動的聴取に関する先駆的な研究を行っているW. Owen Brimijoin氏とディスカッションを行い，研究成果を発展させるための有益な知見を得た。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究では，東北大学電気通信研究所が所有している，身体運動対応型の音空間知覚実験システムを用いた心理実験を行うことで，人間の多感覚音空間知覚における時間特性を検討した。

その結果，聴取者の受動的な身体回転は，身体回転がない場合と比べて，水平面定位精度を高めること，そして音刺激の呈示時間は水平面定位精度には寄与しないことが示された。

人間の多感覚音空間知覚における情報処理過程に関しては依然として不明確な部分が多いことから，本研究から得られた知見は，能動的な情報処理系として人間を理解する際に示唆に富んだ知見であり，本研究からは，我々が実世界から得られる動的な手がかりをどのように空間的に統合しているのかを理解するうえで重要な知見が得られたといえる。

本研究で活用した実験装置は，心理学，医学などをはじめとした人間の音空間知覚メカニズムを新しい視点から探求するための実験ツールとして用いることが可能である。さらに，研究成果を工学的に応用することによって，聴覚ディスプレイをはじめとする様々な音環境提示装置の高度化の実現やそのような装置を基盤とした高臨場感・超臨場感通信技術を創生することができるだろう。

［4］成果資料

(1) Honda, A., Tsunokake, S., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2018). Effects of Listener's Whole-Body Rotation and Sound Duration on Horizontal Sound Localization Accuracy. Acoustical Science and Technology, Vol. 39 (4), 305-307.【査読付き論文】

(2) Honda, A., Masumi, Y., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2018). Effect of Passive Whole-Body Rotation on Sound Localization Accuracy of Listener Subjective Straight Ahead. Tohoku Universal Acoustical Communication Month 2018: Seminar on The Spatial Aspects of Hearing and Their Applications, October 29-30, Sendai, Japan.

(3) Maeda, K., Honda, A., Sakamoto, S., & Suzuki, Y. (2018). Accuracy of Subjective Straight Ahead after Passive Rotation of Listeners: Effect of Time Interval between Visual Cue and Onset of Sound Stimulus. Tohoku Universal Acoustical Communication Month 2018: International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018, October 22-24, Sendai, Japan.

(4) Honda, A., Maeda, K., Sakamoto, S., & Suzuki, Y. (2019). Accuracy of Subjective Straight Ahead after Passive Rotation of Listeners. 東北大学電気通信研究所平成30年度共同プロジェクト研究発表会, 2019年2月21日, 東北大学電気通信研究所.

採択回数	1	2	3

（萌芽・国際）

採択番号：H29/A23

Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiences

［1］組織

研究代表者
Sungyoung Kim (Rochester Institute of Technology)

通研対応教員
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
大谷　真（京都大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：3 人

研究費

物件費	97, 000 円
旅費	194, 000 円
国際特別支援費	220, 000 円

［2］研究経過

2.1. Summary of 2017 experiment

The goal of the overall research theme is to determine a relationship between understanding an immersive environment and overhead ambiences. Through this Nation-wide Coorporative Research Project, the principal investigator (PI), Dr. Sungyoung Kim, set a research aim to discover a latent relationship between listeners' auditory immersive impression and a reproduction room's acoustic condition. In the previous year (2017), Dr. Kim visited RIEC and captured binaural responses of multichannel music stimuli at the RIEC anechoic room. These music stimuli were specially recorded and mixed for the NHK 22.2-channel sound system.

To date, many recording engineers have relied on their own mixing room acoustics as a reference. Their mix output, as a stereo sound file, has been believed as being "transparent" in another room. However, there are unavoidable opinions doubting such "transparency" or sonic compatibility in multiple listening environment. What about a multi-channel reproduced sound field? Can we experience homogeneous sonic experience over multiple listening environments? This question has not been systematically answered yet. To answer this question through a controlled experiment, Dr. Kim recorded binaural signals at the RIEC anechoic room which can serve as the perfect experimental reference free from potential influence(s) from room acoustics.

Subsequent listening experiment result revealed that an "immersive impression" of multichannel-reproduced music is well preserved and listeners could recognize it regardless of listening environment characteristics. In other words, comparing to a 2-channel format, a multi-channel format is much more tolerant to room acoustic related influences.

2.2. A new listening experiment

The new research question is whether the previous finding would apply for various listener groups. In other words, PI wants to know generalizability of the previous study result. PI replicated the listening test and collected additional data from three universities: Tokyo University of the Arts (Tokyo, Japan), RIT (Rochester, USA), and Tohoku University (Sendai, Japan) in this research period.

In particular, Dr. Kim visited Tohoku University and conducted the listening experiment through the support from Nation-wide Coorperative Research Project from November 16th to 24th 2018. This also gives an education opportunity to aurally compare various room-induced influences for participants.

［3］成果

（3－1）研究成果

Including previous data from McGill University, total four listener groups' data were analyzed to determine existence of any group-dependent influence. A three-way Mixed ANOVA (Analysis of Variance) was used. A listeners' preference ratings associated with immersive impression was the dependent variable (DV) while there were three independent variables (IDVs) including "ROOM" as the first Within-Subject IDV, "FORMAT" as the 2nd Within-Subject IDV, and "GROUP" as the Between-Subject IDV. The ROOM IDV indicates four rooms where four binaural recordings were made (RIT, Tokyo University of the Arts, McGill University, and Tohoku University); the FORMAT DIV indicates two reproduction audio formats (2-channel and 22-channel reproduction); and the GROUP DIV indicates four listener groups formed from four universities (RIT, Tokyo University of the Arts, McGill University, and Tohoku University).

Table 1 below shows the 3-way Mixed ANOVA Result. There was a statistically significant three-way interaction between the ROOM, FORMAT and GROUP on perceived preference (immersive impression), $F(9,108)=2.769$, $p = 0.006$, partial $\eta 2 = 0.187$. The used musical excerpt is "The Planets by G. Holst" which was used in the previous experiment as well. This significant interaction indicates that all three IDVs have inter-dependent relationship regarding to variance of the DV. The GROUP IDV cannot be negligible.

Table 1. 3-way Mixed ANOVA Result

Source	Type III S.S.	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
ROOM*GROUP	9577.59	9	1064.17	2.633	*p = 0.009*	0.180
FORMAT*GROUP	1110.04	3	370.01	1.056	*p = 0.380*	0.181
ROOM*FORMAT* GROUP	6188.12	9	687.56	2.769	*p = 0.006***	0.187
Error (ROOM*FORMAT)	26817.89	108	248.31			

Table 2. Summary of eight tests of within-subject effects for each group, testing the simple simple main effect of "ROOM.".

22.2-channel system		2-channel system	
GROUP	F-statistic & p-value	GROUP	F-statistic & p-value
1	F(3,45)=11.718 & p < 0.001**	1	F(3,45)=3.512 & p=0.023*
2	F(1.575,27)=3.335 & p=0.074	2	F(3,27)=14.87 & p < 0.001**
3	F(3,18)=0.17 & p=0.997	3	F(3,18)=4.841 & p = 0.012*
4	F(3,18)=0.505 & p=0.683	4	F(3,16)=4.981 & p=0.011*

Subsequently, each GROUP data (Between-Subject factor) were analyzed through four tests checking simple two-way interactions, the results of which show that there is a statistically significant simple two-way interaction between "ROOM" and "FORMAT" for the group 1, $F(3,45)=19.195$, $p<0.001$ and group 2, $F(3,27)=5.587$, $p=0.004$. However, there are no such significant simple two-way interaction for the group 3, $F(3,18)=2.182$, $p=0.125$ and group 4, $F(3,18)=3.677$, $p=0.032$ (at a Bonferroni-adjusted alpha level of 0.0125). This result shows that there is a clear group-dependent difference in reported DV.

In order to better understand, we conducted another set of analyses, checking a simple-simple main effect of the "ROOM" factor. The data then re-analyzed through four separated analyses for the groups, and two reproduction formats, the results of which are summarized in table 2 above. The results indicate that the main effect of "ROOM" is significantly different in both formats for the group 1, while only significant in the 2-channel format for the group 2, 3, and 4. In other words, for the group 1, a simple two-way interaction (ROOM*FORMAT) is significant while a simple simple main effect (ROOM) is significant for both formats main effects and interaction is significant. For the group 2, a simple two-way interaction (ROOM*FORMAT) is significant while a simple simple main effect (ROOM) is only significant for 2-channel audio format. For the group 3 and 4, a simple simple main effect (ROOM) is only significant for 2-channel audio format.

These results together imply that (1) there is a group-dependent difference in preference ratings (preference as spatial immersion), (2) the 22-channel audio format did not influence preferences of the group 2, 3, and 4 even at different

rooms.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The closing remark of previous year's experiment was that "when a music piece was reproduced through a 22.2-channel system, listeners perceived the similar spatial benefits of a reproduced sound field in any listening room even though these listening spaces had different dimensions and reflecting surfaces." However, this year's experiment result shows an additional component that cannot be negligible–listener group's profile.

The group 1 and 2 are North American (McGill and RIT) while the group 3 and 4 are Japanese (Tokyo University of the Arts and Tohoku University). As of now, it is too early to conclude that there exists a culture-induced or race-induced influenced influence on perceived immersion of multi-channel reproduced music. Yet, there have been some studies showing socio-cultural difference in judging spatial information.

In the upcoming year, Dr. Kim wants to conduct a bolder controlled experiment that will form two listener groups: inter-dependent and in-dependent group and compare their perceived immersion. To design such an experiment, Dr. Kim initiated discussion with Dr. Otani Makoto at Kyoto University. And the discussion will be expanded next year with outstanding researchers in the fields including Dr. Atsushi Marui at Tokyo University of the Arts, Dr. Tomasz Rutkowski at RIKEN and Dr. Shuichi Sakamoto at Tohoku University.

［４］成果資料

Dr. Kim is currently preparing an article for the upcoming Audio Engineering Society (AES) conference in New York (Oct, 2019) to present the study results.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(国際)

採択番号：H29/A24

Mind and environment interface: Human attention in the brain

［1］組織
研究代表者：
Jing-Ling Li（China Medical University, Taiwan）
通研対応教員：
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
Satoshi Shioiri（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：4 人
This project included three investigators, as well as one graduate student (Shin Ono).

研究費：

物件費	97, 000 円
旅費	140, 000 円
国際特別支援費	220, 000 円

［2］研究経過

This study examines the interaction between perceptual grouping and perceptual salience. To effectively process visual inputs, items that well-grouped with neighbors (grouping) or distinct to neighbors (salient) would capture attention and enjoy process priority. Nevertheless, these salient and well-grouped items not necessarily are the target. Thus suppression of these salient and well-grouped items is needed. The goal of this project is to understand the brain mechanism of the interaction between capture and suppression via EEG recording.

Our previous study established that a local target can be masked by a salient distractor which was grouped head-to-tail alignment (collinear masking effect, Jingling & Tseng, 2013). Therefore we modified the original task to fit the EEG recording requirement. Sixteen participants were recruited and a trained student, Shin Ono, helped on data collection and pre-analysis. The applicant (Li) visited RIEC twice with the support of this collaborative grant (i.e. June 21-28, 2018, for data pre-processing and analysis; and February 21-26, 2019, for further analysis and 共同プロジェクト研究発表会). The data collected were reported in three conferences: 2018 Vision Science Society, 2019 Taiwan Society of Cognitive Neuroscience Annual Meeting, and 平成 30 年度 共同プロジェクト研究発表会, RIEC.

［3］成果

（3－1）研究成果

This study aimed to separate the effect of capture and effect of suppression in the collinear masking effect. The basic phenomenon, the collinear masking effect, refers to the phenomenon that a target can be concealed by a salient but task-irrelevant collinear structure. Figure 1 illustrates the findings on behavioral results. The target, a tilted bar on top of one of the white bars, either overlapped with the collinear distractor or not. Results showed that overlapping target and distractor induced a slower and less accurate response than non-overlapping. That is to say, the salient collinear distractor captures attention but suppresses the target discrimination.

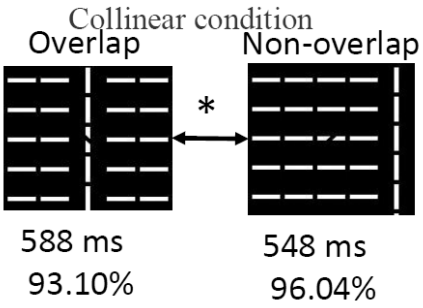
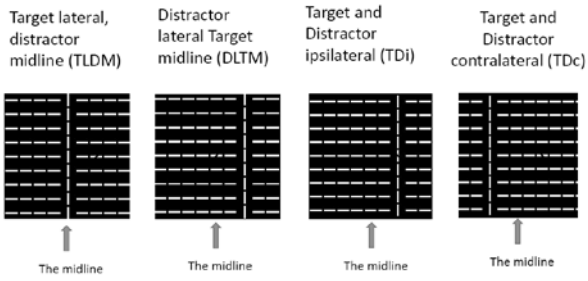


Figure 1. The behavior results replicated the collinear masking effect in that response was slower and less accurately when target overlapped with the distractor than non-overlapping.

Several ERP indices are useful to understand the interaction between capture and suppression. First, salient items or well-grouped items could elicit a P1 component soon after stimulus onset (e.g., Luck & Hillyard, 1994a,

1994b; Kerzel & Barras, 2016; Jannati et al., 2013). This salient or well-grouped item, if not relevant to current task, would be suppressed during target processing and induced a Pd component (Gaspar, Christie, Prime, Jolicoeur, & McDonald, 2016; Gaspar & McDonald, 2014; Jannati, Gaspar, & McDonald, 2013; Sawaki & Luck, 2010). Meanwhile, target processing per se, especially processing for salient targets, would induce N2pc component (Luck, 2012; Woodman & Luck, 2003; Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994a, 1994b). Finally, any unexpected but interesting inputs may elicit stimulus evaluation or categorization processing, which can be revealed by P3 component (Comerchero & Polich, 1999; Polich, 2003; 2007).

(A) The four categories according to midline of the search display for ERP data analysis



(B) Behavioral data of the above mentioned categories

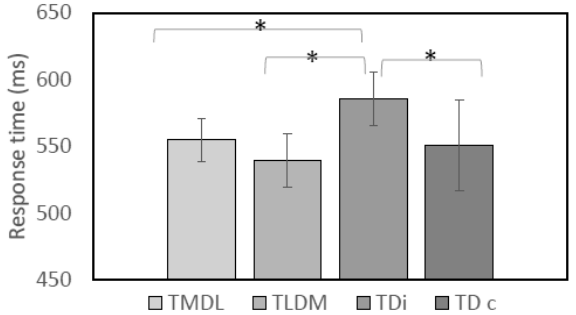


Figure 2. The four data categories to illustrate ERP signals (A) and their behavioral results (B).

To apply above mentioned ERP indices, we categorized our stimuli into four conditions as shown in Figure 2A. The key is to avoid conditions where the target was at the center because N2pc and Pd requires ERP signals differences from contralateral to ipsilateral. Behavioral data (Figure 2B) showed that among these four conditions, response was worse for TDi than the other three conditions (i.e., TLDM, DLTM, and TDc), which replicated again the collinear masking effect.

The ERP results were shown in Figure 4. When the distractor was at the side (e.g., DLTM and TDi), the signals showed high P1 components. Thus, regardless of whether target overlapped with the collinear distractor or not, the collinear distractor per se induced salient and well-grouped perceptual processing as revealed by P1 component. Meanwhile, only DLTM showed the Pd component, suggesting that the collinear distractor, if not overlapped with the target, would be suppressed. Meanwhile, target *per se* induced N2pc component, while the largest N2pc showed in TDc condition where the target was shown at the opposite side to the distractor. Overlapping targets with collinear distractors (TDi) showed the same amplitude of N2pc as the target alone (TLDM). Finally, only TDi condition generated a P3 component which imply a further stimuli evaluation processing going on.

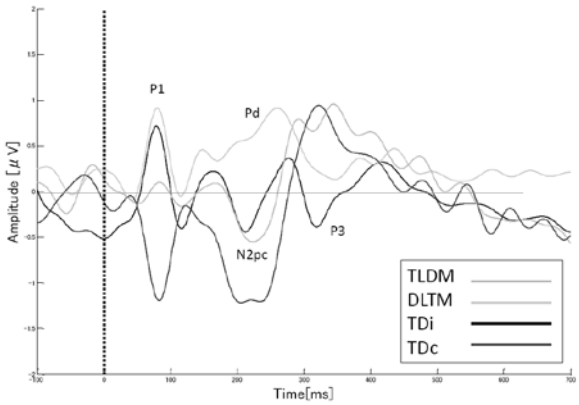
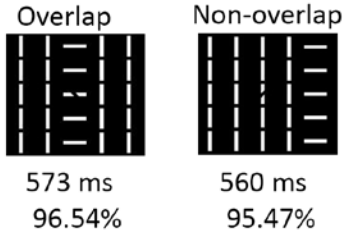


Figure 3. The ERP results of the search task with collinear distractors. The four categories are the same as that in Figure 2.

We had a control condition using a non-collinear distractor in the search display as shown in Figure 5. This control allows us to infer the unique contribution of the collinear masking effect compare to usual attentional capture phenomenon (e.g., the effect observed from the trials with non-collinear distractors). Behaviorally we did not found any significant differences (Figure 4) between overlap and non-overlap conditions. Thus, the collinear masking effect is unique in that with a collinear distractor the target overlapped with the distractor would become less visible.

(A) Part of display of the non-collinear distractor



(B) Behavioral results of the four EPR categorizes for the non-collinear distractor condition

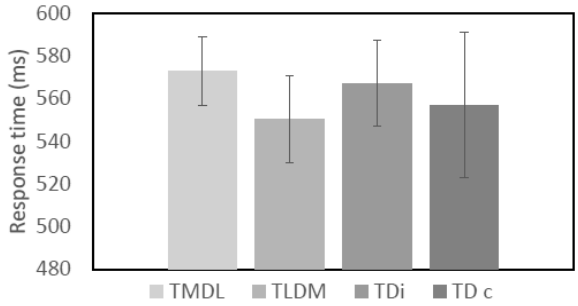


Figure 4. The stimuli (A) and results (B) of the non-collinear distractor condition. The four categories of (B) are the same as that showed in Figure 2.

The ERP indices of the data from trials with non-collinear distractors were shown in Figure 5. Note that P1, Pd, and N2pc components were all similar to that showed in Figure 4, excepting the P3 component. The control therefore confirmed our suggestion that the uniqueness of the collinear masking effect can be revealed by the P3 component.

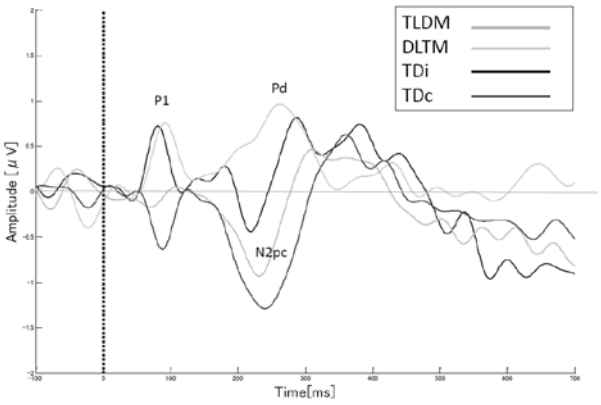


Figure 5. The ERP results of the search task with non-collinear distractors. The four categories are the same as that showed in Figure 2.

There are some implications from our data. First, the behaviorally observed collinear masking effect was not caused by perceptual inhibition because P1 component did not showed that TDi was different from DLTM. Secondly, the masking effect was not caused by distractor suppression since TDi generated N2pc but not Pd. Meanwhile, TDi is unique in generating P3 component comparing to all the other conditions, suggesting that stimuli evaluation on a relatively less frequent situation may explain the masking effect. Finally, the distractor suppression (Pd) was shown at the same time course as target processing (N2pc), suggesting that attentional enhancement works at the same time with inhibition. In other words, selection of the target would also inhibit non-targets at the same time. The collinear masking effect thus serves as a good tool to probe the mechanism of attentional selection.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The results of this project require more detailed analysis before it can be submitted to an international journal. Recently electrophysiological studies of attentional capture debated heatedly on distractor suppression which makes our research report a timely input to the community. Together with the applicant (Li)'s project on the brain imaging study on the collinear masking effect, the effect can be understood more completely in critical brain areas and in time course. This shared research topic project can make further connections between RIEC, China Medical University, and other related research sites.

With more data analysis we plan to further publish the study at an international journal to generate a higher impact.

［４］成果資料

(1) Li Jingling, Chia-huei Tseng, Shin Ono, Takumi Miura, and Satoshi Shioiri (January 26, 2019). N2pc and P3 decrement in the visual search with collinear grouping. Taiwan Society of Cognitive Neuroscience Annual Meeting, Hsinchu, Taiwan. Number of participants ~100.

(2) Li Jingling and Yen-Ting Liu (May 18-23, 2018). Factors that reduce grouping also decrease the collinear masking effect in visual search. 2018 Annual Meeting of Vision Sciences Society, Florida, U.S.A. Number of participants ~3600.

(3) Tseng, C.H., Chow, H.M, Chan, F. (July 2018). Eye-defined singleton required visual awareness to capture attention. Asian-Pacific Conference on Vision, China.

(4) Shioiri, S., Kobayashi, M., Matsumiya, K. & Kuriki, I. Spatial representations of the viewer's surroundings. Scientific reports 8, 7171, doi:10.1038/s41598-018-25433-5 (2018).

(5) Kang, D., Sung, Y. W. & Shioiri, S. Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals. Magn Reson Imaging 46, 121-129, doi:10.1016/j.mri.2017.10.017 (2018).

採択回数	1	2	3

(国際)

採択番号：H29/A25

The effect of attention on the integration of image components in the human visual system

［1］組織

研究代表者
Chien-Chung Chen（National Taiwan University）
通研対応教員
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
Satoshi Shioiri（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：6 人

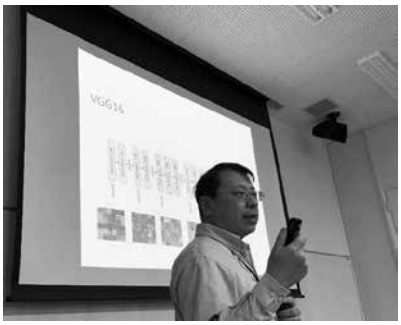
研究費

物件費	97,000 円
旅費	153,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

The conventional image quality assessment metric has focused on the detection of single image element and rarely takes the integration of image elements into account. Here, our focus is to collect relevant human performance data in order to facilitation the construction of an image quality assessment metric that can deal with multiple image elements. In this study, we investigate how environment regularity embedded in a scene (i.e. perceptual grouping) affects human attentional selection.

Dr. Chien-Chung Chen visited RIEC November 13-15, 2018 and Jan 7-18, 2019 during the second year of project. In his November trip, he gave a seminar talk on "A machine learning analysis on human categorical face perception" at the second Tohoku-NTU Symposium on AI x Human Studies. During this visit, he also visited research labs and had the first research collaboration research meeting. In January during the second visit, we set up the testing environment. The follow-up pilot testing was conducted at RIEC by Tseng. The results so far were submitted to Asian Pacific Conference on Vision 2019 for



consideration.

［3］成果

（3－1）研究成果

Human attention actively selects limited information for further processing. How attention interacts with environment properties is still little understood. Similarly, our vision extracts regularity (e.g. perceptual grouping) in the environment quickly to enable us to respond efficiently to the needs from environment.

However, there are two challenges:
(1) Attentional effect on grouping (e.g. higher accuracy, faster response) is insufficient to probe its mechanism.
(2) Perceptual grouping principles in descriptive terms are difficult for quantitative measurements.

We offer two solutions in methodology:
1. External Noise Paradigm on Detection Thresholds:

We measured participants' detection thresholds, instead of accuracy/response time, as the mechanism of a contrast sensitivity function is better understood. We added external noises in the display to characterize how attentional mechanism interacts with perceptual grouping. The advantage of this method is to enable us construct a signal-noise processing framework (e.g. an example please see Figure 1) and probe the mechanisms.

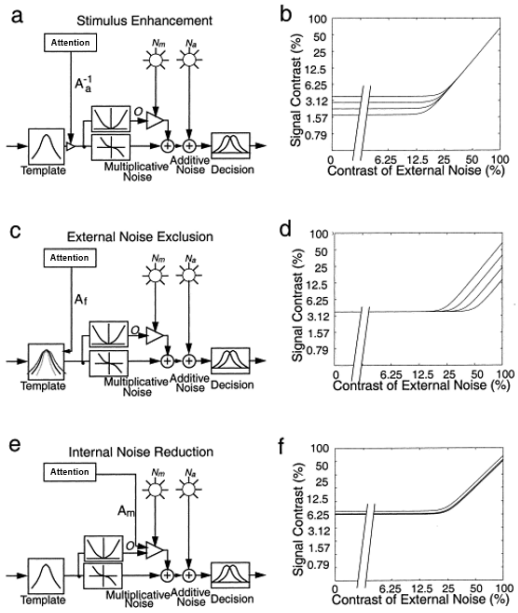


Figure 1. A sample frame work (Lu et al, 2009, PNAS)

2. Grouping Competition Paradigm:

Attentional effect is compared against two grouping principles (e.g. closure and similarity) so that the relative strengths can be quantitatively presented. Figure 2 summarizes our experiment procedure. Participants are presented with two intervals (interval 1 and 2) and have to judge which interval contains a target (a 2.5 cpd vertical gabor). The target appears at 4 possible locations, each with a pedestal (i.e. noise) spatial profile. A cue, can be spatially congruent or incongruent to the target location, is given prior to the intervals.

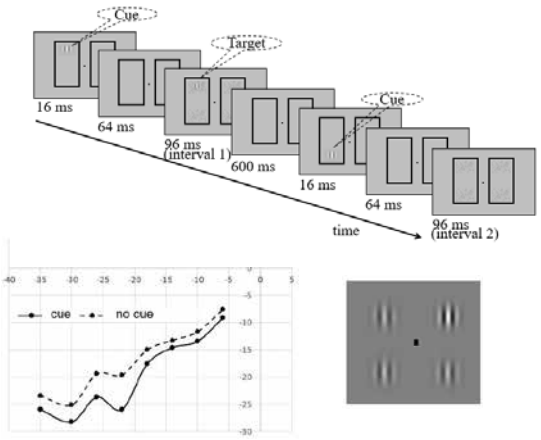


Figure 2. Cueing Paradigm
Participants receive a location-valid or invalid cue before the target appears. The performance is usually enhanced when the target and the cue share the same location.

特別支援（国際）に係る研究成果

We have achieved the following goals with this support:
(1). Identify appropriate parameters for experiment test
(2). Isolate conditions for threshold testing

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The research could generate new study paradigms to provide quantitative description on attentional effect over grouping integration, which was previously unavailable.

The target threshold vs. pedestal contrast (TvC) function for valid cues was a vertical downward shifted copy of that for the corresponding invalid cue conditions, suggesting that that attentional cueing effect originated from excitatory sensitivity enhancement, not from uncertainty reduction. The TvC functions for grouped and ungrouped conditions showed difference only in high pedestal contrasts, implying a change of divisive inhibition level. Thus, the interaction between attention and perceptual grouping is readily observed by the change of TvC function changes.

［4］成果資料

(1) Tseng, C.H., Chow, H.M, Chan, F. (July 2018). Eye-defined singleton required visual awareness to capture attention. Asian-Pacific Conference on Vision, China.
(2) Shioiri, S., Kobayashi, M., Matsumiya, K. & Kuriki, I. Spatial representations of the viewer's surroundings. Scientific reports 8, 7171, doi:10.1038/s41598-018-25433-5 (2018).
(3) Kang, D., Sung, Y. W. & Shioiri, S. Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals. Magn Reson Imaging 46, 121-129, doi:10.1016/j.mri.2017.10.017 (2018).
(4) Tseng, Chen, and Shioiri (July 2018): The effect of attention on perceptual grouping. European Conference on Visual Perception.

採択回数	1	2	3

(国際)

採択番号：H29/A26

Social communication: behavioral and brain representations

［1］組織

研究代表者

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France)

John McCreery (National Tsing-hua University, Taiwan)

Katsumi Watanabe (Waseda University)

Hsin-Ni Ho (NTT Communication Science Lab)

Junji Watanabe (NTT Communication Science Lab)

Shinsuke Shimojo (Division of Biology, California Institute of Technology)

Mohammad Shehata (Toyohashi University of Technology)

Miao Cheng (The University of Hong Kong)

I-Lien Ho (National Sun Yat-Sen University)

延べ参加人数：84 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	275,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

During the second year of this collaborative efforts, Dr. Asaf Bachrach (from Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France) visited RIEC Tohoku University on December 15-27, 2018. During his visit, he gave public lectures during the Annual Presentation of RIEC Collaborative Project. It was well attended by over 80 scholars and students. Dr. Yating Wang (from Fo-Guan University, Taiwan) visited RIEC Tohoku University on Jan 28-31, 2019. During this visit, both visitors participated in data collection and analysis.

We studied "MA (間)" in joint improvisation this year as to probe the research topic on interpersonal communication. MA (間) is a very rich term in Japanese culture which refers to space, gap, and void. It is well presented in many artistic forms such as dancing, music, theater, martial art performance, and architecture. In addition, it is also used to refer the most appropriate social etiquette between personal interaction. Intriguingly, the communication and understanding of this concept seems to be effortless although there is hardly scientific evidence behind it.

We investigated "MA" between two performers (e.g. dancers, musicians) by recording their movements with a motion capture system (Figure 1). Our goals are (1) to capture the real movements during the two joint dance improvisers perform around the topic of "MA". (2) to create experimentally appropriate stimuli from this real performance to investigate the communication between artists and spectators.

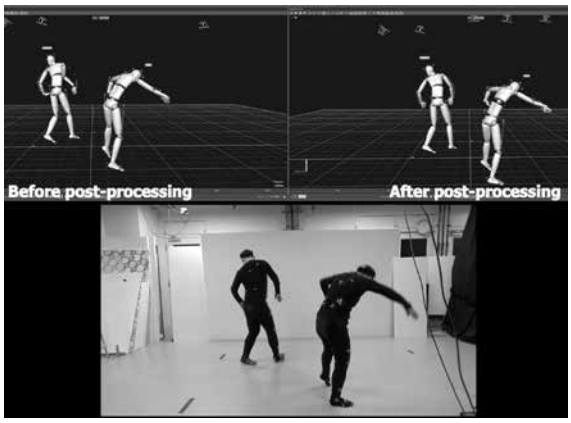


Figure 1. Two dancers wore full-body suits and their movements were recorded by the motion camera placed on the top of the room.

［3］成果

（3－1）研究成果

We held one open event (即興パフォーマンスから始まる気軽な研究会。テーマは「間」) at 霧島アートの森, Kagoshima on April 30, 2018 to collect real live performance data and spectators' immediate feedback. 45 attendants joined this event, filled in questionnaires and received interview after the performance. The improvised

dancers (勝部ちこ、鹿島聖子) and musician (蓑茂尚美)'s performances were recorded for later analysis. In addition, the qualitative questionnaires are to be gathered for analysis to evaluate the general public's interpretation on MA.





Figure 2. A live performance on the theme of "MA" in Kagoshima, April 2018.

特別支援（国際）に係る研究成果

To expand our capacity, we have invited Dr. Kai-Jung Chi to give a special lecture on biologically-inspired motion systems between January 22-25, 2019. The ecological biological systems are good basis for our pursuit of appropriate models to further interpret human movement improvisation. We also have visitors include: Dr. Xiao-wen Ren (National Jiao-Tung University, Taiwan), Dr. Shinsuke Shimoko (California Institute of Technology), Dr. Shaw Hung (California Institute of Technology) who visited and enlightened us in developing new methods.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The kinetics and robotic application are closely related, when it comes to intention interpretation. We have worked with the robotics groups to undergo a design in hopes to use de-centralized system to capture the joint movements.

In addition, we also plan to explore cultural effects on the movements communication as biological motion is known to be modulated by its social context. We hope to be able to use the collaboration team's efforts to offer insights on this regard.

［４］成果資料

Conference presentation:

Shehata, Cheng, Tseng, Nakauchi, Shimojo (2018) Neural correlates of interpersonal flow experience, International Conference of Organization of Human Brain Mapping, Singapore, June 17-20

Tseng, Wang, Kostsuba, Kashima, and Shioiri (2019) Interpersonal Implicit Communication on Japanese MA in Joint Improvisation. Joint Action Meeting, Italy.

Cheng, Shehata, Wu, Tseng, Nakauchi, and Shimojo (2019). Unique neural correlates of team flow in a dual-player music game, Joint Action Meeting, Italy.

Tseng and Wang (accepted), Interpersonal Communication on the Japanese Concept "MA", Acoustic Science and Technology.

Journal Publications:

Himberg, T., Laroche, J., Bigé, R., Buchkowski, M., & Bachrach, A. (2018). Coordinated interpersonal behaviour in collective dance improvisation: the aesthetics of kinaesthetic togetherness. *Behavioral Sciences*, *8*(2), 23.

Ho, I. L. (2018). Poem Without Language: When a Writing Becomes Traceless. *Leonardo*, *51*(1), 55-56.

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A27

人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤

［1］組織

研究代表者
山口 弘純（大阪大学大学院情報科学研究科）
通研対応教員
北形 元（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
岡部 寿男(京都大学大学院情報学研究科)
加藤 由花(東京女子大学数理科学科)
河口 信夫(名古屋大学大学院工学研究科)
重野 寛(慶應義塾大学理工学部)
菅沼 拓夫(東北大学サイバーサイエンスセンター)
原 隆浩(大阪大学大学院情報科学研究科)
峰野 博史(静岡大学情報学部)
安本 慶一(奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科)
白石 陽(はこだて未来大学システム情報科学部)
乃村 能成(岡山大学大学院自然科学研究科)
吉廣 卓哉(和歌山大学システム工学部)
内藤 克浩(愛知工業大学情報科学部)
延べ参加人数：14 人
研究費：物件費 97,000 円
旅費 299,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトは、IoT センサーやデバイスにより、人や機械（車、ロボット、スマートフォン、インフラ設置型センサー）から絶え間なく生成される位置情報や状態情報、周辺状況などを知的に処理・集約し、人々や機械の間でセキュアかつリアルタイムに共有することで、都市における人やクルマ、モノの動きをリアルタイムに把握し、都市効率化や防災に活用することを目的としている。

本年度はプロジェクトの二年目であり、センサー情報を用いた人間行動の理解・可視化を行う技術と、センサー情報及びそれらを処理した高次情報を情報流として集約・流通させて実現するミドルウェア技術に注力した。それに関連し、3 件の国際ワークショップを開催している。まず、スマートコンピューティングとその応用をターゲットとした IEEE の国際会議 IEEE COMPSAC の日本開催を機に、情報流の基礎技術から応用システムまでを広くターゲットとした国際ワークショップ InfoFlow を開催した。Internet of Things（IoT）とサイバーフィジカルシステムはより多くの研究者を引き付けてきており、本ワークショップでもそれらを主たるターゲットとしながら、ビルやエネルギー、環境を含めたいわゆる［機械］と人がどのように連携していくか、その際に生成される膨大なセンサーデータをどのように処理していくべきかを模索し議論するワークショップとしている。また、モバイル・パーベイシブ分野における超難関フラグシップ会議である IEEE PerCom を本プロジェクトのメンバーの多くからなる組織委員会の主催で開催し（2019 年 3 月 11～15 日、京都国際会館）、400 名近くの参加者を集めるとともに、その併設ワークショップとして情報流の実現技術やデータ流に着目した国際ワークショップ PerFoT（昨年度からの継続で第３回目の開催）を開催し、ストリームデータ処理およびその応用に関する技術の議論の場を提供した。加えて、車両活用に関する国際ワークショップ PerVehicle（第１回）を開催し、車両からの生成データの処理に関する最新の応用技術の発表と議論を実現した。こういった形で本分野における研究を国際的に推進する活動を精力的に実施している。また、本プロジェクトのため、2018 年 11 月 30 日～12 月 1 日に東北大学通信研究所において共同プロジェクト研究会を開催し、研究成果と今後の方向性について議論している。

［3］成果

（3－1）技術的な研究成果

複数のデバイスが連携した環境において、情報源（データ発生源）からその処理済データを実世界にフィードバックするアクチュエータまでのデータス

トリーム処理の遅延時間を抑制し、リアルタイムでのインタラクションを実現することが人と機械の連携をベースとするサイバーフィジカルシステム実現のための鍵となる。その実現のため、分散ストリーム処理環境においてストリームやアプリケーションの優先度や要求を情報価値や利用可能な資源に応じて処理する技術を備えた以下のようなミドルウェアの設計開発を行っている。

生活の質の高いサービスの新時代を牽引し、人と機械の調和のために不可欠なIoTストリーム処理技術は、IoTデバイスによって生成された大量のストリーミングデータから有用な知識を引き出すために不可欠な役割を果たすと考えられる。ストリーム処理を用いることで、多数の訪問者から行動な不審な者のみを発見して警告を通知するといった、従来人間が行うべき知的作業をシステムに依頼することができる。また、例えば我々の日常生活習慣を学ぶことで、健康を改善する契機にもなり得る。そういったシステムにおける各処理コンポーネントはQuality of Service (QoS) として知られている様々なデータ処理と通信のための品質要件で一般に規定される。例えば実時間アプリケーションは、短い遅延や高スループットといった時間メトリックや結果の品質（例えば精度）などのコンテンツベースの品質も重要である。しかし、大量のストリームが生成される環境において個々のデバイスの省電力化および小型化によって環境埋没型になっていくような分散環境化が進めば、各デバイスの処理能力の劇的な向上は期待できない。したがって、リアルタイムデータストリーム（情報流）が生成されるデバイス連携の分散環境においてユーザーが求める品質を実現するためには、品質とQoSパラメータを両立させるよう、各デバイスにおける適切なデータ処理を実現する必要がある。

最も単純にはデータ生成源で適切なサンプリングレートを設定することであり、リアルタイム性の向上につながることが古くから知られている。しかし、デバイス連携型の分散システムでは、デバイス間の通信遅延と容量、およびデバイスにおける処理遅延のバランスを得る必要があるため、単純にそういったサンプリングのみでリアルタイム制約を充足することはできない。これに対し、提案しているミドルウェアEdgeCEPでは、分散協調デバイス間のストリーム処理とその負荷制約問題に着目し、リアルタイム処理を実現するために各デバイスがどのようなふるまいをすべきかを定式化し、完全分散型の複合イベント処理システムとして実現している。各デバイスは隣接ノードからのフィードバックに応答して長期ウィンドウ内のサンプリング数を計算し、サンプリングレートが目標サンプリング数を維持するように調整される。さらに、学習ベースで予測を修正し、適切なサンプリング数を決定する方法も述べている。複数の実デバイスを用いて動画ストリームを含むストリームイベント処理を実行した結果、単純な固定レート送信により1秒の遅延要求に対し約2秒の遅延が発生したのに対し、EdgeCEPでは0.65秒の遅延しか生じないことを示している。詳細は文献[1]を参照されたい。

これに加え、代表者の山口および分担者のNAIST安本教授の共著による知的分散環境に関する招待論文（文献[2]）をはじめ、機械学習を分散で実行するフレームワークの開発（文献[3]）、センサーネットワークなどのデバイス連携メッシュ環境における経路制御システム（文献[4][5]）、災害時などにおいてそれらのミドルウェアを支える基盤ネットワーク技術（文献[6][7]）、人と機械のインタラクションにおけるアクチュエータとして重要なロボットにおけるデータ処理とその判断機構（文献[8][9][10]）など、複数の応用分野における分散データ処理やストリーム処理の要素技術ならびに応用システムの成果を創出している。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献

プロジェクトの成果を広く共有し、議論を深めるために、前述したように国際ワークショップ３件を開催した。

1. InfoFlow 2018 (The 1st IEEE International Workshop on Flow Oriented Approaches in Internet of Things and Cyber-Physical Systems 2018)
   2018年6月27日、東京、参加者30名、IEEE COMPSAC の併設ワークショップとして開催。代表者の山口および分担者の京都大学岡部教授により組織。分担者の NAIST 安本教授による招待講演を実施。通研教員および分担者によるプログラム委員会を構成。
   https://ieeecompsac.computer.org/2018/infoflow/
2. PerFoT 2019 (International Workshop on Pervasive Flow of Things 2019)
   2019年3月15日、京都、参加者30名、IEEE PerCom の併設ワークショップとして開催。代表者の山口、分担者の NAIST 安本教授、マンハイム大のベッカー教授による国際協力により組織。通研教員および分担者、および分野の第一線で活躍する国際的研究者によるプログラム委員会を構成。
   http://www.perflow.org/
3. PerVehicle 2019 (International Workshop on

Pervasive Computing for Vehicular Systems) 2019年3月11日、京都、参加者30名、IEEE PerComの併設ワークショップとして開催。代表者の山口、分担者の慶応大重野教授らにより組織。車両活用に関しアクティブに活動する第一線の研究者を招へいしてプログラム委員会を組織。車両など移動体からのデータストリーム処理を含むパーベイシブ計算に関し議論。
http://www.pervehicle.org/

また、本プロジェクトから派生した2件の研究課題が日本学術振興会の科研費基盤B特設分野研究に採択されている（研究課題名「実世界データを対象とした情報流におけるトラスト経済モデル」「セキュアIoTサービスに向けた人と機械の信頼関係構築フレームワーク」）。

以上のように本プロジェクトを通じ、研究者間の交流が飛躍的に活性化するとともに、上記のようなプロジェクトならびにワークショップにつながっている。今後はセンサーの小型化にともなう省電力化などの新しい要素を取り入れ、環境コンピューティングといった新しい研究領域の開拓に結びつけていきたい。

［4］成果資料

[1] Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, A Self-Organized Task Distribution Framework for Module-based Event Stream Processing, IEEE Access, Vol. 7, pp. 6493 - 6509, 2019

[2] 山口 弘純, 安本 慶一, エッジコンピューティング環境における知的分散データ処理の実現, 電子情報通信学会和文誌 (IEICE), Vol. J101-B, No. 5, pp. 298-309, 2018 (招待論文)

[3] Yuta Fukushima, Daiki Miura, Takashi Hamatani, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, MicroDeep: In-network Deep Learning by Micro-sensor Coordination for Pervasive Computing, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP2018), pp. 163-170, June 2018

[4] Daichi Araki and Takuya Yoshihiro, A Multi-path Extension to RDV Routing Scheme for Static-node-assisted Vehicular Networks, The 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2018), 2018.

[5] Masato Yokotani and Takuya Yoshihiro, A Joint MAC and Routing Approach for Duty-cycled Wireless Sensor Networks, The 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking, and Communications (WiMob2018), 2018.

[6] 今井信太郎, 今野翔太, 北形元, 新井義和, 猪股俊光, "災害時の間欠的アクセスを可能にする不揮発性ネットワークの設計と評価," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J101-B, No.05, pp.338-346, Jan. 2018.

[7] Hiroshi Matsumura, Ryota Fukutani, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Agent-based Smart Data Provisioning Mechanism for Supporting Network and System Administration Tasks," Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp.89-90, Oct. 2018.

[8] Natsuki Sakata, Yuka Kinoshita and Yuka Kato: Predicting a Pedestrian Trajectory Using Seq2Seq for Mobile Robot Navigation, IEEE IECON 2018, pp.4300-4305, 2018(10).

[9] Fumi Ito, Eri Ozawa and Yuka Kato: Design of Robot Service Functions for a Framework Establishing Human-Machine Trust, AINA 2019, 2019(3). (to appear)

[10] 加藤由花, 池田貴政, 岡野憲, 松日楽信人: インタフェースロボット応答制御のための歩行者分岐方向の予測, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.2, pp.572-580, 2019(2).

採択回数	1	2	3

(萌芽)

採択番号：H29/A28

耳介の3次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究

［1］組織
研究代表者：伊藤　仁（東北工業大学工学部）
通研対応教員：坂本　修一
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：佐藤　直行（はこだて未来大学）
延べ参加人数：5人

研究費
物件費　97,000円
旅費　127,000円

［2］研究経過

任意の音源から放射される音のエネルギーは，直線的に耳孔へ向かう経路だけでなく，頭部や肩での反射を経て鼓膜に到達する。この頭部周辺の反射特性は，音源の入射角に依存して複雑に変化することが知られており，音の空間的な知覚の手がかりのひとつであると考えられている。従って，音源のあらゆる入射角に対して鼓膜までの音響伝達特性（頭部伝達関数：Head Related Transfer Function）が得られれば，これを任意の音信号に畳み込むことで，臨場感の高い次世代の立体音響技術を実現できると期待できる。

だがHRTFの計測は被験者にとって負荷が大きいタスクであり，また大規模かつ精密な計測装置が必要となる。さらに頭部や耳介の形状に依存するHRTFは個人差が大きく，ある人間について計測したHRTFを他の人間に用いても十分な臨場感が得られないという問題もある。これらの問題に対応するために，例えば容易に取得できる頭部のカメラ画像からHRTFを推定する手法や，計測済みのHRTFを別人の特性に変換する手法などが研究されている。

本研究ではHRTFの入射角依存性において耳介の形状が重要な役割を果たす点に注目し，耳介の3次元形状と音響特性との関係を明らかにすることを目的とする。耳介を構成する耳輪，対耳輪，耳垂，耳甲介，三角窩，舟状窩，耳珠，珠間切痕などの部位の形状の個人差を定量化し，それらがHRTFの共振(ピーク)/反共振(ノッチ)特性にどのように影響するかを調べる。これを実現するために，(1)まず被験者の耳介の形状を高い精度で計測する手法について検討する。この結果に基づいて，(2)耳介の石膏模型を用いてHRTFに対応する音響伝達特性を自動計測する手法を開発する。さらに(3)耳介形状の3次元CADデータから，形状の特徴量を抽出する手法を検討し，(4)音響特性との関係を明らかにする。

計画の第2年度である本年度は，特に上記(2)と(3)に注力した。以下に研究活動状況の概要を示す。

◇回転式ダミーヘッドの製作

本研究では，音源方位に依存して変化する音響伝達特性を効率的に測定するために，スピーカーを固定し，マイクロホンを設置したダミーヘッドを回転させる手法を提案している（図1）。この回転式ダミーヘッドは，以下のように製作した。まず昨年度までの研究で，人間の側頭部の形状について，耳孔を中心とする±50 mmの正中矢状面からの平均距離が得られている（図2）。このデータから側頭部の形状を2次曲面で近似し，その係数を決定した。

回転式ダミーヘッドの形状は，正中矢状面近傍では耳軸に対して回転対称であること，また耳介近傍では人間の側頭部形状に近い形であることが求められる。これを実現するために，ダミーヘッドの形状を図3に示す5つの領域に分割し，最も外側の領域(a)では球，3番目の領域(c)では2次曲面とし，これらの中間の領域では重み付け加算により形状を決定した。また4,5番目の領域(d,e)は，耳介の形状ごとに変えるものとした。

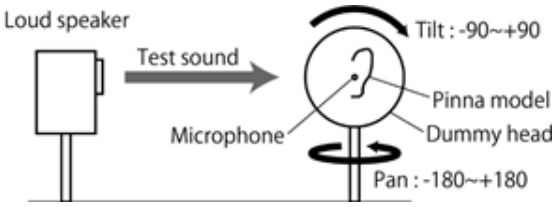


図1. 回転式ダミーヘッドを用いた音響計測

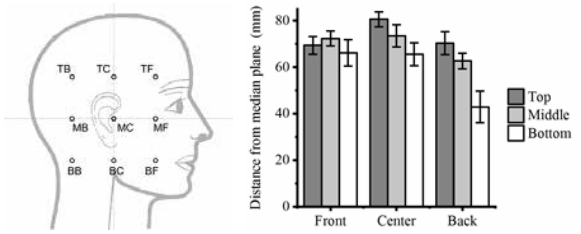


図2. ヒト側頭部の形状

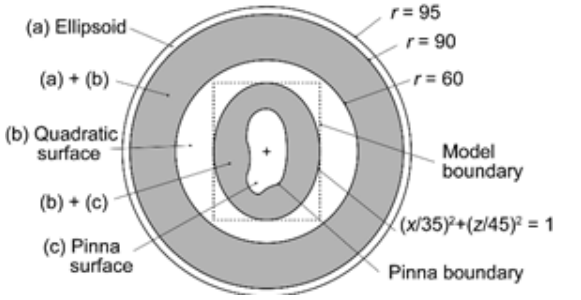


図3. ダミーヘッド形状の決定

◇3次元プリンターを用いた耳介形状模型の製作

上記のダミーヘッドに設置する耳介の形状模型を，3次元プリンターを用いて製作した。耳介のCADデータは光学式ディジタイザを用いて計測したもので，ダミーヘッドの形状に合わせて外縁部を加工し，外耳道についてはマイクロホンの直径を残して埋める形としている。

図4に，3次元プリンターで製作した耳介の形状模型を設置したダミーヘッドを示す。ダミーヘッドは，石膏模型も取り付け可能とする設計ではあるが，CADデータから3次元プリンターを用いて模型を制作した方が，耳介の形状変更などが容易であると考えられる。

◇自動計測プロトコルの開発

回転式ダミーヘッドを用いて，任意の方向から去来した音源の伝達特性を計測するために，(1)音源角度に合わせて頭部の向きを変えるサーボモーターの駆動プログラムと，(2)ひとつの方向に対してスピーカーからテスト音を出力し，マイクロホンで受音した信号から伝達特性を計算するプログラムを開発した。これらはC++で実装し，Windows-PC上で動作するアプリケーションとしている。

また，これらを用いて，水平角±180度，鉛直角±90度を任意の刻みで自動推定するスクリプトを開発した。測定に要する時間は，サーボモーターの動作速度とテスト音の同期加算の回数に依存するため，動作実験を行って，これらの最適値を決定した。

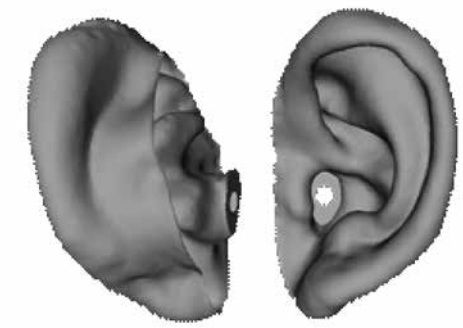


図4. 耳介形状の3次元CADデータ

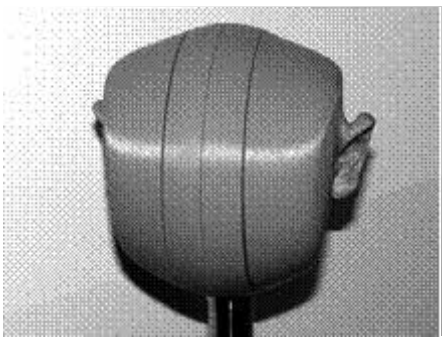


図5. 回転式ダミーヘッドと耳介形状模型

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，耳介形状による音響特性の変化を効率的に計測するための，回転式ダミーヘッドと測定プロトコルを開発した。これらの性能を確認するため，成人男性の耳介模型（図6右）と，耳介を付けない形状(図6左)を用いた場合の伝達特性を比較した。音源の水平角は±360度，鉛直角は±180度で，それぞれ刻みは5度とした。各条件で計測に要する時間は約7時間であった。

図7に計測した伝達特性の例を示す。上段が耳介なし，中段が耳介付き，下段がそれらの差に対応する。また，左列は音源の水平角0度，中列は45度，右列は90度にそれぞれ対応する。各図の横軸は周波数，縦軸は音源鉛直角であり，伝達特性の振幅の大きさを色で表示している。

これらの図から，伝達特性のノッチやピークが音源方向の鉛直角だけでなく，水平角に応じて大きく変化することが確認できる。従来の研究では，主に音源の鉛直角と伝達特性の関係が議論されており，水平角が伝達特性に及ぼす影響は注目されてこなかった。次世代の立体音響システムを実現するためには，水平角を含めたに全周囲の音響特性について，その生成メカニズムを解明する必要があると考えられる。本研究で開発した自動計測システムは，そのために有効な基礎データを提供できると期待できる。

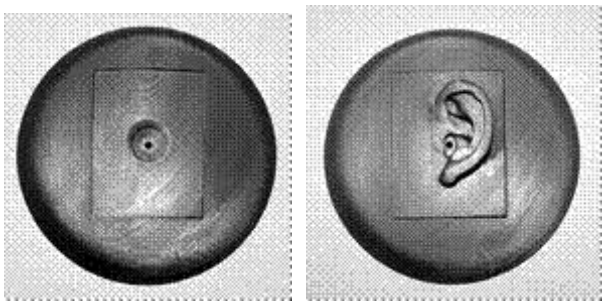


図6. ダミーヘッドの耳介の有無の例

（3－2）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本研究の学術的な成果は，耳介の形状と音響特性の関係を解明するために必要となる基礎データを提供することにある。耳介の音響伝達特性が，音源の入射角に応じて系統的に変化することは 1960 年代から指摘されており，これまで活発な研究が行われてきた。耳介を構成する部位の形状が，頭部伝達特性のピークやノッチを生み出すメカニズムについて，ピークが耳甲介腔や耳甲介舟，三角窩，舟状窩などで構成される窪みの共振モードと関係があること，ノッチについては少なくとも前方の音源については直接波と反射波の干渉に由来する可能性があることが指摘されている。

本年度開発した自動音響計測システムは，これらの仮説を定量的に検証するための枠組みを提供できると期待できる。具体的には，3 次元プリンターを用いて形状を変調した耳介模型を作成し，本システムにより音響特性を計測することで，耳介の各部位と音響特性に関する個々の仮説の妥当性を評価する。計測システム自体は本年度で完成したため，次年度では耳介の３次元データから上述した一部の形状を変更する手法を確立する。

また本研究により，耳介形状と音響特性との関係が明らかになれば，カメラ画像など簡便な手法で立体音響に必要な使用者ひとりひとりの HRTF を推定できる可能性がある。また耳介形状の個人差を定量化できれば，ユーザーが音を聞きながら少ないパラメータを調整するだけで使用可能な立体音響システムなどの実現が期待できると考えられる。

［4］成果資料

（1）伊藤 仁(2019)“3D プリンターを用いた耳介の形状模型に関する検討,”日本音響学会 2019 年春季研究発表会講演論文集 p. 295-298.

（2）佐々木 航平（2019）“ステレオカメラを用いた耳介形状の計測,”東北工業大学電気電子工学科 2018 年度卒業論文

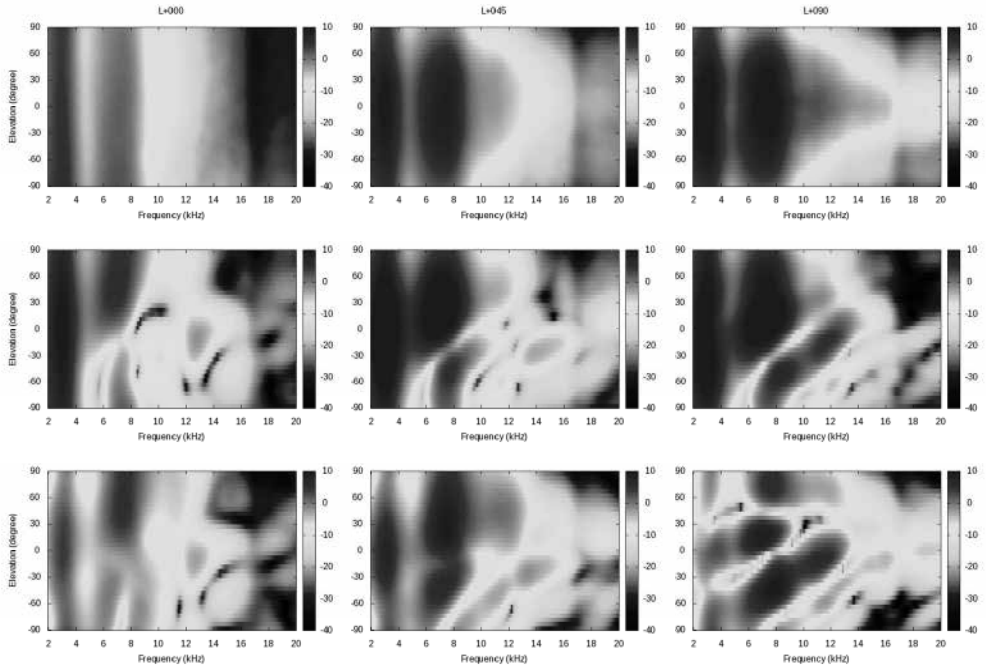


図7. 耳介の有無による音響伝達特性の変化

採択回数	1	(2)	3

(先端・萌芽)

採択番号：H29/A29

新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究

［1］組織
研究代表者
ザビル　サラウッデン　ムハマド　サリム
(鶴岡工業高等専門学校情報コース教授)
通研対応教員
木下 哲男（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
髙橋　秀幸
(東北大学電気通信研究所助教)

延べ参加人数：３人

研究費

物件費	97, 000 円
旅費	82, 000 円

［2］研究経過

Traditional approach toward IoT deployment requires specialized knowledge where issues are handled by an individual or a group of individuals and is not participatory. In this research, we propose a new generation IoT platform called KIBAN which is based on openness and adopts a participatory approach toward deployment of IoT. We also propose a novel hierarchical architecture called Dynamic Hierarchical Edge Architecture or DHEA to overcome the potential issues with the centralized cloud based approach. We describe how KIBAN could be realized using the DHEA architecture. Because of the layered structure of KIBAN, it is possible to easily implement part of the platform even on gateways with low computing capabilities. Experiments show that such implementation can lead to a two times faster response time compared with that in a cloud based system.

In the second year of the research project, we continued developing different elements of the KIBAN platform, prepare different components of different levels of DHEA as well focus on some application in real life scenario where some levels of the DHEA hierarchy implement different layers of KIBAN platform to perform the desired work more efficiently that conventional schemes.

Three researchers, including the principal investigator, Prof. T. Kinoshita and Dr. H. Takahashi participated in this research. Most research discussions were in the form of exchange of opinions over e-mail. Also, the researchers had face to face meetings on the topic at RIEC on February 22, 2019 and March 07, 2019 where the principal investigator, RIEC counterpart prof. Kinoshita and Dr. H. Takahashi participated.

［3］成果

（3－1）研究成果

① Realization of components of KIBAN IoT platform

In the first year of the research, we proposed a new generation IoT platform, KIBAN, toward the rapid evolution of IoT. It consists of the following six layers.

- Data acquisition and storage layer (DASL)
- Knowledge and intelligence layer (KIL)
- Big data service layer (BDL)
- Open software layer (OSL)
- Presentation layer (PL)
- Security and privacy layer (SPL)

We defined functionalities of different layers of KIBAN platform. In the second year of the project, we emphasized implementing different elements of several of the layers, particularly the data acquisition and storage layer and the knowledge and intelligence layer.

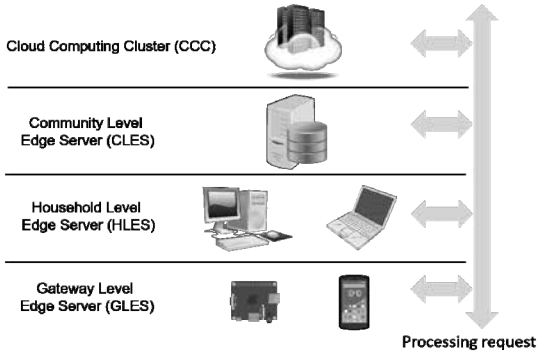


Fig. 1: Different levels of DHEA

② Implementation of different levels of edge servers of the Dynamic Hierarchical Edge Architecture

In the first year, we also proposed Dynamic Hierarchical Edge Architecture (DHEA) for decentralized management of the Internet of things (Fig. 1). DHEA allows adoption of a hierarchy of edge servers for storage and computation based on the requirements and availability of resources. We implemented

edge servers at different levels and observed that implementing edge server at the gateway level for small data processing operations is more efficient than implementing the same in high power cloud server. In the second year, we emphasize on implementing data collection and storage layer as well as knowledge and intelligence layers of KIBAN platform at low end gateway devices. We implemented a specific application that we call "IoT Kakashi" a system for detecting type of animal that intrudes into an agricultural field. We implement deep learning based animal recognition algorithm on the gateway device for the purpose.

A. Recognition of Animal at the GLES

Traditionally, cloud computing platforms with high computational capability handle most complex computing tasks, including image recognition. Nowadays, however, the traditional approach is not suitable anymore considering the massive amount of IoT devices that are to be connected to the cloud. In our proposed system, the recognition engine is deployed on the edge device to optimize the execution time. Using a combination of the Internet of Things, Deep Learning and Edge Computing techniques, we develop an edge-based distributed animal recognition system that can detect animals' presence and determine the types of animals.

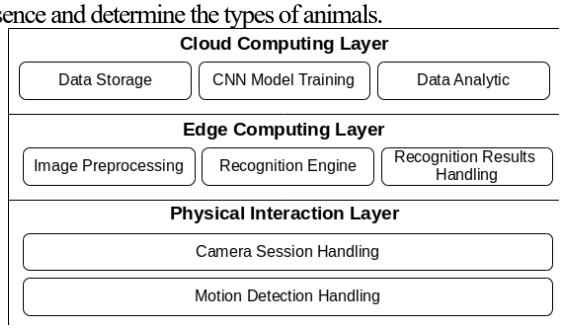


Fig. 2. IoT Kakashi hierarchical system architecture

B. Deployment Environment Aware Learning (DEAL)

We now describe our proposed Deployment Environment Aware Learning (DEAL) framework to be implemented on GLES. Our recognition engine is based on a MobileNets convolutional neural network. On, Cloud Computing Layer we train a new optimized CNN based on pre-trained MobileNets using Transfer Learning technique. During our system building process, this approach minimizes training time and amount of training data required, as well as encourages rapid continuous improvement of the recognition engine after deployment. Fig. 3 shows a training process implemented with Tensorflow open source machine learning libraries that included a pre-training target class analysis process to determine which classes will be used, a Transfer Learning process, a Tensorflow-to-Tensorflow Lite conversion process, and an edge device deployment process. Cloud-based image recognition services, e.g., Google Cloud Vision, Amazon Rekognition, and Clarifai usually aim to provide a universal general-purpose image recognition engine trained to recognize countless many classes spanning across a vast number of categories. Such recognition engines are suitable for general image recognition on a wide range of categories but tend to confuse and become unreliable when dealing with complicated images. Our recognition engine takes an entirely different approach by minimizing the number of target classes based on the requirement of the location. Using our training method called Deployment Environment Aware Learning, we trained our recognition system with classes of animals commonly spotted around the particular deployment environment. For example, our recognition system deployed in Australia would be trained to recognize Kangaroos or Koalas, whereas a recognition system deployed in African Savannah would be trained to detect Elephants or Lions.

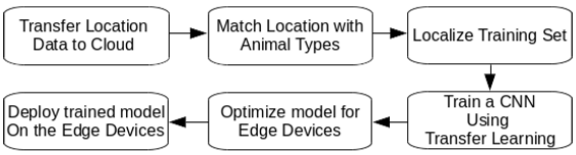


Fig. 3. Deployment Environment Aware Learning process for CNN based model

C. Hierarchy management

Fig. 4 illustrates the flow of our recognition process which encompasses every layer in our system architecture. The recognition process is triggered by a motion sensing module on the Physical Interaction Layer that sends signals to the edge device on Edge Computing Layer. The edge device then initiates camera handling session in collaboration with a camera module on Physical Interaction Layer to capture animal images. Before we input the image to our CNN, the edge device pre-processes captured bitmap by re-scaling it to 224x224 resolution and saves it in PNG format. The recognition engine embedded in the edge device then performs image recognition task locally using saved PNG image. Apparently, reducing the size of the input picture beforehand reduces the computing resource consumed by CNN as well as recognition process time. The results generated from CNN are processed into the more insightful format and sent to the cloud server (Cloud Computing Layer) for further analysis.

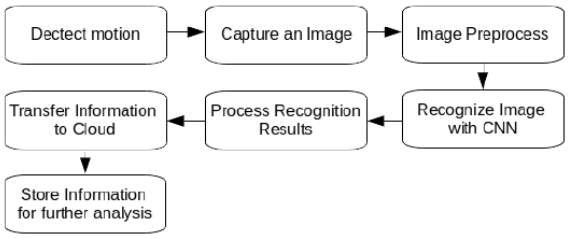


Fig. 4: Animal recognition process overview

D. Selection of OS

The gateway that has been used in the experiment is based on Raspberry Pi. Hence Raspbian is the natural choice of OS. However, since Raspbian did not support TensorFlow at the time of the initial experiments and even though it has started doing so only recently, the speed of the recognition process is slow for Raspbian, we selected the newly developed OS from Google for IoT deployments, namely, Android Things. We implement deep CNN based transfer learning on the top of Android Things OS to detect animals that intrude in the agricultural field.

③ Performance evaluation

In the second year, we emphasized on implementing different layers of KIBAN, particularly, the data collection and storage as well as the knowledge and intelligence layer on edge

server at the lowest, GLES level of the DHEA hierarchy. Since in recent years, low cost single board computer, Raspberry Pi is being widely used as gateway in IoT applications, in our experiments, we used Raspberry Pi 3 Model B as the gateway cum edge server (TABLE I).

We developed a proof-of-concept system to evaluate the quality of IoT application using our proposed framework. For this experiment, we deployed our animal recognition system in an agricultural region of Tsuruoka in Yamagata Prefecture, Japan. For this research, our primary objectives are to provide fast response time and reliable detection result. For motion detection, we employed a PIR Sensor. As for camera session handling, the Pi Camera is one of the most affordable and features rich module. Our choice of operating system was Android Things OS developed by Google which has native support for Tensorflow Lite model. Fig. 4 shows an overview of our developed system.

TABLE I
EDGE DEVICE INFORMATION

Raspberry Pi 3 Model B	
Soc	Broadcom BCM2837
CPU	1.2 GHZ quad-core ARM Cortext A53
GPU	Broadcom VideoCore IV @ 400 MHz
Memory	1 GB LPDDR2-900 SDRAM
Network	10/100 MBPS Ethernet 802.11n Wireless LAN Bluetooth 4.0
OS	Android Things 1.0

We compare the performance of our system with that of cloud-based image recognition services including Google Cloud Vision, Amazon Rekognition, and Clarifai. To evaluate the performance of each of these engines, we run recognition tasks on every recognition system using the same test image data. The primary process begins with the PIR sensor detecting motion and finishes with recognition engine inference results.

Afterward, we evaluate our model performance using the following metrics.

1) Top-N Accuracy: For image classification, the model evaluates the image and return prediction results in the form of probability distribution or confidence for each class. The accuracy can be computed by dividing correct prediction with the total number of testing data. Top-N accuracy, as its name implies, require the correct class to appear within Top-N prediction results to qualify it as a correct prediction. For example, Top-1 accuracy requires the correct class to appear with the highest confidence while Top-3 accuracy only requires the correct class to appear within the top three results.

2) Execution Time: Total time spent by the whole system to respond. From motion detection to response form cloud server.

A. Top-N Accuracy

As observed in Table II, our proposed recognition engine, which has been trained using Deployment Environment Aware Learning (DEAL), shows up to seven times higher accuracy than other mechanisms in Top-1 accuracy category. It should be noted that since appropriate detection of animal would lead to a choice of suitable repealing technique, Top-1 accuracy is important for the use case under consideration.

B. Execution Time

Table III shows the execution time taken by each system under comparison. It can be observed that our proposed scheme leads to more than two times faster minimum execution time.

TABLE II
ACCURACY RATE OF OUR PROPOSED SYSTEM COMPARED TO CLOUD BASED SOLUTIONS

Model	Top-1 accuracy	Top-3 accuracy
Our Proposed System	0.9	0.96
Google Cloud Vision	0.57	0.77
Amazon Rekognition	0	0.7
Clarifai	0.13	0.2

TABLE III
EXECUTION TIME OF OUR PROPOSED SYSTEM COMPARED TO CLOUD BASED SYSTEM

Model	Min Exec. Time	Max Exec.Time
Our Proposed System	0.962	3.039
Google Cloud Vision	2.456	12.571
Amazon Rekognition	2.596	8.446
Clarifai	2.147	8.803

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Implementation of KIBAN platform is likely to benefit non-specialists by allowing them to utilize the power of IoT in various applications. Implementation of edge server at always turned ON low power gateway computers is expected to play an important role in the rapid expansion of IoT in the coming years. In addition to our first year's research results, in the second year our research outcome indicates that it is possible to implement deep learning technology (knowledge and intelligence layer of KIBAN platform) over low end gateway computing devices. Hence, the outcome of the current research conducted this year and the coming years would contribute hugely to the evolution of IoT.

［４］成果資料

[1] Zabir, S.M.S., Yoosook, P., Kamsaeng, C., Kiatikitikul, S., Shiratori, N., DHEA: A Dynamic Hierarchical Edge Architecture for a Participatory Approach Toward IoT Evolution, In proceedings of International Conference on Business and Industrial Research, 2018.

[2] Zabir, S.M.S., IoT及びAI技術を用いた電子カカシに関する研究, 平成30年度鶴岡工業高等専門学校地域連携センターリポート.

[3] Zabir, S.M.S., Toward new generation IoT and AI applications, 第２５回先進的情報通信工学研究会, March 2019

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A30

実世界に展開する ソーシャルネットワーキングサービスの研究

［1］組織

研究代表者
山﨑　達也（新潟大学工学部工学科）
通研対応教員
高橋　秀幸（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
中野　敬介（新潟大学工学部工学科）
前田　義信（新潟大学工学部工学科）
笹井　一人（東北大学電気通信研究所）
福井　暉斗（新潟大学大学院自然科学研究科）
橋本　侑季（新潟大学大学院自然科学研究科）
延べ参加人数：７人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	162,000 円

［2］研究経過

近年，スマートフォンやタブレット端末で利用される通信サービスが，従来主に使われていたメールやWeb 検索からソーシャルネットワーキングサービス（SNS: Social Networking Service）へと大きく変わりつつある。また，実世界から得られる情報を Web 空間に蓄積されている情報やデータを用いて分析し，新たなサービスを提供する CPS（Cyber Physical Systems）の考え方が様々な場面で使われてきている。更には，ユーザの利用端末が小形，軽量化され，通信方式も LTE（Long Term Evolution）から 5G への移行が差し迫っており，ますますモバイル環境での大容量データを扱うサービス利用の拡大が見込まれる。本プロジェクトでは，このような背景の下，モバイル環境で得られる実世界の情報を用いて，サービス利用者間の位置関係を考慮して，近距離にいるユーザ間では適切な情報伝達メディアを用いたコミュニケーションを実現することを目的とする。すなわち，従来の SNS の代表的な意思表示である「いいね！」を，モバイル環境において気の合うユーザ間を発見し，実世界での「いいね！」を送り合えるような新たな情報通信サービスの実現を目指すものである。以下，本プロジェクトで実現を目指すサービスを実世界 SNS と称する。

本プロジェクトは，本年度が第 2 年度であり，具体的な通信方式の検討を行い，シミュレーションによる評価を行った。

実世界 SNS では，物理的に近い距離にいる気が合う人同士を対象にした同調行動の発現につなげることが一つの目的となる。同調行動とは，自然界の鳥や魚の群れのように個々の単純な動作や反応を一致させ，全体として秩序だった行動を実現するものである。そのメカニズムは完全に明らかにされていないが，人同士の情報伝達や協調行動に用いることで社会行動の効率化が期待できる。

以下，研究活動状況の概要を記す。

共同プロジェクトの研究打合せとして，平成３０年７月１９日から７月２０日に新潟大学より２名が東北大学電気通信研究所を訪問し，実世界 SNS のサービスの具体例と適用する通信方式に関する検討を行った。サービスの具体例として，引き続きスポーツ観戦で行われるウェーブの情報通信技術（ICT: Information and Communications Technology）による支援の実現を目指すこととした。その後，通信方式の検討結果とシミュレーションによる評価の報告のため，平成３１年２月８日から２月９日に新潟大学より１名が東北大学電気通信研究所を訪問し，打合せを行った。以上の結果をまとめて，東北大学で開催された，平成３０年度共同プロジェクト研究発表会でポスター発表した。このために平成３１年２月２０日から２１日に新潟大学より２名が東北大学電気通信研究所を訪問している。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

実世界 SNS の一実現としてスポーツ観戦におけるウェーブの支援を対象にした。ウェーブに参加するユーザは，個人個人が各ユーザの位置情報を保持しているデバイス（ユーザ端末）を携帯していると仮定する。基本的には，サービス実現に適するように，このユーザ端末群に対して情報伝達を制御することが目的となる。ウェーブでは参加するユーザ数が多くなるため，情報伝達を集中制御することは困難であると考えられるため，図 1 に示すように限られたユーザ端末数で構成されるクラスタという単位に分割し，分散協調的に情報伝達制御を行うモデルを提案する。なお，各クラスタには，クラスタに所属するユーザ端末を管理するクラスタヘッド（CH: Cluster Head）と呼ばれるユーザ端末が設定されるものとする。

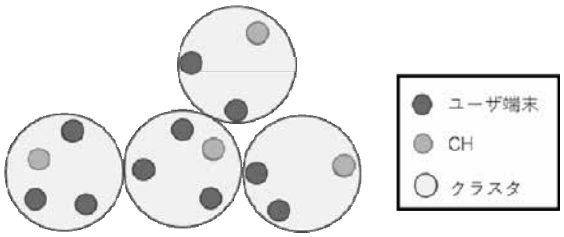


図 1 ユーザ端末のクラスタ分割

提案する分散協調制御モデルは，クラスタ間で情報をどのように伝播させるかを CH によって決定するクラスタ間制御と，クラスタ間制御の決定に基づいてクラスタに属するユーザ端末間で情報を送信するクラスタ内制御の二つによって構成される。

クラスタ間制御では，情報を持つユーザ端末から他のクラスタのユーザ端末へ情報が伝播するように，ユーザ端末の分布に応じて情報を送信する方向を決定する。そのためまず情報の最初の発信源となるクラスタ内に起点端末と呼ばれるユーザ端末を設定する。起点端末の役割は初期状態における最初の情報送信であり，同時にその情報を送信する方向を決定する基準（基準伝播方向）の設定も行う。ここでは，基準伝播方向の詳細な決定方法は省略する。また，各クラスタに属する CH は，同じクラスタに属するユーザ端末の位置情報よりカーネル密度推定法を用いて，ユーザ端末の分布傾向を把握する。その結果，起点端末を有するクラスタ（伝播元）の CH は，情報伝播させるクラスタ（伝播先）をユーザ端末の分布に基づいて決定できる。伝播先として決定したクラスタでは，伝播元の起点端末に最も距離が近いユーザ端末を伝播先における起点端末として設定すると同時に，そのクラスタにおける基準伝播方向も決定する。この繰り返しにより，クラスタ間における情報伝達の制御が実現できる。

次に，クラスタ内制御で一つのクラスタ内のユーザ端末間で情報伝達を行う。その処理は，クラスタ間制御で定めた伝播方向に向けた情報送信がベースとなるが，無線通信方式の特性を生かして，各ユーザ端末からの送信範囲は一定の扇形の範囲を持つと想定する。図 2 にクラスタ内制御による情報伝達のイメージを示す。

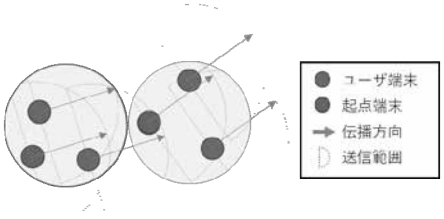


図 2 クラスタ内制御による情報伝達

提案モデルの有効性を検証するため，計算機シミュレーション環境を構築し，実験を行った。シミュレーション環境の構築には，インターネットを始めとする通信ネットワークにおけるシミュレーションに広く利用される NS-3 を用いた。NS-3 には，様々な無線通信方式やルーティングプロトコルが，シミュレーション環境に組み込むことのできるモデルとして用意されている。本研究では，これらのモデルから，無線通信プロトコルとして IEEE 802.11p，経路制御プロトコルとして OLSR（Optimized Link State Routing）を選定し，通信環境を構築した。また，ユーザ端末のクラスタリングアルゴリズムとして最大 ID 法を用いた。

ユーザ端末の配置はスタジアムにおけるウェーブを想定して，図 3 に示すように中空楕円形に設定した。図 3 に示す円はユーザ端末を表し，それぞれ 1m 間隔で並んでおり，最大で 892 台の配置が可能である。



図 3 ユーザ端末の配置

以上のシミュレーション環境において，実際に配置されるユーザ端末の数を変え，さらに本モデルで提案する起点端末がある場合とない場合を想定し，シミュレーション実験を行った。図 4 にシミュレーション実験結果を示す。

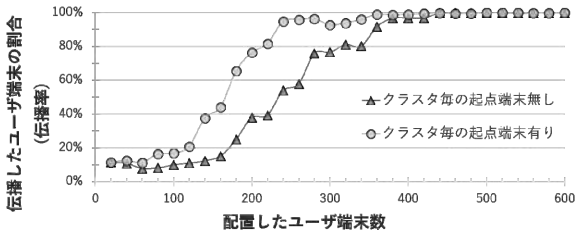


図 4 シミュレーション実験結果

図4の横軸は実際に配置したユーザ端末数を示し，縦軸は情報を受信した，すなわち情報伝達が成功したユーザ端末数の割合を示す。配置ユーザ端末数が少ない場合は，ユーザ端末がスタジアム内で疎に分布している状況を表しており，ウェーブも途切れる場合が多く，情報が受信できた端末の割合は低くなり傾向にある。しかしながら，起点端末をクラスタごとに設定する提案モデルでは，情報伝達が成功した端末数の割合が増加していることが分かり，最大で約40%の向上が確認された。なお，実験結果は10回の試行の平均値であり，各試行においてユーザ端末は無作為に配置した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいて，新潟大学と東北大学電気通信研究所の研究者が相互に情報交換し，連携することによって，単独では決して得られない成果へつなげることができた。実世界SNSの具体的なサービス例として，スタジアムにおけるウェーブを取り上げ，大規模なユーザ数に適応できる分散協調制御モデルを提案した。この連携内で，東北大学が進めてきた自律エージェントの研究が生かされ，新潟大学で提案してきた共感ネットワークサービスとうまく連携することができた。これまでの2年間で得られた成果を基に，外部ファンドの獲得を目指していく。

［4］成果資料

（1）福井暉斗，高橋秀幸，山﨑達也，″デバイス協調システムのための分散制御方式の検討，″ 2018 年信学会通信ソサイエティ大会，通信講演論文集 1，no. B-15-5，p. 392，Sep. 2018.

（2）福井暉斗，高橋秀幸，山﨑達也，″デバイス協調システムのための協調制御伝播モデルの提案 ，″ HCG シンポジウム，Dec. 2018.

（3）福井暉斗，高橋秀幸，山﨑達也，″デバイス協調システムのための協調制御伝播モデルの評価，″ 2019 年信学会総合大会，no. B-15-6，Mar. 2019.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A32

圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術

［1］組織

研究代表者

今泉　文伸（小山工業高等専門学校機械工学科）

通研対応教員

亀田　卓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）

小熊　博（富山高等専門学校電子情報工学科）

延べ参加人数：12 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	176,000 円

［2］研究経過

交通・農業・電力などあらゆる分野において、社会基盤として IoT（Internet of Things）の利用が進んでいる。膨大な量のセンサで計測された幅広いデータを解析することで新たなサービスを生み出す、いわゆるビックデータの活用がますます期待されるため、設置されるセンサノードの増加も見込まれる。よって、これまで以上に環境に配慮したセンサモジュールの開発が今後必要不可欠である。本研究では、IoT 時代における環境にやさしいワイヤレスセンサモジュールの開発を行うことを目的とする。

特にセンサモジュールを形成する圧電材料に着目する。これまでの鉛を含む $Pb(Zr,Ti)O_3$ 等の圧電材料に代わる新しい材料として $BiFeO_3$（以下では BFO と表記する）が注目されている。$Pb(Zr,Ti)O_3$ に含まれる鉛は環境への悪影響の問題から、利用の規制が始まっているため、鉛を使用しない圧電材料の開発が急務である。本研究では、この BFO 材料に着目し、ワイヤレスセンサモジュールを実現する材料開発からモジュール形成までを行う。さらに、BFO に含まる Bi は生体適合性が高く、今後は医療分野等の様々な分野への応用が期待できる。

圧電材料は、加速度センサ等の MEMS 分野で広く使用されており、非常に将来性が期待されている材料である。また、これまで使用されていた静電容量型加速度センサに比べて、圧電式加速度センサは未使用時の待機電力を低くすることが可能であり、さらにシステムとして小型化できるメリットがある。

環境と人体にやさしい BFO を使用したワイヤレスセンサモジュールを応用して、様々なアプリケーションへ応用が期待できる。

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。前年度は、BFO と格子定数の近い $DyScO_3$ 基板を下地材料として選択し、$DyScO_3$ 上に BFO を成膜することから、(110)面に配向する BFO 薄膜の成膜に成功した。しかしながら、得られた BFO 薄膜中の酸素欠損が多いことから、リーク電流が多くデバイスへの応用には課題が多いことがわかった。

そこで本年度は、薄膜中の酸素欠損を少なくするために、スパッタリング法を用いて Pt 薄膜上に BFO を成膜した後に、酸素ラジカルを照射するプロセスを追加し、その後熱処理を 350℃と 500℃で行い、薄膜の電気的特性を調べることを目的とした。これまで、2.45GHz マイクロ波励起プラズマにおいて酸素ラジカルを発生させ薄膜へ照射し、膜中の酸素欠損の回復は行ってきたが、実際の薄膜の電気的特性を計測したのは、本年が初めてである。また、電気的特性を効率よく測定するための P-E 測定装置を製作した。これは、プローバと制御 PC を LabVIEW（NI 社製）のソフトウ

ェアを用いた新しい測定システムであり、P-E 特性を簡単に測定することが可能になった。さらに、リーク電流測定システムについても同様に製作した。本測定システムの完成により、薄膜の成膜から測定までを、連続して行うことができるようになった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、スパッタリングを用いたBFO 薄膜の成膜と、物性評価、電気特性の評価を行った。実験方法を図1に示す。

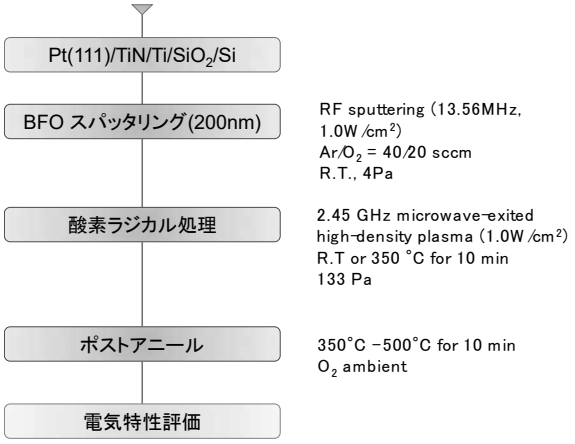


図1 実験方法

Pt と Ti の界面にはTiN 膜を用いて、密着性を向上させた。これは、Ti 薄膜が成膜後に大気雰囲気中で酸化されてしまい、Pt との密着性がよくなかった。そのため、Ti を成膜後に窒素ガスを流しながら反応性スパッタリングを行うことにより、TiN を成膜し、Ti の酸化を抑制した。TiN はPt との密着性も良く、抵抗率も十分に低いことを確認した。

RF スパッタリング装置は、13.56MHz の電源を用いてプラズマを励起させた。ガスは、Ar と 0_2 の混合ガスを用いた。また、BFO のターゲット周辺部には、BFO ターゲットと同材料のチップを設置することで、膜中への不純物の含有を抑制した。これは、スパッタリングプロセス時に、ターゲット治具の材料である金属成分が膜中に含まれないようにするためである。

図2に、断面 SEM 写真を示す。Pt 薄膜上に $BiFe0_3$ を成膜し、酸素ラジカルを照射、その後 350℃で熱処理を行った後の断面である。

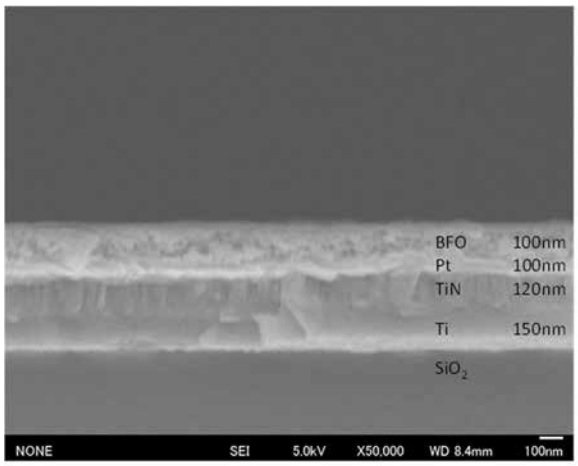


図2 断面観察

BFO の断面にはグレインが形成され、多結晶膜であることが分かる。特にBFO 薄膜に異常成長もみられず、膜表面の平坦性を実現する事が出来た。

図3に酸素ラジカル処理の有無で比較したXPS 測定結果を示す。上段の(a)は、酸素ラジカル処理を行わないサンプル、下段(b)は、酸素ラジカル処理後に350℃で熱処理を行ったサンプルである。XPS の観測結果では、二つのサンプルに大きな差異は見られなかった。

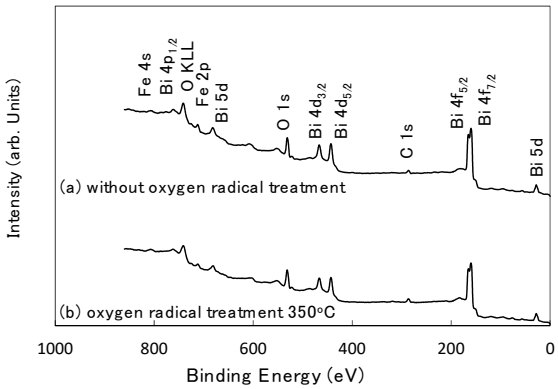


図3 XPS measurement

図4に本研究で作製した $BiFe0_3$ 薄膜のP-E 特性を示す。ラジカル酸化後の熱処理の温度は、350℃と 500℃の2種類を示している。測定温度は室温である。まず、酸素ラジカル処理を行わなかったサンプルについては、P-E 曲線を得ることができなかった。これは、強誘電性を示すことができなかったためと考えられる。

図4から酸素ラジカル処理後の 500℃のアニールにより、大きいヒステリシス幅が得られていることがわかる。これは、RF スパッタリングでの成膜直後では薄膜中の酸素含有量が減少し、化学量論的なBFO の組成

を実現していなかったが、成膜後に酸素ラジカルを照射することで、酸素欠損を回復させていることを示している。350℃の熱処理では、ヒステリシス幅は500℃の熱処理に比べて減少しているが、強誘電性を確認することができた。このことから、350℃の熱処理では十分に強誘電性を実現する事が出来ていないことがわかる。

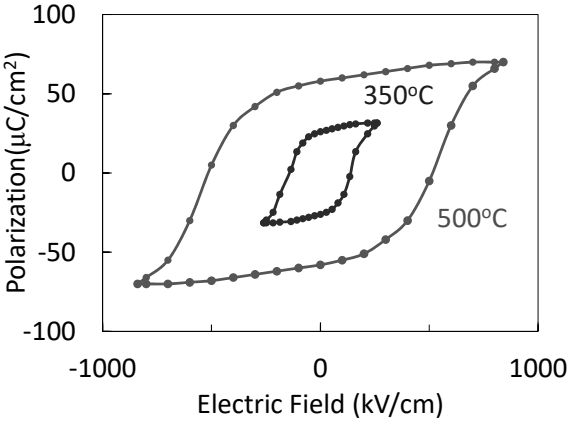


図4　Pt/$BiFeO_3$/Pt P-E Curve

また、ラジカル酸素処理を行った$BiFeO_3$薄膜のリーク電流の測定結果を図5に示す。酸素ラジカル処理行わなかった薄膜に比べ、一桁以上のリーク電流の減少を実現する事ができた。350℃の熱処理では、500℃の熱処理に比べリーク電流が多いことがわかる。また、耐圧も550℃に比べて350℃の熱処理では低いことがわかる。これまでの実験結果から、酸素欠損により十分な強誘電性が実現できていない場合は、プラズマプロセスを用いた酸素ラジカル処理が非常に有効であり、その後に500℃の熱処理が必要であることがわかった。

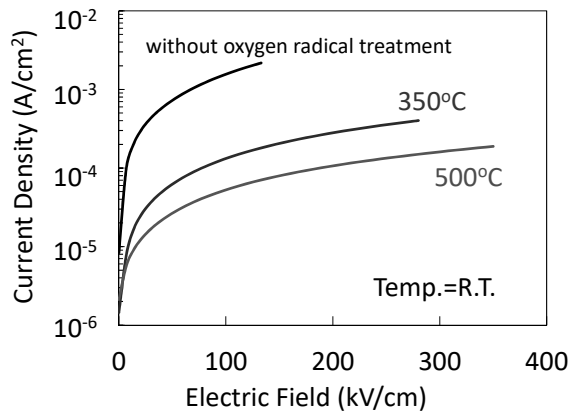


図5　J-E Curve

特にP-E特性とリーク電流の測定装置は、今年度に測定系を準備し、連続的に測定を行うことが可能となった。来年度からは測定サンプル数を増やし、統計的な評価も行う予定である。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、BFO薄膜の電気的特性について明らかになり、その成果は応用として現在、企業との共同研究に発展している。特にマイクロ励起のプラズマを照射することにより、BFO薄膜の酸素欠損に大きな改善が見られたことからP-E特性により、強誘電特性を測定出来たことの意義は大きい。また、電気特性の計測システムを実現できたことから、圧電材料を用いた加速度センサのばらつき測定や、測定温度のへ科等、様々な環境下での計測に応用することができている。

次年度からはBFO薄膜のさらなる電気特性の改善とデバイス作製に向けて、研究を進めていく予定であり、さらなる成膜方法の改善、改良を行い、酸素欠損に起因する欠陥密度をさらに減少させて、デバイスとしての圧電性を確認し、無線技術を取り入れたシステムへの応用研究を行う予定である。

［4］成果資料

（1）今泉文伸、柳田幸祐、「3軸加速度センサのばらつきと測定温度依存性」、第79回応用物理学会秋季学術講演会、18a-233-7、2018

（2）今泉文伸、柳田幸祐、「スパッタリングプロセスを用いた新しい圧電材料とセンサへの応用」電気情報通信学会技術研究報告　シリコン材料･デバイス、vol. 118、no. 241、SDM2018-53、pp. 7-10、2018

（3）熊田純久、今泉文伸、「3軸加速度センサの測定雰囲気におけるばらつきについて」日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会、No. 6、2018

（4）飯山千尋、今泉文伸、「差動型測距センサシステムを用いた水深測定」第24回高専シンポジウム in OYAMA、PD-01、2018

（5）今泉文伸、仲田陸人、「プラズマプロセスを用いたBiFeO3薄膜の酸素欠損と電気的特性」、第66回応用物理学会春季学術講演会、11p-W351-8、2019

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/A33

酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発研究

［1］組織

研究代表者
庭野　道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）
通研対応教員
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
木村　康男（東京工科大学・工学部）
廣瀬　文彦（山形大学・大学院理工学研究科）
阿部　宏之（宮城県産業技術総合センター）
本間　孝治（株式会社メムス・コア）
宮崎　　勝（株式会社メムス・コア）
須田　茂明（チェスト株式会社・宮城工場・チェスト技術研究所）
岩田　一樹（東北福祉大学・総合マネジメント学部）
馬　　騰（東北大学材料科学高等研究所）(AIMR)
伊藤　一孝（株式会社メムス・コア）

延べ参加人数：20 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	76,000 円

［2］研究経過

本研究は、金属の陽極酸化技術と半導体微細加工・集積化技術を組み合わせることにより、Ｓｉ半導体基板上に形成した酸化チタンナノチューブ薄膜を検出媒体とする、マルチ分析・高信頼性分析が可能な、ミクロンサイズの省電力・超小型・集積化・高感度ガスセンサ（図１参照）を開発することを目的とした。開発するガスセンサは、検出ガス透過型とし、センサ媒体表面に金属触媒を担持することにより感度・反応時間などを従来型に比べ一桁程度向上でき、多種類ガスの同時・実時間分析も可能にするものであり、産業応用ばかりでなく、医療や環境の分野でも活用ができる汎用性の高いセンサである。

本プロジェクトは、本年度が２年目であり、開発課題は昨年度に引き続き、以下の通りとした。

（1）センサ構造を透過型にする。(⇒感度の向上、応答時間の短縮)

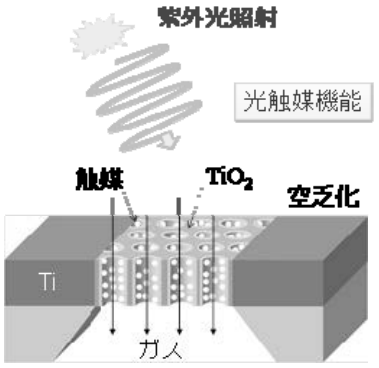


図1　ナノチューブガスセンサの模式図。酸化チタンNT膜の抵抗変化でガス検知。

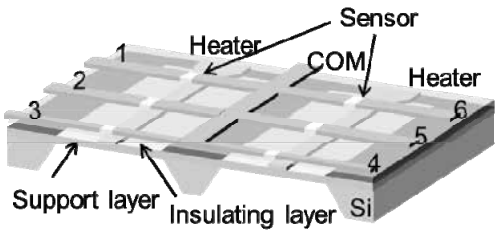


図2　集積化ガスセンサ。

（2）触媒金属微粒子をナノチューブ内壁に均一坦持する。(⇒高感度、応答時間短縮、ガス選択性付与)

（3）異種触媒金属微粒子担持した複数のガスセンサ素子を集積化する。(⇒ガス選択性の付与)

本研究において検知対象とするガスは、水素と一酸化炭素とし、開発するセンサの具体的な目標値は、以下のとおりとした。

①　検出濃度領域：　0.０１％(100ppm)～0.5％(5000ppm)
②　応答時間：50 msec 以下
③　回復時間：10sec 以下
④ 集積度：　センサ６個／ワンチップ

同一シリコン基板上に６個までの透過型ガスセンサを作りこむ。この集積化技術を確立し、集積化ガスセンサの実現を目指す。更に、それぞれのセンサに異なる触媒金属担持する手法も検討する。

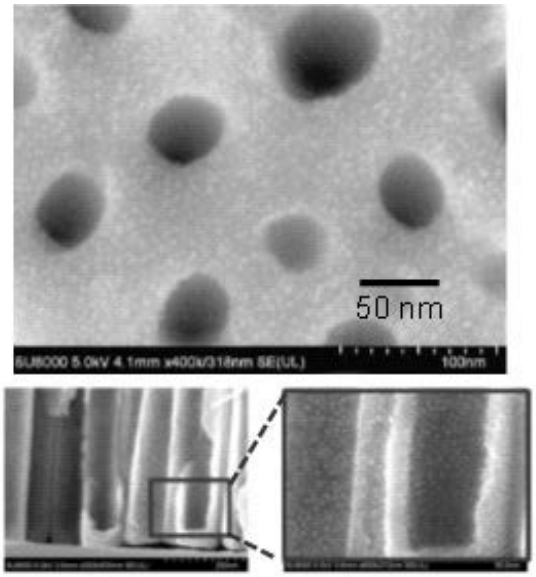


図3 Pt 担持した100nm 径の TiO2 ナノチューブ内壁の SEM 像。

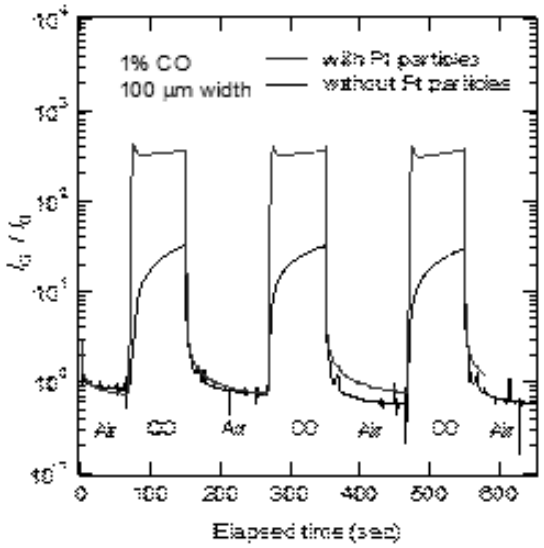


図4 Pt 金属微粒子担持有無のナノチューブガスセンサの出力特性の比較。

平成３０年度は触媒金属担持型ガスセンサの作製を試みた。図１に示すように、Ti02 ナノチューブの内壁に触媒金属微粒子を担持することにより、検出ガス分子の解離反応を促進させ、検出感度を向上を目指した。表面へのナノメートルサイズの触媒金属微粒子を吸着させるために原子層堆積法（ＡＬＤ）を用いた。

［3］成果

（３－１）研究成果

図３に示すように、原子層堆積法（ＡＬＤ）を用いてナノチューブ内壁へＰｔ金属微粒子を担持することに成功した。更に、担持型と非担持型ガスセンサの一酸化炭素ガスに対する応答特性を比較した結果、図４に示すように、担持型センサにすることにより、一酸化炭素検出において感度が一桁程度向上することが確かめられた。また、超微量水素ガス検出を試みた結果、ppb オーダーの超微量水素ガスの検知に成功した。これらの成果を電気学会で発表した。

次年度は、複数個のセンサ素子を Si チップ（数 mm 角のサイズ）上に集積化して、検出信頼性の向上と多成分同時分析を試みる。これらの成果を基に開発研究を加速してセンサの実用化に結び付けたい。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、昨年度同様、学外研究者（民間企業の研究者も含む）との研究連携が飛躍的に活性化し、当該ガスセンサの実用化へ向けて開発研究が大きく前進した。特に、上記の研究成果を基に、科学技術振興機構（ＪＳＴ）研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）機能検証フェーズ（実証研究タイプ）に申請した結果、応募件数１５７件の中の採択課題１０件の一つに選ばれた。当該事業は事業化を目指した支援プログラムであり、本プロジェクトが新産業創出にも貢献したと言える。

【採択課題】

- 課題名「酸化チタンナノチューブ構造による集積化ガスセンサシステムの開発」
- 資金制度、研究費名：科学技術振興機構（ＪＳＴ）研究成果展開事業　研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）機能検証フェーズ（実証研究タイプ）
- 配分機関名：科学技術振興機構（ＪＳＴ）
- 研究期間：H29 年 12 月 20 日 ～ H30 年 3 月 15 日

［4］成果資料

（1）（学会発表）阿部 宏之、馬 騰、但木大介、平野 愛弓、木村 康男、庭野 道夫「白金触媒を担持した酸化チタンナノチューブ薄膜を用いた高感度ガスセンサ」平成３１年電気学会全国大会（北海道科学大学）、H31 年 3 月 14 日。

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：H29/A34

大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明

［1］組織

研究代表者

久保田　繁（山形大学大学院理工学研究科）

通研対応教員

平野　愛弓（東北大学電気通信研究所・材料科学高等研究所）

研究分担者

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

廣瀬　文彦（山形大学大学院理工学研究科）

山本　英明（東北大学材料科学高等研究所）

鹿又　健作（山形大学大学院理工学研究科）

延べ参加人数：５０人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	189,000 円

［2］研究経過

多数の神経細胞の活動を *in vivo* で同時計測する技術が進歩したことにより、神経活動の発火相関から導かれる神経間の機能的結合を詳細に調べることが可能になった。その結果、神経回路の機能的結合関係は、動物が行う実験課題の内容や外部からの感覚刺激に応じて、数百ミリ秒という非常に速い時間スケールで切り替わることが明らかとなった。一方、神経回路の解剖学的な結びつきを表す構造的結合関係は、学習や発達に伴う回路のリモデリングによって、数時間あるいは数日といった遅い時間スケールで調節される。シナプス回路の構造的結合の変化は、神経間の機能的結合とその結果として生じるシナプス可塑性を通して、回路構造に再びフィードバックされるため、脳回路の構造と機能を一体として解析することが、現象の包括的な理解に不可欠である。このような観点から、本プロジェクトでは、大脳皮質のネットワークモデルを用いた計算論的研究と、培養神経回路による実験研究の両面から、皮質回路の構造と機能表現の相互作用を明らかにすることを目指す。

脳内で観察される様々な特徴的なネットワーク構造の中でも、本研究ではモジュール構造に着目する。モジュール構造は、密に結合した独立性の高い神経グループが、相互に疎に結合した構造であり、回路の形成と維持に必要な代謝コストを抑制しながら、空間的に離れた神経間の効率的なコミュニケーションを促進することができる。多数のモジュールが協調して活動する機構を解明することは、脳内の広範囲な情報伝達や、柔軟な情報表現の仕組みを説明する上で、大変重要である。

今年度は昨年度に引き続き、主に以下の２つの方向から研究を推進し、成果を共著論文として国際誌に発表した。

（1）積分発火型神経細胞モデルにより構成される、モジュール型神経回路モデルのシミュレーションにより、モジュール間の活動の連携が、大域的な同期発火活動を引き起こすメカニズムを明らかにする。

（2）パターニングした基板上に、培養神経によるモジュール型回路を実際に構築することで、モジュール構造の性質と、自発的な同期発火パターンとの関係を解明する。

また平成31年2月22-23日には、神経生物学、生理学、生物物理、集積回路などの多分野の研究者を集めて国際シンポジウム 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer を開催し、研究成果を共有し議論を深めた。

The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会

日時：平成31年2月22日（金）－23日（土）

場所：　東北大学電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
４階カンファレンスルーム

2月22日（金）

「Exploiting temporal codes in spiking neural networks」L. Theogarajan (UC Santa Barbara, USA)

「Chaotic neural network reservoir and its application to

brainmorphic computing hardware」Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
「Recent developments on the state of the art in spiking neural hardware」J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Technical Univ. Catalunya, Spain)
「Design of an analog MOS circuit of the Izhikevich neuron model」S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
「Temporal integration of axonal spike signaling in the hippocampus」H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
「Three-dimensional neuronal cultures: challenges and opportunities」J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
「Stable lipid bilayers as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins」A. Hirano-Iwata, D. Yamaura, M. Kato, T. Deguchi, F. Xingyao, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano (Tohoku Univ., Japan)

2月23日（土）
「Optimized stimuli for neuronal desynchronization and their application to module networks」S. Kubota, J. E. Rubin, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Yamagata Univ., Japan)
「Robust sequence learning in attractor memory networks with fast Hebbian plasticity」P. Herman (Royal Inst. Technology, Sweden)
「STDP in SNN implementation on FPGA」Y. Xia, T. Levi, T. Kohno (Univ. Tokyo, Japan)
「Detecting neuron-glia communication through optic flow and synaptic stabilization in neuronal cultures」J. G. Orlandi, Y. Hernández, J. Davidsen, M. A. Colicos (Univ. Calgary, Canada)
「Excitatory synaptic transmission is modulated by the density of surrounding astrocytes」K. Oyabu, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki (Fukuoka Univ., Japan)
「Dynamical richness in modular cortical networks emerges as trade-off between functional integrability and spatial segregation」H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

［3］成果
（3－1）研究成果
今年度は特に、パターン化された培養神経回路と神経回路シミュレーションによるモジュール構造型神経回路網の機能解析を進め、その成果をプロジェクト参画メンバーらとの共著論文として発表した。ここでは、モジュール構造型ネットワークが同期と非同期状態が混在したダイナミクスを安定に保持するメカニズムを構成論的アプローチによって明らかにすることができた。加えて、モジュール構造型ネットワークの数学的考察に関する研究も進み、こちらも成果をメンバー間の共著論文として国際誌に発表した。
本プロジェクト研究メンバーをコアメンバーとしたH31年度科研費の新学術領域研究の申請に向けて、10月に東北大学において打ち合わせを行っている。この他、2月22～23日に開催されたRIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computerにおいても、本研究に関する最新の研究成果を報告するとともに、一層の共同研究推進のための有益な情報交換を行った。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本プロジェクトの成果は、中枢神経系のネットワーク構造の幾何学的特性が、情報表現機能の発現に結びつく神経計算論的、神経生物学的な機構を明らかにするという学術的意義を持つ。この成果を発展させることで、異なる脳の領域間でコミュニケーションが速やかに行われるメカニズムや、神経情報のコーディングといった幅広い問題に関する、重要な示唆が得られると期待される。さらに、脳の構造と機能の関係に関する理解を深めることで、柔軟な情報処理を高速に実現するための脳型コンピュータの計算原理の創出にも結び付くと期待される。

［4］成果資料
（1）H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, “Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks”, Science Advances 4, eaau4914 (2018).
（2）S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Mean-field analysis of directed modular newtorks”, Chaos: An Interdiscipilinary Journal of Nonlinear Science 29, 013142 (2019).
（3）S. Kubota, J. E. Rubin, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Optimized stimuli for neuronal desynchronization and their application to module networks”, 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, Japan, Feb. 22-23, 2019.
（4）袁 之雄, 山本英明, 守谷 哲, 井手克哉, 久保田 繁, 佐藤茂雄, 平野愛弓, “階層的モジュール

構造を有する神経回路網モデルにおける活動パターンの機能的複雑性”，電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会, 2018 年 10 月 19 日，東北大学，仙台.

（5）守谷 哲，山本英明，袁 之雄，井手克哉，脇村 桂，平野愛弓，久保田 繁，佐藤茂雄，“モジュール構造型神経回路モデルにおける興奮性-抑制性均衡とネットワークダイナミクス”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会，2018 年 10 月 19 日，東北大学，仙台.

採択回数	1	(2)	3

(大型)

採択番号：H29/A35

ミニマルブレインの理解と再構築

［1］組織

研究代表者

神谷　温之（北海道大学大学院医学研究院）

通研対応教員

平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

上原　洋一　（東北大学電気通信研究所）
木村　康男　（東京工科大学）
佐藤　茂雄　（東北大学電気通信研究所）
谷井　孝至　（早稲田大学理工学術院）
庭野　道夫　（東北福祉大学）
森江　隆　（九州工業大学生命体工学研究科）
八木　哲也　（大阪大学工学研究科）
桂林　秀太郎（福岡大学薬学部）
片野　諭　（東北大学電気通信研究所）
早川　吉弘　（仙台高等専門学校）
山本　英明　（東北大学材料科学高等研究所）

延べ参加人数：60 人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	246,000 円

［2］研究経過

ナノテクノロジーとバイオマテリアル、そしてエレクトロニクスの融合は 21 世紀の重要な科学技術分野の一つである。その発展のためには、現在の半導体微細加工技術とバイオマテリアルの融合に基づく、バイオ技術・計測の高度化や新機能の創成が必要である。特に、その多様な機能が次々と解明されつつある生体膜における情報伝達系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題であると考えられる。

本プロジェクト研究では、脳機能の基本単位、すなわちミニマルブレインの動作原理について構成論的に理解し、最先端の工学とバイオの融合的アプローチを用いてミニマルブレインの機能を人工的に再構築することを目的とする。実際の神経細胞を培地基板上で自在につなぎ合わせることによって人工神経回路網を構築する。さらに、この系を活かした解析的研究により、局所的な神経ネットワークの時空間ダイナミクスを数理モデルにより追及する。これらの成果に基づいて、脳型コンピュータの基礎となる並列・分散的な情報処理回路の実現のためや、脳神経回路の誤動作・異常と捉えられる精神疾患などの脳機能障害の解明のための学術的基盤を確立する。再構成系神経回路の構築とその機能解析を通して、脳の情報伝達の時空間ダイナミクスを新たな視点から学際的に探究し、理工学分野と医学・生物系分野の融合研究を進展させる。基盤となる研究分野は、再構成神経回路の形成と計測分析を専門とする表面・界面工学、細胞工学の研究分野、実際の神経細胞の神経回路を専門とする神経生理・電気生理の研究分野、神経回路のハードウェアやニューラルネットワーク理論が研究対象のエレクトロニクス分野である。研究グループは、培養神経細胞を用いて実際の脳に近い神経回路網の形成を行い、その神経ネットワークにおける情報伝達機構を分析的・微視的な立場から計測・解析するグループと、電気生理計測技術を駆使して、再構成人工神経回路網の情報伝達ダイナミクスを明らかにするグループよりなる。

本年度は、生体の神経回路網における機能素子である神経細胞（ニューロン）の機能解析を進展させ、神経細胞の形態と細胞膜の閾値下特性との関係の一端を明らかにした。これに際し、研究分担者間の共同研究も複数実施された。また、平成 31 年 2 月 22－23 日には、ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて、共同プロジェクト研究会共催の国際シンポジウムを開催し、周辺領域の研究者との交流を行うとともに、勉強の場とした。以下にその概要を示す。

The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会
日時：平成 31 年 2 月 22 日（金）－23 日（土）
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム

2 月 22 日（金）
「Exploiting temporal codes in spiking neural networks」L. Theogarajan (UC Santa Barbara, USA)
「Chaotic neural network reservoir and its application to brainmorphic computing hardware」Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
「Recent developments on the state of the art in spiking neural hardware」J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Technical Univ. Catalunya, Spain)
「Design of an analog MOS circuit of the Izhikevich neuron model」S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
「Temporal integration of axonal spike signaling in the hippocampus」H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
「Three-dimensional neuronal cultures: challenges and opportunities」J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
「Stable lipid bilayers as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins」A. Hirano-Iwata, D. Yamaura, M. Kato, T. Deguchi, F. Xingyao, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano (Tohoku Univ., Japan)

2 月 23 日（土）
「Optimized stimuli for neuronal desynchronization and their application to module networks」S. Kubota, J. E. Rubin, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Yamagata Univ., Japan)
「Robust sequence learning in attractor memory networks with fast Hebbian plasticity」P. Herman (Royal Inst. Technology, Sweden)
「STDP in SNN implementation on FPGA」Y. Xia, T. Levi, T. Kohno (Univ. Tokyo, Japan)
「Detecting neuron-glia communication through optic flow and synaptic stabilization in neuronal cultures」J. G. Orlandi, Y. Hernández, J. Davidsen, M. A. Colicos (Univ. Calgary, Canada)
「Excitatory synaptic transmission is modulated by the density of surrounding astrocytes」K. Oyabu, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki (Fukuoka Univ., Japan)
「Dynamical richness in modular cortical networks emerges as trade-off between functional integrability and spatial segregation」H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

［3］成果
（3－1）研究成果
本研究では、培養神経細胞系における脳機能発現を目指し、培養の下地となる基板表面のパターニングにより神経細胞の配置と極性制御を行い、脳内神経細胞回路網の基板上への構築を行うことにより、最小機能単位ミニマルブレインの抽出を目指している。今年度は特に、神経細胞膜や軸索の電気生理学的特性の解析を進め、その成果をプロジェクト参画メンバーらとの共著論文などとして発表した。加えて、神経生理学におけるダイナミック・クランプ計測法を応用した生体−電子ハイブリッド神経回路の構成に関する研究も進み、成果を国際誌に発表した。
本プロジェクト研究メンバーをコアメンバーとした H31 年度科研費の新学術領域研究の申請に向けて、10 月に東北大学において打ち合わせを行っている。この他、2 月 22～23 日に開催された RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer においても、本研究に関する最新の研究成果を報告するとともに、一層の共同研究推進のための有益な情報交換を行った。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本研究の発展は、電子工学やコンピュータ科学分野に新たな学術研究の流れを作り出し、ナノテクノロジーを土台とした新たな将来性のあるバイオ研究を創成できる。また、再構成神経回路網の形成と制御法やナノスケール計測技術が確立されることにより、未知の神経生理メカニズムの発見が期待される。さらに、培養系で「完全に設計された」人工神経回路網を再構成し、これに実際の神経回路の動作原理を実装すれば、新たな脳型コンピュータの開発が可能になり、スマートグリッドやクラウドコンピューティングにおける各種の制御機構や情報の分散処理に適応していくことも可能となる。そのようなデバイスや神経回路網の制御機構に関する基礎的知見は、精神疾患の治療や脳の再生など医療面においても大きな波及効果が期待される。本プロジェクトを基盤として、電子工学、ニューラルネットワーク理論科学、電子回路工学、生理学、薬理学、医学の様々な分野の研究者との研究交流チームが形成され、平成 31 年度科研費　新学術領域研究の申請へと発展している。

［4］成果資料

(1) R. Matsumura, H. Yamamoto, T. Hayakawa, S. Katsurabayashi, M. Niwano, A. Hirano-Iwata: "Dependence and homeostasis of membrane impedance on cell morphology in cultured hippocampal neurons." *Sci. Rep.* 8, 9905 (2018).

(2) S. Ohura, H. Kamiya: "Sodium channel-dependent and –independent mechanisms underlying axonal afterpolarization at mouse hippocampal mossy fibers." *eNeuro* 5, e0254-18 (2018).

(3) H. Yamamoto, T. Hayakawa, T. I. Netoff, A. Hirano-Iwata: "A single-cell based hybrid neuronal network configured by integration of cell micropatterning and dynamic patch-clamp." *Appl. Phys. Lett.* 113, 133703 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

（国際）

採択番号：**H29/A36**

Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic

［1］組織

研究代表者

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者

Maria Mannone
(Department of Mathematics and Informatics, University of Palermo. Italy)
黄 佳維（東北大学 電気通信研究所　D2）
菅原 諒（東北大学 電気通信研究所　M2）

延べ参加人数： 5 人

研究費

物件費	61,000 円
旅費	153,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

The general purpose of the research is the development and improvement of a creative and artistic application of the IM3D technology for motion tracking, whose development started at the Tohoku University by the ICD group of Prof. Yoshifumi Kitamura. Such a creative project involves the implementation of prototypes of the CubeHarmonic, a musical application of the Rubik's Cube thought by Dr. Maria Mannone, starting from mathematical music theory applied to music (combinatorics and music theory). Scrambling the cube, we get different chords and chord sequences.

Dr. Maria Mannone stayed in the Research Institute of Electronic Communication at Tohoku University twice in June and November, 2017, and implemented the CubeHarmonic system together with the members of Tohoku University. She also came in February 2019 to present the project during the FY 2018 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects.

The first CubeHarmonic prototype had been completed in November 2017, and the work has been presented at NIME (New Interfaces for Musical Expression) Conference in June 2018 [1]. It was very positively received by musicians and experts in music technology, and it is more and more catching the attention within music and mathematics community. A paper more focused on music theory was published in Fall 2018 by the Academy of Arts of Novi Sad [2].



Figure 1: The CubeHarmonic

［3］成果

（3-1）研究成果

The CubeHarmonic is a new musical interface, with the magnetic 3D motion tracking system IM3D [6] as shown in Figure 1. 3D positions of tiny, wireless, battery-less, and identifiable markers (LC coils) are tracked in real time. Positions of the pieces which contain LC coils are detected through IM3D, and transmitted to the computer to recognize the status of the Rubik's cube, that plays sounds. The central position of the cube is mapped onto overall loudness and pitch changes, as in Theremin playing. This new instrument, whose first idea comes from mathematical theory of music, can be used as a teaching tool both for math (group theory) and music (music theory, mathematical music theory), as well as a composition device, a new instrument for avant-garde performances, and a recreational tool. In Figure 2, we show cube playing featured in a composed cube-piano duo (Mannone's *Hello Cube!*) and in a free improvised trio (with percussion). The video of the performance was presented during NIME conference, and it has been included within a post in a blog of applied mathematics [7].

Between April 2018 and March 2019, we presented results of our research and we have been planning new developments.

A new development — February-March 2019 — is



Figure 2: Cube playing featured in a composed cube-piano with percussion in a free improvised trio.

about melody playing, with the option to select chords or arpeggiation. This improvement, available for the virtual cube, allows the user/performer to play melodies out of the notes on CubeHarmonic's top face — the one that is detected in our current prototype. It is possible to play the notes of the top face one after the other along rows or along columns, creating the effect of a melody. This new development greatly increases the expressivity potential of CubeHarmonic, and make permutations more musically identifiable.

However, several other developments of the project are still potential because it has not been possible to complete them yet. We are planning to complete them within the third and last year of the project.

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

As highlighted in our former report, the advantages of our device are the easiness to use, the possibility to customize the harmonic material, and the easiness to 'reset.' In fact, to go back to the initial "unscrambled" configuration, we do not need to solve the cube: even if the physical cube is still unsolved, the program can be restarted to an initial unscrambled configuration.

Within the existing prototype, we have one chord per face. As we scramble the cube, we mix the chords.

Current research is focused on note selection, thus, the performer/user will be able to select a subset of notes from each face, to be played simultaneously as smaller chords, or one after the other creating melodies.

In this way, we can play more than one chord on each face, and we can be free while choosing the initial tuning of the cube allowing more chords on each face. In our project, the musical output can be saved and shared with other electronic musical instruments and synthesizers via a MIDI output.

Main improvements involve more musical features on the physical cube, the investigation of different shapes, and the development and release of a mathematical/music app.

A very first prototype of the mathematical app was expected to be ready by the end of March 2019; see interface design in Figure 4. User tests will help improve it. The work will lead to paper submissions (Journal of

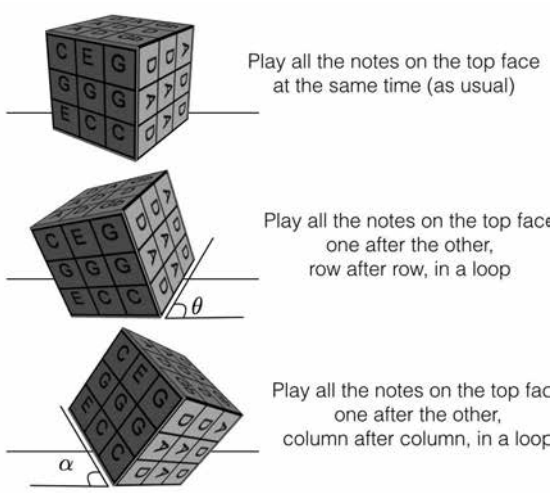


Figure 3

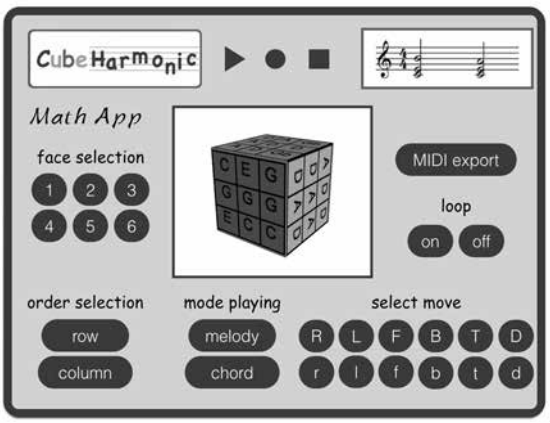


Figure 4

Mathematics and Music, Journal of Mathematics and the Arts, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology) and to the public release of the app. Also, we can investigate the cube in classroom scenarios, to make tangible and enjoyable some abstract concepts.

Refined single-note playing to exploit both melodically and harmonically playing on the cube can make CubeHarmonic a complete musical instrument, that can play as a solo instrument as well as with orchestral or chamber music performers.

Next research will include:

- Melody (sequence of single notes), to make the cube more attractive for performers and listeners
- Sound activation (pointing gesture). The pointing gesture can be substituted by an additional degree of freedom given by a cube rotation.
- Melody generation by indication of a path on the cube.
- Evaluation of the orientation of Cube, that can play a role as added degrees of freedom that can be mapped into music.
- Development of a variant of the cube, the 'Static CubeHarmonic.' Note selection can be achieved by

also using a cube with the overall shape of the Rubik's cube but where scrambling is not allowed. This would simplify tracking of the facets, and the pointing action can be evaluated by calculating the distance between a marker on performer's finger(s) and the markers on the cube. If the value would be below a given threshold, the sound would be enabled and the note played. This would allow us using faces for chords and/or melodies. More markers on different fingers would allow the performer playing with both hands on the Static Cube. The Static CubeHarmonic can be an intermediate step between our current prototype and a cube with performer's gestures recognition, but it can also constitute a musical instrument in itself, where the performer explores different paths and permutations of notes within each face by selecting the order of the notes.

Long-term developments of the project include examples of new shapes, and in particular, the five Platonic solids (tetrahedron, cube, octahedron, dodecahedron, and icosahedron). This would generalize the concept of CubeHarmonic by developing the family of Poly-Harmonic or PlatoHarmonic, with:

- TetraHarmonic
- (CubeHarmonic, already existing)
- OctaHarmonic
- DodecaHarmonic
- IcosaHarmonic.

［4］成果資料

[1] M. Mannone, E. Kitamura, J. Huang, R. Sugawara, and Y. Kitamura, *CubeHarmonic: A New Interface from A Magnetic 3D Motion Tracking System to Music Performance,* Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression, editors Luke Dahl, Douglas Bowman, Thomas Martin, Virginia Tech, pp. 350-351, http://www.nime.org/proceedings/2018/nime2018_paper0076.pdf

[2] M. Mannone, E. Kitamura, J. Huang, R. Sugawara, and Y. Kitamura, *Musical Combinatorics, Tonnetz, and the CubeHarmonic,* Journal of Collected papers of Academy of Arts, Sixth Issue, pp. 104-116, Zbornik, Serbia, 2018, https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2334-8666/2018/2334-86661806104M.pdf

[3] M. Mannone, "Can Mathematical Music Theory be Easily Learnt and also be Fun?" In: "Theoretical and Practical Pedagogy of Mathematical Music Theory: Music for Mathematics and Mathematics for Music, From School to Postgraduate Levels," eds. M. Montiel and F. Gómez, 281-298, World Scientific, 2018

[4] M. Mannone, "Have Fun with Math and Music!," invited contribution, Mathematics and Computation in Music Conference, to appear 2019

[5] M. Mannone, "CubeHarmonic: a Dialogue Between Mathematics, Music, and Technology", FY 2018 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, February 21, 2019.

[6] J. Huang, K. Takashima, S. Hashi, Y. Kitamura, "IM3D: Magnetic Motion Tracking System for Dexterous 3D Interactions," SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies, Vancouver, Canada.

The first paper [1] has been presented as a poster during the 2018 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2018), one of the world most relevant ones for music technology and development of new musical instruments. NIME 2018 was held at Virginia Tech, in the US. Our poster presentation of CubeHarmonic has been very well-received, stimulating curiosity and deep interest by music professionals.

The second paper [2] is included in a book published by the Academy of Arts of the University of Novi Sad in Serbia. According to Wikipedia, it is "one of the most important educational and research centers in South Eastern Europe with around 50,000 students and 3,700 staff members."

Information about the CubeHarmonic project are included in a chapter within a recently published book on mathematical theory of music [3] (that displays a CubeHarmonic also within its cover image, drawn by Maria Mannone).

A shorter version of this chapter, including references on CubeHarmonic project within math-musical pedagogy, is presented in an invited paper for the 2019 Conference in Mathematics and Computation in Music (MCM 2019) [4] that will be held in June 2019 in Madrid, Spain.

Our collaboration was presented during the FY 2018 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, on February 21, 2019, with a talk titled "CubeHarmonic: a Dialogue Between Mathematics, Music, and Technology."

Finally, the CubeHarmonic is cited in:

[7] an Italian blog of applied mathematics: http://www.mathisintheair.org/wp/2018/06/cubi-dodecaedri-e-cubi-di-rubik-quando-la-geometria-e-la-teoria-dei-gruppi-si-fanno-musica/

[8] an interview: https://www.ilsitodisicilia.it/il-connubio-tra-musica-e-matematica-nello-studio-di-una-ricercatrice-palermitana/.

共同プロジェクト研究

採択回数 （1） 2 3
（先端・萌芽）

採択番号：H30/A01

オペランド時空間X線分光を用いた先端デバイス研究

［1］組織

研究代表者：
吹留　博一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：
吹留　博一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
尾嶋　正治（東京大学）
川合　眞紀（分子科学研究所）
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
舘野　泰範（住友電工）
松田　巌　（東京大学）
原田　慈久（東京大学）
川原田　洋　（早稲田大学）
日比野　浩樹（関西学院大学）
水口　将輝（東北大学）
小嗣　真人（東京理科大学）
組頭　広志（高エネルギー加速器研究機構）
堀場　弘司（高エネルギー加速器研究機構）
永村　直佳（物質・材料研究機構）
大河内　拓雄（高輝度光科学研究センター）

延べ参加人数：３０人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	154,000 円

［2］研究経過

【本研究の着想に至った経緯】

① 代表者らは、グラフェンを電子輸送層とした超高速トランジスタ研究を行ってきた；
a）グラフェン反応の精密管理を行い、世界最高品質のグラフェン成長に成功した。膜の状態でのキャリア移動度は、室温で100,000 cm^2/Vs に達した。
b）世界最高の高周波特性を有するグラフェン・トランジスタの作製にも成功した。

② しかし、この高周波特性の実測値ですら、キャリア移動度から予測される理論値を下回る。この実験事実から、材料物性とデバイス特性の間のギャップに代表者は気付き、その原因が**表面・界面準位**にあると、代表者は推論した。

③ 表面・界面準位の働きの解明には、「動作しているデバイスの」「狙った箇所で」「化学結合選択的に」電子状態を調べることが必要である認識した。

以上の経緯から、私は、**デバイス動作下（＝オペランド）顕微X線分光を世界に先駆けて開拓**し、動作中のデバイスの表面の電子状態の元素選択的高空間分解能観察を実現した。GaNトランジスタの表面準位の電子捕獲による表面電位の空間的な変化の測定に成功した（図2上）。更に、デバイス・シミュレーションを組合わせて、表面準位に捕獲された電子密度の高精度な評価に成功した　（図2下）。

【オペランド顕微X線分光の問題点】但し、オペランド顕微X線分光は、時間分解能を有していない。しかし、実デバイスは、非DC電圧印加下で動作することが多い。

本研究では、前回の共同プロジェクト研究で開拓したオペランド（＝動作下）顕微X線分光に時間分解能を賦与した**オペランド「時空間」X 線分光 (o-STXS)**を開拓することを目的とする。o-STXSは、非DC電圧印加下でのデバイスに関し、化学結合状態で選別された表面・界面準位の電子状態の時空間変化の観測を可能にする（図1）。

さらに、o-STXSを用いた観測結果から、表面・界面準位の電子状態ダイナミクスとデバイス特性（例：信号増幅できる上限の周波数）の関係を解明する。この知見に基づいた先端デバイス開発（グラフェン、GaN、ダイアモンドをベースとした電子デバイス）を行い、社会の超スマート化に貢献する。

本プロジェクトは、本年度が第１年度であった。本年度は、o-STXSの観測法の確立を中心として研究を展開した。以下、研究活動状況の概要を記す。

・GaN/AlGaN 界面の二次元電子系をチャネルとした高速トランジスタ（GaN-HEMT）やグラフェンをチャ

ネルとした電界効果トランジスタ（GFET）を試料として、o-STXS を用いた観測法の確立を、SPring-8、東京大学、物質・材料研究機構などと共同で行った。

その研究において、東京大学、情報通信研究機構、物質・材料研究機構、住友電工と、o-STX 観測法の確立、および、o-STXS を用いたデバイス研究開発に関する研究打ち合わせを２回行った。のべ参加人数は、40 名程度であった。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

o-STXS の観測法の確立を中心として研究を展開した。以下、研究活動状況の概要を記す。

１）空間分解能:100 nm、時間分解能:100 ns の o-STXS 観測を、GaN/AlGaN 界面の二次元電子系をチャネルとした高速トランジスタ(GaN-HEMT)を試料として、試みた。その結果、ゲート電極近傍・ゲート電圧印加直後に、GaN 表面の化学結合の分極が大きく変化することが明らかとなった。この結果は、o-STXS 測定が、上述の時空間ドメインで成功したことを示唆するものである。

2) フェムト秒～ナノ秒の時間分解能を有する光電子分光を用いて、グラフェン中の光励起キャリアダイナミクスを探求した。その結果、グラフェンと基板である SiC との界面状態により、光励起キャリアダイナミクスの時定数が大きく変化することが明らかとなった。この結果は、グラフェンを用いたテラヘルツ光レーザーの動作機構の詳細な解明に役立つものである。

3) 東北大新青葉キャンパスに建設される次世代放射光施設の、時空間オペランド X 線分光への利用について検討を行った。その結果、次世代放射光施設の利用により、空間分解能：10 nm、時間分解能：10 ps まで達成することができることを示唆された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の成果を基にした申請研究が、総務省・戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）として採択され、さらに、平成 31 年度から選抜提案として継続されることとなっている。

1. ・Beyond 5G に向けたグラフェン/BN 原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発
   ・戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）重点領域型研究開発 フェーズⅠ
   ・総務省
   ・平成 30 年度
   ・代表
   ・研究経費額 3,185 千円
2. ・Beyond 5G に向けたグラフェン/BN 原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発
   ・戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）重点領域型研究開発 フェーズⅡ（選抜提案）
   ・総務省
   ・平成 31 年度
   ・代表
   ・研究経費額 10,140 千円

さらに、本研究の中心課題である時空間オペランド X 線分光は、次世代放射光施設計画の進展に伴い、関連コミュニティにおいて、これまでの代表者の研究が認められている。

その結果、本研究成果をベースとした CREST 申請研究、東京大学物性研究所を中心とした共同研究グループとともに、平成 31 年度に行うこととなり、鋭意申請書類を作成中である。この申請採択により、本研究を大きく展開させていきたく考えている。

［４］成果資料

(1) Enhancement of CO_2 adsorption onoxygen‐functionalized epitaxial graphene surface at near‐ambient conditions
Physical Chemistry Chemical Physics, 20 (2018) pp. 19532-19538.
S. Yamamoto, K. Takeuchi, Y. Hamamoto, R.‐Y. Liu, Y. Shiozawa, T. Koitaya, T. Someya, K. Tashima, H. Fukidome, K. Mukai, S. Yoshimoto, M. Suemitsu, Y. Morikawa, J. Yoshinobu and I. Matsuda**

(2) Interfacial carrier dynamics of graphene on SiC, traced by the full-range time-resolved core-level photoemission spectroscopy
Applied Physics Letters, 113 (2018), pp. 051601-1-051601-4.
T. Someya†, H. Fukidome*, N. Endo, K. Takahashi, S. Yamamoto, and I. Matsuda**

(3) Operation Mechanism of GaN-based Transistors Elucidated by Element-Specific X-ray Nanospectroscopy
Scientific Reports, 8 (2018), pp. 13268-1-13268-9.
K. Omika†, Y. Tateno, T. Kouchi, T. Komatani, S. Yaegassi, K. Yui, K. Nakata, N. Nagamura, M. Kotsugi, K. Horiba, M. Oshima, M. Suemitsu, and

H. Fukidome**

＊住友電工とのオペランド顕微 X 線分光を用いた産学連携共同研究＊

(4) Element- and Site-specific Many-body Interactions in Few-layer MoS_2 during X-ray Absorption Processes

Physica Status Solidi (a), (2018), pp. 1800539-1800539-7.

G. Kamata†, G. Venugopal, M. Kotsugi, T. Ohkochi, M. Suemitsu, and H. Fukidome**

共同プロジェクト研究

採択回数	(1)	2	3

(国際)

採択番号：H30/A02

気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成

［1］組織

研究代表者

金子 俊郎(東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員

平野 愛弓(東北大学 電気通信研究所)

研究分担者

Cheng-Che Hsu (National Taiwan University, Taiwan)
Meng-Jiy Wang (National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan)
Peter Bruggeman (The University of Minnesota, USA)
Yongfeng Li (China University of Petroleum, China)
畠山 力三(東北大学 大学院工学研究科)
加藤 俊顕(東北大学 大学院工学研究科)
髙島 圭介(東北大学 大学院工学研究科)
平田 孝道(東京都市大学 大学院工学研究科)
堀 勝(名古屋大学 大学院工学研究科)
白谷 正治(九州大学 システム情報科学研究院)
浜口 智志(大阪大学 大学院工学研究科)
佐々木 浩一(北海道大学 大学院工学研究院)
佐藤 岳彦(東北大学 流体科学研究所)

延べ参加人数:70 人

研究費:物件費	97,000 円
旅費	210,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトでは，２１世紀の重点的研究分野と目されている環境・エネルギー，ナノテクノロジー・材料，ライフサイエンス，フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも学問的基盤として根幹的に関わっているプラズマ科学と，ナノバイオ科学，さらには医療・農業分野が融合する新領域に特化して，研究開発を行う．特に，気相中，液相中，気液界面プラズマ中の新規プラズマプロセスを駆使することにより，次世代ナノ情報電子・バイオ・医療デバイス創成に資する研究基盤を，日本国内のみならず海外のプラズマ理工学者と共同してナノバイオ・医療科学技術に関わる電子・磁気・光工学，材料工学，物理，化学，分子生物学，医学・生命科学者の英知を結集して確立する．特に，本プロジェクトでは気液界面プラズマを用いた医療・農業研究が活発に行われている，アメリカ，台湾，韓国，中国の研究機関との連携を深め，国際共同で研究を推進する．

（研究討論会等開催状況）

日時：平成 31 年 1 月 21-22 日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 南講義棟 103 会議室

1. 「半導体微細構造中局所電子状態の観測と制御」大塚 朋廣 (東北大学 電気通信研究所)
2. 「金属水素化物薄膜のエピタキシャル成長と物性制御」清水 亮太 (東京工業大学 物質理工学院)
3. 「二次元シートやリボンの熱物性計測」李 秦宜 (九州大学 大学院工学研究院)
4. 「原子層2次元シートを利用した透明太陽電池の形成」山口 慶樹，何 杏，金子 俊郎，加藤 俊顕 (東北大学 大学院工学研究科)
5. 「Enhancement of Vitality and Activity of A Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) by Atmospheric Pressure Non-Thermal Plasma」Sang-Hye Ji[1], 4, Ju-Sung Kim[1], Choong-Hwan Lee[2], Han-Sol Seo[2], Se-Chul Chun[3], Jaesung Oh[4], Eun-Ha Choi[1,5], Gyungsoon Park[1,5] ([1]Plasma Bioscience Research Center, Kwangwoon University, [2]Department of Bioscience and Biotechnology, Konkuk University, [3]Department of Bioresources and Food Science, Konkuk University, [4]Plasma Technology Research Center, National Fusion Research Institute, [5]Department of Electrical and Biological Physics, Kwangwoon University)
6. 「Optimum Control of Cellular Homeostasis in Photosynthetic Organism, Cyanobactria and Plant Cells」Nobuyuki Uozumi (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
7. 「ROS-Mediated Regulation of Development, Reproduction and Stress Responses in Plants: Towards the Control of Growth and Quality of Crops by Plasma Technology」Kazuyuki Kuchitsu (Graduate School of Science and Technology, Tokyo University

of Science)
8. 「Investigation on Plant Response Marker for Plasma Effluent Gas Exposure」Keisuke Takashima, Ahmad Shahir bin Ahmad Nor, Shota Sasaki, Toshiro Kaneko (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
9. 「シャックハルトマンセンサを用いた放電プラズマ内部の 2 次元電子密度分布測定」稲田 優貴 (埼玉大学 大学院理工学研究科)
10. 「プラズマ・液体相互作用の観察」佐々木 浩一 (北海道大学 大学院工学研究院)
11. 「異相界面と温度に着目した大気圧プラズマの分光計測研究」占部 継一郎 (京都大学大学院 工学研究科)
12. 「プラズマによる液中活性種の生成」石川 健治 (名古屋大学 プラズマナノ工学研究センター)
13. 「プラズマ照射緩衝液を用いた培養細胞に対する短寿命活性種の持続供給」佐々木 渉太 [1], 鄭 悦星 [1], 神崎 展 [2], 金子 俊郎 [1] ([1]東北大学 大学院工学研究科,[2]東北大学 大学院医工学研究科)

本研究会では学内外を含め延べ 70 名以上の参加者があり，講演は「気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成」を主テーマに，バイオ応用プラズマプロセス，ナノスケール材料の量子特性，気液界面プラズマ活性種計測等の立場から，専門分野を越えて活発な議論がなされた.

［3］成果

（3－1）研究成果

Ⅰ.液中プラズマによる薬剤導入の機序解明

細胞内に任意の遺伝子（薬剤）を量的・空間的・時間的に制御する技術である遺伝子・薬剤導入は，分子生物学，医学分野において非常に重要な技術である．これまでに，外部から供給した He ガスを電離させた大気圧プラズマを培養細胞に照射することで，高い導入効率と細胞生存率を両立した薬剤導入が可能であることを実証してきた．しかし，実際の生体内での使用を想定すると，He ガスの供給によって適用可能部位が大きく制限される．そこで，本研究では，ガス供給を必要としない生理食塩水中放電（液中プラズマ）を生成し，薬剤模擬分子の細胞内導入実験を行った．また，その作用機序解明に向けて，導入因子の同定を試みた.

本実験では，将来的な内視鏡への取付を想定し，セミリジットケーブルを使用した．芯線先端には，タングステンワイヤー（φ0.15）を溶接しており，パルス電圧（印加電圧 ： V_{in} = 1.0 − 1.5 kV，パルス幅 ： T_p = 100 μs，繰り返し周波数 ： f = 1 Hz ）を印加することで，生理食塩水中で液相中プラズマを生成した(図 1)．また，非膜透過性水溶性薬剤のモデルとして，蛍光量から細胞内導入量を推定することができる YOYO-1 を使用した.

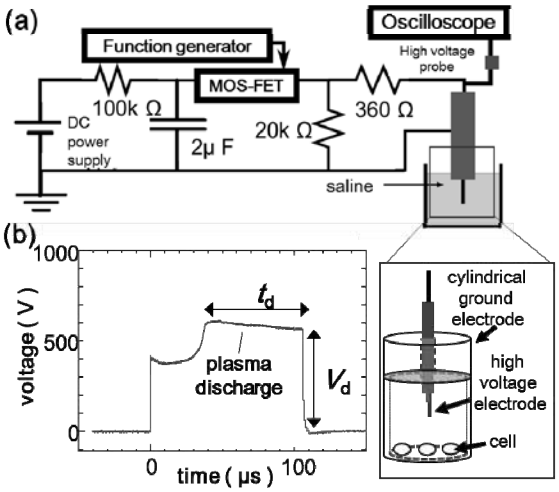


図 1. (a)液相中プラズマ生成装置の概略図，(b)典型的な液相中プラズマ放電波形.

図 2 に液中プラズマ直接照射(DPI)による YOYO-1 導入量に対する各種活性種(ROS)スカベンジャーと膜チャネル阻害剤の効果を示す．液中プラズマを直接照射することで，ctrl(未処理)に比べ，YOYO-1 導入が促進されていること分かる．その液中プラズマの薬剤導入促進効果を，活性種スカベンジャーは阻害できなかった一方で，細胞膜チャネル阻害剤は高い抑制効果を示した．細胞膜チャネル阻害剤として使用したルテニウムレッド (RR) と GsMTx4 が阻害する共通のチャネルに，機械刺激を受容する PIEZO1 チャネルがある. この PIEZO1 チャネルが何らかの形で介在し，薬剤模擬分子の細胞内導入が促進するものと考えられる. この PIEZO1 は機械刺激を選択的に受容する性質を持つため，プラズマ照射に伴って培養細胞に加わる各種刺激（衝撃波等の機械刺激・活性種による化学刺激・光刺激）の内，機械刺激が主要な導入因子である可能性が高いといえる.

この液中プラズマが促進する薬剤導入において，

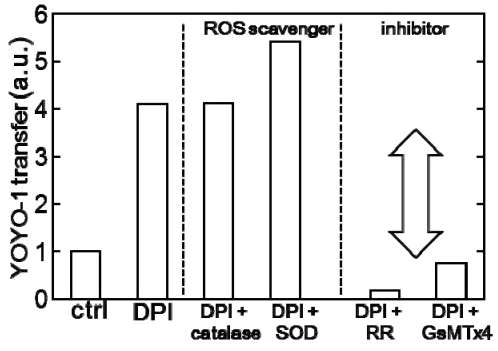


図 2. 直接照射(DPI)による YOYO-1 導入量に対する各種活性種(ROS)スカベンジャーと膜チャネル阻害剤の効果.

介在している生体分子を明らかにした結果は，プラズマ遺伝子・薬剤導入の高効率化及び作用機序解明に貢献するものである．

Ⅱ．プラズマ殺菌による病害防除技術の開発

プラズマの農業応用研究は，プラズマ生成液相短寿命活性種の生成過程の理解と制御が極めて重要となってきている．これまで，プラズマ活性ガスを噴霧対象の液体に溶解させ，噴霧対象で殺菌に必要な活性種を生成する研究してきたが，溶解させた活性種を反応させるため，必ず一定の照射時間を必要とするという課題があった．一方で，殺菌に寄与する短寿命活性種の寿命は１秒より長いこともわかってきた．そこで本研究では，プラズマと液体の直接の接触による高効率な液相短寿命活性種生成を試み，生成した短寿命活性種を直接噴霧することにより，殺菌時間の大幅な短縮を目的とする．

本研究ではプラズマ中に液体肥料の成分である硝酸カリウムを高速で射出し，電気伝導性の液体であることから電極として用い，プラズマと液体の接触を誘導する，新たなプラズマ照射溶液直接噴霧装置（図 3）を作製した．本装置中の気液界面付近（～10 nm）に，液相短寿命活性種である OH･が高濃度（30 mM）で生成されることが示唆されている．本研究の目的は，このプラズマ照射溶液（PES）噴霧により，短時間でイチゴ炭疽病菌分生子の発芽を抑制するこ

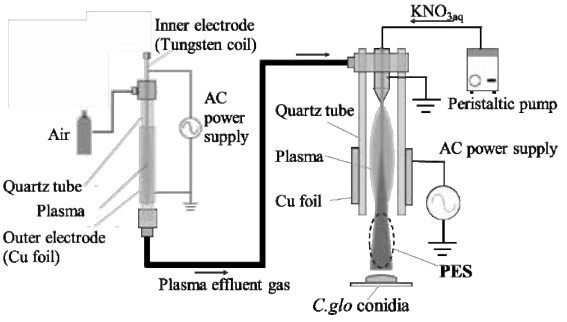


図 3. プラズマ照射溶液直接噴霧装置.

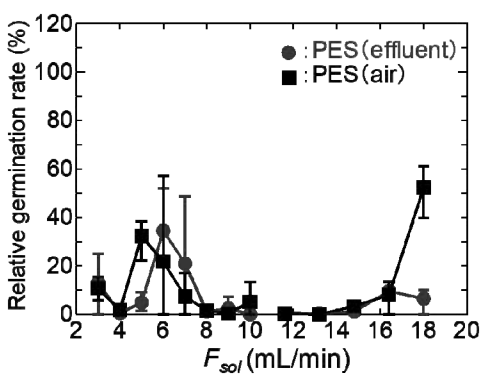


図 4. PES による分生子発芽抑制効果.

とである．

PES の効果を検証するために，液体導入量 F_{sol} を変化させ，イチゴ炭疽病菌分生子に対して１秒間直接噴霧する実験を行い，分生子発芽率を計測した（図 4）．F_{sol} = 8-14 mL/min において，高い分生子発芽抑制効果を示した．さらに，装置へ導入するガスを空気からプラズマ活性ガスに変更することで，発芽率が低くなる場合があった．F_{sol} に対するプラズマ照射溶液直接噴霧装置中の気相活性種を調べた結果，高い発芽抑制効果と NO_{2gas} に相関がみられた．プラズマ活性ガスの代わりに NO_{2gas} を添加する実験でも同様の分生子発芽抑制効果の向上が観測されたことから，気相中 NO_{2gas} と気液界面に局在する高濃度の OH･の反応から気液界面で HOONO が生成され，上記 F_{sol} の範囲において発芽抑制効果が高まり，１秒の噴霧で十分な発芽抑制効果を発揮したと考えられる．

今回の国際共同研究推進型の特別支援分の研究費により，韓国の気液界面プラズマ研究者を招聘し研究会を開催するとともに，ポーランド，米国，中国で開催された国際会議で分担者と議論することで，気液界面プラズマ科学分野における国際交流拠点の形成を推進している．さらに，韓国，中国とはプラズマ医療・農業分野における今後の共同研究への発展を念頭に入れた継続的な交流を行う予定である．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトを基盤に，東北大学を拠点として，東北地方の大学の研究者と台湾，韓国，中国の大学の研究者間での研究交流を継続して進める．また，研究代表者が米国の Prof. Peter Bruggeman 研究室を訪問し，米国との国際共同研究を推進している．本プロジェクトで明らかになった生体に対するプラズマ中の活性種の効果解明に関する成果は，プラズマのライフサイエンス（医療，農業）応用という新しい研究領域の開拓に結びつき，新しい医療機器や植物工場の開発等の今後の発展が期待されている．

［４］成果資料

(1) S. E. Hanbal, K. Takashima, S. Miyashita, S. Ando, K. Ito, M. M. Elsharkawy, T. Kaneko, and H. Takahashi, *Arch. Virol.*, **163**, 2835 (2018).
(2) H. Suzuki, N. Ogura, T. Kaneko, and T. Kato, *Sci. Rep.*, **8**, 11819 (2018).
(3) Y. Kimura, K. Takashima, S. Sasaki, T. Kaneko, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **52**, 064003 (2019).

採択回数 (1) 2 3
(若手)

採択番号：H30/A03

薄膜型量子デバイスに関する研究

［1］組織
研究代表者：
増渕　覚（東京大学・生産技術研究所）
通研対応教員：
大塚　朋廣（東北大学・電気通信研究所）
研究分担者：

延べ参加人数：2 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	117,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

（2－1）研究目的

グラフェンに代表される二次元ナノカーボン（2DNC）等の原子層物質は、既存の半導体二次元電子系（GaAs/AlGaAs, Si/SiGe）に比べ、スピン軌道相互作用・電子−核スピン間相互作用が共に弱いことから、伝導電子のスピンや位相コヒーレンスを利用した量子デバイス実現に向けた理想的な材料系である。さらに２DNC は、異なる電子物性を有する材料（トポロジカル絶縁体・強磁性体・超伝体）との機械的接合が可能であることから、伝導電子の量子力学的性質を組み合わせた新機能の創製を目指すことも可能となる(図 1)。

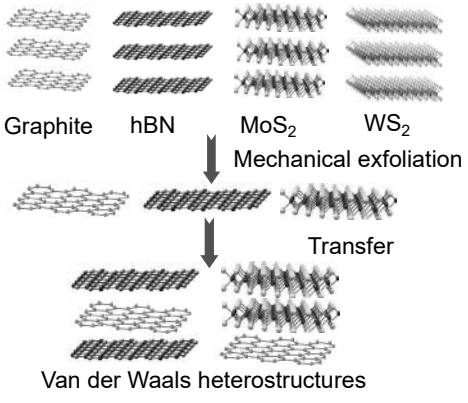


図 1. ファンデルワールスヘテロ接合系の模式図。

しかしこれまで、既存の半導体二次元電子系に比べ、本材料系を量子ビットデバイス等の量子デバイスへ応用する研究には困難が伴っていた。その最大の要因は、電子移動度 μ=1,000,000 cm^2/Vs を超える高品質 hBN/Graphene/hBN ヘテロ接合構造の作製工程が、熟練者の手作業による機械的剥離・光学顕微鏡観察・転写作業に依存しており、研究遂行に必要十分な素子数が提供できないためであった。この問題を解決するため、研究代表者は高品質 BN/Graphene/ｈBN 接合構造の作製工程を自動化する自律ロボットシステムを開発した。本システムの実現により、オーミック電極、ゲート電極等を試作するために必要十分な数のヘテロ接合構造を提供することが可能となった。

そこで本研究では、高品質ｈBN/Graphene/ｈBN ヘテロ接合構造の自動作製技術を活用して、二次元ナノカーボン材料等の原子層物質を用いた量子デバイスの実証研究を推進する。

（2－2）研究概要

本研究課題は本年度が第１年度であった。本年度は量子デバイスを構成する際の基本構成要素であるオーミック電極・ゲート電極の作製技術の開発、実証を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

・原子層物質を用いた薄膜型量子デバイス作製技術の開発

二次元ナノカーボン材料等の原子層物質を使って量子デバイスを作製するためには、原子層物質が持つ有用な性質を壊さないように電気的な接続を実現し、さらに量子閉じ込めのためのポテンシャル障壁を形成する必要がある。そこで高品質hBN/Graphene/hBN ヘテロ接合構造等の原子層物質について、オーミック抵抗の低い良好なコンタクトを作製する技術を開発した。さらに2層グラフェン上に絶縁膜をはさんだ金属電極を形成することにより、金属電極に印加した電圧の操作によってグラフェン内の電荷を制御する技術を実現した（図 2)。

そしてこれらの技術を用いて作製した試料について、液体ヘリウム温度に冷却してその電気伝導特性を

測定した。

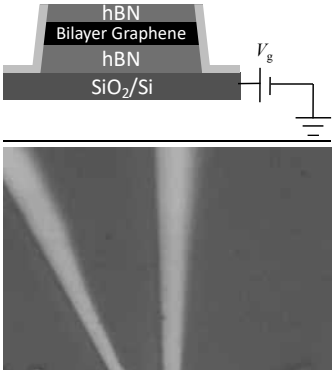


図2.（上段）hBN/二層グラフェン/hBNの模式図。（下段）光学顕微鏡写真。

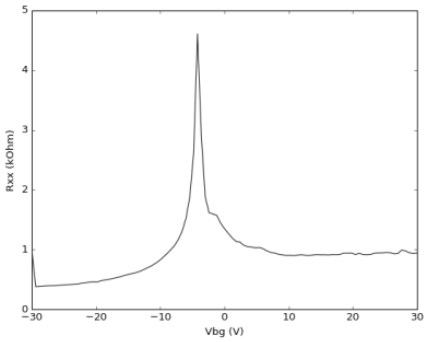


図3. R_{xx}のバックゲート電圧(V_{bg})依存性

$T = 4.2$ K にて縦抵抗値(R_{xx})のバックゲート電圧依存性を測定したところ、電荷中性点においてR_{xx}がピーク構造を取る両極性電界効果が観測された(図3)。縦抵抗値から電子移動度を見積もったところ、μ~100,000 cm^2/Vsであった。素子に対して面直磁場(B)を印加しバックゲート電圧(V_{bg})を掃引したところ、R_{xx}がV_{bg}に対して振動し、ランダウ準位充填率$\nu = \pm 4, \pm 8, \pm 12 \cdots$において$R_{xx}$が極小値を取った（図4）。さらに、$R_{xx}$が極小値を取る点において、ホール抵抗値が$R_{\mathrm{H}} = h/e^2\nu$に量子化された。この結果は、二層グラフェンに特有のランダウ準位$\left(E_n = \frac{heB}{m^*}\sqrt{n(n-1)}\right)$が形成されることにより、整数量子ホール効果が観測されたことを意味する（図5）。$B = 1.5$ T程度の弱磁場においても量子化が生じていることは、不純物による電子濃度揺らぎが抑えられた高品質素子が実現していることを示している。

この結果、良好な電気伝導特性、および金属電極による電荷制御特性を実証し、量子デバイスの製作に必要な特性が実現されていることを確認した。

研究の実施について、特別支援分のサポートにより、実験を効率的に実施して、共同研究を効率的に行うことができた。

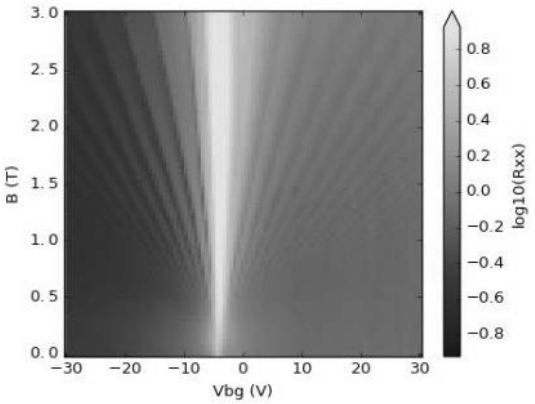


図4. 縦抵抗(Rxx)のバックゲート電圧・磁場依存性。

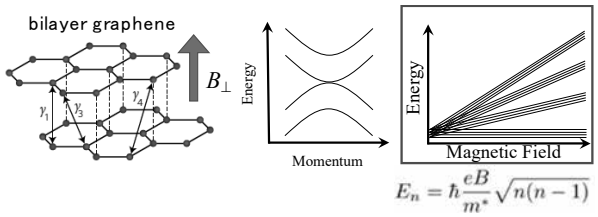


図5. 二層グラフェンに磁場を印加すると特有のランダウ準位が形成される。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の遂行により、グラフェンを利用した量子デバイスの実現に向けた研究を進めることができた。原子層物質という新しい材料を量子デバイスに導入することにより、従来のデバイスでは実現できなかった新機能の発現等、今後の発展が期待される。またグラフェン等の材料と、電子デバイスの研究者のネットワークを構築することができた。

［4］成果資料

（1）“Quantum devices based on atomic layers”, Satoru Masubuchi, Tomohiro Otsuka, RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects、仙台、2019年2月21日（ポスター）

採択回数 (1) 2 3
(国際)

採択番号：H30/A04

Japan-Russia International collaborative research on gated GaAs structures with an array of self-assembled Sn-nanothreads and their terahertz applications

［1］組織

V.G. Mokerov Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of Russian academy of sciences (IUHFSE RAS)
研究代表者：
Dr. PONOMAREV Dmitry
通研対応教員：
Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC)
研究分担者：
Dr. KHABIBULLIN Rustam
Dr. YACHMENEV Alexander
Mr. LAVRUKHIN Denis
Assist. Prof. WATANABE Takayuki (RIEC)

延べ参加人数：6 人

研究費：

物件費	97, 000 円
旅費	261, 000 円
国際特別支援費	220, 000 円

［2］研究経過

The project is aiming at fabricating of high responsivity and tunable detectors operating at terahertz (THz) electromagnetic wave region at room temperatures with both high quantum efficiency and noise-equivalent power by introducing the gated GaAs structures with self-assembled array of parallel Sn-nanothreads (Sn-NTs) embedded into GaAs matrix, as a sensing element of THz detector.

During the first year of the collaborative efforts Dr. Ponomarev Dmitry visited the group of Research Collaborator of RIEC Prof. Otsuji Taiichi once. During his stay in Sendai (February 18 – February 24) several lengthy discussions were held with Profs. T. Otsuji, A. Satou and T. Watanabe. Eventually D. Ponomarev presented a poster entitled "Japan-Russia International collaborative research on gated GaAs structures with an array of self-assembled Sn-nanothreads and their terahertz applications" at the RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects "Compass for Next Generation ICT" on February 21, 2019.

［3］成果

（3－1）研究成果

Device model and operation principle

The fabricated detector is comprised of two identical field-effect transistors (FETs) connected in parallel, with the source (S), gate (G) and drain (D) contacts (see Fig. 1). It uses the GaAs-structure with the self-assembled Sn-NTs which was grown by molecular beam epitaxy on the vicinal GaAs substrate with the surface inclined with respect to the (100) direction by the angle of 0.3±0.1 degree. After the growth of 0.5–1.0 μm thick GaAs layer on the vicinal substrate, the surface constitutes an array of the terraces with one monolayer height of 0.28 nm and the spacing between the terraces of 50 nm. The δ-doping of this surface by Sn atoms results in the formation of the Sn-NTs at the terrace edges. When overgrowing the formed structure, one acquires the array of the Sn-NTs inserted into the GaAs volume. The free electrons accumulated around the Sn-NTs form highly conducting channels along the Sn-NTs. The average electron density of the delocalized electrons can be controlled by the gate-to-source voltage (U_{GS}). Previously we demonstrated that the conductivity along these channels and perpendicular to them can be markedly different.

The microscopy image of the detector topology with the gate width W=2×80 μm and the gap between the source and drain L=10 μm is depicted in Fig. 1a,b. The operation principle of the proposed detector is associated with the heating of electrons in the channels along the Sn-NTs resulting in the increase of the current formed by the delocalized electrons, i.e. the drain-to-source current (I_{DS}).

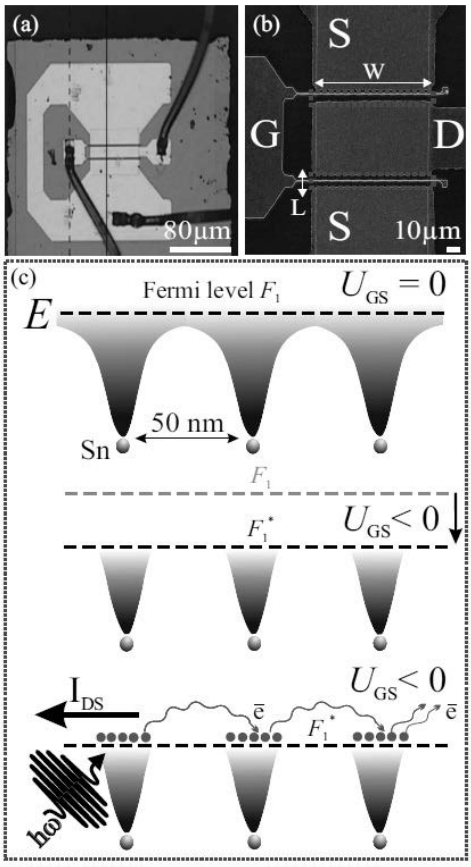


Fig. 1. Microscopy image of the GaAs-Sn-NTs detector with two identical FETs connected in parallel (a); the magnified image of the FET topology with the gate width and the gap between source and drain equal to W=2×80 μm and L=10 μm respectively (b); the operation principle illustrating potential profile (E) determined by Sn-dopants for zero and negative gate-to-source voltage (U_{GS}) at constant drain-to-source voltage without and with respect to the incident sub-THz radiation, respectively (c). The symbol F* denotes the decrease of the Fermi level at $U_{GS}<0$.

In order to demonstrate the operation principle, we have developed a classical device model, which involved solving of the 2D Poisson equation for the self-consistent electric potential, formed by the charges of the electrons in the localized states in the channels around each Sn-NT and in the delocalized states above the barriers, and accounting for the density of states but omitting quantization [1,2]. The potential barrier (U-μ) formed by the Sn-NTs, the average density of the delocalized electrons (n) and the fraction of the delocalized electrons in relation to all electrons F(U_{GS}) for different U_{GS} are shown in Fig. 2. The calculations were performed for 300 K.

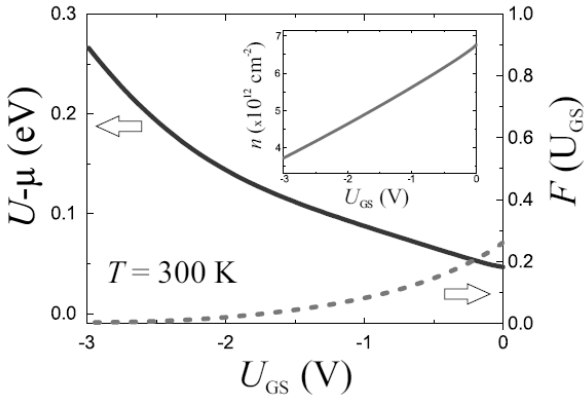


Fig. 2. Results of calculation: the potential barrier U-μ formed by the Sn-NTs (solid curve, left) and the fraction of the delocalized electrons in relation to all electrons F(U_{GS}) for different gate-to-source voltage U_{GS} (dotted curve, right). The insert denotes the average density of the delocalized electrons n(U_{GS}). The calculation is carried out for 300 K.

From the figure, one can notice when U_{GS} becomes negative the Fermi level is steadily deepened into the potential well and the value of F(U_{GS}) substantially decreases with the ($-U_{GS}$) increase. We can also see that the average density of the delocalized electrons shows a quite linear dependency that confirms a validity of a simple model of a plate capacitance to evaluate the average electron density. This is mostly due to a quite large distance from the gate electrode to the Sn-NTs, namely 50 nm.

Experimental characterization of the detector

Finally, we have experimentally characterized the GaAs-Sn-NTs detector. For this purpose, it was mounted in a holder which was then inserted into a response module located in a waveguide insert in the transport helium Dewar. As a monochromatic source of a sub-THz radiation we used a backward wave oscillator (BWO) with the radiation frequency of f=145.4 GHz corresponding to the output power P=4 mW. Prior to measurements a BWO was calibrated using a Golay cell. The sub-THz radiation from BWO was mechanically chopped at 350 Hz and taken to the fabricated detector through an oversized hollow circular copper waveguide with a tapered end with the output aperture d=6 mm in diameter. The photoresponse i_{ph} was measured at the constant drain-to-source voltage U_{DS}=0.3 V applied to the GaAs FET channel, while a standard current amplifier was used followed by a lock-in setup. The results of measurements are depicted in Fig. 3.

The experimental noise-equivalent power (NEP) [1] was estimated using the responsivity R_ω:

$$R_\omega = [½ \times i_{ph}/P][\pi(d/2)^2][1/(W \times L)], \quad (1)$$

where the factor 1/2 is due to using of two FETs in the experimental topology connected in parallel (see Fig. 1a).

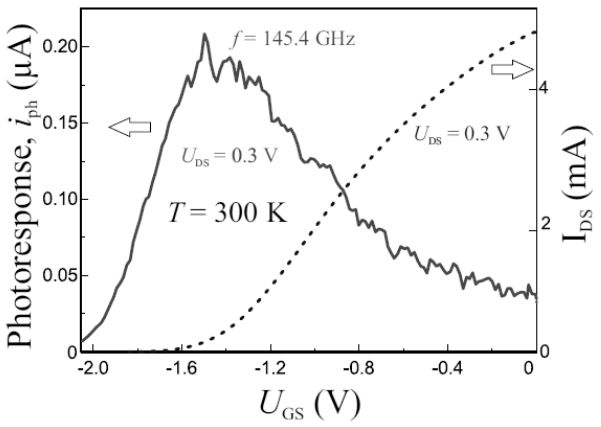


Fig. 3. Detector's photoresponse i_{ph} to the frequency of the incident radiation f=145.4 GHz corresponding to the output power P=4 mW (solid curve, left) and static transfer characteristics $I_{DS}(U_{GS})$ (dotted curve, right) measured at the constant drain-to-source voltage U_{DS}=0.3 V. The measurements are carried out for 300 K.

Thus, we got the following room-temperature experimental values: R_ω = 1.34 A/W and NEP = 1.98 pW/Hz$^{1/2}$ which exceed the analogous values for similar operation principle detectors, namely the semiconductor-based hot electron bolometers and quantum-well/dot IR and THz photodetectors.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

In collaboration with Prof. T. Otsuji's group the device model of the Sn-NTs GaAs-detector has been developed and its operation principle was theoretically predicted. For this we sincerely acknowledge the help of Prof. V. Ryzhii.

In addition, the proposed and fabricated detector might be attractive for practical applications, for instance in the recognition of optical isomers of biomolecules, in the detecting images of anisotropic materials and for the non-contact determination of the electrical properties of semiconductors.

Moreover, the detector may possess the polarization selectivity (i.e. sensitivity) in the plane of the incident THz radiation which is useful for practical applications. The selectivity of polarization dependence (anisotropy) is associated with different absorption of radiation at which electric field is directed parallel or perpendicular to the Sn-NTs. This is due to a distinction in the electron dynamics (virtually free motion in the former case and localization in the latter). A difference in the absorption leads to a difference in the heating strength and, hence, in the conductivity of the system. Evidently, the detector might possess higher responsivity when the THz radiation is incident parallel to the Sn-NTs. Similar selectivity may arise in detectors based on nanotube arrays.

Our future efforts are aimed at optimization of the device structure as well as FET topology that will lead to the increase in the detector's photoresponse and its responsivity.

［４］成果資料

[1] D.S. Ponomarev, D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenev, R.A. Khabibullin, I.E. Semenikhin, V.V. Vyurkov, M. Ryzhii, T. Otsuji and V. Ryzhii, J. Phys. D: Appl. Phys. 51, 135101 (2018).

[2] D.S. Ponomarev, D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenev, R.A. Khabibullin, I.E. Semenikhin, V.V. Vyurkov, M. Ryzhii, T. Otsuji and V. Ryzhii, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1092, 012166 (2018).

[3] A.E. Yachmenev, D.V. Lavrukhin, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, R.R. Galiev, A.Yu. Pavlov, Yu.G. Goncharov, I.E. Spektor, M. Ryzhii, T. Otsuji, K.I. Zaytsev and D.S. Ponomarev, EPJ Web of Conferences 195, 02009 (2018).

[4] A.E. Yachmenev, D.V. Lavrukhin, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, R.R. Galiev, A.Yu. Pavlov, Yu.G. Goncharov, I.E. Spektor, M. Ryzhii, T. Otsuji, K.I. Zaytsev and D.S. Ponomarev, AIP Advances 9, 015112 (2019).

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A05

高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用

［1］組織

研究代表者：
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
稲岡　毅（琉球大学理学部）
片野　諭（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：９人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	142,000 円

［2］研究経過

近年、固体材料や分子（以下、材料等）の高速の状態変化を利用した高速スイッチング素子等が注目され、固体材料においてはナノスケール化による材料物性の改善も活発に試みられている。このような研究開発においては材料等の状態をリアルタイムで計測できることが求められる。材料等は固有の振動エネルギーを有する事から、「振動エネルギーの計測」、すなわち振動分光はこのような目的に有効である。「振動分光法」は固体や分子の固有振動エネルギーを計測する手法に共通して用いられる用語であり、具体的には赤外吸収分光法やラマン分光法、高分解能電子エネルギー損失分光法（High Resolution Electron Energy Loss Spectroscopy, HREELS）などがよく知られる。材料等の振動エネルギーは「材料の指紋」とも呼ばれ、振動計測の結果から試料対象の同定や状態の判断が可能になる。このため、振動分光法は材料基礎科学から生命科学、あるいは材料探索からデバイス開発等にわたる幅広い理工学の研究・開発分野で必須の方法である。加えて、ナノ材料に適用するためには相応の空間分解能が、またトランジェントな状態変化を追跡するためには相応の時間分解能が求められる。本研究計画の目的はサブナノメートル（原子レベル）の位置分解能とピコ秒の時間分解能を併せ持つ振動分光法を開発する。具体的には、高い空間分解能を得るために走査トンネル顕微鏡（Scanning Tunneling Microscopy, STM）発光分光をベースとした振動分光法を開発する。ピコ秒の時間分解能を得るために、STM 発光分光とピコ秒レーザーを組み合わせる。振動分光法の観点から重要である選択則ならびに得られる振動物性情報を明らかにする。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。研究計画に従い、以下の２つの課題について研究を実施した。（1）選択則の決定：準備的な研究において Ni(110) 表面上に解離吸着した酸素原子の振動エネルギーが STM 発光分光により計測出来ることが実験的にわかっていたが、その機構は不明であった。本年度はその解明に取り組んだ。（2）得られる振動物性情報の解明：Ni(110)表面に解離吸着した水素原子の振動エネルギーを（レーザー）ポンプ-プローブ的な手法を組み込んだ STM 発光分光により決定した。すなわち、水素原子の振動エネルギーを、ポンプ光の照射時からの遅延時間 τ の関数としてピコ秒の時間分解能と原子レベルの空間分解能で計測し、結果の解析を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

上述の（1）選択則の解明と（2）得られる振動物性情報の解明の研究で得られた成果について以下個別に記す。

（1）選択則の決定：本手法（STM 発光分光）で決定される Ni(110)-(2×1) O 表面の酸素原子の振動エネルギー（100 meV）は、電子エネルギー損失分光（HREELS）から得られる知見（B. VOIGTLANDER, S. LEHWALD, and H. IBACH, “SYMMETRY AND STRUCTURE OF THE RECONSTRUCTED NI(110)-(2X1)O SURFACE,” Surf. Sci. **225**, 162 (1990).）に基づけば、面内方向（表面に平行な方向）の振動である。探針-試料間の電子トン

ネルの向きと直交する方向の振動であり、我々の開発した振動と STM 発光との結合理論（T. Inaoka and Y. Uehara, “Classical electricity analysis of the coupling mechanisms between admolecule vibrations and localized surface plasmons in STM for vibration detectability,” J. Appl. Phys. **122**, 085306 (2017).）からは説明されない。すなわち、STM 発光と振動との結合機構が未解明であった。2018 年度の本共同プロジェクト研究において、酸素原子の振動に伴い探針直下の局所状態密度（LDOS）がフェルミ面近傍で変化すれば、STM 発光スペクトルに反映されることを理論的に示した（成果資料（1））。「酸素原子の振動に伴い LDOS が実際に変化すること」を確認するために、Ni(110)-(2×1)O 表面の電子構造を第一原理計算で求めた。この系の第一原理計算については先行研究があるが、当時のコンピューターの性能の制約もあり、数原子層のスラブ計算にとどまり、必ずしも STM を想定したものにはなっていない。本年度は一般化密度勾配近似を用いて Ni 11 原子層スラブに O 原子を吸着させた系の構造最適化を行った。結果の 1 例を図 1 に示す。この図は最適化された Ni(110)-2×1 O 構造における酸素原子軌道由来の状態密度（O原子の各軌道に対する射影状態密度）を表す。

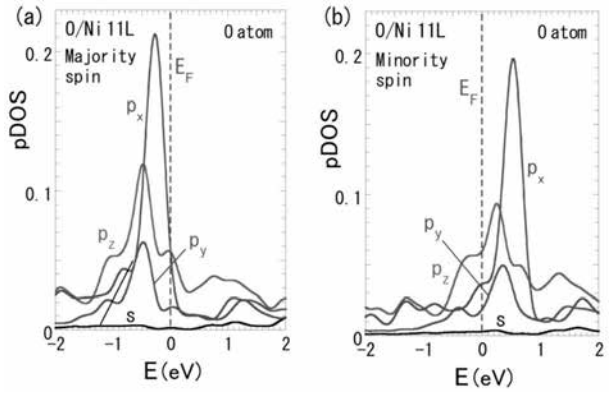


図 1　酸素原子軌道由来の状態密度
(a) Majority spin, (b) Minority spin

期待したように、フェルミ面近傍に O 原子由来の状態密度が新たに誘起されることがわかる。また、面内振動に対応する方向に O 原子を断熱的に変位させると、フェルミ面近傍での O 原子由来の状態密度が変化することを確認した（結果は示していない）。定性的には成果資料（1）の予測と高い整合性を有する結果である。来年度は、20、30 原子層程度までの大規模スラブで計算を行うことで、半無限系を記述するのに十分なスラブ厚さを明確にし、吸着による表面電子構造、LDOS の変化、酸素原子の振動によるフェルミ準位付近での LDOS の変化を精密に求める。

また、高配向熱グラファイト（HOPG）表面上の（孤立した）Ag ナノ粒子の STM 発光スペクトルの解析から、HOPG の ZO モードの振動エネルギーが求められることを発見した（成果資料（2））。ZO モードは表面に垂直な振動であり、この振動により Ag ナノ粒子も表面垂直方向に振動する。このため、前出の理論（T. Inaoka and Y. Uehara）により機構が説明された。

（2）得られる振動物性情報の解明：先ず、開発を続けてきた STM 発光分光とレーザーポンプ-プローブ法を組み合わせた手法が期待する時間分解能を有することを実験的に確認した。試料は結晶相の Sb_2Te_3 であり、τ =0 ps に対して光子エネルギー1.62 eV に STM 発光が観測されることがわかっている（Y. Uehara, M. Kuwahara, and S. Katano, “Measurement of phonon energy of Sb_2Te_3 by scanning tunneling microscope light-emission spectroscopy,” Solid State Commun **177**, 29 (2014).）。τ を可変とするポンプ-プローブ法で計測すると、図２の結果が得られた。図２中、(a)は τ =8.7～22 ps の範囲において観測される STM 発光スペクトルである。図２中(b)はその他の時間領域に於けるスペクトルである。τ =8.7 ～ 22 ps の範囲において発光エネルギーが 1.65 eV にブルーシフトしていることが見いだされた。この現象はポンプレーザーパルス光によりアモルファス相に向かって状態が変化していることを示していると解釈された。実際、(a)のフーリエスペクトル(a’)は、(a)のスペクトルが 18 meV の周期の構造を示す。この周期は試料のフォノンエネルギーに相当することがわかっている（前出 Solid State Commun **177**, 29 (2014).）。また、結晶相の Sb_2Te_3 のフォノンエネルギーは 18 meV であることが報告されている（G.C. Sosso, S. Caravati, and M. Bernasconi, J Phys-Condens Mat **21**, 095410 (2009).）。すなわち、図２(a’)のフーリエピークは、試料が結晶相にあることを明確に示す。一方、このピークは(b’)では消えている。これは、試料が τ =8.7～22 ps の範囲において結晶相とは異なる状態を取っていることを「振動分光の観点からは」明確に示す。このように、本手法により、試料の状態がピコ秒の時間分解能でわかる。

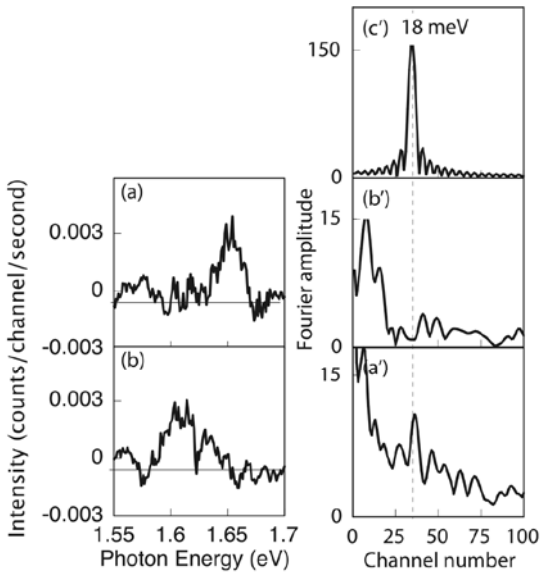


FIG. 5. (a) The spectrum obtained by averaging the spectra for $t = -98$, 2, 28.7, and 52 ps in Fig. 3, for which the values of $\Delta E_{\text{UEB-LEB}}$ are each 1.62 eV. (b) The result obtained by averaging the spectra for $t = 8.7$ and 22 ps, for which the $\Delta E_{\text{UEB-LEB}}$'s are approximately 1.65 eV. Panels (a′) and (b′) are the Fourier spectra of (a) and (b), respectively. Panel (c′) is the Fourier spectrum of a sinusoidal wave with a period of 18 meV.

図２（前出 J. Appl. Phys. **124**, 075104 (2018)の Fig. ５の引用）

ピコ秒の時間分解能を有する振動分光法の開発のため、Ni(110)-Streaky (2×1) H 系を試料として計測・解析を行った。微量の水素分子を清浄 Ni(110)表面に室温で曝すことにより形成される Ni(110)-Streaky (1×2) H 表面では、孤立した「数原子列の長さの Ni アドアトム原子列」上に原子水素が解離吸着している。従って、この吸着原子水素の振動エネルギーを計測するためには、原子レベルの位置分解能が求められる。また、原子水素の表面吸着サイトは 1 種類であり、3 個の振動モードがは３である。このことは実験結果の解析（振動解析）が単純になる利点をもたらす。

計測の結果、３つの振動エネルギーが観測されることがわかった。電子エネルギー損失分光（B. VOIGTLANDER, S. LEHWALD, and H. IBACH, "Hydrogen adsorption and the adsorbate-induced Ni(110) reconstruction- an EELS study," Surf. Sci. 208, **113** (1989).）で得られている知見を元に、原子水素の吸着サイトと各モードの振動方向を同定した。原子位置分解能で各振動モードの時間発展が決定出来たことは、本研究目的にとって重要な一歩である。しかし、各モードの時間発展は複雑であり、時間発展を決定している機構の解明は次年度に持ち越された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究過程で述べたように振動分光は広い研究技術分野で欠かすことが出来ない計測方法となっている。本研究は、振動分光に従来に無い高い（原子レベルの）空間分解能と高い（ピコ秒の）時間分解能を与える試みであり、関連分野に大きな貢献をなし得ると考えている。

［４］成果資料

次の論文発表を行った。なお、（３）の成果は H28A01「ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用（代表 桑原正史氏）」との（共同プロジェクト研究間の）共同研究による。実際、試料（Sb_2Te_3、カルコゲン合金の一種）は桑原氏により提供され、計測は東北大通研で実施された。解析はカルコゲン合金の作成とデバイス応用を専門とする桑原氏と共同で行った。

（１） Y. Uehara, T. Inaoka, T. Nishio, and S. Katano, "Vibration-induced structures in scanning tunneling microscope light emission spectra of Ni(110)-(2 × 1) O," J. Appl. Phys., **123**, 224302 (2018).

（２） Y. Uehara, J. Michimata, S. Watanabe, S. Katano, and T. Inaoka, "Determining the phonon energy of highly oriented pyrolytic graphite by scanning tunneling microscope light emission spectroscopy," J. Appl. Phys. **123**, (2018).

（３） Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, T. Tanno, and J. Sakai, "Pump–probe scanning-tunneling-microscope light-emission spectroscopy of Sb_2Te_3," J. Appl. Phys. **124**, 075104 (2018).

採択回数 (1) 2 3
(萌芽・若手)

採択番号：H30/A06

汎用型量子系制御技術に関する研究

［1］組織
研究代表者：
福原　武
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
通研対応教員：
大塚　朋廣（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
中村　一平
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
山本　隆太
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
小沢　秀樹
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
兼村　厚範
（産業技術総合研究所・人間情報研究部門）
延べ参加人数：8 人

研究費：
物件費　97,000 円
旅費　152,000 円
若手特別支援費　120,000 円

［2］研究経過
（2－1）研究目的
近年、電子の古典的な自由度だけでなく、量子的な自由度を利用した量子技術が、高度・多機能な情報処理や通信の実現に向けて注目を集めている。長期的な視点では大規模な量子系を用いた量子計算機のアプローチがあるが、これよりも先にまず小規模な量子系を用いた量子センサーや量子メモリ等の量子系技術が実用に近づいている。これらの小規模量子技術はその用途から、大量生産できることや可搬性、環境耐性などが求められ、また一度設置されるとメンテナンスを行いにくいことなどが想定される。これに対し現状では冷却原子系、半導体微細構造、超伝導回路等、様々な量子系において、それぞれ独自の制御・最適化技術を発展させているのが現状である。しかし、現実的なデバイスの実現に向けてそれぞれの量子系の長所を活かしつつ融合性を高めるため、それぞれの量子系に依らない汎用型の制御・最適化技術の開発が重要となる。

そこで本研究では、複数の量子系に適用可能な汎用型量子系制御技術に関する研究を行う。具体的には、いずれの量子系においても、量子センサーや量子メモリの実現に向けて現在の課題となっている量子システムの制御について、機械学習等を用いた自動制御、最適化技術の開発を行う。機械学習を用いた量子系の自動最適化制御が可能になればデバイスの自動キャリブレーション・自動メンテナンスが可能となり生産性、環境耐性、メンテナンス性の問題に対処することが可能となる。

（2－2）研究概要
本課題は本年度が第1年度であった。本年度は冷却原子や半導体量子ドット等の量子系について、自動制御、最適化技術の研究を実施した。

このための研究打ち合わせ・会議を
・平成30年8月29日-30日、東北大学
参加人数7人、発表7件
・平成30年11月26日-27日、LeapMind社
参加人数7人（うち1人はビデオ会議で参加）、発表5件
・平成31年2月19日-20日、東北大学
参加人数7人、発表3件（うち1件招待講演）
の日程で行った。量子技術の研究者と、機械学習技術の研究者という異分野の研究者が集まり、活発に意見交換がなされた。

［3］成果
（3－1）研究成果
1．冷却原子系における最適化技術
現状の冷却原子、半導体量子ドット等の量子系について、量子センサーや量子メモリに向けた制御、調整はすべて人間によってなされている。この調整過程は実験家の勘に大きく依存するものがあり、実用化に際しては、生産性、環境耐性、メンテナンス性の面で問題がある。そこで、制御、調整を機械学習により自動化して効率的に安定性を高める方式を

検討した。

具体的には冷却原子の蒸発冷却プロセスについて、ベイズ最適化法を用いた実験パラメータの探索を試みた。蒸発冷却においては、光トラップのビームパワーをどのように下げるかが冷却効率を決める。これに対し、2 本のビームのパワーを 5 段階で変化させ、それぞれの 4 つの中間段階のパワーの値を探索するという合計 8 パラメータの最適化を行った。実験により、300 回程度の試行（実験時間にして約 3 時間）で、人手で見つけた冷却と同程度以上の冷却を達成できることが示せた（図１）。

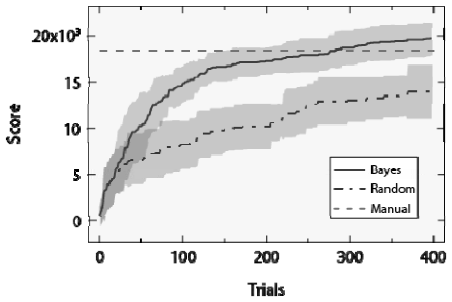


図１　蒸発冷却最適化のパフォーマンス

得られた蒸発冷却の軌跡を示したものが図２である。人手で見つけた蒸発冷却の軌跡（点線）とは異なる冷却方法で目標を達成できている点も興味深い。

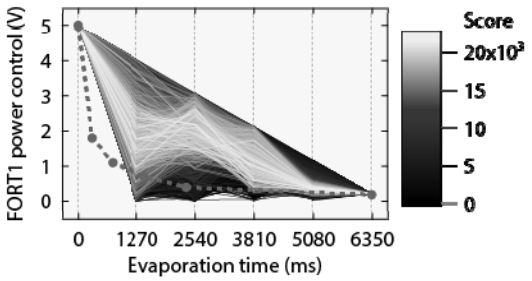


図２　最適化実験で得られた蒸発冷却の軌跡

また、探索によって得られたパラメータとその時のスコアを表示することで（図３）、パラメータのどの部分が重要であるかをあぶりだすことができた。実験パラメータの重要な部分に関する特徴を効率的にサンプリングするためにベイズ最適化法が使用できることを示した。

２．半導体量子ドット系における最適化技術

冷却原子系において有効であることが明らかとなったベイズ最適化等を用いた実験パラメータの最適化等について、半導体量子ドット系への拡張について検討を行った。

またこれらの研究においては特別支援分（若手）の研究費を活用することにより、効率的な研究推進および積極的な情報共有を行うことができた。

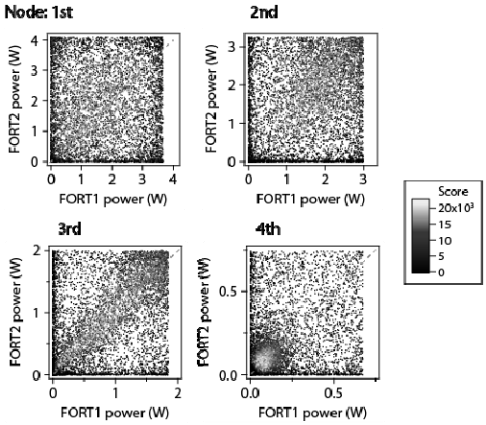


図３　蒸発冷却各段階のパラメータの相関

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより量子技術の研究者と、機械学習技術の研究者という異分野の研究者が一堂に集まり、議論をすることができた。これによりそれぞれの研究分野での現状の課題、またこれに対する異分野からのアプローチの可能性が明らかになり、たいへん貴重な機会となった。研究を推進していくことにより汎用型量子系自動制御、最適化技術の実現に貢献できると期待している。今後もこのネットワークを維持し、研究を推進していくことを決定した。

［４］成果資料

（１）I. Nakamura, R. Yamamoto, and T. Fukuhara, "Towards quantum simulation of spin dynamics in frustrated systems", 49th Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (DAMOP 2018) , Florida, USA, 29 May 2018

（２）福原武、「冷却原子を用いた量子情報技術と量子シミュレータへの展開」、第 79 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018 年 9 月 20 日（招待講演）

（３）中村一平、兼村厚範、中曽拓、山本隆太、小沢秀樹、福原武、「中性原子気体のレーザー冷却実験におけるベイズ最適化を用いたパラメータ探索」、第 35 回プラズマ・核融合学会年会、S4-4、大阪大学吹田キャンパス、コンベンションセンター、2018 年 12 月 4 日（招待講演）

（４）Takeshi Fukuhara, " Quantum Simulation with Ultracold Atoms in Optical Lattices," RIKEN Berkeley Workshop: Quantum Information Science, Lawrence Berkeley National Lab, Berkeley, California, USA, 28 January 2019

採択回数 (1) 2 3
(若手)

採択番号：H30/A07

光−スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究

［1］組織

研究代表者：
石原　淳（東京理科大学理学部第一部）
通研対応教員：
金井　駿（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
辻本　学（筑波大学数理物質系）
北澤　豪（東京理科大学理学研究科：M1）

延べ参加人数：4 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	156,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

現在、実用化を指向としたスピントロニクス分野の研究開発はスピンの性質が磁化として発現している強磁性金属をベースとした素子が中心となっている。一方で、定常的にはスピンの状態が表に出てこない非磁性半導体においても、スピンの自由度は大きな注目を集めている。半導体は光との相性が良く、スピンと光の偏光の相関を利用することで、光を使って容易に伝導電子スピンを生成することができる。他にも電界によるキャリアの変調や発光を利用できるため、スピンのインプット、コントロール、アウトプットのすべてを可能にする。例えば化合物半導体ではスピン軌道相互作用を利用することでスピン緩和を完全に抑制でき、スピンをより能動的に利用できる。また、欠陥中心や半導体量子ドットなどゼロ次元までスピンを閉じ込めると、量子力学的性質が顕著に表れ、スピンは量子情報の担体となる。このように半導体においてはスピンの活用方法は幅広く、強磁性金属単体では実現できない多様なスピン機能デバイス創生の可能性を持っている。そこで本プロジェクトでは、半導体と相性の良い光とスピンの相関に着目し、光−スピン変換を利用した半導体中におけるスピン状態の観測と制御を行うことで、デバイス応用に向けたスピン制御要素技術の獲得を目指して研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。研究体制は若手研究者で構成され、各研究者は光を使ったスピンダイナミクス測定、高周波磁場を使った電気的スピンダイナミクス制御/測定、酸化物単結晶成長といった各々が得意とする実験技術を有している。本年度は，半導体中量子構造中のスピン高精度観測および光制御、スピン制御可能な半導体欠陥中心材料の開発を達成するために、それぞれの測定基盤となる光学系の構築とそれらを用いたスピンダイナミクスの観測を中心に研究を展開した。

以下に研究活動状況の概要を記す。

・2018/5/23 参加人数 2 人

東北大学電気通信研究所にて、今後の実験環境整備、研究スケジュールについて打ち合わせを行った。

・2018/6/26, 27 人数 2 人

通研にて、光学測定系の構築を行なった。

・2018/11/5-11/7 人数 3 人

通研にて、光学測定系の構築を行い、研究経過について打ち合わせを行った。

・2019/1/30, 31 人数 2 人

通研にて、光学測定系の構築および実験を行い、また研究経過について打ち合わせを行った。

・2019/2/1

青葉山キャンパスで開催された研究会にて、本プロジェクト研究結果について発表した。

・2019/2/21

共同プロジェクト研究発表会でポスター発表を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に、スピンの超高速応答を観測するための時

間分解光学測定系を実現した。この検出法を利用して高移動度二次元電子のスピンダイナミクスを測定することで、電子スピンが外部磁場なしに歳差運動する様子を捉え、光励起キャリアが歳差運動周期に与える影響を明らかにした。

図1(a)は井戸幅20 nmの(001)GaAs/ AlGaAs単一量子井戸中の高移動度二次元電子スピンのダイナミクスを時間分解カー回転法によって測定した結果である。スピン信号に比例するカー回転角が、時間とともに減衰しながら振動している様子が観測された。これは運動する電子にはスピン軌道相互作用が働き外部磁場なしでもスピン軌道有効磁場によってスピンが歳差運動することを光により直接的に観測することに成功した結果である。また、スピンを励起するための光強度を大きくすることで、スピンの歳差運動周波数が減少した(図 1(b))。この原因として、励起密度の増加により電子の散乱頻度が増えることで全体として歳差運動が抑えられたこと、光励起キャリアによってスピン軌道相互作用が変調されたことが挙げられる。

第二に、半導体材料の発光分光が可能な共焦点顕微系を構築し、ダイヤモンド欠陥中心スピンの高周波磁場による制御に成功した。今後この測定系を白色レーザー光源を用いた高空間分解分光光学系に拡張していくことで広範囲の発光帯に及ぶ欠陥中心の観測、制御が可能になる。

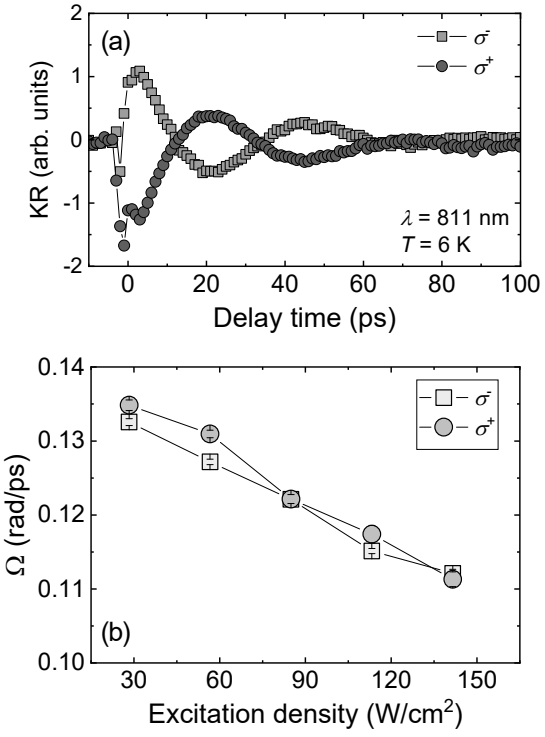


図 1 (a) 時間分解カー回転法によって測定した高移動度二次元電子スピンの時間発展, (b) スピンの時間発展測定結果から得られた歳差運動周波数の励起密度依存性。

本プロジェクト研究で得られた結果は、電気通信研究所共同プロジェクト研究のテーマである「固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用」と「スピン軌道相互作用を介した磁化・スピンダイナミクスの電気的操作に関する研究」によって共催された研究会にて発表した。この研究会では、金属スピントロニクスから半導体スピントロニクスまで幅広い範囲で主にスピンのダイナミクスについての研究報告があり、活発な質疑、討論が展開された。このように研究者が一堂に会する場において討論できたことは今後の研究を進める上で貴重な機会となった。

また、若手研究者対象型プロジェクトへの特別支援分の研究費では、本プロジェクトに係る研究を行っている東京理科大学の修士学生を電気通信研究所への出張に同行させることができた。そこでは普段目にすることのない他の研究室の実験設備や、実験手法を知ることができ、また、修士ながらも学外研究者と議論する機会ができたことで、研究分野に関する視野が広がり、内発的な動機付けのよい機会になったと考えられる。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトによって明らかになった高移動度二次元電子のスピンダイナミクスとその光強度に対する依存性は半導体中でのスピンの利用や光制御に関する有意な知見となる。また、欠陥中心スピンに関しては、構築した光学系により、機能性を持つ母体材料中の制御可能な欠陥中心スピンが探索でき、新たな研究への展開可能性を拓く。

［4］成果資料

(1) 北澤豪, 古庄裕也, 宮島顕祐, 大野裕三, 大野英男, 石原淳, ″GaAs/AlGaAs 量子井戸における高移動度二次元電子スピンのゼロ磁場歳差運動の励起密度依存性″, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 12a-M101-10, 東京工業大学大岡山キャンパス, 2019 年 3 月 9 日-12 日.

(2) 石原淳, ″半導体量子井戸における高移動度二次元電子のスピンダイナミクス″, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用」「スピン軌道相互作用を介した磁化・スピンダイナミクスの電気的操作に関する研究」, 東北大学青葉山キャンパス, 2019 年 2 月 1 日.

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A08

カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御

［1］組織
研究代表者：片野　諭
（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：片野　諭
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
Izabela Irena Rzeznicka（芝浦工業大学理工学研究科）
荒船 竜一（物質・材料研究機構）
上原 洋一（東北大学電気通信研究所）
Ridwan Pratama Putra（芝浦工業大学理工学研究科）

延べ参加人数：5 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	124,000 円

［2］研究経過

（2－1）研究目的

カーボンナノチューブやグラフェンなどに光を照射したり、電流を流すと、可視･紫外からテラヘルツにわたる光子エネルギー領域において発光が誘起される。このような光が関わるカーボンナノマテリアルの電子準位は、炭素骨格の構造によって決定される。つまりボトムアップに基づく物質設計によって、高いエネルギー精度と高い空間精度を兼ね備えた発光素子を実現することが可能である。しかしながら、これらカーボンナノマテリアルの発光効率がとても低いことが問題視されている。例えばカーボンナノチューブの場合、発光の量子効率は1%程度と低い。そのためこれらカーボンナノマテリアルを実用化するにあたってその発光効率を大幅に上げることが望まれている。

最近､炭素壁面の一部を原子や分子で修飾すると、カーボンナノマテリアルの光電子特性が大きく変化するといった報告が相次いでなされている。ところが、このようなナノ特異点の導入によって発光が増強するといった報告がある一方、消光するといった真逆の結果を示す報告もなされている。つまり、カーボンナノマテリアルに導入されたナノ特異点が、どのように発光に関与し発光の増強や減弱をもたらすのか、その理解が未だなされていない。

本研究プロジェクトの目的は、カーボンナノマテリアルの局在した光電子物性を原子スケールの空間分解能を有する走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて明らかにすることである。我々が独自に発展させた STM 発光分光によって、カーボンナノマテリアルの発光に関与する数 nm に局在した励起子を実空間で可視化する研究を行う。このような計測を通して、カーボンナノマテリアルの発光効率を決定する原子配列や化学状態を明らかにする。さらに、STM 探針を用いて人工的にナノ特異点を導入し、カーボンナノマテリアルの発光ダイナミクスを微視的に制御する研究を展開する。

（2－2）研究概要

本課題は平成 30 年度に新規採択された研究課題である。初年度において、酸化グラフェン（GO）のナノ構造を STM で明らかにする研究と、GO の微視的な電子構造を走査トンネル分光（STS）で明らかにする研究について成果が得られた。これら成果の詳細を以下に述べる。

［3］成果

（3－1）研究成果

GO は、原子平坦なグラフェンを水酸基、カルボキシル基、エポキシ基などの酸素官能基で修飾したカーボンナノマテリアルである。GO を還元処理することによりグラフェンに近い電子物性を取り戻すことが可能であり､GO を電界効果形トランジスタ、発光素子、バイオセンサーなどに応用することが期待されている。このような GO の電子物性や光物性は、グラフェンのπ電子共役構造が保持された導電性を有する sp^2 ドメインと、酸素官能基との結合により形成された絶縁性を有する sp^3 ドメインで構成される微視的な構造によって支配される。特に、sp^2 ドメインのサイズや、その空間分布は、GO の電気

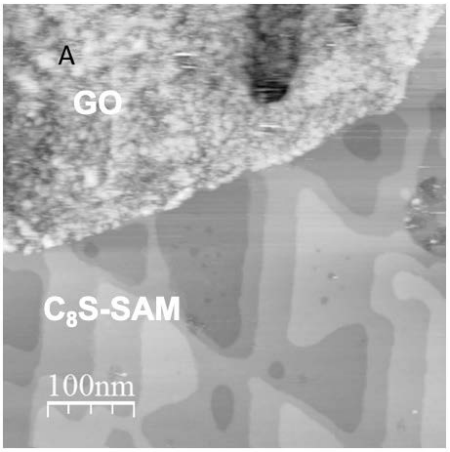


図1：An STM image of GO/C_8S-SAM/Au(111) surface at 298 K (Area: 500 nm×500 nm). The image was obtained by the sample bias voltage of 1.0 V and the tunneling current of 0.2 nA.

伝導や発光色を決定すると考えられている。そのため、このようなナノドメインを直接評価することは、GO を次世代電子材料として利用するにあたり重要な課題の一つである。これまで GO の構造評価は、主に可視光をプローブとした Raman 分光で評価されてきた。しかしながら、ここで得られる情報は、GO シートに多数存在する sp^2 ドメインの平均情報であり、一般的な光学計測により GO の不均一な構造と光電子物性を明らかにすることは困難である。

本課題では、原子レベルの空間分解能を有する STM を用いて、GO のナノスケール観察を行った。単層状態の GO が多く分散吸着する平坦性の高い試料基板を作製し、水や汚染物質の影響の少ない超高真空（UHV）下において STM による表面構造評価を行った。さらに走査トンネル分光（STS）により GO の局所的な電子構造を評価した。

実験では、電解研磨により先鋭化されたタングステン探針を用いて室温にて STM 計測を行った。また、走査電子顕微鏡（SEM）を用いて大気中で作製した試料基板の状態を評価した。使用した試料基板の作製方法を次に述べる。真空蒸着法によりマイカ基板上に Au(111)単結晶薄膜基板を作製した。この Au 基板を 1 mM のオクタンチオール($C_8H_{17}SH$)-エタノール溶液に 1~2 日程度浸漬し、広いテラス構造を保持したオクタンチオール自己組織化単分子膜（C_8S-SAM）を表面全体に均一に形成させた。還元処理されていない GO をエタノールで希釈し、さらに超音波処理した溶液を C_8S-SAM/Au(111)基板にスピンコートして試料基板とした。

図 1 は、GO/C_8S-SAM/Au(111)基板の STM 像である。像の中～下部の領域において、C_8S 分子の吸着した Au(111)表面のテラスと単原子ステップが確認できる。一方、像の上部（A の領域）に平坦性の失われた 2 次元シートが確認される。高さ解析から、ここで観測されたシートは、1 nm 程度の厚さを有することがわかった。原子間力顕微鏡（AFM）を用いた GO の観察結果を参照すると、ここで観測されたシート構造は単層状態の GO であると考えられる。さらに STM 計測を高解像度で行ったところ、sp^2 ドメインの炭素骨格に帰属されるハニカム構造を観察することができた。

次に同表面の微視的な電子状態を明らかにするために STS 計測を行った。C_8S-SAM 上と GO 上で探針を固定して得られた STS スペクトルを図 2 に示す。C_8S-SAM の *dI/dV* スペクトルには特徴的なピーク構造が観察されない。これはオクタンチオールは絶縁性の分子であるため、フェルミレベル近傍に状態密度を有さないと考えられる。一方、GO 上に STM 探針を固定して得られた *dI/dV* スペクトルに

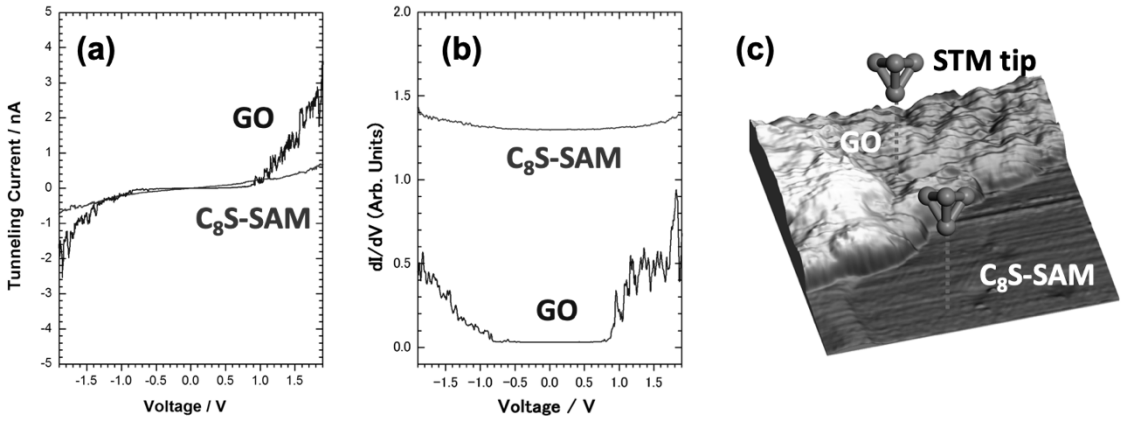


図2：(a) *I-V* curves and (b) *dI/dV* spectra of the GO/C_8S-SAM/Au(111). Set point: V_s= 1.0 V, I_t=0.2 nA. The measured positions are indicated in the STM image shown in (c). Scanning condition: V_s= 1.5 V, I_t= 1.0 nA, 90 nm×90 nm .

はバンドギャップ 1.5 eV で分離された sp^2 ドメイン由来のπ、π*ピークが観察された。さらに、測定位置を変えて STS 計測を行ったところ、π、π*のピーク構造は図 2 と同様に観察されたが、バンドギャップの大きさが異なることが明らかとなった[成果資料 1]。これは、GO の sp^2 ドメインの大きさがナノスケール領域で不均一であるためであると考えられる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

発光に関わるナノ特異点の同定により、カーボンナノマテリアルを用いたより高効率な光素子、例えば極小サイズの光通信光源や高感度光検出器等の実現や発展が期待される。さらに GO は、安価で大量合成が可能であり、さらに生体分子との融合性が高く応用研究への見通しがよい。GO 物性の微視的理解は、微量試料で多種の生体分子検出が要求される高感度バイオセンサーの実現にも必要不可欠である。本研究の波及効果は電子デバイス材料の基礎研究の枠に留まらず、今後の研究発展が期待される。

［４］成果資料

(1) S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, R. Kasama, and Y. Uehara, "Localized electronic structures of graphene oxide studied using scanning tunneling microscopy and spectroscopy", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20** (2018) 17977.

(2) 片野諭, 笹嶋匠, 上原洋一, "走査トンネル顕微鏡による酸化グラフェンのナノスケール発光計測", 第66回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 3 月 9 日 (2019).

(3) 片野諭, "走査トンネル顕微鏡を用いたナノスケール光電子物性解明と極限物性制御に関する研究", 平成３０年度 石田實記念財団 研究奨励賞研究発表会, 東北大学大学院工学研究科青葉記念会館, 仙台市, 11 月 30 日 (2018).

(4) 片野諭, 笠間隆平, 笹嶋匠, 上原洋一, "有機単分子膜上における酸化グラフェンの熱還元と光物性", 2018 年日本表面真空学会学術講演会, 神戸国際会議場, 11 月 19-22 日 (2018).

(5) S. Katano, R. Kasama, T. Sasajima, T. Wei, and Y. Uehara, "Photoluminescence of a Thermally Reduced Graphene Oxide", 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14), Sendai International Center, Sendai, Japan, 10 月 21-25 日 (2018).

(6) 笹嶋匠, 片野諭, 笠間隆平, 上原洋一, "自己組織化単分子膜上における酸化グラフェンの熱還元と発光", 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 9 月 18 日 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(萌芽・若手)

採択番号：H30/A09

量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究

［1］組織
研究代表者：
志賀　元紀　（岐阜大学工学部）
通研対応教員：
大塚　朋廣　（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
佐藤　浩基
（岐阜大学大学院自然科学技術研究科）

延べ参加人数：4 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	117,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

（2－1）研究目的

近年、コンピュータ等の計算機能力の飛躍的向上により、大量で複雑なデータから新しい知識や、その意味を引き出す情報科学技術が大きく進展している。特に統計的機械学習のアプローチは様々な対象に対して適用可能なものであり、その新しい適用先の一つが半導体量子センサーや量子計算機といった半導体量子デバイスがあげられる。これまで半導体量子デバイスの研究においては従来型の単純な解析が一般的であったが、半導体量子デバイス中の局所電子状態を高エネルギー分解能でかつ高速に大量のデータを取得できる現状では機械学習等の援用によるデータ処理の自動化が必要不可欠となってきた。

本研究では、情報科学のアプローチを半導体量子デバイス研究と融合させ、新しい知見の獲得や、新しい技術の開発を行う。具体的には、半導体微細材料を用いた量子デバイス中の局所電子状態ダイナミクスを測定する量子センサーの解析にベイズ推定等の手法を導入し、より短時間で高精度な情報を取得できるようにする。また、半導体量子ドットデバイスの多次元電荷状態データについて解析の自動化を行い、電荷状態の自動推定、量子ドットデバイスの自動操作を実現する。

（2－2）研究概要

本研究課題は本年度が第１年度の実施であった。本年度は半導体量子センサーに対する情報科学アプローチの検討を行い、センサー信号等の解析を実施した。また、電荷状態データ解析のための新しい手法の開発を行った。具体的には、計測信号解析をベイズ推論によって高精度化するアプローチ、電荷状態制御のために効率的にパラメータ探索するベイズ最適化アプローチに取り組んだ。

情報科学に基づく手法の開発にあたり、研究メンバーにてオンラインおよび東北大学電気通信研究所大塚研究室での研究打ち合わせを数回行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

1．半導体量子センサーの高精度解析

基礎科学やデバイス応用において重要となっている固体微細材料中の局所電子状態について、半導体量子ドット等を用いて局所状態調べる量子センサーの開発が進んでいる。これにより高エネルギー分解能で高速に大量のデータを取得することができるようになっており、これに対して情報科学手法の適用を進めた。測定データにはノイズが含まれており、このデータから電荷状態等の推定を、ベイズ推定等の手法を用いることによって従来手法よりも高精度かつ高速に行うことを実施した。

この結果、従来の単純平均を用いた状態推定に比べて、より短時間で電荷状態の推定ができることを示し、従来の解析手法を用いた場合に比べて、電荷検出動作を３倍以上高速化できることを明らかにした。

今後は、情報科学における時系列解析の方法を

様々に検討し、さらなる推定精度の向上および推定速度の高速化を図る。時系列の情報を取り入れると推定モデルの性能が向上するものの、モデルが複雑になって推定速度の低下が懸念される。このトレードオフ問題を考慮し、状況に適した最適なモデルを構築する予定である。

２．電荷状態データ解析のための新手法の開発

ナノデバイス中の電荷状態の解析においては、単一電荷の移動に伴う、離散的な状態変化を高感度に検出することが重要となる。このため、測定データにおける離散的な変化を、効率的に検出するための手法の開発を行った。

まず、上記の問題を、デバイス制御する複数のパラメータの中から状態変化の発生するパラメータ境界平面を効率的に発見する問題として定式化した。そして、未探索パラメータ設定値付近における状態変化発生の事後確率分布に基づく評価関数を導出し、新しいベイズ最適化法を開発した。この手法は、変化境界の同定を試みる動作と未探索領域の積極的な開拓のバランスを自動的にとれるために、少ない試行回数で状態変化点を発見できることがシミュレーション実験によって示された。今後、パラメータ数が多数の場合への手法の拡張や性能検証を推進する予定である。

若手特別支援の研究費を活用することにより、主に上記２つの研究課題に関して数多くの打ち合わせを行うことができ、綿密な情報共有、および効率的な研究推進を行うことができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の実施を通して､情報科学の研究者と、半導体ナノデバイスの研究者の協力、連携を深めることができた。具体的な課題に対してディスカッションを深めることで、最新の研究・技術の現状（手法の性質、できること・できないこと）を共有し、研究課題のアプローチを具体化できたことが今年度の大きな成果である。これにより、今後、情報科学を用いた半導体量子センサーや量子計算機等の新しい半導体量子デバイスの創製等を通して、高精度な測定や、高性能の情報処理・通信の実現に貢献できると考えられる。

また、それぞれの研究分野の特色を活かして有意義な共同研究ができることを確認し、共同研究を継続していくことを決定した。

［４］成果資料

（１）“Speed up of quantum dot charge sensing utilizing Bayesian estimation”,
Tomohiro Otsuka, Shuya Nagayasu, Takashi Nakajima, Matthieu R. Delbecq, Jun Yoneda, Kenta Takeda, Akito Noiri, Sen Li, Takumi Ito, Seigo Tarucha,
International Conference on the Physics of Semiconductors, Montpellier, France, Jul. 30, 2018 (oral).

（２）“Informatics Approaches in Quantum Devices”,
Kazuya Nomura, Motoki Shiga, Tomohiro Otsuka,
RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects、仙台、2019年2月21日（ポスター）

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端・萌芽)

採択番号：H30/A10

高性能 IV 族半導体量子ナノデバイスのための低エネルギープラズマプロセスの開発

［1］組織
研究代表者
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
室田　淳一
（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）
嶋脇　秀隆
（八戸工業大学工学部システム情報工学科）
小林　信一
（東京工芸大学工学部電子機械学科）
中島　　寛
（九州大学グローバルイノベーションセンター）
山本　圭介
（九州大学グローバルイノベーションセンター）
佐道　泰造
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
近藤　博基
（名古屋大学大学院工学研究科）
中塚　　理
（名古屋大学大学院工学研究科）
伊東　良太
（秋田県立大学システム科学技術学部）

延べ参加人数：10 人

研究費
物件費　97,000 円
旅費　197,000 円

［2］研究経過

［目的］次世代 Si 集積回路に向けて IV 族半導体量子ナノデバイスの開発は重要である。そのようなデバイスの高性能化においては、ナノメートルオーダ厚さの Si や Ge、SiGe 不規則混晶、SiC 不規則混晶などの IV 族半導体を含む量子ヘテロ構造形成や局所的なドーピングにおいて、原子オーダで平坦かつ急峻な接合界面を実現するエピタキシャル成長制御が益々重要となってきている。そこで本研究では、申請者らが研究してきた基板非加熱下での低エネルギープラズマ誘起エピタキシャル成長技術を駆使して、原子オーダで平坦かつ急峻な接合界面を有する IV 族半導体の接合界面を実現し、そこにおける量子束縛・量子トンネル等の量子力学的効果や不純物の電気的活性化などの電子物性を制御することを目標とする。そして、本研究の遂行により IV 族半導体量子ナノデバイスの新局面を切り開くことを目指す。

［概要］申請者らが研究してきた基板非加熱下での低エネルギープラズマ誘起エピタキシャル成長は、高度に非熱平衡状態にある材料・構造の実現が期待できる手法である。これを最大限に活用した IV 族半導体量子ナノデバイス開発によって、ドーピングや格子歪導入によるバンド構造変調などの制御範囲を拡大できることが期待され、IV 族半導体量子ナノデバイス高性能化への指針の探索も可能となると思われる。

本研究課題においては、この低エネルギープラズマ誘起エピタキシャル成長におけるプラズマ条件や基板表面処理方法などを見直して表面偏析現象などの諸問題を解決していき、Si エピタキシャル成長における In-Situ ドーピングや、Si と Ge に加えて、格子定数のミスマッチが大きい歪 SiGe や高 C 比率の歪 SiC といった不規則混晶のエピタキシャル成長における成長膜の結晶性の評価と向上を図っていく。さらに、低エネルギープラズマ誘起エピタキシャル成長技術を活用して Si(100)基板上に形成させた Ge／Si ナノ薄膜／Ge ヘテロ構造を用いて、そこから選択的に Ge のみをエッチングするこ

とにより Si ナノシートを有する立体構造を実現するプロセス構築を検討する。本研究は、主として東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設のクリーンルーム内で行う。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、高性能 IV 族半導体量子ナノデバイスのための低エネルギープラズマプロセスの開発に向けて、Si エピタキシャル成長における In-Situ ドーピングの実験研究を進めた結果、以下の研究成果を得た。

まず第１に、高濃度領域における In-Situ P ドープ Si 薄膜中のキャリア濃度の深さ方向分布を四探針抵抗測定とウェットエッチングを繰り返す手法により調査した結果、基板界面付近のキャリア濃度低下が確認されるとともに、表面に向かって徐々にキャリア濃度が増加する傾向が見られた。この増加傾向と界面でのキャリア濃度低下は、PH_3 分圧比の増加とともに顕著ではなくなっていくこともわかった。この結果は、PH_3 分子の分解によって生じた P 原子の多くが偏析現象によって Si 成長表面に蓄積していき、その蓄積量の増加とともに Si 中に取り込まれる P 原子も増加していくことを示唆している。一方、In-Situ B ドープ Si 薄膜のエピタキシャル成長においても、同様の現象が見られた。このことから、pn 接合界面において急峻なキャリア濃度分布を実現するためには、この表面偏析現象を積極的に制御する必要性があるものと考えられる。

第２に、X 線光電子分光やウェットエッチング速度などの情報から、In-Situ B ドープ Si 薄膜中に取り込まれた B 濃度とその電気的活性化率を調べた。その結果、電気的活性化率は、10^{19} cm^{-3} までの低濃度領域では 10～100%と高くなるが、10^{20} cm^{-3} 付近の高濃度領域では 1%以下に減少してしまうことがわかった。そこで、Si 表面への低エネルギーAr プラズマ照射が、B の電気的活性化に与える効果について調査した所、成長を中断して一定時間のプラズマ照射を行うことにより、高濃度領域での電気的活性化率が 50%を超える所まで改善することが可能であることを見いだした。低エネルギープラズマは深さ数ナノメートル程度の極浅い領域のみに効率良くエネルギーを伝えると期待できることから、上記の結果は、基板内部に作りつけられた不純物濃度分布にまったく影響を与えることなく、その表面に電気低活性化率の高い B ドープ Si 薄膜を形成できることを意味する。この成果は、ナノメートルオーダの立体構造を有する次世代高性能半導体デバイスの実現に資するものと期待される。

これらの研究成果の一部は、国際会議及び学術誌論文（5 件）において発表した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で得られた成果は、pn 接合界面において急峻な不純物濃度分布を実現することにつながると考えられる。今後、ヘテロ界面における大きなエネルギーバンド不連続の導入へ向けた実験研究も重要となる。このような実験研究の成果の蓄積は、トンネルトランジスタや共鳴トンネルダイオードといった新規半導体デバイスの Si 集積回路への搭載への道を切り開くために必要不可欠となるものであり、世界中に普及しているあらゆる情報処理システムの高度化に貢献するものと期待される。一方で、Si ナノシート形成のような探索的実験は、ダイヤモンド構造の Si 結晶ナノシートを非ダイヤモンド構造へと転換させてペンタシリセン（5 員環のみで構成される Si 結晶ナノシート）を生成させるプロセスの構築につながるものである。このようなプロセスの適用により、ダブルゲート高移動度 Si ナノシートトランジスタを Si 基板上に集積化していく道が切り拓かれるものと期待できる。

このように、本研究者らは、基板非加熱を特徴とするプラズマ CVD プロセスによる IV 族半導体量子ヘテロ構造形成とドーピング、並びに、その電子物性評価の実験研究に注力してきた。これは、”熱拡散現象“を排除できるという、新材料・新デバイス開発において大変有用で魅力的な効果をもたらすものであると考えられるからである。同時に、外部機関の関連分野研究者の知見を取り入れるとともに学術的な側面から議論を行うことにより、”プラズマ科学”、”表面科学”、”材料工学”、”プロセス工学”といったいくつもの研究分野に共通する物理現象に関する理解を深めることに努めてきた。今後、これらの実験環境・成果の活用を念頭に置いて、各所でそれぞれ特徴ある実験研究を進めている国内外の関連分野研究者との間での相互研究連携の可能性を積極的に探索していくことにより、新規研究分野開拓を加速するための共同研究拠点としての役割も果たせるものと期待できる。

［4］成果資料

(1) W. Li, M. Sakuraba and S. Sato, “Carrier Concentration Profile of In-Situ B-Doped Si Epitaxially Grown by Low-Energy ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, 14th Int. Conf. on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14), Sendai, Japan, Oct. 22-25, 2018, No.22P015.

(2) N. Kato, W. Li, M. Sakuraba and S. Sato, “Epitaxial Growth of In-Situ P-Doped Si Films by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, 14th Int. Conf. on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14), Sendai, Japan, Oct. 22-25, 2018, No.23E27.

(3) W. Li, M. Sakuraba and S. Sato, “Ar Plasma Irradiation Effect upon Electrical Activation of B Atoms Doped in Epitaxial Si Thin Film Grown by ECR Ar Plasma CVD”, 12th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, Dec. 6-7, 2018, No.O-01.

(4) N. Kato, M. Sakuraba and S. Sato, “Depth Profile of Carrier Concentration in In-Situ P-Doped Si Thin Films Epitaxially Grown by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, 12th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, Dec. 6-7, 2018, No.P-04.

(5) M. Sakuraba and S. Sato, "Epitaxy and In-Situ Doping in Low-Energy Plasma CVD Processing for Group-IV Semiconductor Nanoelectronics" (**Invited Lecture**), 11th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Application for Nitrides and Nanomaterials / 12th Int. Conf. on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma/IC-PLANTS), Nagoya, Japan, Mar. 17-21, 2019, No.19aC06I.

採択回数 (1) 2 3
(先端・国際・その他)

採択番号：H30/A11

移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究

［1］組織

研究代表者：
丸山　珠美（函館工業高等専門学校）
通研対応教員
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
陳　強（東北大学大学院工学研究科）
佐藤　弘康（東北大学大学院工学研究科）
Andrea Massa（Trento University, Italy）
大宮　学（北海道大学）
大倉　義孝（(株)エスイーシー）
大澤　拓門（函館工業高等専門学校）
尾関　剛成（函館工業高等専門学校）

延べ参加人数：11 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	285,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

〈本プロジェクトの目的・概要〉

近年、全ての物がインターネットにつながる Internet of things（IoT）技術が進歩・普及しており、特に、ドローンなどの無線機を搭載した小型無人飛行体は、火山噴火や雪崩、地震発生時に、人が入り込めない場所における探索を可能とすることが期待されている。しかし移動体 IoT が探索のために現場に近づくにつれて、山影や林、藪などにより通信が困難となり IoT の制御ができなくなる。すなわち、移動体 IoT を用いる最大のメリットが、がれきや雪中、あるいは火山など人が容易に踏み込めない場所を探索できることであるにもかかわらず、そのような場所は、コントローラからの電波が十分に届かずうまく動作できない。あるいは、データを送付できないという問題が生じていた。そこで、本研究では、移動体 IoT の電波伝搬環境を改善し、災害時などにおける探索領域電波の届かないところに電波を届けることを目的として、移動体 IoT からの電波を方向制御反射板で所望方向に制御するアクティブ・リフレクトアレーの研究を行った。通常のリフレクトアレーの場合、利得の低いアンテナのごく近傍に設置してビームを走査することはできない。そこで、本研究では LC 共振を用いて反射位相を操作するメタサーフェスの採用を提案し、その有効性、アクティブ素子装荷によるビーム走査、無線電力伝送を応用したエネルギーハーベストの技術を用いたアクティブ素子の制御に関する研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第 1 年度であった。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) 2018 年 10 月 25 日～26 日　第一回打合せ
於）韓国釜山 ISAP2018 会場にて
参加者）大宮先生、陳先生、佐藤先生、大澤、丸山　5 名
内容）JetFDTD によるアクティブ素子、PSO 解析方法について、11 月以降の東北大電波暗室における測定計画と方法について

(2) 2018 年 11 月 2 日～5 日　第二回打合せ
於）東北大学にて
参加者）陳先生、佐藤先生、大野、丸山　4 名
内容）12 月以降のインピーダンス・アナライザを用いたダイオードの周波数特性の測定計画と方法について

(3) 2018 年 12 月 11 日～13 日　第三回打合せ
於）東北大学にて
参加者）末松先生、陳先生、佐藤先生、本良先生、尾関、丸山　6 名
内容）ダイオード素子装荷メタサーフェスの測定方法と解析方法に関する打合せおよび測定、ダイオード実装。

(4) 2019年1月16日～18日　第四回打合せ
於）東北大学にて
参加者）末松先生、陳先生、佐藤先生、尾関、本良先生、丸山　6名
内容）ダイオード素子装荷メタサーフェスの測定結果と解析結果の相違を改善するための、実験方法、解析方法に関する打合せ及び測定。
(5) 2019年2月21日　第五回打合せ
於）東北大学にて
参加者）末松先生、丸山　2名
内容）共プロ報告会に合わせて、打合せを実施し、今年度の到達点と課題、および次年度計画書について打合せを実施。および共プロ発表会でポスター発表。
(6) 2019年3月3日～5日　第六回打合せ
於）東北大学にて
参加者）陳先生、佐藤先生、小板、丸山　4名
内容）ダイオード素子装荷メタサーフェスの放射指向性の再試作、再測定を実施し、前回より良い結果が得られた。
(7) 2019年3月5日～6日　第七回打合せ
於）長崎大学
参加者）A. Massa先生、丸山　2名
内容）予算と日程の関係で、A. Massa先生に東北大学まで来ていただくことができなかったため、長崎大学に来訪したMASSA先生に丸山が会いに行き、Differential Evolutionによる解析方法と次年度計画について打合せし、5G移動通信用クラスタアレーに関するMassa先生の講義を聴講した。
(8)上記の他、発表原稿、解析方法、実験方法について、月に1度くらいのペースでメールを用いて打合せを実施した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(1)研究課題1　移動体IoTのためのリフレクトアレーのアクティブ化

(a)ビーム走査方法の確立

ダイオードを実装する際に、リフレクトアレーの特性に影響を与えることが懸念される、ダイオードの給電線路、ダイオードの内部インダクタンス、内部キャパシタンスについて解析と測定による検討を行った。その結果、給電線路については、パッチ面に線路がある場合と、パッチの裏面に線路がある場合の二つのモデルを考案し、パッチ面に線路がある場合の方がリフレクトアレーの特性に影響を与えにくいことを明らかにした。また、内部インダクタンス、内部キャパシタンスをインピーダンス・アナライザを用いて測定し、その結果をリフレクトアレーの設計に反映させた。これらの結果を2018年4月[2]と2019年3月[4]の二つの研究会で報告した。

(b)最適設計法適用による、少ない素子数による広範囲ビーム制御の実現

PSOを用いた2周波共用リフレクトアレーについて、通常の反射位相だけでなく反射振幅も同時に最適化できることを明らかにし、同一振幅の条件の場合を査読付き国際会議ISAP2018 [1]で、チェビシェフ多項式を満たす場合を、研究会 [5]でそれぞれ報告した。

(c)アクティブ素子の給電回路の設計

インピーダンスアナライザを用いた測定によるダイオードの内部キャパシタンスおよび内部インダクタンスを測定し、本結果を踏まえてメタサーフェスの再測定を実施した。その結果がAPWC2019に投稿する予定である。

(d)エネルギーハーベストによるアクティブ素子の給電方法の確立

移動体IoTを追尾するリフレクトアレーはダイオードやFETなどのアクティブ素子を用いているためこれを給電する必要が生じる。このために電源が必要となるが、災害時における山中や雪中などでこれを確保するのは非常に困難である。アクティブ素子を離れたところから給電し動作させることが課題である。一方、近年ワイヤレス電力伝送(WPT)の研究が盛んであり、LEDに整流ダイオードをハンダ付けし、素子の足をアンテナとして動作させることにより、LEDを点灯できることが報告されている。LEDはダイオードの一種であるため、本研究室ではLEDをPINダイオードに変えて、ワイヤレス電力伝送を用いて動作させることにより、パッチアンテナのインピーダンスと指向性を変化できることを明らかにし4月の研究会で報告した[2].また、本研究の基幹である、オムニ指向性アンテナにメタサーフェスを近接させることによりビーム走査できることを実験と解析により明らかにした結果を国際会議で報告した[3]。

（特別支援国際に係る研究成果）

2019年3月に長崎大学に丸山が出張しそこでイタリアのトレント大学教授であるA. Massa先生に会って打ち合わせを実施した。リフレクトアレーの最適設計に応用するため、Differential Evolution (D. E) のMATLABのコードを参考にいただいた。今後これをC言語に変換してJetFDTDに組み込む予定である。D.Eはアンテナ構造を離散化させずに連続的に変化させる手法であるため、新たなアンテナ形状を創造することが期待できる。なお、今回A.Massa先生のスケジュールがどうしても会わず仙台にいらしていただくことができなかった。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献
本研究では、(1) スイッチングダイオードなどのアクティブ素子を用いたアクティブリフレクトアレーの実現、(2) エネルギーハーベスト（ワイヤレス電力伝送）の適用によるアクティブリフレクトアレーの制御、(3) 少ない素子数で広いレンジのビーム切り替えを実現するための最適設計法の適用について検討を行い、今年度は上述の結果を得た。本研究が成功することにより、災害時もっとも電波を必要とする、がれきや雪中、山や林の中において電波が届かないという問題が解決され、IoT を用いた災害対策に貢献することが可能となる。

［４］成果資料

[1] Takuto Ohsawa, Tamami Maruyama, Manabu Omiya, and Noriharu Suematsu: “Design of Dual-Frequency Reflectarray Using Particle Swam Optimization,” 2018. the International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2018, Korea, 10-301. FrP-15, pp.847-848, 2018/10.
[2] 尾関剛成, 丸山珠美 : “ WPT によるダイオード装荷パッチアンテナの特性に関する研究,” 信学技報, Vol.118, No.17, WPT2018-9, pp41-44 2018 4 月.
[3] Tamami Maruyama, K. Ozeki, N. Ito, S. Kameda, Q. Chen, N. Suematsu : “Beam Direction Control Using Meta-surface Loaded with Diodes for IoT,” Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERS 2018., p. 1557. Session 4A7, SC2 2018.8
[4] 尾関剛成、丸山珠美、大澤拓門、山本愛理、末松憲治、陳　強、大宮　学、佐藤弘康、本良瑞樹 :“IoT 電波伝搬環境改善用ダイオード装荷メタサーフェスの解析設計と試作測定, “ 信学技報, 2019 3 月.
[5] 大澤拓門、丸山珠美、大宮　学、末松憲治、佐藤弘康 : “PSO を用いた 2 周波共用メタサーフェスの解析設計と試作測定,” 信学技報, 2019 3 月.

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3
（先端）

採択番号：H30/A12

広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究

［1］組織
研究代表者：吉本　直人
（千歳科学技術大学理工学部）
通研対応教員：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：岩月　勝美
（東北大学電気通信機構）
田島　賢　（千歳科学技術大学）
安永　江貴　（千歳科学技術大学）
延べ参加人数：６人

研究費：
物件費　97,000 円
旅費　140,000 円

［2］研究経過

人口知能（AI）技術を用いて多様なデータを活用するSociety5.0時代を見据え、低レイテンシーでかつリアルタイム性の高いネットワーク基盤の実現が期待されている。また、実サービスにおいても、拡張現実・仮想現実（AR/VR）を利用したサービスにおいて、ネットワークのリアルタイム性の要求が高まっている。そこで、本プロジェクトでは、低遅延・リアルタイム性を有した新しいアクセスネットワークの通信方式の実現に関する要素技術開発を行い、その有意性を世界に先駆けて実証することを目的として研究を行った。本プロジェクトは、本年度が初年度であった。そこで、本年度は、まず研究対象となるアクセスネットワークに関する検討を行った。その中から、今後のAI等をベースとしたIoTサービスを展開する上で、海中が最もネットワーク化の検討が遅れていることから、海中におけるネットワーク化を研究対象として定めた。図１に、検討対象とする海中ネットワークとIoT関連サービスを示す。海中へのアクセスネットワーク（ここではNew Radio Accessでは５Ｇを想定）の張り出しについては、「光無線通信技術」を用いる。このネットワーク環境において、海中におけるIoTサービスプラットフォーム上にカメラやLiDAR等のセンシングによる養殖業や海中構造物点検、海中探検・観光などのサービスを展開することを想定している。

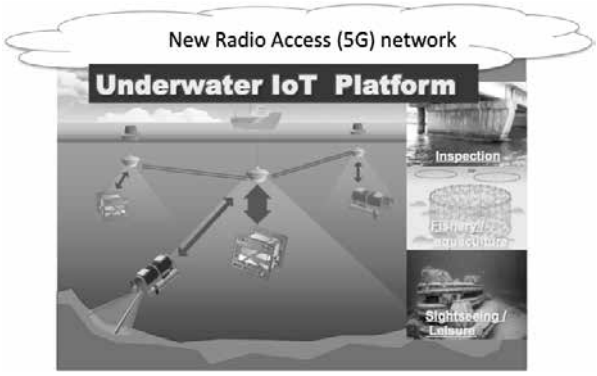


図１　海中ネットワークと提供されるサービスのイメージ図

一般に海中では電磁波は吸収され、情報の伝達が困難である。唯一、波長の長い音波が実用化されているが、映像や画像などの多くの情報量が必要な通信には適さない。一方、光波を用いる光無線通信では、青色光（波長450nm近傍）帯域に最も水の吸収の影響が少ない透過領域がある。そこで、青色発光光源（LED）を用いることを前提として研究を進めることとした。これによって、光の持つ大容量性を維持しつつ、海中においても伝送距離を確保することが期待できる。

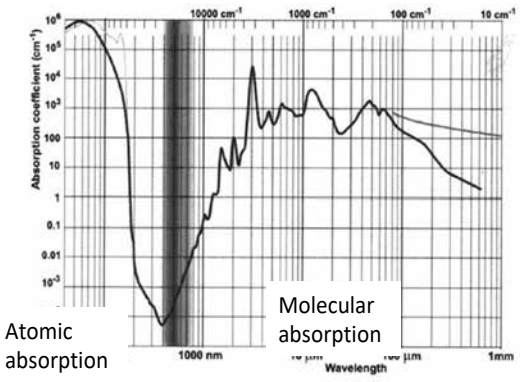


図２　海中における吸収スペクトル

以下、研究活動状況の概要を記す。

・6 月 13 日

東北大学にて研究会合を実施。いくつかの研究対象の候補となるアクセスネットワークの構成に対する方向性の議論を行った。

・7 月 25 日

東北大学にて研究会合を実施。研究における最終的な目標の確認を行い、今年度の研究到達目標とスケジュールについて議論し、合意形成を行った。

・1 月 15 日

東北大学にて行われた「ITRI・東北大学・NICT ワークショップ」に参加。「Aqua LAN Consortium and its perspective」と題して講演。次世代無線アクセス居技術(5G)の張り出しとしての海中光無線通信とそのサービス展開について発表し、ITRI 研究者との海中通信に関する意見交換を行った。

・2 月 21 日

東北大学にて行われた共同プロジェクト研究発表会にて、今年度の研究成果について、ポスター発表を行った。

・3 月 14 日

東北大学で行われた「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究」に関する研究会（犬竹先生：東北大学共同プロジェクトテーマ）に招待され、「水中光センシング・水中光通信に向けた取り組み」と題して講演。合成開口レーダの基本技術が水中におけるセンシング技術への応用の可能性について議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第１に、今後において検討を進めていくアクセスネットワークの構成について検討を行い、図３に示す地上の大気中を伝搬する無線アクセス通信と水中を伝搬する光無線アクセス通信が融合した新たなアクセスネットワーク構成を提案した。

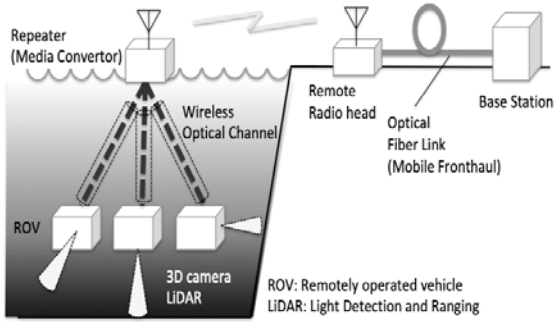


図３　海中における光無線通信技術を融合した新たなアクセスネットワークの構成

通常の無線アクセスネットワークの RRH（Remote Radio Head）から無線による Relay 方式と同様のアナロジーでネットワークのエリアを海中まで拡大していく。地上と海中の境界には、Repeater(Media Converter)を配置し、無線信号と光信号間で変換を行う。海中において、ROV(Remote Operation Vehicle)などによりセンシングされたデータは、光無線通信によって海上の Repeater まで伝送され、そこを中継して無線アクセスネットワークにより基地局まで届けられる。海上に点在する Repeater と RRH 間の通信では、ビームフォーミング技術を活用し指向性を高めることによって伝送容量の拡大を図る。

第２に、海中における光無線通信の光リンク特性を計算により明らかにした。計算に用いた光リンク構成を図４に示す。

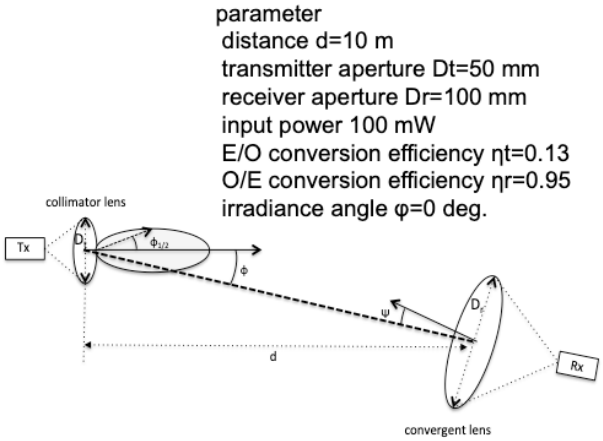


図４　光無線通信の光リンクモデル

光源は、経済性を考慮して LED とした。伝送距離は 10m とした。その理由として、当面のアプリケーションを沿岸域における養殖業の生簀の観察や、水中構造物の検査・監視を想定したからである。

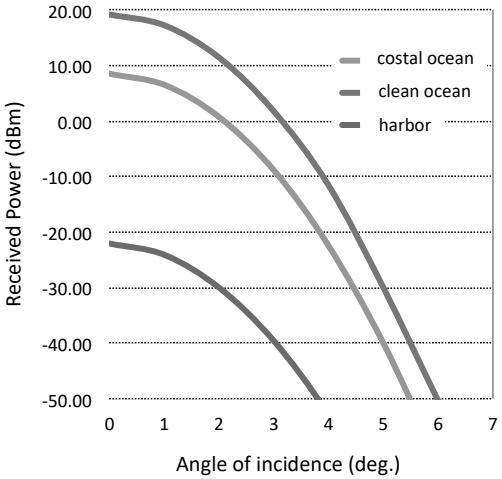


図５　受光器への入射角度と受光パワーとの関係

海中・海面上での光送受信器は固定されていないため、常に海流の状態によって揺動し、光軸が傾くことが想定される。そこで、受光器への入射角度と受光パワーとの関係を図５に示す。最大 100Mbps 相当の伝送速度を想定した場合、所望の信号品質を得ら

れる受光パワーは-40dBm 程度と考えられる。この条件では、深海や外洋のような水の不純物濃度が低い（散乱損失の少ない）場合は、±5 度程度の角度トレランスを有するものの、沿岸部のような不純物濃度が高い場合は、角度トレランスは厳しいものとなることがわかる。

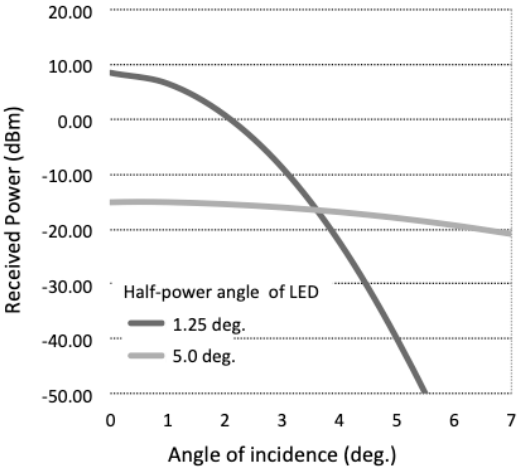
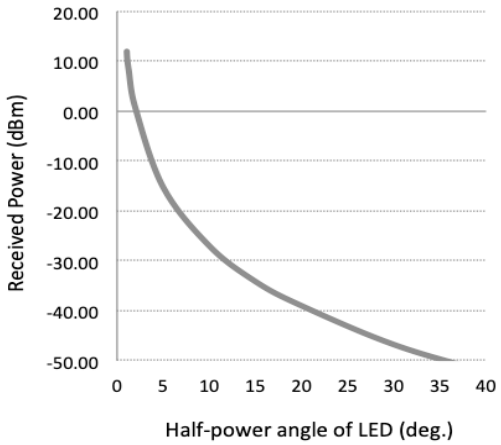


図６　LED 放射角度による角度トレランス特性

角度トレランスを緩和する方法の一つとして、光源である LED の放射角を大きくすることが考えられる。図６から、LED の放射角を大きくすることによって、最大受光パワーは減少するものの、受光側の角度トレランスを大きく緩和できることがわかる。水質環境にも依存するが、条件の許す限り LED の放射角を大きく設計することは実用的なシステムを構築する



上で重要である。

図７　LED 放射角度による受光特性

図７の結果から、前述の-40dBm を最小受信感度とすると、約 20 度まで放射角度を拡大できることがわかる。

第３として、Repeater の構成法について検討を行い、経済的な構成を提案した。図８に提案した Repeater 構成を示す。基本的には radio wireless transceiver と optical wireless transceiver 物理的に接続するメディアコンバータとしての機能を有する構成（layer-1 relay configuration）と、両トランシーバ間で、符号方式や変調方式などを変換する機能を具備する構成（layer-2 relay configuration）に分類される。

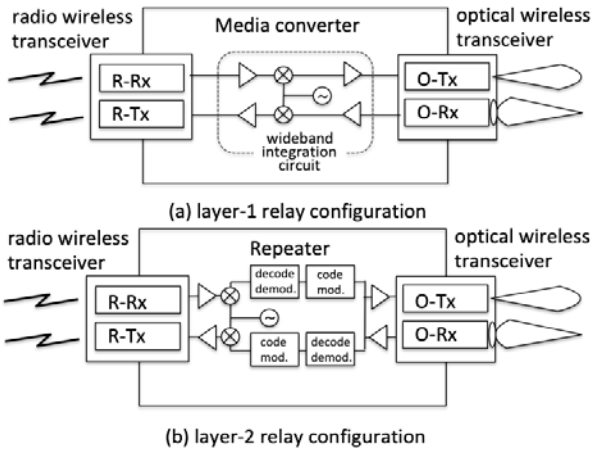


図８　Repeater の機能ブロック図

前者の layer-1 構成は、radio/optical の符号化方式や変調方式が同一であり、キャリア周波数のみ変更したシンプルな構成となっている。今後、キャリア周波数変換機能や増幅機能を集積した光・電子集積回路を適用することによって、大幅なコスト低減と低消費電力化が期待される。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは、IoT 時代におけるアクセスネットワークの最後の未提供領域である海中までのネットワーク化を扱っている。これは、これから始まる次世代無線アクセス（5G）の適用領域を広げるという意義もある。また、そのネットワークの構成要素であるデバイスにおいても、可視光デバイスとマイクロ波・ミリ波帯電子デバイスとの融合・集積技術を必要とする。したがって、ネットワーク技術からデバイス技術まで、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、今後新しい研究領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待されている。

■国際会議、シンポジウムへの発展

・4 月に開催される第１回 Optical Wireless and Fiber Power Transmission(OWPT2019)に招待講演を依頼されている。海中におけるネットワーク化についてその意義をアピールできる。

■研究者ネットワークの拡大として、前述したワークショップにおいて ITRI のエンジニアと交流を図ることができた。

［４］成果資料

[1] D. Lavery, M. Ryffini, L. Valcarenghi, N. Yoshimoto et al., “Networks for future services in a smart city: Lessons learned from the connected OFCity challenge 2017,” IEEE Comm. Mag. 56, 138-144 (2018).

採択回数　(1)　2　3
(萌芽)

採択番号：H30/A13

共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用

［1］組織
研究代表者：
前澤　宏一（富山大学大学院理工学研究部）
通研対応教員：
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
安藤　浩哉（豊田高専情報工学科）
森　雅之（富山大学大学院理工学研究部）
中野　友寛（富山大学大学院理工学研究部）
水戸　俊宏（富山大学大学院理工学研究部）
吉田　素将（富山大学大学院理工学研究部）
本村　彰啓（富山大学大学院理工学研究部）

延べ参加人数：8 人

研究費
物件費　97,000 円
旅費　189,000 円

［2］研究経過

最近、超高速通信など、THz 周波数帯への注目が集まるに連れて、共鳴トンネル素子(RTD)への期待も高まっている。RTD の微分負性抵抗特性は発振器の基盤であり、すでに 1.92THz という高い発振周波数が報告されている。一方、RTD は２端子素子であることから、バイアス不安定性という大きな問題を抱えている。つまり、RTD 発振回路のバイアスポイントにも発振ノードと同様に微分負性抵抗が存在し、バイアスラインの寄生インダクタ、容量により、容易にスプリアス発振が生じてしまう。これを防ぐためには、RTD と並列に小さな抵抗を設け、外部から負性抵抗を見えなくすることが行われている。しかし、これは、消費電力の著しい増大を招く。我々は、最近、これを解決するための新しい方法として、「硬い発振器」構成の応用を提案した。本研究の目的は、この「硬い発振器」による安定性の改善を実験的に検証するとともに、硬い発振器の特徴を利用した新しい THz 信号処理技術を開拓することにある。

本プロジェクトは、本年度が初年度である。本年度は RTD を用いた硬い発振器を構成するために重要なトリガ条件に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1) ショットキーダイオードを用いたトリガ回路

硬い発振器とは、リミットサイクルの内部に安定な固定点を持つ非線形発振器である。通常の柔らかい発振器(Soft-type oscillator)では、相空間の原点が不安定点であり、自然に発振が始まる。これに対して、硬い発振器は、外部から十分な大きさのトリガを印加することにより初めて発振が始まる。我々はこれを利用して、スプリアス発振を起こさずに所望の発振のみを生起できる可能性を検討した。

これまで図１に示すような発振器を提案し、その可能性をシミュレーションにより調べてきた。この発振器は直列抵抗をバイアスラインに挿入したもので、RTD の負性抵抗の絶対値より大きな直列抵抗を挿入することにより、外部から負性抵抗は見えなくなる。このため、スプリアス発振を抑えることができる。一方、系は双安定状態になり、負性抵抗にバイアスすることができなくなる。つまり、発振ノードにおいても 0V が安定点となり、このままでは発振しない。そこで、所望の発振を開始させるためのトリガ回路としてソースを負の電圧 VSS に接続した HEMT を設けた。

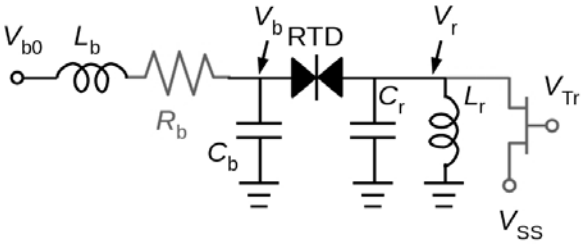


図 1　バイアスラインに直列抵抗を設けた硬い発振器。HEMT をトリガに利用。

この回路において、HEMT のゲートにパルス信号を与えることにより、発振が開始されることをシミュレーションにより確認した。しかし、この回路の作製にはRTD とHEMT の集積化が必要であるためプロセスが複雑になること、十分なトリガ電流を得るためにゲート幅を大きくする必要があること、また、HEMT の持つ容量が発振周波数を低下させることなどの問題点があった。

そこで、これらの問題を解決する構成として、図2 に示すようにショットキーダイオードを用いたトリガ回路を提案した。ショットキーダイオードは集積が容易である上に、電流/容量比を大きく取れるため、発振周波数を低下させることなく、発振のトリガをかけることが可能である。

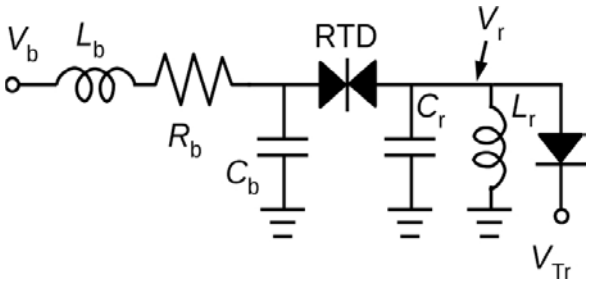


図2　Schottky ダイオードをトリガに用いた硬い発振器。

実際、図2 の回路のシミュレーションを行い、容易に発振を開始できることを確認した。動作波形の例を図3 に示す。上図はショットキーダイオードに与えたトリガ信号を、下図はその時の発振波形を示す。ショットキーダイオードは通常逆バイアスに設定しておき、短いパルスで順バイアスにふることにより発振が開始されることがわかる。

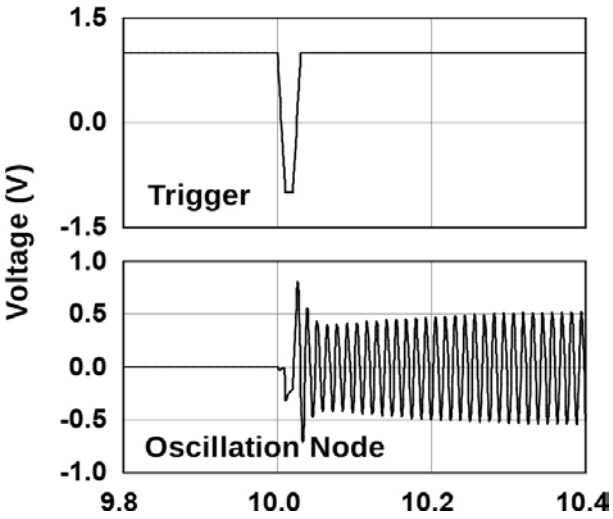


図 3　Schottky ダイオードをトリガに用いた硬い発振器の動作波形。

2）直列接続 RTD による発振パワーの増大

硬い発振器のもう一つの利点として、発振パワーの増大がある。RTD の電流-電圧特性は負性抵抗が生じる電圧範囲が限られており、電圧振幅を増加させるのは困難である。一方、電流の増加はRTD 面積の拡大によって得られるが、その時、容量も一緒に増大してしまい、発振周波数が低下するという問題点がある。もし、複数の RTD を直列に接続することができればこれらの問題を回避できる。しかし、この場合、回路は多安定状態となり、発振は生じない。しかし、これは硬い発振器における安定固定点にあたり、その周りには安定なリミットサイクル（発振状態）が存在できる。つまり、直列接続された RTD を用いて硬い発振器を構成し、トリガ回路により発振を開始することが可能と考えられる。

ここでは、図2 の RTD を4 つの RTD の直列接続に置き換えた回路において発振のメカニズム、安定した発振を開始するためのトリガ条件を検討した。図4 に動作波形の例を示す。トリガパルスとしては、正弦波の半周期を与えた。

図からわかるように、最初、系は無発振の固定安定点にあるが、トリガパルスを与えると発振が始まる。これは、この系が硬い発振器であることを示している。最も重要な点は発振振幅が単 RTD の場合の4 倍に増大している点である。（V_0が発振ノード、図2 における V_r）つまり、これまで困難であった直列接続 RTD を発振器に用いて、発振パワーを増大させることが可能であることが示された。さらに興味深い点として、それぞれの RTD にかかる電圧波形がある。V_1, V_2, V_3 は直列接続された RTD の接続点の電位であるが、これをみると、4 つの RTD が同期して発振していることがわかる。つまり、直列接続による電圧振幅の増大はそれぞれの RTD 発振器の同期現象と捉えることも可能である。

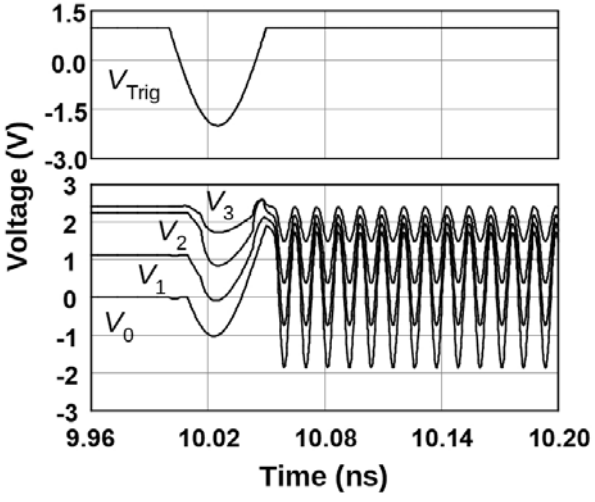


図4　4 つの直列 RTD を用いた硬い発振器の動作波形。

3）正常動作のためのトリガパルス条件

硬い発振器の正常な励起に必要なパルス条件について、シミュレーションにより検討した。図5にその例を示す。これは、最も重要なパルス幅のバイアス電圧依存性を調べた結果である。縦軸には、図 4 上図に示した半周期正弦波パルスの周波数を取ってある。この図から、かなり広いパルス幅（周波数）、広いバイアス電圧範囲において正常な発振動作が得られることがわかる。特に重要なのは、発振周波数に対してパルス周波数がかなり低い（パルス幅が広い）場合でも正常な動作が可能な点である。これは、トリガパルスの生成を容易にする。

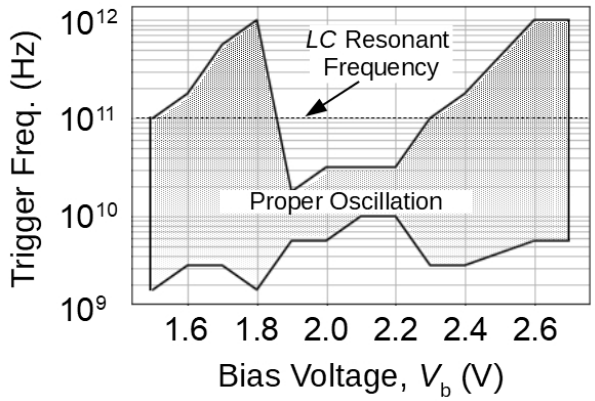


図5　4つの直列RTDを用いた硬い発振器の動作波形における正常動作に必要なトリガ周波数（∝パルス幅の逆数）のバイアス電圧依存性。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、RTD を用いた硬い発振器のトリガ回路として、より集積化が容易で、かつ、高周波に適したショットキーダイオードを用いることを提案し、正常動作が可能なことをシミュレーションにより明らかにした。

第2に、通常困難な直列接続RTDを用いて発振振幅増大が得られる可能性とそのメカニズムを明らかにした。

第3に、トリガパルスについて検討し、広い条件で正常動作が可能なことを明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

3－1で述べた結果は、THz 通信を始め、最近関心が高まっているセンサへの応用が有望であり、今後RTD発振器の応用範囲を大きく拡大するものと考えられる。

［4］成果資料

(1) 吉田素将、森雅之、前澤宏一、「共鳴トンネルダイオードを用いた硬い発振器」、第 4 回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム（6 月 22, 23 日、宇奈月国際ホテル）

(2) Koichi Maezawa, Motoyuki Yoshida, Masayuki Mori, "Resonant tunneling hard-type oscillators having a Schottky diode trigger circuit for stable and large voltage swing operation," The 42nd Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits held in Europe, Bucharest, Romania, 14-16 May, 2018.

(3) Koichi Maezawa, Motoyuki Yoshida, Masayuki Mori, "Operating Mechanism and Voltage Swing Enhancement of the Hard-type Oscillators Based on Series-connected RTDs," Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018), Session 3P6b, Toyama, August 1-4, 2018.

(4) K. Maezawa and M. Mori, "Possibilities of Large Voltage Swing Hard-Type Oscillators Based on Series-Connected Resonant Tunneling Diodes," IEICE TRANS. ELECTRON., VOL.E101-C, NO.5, pp.305-310 (2018), DOI: 10.1587/transele.E101.C.305.

(5) K. Narahara and K. Maezawa, "Characterization of a hardtype oscillator using seriesconnected tunnel diodes," IEICE Electronics Express, Vol.15, No.10, 1-6, DOI: 10.1587/elex.15.20180355.

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
(萌芽)

採択番号：H30/A14

高効率非接触給電のための損失解析

［1］組織
研究代表者：
稲森　真美子（東海大学大学院工学研究科）
通研対応教員：
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
井上　菊大（東海大学大学院工学研究科）
森　厚伸（東海大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：6 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	162,000 円

［2］研究経過

非接触給電の研究・開発は，近年ますますその重要性を増している．本研究では，非接触電力伝送として伝送距離が長くても電力効率が高く，これからの実用化が期待されている磁界共振方式に着目する．磁界共振方式は送信側と受信側のコイルを同じ周波数で共振させることにより高効率で電力の伝送を行うことができる．磁界共振方式では，コイルの位置ずれや伝送距離によって電力効率，電力及び磁束等が変化する．これまでの研究では周波数 85kHz での伝送距離 50mm での損失の要因について検討を行った．Fig. 1 にコイル間の伝送距離を変化させたときの電力効率を示す．なお，ここでは入力電圧の基本波実効値を一定としている．電力効率はある伝送距離から徐々に低下することがわかった. さらに Fig. 2 に示すように電力効率が一定の近距離（伝送距離 100mm 以下）での損失は，コイルの交流抵抗によるジュール損と共振用コンデンサの等価直列抵抗による損失のみであることを明らかにした．しかし，遠距離（伝送距離 100mm 以上）での効率低下要因が解明できていない．そこで本研究では効率低下する遠距離に着目する．本研究の目的は，遠距離での電力効率低下の要因を解明することである．さらに，長距離伝送系の設計についても考察する．なお，本研究では磁界解析及び実験により明らかにする．

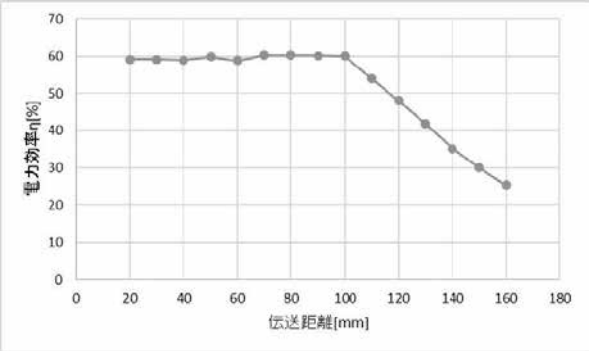


Figure 1. Power efficiency when changing transmission distance.

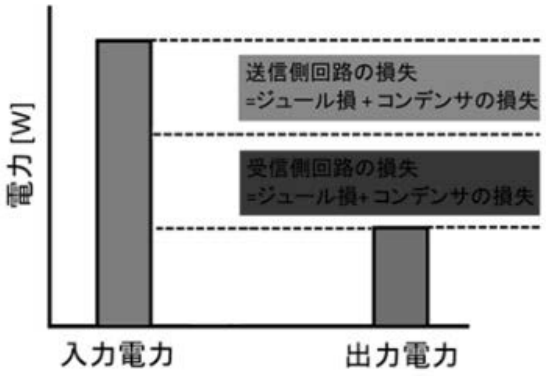


Figure 2. Loss analysis in a short distance.

本プロジェクトでは，非接触電力伝送の電力効率を決める要因を明らかにし，高効率な非接触給電システムを構築することを目的として研究を行った．本内容に関しては 2018 年 8 月 8 日（水）に東北大学電気通信研究所で研究打ち合わせ（初回・キックオフミーティング）を実施し，参加者全員で議論を行った．

［研究打ち合わせ］
日時：平成 30 年 8 月 8 日（水）
場所：東北大学 電気通信研究所
出席者：稲森・末松・亀田・本良・井上

また，以下の共同プロジェクト研究発表会において，ポスター発表を行い，参加者との議論を行うことができた.

［共同プロジェクト研究発表会］
日時：平成 31 年 2 月 21 日（木）
場所：東北大学 電気通信研究所
参加者：末松・本良・井上・森

［3］成果
（3－1）研究成果
初年度である本年度は，以下に示す研究成果を得た.
本研究では，遠距離で電力効率が低下する要因を磁界解析により明らかにした．磁界解析は磁界解析ソフト JMAG を使用した. Fig. 3 に伝送距離 20mm, 100mm 及び 250mm での磁束密度分布を示す. 20mm（Fig. 3 (a)）で磁束密度分布はコイルの領域に集中していることが確認できる．しかし，伝送距離 100mm（Fig. 3 (b)）及び 250mm（Fig.3 (c)）の磁束密度分布では，磁束密度の最大値が送信側と受信側で二つに分かれていることが確認できる.

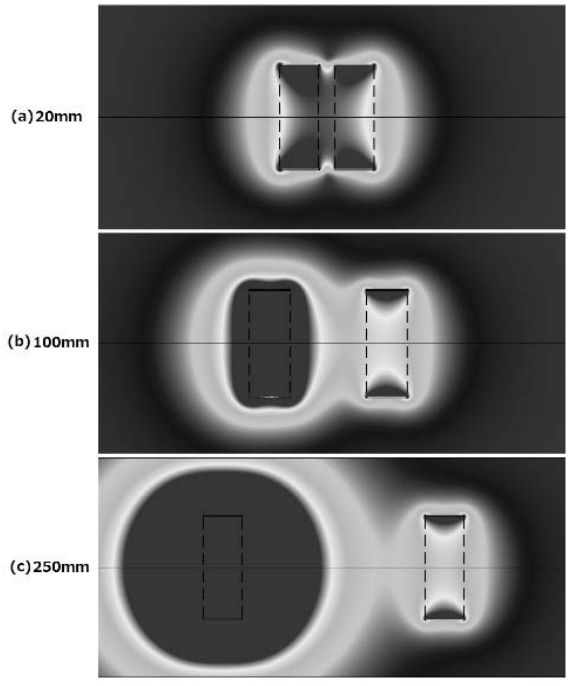


Figure 3. Magnetic flux density

Fig. 4 に送信側コイルの主磁束と漏れ磁束を示す. 磁界共振方式における主磁束は電力伝送に有効な磁束を，漏れ磁束は電力伝送に無効な磁束を意味している．主磁束は近距離で僅かに低下するが，遠距離では伝送距離に関わらずほぼ一定である．一方，漏れ磁束は伝送距離に応じて増加し，特に伝送距離 100mm 付近から急激に増加する．したがって，遠距離で主磁束は一定であるのに対し，漏れ磁束のみが急激に増加することが確認できた．これが遠距離での電力効率低下の要因である.

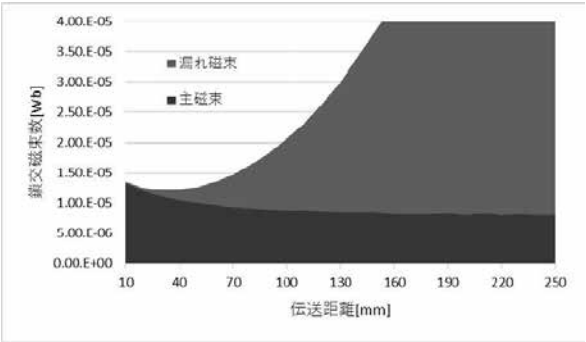


Figure 4. Main flux and leakage flux

また, 長距離伝送系についても考察を行った. サーモグラフィを用いて伝送時の共振用コンデンサの単体の温度を測定すると，コンデンサが温度上昇することを確認した．そこで，伝送時の温度上昇を考慮したコンデンサを設計し，コンデンサの温度上昇によるコンデンサの損失増加を防止させたときの伝送実験結果について述べる.
本実験では入力電圧の基本波実効値を一定にして測定を行った．Fig. 5 に新コンデンサ及び旧コンデンサを使用したときの伝送距離による電力効率を示す．新コンデンサを使用すると電力伝送可能な距離がわずかに長くなった．しかし，新コンデンサを使用したときの電力効率及び電力は旧コンデンサを使用したときとほぼ変わらない．したがって，コンデンサの温度上昇を防いで損失を低減させても電力伝送可能な距離や電力効率にほぼ影響しないことが明らかになった.

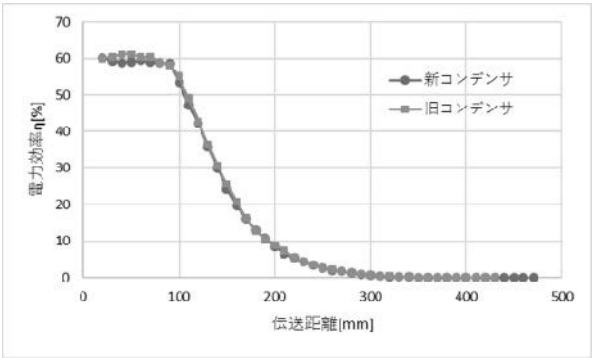


Figure 5. Power efficiency in experiments.

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本研究では，磁界解析により遠距離での送信側コイルの漏れ磁束の増加を説明した．本プロジェクトで明らかになった遠距離での電力効率低下の要因は，大電力を送信する非接触給電システムの構築に結びつき，今後の発展が期待される．

［４］成果資料

（１）亀好秀憲，稲森真美子，森本雅之，"遠距離での共振型非接触電力伝送，" 電気学会産業応用部門大会，2018 年 8 月．

（２）H. Kameyoshi, Y. Shimazaki, M. Inamori, and M. Morimoto, "Efficiency of contactless power transmission in a long distance," in Proc. ICEMS 2018, Korea, Oct. 2018.

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/A15

選択によって感情体験を変容させる方法の研究

［1］組織

研究代表者：
坂井　信之（東北大学大学院文学研究科/東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
塩入　諭（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
大沼　卓也（近畿大学産業理工学部）
Chia-Huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
山道　海路（東北大学大学院文学研究科）

延べ参加人数：5 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	140,000 円

［2］研究経過

我々は日々，多くの情報や選択肢に囲まれながら，最も良い商品やサービスを選択するように努めている。我々の選択は，それぞれの選択肢の良さに基づいて決まるという通念があるが，それとは反対に，選択という行為によって選択肢の良さが決まるという面もあることが近年わかってきている。本プロジェクトでは，商品やサービスを実際に消費・利用した際の感情体験が選択によって変容するかどうか，そしてそれは人間のどのような情報処理メカニズムに基づくのかを，実証的に明らかにすることを目的として研究を行った。

本プロジェクトは３年計画であり，本年度が初年度であった。本年度は，飲料を用いた簡便な官能評価および心理学実験により，選択による感情体験の変容効果に関する基礎的データの収集を行った。

本年度の研究活動状況として，2018 年 6 月より実験の実施を開始した。得られたデータについて，2018 年 12 月および 2019 年 2 月に，電気通信研究所にてディスカッションを行った。また，電気通信研究所にて開催された 2 月の成果報告会にて，研究成果の報告を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

実験の結果，参加者が自分で選んだと思っている飲料は，実験者によって選ばれたと思っている飲料と比べて，実際はそれらが全く同じ飲料であるにもかかわらず，よりおいしいと感じられることがわかった。すなわち，感情体験としての飲料のおいしさが，選択によって確かに変容することがわかった。

さらに，この変容効果は，呈示された飲料の種類（選択肢の数）が 9 種類だった場合にのみみられ，3 種類あるいは 12 種類だった場合にはみられなかった。すなわち，「自分で選んだ」という単なる事実の認識ではなく，適度な認知的負荷のもとで自ら効果的に選択ができたという実感が得られた場合にのみ，選択の結果としての感情体験がより良いものとして感じられる可能性が示唆された。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の研究で得られた成果について，産業分野への応用が期待できる。例えば，店舗における商品陳列や Web ページのレイアウトを設計する際，対象とする人々にとってどの程度の選択肢の数が適切なのかを考慮して設計することができる。これにより，選択の結果としての商品やサービスについて，より満足のいく感情体験を提供することができるようになると期待される。

また，選択や満足感に関する従来の心理学的研究に対しては，選択肢の数と認知的負荷という，情報処理的な側面の重要性を示すことで，新たな研究の方向性を提示することができた。

［4］成果資料

本プロジェクトに関する研究成果について，現在論文投稿の準備を進めている。

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
(先端・萌芽)

採択番号：H30/A16

自己運動に伴う身体近傍空間の変容

［1］組織

研究代表者：
寺本 渉（熊本大学大学院人文社会科学研究部）
通研対応教員：
坂本 修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
崔 正烈（東北大学電気通信研究所）
黒田 尚輝（熊本大学大学院社会文化科学研究科）
延べ参加人数：30 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	176,000 円

［2］研究経過

情報通信システムにおいて，情報の発信と受容の担い手は人間であるため，人間の知覚認知特性を十分に考慮したシステムを設計する必要がある。通常，人間は眼や頭部，身体全体を動かしながら周囲の環境を認識している。しかし，従来のシステムの多くが情報提示の細部のリアリティのみを追求し，こうした情報の受け手の動きが提示情報の知覚や認知に与える影響を考慮してこなかった。近年では情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システムへの期待が高まっており，それを実現するためには，受け手の動きを十分に考慮した情報提示が必要不可欠である。そこで本研究では，自己身体運動によって，視覚や聴覚による空間知覚がどのように変容するかについて系統的に検討を行うことを目的とする。もし，受け手の動きを十分に考慮した情報提示が可能になれば，自然な人間の振る舞いにより近づくため，きわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システムを実現するための手法の提案へとつながることが期待できる。

本プロジェクトは，平成 24 年〜26 年度通研共同プロジェクト研究「前庭情報による音空間歪みに関する研究」，平成 27〜29 年度通研共同プロジェクト研究「自己身体情報が外部環境把握に与える影響に関する研究」の発展研究と位置づけられる。これまでのプロジェクトにおいては，直線加速度運動時には，真横に聞こえる音の位置が情報源にかかわらず真横に聞こえる音の位置がシフトすることのほか，自己運動の能動性／受動性は結果に大きな影響を及ぼさないことなどを明らかにした（花篭他，2015；崔他，2013；Sakamoto et al.，2015；Teramoto et al.，2012，2014）。これらの結果はすでに複数の研究会，学会等で発表を行い，学術論文として国際誌に掲載されている。

これまでの研究は別の見方をすると，身体近傍空間（PPS：peripersonal space）が拡大していることを意味する。PPS は，身体から数センチから数十センチの範囲の空間であり，行動実験では，視覚や聴覚刺激によって触覚検出が促進される範囲とされている（Sambo & Forster，2009；Serino et al.，2011）。PPS は，外部対象に対する働きかけや危機回避行動を行ううえで重要な空間であり，脳内でも他とは異なる空間として表現されていると考えられている。近年の研究では，実際の自己運動時や前庭刺激時には静止時と比べて PPS は進行方向側に拡がることが示されている（雨宮他，2016；Noel et al.，2015；Pfeiffer et al.，2018）。しかし，自己運動速度や接近／遠離運動する刺激速度による違い，身体部位選択性，異方性，能動・受動運動による違い等，自己運動時の PPS に関する脳情報処理特性を理解する上で，必要不可欠な部分については未だ不明である。そこで本プロジェクトは，そうしたパラメータを系統的に変化させることによって，自己運動時の PPS を総合的に明らかにする。

第 1 回研究打ち合わせ（2018 年 10 月 20 日〜22 日）　大型モニタを用いた擬似的自己運動時の身体近傍空間変容に関する実験の進捗を確認し，次の実験パラメータについて議論を行った。

第 2 回研究打ち合わせ(2019 年 2 月 20 日〜23 日)

本年度得られた大型モニタとヘッドマウントディスプレイ用いた擬似的自己運動時の身体近傍空間変容関する実験データとを突き合わせ，来年度の研究計画について議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

PPS 範囲は自己運動の影響を受ける。例えば，トレッドミル上を前方に歩行しているときには，静止時に比べて PPS が進行方向側に拡大する（Noel et al., 2015)。同様の PPS の拡大は，足底に振動刺激を与えることによって擬似的に前方への自己運動感覚を生じさせているときにも生じる(雨宮他,2016)。こうした自己運動時の PPS の拡大は，従来 PPS の機能的役割として指摘されている危機回避行動（Graziano & Cooke, 2006）との関連性が指摘されてきた（雨宮他, 2016; De Paepe et al., 2016; Noel et al., 2015)。しかし，それを直接検証した研究はない。サルを対象とした研究では，静止観察者に接近する視覚刺激を用いた場合，速度増加に比例して PPS が広がることが報告されており（Fogassi et al., 1996),そのデータが危機回避行動との関連性を指摘する根拠の 1 つとなっている。そこで本研究では，自己運動速度を系統的に変化させ，PPS に対する影響を調べた。

＜方法＞

実験参加者：大学生・大学院生 24 名（うち女性 11 名, 23.4±3.5(標準偏差)歳) が実験に参加した。すべての実験参加者は健常な視覚・触覚・前庭感覚を有した。

装置と刺激：大型テーブルトップディスプレイ（58M510X, TOSHIBA, 76 cm（横）×127 cm（縦））に視覚刺激を呈示した（Fig. 1)。ディスプレイの短軸側に顎台を設置し，観察位置とした。ディスプレイ中央部分　(12 cm 幅，黒色，0 cd/m^2) を除き，6 周期分の正弦縞（最小輝度：0 cd/m^2，最大輝度：19 cd/m^2，速度： 0.35 m/s, 0.75 m/s または静止）を誘導刺激として呈示した。誘導縞非呈示部分には，注視点（赤色円，直径 1 cm，1 cd/m^2）及び視覚接近刺激（白色円，直径 2 cm，19 cd/m^2）を呈示した。視覚接近刺激は，実験参加者からみて注視点の 4 cm 右側を速度0.2 m/s で 1 s 間真っ直ぐ接近運動した。注視点位置を視覚接近刺激の呈示距離に応じて変化させることによって，注視点の視覚接近刺激の相対的位置関係はどの距離で変わらないようにした。

触覚刺激は，振動刺激装置（Vibe Motor #1201）により実験参加者の左手人差し指に閾上で呈示した。その指は視覚接近刺激の運動軌道延長線上のディスプレイの縁に置かれた。すべての刺激は，PC 上で動作する MATLAB R2014b 及び Psychtoolbox によって制御した。

実験手続き：自己運動条件には，低速度条件（0.35 m/s）と高速度条件（0.7 m/s）を設けた。また，統制条件として，誘導刺激（0.35 m/s）を視覚接近刺激呈示時の僅かな時間（1 s）だけ呈示する低速短時間条件と静止正弦縞を呈示する静止条件を設けた。視覚接近刺激の呈示距離(距離条件)は,23cm,56cm,89cm，122cm とした。

各自己運動条件は別ブロックで実施した。ブロック内では，視覚接近刺激呈示中にランダムなタイミングで触覚刺激を与えた。また，全試行の 1/3 においてランダムなタイミングで視覚接近刺激の色を白色から緑色（13 cd/ m^2）に変化させ，それに対しても応答させた。これは，実験参加者が視覚接近刺激を無視するのを防ぐためであった。さらに，予測による影響を防ぐため，視覚接近刺激の色変化も触覚刺激も与えられない試行を各距離で 1 試行ずつ含め，1 ブロックあたり合計 76 試行をランダムな順序で実施した。実験参加者の主課題は，触覚刺激と視覚接近刺激の色変化に素早く応答することであった。

各ブロック内では 40 試行毎に休憩をはさんだ。各

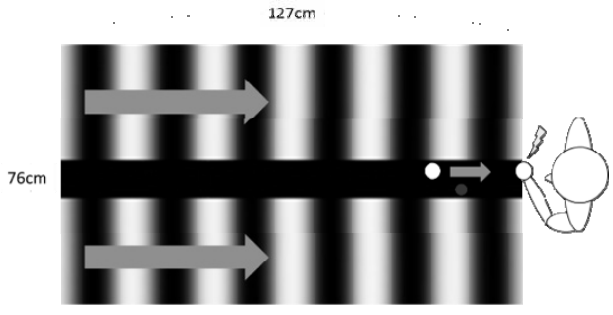


Fig. 1 実験装置と刺激例

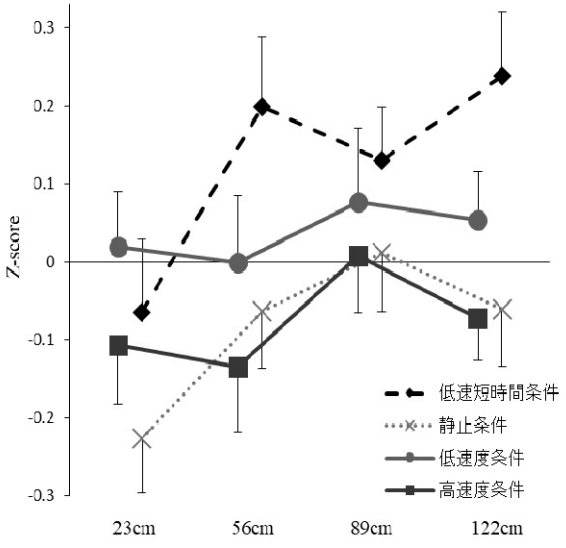


Fig. 2 各条件の反応時間の z 得点

ブロック直後には，ベクションの強さ及びベクションの速さ（体感速度）に関してそれぞれ口頭で0-100（0（ベクション非生起），1：弱い・遅い，100：強い・速い）で評価させた。ブロックの順序は実験参加者間でカウンターバランスをとった。

＜結果と考察＞

静止条件で自己運動を知覚したと報告した2名を除外して以降の分析を行った。反応時間に関して，実験参加者ごとに平均±3SD で外れ値を除外し，z得点に変換のうえ，各距離で平均値を算出した。各条件における z 得点の全実験参加者の平均値をFig.2 に示す。自己運動条件（低速度条件，高速度条件，低速短時間条件，静止条件）×距離条件（23cm，56cm，89cm，122cm）の2要因分散分析を行った結果，自己運動条件の主効果が有意傾向（$F_{3,\ 63} = 2.38$，$p = .078$），距離条件の主効果が有意であった（$F_{3,\ 63} = 2.87$，$p = .043$）。また，自己運動条件×距離条件の交互作用が有意傾向であったため（$F_{9,\ 189} = 1.76$，$p = .079$），距離の単純主効果の検定と多重比較をおこなった。その結果，低速短時間条件においては，23cm とそれ以外の距離間にそれぞれ有意な差がみられ，23cm と 56cm 間に PPS の境界があると考えられた。また，静止条件においては，23cm と 89cm 間に有意な差がみられ，23cm と 89cm 間に PPS の境界があると考えられた。それ以外の自己運動条件では，距離条件間に有意な差は認められなかった。

本研究では，視覚ベクションを用いて自己運動速度が PPS の範囲に与える影響について検討を行った。その結果，低速短時間条件では23cm と 56cm 間，静止条件では23cm と 89cm 間に PPS 境界がみられた。しかし，自己運動知覚生起条件では，設定した全ての距離条件で同様の反応時間となり，PPS の境界はみられなかった。以上から，自己運動知覚時には PPS が本研究で調べた距離以上に拡大している可能性が考えられる。Noel et al.（2015）は，PPS の境界は静止時には66 cm，自己運動時（0.75m/s）には166cm 以上に拡大すると報告した。本研究で得られた統制条件の結果は，Noel et al.（2015）とほぼ一致する。また，本研究の高速度条件の自己運動速度（0.75 m/s）は Noel et al.（2015）の自己運動速度と一致することから，122cm 以上に拡大するという結果もほぼ一致するものといえる。一方，本研究の低速度条件（0.35 m/s）は，Noel et al.［10］よりも十分に小さい運動速度であった。サルを対象とした研究で報告された物体運動速度に比例した PPS 範囲拡大という結果を踏まえると（Foggassi et al., 1996），設定距離条件内に PPS の境界があることが予想された。しかし，そうではなかった。PPS は危機回避行動に強く関与することを考えると，距離をさらに広く設定する，あるいは，自己運動速度を十分に遅くすることによって，2 つの自己運動条件に差が見られる可能性がある。ただし，本研究の実験環境では，ディスプレイ長 122cm が最大距離であり，0.35cm/s が自己運動が安定的に生起する最低速度であった。したがって，今後は，ヘッドマウントディスプレイを用いるなど異なる実験環境を用いて検討を行っていく必要がある。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトがきっかけとなって，東北大学電気通信研究所および熊本大学文学部の2大学による共同研究体制が発足した。得られた研究成果はすでに複数の研究会，学会等で発表を行い，学術論文として国際誌への投稿準備中である。また，前年度までのプロジェクトの工学的応用を目指した研究については，科学研究費補助金事業基盤研究(B)「人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立」（代表：坂本修一，分担：寺本渉，平成 26 年度～平成 28 年度）として採択され，プロジェクトを進めた。また，平成 31 年度に応募した科学研究費補助金事業基盤研究(B)「人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立」（代表：坂本修一，分担：寺本渉，平成 31 年度～平成 34 年度）「人と場の相互作用を考慮した知的感性活動を支える聴空間創出基盤技術の確立」につながっている。

今後さらに心理物理学的手法のみならず，生理心理学的手法も駆使しながら，系統的に検討を加えることによって，学術的に非常にインパクトがある成果となると考えられる。また，工学的にも，情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システム実現に貢献できるものとなる。

［4］成果資料

・黒田尚輝・寺本渉（2018）自己運動速度の違いにおける身体近傍空間への影響．第 37 回日本基礎心理学会，2018 年 11 月 30 日-12 月 2 日，専修大学

・Noda, M., Sakamoto, S., Cui, Z., Teramoto, W., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2018) Detection threshold of auditory apparent motion during linear self-motion. RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018, March 4-7, Honolulu, Hawaii, USA

採択回数　(1)　2　3
(先端・国際)

採択番号：H30/A17

単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究

［1］組織

研究代表者：
森川　大輔（富山県立大学工学部知能ロボット工学科）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
平原　達也（富山県立大学工学部知能ロボット工学科）
JIN Craig Tsung Wei (The University of Sydney)

延べ参加人数：8 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	272,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

ヒトが音の到来方向の知覚に利用する主な情報は，両耳に到達する音の時間差（Interaural time difference: ITD）や両耳に到達する音圧レベルの差（Interaural level difference: ILD），そして，音源から耳までの音響伝達関数（Head-related transfer function: HRTF）によって生じるスペクトル上のピークやノッチ（Spectral cue: SC）と言われている。特に水平方向の知覚には，ITD と ILD が主に用いられていると言われている。

一方，ITD，ILD，SC のうち単耳で知覚できるのは SC のみになる。近年の研究から，ヒトは単耳のみしか使えない状況であっても水平面の方向知覚が可能であることがわかってきた。さらに，我々のこれまでの研究によって，一側聾者の一部は，知覚的に音のイメージが存在している音像の位置と，音が実際に放射されている場所である音源の位置を別々に知覚できることがわかった。一方両耳聴者が単耳受聴を行う場合両者の区別はできず，一側聾者の音像定位と類似した知覚傾向を示していた。これらは，両耳聴では利用しない情報，他の情報に比べて重みの低い情報，が作用して起きていると考えられ，単耳受聴者と両耳受聴者の音空間知覚メカニズムに大きな違いがあることを示している。

そこで本研究では，方向情報のうち両耳受聴者のみが利用できる両耳間差に着目し，単耳受聴者には 1 音に聴こえる条件で，両耳聴者が音像を分離する条件について調査を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度である。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ，実験及び討論

○平成 30 年 10 月 22～24 日，29～30 日

東北大学電気通信研究所において，研究打ち合わせを行い，実験を行うとともに，実験結果について議論した。また，成果の一部は同時に行われた International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018 および，Seminar on the spatial aspects of hearing and their application において発表を行い，国内外の研究者と議論した。

○平成 31 年 2 月 21 日

共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表し，得られた結果や今後の展開について議論した。

○平成 31 年 2 月 23 日

東北大学電気通信研究所において，実験を行うとともに，実験結果について議論し，今後の研究について打ち合わせた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，3 つの白色雑音に異なる ILD を与えた場合に，白色雑音がどのように分離知覚されるかを明らかにした。

実験には，無相関な 3 つの白色雑音(WN1，WN2，WN3)の出力音圧を変えることで，それぞれの ILD を系統的に操作して組み合わせた刺激音を生成し，用

いた。出力信号の模式図を図 1 に示す。WN1 と WN2 の ILD は 0 dB から 3 dB おきに 21 dB までと∞の 9 条件で，WN1 は L ch，WN2 は R ch の音圧レベルをそれぞれ対側より高くした。WN3 の両耳の音圧レベルは同じである。各白色雑音間の音圧レベルの統制には，東北大学電気通信研究所の無響室において実測した 8 名分の頭部伝達関数の振幅スペクトルの角度毎の平均値（図 2）を用いて算出した。

実験はこの 9 条件に，L ch から WN1 のみ，R ch から WN2 のみを出力し，WN3 を用いない，Dichotic 条件を加えた計 10 条件の刺激音で行った。

なお，ILD が∞の条件と Dichotic 条件では，WN1 は ILD が 21 dB の場合の L ch と同じ音圧レベルで出力され，R ch からは出力せず，WN2 はその逆である。

白色雑音の長さはそれぞれ 3 s で，最初と最後に 30 ms の線形テーパをかけた。なお，ILD が 0 dB の条件では，全ての白色雑音が同じレベルで両チャンネルから出力される Diotic 受聴となる。刺激音の音圧レベルは，この条件で 70 dB とした。

聴取者はランダムな順序で呈示される 10 条件の刺激音に対して，聴こえた音像の数を「1 つ」，「2 つ」，「3 つ」から判断した。

実験結果を図 3 に示す。青は音像が 3 つに分離した割合，赤は音像が 2 つに分離した割合を示している。Dichotic 条件で音像が 2 つに分離知覚された割合は 90%で，ほぼ音像は 2 つと判断され，ILD が 0 dB の条件では，音像は分離知覚されなかった。ILD が大きくなるにつれて，分離知覚される割合は高くなった。しかし，ILD が 15 dB 以上の条件では，ILD が 12 dB の条件よりも音像が 3 つに分離知覚される割合が減り，2 つに分離知覚される割合が増えた。ILD が大きくなるにつれて，分離知覚される割合は高くなった。

分離知覚時のおおまかな音像の知覚位置を図 4 に示す。聴取者の内観報告によると，音像が 2 つに分離知覚された際には，音像を左右に知覚し，中央の音像が知覚されていない。これは，WN1 と WN2 の音圧レベルがそれぞれの耳で WN3 より 10 dB 程度高いことによって，WN3 が WN1 と WN2 に統合，もしくは WN1 と WN2 によってマスクされ，WN3 の音像に注意を向けられなくなったためと考えられる。

特別支援（国際）に係る研究成果

研究分担者の JIN Craig Tsung Wei を平成 30 年 10 月 19 日～31 日に東北大学電気通信研究所に招聘した。Craig 氏と，本研究の結果や，頭部伝達関数に関する最新の研究動向ついて議論し，研究打合せを行った。また，その成果の一部は，同時に行われた International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018 の招待講演，Seminar on the spatial aspects of hearing and their application のチュートリアル講演で発表された。

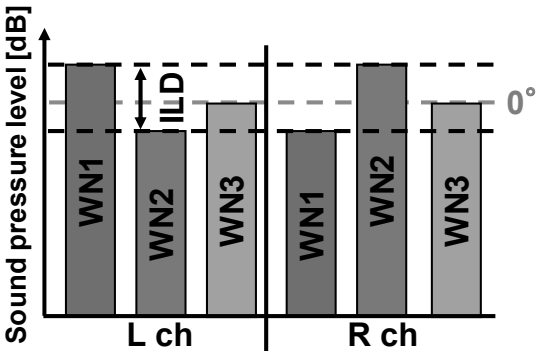


図 1 出力信号の模式図

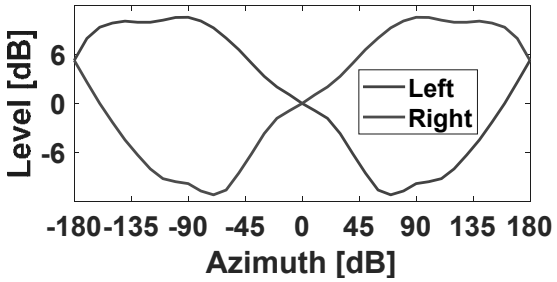


図 2 8 名分の頭部伝達関数の振幅スペクトルの平均

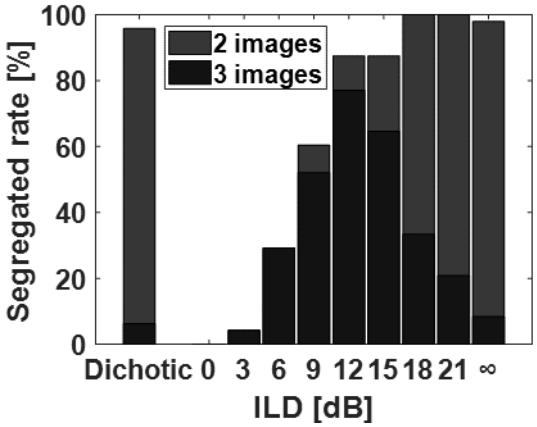


図 3 分離知覚の割合

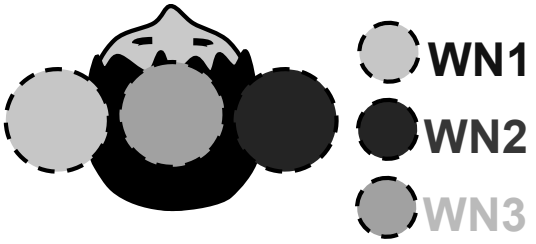


図 4 分地知覚時のおおまかな知覚位置

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトから得られた結果は，ヒトの聴知覚メカニズムの解明につながるものであり，来年度以降も研究を継続する予定である。

また，本プロジェクトは，東北大学電気通信研究所と富山県立大学による共同研究の継続に貢献するとともに，2 大学の若手研究者の交流・育成にもつながっている。

さらに，本プロジェクトから得られた知見の一部は工学的にも役立つものであり，近年需要が拡大している補聴器等の設計指針への利用や，音源方向推定システムへの応用が期待される。

［４］成果資料

（１）Daisuke Morikawa, “Effect of interaural time difference on the respective frequencies within spatially segregated sounds,” International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018 / Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Sendai, Japan, 2018.10.

（２）森川大輔，“両耳間音圧差による 3 音像の分離と統合,” 日本音響学会 2019 年春季研究発表会, 調布, 2019.03.

（３）JIN Craig Tsung Wei, “Perspectives on Microphone Array Processing including Sparse Recovery, Ray Space Analysis, and Neural Networks,” International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

（４）JIN Craig Tsung Wei, “Tutorial on 3D Sound Technologies,” Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Sendai, Japan, 2018.10.

共同プロジェクト研究

採択回数 （1） 2 3
（萌芽）

採択番号：H30/A18

繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電磁波環境対策に関する研究

［1］組織

研究代表者

鳥光　慶一（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員

末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：５人

研究費

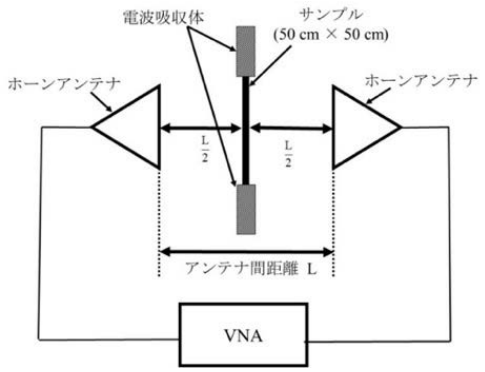
物件費　97,000 円

［2］研究経過

現在研究開発中の繊維電極は、医用電極と同様の電極特性を有しながらも繊維を素材とした高いフレキシブル性を有することを特徴としており、医療・健康分野における生体計測、特に災害時の避難所等におけるスマートテキスタイル型のバイタル計測に威力を発揮するものと期待される。しかしながら、本電極の電磁波特性はあまりよくわかっておらず、本研究を通して①素材としての電磁波、特に通信周波数帯の遮蔽、吸収及び反射特性、②繊維電極を用いた構造体における特性変化を明らかにすることにより、バイタル計測のみならずテキスタイル特性を活かしたペースメーカーの誤動作防止等、電磁波環境対策への活用の可能性を探ることを目的とする。

研究では、本電極の素材（絹、和紙の布地）や密度（生地の目）の異なる電極を用意し、電波発信源と正対させ、受信器を反対側に設置することで、遮蔽性を計測・評価した。

実験に使用した繊維電極は、繊維素材として絹または和紙で作った布地（６０cm 角）に対し導電性高分子で修飾することで導電性を有する繊維素材（抵抗値吸数ｋΩ～数十ｋΩ）である。本繊維電極を挟んで、両側にホーンアンテナを対向させ、アンテナの伝送損失を測定することで遮蔽特性を求めた。使用した周波数帯は、１～１０GHz のマイクロ波帯と４０～６０GHz のミリ波帯である。周囲の電波の影響を軽減するために電波暗室内で、５０cm 角のサンプルホルダーを用いて計測を行った。



測定系概略図

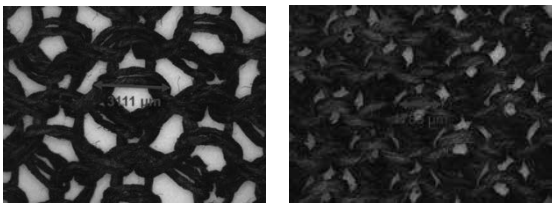
研究の実施に際し、本研究が繊維電極の電磁波環境対策という実施例の極めて少ない研究であるため、事前に標記研究参加者全員参加で、実験の進め方や計測方法、結果の検討及びフィードバック等を含めた研究打合せを期間内に何度か実施し、研究の円滑な実施を目指した。

［3］成果

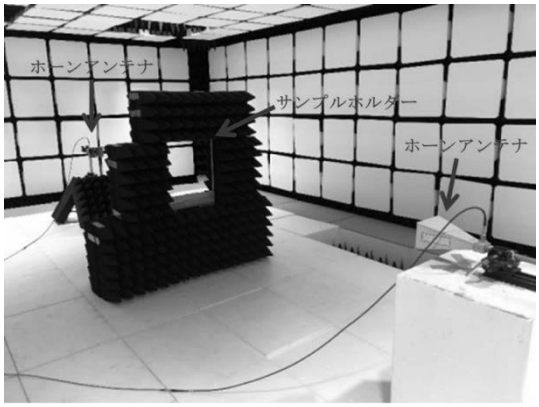
（3－1）研究成果

本年度の研究により、以下に示す成果を得た。下図は本研究で用いた和紙繊維の大きさの異なる二つの編目の映像である。

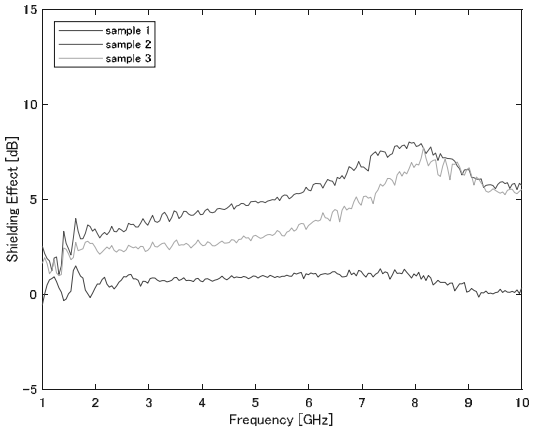
和紙繊維の編目



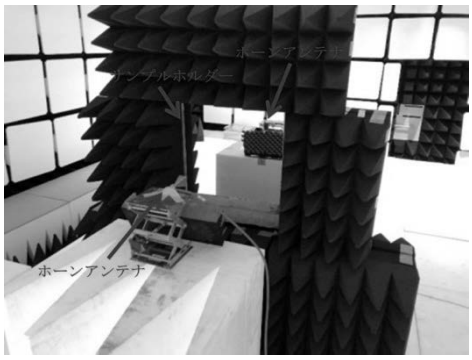
これらの繊維電極を用いて行った実験結果を下図に示す。



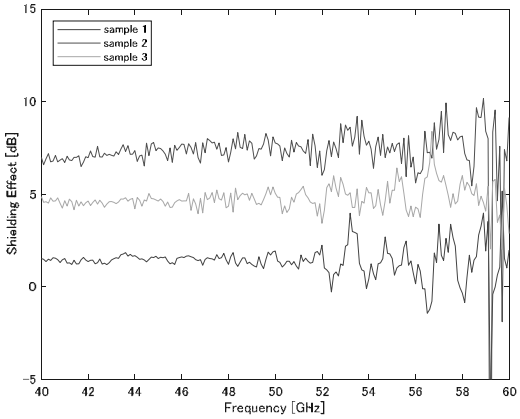
測定系（1−10GHz）



1−10GHz 周波数特性



測定系（40−60GHz）



40−60GHz 周波数特性

図を示すように、いずれの和紙電極もおよそ8GHz まで最大で8dB 程度遮蔽効果が増加する傾向にあり、それ以上では、ほぼ一定（5～7dB）となる遮蔽特性が得られた。又、網目の大きさにより遮蔽効果が異なるなど、今後さらに詳細に調べる必要はあるものの、遮蔽効果が繊維電極の構造に依存することが明らかとなった。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究を通して、繊維電極が広い周波数範囲で電波遮蔽効果を有することを示す結果が得られ、繊維素材であることのメリットを生かした対象形状にとらわれない遮蔽材として活用可能であることが明示された。

今後さらに、繊維構造と遮蔽効果との関連性を検討するとともに、他遮蔽材と複合化することにより効果的な遮蔽特性の実現を目指すことで、適

用範囲の広範化を視野に入れ、例えばフレキシブル特性を活かしたスマートテキスタイル型の電波遮蔽材としての活用など、災害時（避難所等）におけるペースメーカーをはじめとする医療機器の誤作動防止、あるいは、構造体への適用による遮蔽特性の向上などへの展開が期待される。

明らかとなった電波遮蔽効果と繊維電極の構造依存性については、電子情報通信学会マイクロ波研究会（２０１９年３月）および国際会議（Global Symposium on Millimeter Waves、GSMM 2019）において発表する予定である（次項参照）。

［4］成果資料

1. K.Edamatsu, M.Motoyoshi, N.Suematsu, K.Miura, K.Toriumi, “Electromagnetic Shielding of Conductive Polymer Combined Fabric,” Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM) 2019, (2019年5月発表予定)

・国内研究会，大会（査読無し）

1. 枝松，本良，末松，三浦，鳥光，” 導電性高分子含有布のマイクロ波帯における遮蔽特性,” 2019年電子情報通信学会総合大会 2019年3月

2. 枝松，本良，末松，三浦，鳥光，” 導電性高分子含有布のマイクロ波帯における遮蔽特性,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会 2019年3月

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A19

光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究

［1］組織
研究代表者：
新谷　昌人（東京大学地震研究所）
通研対応教員：
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
三ヶ田　均（京都大学大学院工学研究科）
荒木　英一郎（海洋研究開発機構）
三浦　哲（東北大学大学院理学研究科）
葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）
高森　昭光（東京大学地震研究所）
坪川　恒也（真英計測）
坂田　正治（元防災科学技術研究所）

延べ参加人数：９人

研究費：
物件費　97,000 円
旅費　121,000 円

［2］研究経過

わが国はしばしば地震や火山噴火による災害に見舞われており、それらの現象を理解することは学術的にも防災の観点からも重要である。地震や火山噴火は本質的に地下深部で起こる現象であり、発生域で直接観測することは困難である。陸上においては地震計やGNSS（全地球測位衛星システム）による多点観測が行われてきたが、地殻活動が活発な地域においては観測点の密度は不十分である。

本研究では、これまでの共同プロジェクト研究の成果を活かし、光ファイバーネットワークを用いて絶対重力計を面的な観測網として展開し、火山におけるマグマ活動を重力変動として捉え監視するための計測技術に関する研究を行う。本技術はこれまで困難であった高温の地下深部における観測手法として期待される光計測を用いた地震計、津波計、歪計などについても応用可能である。

Ｈ２９年度までの研究で、地震研究所で開発した絶対重力計装置に吉田研究室が所有するアセチレン安定化レーザー光源を接続し絶対重力観測を行い、地球潮汐を計測した。また、従来使用していたヨウ素安定化He-Neレーザーを光源とした場合との精度比較や測地学的な相対重力計測により求められた重力値と計測値を比較した。本年度はその結果を踏まえ、検出装置の誤差の計測とその補正を行い、通信波長帯光源での絶対重力計測の研究を継続した。本稿では紙面の都合で報告を省くが、同装置の野外実証のため、東北大学大学院理学研究科の蔵王観測所で一定期間重力観測を実施した。

［3］成果

（３－１）研究成果

マグマなど火山流体の移動を重力変化によって検知するために、地震研究所で小型絶対重力計（TAG-1）が開発された。図１に外観の写真、図２にTAG-1の構造を示す。TAG-1の計測原理は自由落下式絶対重力計であり、真空容器中で自由落下させた落体（鏡）の位置をレーザー干渉計で正確に計測し、その加速度から重力の絶対値を９～１０桁の確度で計測する。計測誤差となる地面振動を補正するための組み込み加速度計や計測に使用する落体の回転を抑えるサイレントドロップ法が特徴となっている。TAG-1は同等の市販品の約70%のサイズとなっており、火山地帯を含む複数の観測点で性能評価を行った結果、既存の絶対重力計と同等の1μGal以内の精度が確認されている。

一方、絶対値については20μGal程度の不定性があることが推定されている。計測に使用されるレーザーは必要な計測性能を得るために１０桁程度で絶対周波数が安定化されている必要があり、633nm帯のヨウ素安定化He-Neレーザーが通常用いられている。本研究では、通信波長帯1.5μm帯のレーザーを

用いて、火山観測のための重力計のネットワーク化や光源の長距離伝送を目指している。この場合、異なる波長帯で用いる光検出器それぞれの特性に起因する誤差を補正する必要がある。

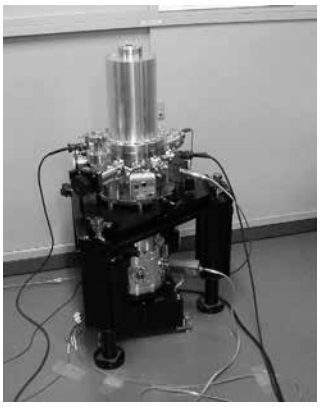


図１　小型絶対重力計（TAG-1）の外観

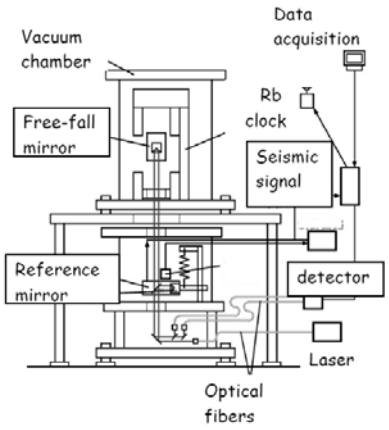


図２　TAG-1 の構造。真空容器中で自由落下させた鏡の位置をレーザー干渉計で計測し、重力加速度の絶対値を得る。地面振動による誤差を補正するための加速度計が真空容器下部に組み込まれている。

光検出器では落体がほぼ一定の加速度で落下したときの干渉光の強度変化が受光されるため、光強度の周波数が時間に比例して高くなる、いわゆる chirp 信号が検出される。光検出器に周波数特性があると、検出信号の位相遅れ等が発生し、変位の誤差を通じて絶対重力の計測値に系統誤差が生じる。その誤差量が既知であれば補正できる。そのため、発振器で合成された chirp 信号を各波長の光源から発生させ光検出し、求められた重力値と合成波形に基づいた計算値と比較することにより計測誤差を求めた。発振器は計測で使用されているルビジウム信号源と同期されており、１０桁程度の周波数確度が確保されている。

図３は 2017 年 12 月に 1.5μm 帯光源および 633nm 光源を用いて計測した重力値（青）および予想重力値（赤線）である。計測場所は東北大電気通信研究所本館地下１階実験室（M002）である。東北大青葉山キャンパス内の大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター（B 棟１階）には重力値が既知の基準点（AOB-B）があり、上述の計測場所との間で LaCoste 重力計（バネ式）による相対重力測定を実施し、AOB-B を参照点とした重力値が求められている。赤線はその重力値に地球潮汐による影響（月や太陽の引力による地球変形や重力加速度）を加えたものである。計測の際は 1.5μm 帯光源では２種類の光検出器（PD1 および PD2）を用いた。図３に示すように、光検出器によって予想重力値と 10^{-6}m/s^2 のオーダーで異なる値が得られ、光検出器の特性による誤差とみられる。

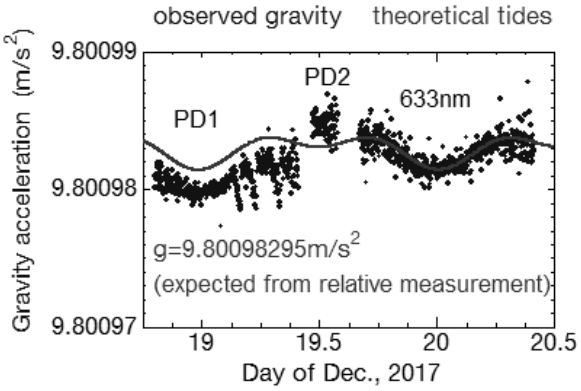


図３　2017 年 12 月に実施した 1.5μm 帯光源（光検出器は PD1 と PD2）および 633nm 光源を用いて計測した重力値（いずれも青）。赤線は AOB-B 点を基準とした相対重力測定から得られた重力値に地球潮汐による影響を加えた予想重力値である。

そこで、それぞれの検出器に chirp 信号で強度変調がかけられた光を受光させ重力値を求めた。図４にその結果を示す。左軸は図３で計測された PD1 および PD2 の重力値（各 observation）を示すが、検出器の周波数依存性を明らかにするために、解析区間を落下開始後 t0 から t0+dt とし、その間の落体の変位を２次関数で fitting して重力値を求めた。dt=80ms とし、t0 は 20～100ms で変化させた。PD1、PD2 は t0<～60ms では求められた重力値が 10^{-6}m/s^2 のオーダーで異なり、光検出器の特性の違いに起因すると考えられる。一方、t0>～60ms では両者はほぼ一致し、同じ t0 依存性となっている。chirp 波を受光させ求めた重力値を同図の PD1 error、PD2 error で示すが、これらが参照する右軸は chirp 波の周波数変化率より計算された重力値との差を示す。t0 依存性は

observation と一致しており、右軸と左軸を比較することにより光検出器の系統誤差を見積もることができる。

図５には光検出器の周波数特性による系統誤差を補正した重力値（青）および予想重力値（赤）を示す。補正の際には地球潮汐による影響も含め、さらに３時間毎に平均した重力値を示した。２つの波長（1.5μm 帯および 633nm）において合計３種類の光検出器で計測された重力値が互いにほぼ一致しているだけでなく、予想重力値とも整合しており正しく補正されていることがわかる。

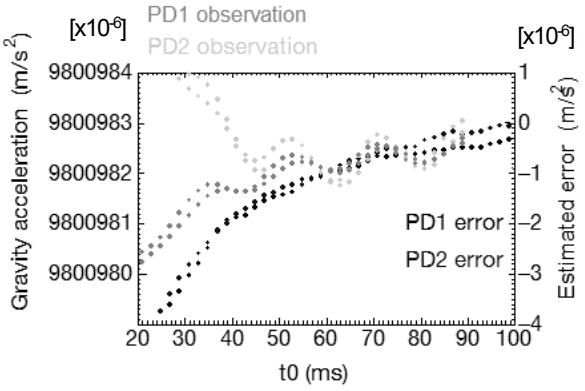


図４　右軸は chirp 信号で強度変調がかけられた光を PD1 および PD2 に受光させ求められた重力値と、chirp 波の周波数変化率より計算された重力値との差を示す（各 error）。左軸は図３で計測された PD1 および PD2 の重力値（各 observation）である。いずれも、解析区間を落下開始後 t0 から t0+dt とし（dt=80ms）、その間の落体の変位を２次関数で fitting して重力値を求めている。

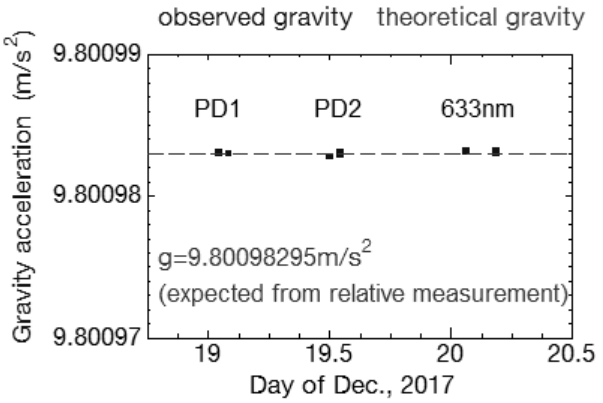


図５　光検出器の周波数特性による誤差を補正した重力値（青）および予想重力値（赤）を示す。２つの波長（1.5μm 帯および 633nm）において合計３種類の光検出器で計測された重力値が予想重力値と整合している。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

従来の火山活動の観測は、地震、地殻変動、電磁気、熱、音響、火山ガスなどを計測し、地下のマグマ活動をこれら地表付近に表れた複数の情報を組み合わせて推測している。重力は遠隔力でありこれを用いればマグマ活動に伴う密度変化の情報を直接計測できる。本年度の研究で光検出器の周波数特性に伴う誤差を chirp 波による計測で補正できることがわかり、これを用いれば従来の 633nm 光源を用いたデータと長距離伝送できる 1.5μm 帯光源で計測されたデータを同一の基準で比較することができる。複数の重力計を火山を取り囲むように面的に配置し長基線の光ファイバーでそれらをつなぎ、光源やデータ収集を一元化した観測網を構成し、それぞれの計測データを比較する際には不可欠の技術となる。

地下深部のマグマの動きに伴う密度変化を重力計観測網で捉えることができれば、地球科学および防災・火山監視へ大きく貢献すると期待される。複数の重力計を光ファイバーで接続する多重化の技術、地震発生域など地下深部の高温環境で動作できる光センサーの導入など、重力計以外にも、光計測を原理とした変位・傾斜・歪・加速度・温度などのセンサーをまとめた光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の検討も今後進めていく。

［４］成果資料

（１）新谷昌人，ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究，東北大学電気通信研究所研究活動報告，24，129-131，2018.

（２）M. Shinohara, T. Kanazawa, H. Fujimoto, T. Ishihara, T. Yamada, A. Araya et al., Development of a high-resolution underwater gravity measurement system installed on an autonomous underwater vehicle, IEEE Geosci. Remote Sens. Let., 15, 1937-1941, 2018.

（３）T. Ishihara, M. Shinohara, H. Fujimoto, T. Kanazawa, A. Araya et al., High-resolution gravity measurement aboard an autonomous underwater vehicle, Geophysics, 83, G119-G135, 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端・国際)

採択番号：H30/A20

脳型計算ハードウェア基盤とその応用

［1］組織

研究代表者

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
中尾　光之（東北大学大学院情報科学研究科）
片山　統裕（東北大学大学院情報科学研究科）
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）
小山内　実（東北大学大学院医学系研究科）
早川　美徳（東北大学教育情報基盤センター）
丹野　航太（東北大学金属材料研究所）
矢内　浩文（茨城大学 工学部）
浅井　哲也（北海道大学大学院情報科学研究科）
原田　知親（山形大学大学院理工学研究科）
廣瀬　明　（東京大学大学院工学系研究科）
斉藤　利通（法政大学工学部）
八木　哲也（大阪大学大学院工学研究科）
土居　伸二（京都大学大学院工学研究科）
森江　隆　（九州工業大学大学院生命体工学研究科）
佐村　俊和（山口大学大学院医学系研究科（工学））
引原　隆士（京都大学大学院工学研究科）
上田　哲史（徳島大学情報センター）
西尾　芳文（徳島大学工学部）
石田　文彦（富山高等専門学校専攻科）
田中　敦　（山形大学大学院理工学研究科）
佐野　雅己（東京大学大学院理学系研究科）
菅原　研　（東北学院大学教養学部）
金城　光永（琉球大学工学部）
水柿　義直（電気通信大学大学院情報理工学研究科）
鳥飼　弘幸（法政大学理工学部）
田向　権　（九州工業大学大学院生命体工学研究科）
Jordi Madrenas（カタルーニャ工科大学電子工学科）
川上　進　（(元) 東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：４５人

研究費

物件費	97,000 円
旅費	301,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

次世代の情報処理システムの実現を目的として、脳型計算機を構築するために必要なハードウェア基盤を確立することが本研究の目的である。これまでに得られた知見、すなわち膨大な神経配線の効率的な実装、スピントロニクス素子を用いた不揮発性メモリの構成、あるいは培養神経回路に発現する集団的神経ダイナミクス等をさらに発展させて、高効率かつ柔軟な脳型計算機の実現に必要なハードウェア基盤を構築すること、並びに、それら基盤技術の視覚情報処理への応用によりその有効性を明らかにすることを目指す。

本プロジェクトは、本年度が初年度にあたり、本プロジェクト研究と連動する形で、「第七回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム」を、2019年2月22, 23日に開催した。国内外研究者との意見交換を行い、本プロジェクトの成果を確認すると共に，今後の研究開発に向けて有益な知見を得ることができた。以下はシンポジウムのプログラム（口頭発表分）である。

1. Exploiting temporal codes in spiking neural networks
L. Theogarajan (UC Santa Barbara, USA)
2. Chaotic neural network reservoir and its application to brainmorphic computing hardware
Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
3. Recent developments on the state of the art in spiking neural hardware
J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Technical Univ. Catalunya, Spain)
4. Design of an analog MOS circuit of the Izhikevich neuron model
S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
5. Temporal integration of axonal spike signaling

in the hippocampus
H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
6. Three-dimensional neuronal cultures: challenges and opportunities
J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
7. Stable lipid bilayers as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins
A. Hirano-Iwata, D. Yamaura, M. Kato, T. Deguchi, F. Xingyao, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano (Tohoku Univ., Japan)
8. Optimized stimuli for neuronal desynchronization and their application to module networks
S. Kubota, J. E. Rubin, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Yamagata Univ., Japan)
9. Robust sequence learning in attractor memory networks with fast Hebbian plasticity
P. Herman (Royal Inst. Technology, Sweden)
10. STDP in SNN implementation on FPGA
Y. Xia, T. Levi, T. Kohno (Univ. Tokyo, Japan)
11. Detecting neuron-glia communication through optic flow and synaptic stabilization in neuronal cultures
J. G. Orlandi, Y. Hernández, J. Davidsen, M. A. Colicos (Univ. Calgary, Canada)
12. Excitatory synaptic transmission is modulated by the density of surrounding astrocytes
K. Oyabu, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki (Fukuoka Univ., Japan)
13. Dynamical richness in modular cortical networks emerges as trade-off between functional integrability and spatial segregation
H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

［3］成果

（3－1）研究成果

エッジコンピューティングにおいて低電力脳型処理を実現するために、専用ハードウェアの開発が急務な課題となっている。そこで、簡単な微分方程式で記述されるものの、多様な神経パルスを再現しうるIzhikevichモデルに着目し、これと同様のダイナミクスを有し、電源電圧1Vで動作するニューロンMOSアナログ回路の設計を行った。強反転領域で動作するMOSトランジスタ40個程度で構成されるニューロン回路が20μW程度の低消費電力で良好に動作することをSPICEシミュレーションにより確認した。

また、国際共同研究推進型特別支援分の研究費により、本プロジェクトのメンバーであるカタルーニャ工科大学のJordi Madrenas氏を招聘し、培養神経回路の振舞いを模擬するハードウェア神経回路に関して共同研究を行い、FPGAを用いた大規模回路の実装方法について検討した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

脳型計算機は理論的には徐々に発展しているものの決定的な技術には成熟していない。このプロジェクト研究では、神経生理学、非線形物理学、計算論的神経科学、集積回路工学の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成することで、次世代の脳型計算機を開発・応用するための基礎概念や、ハードウェア構成法の具体化が進むと期待できる。

［4］成果資料

1. S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, and S. Sato, Mean-field analysis of directed modular networks, Chaos, vol. 29, no. 1, 013142, 2019.
2. H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks, Science Advances, vol. 4, no. 11, eaau4914, 2018.
3. H. Akima, S. Kurihara, S. Moriya, S. Kawakami, J. Madrenas, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, and S. Sato, Motion Stereo Vision LSI for Spatial Perception, Proc. 2018 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018), 663, 2018.
4. H. Uchida and T. Saito, Multi-phase synchronization phenomena in a ring-coupled system of digital spiking neurons, IEICE Trans. Fundamentals, E102-A, 1, pp. 235-241, 2019.
5. S. Koyama, S. Aoki, and T. Saito, Simple feature quantities for analysis of periodic orbits in dynamic binary neural networks, IEICE Trans. Fundamentals, E101-A, 4, pp. 727-730, 2018.
6. S. Aoki, S. Koyama and T. Saito, FPGA based hardware implementation of simple dynamic binary neural networks, L. Cheng et al. (Eds.): ICONIP 2018, LNCS 11307, pp. 647-655, 2018.
7. Fumihiko Ishida, Koki Wakata, Numerical study on adjusting parameters to improve gaze estimation using planar approximations from electro - oculogram signal voltage, Biomedical

Engineering Letters, DOI:10.1007/s13534-019-00095-y, 2019.
8. S. Uenohara, T. Morie, H. Tamukoh, K. Aihara, A pulse-width-modulation mode CMOS integrated circuit implementation of threshold-coupled map, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 9, Issue 2, pp. 268-280, April 2018.
9. Q. Wang, H. Tamukoh, T. Morie, A Time-domain Analog Weighted-sum Calculation Model for Extremely Low Power VLSI Implementation of Multi-layer Neural Networks, arXiv.org, arXiv:1810.06819, Oct. 2018. (https://arxiv.org/abs/1810.06819)
10. M. Yamaguchi, G. Iwamoto, H. Tamukoh, T. Morie, An Energy-efficient Time-domain Analog VLSI Neural Network Processor Based on a Pulse-width Modulation Approach, arXiv.org, arXiv:1902.07707, Feb. 16. 2019. (https://arxiv.org/abs/1902.07707)
11. S. HASHIMOTO, Y. UWATE, Y. NISHIO, "Synchronization Phenomena of Chaotic Circuit Networks with Distributed Hub Including Positive and Negative Coupling", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'18), DOI:10.1109/ISCAS.2018.8351723 (5 pages), May 2018.
12. Y. UWATE, T. OTT, Y. NISHIO, "Producing Complex Networks Using Coupled Oscillatory Circuits with Evolutionary Connections", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'18), DOI:10.1109/ISCAS.2018.8351665 (5 pages), May 2018.
13. Y. UWATE and Y. NISHIO, "Amplitude Death in Large-Scale Polygonal Oscillatory Networks", Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'18), pp. 538-541, Sep. 2018.
14. M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "Design of MTJ-Based Nonvolatile Logic Gates for Quantized Neural Networks," Microelectronics Journal, Vol.82, pp.13-21, Dec. 2018.
15. W. C. Gross, N. Onizawa, K. Matsumiya, and T. Hanyu, "Application of Stochastic Computing in Brainware," IEICE, Nonlinear Theory and Its Applications, vol.E9-N, no.4, pp. 406-422, 2018.
16. N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, and T. Hanyu, "An Area/Power-Aware 32-Channel Compressive Gammachirp Filterbank Chip Based on Hybrid Stochastic/Binary Computation," IEICE, Nonlinear Theory and Its Applications, vol.E9-N, no.4, pp.423-435, 2018.
17. 1. R. Inoshi, S. Doi, On the treatment of ionic concentration variables in a Hodgkin-Huxley-type model of human atrial myocytes, Proc. of NOLTA2018, pp.300-303 (2018).
18. Y. Mizugaki, K. Matsumoto, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, and F. Hirose, "One-dimensional array of small tunnel junctions fabricated using 30-nm-diameter gold nanoparticles placed in a 140-nm-wide resist groove," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, no. 9, pp. 098006-1-3, 2018.
19. Y. Mizugaki, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, and F. Hirose, "Numerical simulation of single-electron tunneling in random arrays of small tunnel junctions formed by percolation of conductive nanoparticles," IEICE Transactions on Electronics, vol. E101-C, no. 10, pp. 836-839, 2018.
20. Manuel Sanchez, Takashi Hikihara, Symmetry Recovering of an AC/AC Converter Working in a Chaotic Regime, 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, NOLTA2018, pp. 491-494, Tarragona, Spain, 2018.
21. Nodoka Asayama, Takashi Hikihara, "Reachable Set Approach to Safe Operation for Microgrid", IEEE 40th International Communication and Energy Conference, will be available online, Torino, Italy, Oct. 9-11, 2018.
22. 朝山和香, 引原隆士, マイクログリッド運用に対する可到達集合の利用, システム制御情報学会論文誌, Vo. 32, No.4, 133-141 (2019).
23. Y. Tanaka, T. Nomoto, T. Shiki, Y. Sakata, Y. Shimada, Y. Hayashida, T. Yagi, "Focal activation of neuronal circuits induced by microstimulation in the visual cortex" Journal of Neural Engineering- Article reference: 102580.R1, 2019.
24. R. Ota, S. Suga, Y. Hayashida, "Neural Excitations by the Current Injected Through the Carbon Nanotube Surface of an Intracortical Electrode in Vivo" IEEE Life Sciences Conference, Montreal, Quebec, Canada, October 28-30, 2018.
25. L. de Levy Oliveira, N. Suematsu, T. Yagi, "Spatiotemporal Analysis of Simultaneous Repetitive Electrical Stimulation with Voltage Sensitive Dye" IEEE Biomedical Circuits and Systems 2018, Cleveland, US, October 17-19, 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
(萌芽・国際)

採択番号：H30/A21

感覚情報の認知がコンテンツの臨場感・迫真性の判断に与える影響に関する検討

［1］組織

研究代表者：
大谷　智子（東京藝術大学芸術情報センター）
通研対応教員：
トレビーニョ・ロペス・ホルヘ・アルベルト
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
崔　正烈（東北大学電気通信研究所）
William Martens（シドニー大学）
天内　大樹（静岡文化芸術大学）
磯谷　悠子（日本映画大学）

延べ参加人数：9人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	293,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

通信技術の発展に伴って大規模データを伝送することが可能となり，データの質の向上が課題となってきた。課題の１つとして，データの受け手となる人間を中心とした設計が重要である。本研究では，感覚情報のコンテンツに着目した。先行研究において，臨場感や迫真性の規定因や，感覚モダリティ間における各感性評価が異なることは明らかにされている。これまで我々は，振動情報に付与する情報が視覚情報か聴覚情報かによって，情報間の同期ずれに対する感性評価が異なる傾向を持つことを示した。この原因の一つとして，情報間の同期性に対する判断が，臨場感や迫真性の評価に影響を及ぼしている可能性が考えられた。そこで本研究では，(1)現実感，自然性，没入感，臨場感，迫真性を満たす適切な提示方法，(2) 送り手の意図した感覚情報や主観評価値が受け手に伝わるかの検証を目的とした。

以下，活動状況の概要を記す。これら以外にも，オンラインや学会研究委員会会場などで打合せを行った。

第1回研究打合せ　2018年9月19～21日

次の展開について崔正烈助教と議論し，論文執筆を進めた。

第2回研究打合せ　2018年10月19～25日

Ercan Altinsoy（ドレスデン工科大学）を招聘し，研究内容についてトークをしていただき，議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，(1) 視覚情報，聴覚情報，振動情報間の同期を操作した際の，情報間の同期性判断と臨場感や迫真性の評価を測定し，これらの情報間の同期性に対する主観的な判断が，感性評価に与える影響を検討する。この実験手続きは，以下に述べる通りである。実験には，電気通信研究所先端音情報システム研究室にて収録・集音した刺激を用いる。映像刺激はプロジェクタからスクリーンに投影し，音声刺激は被験者が装着する密閉型ヘッドフォンを通じて提示する．また，振動刺激はモーションプラットフォームを用い，被験者に対してz軸方向の全身振動となるように提示する．被験者はこれらの感覚情報を同時に受ける。すなわち，被験者は，モーションプラットフォームに上がり，ヘッドフォンを装着し，スクリーンに向かって立つ．実験者は，被験者の視野中央に映像刺激の中心が提示されるように，映像刺激の提示位置を設定する．実験では，被験者は，提示される実験刺激に対して，1 試行を終えるたびに臨場感と迫真性の感性評価をそれぞれ行う。さらに，音声情報，視覚情報，振動情報が同期していたか否かを判定する。つぎに，(2) 情報の送り手が意図した感覚情報や主観評価値を，受け手

がどのように知覚・認知したかを検証する。

初年度である2018年度は，(1) に関しては，これまでのデータを再分析した結果について，話者映像が音声知覚に与える影響について議論した。共同研究者らとの議論の結果，先ずはここまでの成果をまとめて論文を執筆することにした。(2)に関しては，検証対象とする感覚情報を視覚に限定し，ワークショップ型実験・観察を実施した。

本プロジェクトでは，国際共同研究推進型予算区分を使用し，Ercan Altinsoy 教授を2018年10月19〜25日に招いた。Ercan Altinsoy 教授の聴覚と振動触覚の両モダリティの知覚的な閾値に影響を与える要因についての研究など，本課題に関する議論をすることができた。

これまでの結果をまとめ，本研究費を使用し，英文校閲を行い，学会誌論文投稿準備をしている。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの推進することによって，臨場感や迫真性が高評価となる最適な条件が心理実験を通じて明らかになり，人間の感性情報処理の解明だけではなく，伝送に必要な情報と不要な情報を伝送するデータの質の向上という工学的な応用につながることが期待される。さらに，制作意図の伝達の検証は，建築や映像コンテンツ制作などの芸術分野への応用も考えられる。

［４］成果資料

（1）大谷智子(2018). 高校3年生総合学習(招待), 不二聖心女子学院高等学校

採択回数　(1)　2　3
(萌芽)

採択番号：H30/A22

IoT 技術を用いた津波災害時の避難支援システムの構築

［1］組織

研究代表者：
杉安　和也（東北大学災害科学国際研究所）
通研対応教員：
高橋　秀幸（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：10 人

研究費：
物件費　97,000 円

［2］研究経過

東日本大震災より 8 年が経過し，沿岸被災地の集団移転事業・土地区画整理事業は終息しつつある。これらによって設置された防災緑地・防潮堤の存在は，津波災害への被害抑止に効果を発揮する一方，避難者が最終的な避難目標地点の目視することを困難とし，円滑な避難行動を阻害する要因となる可能性を抱えている。そこで本研究では，前述のような状況下における避難者の誘導補助手段の一つとして，ドローンをはじめとする IoT 技術の活用可能性を電気通信，都市計画まちづくり，地域防災といった観点から総合的に検討し，地域実装を試みるものである。本プロジェクトの内容は以下のとおりである。

(1) 都市計画の観点に基づくドローン避難誘導を実装可能な法的条件・土地利用的な制約条件の整理
(2) 避難誘導に用いるドローンの視認性を向上させるための避難誘導サインの開発およびドローン本体へのアタッチメントパーツの開発
(3) 避難誘導を行うドローンの自立飛行プログラムの開発
(4) 実際の沿岸被災地における試験飛行および試験結果を踏まえたブラッシュアップ

これらの実現のため，災害科学国際研究所および電気通信研究所内の教員および学生による東北大学スタッフ 7 名，ドローン用機器の開発，操縦指導協力企業として（株）空むすびスタッフ 3 名によるのべ 10 名でのプロジェクト体制を構築した。さらに実験における実証フィールドを得るべく，福島県いわき市の自治会である薄磯区会との協力関係を構築し，同区内において定期的な実証実験を実施し，2018 年度に実施されたいわき市薄磯区津波避難訓練の際には，ドローン運用を組み込んだ避難訓練プログラムを実施した．下記はこれを実現するに至るまでの研究打ち合わせスケジュールである。

(1) 第 1 回 研究打ち合わせ（電気通信研究所）
2018 年 6 月 5 日（人数 5 名）
(2) 第 2 回 研究打ち合わせ（電気通信研究所）
2018 年 8 月 24 日（人数 4 名）
(3) 現地避難訓練説明会（いわき市薄磯区会）
2018 年 10 月 6 日（人数 1 名 ※出席者は 20 名）
(4) いわき市薄磯区津波避難訓練(いわき市薄磯区)
2018 年 10 月 21 日（人数 10 名 参加者 127 名）

上記の他，毎月 1 回程度の頻度で福島県いわき市において試験飛行を実施している。

［3］成果

（3－1）研究成果

(1) 都市計画の観点に基づくドローン避難誘導を実装可能な法的条件・土地利用的な制約条件の整理

ドローンの運用には法的制約として
①人口密集地域ではないこと
②人（第三者）又は物件（第三者の建物，自動車など）との間に３０m以上の距離を保って飛行させること
③無人航空機から物を投下しないこと
等の基本ルールが存在するが，これは事前に地方航空局長の承認を得ることで解除可能である。
本プロジェクトではこれらを踏まえた上で，ドローンによる避難誘導が有効と考えられる土地利用形態として「未災地」と災害発生後の「復興地」における２パターンを検証した（図1）。これらは建造物，あるいは防潮堤等が障害となり，最終的な避難目標の目視が難しい土地利用形態である。

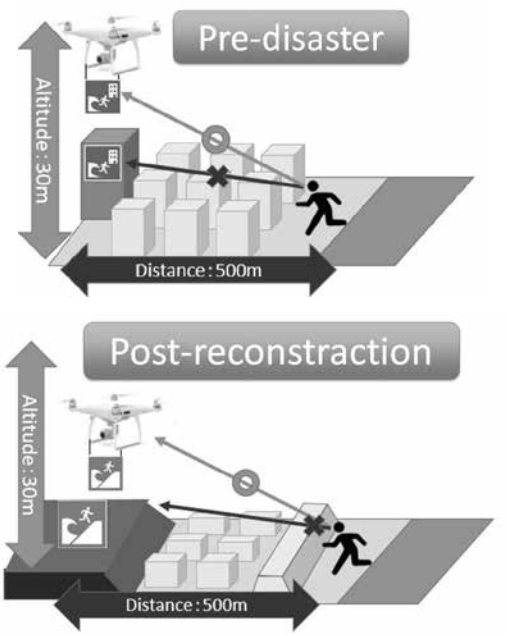


図1 ドローン運用が効果的と想定される土地利用

(2) 避難誘導に用いるドローンの視認性を向上させるための避難誘導サインの開発およびドローン本体へのアタッチメントパーツの開発

・ドローン本体との距離を取る/取らない
・ドローン本体のバランスを崩さない
・空気抵抗を極力抑える　等,

様々な条件設定のもと，下記のような複数の試作品を開発し，試験施行を行った。最終的にはドローン本体の姿勢制御に影響を抑えるため，本体と避難誘導サインの間に一定の距離を設ける図2のGタイプの形態が,最も安定に飛行することが可能であった。

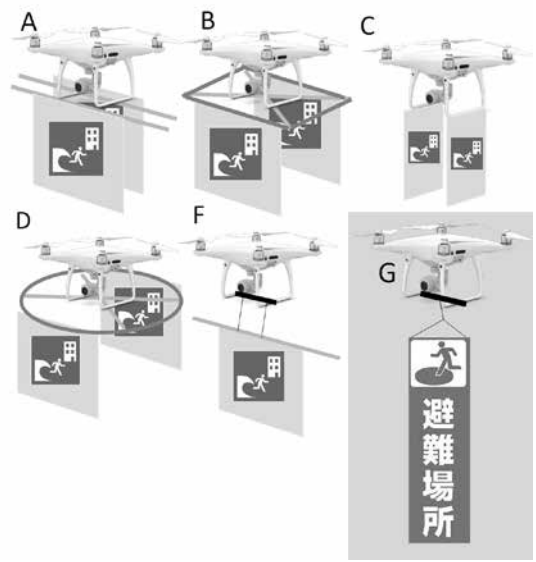


図2 ドローンと誘導サインを接続する試作機器

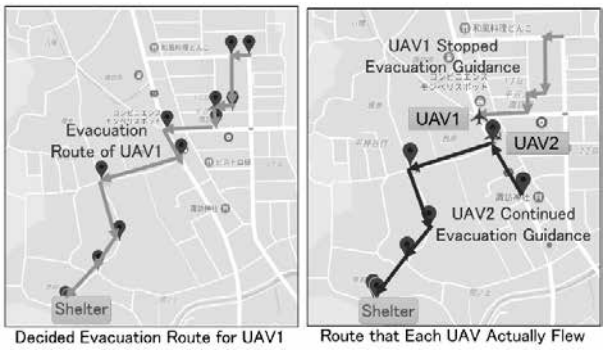


図3 ドローンによる誘導過程と複数台による連携

(3) 避難誘導を行うドローンの自立飛行プログラムの開発

高橋 秀幸 助教らの主導の元，ドローンを起動した現地において現在地情報を取得後，Googlemap 上の道路経路に基づく最短ルートを検索し，避難目標地点まで避難者を誘導可能なドローン操作プログラムを開発した。高橋助教らは現在，複数ドローンによる誘導プログラムも開発中である（図3）。

(4) 実際の沿岸被災地における試験飛行および試験結果を踏まえたブラッシュアップ

2018年10月21日のいわき市薄磯区津波避難訓練では，マニュアル操作時の操縦者の習熟度度合いの違いによる運用ケースの分析を行った。具体的には,
A:操縦難易度の低い垂直飛行運用のみのケース
B:操縦難易度の高い水平飛行運用を加えたケース
の2パターンにおいて，沿岸部での逃げ遅れている避難者の観測精度を検証した。この結果，復興地であるいわき市のケースでは，垂直飛行のみでも避難者の観測は可能だが，防災緑地・防潮堤による死角部分が大きくなった。逆に電信柱や障害物を避ける必要があることから、若干の操縦難易度が上がるものの，水平飛行も組み合わせて現地で直接，避難者を観測，避難誘導に当たる方が死角も少なく，効果的であることが確認できた（図4）。

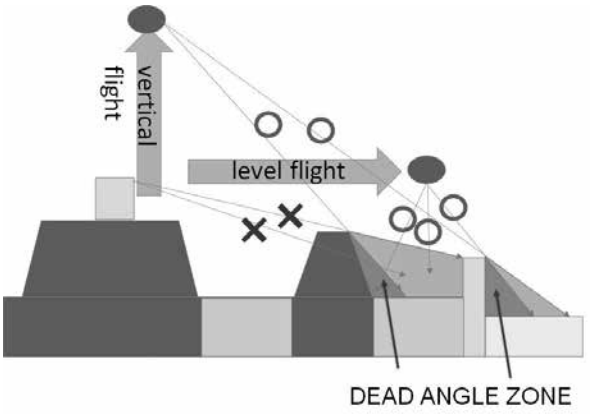


図4 垂直・水平飛行時の死角範囲の違い



図５ 垂直飛行時の沿岸部観測状況（左）と水平飛行時の沿岸部観測状況（右）の観測精度差

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究過程の中で，学内の他分野研究者らを加えた新たな研究プロジェクトがスタートした。また，さらなるパートナー企業を迎えるべく，「産学官金連携フェア 2019 みやぎ」へ出展し，新プロジェクト立ち上げに向けて準備中である。

・プロジェクト名：
「IoT 機器を利用した人と環境調和型の防災・減災機能とジオデザインに関する共同研究」
（研究代表者：高橋　秀幸）
・資金制度，研究費名：
「研究所若手アンサンブルグランドステージ２」
・配分機関名：東北大学附置研究所・センター連携体
・研究期間：2018 年 10 月 1 日-2019 年 3 月 31 日

・展示会出展：産学官金連携フェア 2019 みやぎ
・日時：2019 年 1 月 22 日
・開催場所：仙台国際センター
・参加数：１１４企業が出展

［４］成果資料

本プロジェクトに関わる研究成果として下記２件の英語プロシーディングが投稿発表済みである。
また，本プロジェクトの活動を災害科学国際研究所広報室が取材し，このほど機関誌 IRIDeS NEWs 2019 において，日英両表記にて公開された。

（１）Kazuya Sugiyasu, Shunsuke Sasaki, Naoki Araya, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kenta Katayama, Michimasa Matsumoto, Assessment Method of Tsunami Evacuating Behavior Used by GPS and GIS, Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), OS-DRR, pp. 191-192, Nara Royal Hotel, Nara, Japan, October 9-12, 2018.

（２）Kenta Katayama, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kazuya Sugiyasu, Tetsuo Kinoshita, Cooperation Scheme of Multi-UAVs for Evacuation Guidance Support Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), OS-DRR, pp. 189-190, Nara Royal Hotel, Nara, Japan, October 9-12, 2018.

・・・・・

（３）IRIDeS NEWs 2019，福島県いわき市薄磯地区で地震・津波避難訓練に参加しました, p11-12. 2019. 3
日本語版
http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/archive/IRIDeSnews2019_jp.pdf

英語版
http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/archive/IRIDeSnews2019_en.pdf

以上

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A23

実環境計測に基づく音源定位の高精度化

［1］組織

研究代表者：
駒谷　和範（大阪大学産業科学研究所）
通研対応教員：
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
武田　龍（大阪大学産業科学研究所）

延べ参加人数：5 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	140,000 円

［2］研究経過

実環境中での人とロボットとの自然なインタラクションや，情報システムによる環境の理解を実現するうえで，音情報の活用は重要な課題のひとつである．これに際して，音の到来方向を推定する音源定位は，音響信号処理を行ううえでの基本的要素である．我々が開発を進めている深層学習（Deep Neural Network; DNN）に基づく音源定位手法を用いて，学習データとは異なる実環境中でも高精度な音源定位を実現することを目標として本研究プロジェクトを開始した．

深層学習に基づく音源定位における大きな問題のひとつは，学習データと必ずしも合致しない環境下において定位性能が大きく劣化することである．この問題に対して，それぞれの環境において大量の学習データを事前に収録することは現実的でないことから，当該環境に対してモデルを適応させるというアプローチを採用する．

このモデル適応手法の開発やその評価の際に重要となるのは，異なる環境下で収録された，正解ラベル付きのデータである．つまり，マイクに対して，音がどの方向から到来したのかという正確な情報が必要である．これに際して，電気通信研究所北村研究室が持つ実空間内の位置センシング技術を用いることで音源の正確な位置を取得し，これを正解ラベルとして用いる．

本研究課題は，平成 29 年度まで共プロ S として取り組んできた成果の一部を抽出して展開するものである．つまり，昨年度までにもデータ収録を実施していたことから，その収録したデータを活用してモデルの学習や実験を進めた．打合せは必要に応じてメールを活用して行い，また平成 31 年 2 月には産業科学研究所の武田助教が実際に東北大学電気通信研究所を訪問して，ポスター発表や議論を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は「ニューラルネットワークを用いた音源定位における環境へ合わせたパラメータ適応」の研究成果を得た．

音声対話を行うロボットでは，人の声が到来する方向にその顔を向けて会話する必要がある．この際，背の高さ（大人や子供）や立ち位置が異なることがあり，方向（水平角），高さや奥行きを識別する必要がある．通常，複数のマイクロホンを用いて，音の到来時間差を計算することで音の到来位置を推定する（音源定位）．つまり，方向毎に音源存在を表すスコアを計算し，そのスコアピークの方向に音源があるとする．しかしながら従来の音源定位手法では，マイク間の到来時間差が得られにくい高さや奥行きの識別は難しい．また，雑音の影響により，スコアピークがなまる，偽のスコアピークとの区別がつきにくくなる，といった難点も存在する．

本研究では，ニューラルネットワークを用いた音源定位に着目する．この手法は機械学習に基づいており，データから直接的に音源の存在方向を識別する関数（写像）を学習する．十分なパターンのデータから学習すれば，曖昧性の少ない正規化されたスコアが推定される．そのため，高さや奥行き，雑音によるスコアピークのなまりの問題に対応できる．

このニューラルネットワークに基づく音源定位では，未学習パターンへの対応，つまり，「未知環境への動的適応」が不可欠である．実応用上，ニューラ

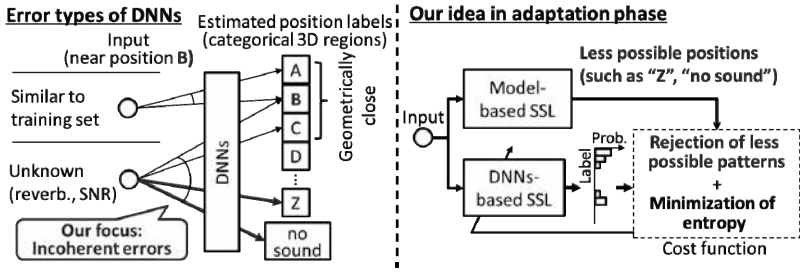


図 2 誤りの 2 つのタイプと提案手法のアイデア

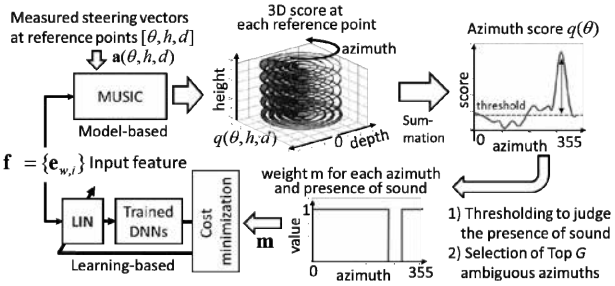


図 1 提案手法の処理の流れ

ルネットワークの学習に必要な十分なパターンのデータを事前に集めることは困難である．特に，部屋の残響パターンはシステムの設置場所によって異なり，定位結果の性能に深刻な影響をおよぼす．そのため，観測されたデータに基づき，ニューラルネットワークのパラメータを適応することで定位精度の改善を狙う．これまで，教師なしでパラメータ適応する取り組みを行っており，パラメータ適応自体は有効であることがわかっていたが，その一方でその改善幅は不十分であった．

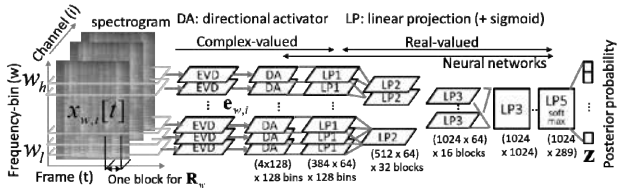


図 3 ニューラルネットワークの構成

未知環境におけるニューラルネットワークの推定誤りには 2 種類が考えられる（図 1 左側）．一つは真の音源位置に近い推定誤り，もう一つは「まったく説明がつかない」推定誤りである．前者は，推定位置と真の音源位置の「幾何的な誤差」が小さいことを意味する．例えば，真の音源位置は水平方向で 0 度，推定値が 10 度といった場合である．後者は，ニューラルネットワークの非線形性や不十分な学習データ量に起因するもので，誤り理由を説明するのが難しい場合である．例えば，音源は 90 度に存在するのに，推定値は 15 度とされた場合がこれに相当する．特に，環境が未知である場合や適応に失敗している場合，「音源が存在しない」という推定誤りが多い．反対に，伝統的なモデルベースの音源定位手法は，その推定誤りの理由は分析可能であり，また，様々な環境下でも一定の推定性能を保っている．

そこで，本研究では，ニューラルネットワークのパラメータ適応の際にモデルベースの手法を援用することで，「説明のつかない誤り」を抑制する制約を提案した（図 1 右側）．「説明のつかない誤り」の削減は，ニューラルネットワークの安定動作に必要な最低限の条件である．本研究では，「ありえなさそうな候補」の可能性（事後確率）が 0 になるような制約を課す．これらの候補は，未知環境でも安定した推定が可能であるモデルベースの手法を用いて方向角を推定することで得る．この方法により，パラメータ適応の過程を安定化し，モデルベースの方法よりも正確に水平角や奥行・高さを推定することが可能となる．この手法は特定のニューラルネットワークの構成を仮定しておらず，汎用性がある．また，モデルベースの手法自体を環境適応した後にも適用できる．処理の流れを図 2 に，ニューラルネットワークの構成を図 3 に示す．

実験には，東北大電気通信研究所・北村研究室で収録された音声データを用いた．このデータは，雑音，残響，マイクデバイスという様々な面で学習環境とは異なり，完全にオープンな条件である．このような条件下において，方向，高さ，奥行きの異なる 16 パターンの方向を収録した．学習に用いたデータはシミュレーションにより合成しており，インパルス応答の畳み込み，雑音を重畳することで作成した．用いたインパルス応答は大阪大学産業科学研究所の無響室および駒谷研究室の実験室で測定した．この結果，合計 18000 パターンの音源位置からの音声データを合成した．音源収録位置のパターンを図 4 に示す．

評価実験により，モデルベースの手法よりも適応後のニューラルネットワークの手法の方が高い定位精度が得られることがわかった．水平方向の 1 次元および高さ奥行を含めた 3 次元の定位では，モデルベースの手法よりも，それぞれ 13.3 ポイント，5.9 ポイント正解精度が改善した．

残された課題には，推定性能の音源位置によるバラつき，1 発話未満より短いデータでの適応や，効果的かつ自動的な実世界データによる data augmentation などが挙げられる．1 つ目の課題では，

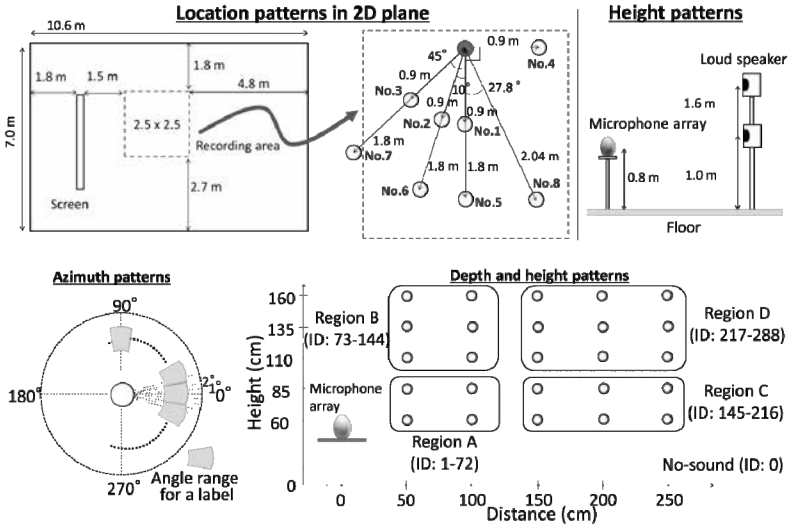


図 4 収録した音源の位置のパターン

生成モデルを用いた学習データパターンの増加や，誤りやすい位置に特化する学習方法が必要である．2つ目は移動音源に対応する場合には必要となり，時系列フィルタリング手法との統合が必要であろう．3つ目は，ロボット自身を自律的に動かすことは可能であるため，自ら学習用のデータを収集する機能を持たせることができれば，効果的な data augmentation が可能となる．これらのようなデータ収集や移動音源の実験には，移動音源の位置を正確に得る必要がある．これには電子通信研究所・北村研究室が所有する3次元の計測システムが活用でき，今後の研究発展が期待できる．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の成果によって，学習時と異なる環境においても，少量のデータに基づく適応によって，高性能な音源定位結果を得られることが示された．この成果は，人とロボットとの音声対話における基礎的技術となるほか，実環境中でどの人がどの程度話したかといったインタラクションの理解にも繋がる．音環境理解，つまり音に対する信号処理は，画像処理と比べると目に見えない分参入障壁があり，取り組んでいる研究者が少ない．このため，音声対話やインタラクションの理解の研究への新たな可能性を示すものであることから，新たな研究領域の開拓へと繋がる可能性があり，今後の発展が期待される．

また，本プロジェクトは，昨年度まで実施していた共プロSの後継としてその一部を展開したものである．これらのプロジェクトで培った協力関係を礎として，大型研究費への申請も行われた．具体的には，いずれも東北大学電気通信研究所の北村喜文教授を代表とした，JST-CREST「変形・適応型ワークプレイス構築によるワーカーのインタラクション理解と高度化」や，戦略的イノベーションプログラム（SIP）第2期「ワーカーのインタラクションの理解と変形・適応型AIワークプレイスによるオフィス空間の革新」の申請へと繋がった．

［4］成果資料

（1） Ryu Takeda, Yoshiki Kudo, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, Kazunori Komatani: Unsupervised Adaptation of Neural Networks for Discriminative Sound Source Localization with Eliminative Constraint. Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 3514-3518, 2018.

採択回数 (1) 2 3
(若手)

採択番号：H30/A24

PVDF を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究

［1］組織
研究代表者：
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
庭野　道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
今井　裕司（仙台高等専門学校総合工学科）
馬　騰　（東北大学材料科学高等研究所）
中澤　日出樹（弘前大学理工学研究科）
木村　康男（東京工科大学工学部）
廣瀬　文彦（山形大学理工学研究科）
鹿又　健作(山形大学有機材料システム研究科)

延べ参加人数：61 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	166,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

フレキシブル性を有する有機圧電ポリマーを用いた圧力センサは，生体情報の検出を低侵襲に行えることから，その開発研究が近年盛んに行われており，重要性を増している。本プロジェクトは，我々が先に開発した，簡便な圧電ポリマー膜の形成を可能にする方法（溶液法）を用いて，様々な構造の圧力センサの開発に取り組むものである。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度では，各種圧力センサの開発に当たり，有機圧電ポリマー材料としてポリフッ化ビニリデン（PVDF）を用いた。はじめに，溶液法による PVDF 成膜技術に精通している仙台高等専門学校のグループと協力し，センサの基板となるプラスチックフィルム上へPVDF を成膜するための条件の最適化に取り組んだ。また，電極となる金属の蒸着工程を主とするデバイスの作製については，当該分野に精通している弘前大学，東京工科大学，山形大学のグループと相互に連携を図りながら進めた。さらに，試作したセンサの測定に当たっては，仙台高等専門学校のグループより提供頂いた測定専用治具を活用し，また，特性評価に当たっては，定量解析の経験が豊富な東北福祉大学のグループから助言を受けながら考察やディスカッションを行った。

また，東北大学のグループが第 10 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際会議（2019 年 3 月 6・7 日，東北大学電気通信研究所，参加人数 56 人）を主催し，各グループの研究者らが参加した。この際，本プロジェクトの状況について情報共有を行うとともに，外国からの招待講演者とも議論を行い，本プロジェクト推進のための指針を得た。

［3］成果

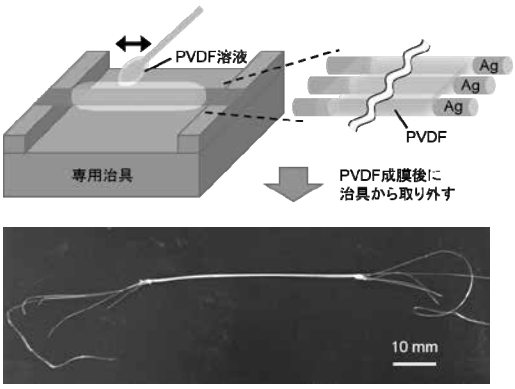
（3－1）研究成果

本年度は，①ワイヤ型 PVDF 圧力センサの開発，および ②化学修飾表面を用いた PVDF 膜中の分極処理法（ケミカルポーリング）の確立，の 2 項目について研究を遂行した。

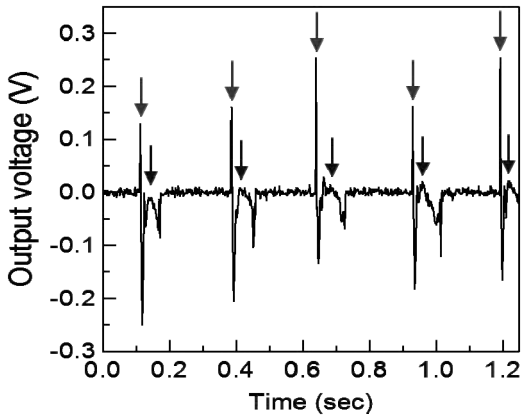
① ワイヤ型 PVDF 圧力センサの開発

はじめに，我々は，複数の電極金属（Ag）細線が PVDF 膜（筒状）内に埋め込まれた，新奇な構造のワイヤ型フレキシブル圧力センサの開発研究を遂行した。図 1 に示すように，専用治具を用いて複数の Ag 細線を空中に予め張っておき，その上から PVDF 溶液を塗布・乾燥（溶液法）することによって筒状の PVDF 膜を形成させた。その後，サンプルを治具から取り外すことにより，図中の写真のような，金属細線包埋型ワイヤセンサが作製された。各 Ag 線を独立した電極として配線した上で，センサに対してタッピングによる圧力印加を行ったところ，図 2 のような明確な出力応答を得ることに成功した。さらに，圧力印加および圧力解放時の応答を明確に区別できており，この間の時間（応答速度）も数 10 ms という速いオーダーであることが判明した。本研究によって，汎用性に優れた形状のワイヤ型センサを溶液法によって作製する技術を確立させ，かつ圧力

応答を明確に検知することに成功した。



（図 1. ワイヤ型センサの作製概要と完成図）



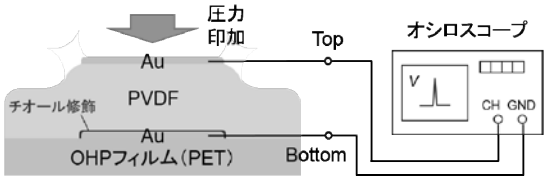
（図 2. タッピング圧力印加によるワイヤ型センサの出力応答波形）※図中の赤矢印が圧力印加時，青矢印が圧力解放時をそれぞれ示す。

② 化学修飾表面を用いた PVDF 膜中の分極処理法（ケミカルポーリング）の確立

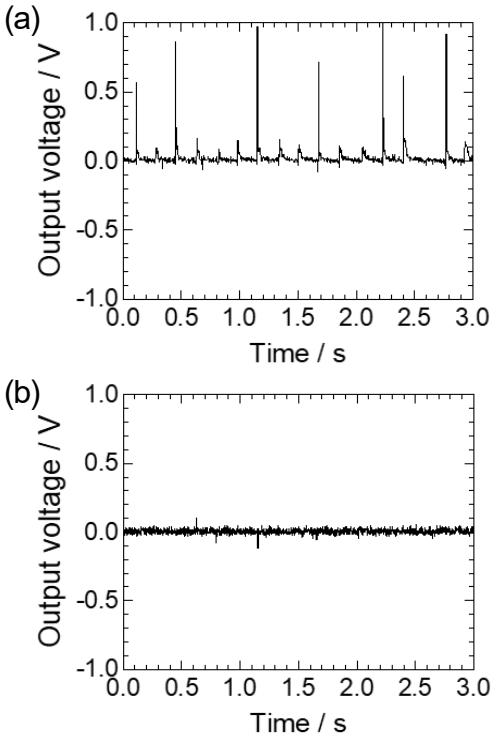
次に，我々は，平面型圧力センサの開発研究に着手した。まずOHP（プラスチック）基板上に，下地電極となる Au を真空蒸着し，その上に，PVDF 膜を溶液法によって形成させた。そして，上部電極となる Au を再度真空蒸着することにより，センサを作製した。しかしながら，本センサからは十分な出力応答が得られなかった。

ここで，PVDF 圧力センサから十分な出力電圧を得るためには，PVDF 膜中の分極処理（ポーリング）が必要となる。このため，本結果の原因は，PVDF 膜中の分極が揃っていないことにあると我々は考察した。しかしながら，分極処理に当たっては，フィルムを延伸した状態で非常に大きな電界を印加したり，高い温度で熱処理したりといった煩雑な工程を要するのが一般的であるため，現状，センサの製造コストは抑えられていない。本研究では，これらの煩雑な工程を必要としない全く新しい分極処理法の確立を目指した。

我々は，下地の金（Au）電極上の表面ダイポールに着目し，これらの向きを一方向に揃えることによって，直上に成膜される PVDF 膜中の分極を配向制御させられるのではないか，との仮説を立てた。この仮説について検証するため，下地 Au 電極にチオール修飾を施し表面ダイポールを制御させた上で作製されたセンサ（図 3）の出力応答と，未修飾のセンサにおけるそれとの比較を行った。その結果，図 4 に示すように，修飾が施されたサンプルでは，出力が顕著に得られており，かつ方向も一方向（正方向）に揃っていることが分かる（図4 (a)）。しかし一方で，未修飾のサンプルでは出力が殆ど得られていない（図 4 (b)）。このことから，仮説のとおり，化学修飾によって揃えられた表面ダイポールが，直上に成膜される PVDF 膜中分子の配向制御のために重要な役割を果たすことを示唆する結果が得られた。動作機構について今後調査していく必要はあるものの，本研究によって，化学修飾に基づく新規分極処理法(ケミカルポーリング)を見出すことができた。



（図 3. 平面型センサの断面模式図と測定回路図）



（図 4. タッピング圧力印加による，(a) チオール修飾サンプル，(b) 未修飾サンプル，それぞれにおける出力応答波形）

（特別支援（若手）に係る研究成果）
・タイプ：若手研究者対象型
特別支援分の研究費により，実施項目②におけるセンササンプルの試作数を大幅に増やすことが可能となったため，出力結果の再現性について十分に検証・確認することができ，結果，新規分極処理法（ケミカルポーリング）の確立へと繋げることができた。

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など
本プロジェクトにより，学外研究者（分担者）との交流が飛躍的に活性化した。本プロジェクト開始前において，すでに，当該学外研究者が代表者を務めている科研費（基盤研究（C）：17K06848）の分担者として，フレキシブル圧力センサの開発に携わっていたため，本プロジェクトの遂行に伴い，互いの交流をより円滑に行える環境が整った。また，本プロジェクト開始と同時期に，本研究と関連した内容の科研費（若手研究：18K14110・代表）が開始されたことから，本研究分野全体の推進が見込める状況となった。特に，今年度見出された，新規分極処理法は，来年度以降に開発を目指す各種圧力センサへと応用することが可能であるため，これらの開発研究が今後一層推進していくことが期待できる。

（国際会議・シンポジウムへの発展）
・シンポジウム名：第10回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ
・日時：2019年3月6日，7日
・開催場所：東北大学 電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
・参加人数：56人

［4］成果資料
（1）Teng Ma, Qingwen Song, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, Unveil the full potential of integrated-back-contact perovskite solar cells using numerical simulation. *ACS Appl. Energy Mater.*, **1**, 970-975 (2018).

（2）Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Ken-ichi Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, Ryusuke Miyata, Hideaki Yamamoto, Ryugo Tero, Masao Sakuraba, Toshio Ogino, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, Amphiphobic septa enhance the mechanical stability of free-standing bilayer lipid membranes. *Langmuir*, **34**, 5615-5622 (2018).

（3）Kensaku Kanomata, Takafumi Deguchi, Teng Ma, Takumi Haseyama, Masanori Miura, Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, and Fumihiko Hirose, Photomodulation of electrical conductivity of a PCBM-doped free-standing lipid bilayer in buffer solution. *J. Electroanal. Chem.*, **832**, 55-58 (2019).

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
(萌芽・国際)

採択番号：H30/A25

話者映像が音声刺激の聞き取りおよび再生成績に及ぼす影響

［1］組織

研究代表者：
大谷　智子（東京藝術大学芸術情報センター）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
崔　正烈（東北大学電気通信研究所）
藤田　佑樹（東京藝術大学芸術情報センター）
Joergen Hellbrueck (Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts)
延べ参加人数：7人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	216,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

コミュニケーション技術の発展に伴い，さらに円滑なコミュニケーションをとることを目的とした開発が課題となっている。そこでは，遠隔地を通信接続した際の映像コミュニケーションツールだけではなく，健常者と障がい者が共に鑑賞し分かち合うコンテンツ制作にも，音声情報と話者映像の相互作用を考慮した設計が重要である。人間は会話をする際，相手の音声を聞くのみではなく，相手の表現や目線，口元など多くの視覚情報を得て，円滑なコミュニケーションをとっている。従来研究において，話者映像と音声知覚は相互に影響しあうことが確認されている（例：読唇，マガーク効果）。その後の映像情報の一時的な記憶に，映像とは無関連な音声情報が影響を及ぼすことが知られている（例：無関連言語音効果）。応募者らは，日常生活のコミュニケーション場面を想定し，無関連言語音効果の実験とは逆の，音声情報の一時的な記憶に及ぼす話者映像の影響について検討してきた。その結果，話者映像は了解度には貢献するが，記憶の保持には干渉する可能性が示唆された。しかし，これらの刺激にさらにスピーチノイズを重畳し，音声情報の一時的な記憶（系列再生）と音声情報の了解度について分析したところ，すると，了解度には統計的に有意な差が得られなかったにもかかわらず，スピーチノイズの大きさによって，記憶成績が変化することが明らかになった。この結果は，音声入力時の精度を保つだけは，人間が音声情報を理解し反応することができない可能性を示唆したといえる。本プロジェクトでは，この現象が生起したメカニズムの解明を通して，マルチモーダル環境下における，音声知覚から記憶，反応に至る人間の情報処理過程を明らかにすることを目的とした。

以下，活動状況の概要を記す。これら以外にも，オンラインや学会研究委員会会場などで打合せを行った。

第1回研究打合せ　2018年8月28日

採取した記憶実験と了解度実験のデータを解析し，鈴木陽一教授と崔正烈助教と結果について議論し，論文執筆を進めた。

第2回研究打合せ　2018年9月19～21日

藤田佑樹教育研究助手（東京藝術大学）が，音声信号の録音・再生手法の研究に関連した調査・打ち合わせのため東北大学電気通信研究所へ出張した。出張中には当該分野に関する周辺研究の情報を幅広く収集した。また周辺研究の研究者らとディスカッションを交わしたことで、さらなる研究の発展が見込めた。

第3回研究打合せ　2018年10月19日～11月1日

William Martens 教授（シドニー大学）を招聘し，研究内容についてトークをしていただき，議論を行った。

第4回研究打合せ　2019年3月7日～8日

次の展開についてトレビーニョ・ホルヘ助教と議論し，論文執筆を進めた。

［3］成果

（３－１）研究成果

本プロジェクトでは，話者映像が音声知覚に与える影響を測定し，音声情報の一時的な記憶と音声情報の了解度の関係について検討する。ナイーブな実験参加者を対象とした基礎実験を行う。実験手続きは以下の通りである。電気通信研究所にて収録した話者映像と音声を用いる。了解度試験は，数字もしくは単語をランダムな順番で提示し，実験参加者には，音声が提示されるたびに，直ちに回答用紙に聞き取った数字を記入して回答するよう求める。系列再生課題では，数字または単語をランダムな順番で音声提示する。本研究では，数字列を提示する際には，被験者が予測できないように同じ数字が複数回表示されるよう設定する。実験参加者には，数字列がすべて音声提示された後，直ちに提示された順に回答用紙に記入して回答するよう求める。ターゲットとなる音声刺激と，ディストラクタとなる聴覚刺激や話者映像の提示を操作し，了解度と系列再生率を比較検討する。

初年度である2018年度は，これまでのデータを再分析した結果について，話者映像が音声知覚に与える影響について議論した。共同研究者らとの議論の結果，先ずはここまでの成果をまとめて論文を執筆することにした。

本プロジェクトでは，国際共同研究推進型予算区分を使用し，William Martens 教授を 2018 年 10 月 19 日～11 月 1 日に招いた。William Martens 教授は，音響心理や音響工学の専門家である。滞在期間中は，聴取困難な環境下の音声理解や，人間の主観的な判断が感性評価に与える影響について深い議論をすることができた。

これまでの結果をまとめ，本研究費を使用し，英文校閲を行い，学会誌論文投稿準備をしている。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの推進は，聴覚情報と視覚情報などのマルチモーダルな環境下における人間の情報処理過程を解明するだけではなく，快適なコミュニケーション環境を創出する技術開発の基礎的な知見となりうる。応用研究として，視覚や聴覚に障がいを持った方々のコミュニケーションを支援する情報提示技術開発にもつながることが期待される。例えば，ユニバーサルデザインに対応した映像コンテンツ制作に有用であると考える。

［４］成果資料

なし

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A26

IoTデバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究

［1］組織
研究代表者：
小俣　昌樹（山梨大学大学院総合研究部）
通研対応教員：
北形　元（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
菅沼　拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

延べ参加人数：10人

研究費：

物件費	118,000円
旅費	97,000円

［2］研究経過

本研究プロジェクトの目的は，さまざまなIoT（Internet of Things）デバイスとのインタラクションにおいて優れたユーザエクスペリエンスを提供するために，どのような知覚インタフェースをどのように適用するとよいのかというガイドラインを確立することである．すなわち，IoTデバイス同士または人間とIoTデバイスとの間において，誰が，どこに，どのように居て，何に気づき，何とインタラクションしようとしていて，デバイスからのどのような通知に対して，どのような反応を示し，どのような入力をして，どのような出力を得たのかなどを情報として扱うための指針を示すことである．このためには，ユーザ体験を中心とするネットワークとインタラクションを総括的に扱うことのできる，新たな，送受信技術，情報分類・識別技術，およびユーザインタフェース技術が必要である．

このために，研究代表者が研究している「知覚インタフェース」をアウェアネスの提供に，「生体信号インタフェース」を反応の確認に応用することを考えている．そして，対応教員の北形准教授らが研究している「自律的なネットワーク構成」をプラットフォームとして利用したり対話デバイスの自動切り替えに利用したりすることを考えている．また，研究分担者の菅沼教授らが研究している「見守りネットワークにおける人物検出」をユーザの検出／識別や動きの検出に利用することを考えている．

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。本年度は，知覚インタフェースのひとつとして，ユーザの視線情報から，そのユーザの理解度を推定するモデルを構築し，理解度に合わせて文書を提示するシステムを設計した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

(1) 文書閲覧者の視線データに基づく理解度の推定と理解度に基づく文書提示

本設計ではeラーニングの文書を閲覧して学習している状況を想定し，そのときの閲覧者の視線データから，閲覧者が文書の内容をどの程度理解しているのかを推定する方法を検証した。あわせて，その理解度に連動してつぎの文書を選択・表示するシステムを設計した。この推定方法を拡張することで，IoTデバイスとの対話における，操作や動作を伴わずに視線だけで応答を入力するインタフェースを検討する。

推定方法の検証では，研究代表者がこれまでに使用してきた脳波などの生体信号と視線データを合わせて使用する場合と，視線データのみを使用する場合における推定精度を比較する実験を行った。実験では，閲覧者が英語（閲覧者にとっては母国語ではない）の文章を読みながら，センテンスごとの理解の程度（4段階）をキー入力してもらい，そのときの視線と生体信号（脳波，脳血流，脈波，呼吸運動，皮膚コンダクタンス）を記録した。推定には，代表者が以前に導出した重回帰式と，今回新たに構築した多層パーセプトロンの2種類を使用して比較した。この多層パーセプトロンでは，誤差逆伝搬法を用いて学習を行う。実験参加者は5名である。

視線データは，30 Hzのサンプリングレートで出力される2次元ディスプレイ上の視線座標値である。この座標値から，1センテンスあたりの平均移動速度，

移動速度の標準偏差，注視点数，注視時間，瞬きの回数，視線が画面から外れた時間を算出する。

理解度に連動して文書を選択するシステムは，閲覧者が文書を読んでいる間，視線データから理解度を推定し，その理解度から，閲覧者にとって難しい文書であればそれよりも易しい文書を提示したり，反対に閲覧者にとって易しい文書であればそれよりも難しい文書を提示したりする。

(2) 研究会の開催

本プロジェクトの代表者・対応者・分担者らが集まり，以下に示す研究会を開催し，研究内容を発表・議論した。

- 日時：2019年1月18日（金）13:25～16:25
- 会場：東北大学電気通信研究所通研本館 4階 M431ゼミ室
- 発表内容
  - ➢ 東北大学菅沼研究室
    - ✧ UAV を用いた屋外無線センサの位置推定の高精度化について（加藤 美奈）
    - ✧ IoT 環境センサを利用した街の微気象の推定手法（林 賢志）
    - ✧ A Basic Design of AR-supported System for Musical Instrument Learning—Piano（Minya Cai）
  - ➢ 山梨大学小俣研究室
    - ✧ スマートフォンでの疑似脈拍提示方法の検討（中田 優太）
    - ✧ VR 酔いの軽減を目指す視覚的表現の設計（清水 敦紀）
    - ✧ IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究（小俣 昌樹）

(3) ポスター発表

2019年2月21日に東北大学電気通信研究所本館で開催された「電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会」において，ポスター発表をおこなった。

題目：Suggestion of an E-learning-Content-Recommendation System Estimating Level of Understanding from Eye-Tracking Data

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，今回の推定精度の検証実験においては，理解度の推定へ生体信号と視線データの両方を使用する場合よりも，視線データのみを使用する場合の方が，推定精度が高くなることがわかった（t検定，$p < 0.05$）。図1に，参加者ごとの，多層パーセプトロンに視線データのみを入力した場合と生体信号と視線データの両方を入力した場合における推定精度を示す。図1の通り，どの参加者においても，視線データのみを入力とした場合の方が，平均識別率が高くなった。

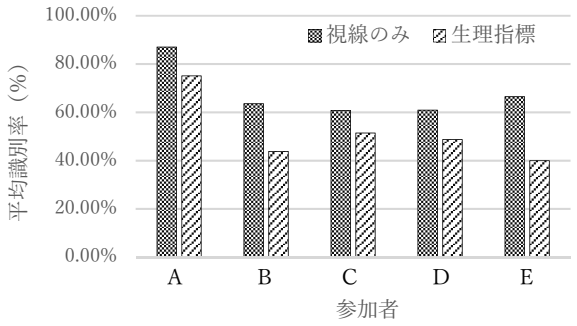


図1：視線のみおよび視線と生理指標との理解度識別率の比較

また，重回帰分析によって，視線データのみを使用する場合および生体信号と視線データとを合わせて使用する場合の寄与率を比較した結果，両者に有意な差は見られなかった（t検定，$p < 0.05$）。図2に，それぞれの場合における重回帰式の寄与率を示す。この重回帰分析においては，多重共線性へ対応するため主成分分析をおこなった。図2から，重回帰式を使用する場合の寄与率は，視線データの使用の方が高くなる場合も，視線データと生体信号の両方を使用する方が高くなる場合もあることがわかった。

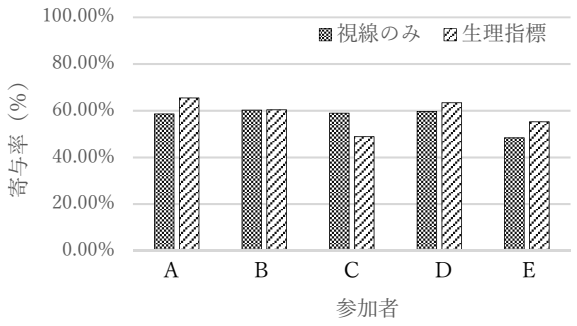


図2：視線のみおよび視線と生理指標との寄与率の比較

第2に，理解度に連動する文書提示システムを設計した。このシステムは，典型的なクライアント・サーバシステムである。図3に，システム全体のコンポネント図を示す。

クライアントシステムは，閲覧者が文書閲覧に使用するノートパソコンなどで動作する。このシステムに

おいて，閲覧者は，文書を表示して閲覧・読解していく。このとき，システムは，閲覧者の視線データを記録し，同時に1センテンスあたりの読解時間とタイムスタンプも記録して指標を算出し，それらのデータをサーバへ送信する。

サーバ側では，送信されてきた1センテンスごとの視線の指標から閲覧者の理解度を推定する。理解度は，代表者のこれまでの研究結果に倣って 4 段階とする。理解度推定には，前述の検証結果から，多層パーセプトロンを使用する。入力ニューロン数は，指標数に合わせた 10 個，出力ニューロン数は理解度の段階に合わせた4個とする。1センテンスごとの理解度を推定していき，当該文書全文の理解度を推定したら，その平均値を算出して，文書全体の理解度とする。

推定された当該文書全体の理解度に基づき，サーバ側では，文書データベースから閲覧者の理解度に合わせたつぎの文書を選択し，その文書をクライアント側へ送信する。

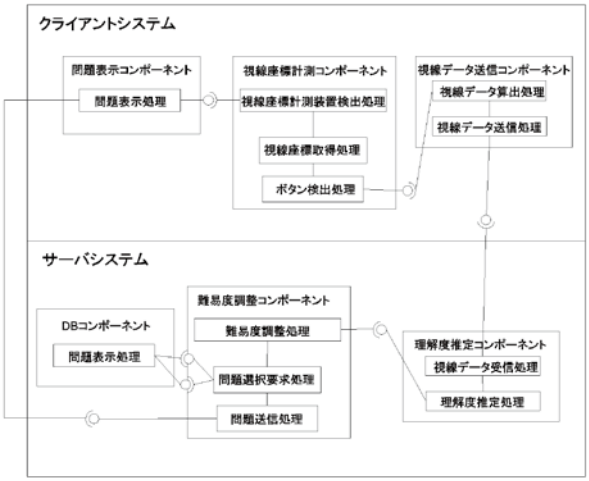


図 3：理解度に連動する文書提示システムのコンポネント図

第3に，研究会での議論の結果として，IoT デバイスのインタフェースに関する以下の課題を導出した。

- どのデバイス（群）と対話しようとしているのかを識別する技術
- デバイスからの出力に対して，操作するまでに至らずに気づいたことだけを伝えるインタフェース
- デバイスに対してユーザがプログラミングのような操作を行えるインタフェース
- デバイス同士のインタラクションを知らせる（または，あえて知らせないようにする）インタフェース

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの波及効果は，人間と IoT 機器とのインタラクション設計における技術的なポイントを，実験結果を通して提示できることと考える。（3－1）に示した研究成果から，視線とそのときの人間の理解度との関係を示せ，このことから，IoT 機器へ「目配せ」するような，視線を向けるだけで気づきや理解を入力できるインタフェースへと発展できると考える。

［4］成果資料

（1）Masaki Omata, Masaya Iuchi, and Megumi Sakiyama: “Comparison of Eye-tracking Data with Physiological Signals for Estimating Level of Understanding,” Proc. of the 30th Australian Conference on Computer-Human Interaction (OzCHI ’18). pp. 563-567, 2018.

（2）Masaki Omata and Kazuya Nakazawa: “Regression Analyses between Physiological Indexes and Level of Understanding with VAS of a Listening Task,” Proc. of 5th International Conference on Physiological Computing Systems (PhyCS 2018), pp. 21-29, 2018.

（3）今井信太郎, 今野翔太, 北形元, 新井義和, 猪股俊光: “災害時の間欠的アクセスを可能にする不揮発性ネットワークの設計と評価,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J101-B, No.05, pp. 338-346, 2018.

（4）Hiroshi Matsumura, Ryota Fukutani, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita: “Agent-based Smart Data Provisioning Mechanism for Supporting Network and System Administration Tasks,” Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp. 89-90, 2018.

（5）Misumi Hata, Mustafa Soylu, Satoru Izumi, Toru Abe, and Takuo Suganuma: “SDN Based End-to-End Inter-Domain Routing Mechanism for Mobility Management and Its Evaluation,” Sensors 2018, Vol.18, Issue 12, 4228, 2018.

（6）Mina Kato, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “Outdoor Sensor Localization using UAV in Disaster Area,” The 5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM2018), (Poster/Demo session), 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A27

超高性能耐災害ネットワーク制御に関する研究

［1］組織

研究代表者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
通研対応教員：
北形　元　（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：7 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	66,000 円

［2］研究経過

東日本大震災（2011 年）や熊本地震（2016 年）のような大災害時にも，耐災害ネットワークとして機能する衛星ネットワークにおいて,高スループット,低遅延を実現するための超高性能ネットワーク制御について，提案・評価を行うことを目的として，研究を行った。

本プロジェクトは,本年度が第 1 年度目であった。本年度は，これまで我々が提案してきた TCP Hybla の解析モデルに基づき，衛星ネットワークにおいて TCP Hybla と親和性の高いリアルタイム通信を実現するためのレート制御を提案した.

以下に，研究活動状況の概要を記す。

(1) 研究集会の実施
場所：東北大学電気通信研究所
日時：平成 31 年 2 月 20 日
参加者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
北形　元　（東北大学電気通信研究所）
薄　優斗
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
穂積　勇樹
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
石井　明日香（福島大学共生システム理工学類）
黒崎　琢未（福島大学共生システム理工学類）
鈴木　規郎（福島大学共生システム理工学類）

(2) 研究会での研究発表
会議名：2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会
場所：金沢大学
日時：平成 30 年 9 月 14 日
参加者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
薄　優斗
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
穂積　勇樹
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
石井　明日香（福島大学共生システム理工学類）
黒崎　琢未（福島大学共生システム理工学類）

(3) 通研共同プロジェクトポスター発表
場所：東北大学電気通信研究所
日時：平成 31 年 2 月 21 日
参加者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
薄　優斗
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
穂積　勇樹
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
石井　明日香（福島大学共生システム理工学類）
黒崎　琢未（福島大学共生システム理工学類）

［3］成果

（3－1）研究成果

耐災害性に優れている衛星ネットワークにおいて，高性能に機能する輻輳制御方式であるTCP Hybla[参考文献1]の解析モデルを改良し，2 次方程式によるスループット近似モデルを導出した．リアルタイムに計算が可能となるので，TFRC に近似モデルのアルゴリズムを実装しTFRC Hybla を提案した。また，実験1では，シミュレーション実験によって，図1のトポロジーにおけるTFRC Hybla の性能評価を行った．TFRC Hybla の解析値とシミュレーション値を比較した結果ほとんど一致した（図2）。TCP HyblaとTFRC Hybla のシミュレーション値を比較した結果ほとんど一致した（図2）。さらに，実験2では，図3のトポロジーにおいて，TCP HyblaフローとTFRC Hyblaフローが共存し

たときの性能評価を行った。TCP HyblaとTFRC Hyblaは帯域をほとんど分け合うことができている結果となった（図4）。

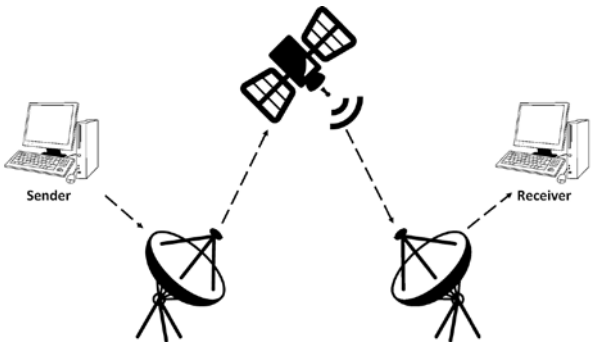


図1：ネットワークトポロジー（実験1）

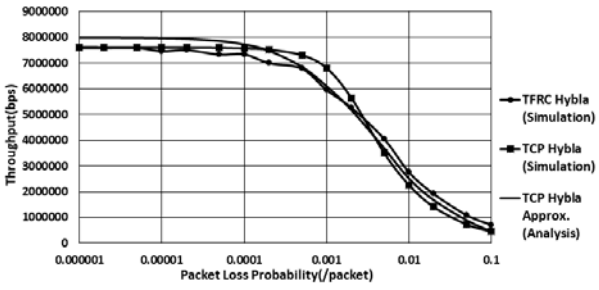


図2：性能評価の結果（実験1）

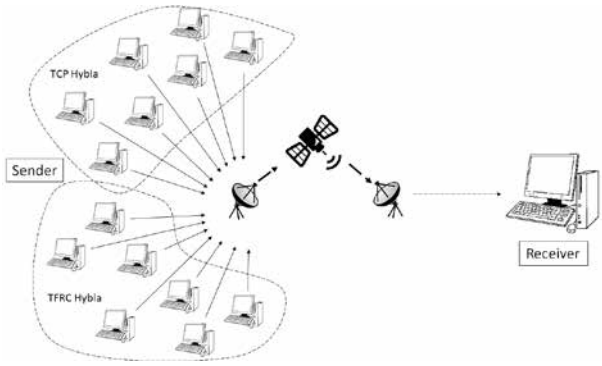


図3：ネットワークトポロジー（実験2）

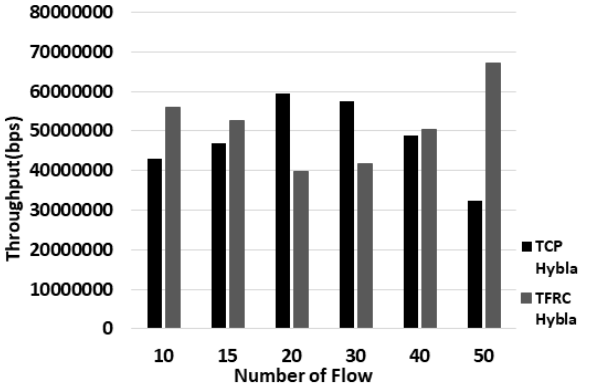


図4：　性能評価の結果（実験2）

［参考文献］

(1) Carlo Caini, and Rosario Firrincieli, “TCP Hybla: a TCP enhancement for heterogeneous networks,” Int. Journal of Satellite Communications and Networking, September 2004, pp 547-566.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまで，耐災害性に優れる衛星ネットワーク環境において高性能に機能するTCP Hyblaと公平にスループットを分け合うリアルタイム通信レート制御は提案されていなかった。本研究では，TCP Hyblaのスループット解析モデルの構築から、TCP Hyblaと公平にスループットを分け合うリアルタイム通信レート制御TFRC Hybl の提案・性能評価を行った。この研究成果により，耐災害性に優れる衛星ネットワーク環境においても，高性能に機能するリアルタイム通信が実現でき，大規模災害時にも，高性能なリアルタイム音声通話・ビデオ通話等が可能となることが期待できる。

［4］成果資料

(1) 黒崎琢未，薄 優斗，中川和重，内海哲史，“Skype ビデオ輻輳制御と TCP 輻輳制御の共存時の性能評価，” 2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，金沢大学，2018 年 9 月.
(2) 薄 優斗，石井明日香，内海哲史，中川和重，笠井博則，サリム ザビル，“TCP Hybla と親和性のあるレート制御のための近似方程式の導出，” 2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，金沢大学，2018 年 9 月.
(3) 石井明日香，薄 優斗，内海哲史，中川和重，サリム ザビル，“TFRC Hybla:衛星ネットワークにおける TCP Hybla と親和性のある方程式に基づくレート制御，” 2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，金沢大学，2018 年 9 月.
(4) 穂積勇樹，内海哲史，“iOS TCP と Android TCP の共存時の性能評価，”
2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，金沢大学，2018 年 9 月.
(5) Satoshi Utsumi, Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Yuto Usuki, Seisho Takeda, Norio Shiratori, Yasushi Kato, Jeyeon Kim, “A new analytical model of TCP Hybla for satellite IP networks,” Journal of Network and Computer Applications (Elsevier), vol. 124, page 137-147, December 2018.

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A28

薄膜デバイスを用いた脳型集積システム

［1］組織

研究代表者：
木村　睦（龍谷大学理工学部）

通研対応教員：
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
松田　時宜（龍谷大学革新的材料・プロセス研究センター）
川村　哲也（龍谷大学革新的材料・プロセス研究センター）
浦岡　行治（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）
古田　守（高知工科大学環境理工学群）
Sung-Min Yoon（Kyung Hee University）
Mingzhi Dai（Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering）
中島　康彦（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）
張　任遠（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）
生島　恵典（龍谷大学理工学研究科）
山川　大樹（龍谷大学理工学研究科）
山根　弘樹（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
Karim Khan（Shenzhen University）
荒井 礼子（産業技術総合研究所スピントロニクス研究センター）
Ayesha Khan Tareen（Shenzhen University）

延べ参加人数：16 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	280,000 円

［2］研究経過

人工知能は、現在も様々な応用に用いられ、未来の社会において不可欠な技術である。しかしながら、従来は、超ハイスペックなノイマン型のハードウェアで実行される複雑で長大なソフトウェアであり、マシンサイズが巨大でエネルギ消費が膨大であるという課題があった。脳型集積システムは、ハードウェアレベルからの生体模倣システムで、生体の脳と同様にコンパクト・低エネルギ消費・頑強動作といった特長をもつ。一方、薄膜半導体デバイスは、大面積に三次元積層構造で作製することが可能である。本研究は、薄膜デバイスを用いた脳型集積システムに関するものである。薄膜デバイスを利用することで、脳型集積システムの特長をさらに高めることを目的とする。

研究代表者は、これまで、薄膜デバイスとして、低温多結晶シリコン（LTPS）デバイス・アモルファス In-Ga-Zn-O（α-IGZO）デバイス・アモルファス Ga-Sn-O（α-GTO）などを研究し、コンダクタンスが電流履歴とともに連続的に減少することを確認し、シナプス結合として使用できることを明らかにした。これらの薄膜デバイスを LSI のうえに積層し、基礎的なホップフィールドニューラルネットワークやセルラニューラルネットを構築し、簡単な文字再生の実験に成功している。本プロジェクトは、これまでの研究の延長に位置するものである。

本プロジェクトでは、まず、研究代表者の木村と通研対応教員の堀尾教授との議論で、本プロジェクトにおける薄膜デバイスを用いた脳型集積システムの研究開発の方向を決定した。木村と研究分担者の中島教授と張助教は、所属機関でシステム試作、すなわち、制御回路としての LSI の設計試作などを行った。一方、木村と研究分担者の浦岡教授と古田教授は、三次元積層構造の薄膜デバイスの成膜試作に関連する解析評価などを行った。次に、木村と中島教授と張助教が、所属機関でニューロモーフィックシステムとしての特性評価・アナログニューラルネットワークとしての動作評価・学習機能の動作確認・消費電力の詳細測定などを行った。そして、木村がその評価結果を持って通研を訪問し、研究発表会で講演し、将来的にデバイスや回路を共同で開発するための準備を行い、共同研究を立ち上げるための枠組みや基盤について考察した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

・2018 年 07 月 24 日 通研を訪問

本プロジェクトにおける薄膜デバイスを用いた脳型集積システムの研究開発の方向を決定

・2018 年 07 月 24 日～ プロジェクトを遂行
システム試作・三次元積層構造の薄膜デバイスの解析評価・ニューロモーフィックシステムとしての特性評価・アナログニューラルネットワークとしての動作評価・学習機能の動作確認

・2019 年 02 月 21 日 研究発表会で講演
（共同プロジェクト研究発表会として講演）
Mutsumi Kimura, Brain-Type Integrated System using Thin-Film Devices, Compass for Next-Gen ICT, FY 2018 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects,
（参加人数は共同プロ研究発表会の情報参照）

・2019 年 03 月 01 日 研究発表会で講演
（国際会議の Session として開催）
Mutsumi Kimura, Brain-like Integrated System using Thin-Film Devices, The 6th International Symposium on Brainware LSI, pp. 1
Khan 氏・張氏・荒井氏も講演
（参加人数は国際会議の情報参照）

［3］成果

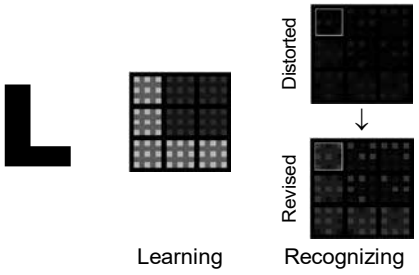
（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第1に、薄膜デバイスをシナプス素子に用いたホップフィールドニューラルネットワークで、「0」「1」「T」「L」といった複数の文字再生の実験に成功した。これは、コンダクタンスが電流履歴とともに連続的に減少することが、シナプス結合として使用できることを再び明らかにしたこととともに、局所的で自自動的な学習則である修正ヘブ学習則が有用であることも明らかにした。

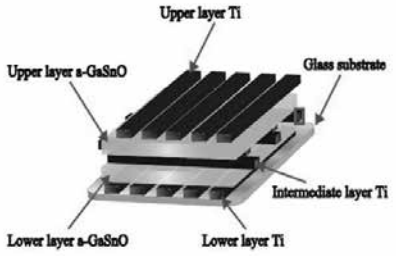


薄膜デバイスのシナプス素子



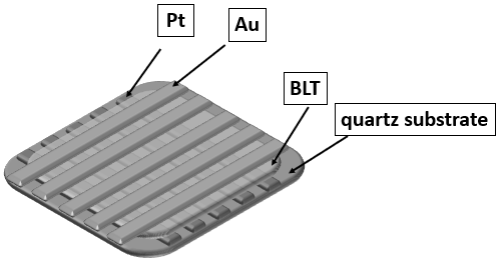
ホップフィールドネットによる文字再生

第2に、2 層積層構造の薄膜デバイスをシナプス素子に用いたホップフィールドニューラルネットワークで、やはり部分的ながら文字再生の実験に成功した。これは、三次元積層構造の脳型集積システムの可能性を示唆できるものである。



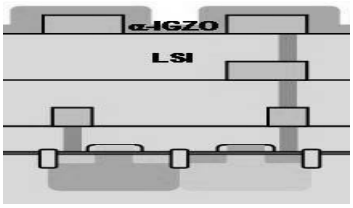
2 層積層構造の薄膜デバイスのシナプス素子

第3に、強誘電体キャパシタの薄膜デバイスを、シナプス素子に用いたホップフィールドニューラルネットワークで、やはり部分的ながら文字再生の実験に成功した。これは、DC 電流が流れない超低消費電力の脳型集積システムの可能性を示唆できるものである。



強誘電体キャパシタの薄膜デバイスのシナプス素子

第4に、薄膜デバイスをシナプス素子に用いた集積化LSI チップのセルラニューラルネットワークで、やはり部分的ながら文字再生の実験に成功した。これは、より現実なデジタルアナログハイブリッド脳型集積システムにつながる成果である。



薄膜デバイスをシナプス素子の集積化LSI チップ

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで、薄膜デバイスを用いた脳型集積システムの基本的な構成や動作を確認することで、かなりの将来においては、大規模集積化や三次元積層構造により、コンパクト・低エネルギ消費・頑強動作という特長を活かすことにより、世界的なエネルギ危機を回避し、すべてのモノの人工知能（AIoE）を実現する可能性が拓くと考えられる。たとえば、人間の脳に匹敵する 2×10^{10} 個のニューロン素子と $2\cdot10^{14}$ 個のシナプス素子を想定すると、0.2ℓ のサイズと 20W の消費電力、すなわちこれも人間の脳と同等のものが実現できると予想される。

［4］成果資料

［学術論文（査読あり）］

(1) M. Kimura, Emerging Applications using Metal- Oxide Semiconductor Thin-Film Devices, JJAP, TBP

(2) S. Sugisaki, et al., Memristive Characteristic of an Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Device, Scientific Reports,TBP

［基調講演］

(3) M. Kimura, TBD, IC-LYCS 2019, TBP

［招待講演］

(4) M. Kimura, Novel application using TFTs, IMID 2019, TBP

(5) M. Kimura, Neuromorphic System using Thin-Film Devices, 2019 ULSIC vs. TFT Conference, TBD

(6) M. Kimura, Brain-like Integrated System using Thin-Film Devices, Brainware LSI, 1, 2019

(7) M. Kimura, Brain-Type Integrated System using Thin-Film Devices, FY 2018 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects

(8) 木村 睦, アモルファス金属酸化物半導体を用いたニューロモーフィックシステム, 新世代コンピューティングシンポジウム/第 8 回電子光技術シンポジウム, 2019

(9) 木村 睦, 酸化物半導体デバイスのニューロモーフィック応用, 第 2 回酸化物半導体討論会, 2018

(10) 木村 睦, アモルファス金属酸化物半導体の研究開発とエレクトロニクス・エナギーハーベスト・ニューロモーフィックデバイスへの新規応用, 平成 30 年度 半導体エレクトロニクス部門委員会 第 1 回研究会, 2018

(11) M. Kimura, Research and Applications of Amor phous Metal-Oxide Semiconductor Devices, ICDT 2018

［学会発表（査読あり）］

(12) S. Sugisaki, Development of Rare Metal Free Al/Ga-Sn-O/Al Cell Structure Switching Resistance Memory, IDW '18, 361

(13) 生島 恵典, ニューラルネットワークに応用するための Ga-Sn-O 薄膜の研究開発, 薄膜材料デバイス研究会 第 15 回研究集会, 179, 2018

(14) 田中 遼, デバイスレベルのニューラルネットワークに向けた Ta_2O_5/Ta 薄膜を用いた抵抗変化型シナプス, 薄膜材料デバイス研究会 第 15 回研究集会, 84, 2018

(15) 杉崎 澄生, レアメタルレス Al/Ga-Sn-O/Al セル構造抵抗変化型メモリの開発, 薄膜材料デバイス研究会 第 15 回研究集会, 80, 2018

(16) 山川 大樹, IGZO を用いたセルラニューラルネットワーク, 薄膜材料デバイス研究会 第 15 回研究集会, 57, 2018

(17) M. Kimura, Hopfield Neural Network with Double-layer Amorphous Metal-Oxide Semiconductor Thin-Film Devices as Crosspoint-type Synapse Elements and Working Confirmation of Letter Recognition, ICONIP 2018, 637

(18) M. Kimura, Hopfield Neural Network with Variable Resistance Synapses using Amorphous Metal-Oxide Semiconductor Thin-Film Devices, NOLTA 2018, 106

(19) K. Ikushima, Research and Development of Ga-Sn-O Thin Films for Application to Neural Networks, AM-FPD '18, 4

(20) R. Tanaka, Cross-point Device using Ta_2O_5/Ta Layer for Synapse Element in Neural Network, AM-FPD '18, P-36

(21) S. Sugiski, Room Temperature Fabrication of Resistive Random Access Memory, AM-FPD '18, P-35

(22) D. Yamakawa, Cellular Neural Network using IGZO Thin Film as Synapses and LSI as Neurons, AM-FPD '18, P-34

(23) Y. Miyabe, Evaluation of $(Bi,La)_4Ti_3O_{12}$ Thin Film for Capacitor-type Synapses, IMFEDK 2018, 90

(24) J. Shimura, Multilayer Cross-point Synapse using Ga-Sn-O Thin Films in Neural Network, IMFEDK 2018, 62

(25) A. Kondo, Multilayer Cross-point Device using IGZO as Synapses in Artificial Neural Networks, IMFEDK 2018, 58

(26) Y. Shibayama, In-Ga-Zn-O Thin Film Synapse in Neural Network Using LSI, IMFEDK 2018, 54

(27) A. Kurasaki, Development of Memristor Characteristic Device using In-Ga-Zn-O Thin Film, IMFEDK 2018, 50

［学会発表（査読なし）］

(28) 宮部 雄太, $Bi_{3.25}La_{0.75}Ti_3O_{12}$ 薄膜をシナプスに用いたニューラルネットワーク, 映像情報メディア学会, IDY2018-64

(29) 柴山 友輝, 脳型集積システムのための IGZO 薄膜シナプス, 映像情報メディア学会, IDY2018-63

(30) 新村 純平, Ga-Sn-O 薄膜を用いたニューラルネットワークの文字認識, 映像情報メディア学会, IDY2018-62

(31) 近藤 厚志, 酸化物半導体を用いた多重構造のクロスポイント型シナプス, 映像情報メディア学会, IDY2018-61

(32) 倉崎 彩太, Ga-Sn-O 薄膜を用いた二層構造抵抗変化型メモリの開発, 映像情報メディア学会, IDY2018-56

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A29

IoT 用ハードウェアセキュリティの研究

［1］組織

研究代表者： 小熊 博
(富山高等専門学校)
通研対応教員：本間 尚文
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
中嶋 彩乃（富山高等専門学校）
延べ参加人数：6 人

研究費：物件費 50,000 円
旅費 178,000 円

［2］研究経過

IoT はいわゆる組込みシステムとも考えられ，利用シーンとして自動車，医療系機器，ウェアラブル端末，産業機器，家電など多岐ににわたる．さらに，組み込み機器特有に求められる要件として，「回路規模，消費電力量，低遅延」の 3 要素が挙げられる．この 3 要素を満たすため，ハードウェアセキュリティつまり IoT 用の暗号化回路の設計，実装，評価を行う必要がある．

一例として，図 1 に世界中で安全な共通鍵暗号として認識されている AES（Advanced Encryption Standard）暗号回路のうち，我々が開発を進めている Unrolled 型 AES 暗号化回路のブロック図を示す．これは，準備状況に記載しているとおり，通研対応教員より指導を仰ぎ，富山高専の本科生が Verilog-HDL 言語により FPGA 上に実装を進めている．例えば，図 2 に示すように On the Fly による鍵スケジューリング等の設計技術を導入することで，低遅延性を目指している．図 3 に暗号化前の平文 m および暗号化鍵 key，暗号化後の暗号文 c の論理値の動作シミュレーション結果を示す．m が 1 クロックサイクルで暗号化され，c のように設計値通りに暗号化されている．このように，論理シミュレーションにおいての設計は完了している．なお，FPGA ベンダーが提供する無償版ツールで実装できる回路規模であることを確認している．

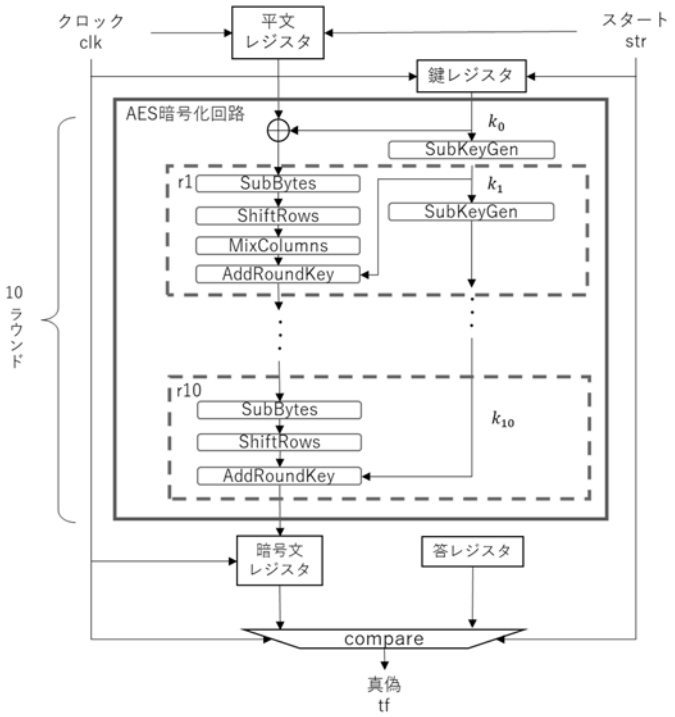


図 1 Unrolled 型 AES 暗号化回路

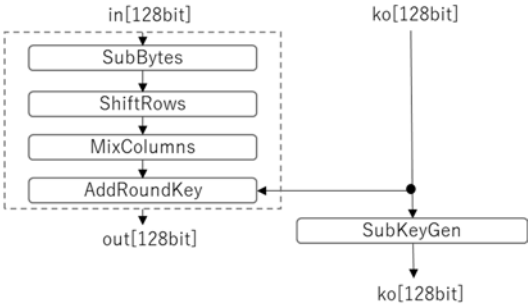


図 2 **鍵スケジューリング**

［3］成果

（3－1）研究成果

（3－1－1） サイドチャネル攻撃

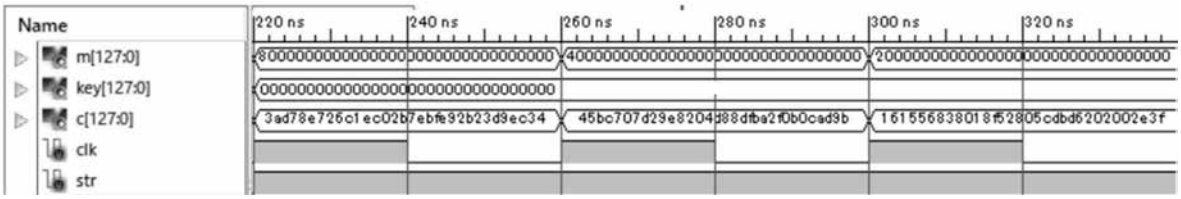


図3 論理シミュレーション

ハードウェアセキュリティにおいて，暗号回路の物理的特性を解析し，暗号回路の秘密鍵を特定するサイドチャネル攻撃という手法がある．本研究では，サイドチャネル攻撃の一種であり，数万パターンの電力と推測した回路内部データとの相関から鍵を推定する，相関電力解析 CPA（Correlation Power Analysis）[3]を行うものとする．この解析プログラムは，Python で作成した．

（3－1－2）Unrolled AES 回路

AES 回路は，秘密鍵と平文を入力し，暗号文を出力する組み合わせ回路である．秘密鍵，平文，暗号鍵はそれぞれ 128bit である．回路に保存した数個のテストベクタを約 18MHz で暗号化した．当回路は，Xillinx 社製 Spartan6 xc6slx45 が搭載された，特殊電子回路製 Spartan6 評価ボード TKDN-SP6-45 に実装した．

（3－1－3）暗号回路評価システム

PC（Personal Computer）を用いて CPA を行うにあたり，数万データの入出力が困難である．したがって PC と回路のデータ通信環境を構築する必要がある．当 FPGA ボードの USB（Universal Serial Bus）を用いてデータ通信を行うための IP（Intellectual Property）コアおよびソフトウェアで使用するための DLL（Dynamic Link Library）が提供されている．PC と回路のデータ通信にこれらを利用することとし，目標とする暗号回路評価システムを図 4 に示す．まず回路側では AES 回路と IP コアを接続する．ここでそれぞれの入出力データ幅が異なるため，FIFO（First In First Out）を仲介させる．次に PC 側では，Excel VBA（Visual Basic Application）で DLL を使用して USB 操作を行う．この通信環境を用いて，以下の手順でデータを送受信する．まず Excel 上で指定数のデータを作成する．次に秘密鍵を送信する．平文を送信すれば回路から暗号文が送信されるため，これを受信することを繰り返す．最後に解析用に CSV（Comma-Separated Values）ファイルを作成する．この手順により，解析ファイルが用意され，CPA が可能となる．

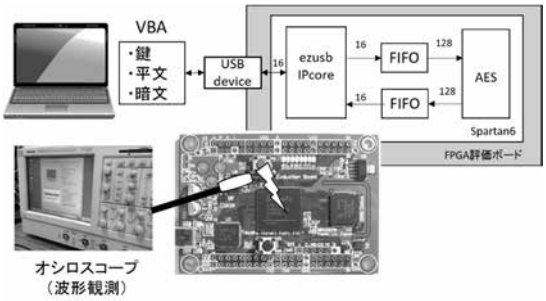


図4 目標とする暗号回路評価システム

（3－1－4）評価システムの動作結果

構築した評価システムを動作させた結果，図5のように暗号文が Excel シート上に表示され，テストベクタの暗号文と一致した正しい暗号文が PC に表示された．さらに，一度の操作で最大約 6 万データを暗号化することができ，さらにこのデータを CSV 化することができた．本成果の次のステップである Unrolled 型 AES 暗号化回路のサイドチャネル攻撃を行うことを目標とする．具体的には，オシロスコープによる評価との連動を取ることが第一の目標であり，Unrolled 型 AES 暗号化回路と従来技術である Loop 暗号化回路の秘密鍵の取得を進める．

（3－2）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本研究課題の成果としては，知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで，現状のコンピュータ資源が限定的な IoT セキュリティ領域への適用を推進することができる．さらに，本研究課題の成果を元に，各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い，産学連携により商用化を目指した，より大規模な研究開発へ発展させることも想定している．IoT のセキュリティは喫緊の重要な課題であり，今後は，本プロジェクトの研究成果を積極的に活用し，産学官連携による地元地域の拠点化に向けた取り組みへの大きな発展が期待できる．



	AES-128回路データ		
2	データ数(1～65526)	65526	Make data
3	ステータス	すべての暗号化を終了しました	
4	暗号鍵	5468617473206d79204b756e67204675	Send Key
5	保存ファイル名	1	
6			Encrypt
7			
8			
9	平文	暗号文	ClearData
10	54776F204F6E65204E696E652054776F	29C3505F571420F6402299B31A02D73A	
11	80000000000000000000000000000000	C1B5DAE57C64F7EFCA236B8D57A388A9	Save as CSV
12	40000000000000000000000000000000	B8E477E8DF22A8E681C62A4C24785EE4	
13	20000000000000000000000000000000	C5954A3E43E9A634F53E992706947014	
14	10000000000000000000000000000000	939B2DABC4BB44873FE61BE2BC327A02	Save as CSV
15	08000000000000000000000000000000	CE4491E53741B581C12AC426204C829F	
16	04000000000000000000000000000000	7964311EC3596F046542FA9A2A283356	
17	02000000000000000000000000000000	15D70CC6AB350FF150D9FFB9DD06CF79	
18	54776F204F6E65204E696E652054776F	29C3505F571420F6402299B31A02D73A	
19	80000000000000000000000000000000	C1B5DAE57C64F7EFCA236B8D57A388A9	
20	40000000000000000000000000000000	B8E477E8DF22A8E681C62A4C24785EE4	
21	20000000000000000000000000000000	C5954A3E43E9A634F53E992706947014	
22	10000000000000000000000000000000	939B2DABC4BB44873FE61BE2BC327A02	

図5　評価システムの画面キャプチャ

［4］成果資料

○ 国内大会・研究会発表

（1）中嶋彩乃, 小熊博, 本間尚文, “Unrolled 型 AES 暗号化回路の設計,” 電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集(CD-ROM), 2018 年9 月.

（2）中嶋彩乃, 小熊博, 本間尚文, “AES 暗号化回路の設計および実装,” 第3ブロック専攻科研究フォーラム, 2019 年3 月.

（3）小熊博, “Internet of Things: データ収集からセキュリティまで,” 富山大学次世代スーパーエンジニア養成コース電機システム工学特論（メカトロニクスとAI/IoT）, 2018 年7 月.

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A30

インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究

［1］組織

研究代表者
佐藤 文明(東邦大学理学部)
通研対応教員
大堀 淳（東北大学電気通信研究所)
研究分担者
岡田 謙一（慶応大学理工学部)
小花 貞夫（電気通信大学電気通信学部)
片岡 信弘（東海大学電子情報学部)
北上 眞二（福井工業大学経営情報学科)
小泉 寿男（M2M･IoT 研究会)
白鳥 則郎（中央大学研究開発機構)
高橋 修（はこだて未来大学ｼｽﾃﾑ情報科学部)
滝沢 誠（法政大学理工学部創生科学科)
塚本 昌彦（神戸大学工学部)
富樫 敦（宮城大学事業構想学部)
東野 輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科)
福田 晃（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院)
水野 忠則（愛知工業大学情報科学科)
宮西 洋太郎（㈱アイエスイーエム)
村山 優子（津田塾大学情報科学科)
宗森 純（和歌山大学ｼｽﾃﾑ工学部)
渡辺 尚（大阪大学情報科学研究科)
延べ参加人数：19 人
研究費

物件費	97,000 円
旅費	301,000 円

［2］研究経過

各種のセンサやデバイスがインターネットを通してクラウドサーバに接続され，情報交換しながらお互いに制御しあう IoT(Internet of Things)がいま世界的に注目されている．市場規模は 2020 年には 3 兆 400 億ドルに拡大すると予測されており，自動車産業や製造業，ヘルスケアなどの領域にも影響を及ぼすとされている．IoT の構成要素として現在クラウドがその中心をなしているが，高い応答性能を必要とするアプリケーションではより制御対象に近いエッジと呼ばれる中間サーバが非常に重要な役割を果たすようになってきた．クラウドとエッジが役割分担や負荷分散をするエッジコンピューティングと呼ばれるアーキテクチャが提案されている．しかし，クラウドとエッジでの負荷分散・機能分散が固定的であり，動的に運用環境が変化するアプリケーションには適切に対応できない．従って，我々は運用環境の変化に対応した動的なクラウド・エッジ間の機能分担機構を提案する．クラウド上では，センサ情報の蓄積や分析処理のほかに，どのデバイスに誰がいつアクセスできるのか，どのセンサからどのような頻度や分解能で情報を取得するのかといったガバナンス管理が行われる．応答性能を向上させるためには，このガバナンス管理についても，クラウドとエッジ間で適切に分担される必要があり，クラウドとエッジでの管理ポリシに齟齬が生じないように実現する必要がある．本研究の目的は，エッジコンピューティングに必要なクラウドとエッジ間の負荷分散，またエッジ同士の連携において，アプリケーションの運用環境に対応した最適な処理の分担を過去の運用データから学習してエッジが自ら運用方針を制御するインテリジェントエッジアーキテクチャを実現することである．

今年度は，インテリジェントエッジに基づく IoT 基盤技術の実現に向けて，エッジとクラウドとの役割分担に係る定式化を行い，エッジによる最適化とクラウドによる最適化を段階的に均衡させる IoT エッジ最適化モデルを開発した．また，インテリジェントエッジによるアプリケーションとして，電動車椅子の自動運転，ライフデザイン・イノベーション，スマート農業，災害コミュニケーション，およびウェアラブルコミュニケーションへの IoT エッジ最適化モデルの適用可能性について検討を行った．

以下，今年度の研究活動状況を記す．

研究推進会議を 1 回開催し，最新の研究成果を持ち寄り，議論を重ねた．開催日程および概要は以下の通りである．

＜研究推進会議＞
日時：平成 30 年 11 月 30 日～12 月 1 日
場所：東北大学電気通信研究所 6 階大会議室
参加者数：27 名(プロジェクトメンバ 10, 他 15)

A．研究報告

(1)「フューチャーIoT コミュニケーション」
水野忠則(愛知工大)
(2)「嗅覚リハビリテーションは可能か?」岡田謙一
(慶応大)
(3)「電動車椅子の自動運転と IoT」佐藤文明
(東邦大)
(4)「災害コミュニケーションにおける安全と安心」村山優子(津田塾大)・白鳥則郎(中央大)
(5)「Society5.0 プロジェクト〜ライフデザイン・イノベーションの創出に向けて〜」東野輝夫
(大阪大)
(6)「不確実性下での段階的 IoT エッジ最適化」
北上 眞二(福井工大)・白鳥則郎(中央大)
(7) 「農業向け ICT の展開」高橋 修
(はこだて未来大)
(8)「ウェアラブルからサイボーグへ」塚本昌彦
(神戸大)
(9)「九州 IoT コミュニティ」福田 晃(九州大)

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度に得られた成果の一部を以下に述べる.

ⅰ）不確実性下での段階的 IoT エッジ最適化
(成果論文[2])

クラウドコンピューティングによる最適化（クラウド最適化）とエッジコンピューティングによる最適化（エッジ最適化）は，トレードオフの関係になる場合が多く，またお互いに影響を及ぼしあう．さらに，互いに最適化の目的関数は陽に知り得ないとともにエッジ最適化の目的関数と制約条件はエッジによって異なるという特性を持つ．クラウドとエッジから構成される IoT システムにおいては，エッジ最適化とクラウド最適化の均衡が課題となる.

この研究では,「段階的最適化交渉プロトコル」によってエッジとクラウドが最適化交渉を行うことにより，段階的に双方の最適化を均衡させる「段階的 IoT エッジ最適化モデル」を提案した．また，提案モデルを自動運転車に対応した次世代高度道路交通システム（次世代 ITS）に適用した場合の有効性を確認するために，シミュレーションによる概念実証評価を行った．次世代道路交通システムでは，自動運転車による目的地への最短移動がエッジ最適化となり，交通網の渋滞緩和が次世代 ITS によるクラウド最適化となる．自動運転車が 4 台の場合についてシミュレーションを行ったところ，最適化管理点の通過コストと通過予定時刻に関する情報を，エッジとクラウド間で段階的に交換することにより，エッジ最適化とクラウド最適化の均衡点を見出すことができることを確認した.

ⅱ）電動車椅子の自動運転と IoT（成果文献[4])

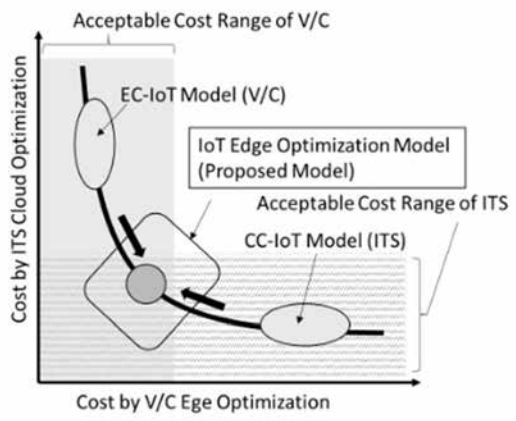


図1　段階的 IoT エッジ最適化モデル

近年，電動車椅子の自動運転の実証実験が行われているが，空港などの公共スペースを想定した広い空間を対象としており，建物内などの比較的狭い空間での自動運転はまだ難しい．本研究では，比較的狭い空間での電動車椅子の自動運転を実現するために，３つの位置推定技術（ＢＬＥビーコン／深層学習による画像認識／ＡＲマーカによる位置推定）を組み合わせたインテリジェントエッジ制御方式を提案した．また，実際に電動車椅子を狭い領域で自動運転する実験を行い，提案方式の実用性を確認した.

実証実験の結果，さらに車椅子の柔軟なナビゲーションを実現するためには，移動経路の混雑度やトイレの空状況などの情報が必要であり，クラウド（環境管理）とエッジ（車椅子）のきめ細かい連携が必要であることが分かった.

ⅲ）マイクロモジュール間での自律連携機構の構築
（成果文献[6])

電池駆動の WiFi ルータやカーナビ，車両内 PC などにストレージや計算機能を付加したマイクロモジュール（エッジサーバ）が連携して災害支援を行うサービス機構を提案した．このサービス機構では，マイクロモジュールが連携して．クラウドサーバが収集した行政機関や被災住民が必要とる時空間依存の災害関連情報などのマイクロデータを分類・集約する．また，ネットワーク設備が被災した場合は，マイクロモジュ



図2　電動車椅子自動運転システムの構成

ールが自律的に連携して，災害情報の伝達を行う．

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献

IoT 技術は現在もっとも発展が見込まれる領域であり，エッジコンピューティングはクラウドが持つ応答性能を改善する最も重要な技術である．本研究では，エッジコンピューティングを動的に環境に適合させるインテリジェントなエッジを実現するため基盤技術を開発し，エッジコンピューティング普及に貢献した．また，電動車椅子の自動運転，ライフデザイン・イノベーション，スマート農業，災害コミュニケーション，およびウェアラブルコミュニケーションへの適用評価を行い，実用化に向けた課題の抽出を行った．

また，本プロジェクトメンバーが中核となる国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics) 2018 (2018/9/10-9/12, Salzburg) において，本研究の成果を発表した．今後は，本プロジェクトで開発された要素技術をもとに，科研費やSCOPE 等の外部資金獲得へつなげていく．

［４］成果資料

[1] Yang Xu, Jia Liu, Ruo Ando, Norio Shiratori, “End-to-end congestion relief and physical layer security-aware routing design for ad hoc networks in IoT applications”, Journal of Information Science and Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 1015-1030, 2018.

[2] Shinji Kitagami, Yuichi Tokunaga, and Norio Shiratori, ″Proposal of IoT edge optimization model for balancing local system and total system and its simulation evaluation,″ International Workshop on Informatics (2018)

[3] Satoshi Utsumi, Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Yuto Usuki, Seisho Takeda, Norio Shiratori, Yasushi Kato, Jeyeon Kim, “A new analytical model of TCP Hybla for satellite IP networks,” Journal of Network and Computer Applications, Elsevier, vol. 124, 15 December 2018, pp.137-147.

[4] Fumiaki Sato, Takamasa Koshizen, Takanari Matsumoto, Hiroaki Kawase, Shugo Miyamoto, Yasuo Torimoto, Self-Driving System for Electric Wheelchair Using Smartphone to Estimate Travelable Areas, The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018), 2018.10.

[5] Shigenari Nakamura, Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa: A Flexible Read-Write Abortion Protocol with Role Safety Concept to Prevent Illegal Information Flow, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (JAIHC), vol.9, issue 5, 2018, pp.315-333

[6] Yuta Fukushima, Daiki Miura, Takashi Hamatani, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, ″MicroDeep: In-network Deep Learning by Micro-sensor Coordination for Pervasive Computing″, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP2018), June 2018.

[7] Shigenari Nakamura, Miyu Sugino, and Makoto Takizawa: Algorithms for Energy-efficient Broadcasting Messages in Wireless Networks, Journal of High Speed Networks, vol.24, no.1, pp.1-15, 2018.

[8] Shigenari Nakamura, Lidia Ogiela, Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa: An information flow control model in a topic-based publish/subscribe system, Journal of High Speed Networks, vol.24, no.3, 2018, pp.243-257 (DOI: 10.3233/JHS-180593).

[9] Dilawaer Duolikun, Tomoya Enokido, Makoto Takizawa: A Dynamic Model for Energy-efficiently Migrating a Group of Virtual Machines from a Host Server to a Guest Server, International Journal of Grid and Utility Computing, 2018 Vol.9 No.4, pp.357 - 366 (DOI: 10.1504/IJGUC.2018.095438)

[10] Takahito Kito, Iori Otomo, Takuya Fujihashi, Yusuke Hirota, Takashi Watanabe ″ Segment Scheduling for Progressive Download-based Multi-view Video Delivery under Successive View Switching″ IEICE Transactions on Communications, E101-B,4, pp.1152-1162,2018.

[11] MD.Abdul Alim, shunsuke Saruwatari, Takashi Watanabe ″ In-band Full-Duplex Medium Access Control Protocol for Asymmetric Traffic in Wireless LAN″ Wireless Networks Springer , pp1-16,2018 .

[12] Tadashi Ogino, Shinji Kitagami, Takuo Suganuma and Norio Shiratori, ″A Multi-agent Based Flexible IoT Edge Computing Architecture Harmonizing Its Control with Cloud Computing,″ International Journal of Networking and Computing, Vol.8 No.2, pp. 218-239 (2018)

[13] Masanari Iwata, Suhua Tang and Sadao Obana : Energy-Efficient Data Collection Method for Sensor Networks by Integrating Asymmetric Communication and Wake-up Radio, Sensors - Open Access Journal, Sensors2018,1121, pp.1-pp.17 (April, 2018)

[14] Masanari Iwata, Suhua Tang and Sadao Obana : Energy-Efficient Data Collection Method for Sensor Networks by Integrating Asymmetric Communication and Wake-up Radio, Sensors - Open Access Journal, Sensors2018,1121, pp.1-pp.17 (April, 2018)

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/A31

多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究

［1］組織
研究代表者：
上田　浩　（京都大学学術情報メディアセンター）
通研対応教員：
木下　哲男　（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
北形　元　（東北大学電気通信研究所）
岩谷　幸雄　（東北学院大学工学部）
髙橋　秋典　（秋田大学大学院理工学研究科）
奈須野　裕　（苫小牧工業高等専門学校）
橋本　仁　（秋田大学大学院理工学研究科）
横山　洋之　（秋田大学大学院理工学研究科）
藤原　克哉　（秋田大学大学院理工学研究科）
小原　仁　（秋田大学大学院理工学研究科）
今野　将　（千葉工業大学先進工学部）
矢入　聡　（仙台高等専門学校）
打矢　隆弘　（名古屋工業大学情報基盤センター）

延べ参加人数：25 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	259,000 円

［2］研究経過

現在の情報ネットワークは利便性が向上し，日常生活において必要不可欠な重要インフラとして一般世帯はもちろんのこと，中・小規模機関などに至るまで広く普及している。また，これまで有線中心だったインフラ整備も，有線・無線の区別ないシームレスなユビキタスネットワーク環境へ移行しており，パソコンや携帯端末のみならず，電化製品や様々なセンサー類などもネットワーク接続されるようになった。それに合わせて様々なサービスが提供され，疎通しているトラヒックも多様化してきている。さらに，新たなサイバー攻撃や情報漏洩，違法アップロードによる著作権侵害など，負の側面も多様化してきており，ネットワーク管理の重要性が増してきている。ネットワーク管理者は，常に進化するネットワークに対して，通り一辺倒な管理システムでは対応できなくなると推測される。つまり，ネットワーク上の情報資源から得られる分散的なデータを扱うためには，新たな知見に基づく知識を活用した知的管理が必要となってくる。そこで，本研究ではエージェントに基づく知識型ネットワーク管理支援基盤に，高度なデータ分析機能を組み込むことで，自律性の高い管理支援を実現する手法について検討を進めている。

ネットワーク管理には，一般的な情報通信および管理知識の他，そのネットワーク固有の特性や構成に関する知識が必要となる。また，問題が起こったときの原因追及に至っては，管理者の経験やノウハウも重要となる。しかし，全てのネットワークにおいて専門知識を有する管理者が運用しているとは限らず，小規模機関においては管理者すら存在しない場合も散見される。これは，情報通信に関する知識不足による情報セキュリティに対する無関心が要因と推測される。そこで本研究では，ネットワークトラヒックの利用状況を容易に把握できるように，得られた知識を理解しやすい表現方法に変換する技術についても検討を進めている。

東北大学電気通信研究所木下研究室を中心に，各研究者が随時訪問し，研究打合せを行っている。また，東北大学電気通信研究所工学研究会：先進的情報通信工学研究会と共催で，研究発表会を平成 31 年 3 月 7 日に開催した。

【プログラム】

第２５回先進的情報通信工学研究会および総合討論会

共催：通研共同プロジェクト研究

「エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究」(代表：打矢隆弘（名古屋工業大学))

「多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究」(代表：上田浩（京都大学))

「多数生体信号の分析により異常の予測と検索」(代表：チャクラボルティ ゴウタム（岩手県立大学))

「新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究」(代表：ザビル・サラウッディン・ムハマド・サリム（鶴岡工業高等専門学校))

「超高性能耐災害ネットワーク制御に関する研究」(代表：内海哲史（福島大学))

「セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究」(代表：佐藤彰洋（九州工業大学))

「エージェントを用いた IoT サービスの構築と運用支援に関する研究」(代表:谷村優介(東北大学))

■日時：平成３１年3月７日（木）１３：３０～3月８日（金）17：００

■場所：東北大学電気通信研究所・M531

■3月７日（木）１３：３０～１８：１０ 第２５回先進的情報通信工学研究会

1. やわらかいシステムから共創システムへ,笹井一人（茨城大学)

2. 原因に基づく悪性 DNS クエリの分類，佐藤彰洋，中村豊（九州工業大学)，笹井一人（茨城大学)，北形元（東北大学)

3. SLA に基づく判断による ZeroTouchOperation 実現に向けた検討，丹治直幸（NTT ネットワークサービスシステム研究所)

4. 改良 PathChirp 方式を用いたインターネットの可用帯域推定法，川崎拓也，加藤陽介，小原仁（秋田大学)

5. Toward new generation IoT and AI applications，ザビル・サラウッディン・ムハマド・サリム（鶴岡工業高等専門学校)

6. Problem Solving by AI tools, Successes and Failures－What is the next，チャクラボルティ ゴウタム（岩手県立大学)

7. 異種無線ネットワークにおける新しい輻輳制御，内海哲史（福島大学)

8. 社会で活きる情報技術，有馬 亮（西日本電信電話株式会社)

9. 高等教育機関における教育･学習データの利活用に関するポリシーのひな型の検討，上田 浩(京都大学)

10. 視線情報を用いた潜在的注目度調査システムに関する研究，髙橋秋典（秋田大学)

11. 学習者の認知モデルに基づく行動デザイン，小野里好邦（放送大学群馬学習センター)

12. 我流・知識工学とその周辺，木下哲男（東北大学)

■１８：３０～２０：００ 懇親会

■3月８日（金）１０：００～１７：００ 総合討論会（通研本館・M507）受付：１０：００～

１０：３０～１２：００ 木下・北形研究室見学会(ラボツアー)

１３：３０～１７：００ 共同研究に関する総合討論会

［3］成果

（３－１）研究成果

本年度は，これまで行ってきたトラヒック分析に関する可視化手法に関する検討をパケットトラヒックについて引き続き行った。

実験環境として，東北大学電気通信研究所の仮想環境に構築したWebサーバ内に，秋田大学で開発したトラヒックデータ共有システムを設定した。このトラヒックデータ共有システムは，基本的に管理者しか扱えないパケットトラヒックデータを，管理者を介在させることなく統計データに変換した後，管理権限を有しない一般ユーザに対してWebブラウザを介して提供するシステムである。キャプチャデータに対して統計解析を行うアプリケーションサーバと一般ユーザからの要求に対して対応する公開用Webサーバから構成され，Reverse proxyを前段に設置することで、アプリケーションサーバに保存されているダンプファイルに対するセキュリティを高めることができた。

東北大学で開発を進めている，マルチエージェント機能に基づくネットワーク機器監視・管理システムであるAIR-NMSの開発については，これまで様々な情報資源のAIR化を検討してきた。AIR-NMSは，AIR間の連携により自発的なデータ取得と管理タスクを実現することが可能となるため，複雑化する情報ネットワークに対する適応性の向上が期待される。本年度はこれらの研究を発展させることを目指し，科学研究費基盤(B)特定領域への応募を行った。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度は，パケットトラヒック解析によるネットワーク状態把握における可視化，およびAIR-NMSの機能・性能要件に関する検討を重点的に行った。今後の課題として，実時間監視に向けたAIRの実装と高速化を検討する。また，本プロジェクトにおいては，多様化する情報ネットワークに対して様々な方向性からの知識獲得や活用方法などの提案が重要と

なることに加え，管理者の支援という意味で，どのようにノウハウを共有しつつ，組織の機密情報を守るかという学術的問いへの答えを目指し研究構想を固めた。本プロジェクトは，分担者の多くが各大学でのネットワーク管理に携わっているため，多くの知見が得られやすいと考えている。また，複数の研究機関からのメンバーが参加するため，機関依存のネットワーク特性および研究室レベルから大学組織といったスケーラブルのある検討も期待できる。

［4］成果資料

1. Hiroshi Ueda, Masako Furukawa, Kazutsuna Yamaji, Motonori Nakamura, SCORMAdaptiveQuiz: Implementation of Adaptive e-Learning for Moodle, Procedia Computer Science, Vol.126, pp. 2261―2270,2018.09
2. 上田 浩，門口 礼，森 幹彦，喜多 一，情報モラルそうかんず：複数の視点から事例を見る情報モラル指導用教材の開発と受業実践による評価，情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ，Vol. 4, No. 3, pp.9-20,2018.01
3. Akinori Takahashi, Ryuji Igarashi, Kazuto Sasai, Hiroshi Ueda, Yukio Iwaya, Tetsuo Kinoshita, Masashi Hashimoto, Characterization of the Imaged R/S Pox Diagram for Low-rate DoS Attack, International Journal of the Society of Materials Engineering for Resource, Vol. 23, No. 2, pp. 152-157, 2018.09
4. Nobukuni Hamamoto, Shigetoshi Yokoyama, Hiroshi Ueda, On the Confirmation Method of the User's Record of the GakuNinMoodle, 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2018), Vol. 2, pp. 222-227, 2018.07
5. 上田 浩，大学におけるソーシャルメディアの利活用を考える，静岡大学情報セキュリティ・個人情報保護に関する講演会，2018.12
6. 上田 浩，緒方 広明，山田 恒夫，Learning Analytics Policy の策定に向けて，情報処理学会研究報告教育学習支援情報システム（CLE），Vol. 2018-CLE-25, No. 6, pp. 1-5, 2018.06
7. 上田 浩，緒方 広明，山田 恒夫，高等教育機関における教育・学習データの利活用に関する方針の検討，情報処理学会研究報告電子化知的財産・社会基盤研究会（EIP），Vol. 2018-EIP-81, No. 21, pp. 1-6, 2018.09
8. 上田 浩，「わが国における次世代電子学習環境（NGDLE）の取り組み：ラーニング・アナリティクスを視野に入れた情報基盤とポリシー」AXIES で進めている教育・学習情報利活用ポリシーの策定，大学ICT 推進協議会 2018 年度年次大会論文集,MG2,2018.11
9. Koloko, L., Takanohashi, N., Katoh, Y., Selin, P.S. and Obara, H., ″Network Utilization Monitoring Technique Using Probe Packet Delay Variance,″ Proc. of 24th International Conference on Electrical Engineering, G5-0930, 2018.06
10. Hiroshi Matsumura, Ryota Fukutani, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Agent-based Smart Data Provisioning Mechanism for Supporting Network and System Administration Tasks," Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp.89-90, 2018.10
11. Kazuto Sasai, Takuya Hoshino, Hiroki Nagawasa, Ryota Fukutani, Tetsuo Kinoshita, "A Flexible Collaboration Mechanism Between Humans and Agents on Disaster Recovery of Network Systems," Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp.187-188, 2018.10
12. Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Tetsuo Kinoshita, "Proactive Service Management in Disaster Recovery Phase with Non-destructive Benchmarking Technique," Proc. of the First International Workshop on Practical Issues, Systems & Applications for Disaster Risk Reduction in Smart Computing (DRRSC2019) in conjunction with the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), 2019.02
13. Kazuto Sasai, Takuya Hoshino, Ryota Fukutani, Tetsuo Kinoshita, "Collaboration mechanism between human administrators and agent-oriented network management systems," Proc. of the First International Workshop on Practical Issues, Systems & Applications for Disaster Risk Reduction in Smart Computing (DRRSC2019) in conjunction with the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), 2019.02
14. 松村洋志，福谷遼太，笹井一人，北形 元，木下哲男，"エージェント型データ分析支援システムにおける情報提示機構の設計と試作，"平成30年度電気関係学会東北支部連合大会，p.1I13，2018.09

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(若手)

採択番号：H30/A32

セキュアなキャンパスBYODの実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究

［1］組織

研究代表者：
佐藤　彰洋（九州工業大学情報科学センター）
通研対応教員：
北形　元（東北大学通信研究所）
研究分担者：
笹井　一人（茨城大学工学部）
池永　全志（九州工業大学工学研究院）
中村　豊（九州工業大学情報科学センター）
野林　大起（九州工業大学工学研究院）
小倉　光貴（九州工業大学工学研究院）

延べ参加人数：7人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	166,000円
若手特別支援費	120,000円

［2］研究経過

モバイルデバイスの普及に伴い，私物情報端末の業務利用，すなわちBYOD(Bring Your Own Device)を検討する動きが盛んになってきている．高等教育の現場も同様に，九州大学と広島大学が国立大学法人では先んじて学生個人の端末を必携とするBYOD体制に移行した．これに続き，今後多くの大学でBYODが検討・実施されるものと容易に想像できる．その一方，マルウェアに感染済みの端末をキャンパスネットワークに持ち込まれることが大きな課題となる．マルウェアに感染した端末は，C&C(Command-and-Control Server)を介して攻撃者の指令を受けることにより，ランサムウェアの配布，フィッシング詐欺，標的型攻撃への利用など，様々な犯罪活動を試みる．大学におけるBYODでは，学生の専攻や研究，または出身国により端末環境が多岐に渡るため，一般的な企業のようにMDM(Mobile Device Management)を適用することは困難である．故に，キャンパスネットワークで観測される通信のみからマルウェアを検出することが求められる．

従来のセキュリティ機器は，不審なファイルの動的解析や静的解析，シグネチャとの比較などによりマルウェアを検出してきた．これらの対策は，マルウェアに感染する過程の通信を観測できることを前提としているため，感染済みの端末がネットワークに持ち込まれた状況では意味を成さない．一方，ネットワーク内の端末の通信を監視するためには，ブラックリストを用いる方法が一般的である．しかしながら，ブラックリストによる検出を回避するため，マルウェアは通信先を頻繁に変更すること且つ通信先を巧みに隠蔽することが知られている．このように刻々変遷するマルウェアの通信に対するためには，ブラックリストの迅速・継続した更新が求められるが，その実現にはセキュリティ解析者の多大な労力が必要となる．キャンパスネットワークにおいて大規模感染が発生した場合，大学の業務に多大な影響を及ぼすため，この問題の解決は急務である．そこで本プロジェクトでは，ブラックリストの能動的な拡張を図ることで，キャンパスネットワークにおける膨大な数のDNS名前解決要求から，マルウェア感染端末を検出することを目的として研究を行なった．

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，ブラックリストの能動的な拡張を図ることで，キャンパスネットワークにおける膨大な数のDNS名前解決要求から，マルウェア感染端末の検出を実現する．それに向けて，(a)マルウェア感染端末分類技術，(b)未知の悪性通信検出技術の確立を目指す．また，電気通信研究所の北形准教授，茨城大学の笹井准教授らの研究成果を応用することで，(c)マルチエージェントシステムを用いたネットワーク

自動適応技術を実現する.

平成30年度は,(a)マルウェア感染端末分類技術の確立に取り組んだ.具体的には,(1)ブラックリストと一致した通信の前後には,その原因の推定を助ける通信が存在すること,(2)悪性通信の特徴はマルウェアの種類に依存することの2点に着目し,ブラックリストと一致した通信とその前後から悪性通信の特徴を導出する仕組み,その特徴の類似性から感染端末を分類する仕組みを実現した.

マルウェア感染端末分類技術の有用性を確認するため,九州工業大学のキャンパスネットワークにおいて実証実験を行った.その結果,従来手法と比較して高精度で感染端末を分類できることを確認した.しかしながら,計算時間の点で従来手法に劣っており,その改善が今後の課題となる.

この研究成果を取り纏めたものは,論文誌の採録が既に決定している.また,研究会発表では優秀論文賞に加え,マクニカネットワークス賞を授与されるなど,研究者のみならず,セキュリティ対策ソリューションを扱う企業からも有用性を認められている.若手研究者対象型の特別支援分の研究費は,これら論文の校正費に充てており,その品質の向上に大きく寄与している.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

既存の多くのセキュリティ機器は,マルウェアに感染する過程を観測できることを前提としているため,感染済みの端末が持ち込まれた状況では意味を成さない.幾つかの機器は,キャンパスネットワーク内の感染端末をその通信から検出する機能を有するが,端末環境の多様性が原因で大量の誤検出が発生する.加えて,機器自体が非常に高価であり,資金的な事情から大学での導入は難しい.キャンパスネットワークにおいて大規模感染が発生した場合,大学の信用失墜を招くだけでなく,その業務に多大な影響を及ぼすこととなる.今後多くの大学でBYODが実施されることを踏まえると,導入が容易で安価なシステムが必須であり,その要件を満たす本研究成果はセキュアなキャンパスネットワークの実現に大きく資するものである.

本研究成果は高い汎用性を備えており,その適用範囲はDNSのみに限定されることはない.具体的には,異常検出や不正検出,ウェブプロキシなど,様々なシステムログへの応用が可能である.特にSIEM(Security Information and Event Management)の重要性が注目されている現在では,高い波及効果と発展性が期待できる.

［4］成果資料

（1） Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Daiki Nobayashi, Takeshi Ikenaga, “Estimating the Randomness of Domain Names for DGA Bot Callbacks,” IEEE Communications Letters, Vol.22, No.7, pp.1378―1381, July 2018.

（2） Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Daiki Nobayashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Takeshi Ikenaga, “Clustering Malicious DNS Queries for Blacklist-based Detection,” IEICE Transactions on Information and Systems, 2019. (採録決定)

（3） Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, “A Malicious DNS Query Clustering Approach for Blacklist-based Detection,” RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, 2019.

（4） 佐藤彰洋, 中村豊, 小倉光貴, 野林大起, 池永全志, “ブラックリストに基づく検出の効率化に向けた悪性DNSクエリ分類手法,” インターネットと運用技術シンポジウム, 2018. (優秀論文賞, マクニカネットワークス賞)

（5） 佐藤彰洋, 中村豊, 小倉光貴, 野林大起, 池永全志, “ブラックリストにより検出された悪性DNSクエリの分類,” 信学技法, IA2018-42, 2018.

（6） 佐藤彰洋, 中村豊, 笹井一人, 北形元, “原因に基づく悪性DNSクエリの分類,” 第25回先進的情報通信工学研究会, 2019.

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A33

エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究

［1］組織
研究代表者：打矢 隆弘
(名古屋工業大学大学院工学研究科)
通研対応教員：木下 哲男
(東北大学電気通信研究所))
研究分担者：
北形 元（東北大学電気通信研究所)
高橋 秀幸（東北大学電気通信研究所)
笹井 一人（茨城大学工学部)
菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター)
菅原 研次（千葉工業大学情報科学部)
藤田 茂（千葉工業大学情報科学部)
原 英樹（千葉工業大学情報科学部)
今野 将（千葉工業大学工学部)
真部 雄介（千葉工業大学情報科学部)
延べ参加人数：17 人

研究費：
物件費 97,000 円
旅費 211,000 円

［2］研究経過

人・社会・情報環境を総合的な協調系と捉え，これらが共生する世界である「共生社会」の実現に向けた研究開発（共生コンピューティングの実現）を進めてきた．共生コンピューティングの概念に基づくソフトウェアを構築するために，ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境を整備した．具体的には、知的エージェントの集合で構成されるソフトウェアをボトムアップ的に設計・開発・構築し，これらをエージェントリポジトリで保持・管理する方法論の策定と，インタラクティブな開発支援ツールの構築を行い，開発面での支援を実現した．また，セキュアなエージェント間通信を可能とするエージェント運用環境を開発し，運用面での支援も実現した．さらに，エージェントで構成される IoT(Internet of Things)デバイス連携にも成功し，環境に適応する種々のシステム開発を推進している．本研究では，これまでの取り組みを通し得た知見を基に，ユーザや環境の状態を考慮して適切に人々の生活を支援する IoT システムの設計/開発/運用支援の強化を目的とする．具体的には，過去の研究をさらに発展させ，エージェントフレームワークの開発・運用機能の充実と，エージェントシステムで構成される IoT ソフトウェアの構築・評価を行う．

現在エージェントの分野では，我々の研究グループで開発を進めているリポジトリ型マルチエージェントフレームワーク DASH やヨーロッパで多数利用されている JADE, LISP ベースの OMAS など様々なエージェントプラットフォーム(AP)が開発されている．日本国内においては,DASH が最先端の知的エージェントフレームワークとして広く認知され，複数の大学で演習教材に利用されるなど，利用機会が非常に増大している．我々はこの DASH を用いて過去に「高齢者の見守り支援システム」「ヘルスケアサポートシステム」など人・社会・環境と共生する情報システムの開発に成功しており，直近では「個人間分散バックアップシステム」「マイクログリッド型電力需給システム」「IoT(Internet of Things)デバイス連携」など，システムの対象分野を研究/教育，エネルギー，ライフサポートにまで拡大している． DASH の特長のひとつとして，エージェントの多様性を実現していることが挙げられる．具体的には，「自律性」「協調性」「即応性」「熟考性」「学習性」「移動性」などの性質をエージェントに付与することができる．このフレームワークに対し，各種機能拡張を行い，ソフトウェアの開発支援の充実，管理／運用支援のさらなる充実を図る．本年度は，主に機械学習が可能な学習エージェント開発支援機能の充実を図った．

以下，研究活動状況(研究会)の概要を記す．
第 1 回：平成 30 年 8 月 2 日 14:00～，電気通信研究所本館（参加者：打矢，木下，高橋，菅原，藤田）
第 2 回：平成 31 年 2 月 20 日 14:00～，電気通信研究所本館（参加者：打矢，木下，高橋，菅原，藤田，笹井，真部）

［3］成果

（3－1）研究成果：主要研究とその成果を示す.

【Deep Q-Network を用いた学習エージェント開発支援機構の構築】

本研究ではDASH を対象に, ディープラーニングを用いた強化学習の手法である Deep Q-Network(DQN)を導入し，エージェントの高度な学習性を実現する．ディープラーニングとは機械学習の手法の一つである．ディープラーニングの詳しい知識を持たない開発者がディープラーニングを搭載したエージェントを開発するために，学習エージェントの開発支援を行う．これによりエージェントが従来行うことができなかった高度な学習を実現し，さらに，開発者の負担軽減や学習エージェントの開発時間の短縮を実現する．

提案機構

提案機構は，以下の機構により構成される（図 1)．

ディープラーニング機構 : 提案機構の中心的なアルゴリズムであるディープラーニングを行うための学習機構である．DASH エージェントが持つ自動学習機構に対し導入する．

Deep Q-Network 機構 : 強化学習の手法である Deep Q-Network を行うための機構である．Deep Q-Network 機構は，自動学習機構に対し導入する．提案機構において, Deep Q-Network は先行研究において導入された Q-learning，Profit Sharing，Nash Q-learning と切り替えて利用できる.

開発支援機構 : ディープラーニング機構を搭載した学習エージェントの開発を支援するための機構である．開発支援の機能として，パラメータ設定機能と学習状況確認機能がある.

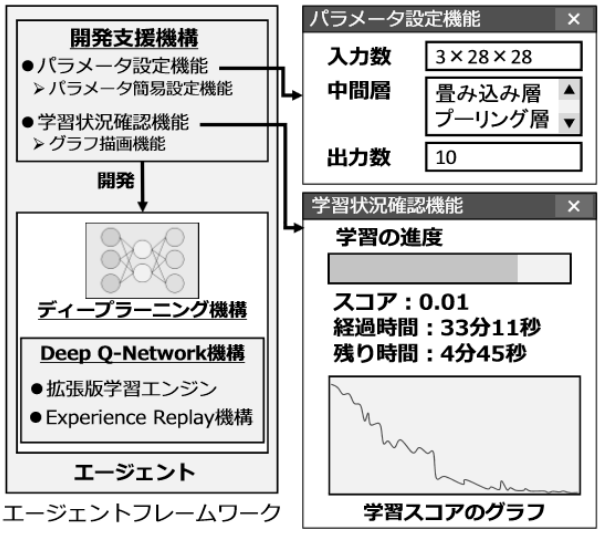


図 1: 提案機構の全体図

実験 1：Deep Q-Network 機構の動作確認

提案機構による DQN による学習が正しいかを調査するため, Atari2600 のブロック崩しゲーム Breakout の学習を行った．実験結果より，学習を重ねるほどスコアが増加する傾向が見られたため，提案機構により学習性が実装されたことを確認した.

実験 2：提案機構に対するアンケート調査

本実験では，DQN による学習エージェントの開発に必要な一連の流れを下記のアンケート調査により評価した．調査対象は情報工学の学生 8 人(うち 3 名がディープラーニング習熟者)で，評価は 1～5 の 5 段階とする.

質問 1 : ディープラーニングエージェントのコードを容易に記述することができたか

質問 2 : ディープラーニングのパラメータは容易に設定できたか

質問 3 : パラメータ簡易設定画面によりディープラーニングの知識が無くても設定できると感じたか

質問 4 : パラメータ設定画面は全体的に使いやすいものであったか

質問 5 : 学習状況確認画面で表示される情報は有用であったか

質問 6 : ディープラーニングエージェントの開発は楽しいと感じたか

質問 7 : 本機構を用いてディープラーニングエージェントの開発は問題なく行えると感じたか

結果では全ての項目において平均値が 3 を超えており，提案機構による有用性を確認した．機能ごとの評価として，ディープラーニング機構によるコード記述量の削減(質問 1), パラメータ簡易設定画面によるパラメータ設定支援(質問 3), 学習状況確認画面による学習情報の提示(質問 5)は高い評価を獲得しており, 高い有用性を確認した.

本実験を通し，提案機構を利用する上で，ディープラーニングの知識の有無に関係なく，DQN を備えた学習エージェントを開発可能であることがわかった．すなわち本研究の目的である，ディープラーニングの知識を持たない開発者による DQN エージェントの開発を実現していることを確認した.

（3－2）波及効果と発展性，研究分野への貢献等

本プロジェクトは3 機関共同で共生コンピューティングの基盤技術の研究開発を推進し，上記以外にも多数のフレームワーク拡張・アプリケーション開発が実施できた([4](1)～(23)). また本プロジェクトには多数の学部生・大学院生がコミットしており，若手研究者の育成への足掛りとなった．更に，当該分野の海外研究者との議論も積極的に展開し，研究者間交流の活性化も図った.

［4］成果資料

（1）滝雄太郎, 藤田茂, 宮西洋太郎, 白鳥則郎, “軽量Nパーティ秘匿関数計算の一般化”, (推薦論文, 特選論文)情報処理学会論文誌, Vol.59, No.10, pp.1895-1902, 2018.

（2）菅原研次, 木下哲男, 顧優輝, “IoTアプリケーションを開発するためのエージェント指向技術”, 知能と情報（日本知能情報ファジイ学会誌）, Vol.30, No.3, pp.148-155, 2018.

（3）Hayato Abe, Makoto Miura, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “A Telexistence System Using Remote Control Robot and Omnidirectional Camera with QoE Control”, 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp.797-799, 2018.

（4）Mina Kato, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “Outdoor Sensor Localization using UAV in Disaster Area”, The 5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM2018), (Poster/Demo session), 2018.

（5）Genta Kataoka, Yuki Kaeri, Yusuke Manabe, Kenji Sugawara, Takuo Suganuma, Norio Shiratori, “Proposal for Cognitive Architecture for Software Defined Wireless Networking”, Proc. 2018 IEEE SMC Conference, pp.2748-2753, 2018.

（6）Yuki Kaeri, Kenji Sugawara, Claude Moulin, Thierry Gidel, “Agent-based Design of IoT Applications for Remote Brainstorming Support”, IEEE CSCWD 2018, pp.820-825.

（7）Takahiro Uchiya, Kiyotaka Sato, Shinsuke Kajioka, “BLE Beacon Based Indoor Position Estimation Method for Navigation”, Proc. of NBiS2018, pp.691-699, 2018.

（8）Ryota Nishimura, Daisuke Yamamoto, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Web-based environment for user generation of spoken dialog for virtual assistants”, EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, pp.1-13, 2018.

（9）Ryuta Sugie, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Validation of Evacuation Guidance by Robot for Improving Safety in Case of Disaster”, Proc. of GCCE2018, 2018.

（10）Takahiro Uchiya, Kota Hayashi, Ryuta Sugie, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, “Proposal of Disaster Information Collection Method by Robot”, Proc. of GCCE2018, 2018.

（11）Takahiro Uchiya, Ryuta Sugie, Kota Hayashi, Tetsuo Kinoshita, “Proposal of Disaster Mitigation Method using Multiple Robots”, Proc. of BWCCA2018, 2018.

（12）Kaho Takahashi, Takumi Kato, Tetsuo Kinoshita, “Memory Recall Support System Based on Active Acquisition and Accumulation of Memory Fragments”, Big Data and Cognitive Computing, Vol.2, No.2, 12, 2018.

（13）Hiroshi Matsumura, Ryota Fukutani, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Agent-based Smart Data Provisioning Mechanism for Supporting Network and System Administration Tasks”, Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp.89-90, 2018.

（14）坂口僚, 藤田茂, 今野将, “カメラ付IoTデバイスを用いた室内での人流解析システムのネットワーク利用量評価”, 情報処理学会シンポジウム、DICOMO2018, pp.1689-1692, 2018.

（15）佐々木一郎, 藤田茂, “ユーザ行動に応じた情報を提供するAIoT型スマートスピーカの提案”, 情報処理学会シンポジウム、DICOMO2018, pp.933-935, 2018.

（16）小川絢也, 生出真人, 阿部亨, 菅沼拓夫, “屋外イベントでの多数のユーザを対象としたヘルスモニタリングシステムのための動的ネットワーク構成法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.118, No.207, IN2018-35, pp.77-82, 2018.

（17）菅沼拓夫, 安本慶一, 加藤由花, “セキュアIoTサービスに向けた人と機械の信頼関係構築フレームワークの基本構想”, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-DPS-175, No.38, pp.1-7, 2018.

（18）打矢隆弘, 渡邉賢人, 木下哲男, “Deep Q-Network 学習エージェント開発のための開発支援機構の構築”, JAWS2018 講演論文集, 2018.

（19）杉江竜太, 打矢隆弘, 内匠逸, “災害時における安全性向上のための施設常備型ロボットによる避難誘導手法の検証”, JAWS2018 講演論文集, 2018.

（20）清水涼太, 打矢隆弘, 内匠逸, “大規模会場での誘導スケジュールによる混雑緩和手法の検証”, FIT2018 講演論文集, 2018.

（21）島野広大, 打矢隆弘, 内匠逸, “学習エージェント開発者育成のためのチュートリアルの検討”, FIT2018 講演論文集, 2018.

（22）Christian FLEINER, 高橋秀幸, 木下哲男, “An Agent-based Smart Home System for Hearing Impaired People”, 平成30年度電気関係学会東北支部連合大会, p.1F16, 2018.

（23）松村洋志, 福谷遼太, 笹井一人, 北形元, 木下哲男, “エージェント型データ分析支援システムにおける情報提示機構の設計と試作”, 平成30年度電気関係学会東北支部連合大会, p.1I13, 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A34

Ge-on-Insulator 基板上での メタル・ソース／ドレイン型 CMOS の実現

［1］組織

研究代表者：
中島　寛（九州大学ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝｾﾝﾀｰ）

通研対応教員：
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
室田　淳一
（東北大学ﾏｲｸﾛｼｽﾃﾑ融合研究開発ｾﾝﾀｰ）
佐道　泰造（九州大学ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
王　冬（九州大学総合理工学研究院）
山本　圭介（九州大学総合理工学研究院）
温　偉辰（九州大学大学院総合理工学府）
仲江　航平（九州大学大学院総合理工学府）
高　ミョウ（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学府）
井芹　健人（九州大学大学院総合理工学府）

延べ参加人数：10 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	250,000 円

［2］研究経過

次世代の高性能集積回路には、Si 物性を遙かに凌駕する新材料の導入や材料物性に適した新規プロセスの導入等により、その物性を極限まで引き出し、高移動度チャネルを実現することが不可欠となる。その材料として本研究では、Si に比べて電子・正孔移動度が共に高い Ge に着目し、高性能 Ge CMOS（相補型 MOS）をメタル・ソース/ドレイン(S/D) 型の MOSFET（金属-酸化物-半導体 電界効果トランジスタ）で実現することを目的として研究を行った。

プロジェクト開始初年度である本年度は、高性能 Ge CMOS を実現する上で最大の課題である n-MOS ゲートスタックの欠陥の理解と高品質化、並びに Ge-on-Insulator（GOI）基板の作製技術の確立に力点を置いた。

本研究は、代表者である九大・ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝｾﾝﾀｰの中島教授グループと、東北大・通研対応教員で分担者でもある櫻庭准教授・室田名誉教授との連携体制で行い、両大学に整備されたクリーンルームを最大限に活用する体制を敷いている。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

A. Ge ゲートスタック欠陥の定量評価手法の開発

Ge ゲートスタックは、Si のそれとは異なり、絶縁膜/Ge 界面だけでなく絶縁膜中にも多数の欠陥が存在している。前者は界面準位あるいはファーストトラップ、後者はボーダートラップと呼ばれ、それぞれの欠陥密度は D_{it}, N_{bt} として表記される。Si 時代にはボーダートラップは問題とされることはなかったため、本研究ではまず N_{bt} の定量評価手法を確立した。評価手法として、半導体中や界面の欠陥を精密に測定できる接合過渡容量法(DLTS)を採用した。図 1 に、DLTS のパルス電圧（V_p）を変化させた際の、p-Ge ゲートスタックの DLTS 信号（$\Delta C/C(\infty)^3$）を示す。V_p が低い場合と高い場合とで DLTS 信号の変化の割合（傾き）が異なっている。これは、低 V_p で得られる信号は界面欠陥起因で、高 V_p で得られる信号はボーダートラップ起因であることを示している。

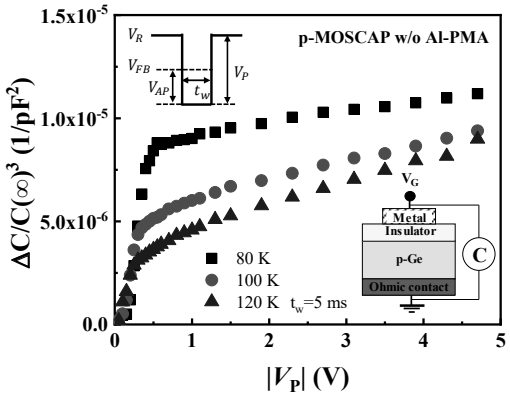


図 1 p-Ge MOS キャパシタに対する DLTS 信号の V_p 依存性.

この結果をもとに、DLTS 信号を分離・解析して得られた Ge n-及び p-Ge MOS キャパシタの N_{bt} を図 2 に示す。ここで、代表者の保有する Ge ゲートスタックの欠陥低減技術である Al-PMA の有無による N_{bt} の違いも示している。Al-PMA を施すことで p-Ge に関しては N_{bt} が低減できている一方、n-Ge はもともと N_{bt} が大きく、また Al-PMA の効果が小さいことが分かる。

以上、DLTS 法による N_{bt} の定量評価手法を構築すると同時に、n-MOS の品質向上の必要性を改めて認識するに至った。

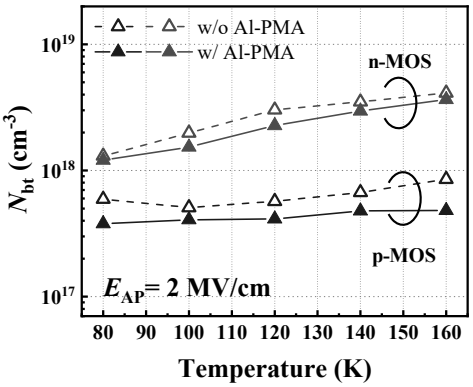


図 2 n-, p-Ge MOS キャパシタの N_{bt} の温度依存性.

B. 高品質ゲートスタックの形成

A. で述べたとおり、高性能 Ge CMOS の実現には、電流の ON/OFF を司るゲートスタックの高品質化が必須である。Ge 上のゲート絶縁膜材料として、酸化イットリウム (Y_2O_3) が優れた特性を有するとの報告があり、本研究では新たなアプローチでの Y_2O_3 形成を試みた。具体的な方法は、Ge 上に金属 Y を蒸着またはスパッタリングによって成膜した後、酸素雰囲気で熱酸化を行って Y_2O_3 としている。この Y_2O_3 をゲート絶縁膜とした MOS キャパシタは、ヒステリシスの小さい良好な容量-電圧 (C-V) 特性を示し (図 3(a))、また D_{it} は 10^{10}～10^{11} eV^{-1}cm^{-2} 台と、Ge MOS としては極めて良好な値であった。ヒステリシスは N_{bt} に対応することから、本手法では N_{bt} も低減できていることが期待される。この Y_2O_3 は MOSFET のゲート絶縁膜としても問題なく機能しており (図 3(b))、今後 n-MOS の高性能化への展開が期待できる。

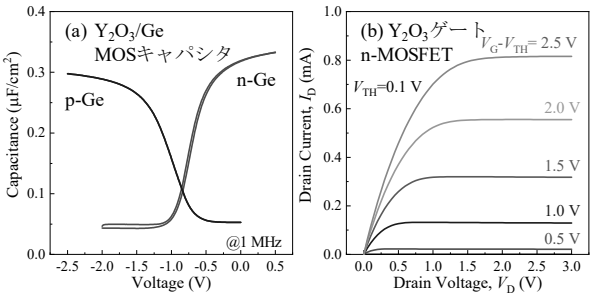


図 3 (a) Y_2O_3 ゲート Ge MOS キャパシタの C-V 特性.
(b) Y_2O_3 ゲートを有する Ge n-MOSFET の出力特性.

C. GOI 基板の作製と高品質化

Ge を実用化に供するためには、薄膜 Ge 結晶が絶縁膜を介して支持基板上に形成された「GOI 構造」が必須である。GOI の作製方法として、高品質化・薄膜化が可能な「Smart-Cut 法」を選択した (図 4)。Smart-Cut による GOI 作製の過程で、水素イオン注入に起因する欠陥によって伝導型が制御できない (n 形化ができない) という課題に直面した。熱処理などではこれらの欠陥の回復・改善が難しいことが判明したため、新たな方法として「イオン注入によって生じた高欠陥領域をエッチング除去した後に貼り合せ」「水素イオン注入後に欠陥フリーの層をエピタキシャル成長させる方法」を導入した (図 5)。図 6 にこれらの新たな方法で作製した GOI の伝導型と移動度を、ホール効果測定した結果を示す。従来法で作製した試料は 500℃での熱処理後に伝導型が n 形から p 形へと反転しているが、本研究で考案した方法では伝導型の反転が抑えられている。

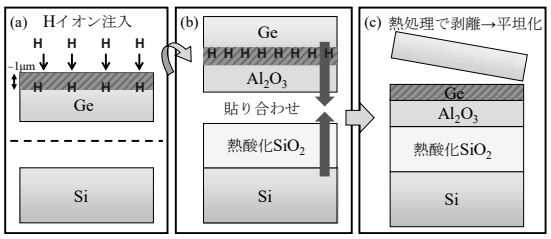


図 4 Smart-Cut 法.

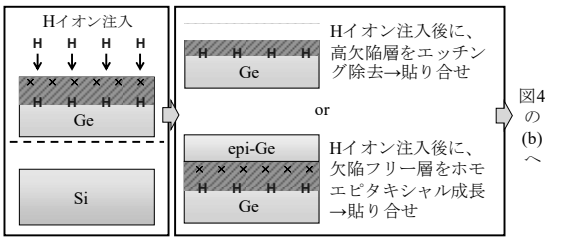


図 5 Smart-Cut の改善案. H 注入後に、欠陥層の除去または欠陥フリー層のエピ成長を行う.

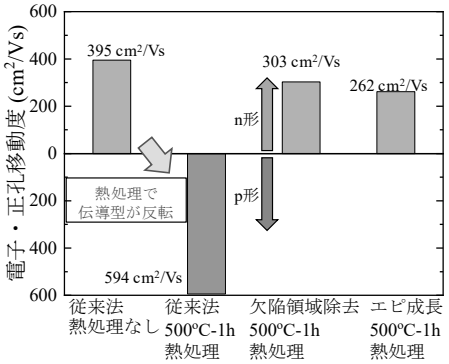


図 6 新・旧の Smart-Cut 法で作製した GOI 試料のホール効果測定結果 (伝導型、移動度).

以上、本研究が目標とする Ge CMOS 実現に向けた基盤技術 (ゲート、GOI) の構築に有意義な進展が得られた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトに関連した国際ワークショップ（WS）として、「12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics」が開催され、プロジェクト関係者の多くが参加した。この WS では、IV 族を含む様々な半導体材料の基礎/応用研究に関する最新の研究成果が数多く報告され、学内外また国内外の研究者との交流が活性化された。実際に、本プロジェクト分担者の一人である温(九州大博士後期２年)はこの WS の後、WS 参加者の所属するベルギー・大学際微細電子工学中央研究団（imec）へ Ge MOS の欠陥評価をテーマとした２か月間のインターンシップに参加している。さらに、このインターンシップを契機に、IV 族半導体ゲートスタックの欠陥評価を行う共同研究の計画が進んでいる。

(WS の詳細)

- 12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics
- 開催日: 2018 年 12 月 6 日-7 日
- 場所: 東北大学電気通信研究所
- 参加人数: 32 名

［４］成果資料

（１）Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Border trap evaluation for $SiO_2/GeO_2/Ge$ gate stacks using deep-level transient spectroscopy, J. Appl. Phys. 124 (2018) 205303 1-11.

（２）Keisuke Yamamoto, Kohei Nakae, Dong Wang, Hiroshi Nakasima, Zhongying Xue, Miao Zhang, Zengfeng Di, Ge field-effect transistor with asymmetric metal source/drain fabricated on Ge-on-Insulator: Schottky tunneling source mode operation and conventional mode operation, Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019) SBBA14 1-7.

（３）Keisuke Yamamoto, Kohei Nakae, Dong Wang, Hiroshi Nakasima, Zhongying Xue, Miao Zhang, Zengfeng Di, Ambipolar operation of asymmetric Ge Schottky tunneling source field-effect transistor fabricated on Ge-on-Insulator, Extended Abstract of 2018 International Conference on Solid State Device and Materials, 543-544, 2018/9/13.

（４）Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Border trap evaluation using deep-level transient spectroscopy for $SiO_2/GeO_2/Ge$ gate stacks, 12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-02, 2018/12/6.

（５）Keisuke Yamamoto, Kentaro Akiyama, Kento Iseri, Wei-Chen Wen, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Fabrication of Ge MOS Capacitor with Metal Yttrium Oxidation, 12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, I-08, 2018/12/6.

（６）秋山 健太郎、井芹 健人、温 偉辰、山本 圭介、王 冬、中島 寛, 電子ビーム蒸着による Ge 上への Y 酸化物系ゲート絶縁膜形成, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-145-4, 2018/9/21.

（７）Wei-Chen Wen、Keisuke Yamamoto、Dong Wang、Hiroshi Nakashima, Low-temperature fabrication of Ge MOS capacitors for spintronics and flexible electronics application, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-PA5-14, 2018/9/20.

（８）仲江 航平、薛 飛達、山本 圭介、王 冬、中島 寛、Miao Zhang、Zhongying Xue、Zenfeng Di, Smart-Cut 法を用いて作製した Ge-on-Insulator の極性変化, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-233-10, 2018/9/19.

（９）井芹 健人、秋山 健太郎、温 偉辰、山本 圭介、王 冬、中島 寛, Ge 上への Y 酸化物ゲート形成と MOSFET 応用, 2018 年(平成 30 年度)応用物理学会九州支部学術講演会, 8Bp-9, 2018/12/8.

採択回数 (1) 2 3
(萌芽・若手)

採択番号：H30/A35

量子デバイスとフォノン技術に関する研究

［1］組織

研究代表者：
高田　真太郎
（産業技術総合研究所・計量標準総合センター）
通研対応教員：
大塚　朋廣（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：

延べ参加人数：2 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	107,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

（2－1）研究目的

従来のエレクトロニクスにおいては、電子の集団としての自由度のみを活用してエレクトロニクス機能が構成されてきた。この状況を発展させるために、個々の電子の自由度を活用するナノエレクトロニクスや、電子の量子状態まで活用する量子エレクトロニクスが、近年活発に研究されるようになってきている。本研究ではこれらの新しいエレクトロニクスを、さらにフォノンの自由度を組み合わせて、新しい機能を創成する基盤技術の研究を推進する。フォノンという新しい自由度を取り入れることによって、ナノデバイスにおける単一電子エレクトロニクスや、新材料の活用等を発展させる。

2－2）研究概要

本共同研究は本年度が第１年度の実施となった。平成 30 年度はナノ・量子技術とフォノン技術を活用した新デバイスやフォノン技術の材料汎用性についての技術検討を行った。

リモートでの打ち合わせを活用しつつ、電気通信研究所を訪れての詳細な研究打ち合わせの実施については、

・平成 31 年 2 月
参加人数 2 人
・平成 30 年 10 月
参加人数 2 人

の日程で行った。
研究所を訪れての打ち合わせでは、極低温下での高周波電圧の導入方法や雑音のフィルターによる低い電子温度の実現の仕方など、技術的な面についても有益な情報交換を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

1．ナノ・量子技術とフォノン技術を用いた新デバイスの研究

近年、人工微細構造を活用することにより、単一電子操作、量子状態操作など、ナノ、量子エレクトロニクスの基礎技術が発展してきた。この技術とフォノン技術を組み合わせて有用なデバイスを創製する試みも開始され、例えば量子ドットと表面弾性波を組み合わせた単一電子輸送等の実験報告がなされている。しかしながら有用な機能を発現させたシステムとして利用するには、まだ実現されていない基礎デバイスも多い。

そこで本研究ではこの基礎デバイスの研究を行った。表面弾性波等で伝搬される電子に対する検出器の検討を行い、伝搬される電子とのクーロン相互作用を利用した方式を検討した。量子ドットを用いて電子的なラチェット機構を作製し、伝搬電子の電荷により量子ドット状態の変化を生じさせ、検出器として利用する方式である。この方法では、伝搬電子と量子ドットとの相互作用のエネルギーとしては、1 meV 程度、時間として、数百ピコ秒程度が想定される。このような時間スケールでラチェット機構を動

作させるためには、GHz 帯のパルス電圧を用い、量子ドットを電荷に非常に敏感な状態に遷移させることが鍵となると考えられる。そのため、本年度はまずGHz 帯の高周波電圧信号を効率よく試料に印加できるような測定系の整備等を行った。

２．フォノン技術の材料汎用性についての研究

近年、エレクトロニクス等への利用に向けて、新しい材料の研究が活発に進められている。電子輸送における散乱が少なく、特殊なバンド構造を利用できるグラフェン、室温においても長い量子状態保持を実現できるダイアモンド、超高性能な量子ビットを構成できる同位体制御シリコンなど魅力的な材料が多く存在する。このような材料とフォノン技術を組み合わせれば、新機能を創生できると考えられるが､圧電効果が小さい等の理由により､課題も多い。

そこで本研究では、表面弾性波技術等のフォノン技術を、多くの材料で利用するための基礎技術を検討した。圧電効果の大きい材料と接合させることによって、新材料中にフォノン効果を発現させる等のアプローチの基礎検討、試作等を実施した。圧電効果の大きな材料としては、$LiNbO_3$や$LiTaO_3$などがよく知られているが、本研究では、グラフェンやシリコンなど他の材料と組み合わせての利用が報告され、圧電効果の非常に弱い材料で表面弾性波を誘起するために用いられているZnOの活用を考えている。そこで、本年度はまずZnOを用いたデバイス作製プロセスを行うために必要な知識の下調べを行い、そのテストに着手した。今後は開発したプロセスを用い、まずは微細加工の技術が確立しているGaAsのデバイスに応用し､圧電効果が増大されることを確かめ、その後、グラフェンやシリコンといったデバイスに応用を進めていく予定である。

またこれらの研究においては特別支援分の研究費を活用することにより、効率的な研究推進、情報共有を行うことができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの実施により、フォノン技術の研究者と、量子技術の研究者の議論を行い、共同研究を深めることができた。これによりナノ・量子、フォノンを活用した新しいエレクトロニクスに向けた基礎技術の開発に貢献できると考えている。今後も共同研究を推進していくことを決めた。

［４］成果資料

（１）「結合量子細線における単一飛行電子の制御」
高田真太郎、Hermann Edlbauer、Jun-Liang Wang、Arne Ludwig、Andreas D. Wieck、金子晋久、Tristan Meunier、Christopher Bäuerle
日本物理学会２０１８年秋季大会、２０１８年９月１１日（口頭発表）

（２）“Charge and Spin Dynamics in a Quantum Dot-Lead Hybrid System”,
Tomohiro Otsuka, Takashi Nakajima, Matthieu R. Delbecq, Peter Stano, Shinichi Amaha, Jun Yoneda, Kenta Takeda, Giles Allison, Sen Li, Akito Noiri, Takumi Ito, Daniel Loss, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, and Seigo Tarucha,
International Symposium on Frontiers of Quantum Transport in Nano Science, Kashiwa, Japan, Nov. 9, 2018 (Invited, oral).

（３）“Research about quantum devices utilizing phonon”,
Shintaro Takada, Tomohiro Otsuka,
RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects、仙台、2019年2月21日（ポスター）

採択回数(1) 2 3
(国際)

採択番号：H30/A36

Effect of sample geometry on the damping mechanism of CoFeB magnetic thin films with perpendicular easy axis using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance spectroscopy

［1］組織
研究代表者：
Eli Christopher Inocencio Enobio
(Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)
通研対応教員：
Shunsuke Fukami (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：３人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	89,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

We demonstrate vector-network-analyzer ferromagnetic resonance (VNA-FMR) measurements of damping constant for CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular easy axis at reduced coplanar waveguide size (center conductor width w_{CPW}) and sample volumes. For characterizing CPW size and sample size dependence of damping constant, stack samples are deposited by dc/rf magnetron sputtering on Si/SiO_2 and Sapphire substrate respectively. From the substrate side, the stack structure is Ta(5)/CoFeB(1)/MgO/CoFeB(1.8)/Ta(5)/Ru(5). Numbers in parentheses are nominal thicknesses in nanometers. The target composition of $Co_{18.75}Fe_{56.25}B_{25}$ is used in this study. The samples are annealed at 300 ℃ under a 0.4 T magnetic field along the film normal direction.

For damping constant characterization with varying CPW size, 50-Ω impedance-matched CPWs are fabricated using photolithography and Ar ion milling. Conductor material is Cr/Au sputtered on Sapphire substrate. Cr is used as an adhesion layer. The CPW length is 4 mm and the center conductor width (CPW size) w_{CPW} is varied to 300, 150, 100, 50, 10, and 5 μm. Except for w_{CPW} of 50 μm, both ends of center conductor are tapered down or up to 50 μm to facilitate easy attachment of microprobes. Blanket film sample with dimension of 2 mm x 2 mm is placed top-side down at the center of CPW as shown in Fig. 1.

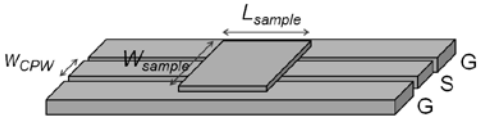


Fig. 1. Schematic for VNA-FMR measurement with varying CPW size (center conductor width) w_{CPW}.

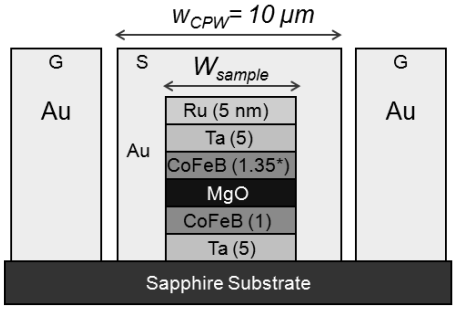


Fig. 2. Schematic for VNA-FMR measurement with varying sample size. CPW is deposited on top of patterned sample of length L_{sample} and width W_{sample}. Top CoFeB layer thickness shown is subtracted with dead layer thickness of 0.45 nm.

For damping constant characterization with varying sample size, we fabricate samples with length L_{sample} equal to 2, 1, and 0.5 mm, each with varied width W_{sample} of 20, 10, 8, 6, 4, 2, and 1 μm. The patterned samples are etched down to substrate surface by reactive ion etching. Same CPW material and design with w_{CPW} equal to 10 μm is deposited directly on top of the patterned samples as shown in Fig. 2. For the resonance measurement, we connect the ends of the CPW to port 1 and port 2 of vector network analyzer respectively. The frequency is scanned for different applied out-of-plane external magnetic field H_{out}. Multiple passes of frequency scan is used to increase the signal-to-noise ratio. We fit a superposition of Lorentzian, anti-Lorentzian, and linear functions to the VNA-FMR spectrum, from which resonance frequency f_r, and linewidth $\triangle f$ of each spectrum are determined. The linear function is added to remove the residual background signal after subtracting the experimentally obtained background.

［3］成果

（3－1a）研究成果

Figure 3 shows the S_{21} amplitude dependence of VNA-FMR signal from the CoFeB(1.8) layer of MTJ sample at varying w_{CPW}. We note the presence of 0.45 nm magnetic dead layer on top CoFeB [Nature Mater. 9, 721 (2010)], therefore the actual layer thickness is 1.35 nm. As expected, FMR amplitude increases when w_{CPW} is decreased consistent with reported prediction [Physica E 69, 253, (2015)].

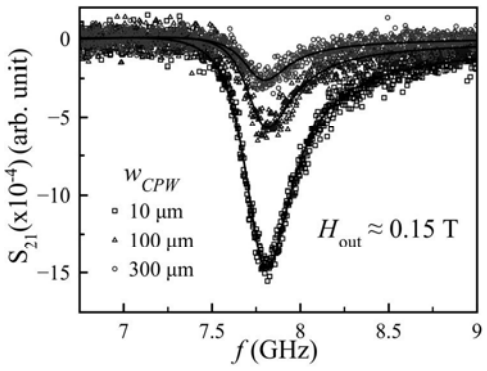


Fig. 3. CPW size dependence of VNA-FMR amplitude with constant external field H_{out} of 0.15T. Solid lines are result from fit.

Additionally, no distortion or shift of resonance peaks are observed for this sample indicating that increase of h_{rf} by reducing w_{CPW} down to 10 um introduced no nonlinear effects. To determine damping constant α and inhomogeneous broadening $\triangle f_0$, we use the following linear relation [IEEE Magn. Lett. 6, 5700303 (2015)]

$$\triangle f = 2\alpha f_r + \triangle f_0 \qquad (1)$$

The α and $\triangle f_0$ are determined from the slope and intercept of linear fit of the f_r dependence of $\triangle f$. For out-of-plane VNA-FMR using ultrathin sample with perpendicular easy axis, we show that within experimental uncertainties the α and $\triangle f_0$ are independent of CPW size as shown in Fig. 4. The result reveal that at reduced CPW size, extrinsic contribution to damping parameter is minimal, and due to improved signal-to-noise ratio the measurement error is reduced.

Due to improvement of FMR signal amplitude at reduced CPW size, evaluation of α and $\triangle f_0$ at reduced sample volumes could be readily achieved. Subsequently we evaluate the sample size dependence of α and $\triangle f_0$ using 10 μm CPW size as shown in Fig. 5.

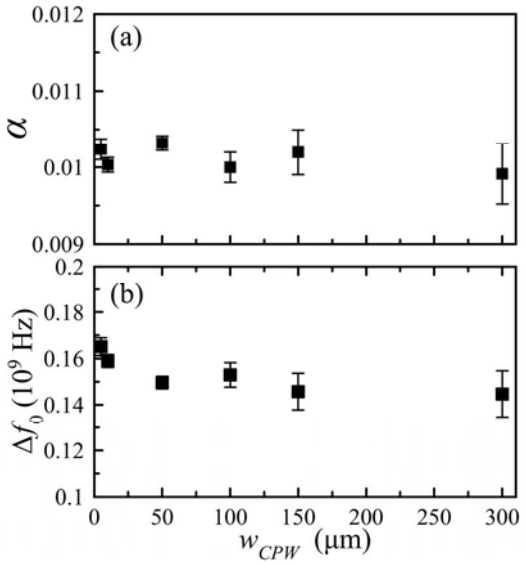


Fig. 4. CPW size dependence of (a) damping constant and (b) inhomogenous broadening.

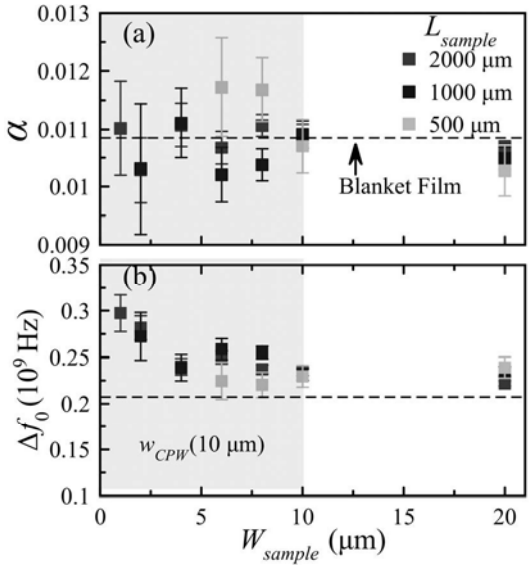


Fig. 5. Sample size (varying length L_{sample} and width W_{sample}) dependence of (a) damping constant and (b) inhomogenous broadening. Broken line is result using 2 mm x 2 mm blanket film by standard VNA-FMR measurement. Coplanar waveguide size is fixed at 10 μm.

Using sample length L_{sample} of 2 mm, we characterized damping parameter of top CoFeB layer down to sample width W_{sample} of 1 μm. We show that within experimental error, α is independent of sample size and is comparable to value measured by standard VNA-FMR [IEEE Magn. Lett. 6, 5700303 (2015)] using blanket film.

The observed increase in $\triangle f_0$ at reduced W_{sample} might be attributed to edge effects to the extrinsic damping especially when W_{sample} is much smaller than the CPW width[IEEE TRANS. ON MAGNETICS, 47 (2011)]. Also as expected, reduction of sample volume reduces the FMR signal amplitude as demonstrated by systematic increase of measurement error bars.

（３－１b）Achievement from a view point of international collaboration

This collaborative work enhances knowledge and capability exchange between the Physics Department of Mindanao State University-Iligan Institute of Technology, Philippines, and the Laboratory of Nanoelectronics and Spintronics, Tohoku University, Japan. The Mindanao State University-Iligan Institute of Technology is pursuing to become a research university, and the exposure of its faculty to international cooperative researches is valuable for the development of its advance research culture and capabilities.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The result established a method to characterize damping constant of samples with perpendicular easy axis at reduced sample volume. When signal-to-noise ratio is a concern, future VNA-FMR research may consider employing reduced CPW sizes. Also from the result obtained, intrinsic damping parameter is independent of sample size at the range of sizes studied. To study intrinsic damping parameter of patterned samples with perpendicular easy axis, one might consider measuring only the blanket film instead of processing into microscale or possibly nanoscale sizes to reduce characterization time. Possible industrial significance is the understanding that intrinsic damping value of CoFeB/MgO MTJ structure might possibly be preserved when scaling down to small devices.

［４］成果資料

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A37

超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究

［1］組織

研究代表者：
金谷　晴一（九州大学大学院システム情報科学研究院）

通研対応教員：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
津上 晃多（九州大学大学院システム情報科学府）

延べ参加人数：４人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	156,000 円

［2］研究経過

通信トラフィックの増大に伴い、アクセスならびにインターフェースの高速無線化が喫緊の課題であり、国内外で「100Gbit/s 無線」に対するニーズが顕在化している。テラヘルツ波(THz, 300GHz～3THz）の利用は課題解決のための有力な解である。本研究テーマ「超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究」では、将来の大容量テラヘルツ通信を実現するため、アンテナ及び送受信回路を集積化するための基盤技術を確立ことを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。本プロジェクトを開始する以前より、末松　憲治　教授（東北大学電気通信研究所)、及び本良　瑞樹　助教（東北大学電気通信研究所）と共に、Global Foundries 社45nm　SOI（Silicon on Insulator)プロセスを用いた集積回路設計における、プロセスルールなどについて議論を行ってきた。また、東北大、及び九大で使用している電磁界解析ツールや、集積回路設計用CAD tool、測定環境などについて整合性の確認などを行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

事前打合せ：
日時：平成30年5月2日（水）～3日（木）
場所：東北大学電気通信研究所
参加者：末松　憲治、本良　瑞樹、金谷　晴一
打合せ内容：超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナの設計、及び試作における、プロセスデザインルールに関する打合せと、測定装置の使用方法に関する打合せ。

研究打合せ：
日時：平成30年12月28日（金）
場所：九州大学大学院システム情報科学研究院
参加者：本良　瑞樹、金谷　晴一
打合せ内容：超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナの設計、及び試作における打合せ、および測定用プローブステーションに関する打合せ。

成果報告会：
日時：平成31年2月21日（木）
場所：東北大学電気通信研究所
参加者：末松　憲治、本良　瑞樹、金谷　晴一
発表内容：超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナの設計に関する詳細についての発表。

その他の打合せ：
電子メールによる打合せ（多数）
打合せ内容：
・Global Foundries 社45nm SOI プロセスにおける、層間絶縁膜、及びメタルレイヤに関する情報交換。
・Global Foundries 社45nm SOI プロセスにおける、デザインルールに関する情報交換
・試作レイアウトの提出、及びデザインルールチェックの実行に関する打合せ。

［3］成果

（3－1）研究成果

テラヘルツ波は、マイクロ波やミリ波よりも周波数が高く、波長が短い電磁波であるため、空気中よりも高い誘電率を持つ誘電体に、電磁波が引き込まれる現象が起こる。そのため、放射方向が基板表面であるオンチップ型アンテナには基板上面への単方向指向性が必要不可欠である。

図1にアンテナ素子のアンテナ構造を示す。本アンテナでは、従来型のスロットアンテナの裏面に電気的に接続のないフローティングメタルを配置している。そして、表面メタルのスロットからメタルの端の長さを2分の1管内波長とすることで、図2に示すように表面にのみ電界の定在波が生じ、単方向指向性を実現することができる。また、誘電体基板の厚さによる影響がマイクロストリップアンテナより小さく、薄型に設計することが可能である。

以上2つの理由から、本スロットアンテナは積層構造である集積デバイスと一体化するアンテナに適している。

さらに、提案したアンテナをアレイ化することにより指向性特性の向上を行った。

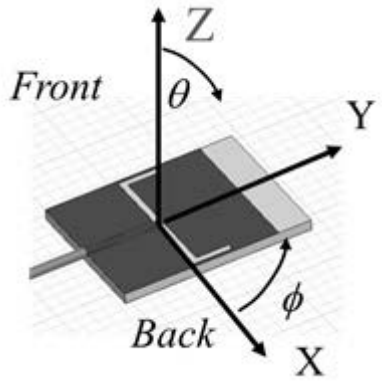


図1. アレイアンテナ素子のアンテナ構造

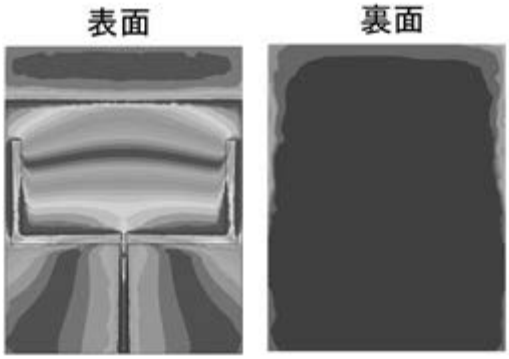


図2. アンテナ素子の電界分布

本共同プロジェクトにより、本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、45nm SOI集積回路プロセスを使用し、アンテナ素子を設計した。

第2に、アンテナ素子2つを用いて、1×2アレイアンテナを設計した。なお、設計には三次元電磁界シミュレータ（HFSS、Ansys）を用いた。図3に、45nm SOIプロセスの層状構造において、アンテナの実現に用いる層の概略図を示す。

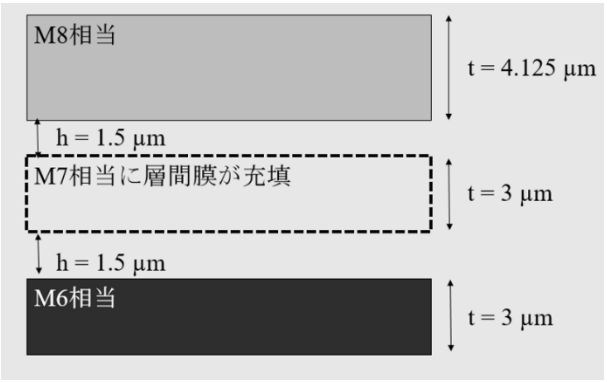
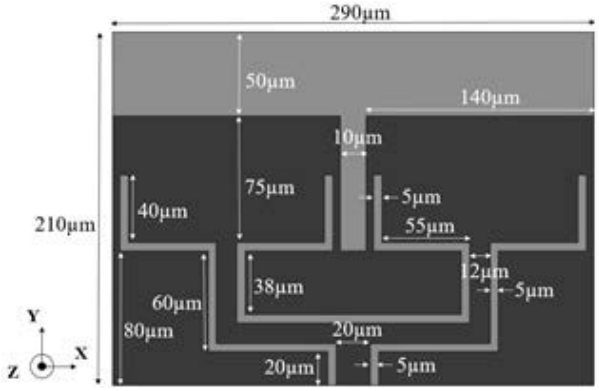


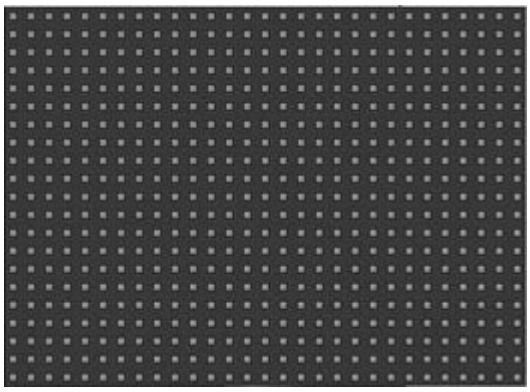
図3. 45nm SOIプロセスにおいてアンテナを実現する層の概略図

また、集積回路プロセスにはメタルの長さや幅、ギャップ幅などに制限を設けるデザインルールが存在する。表面メタルにおいては、ギャップ幅が2.8μm以上4μm以下であればメタルの長さが35μm以上配置することができない。そのため、アンテナの共振長を確保するためにはコプレーナ線路のギャップ幅とスロット幅を全て5μm以上にして設計しなければならない。また、裏面のフローティングメタルにおいてもデザインルールがあり、6μmごとに4μm四方のギャップを配置しなければならない。そのため、従来のベタメタルを用いることはできず、メッシュ状のフローティングメタルとした。

上記条件を適用して1×2アレイアンテナを設計した。図4にアンテナ構造を示す。

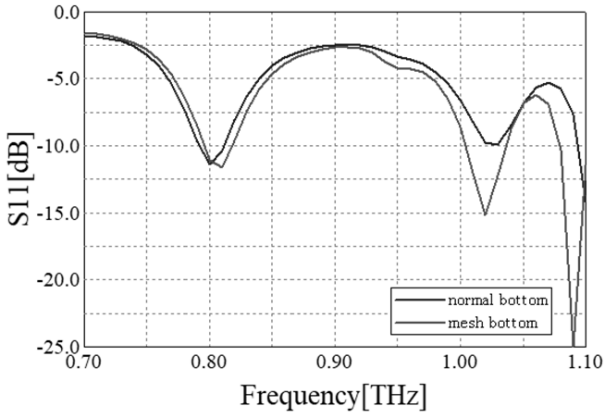


(a) アンテナ構造

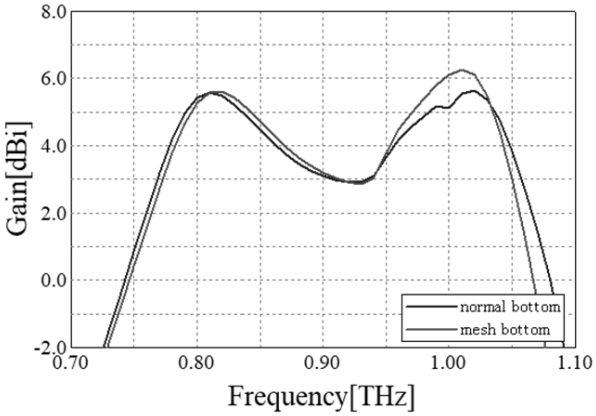


(b) メッシュ状フローティングメタル

図4. 45nm SOIプロセスにおける1×2アレイアンテナレイアウト



(a)反射係数の周波数特性



(b)利得の周波数特性

図5. 45nm SOIプロセス用1×2アレイアンテナの反射係数と利得の周波数特性

図5に45nm SOIプロセスによるアレイアンテナの反射係数と利得の周波数特性を示す。グラフには青色実線でメッシュ状フローティングメタルの特性を、赤色実線で従来のフローティングメタル（ベタメタル）の特性を示している。図5(a)から0.81THzと1.02THzの2つの共振周波数が生じているのが確認できた。共振周波数に差を設けることで広帯域化を実現した。図5(b)から最大利得は1.01THzにおいて6.27dBiが得られている。また、帯域は0.78THzから1.04THzであり、帯域幅は260GHz、比帯域幅は28.6%であった。

以上の設計結果から集積回路プロセスのデザインルールを適用しても、本アンテナは高利得と広帯域が同時に達成できることが確認された。図6に放射パターンを示す。図より基板上面に良好な利得特性が得られ、同時に、基板裏面への放射の抑制が得られた。現在、Global Foundries社45nm SOIプロセスにより本レイアウトの試作を行っている。

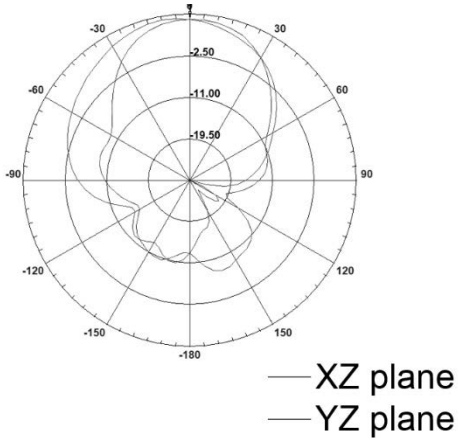


図6. 1×2アレイアンテナの放射パターン

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおける研究成果の一部は、平成30年度 共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表により公開した。特にプロセス分野やセンシング分野の研究者と活発な議論をすることができ、今後の異分野融合の研究分野への発展が期待できる。

［4］成果資料

（1）Kota Tsugami, Tanemasa Asano, Haruichi Kanaya,”Wideband slot array antenna for 1 THz band imaging device”, Proc. the 20th Electronics Packaging Technology Conference, pp. USB_1-4, Dec., 2018.

関連成果資料

（1）Haruichi Kanaya, Kota Tsugami, Yang Zhou, Kazutoshi Kato, “600GHz wideband planar array antenna on a chip”, Proc. SPIE 10917 photonics west 2019, 109171P (8 pages), doi: 10.1117/12.2506432, 1 March 2019.

採択回数　(1)　2　3
(若手)

採択番号：H30/A38

多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究

［1］組織
研究代表者：
吉田　賢史（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）
通研対応教員：
本良 瑞樹（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
鬼丸　隆太郎(鹿児島大学大学院理工学研究科)
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
西川　健二郎（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）

延べ参加人数：５人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	206,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

5G と呼ばれる第 5 世代の移動通信システムについての研究開発が活発化してきている.5G においては，MassiveMIMO（Multi Input Multi Output）や，キャリアアグリゲーション技術に加え，今までの 4G では使われていないミリ波帯通信についても検討されている. 5G 端末では，複数の無線通信システムを搭載し，適応的に切り替えるヘテロジーニアスネットワークの実現が期待されている．本提案では，従来のスマートフォンに，60GHz 帯の通信システムを搭載した小型携帯端末の実現を見据え，60GHz 帯のアンテナに着目する．端末の位置や向きによらず安定した通信を行うための 60GHz 帯 3 次元指向性制御アンテナを提案し，試作および測定により 60GHz 帯における 3 次元指向性制御の実現性を示すことを目的とする．本プロジェクトは，本年度が第１年度であった．そこで，本年度は，60GHz 帯パッチアンテナに関する研究を展開した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．まず第１に，大規模アレイアンテナへと発展させるために必要となる銅ボール接続実装技術およびミキサを用いた 3 次元指向性測定技術の検証を，単素子パッチアンテナにより行った結果について報告する．

第２に，上述の技術を用いた 2×2 パッチアレイアンテナの設計，試作，測定を行い，利得が 10dBi 以上となる領域を評価した結果についてまとめる．

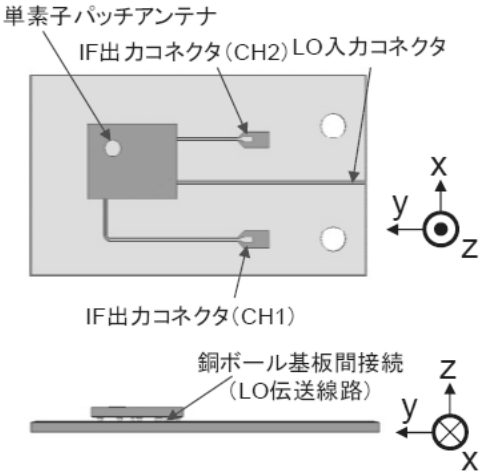


図 1 銅ボール接続とミキサを用いた 3 次元指向性測定技術の検証のための単素子パッチアンテナ

図 1 に銅ボール接続とミキサを用いた 3 次元指向性測定技術の検証のための 60 GHz 帯単素子パッチアンテナ構造を示す．多層基板を 2 枚銅ボール接続技術により積層している．3 次元指向性測定において，本アンテナは受信アンテナとして動作させるため，アンテナで受信した 60 GHz 帯の信号を，ミキサによって 1MHz の信号に周波数変換を行う．ミキサはアンテナ基板裏面にフリップチップ実装されている．単素子パッチアンテナは 2 点給電の直交 2 偏波アンテナであるため，ミキサは各給電点に 1 つずつ実装した．したがって，IF 出力コネクタは 2 つ存在する．LO 信号は，ウィルキンソンディバイダによって分配され各ミキサに供給される．図 2 は試作

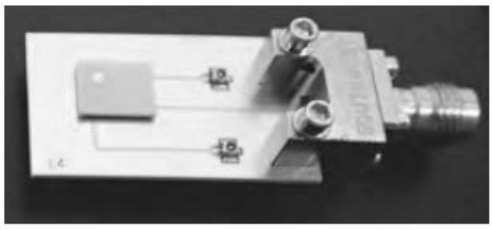


図2 試作した単素子パッチアンテナ

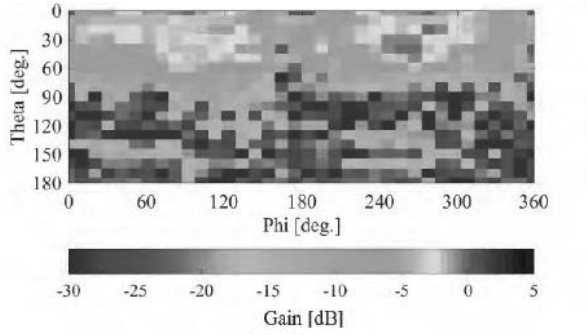


図3 60 GHz における3 次元放射パターンの測定結果

したアンテナの写真である.

図3 はIF 出力をMATLABでデータ処理を行って得られた3 次元放射パターンである.測定周波数は60 GHz であり，最大値を 0 dB に正規化した相対利得で示している．解析結果と同様の傾向が得られ，課題も多いが提案手法の有効性について第一次検証を行うことができた.

次に，上述の単素子パッチアンテナを用いて得られた成果を基に,2×2 アレイアンテナの設計,試作,測定を同様に行った．図4 に電磁界解析モデルを示す．単素子の場合と同様に，基板2 枚を掘りこみつき銅ボール接続技術で積層する構造とした.LO 信号は同軸コネクタを用いて外部から供給し，アンテナで受信した信号を図5 に示すアンテナ基板裏側に実装するパッシブミキサにより 1MHz の IF 信号に変換する．IF 信号は，全8ch であるが，今後の大規模ア

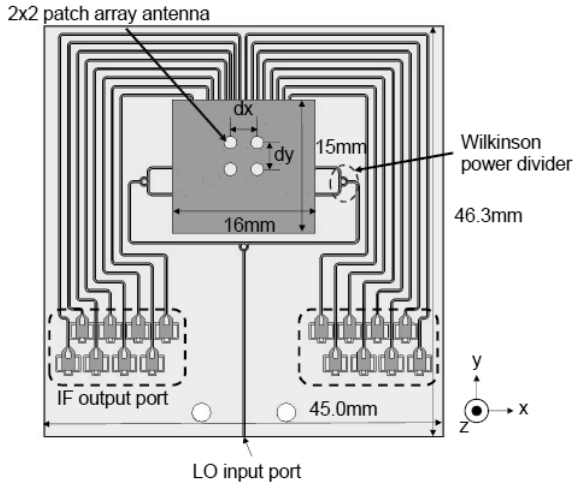


図 4　3 次元放射パターン測定のための 60GHz 帯2×2 パッチアレイアンテナ

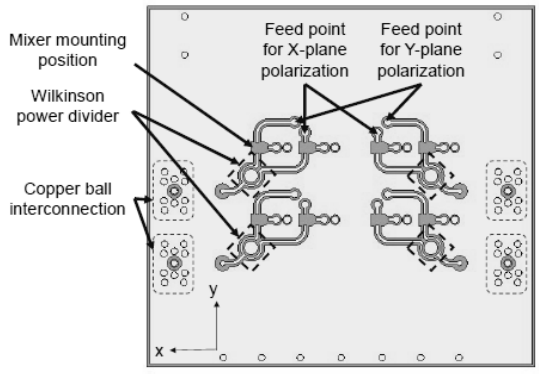


図5　アンテナ基板の裏側

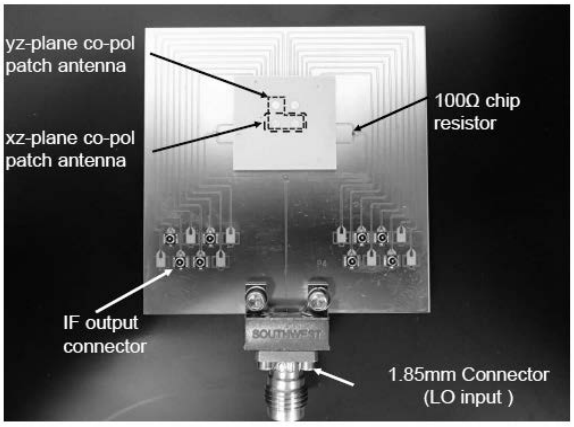


図6　試作アンテナの写真

レイ化に共用化できるように図4の基板ではIF コネクタを16 個実装できるようにした.オシロスコープで IF 信号の測定を行い，PC に波形を保存する．そのファイルをMATLAB で処理し，3 次元放射パターンを得る．今回は，3 ビット移相器（45 度分解能）を

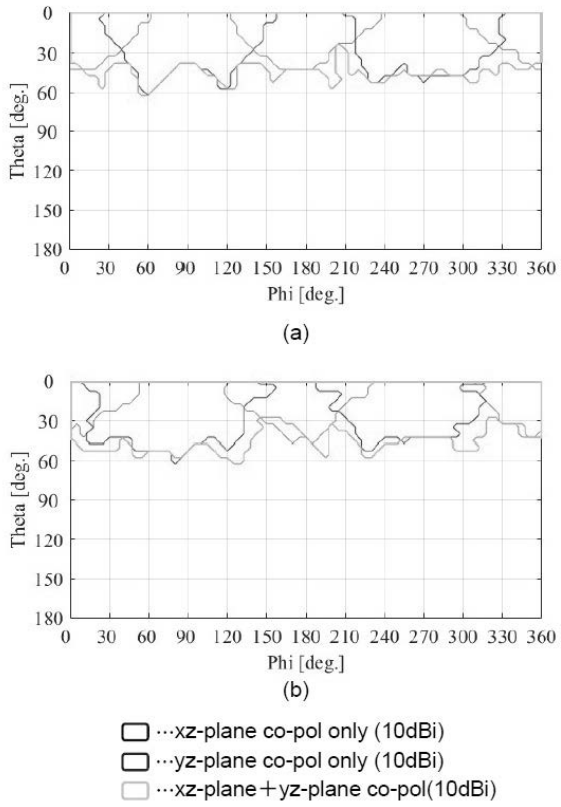


図7　60GHz における利得が 10dBi 以上となる領域: (a)解析結果, (b)測定結果

想定し, 位相差をつける処理も MATLAB 上で行い, 各位相差状態での 3 次元放射パターンを計算した.

図 6 は, 試作したアンテナの写真である. LO 信号の分配で用いたウィルキンソンディバイダ部には, 100 オームのチップ抵抗を実装した.

図 7 は, 60GHz における利得が 10dBi 以上となる領域である. 2 点給電のパッチ素子を用いているため, それぞれの給電点のみを用いた結果を青および赤線で示している. 2 つの給電点から同時に給電し, 指向性合成を行った結果を緑線で示している. 片側の給電点のみから給電した場合は, カバーできない領域があるが, 両方の給電点を用いることで Phi 方向に対して 360 度の範囲で利得が 10dBi 以上となる結果が得られ, 提案アンテナ構成の有効性を確認した. 測定の結果, 解析結果と傾向が一致しており, 設計の妥当性も合わせて確認できた.

なお, 特別支援分の研究費により, より多くのミキサチップを購入することができたため, 1 個のみならず複数の実装を行うことができ, 今回報告する成果が得られた. もし予算がなかった場合には, チャレンジ可能な回数が減るため, 実装失敗や測定時の取り扱いによる故障などにより, 今回の成果は得られなかった可能性もある. したがって, 特別支援分の研究費により, 1 個だけではなく, いくつかバックアップを用意する余裕ができた点は, 非常に有用であった.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究は, まだ発展途上段階であり, 当初述べた大きな目的達成のため, 今後も着実に１つ１つのステップをこなしつつ, 成果を挙げていきたい. ６G などの次世代セルラーネットワークシステムなどの新しい通信規格での採用が期待できる独創的な技術であり, 今後の発展が期待されている.

［４］成果資料

（１）吉田賢史, 鬼丸隆太郎, 西川健二郎, “60 GHz 帯単素子パッチアンテナを用いた銅ボール接続実装技術および3 次元指向性測定技術の検証実験,” 信学総大, C-2-55, March 2019.

（２）R. Onimaru, S. Yoshida, K. Nishikawa, “60 GHz dual-polarized 2x2 phased array antenna using copper ball interconnection,” Global Symp. on Millimeter Waves, May 2019. (accepted)

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
(先端)

採択番号：H30/A39

水蒸気スペクトル検出用広帯域２GHｚサンプルホールド回路の開発

［1］組織

研究代表者：
川口　則幸（自然科学研究機構国立天文台）
通研対応教員：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
河野　裕介（自然科学研究機構国立天文台 水沢 VLBI 観測所）
小山　友明（自然科学研究機構国立天文台 水沢 VLBI 観測所）
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：10 人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	140,000 円

［2］研究経過

現在５００MHｚに帯域制限されているサンプルホールド回路（S/H 回路、東北大学電気通信研究所末松憲治教授グループが２８GHz 帯で開発）帯域幅を２GHｚと４倍に拡張し、大気中水蒸気分子が放射する２２GHz 帯電波スペクトル（１６－２４GHz）を計測することを目的とする。最適なアンチエリアシングフィルタの設計開発を行った。

水蒸気分子放射スペクトルを広帯域で計測することで、大気中水蒸気と水滴を分離、計測することを可能にする。大気中水滴（雲）電波を吸収するが、水蒸気吸収と伝搬遅延を生じさせる。大気吸収量を正確に求めることで、電波天文観測における天体絶対輝度観測補正精度を向上させるとともに、大気遅延影響で生じる大きな鉛直計測誤差を軽減し、電波測位計測（GPS や VLBI）計測精度を向上させることを目的に本研究行われる。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。
以下，研究活動状況の概要を記す。

［研究打合せ］
日時：平成 30 年 8 月 24 日(金)
場所：国立天文台
出席者(敬称略)：川口・河野・小山・末松

日時：平成 30 年 9 月 20 日（木）
場所：東北大学電気通信研究所
出席者(敬称略)：川口・末松・本良

［研究打合せ，共同プロジェクト研究発表会］
日時：平成 31 年 2 月 21 日（木）
場所：東北大学電気通信研究所
出席者(敬称略)：川口・末松・本良

［3］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に、１６－２４GHz 帯の広帯域電波スペクトルを8Gsps で量子化するためには、１６－２４GHz 帯のアンチエリアシングフィルタが必要である。実際のサンプリング周波数は、2n 点でフーリエ変換を行ったときに周波数間隔が正 MHz になるようにするために８１９２MHz で行う。すなわち、１６．３８４GHz から２４．５７６GHz を通過帯域とするフィルタが必要である。しかし、このようなフィルタは市販されておらず、特別に設計・製作を行うことが必要である。平成２９年度の国立天文台研究費によって、必要なフィルタの設計を行った。ここでは、この設計に基づいたフィルタを製作して既存の水蒸気スペクトル検出器に導入し、水滴と水蒸気スペクトルの分離性能が向上することを確認する。

研究は電気通信研究所末松憲治教授、本良瑞樹助教、国立天文台河野裕介助教、小山友明特任専門員

の協力によってなされた。

第２に、図１に本研究の物件費で購入した帯域通過フィルタの特性を示す。設計値の３ｄＢ帯域１６．３８４GHz から２４．５７６GHz に対して１６．２９GHz から２４．５９GHz と若干帯域幅が広くなっているが、ほぼ設計通りの帯域特性を実現した。１０段の楕円型フィルタの設計により、鋭い肩特性を有しており、かつ挿入損失も０．２dB 以下とすることができた。このフィルタは、８GHz 帯域幅の高次モードサンプリングに最適化されたフィルタとして、今後とも電波天文観測に幅広く利用できる。

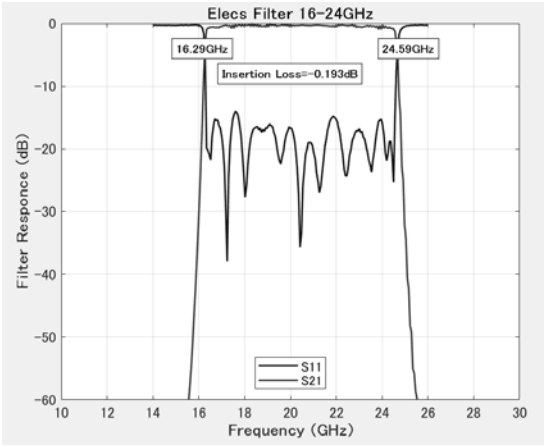


図１　本研究で製作した帯域通過フィルタの特性

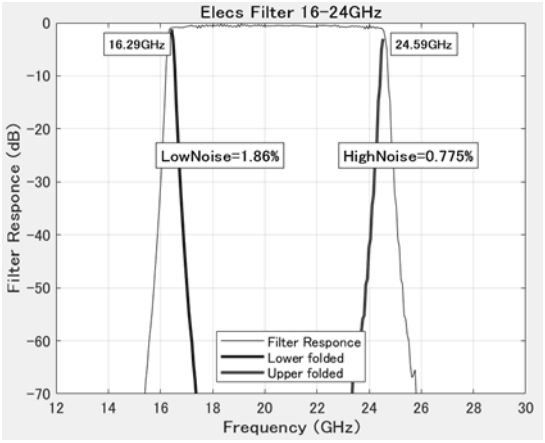


図２　１６．３８４GHz でサンプリングした時の折り返し雑音特性

図２に、１６．３８４GHz でサンプリングした時の折り返し雑音特性を示す。低域側で約２%の折り返し雑音が、高域側では１%以下の折り返し雑音で、十分小さく抑えることができた。

このフィルタを国立天文台が開発した水蒸気ラインプロファイラに導入したところ、図３に示すように低域側の折り返し雑音が十分小さく抑えられ、水蒸気スペクトルの１６．４GHz までの低域側スペクトルを忠実に再現することができた(図中赤印部分)。

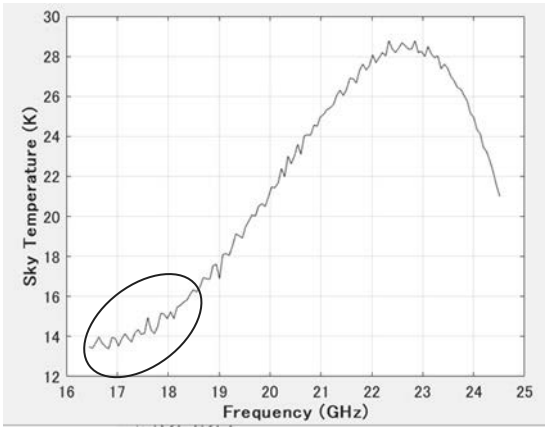


図３　新規開発した専用フィルタによる水蒸気スペクトルの計測結果

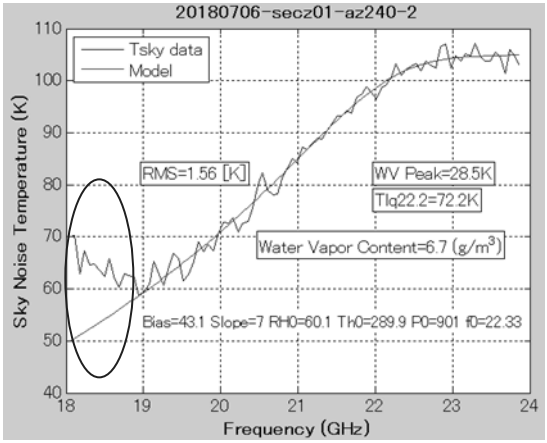


図４　市販のフィルタを使用した時の水蒸気スペクトルの計測結果

図４はこれまでの市販フィルタによる計測結果を示す。１９GHz 以下で折り返し雑音の影響を受けていることが明らかに分かる。低域側のスペクトルは、雨滴と水蒸気のスペクトルを分離し、雲や雨天時における水滴量と水蒸気量を分離するうえで重要である。新しいフィルタの導入によって水蒸気のみの計測をより正確に行えるようになった。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究は電気通信研究所末松憲治教授の強力な支援で大きな成果をあげることができた。今後は、さらに高域側の２４GHz を超えるスペクトルの検出も行い、より正確な水蒸気量の計測を行っていきたい。

これは、集中豪雨の早期予測や、水蒸気爆発の火山噴火予知にも役立てられる。今後とも共同研究を進めていきたい。

［4］成果資料

N.Kawaguchi, “Atomspheric Water Vapor Profiling with a wideband digital spectrometer,” FY2018 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects
“Compass for Next Generation ICT” p.p153-166, Feb.2019

採択回数 (1) 2 3
(先端・萌芽)

採択番号：H30/A40

SHF 帯用平面型電磁ノイズ抑制体の機構解析および設計に関する研究

［1］組織
研究代表者：
室賀　翔（秋田大学大学院理工学研究科）
通研対応教員：
栫　修一郎（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
遠藤　恭（東北大学大学院工学研究科）
田中　元志（秋田大学大学院理工学研究科）

延べ参加人数：5 人

研究費：
物件費　97,000 円
旅費　104,000 円

［2］研究経過

本研究では，第5世代移動通信システムで利用される SHF 帯において動作する，磁性体を利用した平面型の電磁ノイズ抑制素子を試作し，試作した素子を SoC や SiP などの多機能・高密度・多周波数で動作するデバイスに適用した場合のノイズ抑制機構および回路定数への影響を明確化し，その材料・寸法設計指針を構築することを目的とした。

具体的には， SHF 帯(ここでは 5G で用いる 5-10 GHz を抑制周波数帯域と設定)の電磁ノイズ抑制を目的として $Co_{85}Zr_3Nb_{12}$ 膜をコプレーナ線路(CPW)上に配置した。このとき，磁性膜の複素透磁率が CPW の回路定数に与える影響を，磁気回路解析を用いて定量的に予測する手法を提案し，その設計への有用性を明確化した。以下,研究活動状況の概要を記す。

模擬線路として試作した CPW の信号線幅は 8 μm, グラウンドギャップは 3 μm, 線路長は 2 mm であり，磁性膜がない場合に 50 Ω 整合するよう設計した。その上方に，500 nm 厚の $Co_{85}Zr_3Nb_{12}$ 膜を RF スパッタにより製膜した。膜の飽和磁化 $4\pi M_s$ は 1 T，異方性磁界 H_k は 1.2 kA/m，容易軸は CPW の線路に平行である。

図 1 は試作した $Co_{85}Zr_3Nb_{12}$ 膜の複素透磁率を表している。強磁性共鳴(Ferromagnetic resonance, FMR)周波数は 1.05 GHz である。ただし，CPW の細い線路上で生じる反磁界の影響により FMR 周波数は 7 GHz 付近に移動した。

測定および評価はネットワークアナライザ(N5244A, Keysight Inc.)を用いて計測した。伝送線路を T 型の等価回路と仮定し，計測した S 行列を回路定数(RLGC)に変換した。

一方で，CPW 断面の磁束の経路を磁気回路に置き換えて解析し，材料・設計パラメータと回路定数(R および L)の関係を以下のように明らかにした。ここで，静電容量(C)については，既に系統的な検討[S. Muroga et al., IEEE Trans. Magn. 45, 4804 (2009) 等]がなされている。

信号線周りの合成複素磁気抵抗 R_{total} とすると，配線の複素インダクタンス $L_m=L_m'-jL_m''$ は，$L_m=1/R_{total}$ $(=\Phi/I)$ の関係式から導出可能である。

$$L_m = L_m' - jL_m'' = 1/\mathcal{R}_{total} \quad (1)$$

これを用いて，図 2 に示す通り，配線インピーダンス

$$Z_{ser} = R + j\omega L = (R_{sig} + R_e + R_m) + j\omega L_m' \quad (2)$$

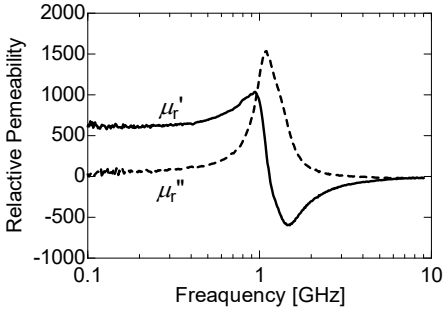


図 1 磁性膜の比透磁率

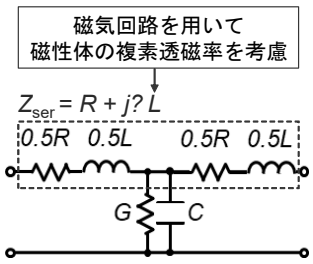


図2 CPWの等価回路

を導出した。ここでは，R_{sig}は線路単体の配線抵抗，R_eは渦電流損失による抵抗増加分，R_mはFMR損失による抵抗の増加分 $\omega L_m''$を表す。

図3にCo-Zr-Nb膜を配置した場合の配線抵抗を示す。6 GHz にノイズ抑制周波数帯域を得ることが出来た。さらに，磁性膜厚により抑制周波数をSHF帯で制御可能であることを示した。また，解析値は実験値とおおよそ一致し，提案する磁気回路解析が妥当であることを示した。

図4に式(2)で得られたR_mが極大となる周波数f_rおよびその極大値R_{mp}の膜厚依存性を示す。f_rについては，t_mの増加に伴って膜内の反磁界が増大するため，高周波数側にシフトする。f_rは，キッテルの式

$$f_r = \gamma\sqrt{4\pi M_s(H_k + N_d 4\pi M_s)/\mu_0}/2\pi, \quad N_d \approx t_m/w_s \qquad (3)$$

で導出可能である。ここで，γはジャイロ磁気定数，N_dは反磁界係数を表す。ここでは，$H_k \ll N_d 4\pi M_s$のため，f_rはt_mの平方根に比例する。一方，R_{mp}については，t_mが1 μm程度のときに飽和した。膜と鎖交する磁束が飽和する膜厚は，磁性膜と信号源の位置関係や寸法，透磁率等によって変化する。このように，f_rおよびR_{mp}はt_mに対して互いに独立ではなく，他の材料・寸法パラメータに対しても同様である。本プロジェクトで提案した磁気回路解析は，これらを適切に制御するために有用であることを示した。

さらに，図5に磁気回路より得られたインダクタンスLの周波数特性を実験値と比較して示す。磁性膜を配置した場合のLは共鳴周波数以下では配置していない場合より高く，それより高い周波数で低い値となった。この傾向は，透磁率の実部μ_r'に対応する。またRと同様に実験値ともよく一致した。

以上により，電磁ノイズ抑制を目的として磁性膜を1本の伝送線路直上に配置した場合について，線路の伝送特性を測定することにより，磁性膜の透磁率が線路の回路パラメータに与える影響を実験的に示した。さらに，磁性膜の材料・寸法パラメータと回路定数(R, L, C)の関係を明確化したことにより，特性インピーダンス等の設計に必要なパラメータが定量的に予測可能となった。

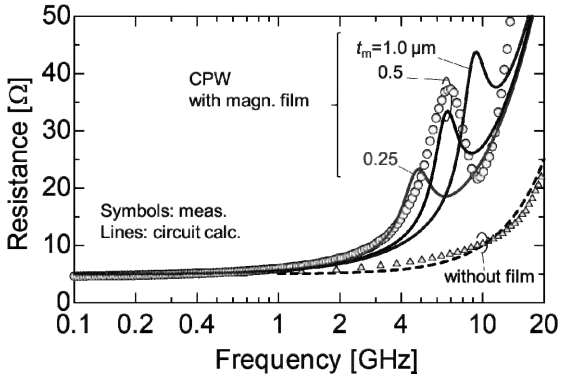


図3 抵抗値の周波数特性

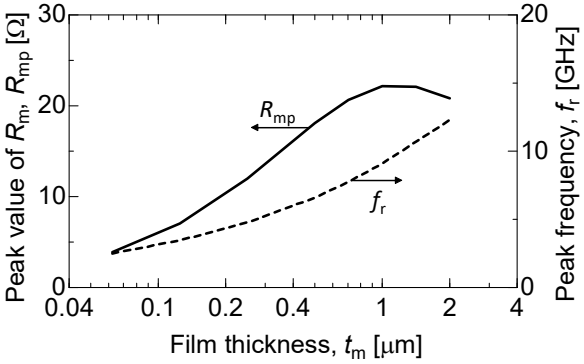


図4 Rmの極大周波数 frおよび極大値 Rmpの膜厚依存性

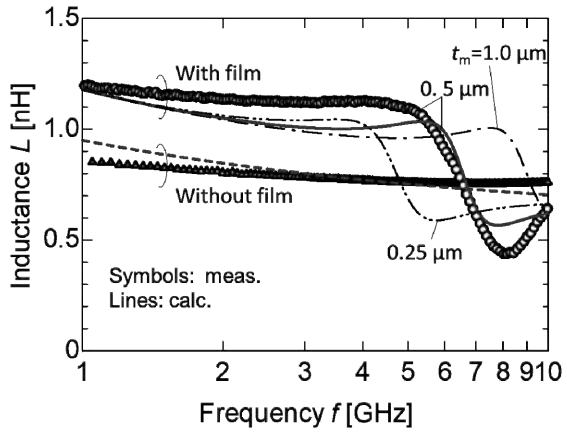


図5 インダクタンスの周波数特性

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，SHF 帯の電磁ノイズ抑制を目的として磁性膜を1本の伝送線路直上に配置した場合について，線路の伝送特性を測定することにより，磁性膜の透磁率が線路の回路パラメータに与える影響を実験的に明らかにした。

第2に，配線インピーダンスの直列成分に与える

影響は，伝送線路の断面の寸法および材料特性を考慮した磁気回路を用いることにより，定量的に導出可能であることを明らかにした。

以上を通して，SHF 帯において動作する磁性体を利用した平面型の電磁ノイズ抑制素子を試作し，素子の透磁率が回路定数に与える影響を磁気回路解析を用いて定量的に予測する手法を提案し，その設計への有用性を明確化した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

電磁ノイズ抑制を目的として磁性膜を１本の伝送線路直上に配置する場合の，線路設計手法を構築した。本成果は，磁性膜の材料開発および IC チップ・パッケージ等の電磁界制御技術向上および回路設計の自由度向上に寄与する。さらに，磁性膜の複素透磁率を用いた様々な SHF 帯デバイス応用への発展が期待される。

［４］成果資料

国際会議論文：

(1) S. Muroga et.al., ″Effect of FMR Loss on Circuit Parameters of CPW with Co-Zr-Nb Film for Noise Suppression,″ 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo (Jun. 2019, Accepted).

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/A41

広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化

［1］組織

研究代表者：
永井　岳大（東京工業大学工学院）
通研対応教員：
栗木　一郎（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
佐藤　智治（一関工業高等専門学校制御情報工学科）

延べ参加人数：５人

研究費：

物件費	97,000 円
旅費	83,000 円

［2］研究経過

人間の視覚系は，星明かりから直射日光下まで約 10^{14} 倍にわたる光の強度の範囲に対しても，順応により感度を調整することで視覚情報を取得できる．近年，10^{7}-10^{8} 倍のダイナミックレンジを持つ有機 EL ディスプレイやバックライト制御式 LCD ディスプレイなどの高ダイナミックレンジ（HDR）ディスプレイが比較的容易に手に入るようになり，自然界と同等の光強度範囲を持つ視覚情報の表示環境が整いつつある．一方で HDR ディスプレイ観察中には，従来のような 10^{3} 倍程度のダイナミックレンジしか持たない（SDR）ディスプレイとは視覚系の順応状態なども大きくことなることが予想される．上述したとおり，人間の視覚の感度調整が順応に基づくことを考慮すれば，HDR シーンの観察中には映像制作者の意図とは大きく異なる知覚を引き起こす可能性があるにも関わらず，HDR シーンにおける視覚特性はほとんど知られていない．本研究では，従来型 SDR ディスプレイとの違いに着目し，HDR ディスプレイ観察時に特有な視覚特性の解明を目指す．

HDR 化の影響が最も大きいと考えられる輝度/明るさ知覚に着目し，1.最も基本的な視覚特性であるコントラスト感度関数，ならびに 2.閾上の明るさ知覚への影響，を心理物理実験から明らかにする．永井（東工大），佐藤（一関高専），栗木（東北大）は以前の共同プロジェクト研究（H28/A20）において，HDR ディスプレイ上で輝度を実質的に無限諧調で表示できる技術を確立させたため，この技術を心理物理実験の視覚刺激呈示に用いる．実験環境の構築は表示技術開発の中心であった佐藤が行う．また，今後の画像情報呈示の基礎知見となるためには幅広い条件で信頼性の高いデータを取ることが必須であるため，永井，栗木がそれぞれ心理物理実験を行うことで，並行して視覚基礎特性の定量化を推進する．

［2．1］打ち合わせの詳細

本年度は，メンバー全員が出席する学会において出先での打ち合わせを含め，以下の５回の打ち合わせを行いつつ，研究を進めた（カッコ内は参加者）．

6/27-6/29:多元質感知班会議に合わせて打ち合わせを実施（永井，佐藤，栗木）．

9/21-23：OSA Fall Vision Meeting に合わせコントラスト感度測定について発表を行うとともに、今後の課題について打ち合わせを実施（永井，栗木，佐藤）．

12/8-10：共プロ研究会（H28/B04）に合わせて，広輝度条件における明るさ知覚についての研究経過について打ち合わせを実施（永井，佐藤，栗木）．

1/29-31：日本視覚学会 2019 年冬季大会においてコントラスト感度測定の結果についてポスター発表し，同時に研究の問題点などについて打ち合わせを実施（永井，栗木）．

2/20：共同プロジェクト研究発表会に合わせて打ち合わせを実施（永井，佐藤，栗木）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，主に２件の研究成果を得た．以下に詳細を記述する．

1. 広ダイナミックレンジ環境におけるコントラスト感度関数

通常のコンピュータディスプレイは高々3$\log_{10}$程度（消光比 1:1,000）の輝度レンジしか表示しない．一方で，人間の視覚が受容・知覚できる輝度レンジはもっと広く，6$\log_{10}$以上と言われている．最近では有機 EL ディスプレイなど消光比が 1:1,000,000 を越える表示装置が出回り始めており，広輝度レンジにおける視覚感度測定も可能となっている．一方，人間の視覚特性には「レンジ効果」と呼ばれる現象があり，視野内の色・輝度レンジに応じて感度を変える（Brown & MacLeod, 1997）ことが知られている．これまでの輝度コントラスト感度に関する研究はほとんどが通常のディスプレイモニタ上（< 3$\log_{10}$）で行われてきたが，検査する輝度レンジが広がれば，その結果に変化が起きることは想像に難くない．

そこで我々は，本共同プロジェクト研究で開発した確率的誤差補償法（佐藤ら，2017）を用いて，有機 EL ディスプレイ上にて広い輝度範囲のレンジを示す背景を同時に呈示した条件（HDR 条件）と，古典的な一様背景視野を同時に呈示した条件（一様条件）で，広い範囲の局所背景輝度において輝度コントラスト感度の空間周波数特性を測定する実験を行った．

具体的には，様々な空間周波数のガボールパッチを固視点の左右いずれかに呈示し，被験者が二肢強制選択でガボールパッチの位置を応答することにより，検出に必要なコントラスト閾値を測定した．閾値の逆数をコントラスト感度とした．HDR 条件では刺激視野（3.0 deg × 6.0 deg）の周辺に様々な輝度レベルの線からなるグレイスケールのグレーティングパターンを呈示し，視野全体の輝度レンジを明示的に与えた．この際のグレーティングの輝度レンジとして狭いものから広いものまで様々なものを用いた．一様条件では，測定する局所背景輝度レベルと同じ一様背景を画面全体に呈示した．コントラスト閾値の測定には FAST（Functional Adaptive Sequence Testing; Vul & MacLeod, 2007）を用いた．ガボールパッチの直近に示すグレイの背景は，感度測定を行うテスト輝度を示しており，0.83, 3.33, 13.3, 106.4 cd/m^{2}のいずれかがランダムに呈示された．有機 EL ディスプレイ（SONY PVM-2541）を用いて実験を行った．

結果の一例を図１に示す．古典的な実験条件である一様条件では，テスト輝度とともに感度が上昇しており，従来よく知られているような特性を再確認できた．一方で，HDR 条件では，およそテスト輝度が背景の平均輝度付近となったときに感度が最大になった．さらに，背景輝度レンジの違いによりコントラスト感度関数の形状には大きな違いは見られなかったものの，背景輝度レンジが広くなるにつれ高い感度を示すテスト輝度範囲が広くなる傾向が見られた．これらの結果より，広ダイナミックレンジ環境においては，視覚系がシーンに存在する輝度範囲に広く対応できるよう感度調整を行うことが明らかとなった．今後はこの感度調整により質感知覚や物体認知などの高次視覚機能にどのような影響が生じるかを検討していく予定である．

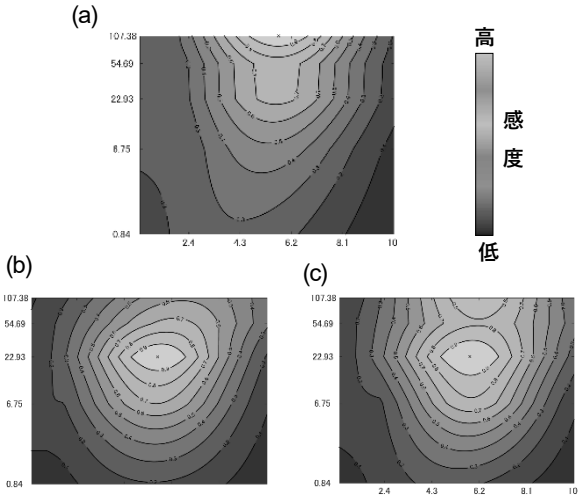


図１　様々な条件におけるコントラスト関数．横軸は空間周波数（cpi）、縦軸は局所背景輝度を示す．(a) 一様条件．(b) HDR 条件（輝度レンジ狭）．(c) HDR 条件（輝度レンジ広）．

2. 広ダイナミックレンジ環境における明度知覚

物体表面の輝度反射率に関する知覚を明度という．明るい照明で照らされた，様々な明度の物体が置かれた環境で，反射率が 25 % の表面が反射する光の輝度が 100 cd/m^{2}だったとする．通常，25 % 反射率の表面は中程度のグレイに知覚される．同じシーンの照明光強度を 1/5 に減光して反射光の輝度が 20 cd/m^{2}になったとしても，反射率 25 %の表面は相変わらず中程度のグレイに見える．このように輝度ではなく表面反射率に付随した知覚を明度と言う．

SDR/HDR 環境下では明度知覚は異なるだろうか．先行研究（Radnjic et al, 2011）では，明度知覚のレンジを調整するトーンマッピングが，背景のダイナミックレンジの範囲内にピタリと収まるように行われると報告している．もしこれが本当なら，ダイナミックレンジの下限輝度を下回る輝度の反射表面は全て黒く潰れた明度で知覚されるはずである．

この仮説を検証するため，背景のダイナミックレンジを様々に変化させた時に，テスト刺激（画面左側中央）の明度がどのように知覚されたか，右側の

マッチング刺激（背景は常に不変）の中から選択して報告する方法で実験を行った．テスト刺激の背景は，最大輝度を100cd/m²に固定した状態で下限輝度を1/30（LDR），1/1,000（SDR），1/100,000（HDR)に変化させた条件で測定を行なった．刺激は全て有機EL ディスプレイ（SONY，PVM-2541A）に提示し，左側のテスト刺激は箱型の覗き窓を通して観察し，マッチング刺激と同時に見ることができないように視野を制限した．

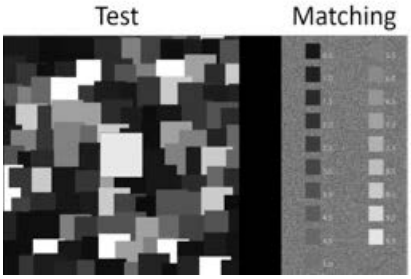


図２．HDR 下での明度マッチング実験の画面．左がテスト刺激の領域，右がマッチング刺激の領域．覗き窓を使い，左右同時には観察されない．

テスト刺激の輝度を背景のダイナミックレンジの下限よりもさらに下まで設定して明度知覚を報告させた結果，下限よりも下の輝度も黒つぶれせず，累進的に変化する見え方が報告された．

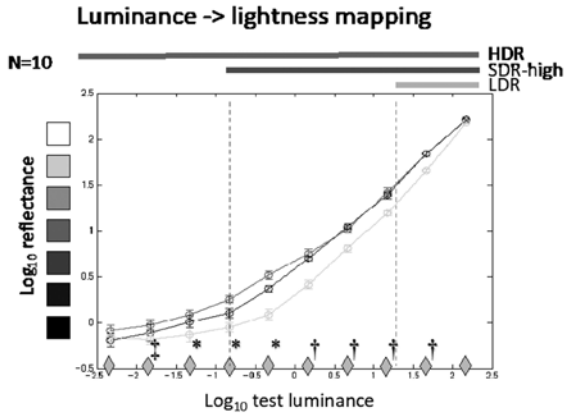


図３．異なる背景輝度レンジにおける明度知覚．*: 全条件間で有意差あり，†: LDR とその他の条件間で有意差あり，‡: HDR-SDR 間で有意差あり．いずれも $p<0.05$.

実験結果（図３）では，背景の輝度レンジがグラフ上の横線で示されている．レンジの下限が縦の破線で示されているが，その下限に相当する輝度の明度評価（縦軸の値）はゼロ（真っ黒）になっていない．むしろ，背景ダイナミックレンジの下限による影響は小さく，ディスプレイの輝度レンジが狭くても，それ以下の輝度に対して累進的な明度評価が行われている．これは，Radnjic ら（2011）の結果と部分的に整合しない．しかし我々の結果は，HDR ディスプレイが表示できる SDR ディスプレイより暗い下限輝度に対し，知覚も累進的に表現が可能なことを示しており，いわゆる「黒が引き締まった」知覚が得られることと対応している．さらに，ディスプレイの下限輝度が十分に低くない場合の「黒浮き（ディスプレイを真っ暗にしても薄暗く光って見える現象）」が生じることとも対応しており，日常経験とも矛盾しない．

一方，背景ダイナミックレンジの条件間で，比較的低い輝度のテスト刺激に対しては（図３，横軸の左方）条件間で有意な明度知覚の違いが検出されている．今後，このような明度知覚の変化が質感知覚に及ぼす影響について検討を進めていく予定である．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本テーマで解明する視覚特性は，ありとあらゆる視知覚の基礎となっており，極めて重要なものである．例えば，画像表示においては当然ヒトの視覚特性を考慮に入れるわけであるが，その視覚特性として，一様背景という極めて人工的な環境におけるコントラスト感度関数が未だに使われている．上述したとおり，HDR 環境においては順応状態が一様背景上とは全く異なる状態になることを考慮すれば，SDR 環境と HDR 環境のコントラスト感度関数の違いは，様々なシーン（特に，非常に強い光沢や星空などの広い輝度レンジを要求するシーン）の再現性に大きく影響する可能性を秘めている．したがって，本研究で計測される基礎視覚特性から自然画像に対する知覚特性が予測可能になることも十分に考えられ，その知見に基づいた高次視覚認知への影響の解明や明暗差の大きなシーンにおける新しい画像圧縮技術の開発といった応用研究への礎を提供できると考えられる．

［４］成果資料

（１） Misaki Hayasaka, Takehiro Nagai, Tomoharu Sato, Tomonori Tashiro, Yasuki Yamauchi, & Ichiro Kuriki: Contrast sensitivity functions measured on luminance-variegated background. 2018 OSA Fall Vision Meeting, Nevada, USA, September 23, 2018.

（２） 早坂美咲，永井岳大，佐藤智治，田代知範，山内泰樹，栗木一郎：背景の輝度分布がコントラスト感度関数に与える影響．日本視覚学会 2019 冬季大会，2019 年 1 月 31 日．

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/A42

インターネットにおける
新しい輻輳に基づく輻輳制御の研究開発

［1］組織

研究代表者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
通研対応教員：
北形　元　（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：7 人

研究費：
物件費　97,000 円

［2］研究経過

2016 年 9 月 Neal Cardwell（米 Google 社）らによって，輻輳に基づく輻輳制御方式 BBR(Bottleneck Bandwidth and RTT)[1]が発表された。BBR はスループットを最大化し，待ち行列遅延時間を最小化する新しい輻輳制御方法である。しかし，BBR がこれまで広く普及している従来型の輻輳制御方式である CUBIC[2]と共存するとき，特に，ルータのバッファ長が大きいネットワークで共存するとき，BBR は CUBIC に性能で大きく劣ってしまうと言う欠点がある。本研究の目的は，その欠点を実験により確認し，その欠点を克服する新しい輻輳に基づく輻輳制御方法（B^3: BufferBloat Block）を提案・評価することである。

B^3は，BBR と同等の性能（スループットと遅延時間）を持ち，CUBIC に性能で劣らない輻輳に基づく輻輳制御である。本研究では，以下のことを明らかにする。

1) B^3のアルゴリズムを明らかにする
2) 実験によってB^3の性能を明らかにする

［参考文献］

[1] Neal Cardwell, Yuchung Cheng, C. Stephen Gunn, Soheil Hassas Yeganeh, Van Jacobson, “BBR Congestion-Based Congestion Control,” ACM Queue, September-October 2016, pp. 20-53.

[2] Sangtae Ha, Injong Rhee, Lisong Xu, “CUBIC: A New TCP-Friedly High-Speed TCP Variant,”ACM SIGOPS Operating System Review 42(5), July 2008, pp. 64-74.

(1) 研究集会の実施
場所：東北大学電気通信研究所
日時：平成 31 年 2 月 20 日
参加者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
北形　元　（東北大学電気通信研究所）
薄　優斗
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
穂積　勇樹
（福島大学大学院共生システム理工学研究科）
石井　明日香（福島大学共生システム理工学類）
黒崎　琢未（福島大学共生システム理工学類）
鈴木　規郎（福島大学共生システム理工学類）

(2) 研究会での研究発表
会議名：2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会
場所：金沢大学
日時：平成 30 年 9 月 14 日
参加者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
鈴木　規郎（福島大学共生システム理工学類）

(3) 通研共同プロジェクトポスター発表
場所：東北大学電気通信研究所
日時：平成 31 年 2 月 21 日
参加者：
内海　哲史（福島大学共生システム理工学類）
鈴木　規郎（福島大学共生システム理工学類）

［3］成果

（3－1）研究成果

BBR は，Bufferbloat を回避しつつ，ボトルネックリンクの利用率を最大化する高性能の輻輳制御アルゴリズムである。しかし，Bufferbloat が起きやすい大きなバッファを持つボトルネックリンクにおいて，BBR フローが CUBIC フローと共存したとき，BBR のスループットが低下することが分かった（図 1）。本研究では，輻輳に基づく輻輳制御の CUBIC と共存

時のスループットを改善する B^3 を提案する。図2に実験で用いたネットワークのトポロジーを示す。図3に，B^3 対 CUBIC の実験結果のグラフを示す。横軸バッファサイズ，縦軸スループットを表している。この結果から，ほとんどのバッファサイズで B^3 フローのスループットが CUBIC フローを上回っているのが分かった。これは B^3 がバッファオーバーフローを検知し， Initiation of Overflow モードでウィンドウサイズを一旦下げた後，Overow モードで最大 RTT の 85% まで戻すことが CUBIC に対して有効であったことを示す．さらに，バッファサイズが 10BDP 以上のときスループットの差が大きくなっているのは， RTT が大きくなることで Aggressive モードに入りやすくなり，Aggressive モードの効果が顕著に現れている。

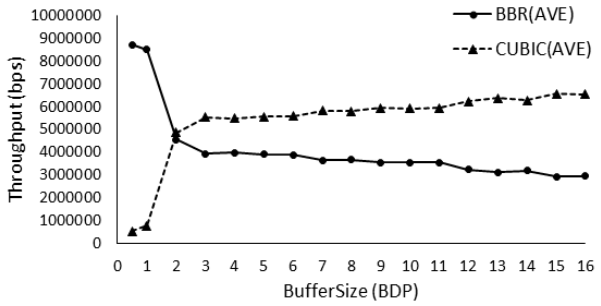


図1: BBR と CUBIC の共存時のスループット

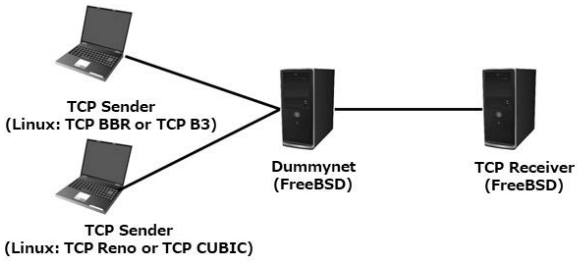


図2: 実験で用いたネットワークトポロジー

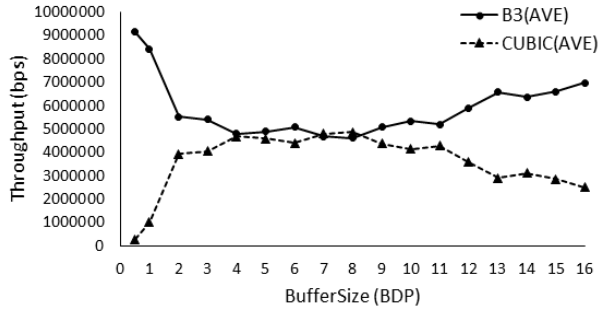


図3:B^3 と CUBIC の共存時のスループット

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究では，インターネットにおける Bufferbloat 問題を解決する輻輳に基づく輻輳制御について，従来型のロスに基づく輻輳制御 CUBIC と共存したときに，そのスループットで劣らない B^3 を提案・性能評価した。性能評価の結果，B^3 は CUBIC に劣らないスループットを示した。

本研究では，従来型のロスに基づく輻輳制御 CUBIC に性能で劣らない輻輳に基づく輻輳制御の可能性を示した。ロスに基づく輻輳制御に置き換わり、輻輳に基づく輻輳制御が，インターネット輻輳制御として広く用いられれば，インターネットにおける Bufferbloat 問題が解決すると考えられる。

［４］成果資料

(1) 鈴木規郎，山口実靖，内海哲史，“Deep Buffer Link における BBR と CUBIC の共存時の性能評価，”2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，金沢大学，2018 年 9 月.

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/A43

エージェントを用いたIoTサービスの構築と運用支援に関する研究

［1］組織
研究代表者：
谷村　優介（東北大学大学院医学系研究科）
通研対応教員：
木下　哲男（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
北形　元（東北大学電気通信研究所）
笹井　一人（東北大学電気通信研究所
平成30年10月より
茨城大学大学院理工学研究科）
高橋　秀幸（東北大学電気通信研究所）
小林　透（長崎大学大学院工学研究科）
菅原　研次（千葉工業大学情報科学部）
大山　勝徳（日本大学工学部）
顧　優輝（目白大学メディア学部）
松井 加奈絵（東京電機大学
システムデザイン工学部）

延べ参加人数：25人

研究費：

物件費	97,000円
旅費	166,000円

［2］研究経過

【目的・概要】

ユビキタス社会の実現に向けた要素技術の成熟を背景として、モノのインターネット（IoT）パラダイムが登場し、スマート家電・スマートデバイス等と呼ばれる、コンピュータネットワークに接続する機能をもつ機器（IoT機器）が普及しつつある。IoT機器は単体で動作することも可能であるが、複数のIoT機器と連携することで新たなサービスを形成し、より大きな価値を創出することが期待される。しかしながら、ネットワークシステムの構築や運用管理に詳しくない一般の利用者にとって、多種多様なIoT機器を適切に連携させ、IoT機器の集合からなるIoTシステムを安定的かつ継続的に運用することは決して容易ではない。

本プロジェクトは、必ずしもIoTシステムの構築および運用管理に詳しく無い利用者に対して支援の仕組みを与えることで上述の問題を解決し、IoT機器のさらなる有効活用を促進することを目的とした研究開発を行うものである。

本研究ではソフトウェアエージェントのもつ自律性・社会性といった特性を活かすことで、IoTシステムの利用者を支援する手段の実現に向けた取り組みを行う。まず、単体のIoT機器で完結するようなサービスだけでなく、複数のIoT機器が知的に連携するような、IoTパラダイムにおける本来の利用イメージに近いサービスを容易に構築可能とすることを目指す。さらに、利用者の環境・状況に合わせてIoTシステムの設定を最適化し、サービスの質を向上するとともに、サービスを安定的に運用可能とすることを目指す。また、従来のネットワークシステムの運用管理支援技術は商用クラスのネットワークを主な対象としていたが、本研究においては、家庭クラスのネットワークにも小さい負担で導入可能な利用者支援のしくみの実現を目指している。

【研究打合せ・研究会開催状況】

本プロジェクトは、本年度が初年度である。本プロジェクトは題目の通り、IoTサービスの構築フェーズおよび運用フェーズについて、それぞれ支援の仕組みの確立を目指すものであり、初年度は特に運用フェーズにおける管理者支援に焦点を当てた取り組みを行った。

既にIoT機器を活用した多様なサービスが開発されているが、十全な機器監視や冗長化構成など、安定的なサービス運用のための施策が講じられることは少ない。これは、作業面や金銭面のコストが大きく、IoT機器の用途に見合わないためである。そこで本プロジェクトでは、通研・木下研のエージェント技術に基づくネットワーク運用の自律化に関する

これまでの取り組み、そして、申請者のサーバシステムの異常予兆検出に関する取り組みから得られた知見を統合するとともに、ネットワーク技術や IoT 技術に詳しい研究者を招請することで、小さいコストで手軽に導入可能な IoT システムの運用支援方式の実現を目指す。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1. 研究打ち合わせ

・第 1 回（2018 年 9 月 14 日）

エージェント型の情報通信システム管理運用支援方式に係る研究の課題を整理し、本プロジェクトの平成 30 年度の研究計画について検討した。

・第 2 回（2019 年 1 月 28 日）

エージェントを用いたデータ処理支援機構に係る実験の進捗状況を確認し、今年度の研究成果のまとめ方について議論した。

・第 3 回（2018 年 2 月 20 日）

エージェント技術に関する他のプロジェクトチームと合同でミーティングを行い、今年度の研究成果を報告し、チーム間で相互に情報共有を行った。

2. 研究討論会・発表会

・研究会（2018 年 12 月 25 日）

東北大学電気通信研究所で開催された第 23 回先進的情報通信工学研究会へ研究分担者の松井助教を招聘し、スマートコミュニティを事例とした IoT システムについて発表いただき、IoT データの利活用について議論した。

・ポスター発表（2019 年 2 月 21 日）

平成 30 年度共同研究プロジェクト研究発表会にて、「Analysis Technique for Self-Optimization of Agent-Based IoT Systems」の題目でポスター発表を行い、今年度の成果と今後の展望について議論した。

・研究討論会（2019 年 3 月 7-8 日）

東北大学電気通信研究所で開催された第 25 回先進的情報通信工学研究会および討論会にて、研究分担者の笹井准教授、顧助教を招聘し、研究成果と今後の展望について議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

図 1 はエージェントを活用した IoT システムの自律運用に係る概要である。エージェントは IoT システムの状態を観測し続けるとともに、知識ベースに格納された知識に基づいて状態に適したアクションを実行する。この制御ループにより、エージェントが煩雑な管理運用タスクを代行し、エンジニアでなくとも IoT システムを安定的に維持可能とする。今年度は特に、IoT システムの性能管理および資源管理の自律化について取り組んだ。

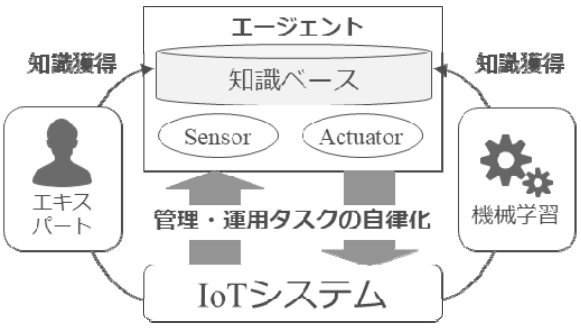


図 1：エージェントを活用した IoT システムの自律運用

一般に、性能管理や資源管理の自動化・自律化に関する研究では、資源の量や内部設定を適切に調整するため、対象となるシステムの詳細な動作特性を事前に調査する必要がある。動作特性はベンチマークツールなどを用いて実際にシステムに対して負荷を与えることで調査可能だが、動作特性はシステムを構成するハードウェアやソフトウェア、その他環境等の様々な要因によって大きく変動するため、家庭レベルで実施するには煩雑である。そこで、動作特性に係る知識をエージェントが能動的に獲得可能とする仕組みを提案した。

本提案では、運用中のシステムの振る舞いに含まれるゆらぎ成分に着目し、ゆらぎ成分の分析に基づいて過負荷状態の予兆をとらえる手法を実現した。本提案の主な貢献は以下の通りである。

- システムへ余分な負荷を与えずに動作特性を推測する。ゆえに、運用中のシステムに対しても適用可能である。
- 運用中のシステムの振る舞い分析することで動作特性を推測するため、サービスの運用に際して事前のベンチマークテストが不要となる。
- システム全体としてのマクロな振る舞いを分析するため、システムのハードウェア・ソフトウェア構成に寄らず、幅広いシステムに対して適用可能である。
- 実機を用いた実験を通して、本手法の適用可能性を示した。

提案に基づくプロトタイプシステムを用いた実験では、Web アプリケーションを制御対象として、変動する HTTP リクエストの量に合わせて適切に計算資源の量をコントロールしつつ、安定的なサービス運用が可能かを検証した。実験結果より、提案手法を用いることで、エージェントが能動的にシステムの動作特性に係る知識を習得しながら、資源量の制御について適切な判断を下せることを確認した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、ソフトウェアエージェントを用いて情報通信システム、特にIoTシステムの構築と運用の自律化を目指した取り組みであるが、実用に向けては、人とエージェント間のコミュニケーション手段やインタフェースについて、更なる検討を進める必要がある。

ゆえに、Human Computer Interaction や Human Agent Collectives といった、人とシステムの間のギャップを埋めるための研究領域と結びつくことが期待される。そこで、この課題について、戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）の若手研究者枠など、更なる共同研究プロジェクトや大型プロジェクトへの申請を行っている。今後も、外部資金の獲得による本研究の発展を狙った取り組みを積極的に行う予定である。

［４］成果資料

(1) G. Kataoka, Y. Kaeri, Y. Manabe, K. Sugawara, T. Suganuma and N. Shiratori, “Proposal for Cognitive Architecture for Software Defined Wireless Networking,” Proc. of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp.2748-2753, Oct. 2018.

(2) K. Katayama, H. Takahashi, N. Yokota, K. Sugiyasu, G. Kitagata and T. Kinoshita, “An Effective Multi-UAVs-based Evacuation Guidance Support for Disaster Risk Reduction,” Proc. of the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), pp.473-478, Feb. 2019.

(3) Y. Tanimura, K. Sasai and T. Kinoshita, “Proactive Service Management in Disaster Recovery Phase with Non-destructive Benchmarking Technique,” Proc. of the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), pp.506-511, Feb. 2019.

(4) K. Sasai, T. Hoshino, R. Fukutani and T. Kinoshita, “Collaboration Mechanism Between Human Administrators and Agent-oriented Network Management Systems,” Proc. of the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), pp.539-543, Feb. 2019.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(先端・萌芽・産学)

採択番号：H28/B01

電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用

［1］組織

研究代表者

小林　研介（大阪大学大学院理学研究科））

通研対応教員

深見　俊輔（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

野村　晋太郎（筑波大学数理物質系）
佐々木　進（新潟大学工学部）
三沢　和彦（東京農工大学大学院工学研究院）
長谷川　修司（東京大学理学系研究科）
山口　浩司（NTT 物性科学基礎研究所）
中山　隆史（千葉大学大学院理学研究科）
求　幸年（東京大学 大学院工学系研究科）
小野　輝男（京都大学化学研究所）
塚崎　敦（東北大学金属材料研究所）
町田 友樹（東京大学 生産技術研究所）
越野 幹人（大阪大学 大学院理学研究科）
松野　丈夫（大阪大学 大学院理学研究科）
新見　康洋（大阪大学 大学院理学研究科）

延べ参加人数：19 人

研究費

旅費	251,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

半導体技術は現代の社会を支える重要な基盤技術である。その成功を支えているのは，半導体中のキャリアの性質を，精密に理解し制御することを可能にした材料科学の長年の蓄積である。現在，このような通常の枠組みの半導体技術を超えて，スピンの制御を積極的に活用するエレクトロニクス，すなわちスピントロニクスが世界的な注目を集めている。本研究では電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築を通して，革新的ナノデバイスの実現を目指す研究を行っている専門家による討論の場を設け，新規デバイス創成に資する知見を獲得することを目的としている。

本プロジェクトは，本年度が第 3 年度であった。前年度は，電荷とスピンの精密な制御を目指した数々の研究を概観し，トポロジカル相等の低次元物質研究や半導体ー金属複合スピントロニクス研究の方向性が明らかになった。そこで，最終年度にあたる本年度は，前年度の成果を踏まえながら，電荷とスピンの精密な制御の深化に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

2018 年度の活動実績としては 2018 年 11 月 1 日（木）ー2 日（金）の日程で平成 30 年度 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」を開催した（開催場所：仙台市太白区茂庭字人来田西 143-3「心やすらぐ天然温泉の宿　茂庭荘」）。予算の関係上，一泊二日の開催となったが，プロジェクトのメンバー11 名と，3 名のプロジェクト外招待講演者が出席し，活発な議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に，3 名の方に招待講演を依頼し，新展開を展望した。大兼 幹彦氏（東北大学 大学院工学研究科）は「ハーフメタルホイスラー合金の開発」について招待講演を行い，基礎研究からデバイス応用へのステップを議論した。橋坂 昌幸氏（NTT 物性科学基礎研究所）は「量子ホール強磁性体へのスピン注入実験」について招待講演を行い，エキゾチックな創発粒子の振る舞いを議論した。さらに林 将光氏（東京大学 大学院理学系研究科）は「スピン軌道ヘテロ構造の電子物性」について招待講演を行い，スピントロニクス分野における将来展望を議論した。

第 2 に，コヒーレント伝導についての知見が深まった。これは，ナノ構造の代表例である人工原子におけるファノ効果の観測に関わる成果である。本件

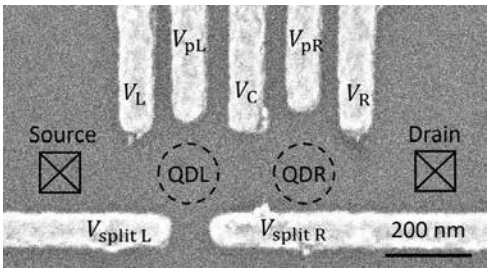


図１．測定した試料。GaAs/AlGaAs 二次元電子系基板上に微細加工技術を用いて作製した。

について，少し詳しく述べる。

半導体や金属を微細加工して作製される微小な電子回路をメゾスコピック系と呼ぶ。その最大の特長は，量子力学的効果が本質的であるようなスケールにおいて，制御性の高い実験ができる点にある。実際に，微小な電子波干渉計や，量子ドット（人工原子）等で発現する電子の電荷・スピン・コヒーレンス・多体効果に基づく多彩な量子現象とその制御は，1980 年代以降，物性物理学の発展に大きな貢献を果たしてきた。

メゾスコピック系の輸送特性において，電子の波としての性質は重要な役割を果たす。ファノ効果はその一例であり，連続準位を透過した電子の波と離散準位（量子ドット）を透過した電子の波が干渉することにより起きる。ファノ効果は分光学の分野では古くから知られていたが［U. Fano, *Phys. Rev.* **124**, 1866 (1961)］，2000 年代以降，量子輸送の分野においても様々な系で観測されるようになった［例えば，J. Göres *et al.*, *Phys. Rev.* B **62,** 2188 (2000)；K. Kobayashi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **88,** 256806 (2002)］。現在では，ファノ効果は，代表的な量子輸送過程の一つとして確立している［A. E. Miroshnichenko, S. Flach, Y. S. Kivshar, *Rev. Mod. Phys.* **82,** 2257 (2010)］。今回，我々は二重量子ドットにおいて初めてファノ効果を観測した［S. Norimoto *et al.*, *Phys. Rev.* B **97,** 195313 (2018)（［４］成果資料に記載）］。

図１に，GaAs/AlGaAs 二次元電子系基板を用いて作製した素子を示す。この素子において，ゲート電極に印加する負電圧を適当な電圧にすることで，二つの量子ドット（QDL，QDR）が直列に接続した二重量子ドットを実現できる。ソースドレイン間の微分伝導度の V_R, V_L 依存性を測定し，**図２**(a)のような結合した二重量子ドット特有の離散準位に対応した伝導度のピーク構造を得た。このピークはローレンツ型であり，通常の量子ドットにおいてよく知られている共鳴伝導が起きていることを示している。次に，この状況から V_R と V_L に印加する負電圧を絶対値として小さくし，二重量子ドット間のトンネル結合をより大きくした状況で，微分伝導度を測定した。

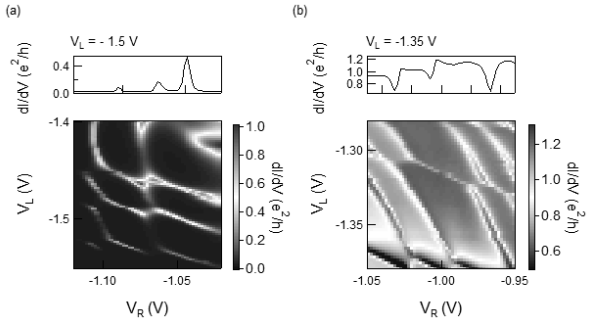


図２．微分伝導度の V_R, V_L 依存性の二次元プロット（下）とラインプロファイル（上）。(a)は量子ドット間の結合が弱い場合に相当し，通常の左右対称なローレンツ型の共鳴ピークが観測された。(b)は結合が強い場合であり，ピークとディップを伴う非対称なピーク構造（ファノ構造）が観測された。

結果を**図２**(b)に示す。**図２**(a)での対称的な伝導度ピークとは異なり，微分伝導度に非対称な構造が現れている。この非対称構造は分光学において知られているファノ型のピーク形状と同じである。我々は得られた伝導度の非対称構造に対し，ファノの公式を用いてフィッティングを行い，ファノ構造の非対称度パラメータや共鳴準位の幅などの値を求めた。また，直列に２つの量子ドットが接続された系においてモデル計算を行い，実験結果を再現することに成功した。以上の結果から，二重量子ドット内に存在する局在準位と，系全体に広がった連続状態が共存していることによって，両者の間で共鳴干渉効果により特徴的なファノ型の非対称ピーク構造が生じたと結論した。

この成果は二重量子ドットにおけるファノ効果を初めて観測したものであり，量子輸送過程におけるファノ効果の普遍性を実証したものである。また，本研究によって，二重量子ドットのような系においても，系全体に広がった状態が存在しうることが初めて明らかとなった。量子ドットにおける波動関数の形状や位相の測定につながる成果と位置づけられる。

それ以外にも，下記のような多岐にわたる内容について討論を行った。

- フォノニック結晶導波路を用いたフォノンパルスの制御
- 電場下の金属/絶縁体界面における金属原子のイオン化と拡散
- フェリ磁性体のスピンダイナミクス
- 一桁ナノメートル磁気トンネル接合
- *5d* 電子系酸化物の界面とスピントロニクス
- 高度パルス制御技術が拓く革新的 MRI
- ベクトル波形整形ねじれ偏光パルスによる二次元電子系局所光励起効果

- 異常ホール効果で検出するホール素子
- 二次元三角格子反強磁性体の磁気抵抗
- モアレ 2 層グラフェンの有効理論 ―多体問題の理解を目指して―
- グラフェンの巨大反磁性検出を目指して

（特別支援（産学）に係る研究成果）

今回の共同プロジェクト研究会においては、産学特別支援費を頂いた。この支援費により、新たに研究者１名をお招きすることができ、スピン軌道ヘテロ構造の電子物性についての議論が進展した。この研究トピックは、電荷とスピンの制御に基づくデバイスの展開において重要な役割を果たすものであり、大きな効果が得られた。

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトを契機として，研究者間の交流が飛躍的に活性化し，モアレ２層グラフェン等の低次元物質研究やフェリ磁性体やスピン軌道相互作用を利用したスピントロニクス研究についての議論が進んだ。本研究会を契機として，参加者の間で，新しい研究者ネットワークが構築されつつある。また，本プロジェクトにおける議論をベースとして，フォノニック結晶や光物性についての研究が進み，今後の発展が期待される。

［4］成果資料

以下の論文には,「東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究による」旨の文章が謝辞中に明記されている。

（１） Shota Norimoto, Shuji Nakamura, Yuma Okazaki, Tomonori Arakawa, Kenichi Asano, Koji Onomitsu, Kensuke Kobayashi, and Nobu-hisa Kaneko, ″Fano effect in the transport of an artificial molecule,″ *Physical Review B* **97** (19), 195313/1-8 (2018).

採択回数	1　2　(3)

(萌芽)

採択番号：H28/B03

荷電現象がもたらす微粒子ー流体混成系の多様性と機能性

［1］組織

研究代表者：
酒井　道（滋賀県立大学工学部）
通研対応教員：
佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
白谷 正治(九州大学大学院システム情報科学研究院)
竹中 弘祐（大阪大学接合科学研究所）
佐藤 徳芳（東北大学）
飯塚 哲（東北大学大学院工学研究科）
渡辺 征夫（九州大学）
石原 修（中部大学総合工学研究所）
上村 鉄雄（核融合科学研究所）
三重野 哲（静岡大学創造科学技術大学院）
林 康明（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
高橋 和生（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
東辻 浩夫（岡山大学）
山野内 敬（仙台高等専門学校）
齋藤 和史（宇都宮大学大学院工学研究科）
古閑 一憲(九州大学大学院システム情報科学研究院)
内田 儀一郎（大阪大学接合科学研究所）

延べ参加人数：23 人

研究費：
旅費　243,000 円

［2］研究経過

本研究プロジェクトの目的は、荷電現象が介在する状況において、微粒子あるいはその集合体と流体が混成することで生じる現象、ならびにそのような系への機能性付与あるいは機能性発現過程の検討である。微粒子の集合体は、単なる砂場の砂山の成り立ち・現象自身に未解明物理が存することに象徴されるように、多様な物理的側面を含んでいる。本研究では、微粒子プラズマとして知られる微粒子ープラズマ混成系を出発点として、同様の微粒子ー荷電粒子流体系であるコロイド現象や、荷電微粒子の集合体の示す電磁流体的な側面などにも着目して、それらが示す多様性と共通の物理の理解を目指す。さらに、個々の微粒子や微粒子の構造体が、いわゆるメタマテリアル効果やプラズモン現象と同様の電磁気的特異特性を持つ場合、その電磁波・光学応答は個々の微粒子の特性を超えた書き換え可能な情報デバイス機能性を示しうるし、そのサイズがナノオーダーとなったときには量子効果も追加される。本研究プロジェクトでは、このような電磁気的／流体力学的／量子論的な特異性の発現とそこに含まれる豊富な科学に着目し、プラズマ／微粒子／電解液・イオン液体などの基礎的パラメータに立脚した上で、それらの混成系の特徴量スケーリング等共通科学の探索を検討する。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度のプロジェクトに引き続き、微粒子系を含むプラズマ現象に関する研究展開に加えて、媒質としてプラズマのみならず液体を含めた流体全体に対象を広げながら、さらにその機能性（電磁気的・熱力学的特異性、等）に踏み込んだ内容に取り組んでいる。

以下、研究活動状況の概要を記す。

【研究討論会開催状況】
日時：平成30年9月5日、9月6日
場所：東北大学大学院工学研究科電子情報システム・応物系　南講義棟　103講義室
参加者：9月5日、9月6日　計23人

＜開催の挨拶と趣旨説明＞
酒井　道（滋賀県立大学工学部）

＜発表（すべて招待講演）＞
○三重野　哲（静岡大学　創造科学技術大学院）
「惑星科学における微粒子プラズマの重要性について」
○伊藤　剛仁（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

「液滴を用いた大気圧プラズマ材料プロセス」
○新戸 浩幸（福岡大学工学部）
「液相中の種々の細胞に対する粒子の付着、取込、毒性」
○古閑 一憲（九州大学大学院システム情報科学研究院）
「ナノ粒子含有プラズマにおけるナノ粒子とプラズマの相互作用揺らぎ発生源の検討」
○三瓶 明希夫（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
「RFプラズマ中の微生物の浮遊とクーロン結晶形成」
○林 康明（京都工芸繊維大学）
「薄膜の偏光解析と微粒子の光散乱偏光解析」
○酒井 道（滋賀県立大学工学部）
「縦波メタマテリアルに対する微粒子プラズマの貢献の可能性」
○大野 誠吾（東北大学大学院理学研究科）
「モアレパターンに見るベクトル場とモアレ型メタ表面」
○玉山 泰宏（長岡技術大学大学院工学研究科）
「メタ薄膜におけるブリュースター現象」
○高島 圭介（東北大学大学院工学研究科）
「大気圧空気プラズマ生成液滴と活性種輸送効果」

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は研究会の開催により、以下に示す研究成果を得た。

三重野先生のご発表では、宇宙における微粒子現象のレヴューが行われた。Cosmic Dust（宇宙塵。毎年100トン、サイズ10μmで、電離層や磁気圏に留まる負イオン微粒子がその領域に存在するプラズマ状態を変化させることが知られている。微粒子は層状（例：SiC がコア、有機層が取り囲む）であり、すべて地球外の物質（有機層は、核融合反応によるCより））、月面・火星表面での帯電微粒子の存在（定常的な紫外線照射による光電効果で、日照面は負に、影面はプラスに帯電し、粒子の飛翔、電場による微粒子加速が生じる）等についての知見の説明が行われた。

伊藤先生のご発表では、ミスト状液滴のプラズマや気流との相互作用について報告いただいた。ミスト状の液滴1つ1つがプラズマに晒されたマイクロリアクタであるというコンセプトにより、インクジェットヘッドから液滴を制御良くプラズマ中に照射して"Plasma-assisted inkjet printing"を志向することを検討しておられる。具体的には、1 mm のギャップのマイクロプラズマに200μmの液滴（Agナノ粒子分散）を投入し、120℃の基板温度でAg配線を行ったところ、アスペクト比が16倍で、バルクの Ag よりは1桁高い抵抗が得られ、数秒で完了する高速プロセスであることが示された。また、プラズマ中に液滴束を導入することでナノ粒子合成も行われており、酢酸亜鉛溶液で ZnO 微粒子ができ、$Zn(Ac)_2$ 濃度を変えることで粒子のサイズを制御可能であることが示された。

新戸先生のご発表では、液相中の粒子がどのように細胞表面に作用するかについての報告が行われた。液中での細胞と粒子の相互作用においては、細胞が大、粒子が小のサイズ関係にあり、ナノ粒子（工業ナノ粒子、環境ナノ粒子（PM2.5 を中心に）等）の毒性の有無が"ナノリスク"として取り上げられつつ、再生医療を志向した生体材料としての微粒子が細胞への親和性が求められたり求められなかったりしている。細胞と粒子が出会う"生体界面現象"においては、異種球状粒子の電気二重層ポテンシャルがDLVO理論で説明されるが、これが細胞でも成り立つかはこれまで不明である。生理的な条件では、粒子の電荷は遮蔽されており、動物細胞に対するナノ粒子の付着・取り込み・毒性については、シリカ粒子（50μm）に関しては無修飾シリカ粒子は細胞の表面に乗るだけで短時間で死滅現象を生じ、COOH修飾シリカ粒子は細胞と受容体結合・被覆小胞を生じ、しばらく生存することがわかった。粒子が層を貫通することはほぼなく、変化した表面形状に取り込まれていくのがほとんどである。無修飾シリカ粒子とCOOH修飾シリカ粒子の違いとしては、リン脂質層か、メンブレンタンパク質か、どこにアタックするかを見極める必要があり、恐らくメンブレンタンパク質に対しての作用であると推測される。

以上に加えて、流体中の微粒子とその機能性について、貴重な発表が行われ、活発な議論が行われた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、各々の所属を超えた研究者との交流が飛躍的に活性化し、新しい研究領域の開拓として、流体全般におけるナノ粒子システムの現象の理解と、その特異な機能性およびその多様性を、昨年度に引き続き、確認することができた。今後の進展がさらに期待される。

本プロジェクトの結果として、以下の内容への発展がなされた。

1．書籍出版計画

研究代表者が、出版社のエルゼビア社より、ナノ材料関係の書籍執筆の依頼を受けた。これに対し、本プロジェクトのメンバーと相談し、下記のような

提案をするに至った。すでに査読結果を受け取っており、査読コメントを受けて現在内容の修正対応を行っている。

（提案内容）

1. Title (and subtitle) of your proposed book:

Nanoparticle assembly: from dynamic behaviours in fluid to various applications

2. Editor(s) with Affiliation(s):

Editors: Osamu Sakai (The Shiga University of Prefecture, editor) and Giichiro Uchida (Osaka University, co-editor)

Our proposal is for a contributed (edited) book, with about 10 contributors and edited by the editor and the co-editor.

3. Description:

This book provides science and technological functions of nanoparticle assembly in fluids, which includes nanoparticles dispersed or aggregated in liquids, arranged in gaseous plasmas, and floating in gas flow.

4. Audience:

The book is written for scientists, engineers and technologists in academia and industry in materials science, nanotechnology and dusty plasmas, and also beneficial for researchers of metamaterials, batteries, and other optical and electric devices who are interested in self-assembly processes.

5. Benefits to audience

Assembly of particles in general is understandable in points of view of its collective dynamics and its resultant topology, which are slightly far from nanotechnology itself. Then, this book will help readers who intend to extend their research fields in other science and to go towards industrial applications.

2. 国際会議開催

平成 30 年 12 月 25 日 - 26 日、核融合研究所で本プロジェクトと関連した国際ワークショップ、第 19 回微粒子プラズマ研究会（19th Workshop on Fine Particle Plasmas）が開催された（Organizing committee chair:静岡大学・三重野先生(分担者)）。本プロジェクトの分担者はもとより、多数の参加があり、本分野が国際的に大きく発展する可能性を示した。

［4］成果資料

【学術論文】

（1）N. Kihara and O. Sakai, "Topological network properties of fractal-like metallic nanoparticle patterns and their effects on optical resonances," Applied Sciences, vol. 8, pp. 1310-1-13 (2018).

（2）T. Naito, T. Tanaka, Y. Fukuma and O. Sakai, "Electromagnetic wave cloaking and scattering around antiresonance-resonance symmetrical pair in frequency domain," Physical Review E, vol. 99, pp. 013204-1-9 (2019).

（3）G. Itami, O. Sakai and Y. Harada, "Two-dimensional imaging of permittivity distribution by an activated meta-structure with a functional scanning defect," Electronics, vol. 8, pp. 239-1-16 (2019).

（4）G. Uchida, T. Ito, J. Ikeda, T. Suzuki, K. Takenaka, and Y. Setsuhara, "Effect of plasma-activated medium produced by direct irradiation on cancer cell killing," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, pp. 096201-1-096201-6 (2018).

（5）Y. Kim, K. Koga, and M Shiratani, "Particle behavior and its contribution to film growth in a remote silane plasma," Journal of Vacuum Science & Technology A, vol. 36, 050601 (2018).

（6）T. Fang, K. Yamaki, K. Koga, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, M. Shiratani, K. Takenaka, Y. Setsuhara, "The effect of the $H_2/(H_2+Ar)$ flow-rate ratio on hydrogenated amorphous carbon films grown using $Ar/H_2/C_7H_8$ plasma chemical vapor deposition," Thin Solid Films, vol. 660, pp. 891-898 (2018).

採択回数	1	2	(3)

(先端・産学)

採択番号：H28/B04

視覚的な物体質感の認知メカニズムに関する研究

［1］組織

研究代表者：岡嶋　克典
(横浜国立大学)
通研対応教員：栗木　一郎
(東北大学)
研究分担者（５０音順）：
内川　惠二（神奈川工科大学)
金子　沙永（東北大学)
北岡　明佳（立命館大学)
鯉田　孝和（豊橋技術科学大学)
郷田　直一（自然科学研究機構生理学研究所)
小松　英彦（玉川大学)
坂田　勝亮（女子美術大学)
佐藤　智治（一関高専)
篠森　敬三（高知工科大学)
須長　正治（九州大学)
徳永　留美（千葉大学)
辻村　誠一（鹿児島大学)
中内　茂樹（豊橋技術科学大学)
永井　岳大（東京工業大学)
仲泊　聡　（理化学研究所)
西田　眞也（NTT ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ科学基礎研究所)
福田　一帆（工学院大学)
本吉　勇　（東京大学)
溝上　陽子（千葉大学)
矢口　博久（千葉大学)
山内　泰樹（山形大学)
和田　有司（立命館大学)

延べ参加人数：25 人

研究費：旅費　　256,000 円
産学特別支援費　60,000 円

［2］研究経過

人間の脳内における，物体表面の属性（質感や色など）を視覚的に取得するための情報処理メカニズムの研究を主題とする．物体表面の視覚的特徴（質感や色）の分析は物体を同定するための重要な役割を担っている．質感研究は科研の新学術研究領域（H.22-26「質感脳情報」，H.27-「多元質感知」）として重要な研究課題と認められている．

本研究会では，これらの視覚情報処理に関連する研究を推進している工学・生理学・医学・心理学・美術学などの多様な分野にまたがる研究者を招聘して研究会を開催し，深いディスカッションを通して人間の物体認識メカニズムにおける未解決の重要な研究課題の抽出を行うことを目的とする．

これまでに，色覚研究会（H19/A07）ならびに質感・色覚研究会（H22/B09，H25/B07）として採択された共同プロジェクト研究にて研究会を実施し，活発な意見交換を行ってきた．その中で構築された研究者ネットワークは，昨年７月に通研国際シンポジウムとして共催した International Colour Vision Society（国際色覚学会）2015 における日本人参加者の確保へと繋がった．

本プロジェクト研究会のメンバー（工学，医学，生理学，心理学，芸術学など）は過去の共同プロジェクト研究にも参画していた．また，H19/A07 からは科研費の新学術研究（質感脳情報学：H.22-26）の代表者以下多くのコアメンバーを多く輩出した経緯もある．昨年度から「多元質感知」にも開催案内を告知し共催とした．

過去の研究会参加者からは，これまでと同様のテーマで，同様の形式による研究会の継続を強く希望する声が多く聞かれ，研究者コミュニティにおける研究交流の場の提供にも貢献している．

本年度の活動として，下記の要領で２回の研究会を開催した．第１回研究会では，蒲池みゆき氏（工学院大学）を，第２回研究会では平松千尋氏（九州大学）を招聘して研究会を行った．第２回の研究会は共同プロジェクト研究 H29/A16「色名に関する文化差および個人差の研究」および H30/A41「広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化」と共同開催した．

以下に研究会開催の詳細を記す（敬称略）．

第１回研究会
日時：平成 30 年 12 月 25 日(火)～26 日(水)

会場：東北大学 電気通信研究所 M431 号室

1) 鍵本明里・高橋良香・岡嶋克典（横国大）「デバイス間の色の見えにおける ipRGC 及び rod の影響」
2) 日高杏子（芝浦工大）「『基本の色彩語』におけるマンセルカラーチャート上の色彩の分類」
3) 永井岳大（東工大）「色差量に伴う色差表現の推移」
4) 蒲池みゆき（工学院大・招聘）「顔知覚研究が関与する商品開発の現状」
5) 佐藤智治（一関高専）「Collinear facilitation の色選択性」
6) 北岡明佳（立命館大）「２つの混色系と色の錯視」

質感・色覚研究会（第２回）
日時：平成 31 年 2 月 20 日(火), 9:45-10:45, 13:30-17:30
会場：東北大学 電気通信研究所 M331 号室
1) 栗木一郎・渡邉　岳（東北大）「広輝度ダイナミックレンジ環境における明度および質感知覚」
2) 清川宏暁（山形大）永井岳大（東工大）「光沢感知覚における輝度エッジの寄与」
3) 徳永留美（千葉大）「タイ語の色カテゴリーと地域差についての検討」
4) 平松千尋（九州大・招聘）「〜遺伝子から社会まで〜，色覚の多様性の多面的理解に向けて」

［3］成果

以下，研究会におけるそれぞれの講演について，報告・検討された事項を要約する（敬称略）.

（3—1）第１回研究会

鍵本らは，以前から視知覚への寄与が知られている錐体・桿体光受容器に加え，概日リズムなどへの寄与が知られている光受容体を含む神経節細胞 ipRGC (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells)の視知覚への寄与について，様々なスペクトルの光源において主観的報告により測定した色の見え方の結果について報告した.

日高はBasic Color Terms（1969）に使用されている色チャートにおいて，色票間のグリッドの有無や明度によって色カテゴリーの境界形状が受ける影響に関する考察を報告した．境界線（グリッド）が生じる対比効果やハーマングリッドのような錯視が，その間に敷き詰められた色票の色知覚をどのように変容させているか，その変容によってカテゴリー境界のシャープさがどのように影響を受けているか，などアート的観点からの問題を提起した．これらの課題について活発な意見交換が行われた.

永井は，閾付近の色弁別と閾上の色差の評価を有彩色背景の上で行なった場合に，最大の感度を生じる色が二つの課題で異なる事について，複数のメカニズムが重複して存在している状況に関する研究を報告した．過去の同グループの研究では，弁別と色差のそれぞれでメカニズムが１つずつしか存在しないことを仮定して MLDS (maximum-likelihood difference scaling) 解析を行っているが，閾上色差の評価に用いる色ペアのレンジを変更すると，異なる結果が得られた．単一メカニズムという前提条件の誤りの可能性が指摘されるなど活発な議論が行われた.

蒲池は，顔知覚の基礎研究の応用的側面についての報告を行った．化粧品開発，顔認証，警備，医薬品，エンターテイメント産業，サービス業など，多くの分野に応用の可能性があることが紹介された．特に，化粧品会社との共同研究に関する動向について報告を行なった．動画を用いて肌の弾力感から年齢を推察する実験および，動画における肌の弾力感知覚に関する研究の結果について報告が行われた．化粧品開発・販売と基礎研究の関与について活発な質疑が行われた．本件は特別支援（産学）に関わる研究成果である.

佐藤は，ガボールパッチを直列に三つ並べた時に，ある条件下で中央のパッチの検出力が高まる現象 colinear facilitation（共線性による促進）に関する報告を行った．特に，周辺と真ん中の色の違いを操作した時に，促進と抑制が生じる条件について系統的な分析を報告し，メカニズムについて議論が行われた.

北岡は，空間的に並べて配置された細い線の色が混ざる現象：並置混色についての研究成果を報告した．並置混色は，通常空間的に細かいものが網膜上で分解できなくなり色が混ざる（混色する）現象と考えられているが，ディスプレイのように色が加算的に混ざる加法混色と，印刷物のような減法混色とが存在する現象を報告した．実際はR,G,B の細い縞だが，配置された図形の解釈に伴って白く見える（加法混色）場合と黒く見える（減法混色）場合が生じる事が紹介された.

（3—2）第２回研究会

栗木らは，1:1,000 以上の消光比をもつ広輝度ダイナミックレンジのディスプレイにおいて得られる明度知覚に関する研究と，明度コントラストの変化に伴う質感知覚の影響について，研究成果の報告を行った．高明度域の知覚はディスプレイ輝度の上限に強く影響を受けるが，低明度域の知覚はディスプレイの輝度域の影響を受けにくい．結果として，暗部が正確に表現できるディスプレイでは知覚できる明暗コントラストが高く，質感知覚にも影響していることを報告した.

清川らは，光沢感を生じる画像の中で，特にハイライトを除去しても得られる光沢感の手がかりが何かについて，画像統計量を網羅的に調べた研究について報告を行った．暗部であっても細かな輝度エッジの多少が光沢感知覚に影響する事が報告されたが，その物理的な意味と知覚への影響について活発に議論が行

われた.

徳永は，タイ語におけるカラーネーミング実験の途中経過を報告した．タイの４地方において 50 名ずつ合計 200 名のデータ取得を目標としており，約 60%のデータが集まった時点の暫定結果を報告した．顕著な特徴として，日本語と同様に明るい青を明確に区別して呼称していることが報告された.

平松は，色覚の多様性について，遺伝情報における多様性と発現形の多様性，そして知覚における色覚の多様性との比較を行った．また，社会での意義について，２色覚者の色弁別を模擬した画像における眼球運動の調査など，幅広いアプローチにより色覚の多様性とその社会との関わりについて報告した．多くの質問が出て，活発な議論が行われた.

（３―３）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究会では，遺伝子情報をはじめとする色を感じるメカニズムの研究から，錯視，芸術，商品開発に至るまで幅広い分野の知見を分野横断的・総合的に報告し合い，議論を深める機会を提供することができた．今年度は特に，色覚が単に生活・生存に必要な情報の取得だけでなく，芸術の鑑賞や質感にもたらす寄与について，多くの研究報告とそれに対する活発な議論が行われた.

視覚情報処理のゴールの１つは物体の認識・同定である．情報通信技術において，物体認識を正しく与える観点で考えると，色覚および質感情報処理に関する研究は重要である．本研究会で行われた多くの研究報告や討議からは，単純にありのままを伝えるだけではなく，視覚特性の多様性を考慮した情報処理についてさらなる研究・検討が必要であることを強く印象付けられた．本研究会に参加のメンバーにおいては，各自の研究テーマの発展にこれらの議論が強く寄与していると期待する.

［４］成果資料

1) Kuriki I. (2018) “A novel method of color-appearance simulation using achromatic point locus with lightness dependence,” *i-Perception,* 9(2), 1-16. (謝辞記載あり)
2) Nagai T, Hosaka Y, Sato T, Kuriki I. (2018) “Relative contributions of low- and high-luminance components to material perception,” *Journal of Vision*, 18(13), 6, 1-19. (謝辞記載あり)
3) 伊藤雄謙，佐藤智治，田代知範，山内泰樹，永井岳大 : 色差量の変化に伴う色感度特性の推移．*日本視覚学会 2019 年冬季大会*.
4) Kamachi, G.M., Sawamura, Y., Yasuda, M., “Age perception for human faces covered with global concentric pattern,” *European Conference on Visual Perception 2018*.
5) Sato T, Nagai T, Kuriki I. “Chromatic selectivity of collinear facilitation,” *OSA Fall Vision Meeting 2018.*
6) 北岡明佳．２つの視覚的文法から見た色の知覚の再検討．*日本色彩学会第 49 回全国大会 2018* 招待講演.
7) Kiyokawa H., Tashiro T, Yamauchi Y, Nagai T. “Image cues for glossiness perception obtained from low luminance specular reflection components,” *European Conference on Visual Perception 2018*.
8) Hiramatsu C. “Variations in human color vision beyond perceptual differences,” *Asia Color Association 2018 meeting.*
9) Yamakawa M, Tsujimura S, Okajima K, "Individual Differences of ipRGC's Contribution in Brightness Perception," *Asia Color Association 2018 meeting.*

採択回数	1	2	3

(産学)

採択番号：H28/B07

産業的プログラミング言語開発と プログラミング言語基盤研究の技術融合

［1］組織

研究代表者：
松本　行弘（Ruby アソシエーション）
通研対応教員：
上野　雄大（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
笹田　耕一（Ruby アソシエーション）
前田　修吾（Ruby アソシエーション）
田中　哲（産業技術総合研究所）
大堀　淳（東北大学電気通信研究所）
遠藤　侑介（クックパッド株式会社）
松本　宗太郎（SideCI 株式会社）

延べ参加人数：8 人

研究費：

旅費	159,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

大規模 Web アプリケーションやマルチコア CPU などを含む新たなコンピューティング環境とその普及に伴い，社会の情報処理技術に対する要求は一段と高度化・複雑化している．この変化に合わせて，新たなコンピューティング環境を駆使し，社会の要請に答えられる規模，効率，信頼性を有するソフトウェアを開発するための中核技術であるプログラミング言語も，刷新を続けていくことが求められている．

これまでに行われてきたプログラミング言語の刷新には，主に二つの潮流がある．ひとつは，実用言語の継続的発展に代表される，既存のプログラミング言語の開発者が時代のニーズに合わせてその言語を拡張する流れである．もうひとつは，学術領域におけるプログラミング言語理論研究に代表される，新たな基盤技術を創出し全く新しいプログラミング言語を提案する流れである．本研究会では，前者の流れを汲む産業実用スクリプト言語 Ruby の開発チームと，後者の流れを汲む次世代言語 SML#の研究開発チームが，互いの強みを活かし連携することで二つの潮流を融合し，真に実用的な言語の継続的開発と，学術領域での最先端の研究成果とを両立した，新たな実用プログラミング言語研究開発体制の実現を目指している．

本プロジェクトは本年度が第 3 年度であった．第 1 年度は，本プロジェクトの主要な研究課題を型システムに定め，実用言語の開発者が想起する機能と，プログラミング言語理論の研究者が持つ知見を融合し，次世代の Ruby が有するべき型付けの理論と実践に関する研究を展開することを決定した．第 2 年度は，型システムとその検証器の実現を目指し，技術的な課題を整理した．この流れを受けて本年度は，具体的な静的解析手法の確立およびツールの実現に向けて，解析手法の検討を進めながら，ツールの試作を行った．さらに，本プロジェクト関係者で研究成果を論文にまとめ，国内の査読付き学術会議に投稿・発表した．

研究活動状況の概要は以下の通りである．ツールの開発および論文の執筆においては，オンライン会議システムなどを活用した機動的な打ち合わせを一年を通じて頻繁に行った．その一連の研究活動および本プロジェクトの締めくくりとして，2019 年 2 月 25 日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催した．本研究会には，研究代表者，通研対応教員，および分担者 4 名に加え，関連分野を専門とする東北大学教授 1 名（住井英二郎氏）をオブザーバーに迎え，合計 7 名の参加があった．研究会では，本プロジェクトが推進しているツールの開発に携わる分担者それぞれによる開発状況の報告が行われ，今後の展開について議論を行った．また，学術会議での発表に向けたメンタリングおよび想定される話題の整理が行われた．

本年度に開発を推進したツールは以下の 2 つであ

る.

- 抽象解釈に基づく型プロファイラ．このシステムは与えられた Ruby プログラムを抽象的に実行し，そのトレースから各メソッドが持つ型を解析する. 素の Ruby プログラムから読解に役立つ情報を引き出すことが，このシステムの主な目的である.
  Ruby プログラムの正確な意味は実行して初めて得られるので，プログラムの性質を調べる最も直接的な方法は，プログラムを実行してみることである. しかし, プログラムの実行には種々の設定が必要となるだけでなく，入力の可能性が無数に存在し，実行トレースの量も膨大となる．そこで，抽象解釈の考え方を応用し，少ないコストで適切に抽象化された実行トレースを得ることができるならば，プログラムの読解や誤りの発見においては，本当にプログラムを実行するよりも有益な情報が得られる可能性がある. 以上の洞察に基づき, 本プロジェクトでは，取り得る状態の数が必ず有限になるような抽象解釈器を設計し，一種の不動点計算によってプログラムの全状態を計算するアルゴリズムを開発した．本ツールはこの抽象解釈アルゴリズムを実装した試作である.
- 静的型検査ツール Steep．このシステムは，与えられたシグネチャと Ruby による実装に矛盾が無いことを型検査によって検証する．Ruby で型を意識したプログラミングを行うことを提案および支援することが，このシステムの目的である.
  Ruby は動的な言語ではあるが，一般に推奨されるようなソフトウェアのモジュール化を行なっているならば，定義が完了したクラスはある種の静的なシグネチャを持つはずである．このシグネチャを記述する型言語を Ruby 自体とは独立に導入し, プログラマにシグネチャを書かせ, シグネチャと実装が矛盾しないことを型検査することができれば，従来の Ruby の記述性と，静的型も意識したプログラミングを両立できる可能性がある．Steep の開発では，漸進的型付けとローカル型推論の考え方を取り入れ，Ruby の意味論に対しておおよそ健全と期待される型システムとその型推論アルゴリズムを設計し，実装した．Steep は，プログラムの型をプログラマに意識させ，さらにプログラマにシグネチャや型注釈を書かせるという点において，Ruby の魅力とされてきた動的言語機能を中心とした自由で完結なプログラミング体験とは一見矛盾する．Steep の狙いは，この相反する二つの性質を両立し，両方のメリットを享受することができる開発環境を実現することである.

本年度は，これらのツールの最初の試作を推進した．完成した試作はオープンソースソフトウェアとして GitHub で公開されている（成果資料１，２）．また，その進捗報告を PPL2019（査読付き国内学術会議．採択率約 65%）において発表した（成果資料３）.

これらツールの開発を受けて，研究会では 2 件の発表が行われた．発表内容の概略は以下の通りである.

遠藤侑介氏からは，型プロファイラの開発状況についていくつかの報告があった．まず，型プロファイラに型プロファイラ自身のソースコード（1911 行）を与える評価実験の結果が報告された．その結果，実行時間は短かった（2 分弱）ものの，カバレッジが低く，全てのメソッドを辿ることができなかった．それでもなお，この実験を通じてバグを 1 件発見することができ，本方式が有望であるという印象を得た．カバレッジが低い原因を詳細に解析した結果，その大きな原因のひとつは，汎用の配列を用いて実装した具体的なデータ構造の型を，配列操作プリミティブが汎用的な型を持つために，型プロファイラが計算できていないことにあった．この解決には，配列に関する緻密な型解析が必要であることが提案され, その具体的な方針について議論が行われた.

松本宗太郎氏からは, Ruby にふさわしい標準的な型シグネチャ言語に関する提案があった. Ruby の次期バージョンである Ruby 3 ではプログラマに静的解析機能を提供することを計画しているが，その一方で，将来のプログラム解析技術の発展とは独立に Ruby の開発を進められる体制も求められている．この折衷案として，Ruby 3 には具体的な型解析器を搭載せず，その代わりに標準的な型シグネチャ言語のみを定め，その解釈を外部のツールに委ねる方針が提案されている. Ruby に対する静的型解析ツールには, 本プロジェクトが推進する Steep の他に Sorbet や RDL などが知られており，ツールごとにそれぞれ独立にシグネチャ言語を提供している．これらのツールの開発者と相談しつつ，Steep を軸に共通の型シグネチャ言語の設計を進めている．本発表では，その設計のドラフトが示され，シグネチャ言語の構文と意味について更なる検討が必要な箇所が洗い出された.

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトの目標は，産業界に端を発する実

用言語 Ruby の開発コミュニティーと,学術研究に端を発する SML#研究開発プロジェクトが連携し,互いの知見や技術を持ち寄り融合させ,これまでに無い新たな研究体制を構築することであった.本年度は,両グループのメンバーを中心に,1 名のゲストを迎え,Ruby と型についての話題を中心に,次期 Ruby に向けての研究課題やその周辺領域について活発な議論が行われた.

経過報告からも見て取れるように,本プロジェクトでは産業と学問の両面から様々な着想や知見が提示され,違いに新たな視点を得ることができたとともに,どちらか片方だけでは取り組むことが難しい複合領域および未踏領域へ研究の推進する手がかりを得ることができた.特に,Ruby の静的解析手法の開発や型システムの構築は,Ruby の開発者,Ruby の使用者,およびプログラミング言語理論の専門家全員の協働なくして実現し得ない.なかでも,試作ではあるもののツールを完成させ,さらにその報告を学術会議で行ったことは,産学連携型の本プロジェクトがその強みを発揮して得られた,学術および産業の両方向に対する本プロジェクトの成果である.

本プロジェクトは,プログラミング言語に関わる技術者および研究者を一堂に会して議論する機会を提供し,日本発のプログラミング言語である Ruby のさらなる発展を推進するものである.特別支援分の研究費により,研究集会には様々な企業から技術者および研究員を招聘し,産学共同研究推進型共同プロジェクトに相応しい,多様性に富む研究集会を開催することができた.本年度の具体的な招聘元機関および企業は以下の通りである:一般財団法人 Ruby アソシエーション,クックパッド株式会社,SideCI 株式会社 (順不同).

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

経過報告でも述べた通り,本プロジェクトはすでに具体的な解析手法およびツールの研究開発プロジェクトに発展しており,ソフトウェアや論文の発表に至っている.この流れをさらに推進するならば,動的言語の静的解析に関する新たな潮流に繋がると期待している.

研究会としての本プロジェクトの一般的な発展性は,立場や専門が異なる個人やプロジェクトの間での交流を活性化し,開発言語や所属機関を越えた言語開発者コミュニティを形成することができたことにある.本プロジェクトは,その構造上,学外と学内,産業と学問,技術者と研究者,実用主導プロジェクトと研究主導プロジェクト,技術的にも型付きと型無し,オブジェクト指向と関数型など,相対する多くの要素を含んでいる.それらの違いを超えて互いが連携することにより,各自の活動や研究に良い相乗効果が与えられ,動的言語の静的解析という萌芽的な領域への展開が実際に行われた.このような機会は,プログラミング言語研究分野での研究成果を迅速かつ円滑に社会還元するという点においても,きわめて有意義であった.本プロジェクトを足がかりに,Ruby 3 に向けた研究開発を産学でさらに展開する予定である.

［４］成果資料

（１）mame/ruby-type-profiler: An experimental type-level Ruby interpreter for testing and understanding Ruby code.
https://github.com/mame/ruby-type-profiler

（２）soutaro/steep: Gradual Typing for Ruby.
https://github.com/soutaro/steep

（３）遠藤侑介,松本宗太郎,上野雄大,住井英二郎,松本行弘.Progress report: Ruby 3 における静的型解析の実現に向けて.第 21 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2019),2019 年.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3 (先端)

採択番号：H28/B08

マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究

［1］組織

研究代表者：近木　祐一郎
（福岡工業大学工学部）
通研対応教員：八坂　　洋
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
池地弘行　（元九州大学産学連携センター）
間瀬　淳　（福岡工業大学総合研究機構）
冨尾　武（宇宙航空研究開発機構）
犬竹正明（元東北大学電気通信研究所）
佐藤源之（東北大学東北アジア研究センター）
中沢正隆（東北大学電気通信研究機構）
伊藤直樹　（宇部工業高等専門学校）
際本泰士（元京都大学）
山鹿光紀（富士重工業（株））
徳田伸二（高度情報科学技術研究機構）
酒井文則（サクラテック（株））
鈴木昭広（個人事業主）
岩月勝美（東北大学電気通信研究機構）
吉本直人（千歳科学技術大学電子光工学科）
小川裕之（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：１８人

研究費：
旅費　　243,000 円

［2］研究経過

本研究は、電波（マイクロ波）および光（赤外レーザ）を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムの開発と動作検証を目的としている。システムの開発においては、ハードウェアおよびソフトウェアを高度に組み合わせて開発を進め、応用ソフトを開発できる基盤になる高精度な位置情報を出力するレーダの開発を目指している。具体的には、

ⅰ）Ku バンド（波長 2 cm）航空機搭載型移動補償方式合成開口レーダの高精細画像取得の安定的運用へ向けた工学的課題の検討と対策、潮位を測定できるレーダの開発と実機検証

ⅱ）赤外線（波長 1.55 μm）を用いた 1-10 cm の高空間分解を実現する、レーザレーダシステムの開発と実機検証、を進める。

また、合成開口レーダシステムが計測する位置情報を応用するソフトの開発、および応用ソフトの適用できる分野の検討・開拓も目的としている。

本プロジェクトは本年度が 2 年目であり、昨年度の研究会で検討した以下の項目について研究を展開した。Ku バンド移動補償合成開口レーダにおいては、IMU の換装による画像取得歩留まりの改善、ソフトウェア開発においては、犬竹名誉教授が進めた Ku バンド SAR（LiveSAR）開発の目的ともなった浸水域検知応用ソフトの開発にもつながる光学画像と比較できるような SAR 画像の合成による生成を推進した。潮位観測レーダに関しては、レーダハードウェア自体の開発、シミュレータを用いた潮位観測解析方法の研究を進めた。レーザレーダに関しては、昨年度に行った室内ターゲットの可視化ができたことを受けて、今年度は測距性能の高精度化によるイメージの改善および、より遠距離ターゲットの計測を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

I)　東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2018：平成 30 年 2 月 22 日　東北大学電気通信研究所本館、ポスター展示、近木祐一郎、間瀬淳、犬竹正明、池地弘行「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究」

II)　H29 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会：平成 30 年 3 月 12 日、電気通信研究所 1 号館、参加者 18 名

III)　H29 年度 Live SAR およびレーザ SAR 開発に関する検討会：平成 30 年 3 月 12 日、電気通信研究所 1 号館、参加者 9 名

［3］成果

（3－1）研究成果

各研究活動において得られた成果を記述する。

I)　東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2018：本プロジェクトに関連し、犬竹より「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究」のパネル展示がなされ、今年度推進

された Ku バンド合成開口レーダ画像応用ソフトウェア、およびレーザレーダ画像取得検証実験について報告を行った。

II)　共同プロジェクト研究会:本研究プロジェクト研究会では、マイクロ波およびレーザを用いた合成開口レーダの研究開発および災害監視への適用報告など5件の報告があった。以下にそれら報告の概要を示す。

Ⅱ-1) LiveSAR のスプリットビーム化改修等とレジストレーションソフトウェアの開発(近木、竹内、尾家英人、LiveSAR 開発チーム)

はじめに、LiveSAR 開発の全期間に関する総括および動作原理の説明があり、10cm の空間分解能で10km 以内のレンジの対象を撮像できることが報告された。その上で、今年度進められた LiveSAR をプラットフォームとして機能する2つの機能に関する開発の現状が以下のように報告された。1 つ目は LiveSAR 画像を用いた浸水域監視ソフトウェアの開発に関するものであり、LiveSAR 画像と光学画像のマッチング手法の研究である。LiveSAR 画像が持つ位置情報は LiveSAR 搭載の GPS 受信機の誤差により光学画像の位置情報と 20m 以下程度の誤差を持つことから、20m 以下の位置の合わせこみに関する研究を展開した。基本的には LiveSAR 画像と光学画像を相互相関によりマッチングさせるが、SAR 画像の特異性のため画像処理なしではマッチングが難しい。報告では光学画像における海面を土地利用地図の情報を用いて暗くすること、撮像された対象物のうち人工物が多く写った画像を用いてマッチングをすると位置の合わせこみ精度がよくなると報告された。2つ目の移動体検出のためのスプリットビーム化改修に関しては、実験室内における 1ch レーダシステムを用いて移動体がクロスレンジ方向にシフトして撮像される現象を検証できたこと、スプリットビームを生成するためのアンテナ改修に関してのシミュレーション解析結果などが報告された。その他にⅡ-2に関連して広帯域発振器開発の現状が報告された。4GHz 帯域 FM 発振器を構築し、簡易レーダ試験により 0.1mm の誤差で発振波形の制御ができていることが報告された。

Ⅱ-2) マイクロ波変調近赤外レーザー応用イメージング(間瀬)

レーザレーダによる近距離物体の位置情報をミリメートル程度の精度で画像化できるレーザレーダの原理について説明の後に、位相勾配法を用いた近距離物体イメージングの実験結果について報告があった。方位各方向の分解はレーザーの放射方向により分解され、距離方向は 16GHz 帯域のレーザーの振幅変調により分解する。観測されたイメージはミリメートル程度の精度で距離が分解された画像であり、よりノイズを少なくする方法が議論された。また、他の研究グループにより進められているレーザレーダ (SAR) の研究紹介が合った。超広帯域(76GHz または3THz)の FM 変調 DFB レーザでイメージングを行っているグループと、6GHz 帯域の AM 変調レーザにより 1km レンジで SAR 画像を取得したグループの研究紹介があった。

Ⅱ-3) 市販カメラを使ったホログラムによる3次元イメージデータの取得方法(池地)

3 次元データを高速に取得するためには、レーザ光が拡がる様に対象物に向けて放射し、各部からの後方散乱光をイメージングデバイスで撮像する方法が有効であることが報告された。ただし、レンズを用いた結像光学系では、焦点深度の関係からレンジ方向の分解に制限が出ることをシミュレーション結果を用いて明らかとした。またよりレンジ方向に画像化できる範囲を拡張できるアイデアとしてホログラムを用いた3次元画像の取得方法の原理説明およびシミュレーションによる原理実証画像が示され、上下左右方向の空間分解能は高く、レンジ方向には撮像できる範囲が結像光学系に比べて広くなるものの、分解能が原理的に上下左右に比較して若干低くなる等の報告があった。

Ⅱ-4) ALAN コンソーシアムについて (岩月、吉本)

海中に光のセンサおよびネットワークを構築する構想に関して、組織および技術に関する説明があった。水平及び深度方向に広大な海中をカバーすべく自立型無人潜水機やセンシング技術開発の必要性が報告された。水中の伝送に関して、青色レーザ光が他の波長に比べて損失が少なく、水質の影響は受けるものの、きれいな海水中では 100m 程度の送受信に利用できる実験結果が示された。その後、吉本氏により Trimatiz のレーザ応用製品について紹介があった。青色の光を用いると水中通信では 100m 程度まで 1Gbps の通信ができること、Lidar では 50cm 空間分解能が得られること、特に 200ps 短パルスを用いると 1cm 分解能が得られることが報告された。今後は、この通信及びセンシング技術を構築するための MPCC 受講素子などのデバイス開発およびイメージング技術の開発が必要であるなどの説明があった。

Ⅱ-5) 陸上設置型潮位測定レーダの地上試験による高度測定 (近木)

海波の潮位を測定する地上設置型の合成開口方式をベースとしたレーダ開発の現状について報告があった。シミュレーション研究により各アンテナで受信された後方散乱信号をレンジ分解したときの等レンジにおける位相勾配が潮位に比例することを明らかとしたが、これを 40m 程度の近距離ターゲットを

用いて実証できたことが報告された。

III)　H30 年度 Live SAR およびレーザ SAR 開発に関する検討会では、以下の内容が検討された。
III-1) LiveSAR のデータ取得歩留まり安定化のための IMU の追加利用やスプリットビーム SAR 開発のためのアンテナおよびスイッチシステムの開発を引続き進めることが話し合われた。
III-2) レーザレーダの課題について議論を行った。課題である空間分解能を改善しより滑らかなイメージを生成するための等価的によりパワーを利用する計測法の実施、今年度開発した 4GHz 帯域 FM 発振器および AD 変換器を利用した高速に画像取得する実証実験の推進を行うことになった。また拡散ビームおよび撮像素子を用いたもう一つの高速に画像取得するシステムへの改修方法の検討およびできれば実験を進めることとなった。また以上を近赤外領域の光を用いて開発した後に、海中を目的とした青色領域システムへの展開を目指すこととなった。
III-3) 平成 31 年度の通研共同プロジェクト研究会継続申請の報告が代表者である近木よりあった。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本プロジェクトは、
ⅰ) Ku バンド (波長 2 cm) および赤外線 (波長 1.55 μm) を用いた航空機搭載合成開口レーダの民生分野への実用化についての調査検討、ⅱ) 1-10 cm の高空間分解を実現する、移動補償方式 SAR システムの開発と実機検証、を主目的に進めてきた。
Ku 帯の LiveSAR では 10cm 級分解能の画像取得と、移動体検出など特徴ある情報をアピールできれば、災害監視のための応用ソフト開発の弾みがつき、防災対策などの関係部署への導入も見えてくるであろう。移動体検出のための LiveSAR システムの改修に関して以下の資金を獲得した。

資金制度：科研費（基盤研究 C）
研究費名：「災害時情報収集のための合成開口レーダによる移動体検出の研究」
配分機関名：福岡工業大学
配分期間：H30 より 3 年間

一方、近赤外を用いたレーザレーダでは 10GHz を超える帯域の利用により世界最高性能の mm 級の距離測定精度が達成されていて、より高速かつノイズの少ない画像が開発できれば、水中でのセンシングなど応用分野が広がると考えている。

［４］ 成果資料

1. “Development and Calibration of a Prototype Radar for Sea-Tide Level Measurement”, Ryota Nakazono, Ryusei Noda, Daisuke Kaneko, Yasuhiro Takeuchi, and Yuichiro Kogi, 2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)

2. “Development and application of radar reflectometer using micro to infrared waves”, A. Mase, Y. Kogi, D. Kuwahara, Y. Nagayama, N. Ito, T. Maruyama, H. Ikezi, X. Wang, M. Inutake, T. Tokuzawa, J. Kohagura, M. Yoshikawa, S. Shinohara, A. Suzuki, F. Sakai, M. Yamashika, B. J. Tobias, C. Muscatello, X. Ren, M. Chen, C. W. Domier & N. C. Luhmann Jr., Advanes in Physics: X, Vol 3, 2018 - Issue 1

採択回数	1	2	3

(国際)

採択番号：H28/B09

HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの確立

［1］組織

研究代表者
坂本　大介(北海道大学大学院情報科学研究科)
通研対応教員
北村　喜文（東北大学電気通信研究所)
研究分担者
矢谷　浩司（東京大学大学院工学系研究科)
加藤　淳　(産業技術総合研究所)
杉浦　裕太（慶應義塾大学理工学部)
中村　裕美（産業技術総合研究所)
蜂須　拓　(筑波大学大学院システム情報工学研究科)
松村　耕平（立命館大学情報理工学部)
阪口　紗季（東京大学大学院情報学環)
樋口　啓太（東京大学生産技術研究所)
尾形　正泰（産業技術総合研究所)
加藤　邦拓（明治大学大学院先端数理科学研究科)
池松　香　(お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科)
西田　惇　(筑波大学グローバル教育院)
Kotaro Hara　(Singapore Management University)

延べ参加人数：15人

研究費：

旅費	226,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

Human-Computer Interaction（HCI）分野は1980年頃に誕生し、いまだ40年程度の歴史しか持たない比較的若い学術研究領域である。HCIは計算機科学と社会心理学を中心として、人と計算機との関わり合いの中で発生する事象を理解することを目的とした学問分野である。これはすなわち、理工学と人文科学の総合的な研究領域であり、真に学際的（Interdisciplinary）な領域であると言える。

本分野においては、日本であれば情報処理学会や電子情報通信学会が主要な学術団体であり、北米であればACMやIEEE、欧州であればIFIPが主要な学術団体である。一方で、HCI研究者はこれらの全てに所属することは難しく、また、これらは計算機を中心とした情報科学に特化した学術団体であるという点で、人文科学までをも含むHCIが扱う全てのトピックを網羅することができているとは言いがたい。HCI研究者はまた、この理由により興味関心が近い研究者同士が十分に交流する機会を得ているとは言いがたい。

本プロジェクトの目的は、これらの学術団体を超えた、HCIに特化した新しい研究コミュニティの形態を模索することである。各研究者がそれぞれの学術団体を離れるのではなく、むしろ所属し活用しながら、HCIを活用して相互に柔軟に交流できる仕組みを模索する。近年の具体的な例を挙げるならば、国際会議においてテレプレゼンスロボットを活用し、会議に物理的に参加できない研究者であっても会議参加経験ができるサービスの提供であったり、勉強会において参加者が実際には集まらずに、オンラインで実施するようなものであったり、実際に物理的に会議に集まっている参加者の体験向上のために体験型の発表を増やしたり、オンライン支援をしたりといったものが実現されてきている。これらはHCIの特徴、すなわちICTを利用することによる恩恵を最大化することを目的としており、本プロジェクトにおいては、既存の枠組みを超えた新しい提案を行うことが目標である。

以下，研究活動状況の概要を記す。

1．本プロジェクト研究会を母体としてACM SIGCHIの日本初の支部であるJapan ACM SIGCHI Chapterを初年度に設立した。

2．本プロジェクト研究会とJapan ACM SIGCHI Chapterが主催する国際シンポジウムを開催した。

概要：
日時　2018年12月12日（水）～13日（木）
会場　東北大学電気通信研究所

参加人数　約50名
詳細 https://sigchi.jp/symposium/2018/

［3］成果
（3－1）研究成果
2018年12月12日（水）および13日（木）の2日間にわたって RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction が、第三回ACM SIGCHI Asian Symposium との共同開催として、東北大学電気通信研究所の北村 喜文 教授をチェアとして開催された。本シンポジウムは国際会議CHI2021の日本開催を念頭に、アジア各国の主要なHCI研究者にお集まりいただきご講演頂いた。加えて、国内を中心に若手の研究者の皆さんにもお集まりいただき、日本メンバーおよびアジア各国からの招へい研究者を交えて活発な意見交換を行った。シンポジウムの詳細は以下の通りである。

Wednesday, December 12

13:00-13:20 Registration
13:20-14:40 Session 1 chair: Masa Ogata (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan)

- Opening
  Yoshifumi Kitamura (Tohoku University, Japan)
- Cinévoqué: Responsive VR Cinema - From Concept to Infinite Possibilities
  Jayesh S. Pillai (IIT Bombay, India)
- Providing Target Haptics Sensation to Everyday Objects: From Digital to Physical Reality
  Parinya Punpongsanon (Osaka University, Japan)
- Seeing New Reality - Using Visual Analytics to Expand Perception and Interaction
  Tomasz Bednarz (University of New South Wales Art & Design, Australia)

14:40-15:00 Coffee Break
15:00-16:20 Session 2 chair: June Kim (University of New South Wales Art & Design, Australia)

- Design Everything by Yourself
  Takeo Igarashi (The University of Tokyo, Japan)
- Designing User Interfaces for the Ageing Populations
  Sayan Sarcar (University of Tsukuba, Japan)
- Promoting HCI and UX Practices for Underrepresented People in Indonesia
  Auzi Asfarian (Bogor Agricultural University, Indonesia)
- Designing Interaction for Computers, Mobiles, and Robots
  Daisuke Sakamoto (Hokkaido University, Japan)

16:20-16:40 Coffee Break
16:40-17:40 Session 3 chair: Jun Kato (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan)

- Technological Support for Bridging the Language Diversity Gap in Global Teams
  Naomi Yamashita (NTT Research Labs, Japan)
- A New Design of Communication Applications Supporting Collaboration: A Case Study of Bhutan
  Thippaya Chintakovid (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand)
- A Data-Driven Analysis of Workers' Earnings on Amazon Mechanical Turk
  Kotaro Hara (Singapore Management University, Singapore)

17:40-18:40 Technology Visit to the Interactive Content Design Laboratory, RIEC, Tohoku University
18:40-21:30 Discussion for Collaboration

Thursday, December 13

9:40-10:20 Session 4 chair: Kazuki Takashima (Tohoku University, Japan)

- Discreet Computing
  Aaron Quigley (University of St Andrews, UK)
- Towards Next Generation Mobile Learning
  Xiangmin Fan (Chinese Academy of Sciences, China)

10:20-10:40 Coffee Break
10:40-11:40 Session 5 chair: Keita Higuchi (The University of Tokyo, Japan)

- Consideration for Technology Reducing Gaps between Academic and Practical Aspect as a HCI Researcher
  Jinkyu Jang (Seoul National University, Korea)
- Optimizing Mobile/Wearable Interaction Based on Bayesian Inference

Chun Yu (Tsinghua University, China)

- Sensing Technology and Interface for Personal Healthcare

Koji Yatani (The University of Tokyo, Japan)

11:40-12:00 Discussion

All

12:00 Closing

（特別支援（国際）に係る研究成果）

本プロジェクトは国際共同研究推進型で採択された課題であった。今年度は、昨年度ご都合が悪く招へいできなかった Singapore Management University の Kotaro Hara 氏を招へいし、ご講演頂き、実りある議論ができた。この結果シンポジウムを盛大かつ効率的に開催することができた。



図 1: シンポジウムでの講演者

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、プロジェクト関係者以外にも国内外から多数の参加者を集めたシンポジウムに発展した。本プロジェクトがきっかけとなり、日本で初めての ACM SIGCHI Chapter が誕生し、日本だけではなくアジア諸地域に影響力のある組織となった。この結果として学術研究だけではなく、産業界も巻き込み、HCI の重要性を訴えかけて行く組織として今後の大きな発展が期待されている。

今年度のシンポジウムでは「Human-Computer Interaction」をテーマとして開催した。世界的な HCI 研究の潮流の中で、アジア、特に日本においてはその理工学的な意味や理工学的な成果に注目が集まりがちである。学際的学術領域である HCI においては、理工学だけの知識で実施できるものではなく、より広い視点を持つ必要がある。本シンポジウムでは日本的な工学に注目した HCI だけではなく、デザインやヘルスケア、多言語理解や人間の知覚など幅広いトピックを使うことよって日本の HCI コミュニティの変容していく姿をアジアに示すことができたのではないかと考えている。

日本の HCI コミュニティは古くから活動しているが、組織としての活動が周知されていなかったり、学会以外に大学や企業の研究者が交流する機会が少なかったりした。近年では Japan ACM SIGCHI Chapter が主催する CHI 勉強会など、企業研究者やエンジニアも巻き込んだイベントが開催されている。CHI 勉強会においては、全国 4 会場（札幌、東京、大阪、金沢）で合計 300 人の参加者を集めるイベントに成長してきている。今後もアカデミックと産業、HCI とその関係領域の交流が継続され、世界におけるアジアと日本の HCI コミュニティの発展のために、本研究会プロジェクトおよび Japan ACM SIGCHI Chapter の活躍が期待される。

本プロジェクトでは、本プロジェクトおよび Japan ACM SIGCHI Chapter を主体として例年 CHI Conference において国際シンポジウムを開催している。次回 2019 年は今年度開催した RIEC シンポジウムに参加したメンバーを中心として Asian CHI symposium としてアジア各国の代表者を集め、各国の HCI 研究の現状について議論する予定である。

ASIAN CHI SYMPOSIUM: EMERGING HCI RESEARCH COLLECTION

- 日時：2019 年 5 月 5 日（日）
- 開催場所：Scottish Event Campus in Glasgow, Glasgow, United Kingdom
- 参加人数：40 名（予定）
- https://sigchi.jp/symposium/chi2019/

［4］成果資料

（1） Saki Sakaguchi, Eunice Sari, Taku Hachisu, Adi Tedjasaputra, Kunihiro Kato, Masitah Ghazali, Kaori Ikematsu, Ellen Yi-Luen Do, Jun Kato, Hiromi Nakamura, Jun Nishida, Daisuke Sakamoto, Yoshifumi Kitamura, Jinwoo Kim, Anirudha Joshi, and Zhengjie Liu. 2018. Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '18)*. ACM, New York, NY, USA, Paper Sym05, 6 pages. DOI: https://doi.org/10.1145/3170427.3173459

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(産学)

採択番号：H28/B10

磁気光学効果を利用した磁界計測システム

［1］組織

研究代表者

石山　和志（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

石山　和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

石橋　隆幸　　長岡技術科学大学

安達　信泰　　名古屋工業大学

目黒　栄　　ネオアーク(株)

延べ参加人数：６人

研究費

旅費	209,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

高周波漏洩磁界は、いわゆる不要電波問題としてその測定の重要性が高まりつつある。しかしながら現在一般的に用いられている金属プローブを使用した手法では、高周波大域では測定対象とする高周波磁界により内部に渦電流が流れ、その結果周辺磁界分布を乱してしまうことから正確な測定が望めないことが問題である。それに対して、磁気光学効果を利用することで金属部品を一切廃した新たな高周波磁界計測方法が提案されている。これは、ガーネットと呼ばれる磁性セラミクスに光を照射し、その透過光の偏光方向が磁性セラミクスの磁化方向に依存して変化することを利用するもので、測定対象物周辺には酸化物であり絶縁物である磁性セラミクスだけが置かれ、光を用いて計測することから金属ケーブルも不要となり、金属を廃した測定が可能となる。

本共同プロジェクトでは、磁性体の異方性などの特性制御とデバイス応用に関して世界の牽引役である東北大学電気通信研究所を中心として、磁性セラミクス材料の新しい合成法と特性向上に新たな知見を有する長岡技科大石橋准教授と名古屋工大安達教授、およびレーザを用いた測定装置に関して実績を有するネオアーク株式会社が協力して、新しい高周波磁界測定装置の開発に関する検討を行うものである。

すでにこれまでの検討により、参加企業において実用のためのプロトタイプ試作が進められている。それを踏まえて今年度も各自が有する知見を持ち寄って実施する討論会を中心に実施した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

［3］成果

（3－1）研究成果

近年、電子機器の高性能化に伴う集積回路やプリント配線版の高密度化や、低消費電力を目指した低電圧駆動による電磁耐性の低下により、EMI (Electromagnetic interference) による影響を受けやすく、誤作動等を引き起こしてしまうという問題が懸念されている。この問題を解決するため、漏洩電磁波の発生源を特定し防止する必要があり、微弱な近傍磁界を正確に測定する技術が求められている。

高周波近傍磁界測定ではプローブとして一般的にループアンテナを用いた測定が行われているが、金属製であるため本来の磁界分布を乱してしまう。そのため我々は、比較的磁界を乱しにくい磁気光学結晶であるガーネットと、パルスレーザを用いたストロボ法により交流磁界の位相情報を含んだ低侵襲な高周波磁界分布測定システムについて検討を行っている。

これまでは測定システムの原理検証にあたり、マイクロストリップ線路などを用いて被測定磁界をバースト変調させることで高感度な測定を行ってきたが、実際の集積回路等が測定対象の場合、この方法は適応困難である。そのためパルスレーザ側をバースト変調させる必要があるが、長時間の測定のため発生する機器のドリフトや、ガーネットの表面形状等の影響により、磁界バーストと同等の明瞭な磁界分布像を得ることが困難であった。

そこで本年度は、同じ周波数で位相の異なる 2 種類

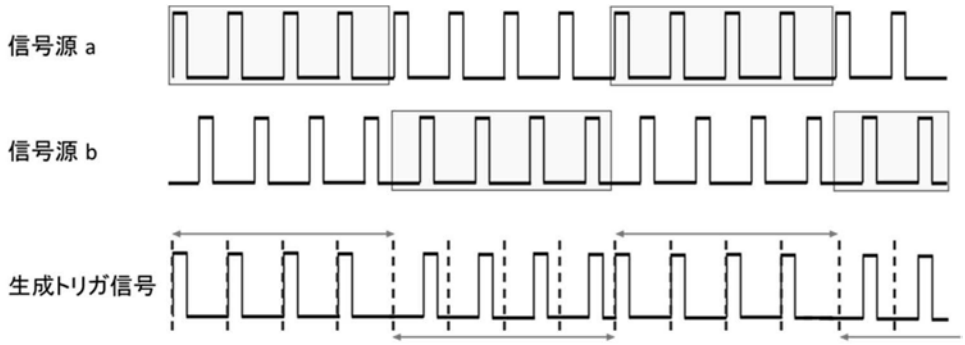


図１　信号源のスイッチングと生成トリガ信号



図２　レーザ発振と被測定磁界の位相関係

のトリガ信号を準備し、レーザの発光位相を変化させることでバースト変調を行う手法を提案し、その有効性について検討した。

この提案を実現するためのパルスレーザ側の変調手法としてレーザ入力トリガ信号 BPSK 変調方式を用いた。図１のように相対的に位相関係がずれた２信号を半導体スイッチ（Keysight Technologies, U9397A 半導体スイッチ, 300kHz～8GHz, SPDT）で周期的に切り替えることと群単位で周期的に位相が偏移した信号が生成される。この信号をパルスレーザ発振の外部トリガ信号として入力することで、パルスレーザ発振タイミングを図２のように１つ目の群だと被測定磁界の正のピーク位相、２つ目の群だと負のピーク位相に合わせて発振させることが可能である。さらに SPDT に入力する２信号は位相関係を任意に制御できるので、パルスレーザ発振の一方の位相群を固定し他方の位相群を連続的にずらすことで高調波磁界も含んだ位相情報の取得も可能である。構成した測定系を図３に示す。

マイクロストリップライン周辺磁界の計測結果を図４に示す。磁界強度が最大となる位相での分布計測結果である。磁界の可視化ができていることが明らかである。

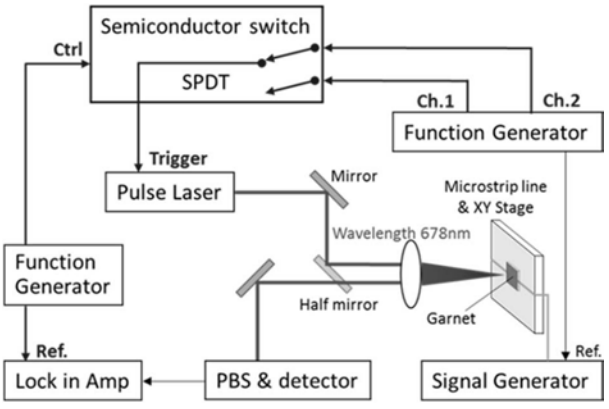


図３　BPSK 変調を用いた計測システム

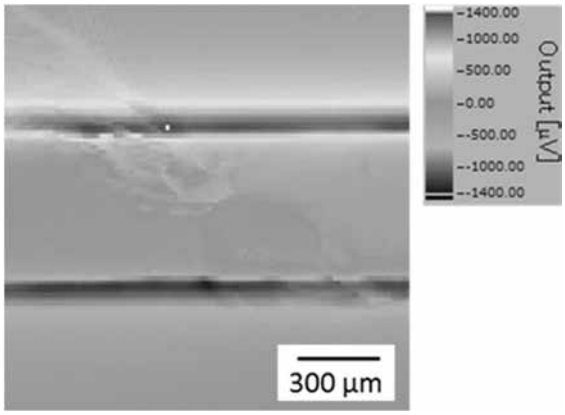


図４　MSL 近傍磁界分布計測結果

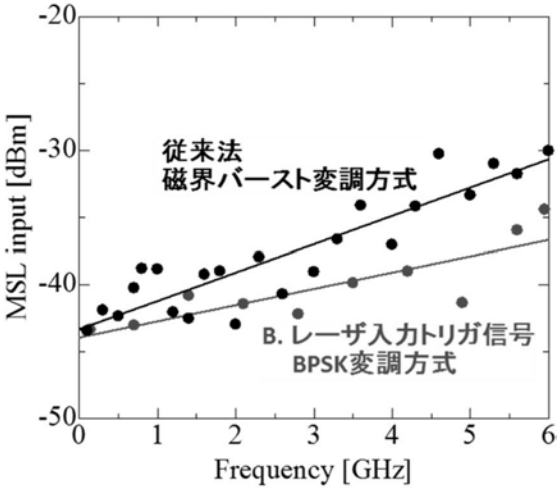


図５　MSL 入力電力値で評価した検出限界感度

さらに本方式は、SPDT のジッタが少ないことに起因してノイズレベルが低く抑えられており、高い測定感度が得られている。図５は一例として、測定可能な

最小信号の周波数特性を示したものである。初年度に実施していた被測定磁界をバースト変調させる方式と比較して、同等かそれを上回る特性が得られており本方式が実用上極めて有効であることが明らかとなった。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、将来の実用化を目指して測定システムの構築を行なうものである。本プロジェクトで明らかにした低侵襲高周波磁界計測は、場を乱さずに正確な測定ができる手法としては現時点で唯一のものであり、多くの分野への波及効果が期待されている。次項で述べるようにすでにプロトタイプの展示会出展を実施しており、極めて近い将来に実用化される技術である。

（3－3）特別支援（産学）に係る研究成果

本プロジェクトの成果の結果の一部を活用した測定器プロトタイプが図6のように試作され、以下の展示会でデモ展示を実施した。



図6　本研究から発展した光プローブ型磁界測定装置プロトタイプ

デモ展示

1. 2018年4月4日～6日　次世代モバイル通信展(東京ビッグサイト)
2. 2018年4月23日～27日　Intermag2018国際会議　(シンガポール)
3. 2018年11月28日～30日　MWE2018　(パシフィコ横浜)
4. 2019年1月22日　産官学金連携フェアみやぎ(仙台国際センター)

[4]成果資料

1. K. Ishiyama, “Visualization of RF magnetic near-field,” ETOPIM11 (2018.7.16-19, Krakow Poland)
2. D. Tatsuoka, Y. Matsumoto, S. Hashi and K. Ishiyama, “RF magnetic near-field measurements with magneto-optical effect,” ETOPIM11 (2018.7.16-19, Krakow Poland)
3. K. Ishiyama, “Magnetic Near Field Measurement by Pulsed Laser,” PIERS2018 (2018.8.1-2, 富山)
4. 石山和志　「光プローブ高周波磁界計測における変調方式に関する検討(招待講演)」電子情報通信学会　PEM研究会　(2018.7.26, 東京)
5. 石山和志　「ファラデー効果を利用した高周波磁界計測」日本磁気学会研究会／磁気センサ専門研究会　(2019.3.18, 東京)

採択回数	1	2	3

（国際）

採択番号：H28/B11

アジアにおけるHCI研究の活性化

Development of HCI Research Activities in Asia

［1］組織

研究代表者
北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）
通研対応教員
北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）
研究分担者
Jinwoo Kim (Yonsei University, Korea)
Eunice Sari (UX Indonesia)
Anirudha Nanasaheb Joshi
(Indian Institute of Technology, Bombay, India)
Zhengjie Liu (Dalian Maritime University, China)
Thippaya Chintakovid (King Mongkut's University of Technology North Bangkok)
Bimlesh Wadhwa (National University of Singapore)

延べ参加人数：90人

研究費

旅費	269,000円
国際特別支援費	220,000円

［2］研究経過

アジアにおけるHuman-Computer Interaction（HCI）研究を活性化するための実効性のある方策を検討するのが本研究プロジェクトの目的である．そのため，この地域の国々の間の格差やさまざまなユニークな特徴を理解した上で，相互理解と協力を通して教育や研究レベルの活性化と底上げ，さらにこの地域らしい新産業創出の流れを作り出すことによって，人々の生活の質（QOL）を向上させたい．その具体的な手段として，ACM (Association for Computing Machinery) の SIGCHI (Special Interest Group on Computer Human Interaction)など国際的なネットワークを持つ既存の学会や各国内の関連学会や学術団体と協力しながら，適宜シンポジウムなどを開催して，各国の研究者の意見を取り入れて，方策を立てる．このような目的のために，域内の有力な研究者を中心として相互理解を深める活動も行ってきた．

2018年にはこのようなシンポジウムを2回，カナダと日本で開催した．1回目は，4月22日にカナダのモントリオールで，ACM SIGCHI 主催の国際会議CHI の中で，Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection として開催した．2回目は12月12日～13日に仙台の電気通信研究所で，RIEC International Symposium on Human Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium) として開催した．いずれにも各国のリーダーが多く集まった．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年1回目の会合は，4月22日にカナダのモントリオールで，ACM SIGCHI 主催の国際会議CHIの中で，Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection として開催した．これは Japan ACM SIGCHI Chapter の若手メンバが中心となって企画運営し，東南アジアのメンバと協力して開催した．University of St Andrews の Aaron Quigley 教授，はこだて未来大学の角 康之 教授，韓国 KAIST の Youn-kyung Lim 准教授を招待講演として迎え，26件のポスター発表から構成され，各国から約40人が参加した．各招待講演の演題は次のとおりである．

Discreet Computing
Aaron Quigley (University of St Andrews)
Experience Medium Situated in Real-World Contexts
Yasuyuki Sumi (Future University Hakodate)
User Experience Design for Smart Products
Youn-kyung Lim (KAIST)

第2回目は，12月12日～13日に仙台の電気通信研究所で，RIEC International Symposium on Human Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium) として開催した．これは，他の共同プロジェクトH28/B09「HCIの特徴を活かした次世代

型学術コミュニティの確立」（代表: 北海道大学 坂本大介准教授）と共同で，通研国際シンポジウムとして開催し，約 50 名が参加した．国際会議 CHI 2021 の日本開催を念頭に，Human-Computer Interaction の分野で世界的に活躍されている若手の方々の中からアジア諸国を中心に集まってもらい，講演してもらった．さらに，国内を中心に若手の研究者にも多数集まってもらい，活発な意見交換することができた．シンポジウムの詳細は以下の通りである．

Opening Remark

Yoshifumi Kitamura (Tohoku University, Japan)

Session 1:

Cinévoqué: Responsive VR Cinema - From Concept to Infinite Possibilities
Jayesh S. Pillai (IIT Bombay, India)

Providing Target Haptics Sensation to Everyday Objects: From Digital to Physical Reality
Parinya Punpongsanon (Osaka University, Japan)

Seeing New Reality - Using Visual Analytics to Expand Perception and Interaction
Tomasz Bednarz (University of New South Wales Art & Design, Australia)

Session 2:

Design Everything by Yourself
Takeo Igarashi (The University of Tokyo, Japan)

Designing User Interfaces for the Ageing Populations
Sayan Sarcar (University of Tsukuba, Japan)

Promoting HCI and UX Practices for Underrepresented People in Indonesia
Auzi Asfarian (Bogor Agricultural University, Indonesia)

Designing Interaction for Computers, Mobiles, and Robots
Daisuke Sakamoto (Hokkaido University, Japan)

Session 3:

Technological Support for Bridging the Language Diversity Gap in Global Teams
Naomi Yamashita (NTT Research Labs, Japan)

A New Design of Communication Applications Supporting Collaboration: A Case Study of Bhutan
Thippaya Chintakovid (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand)

A Data-Driven Analysis of Workers' Earnings on Amazon Mechanical Turk
Kotaro Hara (Singapore Management University, Singapore)

Session 4:

Discreet Computing
Aaron Quigley (University of St Andrews, UK)

Towards Next Generation Mobile Learning
Xiangmin Fan (Chinese Academy of Sciences, China)

Session 5:

Consideration for Technology Reducing Gaps between Academic and Practical Aspect as a HCI Researcher
Jinkyu Jang (Seoul National University, Korea)

Optimizing Mobile/Wearable Interaction Based on Bayesian Inference
Chun Yu (Tsinghua University, China)

Sensing Technology and Interface for Personal Healthcare
Koji Yatani (The University of Tokyo, Japan)

国際特別支援費の効果

今年度は国際特別支援費を利用して，英国，韓国，中国，そしてインドから各国の Human-Computer Interaction の若手リーダーを仙台で開催のシンポジウムに招へいすることができ，そのため大変有意義なイベントとすることができた．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトでは，アジア地域やその他各国の Human-Computer Interaction 分野の多くの若手キーパーソンとの協力により，各地でローカルの研究者を交えた意見交換を有意義な形で行うことができ，国々の間の格差やさまざまなユニークな特徴を相互理解することに寄与することができた．そして，研究や教育の面での協力を通して全体の活性化と底上げ，さらにこの地域らしい新産業創出の流れを作り出すことによって，人々の生活の質（QOL）を向上させることについても前向きな議論ができた．

本年度はプロジェクト関係者以外にも国内外から多数の参加者を集めたシンポジウムを 2 回開催することができた．特に日本での開催は，2016 年に日本で初めて設立された ACM SIGCHI Chapter が，日本だけではなくアジア諸地域に影響力のある組織とすることにも寄与できた．世界的な Human-Computer Interaction 研究の潮流の中で，日本においてはその理工学的な意味や理工学的な成果に注目が集まりがちであるが，学際的学術領域である Human-Computer Interaction では，理工学だけの知識で実施できるものではなく，より広い視点を持つ必要がある．本シンポジウムによって，日本の Human-Computer





Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection　(4 月 22 日，カナダ・モントリオール)



RIEC International Symposium on Human Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium)
(12 月 12 日～13 日，東北大学 電気通信研究所)

Interaction コミュニティの力をアジアに示すことができたのではないかと考えている.

［4］成果資料

[1] Saki Sakaguchi, Eunice Sari, Taku Hachisu, Adi Tedjasaputra, Kunihiro Kato, Masitah Ghazali, Kaori Ikematsu, Ellen Yi-Luen Do, Jun Kato, Hiromi Nakamura, Jun Nishida, Daisuke Sakamoto, Yoshifumi Kitamura, Jinwoo Kim, Anirudha Joshi, and Zhengjie Liu. 2018. Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection. In Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '18). ACM, New York, NY, USA, Paper Sym05, 6 pages.
DOI: https://doi.org/10.1145/3170427.3173459
Symposium Web: http://hci.tokyo/chi2018/

[2] RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium), 2018 年 12 月 12 日～13 日，仙台)
Symposium Web:
https://sigchi.jp/symposium/2018/

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(萌芽・大型)

採択番号：H28/B13

化学センサを応用したマルチパラメータ測定デバイス研究

［1］組織

研究代表者：宮本 浩一郎
（東北大学大学院工学研究科）
通研対応教員：平野 愛弓
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
宇野 重康（立命館大学　理工学部）
柳瀬 雄輝（広島大学　医歯薬保健学研究院）
奥薗 徹　（仙台厚生病院 消化器内科）
礒田 博子（筑波大学 生命環境科学研究科）
松永行子（東京大学 生産技術研究所）
吉信 達夫（東北大学　医工学研究科）
Carl Frederik Werner
（東北大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：9 人

研究費：
旅費　129,000 円

［2］研究経過

研究会の目的：国内におけるアレルギー疾患の患者数は100 万人以上と言われ、数兆円の経済損失をもたらしているという試算もある。アレルギー性疾患は、皮膚や血管で細胞同士の結合が弱くなり本来の「バリア機能」を発揮できなくなることが強く関係している。しかしながら、バリア機能を可視化もしくは定量的な評価を行う手段は存在せず、根本的な治療を開発する妨げとなっている。

そこで本研究会は生体の表皮を構成する細胞層の機能に着目し、様々な化学センサの研究者、細胞を用いた試験（細胞アッセイ）の研究者が連帯することで、バリア機能の新しい評価法の確立を目的とする。 まず、様々な物理パラメータの面内分布を可視化する手法が必要であり、複数の化学センサを組み合わせてバリア機能を評価する指標を確立することを検討する。また、開発したセンサシステムを用いて有用な評価を行うアッセイ系も検討しなければならず、専門家の助力が必要不可欠であるとの認識から本研究会の提案に至った。

研究会の開催状況: 以下のプログラムで研究会を開催した。

日時:2019 年 2 月 14 日 (木) 14:30 ～ 17:10
会場：東北大学工学部電気・情報系 2 号館 104 号室
参加人数：20 名

14:30 「化学イメージセンサによる細胞層マッピングとマルチパラメータ測定系への展開」
宮本浩一郎 （東北大学）

14:50「インピーダンスセンサを利用した in vitro 血管透過性評価法の開発と医療応用」
柳瀬　雄輝　（広島大学）

15:10 「電気化学インピーダンス法による細胞・組織の in vitro 非侵襲計測」
宇野重康　（立命館大学）

休憩（10 分）

15:40 「Multimodal approach via fibers and sensors to the brain」
郭媛元（東北大　学際科学フロンティア）

16:10 「皮膚イオントロニクスデバイスの開発」
阿部結奈、吉田昭太郎、西澤松彦（東北大学）

16:40 (話題提供) 「バイオマテリアルによって駆動するソフトロボット」
清水 正宏（大阪大学）

17:10～　総合討論

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会のそれぞれの講演において報告された知見や検討事項を述べる。

最初に、宮本から本研究会の目的を紹介し、次に当研究室の最新の研究データを紹介した。そもそも、

化学イメージセンサは、半導体中の電界効果により非標識にセンサ表面における電荷分布を可視化できるセンサであるが、測定条件によってはセンサ表面のインピーダンス分布を取得することも可能である。そこで、我々は細胞層の欠損をインピーダンス分布として可視化することを提案してきた。インピーダンスには、単純な被覆率のみならず、バリア機能を定量出来る情報が含まれていると期待できるため、新規創傷アッセイとして応用が可能である。

次に、柳瀬からは表面プラズモン共鳴による細胞のアレルギー反応可視化技術について、センサ上にどのように評価モデルを構築するかについて最新の知見が紹介された。アレルギー疾患の発症には血管・皮膚などのバリア機能を評価する手法が必要であるが、柳瀬らは血管内皮細胞をセンサ上に培養することで血管内モデルと血管外モデルを作り分けることに取り組んでおり、将来的にそれぞれのセンサを組み合わせる際に有望な測定対象であることが示された。また、上皮細胞を多層に培養して人工的に上皮組織を作り上げることが可能になりつつあるという成果についても紹介された。

宇野の講演では、電気化学インピーダンス法を用いた計測技術の研究開発への取り組みが紹介された。電気化学インピーダンスの基本的な概念について説明され、細胞測定に応用する場合の等価回路モデルの解析例が紹介された。現在研究が進んでいるガラス電極基板上の櫛形電極および平行対面電極を用いたマスト細胞モデル(RBL-2H3 細胞)の計測、今後の研究展開についてディスカッションを行うことができた。

郭の講演では、光ファイバ・電極・微細管を一つのファイバに集積する最新の研究が紹介された。それぞれの材料を熱延伸によって成形し、マウスなどの脳に埋め込むことで侵襲性が低く、被検体が自由に行動できる測定が可能となる。このファイバは神経生理に限らず様々な電気化学測定とも組み合わせできると期待され、今後共同研究発展の可能性が示唆された。

阿部の講演では、皮膚の機能に着目して先駆的な取り組みを続けている西澤グループの研究が紹介された。皮膚の持つ表面電位を測定することでバリア機能の評価が可能になるが、赤色光の照射や電気刺激によってバリア機能の回復が亢進されることを評価した例、皮膚組織の水分量モニタリングデバイスの開発が報告されいずれも極めて興味深い知見を含んでいた。

清水の講演では、細胞をアクチュエータとして極小サイズのロボットを構築する取り組みが紹介された。足場形状や外部刺激によって細胞層をパターニングする試みは非常に興味深く、我々の目的とするマルチパラメータ測定デバイス上に測定対象となるモデル系を構築する際には有用な技術であると期待される。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度中は上記研究会の他に、国際学会・国内学会においても成果を報告した。また、宮本・柳瀬・宇野がお互いの研究拠点を行き来しながら共同実験やディスカッションを重ね、試料準備、電極作製についても様々な進展が見られた。これまでに蓄積した基礎的な知見から今後の発展が期待される。さらに、研究会メンバーによって科研費 基盤研究にも応募中であり、AMED などの大型プロジェクトへの参画も検討中である。

［４］成果資料

【国際学会】

[1] S. Tanaka, K. Kimura, K. Miyamoto, Y. Yanase and S. Uno, “Microscale Parallel Facing Electrodes for Adherent Cell Monitoring by Electrochemical Impedance Spectroscopy”, International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2018), Hokkaido, Japan (November 16 2018), 16P-11-119L.

[2] K. Miyamoto, D. Suzuki, Y. Yanase, S. Uno, C. F. Werner, T. Yoshinobu, “Impedance mapping of the cultured cell layer and its application to a novel wound-healing assay” The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2018), Hiroshima, Japan (November, 8-9, 2018), P2-3

【国内学会】

[1] 「化学イメージセンサを用いた細胞層のインピーダンス分布可視化」 宮本浩一郎, 鈴木大輔, C.F. Werner, 柳瀬雄輝, 宇野重康, 吉信達夫 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 東京（平成 30 年 3 月 17～20 日）

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

（先端・大型・国際）

採択番号：H28/B14

情報の質と価値を扱う科学技術の創造

［1］組織

研究代表者：
塩入 諭（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
塩入 諭（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
行場　次朗（東北大学文学研究科）
本間　尚文（東北大学電気通信研究所）
Patrick Cavanagh
（Université Paris Descartes）
Laurent Itti
（University of Southern California）
越前　功（国立情報学研究所）
二瓶　真理子（松山大学）
大黒　岳彦（明治大学）
坂井　信之（東北大学文学研究科）
村上　祐子（東北大学文学研究科）
佐倉　由泰（東北大学文学研究科）
乾　健太郎（東北大学情報科学研究科）
小泉　政利（東北大学文学研究科）
松田　安昌（東北大学経済学研究科）
石垣 司（東北大学経済学研究科）
伊藤　彰則（東北大学工学研究科）
大町　真一郎（東北大学工学研究科）
張山　昌論（東北大学情報科学研究科）

延べ参加人数：50 人

研究費：

旅費	262,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

人類が生み出す情報量は急激な拡大を続けており、いずれ様々な情報処理が困難になるほどの情報量になると推測される。現在の技術では情報の要否や価値を判断して必要な情報処理だけを実行するようなアルゴリズムは実現されていないが、それが可能であれば大きな情報量の制約は大きく緩和される。このために、情報の「質」を定義し「価値」を判断することで、一定の規範を見出して適切に取捨選択できる新しい情報学を、人文社会科学・理工学・情報科学の知を連携させることにより開拓することが本プロジェクトの目的である.

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった。本年度は，前年度の成果を踏まえながら，情報の質と価値を扱う技術に関する研究を展開した。以下，研究活動状況の概要を記す。

○平成 30 年度第 1 回研究会
日程：平成 30 年 9 月 13 日
参加人数：15 人
題目：量子アニーリングが加速する組合せ最適化問題の産業応用
講演者：大関真之

○平成 30 年度第 2 回研究会
日程：平成 31 年 2 月 13 日
参加人数：15 人
題目：人間の知覚・認知の計算論モデリング
講演者：佐藤好幸

○通研国際シンポジウム Tohoku U－NTU Symposium: "When AI Meets Human Science" の共催
日程：平成 30 年 11 月 24 日
参加人数：100 人

○国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2019
日程：平成 31 年 3 月 20 日
参加人数：50 人

［3］成果

（3－1）研究成果

共催した通研国際シンポジウム Tohoku U - NTU Symposium: "When AI Meets Human Science" は National Taiwan University からの複数の招聘講演者および学内の講演者により，以下のプログラムで行った.

題目・講演者：

How to Integrate AI Robotics and Human Sciences to Promote Human's Well-Being?
Li-Chen Fu (NTU)

AI robots for human well-being from the psychological aspects
Su-Ling Yeh (NTU)

Projects of Advanced Institute for Yotta Informatics
Satoshi Shioiri (Tohoku U)

Supporting System for Teaching Improvement through Reflection using Image Analysis Data of Lecture Recording
Taira Nakajima, Yasuhiro Hatori, Katsumi Sato, Shinichi Watabe (Tohoku U)

Breast Ultrasound Computer-aided Diagnosis Using Deep Learning
Ruey-Feng Chang (NTU)

3D Ultrasound Image Reconstruction Using a Probe-Camera System
Koichi Ito (Tohoku U)

Genomics x AI
Chien-Yu Chen (NTU)

An Information Theoretic Framework for Unsupervised Representation Learning
Yan Zhang, Mete Ozay, Takayuki Okatani (Tohoku U)

A Machine Learning Analysis on Human Categorical Face Perception
Chien-Chung Chen (NTU)

Assessing and Expression Human(-like) Behavior for Meta-Communication
Akinori Ito (Tohoku U)

Design and Clinical Tests of an Automatic Trainer Inspired by Neuro-Developmental Treatment
Fu-Cheng Wang, Yu-You Lin, Wei Yuan, and Chung-Huang Yu (NTU)

Human Assistive Devices Developed based on Passive Robotics Concept
Yasuhisa Hirata (Tohoku U)

国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2019 においては，海外からの招聘者として，University of Southern California の Laurent Itti 教授と Syracuse University の Daniel E. Acuña 助教，および国内からは早稲田大学の竹村和久教授と産業技術研究所の林隆介主任研究員の招聘を行った．その他学内外からの講演者，ポスター発表者らも含めて活発な議論を行った.

題目及び講演者：

Exploring visual system using deep neural network
Ryusuke Hayashi (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

The effect of innovation on future impact of scientific grants
Daniel E. Acuña (Syracuse University)

Escaping from bad decision: How to integrate values of information
Kazuhisa Takemura (Waseda University)

Attention and saliency in eye tracking with application to detecting disease
Laurent Itti (University of Southern California)

Spatial analysis of the degrees of satisfaction and health in Japan
Takaki Sato and Yasumasa Matsuda (Tohoku University)

Supporting system for teaching improvement through reflection using image analysis data of lecture recording: annual report
Taira Nakajima, Yasuhiro Hatori, Katsumi Sato, and Shinichi Watabe (Tohoku University)

Historical Document Retrieval by Image Generation
Shinichiro Omachi (Tohoku University)

Spoken term detection from speech database of zero-resource language based on DNN-based speaker-independent features
Akinori Ito (Tohoku University)

Human Cognitive Processing during Pattern Selection (Part 2)
Jiro Gyoba (Tohoku University)

Granular informatics for modeling cognitive styles in ASD and TD populations
Hideki Kozima (Tohoku University)

Estimation of human judgments of food images
Satoshi Shioiri (Tohoku University)

その他ポスター発表 18 件

Itti 教授の講演では，人間にとっての情報とは，従来のシャノン情報量とは質の異なるものであるという，本プロジェクトにとっても大変意義深い研究に関する議論を深めることができた．Acuña 助教の講演では，人工知能が持ちうる，設計者が意図しない偏見を克服する方法に関する示唆を得ることができた．竹村教授の講演では，複数の要因を考慮にいれながら行う意思決定という，人間が日常的に行ってはいるが困難な問題に関する知見を得た．林主任研究員の講演では，人間の脳と，近年発展著しい深層学習における情報表現・情報処理の関係性に関する最新の研究動向を学ぶことができた．

（特別支援（国際）に係る研究成果）
特別支援予算を、国際シンポジウムのために講演者招へい費用の一部として利用し、将来のヨッタインフォマティクス研究分野の発展に向けた有益な議論ができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいては，2 回の研究会と 2 回の国際シンポジウムを開催した．国内外からの研究者の招聘を行い活発な議論を行うことにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化させることができた．また，本プロジェクトで明らかになった情報の質と価値に関する研究成果により，情報質インフォマティクスという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき，今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

(1) 小嶋秀樹，「認知科学からみる自閉症：認知粒度という視座から自閉症とコミュニケーションを捉えなおす」自閉症学のすすめ(分担執筆)，ミネルヴァ書房，2019 年 4 月発行予定.
(2) L. Nguyen, T. Ishigaki, “Domain - to - Domain Translation Model for Recommender System” arXiv:1812.06229, 2018
(3) T. Ishigaki, N. Terui, T. Sato and G.M. Allenby, “Personalized Market Response Analysis for a Wide Variety of Products from Sparse Transaction Data” International Journal of Data Science and Analytics, Vol.5, No.4, pp.233-248, 2018
(4) 行場次朗,「可視化を考える際の認知心理学的制約とその利用」学術の動向 2018 年 4 月号（印刷中）
(5) 行場次朗，「臨場感と迫真性の感性心理学的特性」，電子情報通信学会誌 101（8）793-797
(6) 小泉政利・安永大地・加藤幸子,「ブロッキングの認知脳科学」，岸本秀樹・影山太郎（編）『レキシコン研究の新たなアプローチ』135-152．くろしお出版
(7) Nasukawa, Kuniya, Phillip Backley, Yoshiho Yasugi, and Masatoshi Koizumi, “Challenging cross-linguistic typology: Right-edge consonantal prominence in Kaqchikel.” Journal of Linguistics, 1-31. doi:10.1017/S0022226718000488. November, 2018.
(8) Shioiri, S., Kobayashi, M., Matsumiya, K. & Kuriki, I., “Spatial representations of the viewer's surroundings.” Scientific reports 8, 7171, (2018)
(9) Hao Wang, Kazuya Matsubara, Yuji Wada, Chia-huei Tseng, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki and Satoshi Shioiri, “The Evaluation of Images based on Human Preference with Convolutional Neural Networks” APCV 2018
(10) Ishigaki, T., Terui, N., Sato T. and Allenby, G., “Personalized market response analysis for a wide variety of products from sparse transaction data” International Journal of Data Science and Analytics, vol.5(4), 233-248.
(11) Li, Y. and Terui, N., “Social Media and the Diffusion of an Information Technology Product” J. Chen et al.(Eds.) Knowledge and Systems Sciences, vol.949, 171-185, Springer.(2018)
(12) 渡部信一，『AI に負けない「教育」』 大修館書店 2018 年 8 月
(13) 山下 祐一郎，中島 平，「小学生を対象としたフリック入力の学習方法の開発」日本教育工学会誌，42-Suppl.,pp.13-16, 2018

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：H29/B02

磁性材料の微細構造の観察および制御を通じた次世代通信機器用磁気デバイスの研究

［1］組織

研究代表者：
池田 愼治
（公立小松大学生産システム科学部）

通研対応教員：
石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
栫 修一郎（東北大学電気通信研究所）
林 禎彰（東北大学電気通信研究所）
藪上 信（東北大学大学院医工学研究科）
小澤 哲也（東北学院大学工学部）
直江 正幸（電磁材料研究所）
山本 健一（琉球大学工学部）
佐藤 敏郎（信州大学工学部）
曽根原 誠（信州大学工学部）
中山 英俊
（長野高等専門学校電子制御工学科）
井上 光輝（豊橋技術科学大学大学院）
内田 裕久（豊橋技術科学大学大学院）
中村 雄一（豊橋技術科学大学大学院）
高木 宏幸（豊橋技術科学大学大学院）
後藤 太一（豊橋技術科学大学大学院）
本田 崇
（九州工業大学大学院工学研究院）
竹澤 昌晃
（九州工業大学大学院工学研究院）
福永 博俊（長崎大学大学院工学研究科）
中野 正基（長崎大学大学院工学研究科）
柳井 武志（長崎大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：25 人

研究費：
旅費　273,000 円

［2］研究経過

本プロジェクト研究会は，磁気の分野に関するアクチュエータ，磁気センサ，各種インダクタ素子に代表される「磁気デバイス」を発展させることを目的としている。これらの今後の更なる発展のためには，それらを構成する磁性材料を中心とする材料の特性やその発現の物理的メカニズムを詳細に把握することが重要である。さらにそれを踏まえた上で材料を適切に活用するための技術開発が必要である。そこで，関連分野の研究者間の情報交換を促進し，有益な情報を共有，活用するために，次の各分野を専門とする研究者によって構成される研究会を組織している。

１．磁性材料の微細構造の観察および特性評価
２．磁性材料の微細構造制御による材料開発
３．磁気機能性材料のデバイス応用

本年度の共同プロジェクト研究会は平成 31 年 2 月 19 日に通研にて開催し，12 人が参加し発表および議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

これまで，共同プロジェクト研究会および協賛研究会を通じて幅広い分野の発表が行われ，議論を行っている。本年度においては，共同プロジェクト研究会を１回開催し，４件の研究紹介を軸として議論が行われた。

磁性体の微粒子および薄膜に関しては，磁性材料の寸法や組成を制御しながら生成する手法や，磁性微粒子を混合および造形する手法などが紹介され，溶液中での微粒子成長の物理的・化学的メカニズム，造形技術と適用可能なデバイスの検討など多岐に渡る議論が行われた。磁性体によるレーザー光制御に関する研究については，計測応用などの利用方法にもおよぶ議論が行われた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究会は，磁気の分野という共通項を持ちながらも幅広い専門性を持つ研究者が直接深い議論を交わす貴重な機会となっている。これまでの研究会における内容に限っても，磁性材料の微細構造の観察や，微粒子の選択的生成，機械加工への利用，そして光デバイスおよび高周波デバイスへの適用検討など多岐に渡っており，発表の内容に限らず多角的視点からの議論および情報交換が行われている。これまでの研究会の議論を踏まえ，新たな研究の進展や相互連携の可能性が多数あり，今後の展開が大いに期待される。

［４］成果資料

1. T. Yanai, J. Honda, R. Hamamura, Y. Omagari, S. Furutani, H. Yamada, N. Fujita, T. Morimura, M.Nakano, and H. Fukunaga, “Effect of Na and Cl ions on coercivity of electroplated Fe-Pt film-magnets,” Journal of Electronic Materials, Volume 48, Issue 3, (2019.3) pp. 1412-1415.

2. T. Yanai, T. Yamaguchi, M. Nakano, and H. Fukunaga, “High-Speed Electroplating of Fe Films Using DES-Based Plating Baths,” Journal of Electronic Materials, Volume 48, Issue 3, (2019.3) pp. 1330-1334.

3. H. Machida, T. Fujiwara, C. Fujimoto, Y. Kanamori, J. Tanaka, and M. Takezawa, “Magnetic Domain Structures and Magnetic Properties of Lightly Nd-Doped Sm-Co Magnets with High Squareness and High Heat Resistance,” IEEE Trans. Magn., vol. 55, no. 2, pp. 2100604-1-2100604-4(2019)

4. 竹澤 昌晃, 福島 啓子, 森本 祐治, 松本 紀久, “Nd-Fe-B 系焼結磁石の加圧・加熱下での磁区構造変化”, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-18-197(2018)

5. 瀧 泰洋, 竹澤 昌晃, 深瀬 美紀子, 佐藤 誉将, “軟磁性粉末の磁気特性と磁区構造の関係”, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-18-188(2018)

6. M. Yamaguchi, T. Yanai, H. Nakayama, R. Sai, H. Fujiwara, Y. Kitai, M. Sato, and U. Sangawa, “Skin Effect Suppressed Ni-Fe/Cu Electroplated Multilayer Wiring for High Data-Rate and Low Delay-Time I/O Interface Board”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 54, Issue 11 (2018.11) #4002705.

7. H. Fukunaga, T. Harada, T. Yanai, and M. Nakano, “Increase in Nucleation Field of Nanocrystalline Nd(Fe,Co)B Magnets Due to Strengthening of Exchange Interaction -Computer Simulation”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 54, Issue 11 (2018.11) # 2102905.

8. T. Yanai, J. Kaji, K. Koda, K. Takashima, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Magnetic properties of exchange coupled Fe-Ni/Fe22Ni78 double-layered thick films”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 54, Issue 11 (2018.11) # 2002503.

9. Mitsunori Miyamoto, Toshiya Kubo, Yuta Fujishiro,Kenta Shiota, Makoto Sonehara, Toshiro Sato, “Fabrication of Ferromagnetic Co-MgF2 Granular Film with High Transmittance and Large Faraday Effect for Optical Magnetic Field Sensor”, IEEE Transactions on Magnetics, 54, 11, #2501205-1-5 (5 pages), 2018(Nov.)

10. Kanako Sugimura, Naoki Yabu, Makoto Sonehara, Toshiro Sato, “Novel Method for Making Surface Insulation Layer on Fe-Based Amorphous Alloy Powder by Surface-Modification using Two-Step Acid Solution Processing”,IEEE Transactions onMagnetics, 54, 11, #2801805-1-5 (5 pages), 2018(Nov.)

11, Naoki Yabu, Kanako Sugimura, Makoto Sonehara, Toshiro Sato, “Fabrication and Evaluation of Composite Magnetic Core Using Iron-Based Amorphous Alloy Powder with Different Particle Size Distributions”, IEEE Transactions on Magnetics, 54, #2801605-1-5 (5 pages), 2018(Nov.)

12. 西田均, 山本久嗣, 百生登, 池田愼治, 島田邦雄, 井門康司, “磁気混合流体を用いた円筒内面マイクロ加工における加工量特性”,第27回MAGDA コンファレンス in Katsushika 講演論文集, pp.250-255 (2018.10)

13. 大久保 智弘, 竹澤 昌晃, 森本 祐治, 市江 毅, “無方向性電磁鋼板の薄板化による磁区構造変化”, 電

気学会マグネティックス研究会資料, MAG-18-79(2018)
14. 坂倉 健治, 田中 隼, 竹澤 昌晃, 町田 浩明, 藤原, 照彦, “酸素・炭素不純物が Sm-Co 系磁石の磁区構造に与える影響”, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-18-082(2018)
15. 斉藤 紘臣, 堀 裕貴, 竹澤 昌晃, 榛葉 和晃, 三嶋 千里, 御手洗 浩成, “Nd-Cu-Al 拡散された Nd-Fe-B 系 HDDR 微細結晶粒磁石粉の磁区観察”, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-18-083(2018)
16. M. Takezawa, K. Fukushima, K. Morimoto, and N. Matsumoto, “Changes in the Magnetic Domain Structure of Nd-Fe-B Sintered Magnets by Applying Compressive Stress and Heat,” Abstracts of the 21st International Conference on Magnetism (ICM2018), N8-05(2018)
17. M. Takezawa, H. Taneda, and K. Morimoto, “Magnetic Domain Observation of Permanent Magnet with a Kerr Microscope,” Proceedings of the 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS2018), G7-1041(2018)
18. Satoshi Mori, Takeshi Mitsuoka, Kanako Sugimura, Ryosuke Hirayama, Makoto Sonehara, Toshiro Sato, Nobuhiro Matsushita, “Core-shell structured Mn-Zn-Fe ferrite/Fe-Si-Cr particles for magnetic composite cores with low loss”, Advanced Powder Technology, 29, 6, pp.1481-1486, 2018(Jun.)
19. T. Yanai, T. Akiyoshi, T. Yamaguchi, K. Takashima, T. Morimura, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Effect of primary amines on magnetic properties of Fe-Ni films electroplated in a DES-based plating bath”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018.5) #056106.
20. M. Nakano, H. Kondo, A. Yamashita, T. Yanai, M. Itakura, and H. Fukunaga, “Preparation of Nd-Fe-B/α-Fenano-composite thick-film magnets on various substrates using PLD with high laser energy density above 10 J/cm2”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018.5) #056223.
21. M. Nakano, A. Kurosaki, H. Kondo, D. Shimizu, Y. Yamaguchi, A. Yamashita, T. Yanai, and H. Fukunaga, “Magnetic properties of Pr-Fe-B thick-film magnets deposited on Si substrates with glass buffer layer”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018.5) #056231.
22. T. Yanai, K. Koda, J. Kaji, H. Aramaki, K. Eguchi, K. Takashima, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Electroplated Fe-Co-Ni films prepared in ammonium-chloride-based plating baths”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018.5) #056127.
23. T. Yanai, K. Eguchi, K. Koda, J. Kaji, H. Aramaki, K. Takashima, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Investigation of coercivity for electroplated Fe-Ni thick films”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018.5) #056123.
24. T. Yanai, J. Honda, R. Hamamura, Y. Omagari, H. Yamada, N. Fujita, K. Takashima, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Improvement in surface conditions of electroplated Fe-Pt thick-film magnets”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018.5) #056437.
25. T. Yanai, J. Honda, R. Hamamura, H. Yamada, N. Fujita, K. Takashima, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Effect of Na ions in plating baths on coercivity of electroplated Fe-Pt film-magnets”, Journal of Alloys and Compounds, Vol.752, 2018.4, pp.133-136.
26. T. Yanai, K. Koda, K. Eguchi, T. Morimura, K. Takashima, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Effect of an annealing on magnetic properties of Fe-Ni films electroplated in citric-acid-based plating baths”,AIP Advances, Vol.8, Issue 4, (2018.4) #056239.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(産学)

採択番号：H29/B03

高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムに関する研究

［1］組織

研究代表者
知京　豊裕
（国立研究開発法人　物質・材料研究機構）
通研対応教員
羽生　貴弘
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
遠藤　哲郎
（東北大学 大学院工学研究科）
蓮沼　隆
（筑波大学　数理物質科学研究科）
中山　隆史
（千葉大学　大学院理学研究科）
猪川　洋
（静岡大学　電子工学研究所）
奈良 安雄
（兵庫県立大　大学院工学研究科）
生田目　俊秀
（物質・材料研究機構　並木ファンダリー）
大毛利　健治
（株式会社デバイスラボ）
村口　正和
（北海道科学大学　工学部）
馬　奕涛
（東北大学　大学院工学研究科）

延べ参加人数：43 人

旅費	212,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

今後のエネルギー利用は、効率の良い電気エネルギーを利用する形へのシフトがさらに加速していくと予測されており、電気エネルギーの高効率利用技術は益々重要となっていく。電気エネルギーの高効率利用のためには、エネルギー変換における損失の低減と最終需要における消費電力の削減が必要である。まず発電により生み出された電力エネルギーを最終的に仕事として取り出すまでには、複数回のエネルギー変換を経るが、その過程でのエネルギー損失の削減(変換効率向上)が必要である。加えて、電気エネルギーを利用する家電機器から情報機器に至る電気機器の消費電力を削減することも非常に重要となる。特に、近年単独用途の家電等だけではなく、ハイ・パワーとハイ・コンピューティングの様々高度な機能を同時に仕込まれている電気自動車やドロンなどのシステマチックな応用領域において、これら高効率な電力変換と低消費電力は、将来的には一体のプラットフォームとして扱っていくべきものである。そのカギを握るのが、半導体デバイス技術をベースとする集積回路技術である。電力変換においては、半導体デバイスとそれによる変換回路およびその制御技術が不可欠であり、また、あらゆる電気機器には、半導体デバイスとそれに基づくメモリ回路と演算回路よって構成されている。従来、電力変換用の半導体素子と集積回路用の半導体素子は、目的用途に応じ、それぞれ別々のアプローチで発展を遂げてきた。しかし、今後これらの技術を一体として集積システム化していくためには、個々のデバイス技術、回路技術を高めていくだけでなく、両者を集積していくという視点での研究開発が不可欠であるが、材料とデバイス技術から、プロセスと集積回路技術まで色々な難題が存在して、未だその将来像は十分明らかとなっていない。

本プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、電気エネルギーの高効率利用のための将来の半導体デバイスとその集積システムのあるべき姿について、緊密に研究討論を行い、その学理と工学技術の構築を目指して活動を行ってきた。本年度は、第２年度

として、材料・物性の研究者からデバイス回路研究者まで幅広い分野での人材により構築された研究体制を活かして、高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムについて議論を進めた。当該技術分野での議論を深めていくうえに産業界からのニーズの吸い上げは不可欠であるので、将来の産学連携も意図して、産業界に積極的に声掛けを行い、企業からの研究者も招聘するなどした上で、研究会を開催するに至った。

今年度は、最近のデバイス開発におけるマテリアルインフォマティクスよる材料開発の動向、および、Si、SiC 及び GeSn 系 IV 族などの新規材料を用いた高効率な電力変換用のパワー半導体デバイスに関する研究開発状況とその今後の方向性などを把握することを目的として、2019 年 3 月 2 日に研究会を開催した。集積エレクトロニクス分野の産官学の中核を担う研究者らによる研究会 NWDTF および通研共同プロジェクト H29B05 と連携し、共同で開催することができた。当日は、研究会メンバーによる発表に加え、最先端の半導体デバイスの材料プロセス技術動向とその応用展開の方向性などについて、産業界、国の研究機関からの研究者らを招聘し、技術討論を行った。招待講演者に加え、追加招集した産学の研究者らと、国内外の当該分野の現状についてディスカッションを実施し、単に技術討論のみにとどまらず、分野や立場を超えた今後の研究開発の目指すべき方向性について意見交換を行うことができた。なお、研究会の参加者は、産学官の研究者１４名、学生１３名以上であった。

これに加えて、本分野の主要学術論文誌への論文投稿と、国内外の主要学会での随時会合を持ち、将来の高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムの目指す方向について意見交換・技術討論を行うなど本プロジェクトによる研究者ネットワークの拡大を進めた。本プロジェクトの活動を通して得られた知見を基に、来年度以降も継続して議論を深め、今後の電力変化技術と集積回路技術を融合した新たなパワー集積プラットフォームに向けた技術戦略を提案することを目指していく。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、電気エネルギーの高効率利用に向けたパワーエレクトロニクスと集積回路技術の融合技術の観点から、今後の技術課題の明確化と将来の集積システムの姿を描くことを目指し、プロジェクトの活動を行った。

開催したプロジェクトの研究会においては、パワーエレクトロニクスと集積回路技術との融合という観点で、材料工学・デバイス工学・集積回路工学など異なる学術的背景を有する研究者が連携できるよう各分野の研究者を複数人配置し、産業界から学術界に渡って議論を出来る枠組みを構築した。

その体制を積極的に活用して、プロジェクト研究会においては、最近の国内外のデバイス開発の状況を俯瞰し、マテリアルインフォマティクスなどの分野での日本としての取り組みが急務であることを確認した。加えて、Si-IGBT のスケーリングや GeSn 系 IV 族混晶薄膜の結晶成長などの最新の研究成果などを起点として、パワー半導体デバイスおよびその材料に関する課題抽出と今後の技術開発と応用展開の動向などについて議論を行った。大手半導体企業の若手研究者や、国の研究機関の研究者らを招聘し、また同じ集積エレクトロニクスに関する共同プロジェクト(H29B05)メンバーと議論を行うことで、単に当該分野を牽引する大学の研究者だけによる議論に止まらない産業界のニーズと大学などの研究機関が持つシーズの適合や、より広い分野・立場からの研究者らによる活発な議論を行い大きな収穫が得られた。今年度は産学特別支援を頂きまして、より広い地域の研究者たちが招聘し、日本全国に渡って参集した研究者との意見交換できた。これらの議論を通して、パワーエレクトロニクスと集積回路技術の技術領域融合及び、学術界と産業界の業界連携だけではなく、幅広い地域の研究者ネットワークにおいての議論と検討により、将来パワー半導体集積システムの新たな姿をより鮮明に描くことが出来た。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本年度は、本研究会において、多角的視点から今後のナノ構造半導体材料とその新機能半導体デバイス技術について意見交換を行うことができた。これにより、ナノ半導体材料に基づくデバイス・回路が要求する電子システムに対する分野を横断した共通認識と、それに基づく今後の技術戦略の提案に向けて前進した。これらの知見を来年度以降の国の大型予算獲得や、新たな形での産学連携研究開発などに向けた新規プロジェクトへの発展につなげていく。

この新たな集積システムは、電気自動車、ロボット、IT サーバシステム、及びモバイルデバイスなど多くの異なる技術分野に対する共通プラットフォームになることが期待されている。そのため、本研究会での成果は、半導体分野のみならず、様々な領域を広くカバーするような波及効果を持つと考えられる。

高効率な電気エネルギー利用は喫緊の社会的要請であり、また、エレクトロニクス産業は依然として日本の基幹産業であるので、本研究会の目指す新たな集積システムのあるべき姿の探索は、学理の方向性の解明のみならず、今後の日本の産業の発展において大きな意義があると考える。それに、現在半導体分野で日本が主導権を握れていない原因の一つが、社会科学に立脚した経営的視点による研究のマネージメントの欠如であり、この視点は大学の研究者、企業の研究者が密接に議論しあう場があってこそよく対策できる課題であり、本プロジェクトの本分野への貢献はただの研究開発という枠組みにとどまらないと考える。

加えて、本プロジェクトでは、博士課程の学生や若手研究者にも研究報告の機会を積極的に与えている。若手研究者が大学の研究者からのみならず企業側の研究者の視点からも意見を聞くことの出来る貴重な場となっている。若手研究者の育成という意味でも、重要な役割を果たしていると考えている。

［4］成果資料

（1）Takashi Onaya, Toshihide Nabatame, Tomomi Sawada, Kazunori Kurishima, Naomi Sawamoto, Akihiko Ohi, Toyohiro Chikyow, Atsushi Ogura. “Improved leakage current properties of ZrO2 /(Ta/Nb)Ox -Al2O3 /ZrO2 nanolaminate insulating stacks for dynamic random access memory capacitors”, Thin Solid Films. **655** (2018) 48-53 10.1016/j.tsf.2018.02.010

（2）Shinjiro YAGYU, Michiko YOSHITAKE, Toyohiro CHKYOW. “Determination of Threshold of Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS) Using Machine Learning”. Vacuum and Surface Science. 61 [4] (2018) 196-199 10.1380/vss.61.196

（3）Takahiro Nagata, Yoshihisa Suzuki, Yoshiyuki Yamashita, Atsushi Ogura, Toyohiro Chikyow. “Study of Sn and Mg doping effects on TiO2/Ge stack structure by combinatorial synthesis”. Japanese Journal of Applied Physics. 57 [4S] (2018) 04FJ04 10.7567/jjap.57.04fj04

（4）Kazuyoshi Kobashi, Ryoma Hayakawa, Toyohiro Chikyow, Yutaka Wakayama. “Device Geometry Engineering for Controlling Organic Antiambipolar Transistor Properties”. The Journal of Physical Chemistry C. 122 [12] (2018) 6943-6946 10.1021/acs.jpcc.8b00015

（5）Tetsuo Endoh,
“International industry-academic collabo-ration (CIES consortium) enhances creation of innovative integrated electronic technologies from materials/equipment/devices to LSI/software/system for IoT/AI”, 共同プロジェクト報告会, ポスターH29/B03, 2019.02.21.

（6）Kazuki Itoh and Tetsuo Endoh,
“Loss analysis and optimum design of a highly efficient and compact CMOS DC-DC converter with novel transistor layout using 60 nm multipillar-type vertical body channel MOSFET”, Japanese Journal of Applied Physics(JJAP), Vol. 57, No. 4S, pp. 04FR12, March 2018.

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/B05

ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとその新概念情報処理応用に関する研究

［1］組織

研究代表者
渡部　平司（大阪大学 大学院工学研究科）
通研対応教員
羽生　貴弘（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
遠藤　哲郎
（東北大学 大学院工学研究科）
宮崎　誠一
（名古屋大学 大学院工学研究科）
内富　直隆
（長岡技術科学大学 工学部電気系）
白石　賢二
（名古屋大学 大学院工学研究科）
執行　直之
（東京工業大学　大学院総合理工学研究科）
渡邉　孝信
（早稲田大学 理工学術院）
初貝 安弘
（筑波大学 大学院数理物質科学研究科）
影島 博之
（島根大学 総合理工学研究科）
細井　卓治
（大阪大学 大学院工学研究科）
村口　正和
（北海道科学大学　工学部）
馬　奕涛
（東北大学　大学院工学研究科）

延べ参加人数：45 人

研究費
旅費　275,000 円

［2］研究経過

集積システムに対する要求と期待は、年々大きなものとなってきている。たとえば、自動運転などに代表されるリアルタイムでの物体認識や学習などの情報処理技術や、IoT/IoE のための超低消費電力知的 VLSI などの技術に対する社会的要請が高まっており、高速な情報処理と同時にそれらをエッジ端末で実現するための集積システムの超低消費電力化が不可欠である。しかし、現状のリアルタイムでの物体認識などは、GPU や FPGA などの揮発な画像処理チップによって実装されており、その動作上、低消費電力化に限界があり、実用化において大きな制約と課題を抱えたままである。

これらの課題に対し、我々は、ナノ材料の新しい物性をシリコン集積回路に融合した新概念のデバイスとそれに基づく新たな情報処理の可能性に着目してきた。ナノスケールにおける新概念デバイスの動作原理にまで立ち返り、材料の検討を行い、デバイスを構築し、集積回路の基盤技術であるシリコン技術との融合を図ることで、新概念のデバイスを創出し、それによる新たな情報処理ハードウェアの技術を模索することを目的に本共同プロジェクトの共同研究会を立ち上げ研究を行ってきた。

本プロジェクトは本年度が第 2 年度であった。本年度は、材料・物性の研究者とデバイス回路研究者を一同に集めて、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスについて緊密な研究討論を行い、ナノスケール時代でも安定で高速動作可能な新概念デバイス技術とそれによる新たな情報処理技術の最新成果、将来の方向性と将来のデバイスのあるべき姿の端緒を得ることを目指し議論を進めた。

今年度は、特にナノ材料・プロセスの物性がデバイスに与える影響を中心に検討を進め、本分野の主要研究会である SSDM などにおいて、随時会合を持ち、Society5.0 の基盤となる将来のエレクトロニクス技術に必要なナノ材料およびそのデバイスの動作原理について意見交換・技術討論を進めた。そのうえで、本年度の研究会として、2019 年 3 月 2 日に当該分野の中核を担う産官学の研究者による研究会

NWDTF および通研共同プロジェクトH29B03と連携し、共同で研究会を開催することができた。当日は研究会メンバーによる発表に加え、最先端の半導体デバイスの材料プロセス技術動向とその応用展開と市場動向までの状況について、公的研究機関などから招待講演者を招聘し、技術討論を行うことで、本テーマの深化を進めた。なお、参加者は研究者１４名、学生１３名以上と盛況であった。また、招待講演者に加え、全国に渡って追加招集した学術研究者らと、国内外の当該分野の現状と、その中で今後の我が国が目指すべき方向は何かということをテーマにパネルディスカッションを実施し、単に技術討論のみにとどまらず、分野や立場を超えた意見交換を行うことができた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究会では、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとそれに基づく新概念情報処理の将来像が明らかとなることおよび、その技術目標が明確化することを目指し進めてきた。これまでAIなどの新たな情報処理技術については、ソフトウエア面から語られることが多かったが、社会的に実装することが期待され、近年新たな情報処理に必要となる集積システムへの研究展開が盛んに行われている。本研究会では、この視点から技術の研究開発動向と将来技術を明らかにしていくことを目指し、研究会を通じて議論を進めて、その領域におけるナノ材料とデバイス技術の融合展開を検討してきた。

本年度は、本プロジェクト研究を通した研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大と技術・市場の動向検討に力点を置き活動を進めた。上述したように、全国の産学研究機関からの集積エレクトロニクス分野の中核をなす研究者らによる研究会NWDTFとの共同で研究会を企画・開催し、材料・デバイス・集積回路の幅広い領域の研究者を招聘した会議を開催し、ネットワーク拡大に寄与することができた。そして、材料物性から集積システム実装まで一貫した研究討論により、技術開発だけではなく、その原動力である実用展開方向の明瞭化も図っている。当該研究分野では、地域と領域を渡った研究者の交流の場が、非常に少なくなってきている状況が続いており、本プロジェクトによる多様な研究者の意見交換の場づくりは、本プロジェクトの当該研究分野へ貢献できたと考える。

開催した研究会においては、新規情報処理に不可欠なメモリに必要なデバイス・プロセス技術という観点からの研究開発状況および、そのメモリに基づく超低消費電力 AI システム実証の研究開発状況と課題の抽出を主眼に置いて研究会を開催した。これにより、IV族混晶の新材料を含むナノスケールの材料技術、スピンデバイス技術及びシリコン集積回路技術の関係をベンチマークし、材料の特性を最大限引き出しつつ、新規情報処理に求められるシステム全体としての高機能化の要求を満たしていくためのデバイスについて、その方向性の端緒を得た。

加えて、研究会のもうひとつのテーマとして、日本の半導体産業の今後について、多角的な議論を行い、これについても今後新たな形をとって継続的に議論していくべきという結論に到達した。

以上述べたように、本年度は、ナノ材料とシリコン技術の融合による新規情報処理応用に向けて、本プロジェクトの取り組みを総括し、今後の更なる課題の明確化と発展について深化させることができた。

多分野を横断した研究者を多数集め、研究会を組織し活発な議論が行うという当初意図した目的を達成することが出来た。技術討論などを通じ、今後、益々重要になる集積エレクトロニクスに立脚した情報通信産業、半導体産業を初めとする電子・情報技術分野における成長の維持・競争力の強化に貢献することが期待できる。本研究会の活動により、今後の新規の情報処理技術における集積エレクトロニクスの果たす役割と研究開発の目指すべき方向性について端緒が得られたと考える。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは大学に籍を置く研究者のみならず、企業の研究者とコラボレーション研究会であり、本年度はプロジェクト研究会では、物性理論などのサイエンス分野の研究者と、材料・製造プロセス・デバイス・回路のテクノロジー分野の研究者を招聘者も加えて組織し、当該技術を検討した。

この本研究会の枠組みの中で、新たな社会的ニーズとして浮上してきている自動運転やIoT技術について、ナノ材料とシリコン技術の融合による新規情報処理基盤技術が果たす役割を実例を持って明確化してきた。これにより将来に向けた技術目標が体系化されていくと期待できる。産業界の主力プレーヤーが短期間でダイナミックに組変わっていく本分野においては、最先端の研究成果と産業界のニーズを踏まえて、将来の技術の方向性を見出していこうという本プロジェクトの重要性は、非常に大きい。

本年度は、本プロジェクトの活動を通して、将来の大型研究開発プロジェクト獲得や大型の産学連携研究への発展へ向けて方向性を模索する段階である。社会的要請や、産業界からのニーズに基づく技術の成立性の視点に加えて、新概念情報処理に不可欠なサイエンスの視点からコア技術とその課題を検討し、

また、その中に多くの若手研究者を巻き込み、議論・発表機会を提供してきており、当該分野の発展において、その波及効果は大きい。本研究会の活動を通じて、当該分野の活性化に寄与することを目指し、将来の集積エレクトロニクスを構築していく上で必要不可欠である日本の更なる競争力強化に大きく貢献するものと考える。

［4］成果資料

(1) Y. Wada, K. Inoue, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, “Demonstration of mm-long Nearly Intrinsic GeSn Single-crystalline Wires on Quartz Substrate by Nucleation-controlled Liquid-phase Crystallization”, 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), E-6-13, Tokyo, Japan, 2018.09.9-13.
(2) H. Watanabe, T. Tomita, H. Oka, K. Inoue, T. Hosoi, and T. Shimura, “Highly n-Type Doped Ge and GeSn Wires Fabricated By Lateral Liquid-Phase Epitaxy”, Americas International Meeting on Electrochemistry and Solid State Science (AiMES 2018), G03-1057, Cancun, Mexico, 2018.9.30-10.4.
(3) T. Hosoi, H. Oka, T. Shimura, and H. Watanabe, “Optoelectronic Integration Based on High-quality GeSn Grown by Liquid Phase Crystallization”, International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14), 25D10, Sendai, Japan, 2018.10.21-25.
(4) Tetsuo Endoh, Yitao Ma, “Ultralow-Power and Compact Nonvolatile Brain-Inspired VLSIs Based on CMOS/MTJ Hybrid Technology”, 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), A-2-01, Tokyo, Japan, 2018.09.9-13.
(5) Tetsuo Endoh, Yitao Ma, “International industry-academic collabo-ration (CIES consortium) enhances creation of innovative integrated electronic technologies from materials/equipment/devices to LSI/software/system for IoT/AI”, 共同プロジェクト報告会, ポスターH29/B05, 2019.02.21.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端・萌芽・産学)

採択番号：H29/B06

IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用

［1］組織

研究代表者：　藤井　威生
（電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター）
通研対応教員：亀田　卓
（東北大学 電気通信研究所）
研究分担者：
安達　宏一（電気通信大学）
有吉　正行（NEC）
安在　大祐（名古屋工業大学）
石津　健太郎（情報通信研究機構）
石橋　功至（電気通信大学）
稲森　真美子（東海大学）
衣斐　信介（大阪大学）
梅林　健太（東京農工大学）
太田　真衣（福岡大学）
大野　光平（明治大学）
大山　哲平（富士通研究所）
大和田　泰伯（情報通信研究機構）
小野　文枝（情報通信研究機構）
金子　めぐみ（国立情報学研究所）
沢田　浩和（情報通信研究機構）
田久　修（信州大学）
タンザカン（東京工業大学）
天間　克宏（情報通信研究機構）
中村　聡（東京理科大学）
成枝　秀介（三重大学
西尾　理志（京都大学）
橋浦　康一郎（秋田県立大学）
三宅　裕士（三菱電機）
山本　高至（京都大学）
石川　直樹（広島市立大学）
小澤　佑介（茨城大学）
延べ参加人数：29 人

研究費：旅費　302,000 円
産学特別支援費　60,000 円

［2］研究経過

IoT（Internet of Things）時代の無線通信ネットワークにおいて，有限な周波数資源をどのように利活用すべきかを長期的視野で議論する必要があると考えられる．本課題では，多種多様な要求条件のある IoT における周波数資源利用の考え方として，システム要求と周波数状態の双方を考慮し適応的に無線通信ネットワークを設計するスマートスペクトラム技術を中心として，IoT 時代に求められるスマート無線化へのアプローチや最新技術動向を探った．

［3］成果

（3－1）研究成果

2018 年 7 月 26 日（木）～27 日（金）に東北大学電気通信研究所などで第 2 回研究会を実施した．スマートスペクトラムとその応用分野に関連する講演を行い，全員で議論した．主な講演を以下に示す．

(1) 圧縮サブキャリアインデックス変調とその効率的復調（石橋 功至・電気通信大学）

2018 年 6 月に第 5 世代移動体通信第 1 版（5G-Phase1）の標準化が完了し，無線通信が有線通信に匹敵する高速通信を実現する時代が到来した．一方で，5G-Phase1 は 5G の 3 つの要件である高速大容量を実現したのみであり，さらに残りの 2 つの要件，超高信頼低遅延通信，超多端末通信を満たすためには，これまでにない新たな物理層技術が必要である．本発表では，5G 第 2 版以降の様々な要求に，柔軟に応えることが可能な新たな伝送技術として，我々が提案する圧縮同相・直交サブキャリアインデックス変調（CSIQIM）と，その効率的な復調法を紹介した．サブキャリアインデックス変調（SIM）は，直交周波数分割多重（OFDM）の一部のサブキャリアのみを用いることで，通常の複素平面におけるコンスタレーションに加えて，インデックスによって付加的に情報を伝送できるが，従来の OFDM と比較して，低い周波数利用効率においてのみビット誤り率を改善可能であることが示されている．我々が提案する CSIQIM では，同相軸，直交軸のそれぞれで独立に SIM を施し，この信号を線形変換によって圧縮することで，高い伝送効率，優れた誤り率特性を実現する．また一部のサブキャリアのみを用い，

原信号の疎性を利用することで，圧縮センシングの枠組による効率的復調が可能であることを示した．またCSIQIMでは線形変換による圧縮が復調性能を大きく左右するため，その設計手法として枠理論による設計とランダム行列理論による設計を紹介した．

(2) ポアソンセルラネットワークにおけるマルチユーザスケジューリング利得の解析
（山本 高至・京都大学）

周波数資源の把握には干渉の評価が重要である．干渉の統計的性質を解析的に評価する手法として確率幾何解析がある．本研究では，基地局の面的分布がポアソン点過程に従うポアソンセルラネットワークにおいて，チャネル適応型スケジューリングのひとつである正規化 SNR スケジューリングを行った際の信号対干渉電力比（SIR）の分布を，確率幾何により解析的に導出した．また，これを元にスケジューリング利得を数値評価すると，基地局あたりのユーザ数が50程度であっても，スケジューリング利得は2倍まで到達しない理由を検討した．

(3) 海水中における無線電力伝送
（稲森 真美子・東海大学）

現在，海洋探査のための機器の開発が活発に行われている．その機器への充電方法として非接触給電が検討されている．これにより充電の物理的な制約がなくなり，ケーブルレスによる作業範囲の拡大が可能となる．しかし，海水中で電力を伝送する場合，周囲の海水が電磁界の媒体となりその影響を受ける．本発表では，まず海水中のアンテナへの影響について説明した．また海水を模擬した塩水中での電力伝送を行い，伝送特性が約5% 低下したことを報告した．実験より得られた結果から，海水中では空気中より効率が低下する原因について検討しその結果を述べた．

(4) 非正方差動符号化とミリ波無線通信等への応用
（石川 直樹・広島市立大学）

MIMO-OFDM システムのさらなる周波数利用効率改善を目指して，チャネル推定の必要ない非コヒーレント通信方式について研究している．本発表では，著者らが2017年から提案している非正方差動符号化方式を最新の成果とともに紹介した．2000年頃からTarokhやHochwaldらによって提案されてきた従来の差動符号化方式は，ユニタリ行列を用いて送信シンボル間に相関を持たせ，受信機においてチャネル行列の推定を不要とする．パイロットシンボルの定期的な送信が不要となるため，理論的には伝送レートを漸近的に改善できる．一方で，送信レートを高くするほど符号設計の自由度が下がり符号化利得が減少する．また，ユニタリ行列は正方行列の一種であるため，送信アンテナ数が増えるほど復号演算量が指数関数的に増加する．これらの課題はユニタリ制約によって引き起こされる．この制約条件を緩和し，大規模MIMO環境においても動作可能とするため，著者らは任意のユニタリ行列を非正方行列に射影するコンセプトを提案してきた．射影した非正方行列は高い符号化利得を達成できる．また，非直交にも関わらず送信シンボル間には相関があり，受信機におけるチャネル推定が不要となる．ドップラーシフトに弱いという致命的な欠点を抱えている反面，指数関数的に増加していた演算量を線形オーダにまで削減できる点が特に有用であると考えている．本発表では，提案方式を大規模 MIMO-OFDM システム，および，ミリ波無線通信システムに適用した際の達成性能限界について計算機シミュレーションにより考察した．

また，2019年2月27日（水）に電気通信大学先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センターと共催で第3回研究会を電気通信大学にて実施した．主な講演を以下に示す．

(5) 都市型大規模災害時の医療救護療活動支援のためのネットワーク実証
（大和田 泰伯・情報通信研究機構）

首都直下型大地震など，大都市において大規模な災害が発生した場合には，複数の災害拠点病院同士が相互に連携を取りながら大勢の傷病者の対応を行わなければならない．また，都心部ほど通信網のハブ拠点が集中しており，それらの一部の障害が広域に影響することも想定されること，携帯電話網などの既存通信インフラも輻輳等で使用できなくなる可能性も高い．このような状況下においても，災害拠点病院間における連絡手段や，受け入れ可能な病床数や域内搬送や広域搬送のために必要となる交通リソースの情報をタイムリーに共有するための通信手段が重要となる．本報告では，このような状況下においても有効な自営網システムを提案する．本システムでは網の目状にネットワークを構成可能なネットワークシステム「NerveNet」と数種類のFWA（Fixed Wireless Access）装置により災害拠点病院間を接続し，多用途連接通信装置「AJICS」を組み合わせることで災害拠点病院間を自営網のみで電話連絡，TV 会議を可能とする．また，それぞれの拠点にはプライベート LoRa を用いた救急車両リソース管理用の無線システムを設置し，救急車両に搭載した GPS と LoRa 通信機を介して自営網のみで車両の位置や状

態を管理する．更に，200 MHz 帯を用いた自営 LTE システムを組み合わせ，通信範囲内であれば救急搬送中の傷病者のバイタル，映像を，自営網を介して受け入れ先病院へのリアルタイム伝送を可能とする．本報告では，これらの提案システムを用いた実証実験について紹介した．

(6) 可視光を用いた水中光無線給電通信方式に関する研究（小澤 佑介・茨城大学）

海底国際資源の探索・発掘作業を円滑に進めるためには複数の水中センサや小型無人水中機を常に海底・海中に配置し収集した膨大な調査情報等を収集するための高速無線ネットワーク網の構築が必要となる．さらに，長期的に情報収集を行うためには無線ネットワーク網を構築する機器への電力供給網の構築が同時に必要となる．本講演では，電磁波帯の中で海中減衰量が少なく，かつ高速ワイヤレス通信実現の可能性を持つ可視光帯域を用いた柔軟な海中無線通信・電力ネットワーク網の構築のための基礎技術について紹介を行った．

(7) 秋田県立大学における農業への IoT 導入について（橋浦 康一郎・秋田県立大学）

秋田県の農業において，農業は重要な産業の一つである．しかしながら，高齢化や人口減少により農作物の収量の減少，農業従事者の減少が問題となっている．また，農業従事者に対して農作業等の指導を行う農協職員は毎日管轄内の圃場を回り，作物の状況やハウス内環境等の確認を行うなど，非常に負担が重くなってきている．これらの問題に対して，本学では LPWA と ZigBee を用いた圃場管理システムを構築し，ハウス内の状況を遠隔監視できるシステムの構築に取り組んでいる．本システムは各圃場にセンサネットワークを構築し，そこで集めた環境情報を LPWA により遠隔の情報集約拠点に送信し，各圃場の環境情報を収集・処理することで異常や収穫時期などを圃場の管理者や農協職員へ周知するシステムである．これにより，農作業の負担軽減や，最適な作業割り当てが実現できると考えられる．現在，本システムを JA 秋田しんせいの営業エリアの各圃場に導入しようと考えている．しかしながら，LPWA は長距離伝送可能であるが，遮蔽物に弱い特性がある．JA 秋田しんせいエリアは広大であり，山間部も存在することから，圃場から集約拠点まで直接送信することが困難な場所が存在する．本講演では秋田県立大学における農工連携事業の取り組みを紹介するとともに，本システムの導入にあたり LPWA の通信路環境の測定実験を行った結果について述べ，今後の情報集約方法について説明した．

(8) モバイルエッジコンピューティングにおける総処理完了時間最小化のための無線・計算資源割り当て法の検討（安達 宏一・電気通信大学）

モバイルアプリケーションに対する需要の増大に伴い，モバイルエッジコンピューティング（MEC）が注目されている．MEC では，無線アクセスネットワーク（RAN）のエッジである基地局（BS）に計算機能を有する MEC サーバを配置することで，端末が要求したタスクを低遅延で処理することが可能となる．しかしながら，複数のユーザが同時に MEC サーバでのタスク処理を要求した場合には，BS とユーザがタスクの送受信を行うための無線資源と MEC の計算資源の割り当てを行う必要がある．本講演では，タスクの総処理完了時間を最小化するための無線・計算資源割り当て法を紹介した．タスクが各端末で処理できるローカルタスクと MEC サーバで処理されるオフロードタスクに分割できる場合に，各ユーザに割り当てる最適な無線資源（時間スロット）と MEC での計算能力を適切に割り当てることにより，従来の割り当て法と比較して 25% 程度総処理完了時間を低減出来ることを計算機シミュレーションにより明らかにした．

（特別支援（産学）に係る研究成果）

産学の研究者がそれぞれの立場でこれまでの研究成果について講演を行った．それを基に，産学が連携して進むべき方向性について，包括的な議論を行うことができた．

（３－２）波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究プロジェクトは，国内外の研究者のコミュニティーのすそ野を広げ，今後の無線通信技術の研究開発の方向性を活発に議論することに寄与している．本研究会を発展させ，スマートスペクトラムをはじめとする新たな無線通信技術の国際ワークショップ International Workshop on Smart Radio for IoT Era （SR-IoT 2019）を 2019 年 7 月にクロアチア・ザグレブにて開催される国際会議 The 11th International Conference on Ubiquitous and Future Networks（ICUFN 2019）内で開催する予定である．

［４］成果資料

（１）T. Fujii, “Smart spectrum management for V2X,” Proc. IEEE DySPAN2018, Seoul, Korea, Oct. 2018. (Invited Paper)

（２）S. Kameda, et al., “Experimental evaluation of synchronization accuracy considering sky view factor for QZSS short message synchronized SS-CDMA,” IEICE ComEX, vol.7, no.9, pp.322-327, Sept. 2018.

採択回数	1	2	3

(国際・産学)

採択番号：H29/B07

無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術とそのシステム応用

［1］組織

研究代表者

伊藤　信之（岡山県立大学・情報工学部）

通研対応教員

末松　憲治（東北大学・電気通信研究所）

研究分担者

石崎　俊雄（龍谷大学・理工学部）
岡崎　浩司（NTT ドコモ・先進技術研究所）
亀田　卓　（東北大学・電気通信研究所）
河合　邦浩（NTT ドコモ・先進技術研究所）
河合　正　（兵庫県立大学・大学院工学研究科）
川崎　繁男（JAXA・宇宙科学研究所）
古神　義則（宇都宮大学・大学院工学研究科）
佐藤　潤二（パナソニック・AIS 社技術本部）
真田　篤志（大阪大学・大学院基礎工学研究科）
関　智弘　（日本大学・生産工学部）
谷口　英司（三菱電機・本社 開発業務部）
楢橋　祥一（摂南大学・理工学部）
西川健二郎（鹿児島大学・大学院理工学研究科）
西野　有
檜枝　護重（三菱電機・鎌倉製作所）
平野　拓一（東京都市大学・知識工学部）
藤島　実　（広島大学・大学院先端物質科学研究科）
藤本　竜一（東芝セミコンダクター社）
丸橋　建一（日本電気・IoT 基盤開発本部）
本良　瑞樹（東北大学・電気通信研究所）
吉田　賢史（鹿児島大学・大学院理工学研究科）
Dmitry V. Kholodnyak（St. Petersburg Electrotechnical Univ.）
大久保　賢祐（岡山県立大学・情報工学部）
九鬼　孝夫（国士舘大学　理工学部）

延べ参加人数：26 人

研究費：

旅費	302,000 円
国際特別支援費	220,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

AI（Artificial Intelligence）と IoT（Internet of Things）/IoE（Internet of Everything）による第四次産業革命が注目されて久しいが、IoT/IoE を anytime、anywhere で進めるためには無線通信が重要な鍵となる。しかもこの無線通信は、今までの携帯電話、WLAN のような一つの規格ではなく、高度化した多岐に亘る規格が必要となる。何となれば、AI-IoT/IoE の姿を具体的に考えると、いろいろな場所にある一つ一つのセンサノードから得られる比較的少ない情報を低消費電力無線通信で伝達を行い、集積されたデータを AI によって情報処理し、の結果得られた大量のデータを大容量無線通信によってユーザーに配信する必要があるからである。

そのような観点から、昨年度の研究会では低消費電力無線通信に関する講演を行っていただき議論したが、2 年目である今年度は、IoT の実際に使われているもしくは使おうとしている立場として、車載 IoT の全体像、無線アプリケーションについて三菱電機の小野氏に、製造現場における IoT 活用について NEC の丸橋氏を招聘し議論を行った。また、日露ワークショップをサンクトペテルブルグ工科大学で開催し、システム、電子回路、集積回路等の広範囲の技術討論を行った。以下に実施内容を記載する。

＜日露ワークショップ＞

日時： 2018 年 10 月 1 日～2 日

場所： サンクトペテルブルク工科大学（

プログラム：

1. Prof. N. Itoh, “Study of Concurrent Dual-band Low-noise Amplifiers”
2. Prof. A. Grigoriev, “Terahertz Amplifier Klystrons. Problems and Solutions”
3. Prof. K. Nishikawa,”Analysis of Rectifier Operation with Modulated Input Signals”
4. Dr. Bair Buiantuev, “Applications of Non-Foster Elements to Design Advanced RF and Microwave Devices”

5. Prof. M. Motoyoshi, “60-GHz 260-μW Ultra Low Power ASK Transmitter for Millimeter-wave IoT”
6. Dr. A. V. Lagosh, “Silicon Carbide Micromechanical RF Switches for Harsh Environments”
7. Prof. K. Okubo, “Nonreciprocal CRLH Transmission Line Using Antiparallel Magnetized Ferrite Loaded Waveguide”
8. Prof. R. A. Platonov, “Ferroelectric Materials at Microwave Frequencies: Technology, Properties, Application”
9. Dr. Al. A. Nikitin “Electromagnonic Crystals Based on Thin-film Multiferroic Heterostructures”
10. Prof. V.A. Ivanov “Microwave Technology for E-waste Recycling”
11. Prof. S. Yoshida, “60-GHz-band Array Antenna with Feeding Network Using Excavated Structure for Copper Ball Support”
12. Prof. P.A. Turalchuk, “Beamforming Networks for Spatial Division Applications”
13. Prof. T. Kawai, “Design Method of Lumped-element Unequal Power Dividers and Its Application to N-way Divider at VHF band”
14. Prof. E. Vorobev, “Passive Radar Exploiting DVB-T2 Transmitters as Illuminators of Opportunity”

＜研究会＞

日時： 平成 30 年 11 月 19 日（月） 10:30～13:00

場所： 東北大学電気通信研究所 M331 セミナー室

出席者 : 伊藤、末松、西川、九鬼、藤島、Dmitry V. Kholodnyak、河合、吉田先生、丸橋、本良（10 名）

内容 :

10:30 研究代表者挨拶

10:45 講演 1

「車の IoT 化の全体像，および，無線を使ったアプリケーション例の紹介」小野政好 (三菱電機株式会社自動車機器開発センター)

11:45 講演 2

「製造現場における無線利用のニーズと課題」丸橋建一 (情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター)

12:45 ラップアップ，今後の計画に関する議論

13:00 閉会

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会においては、車の IoT 化の全体像とそのアプリケーションおよび課題について、また、工場等の製造現場における IoT 化とそのニーズおよび課題について招聘した 2 名の講師に紹介いただき議論を行った。得られた研究成果としては、第 1 に本年度は, 以下に示す研究成果を得た。まず第 1 に車載 IoT に関しては、車車間通信、路車間通信のような無線技術は勿論コア技術であるものの、「自動運転」、「EV 化」への対応が急務であり、AI を使った自動運転ソフト、精度の高いデジタルマップ、画像処理、AR（Augmented Reality）等の技術の伸長が必須となると考えられる。第 2 に製造現場における IoT としては、無線化すべき機器の環境、その機能に沿った通信方式の選択および通信制御等でのいくつかの状況に応じた場合分け等も必要となり、それが返って進展を妨げているのではないか、という印象を持った。

上記の事も踏まえ、本研究のテーマである無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術はどのように進展させるべきか、更なる議論が必要と考えられる。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度の研究会で主に討議されたのは、車載環境における IoT および製造現場における IoT の現状把握と課題であるが、IoT 自体は非常にさまざまな場面で今後も進展が予想されるため、それぞれの場面、場面により、今回把握できた状況と課題を可能な限りは横展開することが重要と考えられる。また、先端的高周波回路技術にとってもそれらをわきまえた回路技術開発が必須であると考えられる。

（3－3）特別支援（国際・産学）に係る研究成果

日露ワークショップにおいては、無線通信用のマルチバンド技術、低消費電力技術、電力伝送技術、アンテナ技術を含む電子回路、集積回路に関する新規な検討が議論され、先端的高周波回路技術の進展に大きく寄与されるワークショップとなった。今後とも、ロシア側の研究者と協力して引き続き開催するとともに、日露研究者間で先端的高周波回路技術を通して交流を深め、共同研究等へ発展させていく。

［4］成果資料

関連する成果資料

(1) T. Vu, K. Takano, M. Fujishima, “Low-power D-band CMOS amplifier for ultrahigh-speed wireless communications,” International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 8, no. 2, 1 Apr. 2018.

(2) T. Vu, K. Takano, M. Fujishima, “300-GHz Balanced Varactor Doubler in Silicon CMOS for Ultrahigh-Speed Wireless Communications,” IEEE Microwave Theory and Techniques Society, vol. 28, no. 4, pp. 341-343, April 2018.

(3) T. Hirano, "Equivalence Between Orbital Angular Momentum (OAM) and Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) in Uniform Circular Arrays -

Investigation by Eigenvalues -," Microwave and Optical Technology Letters (MOP), Vol.60, No.5, pp.1072-1075, May 2018.

(4) 藤島実, “テラヘルツ通信で新しい応用を開くシリコン集積回路,” 電子情報通信学会誌, vol. 101, no. 6, pp. 554-560, June 2018.

(5) 吉田賢史，西川健二郎，川崎繁男，“太陽光発電とマイクロ波電力伝送を併用したハイブリッドエナジーハーベスタの実験評価，” 電気学会論文誌 D，vol. 138，no. 7，pp. 615–622，July 2018.

(6) S. Hara, K. Katayama, K. Takano, R. Dong, I. Watanabe, N Sekine, A. Kasamatsu, T. Yoshida, S. Amakawa, and M. Fujishima, “32-Gbit/s CMOS receivers in 300GHz band,” IEICE Trans. Electron., vol.E101-C, no.7, pp. 464-471, Jul. 2018.

(7) T. Kawai, T. Matsuda, M. Sakakura, and A. Enokihara: "Parallel ring-line rat-race circuit with very loose coupling", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.60, Issue 9, pp.2245-2249, 2018.

(8) 藤島実, 天川修平, 高塚弘隆, “(招待論文) 低電圧電源ミリ波 CMOS 回路,” 電子情報通信学会論文誌 C, vol. J101-C, no. 9, pp. 362-369, Sep. 2018.

(9) 平野 拓一, "電磁界シミュレータ利用の勘所 ―境界条件と励振モデル―," 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J101-C, No.10, pp.381-388, Oct. 2018.

(10) T. Kawai, K. Nagano, and A. Enokihara: "A 920MHz Lumped-Element Wilkinson Power Divider Utilizing LC-Ladder Circuits", IEICE Transaction on Electronics, Vol.E101-C, No.10, pp.801-804, Oct. 2018.

(11) 佐藤潤二，岸上高明，岩佐健太，阿部敬之，村田智洋，四方英邦，” （招待論文）不等間隔 MIMO 技術を用いた 140GHz 帯 3D レーダモジュール，“ 電子情報通信学会論文誌 C，Vol.J101-C，No.11，pp.436-443，Nov. 2018.

(12) M. Fujishima, “Key Technologies for THz Wireless Link by Silicon CMOS Integrated Circuits,” Photonics, vol. 5, no. 4, pp. 1-17, 23 Nov. 2018.

(13) 北野 大志, 小椋 清孝, 森下 賢幸, 伊藤 信之, ” 入出力に二帯域整合回路を備えた同時受信低雑音増幅器に関する検討” 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J101-C，No.12，pp.461-470，Dec. 2018.

(14) 藤島実, “CMOS 集積回路を用いたテラヘルツ広帯域通信とその応用,” 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, vol. 12, no. 3, pp. 190-196, Dec. 2018.

(15) M. Fujishima, “(Invited paper) Emerging applications with terahertz communication,” International Journal of Terahertz Science and Technology (TST), vol. 11, no. 4, pp. 124-130, Dec. 31, 2018.

(16) Y. Tsubouchi, D. Miyashita, T. Toi, Y. Satoh, F. Tachibana, J. Wadatsumi, M. Morimoto, R. Fujimoto, and J. Deguchi, “A 12.8-Gb/s Daisy Chain-Based Downlink I/F Employing Spectrally Compressed Multi-Band Multiplexing for High-Bandwidth Large-Capacity Storage Systems, “ IEEE Journal of Solid-State Circuits, pp.1 -10, Jan. 2019.

(17) 河合正，松田拓也，榎原晃："終端短絡結合線路を用いた並列リング線路形疎結合ラットレース回路の設計"：電子情報通信学会論文誌 C-I, Vol. J102-C, No.2，pp.9-12, Feb. 2019.

(18) S. Kawasaki, S. Yoshida, T. Nakaoka, K. Nishikawa, “The C-Band HySIC RF energy harvester based on the space information, communication and energy harvesting technology,” Int. Microw. Symp. Dig., Th2B-3, pp. 1265–1268, June 2018.

(19) M. Fujishima, “300-GHz CMOS wireless transceiver and its future,” WSD: eXtreme-bandwidth: architectures for RF and mmW transceivers in nanoscale CMOS, IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, Philadlphia, 10 June 2018. (Invited)

(20) Takuichi Hirano, Ning Li, Takeshi Inoue, Hirochika Yagi, Kenichi Okada, Akira Matsuzawa, "Loss Reduction of Silicon Substrate by Helium-3 or Proton Ion Irradiation for a Millimeter-Wave CMOS Chip," Proc. of European Advanced Material Congress, pp.83-84, Stockholm, Sweden, August 20-23, 2018.

(21) Tomoyuki Furuichi, Mizuki Motoyoshi, Suguru Kameda, Noriharu Suematsu, "A Study on Direct RF Undersampling Receiver Configuration Considering Timing Skew Spurs Using Time-Interleaved ADC," Proceeding of APMC2018, FR3-IF-16, Nov. 2018.

(22) Y. Sakamoto, K. Komoku, T. Morishita, N. Itoh, “Phase Noise Characteristics of VCOs Utilizing Various Structural 3D-Striped Inductor,” Proceeding of APMC2018, TH3-IF, Kyoto, Nov. 2018.

(23) K. Okubo, M. Ishihara, M. Kishihara, H. Takimoto, “A Study on Nonre ciprocal CRLH-TL Composed of Gyrator and Series Capacitor,” Proceeding of APMC2018, FR2-D-1, Kyoto, Nov. 2018.

(24) S. Lee, R. Dong, T. Yoshida, S. Amakawa, S. Hara, A. Kasamatsu, J. Sato, M. Fujishima, “An 80Gb/s 300GHz-Band Single-Chip CMOS Transceiver,” 2019 International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2019), San Francisco, Feb. 18 2019.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/ B08

光波とマイクロ波をシームレスに繋ぐ フルコヒーレント通信・計測システムに関する研究

［1］組織

研究代表者：
土田　英実（産業技術総合研究所）
通研対応教員：
廣岡　俊彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
森　雅彦（産業技術総合研究所）
並木　周（産業技術総合研究所）
井上　崇（産業技術総合研究所）
黒須　隆行（産業技術総合研究所）
吉富　大（産業技術総合研究所）
石川　浩（産業技術総合研究所）
鍬塚　治彦（産業技術総合研究所）
稲場　肇（産業技術総合研究所）
大久保　章（産業技術総合研究所）
安田　正美（産業技術総合研究所）
柳町　真也（産業技術総合研究所）
洪　鋒雷（横浜国立大学）
美濃島　薫（電気通信大学）
中嶋　善晶（電気通信大学）
浅原　彰文（電気通信大学）
延べ参加人数：２５人

研究費：
旅費　222,000 円

［2］研究経過

クラウド・ビッグデータ社会の基盤である情報通信システムは、それぞれ独立に構築されたワイヤレスネットワークと、これらを収容する大容量光ネットワークにより運用されている。より安全、安心で効率的な社会基盤を構築するためには、更なる大容量化と多様な情報に対応できる自律分散協調ネットワークが求められている。このような高度なネットワークを実現するためには、それぞれ独立に運用されているネットワークを、光やマイクロ波などの伝送媒体に依存しない仮想的な通信方式に置き換える必要があり、両者をシームレスに繋ぐ極めて高度な技術が要求される。一方、計測標準分野においては、マイクロ波原子時計により実現されている時間の定義が精度の限界に達し、飛躍的な精度向上が期待できる光格子時計に置き換えられようとしている。新たな時間標準を通信やセンシングに利用するには、光波の優れたコヒーレンスを保持したまま、光周波数をマイクロ波周波数に変換する必要がある。

本プロジェクトでは、光波とマイクロ波の間でコヒーレンスを保持したままシームレスに繋ぐフルコヒーレント通信・計測技術に関する研究討論を行い、先進的な通信、計測システムの確立に貢献することを目的として、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所等の研究者の間で、光、および無線通信用デバイス・システム、光周波数計測等に関する研究討論を行った。

本プロジェクトは，今年度が２年目に当たり、平成３０年１２月１２日に電気通信研究所において、東北大学、産業技術総合研究所、電気通信大学、横浜国立大学、三菱電機、KDDI、北里大学の研究者が参加して研究会を開催し、13 件の発表を行った。コヒーレント光伝送、光アクセス技術、フルコヒーレント通信、光電変換デバイス技術、光周波数コムの高性能化等に関する発表に対して、活発な討論を行った。研究会のプログラムを以下に示す（○は発表者を示す）。

１２月１２日（水）

１．開会挨拶　　廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
２．リアルタイム偏波多重 256-512QAM デジタルコヒーレント伝送：○吉田真人・葛西恵介・中沢正隆（東北大）
３．注入同期法を用いた 12 bit/s/Hz, 58.2 Tbit/s, 256 QAM-160 km C バンド WDM 伝送：○管貴志・葛西恵介・吉田真人・中沢正隆（東北大）
４．光アクセス用 100Gb/s 級デジタルコヒーレント伝送技術：○鈴木巨生・松田恵介・有賀博（三菱電機）

５．Beyond 5G に向けたモバイルフロントホール・バックホールの技術動向：○西村公佐・石村昇太・アブデルモウラ ベッカリ・田中和樹・平山晴久・塚本優・難波忍・鈴木正敏（KDDI）
６．無線アクセスネットワークの将来展望と光モバイルフロントホールへの期待：○安達文幸（東北大）
７．単一チャネル 7.68 Tbit/s-150 km, 64QAM コヒーレントナイキストパルス伝送：○木村光佑・吉田真人・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
８．デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS 雑音の観測とその補償技術：○吉田真人・竹節直也・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
９．単一チャネル 10.2 Tbit/s-300 km 光ナイキストパルス伝送：○平田綾也・廣岡俊彦・吉田真人・中沢正隆（東北大）
10. フェルミレベル制御バリアダイオードを用いた広帯域・低雑音テラヘルツ波検出：○伊藤弘（北里大）・石橋忠夫（NTT エレクトロニクステクノ）
11. f_{ceo} の検出と制御が可能なデュアルコムファイバレーザー：○中嶋善晶・秦祐也・美濃島薫（電通大）
12. 光コムと光渦を組み合わせた時空間干渉計測：○浅原彰文・美濃島薫（電通大）
13. 導波路型 PPLN を用いた広帯域光コムの発生とそのメカニズム：○吉井一倫・野邑寿仁亜・池田幸平・Chaoyun Chen ・田口佳穂・久井裕介・洪鋒雷（横浜国大）
14. 平均周波数検出方式デジタルコヒーレントライダー：○土田英実（産総研）
15. 閉会挨拶　土田英実（産総研）

［3］成果

（３－１）研究成果

① FPGA を用いたリアルタイム QAM 受信装置を開発し、256QAM-160km、および 512QAM-20km 伝送を実現した。
② 注入同期ホモダイン受信器を用いた WDM 伝送にラマン増幅を導入することにより、OSNR を 2.3-3.9dB 改善し、485ch-256QAM 信号の 160km 伝送を実現した。
③ 短距離・アクセス系光通信とコヒーレントレシーバの技術動向、デジタルコヒーレント伝送のアクセス系への適用、400Gb/s を越える伝送技術の方向性を紹介した。
④ 4G モバイル通信における C-RAN の導入と課題、5G モバイル通信におけるサービス多様化、基地局機能のソフトウェア化・仮想化、RoF/IFoF モバイルフロントホール、5G 以降の課題を紹介した。
⑤ 移動無線通信技術の発展の歴史、第 5 世代システムへの技術課題と実用化に向けた取り組み、分散 MIMO 無線アクセスネットワーク、光モバイルフロントホールとフルコヒーレント RoF について紹介した。
⑥ 高 OSNR のナイキストパルス光源、2 次分散付与による EDFA 中の SPM 低減、ナイキスト LO パルスの光位相同期を用いて、単一チャンネル 64QAM-7.68Tb/s-150km コヒーレント伝送を実現した。
⑦ 光ファイバの GAWBS 雑音が QAM 信号復調の劣化要因となることを明らかにし、アナログ、およびデジタル方式による補償技術の有効性を確認した。
⑧ 4 次までの高次分散補償、および NOLM による超高速多重分離を利用して、単一チャンネル 10.2Tb/s-300km 光ナイキストパルス伝送を実現した。
⑨ テラヘルツ波検出用のフェルミレベル制御バリアダイオードを開発し、低障壁高さを制御性良く実現できることを明らかにし、これを用いて 2 乗検波、ホモダイン・ヘテロダイン検波、リニアアレイによるイメージングを実現した。
⑩ f_{ceo} の調整が可能なデュアルコムファイバレーザーを開発し、f_{ceo} ビート信号の検出と励起パワーによる f_{ceo} の制御を実現した。
⑪ デュアル光渦コム分光法、OAM 分解デュアルコム分光法を提案し、光コム干渉計における位相と角度の間の 2 次元変換、2 次元スペクトルによる特性評価を実証した。
⑫ 導波路型 PPLN を用いて広帯域光周波数コムを発生し、可視域コムの主要な発生機構が SHG であることを明らかにし、その実用性を検証した。
⑬ デジタル信号処理によりレーザの非線形チャープを補償するデジタルコヒーレントライダーを提案し、ビート周波数の平均値から距離を算出する新たな手法を開発した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまで独立に発展してきた光波とマイクロ波の通信・計測技術をシームレスに接続して、先進的なシステム確立を目指す点において、本プロジェクトは独自性と優位性を有していると考えられる。超高速、およびコヒーレント光伝送に関して世界最先端のポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、光デバイス、光信号処理、レーザ制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研

究所の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

［4］成果資料

（1） M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Dual-polarization on-line 256 and 512 QAM digital coherent transmission,” OFC 2019, M2H.4 (Mar. 2019).

（2） K. Kimura, J. Nitta, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 7.68 Tbit/s, 64 QAM coherent Nyquist pulse transmission over 150 km with a spectral efficiency of 9.7 bit/s/Hz,” Opt. Express, vol. 26, no. 13, pp. 17418-17428 (Jun. 2018).

（3） M. Nakazawa, M. Yoshida, M. Terayama, S. Okamoto, K. Kasai, and T. Hirooka, "Observation of guided acoustic-wave Brillouin scattering noise and its compensation in digital coherent optical fiber transmission," Opt. Express, vol. 26, no. 7, pp. 9165-9181 (Apr. 2018).

（4） T. Hirooka, R. Hirata, J. Wang, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Single-channel 10.2 Tbit/s (2.56 Tbaud) optical Nyquist pulse transmission over 300 km,” Opt. Express, vol. 26, no. 21, pp. 27221-27236 (Oct. 2018).

（5） Y. Seki and F. Adachi, “Improving link capacity by multi-user MMSE-SVD with ICI information in a distributed MIMO cellular network,” IEICE Communications Express, Vol. 7, no. 9, pp. 316-321 (Sept. 2018).

（6） F. Adachi and A. Boonkajay, “Selective MIMO Diversity with Subcarrier-wise UE Antenna Identification/Selection,” IEICE Communications Express, vol. 7, no. 11, pp. 400-408 (Nov. 2018).

（7） N. Suzuki, H. Miura, K. Matsumoto, R. Matsumoto, and K. Motoshima, “100G to 1T based coherent passive optical network technology,” IEEE/OSA J. Lightwave Technol., vol. 36, no. 8, pp. 1485-1491 (Apr. 2018).

（8） K. Matsuda, and N. Suzuki, “Hardware-efficient signal processing technologies for coherent PON systems,” to be published in IEEE/OSA J. Lightwave Technol., vol. 37 (2019).

（9） H. Ito and T. Ishibashi, “Low-noise heterodyne detection of terahertz-waves at room temperature using zero-biased Fermi-level managed barrier diode,” Electron. Lett., vol. 54, no. 18, pp. 1080-1082 (Sep. 2018).

(10) H. Ito and T. Ishibashi, “Broadband and low-noise terahertz-wave detection by InP/InGaAs Fermi-level managed barrier diode,” Proc. SPIE, vol. 10756, 107560M (Sep. 2018).

(11) Y. Nakajima, Y. Hata, and K. Minoshima, “High-coherence ultra-broadband bidirectional dual-comb fiber laser,” Opt. Express, vol. 27, no. 5, pp. 5931-5944 (Mar., 2019).

(12) A. Asahara, S. Shoji, K. Kondo, Y. Wang, and K. Minoshima, “Coherent control and interferometric detection of lateral beam profile by use of dual-optical vortex comb,” Ultrafast Phenomena 2018, TUE.2B.7 (Jul. 2018).

(13) A. Asahara, S. Shoji, K. Kondo, Y. Wang, and K. Minoshima, “Coherent spatiotemporal control by combining optical frequency combs and optical vortices,” CLEO2018, STu4P.3 (May 2018).

(14) K. Yoshii, J. Nomura, K. Taguchi, Y. Hisai, F.-L. Hong, “Determination of the offset frequency of a broadband frequency comb generated in a waveguide-type periodically poled lithium niobate crystal,” CLEO2018, JW2A.159, (May 2018).

(15) Y. Asahina, K. Yoshii, Y. Yamada, Y. Hisai, S. Okubo, M. Wada, H. Inaba, T. Hasegawa, Y. Yamamoto and F.-L. Hong, “Narrow-linewidth and highly stable optical frequency comb realized with a simple electro-optic modulator system in a mode-locked Er:fiber laser,” Jpn. J. Appl. Phys. 58, 038003 (Mar. 2019).

採択回数	1	2	3

（若手・国際・産学）

採択番号：H29/B09

人の三次元的身体的な行動解析に基づいた空間型ユーザインタフェース

［1］組織

研究代表者

山本 豪志朗（京都大学）

通研対応教員

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

倉本 到（大阪大学）
小倉 加奈代（岩手県立大学）
磯山 直也（神戸大学）
三武 裕玄（東京工業大学）
末田 航（国立シンガポール大学）
伊藤 雄一（大阪大学）
山口 徳郎（沖電気工業株式会社）
酒田 信親（奈良先端科学技術大学院大学）
池田 聖（立命館大学）
藤本 雄一郎（東京農工大学）

延べ参加人数：12 人

研究費

旅費	237,000 円
国際特別支援費	220,000 円
若手特別支援費	120,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

本研究では，空間における人々の様々な活動を支援し，そして強化するための空間型ユーザインタフェースについて議論する.関連する要素技術として，三次元空間内での人の行動解析技術，意図理解・推定，コミュニケーション技術，ロボット型のディスプレイ(e.g，ドローン等)，バーチャルリアリティ，人を引きつけるためのエンタテインメント技術やインタラクティブインスタレーション等がある．これらは全て近年極めて活発に研究が進められているものである一方で，それぞれの分野における技術課題が依然として多いためにお互いが十分に接続されていないことかが多い．本プロジェクトでは，関連分野で活躍する若手による研究会を開催し，これらの分野の強みや課題，そしてそれぞれの接続を十分に議論することで，将来の空間型ユーザインタフェースの設計や実装について議論を深め，今後の共同研究の構想を練ることを目的とした.

本プロジェクトは，本年度が二年目であり，昨年度の探索的な議論をベースにして具体的な研究テーマを立案することを目的として一回の研究会を開催した.

1．一回目研究会

日時： 平成 30 年 2 月 18 日～19 日

参加者：

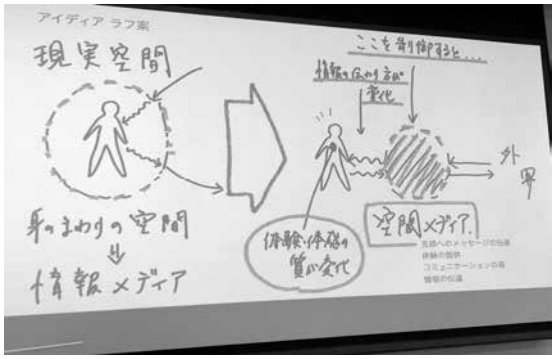
京都大学	山本豪志朗
岩手県立大学	小倉加奈代
神戸大学	磯山直也
東京工業大学	三武裕玄
立命館大学	池田聖
東京農工大学	藤本雄一郎
奈良先端科学技術大学院大学	酒田信親

東北大学北村研究室から学生数名がデモで参加

内容と議論：

本研究プロジェクトの目的は様々な計測の専門家が持つ技術や研究動向を接続し人的交流を強化し，共同研究や予算獲得につなげることである.

二年目になる本年度では，より具体的な研究テーマの立案に向けたブレインストーミングを実施した.アジェンダとしては，「空間メディア情報学」の立ち上げという構想をスタート地点として，発散と収束の段階を持つ会議をした．なお，空間メディアの考え方は下図のようにあらわした.



参加者それぞれの自己紹介をし，その後，空間メディア情報に着目した際の各々の興味を報告しあい，最近の関連分野の動向の意見交換などを経た.途中，３０分ほどの自習時間を設けて報告しあうなど，質の高いアイディアの交換を意識して会議を進めた.会議の様子は以下の通りである.



［3］成果

（3－1）研究成果

知識の交流，今後の共同研究案，計画とタイムランなどについて確認することができた．その概要を以下に示す.

知識の交流と交換：議論で出たキーワードを簡単にまとめると，セキュリティ心理学と脆弱性，ソーシャルインタラクション，手術室におけるARやVR，ランドスケープデザイン，記憶，健康，寿命，睡眠，プロジェクションマッピング，視線共有，思考方法，出会い系，エージェント，広告など，複数人の異なる専門を持つ分野の人が集まったからこその多岐にわたる話題を交換することができた．いずれも単に意見するだけではなく，その背景や分野の動向についても深く共有することができた.

研究テーマの立案と計画：もっとも大きな成果として，視線とARを応用した興味深い二つのテーマを設定することができた．短時間で実現できる可能性のあるものと，長期にわたって検討が必要なものの二つを立案した．それぞれの大学にて，来年度に学生割り当てが決まってから再度相談の場を設け，実施に向かう予定である．予算獲得としては，チーム内の専門性やそのばらつきがうまく機能せずに立案できなかったが，先に述べた話題の中から抜粋して，またはより小規模のチームで，今後も継続議論することを確認した．今後も，本会議の関係者は学会で頻繁に顔を合わすため，それらの機会を活用する予定である.

本課題は，若手，国際，産学枠である支援をうけている．若手枠の支援により，分担者の全員を招聘することができた．また，国際枠については，VRおよび人間工学の若手研究者であるトロント大学のSabah氏を招聘した．招聘期間は11月26-12月3日であり，そのうち4日間に主に通研対応教員である高嶋と打合せをした．日程があわずに先の研究会より前に設定したが，議論の情報はお互いにメール等で共有済みである．Sabah 氏の招聘目的は，これまでの共同研究の進捗の確認と，先に述べたような新たな共同研究テーマの立案であった．Sabah 氏は，フランスとカナダにおけるVRやARの研究動向に詳しく，国際的な業界動向の情報交換もできるなど，本課題の成果を出すために有意義な招聘であった.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，身体の三次元的な計測とそのユーザインタフェース応用を専門とする研究者と密な交流を実現し，具体的な共同研究テーマを模索することが目的である．今回の研究会を経て，お互いの交流は大きく発展した．今年度は空間メディア情報学を中心に議論したが，今後は，より具体的な成果や関連業界への波及が見込めると考える.例えば，医療やスポーツ等についても同様の観点で深い議論が可能と考える．そのため，本プロジェクトを来年度も継続し，近い分野ではあるがお互い強い交流を持たない研究者同士でノウ・ハウや研究動向を整理して，成果をまとめて公開するなどして，身体的動作計測を中心とした研究領域に貢献していきたい.

［4］成果資料

なし

採択回数	1	(2)	3

(国際)

採択番号：H29/B11

自己運動知覚を含む多感覚統合

［1］組織

研究代表者

櫻井　研三（東北学院大学教養学部）

通研対応教員

鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

行場　次朗（東北大学文学研究科）
Hiroshi Ono（York 大学心理学部）
Laurence R. Harris（York 大学心理学部）
蘆田　宏（京都大学文学研究科）
一川　誠（千葉大学文学部）
岡嶋　克典（横浜国立大学環境情報研究院）
北崎　充晃（豊橋技術科学大学工学研究科）
佐藤　雅之（北九州市立大学国際環境工学部）
中村　信次（日本福祉大学子ども発達学部）
金子　寛彦（東京工業大学総合理工学研究科）
古賀　一男（京都ノートルダム女子大学心理学部）
白井　述（新潟大学人文学部）
妹尾　武治（九州大学高等研究院）
寺本　渉（熊本大学文学部）
Philip M. Grove（Queensland 大学 心理学）
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
栗木　一郎（東北大学電気通信研究所）
松宮　一道（東北大学大学院情報科学研究科）
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：25 人

研究費

旅費	298,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

現実の環境における観察者の行動は能動的であり、自己の身体を適切に制御しながら空間内を移動し、外界の対象に近づいてそれを自分の四肢で操作している。しかしながら、視覚や聴覚に関する多くの知覚実験では観察者が静止状態で課題を遂行しており、観察者本人の能動的な身体運動が知覚に与える影響の検討が必要とされている。能動的行動において主要な役割を果たす自己身体の感覚情報は前庭覚と自己受容感覚であるが、最近になって、これらの感覚が視覚や聴覚とどのように統合されるのかが、多感覚研究によって明らかにされつつある。

本プロジェクトでは，観察者の能動的運動が観察者自身の知覚をどのように変容させるのかという問題に焦点を当て，能動的観察事態における前庭覚と視覚，聴覚の関係，あるいは自己受容感覚と視覚の関係を明らかにすべく，このテーマに取り組んでいる国内外の研究者が集まり議論を深めることを目的として研究を進めている。

本プロジェクト2年目の今年度は，自己運動知覚の研究者である Michael Barnett-Cowan 准教授（Waterloo 大学，カナダ）を招聘し，2019 年 3 月 4 日（月））17 時より電気通信研究所本館 1 階オープンセミナー室において講演会を開催した。また，翌日 3 月 5 日（火）10 時より電気通信研究所本館 4 階セミナー室において研究打ち合わせ会を実施し，Barnett-Cowan 准教授を交えて研究会参加者の研究成果報告と自由討議を行なった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の成果の第 1 は，自己運動知覚の研究者の中でも比較的若手の Michael Barnett-Cowan 准教授を招聘できたことである。Barnett-Cowan 准教授は本プロジェクトの研究分担者であるカナダの York 大学心理学部の Laurence R. Harris 教授の指導を受けて博士号を取得し，仮想現実(VR)システムを利用した自己運動知覚の研究を続けている気鋭の研究者であり，国際多感覚フォーラム（IMRF）でも活躍しているものの，今回が初来日であった。プロジェクトのメンバーにとって，VR システムを利用した自己運動知覚研究に関するまとまった講演を聴き，Barnett-Cowan 准教授本人と直接に議論する機会を得られたことは，国際枠の支援を受けた本プロジェクトの大きな成果といえよう。

成果の第 2 は，自己運動知覚に深く関係する奥行知覚の著名研究者 2 名を，他の学会等での講演のた

めに来日した機会を捉え，仙台に招聘できたことである。

その1人は，両眼立体視および運動視差研究で著名なOxford大学名誉教授のBrian Rogers博士であり，立命館大学に招聘されて11月に来日されたのを機に，帰国直前に仙台で講演していただけることになった。特に，運動視差からの奥行知覚は，観察者の身体運動により引き起こされる特徴があり，自己運動知覚との関わりが深いテーマである。仙台での講演は，11月27日（火）の17:00から，東北大学電気通信研究所本館4階のM431セミナー室で行われた。講演の要旨は以下の通りである。

講演者：Brian Rogers (Department of Experimental Psychology, University of Oxford, Oxford, UK)

題目：Delusions about Illusions: a critique of the illusion concept

要旨：Do illusions exist or are we deluded about the concept? I am going to argue that the concept of illusion is a delusion. Traditionally, we draw a distinction between veridical and illusory perception by saying that in the former case our perceptions correspond with the physical reality whereas in the latter case there is a discrepancy. However, while there might be general agreement on what we perceive in particular circumstances, it is less clear how should we define what is the 'physical reality'. It cannot be the 'proximal' stimulus (i.e. the retinal image) because, if it were, all the perceptual constancies would have to be regarded as illusions. Similarly, the 'distal stimulus' cannot be the reality because those situations in which the pattern of light reaching the eye is 'projectively equivalent' to another real world scene (such as the Ames Room or viewing a stereogram) would have to be regarded as illusions. A possible way out of the problem of what constitutes the 'reality' would be to define an illusion as a discrepancy between the information contained in the spatio-temporal patterning of light reaching the eye and what we perceive. But even this definition has problems.

もう1人の研究者は，横浜で開催された日本視覚学会冬季大会の特別講演者として来日した，カナダのYork大学のLaurie Wilcox教授である。学会に先立つ1月25日（金）の17:30から，東北大学電気通信研究所本館1階　オープンセミナー室で講演していただいた。講演の要旨は以下の通りである。

講演者：Laurie Wilcox (Department of Psychology, York University, Toronto, Canada)

題目：The impact of configuration on depth percepts from binocular disparity

要旨：Stereopsis has a reputation for its ability to support extremely precise and accurate depth perception, particularly in the absence of other depth cues. However stereoscopic depth percepts are also subject to distortions; in this presentation I discuss situations in which stimulus configuration and perceptual organization degrade depth percepts from stereopsis. Our results show that the percept of depth obtained from stereopsis in isolation does not predict its impact in a natural context when it is integrated with other depth cues.

これら著名研究者2名の知見を直接お聞きし，議論する機会を得られたことは，自己運動と知覚の関係をテーマとする本プロジェクトにとって大変有意義であった。

（特別支援（国際）にかかる研究成果）

・カナダのWaterloo大学のMichael Barnett-Cowan准教授を2019年3月1日から3月6日の期間，仙台に招聘した。滞在期間中の活動として，3月4日（月））17時より電気通信研究所本館1階オープンセミナー室においてBarnett-Cowan准教授の講演会を開催した。翌5日（火）10時より電気通信研究所本館4階セミナー室において研究打ち合わせ会を実施し，Barnett-Cowan准教授に参加していただき，研究会参加者の研究成果報告を行なった後，メンバーの発表についてフリーディスカッションを行なった。また，その前後の日程を利用し，電気通信研究所の鈴木研究室，塩入研究室，東北学院大学教養学部の櫻井研究室，東北大学情報科学研究科の松宮研究室を訪問し，多感覚知覚研究について情報交換を行なった。

3月に行なわれた講演の要旨は以下の通りである。

講演者：Michael Barnett-Cowan (Department of Kinesiology, University of Waterloo, Canada)

題目：Multisensory integration: Self-motion perception in virtual environments

要旨：Virtual reality (VR) is an interactive computer interface that immerses the user in a synthetic three-dimensional environment giving the user the illusion of being in that virtual setting. VR has rapidly grown in its accessibility to the general public and to researchers due to lower cost hardware and improved computer graphics. In this talk I will highlight a number of approaches we use in the multisensory brain and cognition lab to better understand the neural systems and processes that underlie self-motion perception in real and virtual environments. I will highlight the utility of using both commercially

available virtual content as well as constructing virtual content with gaming engines for experimental purposes. Importantly, while much of focus of virtual reality development and use has been placed on the role of vision, I will discuss the multisensory nature of the virtual reality experience, particularly the interaction between bodily cues that affect the user experience. Finally, I will discuss our recent work on understanding and predicting individual differences in cybersickness, a negative side effect of VR exposure whose nauseating symptoms limit the utility and adoption of VR.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究分担者である Laurence R. Harris 教授が主催した国際多感覚研究フォーラム（IMRF2018）が，昨年６月にカナダのトロントで開催された。本プロジェクトからメンバー5 名が参加し，研究会で構築された人的交流が生かされた。

［４］成果資料

（１）Seno,T., Murata, K., Fujii, Y., Kanaya, H., Ogawa, M., Tokunaga, K., & Palmisano, S. (2018). Vection Is Enhanced by Increased Exposure to Optic Flow. i-Perception, 9(3), 1-16. doi: 10.1177/2041669518774069

（２）Seno,T., Fujii, Y., & Yoshinaga, T. (2018). Active Control of the Direction of Self-Motion by Head Movements and Vection Strength --The Comparison between the Virtual Driver and Virtual Passenger--. VISION, Vol. 30, No. 2, 65–71. doi: 10.24636 /vision.30.2_65

（３）Mori, M., & Seno,T. (2018). Inhibition of vection by grasping an object. Experimental Brain Research, doi: 10.1007/s00221-018-5375-3

（４）妹尾 武治・徳永 康祐・浦底 利千花　視覚イメージのプロに対するベクションについてのインタビュー　VISION (2018). Vol. 30, No. 3, 95–102. DOI: https://doi.org/10.24636/vision.30.3_95

共同プロジェクト研究

採択回数 (Number of Adoptions)	1	2	3

(国際・産学)

採択番号：H29/B12

Search Science: an interdisciplinary endeavor

［1］組織

研究代表者

Chia-huei Tseng(東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Su-ling Yeh (National Taiwan University)
Hsin-I Liao (NTT CS Laboratories)
Jun Saiki (Kyoto University)
Doris Chow (University of Massachusetts, Boston)
Masahiko Terao (Yamaguchi University)
Hsin-Ni Ho (NTT CS Laboratories)
Yaffa Yeshurun (University of Hairfa, Israel)
Zhaoping Li (University of College London)
Satoshi Shioiri（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数 (Total Number of Participants)　46 人

研究費

旅費	283, 000 円
国際特別支援費	220, 000 円
産学特別支援費	60, 000 円

［2］研究経過

Our interest group is interested in search behavior which is now a dynamic research field at the intersection of perception, attention, memory and decision making. We have organized several seminar talks this year to bring together group members to exchange research progress and brainstorm the solutions for future applications on search challenges in human behavior, computational optimization, and industrial applications.

We will report several seminar talks taken place at RIEC this year. The team members gathered as mini groups in this year and fully utilized the opportunities to further develop each other's study plan.

At the second year of this project, we have achieved:

(1) Bring in possible factors that may modulate our search behaviors (e.g. sleep) and learn from experts on the possible reach-out research points
(2) Create a supportive environment to exchange research progress and ideas
(3) Assist members to formulate and conceptualize research reports for final publication.

［3］成果

（3－1）研究成果

Seminar talks:

August 21, 2018 @ RIEC Seminar Room
Dr. Esther Yuet Ying Lau, The Education University of Hong Kong
Title: Neurocognitive, affective and social consequences of sleep deprivation: from sleep apnea, depression, to sleeplessness in college
She introduced a series of studies conducted at the sleep lab under her supervision to examine young people's cognitive function change under habitual sleep deprive.

Dr. Heiner Deubel(Ludwig-Maximilians-Universität)
Title: On the coupling and uncoupling of saccades and attention
He gave a review on how saccades movements can be used to device attentional mechanisms.





October 23, 2018 @ RIEC Seminar Room
Dr. Yung-Hao Yang (Human Information Science Laboratory, NTT Communication Science Laboratories.

Title: Out of Sight, Out of Mind? The Scope and Limit of Unconsciously Semantic Processing
In this talk, a series studies from behavioral, EEG, and fMRI methods are introduced and the results suggest that we are able to process semantic information without consciousness.

November 24, 2018 @ RIEC Seminar Room
Dr. Su-Ling Yeh (National Taiwan University)
Title: AI robots for human well-being from the psychological aspects
It is an introductory talk to demonstrate how human studies (e.g. psychological social studies) can be used to facilitate our understanding of robot-human interaction.

Dr. Satoshi Shioiri (Tohoku U)
Title: Projects of Advanced Institute for Yotta Informatics
When consumers face overloading from information flow, a system that helps users to decide which info to keep and to remove is very desirable. An attempt to combine eye-tracking and neural network to provide this solution is proposed.

特別支援（国際・産学）に係る研究成果

We were able to host Dr. Doris Chow between March 11-15, 2019 with this special grant support. Dr. Chow obtained her PhD in Cognitive Neuro Development and started her post-doc position pursuing eye-movement techniques to provide diagnosis detection for ageing population. She has lent her expertise to guide us in establishing a research project in search for the developmental trajectory of sensory integration and learning from birth.



（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The diversity of this research interest group has enabled us to develop new collaboration opportunities between RIEC and its partners.



RIEC scientists and scholars hosted the second Tohoku-NTU Symposium on AI x Human Studies (Nov 23-25, 2015) at Tohoku University. It is a continuation of inter-institutional collaboration toward a new area to be fostered.
The group members are also in the process to look for funding opportunities to crystalize the meeting discussions into research initiatives to increase our research impact.

［４］成果資料

Yang, Y. H. & Yeh , S. L .(2018). Can emotional content be extracted under interocular suppression?. PLoS ONE, 13(11): e0206799

Yang, Y. H., & Yeh, S. L. (2018). Unconscious processing of facial expression as revealed by affective priming under continuous flash suppression. Psychonomic Bulletin & Review, 1-9.

Yang, P. L., Tsujimura, S. I., Matsumoto, A., Yamashita, W., & Yeh, S. L. (2018). Subjective time expansion with increased stimulation of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. Scientific reports, 8(1), 11693.

Lo, S. Y., & Yeh, S. L. (2018). Does "a picture is worth 1000 words" apply to iconic Chinese words? Relationship of Chinese words and pictures. Scientific Reports, 8:8289.

Liu, T., Yeh, S.L., & Hsiao, J. H. (2018). Transfer of the left-side bias effect in perceptual expertise: The case of simplified and traditional Chinese character recognition. PLoS ONE, 13 (4): e0194405.

Chen, H. W.,& Yeh, S. L.(2019). Effects of Blue Light on Dynamic Vision. Frontiers in Psychology.

Tseng, C.H., Chow, H.M., Ma, Y.K., & Jie, D. (2018). Preverbal infants utilize cross-modal semantic congruency in artificial

grammar acquisition. Scientific Reports, 8, 12707.

Chow, H.M., & Ciaramitaro, V.M. (2018). Endogenous attention enhances neuronal signature of audio-visual sound-shape correspondence. International Multisensory Research Forum, Toronto, Canada

Chow, H.M., Leonardo, B.*, Sabov, A.*, & Ciaramitaro, V.M. (2018). Is a round shape integrated with a /bouba/ sound? Enhanced neuronal signals at the intermodulation frequencies of congruent audio-visual stimuli. 25th Annual meeting of Cognitive Neuroscience Society, Boston

Ho, H.-N., Chow, H., Tsunokake, S., Roseboom, W. (2019), "Thermal-tactile Integration in Object Temperature Perception," IEEE Transactions on Haptics.

Ho, H.-N. (2018) "Material recognition based on thermal cues: Mechanisms and applications" Temperature, 5(1), pp.36-55.

Fujihira, H., Liao, H.-I., & Furukawa, S. (2018). Effects of modulation power of alert sounds on pupillary dilation response. Acoustical Society of Japan, 2018 Autumn Meeting. Oita, Japan.

Fujihira, H., Yamagishi, S., Liao, H.-I., & Furukawa, S. (2018). Pupillary dilation responses to alert sounds. Acoustical Society of Japan, 2018 Spring Meeting. Saitama, Japan.

Tseng, Chen, and Shioiri (July 2018): The effect of attention on perceptual grouping. European Conference on Visual Perception.

採択回数	1	(2)	3

(萌芽・大型)

採択番号：H29/B13

超並列計算を表現する宣言的な枠組の構築とそれを実現する言語の研究開発

［1］組織

研究代表者
大堀 淳（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
大堀 淳（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
上野 雄大(東北大学電気通信研究所)
緒方 和博(北陸先端科学技術大学院大学 情報科学系)
加藤 和彦(筑波大学大学院 システム情報系)
田浦 健次朗(東京大学大学院情報理工学研究科)
田島 敬史(京都大学国際高等教育院)
西村 進(京都大学 大学院理学研究科)
森畑 明昌(東京大学大学院総合文化研究科)
吉田 信明(京都高度技術研究所)
延べ参加人数：11 人

研究費
旅費 161,000 円

［2］研究経過

現在大規模シミュレーションなどに使用されている超並列計算機能は、音声や画像などの認識やリアルタイム制御、データ解析などを含む幅広い情報処理システムを飛躍的に革新させる可能性を持つ。このような技術革新を実現する上での重要な課題の一つは、超並列高性能計算機能を、パーソナルコンピュータや種々の組み込み機器用プロセッサを含む汎用のハードウェア上で、汎用のプログラム開発システムによって利用可能なプログラミング技術として確立することである。

この一般的な課題を念頭に、本研究では、

(1) MassiveThreads などが実現しつつある軽量で細粒度なユーザスレッドをマルチコア上の OS スレッドにスケールする技術などを含む最先端の汎用のシステムプログラミング技術、

(2) 最先端の汎用の高水準言語の型理論およびコンパイル技術、特に、SML#が実現したC 言語との直接連携および並行並列スレッドプログラミングをサポートするオブジェクトを動かさない並行GC 技術、などを含むプログラミング技術、

(3) データ並列処理を宣言的に記述するための理論や宣言的な記述から効率的な並列アルゴリズムを自動導出する枠組みなどの並列プログラミングの基礎理論、

等を統合し、超並列処理機能を含む高水準プログラミング環境を実現するための基礎理論と実装技術の構築、さらに、それらを基盤とした実用的なプログラミング開発環境の実現、を最終目標とする。これらは、世界的にもても達成されていない、枢要かつ喫緊の課題である。

いうまでもなく、そのような課題達成を目指す大規模学術研究は、年間 14〜16 万円程度の予算での2〜3 年の研究プロジェクトにて達成できるものではない。そこで、本研究プロジェクトでは、その具体的な目的を、プログラミング言語、システムプログラミング、並列処理方式の最先端の研究者が緊密な連携のもと、課題達成にいたる研究戦略等の詳細な検討を行い、それらを基に、これら課題達成に向けた大規模学術研究計画を策定すること、および、これら課題達成に必要な具術的な技術要素等を分析し、大規模学術研究計画で克服を目指す学術的課題の理解を深めるための討論等を目的とした研究会を行うこと、と設定した。

この目的の下活動を行い、昨年度に「高信頼言語を超並列技術及び仕様検証技術と統合する高性能高信頼ソフトウェア基盤」を課題名とする科学研究費補助金の「特別推進研究」計画としてまとめ、本共同研究プロジェクトの研究代表者大堀淳を研究代表者、本共同研究プロジェクトの研究分担者緒方和博氏、加藤和彦氏、田浦健次朗氏、上野雄大氏を研究分担者として、総額２億８８５０万円の研究申請を行った。残念ながら採択に至らなかったが、この大型研究の企画を通じて、広範な学術的課題の理解を

深めることができた。これらを基礎として、本年度もこの研究計画の深化の可能性を検討した。その結果、目指す学術的インパクトを最終的に達成するためには、大規模学術研究を直ちに実施するのではなく、その基盤となる学術的な課題の理解の深化に務めるべき、との結論に至った。それを受け、本年度は、科学研究費補助金特別推進研究の再申請は行わず、幅広い技術的課題の理解のための研究集会を実施することとし、電気通信研究所にて研究代表者、上野 雄大氏、大羽 史将氏、緒方 和博氏、加藤 和彦氏、佐藤 重幸氏、田浦 健次朗氏、西村 進氏、森畑 明昌氏、吉田 信明氏の参加のもと、我々が目指す大規模学術研究に広く関連する課題を論じた。研究会では、参加者全員の発表と活発な議論が行われたが、以下、ここではその中の重要と思われる幾つかのテーマを報告する。

「応用システムから見た並列・分散」現在，IoT やAI といった技術の実用化が進められつつある．このような技術では，実空間に展開された多数のセンサーからの膨大なデータを高速に処理するため，並列・分散技術が重要な役割を果たすと考えられる．これらの分野での超並列言語の応用の観点から，吉田 信明氏から、これまでの研究成果の中で関連する，並列処理言語からの IoT ハードウェア生成に関する研究と，IoT・画像処理技術を用いたシステムに関する研究２件について報告され、これら実用的課題をより高水準に解決する言語システムの在り方などが議論された。

「並列リダクションの自動導出」大規模データの集約等を行うためには「並列リダクション」が有用である。森畑 明昌氏から、並列リダクションを逐次プログラムから自動的に導出する新たな手法の提案が紹介された。これはSato と Iwasaki による半環に注目した手法をベースに、近年進捗著しい「プログラム合成」の技法を組み合わせた物である。ここで用いられた「リダクションが特定の半環で記述されていると盲目的に想定し、それが正しいかどうかを確認する」というアプローチの、プログラミング一般への適用可能性等について議論がなされた。

「模倣関係候補を用いる形式仕様に基づく並行プログラムのテスト」並列プログラムに対する系統的なテスト技法は殆ど存在しないといってよい。緒方 和博氏から、以下の枠組みの構築の試みが報告された。形式仕様Ｓに基づき並行プログラムＰが記述され、PからＳへの模倣関係候補ｒが分かっていると仮定する。(1) P から有限の実行列 seq1 を生成し、(2) ｒを用いて seq1 を seq2 に変換し、(3) seq2 がＳを満たすことを確認することでテストを実施する。続いて、(2)と(3)に関する予備実験について紹介がなされた。これらトピックに関連して、並列プログラムのテストとモデル検査との関連等に関する議論がなわれた。

「宣言的並行計算プログラミングのための組合せトポロジー論」分散システムの組み合せトポロジー論とは、分散システムの挙動を組み合せトポロジー論における単体的複体を用いてモデル化し、そこから得られる幾何的性質から、システムの計算可能性について論じる分散計算の理論研究の一分野である。組み合せトポロジーモデルについて、最も重要な概念に即時スナップショットがある。即時スナップショットは、入力される単体的複体のトポロジーを変化させない幾何的操作に対応し、その計算能力は非常に限られたものである。西村進氏から、入力に「穴」を開ける幾何的操作に対応する、より強力な計算を行う操作に関する最近の研究動向について紹介があり、この計算モデルと、並列分散計算との関連等が議論された。

「モジュラーなSIMD 化」現在普及する多くの CPU アーキテクチャはSIMD 命令拡張を備えており，それを活用するようにプログラムを変換・実装する SIMD 化は，アーキテクチャの性能を引き出す為には不可欠である．佐藤重幸氏から，単純なコード生成（メタプログラミング）を加えることで，並列パターンをモジュラーに SIMD 化する方法が紹介され、C++17 ライブラリとして実現可能な範囲の API を設計し，予備実装と予備実験を行った結果，標準的な手書きの SIMD 化以上の性能向上が提案手法で達成可能であることが報告された。これら結果を得るのに使用されているメタプログラミングと、型主導コンパイルとの関連などが議論された。

［３］成果

（３－１）研究成果

研究会での幅広い討論を通じて、超並列計算を表現する宣言的な枠組の構築とそれを実現する言語の研究開発に関連する種々学術的課題の理解を深めるとともに、それら討論を通じて、複数の研究者が連携した新たな共同研究計画を開始することができた。報告者である研究代表者が係るものとしては、田浦 健次朗氏、上野雄大氏と共同で SML# に MassiveThreads の機能を統合する研究を実施し、その成果の一部を「Extending ML with Massive Parallelism for Multicore Processors」としてまとめることができた。また、大羽 史将氏、上野雄大氏と共同で、MassiveThreads 機能を統合した SML# の平行 GC 機構のメモリー回収処理を並列可する平行マーキングシステム開発を行い、並列マーキング機能を取り入れた SML#システムの試作に成功した。

これら成果やその他の本研究集会を契機として開始された共同研究等は、未だ発表されるに至っていないが、将来、論文やオープンソースソフトウェアなどとしての学術的な貢献に繋がると期待される。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

経緯で述べた通り本研究プロジェクトの具体的な目的が、大規模学術研究に繋がる学術的な課題の理解を目的とした研究集会の実施であり、本研究プロジェクトの活動自体が、論文などの形での研究分野への貢献に現れるものではない。しかしながら、本研究プロジェクトが検討した大規模学術研究課題は、システム技術、超並列技術、仕様検証技術、さらにプログラミング言語技術を統合した新たな研究分野の創出につながる大きな波及効果と発展性をもつものである。（3−1）でのべたように、すでに、共同研究等の開始などを通じて、萌芽的な成果が現れつつあると言える。

［4］成果資料

本研究プロジェクトの目的は第２項でのべた通りであり、本研究プロジェクトのテーマに関連する成果はあるものの、本研究プロジェクトの直接の成果としての論文等は、現時点では存在しない。

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

（先端・萌芽・若手）

採択番号：H29/B15

新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究

［1］組織

研究代表者

深見　俊輔（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

深見　俊輔（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

浅井　哲也（北海道大学大学院情報科学研究科）

奥野　弘嗣（大阪工業大学情報科学部）

森江　隆（九州工業大学大学院生命体工学研究科）

田向　権（九州工業大学大学院生命体工学研究科）

矢嶋　赳彬（東京大学 大学院工学系研究科）

堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：１２人

研究費

旅費	262,000 円
若手特別支援費	120,000 円

［2］研究経過

近年、脳の情報処理様式に着想を得て、従来は実現が難しかった認識、判断などの複雑なタスクを効率的に行うことを目指した「人工知能」「脳型コンピューティング」などと呼ばれる分野が活況を呈している。「人工知能」の代表格であるディープラーニングなどのソフトウェア技術に立脚した手法は既に社会の多くの場面で活用されている。また IBM 社の TrueNorth のような脳型コンピューティングに特化したハードウェアも開発されており、従来型（フォン・ノイマン型）ハードウェアに対する優位性の一端は実証されている。一方で広く普及しているソフトウェアベースのアプローチ、及びこれまでに開発されている脳型コンピューティング用のハードウェアの設計思想の延長では、本来脳が持つ小型性（～1 リットル）や低消費電力性（～20 ワット）を実現することは難しく、依然として技術的に大きな飛躍が期待されている。脳により近いレベルの小型性、低消費電力性を実現するためには、より脳の構成要素に近い動作をする新概念の固体デバイス、および脳の内部のネットワークに近い回路・アーキテクチャを採用した専用ハードウェアを構築する必要があると考えられる。本プロジェクトの目的は、このような小型性、低消費電力性に優れたハードウェアを実現することを目指して「新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究」を行っている研究者が参集し、それぞれの最新の研究内容について発表・議論することにより今後の展開を模索し、大型プロジェクトの申請へとつなげることである。

本プロジェクトは今年度が第二年目であり、一年目でのお互いの研究紹介を踏まえて、より踏み込んだ議論を行うための研究会を開催した。

以下，研究活動状況の概要を記す。本年度の活動実績としては 2019 年 1 月 15 日（火）に東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401 号室にて公開の研究会「新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究」を開催した。プロジェクト参画研究者からの 7 名に加え、2 名のプロジェクト外講演者が出席し、また聴講者として 4 名が参加する形で活発な議論が行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

上記研究会では以下の題目及び内容の講演がなされ、議論を行った。

はじめに東北大学電気通信研究所の堀尾から、「**カオスニューラルネットワークリザバー**」と題した講演がなされ、リザバーネットワークのネットワークとしての安定性を確保した上でカオス的なダイナミクスを導入するために提案された、カオスニューラ

ルネットワークモデルを用いたリザバーネットワークの概要が述べられ、これが正常に動作するかどうかを時系列予測シミュレーションにより確認したことなどが紹介された。

続いて今回の一人目のプロジェクトメンバー外招待講演者である法政大学理工学部電気電子工学科の鳥飼からは、「**神経模倣ハードウェアのための数理モデル化・回路実装手法の開発**」という題目で講演がなされ、神経補綴装置の開発のために重要になる諸問題が提示され、講演者らが進めている取り組みが紹介された。神経補綴とは、機能を失った神経系の動作を補完するための装置や集積回路の総称で、例えば、聾の患者のための補助装置である「人工内耳」はすでに実用に供されている。また「人工海馬」や「人工脳皮質」などの、損傷を受けた脳の一部を補完するための集積回路の開発も急速に行われている。

続いて九州工業大学大学院生命体工学研究科の森江からは「**海馬を中心とする脳型記憶モデルと回路**」とう題目で講演がなされ、脳型人工知能の試みの一つとして、海馬を中心とする脳型記憶システムについてハードウェア指向のモデルを提案するとともに、その実装に必要なデバイスへの要求条件についての議論がなされた。

続いて今回の二人目のプロジェクトメンバー外招待講演者である東京大学物性研究所の三輪からは「**スピンダイナミクスによるレザバコンピューティング**」という題目で講演がなされ、磁気トンネル接合と呼ばれるスピントロニクスデバイスを用いることで、ナノ磁石における磁極の歳差運動を制御・検出でき、これを利用することで電流電圧に対し非線形に応答し、履歴を持つ磁極の運動(スピンダイナミクス)を利用したレザバコンピューティングが実現できる可能性についての議論がなされた。

続いて東京大学大学院工学系研究科の矢嶋からは「**金属絶縁体転移酸化物を用いたニューロモルフィック素子の設計**」という題目で講演がなされ、脳型コンピューティングにおいて従来の回路技術に加えて、新規材料・素子を駆使して回路の集積度やエネルギー効率を向上することを目指して研究を行っている新規材料・素子であるバナジウム酸化物(VO_2)の金属絶縁体転移を利用したニューロモルフィック素子に関する研究が紹介された。前半では、VO_2がジュール熱によって金属転移する現象を利用して、熱自由度によって入力信号の積分を行うスパイキングニューロン素子について説明された。後半では、VO_2のような新規材料を回路応用する際に、材料と回路がそれぞれ満たさなければならない時定数の関係性について、最近の研究が紹介された。

続いて九州工業大学大学院生命体工学研究科の田向からは「**脳型人工知能とホームサービスロボットへの応用**」という題目で講演がなされ、田向らが研究を行っているホームサービスロボットへの応用を目指した脳型人工知能について紹介された。また、カオスボルツマンマシンのFPGA実装や、そのレザバー応用の可能性についても併せて紹介された。

続いて大阪工業大学・情報科学部の奥野からは、「**神経模倣視覚情報処理のロボットビジョンへの応用**」という題目で講演がなされ、主にFPGAを用いた神経模倣視覚特徴抽出の回路実装例や、この回路を利用したロボットビジョンシステムの構成例（色恒常性を持った視覚システム，手話認識システム等）が紹介された。生体の視覚神経系は神経ネットワークの時空間特性を活用した視覚特徴の抽出や、この特徴を利用した外界の認識を非常に効率よく行っている。このような効率の良い情報処理のアルゴリズムやアーキテクチャを模擬することは効率的なロボットビジョンシステムを実現する上で有効な手段となる。

最後に報告者である東北大学電気通信研究所の深見からは、「**スピントロニクス素子の新機能創出**」という題目で、報告者らが研究を進めているアナログ的な抵抗の制御が可能な反強磁性/強磁性スピン軌道トルク素子のダイナミクスを利用することで切り拓かれる新しい脳型情報処理の可能性についての議論がなされた。

なお本研究プロジェクトは若手特別支援の対象に指定され、追加での資金の援助を受けた。これによってプロジェクトメンバー外の法政大学理工学部電気電子工学科の鳥飼弘幸教授、東京大学物性研究所の三輪真嗣准教授を特別招待講演者として招聘することができた。これによって脳型実装ハードウェアのための数理モデルや回路実装、及びスピントロニクス素子を用いたリザバーコンピューティングに関する研究を議題に加えた議論を行うことができ、今後の新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究の発展に資する情報交換を行うことができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを契機として参画研究者間での相互理解が進み、アナログスピンメモリ素子からなる人工シナプスによる脳型情報処理、人工ニューラルネットワーク回路技術、人工知能ハードウェア技術などに関してより具体的な研究指針を得ることができ、今後の共同研究による更なる発展に向けた土壌

が形成されると見込まれる。

［4］成果資料

（1）N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Non-linear variation of domain period under electric field in demagnetized CoFeB/MgO stacks with perpendicular easy axis," Applied Physics Letters 112, 202402 (2018).

（2）W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, "Characterization of spin-orbit torque-controlled synapse device for artificial neural network applications," Japanese Journal of Applied Physics 57, 1002B2 (2018).

（3）S. Fukami, and H. Ohno, "Perspective: Spintronic synapse for artificial neural network," Journal of Applied Physics 124, 151904 (2018).

（4）S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno, "Angle dependent magnetoresistance in heterostructures with antiferromagnetic and non-magnetic metals," Applied Physics Letters 113, 202404 (2018).

（5）T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Reversal of domain wall chirality with ferromagnet thickness in W/(Co)FeB/MgO systems," Applied Physics Letters 114, 042405 (2019).

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/B16

セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究

［1］組織

研究代表者

永田　真（神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科）

通研対応教員

本間　尚文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

三浦　典之（神戸大学大学院システム情報学研究科）

上野 嶺（東北大学大学院情報科学研究科）

ヴィッレ ウリマウル(東北大学大学院情報科学研究科)

伊東 燦（東北大学大学院情報科学研究科）

遠藤 空（東北大学大学院情報科学研究科）

小岩 航介（東北大学大学院工学研究科）

宮田 大輔（東北大学大学院工学研究科）

森 隼人（東北大学大学院工学研究科）

月岡 暉裕　（神戸大学大学院システム情報学研究科）

松田 航平　（神戸大学大学院システム情報学研究科）

延べ参加人数：12 人

研究費

旅費　140,000 円

［2］研究経過

ハードウェアセキュリティに関する研究は，近年益々その重要性を増している. 本プロジェクトでは，セキュリティハードウェアの電磁波解析による安全性評価技術に関する研究を行った．特に，セキュリティハードウェアの動的な挙動と電磁場の作用について、実験とシミュレーションおよび理論的考察による包括的な理解を得るための研究の取組みを明らかにすることを目的とした。

本プロジェクトは，本年度が二年目であった．初年度に引き続き，セキュリティハードウェアの電磁波解析に関して、暗号処理を実行するLSI 回路チップを具体的な対象とし、電磁波の放射と照射に対する応答特性およびサイドチャネル情報漏洩について、パッケージング構造やプリント基板ボード構成をパラメータとし、実験及びシミュレーションにより評価する手法を検討した。また，セキュリティハードウェアに関する共通の研究プラットフォームのもと、暗号アルゴリズムと物理実装を専門とする通研担当教員・本間教授の研究グループと、LSI チップの開発評価及びチップ・パッケージ・ボードを統合した電気系シミュレーションを専門とする神戸大学・永田の研究グループが、それぞれの検討結果を持ち寄り議論した。具体的には、セキュリティハードウェア研究プラットフォームを対象に、①暗号処理動作における電磁波の放射特性（情報の漏洩）を動的変化かつ空間の拡がりについて評価し、また②暗号処理動作における電磁波照射の応答特性（フォールトの発生）を広い周波数範囲かつ電力範囲で評価する手法を検討した。セキュリティハードウェアのレジリエンシ獲得に向けて、セキュリティから見た電磁波特性の評価方法を明確化するとともに、その特性を改善するためのモジュールレベルの材料及び構造の選択と設計の方針を実験及びシミュレーションにより探索した。

本共同研究の成果に基づき、セキュリティハードウェアにおけるサイドチャネル情報漏洩のシミュレーション技術を利用することで、意図しないハードウェア動作による情報漏洩の可能性を探索、さらには攻撃者の意図による正規でないハードウェア動作による情報漏洩の可能性をも探索できる可能性を見出した。この視点による新たな研究の展開について、本研究チームにて共同研究の提案を行い、外部資金の採択につながった。これにより本共同研究は目的を達したと考え、平成30 年度で終了するものとする。

以下，研究活動状況の概要を記す.

【研究打ち合わせ・研究討論】

10 月 2-3 日：研究打ち合わせ（4 名）

1 月 28-29 日：研究討論（12 名）

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究では，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，セキュリティハードウェアの電磁波解析に関して、暗号処理を実行するLSI回路チップを具体的な対象とし、電磁波の放射と照射に対する応答特性およびサイドチャネル情報漏洩について、パッケージング構造やプリント基板ボード構成をパラメータとし、図1に示す等価回路を構築し、実験及びシミュレーションにより評価する手法の方向性を得た。

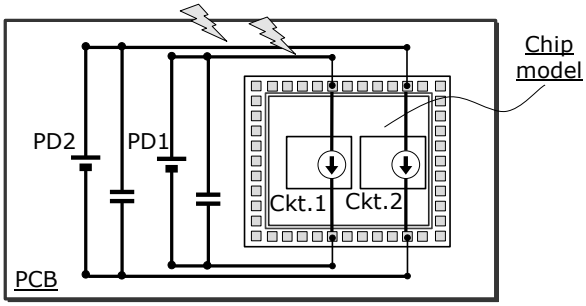


図1：暗号処理LSI回路チップの等価回路

一方、セキュリティハードウェアにおけるサイドチャネル情報漏洩対策の導入を一般化する目的で、チップ内部の暗号処理部(Crypto engine)とチップ外部の電源供給系(PDN)の間に、図2に示す電源供給調整機構(PDN conditioner)を挿入するモデルが妥当と考えた。

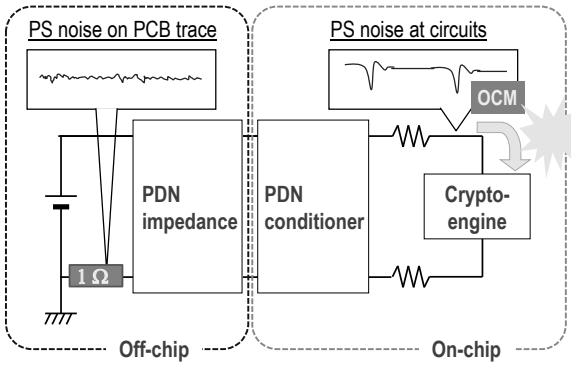


図2：セキュリティハードウェアの一般構成

このように、本研究項目では、セキュリティハードウェアのサイドチャネル情報漏洩に関して、電源供給系に主眼を置いたチップ・パッケージ・ボード統合シミュレーション手法を確立する。これにより、セキュリティハードウェアの意図しないハードウェア動作により、サイドチャネル情報漏洩が引き起こされる可能性について、モデルベース・シミュレーションにより探索する手法を探求する。

平成30年度の試行として、図3に示すように、暗号化モジュールの動作において、本来的でないバッファ回路の動作が挿入されるケースを想定した。

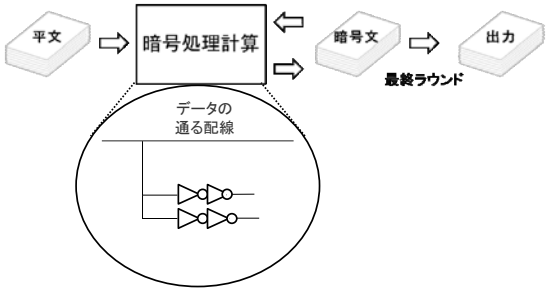


図3：意図しないバッファ回路の動作

CMOS 半導体集積回路技術により暗号処理計算エンジンを構築し、図3のバッファ回路が挿入されていない（元来の）設計と、挿入された場合の設計について、提案手法によるモデルベースの電源ノイズシミュレーションを実施し、図4に示す電源消費電流のシミュレーション波形を得た。

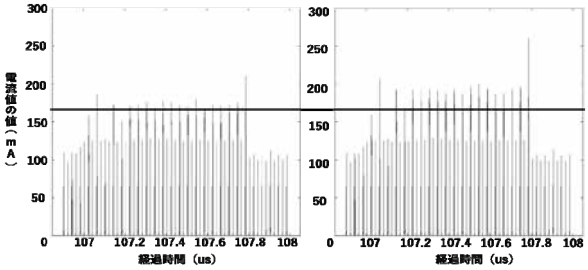


図4：電源ノイズシミュレーション波形
（左）バッファ回路なし、（右）バッファ回路あり

バッファ回路の挿入により全体に電源ノイズ（電源電流）の増大が確認された。情報漏洩の原因となるクロックサイクルにおいて波形を拡大すると、およそ 23%程度のピーク値の増加が見られた。電源電流波形が急峻かつ規則的である、すなわちクロック周期に並ぶインパルス列様であることから、これによる電磁波の放射を遠方で観測できる可能性が高い。

本研究の提案するセキュリティハードウェア研究プラットフォームを用いることで、暗号処理動作における電磁波の放射特性（情報の漏洩）を動的変化かつ空間の拡がりについて評価すれば、このように本来的でない回路動作による意図しない情報漏洩の増大を評価できると結論づけられる。

このような視点の下、共同研究討論を通じて、セキュリティハードウェアにおけるサイドチャネル情報漏洩のシミュレーション技術を利用することで、意図しないハードウェア動作による情報漏洩の可能性を探索、さらには攻撃者の意図による正規でないハードウェア動作による情報漏洩の可能性をも探索できる可能性を見出した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを通して，仏国 Telecom ParisTech やベルギーKU Leuven らの海外研究者との交流を活性化することで、今後の国際連携研究への発展が期待される．また，セキュリティハードウェアの電磁的セキュリティを設計段階から確保する技術領域の開拓が期待される．

今年度の共同研究討論を通じて、前述の通り、イドチャネル情報漏洩シミュレーションによる意図しない情報漏洩の探索手法に向けた研究について着想を得た。この視点による新たな研究の展開について、本研究チームにて共同研究の提案を行い、外部資金の採択につながった。

［4］成果資料

特に無し。

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

（萌芽・国際）

採択番号　H29 / B17

ブレインウェアLSIとその応用 国際共同研究

［1］組織

研究代表者

羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

Wai Tung Ng（カナダ・トロント大学）

P. Glenn Gulak（カナダ・トロント大学）

Ali Sheikholeslami（カナダ・トロント大学）

Warren Gross（カナダ・トロント大学）

Vincent C.Gaudet（カナダ・ウォータールー大学）

石黒　章夫（東北大学電気通信研究所）

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）

塩入　論（東北大学電気通信研究所）

堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）

松宮　一道（東北大学大学院情報科学研究科）

松岡　浩　（(一) 高度情報科学技術研究機構）

坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

夏井　雅典（東北大学電気通信研究所）

鬼沢　直哉

（~H30. 11 東北大学学際科学フロンティア研究所）

（H30. 12~東北大学電気通信研究所）

鈴木　大輔（東北大学学際科学フロンティア研究所）

延べ参加人数：120 人

研究費：旅費　　294,000 円

国際特別支援費　　220,000 円

［2］研究経過

情報量の急速な増大に加え，デジタルデバイドが急増することによる現代情報社会の危機的状況を回避するためには，その膨大な情報を効率的かつ瞬時に処理する新しいコンピューティングパラダイムを構築することが重要である．このような新しいコンピューティングパラダイムは，従来型のコンピュータアーキテクチャとは全く異なり，ハードとソフトの発想を一新し，人間的な知的処理機能を取り込んだ柔軟かつ超低消費電力なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型 LSI」を研究開発することが必要となる．

このような萌芽的研究開発を推進する上で，ハードとしてのLSI技術のみならず，人間，あるいは人間の脳が行っている認識・学習，あるいは自律分散制御といった高次の情報処理技術を如何に融合し，開発目標である「脳型LSI」を実現していくかを検討する必要がある．そこで，本研究開発に関連する研究分野を専門とする国内外の著名な研究者らを交えた意見交換を，継続的かつ積極的に行っていく必要がある．

以上をふまえ，本プロジェクトでは，人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSIとその応用の研究開発を推進するための国際共同研究を行うことを目的として研究を行った．今年度が2年度目となる本研究課題では，人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSIの研究開発を推進するための国際共同研究を行うことを目的として研究交流をさらに推進した．以下，研究活動状況の概要を記す．まず，本年度における最も重要な成果として，平成31年3月1日～2日の2日間に渡って開催したThe 6th International Symposium on Brainware LSI（第6回ブレインウェア国際シンポジウム）がある．

・第6回ブレインウェア国際シンポジウム
・平成31年3月1日～2日
・東北大学電気通信研究所 本館6階大会議室
・約60名

本シンポジウムは平成26年度に開始した「人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業」プロジェクトとの共催で企画され，本年度における本プロジェクトの研究成果報告，および，脳型コンピューティングおよび半導体集積回路とその応用を専門とする国内外の招へい研究者による最先端研究動向の講演が行われた．Mutsumi Kimura氏（Ryukoku University, Japan）は，脳型コンピューティン・ハードウェアを実装する技術として thin-film device 利用のインパクトを強調．コンパクトな実装に役立つことを示した．また，Karim Khan氏（Shenzhen University, China）は，デバイス技術としてアモル

ファス構造を利用することによる効果を，Martin Lukac 氏（Nazarbayev, Kazakhstan）は，実世界物体認識アルゴリズムの研究最前線についてを，Renyuan Zhang 氏（Nara Institute of Science and Technology, Japan）は，アナログ回路技術を利用した approximate computing 技術とその効用を，Yi-Wen Liu 氏（National Tsing Hua University, Taiwan）は，音響認識に関する最先端技術動向を，それぞれ講演した. このように, ブレインウェア LSI コンピューティング関連技術の世界的権威を多数招聘し，会議を通して双方の研究内容と今後の研究交流の更なる推進に向けた活発な議論が交わす．本シンポジウムの開催により，参加した研究者同士の協力関係がより一層強固なものになるとともに，世界の研究動向をウォッチしながら研究を推進する体制がさらに拡充していることを実感し，大変有意義な機会となった.

また, 本プロジェクトが共催した研究集会として, 以下の研究会等（国内研究会，国際ワークショップ）を開催して，脳型 LSI 研究の研究成果とそのインパクトを広く関係研究者へ伝達することができた：

・ブレインウェア工学研究会
・平成 30 年 12 月 18 日
・東北大学電気通信研究所 本館 6 階（大会議室）
・約 40 名

本研究会の講師として, 鳥居淳氏（(株) ExaScaler, 取締役 CTO 研究開発部長）から「ベンチャー企業が挑むスーパコンピュータ開発～省エネルギーを実現した技術～」と題した講演を伺った．氏を中心として牽引するスーパコンピュータ開発チームは，世界トップの性能をたたき出している．特に，性能最優先のスーパコンピュータ開発においても，省エネルギー化が不可欠な課題であること，その解決に必要な最先端技術動向について詳しく講演して頂いた. このような研究開発の実施例に関する詳細な説明は脳型 LSI を実装する上で有益な知見であり，とても参考となった.

（国際ワークショップ）

・Workshop on Next Generation Computing System
・平成 30 年 11 月 30 日～12 月 1 日
・ Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Hong Kong (受入教員 : Prof. Jiang Xu, HKUST)
・約 20 名

受入教員・Prof. Jiang Xu（HKUST）は，光インターコネクト技術に関する世界的権威である．光インターコネクトは，現在のシリコン半導体の配線問題の限界を打破する有望な技術であり，次世代脳型 LSI への実装が大いに期待される．また，非同期式制御とそのシステム実現に関して著名な国立情報学研究所・教授・米田友洋氏，FPGA 搭載の計算アルゴリズムで著名な東京工業大学・准教授・吉瀬謙二氏，非同期式回路技術とその LSI 実装に関して著名な弘前大学・教授・今井雅氏，非同期式制御とその高位合成技術で著名な会津大学・上級准教授・齋藤寛氏，確率的計算に基づく脳型コンピューティン技術で著名な京都大学大学院情報科学研究科・教授・佐藤高史氏，ベクトル型スパコンを利用したディープラーニングマシンを先導している日本電気・中村祐一氏を交えて，脳型 LSI の基幹技術の可能性を有する非同期式制御技術やパワーマネージメント技術とその LSI 実装技術等に関する討論を行い，今後の脳型 LSI の展開に関する重要な知見を得た．また，当研究チームからも，パワーゲーティング技術と最も相性の良い不揮発性ロジック技術の紹介（東北大通研・教授・羽生貴弘氏）を行い，それぞれの有用性に関して深い討論を行うことができた.

［3］成果

（3－1）研究成果（萌芽関連）

本プロジェクトは脳型LSIの研究開発を推進する萌芽研究である．脳型 LSI の推進には，脳科学研究者から革新的コンピューティング研究者に至るまで幅広い研究者コミュニティとの研究交流が必須である．その意味で初年度の取組は有意義であった.

（3－1）研究成果（国際特別支援関連）

本プロジェクトによる国際シンポジウムおよび研究会等を通し，参加した研究者同士の協力関係がより一層強固なものになったとともに，世界の研究動向をウォッチしながら研究を推進する体制が確立したという意味でも大変有意義な機会となった．ブレインウェアLSIに関連する分野に取り組んでいる国内外の研究者との交流，並びに継続的研究連携体制を構築するに至ったことからも，本プロジェクトの目的である脳型LSIに向けた研究開発を推進する上で，極めて有意義であった．本プロジェクトの研究成果は学会発表等で継続的な情報発信する予定.

（3－2）波及効果と発展性（萌芽関連）

研究分野への貢献など高次脳機能を有する脳型 LSI を心理物理学実験等に応用することで，未だ解決されていない人間の脳における情報処理原理の究明をこれまで以上に強く推し進めることが可能になり，その学問的効果は計り知れない．特に，能動的に活動している人間の脳活動を測定し，それに伴う人間の処理系の変化の検討から，認識・学習モデルを構築することは，実世界で能動的に活動する人間の情報処理機能を究明する研究に多大な波及効果が期待できる.

（３－２）波及効果と発展性（国際特別支援関連）

電脳社会と実世界をシームレスに融合する自律分散制御情報システムの実現は，膨大な情報量に惑わされることを画期的に解消させる．人類の社会生活と知的活動を強力に支え得る情報通信技術を確立することは，現在および次世代の情報化社会において必要不可欠であり，特に人口減少と高齢化が進む我が国において，国の活力を維持するために，このような技術の開発と応用ことが最重要課題である．また，新概念脳型 LSI は，ノイマン，シャノン，ウィナーらによって構築された従来の情報通信システムを一新させるパラダイムシフトを引き起こすだけでなく，我が国のエレクトロニクス産業の復活のための転換点となることが期待される．加えて，国際連携の観点においても，本年度の活動を通して培ったカナダ・フランスチームとの研究連携，ならびにそれに基づく大型プロジェクトへの発展が大いに期待される．

［4］成果資料

以下，本年度の研究成果リストを示す：

（学術論文）

(1) Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of a highly reliable, high-speed MTJ-based lookup table circuit using fractured logic-in-memory structure," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 58, no. SB, pp. SBBB10~1-SBBB10~7, April 2019.

(2) Masanori Natsui, Tomoki Chiba, and Takahiro Hanyu, "Design of an Energy-Efficient XNOR Gate Based on MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture for Binary Neural Network Hardware," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 58, no. SB, pp. SBBB01~1-SBBB01~7, April 2019.

(3) Sean Smithson, Naoya Onizawa, Takahiro Hanyu, Brett Meyer, and Warren Gross, "Efficient CMOS Invertible Logic using Stochastic Computing" IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. (in press)

(4) Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Circuit Optimization Technique of Nonvolatile Logic-In-Memory Based Lookup Table Circuits Using Magnetic Tunnel Junction Devices," Microelectronics Journal, Vol.83, pp.39-49, January 2018.

(5) Naoya Onizawa, Masashi Imai, Tomohiro Yoneda, and Takahiro Hanyu, "MTJ-Based Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing against Power Failures," Microelectronics Journal, Vol.82, pp.46-61, 2018.

(6) Masanori Natsui, Tomoki Chiba, and Takahiro Hanyu, "Design of MTJ-Based Nonvolatile Logic Gates for Quantized Neural Networks," Microelectronics Journal, Vol.82, pp.13-21, 2018.

(7) Jean-Philippe Diguet, Johanna Sepulveda, Naoya Onizawa, Mostafa Rizk, Amer Baghdadi, and Takahiro Hanyu, "Networked Power-gated MRAMs for Memory-Based Computing TVLSI-00640-2017.R2,"IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. (in press)

(8) W. Gross, N. Onizawa, K. Matsumiya, and T. Hanyu, "Application of Stochastic Computing in Brainware," Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), vol. E9-N, no. 4, pp. 406-422, Oct. 2018.

(9) N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, and T. Hanyu, "An Area/Power-Aware 32-Channel Compressive Gammachirp Filterbank Chip Based on Hybrid Stochastic/Binary Computation, "Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), vol. E9-N, no. 4, pp. 423-435, Oct. 2018.

(10) N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, T. Hanyu, "An Accuracy/Energy-Flexible Configurable Gabor-Filter Chip Based on Stochastic Computation with Dynamic Voltage-Frequency-Length Scaling," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), Vol.8, Issue 3, pp. 444-453, Sep. 2018.

（査読付国際会議論文）

(1) M. Natsui, D. Suzuki, A. Tamakoshi, T. Watanabe, H. Honjo, H. Koike, T. Nasuno, Y. Ma, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "An FPGA-Accelerated Fully Nonvolatile Microcontroller Unit for Sensor-Node Applications in 40nm CMOS/MTJHybrid Technology

Achieving 47.14 μW Operation at 200MHz," 2019 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC2019), pp. 202-203, Feb. 2019.

(2) Kaito Nishino, Sean C. Smithson, Naoya Onizawa, Brett H. Meyer, Warren J. Gross, Hitoshi Yamagata, Hiroyuki Fujita, Takahiro Hanyu, "Study of Stochastic Invertible Multiplier Designs," 25th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems, pp. 649-650, Bordeaux, France, Dec. 2018.

(3) M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Ternary Logic Gate for Quantized Convolutional Neural Networks," IEEE SOI-3D-SUBTHRESHOLD MICROELECTRONICS TECHNOLOGY UNIFIED CONFERENCE (S3S), 2pages, Oct. 2018.

(4) D. Suzuki and T. Hanyu, "A High-Read-Margin MTJ-Based Fracturable Lookup Table Circuit Using a Series-NMOS-Resistance-Reduced Logic-in-Memory Structure," Extended Abstracts of 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018), B-4-02, pp. 117-118, Tokyo, Sep. 2018.

(5) M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Logic Gate for Binarized Convolutional Neural Networks and Its Impact," Extended Abstracts of 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018), B-3-03, pp. 109-110, Tokyo, Sep. 2018.

(6) S. Mukaida, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Design of a Low-Power MTJ-Based True Random Number Generator Using a Multi-Voltage/Current Converter," Proceedings of the 48th International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp. 156-161, May 2018.

(7) H. Suda, M. Natsui, and T. Hanyu, "Systematic Intrusion Detection Technique for an In-Vehicle Network Based on Time-Series Feature Extraction," Proceedings of the 48th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL), pp. 56-61, May 2018.

(8) S. Koshita, N. Onizawa, T. Hanyu, and M. Kawamata, "High-Precision Stochastic State-Space Digital Filters Based on Minimum Roundoff Noise Structure," Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 1-5, May 2018.

(9) M. Imai, N. Onizawa, T. Hanyu, T. Yoneda, "Minimum Power Supply Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing," Proc. The 21st Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information technologies (SASIMI2018), pp. 283-288, Mar. 2018.

(10) D. Suzuki, T. Hanyu, "Design of an MTJ-Based Nonvolatile LUT Circuit with a Data-Update Minimized Shift Operation for an Ultra-Low-Power FPGA," 26th ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays (FPGA 2018), pp. 291, Feb. 2018.

（招待講演等）

(1) 羽生貴弘, "ポスト CMOS 回路技術が拓く AI ハードウェアの挑戦," デザインガイア 2018, 基調講演, Dec. 2018.

(2) 羽生貴弘,「ポスト CMOS 回路技術が拓く AI ハードウェアパラダイム」, 情報処理学会 連続セミナー2018, 第 5 回『人工知能時代のコンピューティング基盤』, 2018 年 11 月 27 日.

(3) T. Hanyu, "Design of an MTJ-Based Nonvolatile Logic LSI and Its Application," 2018 18th Non-Volatile Memory Technology Symposium (NVMTS2018), pp. 40, Sendai, Japan, Oct. 2018.

(4) T. Hanyu, "Prospects of Nonvolatile Logic LSI Using MTJ/MOS-Hybrid Circuitry and Its Application," Extended Abstracts of 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018), B-4-01, pp. 115-116, Tokyo, Sep. 2018.

(5) T. Hanyu, T. Endoh, D. Suzuki, M. Natsui, and H. Ohno, "Impact of an MTJ-based logic LSI and its possibility," Proc. of the 7th IEEE Non-Volatile Memory Systems and Applications Symposium, Hakodate, Aug. 2018.

以上

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(国際)

採択番号：H29/B18

先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究

［1］組織

研究代表者

本間　尚文（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

本間　尚文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Ulrich Kuhne（Telecom ParisTech）

Jean-Luc Danger（Telecom ParisTech）

林優一（奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科）

藤本大介（奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科）

永田真（神戸大学科学技術イノベーション研究科）

三浦典之（神戸大学・システム情報学研究科）

延べ参加人数：15 人

研究費

旅費	140,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

ハードウェアセキュリティに関する研究は，近年益々その重要性を増している.本プロジェクトでは，仏国のグランゼコールの一つである Telecom ParisTech（国立パリ高等情報通信大学）の Ulrich Kuhne 准教授を招いて集中的な討議を行い，電気通信研究所と Telecom ParisTech が共同で先端的なハードウェアセキュリティ技術を開発することを目的とする．特に，今年度は高機能暗号や軽量暗号ハードウェアの設計と安全性評価技術に関する討議を集中的に行い，新たに設計・試作した暗号 LSI のハードウェアアーキテクチャの安全性評価手法を検討した．また，将来的な研究テーマとその連携方法について議論することも目的とした.

本プロジェクトは，本年度が 2 年目であった．まず，先端的な軽量暗号（従来暗号と比べて低消費電力・低エネルギー・低遅延などで動作する暗号）ハードウェアの設計と安全性評価技術に関する討議を行い，それを踏まえて新たな LSI を FPGA 上に試作実装した．特に，低遅延軽量暗号の一つである PRINCE のハードウェアの耐タンパー化に関する議論を集中的に行い，そのハードウェアを実装した．耐タンパー化技術としては RSM（Rotating S-box Mask）に基づくマスキング対策を中心に検討し，それを実装した． さらに将来的な連携研究テーマとして，物理攻撃への対策技術や悪意あるハードウェア（ハードウェアトロイ）検知技術など，ハードウェアセキュリティ全般の課題について短期的なテーマから長期的なテーマまで幅広く議論した。

以下，研究活動状況の概要を記す.

【研究打ち合わせ・研究討論】

2018 年 4 月 23-25 日：研究打ち合わせ（4 名）

2018 年 10 月 29-30 日：研究討論（4 名）

2019 年 3 月 1-8 日：研究討論（15 名）

［3］成果

（3－1）研究成果

代表的な低遅延軽量暗号PRINCEの超低遅延ハードウェアに対するサイドチャネル攻撃手法およびその対策技術に関する新たな知見が得られた．図1に本共同研究において開発した対策を施した耐タンパー化ハードウェアの概要を示す．同耐タンパー化ハードウェアについては，得られた知見を元にFPGAを用いて試作実装し，安全性評価実験を実施し，図2のようにその安全性を確認できた．今後，世界最高水準の性能と耐タンパー性を両立するPRINCEハードウェアを開発することができれば，学術的にも産業的にもインパクトを与えることができると予想される．

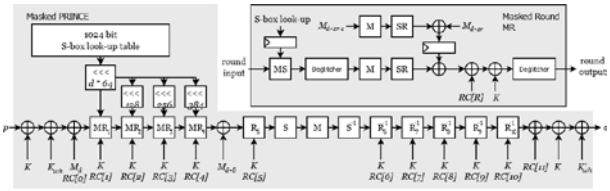


図1　開発した耐タンパー化ハードウェアの概要

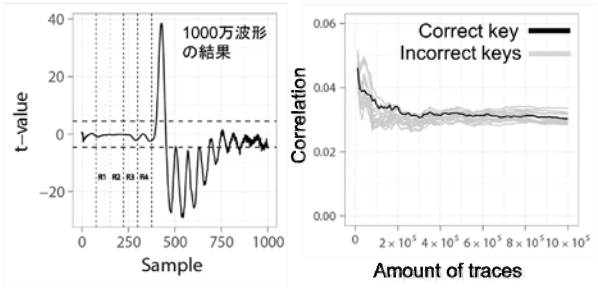


図2　安全性評価実験結果(a) t検定による評価，(b)相関電磁波解析の評価

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを通して，仏国Telecom ParisTechの交流が活性化し，今後の国際連携研究への発展が期待される．また，セキュリティハードウェアの電磁的セキュリティを設計段階から確保する技術領域の開拓が期待される．特別支援分（国際）の研究費により，Ulrich Kuhne准教授を招へいすることができ，共同研究を加速させるとともに，今後の協力体制の基盤が得られた．

［4］成果資料

Ville Yli-Mäyry, 上野嶺, 本間尚文, 青木孝文, 三浦典之, 松田航平, 永田真, Shivam Bhasin, Yves Mathieu, Tarik Graba, Jean-Luc Danger, “低遅延暗号における中間ラウンドからのサイドチャネル漏えいとそのRSMに基づく効率的な対策,”2019年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2019),No. 3D3-1, January 2019.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(先端)

採択番号：H29/B19

スマートデバイスの電磁情報セキュリティ対策に関する研究

［1］組織

研究代表者

林　優一（奈良先端科学技術大学院大学）

通研対応教員

本間　尚文（東北大学・電気通信研究所）

研究分担者

藤本 大介（奈良先端科学技術大学院大学）
上野 嶺（東北大学・電気通信研究所）
ヴィッレ ウリマウル（東北大学・大学院情報科学研究科）
伊東 燦（東北大学・大学院情報科学研究科）
遠藤 空（東北大学・大学院情報科学研究科）
小岩 航介（東北大学・大学院工学研究科）
宮田 大輔（東北大学・大学院工学研究科）
森 隼人（東北大学・大学院工学研究科）
数森 康平（東北大学・大学院工学研究科）
澤田石 尚太郎（東北大学・大学院工学研究科）
船越 秀隼（東北大学・大学院工学研究科）

延べ参加人数：13 人

研究費

旅費　140,000 円

［2］研究経過

本研究は、公共空間におけるスマートデバイスからの電磁波による情報漏えい評価技術・メカニズム解明・対策技術の開発を目指す。まず、漏えいモデルに基づき、完全な画面の復元を必要としない漏えい評価技術を開発し、その評価技術を用いて、デバイスからの漏えい電磁界の伝搬を時間領域において高分解能で可視化することにより、漏えいメカニズムを解明する。次にメカニズムに基づき、漏えいに深く関わる設計パターンを特定し、設計情報からそれらの構造を抽出し、機器設計時に情報漏えいを予測可能なシミュレーション技術の開発を目指した。さらに、メカニズムに基づき、漏えいを抑止する配線パターンや電気素子などを効果的に組み合わせ、逐次シミュレーション上で評価しながら、安価で幅広いデバイスに適用可能な対策技術について検討を行った。

具体的には、タッチスクリーン端末からの非意図的に放射される電磁波による画面情報の詳細な漏えいメカニズムを検討するとともに安全性の評価手法の開発を行った。実験に関しては、研究代表者の奈良先端科学技術大学院大学と通研受入教員の環境調和型セキュア情報システム分野の実験室において、市販のタッチスクリーン端末とアンテナ、ソフトウェア無線装置を用いて行った。タッチスクリーン端末を動作させ、キーボード画面を表示した状態で放射される電磁波を端末の極近傍で計測し、漏えい源とその発信周波数を同定した。その上で、その漏えい情報の伝搬特性を評価した。タッチスクリーン端末には最新の機種の中から適当なものを選定を行い実験を実施した。

以下，研究活動状況の概要を記す.

【研究打ち合わせ・研究討論】

9 月 27 日：研究発表会（13 名）
9 月 28 日：研究発表会（13 名）
10 月 2 日：研究打ち合わせ（13 名）・評価実験（3 名）
10 月 3 日：研究打ち合わせ（13 名）・評価実験（3 名）
11 月 26 日：研究打ち合わせ（13 名）・評価実験（3 名）
11 月 27 日：研究打ち合わせ（13 名）・評価実験（3 名）
2 月 20 日：研究打ち合わせ・研究討論会（13 名）

【テレビ会議による研究打ち合わせ】

4 月 27 日：研究打ち合わせ（2 名）
4 月 28 日：研究打ち合わせ（2 名）
5 月 28 日：研究打ち合わせ（2 名）
6 月 13 日：研究打ち合わせ（2 名）
6 月 18 日：研究打ち合わせ（2 名）
6 月 19 日：研究打ち合わせ（2 名）
12 月 19 日：研究打ち合わせ（2 名）
12 月 20 日：研究打ち合わせ（2 名）
1 月 16 日：研究打ち合わせ（2 名）
1 月 17 日：研究打ち合わせ（2 名）

［3］成果

（3－1）研究成果

EMC(電磁両立性) の分野では、以前から据え置き型の液晶ディスプレイから放射される電磁波から情報を奪う盗み見(電磁的画面盗視) のリスクが指摘されてきた。しかし、盗視のための装置は屋内や車内に設置されることを想定していたため、ディスプレイから漏えいする電磁波の信号レベルが背景ノイズ以下に減衰するところまで装置を遠ざけるゾーニングという概念の下に対策や評価が行われてきた。例えば、信号とノイズの比(SN 比) を用いて評価する方法が提案されているが、信号を電磁波の強度を用いて定義していた。攻撃者が端末の十分接近できる状況を想定した場合、電磁波強度と情報漏えいの度合いは必ずしも一致しないことが確認されており、従来手法の適用は困難であった。

これに対し、本研究では、攻撃者が近傍まで接近し得るスマートデバイスの電磁的画面盗視に対する安全性評価方法を提案し、実機を用いた実証を行った。提案手法では、攻撃対象と計測装置が非同期な状況下において、煩雑な画像処理を伴う盗視画面復元を行うことなく同盗視の脅威を評価するため、計測した画面描画情報を含む放射電磁波成分と環境ノイズとの統計的検定に着目した。統計的検定を用いた手法は、近年、暗号モジュールからの秘密情報漏えいの安全性評価にも使用されておりその有効性が証明されている。

そこで本研究では、画面描画情報を含む放射電磁波と環境ノイズの分布は実環境ではガウス分布には必ずしも従わないという条件を考慮し、ノンパラメトリックな検定手法であるコルモゴロフスミルノフ(KS) 検定を用いる評価手法を提案し、攻撃対象と計測装置が非同期な状況下において実機を対象とし、煩雑な画像処理を伴う盗視画面復元を行うことなく同脅威を評価することを可能であることを示した。また、実験を通じ、距離および視認性に応じた検定統計量が得られたことから、提案手法を用いた安全性評価の妥当性についても示すことができた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまでの電磁的画面盗視では主に、据え置き型のディスプレイが対象とされてきたため、盗視への対策技術としては、漏えい電磁波が攻撃者の設置する大がかりな盗視装置に到達するまでに信号レベルを背景雑音以下に減衰させることで盗み見を防止するゾーニングという概念の下に対策が検討されてきた。これに対して、本代表者らは、可搬性のある簡易な機器で装置を構成しても、一連の電磁的画面盗視の処理が可能となることを示してきた。その上で、プロファイリングや信号処理技術を用いることにより、装置の機能を補完して、従来の据え置き型の装置と同等の画面盗視が実現できることについても明らかにしており、本成果に対して、暗号と情報セキュリティシンポジウムにおいて「新しい研究・技術開発」の奨励を行うイノベーション論文賞が授与されると共に、コンピュータセキュリティに関するトップカンファレンスである Computer and Communications Security (ACM CCS)にもその成果が採択されている。こうした新たな脅威に対しては、ゾーニングに基づいた既存の対策手法を直ちに適用することは難しい。そこで、本研究では、これまで開発を行ってきた上記技術を深化・拡張し、情報セキュリティ及び環境電磁工学の知見を併せた安価で既存機器にも実装可能な評価技術を開発した。開発した評価手法は従来方法に比べ、安価なセットアップで実行可能であることから、情報機器設計の全般に対して重要なブレークスルーを与えると考えられる。

また、研究代表者は本研究を得られた知見をハードウェアトロージャンなどの機器改変により生ずる新たな情報漏えい評価対策についても応用できる可能性についても検討し、通研対応教員である本間尚文教授と大型予算の獲得を試みたところ、研究費が採択された。来年度以降は、これまでの東北大学 電気通信研究所共同プロジェクトを通じて得られた知見を飛躍させ、新たな研究開発に取り組む予定である。

［4］成果資料

1. Yu-Ichi Hayashi and Naofumi Homma, “Introduction to Electromagnetic Information Security,” IEICE Transactions on Communications, Vol.E102-B, No.1, pp 40-50, January 2019. (Invited)
2. Ville Yli-Mäyry, Daisuke Miyata, Naofumi Homma, Hayashi Yuichi, Takafumi Aoki, “On the Evaluation of Electromagnetic Information Leakage from Mobile Device Screens,” Joint IEEE EMC & APEMC, pp. 1050-1502, 2018.
3. 宮田大輔, ヴィッレ・ウリマウル, 林優一, 本間尚文, “スマートデバイスの電磁的な安全性評価に関する検討,” 第 41 回多値論理フォーラム, Vol.41, No.07, 広島県, September 2018.
4. 宮田大輔, ヴィッレウリマウル, 林優一, 本間尚文, “スマートデバイスの電磁的画面情報漏えいに対する統計的安全性評価手法,” LSI とシステムのワークショップ 2018, ポスターNo.50, 東京都, May 2018.
5. Statistical Test Methodology for Evaluating Electromagnetic Information Leakage from Mobile Touchscreen Devices Ville Yli-Maeyry, Daisuke Miyata, Naofumi Homma, Yuichi Hayashi, Takafumi Aoki, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2018.

採択回数	1	(2)	3

(産学)

採択番号：H29/B20

産学連携による半導体技術の新たな展開と応用

［1］組織

研究代表者

上原　洋一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

上原　洋一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）
阿部　真帆（東北大学電気通信研究所）
丹野　健徳（東北大学電気通信研究所）
森田　伊織（東北大学電気通信研究所）
小野　力摩（東北大学電気通信研究所）
武者　倫正（東北大学電気通信研究所）
庭野　道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）
我妻　利直（宮城県経済商工観光部）
秋保　憲司（トーカイ）
古川　誠　（トーカイ）
川崎　弘幸（ワイドテクノ）

延べ参加人数：70 人

研究費

旅費	88,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

半導体デバイスの微細化や集積化を実現する半導体プロセス技術は，長年にわたり半導体集積回路の発展を支えてきた．一方，半導体プロセス技術の中核であるプレーナー技術や超微細加工技術は，半導体デバイス以外にも様々な分野へ応用することが可能であり，実際，通信用デバイス，MEMS デバイス，バイオチップなど様々な分野へ応用がなされている．しかしながらその応用分野の開拓はまだ十分とは言えず，より幅広い応用先を発掘することが工学的に重要な課題である．そのためには，民間企業が有する産業ニーズを把握し，最先端半導体プロセス技術を効果的に応用することが不可欠であり，ゆえに本プロジェクト研究では，宮城県ならびに東北経済産業局からの支援を受けながら，電気通信研究所と民間企業との産学連携により，電気通信研究所が有する半導体関連技術と民間企業が有する実用化技術を融合させ，半導体技術の新たな工学分野展開への手がかりを得ることを目指す．併せて，今後の産学連携関係構築への布石とすることも目的とする．

本プロジェクトは，本年度が第２年度である。今年度も民間企業が有する産業ニーズと，電気通信研究所が有する半導体関連技術を共有し，新たな工学分野展開を図るために，半導体プロセスに関する講習会（半導体基礎講座）と研究会をセットとして以下のように 2 回開催した．

・第三回半導体基礎講座
　日時：平成 30 年 9 月 26,27 日
　参加者：23 名
　講習内容：(講義) MOS トランジスタと半導体プロセス，計測技術の概要，(実習) フォトリソグラフィー，SiO2 エッチング，Al 成膜，走査型電子顕微鏡，X 線回折装置等
・第三回研究会
　日時：平成 30 年 9 月 26 日
　参加者：17 名
　テーマ：企業における半導体関連技術のニーズについて
・第四回半導体基礎講座
　日時：平成 31 年 3 月 13,14 日
　参加者：21 名
　講習内容：(講義) MOS トランジスタと半導体プロセス，計測技術の概要，(実習) フォトリソグラフィー，SiO2 エッチング，Al 成膜，走査型電子顕微鏡，X 線回折装置等
・第四回研究会
　日時：平成 31 年 3 月 13 日
　参加者：9 名
　テーマ：企業における半導体関連技術のニーズについて

また，半導体基礎講座の実習内容（半導体プロセス）の詳細は以下の通りである．

1　コンタクトホールの形成
　1.1 フォトリソグラフィー
　　1.1.1 乾燥ベーク
　　1.1.2 レジスト塗布
　　1.1.3 プリベーク
　　1.1.4 露光
　　1.1.5 現像
　　1.1.6 ポストベーク
　1.2 SiO2 エッチング
2　配線層の加工
　2.1 Al 膜蒸着
　2.2 Al 膜リフトオフ
3　電気測定

［3］成果

（3－1）研究成果

講習会，研究会には総数 17 の企業・団体からの参加があった．研究会では，国内外における半導体関連産業の最近の動向や今後発展が期待される分野について知見を共有することができた．また，半導体技術に関する産学連携の必要性，特にフォトリソグラフィーやマスク製作を中心として率直な意見交換を行った．これらを通じて，半導体技術の新たな産業応用に向けた産学連携関係の構築に向けて，着実に前進した．

2 回の研究会開催において，配分旅費と産学特別支援費により，参加者計 5 名の旅費の一部を支援した．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今後，半導体デバイス，通信デバイス，MEMS デバイス，バイオチップ，及びその他関連分野における半導体技術の新たな工学分野展開への手がかりを得ること，及び産業応用に向けた産学連携関係の構築が期待される．

［4］成果資料

(1) Y. Uehara, T. Inaoka, T. Nishio, and S. Katano, “Vibration-induced structures in scanning tunneling microscope light emission spectra of Ni(110)-(2 × 1) O,” J. Appl. Phys., vol. 123, 224302 (2018).

(2) Y. Uehara, J. Michimata, S. Watanabe, S. Katano, and T. Inaoka, “Determining the phonon energy of highly oriented pyrolytic graphite by scanning tunneling microscope light emission spectroscopy,” J. Appl. Phys. vol. 123, (2018).

(3) Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, T. Tanno, and J. Sakai, “Pump-probe scanning-tunneling-microscope light-emission spectroscopy of Sb_2Te_3,” J. Appl. Phys. vol. 124, 075104 (2018).

(4) H. Akima, S. Kurihara, S. Moriya, S. Kawakami, J. Madrenas, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, and S. Sato, “Motion Stereo Vision LSI for Spatial Perception,” Proc. 2018 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018), 663, 2018.

(5) S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Mean-field analysis of directed modular networks,” Chaos, vol. 29, 013142, 2019.

(6) H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, “Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks,” Science Advances, vol. 14, no. 11, eaau4914, 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（萌芽・国際・産学）

採択番号：H29/B21

カラスの行動制御のための広域音声システムの開発

［1］組織

研究代表者

塚原　直樹（宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター）

通研対応教員

北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

末田　航（シンガポール国立大学・Smart Systems Institute）

永田　健（株式会社CrowLab）

片桐　道徳(山形市役所商工観光部雇用創出課)

芳賀　貴明(山形市役所商工観光部雇用創出課)

稲垣　隼人（山形市役所環境部環境課）

大井 千明（元日本航空操縦士）

谷　伊織（関西学院大学理工学部）

延べ参加人数：9人

研究費

旅費	236,000円
国際特別支援費	220,000円
産学特別支援費	60,000円

［2］研究経過

カラスによる農作物被害は約15億円に達している（農林水産省　平成29年)。その他、都市部での騒音や糞害、配電トラブルなど多様かつ深刻な被害がある。それらカラスの被害を軽減するため、カラスの行動制御が重要であるが、カラスの賢さゆえに決定打がないのが現状である。これまでの申請者の研究より、カラスは音声によるコミュニケーションが発達していることがわかっており、また、カラスは音源の位置を特定する能力が優れていることがわかっている。そこで本研究では、広範囲に設置した複数のスピーカーから再生箇所をずらしながらカラスの鳴き声を再生することで、カラスが移動しているかのようにカラスが錯覚するような広域音声システムの開発し、カラスが集合しては困る場所から、困らない場所（人が立ち入らないような場所など）へと群れを誘導することを目指す。

本プロジェクトは、本年度が第２年度であった。前年度は、カラスの行動制御のための広域音声システムの開発を目的とした研究会及び研究打ち合わせを２回行った。また、山形市をフィールドとして、カラスの行動制御のための広域音声システムの実証試験を２回行った。

本年度は、前年度の成果を踏まえながら、研究会及び研究打ち合わせを7月28日（参加者3人)、9月21日（参加者3人)、11月14日（参加者4人）の3回行った。また、前年度の実験結果の再現性を確かめるため、山形市での試験を1回行った。さらに、別の場所でも同様の結果が得られるかどうかを調べるため、那須塩原市の牧場での試験を1回行った。

これまでの試験より、カラスの群れの長距離の誘導がひとつの課題として挙げられている。そこで、ドローンを使うことで長距離の誘導を検討しており、スピーカーを搭載し、カラスの鳴き声の再生が可能なドローンを開発した。本年度は、そのドローンを用い、山形市の堆肥場と那須塩原市の牧場にて、ドローンに対するカラスの反応を調べる試験を1回ずつ行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会及び研究打ち合わせにおいて、カラスの行動制御のための広域音声システムの開発に関する議論を行った。前年度の実験結果に関する考察、今後の展開に関し議論した。

山形市で行なった実証試験では、前年度同様、300羽程度のカラスの群れを200m程離れた意図した場所へ誘導することに成功した。また、那須塩原市での試験においても、同様の結果を得られた。

また、ドローンの試験では、カラスがドローンから逃げていく様子が確認された。誘導を行うために

は、ドローンの見た目をカラスに近づけるなどの工夫が必要であると考えられる。そこで、現在カラスの剥製の翼を使用したドローンを開発している。

さらに、本実験では、誘導したカラスの群れを定着させる、という課題がある。その課題を解決するためのひとつの方法として、カラスの剥製ロボットを使いカラスを誘導することを検討しており、実験機を開発した。

特別支援（産学）に係る研究成果

それぞれの研究会及び研究打ち合わせ、実証試験の実施に伴い、株式会社CrowLabの永田氏を招聘した。

株式会社CrowLabでは、カラス被害対策の製品開発やサービスの提供を行っている。本年度は、山形市及び那須塩原市でのカラスの群れの誘導試験を実施し、事業化に関わる議論を行った。

特別支援（国際）に係る研究成果

それぞれの研究会及び研究打ち合わせ、実証試験の実施に伴い、シンガポール国立大学の末田氏を招聘した。

シンガポールでは、ドローンの飛行に対する規制が緩いことから、飛行制御などの開発をしやすい状況にある。前年度には、ドローンを使った具体的なシステムを検討した。本年度は、スピーカーを搭載したドローンを開発し、実証試験を行うことができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで行われた実証試験の成果は、下記の「[４] 成果資料」に記載した通り、新聞やテレビ、ラジオ、WEB 等の多数のメディアに取り上げられた。特に、ドイツの公共放送など海外のメディアにも取り上げられた。カラスによる被害対策に対する高いニーズがあるという理由だけではなく、野生動物と音声によるコミュニケーションを行い、任意の場所へ誘導するといった新たな切り口の対策法に興味を持たれたと推測される。

本プロジェクトは、動物行動学とコンピュータサイエンスの異分野融合型の研究課題であり、それぞれの研究分野に対し、新たな手法の提案や新たなアプリケーション例の提案の面で、一石を投ずることが期待される。また、未だ萌芽的な研究分野である、コンピュータを介し動物とのインタラクションを目指す、アニマルコンピュータインタラクションの分野への貢献も期待できる。その他、本システムが開発されれば、野生動物と人の摩擦といった社会的課題を解決することにも貢献できる。

［４］成果資料

【学会発表等】

(1) 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会「カラスと対話するプロジェクト: カラスにとってのカラスらしさの工学的再現」、末田航、塚原直樹、松田美勇史、 栗本育三郎、2018 年 9 月、東北大学（宮城県）
(2) 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会「Telexistence Cybernetics Crow の 視覚系と剥製翼飛行系の試作」、松田美勇史、末田航、塚原直樹、内田洋彰、 栗本育三郎、2018 年 9 月、東北大学（宮城県）
(3) 日本鳥学会 2018 年度大会「首と尾羽が可動する剥製ロボットをカラスは生きたカラスと認識するか？」、塚原直樹、永田健、末田航、栗本育三郎、2018 年 9 月、新潟大学（新潟県）

【招待講演等】

(1) 日本畜産学会第 125 回大会　市民公開シンポジウム「農林業の鳥獣被害とジビエ利用を含めたその解決策」、2019 年 3 月、麻布大学（神奈川県）
(2) カラス対策講習会「カラスの生理・生態を知り対策に生かす」、2019 年 2 月、坂井北部丘陵地営農推進協議会丘陵地農業支援センター（福井県）
(3) カラス対策講演会「カラスの生理・生態を知り対策に生かす」、2019 年 2 月、飯田市鼎公民館（長野県）
(4) 長野県駒ヶ根市カラス学習会「カラスのことを知れば見えてくる効果的なカラス対策」、2019 年 1 月、駒ヶ根市営農センター（長野県）
(5) 熊本県城北家畜保健衛生所研修「カラスの生態や行動を学び、それを踏まえた有効な対策法を習得する」、2018 年 10 月、宇都宮大学（栃木県）

【メディア出演】

(1) 2019 年 3 月 14 日 WIRED Vol.32
(2) 2019 年 3 月 2 日 やさい畑 4 月号
(3) 2019 年 3 月 1 日 中小企業 NEWS
(4) 2019 年 2 月 28 日 読売新聞
(5) 2019 年 2 月 15 日 とちよみ
(6) 2019 年 2 月 11 日 日本テレビ「月曜から夜ふかし」
(7) 2019 年 2 月 5 日 下野新聞

(8) 2019年1月30日 朝日新聞
(9) 2019年1月9日 ミヤラジ「宇~太が語る！？宇大のヒミツ」
(10)2019年1月7日 佐賀新聞
(11)2019年1月3日 フジテレビ「ビストロアース」
(12)2018年12月24日 ワールドビジネスサテライト「2018年間トレたま大賞」
(13)2018年12月17日 NHK「シブ5時」
(14)2018年12月12日 朝日小学生新聞
(15)2018年12月7日 TBS「Nスタ」
(16)2018年11月22日 とちぎテレビ「とちテレニュースLIFE」
(17)2018年11月7日 ワールドビジネスサテライト「トレたま」
(18)2018年11月5日 RADIO BERRY「SHINE」
(19)2018年11月2日 日刊工業新聞
(20)2018年10月24日 Yahoo!ニュース
(21)2018年10月24日 とちぎテレビ
(22)2018年10月24日 日経新聞
(23)2018年10月24日 下野新聞
(24)2018年10月17日 日経新聞
(25)2018年10月12日 CRT栃木放送「栃木の企業 ホップ・ステップ・ジャンプ」
(26)2018年10月12日 下野新聞
(27)2018年10月11日 日刊工業新聞
(28)2018年10月6日 ニュースイッチ
(29)2018年10月5日 日刊工業新聞
(30)2018年10月5日 FM栃木「宇都宮プライド 愉快なラジオ」
(31)2018年10月3日 ミヤラジ「地域経済番組」
(32)2018年9月29日 NHKBS「イグ・ノーベル賞 マジで狙ってみた」
(33)2018年9月25日 産経新聞
(34)2018年9月21日 下野新聞
(35)2018年9月20日 日本テレビ「ヒルナンデス!」
(36)2018年9月20日 NHK「おはよう日本」
(37)2018年9月20日 山形新聞
(38)2018年9月4日 朝日新聞
(39)2018年8月29日 毎日新聞
(40)2018年8月28日 読売新聞
(41)2018年8月28日 NHK「ほっとぐんま」
(42)2018年8月27日 NHK「首都圏ニュース」
(43)2018年8月25日 産経新聞
(44)2018年8月22日 NHK「とちぎ６４０」
(45)2018年8月16日 日経新聞
(46)2018年8月5日 CRT栃木放送「NOSAIの広場」
(47)2018年8月3日 ARD（ドイツ公共ラジオ放送）German Radio Deutschlandfund「Umwelt und Verbraucher」
(48)2018年8月1日 テレビ東京「モーニングサテライト」
(49)2018年7月29日 CRT栃木放送「NOSAIの広場」
(50)2018年7月20日 ARD（ドイツ公共ラジオ放送）German Radio Deutschlandfund「Information am Morgen」
(51)2018年7月5日 下野新聞
(52)2018年6月25日 日本テレビ「月曜から夜ふかし」
(53)2018年5月23日 福井テレビ「おかえりなさ～い」
(54)2018年4月30日 中日新聞
(55)2018年4月11日 中京テレビ「キャッチ！」

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：H29/B23

脳型システム実現に向けた
非同期ストカスティック演算の研究

［1］組織

研究代表者
鬼沢　直哉（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
今井　雅（弘前大学大学院理工学研究科）

延べ参加人数：３人

研究費
旅費　98,000 円

［2］研究経過

近年，ディープラーニングやTrue North（米国 IBM 社）をはじめとする「脳型コンピュータ」の研究が盛んに行われており，人間の脳のような（ある応用では人間の脳機能を凌駕するような）高度な認識・学習が実現されつつある．一方で，現在の脳型コンピュータは人間の脳と比較して，消費電力が数百万倍以上になってしまうことが知られており，実用的脳型コンピュータの実現には，消費電力の大幅な削減が非常に重要である．

この問題を解決するために，従来型のコンピュータアーキテクチャである「同期式」・「決定論的」処理によるアプローチとは本質的に異なる，人間の脳の動作に近い「非同期式」・「確率的」処理に基づいた，超低消費電力コンピュータアーキテクチャの研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは，非同期式・確率的演算に基づく新概念脳型コンピュータアーキテクチャの研究開発を推進するための共同研究を行うことを目的として研究を行った．

本プロジェクトは本年度が２年度であり，「非同期式」ハードウェアを専門とする研究分担者である今井教授と，非同期式・確率的演算に基づく新概念脳型コンピュータアーキテクチャの実現に関する研究を展開した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

本研究会は，脳のような高度な認識・学習アルゴリズムを，ハードウェアで実現可能な形で構築するための基礎検討・調査を行いながら，非同期式・確率的演算に基づく新概念コンピュータアーキテクチャを模索した．特に学習アルゴリズムは，現在ソフトウェア一辺倒によるアプローチが主流であり，ハードウェアによる低消費電力化が特に難しい領域である．

この問題を解決するために，「非同期式」ハードウェアの研究を専門とする研究分担者の弘前大学の今井教授を招へいし，初年度から引き続き現有システムの問題点・改善点に関する知見等を共有し，研究討論や意見交換を，年間を通じて適宜実施した．具体的には，2019 年 1 月 19 日に第１回目の打ち合わせ，2019 年 3 月 20 日に第２回目の打ち合わせ時に招へいし，新概念脳型コンピュータアーキテクチャに関する議論を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，非同期式・確率的演算に基づく新概念脳型コンピュータアーキテクチャ実現に向けた基盤研究として，昨年度考案した新概念非同期式回路アーキテクチャをベースに，.より大規模な回路での性能評価および回路の信頼性向上を図った．非同期式回路は，VLSI 実現に一般的に用いられている同期式回路とは異なり回路全体を制御するクロック信号を用いず，要求・応答制御に基づくローカル制御を行う．そのため，演算が行われない際は制御部分も含めて回路すべての動作が停止するため，消費電力（特に動的電力）の大幅な削減が期待される方式である．さらに近年の微細半導体では，非動作時に消費される静的電力が動的電力に迫るほど大きな割合を占めるため，この部分の電力も同時に削減する必要がある．この問題を解決するために，昨年度，静的電力・

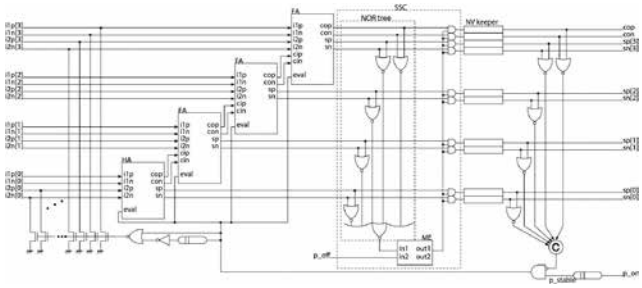


図１　不揮発非同期式アーキテクチャに基づく４ビットリップルキャリー加算器（RCA）の回路図.

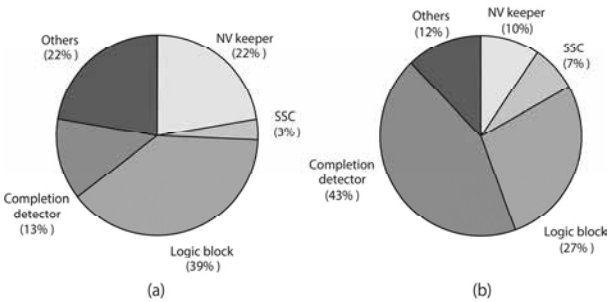


図２　TSMC 65nm CMOS および３端子 MTJ モデルによる提案の４ビット RCA の性能評価: (a) 消費電力, (b)遅延時間.

動的電力を同時に削減可能な，不揮発非同期式回路アーキテクチャを考案し，小規模な論理ゲートへ適用を行った．本年度は，より大規模な回路として，加算器，乗算器への適用を行い，その動作検証・性能評価を行った.

図１に不揮発非同期式アーキテクチャに基づく４ビットリップルキャリー加算器の回路図を示す．昨年度適用した論理ゲートの場合と異なり，複数ビットの非同期出力信号を制御しつつ,電源遮断時には,演算途中のデータを不揮発性デバイスである Magnetic tunnel junction (MTJ)素子に安定してバックアップさせる必要がある．そのため，複数の非同期出力信号を安定してストール可能な State Stall Controller(SSC)を考案し，加算器等の回路に機能を組み込んだ．これにより，昨年度考案の不揮発性非同期式回路アーキテクチャは，大規模な回路への適用も可能となった.

図２に提案の４ビット RCA の性能評価を示す．提案回路は TSMC 65nm CMOS および 3 端子 MTJ モデルを用いて設計をし，Synopsys 社 HSPICE により性能評価を行った．この結果から，複数ビットを処理するために追加を行った SSC によるオーバーヘッドは，消費電力および遅延時間のどちらにおいても 10%以下となっており，非常に小さなオーバーヘッドで提案アーキテクチャを大規模回路に適用可能になったといえる.

さらに,不揮発記憶回路である NVkeeper の高信頼性も同時に行った．図３に並列接続 MTJ に基づくこ

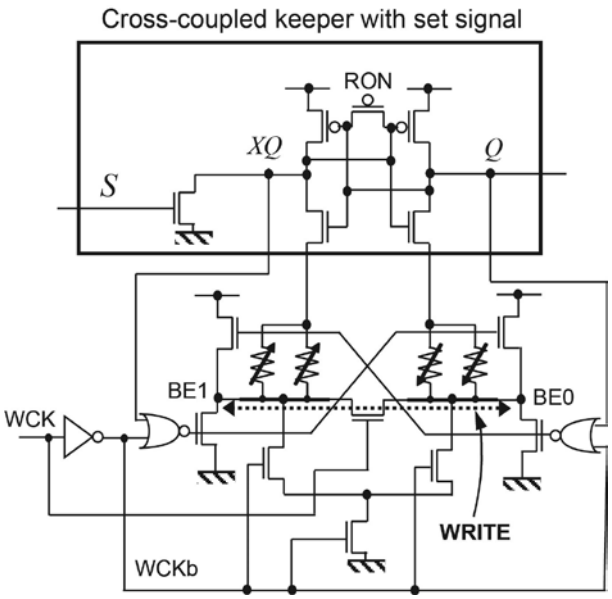


図３　並列接続 MTJ に基づく高信頼 NVKeeper

NVkeeper の回路図を示す．MTJ 素子は不揮発記憶素子である一方で，そのスイッチング動作は確率的であることから，低い確率で記憶が正しく行われない可能性がある．この書き込みエラー率を低下させるために,並列接続 MTJ による冗長構造を取ることで,エラー耐性の向上を図った．MTJ 素子は CMOS トランジスタ上に積層可能なことから，MTJ の増加による回路面積の増加はほとんどなく，低オーバーヘッドで２桁以上のエラー率低下に成功した．高信頼な書き込み動作が実現は，提案アーキテクチャが電源遮断時からの自動バックアップ・復帰動作の信頼性向上にもつながるものであり,この研究成果は[1]に採録された.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，実用規模の脳型システム実現に向けた基盤技術の構築を図った，本プロジェクトで明らかになった動的･静的電力の両方の同時削減の成果は,不揮発性と非同期式の融合という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき，さらに確率的演算であるストカスティック演算との融合の可能性も含めて，今後の発展が期待されている.

［４］成果資料

(1)N. Onizawa, M. Imai, T. Yoneda, and T. Hanyu, “MTJ-based Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing against Power Failures,” *Microelectronics Journal,* vol. 82, pp. 46-61, Dec. 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端・産学)

採択番号：H30/B01

高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用

［1］組織

研究代表者：
金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
安達正利（富山県立大学名誉教授）
荒川元孝（東北大学大学院医工学研究科）
井上憲司（Piezo Studio）
今野和彦（秋田大学大学院工学資源学研究科）
梅村晋一郎（東北大学大学院医工学研究科）
小田川裕之（熊本高等専門学校）
垣尾省司（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
門田道雄（東北大学大学院工学研究科）
唐木智明（富山県立大学工学部）
川勝孝治（村田製作所）
木村悟利（日本電波工業）
櫛引淳一（東北大学名誉教授）
工藤すばる（石巻専修大学理工学部）
黒澤　実（東京工業大学大学院
総合理工学研究科）
小松隆一（山口大学大学院理工学研究科）
近藤　淳（静岡大学創造科学大学院
ナノマテリアル部門）
佐藤良夫（太陽誘電）
鹿田真一（関西学院大学理工学部）
高野剛浩（東北工業大学工学部）
高柳真司（名古屋工業大学大学院工学研究科）
田中秀治（東北大学大学院工学研究科）
長　康雄（東北大学電気通信研究所）
永田　肇（東京理科大学理工学部）
中村僖良（PDT ラボラトリー）
三原　毅（東北大学大学院工学研究科）
橋本研也（千葉大学大学院工学研究科）
広瀬精二（山形大学大学院理工学研究科）
舩坂　司（セイコーエプソン）
森田　剛（東京大学大学院
新領域創成科学研究科）
谷津田博美（日本無線）
柳谷隆彦（早稲田大学理工学術院）
山田　顕（東北学院大学工学部）
山中一司（ボールウェーブ）
山之内 和彦（東北大名誉教授）
吉澤　晋（東北大学大学院工学研究科）
若月　昇（石巻専修大学大学院理工学研究科）
和佐清孝（京都大学大学院工学研究科）
渡部泰明（首都大学東京理工学研究科）

延べ参加人数：97 人

研究費：

旅費	301,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

本研究会は，次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価，更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い，研究・開発を進めることを目的に行われている．本年度は平成 31 年 1 月 30 日，1 月 31 日の両日に東北大学工学部・工学研究科サイエンスキャンパスホールを会場とし，「圧電材料・デバイスシンポジウム 2019」と題する公開シンポジウム形式で行った．プロジェクト研究メンバーのほか，一般からも講演を募り，東京工業大学の蜂屋弘之教授による「超音波による生体情報の定量計測」と山梨大学の垣尾省司教授による「異種材料接合による弾性表面波素子の高性能化」と題する招待講演 2 件を含む計 20 件の研究発表が行われた．参加者は昨年度を上回る 97 名であり活発なシンポジウムとなった．

現在，超音波診断装置は広く普及している．しかし，断層画像を用いた診断には医師の経験や熟練を必要とされる部分があり，病変の進行と画像の変化の関係は明確でない部分がある．蜂屋教授の招待講演は，生体組織の音響特性である音速と密度の関係を正常部位と病変部位で異なることを報告した．さらに，断層画像の強度分布から繊維確率を推定する方法を報告した．これらの方法は，従来の定性的な断層画像とは一線を画するものであり，医用超音波分野を中心とする研究者に注目された．

通信システムの発展に伴い，フィルタやデュプレクサ等に用いられる弾性表面波(SAW)デバイスやバ

ルク弾性波(BAW)デバイスにさらなる高性能化が要求されている．特に，高周波化，広帯域化，高Q化，周波数温度特性の安定化のために，高速，高結合，低損失，高安定の基板構造，伝搬モード，圧電材料が要求されている．従来の圧電基板のみを用いた半無限構造では，これらの要求を満たすことは困難であるため，例えば，高安定化のためにSiO_2温度補償膜の装荷，線膨張係数の小さい基板との接合が検討されてきた．垣尾教授の招待講演は，1 波長以下の板厚を持つ LT 薄板と水晶基板を直接接合した構造の SAW や漏洩 SAW(LSAW)の伝搬特性と共振特性を理論的・実験的に検討した結果を報告した(1)．粒子変位の集中度が高く，漏洩成分が極めて少ない基板構造が得られることを明らかにしており，SAW/BAWデバイスの設計に携わっているメーカの研究開発者に注目された．

2講演とも大変有意義であった．

各セッションの発表内容の概略は次のとおりである．

(A) 圧電材料

鉛系リラクサー圧電単結晶を交流で分極処理することにより，直流分極した場合と比較して約30%の誘電率向上と圧電定数 d_{33} の向上を確認した(2)．また，低コストで量産性の高い水熱合成法と 600℃の熱処理で高配向性の板状 $NaNbO_3$ 粉末を作製し，それをニオブ酸カリウムナトリウム系圧電セラミクス作製用固相反応配向粒成長法のテンプレートに使用し，KNN 圧電セラミックスの d_{33}= 347 pC/N の値を得た(3)．さらに，$Ca_3TaGa_3Si_2O_{14}$ 単結晶において Ga を Al に置換することにより，結晶構造の変化に起因し圧電特性が変化することが報告された．

(B) 圧電薄膜

圧電セラミックスを単結晶薄膜化すると，キュリー温度が高くなり，Si，Sapphire 基板上に高温でも安定なGHzデバイスが実現できるとともに，光導波路デバイスなどこれからの集積化デバイスなどが実現できることを確認した(4)．また，ScAlN 薄膜のスパッタ成膜中に基板に照射される負イオンを測定し，その照射量を抑制することで薄膜の結晶配向性や圧電性の向上に成功した(5)．

(C) 医療応用

招待講演のほか，血圧・血管径同時計測用に開発した超音波プローブや超音波を併用した薬液送達デバイスの開発に関する発表があった．

(D), (E) SAW デバイス

招待講演のほか，臨床全血サンプルを用いて SH-SAW バイオセンサを評価し，医療現場で用いられる診断装置と良好な相関が得られることを確認した．ボール SAW センサによる微量水分の高速・定量分析に関する発表では，純水を入れたガスバックのヘッドスペース飽和水蒸気を，シリンジを用いて配管に注入することにより，定量的で再現性の高い高速な水分応答を計測できた．マイナスの温度特性を持つ $LiTaO_3$ 薄板とプラスの温度特性をもつ方位の水晶とを組み合わせることで，高いQ，良好な温度特性，高周波までスプリアスがないという3つの利点を持つSAWデバイスを実現した．また，h形式の圧電基本式を利用して厚み縦振動の基本共振に対する線形等価回路を導き，これをもとに非線形応答に対する等価回路を導くとともに，これにより，FBAR 共振子のふるまいがよく説明されることを明らかにした．

(E) 計測応用

非線形フェーズドアレイを用いたき裂の高選択映像化，高減衰部材評価のための低周波超音波フェーズドアレイシステムの開発，円筒状および板状の皮質骨の超音波伝搬速度の比較，ならびに表面プラズモン共鳴センサの評価に関する発表があった．

［3］成果

（3－1）研究成果

圧電材料分野では，交流分極により鉛系リラクサー圧電単結晶の特性を改善できること，$Ca_3TaGa_3Si_2O_{14}$ 単結晶において Ga を Al に置換することにより圧電特性を変化させられるという新たな知見が得られた．

医療応用分野では，招待講演により定量計測の有用性を提言できた．

SAW デバイス分野では，SH-SAW やボール SAW などで，SAW デバイスの新しい可能性を示すことができた．

計測応用分野では，フェーズドアレイシステムの新たな展望を与えることができた．

また，特別支援（産学）により，山梨大学垣尾教授を招聘し，招待講演(1)を行なっていただいた．その結果，SAW デバイス分野における直接接合技術の有用性を示すとことができた．

（3－2）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本共同プロジェクト研究会を母体として開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は，圧電材料ならびにデバイスを主題として，材料探索，作製，評価，デバイスへの応用と，それぞれ第一線の研究を包括的に討論できる数少ない場として非常に高く評価されている．発表された論文が他の学術誌で引用されており，当該分野での主要なシンポジウムの１つとして認知されている．関連分野で活発に

研究を進めている研究者が集って発表と討論を行うことで，密接な情報交換と研究協力が促進し，次世代の圧電デバイスの研究・開発の進展に貢献している．本プロジェクト研究会での成果は通信分野のみならず，最近では医療分野や構造物評価分野などの様々な圧電デバイス応用への一層の発展が進みつつある．

［4］成果資料

(1) S. Kakio, “High performance SAW devices using bonding dissimilar materials,” Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp., 2019, pp. 51-58.
(2) Y. Yamashita and T. Karaki, “Piezoelectric, dielectric, and microstructure of alternative current poling process of lead magnesium niobate- lead titanate single crystal,” Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp., 2019, pp. 1-2.
(3) Y. Lu, T. Karaki, and M. Adachi, “Fabrication of Grain-oriented Lead-free Piezoceramics,” Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp., 2019, pp. 3-6.
(4) K. Wasa, T. Shimizu, H. Adachi, S. Yoshida, T. Yanagitani, and S. Tanaka, “Thin film piezoelectric devices & better substrate materials,” Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp., 2019, pp. 9-12.
(5) S. Takayanagi and T. Yanagitani, “Improvement of piezoelectric property of ScAlN film by suppressing negative ion bombardment during sputtering deposition,” Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp., 2019, pp. 13-16.

採択回数 (1) 2 3
(萌芽・国際)

採択番号：H30/B02

磁性材料の機能性を活用した磁気デバイス

［1］組織

研究代表者
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
シン　カンホ　（Kyungsung Univ.）
キム　ヨンハク　（Pukeong　Univ.）
リム　サンホ　（Korea Univ.）
キム　ソンフン　（Wonkwang Univ.）
栫　修一郎　（東北大学電気通信研究所）
林　禎彰　（東北大学電気通信研究所）
竹澤　昌晃　（九州工業大学大学院工学研究院）
中野　正基　（長崎大学大学院工学研究科）
本田　崇　（九州工業大学大学院工学研究院）
菊池　弘明　（岩手大学大学院工学研究科）
井上　光輝　（豊橋技術科学大学大学院）

延べ参加人数：２５人

研究費

旅費	300,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

磁性材料の機能性を生かした種々のデバイスが研究されており、例えばセンサやアクチュエータにおいて、ひずみ計測、温度計測、高周波磁界計測、三次元位置計測、マイクロロボット、ワイヤレスポンプなどが提案され実用化に向けた検討がなされている。これらのデバイスは、磁性体の磁気特性以外の特性、すなわち光学特性、電気伝導特性、弾性特性などを有機的に組み合わせることで実現しており、材料開発とデバイス開発を表裏一体で進めることでその性能が飛躍的に向上する。

そこで本研究プロジェクトでは、日韓の磁気工学研究者の中の材料研究者とデバイス研究者が一堂に会して情報交換と討論を行うことで、すでに研究されている材料・デバイスのさらなる高機能化高性能化を図るとともに、新たな材料デバイスに繋がる萌芽を見つけ出すことを目的として実施した。

本プロジェクトを母体として、平成 30 年 8 月 24 日に通研国際シンポジウムを開催し 6 件の基調講演を実施した。このシンポジウムには本プロジェクト参加者のほか国内外から多くの参加者があり、この分野の重要性を強くアピールするものとなった。

以下、研究活動状況の概要を記す。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の成果を大別すると、以下に示す3つとなる。

まず第１に、シリコンカンチレバーの形状最適化と磁性薄膜の残留応力制御手法を確立することで、1Hz から 100Hz の帯域で 0.01m/s^2 の加速度を計測可能な振動センサを実現した。

第２に、磁気光学材料の異方性制御と高周波磁気特性の関係の明確化とそれを踏まえた最適材料の選定により光を用いた 10GHz までの高周波磁界を 0.1mOe の感度で計測する手法を確立した。

第３に、極異方性を誘導させたボンド磁石を実現し、それをロータとして用いる新たなモータ設計を行うことにより、体内に完全に埋め込むことが可能なワイヤレスポンプを実現した。

ここでは紙面の都合上、第１の成果である振動センサを中心に報告する。

近年、老朽化が進行した建造物の数は増加しており、建造物の損傷や崩落の危険性が高まっている．しかし，その点検方法は目視やハンマー等による打音点検など人の手による検査が中心となっている． 本研究では、現在広く行われている人の手による打音検査に代わる，橋梁等の微小振動を検出できる超高感度振動センサの開発を目標としている．

これまで，東北大学を中心に磁歪膜と導体層の積層構造からなる逆磁歪効果を利用した歪センサの検討を行ってきた．このセンサは，センサ素子への歪印加時の磁化変化に伴う透磁率変化を，高周波通電時の素子のインピーダンス変化として検出するものである．その歪センサの振動センサへの応用を目指

して，歪印加時の透磁率変化に伴う高周波電流通電時の素子の位相変化に着目し，その位相変化を電圧変化として検出することを試みた。基本性能確認としてここでは、Fig. 1 のように歪センサを片もち梁上に形成し，外部振動により片もち梁が振動する構造とした．これにより，外部振動による片もち梁の振動で，素子に歪が印加され，透磁率変化に伴う位相変化を電圧として検出できるような振動検出システムを構成した.

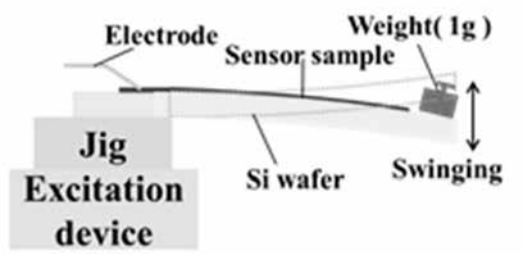


Fig. 1 Experimental setup of vibration detection.

素子の作製にはRF スパッタ，リフトオフ法を用いた．Fig. 2 に示すように，非磁性金属層の Mo 膜を磁性層の $Fe_{72}Si_{14}B_{14}$ 膜で挟み込んだ積層構造にした．また，Mo，$Fe_{72}Si_{14}B_{14}$ ともに同一の 1 ターンミアンダ形状に成膜した．Si ウェハの厚みは 200 ミクロン，Mo の膜厚は 2.0 ミクロン，$Fe_{72}Si_{14}B_{14}$ の膜厚は 0.7 ミクロンとした．成膜後に 360℃，240kA/m の回転磁場中で熱処理を行い，積層膜への残留応力を利用して磁性膜長手方向に異方性を誘導した.

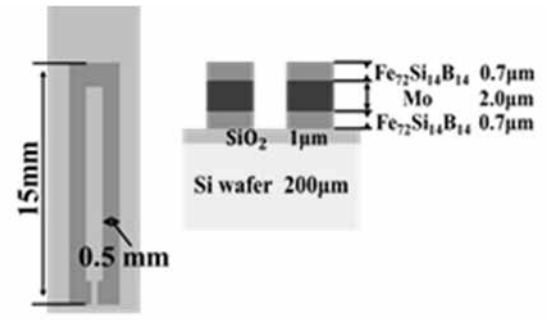


Fig. 2 Schematic diagram of the sensor element.

Fig. 1 に示したような構成で振動検出実験を実施した。素子の電極側をジグ上に固定し，片もち梁状にして，加振器によりジグを加速度 2.5m/s², 5.0m/s² の正弦波で振動させた．Si ウェハ先端には，機械的共振周波数を下げるために 1g の錘を固定した．また，素子へのキャリア通電電流の周波数は 150MHz とし，位相検出回路を用いて振動を検出した.

加振時の検出電圧の周波数特性を Fig. 3 に示す．加振周波数を 20Hz～200Hz まで変化させ，位相検出電圧は peak to peak 電圧とした．加振周波数 150Hz で検出電圧が最大になり，加振加速度 5.0m/s2 において，0.3V の検出電圧を得た．この点は片もち梁の機械的共振点と考えられる．今回の実験で，片もち梁型の歪センサが振動センサへ応用可能であることが明らかとなった

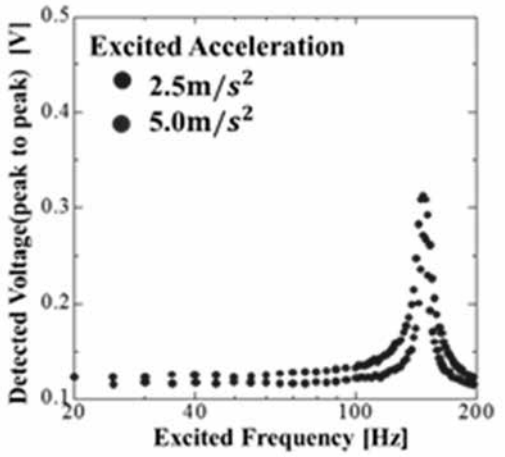


Fig. 3 Frequency characteristic of detected voltage in excitation.

さらに、本センサのさらなる高感度化を目指し、共振回路の適用を試みた。これは、インダクタンス素子である本センサにコンデンサを取り付け LC 共振回路とし、共振周波数とキャリア周波数を一致されることにより大きなインピーダンス変化を実現させるものである。それにより、静特性測定において，検出信号である位相差出力が 2 deg.から 64 deg.まで大幅に増大した。さらに動特性も大きく改善した。評価結果を Fig. 4 に示す。

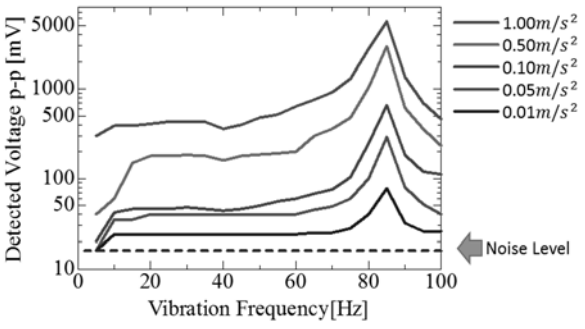


Fig.4 Frequency characteristics of the sensor with LC resonance circuit.

共振回路を適用したセンサは，共振回路なしのセンサに比べ，検出信号の強度が大幅に増したことで，機械的共振周波数 85 Hz 以下の帯域において加速度 0.01 m/s² の極めて小さな振動の検出が可能となった。

これは、本研究の当初目的である橋梁等の打音検査を代替できる振動検知システムとして具有すべき能力を満足するものであり、インフラの健康診断システムとして極めて有望なセンサである。

特別支援(国際)に係る研究成果ならびに招聘状況について

本プロジェクトでは、韓国からの4名の参加メンバーのうち3名を、平成30年8月24日に開催した通研国際シンポジウムに講演者として招聘することができた。このシンポジウムでは、最新の研究成果を紹介していただくとともに、全体討論を実施したことで、前述の3つの成果を中心とした新たな技術開発につながった。加えて、この討論結果から新たな共同研究の核となる技術が生まれつつあり、大きな成果を挙げたものと結論付けることができる。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの3つの成果のうち、第1の成果は前述のとおりで、橋梁やトンネルなどインフラの健康診断等に欠かせない振動センサとして、小型軽量であり汚濁に強く安価であることから極めて有望であり、今後産業界を含んだ大きなプロジェクトへの発展が期待される。

第2の成果である光を用いた磁界計測は、共同プロジェクト H28/B10 とも連携して進めており、すでにプロトタイプが試作されるなど、実用化市販化に向けて検討が進んでいる。

第3の成果であるワイヤレスポンプについては、その基本設計が完了し、医療機器メーカとの共同研究が始まっている。

以上のように本プロジェクトの成果はいずれも社会からの強い要請に応えるものであり、それを支える基盤技術を東北大学から世界に発信できたものと考えられる。

［4］成果資料

なし

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端・産学)

採択番号：H30/B03

東北地区横断スピニクス研究

［1］組織

研究代表者：山口　正洋
(東北大学大学院工学研究科)
通研対応教員：石山　和志
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者（*は東北大学）：
斉藤　　伸（大学院工学研究科）*
中村　健二（大学院工学研究科）*
藪上　　信（大学院医工学研究科）*
角田　匡清（大学院工学研究科）*
遠藤　　恭（大学院工学研究科専攻）*
小川　智之（大学院工学研究科）*
栃　修一郎（電気通信研究所）*
Greaves Simon（電気通信研究所）*
林　　禎彰（電気通信研究所）*
北上　　修（多元物質科学研究所）*
岡本　　聡（多元物質科学研究所）*
菊池　伸明（多元物質科学研究所）*
斉藤　　準（秋田大学大学院理工学研究科）
田島　克文（秋田大学大学院理工学研究科）
室賀　　翔（秋田大学大学院理工学研究科）
坂本　禎智（八戸工業大学感性デザイン学科）
長田　　洋（岩手大学理工学部）
小林宏一郎（岩手大学理工学部）
菊池　弘昭（岩手大学理工学部）
三浦　健司（岩手大学理工学部）
土井　正晶（東北学院大学工学部）
嶋　　敏之（東北学院大学工学部）
小澤　哲也（東北学院大学工学部）
佐藤　文博（東北学院大学工学部）
田河　育也（東北工業大学）
山田　　洋（仙台高専名取校）
稲葉　信幸（山形大学大学院理工学研究科）
加藤　宏朗（山形大学大学院理工学研究科）
田中陽一郎（山形大学学術研究院）
小池　邦博（山形大学工学部）
鈴木　良夫（日本大学工学部）
近藤　幸一（(株)トーキン材料研究開発本部）
山田　啓壽（(株)東芝研究開発センター
目黒　栄（ネオアーク(株)）

研究費：旅費　　233,000 円
産学特別支援費　60,000 円
延べ参加人数：36 人

［2］研究経過

本研究は、微細磁気物性に基づく更なる磁気工学の発展を創成するために，磁気現象の起源である電子スピンを意識した学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と討論の場を提供する。とくに東北地区内の連携強化を図ることを目的とした。

提案研究会の核となるのは､1990 年に発足した東北大学電気通信研究所工学研究会スピニクス研究会である。これは、微細磁気物性に基づく更なる磁気工学の発展を創成するために，磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と討論の場として設立された、萌芽的研究に関する討論を行うとともに、人的ネットワークの形成に努めてきた。しかしながら全東北域の研究者が一堂に会する機会は皆無であり、スピンないし磁気の中の専門分野を超えた相互交流が切望されていた。

平成 30 年 11 月 15 日（木）～16 日（金）に、東北大学電気通信研究所本館オープンセミナー室で研究会を開催、東北地区でスピニクス研究を推進する研究者を招聘し相互に研究発表を行うとともに学生発表も行い、世代を超えた相互交流と今後の共同研究の端緒を開く議論を行った。東北大学側は、電気通信研究所工学研究会スピニクス研究会と連携し、学内外の交流を推進した。

サブ分野を、スピントロニクス、スピンダイナミクス、ナノ計測、磁気記録・MRAM、エネルギーマグネティクス、ライフサイエンスとし、各分野を東北大の中堅～若手教授が中心になって取りまとめることにより、より高度にも上記の目的を達成できる体制とした。21 件の研究発表があった。詳細は［4］成果資料を参照して頂きたい。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究会により、東北地区におけるスピニクス研

究の最新状況を学内外の参加者が相互に理解し、議論を通して更に発展する重要な機会となった。また若手研究者相互の交流が進み、相互刺激によって今後の研究進展が加速すると期待される。なかでも次の研究成果を得た。

まず第1に、例えば蛇口の先で捨てられている上水道の位置エネルギーを電気エネルギーに変換し利活用可能な状態にできれば、持続発展可能な社会に貢献できることに着想を得て、小さいけれども集約すれば役に立つエネルギーの収穫技術を磁性体による電気機械変換で実現する研究が進展した。

第 2 に、受信部での不要電波の影響を抑制する技術，ノイズ発生源での高調波ノイズの発生と伝搬を抑制する技術及びこれらを効率的かつ効果的に実施するためのノイズ発生源の特定や対策による効果を定量的かつ高精度に測定･評価する技術の研究開発が進展した。

第3に、マイクロ波アシスト記録(MAMR)において有限要素法磁場解析シミュレータとマイクロマグネティクス法シミュレータにより、マイクロ波アシスト記録方式ヘッドの最適化研究が進展した。また、スピントロニクス発振素子(STO)の磁化発振層(FGL)における磁化の均一かつ安定した振動を得るために、飽和磁化Msが小さく膜厚の厚いFGLでは渦状磁化分布の中心の回転振動に高い発振周波数が得られること、また、膜厚が厚いため大きなアシスト磁場が得られることが明らかとなった。

第4に、ストレージは、「受動」から「コンピューティング一体化の能動」へと新たな定義のフェーズに進展している。ライフサイエンスにおけるデータ解析では、大量に生成される多様なデータから効率良く価値情報を抽出するためにコンピューティングをよりデータに近接させる概念 “Computing on Storage”が効果的であり、ビッグデータのアプリケーション側から、ストレージとコンピューティングのシステム機能を定義するアプローチにより、ライフサイエンス次世代データ解析プラットフォームとアーキテクチャを構築できた。これにより、世界のQuality of Societyに貢献する。

第5に、磁気力顕微鏡における問題点を整理し、交番磁気力顕微鏡の開発を進展させたこと、強磁性探針の問題点を整理し高感度・超常磁性探針を開発したこと、超常磁性探針を用いた永久磁石材料の直流磁場イメージングが進展したこと、および超常磁性探針を用いた磁気記録ヘッドの交流磁場イメージングを可能としたことなど、微細磁気構造の観察手法が飛躍的に発展した。

第6に、高感度磁界センサを利用して、微弱磁場印加の場合でも100mm径の欠陥を検出可能であること、差動動作するGMRセンサの適用で，30mm径の欠陥に起因する信号の検出が可能であること、今後30mm 以下の欠陥の信号検出をより確実にするためには試料表面や内部組織を反映すると思われる信号との差別化が必要であることなどが明らかになった。

第7に、$Nd_2Fe_{14}B$/RE(Nd, La)-O 磁石では界面修飾と微細化の独立な寄与により保磁力が増大すること、界面状態と交換結合について、$Nd_2Fe_{14}B$(c 面)/α-Feでは正の交換結合であるのに対し $Nd_2Fe_{14}B$(a -b面)/α-Fe では負の交換結合が発現していること、および積層型ナノコンポジット磁石膜では、不連続Mo中間層の形成により、ハード相とソフト相が安定形成され、それらの間の交換結合で一体の磁化曲線が得られることなど、今後より強力な磁石を開発する指針が得られつつある。

18－4－4、**18－4－17** および **18－4－18** は産学連携の成果である。近藤 幸一氏（(株)トーキン）および目黒 栄氏（ネオアーク(株)）は1月22日に来仙し(自費)、山口、石山ら東北大学の研究者と磁性体のEMC応用および低侵襲光磁気プローブ等について意見交換を行った。山田氏（東芝）とは、2月28日に都内でシールドバッケージへの磁性体応用について意見交換を行った。いずれも今後の産学連携に反映させることとした。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

(1) スピンおよびそのマクロな集合体である磁性体の物性、材料、応用、システム化に関する最新の知見が集積された。

(2)上記の知見に基づいて、本研究会に参画する研究者間の議論が活発化し、参加者の今後の研究推進に役立ち、新たな論文発表に繋がったこと。

(3)新しい概念、デバイス、システム等の創出が期待されること。

(4)人的ネットワークが拡充、強化され、学内外の参加者にとって有益であった。来年度は日本大学工学部（福島県郡山市）で開催し、更なる発展を目指すことにした。

(5) 不要電波の高分解能計測・解析技術を活用したノイズ抑制技術の研究開発について、今後の研究費獲得に繋がる視点を見出すことができた。

(6)大型イベント（国際会議 IEEE Intermag2023など）の実施にあたり中核的な人的ネットワークに発展する可能性がある。

（その他）

・表彰

IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter と連携して Best Student Presentation

Award 1 件を選定し、相澤拓毅氏（東北大学、**18－4－13** 小発表者）を表彰した。

・関連シンポジウム等

山口正洋，田中聡，石山和志，畠山賢介，永田真，近藤幸一，沖米田恭之，“高速スイッチング素子搭載WPT&EV給電と5G無線通信に対するノイズ低減技術”，産学官金連携フェア2019みやぎ（みやぎ産業振興機構主催）における展示・公開実験、および特別プレゼンテーションを実施した（仙台国際センター、2019年1月22日）。

［4］成果資料

（スピニクス特別研究会としての資料番号で記載）

18－4－1 薄膜磁気センサと磁場発生機構を用いた製造品のインライン検査

中居 倫夫（宮城県産業技術総合センター）

18－4－2 Rashba effect at LaAlO3/SrTiO3

永沼 博[1,2]，E. Lesne[1]，Yu Fu[3]，S. Oyarzun[3,4]，J. C. Rojas-Sánchez[1]，D. C. Vaz[1]，G. Sicoli[5]，J.-P. Attané[3]，M. Jamet[3]，E. Jacquet1，J. -M. George[1]，A. Barthélémy[1]，H. Jarès[1]，A. Fert[1]，M. Bibes[1] and L. Vila[3]（[1]CNRS/Thales，[2] 東北大，[3]Spintec CEA，[4]USACH，[5]Univ. Grenoble）

18－4－3 $Fe_{100-x}Ga_x$ 膜における磁気特性の Ga 組成(x)依存性

川辺 泰之，遠藤 恭，宮崎 孝道（東北大学）

18－4－4 粒径の異なる Fe-B 微粒子の合成と静的・動的磁気特性

方 冰川[1]，遠藤 恭[1]，宮崎 孝道[1]，島田 寛[2]，青木英恵[3]，増本 博[3]（[1] 東北大工，[2] 東栄科学産業，[3] 東北大学際研）

18－4－5【招待講演】 もったいないエネルギーを活用した小規模発電

山田 洋（仙台高等専門学校）

18－4－6 フリップチップボンディングによる高周波駆動薄膜磁界センサ

工藤 春陽[1]，植竹 弘明[2]，小野寺 英彦[3]，薮上 信[1]，早坂 淳一[2]，荒井 賢一[2]（[1] 東北大学，[2] 電磁材料研究所，[3] 東北学院大学）

18－4－7 逆磁歪効果を用いた薄膜歪センサの振動センサへの応用

曽良 大輔，久保 結人，荒井 薫，杤 修一郎，石山 和志（東北大学 電気通信研究所）

18－4－8 市販電子機器から放射される不要電波とその低減法の提案

宮澤 安範[1]，田中 聡[1]，山口 正洋[1,2]（[1] 東北大学 NICHe，[2] 東北大学 大学院工学研究科）

18－4－9【特別講演】 不要電波から移動通信の受信感度を守る新しい磁性体技術

山口 正洋[1,2]（[1] 東北大学 大学院工学研究科，[2] 東北大学 NICHe）

18－4－10【招待講演】 マイクロ波アシスト磁気記録の開発概要とスピントルク発振素子の磁気設計

田河 育也（東北工業大学 電気電子工学科）

18－4－11【招待講演】 ライフサイエンス大規模データ解析に向けたストレージプラットフォーム

田中 陽一郎（山形大学 大学院理工学研究科）

18－4－12【招待講演】 交番磁気力顕微鏡における超常磁性探針を用いた磁気イメージングの進展

齊藤 準（秋田大学）

18－4－13 小型 EV 用アキシャルギャップ型 SRM の解析精度向上に関する検討

相澤 拓毅，中村 健二（東北大学）

18－4－14 1 層毎交互巻高周波トランスを用いた洋上風力直流連系用 DC-DC コンバータに関する検討

大津 諭史，中村 健二（東北大学）

18－4－15 アウターロータ型インセット PM モータの損失低減に関する検討

櫻井 将，中村 健二（東北大学）

18－4－16 bcc Mo[001]，[011]下地上への c 軸配向 $Nd_2Fe_{14}B$ 膜の作製

土田 隆之，福島 潤，林 大和，齊藤 伸，滝澤 博胤（東北大学）

18－4－17 グラニュラ型バッファ層による CoPt-B2O3 グラニュラ媒体の粒間交換結合の低減

タム キム コング[1]，櫛引 了輔[1]，鎌田 知成[1]，斉藤 伸[2]（[1] 田中貴金属工業株式会社，[2] 東北大学）

18－4－18 強磁性窒化鉄系複合材料の作製とその磁気特性

小川 智之[1,2,3]，小林 斉也[1,3,4]，ルワンガラゲ[5]（[1] 東北大院工，[2] 東北大 RaMGI，[3] 株式会社 Future Materials，[4] 京都大学 iCeMS，[5]Univ. Ruhuna）

18－4－19【招待講演】 高感度磁気センサを利用した鋼材中の微小欠陥検出

菊池 弘昭[1]，Ralf Tschuncky[2]，Klaus Szielasko[2]（[1] 岩手大学理工学部，[2] フラウンホーファー研究所非破壊検査部門）

18－4－20【招待講演】 α-Fe/$Nd_2Fe_{14}B$ 系における界面とナノコンポジット磁石

小池 邦博[1]，大橋 一輝[1]，鈴木 拓哉[1]，稲葉 信幸[1]，齋籐 佑[2]，大久保 晋[2]，太田 仁[2]，板倉 賢[3]，加藤 宏朗[1]（[1] 山形大院理工，[2] 神戸大 MPRC，[3] 九州大院総理工）

18－4－21【招待講演】 樹脂容器に封入されたソフトフェライト粉体のマイクロ波帯比誘電率・比透磁率同軸管法評価

三浦 健司，小田桐 雄大，長田 洋（岩手大学 理工学部）

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/B04

プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成

［1］組織

研究代表者：
安藤　晃（東北大学　大学院工学研究科）
通研対応教員：
石山　和志（東北大学　電気通信研究所）
研究分担者：
佐藤岳彦（東北大学　流体科学研究所）
高橋和貴（東北大学　大学院工学研究科）
船木一幸（宇宙航空研究開発機構）
篠原俊二郎（東京農工大学）
佐藤浩之助（九州大学　総合理工学研究院）
小紫公也（東京大学大学　院新領域創成科学研究科）
高木浩一（岩手大学　工学部電気電子工学科）
吉村信次（核融合科学研究所）
永岡賢一（核融合科学研究所）
上杉喜彦（金沢大学　理工研究域電子情報学系）
津守克嘉（核融合科学研究所）
鷹尾祥典（横浜国立大学　大学院工学研究院）
佐々木浩一（北海道大学院工学研究科）
服部邦彦（日本工業大学　共通教育系）
延べ参加人数：75 人

研究費：
旅費　203,000 円

［2］研究経過

プラズマ物理学に基づいたプラズマ流の生成・制御技術は，新規ナノ材料，微細加工テクノロジー，新機能性材料開発等の分野において独創的なプロセスを実現可能であることから，半導体集積回路，太陽電池，発光ダイオード，人工ダイヤモンド合成，セラミック焼結，磁性材料等の各種薄膜作成，微細構造加工，表面改質等への応用が急展開しており，ナノテクノロジーの進展に不可欠な基盤技術となりつつある．

近年のプラズマ生成･制御技術の技術進展に伴い，その動作圧力領域は 0.1mTorr 以下の低気圧から大気圧，または超臨界状態を含む高気圧領域まで拡張され，またその動作電力も１ミリＷから１メガＷ級へと広範な領域へと拡張が進んでおり，動作時間もフェムト秒から定常状態と種々の生成制御方式の開発が進んでいる．上記の研究進展過程において，超高エネルギー密度状態であるプラズマの圧力勾配，外部電磁場や固体壁などの境界条件との相互作用に起因して発生するプラズマの流れ場がその生成・制御技術を確立する上で重要な役割を担っていることが明らかになってきた．またそのプラズマ流中には，時空間領域において微細構造から巨視的構造に至るマルチスケール構造形成が起こることが近年の研究により示唆され，これらの構造形成・制御技術を積極的に制御することで，ナノデバイス分野から核融合プラズマ，宇宙開発に至る広範な分野で新たな応用研究が開始されている．

本研究では，次世代のナノ情報デバイス創製をはじめ，宇宙技術，エネルギー技術等の他の産業応用に関連した学際的な研究交流を積極的に推進し，プラズマ流中の時空間構造形成を活用した新規反応場を開拓することを目的としている．この実現のためには，時空間構造形成の学理の理解と独創的なアイディアを研究へと盛り込むことが必要であり，プラズマ流中の構造形成の基礎と応用に関する研究会を開催する．広範な分野で活躍する研究者との交流を深めることで，プラズマ流生成制御，各種応用，ナノバイオから核融合，宇宙開発に至る研究分野間で情報交換を行い，種々の研究を展開することを目的とする．

以下，研究活動状況の概要を記す

日　時：平成 31 年 2 月 12 日(火) 13:00 -17:55
2 月 13 日(水) 9:00 – 11:40

東北大学工学研究科 電気情報系 103 講義室にて、「プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成」に関する研究会を開催した．発表題目と講演者は以下の通りであり，参加人数は延べ 100 人程度であった．

(1) 挨拶・趣旨説明
　安藤晃(東北大学)
(2)『GAMMA 10/PDX における ICRF 加熱によるイオンの磁力線方向輸送制御』
　ジャンソウォン(筑波大学)
(3)『GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験モジュールにおける非接触プラズマ生成とその上流・下流の特性』
　飯島 貴朗 (筑波大学)
(4)『非接触ダイバータ形成時における電子・イオン・中性粒子間エネルギー輸送の評価手法開発の現状』
　高橋 宏幸 (東北大学)
(5)『ストリーマ放電における振動励起分子の挙動とその応用について』
　小室淳史 (東北大学)
(6)『PANTA におけるレイノルズ応力の観測』
　稲垣 滋(九州大学)
(7)『光渦レーザー誘起蛍光法開発の現状と課題』
　吉村 信次(核融合科学研究所)
(8)『小型高周波プラズマ源を用いた実用化装置開発』
　高橋 和貴(東北大学)
(9)『パルス高電圧・大気圧放電を用いた農水利用』
　高橋 克幸(岩手大学)
(10)『大気下において放電臨界強度以下のミリ波ビーム中を進展する電離波面の物理モデル』
　中村 友祐(東京大学)
(11)『プラズマアクチュエータの高集積化・低電圧化に向けた研究』
　佐藤 慎太郎 (東北大学)
(12)『大型負イオン源と荷電粒子の流れ』
　津守 克嘉 (核融合科学研究所)
(13)『液体金属流を用いた高繰り返し高密度プラズマ生成』
　佐々木 徹 (長岡科学技術大学)
(14)『磁化プラズマ実験装置 NUMBER における高密度プラズマ生成』
　岡本 敦 (名古屋大学)
(15)『水を推進剤とした小型マイクロ波放電式イオンスラスタにおける放電不安定性の数値解析』
　鷹尾 祥典(横浜国立大学)
(16) まとめ, 総合議論
　安藤晃(東北大学)

［3］成果

（3－1）研究成果

核融合プラズマ, 実験室基礎プラズマ, 宇宙航空用電気推進機プラズマ, およびプロセスプラズマにおけるプラズマ流の生成技術と多岐にわたる構造形成, 付随する新規反応場の発現, およびその応用技術に関連する報告がなされ, 最新の研究発表と討論を行った.

筑波大学 ジャンソウォン氏からは, ミラー閉じ込め装置における ICRF 加熱時のイオンの磁力線方向輸送に注目し, ミラー閉じ込め領域内側と外側における ICRF 加熱効果を比較した結果につて報告があった. 閉じ込め領域内側の加熱では、捕捉イオンの損失機構が重要であり, ICRF 波動や AIC 波動によるイオンの損失が確認され, 今後加熱効率の向上に向けた議論が行われた.

筑波大学 飯島貴朗氏からは, 大電力直線プラズマ装置を用いた非接触プラズマ生成に関する実験結果の報告があった. 非接触プラズマは, 核融合ダイバータにおける熱負荷低減に関する重要な技術の一つであり, GAMMA 10/PDX を用いた高粒子束における非接触プラズマの生成と磁力線に対して上流・下流でのプローブ及び分光計測の結果に基づいた議論が行われた.

東北大学 高橋宏幸氏からは, 核融合炉ダイバータの非接触化過程において電子−イオン−中性粒子間で授受されるエネルギーの定量的評価手法に関する報告があった. イオンセンシティブプローブ(ISP)を高周波プラズマ源 DT-ALPHA に整備し, その妥当性や RF プラズマ源への適用について, ドップラー分光との比較により検証した結果について示され, 電子・イオン・中性粒子間エネルギーフロー評価の現状とその課題について議論を行った.

東北大学 小室淳史氏からは, 大気圧ストリーマ放電のシミュレーションをもとに振動励起分子の物理・化学的挙動を示したのちに、その応用技術につい照会が行われた.

九州大学 稲垣滋氏からは, 直線磁化プラズマ装置にて観測された軸方向イオン流の形成に関して報告があった. この軸方向流は周辺で向きが反転するという特徴があり, 乱流レイノルズ応力を観測した結果に関して報告され, 軸方向イオン流形成機構について議論が行われた.

核融合科学研究所 吉村信次氏からは, 近年様々な分野で注目されている光渦レーザーを用いた新しいプラズマ流れ計測の開発に関して報告があった. これまでの光渦レーザー吸収分光法を光渦レーザー誘起蛍光 (LIF) 法へと発展させることで, シングルパスでの吸収が観測できないようなイオンに対しても流れを計測できる可能性がある. 九州大学の HYPER-II 装置を用いて行った初期実験の結果について報告があり, その応用に関して議論が行われた.

東北大学 高橋和貴氏からは, 小型高周波プラズマ

源を用いた実用化装置開発に関する現状が報告された.特に,小型周波数可変の高周波電源開発状況と,それを用いたプラズマ生成・制御技術に関する報告があり,ミニマルファブへの適用と実用化に関する報告,および電気推進技術への応用に関して報告があった.

岩手大学　高橋 克幸氏からは,高電圧パルスパワーによって発生した高電界および,大気圧放電中で生成される種々の化学的活性種を利用した農水産業への応用研究の報告があった.特に,土壌・水の放電処理による植物栽培環境の制御,収穫した青果物の保管・輸送雰囲気の放電処理による鮮度保持や,食品の加工現場における電界処理による生産性改善などについての応用が紹介された.

東京大学中村 友祐氏からは,大気中に照射したミリ波ビーム中に生じる電離波面が,ビームの入射方向へと進展していく現象に関して,輻射により電離波面前面に輸送された励起中性粒子が電離波面を駆動する新しいモデルが提唱され,一次元数値計算による進展模擬に関する結果の報告があった.この結果,クエンチング等による脱励起の影響が十分小さければこのモデルによって実験と同じオーダーの速度での進展が模擬できることが明らかになった.

東北大学　佐藤 慎太郎 氏からは,能動的気流制御デバイスであるプラズマアクチュエータに関する報告があった.現在のプラズマアクチュエータの性能では 30 m/s を越える高速気流中での制御効果が小さいことに加え,大重量の高電圧装置が必要になるため航空機への搭載が困難になることが課題であり,高電圧電源を必要としないプラズマアクチュエータの提案がされた.ここでは,誘電体表面の電荷の挙動に着目し,イオン風の生成に適した電極配置や印加電圧波形を数値シミュレーションによって検討し,実証実験を行った結果について議論が行われた.

核融合科学研究所　津守克嘉氏からは,NBI 用大型水素/重水素負イオン源に関する報告があった.負イオン源内プラズマの多角的計測の結果,引出領域ではほぼ正イオンと負イオンのみの負イオンプラズマが形成されており,このようなプラズマから負イオンを引き出す場合,放電領域から電子が拡散してくる複雑な粒子ダイナミクスが起こる.NBI 用大型負イオン源の概要と引出領域で起こる物理現象に関して,実験結果を中心とした紹介があった.

長岡科学技術大学 佐々木 徹氏からは,直径100um 以下のノズルを利用して液体金属流を制御することで,細線様液体金属を形成し,パルスパワー技術による超高密度プラズマ状態の生成に関する報告があった.流体解析と実験による金属形状の観測結果を中心に紹介があり,局所高圧場発生や光源応用としての可能性に関して議論を行った.

名古屋大学岡本 敦氏からは,核融合ダイバータプラズマ研究および高エネルギーイオン研究を目的として,電子サイクロトロン共鳴により生成されたプラズマを最大 0.3T の試験領域へ拡散させる新型実験装置に関する紹介があった.磁気ミラー中のバウンス運動により電離の効率が上昇し高密度プラズマ生成に至ることが示され,その物理機構に関して議論が行われた.

横浜国立大学鷹尾 祥典氏からは,水を推進剤とした小型マイクロ波放電式イオンスラスタの研究開発に関して報告があった.特に,水プラズマにおける支配的な正イオンと負イオンを考慮したプラズマ源の 3 次元粒子計算モデル (PIC/MCC) に関して紹介があり,負イオン起因と考えられるプラズマの不安定性に関する結果が示され,その物理機構と推進機性能に関して議論が行われた.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献

多岐にわたる産業応用が展開されているプラズマ流に関する研究成果が報告され、討論が行われた.新規プラズマ流応用に関する研究から,宇宙開発・核融合研究など継続して研究を推進する必要がある分野にとってもプラズマ流物理の基礎過程の理解は重要である.様々な実験装置でプラズマの流れ場が形成され、定常状態から不安定状態を包括する構造形成の発現に加えて,構造の能動制御まで研究を拡張することで,工学応用が可能となる.本研究会では,これらの時空間構造形成と複雑な挙動・加速・加熱・計測手法などについて議論や情報交換を行い,その理解を進めることが出来た.プラズマ流が関与する反応場形成と制御法,その応用展開についても紹介があったことで,多くの可能性を創出しつつある点は本研究プロジェクトの大きな成果である.本研究会活動は,プラズマ流構造形成に関与する新規反応場の基礎研究および応用分野が発展・理解につながることが期待される.

［４］成果資料

1-K. Takahashi, Y. Takao, and A. Ando, Applied Physics Letters, **113**, 034101 (2018).
2-K.Takahashi, T. Sugawara, H. Akahoshi, Y. Takao, and Akira Ando, AIP Advances, **8**, 105117 (2018).
3-K. Takahashi, C. Charles, R.W. Boswell, and A. Ando, Scientific Reports, **8**, 14417 (2018).
4-A. Ando and K. Takahashi, J. Plasma Fusion Res. **94**, 76 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/B05

固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用

［1］組織

代表者：松倉　文礼
（東北大学
国際集積エレクトロニクス研究開発センター）
対応者：金井　駿
（東北大学　電気通信研究所）
分担者：
家田 淳一（日本原子力研究開発機構）
大江 純一郎（東邦大学）
齊藤 英治（東北大学）
鈴木 義茂（大阪大学）
相馬 清吾（東北大学）
高梨 弘毅（東北大学）
多々良 源（理化学研究所）
仲谷 栄伸（電気通信大学）
新田 淳作（東北大学）
林 将光（東京大学）
水上 成美（東北大学）
飯浜 賢志（東北大学）
宗片 比呂夫（東京工業大学）

延べ参加人数：15 人

研究費：
旅費　148,000 円

［2］研究経過

固体中のスピン・ダイナミクスの理解を深め、それを利用した素子の実用化に対する指針を明らかにすべく活発に議論を行っている。

スピン・ダイナミクスは様々な手法で誘起・制御・検出可能である。従来の磁気的な手法だけではなく、電気的、熱的、機械的手法を駆使したスピン・ダイナミクスの研究が進められている。対象となる材料も、絶縁体、半導体、金属と多彩である。スピン・ダイナミクスを幅広い周波数で動作する素子に応用するための研究を加速するためには、その物理を明らかにすることが重要である。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。多角的視点から最新の研究内容を議論すべく、実験・理論に携わる理学者・工学者で研究体制を構築した。

研究会を2019年2月1日に東北大学工学研究科で開催した。講演者と講演題目は、

1. 飯浜賢志（東北大学）
「強磁性/非磁性/強磁性構造における超高速スピン輸送を用いた全光学的磁化反転」
2. 森田　健（千葉大学）
「半導体量子井戸における拡散電子スピン時空間ダイナミクス」
3. 宗片比呂夫（東京工業大学）
「室温純粋円偏光発光ダイオードのメカニズム仮説を中心に」
4. 多々良源（理化学研究所）
「Spintronics without spin current」
5. 小山知弘（東京大学）
「磁壁ダイナミクスの電界制御」
6. 山根結太（理化学研究所）
「Noncollinear 反強磁性体におけるスピン流誘起磁化ダイナミクス」
7. 国橋要司(NTT 物性基礎研究所)
「GaAs 量子井戸中におけるドリフトスピンダイナミクス」
8. 石原　淳（東京理科大学）
「半導体量子井戸における高移動度二次元電子のスピンダイナミクス」

であり、基礎物理から応用までを網羅した幅広い話題に対して活発に議論が行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

電気的手法、光学的手法、熱的手法によるスピン流及びスピン・ダイナミクスの励起と検出について活発に議論した。金属磁性体に対しては、全光学的磁化反転における格子−4f 電子スピン間の相互作用の寄与について議論した。また、磁界誘起磁壁移動速度がジャロシンスキー守谷相互作用の変調を介して電界印加によって制御できることが示された。半導体ヘテロ構造に対しては、量子井戸中に光学的に励起したスピンの時空間分解測定から電子スピン・ダイナミクスへのスピン−軌道相互作用の影響が明らかにされた。また、半導体発光ダイオードで観測される発光において高い円偏向度をもたらす機構を説明するためのモデルが提案された。理論的には、ノンコリア反強磁性体中の磁化に対する運動方程式が導出され、シミュレーションと一致する電流誘起磁壁移動速度の解析解が得られることが示された。また、非保存量であるスピン流を用いない理論の定式化がなされ、既存の理論で用いられていたスピン流とはスピン揺らぎによる強磁性磁化率に対応するものであることが示された。実験・理論双方の分野の観点から最新の研究について活発な議論が交わされ、研究展望を共有した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

スピン・ダイナミクスに関連する様々な新規現象の理解、それを効率良く利用できる材料・構造の作製指針、素子の設計指針、その応用に向けた戦略が得られることが期待される。世界的に急速に進展し熾烈な競争が行われている研究分野であるため、本共同プロジェクトの研究会により最新の研究動向を把握・理解することで研究の加速を図り、日本の優位性を維持する。

［4］成果資料

（1）H. Sato, P. Chureemart, F. Matsukura, R. W. Chantrell, H. Ohno, and R. F. L. Evans, ″Temperature-dependent properties of CoFeB/MgO thin films: Experiments versus simulations,″ Phys. Rev. B **98**, 214428 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端・大型)

採択番号：H30/B06

光の空間モードに関する研究開発

［1］組織

研究代表者：
浜本　貴一(九州大学大学院総合理工学研究院)
通研対応教員：
吉田　真人（東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
姜　海松（九州大学大学院総合理工学研究院)
Hong Binzou（九州大学大学院総合理工学府)
Ryan Imansyha（九州大学大学院総合理工学府)
Sampad Gosh（九州大学大学院総合理工学府)
Mahmoud Nasef（九州大学大学院総合理工学府)
藤本　勘太郎（九州大学大学院総合理工学府)
森　智隆（九州大学大学院総合理工学府)
小川　慧（九州大学大学院総合理工学府)
栗畑　亮太（九州大学大学院総合理工学府)

延べ参加人数：１１人

研究費：
旅費　198,000 円

［2］研究経過

本共同研究は、光の最後の情報資源と言われる空間モードに関する東北大学の光通信システムに関わる研究成果と九州大学のデバイスに関わる研究成果について討議を進め、将来の“空間モード学”ともいうべき新しい学術領域を切り開くことを目的とし、本共同研究の進展に基づき、科研費「新学術領域」への応募を目指すものである。

本プロジェクトは，本年度が第一年度で、以下のような成果報告会を行った。

会期　2 月 21 日（木）-22(金)
場所　東北大電気通信研究所

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は,上記日程にて平成 30 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会を開催した。テーマ名は以下の通りである。

「超高帯域通信のための次世代システムの創生に関する研究　ー光の空間モードに関する研究開発ー」

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、東北大電気通信研究所で行われている高速通信システムに関する研究開発状況、並びに九州大学総合理工学研究院にて行われているモード多重光デバイスに関する研究内容についての理解が深まり、また、意見交換を進めることができた。

［4］成果資料

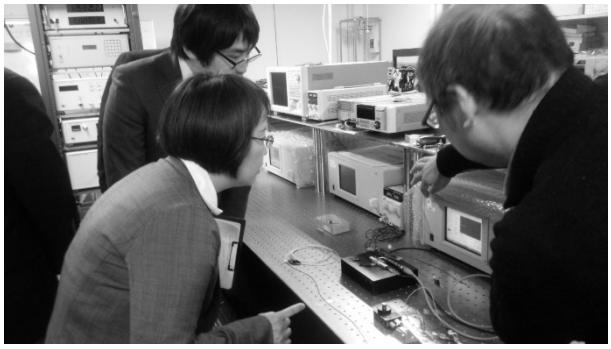
（1）研究会プログラム

以下のプログラムにて研究会を実施した。

・モード多重光ファイバ伝送の再検討　國分泰雄
・アクティブ MMI レーザによる 40 GHz 直接変調帯域幅の超高速空間モード選択光源　洪　秉宙
・注入同期法を用いた大容量デジタルコヒーレント光伝送　管　貴志
・3M 技術を用いた 10 ペタビット伝送　釣谷剛宏
・光ナイキストパルスを用いた単一チャネル 10 Tbps 級超高速伝送　廣岡俊彦
・スラブ導波路を用いた位相制御型単一次元空間モード合分波器　姜　海松
・モード学としての発展に向けて　ー新たなモード基底、新たな展開ー　浜本　貴一
・空間単一次元光モードスイッチ　小川　慧
・マルチコアファイバを用いた空間多重超多値 QAM コヒーレント光伝送　吉田真人

（2）研究室見学会

研究会終了後、東北大学電気通信研究所内の見学会を実施した。



見学会実施の様子

特に高速信号伝送時の注意点などについて活発な意見交換がなされた。

（3）ランチョンミーティング

研究会並びに見学会実施後、ランチョンミーティングを実施し、今後の共同研究の方針について議論した。今回実施した研究会が有意義であったこと、将来的にモード多重伝送での共同研究 Pj の獲得等が議論された。



ランチョンミーティング

本共同研究Pjにより合同研究会を実施した結果、将来の大型 Pj 実施に向けた検討を進める方向となった。空間モードに関する新しい研究開発の進展が期待される。

以上

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(国際)

採択番号：H30/B07

酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用

［1］組織

研究代表者：
廣瀬　文彦（山形大学大学院理工学研究科）
通研対応教員：
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
Patrik Schmuki（University of Erlangen -Nuremberg）
Richard Rosenberg(アルゴンヌ国立研)
庭野　道夫　（東北福祉大学感性科学研）
水柿　義直　（電気通信大学情報理工学研究科）
守屋　雅隆　（電気通信大学情報理工学研究科）
手老　龍吾　（豊橋技科大学環境・生命工学系）
戸澤　譲　　（埼玉大学理工学研究科）
木村　康男（東京工科大学コンピュータサイエンス学部）
立間　徹　（東京大学生産技術研究所）
益田　秀樹（首都大学東京大学院都市環境科学研究科）
安田　哲二（産業技術総合研究所）
鹿又　建作　（山形大学大学院有機システム研究科）
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
馬　騰（東北大学・材料科学高等研究所）

延べ参加人数：60 人

研究費：

旅費	295,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

金属酸化物は、薄膜トランジスタのみならず、光触媒、絶縁膜、センサーデバイス、太陽電池、水素製造のフォト電極、フレキシブルエレクトロニクスに活用される。また、近年では分子の吸着による酸化物薄膜の導電率変調を利用した医療用バイオセンサとしての研究も進められている。

これらを実現するためには，酸化物をナノレベルで形状を制御して積層することが重要である。そのため、ナノ薄膜形成、陽極酸化による自己組織化による多孔質構造形成、Si テクノロジーとの融合による集積化が必要である。本研究では，酸化物半導体によるナノ構造体を利用した電子デバイスを構築する基盤技術を開発するために、電子デバイス、ナノテクノロジー、表面科学、触媒、電気化学といった幅広い分野の研究者が協力して酸化物表面制御技術やナノ構造制御技術のデバイス化に向けた技術目標や戦略目標を討論することを目的とした。

本プロジェクトでは，ナノテクノロジー、電子デバイス，光電気化学、医工学の幅広い分野の研究者間の意見交換及び交流を目的としたシンポジウムを開催した。以下に，そのシンポジウムのプログラムを付記する。

10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-10)
主催：東北大学 電気通信研究所
共催：Nano-Spin Engineering Seminar,Cooperative Research Projects, Information Biotronics Seminar
協賛：JST-CREST「超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成」
日時：2019 年 3 月 6 日（水）13:00～17:30、3 月 7 日（金）9:00～11:50
会場：東北大学 電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設 4 階カンファレンスルーム

２日間の参加者数（のべ）５６名、うち外国人参加者数１７名
全講演数１４件、うち招待講演数５件（内訳：海外３件、国内２件）

3/6 開催
1)13:05 ~ 13:50　Multi-pore resistive pulse sensing of microRNA
Maurits de Planque
(School of Electronics and Computer Science & Institute for Life Sciences, University of Southampton,

Southampton, United Kingdom)

2)13:50 ~ 14:20 Patterned lipid bilayer combined with a nanometric gap structure as a versatile model of the biological membrane
Kenichi Morigaki1,2
(1Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan, 2Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan)

3)14:20 ~ 14:50 Impedance mapping of a cultured cell layer for spatiotemporal analysis of its barrier function
Ko-ichiro Miyamoto1, Daisuke Suzuki2, Carl Frederik Werner1, and Tatsuo Yoshinobu1,2
(1Department of Electronic Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, 2Department of Biomedical Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan)

4)14:50 ~ 15:20 Stable lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips as a platform for novel biosensors
Ayumi Hirano-Iwata1,2, Daichi Yamaura2, Takafumi Deguchi2, Miki Kato2, Xingyao Feng2, Daisuke Tadaki2, Teng Ma1, Hideaki Yamamoto1, and Michio Niwano3
(1Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, 2Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, 3Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)

(Chair: Patrik Schmuki)
5)15:40 ~ 16:10 Less-defect colloidal quantum dots: synthesis, optical properties and application in optoelectronic devices
F. Liu1, Y. Zhang1, C. Ding1, S. Hayase2, T. Toyoda1, and Qing Shen1
(1Faculty of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo, Japan, 2Faculty of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan)

6)16:10 ~ 16:40 Dewetting of metal thin films on semiconductor surfaces: steering dewetting phenomena to design nanoscaled platforms for photocatalysis
Marco Altomare
(Department of Materials Science and Engineering, University of Erlangen-Nuremberg, Martensstraße 7, D-91058 Erlangen, Germany)

7)16:40 ~ 17:00 Back-contact structure for highly efficient perovskite solar cells
Teng Ma1, Daisuke Tadaki2, Michio Niwano3, and Ayumi Hirano-Iwata1,2
(1Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, 2Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, 3Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)

3/7 開催
(Chair: Ryugo Tero)
8)9:00 ~ 9:45 Self-organized TiO_2 nanotube arrays : photoelectrochemical and photocatalytic applications
Patrik Schmuki
(Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Martensstraße 7, 91058 Erlangen, Germany)

9)9:45 ~ 10:05 Room temperature atomic layer deposition and its application to gas barrier coating
Fumihiko Hirose, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Arima, S. Kubota
(Yamagata University, Yonezawa, Japan)

10)10:05 ~ 10:35 Single-electron devices fabricated using percolative connections of gold nanoparticles
Yoshinao Mizugaki1, Masataka Moriya1, Hiroshi Shimada1, Kazuhiko Matsumoto1, Makoto Moribayashi1, Tomoki Yagai1, Ayumi Hirano-Iwata2, and Fumihiko Hirose3
(1The University of Electro-Communications, Chofu, Japan, 2Tohoku University, Sendai, Japan, 3Yamagata University, Yonezawa, Japan)

(Chair: Maurits de Planque)
11）10:50 ~ 11:20 Cell-free translation system: a tool for producing proteinous nanomachines
Yuzuru Tozawa and Haruka Inoue
(Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, Saitama, Japan)

12)11:20 ~ 11:50 Domain formation and lateral diffusion in lipid bilayer membranes on graphene oxide
Ryugo Tero, Yoshi Hagiwara, Kiyoshi Tsuzumi
(Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)

13)11:50 ~ 12:10 Microdomain formation in bilayer membrane consisting of completely miscible lipids
Melvin Wei Shern Goh1, Ayumi Hirano-Iwata2, Michio

Niwano3, Ryugo Tero1
(1Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, 2Tohoku University, Sendai, Japan, 3Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)

14)12:10～12:30　Self-assembly of lipid membranes doped with organic molecules
Xingyao Feng1, Teng Ma2, Takafumi Deguchi1, Ayumi Hirano Iwata1,2
(1Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, 2Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)

本プロジェクトに関連して、国内一般公演を中心とした研究会であるが、電子情報通信学会電子デバイス研究会を山形大学工学部で次のとおり開催した。

電子情報通信学会電子デバイス研究会
2019年4月19日(木)－4月20日(金)
主催　電子情報通信学会　電子デバイス研究会
協賛：JST-CREST「超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成」
参加人数：約40名

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは、酸化物表面の機能修飾による新機構の発現を中心に議論がおこなわれた。とくに国際シンポジウムにおいては、脂質二分子膜を用いたセンシングやDNA検知をテーマにした内容が多かったが、単電子トランジスタ、光触媒による水素製造、量子ドット、ガスバリア技術が検討され、この技術テーマのスペクトルが非常に広範にわたることが明らかになった。

ナノ薄膜形成として山形大学で進めている室温原子層堆積によるナノ酸化物コーティングでは、水蒸気のガスバリアコートの可能性が示され、特にフレキシブルエレクトロニクスへの応用が期待されることが分かった。

特別支援（国際）に関わる研究成果としては、ドイツエアランゲン大のP. Schmuki教授グループとの交流ディスカッションが活発に行なわれ、酸化チタンナノチューブ型マイクロバブル発生装置とその物理機構の研究において、進展が見られた。脂質二分子膜のイオンチャネル評価技術においても共同研究を本成果に基づき計画中である。

（3－2）波及効果と発展性

研究討論を通じて明らかになった、金属酸化物コーティングによるガスバリア技術では、有機エレクトロニクスの高耐久化や、量子蛍光体の高輝度化に寄与するものと考えられる。

脂質二分子膜を用いたデバイスでは、Siチップにドーピングされたなる脂質二分子膜を組み込むことで、可視光センサとなる例が報告され、同デバイスは可視光で制御されイオンポンプとして医療や細胞診断に活用できる可能性がでてきた。

引き続き同研究分野の討論を展開し、大型チーム型プロジェクトへの展開を目指したい。

［4］成果資料

国際ワークショップ資料

Symposium abstracts; 10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

ジャーナル論文

1)Kensaku Kanomata, Takafumi Deguchi, Teng Ma, Takumi Haseyama, Masanori Miura, Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, Fumihiko Hirose, "Photomodulation of electrical conductivity of a PCBM-doped free-standing lipid bilayer in buffer solution", Journal of Electroanalytical chemistry Volume 832, 1 January 2019, Pages 55-58.

2)Kazuki Yoshida, Kentaro Saito, Masanori Miura, Kensaku Kanomata, Fumihiko Hirose, "Surface reaction kinetics of room temperature atomic layer deposition of ZnO observed by in-situ IR absorption spectroscopy",Journal of Vaccum Science Technol., A 37, 020922 (2019)

3)Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Ken-ichi Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, Ryusuke Miyata, Hideaki Yamamoto, Ryugo Tero, Toshio Ogino, Michio Niwano and Ayumi Hirano-Iwata,“Amphiphobic septa enhance the mechanical stability of free-standing bilayer lipid membranes”, Langmuir. Vol.34, No. 19 pp.5615-5622, 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/B08

集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立

［1］組織

研究代表者：
伊藤　雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）
通研対応教員：
高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
藤原　健　（大阪経済大学人間科学部）
坂本　大介（北海道大学大学院情報科学研究科）
吉田　成朗（東京大学大学院情報理工学系研究科 ）
竹川　佳成（公立はこだて未来大学システム情報科学部）
長谷川　晶一（東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所）
杉浦　裕太（慶應義塾大学理工学部）

延べ参加人数：９人

研究費：
旅費　249,000 円

［2］研究経過

本研究では，新たなコンテンツやイノベーション創出において，集団で議論することの重要性が広く認識されるようになってきている昨今，その生産性向上のための，生産性取得に対する情報工学的アプローチと，社会心理学的検証手法の確立について議論する．具体的には，センサやカメラ，3 次元トラッキング技術や新たなデバイス実装といった情報工学知見を駆使して集団のコミュニケーション特徴を取得し，評価することで，知的生産性モデルを確立し，実際の社会心理額実験を通じたモデルの検証およびその利用を目指す．そのための要素としては，議論の深化・活性化を表す集合的なコミュニケーション特徴の議論と，これをコミュニケーションに影響を与えることなく環境に応じてセンシングする手法を開発，さらに，社会心理学実験の実施手法の確立と，実験を通じ得られたコミュニケーション特徴量と集団の知的生産性の関連についての議論，得られた手法のモデル化の実施と，実際のコミュニケーション場への適用に関する議論などが挙げられる．特に，本研究は，社会心理学と情報科学との連携を密接に図る必要がある．本研究では，関連分野で活躍する若手による研究会を開催し，それぞれの分野の強みや課題，さらにはこれら分野を超え，ロボット工学や人文学，デザイン学といった多種多様な分野を俯瞰して束ね，新たな知見を得ること，さらには要素技術を体系化することで今後の研究構想を練ることとする．

プロジェクトは，本年度が初年度であり，探索的な議論を目的として２回の研究会を実施した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

１．一回目研究会

日時： 平成 30 年 12 月 18 日～20 日

参加者：
伊藤　雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）
藤原　健　（大阪経済大学人間科学部）
坂本　大介（北海道大学大学院情報科学研究科）
杉浦　裕太（慶應義塾大学理工学部）
東北大学　高嶋 和毅，藤田　和之

東北大学北村研究室から学生数名がデモで参加
藤原，坂本，杉浦はビデオ参加．

内容と議論：

本研究の目標である集団の知的生産性の向上のために，知的生産性の取得という側面と，それを踏まえた知的生産性向上手法の確立の２つが重要である．そこで本研究会では，各々が持つ本研究課題に関連

するハードウェア実装技術，ソフトウェア実装技術並びに最新の研究動向などを紹介してもらった．その後，その発表を元に，それぞれの分野で議論されている課題や，分野横断的アプローチについて総合的に議論した．2 日目も継続して議論を実施した．

北村研究室からはこれまでの研究成果をデモ形式で参加者に発表した．研究会を通して発散的な議論にはなったが，貴重な情報をお互いに交換することができ充実した場とすることができた．次回，第二回目へ向けた議題などをまとめて研究会は終了した．

２．二回目研究会

日時： 平成 31 年 2 月 25 日～27 日

参加者：

伊藤　雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）

藤原　健　（大阪経済大学人間科学部）

坂本　大介（北海道大学大学院情報科学研究科）

東北大学　高嶋 和毅，藤田　和之

藤原，坂本はビデオ参加．

なお 2 日目に電気通信研究所共同プロジェクト「未来オフィス空間とインタラクション」と合同研究会を実施

内容と議論：

第一回に引き続き，研究プロジェクトを立ち上げるにあたり，どのような学術的な意義があるのか，どのようにサブテーマを決め，どのようなアプローチを取るのかについて議論を行った．さらに 2 日目には電気通信研究所共同プロジェクト「未来オフィス空間とインタラクション」が実施した研究会に参加し，本課題代表の伊藤が「未来のオフィスと無意識コンピューティング」の題目で講演を行うとともに他の参加者との意見交換を行った（図１）．知的生産性が実施される場は基本的にはオフィスであると考えられ，その支援についてはオフィスを情報技術により高機能化することが必須であり，それは即ち「未来オフィス」へとつながることと他ならない．また，合同研究会では，参加者がオフィス家具業界から電力ベンチャーなど多岐に渡ったことから，我々アカデミアに留まらない，幅広い視座を獲得できたとともに，人脈交流という点においても次につながる成果を得た．



図１．未来オフィス空間とインタラクション研究会の様子

［３］成果

（３－１）研究成果

研究期間中に 2 回の研究会を開催することができた．参加した研究者はいずれも特に HCI 業界において若手トップランナーばかりであり，多忙ということもあって全員参加は困難であったが，メンバー間の研究に対するビジョン，スキルなどを共有するとともに「知的生産性の取得・評価と工場主法の確立」が今後の本邦の科学技術の発展にはなくてはならない技術であることを確信するに至った．特に，社会心理学の分野においては，情報技術の導入はまだまだ遅れており，心理実験においても実験開始から終了までの全体を通したアンケート評価や，参加者の状態取得がほとんどで，情報科学のメンバーが得意とするセンサによるリアルタイム状況解析や，様々なディスプレイデバイスによる被験者への情報提示やその行動変容などで，大きく貢献できる可能性があることが示唆された．これは我々のチームが分野横断型のアプローチを採っているからに他ならず，大きな強みと言えることを確認でき，大きな成果と言える．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

(3-1)でも述べた通り，本プロジェクトは社会心理学と情報科学という二つの分野において，分野横断的アプローチを採り，人の知的生産性をどのように評価し，どのように向上できるかという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつけようとするものである．また，参加者は HCI 業界における若手トップランナーであり，このメンバーによって共同研究プロジェクトを実際に立ち上げ，本邦の発展に寄与することを検討している．そのため，本プロジェクトを来年度も継続し，具体的な共同研究を開始させるまで検討を続けたいと考えている．

［４］成果資料

なし

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：H30/B09

動物の心理・行動分析のためのビッグデータ収集に関する研究

［1］組織

研究代表者

唐山　英明（富山県立大学工学部電子・情報工学科）

通研対応教員

北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

塚原　直樹（CrowLab，宇都宮大学）

永田　健（CrowLab）

末田　航（シンガポール国立大学）

山本　和司（富山県立大学大学院工学研究科情報システム工学専攻）

木下　史也（富山県立大学工学部電子・情報工学科）

高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：8 人

研究費

旅費　243,000 円

［2］研究経過

本研究課題「動物の心理・行動分析のためのビッグデータ収集に関する研究」では，イヌやネコなどのコンパニオンアニマルの行動情報や生体情報から，その個体の心理状態を推定する技術の開発を行うことを目指している．

特に，近年盛んに研究されている機械学習技術を用いることによって動物の心理状態の推定を実現することを目指しているが，そのためには膨大なデータ収集が必要である．そこで，動物の行動・生体ビッグデータを収集する仕組みを検討することを本年の目標とした．

本プロジェクトは，本年度が 1 年目であり，東北大学電気通信研究所における会議（2019 年 11 月，参加人数 6 名，うち富山県立大学 1 名）を開催した．会議においては，計画通り，対象とする動物の検討・決定，対象とする動物心理データの検討・決定などであった．

また，将来的にデータ収集ができたことを想定し，いわゆる深層学習アルゴリズムによる動物感情の推定を目指して，まずはヒトの顔画像からの感情推定の問題に取り組んだ．2019 年 2 月には，東北大学電気通信研究所において，ポスター形式による成果発表を行った．（なお，このポスター発表においては，研究代表者に代わり，東北大学電気通信研究所の組織メンバーが対応を行った．）

［3］成果

（3－1）研究成果 1

対象とする動物の検討においては、特に、イヌやネコなどのコンパニオンアニマルとすることに決定した．例えばイヌの場合、犬種により得られるデータに特徴がある可能性があり、そのような犬種の検討の必要性についても議論を行った．対象とする動物心理データの検討においては、特に、音声（鳴き声）データからの感情の推定について議論を行った．対象とする動物行動データの検討においては，動物の姿勢の情報から感情のラベリングを行う可能性について議論を行った．データの収集方法の検討については，インターネットからの情報収集がある程度可能であることについて意識合わせを行った．

（3－1）研究成果 2

また一方で，ヒトの顔画像からの表情認識においては，深層学習アルゴリズムを適用して，ヒトの感情を推定する問題に取り組んだ．これは，将来的に動物感情の推定にも役立つと考えられたためであり，結果として，ヒトの 5 つの感情推定が約 40%の精度で可能であった（図 1，チャンスレベル 20%）．現状では推定精度が低く，今後の研究において改善することが必要である．

このような解析においては，入力層，畳み込み層，全結合層，出力層を含む，いわゆる畳み込みニューラルネットワークを使用した．

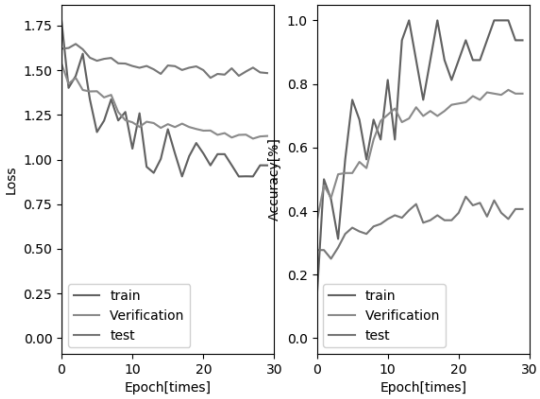


図１　ヒト顔画像からの５つの感情の推定結果

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究のような、動物を対象としたビッグデータの収集と解析に関する研究は、まだこれから開拓されるべき研究分野である.

本年度の研究成果は，主に対象とする動物，対象とするデータ, データの収集方法の決定であったが, 今後の研究によってより具体的なシステム開発へつなげていくことが必要である.

［４］成果資料

2019 年 3 月現在，特になし

採択回数　(1)　2　3
(国際)

採択番号：H30/B10

音空間知覚の理解と立体音響技術の高度化に関する研究

［1］組織

研究代表者：
大谷　真（京都大学　大学院工学研究科）
通研対応教員：
鈴木　陽一（東北大学　電気通信研究所）
研究分担者：
Brian Katz（ソルボンヌ大学，フランス）
平原　達也（富山県立大学　工学部）
寺本　渉　（熊本大学　文学部）
小林　まおり（北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科）

延べ参加人数：15 人

研究費：

旅費	240,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

音声や音楽といった音を介した人と人，機械，環境の間のコミュニケーションにおいて，聴覚により取得される空間情報は重要な役割を果たしている。音を介した円滑なコミュニケーションに基づいた快適な生活環境を実現するためには，空間としての音場が聴覚知覚へ与える影響の科学的理解と，その理解に基づいた音場の空間的挙動の予測，計測，制御を含む立体音響技術の高度化が必須である。音空間の知覚及びその応用に関する議論は主に聴覚科学，音響学，音響工学の範疇で取り組まれているものの，一方で，このような技術をコミュニケーションや生活の質の向上につなげていくためには，脳科学，心理学，信号処理といった広範囲な学術分野，さらには他の感覚との統合，相互作用といった多感覚情報処理の観点からの学際的な議論を進める必要があり，細分化された研究分野間の垣根を取り払った幅広い議論と意見交換を行うことが不可欠である。

本プロジェクトでは，音空間知覚と立体音響技術に関わる様々な分野の研究者が集い，幅広い議論を行う研究会を開催した。研究会は，2018 年 10 月に東北大学電気通信研究所にて開催される Tohoku Universal Acoustical Communication Month 2018（UAC2018）を機会として関連する広範な分野の研究者が集うことから，その機会をとらえ，音空間知覚及びその応用に関心のある研究者が集うワークショップ型の研究会として開催した。

本プロジェクトで開催した研究会では、国内外の著名な研究者６名による招待講演を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

・研究会の開催
日時：2018 年 10 月 30 日
場所：東北大学電気通信研究所本館大会議室
参加者： 15 名
発表件数： 6 件

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトにより開催された研究会では，音空間知覚と立体音響技術の分野における国内外の最先端研究者による招待講演が実施され，参加者間で情報共有と活発な意見交換が行われた。招待講演者及び参加者は聴覚心理学，情報科学，音響工学，建築音響学といった分野からの研究者であり，研究分野の垣根を超えた幅広い議論を行うことができた．また，これらの成果は国内外における同分野の発展、特に国際的及び学際的な連携の礎となるものと期待される．

研究成果（特別支援）

特別支援分の研究費により，建築空間における音空間知覚及び立体音響技術の研究で著名な Tapio Lokki 博士（School of Science, Aalto University）を 2018 年 10 月 19 日～10 月 31 日の期間で仙台に招聘した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献な

ど

本プロジェクトにより実施した研究会では，音空間知覚と立体音響技術分野における世界的に著名な研究者が最新の研究成果の発表を行い、幅広い議論を行った。本プロジェクトで実現された国内外の研究者による分野の垣根を超えた学術交流が、同分野における新たな研究領域の開拓に結び付き、発展していくことが期待される。

また、本研究会での講演に付随して提出され参加者向けに公開されたプロシーディング論文は，UAC2018 のシンポジウム及び付随するワークショップのプロシーディングとともに、音響学分野の国際学術誌である Acoustical Science and Technology の UAC2018 特集号への投稿論文として、AST 誌の編集委員会による査読プロセスを経たのちに来年度発行される予定である。

［4］成果資料

[1] T. Lokki, “Objective analysis of the dynamic responsiveness of concert halls,” presented in Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku UAC Month 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

[2] S. Kim, “Do we hear differently? Comparison spatial hearing between East-Asian and North-American listeners,” presented in Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku UAC Month 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

[3] T. Kamekawa, “Evaluation of recording technique for 3D audio recordings,” presented in Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku UAC Month 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

[4] J. Trevino, “Revisiting the theory of auditory displays based on the virtual sphere model,” presented in Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku UAC Month 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

[5] J. Li, “Binaural rendering technology over loudspeakers and headphones,” presented in Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku UAC Month 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

[6] M. Otani, “Higher-order-Ambisonics-based binaural synthesis for reproduction and auralization of sound field,” presented in Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku UAC Month 2018, Sendai, Japan, 2018.10.

採択回数 (1) 2 3
(萌芽・国際)

採択番号：H30/B11

Creating Smart and Informative Society for the Elderly

［1］組織

研究代表者：
Thippaya CHINTAKOVID
(King Mongkut's University of Technology North Bangkok)
通研対応教員：
Yoshifumi Kitamura (RIEC, Tohoku University)
研究分担者：
Kanchana Viriyapant
(King Mongkut's University of Technology North Bangkok)
Siranee Nuchitprasitchai (King Mongkut's University of Technology North Bangkok)

延べ参加人数: 16 人

研究費：

旅費	154,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

Similar to Japan, Thailand has become an aged society. In the year of 2031, it is estimated that a number of Thai population who are 60 years old and more will be accounted for 28 percent of the whole population in Thailand. With a large number of old people, research into a technology that can help facilitate the elderly's life will be beneficial to the country. One of our research interests was how the elderly can be technologically facilitated in performing their daily activities. In terms of the technology, a number of Thai elderly people own a smartphone. One of the popular functions on a smartphone is taking a photo. Therefore, this study selected the activity of taking a picture as the scope of the study.

The D-FLIP system is a photo management system developed at the Interactive Content Design laboratory of Professor Yoshifumi Kitamura. This system seems promising in assisting the elderly to manage their photos. The purpose of this research, thus, was to investigate whether the design of D-FLIP system suitable for the elderly.

To plan and discuss about the project details, two meetings were arranged for this project. The first one took place on 6th-8th October, 2018 during the RIEC Open House. The second one was on 12th-13th December, 2018 during the RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium). The support for ITL was used for the international travel expenses to attend these symposium.

A usability study of the D-FLIP system was conducted with sixteen old users (eight females and eight males) who had an experience in using a computer or a smartphone. Results of the study found that some icons and menus were not clearly understandable for the elderly users. For some functions, the users did not see benefits of them, for example, the function to display images on three dimensional axes.

［3］成果

(3-1) 研究成果

As the Thai elderly users are familiar with managing their photos on a smartphone, when they first encountering the D-FLIP system, their mental model towards the interaction with the system was based on their interaction with the smartphones. The difference in the conceptual model made participants confused about how to use some functions. When the participants were asked to open photo files into the system, they expected that they could access the photos in the same way as they would access photo albums on the phones. Moreover, a few participants were used to drag and drop selected photos into a software on a computer. These group of participants, therefore, thought that they could select, drag, and drop the photos onto the D-FLIP system.

Usability issues were also found related to the interface design. For the location of the textual or iconic menus, most users were familiar with the menus being on the top left of the screen. They did not notice the icons on the top right at the start of the test session.

Also, the participants could not easily understand a purpose

of each menu. The iconic menu picturing a camera of the D-FLIP system was used to present all selected photos on three dimensional axes. This choice of icon design contradicts with users' expectation. All users understood that the 'camera' icon would allow them to take a photo, which is an action that they usually do on the smartphones.

Another icon that the users had trouble with was the 'pencil' icon. A number of users initially thought that after they clicked the 'pencil' icon, they could write letters or search keywords within the system. The idea of using the pencil to make a circle was not obvious to them. During an activity of finding photos based on a search keyword, most users mistakenly thought that the textbox with a dash (-) besides the 'pencil' icon was a search box. They moved the mouse to this box and tried to type a search keyword. The users said that this task of finding photos by entering a search keyword was not easy. This finding showed that the search box appearing after drawing the circle was not easily discoverable by users.

The textual menus 'select x,' 'select y,' and 'select z' were also difficult to learn for first-time old users. From developers' perspective, it was easy to tell that 'x,' 'y,' and 'z' represented axis x, y, and z, respectively. For general users, particularly when they first learned to use the system, the characters 'x,' 'y,' and 'z' were unclear to them. Some participants even stated that these menus might be easier for users who had their background or training in the field of science than those whose training was in the area of arts or social science. This statement reflects that the conceptual model of the system design is not appropriate for all types of users. After the users had learned what 'x,' 'y,' and 'z' mean, a few users suggested that there should be just one menu for choosing three attributes rather than having separate menus for each attribute. Moreover, most users were curious about the usefulness of having all selected photos displayed in three different axes.

The slider bars appearing after the participants selected an attribute for each axis were not easily noticeable. After clicking and selecting each feature in the menus, almost all of the participants did not see the slider bars. Even after they noticed the slider bars, they questioned how to adjust the bars with two sliders. They asked what each slider meant.

The names of the menu 'select x,' 'select y,' 'select z,' and 'select size' were also confusing to the participants. These names were not able to convey the purpose of each menu. The participants could not learn or guess a function of each menu by just reading the names. However, after trying out these menus, it was still difficult for the participants to understand the benefits of these menus.

Below show a few photos taken during the data collection sessions.







(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Based on the usability results of the D-FLIP system, the system can be redesigned according to the feedback from the users. Ideas to modify the system include automatically uploading photos from other photo-related applications such as Google photo, automatically creating metadata of the photos, providing tooltips for menus or icons that appear when users hover or click them, displaying a current status of the menus and showing all menus, either textual or iconic menus, on the top left of the screen.

After a modification of the system, another usability test can be conducted. Results of this new study can be compared with the usability test results of this project. An innovative photo management system for the elderly can be later developed.

Results of the usability study and the development of this new system can provide a basis for other studies related to a development or a use of advanced technology by the elderly or inexperienced technology users.

［4］成果資料

We plan to write a research paper and submit it to an international conference, e.g., the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. However, during this project, the principal investigator had a chance to talk about other related research in the RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium) on December 12th-13th, 2018 in Sendai, Japan. The following is the link to the symposium's website: https://sigchi.jp/symposium/2018/.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/B12

高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立

［1］組織
研究代表者：
関屋　大雄（千葉大学大学院工学研究院）
通研対応教員：
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
魏　秀欽（千葉工業大学工学部）
高坂　拓司（中京大学理工学部）
引原　隆士（京都大学大学院工学研究科）
麻原　寛之（岡山理科大学工学部）
黒川　弘章（東京工科大学工学部）
菅野 暸子（千葉大学大学院融合理工学府）
大里 辰希（千葉大学大学院融合理工学府）
ASIYA（千葉大学大学院融合理工学府）

延べ参加人数：１０人

研究費：
旅費　273,000 円

［2］研究経過

無線電力伝送は最後の「有線」である電力伝送の無線化を目指すものであり、通信の無線化と同様のインパクトを社会に与え得る技術として大きな注目が集まっている。実際に iPhone では「置くだけ充電」が標準装備され、一方、EV 充電用として85kHz 帯が割当てられるなど実用化に向けた研究開発が加速している。一方で、周波数が高くなるほど送電距離が延伸され、さらにシステムの小型化が実現できることから、MHz 帯 ISM バンド(6.78 MHz, 13.56 MHz)における無線電力伝送システムの開発に対しても高い期待が寄せられている。

高周波数動作を志向すると、送電、受電に関わる電力変換回路のスイッチング損失が増加するという問題がある。したがって、定格状態においてコイルからなる無線結合部、電力変換回路を一体化した最適設計が求められる。一方で、負荷に安定した電力を送ることも重要であり、負荷変動、送電コイルと受電コイルの位置ずれに対して頑強な制御手法を確立する必要がある。しかしながら、高周波無線電力伝送システムにおいては、定格状態において最適設計を達成したとしても、負荷変動、位置ずれが発生すると最適状態から外れてしまい、効率が急激に劣化するという欠点を持つ。これまで様々な方式が検討されてきたが、理論的に電力伝送効率を最大化させ、最適動作を可能とするシステム設計論は確立されていない。

本プロジェクトでは学際領域研究分野である無線電力伝送システムに関する研究開発について、各分野の専門家が一堂に会して議論する場を準備する。本提案では MHz 帯磁界共鳴型無線電力伝送システムにおける最適設計および負荷変動、位置ずれに対する高効率制御手法について議論することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは本年度が初年度であった。本研究では、高周波磁界共鳴型無線電力伝送システムにおいて

１．負荷変動、位置ずれに対して頑強な特性を有する回路トポロジ

２．物理的システムサイズの制約下での定格状態における最適設計手法

３．高効率特性を保証する制御方式

について検討した。

本研究テーマはパワーエレクトロニクス、マグネティクス、非線形最適化等複数分野からなる学際領域研究である。また、高周波動作を達成するためには、理論的なアプローチとともに GaN や SiC の次世代パワー半導体、さらに、コンデンサ、コイル等受動素子に対する実践的検討も重要である。以下に研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトは研究代表者の関屋が中心となり、電気エネルギーシステム（引原）、アナログ回路設計（堀尾）、高周波増幅器（魏）、非線形システム解析（高坂、麻原）、非線形最適化（黒川）、など多分野にまたがる専門家から構成される。これらメンバの多くが、電子情報通信学会会員であり、NOLTA ソサイエティ、通信ソサイエティ等の研究会の場で議論を進めた。具

体的には９月２日～６日にスペイン・タラゴナで開催された（関屋が General Chair を務める）International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018) に、関屋、堀尾、魏、引原、麻原、黒川、菅野が参加し発表を行った。さらに、２月１６、１７日に東北大学で「非線形系・複雑系の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究」および「非線形力学理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究」と合同でワークショップを開催した。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に、無線電力伝送の入力段と出力段に dc-dc コンバータを適用する制御方式ついて検討した。入力段において電流が最小になるように動作させ、出力段で一定電圧になるように動作させる。本制御方式を E^2 級無線電力伝送システムに適用すると、負荷変動に対し常に E 級動作条件を満足させながら、低出力電圧を達成できることが実験的に明らかとなった。さらに、本システムに対して解析モデルを導出した。解析モデルから、システムは出力段の dc-dc コンバータがインピーダンス変換を行い、入力段で出力電圧を調整する役割を持つことが明らかとなった。インピーダンス変換を行うことにより、送電側からみて受電側が常に同じインピーダンスに見える。これにより、負荷変動に依らず常に E 級スイッチングと呼ばれる低電力損失のスイッチング条件を達成することができる。これは、出力調整と高効率化の役割を、制御アルゴリズムで意図しているものと逆のコンバータが受け持っていることとなる点で非常に興味深い。さらに、この高効率特性は、定格状態で最適な設計を行ってはじめて達成することも重要な示唆となっており、関屋らが提案している最適設計の理論が活用される。解析による特性予測は実測特性と極めてよい一致をみせており、解析の妥当性を確認した。

一方で、上記は受電側に E 級整流器と呼ばれる回路を用いていた。E 級整流器を用いると位置変動に対し受電側の等価リアクタンスが変化し、効率劣化の原因であることが解析的に明らかとなった。そこで、第二の研究として、整流器にリアクタンス成分を持たない D 級整流器を適用し、E 級整流器との比較を行った。D 級整流器はダイオードをふたつ有するため、E 級整流器と比較して定格状態においては効率が劣化する。しかしながら、リアクタンスを持たないことにより、特に位置ずれにおいて効率の劣化を大幅に押さえることができる。以上の特性を解析モデルから説明し、さらに実験とのよい一致によりその妥当性を確認することができた。

さらに、第三の研究として、制御機構を不要とする「負荷非依存モード」と呼ばれる特別なモードについて検討を行った。議論の整理として、負荷非依存についてふたつの考え方に分類でき、ひとつはインピーダンス変換フィルタを設計することにより、負荷が変動しても送電側から見て受電側のインピーダンスが常に一定に見えるようにすることにより実現する。前述の第一、第二の研究もこの中にグルーピングされる。もう一つは、負荷が変動しても一定の出力を達成するような受電側の設計を行う手法である。これは、E 級インバータを用いることにより達成できる。しかし、特別なモードで動作させるため、設計手順を確立させる必要があった。本年度は、解析式に基づく負荷非依存 E 級インバータの設計手法を確立した。さらに、あらたな非依存モードインバータとして、E^-1 級負荷非依存インバータを提案し、その設計法を示した。提案した回路は並列共振回路を有しており、直列共振構造をもつ E 級インバータと２種類の DC-AC インバータを準備することで、送電器設計の自由度が増すと考えている。制御構造を不要とするのは大きな発想の転換であり、この手法で無線電力伝送システムを設計することができれば、システムの簡素化、コスト削減、サイズ削減などに大きく寄与することが期待される。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、前述した複数の大学の研究者による交流により、議論が活性化され、無線電力伝送システムの設計にあらたな可能性を示すに至った。本プロジェクトメンバの多くを含め、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティのメンバで科研費新学術領域など、大型予算の獲得へ向けて活動を進めている。

さらに、９月２日～６日にスペイン・タラゴナで開催された（関屋が General Chair を務める）International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018) に、関屋、堀尾、魏、引原、麻原、黒川、菅野が参加し発表を行った。この中で、菅野は同会議の学生論文賞を受賞している。同会議の参加者数は２２０名であり、活況を呈した。また、現在論文誌 NOLTA, IEICE にて同会議の特集号を企画しており、編集中である。

［４］成果資料

(1) R. Sugano, Y. Sun, and H. Sekiya, "High-frequency resonant gate driver with isolated class-E amplifier," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.9, no.3, pp.358-373, July 2018.

(2) A. Lotfi, A. Medi, A. Katsuki, F. Kurokawa, H. Sekiya, M. K. Kazimierczuk, and T. Suetsugu, ″Subnominal operation of class-E nonlinear shunt capacitance power amplifier at any duty ratio and grading coefficient,″ IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.65, no.10, Oct. 2018.

(3) T. Ohsato, Y. Yamada, X. Wei, and Hiroo Sekiya, ″Analysis and design of phase-controlled class-D ZVS inverter,″ 2018 International SoC Design Conference (ISOCC2018), Nov. 2018.

(4) M. Hayati, H. Abbasi, M. K. Kazimierczuk, and H. Sekiya, ″Analysis and study of the duty ratio effects on the class-E_M power amplifier including MOSFET nonlinear gate-to-drain and drain-to-source capacitances,″ IEEE Transactions on Power Electronics, vol.33, no.12, pp.10500-10562, Dec. 2018.

(5) H. Matsushita, H. Kurokawa, T. Kousaka, ″Saddle-node bifurcation parameter detection strategy with nested-layer particle swarm optimization,″ Chaos, Solitons and Fractals, vol. 119, no 2, pp. 126-134, Feb. 2019.

(6) H. Asahara, T. Kousaka ″Stability Analysis of State-Time-Dependent Nonlinear Hybrid Dynamical Systems,″ IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2019. (In press)

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3

(大型)

採択番号：H30/B13

高次元ニューロダイナミクスと そのニューロハードウエア構築への展開

［1］組織

研究代表者

廣瀬　明　(東京大学大学院工学系研究科)

通研対応教員

佐藤　茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

黒江　康明 (京都工芸繊維大学 教育研究ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄｾﾝﾀｰ)

合原　一幸 (東京大学生産技術研究所)

田中　剛平 (東京大学生産技術研究所)

古橋　武　(名古屋大学大学院工学研究科)

橘　完太　(工学院大学情報学部)

Eckhard Hitzer (国際基督教大学教養学部)

松井　伸之 (兵庫県立大学大学院工学研究科)

礒川　悌次郎(兵庫県立大学大学院工学研究科)

西村　治彦 (兵庫県立大学大学院 応用情報科学研究科)

金城　光永 (琉球大学工学部)

村瀬　一之 (福井大学工学部)

西川　郁子 (立命館大学情報理工学部)

新田　徹　(産業技術総合研究所)

小林　正樹 (山梨大学工学部)

西森　康則 (産業技術総合研究所)

澁谷　長史 (筑波大学大学院 システム情報工学研究科)

山根　敏志 (日本アイ・ビー・エム)

中野　大樹 (日本アイ・ビー・エム)

山田　功　(東京工業大学大学院工学院)

中川　八穂子 (日立製作所)

延べ参加人数：２２人

研究費

旅費　288,000 円

［2］研究経過

高度に成熟したSi-LSI技術に支えられ,現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で，パターン認識や学習など，フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し，脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは，パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。

さて、ニューラルネットワークモデルのひとつとして複素ニューラルネットワークや量子ニューラルネットワークが提案されており，その波動的特性を利用して、パターン認識，画像処理，時系列予測等への応用がなされている。代表者はこうした複素ニューラルネットワークの特徴にいち早く注目し，レーダ画像の画像処理等へ応用しその有効性を明らかにしており，本分野において世界的に主導的役割を果たしてきている。また，この技術を応用した対人プラスチック地雷可視化システムを構築し、東南アジアの地雷発見等において重要な社会貢献を果たしてきている。

ニューラルネットワーク分野の最近の動向として,従来に比べ層数を大幅に増大したディープ・ニューラルネットワークにより、文字認識や画像認識などの課題において、既存アルゴリズムを圧倒するような認識性能が得られており、認識工学を中心に中核的な技術となりつつある。 こうした研究の中で、層ごとの情報表現の善し悪しが情報処理性能に大きく影響することが知られてきている。 また、複素ニューラルネットワークなどの高次元化ニューラルネットワークにおいても、豊かな表現能力と情報処理能力に関する研究が盛んに行われており、複素表現，四元数表現，さらにはそれらを包含するクリフォード代数表現を用いて，統括的に理解する意欲的な試みがなされている。つまり、高次元化あるいは多次元化するだけではなく、必要な情報を的確に表現できることが性能向上の鍵であることが明らかになりつつあり、そうした研究の重要性が高まりつつある。またディープ・ニューラルネットワークの消費電力が大きく、また学習に大量のデータを必要として時間がかかることも大きな問題である。

人間と環境を調和させるには，要求される情報処理を効率的かつ迅速に行うことが必要不可欠であり，そのためには、アナログ情報，デジタル情報，時間

情報，位相情報などを適材適所で利用し、最適化された情報表現を実現することが肝要である。さらに、実時間動作・低消費電力でニューロ処理を行うためには、すべての入力情報を通信でクラウドサーバに集めて処理して結果を配信するのではなく、入力端での処理すなわちエッジコンピューティングで前処理を行って通信量を削減することも重要技術になる。そこで本プロジェクトでは，豊かな表現能力を有する高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を最大限に引き出すための、最適な情報表現を見出すとともに、効率的かつ／または高速なハードウェア実現のため波動に基づく物理現象そのもの利用したニューラル高効率ハードウェア実現のための基礎技術を確立することを目的として研究を行う。

具体的には，まず，幾何学的情報を利用する課題を中心に、高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を神経回路の統計力学やクリフォード代数を用いて評価する。その中で，情報表現方法と情報処理能力の関係を明らかにし，処理の観点から見た高次元ニューラルネットワークにおける最適な情報表現を明らかにする。次に，ハードウェア実現を目的として、波動物理を利用するハードウェアに依存した制限を加味した最適な情報表現を検討し、そのために必要なハードウェアリソースを明らかにする。それによって、高次元ニューロダイナミクスとデバイス波動物理の融合を図り、情報表現と物理実現の最適化の基礎を確立する。本所ではハードウェア実現に向けた課題を中心に研究を行う。

初年度にあたる本年度は，11 月 9, 10 日に研究会を開催し，各メンバーが関連する研究の進捗状況について報告し，今後の課題について議論した．以下に研究会のプログラムを示す．

1) 廣瀬　明、中根　了昌、田中　剛平（東大）
「ガーネットフィルムに誘起されるスピン波によるリザバーコンピューティング」
2) 下村　颯志、廣瀬　明（東大）
「複素自己組織化マップを用いたタイムドメイン位相適応的処理による地中レーダ」
3) **(招待講演)** 伊丹　哲郎（RIDC)、松井　伸之（兵庫県立大）
「分子としてのロボットによるブラウン運動」
4) 山田功、山岸　昌夫（東工大）
「サポートベクターマシンにおける Cortes-Vapnik 問題の階層型凸緩和とその解法について」
5) 黒田　大貴，山岸　昌夫、山田　功（東工大）
“Exploiting Sparsity in Tight Representations for Identification of Hybrid Systems”
6) 黒江康明（京都工繊大）
「あるクラスのサイバーフィジカルシステムの感度解析法とその最適化への応用」
7) T. Nitta (AIST), M. Kobayashi (Yamanashi Univ.) and D. P. Mandic (Imperial College London)
“On the Equivalence between Hypercomplex Widely Linear Estimation and its Real Vector Counterpart”
8) Eckhard Hitzer (ICU)
“Geometric Transformations of Conics in Geometric Algebra”
9) フリーディスカッション　～高次元ニューラルネットワークの応用，その他について～

［3］成果

（3－1）研究成果

複素ニューラルネットワークおよびそれを一般化した高次元ニューラルネットワークは，ニューラルネットワークの考え方を生かした数理的・物理的な面白さの探求やその電気電子デバイスやシステムとしての工学利用を指向している．中でも複素ニューラルネットワークは電気電子工学的には，複素振幅を扱うニューラルネットワークであると言え，また四元数ニューラルネットワークは偏波を表すポアンカレ球空間に相当する 3 次元空間での情報を扱うニューラルネットワークであると言える．この意味で，これらはコヒーレントなニューラルネットワークである．本年度は，ガーネットフィルムに誘起されるスピン波によるリザバーコンピューティングチップの基本動作とその特徴を議論した．これは従来のニューロモルフィックデバイスと一線を画する，パターン情報表現とパターン情報処理を物理デバイスとして実現するものである．また，電磁波イメージングの領域では、複素自己組織化マップを用いたタイムドメイン位相適応的処理による地中レーダの散乱機構が位相情報に与える影響の重要性を示すとともに，その適応処理の方法について議論した．さらに高分解能の偏波合成開口レーダの提案を行い、偏波合成開口レーダ（polarimetric synthetic aperture radar: PolSAR）データが持つ詳細な偏波情報を十分に生かした教師なし地表分類を実現するため，自己組織化コードブックベースの階層的な偏波特徴の生成法を提案した．

また，脳型計算の手法を模倣した断熱的量子計算用ハードウェアの構成について検証した。ジョセフソン接合により結合される超伝導電荷量子ビットネットワークを用いた実装方法を検証し、学習により連想記憶機能を獲得しうることを数値計算により明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト遂行により以下の成果が得られると考えられる．

・複素ニューラルネットワークにおける情報表現方法と情報処理性能に関する知見
・量子波動等の波動物理に基づくニューラルネットワークダイナミクスに関する知見
・最適な情報表現と効果的な波動物理とを融合したハードウェアの構成方法

［4］成果資料

(1) H. Kim A. Hirose, Unsupervised Hierarchical Land Classification Using Self-organizing Feature Codebook for Decimeter resolution PolSAR, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, to appear

(2) K. Kinugawa F. Shang N. Usami A. Hirose, Isotropization of quaternion-neural-network-based PolSAR adaptive land classification in Poincare-sphere parameter space, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 15, 8 (2018) 1234-1238.

(3) T. Shimada R. Natsuaki A. Hirose, Pixel-by-pixel scattering mechanism vector optimization in high resolution PolInSAR, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 56, 5 (2018) 2587-2596.

(4) T. Isokawa, H. Yamamoto, H. Nishimura, T. Yumoto, N. Kamiura, and N. Matsui, "Complex-Valued Associative Memories with Projection and Iterative Learning Rules," Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, vol.8, no.3, pp.237-249, 2018.

(5) M. Tanaka, T. Isokawa, N. Matsui, T. Yumoto, and N. Kamiura, "A Convolutional Autoencoder for Detecting Tumors in Double Contrast X-ray Images," Proceedings of Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2nd International Conference on Imaging, Vision, & Pattern Recognition (icIVPR), pp.384-387, 2018.

(6) M. Tsuji, T. Isokawa, N. Yumoto, N. Matsui, and N. Kamiura, "Heterogeneous recurrent neural networks for natural language model," Artificial Life and Robotics, available online, https://doi.org/10.1007/s10015-018-0507-1, 2018.

(7) T. M. Pham, D. C. Doan, E. Hitzer, Application of Conformal Geometric Algebra to In-plane Rotated Face Detection by AdaBoost-based Algorithm, in Early Proceedings of the AGACSE 2018 Conference, Edt. by S. XAMBÓ-DESCAMPS, C. LAVOR, L. A. FERNANDES, M. JARDIM, 2018, pp. 117-126.

(8) E. Hitzer, Three-dimensional quadrics in hybrid conformal geometric algebra of higher dimensions, in Early Proceedings of the AGACSE 2018 Conference, Edt. by S. XAMBÓ-DESCAMPS, C. LAVOR, L. A. FERNANDES, M. JARDIM, 2018, pp. 17-26.

(9) S. Breuils, V. Nozick, A. Sugimoto, E.Hitzer, Quadric Conformal Geometric Algebra of R9,6, Adv. of App. Cliff. Algs., (2018) 28(2): 35.

(10) Ryusuke Hata, M. A. H. Akhand, Md. Monirul Islam and Kazuyuki Murase, Simplified Real-, Complex-, and Quaternion-Valued Neuro-Fuzzy Learning Algorithms, International Journal of Intelligent Systems and Applications, Vol. 10, No.5, pp.1-13, 2018.

(11) Pintu Chandra Shill, Animesh Kumar Paul, and Kazuyuki Murase, Adaptive Fuzzy Logic Controllers Using Hybrid Genetic Algorithms, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol.27, No.1, pp.41-71, 2019.

(12) Sudipta Singha Roy, SK. Imran Hossain, M. A. H. Akhand, and Kazuyuki Murase, A Robust System for Noisy Image Classification Combining Denoising Autoencoder and Convolutional Neural Network, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 9, No.1 pp.224-235, 2018.

(13) Tohru Nitta, Resolution of singularities via deep complex - valued neural networks, Mathematical Methods in the Applied Sciences, Vol.41, No.11, pp.4170-4178, 2018.

(14) Nang Hung Van Nguyen, Minh Tuan Pham, Nho Dai Ung, Kanta Tachibana, Human Activity Recognition Based on Weighted Sum Method and Combination of Feature Extraction Methods, International Journal of Intelligent Information Systems, vol. 7, no. 1, pp. 9-14, 2018.

(15) Kanta Tachibana and Kentaro Otsuka, Wind Prediction Performance of Complex Neural Network with ReLU Activation Function, Proc. the SICE Annual Conference 2018, vol. 1, no. 1, pp. 1029-1034, 2018.

(16) Kanta TACHIBANA and Yuta TAKAGI, Difference between Human and Machine in Feeling about Similarity of Melodies, Proc. Int'l Symposium on Affective Science & Engineering 2019, 2019.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(産学)

採択番号：H30/B14

未来型オフィス空間とインタラクション

Future Office Space and Interaction

［1］組織

研究代表者

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者

小森 雅晴（京都大学 大学院工学研究科）
古崎 晃司（大阪大学 産業科学研究科）
本江 正茂（東北大学 大学院工学研究科）
伊藤 雄一（大阪大学 クリエイティブユニット）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
市野 順子（東京都市大学）
福島 浩介（㈱イトーキ）
松島 咲季子（Learning Design Lab.）

研究費

旅費	196,000 円
産学特別支援費	60,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトの目的は，オフィスにおけるワーカーのインタラクションや働く環境そのものの質的な改善を目指し，動的・適応型オフィス家具・空間の構築に関する知見を集め，研究コミュニティを構築し，前述の研究者の知見をさらに融合させることである．空間内での人の活動を計測し，理解するための知見，空間構築・デザインや什器に関する知見，空間・什器をダイナミックに動作させる要素技術の知見，さらには市場としてのニーズも取り入れながら，社会的意義の高いテーマ創出を目指している．

本プロジェクトは，昨年までの共同プロジェクト「人と空間と情報技術」から引き続き 8 年目である．本年度も前年度までの成果を踏まえながら，過去に発表のあった研究者に加え，空間デザインの専門家らをはじめとする新たな研究者も招き，共同研究会を実施した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

研究会名：未来型オフィス空間とインタラクション
日程：２０１９年２月２６日
場所：東北大学電気通信研究所本館５階 M531
回数：第１回
参加人数：述べ25名（内発表者10名）
参加者：

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）
平田 泰久（東北大学 大学院 工学研究科）
伊藤 雄一（大阪大学 クリエイティブユニット）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
市野 順子（東京都市大学）
平松知江子(㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ)
西川智子(㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ)
片瀬裕司(㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ)
米澤 一造（飯舘電力）
田崎 咲絵（Bloom Sketch）
松島 咲季子（Learning Design Lab.）
小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）
凌 嘉良（㈱イトーキ）
山田 茂雄（日本ユニシス㈱）
中原 和洋（日本ユニシス㈱）
ほか

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第１に，研究者代表である北村より本プロジェクトの主旨，歴史，共同利用・共同プロジェクトにおける区分等に関する説明がなされ，研究会参加者間での目指す方向性の共有した．

第2に，各研究者による研究内容・成果が発表され，それぞれの研究や取組みに関する可能性や発展性を得ることができた．発表タイトルを下に示す（敬称略）．

藤田：多様な働き方に対応する空間ユーザインタフェース
山田：キカイの知能が加勢する未来の会議
市野：グループディスカッション支援のための振動によるフィードバックの提示
田崎：オフィス空間におけるデジタルなデザイン
松島：学びの空間デザイン
小林・凌：働き方改革の本質
～個人と組織の創造性向上
米澤：自然エネルギーで実現する次空間の世界
伊藤：未来のオフィスと無意識コンピューティング
平田：ロボット・ハプティックデバイスを用いた作業支援システム

これらの発表は，大別するとヒューマン・コンピュータ・インタラクションおよび対人社会心理学の研究に関する話題（市野，伊藤，山田，藤田），ロボティクスの研究に関する話題（平田），ビッグデータ解析に関する話題（小林，凌），空間デザインに関する話題（松島，田崎），エネルギー事業に関する話題（米澤）に分けられた．

第3に，上述した発表を基に質疑応答ならびにディスカッションが行われた．やはり，参加者の間で日頃抱いている疑問や課題に共通点が多く，全体として非常に多くの質疑応答がなされた．特に，Learning Design Lab.の松島氏の発表にあった，「人の行動を良くするために重要なのは，ハード（空間）かソフト（しくみ）か」という問題提起には，異なる分野の研究者から，異なる観点での意見が飛び交った．また，東北大学 大学院 工学研究科の平田先生のロボティクス技術に関する発表では，オフィス空間における応用先に関する多くの質問があり，活発な議論がなされた．

さらに，東北大学電気通信研究所情報コンテンツ（北村）研究室の研究内容の見学会が開催され，これらを通して研究内容の理解浸透，個々間の連携機会の拡大が行われた．

産学共同研究に関して，本研究会では計4社（9名）の方を招へいし，ITシステム系の企業に留まらず，家具・空間デザインの知見を持つ専門家らに参加いただいた．今後の共同研究を見据えた有意義な議論を交わすことができた．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，新たな共同研究の萌芽及び新たな研究領域の開拓を目的にしている．研究会の実施により学外研究者との交流が活性化し，研究者ネットワークが拡大され，共同研究の可能性が向上した．特に，本年度に実施した研究会では，これまで以上に産学の多方面からの専門家が集まり，情報工学，社会心理学，空間デザイン，ビッグデータ解析，機械・機構学等の観点からの活発な議論がなされた．また，企業が参加することにより，市場のニーズを取り入れた研究へつながるだけでなく，社会への実装も期待される．







研究会の様子

［4］成果資料

なし．

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(萌芽・国際)

採択番号：H30/B15

ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究

［1］組織

研究代表者：
杉山 知之（デジタルハリウッド大学大学院）

通研対応教員：
北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
末田　航（シンガポール国立大学）
北田 能士（デジタルハリウッド大学大学院

延べ参加人数：5 人

研究費：

旅費	229,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

背景と課題:

パイロットの操縦技能向上や機体の性能向上を図る目的で開催されるドローンレースは最近大きな盛り上がりを見せている。しかし、観客がレースの状況を把握し楽しむための配信技術が整っていない。例えばドローン自体が小型なため、広いレース会場の中でドローンからのFPV（First Person View）映像と対応する実機の姿とを関連付けて同時に認識・俯瞰しながら鑑賞することが難しく、観客自身がまだレースの楽しみ方や醍醐味を享受できていない。

目的：

この課題を解決するため、ドローン自体をディスプレイとみなしたり、FPV と外部視点とを円滑に提示する配信技術（映像最適化・実況なども含む）を利用したりすることで、観客がレースの状況を楽しく円滑に把握可能にするアプリケーションを開発する「ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法の研究」プロジェクトを立ち上げた。

経過：

2018 年度、本プロジェクトは 11 月に電気通信研究所にて開催した研究会の他に、9 月に東北大学で開催された日本バーチャルリアリティ学会大会や、12 月に東京で開催された ACM SIGGRAPH Asia 2018 などで研究成果の発表を行った。これらによって研究を効果的に進行するための新たな知見や修正課題が明確になりつつある。国際特別支援費はシンガポールから仙台までの旅費に充当した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究会の開催

2018 年 11 月 13 日から 14 日かけて、研究会を開催した。研究代表者・分担者、対応教員の全員とデジタルハリウッド大学と東北大学の大学院生各 1 名が参加。研究会では、これまでの調査や研究開発の進捗状況や、日本 VR 学会大会での参加者からのフィードバックについての課題整理を行った。また、SIGGRAPH Asia への参加が 1 ヶ月を切っていたため、その実施に関する設営や事前準備などの実務レベルでのスケジュール確認も行った。

レースとパイロットの状況把握を支援する、鑑賞者向けのインタラクション技術の検討：

本研究会では、機裁点滅 LED アレイ、ドローン及びその周辺へのプロジェクションマッピングによるインタラクションを検討した。以下にこれまでの経過を述べる。

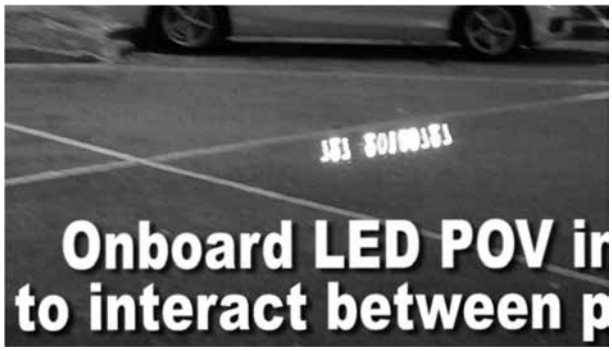


図 1: LED アレイ搭載ドローンの飛行イメージ

● LED アレイによるドローンレース機体の表示装置化

ドローンレースの状況を観客が円滑に把握可能にすると共にドローンレースのショーとしてのエンタテインメント性を高めるために，ドローン自体を LED アレイを使った残像ディスプレイとし，ドローンレースの状況をリアルタイムに可視化するシステムの実装

を行った（図1、2)。また、日本VR学会大会にて本システムの成果の口頭発表と技術デモを実施した[3]。コンセプトとその効果については概ねポジティブなフィードバックを得られた。一方で、鑑賞者がドローンの機体を注視・追尾をしやすい状況（観客から離れた飛行空間や、単調な背景の場所など）では、残像イメージが認識されにくく、コースの障害物の配置や、状況に応じてイメージ提示手段（音声、プロジェクションマッピング(次節参照)）との組み合わせによる最適化が必要であることもわかった。また、パイロットが観客等に対して文字や画像を提示するためには、コントローラ側からの汎用的な信号やコマンド入力をトリガとして、機体側のインタラクションを操作するための機能実装が課題となる。

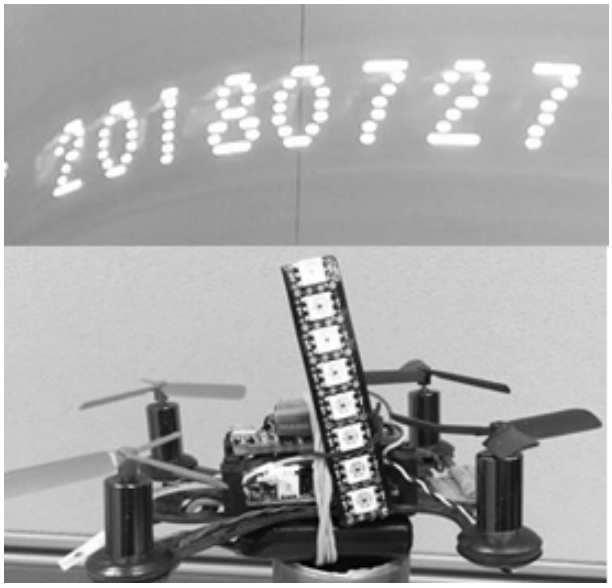


図 2: LEDアレイを機体側面に装着したレース機

- リアルタイムプロジェクションマッピングによる機体とレース状況の強調表示

ドローンの機体のディスプレイ化を検討するにあたり、広大なレースコースでは数十センチ程度の機体からの情報提示による有効なインタラクションが困難になることが想定される(屋内でのマイクロドローンレースでも同様)。そこで本研究では、モーションキャプチャによってリアルタイムにドローンを認識追尾し、ドローンが飛行している近傍の地面や壁面にプロジェクションマッピングをすることによる、ドローンとレースの状況表示や観客とパイロットとの対話を可能にするインタラクションを検討している（図3)。これを実現するためには、リアルタイムの機体トラッキングの他に、機体の個体識別が必要となる。本件の現時点では、ドローンの搭載しているFPV映像の送信電波（機体ごとにチャンネルが割り振られている）を識別IDとして利用し、機体ごとのコンテンツ提示の実現を試みている。

この方式の評価については、12月に東京で開催されたSIGGRAPH Asia 2019のBirds of a Feather(BoF)にて、(前節の機載LED表示と合わせて）セッションをオーガナイズする形態で技術紹介とデモ飛行を実施した（図4）[2]。当セッションでのフィードバックも含め、目下の課題は機体認識の精度とそれを実現する検出側の設備や運営設営コストとのバランスである。レース機という性質上、ドローンパイロットにとって余分な部品を装備したくない事情も考慮する必要がある。FPV映像の送信電波は不可欠なため、これを機体検出に利用することはアイデアとしてシンプルな半面、レース場の空間のごとに映像送信電波の強弱の傾向も変わるため、仮設の構造物によって屋外で実施することが多いドローンレースでは会場ごとのキャリブレーションや、レースコースの設営の工夫が必要になる。また、この課題はレースコースや機体のデザインとも連動するため、各方式の利点とトレードオフとのバランスが重要なる。これらの検討点については、同学会に採択されたポスターセッションでも議論を行なった[1]。

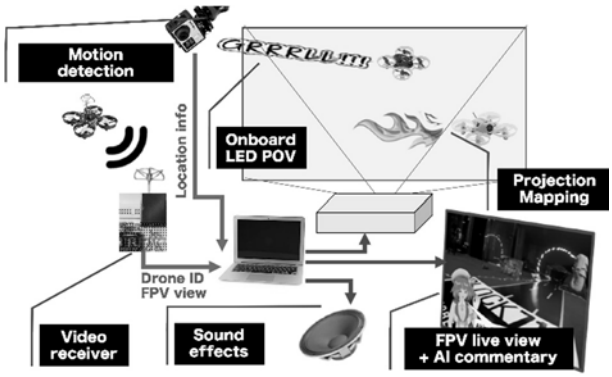


図 3: リアルタイムプロジェクションマッピングによるインタラクティブな情報提示システムの構成



図 4: SIGGRAPH Asia 2018 BoFセッションでのリアルタイムプロジェクションマッピング付き飛行デモの様子。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究会によって得られた主な成果は以下の通りである（書誌情報は「[4]成果資料」を参照)。

第23回日本バーチャルリアリティ学会大会(2019/9)

「ドローンレースの娯楽性を向上させる機載式ディスプレイ」口頭発表・ペーパー及び技術デモとして発表

ACM SIGGRAPH Asia 2019 (2019/12)

- “Research and development of augmented FPV drone racing system Bird of a Feather”をポスター発表
- Introduction Of Augmented FPV Drone Racing” 飛行デモ付きセッションとして主催

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

近年 E-Sports はプロスポーツとして認知され、アジア大会など主要なイベントで公式種目となるなど、スポーツや娯楽の領域で新しい市場を創出することが期待されている。ドローンレースもまた、同様にプロスポーツ化による浸透が期待されている。ドローンレースがスポーツや娯楽としての形態の模索段階にある中で、研究成果として前述したが学会等で、HCI や UI/UX に基づき娯楽体験の向上をめざす新しい研究開発領域としてある程度の認知を得ることができた。

また、本研究会の企画・申請と同時期(2018/1)に、同テーマで中山隼雄科学技術文化財団助成金に採択されており（北村教授と末田デジハリ大学研究員による申請)、この研究トピックの活動を支える研究リソースとして、本研究会の活動をサポートするかたちとなった。本財団は”人間と遊び”という視点に立った「科学・技術・文化」に関する研究に支援を行っている。採択プロジェクトの概要は以下のとおりである。

・プロジェクト名

ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法の研究

・資金制度、研究費名

中山隼雄科学技術文化財団研究助成事業
平成30年度研究助成A

・配分機関名

中山隼雄科学技術文化財団

・研究期間

2018/3-2020/2

・助成金額

340万円（第1年度: 200万円、第2年度: 140万円） ※採択金額については2018年11月に中間審査が実施され、2年度目の継続と助成金額が決定した。

［4］成果資料

1. Koh Sueda, Takashi Kitada, Yushin Suzuki, and Taiki Wada. 2018. Research and development of augmented FPV drone racing system. In SIGGRAPH Asia 2018 Posters (SA '18). ACM, New York, NY, USA, Article 9, 2 pages, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1145/3283289.3283322
2. Koh SUEDA et al, “Introduction Of Augmented FPV Drone Racing”, In SIGGRAPH Asia 2018 Birds of a Feather(SA '18), 2018
https://sa2018.siggraph.org/en/attendees/birds-of-a-feather/session/204
3. 鈴木由信, “ドローンレースの娯楽性を向上させる機載式ディスプレイ“第23回日本バーチャルリアリティ学会大会口頭発表,仙台, 2018

採択回数 (1) 2 3
(先端・萌芽・国際)

採択番号：H30/B16

メディア技術の高機能化によるディジタルコンテンツの高付加価値化に関する研究

［1］組織
研究代表者：青木 直史
(北海道大学大学院情報科学研究科)
通研対応教員：鈴木 陽一
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
今泉 祥子 (千葉大学大学院工学研究院)
岩村 惠市 (東京理科大学工学部)
鵜木 祐史 (北陸先端科学技術大学院大学)
越前 功 (国立情報学研究所コンテンツ科学研究系)
荻原 昭夫 (近畿大学工学部)
梶山 朋子 (青山学院大学理工学部経営システム工学科)
河口 英二 (九州工業大学名誉教授)
川村 正樹 (山口大学大学院創成科学研究科)
姜 錫 (北海道大学大学院情報科学研究科)
姜 玄浩 (東京工業高等専門学校電子工学科)
貴家 仁志 (首都大学東京システムデザイン学部)
栗林 稔 (岡山大学大学院自然研究科)
合志 清一 (工学院大学情報学部)
小嶋 徹也 (東京工業高等専門学校情報工学科)
近藤 和弘 (山形大学大学院理工学研究科)
生源寺 類 (静岡大学大学院工学研究科)
薗田 光太郎 (長崎大学大学院工学研究科)
新見 道治 (九州工業大学大学院情報工学研究院)
西村 明 (東京情報大学総合情報学部)
長谷川 まどか (宇都宮大学大学院工学研究科)
日置 尋久 (京都大学大学院人間・環境学研究科)
村田 晴美 (中京大学工学部情報工学科)
藤吉 正明 (首都大学東京学術情報基盤センター)
吉田 真紀 (国立研究開発法人 情報通信研究機構 ネットワークセキュリティ研究所)
脇山 正博 (北九州工業高等専門学校制御情報工学科)
Jeng-Shyang Pan (National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan)

延べ参加人数：100 人

研究費
旅費 302,000 円
国際特別支援費 220,000 円

［2］研究経過

昨今，メディア処理技術を基礎とする通信，放送，媒体の発展に伴い，ディジタル化された文書，音楽，映像などのコンテンツの流通が増加しており，社会事業や産業へ与える影響が急速に拡大しつつある．また，通信と放送の融合といった異種メディア融合の進展や，複数のメディアに同一のコンテンツを出力するクロスメディア化の進展により，これまで考えられなかったコンテンツの流通形態が生まれつつある．

このように，コンテンツの流通が急速に多様化し，さまざまなニーズが生み出されつつあるなか，メディア処理技術のさらなる高機能化は，コンテンツの創成を促進し，情報社会における新たな価値を創造する起爆剤になるものと期待されている．ただし，こうした技術の発展とともに，コンテンツのセキュリティやプライバシの保護が情報社会の新たな課題として浮上しつつあり，高度な専門的知識を必要とする対策が急務になってきていることも事実である．

こうした課題に対して研究者が一丸となって取り

組んでいくには，個々のメディアごとに議論するだけでなく，メディアの種別の垣根を掃って，コンテンツの価値を創造し，守るための技術について，制度設計も含めた幅広い議論や意見交換を行うことが不可欠である．本共同研究プロジェクトは，こうした場を提供するものであり，マルチメディア信号処理，情報セキュリティ，視聴覚知覚・認知に関連する研究者が東北大学電気通信研究所に一同に会して，研究発表および討論を行うことを目的としている．

本プロジェクトは，本年度が初年度であり，共同研究メンバーが東北大学電気通信研究所に一同に会して，以下に示す分野に関して研究発表および討論を行った．

- さまざまなコンテンツを対象としたメディア処理技術の高機能化に関連する研究
- コンテンツのセキュリティやプライバシの保護に関連する研究
- 異種メディア融合など，コンテンツの新たな表現方法に関連する研究
- コンテンツの品質の主観的・客観的評価に関連する研究

本共同研究プロジェクトは 2018 年度に新規採用されたものであり，2019 年 1 月 10−11 日，東北大学電気通信研究所にて EMM 研究会を開催したことが 2018 年度の研究活動状況になっている．合計 10 件の研究発表のうち，本共同研究プロジェクトから補助を受けたものは 4 件であった．また，韓国清州大学から金學胤教授を招聘し，研究打ち合わせを行ったことも 2018 年度の研究活動状況になっている．

［3］成果

（3－1）研究成果

2019 年 1 月 10−11 日，東北大学にて開催された EMM 研究会では，本共同研究プロジェクトから補助を受けた 4 件の発表があった．それぞれの成果は以下のとおりである．

(1) 医療分野では，患者の個人情報と診断画像の対応は秘密を守りながら管理する必要がある．電子透かしを用いると，透かしにより画像が歪んでしまうため，誤診が起きてしまう．画像を歪ませることなく，個人情報である透かしを対応づける方法として Zero-Watermarking が提案されている．しかしながら，1 枚の画像に対して透かし情報を 1 つずつ対応付ける必要があり，その対応関係を別に保持しなければならない．本研究では，多数の画像に対応できる様に，スペクトル拡散の技術を用いて透かし情報を一括管理する方法を提案する．

(2) IHC 評価基準では幾何攻撃が定められており，誤りなく透かしを取り出すためには，それらの攻撃に耐性が必要である．SIFT 特徴点は，拡大縮小に不変である．そのため，SIFT を用いた電子透かし法は拡大縮小に耐性をもつ．しかし，SIFT は回転に不変性を持たないため，回転角を総当たりで探索することが必要である．川村・内田の手法は，特徴点ごとに総当たりで探索し,回転角を求めていた．しかし，特徴点ごとの角度が真の回転角とは異なる場合があり，透かしに誤りが生じやすかった．そこで，我々は特徴点ごとの角度の最頻値を画像全体の推定角度とする手法を提案し，ビット誤り率を用いて提案手法の有効性を示す．

(3) 電子透かし技術において同期回復は重要な課題の一つである．コンテンツに時系列として埋め込まれた場合，一部だけを切り抜かれると透かし情報の復元には同期回復が不可欠となる．本研究では，Cyclically Permutable Code を使って同期回復と誤り訂正を同時に実現することを考える．符号長以上の系列を受信した場合における，最適な誤り訂正復号をしつつ，同期回復も行う復号器を提案し，その性能をシミュレーションにて評価する．

(4) 本研究では，インタラクティブなコントロールによって，まるで楽器のように操作することができる音声合成システムの開発を行っている．本稿では，タッチデバイスをインターフェースとして動作する VoicePad の開発について報告する．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

共同研究メンバーは，2007 年，電子情報通信学会第 2 種研究会マルチメディア情報ハイディング研究会（MIH 研究会）を立ち上げた研究者らを中心に構成されており，本研究分野の進展に伴い，2011 年，電子情報通信学会第 1 種研究会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会（EMM 研究会）の発足に発展させてきた実績を有する．

共同研究メンバーは，EMM 研究会の専門委員を中心に構成されている．EMM 研究会は 2011 年度に発足した研究会であるが，年 6 回のペースで精力的に研究会を開催してきており，論文投稿の件数は毎年 100 件程度を計上するにいたっている．さらに，2017 年からは，電子情報通信学会情報・システムソサイエティ英文論文誌において，EMM 研究会が主体となって編集を担当した EMM 小特集号を毎年刊行してき

ている.

EMM 研究会は，発足以来，毎年，東北大学電気通信研究所にて研究会を開催してきており，本共同研究プロジェクトは，こうしたEMM研究会の活動実績を基盤として開始された経緯がある．なお，2015年度は，共同研究メンバーが中心となり，ディジタルフォレンジクスと電子透かしの国際ワークショップIWDW2015を東京理科大で開催しており，こうした実績を足がかりとして，国内外の研究者との人的ネットワークを拡大しつつ，本共同研究プロジェクトのさらなる発展を図りたいと考えている．

本年度は，国際共同研究推進型のプロジェクトとして，韓国清州大学から金學胤教授を招聘し，共同研究メンバーとディスカッションをする機会を得たが，引き続き今後とも，国内の研究者のみならず国外から第一線の研究者を招聘し，国内外の研究者との人的ネットワークの拡大，大型研究プロジェクトの提案などにつなげていきたいと考えている．

［4］成果資料

(1) 島名 祐樹，川村 正樹（山口大），相互想起型連想記憶モデルを用いた多重Zero-Watermarking法の提案，信学技報EMM2018-88，2018.

(2) 林 誠人，川村 正樹（山口大），ヒストグラムの最頻値を用いた埋め込み領域の回転角推定，信学技報EMM2018-89，2018.

(3) Minoru Kuribayashi，Nobuo Funabiki（岡山大），Optimal Error Correcting Decoder with Self-Synchronization Capability，信学技報EMM2018-90，2018.

(4) 青木 直史，藍 圭介（北大），インタラクティブ音声合成システム「Voice Pad」の開発，信学技報EMM2018-87，2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(先端・萌芽)

採択番号：H30/B17

非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究

［1］組織

研究代表者：
神野　健哉（東京都市大学知識工学部）
通研対応教員：
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
坪根　正（長岡技術科学大学電気電子情報工学専攻）
中野　秀洋（東京都市大学知識工学部）
松下　春奈（香川大学創造工学部）
進藤　卓也（日本工業大学工学部）
山仲　芳和（宇都宮大学大学院工学研究科）
佐々木　智志（湘南工科大学工学部）

延べ参加人数：12 人

研究費：
旅費　270,000 円

［2］研究経過

連続最適化問題の解法には勾配法を基にした局所探索法が主に用いられるが、局所探索法は、局所解に陥り易く、解探索に時間を要する場合も多く、目的関数が多峰性関数の形状である場合、最適解を探索することは容易ではない。一般的には評価関数の勾配情報に基づいた探索が用いられるが、評価関数値のみが与えられ、評価関数式が陽に与えられない Black-box 最適化問題の最適解探索では勾配情報を必要としない直接探索法が望ましい。近年，群知能最適化と呼ばれる直接探索法が注目されており，これらは複数の探索個体が解空間で互いに発見した解情報の交換を行う確率要素を内包した確率的システムで最適値を探索する直接探索法である。このような確率的群知能最適化手法から確率的要素を排除した決定論的群知能最適化手法を対象に動作解析をした結果がこれまでに公表されているが、それらは主に群知能最適化に含まれる制御パラメータの値を決定するためのものであり、その動作の解析は統計力学に依っていることが多い。これに対し、本研究課題では群知能最適化の最適解探索に関与する本質的な動作を明らかにした上で、非線形力学系理論に基づき解探索に適した力学系を有する新たな探索個体で構成される群知能最適化法のアルゴリズムの構築を目指している。特に非線形力学系が有する多彩なアトラクタを積極的に利用した新たな最適化手法の開発を目指す。このような目的の下、非線形力学系および最適化アルゴリズムに関する造詣が深い研究者が参集し、各自の研究結果を発表・議論することで今後の展開を模索することを目的として研究を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。本共同研究プロジェクトでは 2019 年 2 月 16・17 日の 2 日間、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401、A402 にて共同プロジェクト・非線形ワークショップの合同研究会を開催した。合同研究会は本共同プロジェクト(H30/B17『非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究』)と H29/A21『非線形系・複雑系理論の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究』、H30/B12『高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立』および非線形ワークショップとの合同で開催したものである。参加者は約 30 名で各共同プロジェクトの成果をオーラル、およびポスターで発表し、その内容に関して活発な討議を行った。

また 2018 年 9 月 2 日から 9 月 6 日にスペインのタラゴナで開催された電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ主催の国際会議『非線形理論とその応用に関する国際会議』においては”Optimization Algorithms with Nonlinear”という Special Session を開催し約 30 名の参加者らと討論した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，図1に示す内容を解明すべく研究を行い、以下に示す研究成果を得た。

群知能最適化手法には様々な方法が提案されているが、本研究では主に粒子群最適化法に着目した。これは多くの群知能最適化手法が粒子群最適化法に帰着できるためである。この粒子群最適化法の解探索時の本質的な動作を明らかにするため、系から確率的要素を取り除き、系を決定論的システムとすることで解探索の動作を非線形力学系理論に基づいて解析した。その結果、系を構成する各粒子の固有値が動作に大きく影響していることを明らかにし、解探索に有効な固有値を明らかにした。複素固有値の場合、各粒子は相平面上で回転運動を呈し、その射影が大域的な解探索に有効であることを明らかにし、複素固有値の実部が正値である場合と負値である場合に関して研究を進めた。

正値である場合、不安定化し、軌道は発散するが、しきい値を設け、値を引き戻す機構を導入することでカオスが発生するようにし、これを探索に効果的に用いることを検討した。カオス軌道を用いることで、これまでにない大域探索能力を有したシステムを構築することが出来た。しかしながら、このシステムでは局所探索能力が低下することを解明した。

複素固有値の実部が負値の場合は探索途中での収束が解探索性能に悪影響を与えることを明らかにし、実部がゼロすなわち、固有値が虚数の場合のシステムを提案した。このシステムは動作がこれまでのシステム以上に簡素になるものの、探索点分布が望ましくないことに起因して、やはり解の局所探索能力が低下することも明らかにした。これらの問題点を克服することを目指し、非線形写像のダイナミクスを積極的に利用した非線形写像最適化(NMO)を提案した。解探索時の各粒子のダイナミクスに着目し、解探索能力を向上させる試みはあまり行われておらず、本研究内容は非常に注目されている。

本年度の研究成果を基に来年度以降に解探索に適した探索点の分布の解明、またそのような分布を生じさせる力学系の設計に関して研究を進めていく方向性をプロジェクトメンバーで共有することができた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでの研究成果は電子情報通信学会NOLTA ソサイエティが主催し、スペイン、タラゴナにて2018 年9 月2 日から6 日に開催された『2018 年非線形理論とその応用に関する国際会議』（International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications; NOLTA 2018）において、Special Session, “Optimization Algorithm with Nonlinear” を企画し、プロジェクトメンバーを中心として研究発表が行われた。この Special Session は発表件数 10 件と、他の Special Session と比較しても非常に発表件数が多く、非常に活発な質疑応答が行われた。この Special Session は引き続き、2019 年 12 月にマレーシア、クアランプールで開催が予定されている『2019 年非線形理論とその応用に関する国際会議』(NOLTA 2019)でも企画しており、本年度の研究成果を基に更に研究を活発化させる。

また、電子情報通信学会NOLTA ソサイエティが発行する論文誌NOLTA においても、本プロジェクト研究代表者の神野が Guest Editor として本プロジェクトでの研究内容を発展させて群知能を中心にEvolutionary Computation と題した特集号を企画した。 本プロジェクトが牽引し、この特集号は内外から注目を集めた。この特集号は2019 年 7 月に発行を予定している。

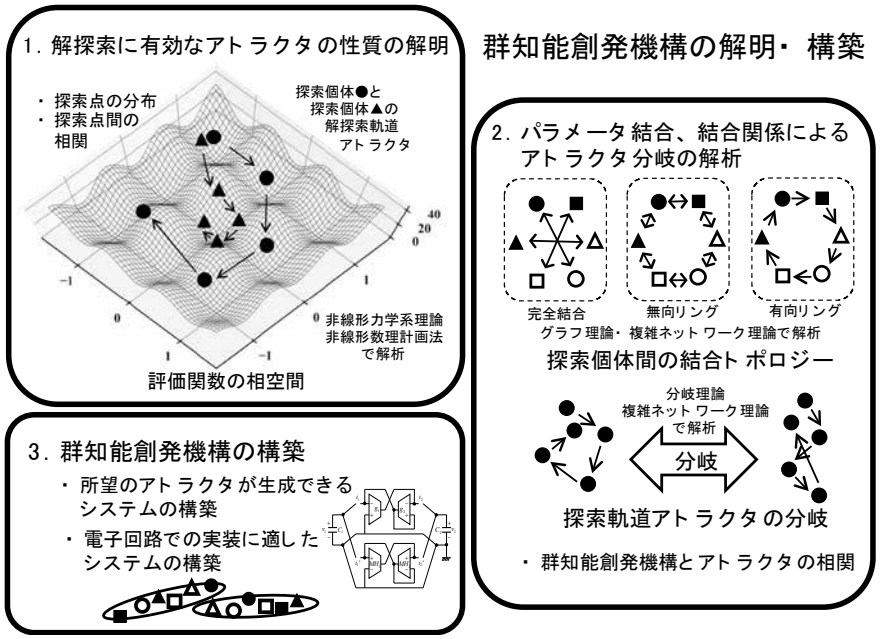


図 1
本プロジェクトの研究目標

［4］成果資料

（1）Kenya Jin’no, “Nonlinear Map Optimization”, in Proc. of 2018 IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI 2018), pp. 2082-2088, Rio de Janeiro, Brazil, 2018. 7. 8-13.

（2）Kenya Jin’no, “Analysis of Dynamics of Nonlinear Map Optimization”, in Proc. of 5th International Conference on Applications in Nonlinear Dynamics (ICAND 2018), p. 32, Maui, Hawaii, USA, 2018. 8. 5-9

（3）Takuya Shindo, Takefumi Hiraguri, Kenya Jin’no, “Analysis of Particle Swarm Optimization with Individual Dropout”, in Proc. of 2018 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2018), pp. 288-291, Tarragona, Spain, 2018.9.2-6.

（4）Kenya Jin’no, “On a Nonlinear Map Optimization”, in Proc. of 2018 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2018), pp. 292-295, Tarragona, Spain, 2018.9.2-6.

（5）Masato Omika, Hidehiro Nakano, Arata Miyauchi, “An Artificial Bee Colony Algorithm for Dynamic Optimization Problems”, in Proc. of 2018 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2018), pp. 343-346, Tarragona, Spain, 2018.9.2-6.

（6）Santana Sato, Hidehiro Nakano, Arata Miyauchi, “Particle Swarm Optimizer Networks with Switching Local and Global Network Topology”, in Proc. of 2018 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2018), pp. 347-350, Tarragona, Spain, 2018.9.2-6.

（7）Wataru Kinoshita, Motoaki Sakai, Hideyuki Kato, Hiroaki Kurokawa, Haruna Matsushita, Takuji Kousaka, “Application of Particle Swarm Optimization to the Calculation of Border Collision Bifurcation Point in a One-Dimensional Map”, in Proc. of 2018 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2018), pp. 355-358, Tarragona, Spain, 2018.9.2-6.

（8）Kenya Jin’no, “Search Property of Nonlinear Map Optimization, in Proc. of 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2019), Wellington, New Zealand, 2019.6.10-13. (accepted)

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/B18

ユビキタスコンピューティングの インフラストラクチャ化に向けた実証的研究

［1］組織

研究代表者：
村尾　和哉（立命館大学情報理工学部）
通研対応教員：
高橋　秀幸（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
荒川　豊　（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
内山　彰　（大阪大学大学院情報科学研究科）
猿渡　俊介（大阪大学大学院情報科学研究科）
中村　嘉隆（公立はこだて未来大学システム情報科学部）
木谷　友哉（静岡大学大学院総合科学技術研究科）
鈴木　秀和（名城大学理工学部）
神崎　映光（島根大学大学院総合理工学研究科）
米澤　拓郎（慶應義塾大学政策・メディア研究科）
川原　圭博（東京大学大学院情報理工学系研究科）
岩井　将行（東京電機大学未来科学部）
梶　克彦　（愛知工業大学情報科学部）
荒瀬　由紀（大阪大学大学院情報科学研究科）
廣井　慧　（名古屋大学未来社会創造機構）
石田　繁巳（九州大学大学院システム情報科学研究院）
松井加奈絵（東京電機大学理工学部）

延べ参加人数：１７人

研究費：
旅費　255,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトでは，ユビキタスシステムの基盤となる，センサ・ネットワーク・サービスという 3 つの研究領域を融合することと，実世界へのユビキタスシステムの導入した際の課題を明らかにすることを目的として，1 年間研究してきた．本プロジェクトは，本年度が第 1 年度であった．本報告書では，本プロジェクトの成果として，1)基礎技術と，2)都市，3)健康，4)災害という 3 領域での適用事例について研究成果を報告する．

なお、研究活動状況としては，2018 年 11 月 30 日～12 月 1 日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催した．研究会には，本研究グループからの 10 名に加えて，関連する別の研究グループからも 14 名が参加し，計 24 件の最先端研究が発表された．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第１の研究成果として，**行動認識と行動変容に関する研究成果**を報告する．研究代表者である立命館大・村尾は，手書き文字認識技術と誤認識訂正機構を搭載した採点システム（[4]-(1)）および，頭部動作から会議議事録を自動作成するシステム（[4]-(2)）を提案した．奈良先端大・荒川は，情報技術を活用して，人の行動をより良い方向に変えていく研究を実施している．研究成果（[4]-(3)）では，通りかかった人に対して能動的に話しかけるサイネージを構築し，対話を通じて，ストレス状態を調査し，体重を測ると行った健康行動を促すことが可能かどうかを検証した．その結果，時間とともに興味が薄れるもののサイネージとの対話は受け入れられることを明らかにした．研究成果（[4]-(4)）では，継続的に姿勢認識可能なサンサ内蔵チェアの開発やセンサを用いた質問票の代替について報告した．

第２の研究成果として，**都市交通に関する研究成果**を報告する．名城大･鈴木は IoT 技術を活用して，次世代型バスロケーションシステムの研究開発および社会実装を実施している．研究成果（[4]-(5)）では，GPS で取得したバスの位置情報および時刻情報の可逆圧縮技術を開発し，圧縮率 17.5%を実現できることを報告した．研究成果（[4]-(6)）ではこの圧

縮技術を搭載した車載器を車両に設置し，また電子ペーパーと LPWA デバイスを搭載したスマートバス停のプロトタイプを開発し，愛知県日進市のコミュニティバスにおいてフィールド検証実験を行った結果を報告した．九州大・石田は，マイクロフォンを用いて車両や歩行者，自転車を検出する技術に関する研究開発を行っている.研究成果([4]-(7))では，路側に設置したステレオマイクを用いて車両走行音の到来方向を推定する信号処理技術によって精度83%で車両を検出できることを確認した．また，研究成果（[4]-(8)）では風によって検出精度が低下する問題への対策を検討し，風環境下で精度 77%で車両検出を実現できることを報告した．愛知工業大・梶は，各建物で活動している人の行動センシングデータから歩行軌跡を推定し，その統合によって歩行空間ネットワーク構造を構築した．同一経路を歩行した複数の軌跡を平均化によって歩行軌跡の高精度化を行った（[4]-(9)）．また，異なる歩行軌跡同士の部分一致を機械学習によって推定する手法を提案した（[4]-(10)]）．大阪大・内山は，車載カメラ映像に対して深層学習を適用することにより、歩道上の歩行者の人数を方向別に推定する手法を考案した（[4]-(11)）．また，メンテナンスフリーな移動状況認識を実現するため，環境発電で駆動するウェアラブルセンサを靴や腕などに装着し，得られるセンサデータを backscatter 通信によって組み合わせる手法を設計し，基礎検討を行った（[4]-(12)）．

第３の研究成果として，**IoT を活用した健康管理に関する研究成果**を報告する．東京電機大・松井は，人間の生活をサポートする IoT プラットフォームの構築を行った．データの利活用を行うための API の構築を行うなど，スマートスペース構築を目的とした他の研究に対し，技術貢献ができる環境を構築した（[4]-(13)）．また，人間の生活に影響を及ぼすことが考えられる温度，湿度などの微粒度データを取得し，リアルタイムフィードバックを行うことで熱中症など身体への負の影響を防ぐためのアプリケーションを構築し,実証実験を実施した（[4]-(14)）．

第４の研究成果として，**災害時の情報システムに関する研究成果**を報告する．東北大・高橋は，ロボット，家電，センサ，携帯端末などの IoT 機器が協調・連携しながら被害状況を把握し，状況に応じて津波からの避難経路を導出することで，迅速な避難誘導を支援するエージェント型 IoT デバイスの連携による避難誘導支援システムの開発に取り組んでいる．いわき市沿岸部を実証実験フィールドとした避難行動支援システムにおいて，ドローンを活用した避難誘導支援について報告した（[4]-(15)，[4]-(16)）．島根大・神崎は，大規模災害発生時に，行政，企業，研究機関，個人等が所有するドローンをその場で協調動作させ，初動対応としての被災地域の状況把握，および被災者への情報伝達を実現するためのドローンの動作制御について取り組んでいる（[4]-(17)）．また，スマートフォン等のモバイル端末から取得できるセンサデータを収集・利活用するためのデータ管理・ネットワーク制御技術についても取り組んでいる（[4]-(18)）．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

2019 年 3 月に国際会議 IEEE PerCom2019 において奈良先端大・荒川は，Persuasive technology を対象としたワークショップ PerPersuasion2019 を，大阪大・内山はモバイルユビキタスコンピューティングに関するワークショップ MUSICAL2019 を開催した.

- 会議，シンポジウム名　IEEE PerCom2019
- 日時　2019 年 3 月 11 日～15 日
- 開催場所　京都国際会館（京都，日本）
- 参加人数　380 人

九州大・石田は，無線通信を用いた車両検出技術を考案し，JST 戦略的創造研究推進事業 ACT-I 研究領域「情報と未来」に採択された.

- プロジェクト名　無線通信を用いた車両・自転車・歩行者検出技術
- 資金制度，研究費名　JST ACT-I
- 配分機関名　科学技術振興機構
- 研究期間　H30 年 10 月から H32 年 3 月まで

東北大・高橋は，エージェント型 IoT デバイスの連携による避難誘導支援システムの研究開発に関して，基盤研究(B)・特設分野（人工物システムの強化）に採択された.

- プロジェクト名　天災に適応し地域防災力を強化する避難行動支援システムに向けた実証的研究
- 資金制度，研究費名　科研費基盤研究(B)
- 配分機関名　日本学術振興会
- 研究期間　2018 年 7 月～2021 年 3 月

東京電機大・松井は，セコム科学技術振興財団一般研究助成に採択された.

- プロジェクト名　プライバシとパーソナライズドサービスの両立を目指したセキュアな情報流通プラットフォームの研究
- 資金制度，研究費名　公益財団法人セコム科学技術振興財団: 平成 30 年度一般研究助成（準備研究）
- 配分機関名　（公財）セコム科学技術振興財団
- 研究期間　平成 30 年 10 月～平成 31 年 9 月

雑誌等記事として，名城大・鈴木は，コミュニテ

ィバスに関する研究が『中日新聞，2019年2月7日朝刊，p.16 なごや東版』および『朝日新聞，2019年2月18日朝刊，p.27 名古屋版』に掲載された．島根大・神崎は，『ROBOT CREATORS MAGAZINE（命を救うロボット統制システム，July 2018)」に掲載された．東京電機大・松井は，『OHM 2018年7月号【社会インフラを支える「エネルギーと情報」】IoTの研究動向と情報システム工学科の取り組み』に掲載された．また，奈良先端大・荒川は，情報技術を用いた行動変容に関する研究会「行動変容と社会システム研究会」を2018年6月，9月，2019年3月と3回主催し，2019年1月には，労働衛生や労働経済学の研究者とともに異分野ワークショップを開催した．さらに，情報技術を用いた内面状態の予測に関しては，一般企業5社と協力し，60名の従業員にセンサを装着する実験を実施している．

［4］成果資料

(1) K. Yamamoto, F. Kan, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio, “Manual Grading Task Support System with Interactive Correction Mechanism,” Trans. of Human Interface Society, Vol.21, No.1, pp.73-84 (Jan. 2019).

(2) A. Ohnishi, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto, “A Method for Structuring Meeting Logs using Wearable Sensors,” Elsevier Journal (Internet of Things: Engineering Cyber Physical Human Systems), Vol.5, pp.140-152 (Mar. 2019).

(3) Z. Zhang, Y. Arakawa, H. Oinas-kukkonen, “Design of Behavior Change Environment with Interactive Signage Having Active Talk Function,” PerPersuasion'19 (Mar. 2019).

(4) 荒川 豊，“センサによるコンテキスト認識と行動変容～情報技術によるスマートオフィスの実現に向けて～,” 第26回日本産業ストレス学会 (Dec. 2018).

(5) T. Boshita, H. Suzuki, Y. Matsumoto, “Compression Method of Position Information for IoT-based Bus Location System Using LoRaWAN,” ICMU2018 (Oct. 2018).

(6) T. Boshita, H.Suzuki, Y. Matsumoto, “IoT-based Bus Location System Using LoRaWAN,” ITSC2018, pp.933-938 (Nov. 2018).

(7) S. Ishida, J. Kajimura, M. Uchino, S. Tagashira, A. Fukuda, “SAVeD: Acoustic Vehicle Detector with Speed Estimation capable of Sequential Vehicle Detection,” ITSC2018, pp.906-912 (Nov. 2018).

(8) M. Uchino, S. Ishida, K. Kubo, S. Tagashira, A. Fukuda, “Initial Design of Acoustic Vehicle Detector with Wind Noise Suppressor,” PerVehicle2019 (Mar. 2019).

(9) K. Yotsuya, N. Ito, K. Naito, N. Chujo, T. Mizuno, K. Kaji, “Method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectories Using a Large Amount of Trajectories,” ICMU2018 (Oct. 2018).

(10) S. Sugimoto, N. Ito, K. Naito, N. Chujo, T. Mizuno, K. Kaji, “Partial Matching Estimation Method of Walking Trajectories for Generating Indoor Pedestrian Networks,” ICMU2018 (Oct. 2018).

(11) Y. Hara, A. Uchiyama, T. Umedu, T. Higashino, “Sidewalk-level People Flow Estimation Using Dashboard Cameras Based on Deep Learning,” ICMU2018 (Oct. 2018). (Best Paper Award)

(12) T. Maeda, A. Uchiyama, T. Higashino, “A Feasibility Study on Battery-less Travel Context Estimation Using Ambient Backscatter,” MUSICAL2019 (Mar. 2019).

(13) K. Matsui, “Proposal of Web API Architecture for Smart Community: A Case Study of Japan,” AINA2019 (Mar. 2019).

(14) K. Matsui, K. Sakai, “A Proposal for a Dynamic Digital Map to Prevent Heatstroke Using IoT Data,” AINA2019 (Mar. 2019).

(15) 高橋秀幸，片山健太，横田信英，杉安和也，北形 元，木下哲男，“UAVを活用した避難誘導支援システムの設計と試作,” FIT2018講演論文集，第4分冊，pp.363-364 (Sep. 2018).

(16) K. Katayama, H. Takahashi, N. Yokota, K. Sugiyasu, T. Kinoshita, “Design and Implementation of Multiagent-based Evacuation Guidance Support System using UAVs,” iCAST2018, pp.196-201 (Sep. 2018).

(17) A. Kanzaki, H. Akagi, “A UAV-Collaborative Sensing Method for Efficient Monitoring of Disaster Sites,” AINA2019 (Mar. 2019).

(18) A. Kanzaki, K. Kuwabara, “A P2P-based Data Storing Method for Participatory Sensing,” CISIS2018, pp.486-496 (July 2018). (Best Paper Award)

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
(国際)

採択番号：H30/B19

音声・音楽情報処理のための深層学習技術の高度化に関する研究

［1］組織
研究代表者：
千葉　祐弥（東北大学　大学院工学研究科）
通研対応教員：
トレビーニョ ホルヘ(東北大学　電気通信研究所)
研究分担者：
鈴木　基之（大阪工業大学　情報科学部）
Kyogu Lee（ソウル大学　Music and Audio Research Group）
伊藤　仁（東北工業大学　電気電子工学部）
坂本　修一（東北大学　電気通信研究所）
森　大毅（宇都宮大学　工学部）

延べ参加人数：33 人

研究費：

旅費	229,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

音声や音楽に代表される音情報は，人間同士および人間と機械のコミュニケーションにおいて重要な役割を担っている．近年の情報社会の進展を背景に，IoT 技術やバーチャルリアリティ技術を駆使したより先進的な音声・音楽情報処理技術が社会に求められるようになっている．このような社会の要請を満たすためには，聴覚心理学や音声工学をはじめとした音情報科学の知見はもちろん，情報工学の分野で注目を集める機械学習の方法論の導入が必要不可欠である．特に，深層学習をベースとした人工知能技術は，計算機性能の向上や多量のデータの蓄積に支えられて急激に発展しており，音声・音楽情報処理の分野をはじめ，これからの産業界をけん引する中核技術となりつつある．

しかしながら，現状の人工知能技術は，音声・音楽情報処理やその周辺分野で培われてきた知見から切り離されて進展している傾向があり，分野間の相互作用の機会は減少している．真に豊かな音声・音楽コミュニケーション技術を確立するためには，音情報科学に関わる多様な分野との相互作用に基づくさらなる技術革新が必要である．したがって，本共同研究プロジェクトでは音声・音楽情報処理分野の若手研究者を集め，深層学習に基づく人工知能技術を議論の主軸としながらも，分野の垣根を越えて意見交換を行う場を提供することを目的として，国際セミナーを開催した．本プロジェクトは本年度が初年度である．以下，研究活動状況の概要を記す。

研究会構成員である東北大学 坂本修一准教授とは，本国際セミナーの実現に向けて，一週間に一度程度の頻度で 9 月から 10 月までの間,開催計画に関して定期的に打ち合わせを行った.宇都宮大学 森大毅准教授とは 9 月 12 日から 9 月 15 日かけて行われた，音響学会秋季研究発表会にて打ち合わせを行った．また大阪工業大学 鈴木基之教授，ソウル大学 Music and Audio Research Group，Kyogu Lee 准教授,東北工業大学 伊藤仁准教授とは 9 月の時点で招聘者や招聘スケジュールに関してビデオチャットやメールを介して打ち合わせを実施した.

セミナーの本会は 2018 年 10 月 20 日（土)に開催し，3 件の基調講演者による近年の深層学習技術に基づく音声・音楽情報処理の進展に関する基調講演と 3 件の若手研究者による最新の研究発表が行われた．また，国外研究機関からの参加者 9 名，ポスドク・学生 11 名を含む 33 名が聴講者としてセミナーに参加した.

［3］成果

（3－1）研究成果

タイプ：国際共同研究推進型

音は人対人，人対機械のコミュニケーションにおいて最も重要な媒介の一つである．音声・音楽情報処理技術を高度化することで，例えば，視覚や手足に障碍を持つ障碍者のためのユニバーサル・デザイン

や話者の感情状態・パラ言語情報にまで配慮したパーソナル・アシスタントの実現が可能である．人工知能技術はこのような豊かな音声・音楽コミュニケーション環境の実現に寄与する中核技術である．現在の人工知能技術の発展には深層学習が大きく寄与しているが，その理論の中心となっているニューラルネットワークの原型は神経科学の分野で提唱されたものであり，ネットワークの学習によって得られたモデルの出力は人間の知覚と密接に関係していると言われている．しかしながら，聴覚心理をはじめとする音情報科学の知見は現在の深層学習技術に基づく人工知能分野に十分に共有されていないという問題がある．一方で，データ駆動で潜在的な知識の抽出を目指す人工知能研究の方法論は，音の知覚・生成過程の理解においても非常に有意義であり，音声・音楽情報処理分野の進展にも貢献し得るものである.本プロジェクトで開催した国際セミナーでは，この分野間の隔たりを取り払うべく，3 件の基調講演を行い，近年の深層学習技術に基づく音声・音楽情報処理の知見を共有した．講演では，Georgia Institute of Technology より Juang Biing Hwang 教授，Seoul National University より Kyogu Lee 准教授を招聘し，それぞれ深層学習に基づく音声認識技術と音楽生成技術に関する基調講演を依頼した.また，東北大学 工学研究科より伊藤 彰則教授に次世代の音声対話システムに関する基調講演を依頼した．本国際セミナーでは，上記3件の基調講演をもとに，聴覚音声分野の研究者を交えた議論を行い，関連分野間の交流を促進した.

また，本プロジェクトでは，若手育成のコミュニティ形成を促進する目的で，3 件の新進気鋭の若手研究者による研究成果の発表セッションを設けた．一方で，聴講者として音声・音楽情報処理分野の若手研究者を幅広く参加を呼びかけ，ディスカッションを促した．セミナーの参加者は上記の先進研究者による基調講演と若手研究者らの研究成果発表を通じ，音声・音楽情報処理技術を交えた人工知能技術の将来展望を議論した.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは，音声・音楽情報処理分野の若手研究者を幅広く集め，セミナーの聴講による最先端の深層学習技術の知見の共有とディスカッションを促進した．参加者は先進研究者による基調講演と新進気鋭の若手研究者の研究成果の発表を通じ，音声・音楽情報処理技術を交えた人工知能技術の将来展望を議論した．一方で，隣接分野の研究者を交えた議論は，分野間の相互作用と優れた若手研究者の成長と交流を促し，将来の研究分野を支える新しい発想の礎づくりと学際コミュニティの形成の萌芽に寄与した.

本プロジェクトの国際セミナーで報告された研究成果は現在編集中の Acoustical Science and Technology 誌 UAC 2018 特集号にまとめられる予定である.

・Acoustical Science and Technology 誌 UAC 2018 特集号

［4］成果資料

該当なし

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3
(国際)

採択番号：H30/B20

「こころ」を生み出す脳内機構の理解

［1］組織

研究代表者：
筒井 健一郎（東北大学生命科学研究科）

通研対応教員：
塩入 諭（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
下條 信輔（カリフォルニア工科大学生物工学）
酒井 宏（筑波大学情報学群）
西田 眞也（NTT 基礎研究所）
村上 郁也（東京大学社会学系研究科）
宇賀 貴紀（山梨大学医学部）
河原 純一郎（北海道大学文学研究科）
田中 真樹（北海道大学医学研究科）
一川 誠（千葉大学文学部）
吉田 正俊（生理学研究所）
冨田 浩史（岩手大学理工学部）
金子 寛彦（東京工業大学工学院）
齋木 潤（京都大学人間環境学研究科）
小川 正（京都大学次世代研究創生ユニット）
渡邊 克己（早稲田大学基幹理工学部）
七五三木 聡（大阪大学医学系研究科）
佐藤 暢哉（関西学院大学文学部）
鮫島 和行（玉川大学脳科学研究所）
栗木 一郎（東北大学電気通信研究所）
松宮 一道（東北大学情報科学研究科）
岡谷 貴之（東北大学情報科学研究科）
天野 薫（情報通信研究機構）
林 拓也（理化学研究所）
坂本 一寛（東北医科薬科大学）
Sven Bestmann（UCL）
Peter Janssen（KU Leuven）

延べ参加人数：50 人

研究費：

旅費	287,000 円
国際特別支援費	220,000 円

［2］研究経過

脳内の情報処理において，外的な刺激が処理されていかに主観的な知覚や認知が生るのか，また，それに基づいていかに行動が発現するのかを知ることは，こころの仕組みの理解につながるとともに，人の特性に適合した，使いやすくエラーが起こりにくい情報通信の技術やシステムを開発する上での重要な基盤知識となる。本研究においては，脳内情報処理に伴う神経現象や行動を対象として研究を展開している神経科学，および，認知・情報科学，計算論などの領域の研究者が一同に会し，それぞれの研究において取得された最新のデータを持ち寄り，議論することによって，神経・行動データに基づいた心の仕組みの理解を目指すことを目的とした。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究会 Understanding the brain mechanisms of "mind"（2019 年 2 月 15～16 日 於 通研本館）参加人数 50 名　使用言語：英語

Prof Yutaka Oouchida (Osaka Kyoiku Univ.)
Body representation of the paretic limb in the brain damaged education for handicaps

四肢の麻痺患者にとって問題は，利用できないことから利用する機会が減りそれによってさらに利用できなくなるという悪循環があることが知られていて，そのため麻痺した手足のみを利用させる状況を課すリハビリが試みられている。利用しないことによる問題として，身体への注意効果が低下している可能性があり，それを研究することでより適切なリハビリの手法を開発することが期待できる。講演は，身体位置への注意効果が麻痺にともないいかに変化するかなど患者の身体性注意の機序を調査する研究についてのものであった。身体と認知行動はとの関係は，こころを考える上で無視できない重要な要素であると共通認識を得た。

Prof Masaki Tanaka (Hokkaido Univ.)
Subcortical mechanism of self-timing and temporal prediction

時間に関する感覚や脳処理は，視覚や聴覚と異なり感覚刺激との直接的な関連を考えるのが難しい。とくに脳内で主観的に一定時間をいかに計測するかは，時間という概念そのものに関わる重要な問題である。講演では，一定時間後に眼球運動するように訓練したサルを用いた，待ち時間に関連する脳活動を調べる研究に関してである。実験結果は，長い時間間隔に関わる処理系と短い時間間隔に関わる処理系が存在し，両者が協調的に働いていることを明らかにするものである。時間もこころを考える上で無視できない重要な要素であると共通認識を得た。

Prof. Shinsuke Shimojo (Caltech)
Vision when input is impoverished: postdiction, implicit processing, and extreme-periphery

視覚の働きは見えないものをみることであるとの視点から，多くの知覚現象を包括的に捉えることができる。一連の刺激を処理した上で，実際の時間関係とは別に，postdiction として知られる処理によって知覚が決まること，　潜在的な処理による implicit processing に加えて，最近の研究成果として，外界に対応しない網膜位置の刺激に対する見え方など，極端な刺激環境における視覚処理に関するものなどの紹介があった。ヒトの認識過程が環境適応的に，不足した情報を補った処理系となっていることの重要性を認識できた。

Dr Hung Shao-Min (Caltech)
Out of sight, not out of mind: Unconscious information processing unconscious

ヒトの情報処理過程は，意識的に認識されているものだけでないことはよく知られている。しかし，主観的に見えていない刺激が認識や判断に影響するかどうかについては，慎重に計画された実験が必要であり，どのような刺激がどのような条件でどれだけ無意識に処理されているかを知ることは簡単ではない。講演では，この問題に対して正面から取組，知覚的には認識できない刺激の影響を明確に示す実験結果を紹介した。ヒトが文字など与えられた刺激を処理する場合において，無意識な処理の影響がどのように影響するかについて重要な知見である。

Prof Jun Izawa (Tsukuba Univ.)
Proposing a computational approach for studying embodied cognition: motor control and mind

自閉症スペクトル障害 (ASD) および注意欠陥多動性障害 (ADHD) を持つ個人への支援は，現代においてそれらの個人のみならず彼らを取り巻く社会におけるコミュニケーションを考えるうでも，重要な課題である。自閉症スペクトラム障害，注意欠陥多動性障害を対象とした自身の身体に関する認識を研究することで，それぞれの障害のあり方を調べることができるとの立場から行った研究の紹介があった。力覚フィードバックを利用し，外力の影響を模擬した条件で腕運動に対する学習効果を比較した。両者の間に異なる傾向を見いだし，障害の機序が異なることを明らかにした。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，カリフォルニア工科大学 下條信輔 教授、Dr Hung Shao-Min 博士らの参加を得て、上記研究会を開催した。こころを生み出す脳内機構、すなわち、外的な刺激が処理されていかに主観的な知覚や認知が生るのか，また，それに基づいていかに行動が発現するのかについての、神経科学，および，認知・情報科学，計算論などの分野における最先端の情報を共有し、議論することができた。

特別支援（国際）に係る研究成果）
特別支援予算を海外からの講演者招へいに利用し、英語での研究会を実施することで、こころを生み出す脳内機構に関する研究の発展に向けた有益な議論ができた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

とくに、下條教授、代表者の筒井、通研対応教員の塩入の三者の間で、今後、共同して競争的資金への申請などを行いながら、「こころを生み出す脳内機構」にかかわる国際共同研究を行っていくことに同意し、研究の方向性および、具体的な計画について議論を行った。

［4］成果資料

Hosokawa T, Honda Y, Yamada M, Romero MC, Iijima T, Tsutsui KI* (2018) Behavioral evidence for the use of functional categories during group reversal task performance in monkeys. *Scientific Reports* 8: 15878

Shioiri S, Hashimoto K, Matsumiya K, Kuriki I, He S (2018) Extracting the orientation of rotating objects without object identification: Object orientation induction. *Journal of Vision* 18: 17

Stiles NRB, Li M, Levitan CA, Kamitani Y, Shimojo S. (2018) What you saw is what you will hear: Two new illusions with audiovisual postdictive effects. *Plos One* 13: e0204217

Kunimatsu J, Suzuki TW, Ohmae S, Tanaka M. (2018)

Different contributions of preparatory activity in the basal ganglia and cerebellum for self-timing. *Elife* 7: e35676

採択回数 (1) 2 3
(先端)

採択番号：H30/B21

聴覚モデルに基づく都市空間における音情報伝達性能の評価

［1］組織

研究代表者：
佐藤　逸人（神戸大学大学院工学研究科）
通研対応教員：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
William L. Martens（The University of Sydney）
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
崔　正烈（東北大学電気通信研究所）
佐藤　洋（産業技術総合研究所）
栗栖　清浩（TOA 株式会社）

延べ参加人数：１８人

研究費：
旅費　219,000 円

［2］研究経過

都市・建築空間では音を用いた情報伝達が重要な役割を果たす。音を用いることにより，案内放送に代表される言語情報だけでなく，視覚障がい者のための音案内のように方向あるいは位置といった空間情報も伝えることが可能である。都市・建築空間における音情報伝達の特徴として，暗騒音や残響音の妨害を受けることが挙げられる。一般には，信号音として音声等の物理特性を模擬した標準音を用いて妨害音との強度比を測定することにより，その空間が持つ音情報伝達性能を評価する。しかし，信号音の物理特性をその空間の妨害音に対して最適化するような高度な技術を開発するためには，従来のような信号音と妨害音を別々に考える方法ではなく，それらが足し合わされた実際に両耳に入力される音から総合的な情報伝達性能を評価する方法が必要である。

以上を踏まえ，本共同研究プロジェクトでは，人間が信号音と妨害音が混合した耳入力信号から如何にして言語情報や空間情報を分離・抽出・認識するかを明らかにするために，これまで研究されてきたラウドネス，ピッチ，カクテルパーティー効果，聴覚情景分析といった様々な人間の聴覚モデルと音情報伝達性能の評価を結びつける横断的な議論を行うことを目的とする。具体的には，以下の 3 つのテーマについて議論する。

1) 各種聴覚モデルの最前線：現時点で提案されている各種聴覚モデルの到達地点を整理し，それらの相対関係や改善の余地がある点などをまとめる。
2) 聴覚モデルの応用：本共同研究プロジェクトでは音情報伝達性能の評価を聴覚モデルの応用例の１つとして捉えているが，その他の応用の可能性も含めて議論する。
3) 聴覚モデルに基づく音情報伝達技術の高度化：聴覚モデルの挙動を踏まえ，音情報の耐妨害音性能をどこまで高められるかについて議論する。

2018 年 10 月 29 日から 30 日にかけて東北大学電気通信研究所にて開催された Tohoku Universal Acoustical Communication Month 2018 のサテライトシンポジウム：Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications において，関連する分野の最前線の研究者が集うことから，そのタイミングに合わせて研究会を行った。参加者は１６名であった。

［3］成果

（３－１）研究成果

研究会では，第［2］項で述べた 3 つのテーマのうち，特に 1)について音の方向定位に関する議論が行われた。音源あるいは聴取者が動く場合の音の方向定位はまだ詳細が明らかにされていないが，それらの動きによって生じる音響的な方向定位のてがかりについてだけでなく，視覚障がい者を対象とした音案内の知覚における聴取者の頭部運動の影響，視覚や運動感覚を含めたマルチモーダル情報処理による方向定位，さらに空間を人が移動する際に感じるサウンドスケープといった幅広い最先端の研究の紹

介とそれに基づく議論がなされた。これにより，参加者間で関連研究に関する知見の同期化と相互理解が進み，研究者ネットワークが強化され，大変有意義であった。

（3－2）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

音を用いた情報伝達は都市・建築空間の安心・安全を確保するための基盤技術であり，これを高度化することは人々の生活の質の向上のために不可欠である。そのためには，建築工学，通信工学，脳科学，心理学といった幅広い研究分野を横断した最先端の知識の集成と融合が必要である。本共同研究プロジェクトは，その端緒となるものである。

また，本共同研究プロジェクトでは，人間の聴覚モデルに基づく音情報伝達性能の評価を研究対象の1つにしている。従来の評価方法では信号音と妨害音を別々に測定する必要があり，測定の制限や所要時間に問題があった。本共同研究プロジェクトで議論した聴覚のメカニズムおよびそのモデル化により，音情報伝達性能を，人間が聴く音，つまり左右の耳に入力される音のみから評価する方法が確立できれば，音情報伝達性能の評価のための測定の制限が大幅に緩和され，これまで困難であった広範囲の面的評価や，実時間評価への応用の道が拓けるため，今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

(1) A. Honda, Y. Masumi, Y. Suzuki, S. Sakamoto, Effect of passive whole-body rotation on sound localization accuracy of listener subjective straight ahead, Seminar on the spatial aspects of hearing and their application, Sendai, Japan, Oct. 29-30, 2018 (Keynote lecture).

(2) H. Sato, Optimization of auditory guide signals in public spaces based on sound localization abilities in humans, Seminar on the spatial aspects of hearing and their application, Sendai, Japan, Oct. 29-30, 2018 (Keynote lecture).

(3) W. L. Martens and M. Cohen, Spatial sound scape superposition, Part I: Subject motion and scene sensibility, Seminar on the spatial aspects of hearing and their application, Sendai, Japan, Oct. 29-30, 2018 (Keynote lecture).

採択回数	1	(2)	3

採択番号：H29/S1

コヒーレント波に基づく学際的先端科学技術の創成

［1］組織

研究代表者

三村　秀典（静岡大学電子工学研究所）

通研対応教員

八坂　　洋（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

青木　　徹（静岡大学電子工学研究所）
根尾陽一郎（静岡大学電子工学研究所）
伊藤　　哲（静岡大学電子工学研究所）
川人　祥二（静岡大学電子工学研究所）
香川景一郎（静岡大学電子工学研究所）
安富　啓太（静岡大学電子工学研究所）
原　　和彦（静岡大学電子工学研究所）
小南　裕子（静岡大学電子工学研究所）
猪川　　洋（静岡大学電子工学研究所）
佐藤　弘明（静岡大学電子工学研究所）
庭山　雅司（静岡大学電子工学研究所）
小野　篤史（静岡大学電子工学研究所）
佐々木哲朗（静岡大学電子工学研究所）
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
横田　信英（東北大学電気通信研究所）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
片野　　諭（東北大学電気通信研究所）
藤掛　英夫（東北大学大学院工学研究科）
石鍋　隆宏（東北大学大学院工学研究科）
柴田　陽生（東北大学大学院工学研究科）

延べ参加人数　69 人

研究費

物件費・旅費：　　1,000,000 円

［2］研究経過

平成 29 年度に続き、コヒーレント波を生成・制御するコヒーレント波光源の開発、コヒーレント波制御に関する研究とそのコヒーレント波応用に関する研究を連携して進めた。平成 30 年 7 月 30 日、東北大電気通信研究所にて口頭発表 5 件、ポスター発表 7 件、参加者 19 名で開催した。そして平成 30 年 12 月 25 日、冬季研究会として、静岡大高柳記念未来技術創造館にて、口頭発表 4 件、ポスター発表 11 件、参加者は当プロジェクトメンバー以外の参加も含め、計 32 名の参加の下、盛況な研究交流を持つことができた。また今年度は、新たな取り組みとして、研究横断的交流を企画し「通信とイメージングの融合」のテーマを掲げ、電研川人研、通研八坂研との研究交流会を静岡大学光創起イノベーション研究棟で参加者 11 名の下、新たな視点での交流を志向した。

そして、平成 31 年 2 月 21 日、通研にて「平成 30 年度 共同プロジェクト研究発表会－新世代 ICT の羅針盤－～通研共同プロジェクトからのメッセージ～」が開催され、共同研究者 7 名が参加した。その中の「組織間連携プロジェクト成果報告」において当プロジェクトを代表して、電研猪川洋教授が「Sensitive and Functional Photodetectors Based on Silicon-on-Insulator」と題して成果報告を行った。各研究室が、以下の達成を目標として研究を行った。

【静岡大学電子工学研究所】

三村・根尾研究室：「表面プラズモンを用いた新規能動デバイスに関する研究」

青木・伊藤研究室：「エネルギー情報を用いたフォトンカウンティング CT に関する研究」

川人研究室：「サブピコ秒時間分解能を有するロックイン型時間分解イメージングデバイスに関する研究」

原　研究室：「深紫外光、電子波、音波コヒーレントデバイス創出に向けた高品質六方晶窒化ホウ素結晶の作製」

猪川研究室：「光のコヒーレント性を利用した高機能アンテナ付き光検出器に関する研究」

庭山研究室：「コヒーレント波併用による近赤外分光計測の正確度向上に関する研究」

小野研究室：「金属ナノ構造上の表面プラズモン振動の可視化」

佐々木研究室「高効率単色コヒーレントテラヘルツ光源の開発」

【東北大学電気通信研究所】

八坂研究室：「超コヒーレント光信号発生の研究」

鈴木研究室：「コヒーレント音波を用いた音響技術の高度化」

上原・片野研究室：「ボトムアップ手法に基づくナノ構造体の光物性制御とコヒーレント波への

展開」

藤掛･石鍋研究室：「フレキシブルディスプレイ用液晶光変調素子の構造探索」

［3］成果

（3－1）研究成果

【静岡大学・三村・根尾研究室】

ATR 配置の表面プラズモンと導波路モードとの干渉結合効果を更に発展させることを目的に、プラズモン増幅現象について研究を推進した。プラズモンと強結合した色素添加導波路モードの最適な構造設計を行った。また評価装置開発とし、吸収と発光スペクトルの角度分散から､エネルギー―波数ベクトルの分散関係を可視化するハード・ソフト開発を完了した。この結果、理論と完全に一致する吸収分散関係に対し、発光分散関係は、意図しない新たなバンドが存在する事を実験的に明らかにした。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】

これまで研究開発を進めてきたフォトンカウンティングX線イメージャを発展させ、ナノビジョンサイエンスの概念にもとづいた光子・電子の個々の取扱を取り入れて新しいデバイスを目指して、センシングで発生した電荷を直接取り扱うフォトン・電荷カウンティング型の信号処理ASICを開発、CdTeX線素子とのバンピングでテストモジュールでのX線画像検出、エネルギー弁別を実証した。従来のイメージャでは画像化ができなかった微小ガンマ線でもノイズの少ない画像を得ることができ、一方で同じ素子でX線照射下でのエネルギー弁別も実証し、非常に広いダイナミックレンジを持つデバイスを実現した。

【静岡大学・川人研究室】

３タップ出力をもつラテラル電界変調素子(LEFM)とインパルス駆動による TOF 計測手法用いた高距離分解能CMOSイメージセンサを開発した。光源トリガ信号に重畳する 1/f ゆらぎを持つジッタによって､距離分解能が制限されていることが明らかとなり､これを解決する手法として参照光サンプリング法を新たに考案した｡光源の一部を既知の距離にある固定参照面に照射し､これを画素アレイの一部（参照画素）に戻し、基準となる飛行時間が得られる。この参照画素の出力と、主アレイ画素の出力の差分を取ることで､光源トリガに重畳するジッタが大幅に低減でき、距離分解能として 71um、時間分解能にして473fsを達成した。

【静岡大学・原　研究室】

現在の六方晶BN薄膜の減圧CVDの課題であるBCl_3とNH_3原料間の気相反応を抑制するために、局所・周囲加熱併用型の基板加熱方式に CVD 装置を改造した｡周囲ガス温度により反応の制御を図った結果、周囲ガス温度を下げることにより､気相反応が抑制されることを明らかにした。

【静岡大学・猪川研究室】

アンテナ結合ボロメータ:サーモパイルとヒーターを組み合わせたアンテナ結合ボロメータの性能を実測し、消費電力や検出限界の観点で優れていることを示した。単電子トランジスタ等（整流作用）：整流作用の超短パルス応答について検討し、クーロンダイヤモンド境界上の整流作用が、超短パルスに対しては負の傾斜を持つ境界で消失する特異な現象を見出した。表面プラズモンアンテナ付きフォトダイオード：２次元ホールアレー型アンテナと偏光角変調を組み合わせることで、液体の屈折率測定が可能となることを実証した。

【静岡大学・庭山研究室】

今期は､TOFモジュールで測定された光路長の分布に着目して時間分解波形に関連する波形が取得できるシステムを試作した。開発した装置を用いた実験の結果、散乱係数と吸収係数を算出することができ、数種のアルゴリズムで光学定数を検証できるシステムの構築につながる成果を得た。

【静岡大学・小野篤史研究室】

コヒーレント光を時間的､空間的に制御するプラズモニックデバイスの開発を目的とし、結晶性銀ナノキューブをポリオールプロセスにより作製した。硝酸銀濃度などの調整により 40～100 nm の範囲にて任意のキューブサイズ制御性を実証した。LB 膜法により銀ナノキューブを集積したプラズモニック基板の作製手法を確立し、可視近赤外スペクトル計測により単一キューブ由来と集積キューブ由来のプラズモン共鳴を観測した。さらに上原研究室との連携により、STM プラズモン発光計測技術による銀ナノキューブプラズモン共鳴およびラマン信号特異的増強の観測に成功した。

【静岡大学・佐々木研究室】

角度位相整合を利用する半導体GaP結晶を用いた連続コヒーレントテラヘルツ波発生において､コリメート光および収束光によるテラヘルツ波発生効率の数値計算により最適設計を探索するシステムの構築を進めた｡集光の効果が顕著であることが明らかになった。

【東北大学・八坂研究室】

デジタルコヒーレント光通信や高精度光計測などへの応用に向けた､光負帰還法による超小型狭線幅半導体レーザ光源の開発を進めた。まず、光負帰還効果を定量的に評価可能な数値解析モデルを構築した。更に、Si 導波路を用いた小型光フィルタを試作し、半導体レーザのスペクトル線幅を 11.5 MHz から 160 kHz まで低減することに成功した。

【東北大学・鈴木研究室】

３次元音空間知覚においては、耳や頭等による音波の共振、反共振、回折等の音源位置による系統的変化が重要な知覚手がかりとなる。したがって、音の波動性を考慮した音場情報の合成が重要である。今期は、球面調和解析に基づいて音の波動性を含めた空間情報（音場情報）を、合理的なシステム規模で複数の聴取者に提示するための基盤技術の開発等を進めた。

【東北大学・上原･片野研究室】

高い空間分解能を有する走査トンネル顕微鏡(STM)を用いて、ナノ構造体の光電子物性をナノスケール領域で理解する研究を行った。今期は、酸化グラフェンの微視的な電子状態を STM により明らかにする成果があった。グラフェンシート内に形成された個々のエネルギーギャップを観察することに初めて成功した。また、銀ナノキューブ上におけるプラズモン電場増強と分子振動励起に関する成果を静大小野研との共同研究で得た。

【東北大学・藤掛・石鍋研究室】

今期は、フレキシブル液晶の作製工程において、シリコンエストマのモールドを用いた構造転写法を導入することで、高分子の壁状スペーサや液晶配向用の微小溝を低温処理で作製して、デバイスの電圧駆動を達成した。さらにデバイス湾曲時の画素ずれを抑制するため、構造転写法により凹凸構造の勘合高分子スペーサを試作した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

コヒーレント波光源の開発、コヒーレント波制御に関する研究及びコヒーレント波応用に関する研究について、以下、述べる。コヒーレント波光源の開発においては、新たな手法による半導体レーザの狭線化の実現、THz 波光源では、THz 波発生効率の向上に顕著な進展が見られた。コヒーレント波の時間的、空間的制御に関し、プラズモン共鳴及びその観察に成功した。これは、研究所間の共同研究の大きな成果であり、今後の波及効果が期待される。また、コヒーレント波応用に関する研究では、新たな手法による CMOS イメージセンサの距離及び時間分解能の大幅な改善が実現でき、新しい概念の下でのフォトンカウンティング X 線イメージャによる画像化に成功している。そして、フレキシブル液晶開発の着実な進展が見られ、音空間での基盤技術の開発が進み、波動性を考慮した研究が推進されている。

特に、プロジェクト全体としては、昨年度から続くサマーセミナーに加え、今期は、研究横断的な交流会を企画し、より質的な研究交流も活性化させることで、研究への波及・相乗効果が期待される。

［４］成果資料

(1) S. Worasawato, K. Tasaki, ; Y. Neo, W. Pecharapa, Y. Hatanaka, H. MIMURA, “Persistent Photocurrent characteristics of ZnO polycrystalline films prepared by RF magnetron sputtering method", Japanese Journal of Applied Physics, (2019) accepted

(2) T. Aoki, J. Nishizawa, T. Takagi, K. Takagi, T. Terao, G. Volodymyr, A. Koike, "CdTe pn junction type detector formation by interfacial direct laser irradiation doping", IEEE NSS-MIC-RTSD 2018, R04-04, 2019.11.13 (Sydney)

(3) Y. Okura, K. Yasutomi, T. Takasawa, K. Kagawa, S. Kawahito, "3D scanning measurement using a time-of-flight range imager with improved range resolution", Electronic Imaging 2019, Burlingame, California USA, 2019.1.16

(4) K. Hara, N. Umehara, “Low-pressure CVD and characterization of hexagonal boron nitride thin films”, 5th Int’l Conf. Nanoscience and Nanotechnology, (2019) (invited presentation)

(5) Hiroshi Inokawa, Tomoki Nishimura, Alka Singh, Hiroaki Satoh and Yasuo Takahashi (Invited), "Ultrahigh-Frequency Characteristics of Single-Electron Transistor," 2018 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC'18) T1A01 (Marriott Hotel Golden Bay, Shenzhen, P.R.China, Jun. 6-8, 2018).

(6) M. Niwayama, “Voxel-based measurement sensitivity of spatially resolved near-infrared spectroscopy in layered tissues,” Journal of Biomedical Optics, Vol. 23, pp.030503 1-4 (2018).

(7) Ayana Mizuno, Ryota Yamazaki, and Atsushi Ono, "Active tuning of surface plasmon resonance by controlling inter particle distance of gold nanoparticles," 11th International Conference on Photo-Excited Processes and Applications (Vilnius, Lithuania, Sep. 13, 2018). This presentation received The ICPEPA Outstanding Student Poster Award 1-st PLACE.

(8) K. Aoyama, N. Yokota, and H. Yasaka, “Strategy of optical negative feedback for narrow linewidth semiconductor lasers,”Optics Express 26, 21159-21169 (2018).

(9) T. Shimizu, J. Trevino, S. Sakamoto, Y. Suzuki and T. Ise, “Evaluation of a sound field sharing system,”Acoustical Science and Technology (accepted for publication) (2019).

(10) S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, R. Kasama, and Y. Uehara, "Localized electronic structures of graphene oxide studied using scanning tunneling microscopy and spectroscopy", Phys. Chem. Chem. Phys., 20, 17977-17982 (2018).

(11) D. Minami, Y. Shibata, T. Ishinabe, and H. Fujikake,“Transfer Fabrication of Liquid Crystal Devices with Microgroove and Wall Structure on Plastic Substrate for Flexible In-plane Switching Liquid Crystal Displays,”ITE Transactions on Media Technology and Applications, vol.6, no.4, pp.274-279 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号：H29/S2

ナノエレクトロニクスに関する連携研究

［1］組織

研究代表者

宇髙 勝之（早稲田大学ﾅﾉ・ﾗｲﾌ創新研究機構）

通研対応教員

上原　洋一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

川原田 洋（早稲田大学ﾅﾉ・ﾗｲﾌ創新研究機構）
庄子 習一（同上）
本間 敬之（同上）
渡邉 孝信（同上）
山本 知之（同上）
岩瀬 英治（同上）
水野　潤（同上）
関口 哲志（同上）
谷井 孝至（同上）
枝松　圭一（東北大学電気通信研究所）
長　　康雄（同上）
白井　正文（同上）
石山　和志（同上）
尾辻　泰一（同上）
八坂　洋（同上）
末松　憲治（同上）
廣岡　俊彦（同上）
平野　愛弓（同上）
佐藤　茂雄（同上）

延べ参加人数　48 人

研究費

物件費・旅費：　1,000,000 円

［2］研究経過

ナノ構造の創製技術とその電子デバイス等への応用技術の開発は、これからの情報通信分野の新機能デバイス創製基盤技術を確立する上で極めて重要である。東北大学電気通信研究所は、情報デバイス研究部門、ブロードバンド工学研究部門やナノ・スピン実験施設を中心として、ナノ構造を用いた電子デバイスや集積回路の創製に関して、世界的に評価されている研究成果を数多く上げてきている。

一方、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構はナノテクノロジー関連の研究活動を統合する為の組織として発足し、学際的なナノ理工学に関する研究活動を一つに束ねてワンストップ型の研究開発体制を築いていくことをその役割としており、これまでに電気化学的手法から微細加工技術まで、多様なナノ構造創製技術を培ってきている。特に 2015 年度には、前身のナノ理工学研究機構から、バイオ・グリーンテクノロジーをも包含するナノ・ライフ創新研究機構へと発展した。

本プロジェクト研究では、これらの二つの研究機関が融合研究を実施することにより、異分野技術の融合による新しい情報通信デバイスの実現を目指した研究を推進することを目的として進められた。両機関が、若手研究者育成に関しても緊密に連携することにより、グローバル化に対応できる研究能力の高い若手研究者の育成に努めることも目的としている。

本共同プロジェクトを通して、これまで精力的に両研究組織間で共同研究ならびに研究会を開催してきており、研究および人的交流を図ってきた。また両機関の研究者間での研究成果を共著論文として発表してきている。また、通研国際シンポジウムをはじめとして、国際会議や論文誌等において成果発表を行っている。

2019 年 2 月 26 日（火）には、早稲田大学理工学術院 63 号館 02 会議室において、ナノエレクトロニクスをテーマとした研究会を開催し、同テーマに関する教員の口頭講演、ならびに、学生および博士研究員のポスター発表を行い（参加者：48 名）、両組織間で活発な討論を行った。

ナノ・ライフ分野においては、マイクロパターニング技術の神経細胞への応用において、本組織連携型共同プロジェクトを軸に国内外の研究者を巻き込む形で発展し、具体的な成果（共著論文発表）を挙げた。双方の機関でプレスリリースを実施し、両組織ウェブサイトのトップページでも広く成果を発信した。

［3］成果

（3－1）研究成果

第1に、ナノエレクトロニクスをテーマとした研究会を開催し、同テーマに関する口頭講演、ならびに、ポスター発表を通して、両組織で実施されている最新の研究状況・成果、および、組織間で進行中の共同研究の現状を共有した。発表の内容は下記のとおりである。

（口頭講演）

・運動立体視による空間認識を行う視覚情報処理システム　（東北大　佐藤茂雄）
・マイクロ流体デバイスの新しい化学反応への展開　（早稲田大　関口　哲志）
・デバイス・回路技術を駆使するハードウェアセキュリティ技術　（東北大　本間　尚文）
・半導体量子構造を用いた高速光信号処理デバイス　（早稲田大　宇高　勝之）
・半導体量子ドットによる局所電子状態の観測と制御　（東北大　大塚　朋廣）
・シリコン熱電発電デバイスの開発　（早稲田大　渡邉　孝信）
・不揮発性スピントロニクス素子とその応用　（東北大　深見　俊輔）
・相補型パワー高周波回路に向けたダイヤモンドp-FET　（早稲田大　川原田　洋）

（ポスター発表）

・暗号ソフトウェア・ハードウェアの実装安全性解析　（東北大　森　隼人）
・デバイスのゆらぎを利用したハードウェア認証　（東北大　数森　康平）
・強磁性共鳴を用いたナノスケール磁気トンネル接合の特性評価　（東北大　篠崎　基矢）
・W/CoFeB/MgO ヘテロ構造におけるスピン軌道トルク　（東北大　古屋　海渡）
・低エネルギーArプラズマ照射によるB活性化の促進についての研究　（東北大　李　武）
・プラズマCVDによる不純物ドープSi薄膜形成と電子物性制御に関する研究　（東北大　加藤　永史）
・Izhikevich ニューロンモデルアナログMOS回路の研究　（東北大　田村　祐樹）
・Formation of lipid membranes doped with organic nanoparticles for bio-hybrid devices　（東北大　Xingyao Feng）
・微細加工シリコンチップ中に形成した脂質二分子膜における無細胞合成イオンチャネルの薬物副作用の定量　（東北大　常田　悠介）
・マイクロパターン培養神経回路における自発活動パターンの高速イメージング　（東北大　脇村　桂）
・ノンドープ組成傾斜SiGeワイヤの微小ゼーベック係数測定　（早稲田大　熊田剛大）
・重心移動機構を搭載した羽ばたき型UAV　（早稲田大　西野　巧）
・シリカ/エポキシ界面の破壊経路観察を目的としたマイクロ電極デバイスの開発とその評価　（早稲田大　高橋　滉平）
・Graphene effective index modulation dependent on height and width parameters of silicon wire, slot and sub-wavelength grating waveguides　（早稲田大　HEINSULU Siim ）
・MQW-SOAを用いた非線形偏光回転に基づいた2R全光再生特性　（早稲田大　何　毅）
・SOA キャリア回復時間の活性層構造依存性に関する解析　（早稲田大　杉中　亮太）
・Diamond Josephson Junctions and SQUID for Superconducting Q-bit（早稲田大　蔭浦　泰資）
・ALD-Al2O3 ダイヤモンドMOSFETsの高電圧印加時における高周波特性評価　（早稲田大　今西　祥一朗）
・縦型2DHGダイヤモンドMOSFET： オーバーラップゲート構造による大電流密度・低オン抵抗化　（早稲田大　西村 隼）
・浅い単一NVセンターの規則配列を用いたナノNMRのスピンノイズ解析　（早稲田大　石井　邑）
・低エネルギーイオン注入によりSi基板中に注入したErとOの複合体形成観察およびフォトルミネッセンス計測　（早稲田大　魏　啓楠）
・単一オータプス神経細胞の自発発火に関する理論的解析　（早稲田大　石田実穂子）
・可視光応答性酸化チタン薄膜による表面改質　（早稲田大　市川　貴之）
・マイクロパターン上で培養した単一オータプス神経細胞の自発発火パターンの計測と評価　（早稲田大　髙橋　穂乃歌）

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

集束イオンビーム装置を用いたダイヤモンド中の単一カラーセンターの配列形成と単一光子源への応用について、昨年度に共同研究を開始し、本年度も継続的に共同研究を進めている。ダイヤモンドへのSiスポット照射によりSiVセンターの形成が確認されたが、単一SiVセンターの生成（すなわち、単一光子源としての動作）には至っておらず、継続的に

最適条件の探索を実行する。

上述したように、ナノ・ライフ分野においては、マイクロパターニング技術の神経細胞への応用において、本組織連携型共同プロジェクトを軸に国内外の研究者を巻き込む形で発展し、共著論文を発表した。具体的には、早稲田大学で電子線リソグラフィを用いて実行可能性評価が行われた神経細胞回路が、東北大学にてマイクロスタンプ技術を用いて再現性よく作製できるようになり、その結果、神経細胞回路の自発発火パターンと神経細胞回路のモジュール性との関係を実験的に解析された。加えて、山形大学、および、バルセロナ大学の研究者と東北大学との共同研究により、実験で用いられた神経細胞回路の数理モデル化と解析が行われ、モジュール性と自発発火の同期性との間が、神経細胞回路のネットワーク構造の特徴として理解できることが示された。この成果は、下記に記載の論文誌 Science Advances に共著論文として掲載された。

［4］成果資料

（1） S. Kono, K. Furusawa, A. Kurotobi, K. Hattori, H.Yamamoto, A.Hirano-Iwata, T. Tanii: In situ modification of cell-culture scaffolds by photocatalysis of visible-light-responsive TiO_2 film, Jpn. J. Appl. Phys. 57 (2018) 027001, 1-5.

（2） H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata: Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks, Science Advances 4 (2018) eaau4914.

採択回数	1	2	3

採択番号：H29/S3

デザイン学に基づく電気通信システムの革新

［1］組織

研究代表者
　椹木 哲夫（京都大学ﾃﾞｻﾞｲﾝ学ﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ大学院）
通研対応教員
　北村 喜文（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
　塩入 諭（東北大学電気通信研究所 所長）
　松井 啓之（京都大学ﾃﾞｻﾞｲﾝ学ﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ大学院）
　中小路 久美子（同上）
　山本 恭裕（同上）
　川上 浩司（同上）
　十河 卓司（同上）
　北 雄介（同上）
　小森 雅晴（同上）
　楠見 孝（同上）

　鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）
　坂本 修一（同上）
　Jorge Alberto Treviño López（同上）
　崔 正烈（同上）
　Cesar Daniel Salvador Castaneda（同上）
　栗木 一郎（同上）
　曽 加蕙（同上）
　石山 和志（同上）
　栫 修一郎（同上）
　林 禎彰（同上）
　高嶋 和毅（同上）
　石黒 章夫（同上）
　加納 剛史（同上）
　本間 尚文（同上）
　鬼沢 直哉（同上）
　藤田 和之（同上）
　大脇 大（東北大学大学院工学研究科）

延べ参加人数　28 人
研究費
物件費・旅費：　　1,000,000 円

［2］研究経過

昨年度に実施した合同シンポジウムでは，電気通信研究所で実施中のテーマ，ならびに，京都大学デザイン学でのテーマや産学オープンイノベーションの紹介が行われ，今後の共同研究への発展性について熱のこもった議論が交わされた．東北大学電気通信研究所が有する電気通信分野における要素技術に対して，京都大学デザイン学の知見を活用することで，双方にとって相乗効果が十分期待できることが明らかになった．今年度は双方における知識基盤のレベルでの協働の可能性を探り， これを技術基盤としてのテストベッドを設定して共同研究チームの組織化について協議を行うこととした．その上で，複数の共同研究チームの成果を統合することで将来的に，人間中心のコミュニケーションデザインとして社会のニーズに応えられるイノベーションを目指すことを確認した．以上の具体的な内容や成果を引き続き議論するため，平成31年1月23日に，双方から合計で約30名が集まる研究会を京都大学のデザインイノベーション拠点にて開催した．

［3］成果

（3－1）研究成果

上記の研究会での報告をプログラムに即して記す．

＜SESSION 1：知識基盤の紹介＞

(1) 卓越大学院プログラムH30度採択「人工知能エレクトロニクス卓越大学院プログラム」
塩入 諭（東北大学電気通信研究所所長）

(2) 注意による情報選択と行動選択
塩入 諭（東北大学電気通信研究所所長）

膨大な視覚情報から，必要な情報を選択する視覚的注意機能は，人間の脳機能の効率性を考える上でも，能動性，自発性を考える上でも重要である．視覚的注意研究は多くの研究がなされているが，注意の範囲に関してはその計測法も含めて，限られた研究しかない．我々は，心理物理的計測，眼球運動による計測，脳波による計測などの研究を続け，多くの場合注意が比較的広範囲に広がることを明らかにした．また，注意の広がり方は，処理レベルにも依存し，低次処理では広範囲に広がるのに対して，高次の処理過程ではより狭

い範囲の情報選択をすることも明らかにし，注意を単一過程でモデル化できないことを明らかにした．

(3) 時系列体験データのアラインメントによるセンスメイキングとストーリー生成

中小路 久美代（京都大学ﾃﾞｻﾞｲﾝ学ﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ大学院）

多くのアクティビティが計算機環境上で行われている．ドキュメントやプレゼンテーションの作成を始め，コミュニケーションやミーティング，ドローイングやサーチなど，多様なアクティビティの結果が電子的に生成され，共有される．我々が携わる多くの営為の経過や結果，軌跡は，このような，タイムスタンプ付きの〈履歴〉データとして蓄積されていく．本研究では，このようにして副次的に蓄積されてゆく，多様かつ大量の異なるアクティビティデータのストリーム群のインタラクティブな可視化環境を介して，人の知識創出や意思決定といった知的創造作業を支えることを目指している．

(4) ストカスティック演算に基づく省エネルギー脳型LSIの展望

鬼沢 直哉（東北大学電気通信研究所）

「ストカスティック演算に基づく省エネルギー脳型LSIの展望」という題目で，これまで電気通信研究所で行ってきた平成２６年度文部科学省概算要求「人間的判断の実現に向けた新概念脳型 LSI 創出事業プロジェクト」に関連する研究成果発表が行われた．発表では，プロジェクトに関する概要，及びその具体的な応用例としてストカスティック演算に基づく学習処理に関して報告された．

(5) ワイヤレスポンプとその医療応用

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

「ワイヤレスポンプとその医療応用」と題して講演が行われた．磁気利用技術の大きな注目点である磁気を利用したワイヤレスでの力やトルクの発生について，医療応用を意識した最近の研究成果に関する講演である．バッテリーやケーブルを必要とせずに体内に「動き」を生じさせる磁気技術は医療分野に全く新しい概念を持ち込みつつある．特に完全埋め込みを可能とするワイヤレスポンプは人工補助心臓構築のためのキーテクノロジーである．加えてこの技術は，生体の一部分，すなわち特定の臓器や脚部のみなど局所の血流を増加させるためのポンプに発展することも期待されている．

＜SESSION 2: 移動空間・操作空間のデザイン＞

(6) 車輪式移動装置用の全方向移動機構と統合型モータ機構の研究

小森 雅晴・寺川 達郎（京都大学ﾃﾞｻﾞｲﾝ学ﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ大学院）

普通の車輪を用いて前後・左右・斜めへの移動や回転を行うことができる新しい全方向移動ロボットの研究について報告した．まず既存の車輪機構について解析を行い，あらゆる車輪機構に共通する運動学上の条件式を示した．得られた条件式と実際の運動との関係を考察し，全方向移動・単純な構造・動作干渉の回避を同時に実現することができる新しい動作原理の車輪機構を考案した．この機構を用いて構成される全方向移動ロボットに関して，運動制御のシミュレーションや実機を用いた実験を行い，その有効性を示した．

(7) 磁気式３次元モーションセンサシステムの試作とそのさまざまな分野への応用

北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

電気通信研究所内の石山・栁研究室との共同研究で進めているプロジェクトについて最新の進捗状況が紹介された．各マーカの３次元位置と方向を，磁界の強さの分布から逆問題を解いて求める従来手法に対して，機械学習と適当なフィルタを用いることによって，高速で安定した解を求めることができるようになり，その結果，道具を操作する複雑な手指の運動や，土中や障害物の中を動き回る複数の小動物や昆虫の運動，濁った水の動きなど，これまで計測が困難であった対象の３次元モーション計測ができるようになったこと等の報告があった．

(8) デザインプロセスの複合的・構造的記述の試み

北　雄介（京都大学デザイン学リーディング大学院）

デザインプロセスは，いくつかに分割し，それを分類することで理解されることが多い．しかし現実のデザインプロセスは，多様な活動や思考が入り混じりながら展開する，複雑なものではあるまいか．本発表では，デザインプロセスの複雑さを担保しながら，かつ構造的に記述する記法を開発した．

(9) 空間連動する２つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

空間的に連動する 2 台のドローンを利用して従来のドローン操縦インタフェースを拡張する研究が紹介された．提案インタフェースでは，主たる操縦対象のドローン（主ドローン）カメラによる一人称視点に加えて，主ドローンに空間連動する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで，パイロットのドローン周囲への理解（Situational Awareness）を高め，ドローンの操縦や飛行経路計画をより簡単にすることができる．この提案インタフェースのプロトタイプをプログラマブルなドローンを用いて実装した．

＜SESSION 3: 多主体系のデザイン＞

(10) Interpersonal Communication on the Japanese Concept “MA”

曽 加蕙（Chia-huei Tseng）（東北大学電気通信研究

所)

″MA″ is a concept in Japanese culture to guide artistic expressions, architecture design, and social etiquette. We try to explore along scientific and engineering dimensions to answer how a group of individuals come to a mutual understanding and agreement of such concept.

(10) インターネットを用いたアナログゲームに関する大規模調査結果

松井啓之

(京都大学経営管理大学院/大学院経済学研究科)

インターネット調査会社の協力を得て，１年以内にカードゲームやボードゲームのようなアナログゲーム（非電源系ゲーム）を遊んだ経験を有する首都圏のモニター約1,000人に対する調査結果の報告を行った．調査からは，デジタルゲームと異なり，若年層で「人と会話する楽しさ」「友達ができる」点を評価している半面「相手を探すこと」「遊ぶ場所」「遊ぶ時間」がアナログゲームを遊びづらくしている課題であることなどが明らかとなった．

(11) 多様な働き方に対応する空間ユーザインタフェース

藤田 和之（東北大学電気通信研究所)

多様な働き方に対応する空間ユーザインタフェース」という題目で，ワークプレイスを構成する壁，床，天井，什器などの空間要素がセンサ・ディスプレイとなり，ワーカーの作業効率や快適性を高めることを目指すユーザインタフェースのコンセプトとその適用例について紹介された．

(12) 機能共鳴分析手法に基づく社会・技術システムの安全評価シミュレータの開発

椹木 哲夫・廣瀬 貴之（京都大学デザイン学リーディング大学院)

旅客機や鉄道のオペレーションに代表される社会・技術システムの安全を評価するにあたり，従来よく用いられている原因－結果の因果関係に基づく方法では限界がある．これに対しE. Hollnagelは機能共鳴解析手法（FRAM）を提案しているが，それを活用するためには具体的なモデル化や実装が必要である．本発表ではFRAMをモデル化し，シミュレータとして実装する方法を示した．また，鉄鋼サプライチェーンを題材としたケーススタディからシミュレータの挙動について説明された．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

１月に開催した研究会では冒頭に塩入所長より，今年度採択なった東北大学の「人工知能エレクトロニクス卓越大学院プログラム」についての概要が紹介された．実践力と俯瞰力の涵養を両輪とする同プログラムは，デザイン学の趣旨とも合致するところであり，来年度以降の共同研究では，人材育成も含めた視点からより一層発展させていくことで，相乗効果を発揮できる大きな共同研究の展開が期待される．

［４］成果資料

(1) 椹木哲夫(編著)：『アーティファクトデザイン』，共立出版株式会社，April，2018.

(2) 椹木哲夫：人と機械の共創による活力ある社会技術システムのデザイン，計測と制御，**57**(2)，pp.79-84，2018.

(3) 北雄介：デザインを志向するワークショップの設計に関する試論と事例．第65回日本デザイン学会研究発表大会，大阪工業大学梅田キャンパス，大阪市．2018.

(4) Tatsuro Terakawa, Masaharu Komori, Kippei Matsuda, and Shinji Mikami. A Novel Omnidirectional Mobile Robot with Wheels Connected by Passive Sliding Joints. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 23, No. 4, pp. 1716-1727, 2018.

(5) Takayuki Hirose, Tetsuo Sawaragi, Yukio Horiguchi: Numerical Simulation of Complex Supply-Chain Systems with an Extended Model of Functional Resonance Analysis Method; Third International Workshop on Functional Modelling for Design and Operation of Engineering Systems, pp. 39-42 Kurashiki Japan, 2018.

(6) Satoshi Shioiri, Bingyi Zhu, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki: Implicit learning of layout sequences, The 14th Asia Pacific Conference on Vision, Hangzhou, China, 2018.

(7) Satoshi Shioiri, Takumi Miura, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Kaoru Amano: Spatial spread of visual attention measured using Steady-State Visually Evoked Fields (SSVEF),41st European Conference on Visual Perception, Trieste, Italy, 2018.

(8) 笹田拓臣，西川遼太，Chia-huei Tseng，松宮一道，栗木一郎，塩入 諭，手周辺注意への利き手の影響，日本視覚学会2019年冬季大会，神奈川県横浜市，2019.

(9) 天間 遼太郎，高嶋 和毅，末田 航，藤田 和之，北村 喜文：空間連動する２つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張，情報処理学会シンポジウムインタラクション論文集，2019，102-111，2019.

(10) Yoshifumi Kitamura, Kazuki Takashima and Kazuyuki Fujita, Designing dynamic aware interiors, Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 77:1-77:2, 2018.

(11) 菅原 諒，黄 佳維，高嶋 和毅，北村 喜文：磁気式モーションセンサと CNN を用いたオクルージョンに強い非グローブ型手形状・位置・姿勢推定手法，第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，2018.

共同プロジェクト研究

採択回数 (1) 2 3

採択番号：H30/SI1

AI and Human Studies

［1］組織

研究代表者

Su-Ling Yeh (National Taiwan University)

通研対応教員

Satoshi Shioiri （東北大学電気通信研究所）

研究分担者

Li-Chen Fu (National Taiwan University)
Hsiu-Ping Yueh (National Taiwan University)
Tsung-Ren Huang (National Taiwan University)
Shu-Kai Hsieh (National Taiwan University)
Yung-Jen Hsu (National Taiwan University)
Jong-Tsun Huang (National Taiwan University)
Keng-Chen Liang (National Taiwan University)
Tai-Li Chou (National Taiwan University)
Joshua Goh (National Taiwan University)
Yôiti Suzuki（東北大学電気通信研究所）
Yoshifumi Kitamura（東北大学電気通信研究所）
Yoshihiko Horio（東北大学電気通信研究所）
Takahiro Hanyu（東北大学電気通信研究所）
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数　100 人

研究費

物件費・ 旅費：　1,000,000 円

［2］研究経過

AI application in industry, business, medical treatment and human science is the most remarkable and forward-looking research area. The proposed study area, AI in Human Studies will create synergy based on the strength of the two research institutes. The AI and advanced robotic center (AI center) of NTU consists of a strong team from human studies: education, psychology, medicine, humanities, and so on. Research Institute of Electrical Communication (RIEC) of Tohoku includes experts in Advanced Acoustic Information Systems, Visual Cognition and Systems, Interactive Content Design, Soft Computing Integrated System, New Paradigm VLSI System, and so on.

The two research institutes co-organized a symposium, the second Tohoku-NTU symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies was held on November 24 in 2018 at RIEC in Sendai after the First NTU-Tohoku Symposium on December 23, 2017 in Taipei, Taiwan. The number of attendees was about 100, including 10 researchers from Taiwan. Following the symposium, the two teams have established several possible collaboration research lines as well as joint research plan.

In the symposium, twelve talks were scheduled, and 60 posters were presented from Tohoku U and NTU:

Speakers and Title

1. Li-Chen Fu (NTU)
How to integrate AI robotics and human sciences to promote human's well-being?
2. Su-Ling Yeh (NTU)
AI robots for human well-being from the psychological aspects
3. Satoshi Shioiri (Tohoku U)
Projects of Advanced Institute for Yotta Informatics
4. Taira Nakajima (Tohoku U)
Supporting system for teaching improvement through reflection using image analysis data of lecture recording
5. Ruey-Feng Chang (NTU)
Breast Ultrasound Computer-aided Diagnosis Using Deep Learning
6. Koichi Ito (Tohoku U)
3D Ultrasound Image Reconstruction Using a Probe-Camera System
7. Chien-Yu Chen (NTU)
Genomics x AI
8. Yan Zhang (Tohoku U)
An Information Theoretic Framework for Unsupervised Representation Learning
9. Chien-Chung Chen (NTU)
A machine learning analysis on human categorical face perception
10. Akinori Ito (Tohoku U)
Assessing and expressing human(-like) behavior for meta-communication
11. Fu-Cheng Wang (NTU)

Design and Clinical Tests of an Automatic Trainer Inspired by Neuro-Developmental Treatment
12. Yasuhisa Hirata (Tohoku U)
Human Assistive Devices Developed based on Passive Robotics Concept

［3］成果

（3－1）研究成果

The two teams have identified the following topics for joint research:

(1) Social Robotics: We are entering a robot-human co-existing society. The major challenge for robot design nowadays is to develop its social nature so that it could provide a customized experience at institutes (e.g. senior home, hospitals) and households. The design of socially-functional robotics is the next generation manufacture goal.

(2) AI & Education:
Many educational theory and application developments with AI technology are made possible with the progression of hardware and software. The next step is to build on available infrastructure and explore creative and innovative educational approaches for future students and learners.

(3) AI & Robots for the Aging Society:
Both Taiwan and Japan are entering a super-aging society. Together with the change of demographic profiles, the support and care system developments for ageing society is never more urgent than ever. Our two teams include experts from all fields to further investigate this endeavor.

(4) Natural Language and Basic Cognitive Functions:
The AI together with big data and cloud provide an opportunity for us to advance our understanding of these high-functions such as attention, language, memory, and reasoning. New insights are made available by utilising the strength of human study power and engineering talents from the two sides.

(5) Ethics and Law in AI:
The heavy leverage of robotics and AI will accompany new responsibility and challenges from the users, designers, and law-makers. We will form an interest group to discuss the setup of policy and regulations to harness a safe and ethical society with AI and advanced robotics.

(6) Yotta Informatics and AI:
Information overloading is a general challenge faced by many communities. We propose new solutions to recruit AI to most effectively and efficiently help systems and individuals to re-structure and re-interpret the information for smart use.
The core members inside each research group are identified for further discussion.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The project aims to progress the research in the fields of AI and human sciences through the collaboration of the two organizations. We expect a variety of novel applications of information and robotics technologies with the development and use of AI technologies. It is crucial to understand human in the use of these applications and development of AI without human sciences may cause troubles in the society. After the discussion at the symposium, several groups started to collaboration for projects focusing on specific fields for hearty developments of AI technology.

［4］成果資料

1. Shih-Huan Tseng, Feng-Chih Liu, and Li-Chen Fu, “Active Learning on Service Providing Model: Adjustment of Robot Behaviors through Human Feedback,” IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, Vol. 10, No. 3, pp. 701-711, (SCI) 2018.
2. Ciou, Pei Hwai, Zong-Ze Wu, Shih-Huan Tseng, Li-Chen Fu, “Composite Reinforcement Learning for Social Robot Navigation,” Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Madrid, Spain, Oct. 1-5, 2018.
3. Hsu, Shih-His, Ping-Tsang Wu, Li-Chen Fu, “Distributed Deep Reinforcement Learning based Indoor Visual Navigation,” Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Madrid, Spain, Oct. 1-5, 2018.
4. Chu, L., Chen, H. W., Cheng, P. Y., Ho, P., Weng, I. T., Yang, P. L., Chien, S. E., Tu, Y. C., Yang, C. C., Wang, T. M., Fung , H. H., & Yeh, S. L. (in press). Identifying features that enhance older adults’ acceptance of robots: A mixed methods study. Gerontology.
5. Chien, S, E., Chu, L., Lee, S. H., Wang, T. M., Yeh, S. L.(in press). Age difference in users' attitudes

toward robots. Transactions on Human-Robot Interaction
6. Shioiri, S., Kobayashi, M., Matsumiya, K. & Kuriki, I. Spatial representations of the viewer's surroundings. Scientific reports 8, 7171, doi:10.1038/s41598-018-25433-5 (2018).
7. Kang, D., Sung, Y. W. & Shioiri, S. Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals. Magn Reson Imaging 46, 121-129, doi:10.1016/j.mri.2017.10.017 (2018).
8. Xin Huang, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita and Yoshifumi Kitamura: Dynamic, Flexible and Multi-dimensional Visualization of Digital Photos and their Metadata, Proceedings of ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces , 405-408, November 2018.
9. 黄 Xin, 高嶋 和毅, 北村 喜文, デジタル画像群とそのメタ情報の複数次元可視化 , 情報処理学会シンポジウムインタラクション論文集, 359-362, 2018 年 3 月
10. Y. Horio, N. Ichinose, and M. Ogawa, "Experimental verification of quasi-periodic-orbit stabilization using a switched-capacitor chaotic neural network circuit," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 218-230, DOI: 10.1587/nolta.9.218, April 1, 2018.
11. N. Ichinose, Y. Horio, and M. Ogawa, "Statistical test of quasiperiodicity in the presence of dynamical noise," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 9, no. 2, pp. 231-242, DOI: 10.1587/nolta.9.231, April 1, 2018.
12. Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in Understanding Complex Systems, V. In,P. Longhini. A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, March 16, 2019.
13. S. Hu, C. Salvador, J. Trevino, S. Sakamoto and Y. Suzuki, Modeling head-related transfer functions with spherical wavelets, Applied Acoustics, 146, 81-88 (2019).
14. 日吉啓, 鈴木陽一, 坂本修一, MOORE Brian、頭部伝達関数に含まれるノッチによる音色の変化と聴覚興奮パターンの関係、電子情報通信学会技術研究報告, HIP2018-75 (2018) , 13-16
15. R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki and Satoshi Shioiri、Influence of auditory selective attention on word intelligibility, Proc. 65th Open Seminar on Acoustics, 307-310 (2018).
16. N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, and T. Hanyu, "An Area/Power-Aware 32-Channel Compressive Gammachirp Filterbank Chip Based on Hybrid Stochastic/Binary Computation, "Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), vol. E9-N, no. 4, pp. 423-435, Oct. 2018.
17. M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Ternary Logic Gate for Quantized Convolutional Neural Networks," IEEE SOI-3D-SUBTHRESHOLD MICROELECTRONICS TECHNOLOGY UNIFIED CONFERENCE (S3S), 2pages, Oct. 2018.
18. N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, T. Hanyu, "An Accuracy/Energy-Flexible Configurable Gabor-Filter Chip Based on Stochastic Computation with Dynamic Voltage-Frequency-Length Scaling," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), Vol.8, Issue 3, pp. 444-453, Sep. 2018.

第　5　章　　シンポジウム・国際会議等

５．１　通研国際シンポジウム

磁性材料ならびに磁気デバイスに関する日韓シンポジウム

Japan-Korea International Symposium on Magnetic Devices and Materials

開 催 日：平成３０年８月２４日（金曜日）（１日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　本館大会議室
参加人数：３５名（うち外国人参加者人数８人）

磁性材料の機能性を生かした種々のデバイスが研究されており、例えばセンサやアクチュエータにおいて、ひずみ計測、温度計測、高周波磁界計測、三次元位置計測、マイクロロボット、ワイヤレスポンプなどが提案され実用化に向けた検討がなされている。これらのデバイスは、磁性体の磁気特性以外の特性、すなわち光学特性、電気伝導特性、弾性特性などを磁気特性と有機的に組み合わせることで実現しており、材料開発とデバイス開発を表裏一体で進めることでその性能が飛躍的に向上する。

そこで本シンポジウムでは、日韓の磁気工学研究者の中の材料研究者とデバイス研究者が一堂に会して情報交換と討論を行うことで、すでに研究が進んでいる材料・デバイスのさらなる高機能化高性能化を図るとともに、新たな材料・デバイスに繋がる萌芽を見つけ出すことを目的として開催した。

会議では、磁性材料の特性評価技術、磁石材料の新たな合成技術など材料面からの報告や、種々のセンサや医療用アクチュエータの紹介など、当初の目的通り多岐にわたる講演が行われ、講演に引き続いて実施したパネルディスカッションでは、次世代の研究の萌芽となる多くのアイディアが生み出された。

本シンポジウムは初の試みとして第１回を開催したものであるが、次回は韓国での開催を計画しており、今後の日韓の共同研究の核となる極めて重要なスタートを切ったものといえる。



Sponsorship: Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
Co-operation :
Nation-wide Cooperative Research Projects "Magnetic devices utilizing material functionality", RIEC
Investigating R&D Committee on Practical Applications of High-Frequency Magnetic Materials, IEEJ

国際シンポジウム

ユニバーサル音コミュニケーション国際シンポジウム 2018
International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018

開 催 日：平成 30 年 10 月 22 日（月曜日）～24 日（水曜日）(3 日間)
開催場所：東北大学電気通信研究所
参加人数：137 名（うち外国人参加者人数 37 人）

本国際シンポジウムは，東北大学の知の創出センター2018 年度テーマプログラム「東北ユニバーサル音コミュニケーション月間 2018（Tohoku Universal Acoustical Communication Month 2018)」の中核行事であり，どこでも誰にでも豊かな音・音声コミュニケーションを実現するための科学技術であるユニバーサル音響･音声コミュニケーション分野の世界最先端の知見を幅広く学際的に共有し，共同研究を模索すると共に，当該分野の将来展望について総合的に議論することを目的として企画したものである。

本国際シンポジウムは， 2018 年 10 月 22 日～24 日の 3 日間にわたり開催した。会議では，相互に深い関連を持つ，(1)聴覚と空間音響，(2)音声コミュニケーション，(3)聴覚を含む多感覚知覚に関する脳科学，(4)音声と音楽のための AI（人工知能)，(5)聴覚を含む多感覚情報の感性知覚心理，の 5 分野ごとに国内外の最先端研究者が一堂に会し，ディスカッションと国際セミナーを集中して実施することで研究動向を共有し,本分野の近未来の社会実装から少し遠い将来の姿まで多様な将来像の描出を狙いとした。

会議は，上記 5 分野の最先端研究者による基調講演とチュートリアル講演に加え，国際公募により選ばれた若手研究者（大学院生を含む）の招待ポスター発表，中堅・若手研究者一般ポスター発表，総合パネル討論で構成され，全参加者の情報共有と意見交換を可能とするためシングルセッション型とした。これにより，相互に深い関連を持つ上記 5 分野の最先端の研究動向を共有することが可能となり，高い相乗効果が得られた。また，若手育成を重視し，大学院生，学部学生，一般市民を対象として，チュートリアル講演を開催した。国際シンポジウムの参加者数は 137 人（国内 100 人，海外 37 人)，発表件数は 74 件（国内 49 件，海外 25 件)，海外研究者による発表件数の割合は 38%にのぼった。

これらの成果は，分野間交流による相乗効果により，コミュニケーション科学技術分野の広い範囲に波及するものと期待できる。また，将来のこの分野の世界連携，学際連携の種を実らせ得るものになったと自負している。したがって，本計画は当初のもくろみを越える成果を遂げたものと考える。

2018 アジアワイヤレス電力伝送ワークショップ(AWPT2018)

Asian Wireless Power Transfer Workshop(AWPT2018)

開 催 日：平成３０年１１月２日（金曜日）～４日（日曜日）（３日間）
開催場所：東北大学工学部サイエンスキャンパスホール
参加人数：１００名（うち外国人参加者人数２７人）

ワイヤレス電力伝送（Wireless Power Transfer, WPT）は，電気自動車の無線充電に代表される巨大な産業アプリケーションの可能性を有しており,近年最も注目されている研究テーマの１つに位置づけられている．2015 年にスタートした WPT に関するアジア国際ワークショップ（Asia International Workshop on WPT, AWPT）は，WPT 技術に関連する最新の研究開発成果を共有するためのプラットフォームを研究者に提供することを目指した会議であり,各種の新しい WPT 技術の応用を含む分野を対象として学術研究論文の発表，討論を行い，最新の情報と意見の国際交流により，これらの分野の技術の発展を推進することを目的としている．

AWPT2018 は,2018 年 11 月 2 日から 4 日にかけて仙台の東北大学工学部サイエンスキャンパスホールで開催され，参加国として日本，英国，カナダ，中国，韓国，台湾，タイ，ベトナムの計８カ国,計１００名が参加した.ワークショップでは,近傍界無線電力伝送,マイクロ波無線電力伝送に関する講演の他，エネルギーハーベスティング用レクテナ,RF-DC 整流回路とその高効率化,RFID 等が含まれており，ワイヤレス電力伝送分野における最新のトピックスに関して多くの興味深い講演内容が報告され,活発な議論が展開された．八木・宇田アンテナや自己補対アンテナなどの発祥の地である東北大学においてワイヤレス電力伝送に関するワークショップを成功裏に開催できたことは大変意義深く,研究者間の交流にも役立っており,ワイヤレス研究分野における内外への発信を少なからず果たせたものと確信している．



国際シンポジウム

第 3 回 日本ーヨーロッパ グラフェンおよび関連する 2 次原材料に関するフラッグシップワークショップ

3rd Japan-EU Flagship Workshop on Graphene and Related 2D Materials

開 催 日：平成 30 年 11 月 19 日（月曜日）～11 月 21 日（水曜日）（3 日間）
開催場所：東北大学　電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：64 名（うち外国人参加者人数 22 人）

本ワークショップは、2015 年に東京で開催された第 1 回目、および 2017 年にスペイン・バルセロナで開催された第 2 回目の同ワークショップに続いて開催されたものであり、日本とヨーロッパ間の科学的交流を促進し、将来の共同研究のためのニーズとメカニズムを特定することを目的とする。日本とヨーロッパからの研究者が参加し、グラフェンおよび関連する 2 次元材料について、基本的な物理およびデバイス分野への応用について議論し、意見交換をおこなった。

本ワークショップでは、開催期間の 3 日間にかけて実施した技術セッションでは、日本の研究機関からは 22 件、ヨーロッパの研究機関からは 16 件、計 38 件の口頭発表が行われ、また、総括としてラウンドテーブル・ディスカッションが行われた。講演内容は、グラフェンおよび関連する 2 次元材料、特に窒化ホウ素および遷移金属ジカルコゲナイドに焦点を当てた材料合成と特性評価についての研究、二次元超伝導、トポロジカルおよび輸送特性、スピンおよびバレートロニクスを含むグラフェンと関連する 2 次元材料およびヘテロ構造の基本物性についての研究、光源、検出器、変調器、センサー応用に向けたグラフェンと関連する 2 次原材料ベースのテラヘルツ、プラズモニック、オプトエレクトロニクスデバイスを含む機能デバイス技術についての研究といった分野を幅広く網羅し、それぞれの最新技術、研究動向や課題が活発に議論された。



第２回東北大学／国立台湾大学連携シンポジウム

― 人工知能と人間科学の学際的研究 ―

The 2nd Tohoku-NTU U Symposium on Interdisciplinary - AI and Human Studies -

開催日：平成３０年１１月２４日（土曜日）
開催場所：東北大学電気通信研究所　本館１階オープンセミナー室
参加人数：１００名（うち外国人参加者人数 15 名）

本シンポジウムは、AI およびそれに関連する人間科学の分野において、国立台湾大学 AI センター（The AI and advanced robotic center）と電気通信研究所および東北大の関連研究者との連携を進めるために企画されたもので、2017 年に国立台湾大学で開催した第１回に続き、2018 年に電気通信研究所において、第２回を開催した。第１回のシンポジウムにおいては、お互いの研究分野に関する情報交換を中心に企画し、その後連携できるテーマに関する議論を続けた。

今回は、連携を進めるにあたりグループ分けした分野での関連研究成果、および第１回に不参加の関連研究者の研究紹介の構成で企画した。研究テーマは、高齢者支援、教育支援、医用情報処理、深層学習応用、ロボティクスなどに亘り、12 件の講演と 30 件のポスター発表によって、さらなる情報交換、連携企画の進展を得ることができた。なお、本シンポジウムは、2018 年度に採択された通研共同プロジェクト研究 S 国際の活動の一環でもあり、その推進のために電気通信研究所と台湾大学 AI センターとの部局間連携も結ばれている。



国際シンポジウム

第 14 回知的情報ハイディングと マルチメディア信号処理に関する国際会議

The 14th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing

開 催 日：平成 30 年 11 月 26 日（月）～28 日（水）
開催場所：青葉記念会館
参加人数：80 （うち外国人参加者 66 名）

本会議は電子透かしやディジタル・ステガノグラフィ処理を中心として、画像・音声・文書やその他マルチメディア処理を広く扱う国際会議であり、今回で 14 回目を迎えた。参加者の多くは中国・台湾など近隣諸国の関連分野の研究者である。キーノート講演として、通研の本間尚文教授による “Hardware Security: Research Field Expanding in IoT Era” およびサウスオーストラリア大学の Ivan Lee 博士による “Recent Advances in Visual Sensor Systems” の 2 件の講演があった。一般講演として、16 のセッションにおいて 87 件の講演があった。講演のテーマは、中心テーマである電子透かし、ステガノグラフィ、電子指紋をはじめとして、画像認識、音声認識、音声合成、無線通信、機械学習、自動計測など多岐にわたった。一般講演のうち、以下の 3 件の講演に Best Paper Award が授与された。

W. Sun, W. Lu, C. Zhao, B. Guo and D. Li, “Calculating the truck's box volume with a single image under the circle projection and vanishing points constraint”

C. Lee, J. Shen and Y. Kao, “High-Capacity Reversible Data Hiding Based on Star-Shaped PVO Method”

K. Gakajit, J. Karnjana, P. Aimmanee and M. Unoki, “Digital Audio Watermarking Method Based on Singular Spectrum Analysis with Automatic Parameter Estimation Using a Convolutional Neural Network”

本会議は、電子透かしなどのセキュリティ応用技術だけでなく、広くマルチメディア処理の最新技術について理解し、また関係研究者と交流を深める貴重な機会となった。

ヒューマンコンピュータインタラクション に関する国際シンポジウム

RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium)

開 催 日：平成 30 年 12 月 12 日（水）～13 日（木）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所 大会議室
参加人数：50 名

東北大学電気通信研究所で，RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction と題してシンポジウムを開催した．これは共同プロジェクトおよび The Third ACM SIGCHI Asian Symposium との共同開催である．二日間にわたり，インド，インドネシア，タイ，オーストラリア，シンガポール，中国，韓国，日本と，アジアを中心に英国を加え，今回は 9 ヵ国をベースに国際的に活躍している若手研究者の代表の皆さんに集まってもらい, 16 件の講演をしてもらった．

情報技術に囲まれた高度情報社会に生きる人々のクオリティオブライフを保証していく上で，人と情報システムの関係を様々な角度から検討することはますます重要になってきている．人と情報システムの相互作用について，情報科学，認知科学，心理学，デザイン学等，多岐に渡る分野の研究者や技術者，学生等が世界中から集まり議論する学際的な場として，また，この分野で最大かつ最も権威がある国際会議として，ACM SIGCHI が主催する国際会議 CHI がある．この会議は 2021 年に初めて日本で開催されることが決まっている．さらに今後 5 年毎にアジアで開催される案も示されている．そこで本シンポジウムでは，このように盛り上がりつつある本分野のアジア太平洋地域の今後の着実な発展のため，相互理解を深め，人的ネットワークを構築することに加えて，今後の国境を越えた共同研究などについても相談した．これを踏まえ，この分野の今後の世界的な発展に少しでも貢献してゆくことを願っている．



国際シンポジウム

第 16 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ
16th RIEC International Workshop on Spintronics

開 催 日：平成３１年１月９日（水曜日）～１０日（木曜日）（２日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：１１３名（うち外国人参加者人数３３人）

本ワークショップは 2005 年に第 1 回が開催されて以来、ほぼ年 1 回のペースで回を重ね、今回で 16 回目の開催となった。今回は、我が国をはじめとして、チェコ、中国、ドイツ、スイス、スウェーデン、スペイン、アメリカ、フランス、韓国からの招待講演者による 16 件の招待講演に加え、25 件のポスター発表がなされた。また今回も前年に引き続き日本学術振興会「研究拠点形成事業（Core-to-Core Program)」のワークショップと連続での開催とした。RIEC スピントロニクス国際ワークショップの合計参加者は 113 名を数え、スピントロニクス分野における最新のトピックスに関して活発な議論がなされた。

今回のワークショップでは、主に反強磁性スピントロニクス、スピンオービトロニクス、スピントロニクスの脳型情報処理応用というここ進展のスピントロニクス分野で注目度が高い３つのトピックスに焦点を当て、最先端の研究を行っている世界格好の研究者を招待講演者として招いた。いずれのトピックも聴衆との間で活発な議論がなされ、今後のスピントロニクス研究の更なる発展の可能性を感じることができた。ポスター発表では本学の学生も発表を行い、世界の一流研究者に対して自分の研究内容を伝え議論することで、今後の研究を進めていくための良い示唆と大きな刺激が得られたものと思う。



ナノ・スピン実験施設　カンファレンスルームにて

第７回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム
The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

開 催 日：平成 31 年 2 月 22 日（金曜日）～23 日（土曜日）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：44 名（うち外国人参加者人数 4 人）

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、ロボット工学、数理工学、大脳生理学、神経科学、心理物理学、非線形物理学といった関連分野から広く研究者を集め、脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について、分野の垣根を超えて研究発表と議論を行うことを目的として企画・設立された。今回が７回目であり、平成３１年２月２２日、２３日の２日間に渡って開催された。アメリカ、スペイン、スウェーデンの３か国から４名の海外招待講演者を迎え、計１３件の口頭発表、１６件のポスター発表が行われた。今回も講演内容は、神経科学、培養神経回路、集積回路など多岐にわたるものであった。分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われ、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。





第７回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムの様子

国際シンポジウム

ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム
The 6th RIEC International Symposium on Brainware LSI

開 催 日：平成31年3月1日（金曜日）～2日（土曜日）（2日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　本館6F 大会議室
参加人数：45名（うち外国人参加者人数6人）

平成26年度概算要求において、東北大学 電気通信研究所が提案した「人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業」が採択され、新規プロジェクトがスタートした。本プロジェクトは、情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイドが急増している現代社会の危機的状況を回避するために、ハードとソフトを一新し、人間的な判断機能を取り込んだ低消費電力で柔軟なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型LSI」の開発を目指すことを目的としている。

本シンポジウムは、本年度における本プロジェクトの研究成果報告、および、脳型コンピューティングおよび半導体集積回路とその応用を専門とする国内外の招へい研究者による最先端研究動向の講演を行う場として、平成31年3月1日～2日の二日間に渡って開催された。新材料・デバイスとその応用で著名な中国Shenzhen UniversityのKarim Khan氏をはじめ、アナログコンピューティング分野で著名な奈良先端科学技術大学院大学・Renyuan Zhang氏、物体認識＆理解分野で著名な韓国Seoul National大学・Choongkil Lee氏、ナノスケールデバイスとその応用で著名な産総研・Hiroko Arai氏、実世界物体認識アルゴリズムの研究で著名なカザフスタンNazarbayev大学・Martin Lukac氏、音響空間の再現に関する研究で著名な台湾National Tsing Hua大学・Yi-Wen Liu氏、ロボット・ロコモーション原理究明に関して著名な英国・University of Warwick大学・Munehiro Asally氏など、ブレインウェアLSIコンピューティング関連技術の世界的権威を多数招聘し，会議を通して双方の研究内容と今後の研究交流の更なる推進に向けた活発な議論が交わされた。本シンポジウムの開催により、参加した研究者同士の協力関係がより一層強固なものになるとともに、世界の研究動向をウォッチしながら研究を推進する体制が確立したという意味でも大変有意義な機会となった。





第１０回ナノ構造とナノエレクトロニクス に関する国際ワークショップ

The 10th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics

開 催 日：平成３１年３月６日（水曜日）～７日（木曜日）（２日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：５６名（うち外国人参加者人数１７人）

第１０回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップが平成３１年３月６日（水）～７日（木）の２日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設において開催された。イギリス、ドイツ、そして日本からの計５件の招待講演が行われ、２日間の延べ参加人数は、研究者、学生などを含め５６名を数えた。本ワークショップでは、ナノ・バイオ融合分野の発展を目指すため、電子工学、表面科学、生物科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、microRNAセンシングのための新たな検出法の開発及び検出感度の最適化技術や、ナノ加工技術とバイオナノ薄膜である脂質膜の特性制御技術との融合から成る新規バイオセンシングプラットフォームの開発、光化学電池や光触媒への応用を志向した酸化チタンナノチューブアレイの開発、脂質二分子膜を用いたバイオセンサーの作製・評価、金属ナノ微粒子を用いた新規単電子デバイスの創成、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、ナノエレクトロニクスとバイオエレクトロニクス分野それぞれの研究者間での交流も活発に行われており、今後のブレークスルーへと発展していくことが期待される。





５．２　国際会議等の開催状況

第 12 回 新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス 国際ワークショップ

12th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開 催 日：平成 30 年 12 月 6 日（木曜日）～7 日（金曜日）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：32 名

本国際ワークショップは, 新IV族半導体材料のプロセス技術及びナノデバイスへの応用までの幅広い領域についての包括的な議論を目的に，本研究所の共同プロジェクト研究 H30/A10「高性能 IV 族半導体量子ナノデバイスのための低エネルギープラズマプロセスの開発」と H29／A08「新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究」のメンバーが中心となって企画した．本ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業の活動の一環でもあり, 組織委員として佐藤茂雄教授と櫻庭政夫准教授が参加した．日本，ドイツ，フランスの各国拠点代表者らの発表を含む招待講演 11 件、一般講演 3 件、ポスター講演 10 件の総数 24 件の講演（内、東北大学通研の関係する発表 2 件）が行われ，活発な討論が行われた．世界の半導体産業の活性化のためにも，本国際ワークショップの開催は重要であり，今後，世界規模での研究連携のきっかけとなることにより，本学問分野が大きく展開すると期待される．

５．３　工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研　究　会　名	主　　査	幹　　事
1	伝送工学研究会	山田 博仁 教授	松田 信幸 准教授
2	音響工学研究会	伊藤 彰則 教授	坂本 修一 准教授 能勢　隆　准教授
3	仙台“プラズマフォーラム”	安藤　晃 教授	金子 俊郎 教授
4	ＥＭＣ仙台ゼミナール	曽根 秀昭 教授	山口 正洋 教授
5	コンピュータサイエンス研究会	住井英二郎教授	松田 一孝 准教授
6	システム制御研究会	吉澤　誠　教授	杉田 典大 准教授
7	情報バイオトロニクス研究会	平野 愛弓 教授	宮本浩一郎 准教授
8	スピニクス研究会	山口 正洋 教授	栫修一郎　准教授 小川 智之　助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	張山 昌論 教授	夏井 雅典 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	金井　浩　教授	荒川 元孝 准教授
11	ブレインウェア工学研究会	石黒 章夫 教授	加納 剛史 准教授
12	情報・数物研究会	田中 和之 教授	大関 真之 准教授
13	生体・生命工学研究会	塩入　諭　教授	大林　武　准教授 羽鳥 康裕　助教
14	ナノ・スピン工学研究会	佐藤 茂雄 教授	深見 俊輔 准教授
15	先進的情報通信工学研究会	木下 哲男 教授	北形 元 准教授

伝送工学研究会

主査　山田 博仁、幹事　松田 信幸

【会の目的】
　電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的とする

【平成30年度の活動概要】
研究会開催

第598回
日時：　2018年5月22日(火)　16:00～
場所：　東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

一般講演
598-1.　中赤外減衰全反射分光法による全血中のグルコース濃度計測
　　○小川貴大[1], 木野彩子[2], 松浦祐司[2]
　　(1 東北大学大学院工学研究科,　2 東北大学大学院医工学研究科)
598-2.　Scattering matrix model analysis of side-coupled type plasmonic Fabry-Perot waveguide filters
　　○Jiyao Yu[1], Ohtera Yasuo[2], Hirohito Yamada[1]
　　(1 Graduate School of Engineering, Tohoku University,
　　2 Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University)
参加人数　47名

第599回
日時：　2018年6月19日(火)　16:00～
場所：　東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

一般講演
599-1.　損失性インピーダンス整合回路を用いた無線電力伝送効率の研究
　　○鄭　立飛, 佐藤 弘康, 陳　強
　　(東北大学大学院工学研究科)
599-2.　耳たぶを対象とした中赤外ATR法による非侵襲血糖測定の試み
　　○曽山 俊輔[1], 木野 彩子[2], 松浦 祐司[2]
　　(1 東北大学大学院工学研究科,　2 東北大学大学院医工学研究科)
599-3.　高速・低消費電力動作可能なSi熱光学位相シフタ
　　○千葉 湧人[1], 北　智洋[2], 山田 博仁[1]
　　(1 東北大学大学院工学研究科,　2 早稲田大学理工学術院先進理工学部)
参加人数　46名

第600回記念
日時：　2018年7月17日(火)　16:00～
場所：　東北大学 青葉山 電子情報システム・応物系1号館2階大会議室

特別講演
600-1.　シリコンフォトニクスを用いた高速・高密度光インターコネクトの現状と将来展望
○岡本 大典[1]、中村 隆宏[1]、蔵田 和彦[2]
(1 光電子融合基盤技術研究所：PETRA、2 アイオーコア株式会社)
600-2.　移動無線通信技術の発展と第5世代システム
○安達 文幸
(東北大学　名誉教授、東北大学電気通信研究機構 特任教授)
600-3.　東北大学における線状アンテナの研究の歴史
○澤谷 邦男
(東北大学　名誉教授、東北大学産学連携機構 特任教授)
参加人数　58名

第601回
日時：　2018年9月25日(火)　15:00～
場所：　東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

特別講演
601-1.　FDTD法を用いた広帯域パルス電磁界の数値ドシメトリ
○チャカロタイ ジェドヴィスノプ
(情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室)
601-2.　時間的な屈折率境界面における光の反射と屈折について
○松田 信幸
(東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻　准教授)

一般講演
601-3.　A Broadband Reflectarray Antenna using Sub-Wavelength Dual-Resonance Phase-Delay-Line Unit Cell
○Sen Liu, Qiang Chen
(Department: Graduate School of Engineering, Tohoku University)
601-4.　液体充填同軸線路を用いた液晶の複素誘電率測定
○阿部 新司，佐藤 弘康，陳　強，柴田 陽生，石鍋 隆宏，藤掛 英夫
(東北大学 大学院工学研究科)
参加人数　26名

工学研究会

第602回
日時： 2018年10月23日(火) 15:00～
場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

一般講演
602-1. 統一電源プラグ・システムにおける電力線通信の改善
○木村 栄智[1]、山田 博仁[1,2]
(1 東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻、2 電気通信研究機構)
602-2. 移動体通信用集積化スイッチの耐電力・線形化技術
○田中 聡、本良 瑞樹、亀田 卓、末松 憲治
(東北大学 電気通信研究所 先端ワイアレス通信技術研究室)
602-3. 近傍界を用いた波源分布推定の数値シミュレーション
○梅内 哲也、今野 佳祐、陳 強
(東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻)
602-4. 波長掃引型量子カスケードレーザを用いた血糖値測定システム
○柴田 尚登[1], 木野 彩子[1], 杉山 厚志[2], 秋草 直大[2], 松浦 祐司[1]
1 東北大学 大学院医工学研究科、2 浜松ホトニクス(株)
参加人数 47名

第603回
日時： 2018年11月20日(火) 15:00～
場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

一般講演
603-1. 非接触分光画像計測による果物の分光情報推定に関する検討
○浅野 孝介、山田 博仁
(東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻)
603-2. 八木・宇田アンテナを用いた後方散乱の小さいフェーズドアレーアンテナの実験的検討
○森田 耕平、今野 佳祐、陳 強
(東北大学 大学院工学研究科)
603-3. スマートガスメータ用ダイバーシティアンテナの設計
○前田 卓人[1], 佐藤 弘康[1], 陳 強[1], 鈴木 暁士[1], 土屋 創太[2], 横山 睦人[2]
(1 東北大学 大学院工学研究科, 2 東京ガス株式会社)
603-4. 無線電力伝送システムにおける素子損失を考慮したインピーダンス整合回路の効率
○鈴木 暁士[1], 陳 強[1], 佐藤 弘康[1], 袁 巧微[2]
1 東北大学 大学院工学研究科、2 仙台高等専門学校
参加人数 39名

第604回
日時： 2018年12月18日(火) 15:00～
場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

一般講演
604-1. シリコン外部共振器を用いた長波長帯用波長可変レーザ
○武井 翔太郎、山田 博仁
(東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻)
604-2. 多偏波干渉計測による地上設置型合成開口レーダ（GB-SAR）の高精度大気補正手法の提案
○泉 佑太[1]、Lilong Zou[2]、菊田 和孝[3]、佐藤 源之[1, 3]
(1 東北大学 環境科学研究科、2 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、3 東北大学 東北アジア研究センター)

特別講演
604-3. 自律制御型メタマテリアルの構成原理とその応用領域について
小塚 洋司
(東海大学名誉教授，電気通信大学客員教授)

参加人数 46名

第605回
日時： 2019年1月22日(火) 15:00～
場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系別館４８０会議室

一般講演
605-1. 波長依存スペックル照明を用いた非走査型単一ファイバイメージング
○久保田 達也[1], 片桐 崇史[1], 松浦 祐司[2]
(1 東北大学大学院工学研究科, 2 東北大学大学院医工学研究科)
605-2. 28GHz帯におけるレクテナの高効率化
○中村 拓真[1], 今野 佳祐[1], 佐藤 弘康[1], 陳 強[1], 袁 巧微[2]
(1 東北大学大学院工学研究科, 2 仙台高等専門学校)
605-3. ガラス板を用いたアレーアンテナ設計法の研究
○長江 眞平[1], 佐藤 弘康[1], 陳 強[1], 加賀谷 修[2], 佐山 稔貴[2]
(1 東北大学大学院工学研究科, 2 AGC株式会社)

参加人数 44名

第606回
日時：　2019年2月19日(火)　15:00～
場所：　東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演
606-1.　High-peak-power nanosecond optical pulses generated from semiconductor lasers
○Yuan Gao[1], Jui-Hung Hung[2], He-Jie Yan[1], Hirohito Yamada[1,2], Hiroyuki Yokoyama[1,2]
(1 Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., 2 NICHe, Tohoku Univ.)
606-2.　不均一導波管を用いた漏れ波集光アンテナの試作
○橋本卓也, 佐藤弘康, 陳強
(東北大学大学院工学研究科)
606-3.　Applying Artificial Neural Network to diagnose Array Antennas
○Wang Xin, Keisuke Konno, Chen Qiang
(Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.)
参加人数　31名　　以上

音響工学研究会

主査　伊藤 彰則、幹事　坂本 修一、能勢 隆

音響工学研究会は，音波，固体振動，超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し，討論や意見交換をする場として，1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は，電気音響，聴覚・心理音響，建築音響，騒音制御，ディジタル補聴器，音声分析・合成，音声認識・理解，音環境工学など，多岐にわたっている。

2018年度は，主査伊藤彰則教授，幹事坂本修一准教授，能勢隆准教授のもとで，研究会2回（第375回，第376回）と通研講演会1回が開催された。会場は，第375回が電気通信研究所本館1階オープンセミナー室，第376回が電子情報システム・応物系南講義棟103号室，通研講演会は電気通信研究所本館1階オープンセミナー室であった。なお，第375回は電子情報通信学会HIP研究会，日本認知心理学会感性学研究部会，日本心理学会注意と認知研究会との共催で，第376回は超音波エレクトロニクス研究会と共催で開催された。第375回は2018年12月26日（水），27日（木）に開催され，研究発表9件，参加者は延べ66名であった。第376回は2019年1月24日（木）に開催され，研究発表4件，参加者は52名であった。通研講演会は，2019年3月19日（火）に木俵豊氏（情報通信研究機構ユニバーサルコミュニケーション研究所長）による「ユニバーサルコミュニケーションを実現する人工知能技術－NICTけいはんな拠点における国研の研究－」という題で開催され，参加者は18名であった。

仙台 “プラズマフォーラム”

主査　安藤 晃、　幹事　金子 俊郎

本研究会は，低温プラズマから高温核融合プラズマといった広範なパラメータ領域にわたるプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質，プラズマ医療・ナノ・バイオ応用，電気推進機，プラズマアクチュエータ，核融合加熱ビーム源など多方面の基礎・応用に関連する最新の研究成果に関して，特別講演及び特別企画を開催するとともに，活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

平成30年度の活動として，学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用，計測に関する「研究討論会」を4回開催した。また，大学院生による大気圧プラズマ照射を用いた医療応用，低温プラズマによるカーボン材料の創製・構造制御などナノ・プラズマ融合研究，核融合プラズマ加熱のための高周波水素負イオン源開発，磁気ノズルや高周波を利用した電気推進機開発，パスル高電圧を利用したプラズマアクチュエータ研究，高周波プラズマの生成・制御，半導体プロセスへの応用に関わる研究発表会を2回開催した。国内，国外研究者によるプラズマ乱流，イオンビーム源開発，プラズマ推進機開発，核融合プラズマ輸送，カーボンナノ材料の創製と評価，プラズマナノバイオ技術を用いた医療・農業応用，宇宙プラズマ・プラズマ流の基礎と応用に関する研究会を計3回開催した。他分野との融合や新展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し，最新の研究成果を持ち寄り討論することで情報交換を行い，共同研究展開も含めて有用な知見を得た。以上の研究会参加者は，学内外合わせて常時60名前後であった。

ＥＭＣ仙台ゼミナール

主査　曽根 秀昭、幹事　山口 正洋

ＥＭＣ（環境電磁工学）は，電磁ノイズと信号の電磁干渉（ＥＭＩ）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり，電気・情報工学分野の研究者と技術者は関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない1977年2月に，ＥＭＣにいかに取組むべきかを調査し，学問として体系化する目的で，「ＥＭＣ仙台ゼミナール」が発足した。この活動は，誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであり，ここで討論された先進的な研究は，我が国や世界のＥＭＣ研究の方向を示し牽引力の役割を果たしており，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001年にIEEE EMC Society 仙台Chapterが設立され，連携して活動している。

平成３０年度は，本研究会の開催は２回あり，第206回（10月31日）の通研講演会で井渕貴章助教（大阪大学）と礒田陽次教授（秋田県立大学）による講演，第207回（2月12日）の学生研究発表会で７件の研究発表があった。

コンピュータサイエンス研究会

主査　住井 英二郎、幹事　松田 一孝

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。2018年度は第177回講演会を開催し、Mu, Shin-Cheng氏(Academia Sinica) が「Reasoning about Monadic Programs: a Case Study of Non-Determinism and State」というタイトルで講演を行った(2018年5月14日)。本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査　吉澤 誠、幹事　杉田 典大

本研究会は，システム制御における理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。

本年度の活動は以下の通りである。

第104回

チェコ工科大学プラハ校

Jiří Borovec 氏

演題：Automatic analysis of gene activations in microscopic images of Drosophila ovaries

第105回

東北大学大学院医学系研究科 准教授

（チェコ工科大学プラハ校 准教授）

Ivo Bukovsky 氏

演題：Data processing and modeling in mechanical and biomedical systems

情報バイオトロニクス研究会

主査　平野 愛弓、幹事　宮本 浩一郎

電子工学技術と多種多様な機能を有する生命科学反応系とを融合したナノ・バイオエレクトロニクス分野は、異分野融合による科学技術のさらなる発展において今後ますます重要と考えられている分野の一つである。しかし，半導体素子と生体分子とのインターフェイスの設計においては，生体分子の配向制御や活性の保持等における困難さなど，解決すべき課題が数多く存在する．本研究会では，電子工学や半導体工学のみならず，表面科学，生理学，数理工学など幅広い分野に携わる研究者達が協力して，ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的としている．本年度は，情報バイオトロニクス研究会共催の研究会を１回，国際シンポジウムを２回開催した．

「化学センサを応用したマルチパラメータ測定デバイス」研究会
平成31年2月14日開催 宮本浩一郎(東北大)、柳瀬雄輝(広島大)、宇野重康(立命館大)、郭 媛元(東北大)、阿部結奈(東北大　院工)

The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer.
平成31年2月22-23日開催 L. Theogarajan (UC Santa Barbara, USA), Y. Horio (Tohoku Univ., Japan), J. Madrenas (Tech. Univ. Catalunya, Spain), S. Sato (Tohoku Univ., Japan), H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan), J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain) 他

10th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics.
平成31年3月6-7日開催 Patrik Schmuki (Univ. of Erlangen-Nuremberg, Germany), Maurits de Planque (Univ. Southampton, United Kingdom), Kenichi Morigaki (Kobe Univ., Japan), Qing Shen (The University of Electro-Communications, Japan) 他

スピニクス研究会

主査　山口　正洋、幹事　栃　修一郎、小川　智之

スピニクス研究会は、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を創成するために、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と討論の場として 1990 年に発足した。本研究会は、最新の話題に関する招待講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした一般公募による特別研究会を行っている。本年度は IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter 、 IEEE Sendai Section 、および東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究との共催・協賛による計 5 回の研究会を開催した。

第 1 回は、 2018 年の IEEE Magnetics Society Distinguished Lecturer (DL) である豊橋技術科学大学井上光輝教授と東北大学薮上信教授とによる講演会を開催した。第 2 回は、IEEE Magnetics Society DLの東京大学大谷義近教授による講演会を開催した。第 3 回は、IEEE Magnetics Society DLの University of Maryland, Alison B. Flatau 教授による講演会を開催した。第 4 回は、一般公募と招待講演による特別研究会を開催し、東北大学電気通信研究で 2 日間にわたり一般講演 15 件、仙台高専山田洋准教授、東北工業大学田河育也教授、山形大学田中陽一郎教授、秋田大学齊藤準教授、岩手大学菊池弘昭准教授、岩手大学三浦健司准教授らによる 6 件の招待講演、また東北大学山口正洋教授による 1 件の特別講演の計 22 件の講演が行われ、東北地区の磁気に関わる研究者を中心とした 46 人の参加を得て盛大に開催され活発な研究討論が行われた。第 5 回は、信越化学工業（株）土井祐仁氏による通研講演会を開催した。

本年度の運営は、主査：山口正洋教授（電気）、幹事：栃修一郎准教授（通研）、小川智之助教（電子）、企画幹事：Simon Greaves准教授（通研）、菊池伸明助教（多元研）で行った。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査　張山 昌論、幹事　夏井 雅典

本研究会は，従来の延長上にない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており，平成30年度は以下の3回を開催した。

第107回　平成30年11月3日（土）東京・八重洲カンファレンスセンター
研究発表2件

第108回　平成30年11月9日（金）電気通信研究所
研究発表17件

第109回　平成31年3月4日（金）東北大学工学部電気系　通研講演会
演題：「FPGAを用いた高性能計算の可能性とデータフロープログラミング」
講演者：佐野　健太郎（理化学研究所 計算科学研究センター
プロセッサ研究チーム チームリーダー）

超音波エレクトロニクス研究会

主査　金井 浩、　幹事　荒川 元孝

目的：超音波計測，音波物性，超音波デバイス、誘電体・圧電体の物性とその応用，医用超音波に関する研究発表・討論を行う．

第88回
日時 : 平成30年5月31日 (木)　15:00 ～ 17:00
会場 : 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1号館2F　大会議室
演題 :
1. 「超音波エコー信号を用いた肝臓内線維化の定量評価手法
ーマルチレイリーモデルに基づく臨床画像評価法ー」
◎森 翔平[1]，平田 慎之介[2]，山口 匡[3]，蜂屋 弘之[2]
(1 東北大学大学院工学研究科，2 東京工業大学工学院システム制御系，
3 千葉大学フロンティア医工学センター)
2. 「セクタプローブを用いた二方向拡散波による
心臓内二次元血流ベクトル推定」
◎前田 萌，長岡 亮，池田 隼人，八重樫 創生，西條 芳文
(東北大学大学院医工学研究科)
3. 「血管壁弾性率の超音波測定における
パルスインバージョン法による精度向上」
◎宮地 幸哉[1,2]，荒川 元孝[1,3]，金井 浩[3,1]
(1 東北大学大学院医工学研究科，
2 富士フイルム株式会社R&D統括本部メディカルシステム開発センター，
3 東北大学大学院工学研究科)

第89回
日時　2018年10月 4日(木)　10：00 ～ 17：20
会場 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 南講義棟103
電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会，
日本超音波医学会 光超音波画像研究会，
レーザー学会 光音響イメージング技術専門委員会と共催

1. 「集束超音波による超音波霧化におけるキャピラリー波の高速度撮影解析」
◎塚原健生，益子大作，吉澤　晋（東北大）
2. 「超音波による脂肪性肝疾患の診断と断層像の高分解能化を目指した
生体内音速分布推定」
◎阿部啓一郎，森　翔平，荒川元孝，金井　浩（東北大）
3. 「分極反転PZT/PTO薄膜を用いた周波数スイッチナブルなGHz帯共振子」
◎清水貴博，森　剛志，柳谷隆彦（早大）

4. 「基板付き薄膜共振子からの新規k_t^2評価法と従来法の比較
～ 共振周波数比法、変換損失法、共振スペクトル法、共振反共振法 ～」
◎戸塚　誠，柳谷隆彦（早大）
5. 「c軸傾斜配向ScAlN薄膜/音響多層膜構造の共振子を用いた
UHF帯における液体粘性評価」
◎山川愉生，五月女　巧，唐澤　嶺，柳谷隆彦（早大）
6. 「c軸傾斜配向厚みすべりモードScAlN薄膜共振子を用いた
液体中生体分子相互作用の検出」
◎矢崎　花，五月女　巧，唐澤　嶺（早大），高柳真司（名工大），
吉田憲司（千葉大），柳谷隆彦（早大）
7. 「製法の異なるScAl合金スパッタターゲットから発生する負イオンが
ScAlN薄膜の特性に及ぼす影響
～ 電子ビーム溶融、アーク溶融、焼結ScAl合金ターゲットの比較 ～」
◎唐澤　嶺（早大），高柳真司（名工大），遠藤結佳（早大），今川　誠，
森坂啓介，鈴木　雄（フルヤ金属），柳谷隆彦（早大）
8. 「多波長光音響イメージングによる脂肪肝定量評価のための基礎的検討」
◎浅田恭輔，浪田　健，近藤健悟，山川　誠，椎名　毅（京大）
9. 「多波長光音響イメージングによる皮下血腫評価に向けた基礎的検討」
◎内本　陽，浪田　健，近藤健悟，山川　誠，椎名　毅（京大）
10. 「深深度・波長低依存音響分解能光音響顕微鏡の光学シミュレーション」
◎丸山真幸，加瀬　究，斎藤徳人，和田智之（理研）
11. 「多方向信号取得による高解像度光音響イメージング」
◎佐藤幹太，新楯　諒（東北大），藤原光浩（オークソニック），
西條芳文（東北大）
12. 「高周波数トランスデューサを使用した透過型光音響顕微鏡の設計」
◎新楯　諒（東北大），長岡　亮（富山大），小林和人（本多電子），
西條芳文（東北大）
13. 「実時間光超音波を用いたヒト組織in vivoイメージングの初期実験
～ スペクトル推定と力学計測 ～」
◎炭　親良（上智大），佐藤直人（CYBERDYNE）
14. 「臨床研究のデータ理解のためのウサギを対象にした光音響測定」
◎石原美弥，平沢　壮，大川晋平，藤田真敬（防衛医科大）

第90回
日時　2018年10月 4日(木)　10：00 ～ 17：20
会場　東北大学工学部・工学研究科サイエンスキャンパス
第2回先端生体超音波シンポジウムと共催

A1 「切除不能膵がんに対する音響力学的治療におけるシステム開発」
◎吉澤 晋[1]，高木 亮[2]，玉野 聡[3,1]，梅村晋一郎[4]
(1東北大学大学院工学研究科, 2産業技術総合研究所,
3日立製作所, 4東北大学大学院医工学研究科)

A2 「心臓壁振動速度波形の超音波同時多点計測における精度の
拡散波・平面波・集束波の送信幅依存性の評価」
◎古澤直也[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科)

A3 「PVA-Hを用いたARFI計測用ファントムの開発とヤング率計測」
◎高橋 廉[1], 清水康智[2], 山口 匡[3], 太田 信[2]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学流体科学研究所,
3千葉大学フロンティア医工学センター)

P1 「超音波加振により生体模擬試料表面に発生する変位分布の計測」
◎川村 響[1], 森 翔平[1], 荒川元孝[2,1], 金井 浩[1,2]
(1東北大学大学院工学研究科, 2東北大学大学院医工学研究科)

P2 「濃度共起行列を用いた好中球画像の分葉数別判別」
◎村山綾菜[1], 熊原 茜[1], 松岡穂奈実[1], 藪田麻結[1], 七戸加奈[2], 山本麻衣[3],
河野圭伍[2], 岡田一範[4], 加賀早苗[4], 政氏伸夫[4]
(1北海道大学医学部保健学科, 2北海道大学大学院保健科学院,
3国家公務員共済組合連合会斗南病院,
4北海道大学大学院保健科学研究院)

P3 「セクタプローブによる二方向拡散波を用いた心臓内
二次元血流ベクトルイメージング」
◎前田 萌[1], 長岡 亮[2], 池田隼人[1], 西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2富山大学大学院理工学研究部)

P4 「血管壁粘弾性推定のための単一超音波プローブを用いた
血管径－血圧同時計測」
◎斎藤拓海[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 大庭茂男[3], 小林和人[4], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科,
3東北大学工学部, 4本多電子株式会社)

P5 「Deep Learningを用いた好中球画像の分葉数別判別」
◎藪田麻結[1], 熊原 茜[1], 松岡穂奈実[1], 村山綾菜[1], 七戸加奈[2],
河野圭伍[2], 山本麻衣[3], 岡田一範[4], 加賀早苗[4], 政氏伸夫[4]
(1北海道大学医学部保健学科, 2北海道大学大学院保健科学院,
3国家公務員共済組合連合会斗南病院,
4北海道大学大学院保健科学研究院)

P6 「三次元超音波顕微鏡による皮膚のイメージングと画質改善」
◎横式紗彩, 熊谷和敏, 前田 萌, 西條芳文
(東北大学大学院医工学研究科)

P7 「頸動脈表面粗さの超音波計測における頸動脈壁と
超音波プローブのなす傾斜が及ぼす影響とその除去法に関する検討」
◎阿部貴久[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科)

P8 「フローサイトメトリー法を用いた好中球顆粒内物質の計量」
◎七戸加奈[1], 熊原 茜[2], 松岡穂奈実[2], 村山綾菜[2], 藪田麻結[2],
山本麻衣[3], 河野圭伍[1], 岡田一範[4], 加賀早苗[4], 政氏伸夫[4]
(1北海道大学大学院保健科学院, 2北海道大学医学部保健学科,
3国家公務員共済組合連合会斗南病院,
4北海道大学大学院保健科学研究院)

P9 「球面アレイトランスデューサーを用いた3次元光音響イメージングの検討」
◎森野太介[1], 長岡 亮[2], 吉澤 晋[3], 梅村晋一郎[1], 佐藤幹太[1], 新楯 諒[1],
西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2富山大学大学院理工学研究部,
3東北大学大学院工学研究科)

P10 「脂肪性肝疾患の診断と超音波断層像の高分解能化を目指した生体内音速分布推定に関する検討」
◎阿部啓一郎[1], 森 翔平[1], 荒川元孝[2,1], 金井 浩[1,2]
(1東北大学大学院工学研究科, 2東北大学大学院医工学研究科)

P11 「肥大型心筋症と高血圧症のリザーバ期左房心筋壁動態の差異：三次元スペックルトラッキング法による検討」
◎柳 裕介[1], 岡田一範[2], 相庭美穂[3], 加賀早苗[2], 政氏伸夫[2], 三神大世[2]
(1北海道大学大学院保健科学院, 2北海道大学大学院保健科学研究院,
3北海道大学医学部保健学科)

P12 「リニアプローブを用いた多方向からの信号取得による光音響画像再構成のシミュレーション」
◎佐藤幹太[1], 新楯 諒[1], 藤原光浩[2], 西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2株式会社オークソニック)

P13 「医用超音波による胸椎表面描出のための骨からの反射特性と筋組織からの散乱特性の違いに関する検討」
◎横山智大[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 大西詠子[3], 山内正憲[3], 金井 浩[2,1]
(1 東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科,
3東北大学医学部)

P14 「ドップラー画像位相差による断面流速の三次元的可視化の試み」
◎軽部雅人[1], 白石泰之[2], 岩元直樹[1], 山田昭博[2], 井上雄介[2], 源田達也[1],
舘崎佑馬[2], 盛田良介[2], 山家智之[1,2]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学加齢医学研究所)

P15 「ナビエ・ストークス方程式を用いた2次元速度ベクトルの誤差低減」
◎菅野尚哉, Sri Oktamuliani, 西條芳文
(東北大学大学院医工学研究科)

P16 「超音波後方散乱特性解析による赤血球集合度評価における超音波伝播減衰の除去に関する検討」
◎永澤幹太[1], 深瀬晶予[2], 森 翔平[3], 荒川元孝[1,3], 八代 諭[4], 石垣 泰[4],
金井 浩[3,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学医学部保健学科,
3東北大学大学院工学研究科, 4岩手医科大学内科学講座)

P17 「高周波数超音波トランスデューサを用いた透過型光音響顕微鏡に関する基礎的検討」
◎新楯 諒[1], 長岡 亮[2], 小林和人[3], 西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2富山大学大学院理工学研究部,
3本多電子株式会社研究開発本部)

P18 「心筋収縮応答における心室中隔壁の長軸像ビーム方向及びラテラル方向の速度波形の観察」
◎小原 優[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[3,2], 金井 浩[2,3]
(1東北大学工学部, 2東北大学大学院工学研究科,
3東北大学大学院医工学研究科)

P19 「光干渉断層法における画質改善のための屈折率の算出」
◎藤井佳祐[1], 柏倉直史[1], 長岡 亮[2], 西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2富山大学大学院理工学研究部)

B1 「テクスチャ解析による細胞質内顆粒の数、分布の定量的評価」
◎政氏伸夫[1], 山本麻衣[2], 河野圭伍[3], 七戸加奈[3], 熊原 茜[4],
松岡穂奈実[4], 村山綾菜[4], 藪田麻結[4], 岡田一範[1], 加賀早苗[1]
(1北海道大学大学院保健科学研究院,
2国家公務員共済組合連合会斗南病院,
3北海道大学大学院保健科学院, 4北海道大学医学部保健学科)

B2 「細胞骨格の発達状態が培養心筋細胞の機械刺激受容感度に与える影響」
根岸聖太, 工藤信樹 (北海道大学大学院情報科学研究科)

B3 「細胞のバイオメカニクス計測を目的とした高周波超音波顕微鏡システムの開発」
◎平野 亮[1], 荒川元孝[1], 小林和人[2], 長岡 亮[3], 西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2本多電子株式会社研究開発本部,
3富山大学大学院理工学研究部)

C1 「左房収縮時逆行/順行血流量比による非侵襲的左室硬さ評価の有用性」
岡田一範[1], 藤澤亮介[2], 柳 裕介[3], 政氏伸夫[1], 加賀早苗[1], 三神大世[1]
([1]北海道大学大学院保健科学研究院, [2]北海道大学医学部保健学科,
[3]北海道大学大学院保健科学院)

C2 「混合性肺高血圧をきたす左心不全患者の左房心筋機能障害
－ 左室駆出率が低下した心不全例における検討－ 」
加賀早苗[1], 齋藤 遥[2], 岡田一範[1], 柳 裕介[3], 政氏伸夫[1], 三神大世[1]
([1]北海道大学大学院保健科学研究院, [2]北海道大学医学部保健学科,
[3]北海道大学大学院保健科学院)

C3 「心筋収縮伝播路の超音波による可視化のための収縮伝播速度の局所2次元分布」
◎林 あかね[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科)

第91回
日時 : 平成30年11月6日 (火) 14:40 ～ 16:10
会場 : 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 別館480号室
演題 :
1. 「An ultrasonic method for measuring shear wave velocity and absorption of biological tissues for viscoelasticity characterization
せん断波伝搬による生体組織の粘弾性特性の超音波計測に関する考察」
◎Yuu Ono
(Department of Systems and Computer Engineering,
Carleton University, Canada)

第92回
日時 : 平成30年11月15日 (木) 14:40 ～ 17:30
会場 : 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1号館2F 大会議室
演題 :
1.「超音波in vivo計測による心筋収縮の伝播速度ベクトルの空間分布推定」
◎林 あかね[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科)
2.「医用超音波による骨と筋組織の反射・散乱特性の違いを用いた胸椎表面描出に関する検討」
◎横山智大[1], 森 翔平[2], 荒川元孝[1,2], 大西詠子[3], 山内正憲[3], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科,
3東北大学医学部麻酔科学・周術期医学分野)
3.「単一セクタプローブを用いた二方向拡散波による心臓内二次元血流ベクトルイメージング」
◎前田 萌[1], 長岡 亮[2], 池田隼人[1], 西條芳文[1]
([1]東北大学大学院医工学研究科, [2]富山大学大学院理工学研究部)
4.「細胞のバイオメカニクス計測を目的とした高周波超音波顕微鏡システムの開発」
◎平野 亮[1], 荒川元孝[1], 小林和人[2], 長岡 亮[3], 西條芳文[1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2本多電子株式会社研究開発本部,
3富山大学大学院理工学研究部)

第93回
日時 : 平成30年12月20日 (木) 14:40 ～ 16:40
会場 : 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1号館2F 大会議室
演題 :
1. 「心臓壁振動速度波形の超音波計測精度の送信ビーム幅依存性」
◎古澤 直也[1], 森 翔平[2], 荒川 元孝[1,2], 金井 浩[2,1]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科)
2. 「音響力学治療の治療効率向上を目的とした超音波シーケンスの開発」
◎益子 大作[1], 梅村 晋一郎[1], 吉澤 晋[2]
(1東北大学大学院医工学研究科, 2東北大学大学院工学研究科)

3. 「高周波数超音波による皮膚評価方法の開発に関する研究」
◎横式 紗彩，熊谷 和敏，前田 萌，西條 芳文
(東北大学大学院医工学研究科)

第94回
日時 : 2018年1月24日 (木) 10:00-12:40
会場 : 東北大学工学研究科電子情報システム・応物系 南講義棟 103号室
音響工学研究会と共催
演題 :
1. 「レーザ干渉計を用いた広帯域高精度マイクロフォン感度測定法の提案」
◎徐 載甲[1,2]，曺 浣豪[2]，金 學胤[3]， 崔 正烈[1]，鈴木 陽一[1]
(1東北大学 電気通信研究所/大学院情報科学研究科，
2Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science, Korea
3 Department of Electronic Engineering, Cheongju University, Korea)
2. 「高周波への信号埋め込みに基づく合成音声の抑圧」
◎佐賀 俊介，伊藤 彰則
(東北大学大学院工学研究科)
3. 「機械学習による音声比較器を用いたゼロ資源言語のための音声検索」
◎伊藤 彰則
東北大学 大学院工学研究科
4. 「超音波エコー信号の振幅分布情報を用いた肝線維化定量画像化手法に
関する検討 － 線維確率画像化手法と振幅閾値処理法の比較 －」
◎森 翔平[1]，平田 慎之介[2]，山口 匡[3]，蜂屋 弘之[2]
1東北大学 大学院工学研究科，2 東京工業大学 工学院システム制御系，
3千葉大学 フロンティア医工学センター

第95回
日時: 2019年1月30日(水) 16:20-17:40
会場: 東北大学工学部・工学研究科サイエンスキャンパスホール
圧電材料・デバイスシンポジウム2019,
第5回日本超音波医学会基礎技術研究会と共催
演題:
1. 「超音波による生体情報の定量計測」
◎蜂屋弘之（東京工業大）
2. 「超音波プローブを用いた血圧と血管径の同時計測法に関する検討」
◎斎藤拓海[1]，森 翔平[1]，荒川元孝[1]，大庭茂男[1]，小林和人[2]，金井 浩[1]
（1東北大，2本多電子）
3. 「超音波併用薬液送達デバイスの開発」
◎井上憲司[1,2]，佐藤綾耶[2]，齋藤竜太[2]，Jia Wenting[2]，奥野さおり[2]，
大橋雄二[2,1]，鎌田 圭[2,1]，吉川 彰[2,1]，冨永悌二[2]
（1Piezo Studio，2東北大）

ブレインウェア工学研究会

主査　石黒　章夫、幹事　加納　剛史

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は第一回を平成30年7月5日、第二回を平成30年11月9日、第三回を平成30年12月18日にそれぞれ開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである（講演会原稿は無し)。第一回：「超スマート社会に向けた不揮発ロジックLSIの挑戦」玉越　晃（東北大）、「Edge AI ハードウェアに向けて」堀尾 喜彦　（東北大）、「フナムシの機敏なロコモーションに学ぶ多脚ロボットの自律分散制御」加納 剛史（東北大）、第二回：ポスター発表（ショートプレゼンテーションも含む）計17件，第三回：「ベンチャー企業が挑むスーパコンピュータ開発　省エネルギー世界一を実現した技術」鳥居　淳　（株式会社ExaScaler取締役CTO 研究開発部長）、「アナリシス・バイ・シンセシスによる意識の探求」渡辺　正峰（東京大学大学院工学系研究科准教授)、「生物の自己改変能力を実装するバイオソフトロボットを目指して」清水　正宏（大阪大学大学院基礎工学研究科准教授)。以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査　田中 和之、幹事　大関 真之

情報・数物研究会は、確率的情報処理・統計的学習理論・情報通信理論とその情報統計力学的アプローチに関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計4回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：高橋茶子氏（東北大学大学院情報科学研究科）“逆問題への2つの統計力学的アプローチ”、奥山真佳氏（東京工業大学理学院）“量子速度限界は量子力学特有の現象ではない”、岡田俊太郎氏（東北大学大学院情報科学研究科／株式会社デンソー）“D-Waveマシンによる大規模問題の最適化に向けた埋め込みアルゴリズム”、Koh Yang Wei, Patrick氏（東北大学大学院情報科学研究科）“Asymptotic series expansion of path integrals of mean-field quantum spin model”

生体・生命工学研究会

主査　塩入 諭、 幹事　大林 武、羽鳥 康裕

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成12年9月に発足した．以下に平成30年度の活動概要を示す．

第33回は平成30年12月20日（木）16：00から17：00まで東北大学青葉山キャンパスの電子情報システム・応物系南講義棟103講義室にて開催され，東京工業大学名誉教授の佐藤誠先生の「バーチャルリアリティとハプティックインタフェース」と題し、ストリング型力触覚提示デバイスに関する特別講演が行われた．またこれに先立ち、15：00から16：00まで一般講演2件と参加者交流時間を設け活発な討論が行われた．参加者は24名であった．今回も広範な分野からの参加者があり，活発な討論がなされた．

ナノ・スピン工学研究会

主査　佐藤 茂雄、　幹事　深見 俊輔

２１世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成１６年４月１日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。平成３０年度は以下のように計５回の研究会を実施した。

第104回　平成30年6月6日　15:00 – 17:50、 “Strong terahertz plasmonic resonances in Cd3As2: a 3D topological dirac semimetal” and “HgCdTe-based heterostructures for THz emitters,” SENSALE RODORIGUEZ, Berardi （The University of Utah, Assist. Prof.）

第105回　平成30年12月3日　13:30 – 15:00、 “Real Space Transfer in Graphene-Phosphorene Heterostructures,” ミティン ウラジミール（ニューヨーク州立大学バッファロー校、Distinguished Professor）

第106回　平成30年12月17日　12:55 – 17:50, 「高速テラヘルツカラーイメージング装置の開発」　他8件、坪内雅明・永島圭介（量研）ほか
12月18日　9:00 – 12:30、「InP系、Sb系及びGaN系HEMTの高速化とそのテラヘルツ無線応用　他6件」 他6件、遠藤聡・渡邊一世・山下良美・笠松章史(NICT)・藤代博記（東京理科大)・三村高志（NICT）　ほか

第107回　平成31年2月13日　15:30 – 17:00, “New Graphene like HgTe Quantum Wells for Quantum Hall Metrology,” クナップ　ヴォイチェック （ポーランド・テラヘルツ研究応用センター, ポーランド科学アカデミー / フランス・国立科学中央研究所, モンペリエ第２大学、教授）
第108回　平成31年3月27日　11:00 – 12:00, 「スマートセンシングとエッジAI技術の動向」高浦 則克 氏（日立製作所）

工学研究会

先進的情報通信工学研究会

主査　木下 哲男、　幹事　北形 元

2018 年度は、以下の通り、通研講演会を含む計３回の研究会を開催した。

・第２３回先進的情報通信工学研究会・通研講演会
日時：平成３０年１２月２５日（火）１３：３０～１５：００
場所：電気通信研究所　本館　Ｍ５３１セミナー室
題目：人間活動をサポートする IoT システム：スマートコミュニティを事例として
講師：松井加奈絵（東京電機大学システムデザイン工学部情報システム工学科）

・第２４回先進的情報通信工学研究会
日時：平成３１年２月２０日（水）１４：００～１７：１０
場所：電気通信研究所　本館　Ｍ５０１セミナー室
共催：通研共同プロジェクト研究
「エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究」
（代表：打矢隆弘（名古屋工業大学））
講演数：6 件

・第２５回先進的情報通信工学研究会
日時：平成３１年３月７日（木）１３：３０～１８：１０
場所：電気通信研究所　本館　Ｍ５３１セミナー室
共催：通研共同プロジェクト研究
「エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究」
（代表：打矢隆弘（名古屋工業大学））
「多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究」
（代表：上田浩（京都大学））
「多数生体信号の分析により異常の予測と検索」
（代表：チャクラボルティ ゴウタム（岩手県立大学））
「新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究」
（代表:ザビル サラウッディン ムハマド サリム(鶴岡工業高等専門学校））
「超高性能耐災害ネットワーク制御に関する研究」
（代表：内海哲史（福島大学））
「セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究」（代表：佐藤彰洋（九州工業大学））
「エージェントを用いた IoT サービスの構築と運用支援に関する研究」
（代表：谷村優介（東北大学））
講演数：12 件

５．４　通研講演会

ユニバーサルコミュニケーションを実現する人工知能技術
－NICT けいはんな拠点における国研の研究－

国立研究開発法人 情報通信研究機構
ユニバーサルコミュニケーション研究所長
木俵 豊 氏

開 催 日：2019 年 3 月 19 日（火）
開催場所：東北大学電気通信研究所本館 1 階オープンセミナー室

今回の講演者が所属する国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）ユニバーサルコミュニケーション研究所（UCRI）や先進的音声翻訳研究開発センター（ASTREC）では，論文などの学術成果にとどまらず，国研として社会を変革するためのコア技術の社会実装を進めている。この研究開発ミッションは大学で実施されている音響・音声コミュニケーション技術の研究開発とは異なる部分もあり，お互いが相補的に高め合うことにより大きな成果が見込めるものである。

ご講演では，UCRI と ASTREC の研究プロジェクトの変遷をご紹介いただくと共に，「情報の量と質の壁」や「言葉の壁」を越えるユニバーサルコミュニケーションを実現させるための人工知能技術の研究開発について様々な事例に基づいてご紹介いただいた。これらの内容に基づいて，国研と大学との方向性の違いや，共同で研究を行っていく上で考慮すべき点に関する活発な討論を行うと共に，今後の共同研究の可能性について具体的なテーマをあげて議論を行った。

通研講演会

マイクロ波高効率増幅器とシグナルインテグリティ

秋田県立大学　教授　礒田 陽次

開 催 日：平成３０年１０月３１日（水曜日）14:00～17:00
開催場所：東北大学サイバーサイエンスセンター　講議室
参加人数：２５名

携帯電話の小型化と方式変遷に伴う構成の歴史に始まり，マイクロ波増幅器の線形性と低入力時の高効率動作を両立させるために信号に合わせてドレイン電圧Vdを変化させるエンベロープトラッキング増幅器が実験結果とともに解説された。個体のVd特性にあわせてドレイン電圧変換器が出力の包絡線検波からVdを制御し，さらにゲート電圧Vgも入力信号に合わせて変化させる動的Vg制御型増幅器では，電力効率と歪みが改善する。

多数の波を使うOFDMなどでは相互変調歪への注意が要る。ディジタル変調方式は多値変調方式のQAMへ変遷したが，歪み発生時の隣接チャネル妨害の課題が残っている。発生した3次歪みをもとに歪みキャンセルループにより歪み補償を行うフィードフォワード方式は，回路規模と電力が大きい制約がある。アンプで発生する歪みの逆方向にあらかじめひずませておくプリディストーション方式により出力歪みと位相歪み，周辺スペクトルを抑制する研究の状況も紹介され，参加者と活発な議論が展開された。

ネオジム焼結磁石と開発動向

信越化学工業株式会社　土井 祐仁

開 催 日：平成３０年１１月２２日（木）16:00～17:00
開催場所：東北大学 総合研究棟 1F　101号室
参加人数：３１名

希土類磁石の一種であるネオジム焼結磁石は室温で使用できる最も強力な永久磁石であり、今後需要の増大が見込まれるxEV用モータに使用されるなど現在もその用途が拡大している。磁石特性の評価方法やネオジム磁石材料及び磁石の製造工程、さらに資源対策と高特性化の両立を狙った粒界拡散技術など最近の開発動向と製品についての解説がなされ、講演後は聴講者との活発な議論が展開された。

FPGA を用いた高性能計算の可能性と データフロープログラミング

理化学研究所 計算科学研究センター　佐野 健太郎

開 催 日：平成３１年3月４日（金）１３：３０～１４：３０
開催場所：東北大学工学部電気系 3 号館 206 ゼミ室
参加人数：約 20 名

来るポスト・ムーア時代では、大規模システム内の膨大な数のチップに分散するハードウェア資源を通信遅延の下で効率良く使用することが、これまで以上に求められる。そのためには、回路再構成可能デバイスを用いた特化型計算と、同期を分散し局所化が可能なデータフローに基づく計算が有望と考えられる。本講演では、データフローに基づく特化型高性能計算の課題と可能性、ならびに FPGA を利用した研究開発事例が紹介された。講演後は同分野の今後の課題や具体的応用事例などについて活発な質疑がなされた.

疑似古典確率的ハミルトニアンによる 断熱量子計算の量子加速

京都大学 大学院理学研究科 特定准教授　藤井 啓祐

開 催 日：平成３０年６月４日（月）午後４：２０－５：５０
開催場所：情報科学研究科棟 2 階中講義室
参加者数：30 名

平成３０年６月４日に標記講演会を開催した。量子計算デバイスの最近の急速な実験的進歩によって動機付けられて、量子計算の優位性を示すために様々なモデルが研究されている。商業的には、量子アニーリングマシンは横磁場量子イジングモデルを実現し、組合せ最適化問題をヒューリステックに解く方法として利用されはじめている。本講演では、疑似古典確率的ハミルトニアンと呼ばれるハミルトニアンに限定した場合の断熱量子計算（stoqAQC） の計算能力とその計算量的な量子加速の強い証左について紹介された。本講演会では関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

通研講演会

バーチャルリアリティとハプティックインタフェース

東京工業大学 名誉教授　佐藤 誠

開 催 日：平成３０年１２月２０日（木）１６：００～１７：００
開催場所：東北大学工学部
　　電子情報システム・応物系南講義棟１０３講義室
参加人数：２４名

オキュラス社のKickstarterによるヘッドマウントディスプレイ開発プロジェクトの成功に端を発して、近年バーチャルリアリティ（VR）環境への関心が急速に高まってきている。VR環境の高精細化や高機能化は必然的にVR環境と接するためのヒューマンインタフェースの高度化を必要とする。私達は長年にわたりストリング型力触覚提示デバイスSPIDARの研究開発を行ってきた。ストリング型力触覚提示デバイスは簡易性、拡張性、安全性など他のデバイスにない様々な特長をもっている。本講演ではVR環境の歴史と現状を概観するとともに力触覚提示デバイスSPIDARを用いたハプティックVR環境についてご紹介したい。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、生物学系の広範な分野からご来聴を頂き、活発な議論がなされた。

Real Space Transfer in Graphene-Phosphorene Heterostructures

ニューヨーク州立大学バッファロー校
ディスティングイッシュドプロフェッサー
ミティン　ウラジミール

開 催 日：平成３０年１２月３日（月）１３：３０～１５：００
開催場所：東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン総合研究棟５階　Ａ５０８会議室
参加人数：２０名

本講演では、二次元材料であるグラフェンとフォスフォレン（黒リン）のヘテロ構造において発現する電子実空間遷移と、そのテラヘルツ帯素子応用について、最新の理論研究成果が紹介された。フォスフォレンが大きい有効質量を持ち、層数によるバンドギャップ制御が可能であること、それらの特徴に起因して電子実空間遷移効果によって得られる負性導電率が、従来のIII-V族化合物半導体ヘテロ構造と比して桁違いに大きいことが解説された。また、テラヘルツ帯素子応用の一例としてボロメトリック検出素子が紹介され、基礎的な動作原理とともに、負性導電率発現による感度向上効果が理論的に示された。講演後には、デバイス動作原理の詳細やテラヘルツ発振素子への応用などについて質疑応答が活発に行われた。

通研講演会

人間活動をサポートするIoTシステム：スマートコミュニティを事例として

東京電機大学 システムデザイン工学部 情報システム工学科
助教　松井 加奈絵

開 催 日：平成３０年１２月２５日（火）１３：３０～１５：００
開催場所：東北大学電気通信研究所　本館　Ｍ５３１セミナー室
参加人数：２０名

人間の暮らしをサポートするための様々なIoT（Internet of Things）システムの実現に期待が高まっている。人間の暮らしは、いくつもの活動、また他者との関わりから成り立っているため、各活動を支えるためには人間の活動、コミュニティといった様々な構成要素から成り立つ事象を計測する必要がある。本講演では、多様なセンサの開発、環境データと人の行動データ等を収集し、それらを蓄積、情報処理、生成、提供することで人間生活の質をより高めることを目的としたIoTシステムの取り組みや室内外の快適性を計測データから生み出すための手法について事例とともに紹介がなされ、活発な議論が展開された。

第　6　章　　通研教員が中核的役割を果たす他部局組織等

６．１　設立に関与した組織

省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター（CSIS）

＜施設の概要＞

設　　置：平成 22 年 3 月 10 日　FIRST プログラムの開始に合わせて当センターを設置、スピントロニクス素子と集積回路とを融合した革新的な省エネルギー集積回路の研究開発を実施。

組　　織：センター長　：遠藤哲郎（国際集積エレクトロニクス研究開発センター長・教授）
職員数：25 名（うち兼務 19 名）

目　　標：スピントロニクス素子との融合が集積回路にもたらす変革を主導するとともに、集積回路における世界のイノベーションサイクルが日本を軸として回る体制の構築を目指し、以下のプログラムを推進する。

○内閣府「革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）」「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現（PM:佐橋政司）」「スピントロニクス集積回路プロジェクト（研究開発責任者：大野英男　平成 26 年 10 月 2 日～平成 29 年 11 月 30 日、遠藤哲郎　平成 29 年 12 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日」

研究内容：最先端スピントロニクス素子技術、300mm 集積化プロセス技術、および革新的回路・アーキテクチャ技術を高度に技術統合し、スピントロニクス集積回路技術開発を飛躍させることにより、エナジーハーベスティングで駆動する革新的な超低消費電力マイコン等の基盤技術を世界に先駆けて開発する。

＜2018 年度の主な成果＞

①エナジーハーベスティングでの駆動を可能とする 150 万 MTJ 素子規模の MTJ ベース不揮発性 MCU の開発を行い、最大動作周波数 200MHz で平均消費電力 47.14μW 以下の動作実証に成功した。この成果は、これまでの不揮発性メモリを用いて開発されてきた MCU と比べ、2 倍以上の演算性能の向上と 2 桁以下の低消費電力化を同時に実現するもので、既存のシリコンテクノロジーが抱えていた演算性能と低消費電力のトレードオフを解決するものである。②スピン軌道トルク磁化反転とスピン移行トルク磁化反転を併用した素子の開発を行い、これら起源の異なる 2 種類のトルクを併用することで、無磁場において世界最高速となる 200ps のパルスによる磁化反転が可能なことを実証した。③高いスピン軌道トルク磁化反転効率を発現できる材料系の開発に取り組み、高抵抗率 W を用いた W/CoFeB/MgO 構造において現時点で世界最高値となるスピン軌道トルク生成効率（実効スピンホール角）1.2 を達成した。④SOT-MRAM 設計に必要となる素子特性シミュレーション環境およびレイアウトに必要となる設計環境を構築し、SOT-MRAM を設計した。⑤300mm 集積化プロセス技術として、SOT-MRAM 形成のキープロセスである SOT 素子下部の Via 平坦化工程、SOT 素子形成工程および SOT 素子下部電極形成工程の開発を行った。

電気通信研究機構（ROEC）

＜施設の概要＞

設　置：平成 23 年 10 月 1 日に設置。東北大学災害復興新生研究機構の 8 つの重点プロジェクトの一つである「情報通信再構築プロジェクト」を推進するため、電気通信研究所が中心となり、工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科、サイバーサイエンスセンターなど、複数の部局にまたがる電気・情報系の研究者が、産学官連携により、災害に強い情報通信ネットワークの研究開発を実施。

組　織：・機構長　：加藤　寧（教授）
・職員数：53 名（東北大通研・工学研究科・情報科学研究科、医工学研究科・サイバーサイエンスセンターから兼務）

目　標：東日本大震災の教訓を踏まえ、災害時に必要な通信が確実に確保できる耐災害性に優れた情報通信技術の研究開発とその社会実装の推進。

研究内容：本機構に参画する研究者の研究シーズを活かした、耐災害 ICT 技術に関する産官学連携プロジェクトによる世界で最も進んだ災害に強い情報通信ネットワークの構築。

＜2018 年度の主な成果＞

(1) 研究プロジェクトの推進：総務省や NICT の委託研究として、「超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発」、「無人航空機システムの周波数効率利用のための通信ネットワーク技術の研究開発」、「ニーズに合わせて通信容量や利用地域を柔軟に変更可能なハイスループット衛星通信システム技術の研究開発」等のプロジェクトを推進した。また、JST の防災・減災、復興プロジェクトとして、「SIP（防災・減災）：災害情報の配信技術の研究開発」を推進した。さらに、研究開発成果の社会実装への取り組みとして、耐災害 ICT 研究協議会にて改訂を行った「災害に強い情報通信ネットワーク導入ガイドライン」による自治体等への啓発を実施した。

(2) 情報発信：2018 年 7 月、2019 年 3 月に「電気通信研究機構 NEWS」を発刊した。また、本学本部主催の災害復興新生研究機構シンポジウムや本機構のホームページを活用し、本機構の活動内容の積極的な情報発信を実施した。

＜2018 年度の主な発表論文＞

[1] Tohn Furutani, et al., ″A Novel Information Diffusing Method With Virtual Cells Based Wi-Fi Direct In Disaster Area Networks,″ IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2018), Barcelona Spain, Apr. 2018.

[2] K. Kasai, et al., “Backward-Rayleigh-Scattering Suppressed 160 Gbit/s 256 QAM Injection-Locked Bidirectional Coherent Transmission for Next Generation Mobile Fronthaul,” ECOC 2018, Th2.71, September 2018.

[3] M. Suzuki, et al., “Introduction of 2D Diffraction Grating into Grating-Gate Plasmonic THz Detector for Controling Its Polarization Characteristics,” 2018 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2018), Kitakyushu, Japan, Jul. 2-4, 2018

国際集積エレクトロニクス研究開発センター(CIES)

＜施設の概要＞

設　置：平成 24 年 10 月、東北大学は民間企業との産学連携研究を拡充し、エレクトロニクス産業の発展に向けた組織として「国際集積エレクトロニクス研究開発センター」を設置した。平成 25 年 4 月、本研究開発センターの研究棟が、初の 100%民間拠出による東北大学サイエンスパーク第 1 号の施設として、青葉山新キャンパス内に竣工された。

組　織：センター長　：遠藤哲郎（工学研究科・教授）

職員数：81 名（工学研究科、情報科学研究科、通研等からの兼務を含む）

目　標：東北大学が有する多岐にわたる研究シーズと豊富な産学連携実績を求心力として、CIES は集積エレクトロニクス技術を研究開発する。また、その技術に係る国際的産学連携拠点の構築を図ることにより、次世代集積エレクトロニクス分野における我が国の国際的な競争力の強化に寄与する。更に、当該分野の技術の実用化及び新産業の創出を目標とする。

研究内容：産学共同研究、国家プロジェクト、地域連携プロジェクト等の枠組みの中で、次世代半導体メモリから高性能ボード技術やパッケージング技術、画像処理技術などの電子デバイスコンポーネントを中心とした IT 分野の研究開発と自動車向け電装部品コンポーネントを中心としたカーエレクトロニクス分野の研究開発を推進している。

＜2018 年度の主な成果＞

本学が創出してきたコア技術の実用化に向けて、材料・装置・デバイス・回路・システムなど多様な国内外企業と連携して、これまで、7 つの産学共同研究、大型国家プロジェクト（JST-ACCEL、JST-OPERA、内閣府 ImPACT、JSPS Core-to-Core、NEDO プロジェクト)、地域連携プロジェクトからなる CIES コンソーシアムを運営してきた。参画企業は順調に増えており、本研究分野では世界最大規模のコンソーシアムに成長している。その際、企業には、「宮城県と県内市町村が共同申請を行った民間投資促進特区（情報サービス関連産業）制度」と「東北大学と仙台市の協定に基づいた固定資産税等相当額の助成制度」を活用して頂いた。

ワールドクラスの企業と互換性があり、大学が運営する世界唯一のスピントロニクス集積回路対応 300mm プロセス試作評価ラインにて、次世代半導体メモリをはじめ多様な革新的技術を開発し、多くの先進的成果をあげた。具体的には、磁気トンネル接合素子(MTJ)の新方式を提案し、世界最小サイズでの動作実証に成功した。また、企業と共同で、MTJ の加工プロセスを開発し、大容量化に道筋を付けた他、MTJ 特性評価ソリューションが製品化され、世界に向けて販売が開始される等の進展があった。H30 年度は、内閣府 SIP 第 2 期に採択され、新たな国家プロジェクトが始動した。超低消費電力が要求される IoT/AI システムへの展開が期待される。加えて、レアメタル・グリーンイノベーション研究開発センターに CIES 分室を開設し、OPERA プロジェクト次世代パワーデバイスの産学共同研究が大きく発展した。更に、宮城県、岩手県等と協力して、地域・地元企業との事業化検討会を運営し、事業化が進展する等、東北復興・地域貢献の一助となる成果が得られた。

引き続き、世界を先導する集積エレクトロニクス･AI ハードウェア研究開発拠点を目指し、革新的コア技術の創出、及び実用化による産業界への貢献と我が国の国際的競争力強化、そして地域連携による「東北復興・日本新生の先導」に寄与する。

関連組織等

スピントロニクス学術連携研究教育センター（CSRN）

＜施設の概要＞

設　　置：平成 28 年 4 月 1 日設置

組　　織：センター長：高梨弘毅（金属材料研究所長・教授）
教員数：64 名（専任教員：5 名、兼務教員：58 名、理学研究科・工学研究科・金属材料研究所・電気通信研究所・多元物質科学研究所・材料科学高等研究所・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・学際科学フロンティア研究所から兼務、客員教員 1 名）

目　　標：世界をリードする日本のスピントロニクス研究の国際競争力の向上、新産業の創出、現産業の強化及び次世代人材の育成を目指し、国内外の研究機関との共同研究を推進する連携ネットワークの拠点としての役割を担う。

研究内容：［スピントロニクスデバイス創成研究部門］スピントロニクス分野の科学技術を駆使して、従来の情報通信技術を革新すると共に環境にやさしい社会基盤をもたらす創エネルギー・省エネルギーデバイス及びシステムを創成する。
［スピントロニクスデバイス評価研究部門］先端的なスピン計測技術を開発して、微細集積化されたスピントロニクスデバイス中のスピンの挙動を評価すると共に、その物理機構を理論的に解明し、新たなスピントロニクスデバイスを提案する。

＜2018 年度の主な成果＞

・共同研究プロジェクト

学内外のスピントロニクス研究者との共同研究を促進するため、共同研究プロジェクトの提案を募集し、採択された課題 54 件に予算配分した。共同研究先は国内 39 機関、国外 23 機関(11 ヶ国)に上る。各プロジェクトの研究内容と成果については、下記ホームページを参照のこと。

※東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター URL: http://www.csrn.tohoku.ac.jp/

・実験施設・設備の供用

供用可能な実験施設・設備（購入価格 1,000 万円以上）23 件のリストをホームページに公開し、学内外のスピントロニクス研究者の共同利用に供した。

・国際会議・研究会・スクール等の開催

本センターとシンガポール・スピントロニクス・コンソーシアム(SG-Spin)との間に締結された学術交流協定に基づく活動の一環として、平成 31 年 2 月 22 日にシンガポールで第 2 回ワークショップを開催した。また、スピントロニクス研究者間の交流促進と次世代人材の育成に資するため、国内拠点大学に設置されたセンターと連携して、国際会議・研究会・スクール 15 件を共催した。

ヨッタインフォマティクス研究センター

＜施設の概要＞

設　　置：平成 30 年 4 月置
平成 26 年東北大学学際研究重点プログラムに採択され、その後の活動により、平成 30 年に文科省・国立大学法人機能強化促進補助金の予算措置を受けて設置された。

組　　織：センター長　：塩入諭（電気通信研究所所長・教授）
センター参加学内教員数：34 名（電気通信研究所・工学研究科・原子分子材料科学高等研究機構・文学研究科・情報科学研究科・経済学研究科・医工学研究科・教育学研究科・生命科学研究科）

目　　標: 超巨大情報量の量と質を扱うための新情報サイエンスとそれに基づく ICT 情報処理技術と新たな自分社会科学を文理連携体制によって構築する

研究内容:人類が作り出すデータ量は日々増加して 2030 年にはヨッタバイト（10 の 24 乗バイト）を超えると推定される。従来の ICT 技術の延長ではこれほど巨大な情報量を適切に取り扱うことができないため、新たな情報処理パラダイムが必要である。そこで情報の「質」をも扱う科学技術基盤の創出を目指す。本センターでは、情報の質と価値を扱う学術領域の研究のために人文社会科学の研究者と連携した文理連携により部局を超えた研究者集団を構成し、ヨッタバイト級の巨大情報「量」に加えて、情報の「質」と「価値」を判断する基盤技術を確立し、巨大なビヨンドビッグデータ情報が持つ大きな価値を最大限活用する科学技術プラットフォームの構築を目指す。

＜2018 年度の主な成果＞

1. 情報の「質」から「価値」を判断し、一定の規範を見出して適切に情報を取捨選択できる情報学を先導するための 9 つの文理連携プロジェクトを、公募を通して発足させた。論文発表 50 編、発表・講演 55 件（うち招待講演 25 件）、平成 30 年度新規獲得外部資金 5 件。
2. 国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2019 を主催、通研国際シンポジウム Tohoku U - NTU Symposium: "When AI Meets Human Science"を共催し、国内外から多数の講演者を招聘した。
3. 共同利用・共同研究拠点の共同プロジェクト研究（国際共同研究推進型）に採択され、海外研究機関との連携を開始した。情報質インフォマティクス研究のオープンイノベーションプラットフォームの構築のために、企業との連携を 1 件進めるとともに、高等研究機構新領域創成部との連携し、21 世紀情報通信研究開発センター学際連携プロジェクトを推進した。

６．２　参画する事業・プログラム

博士課程教育リーディングプログラム
「マルチディメンジョン物質理工学リーダー養成プログラム」

＜施設の概要＞

設　　置：平成 25 年 10 月採択
博士課程教育リーディングプログラム複合領域型（物質）として採択された。

組　　織：プログラム責任者：滝澤博胤（理事（教育・学生支援担当））
プログラムコーディネーター：長坂徹也（工学研究科・教授）
プログラム担当者：約 60 名（責任者・コーディネーターを含む）

目　　標：東北大学の世界的強みである材料科学の実績と人的資源を活用し、大学院前期・後期一貫教育を通じて、マルチディメンジョン物質デザイン思想を実践するための広く確かな基礎知識と研究経験を有するリーダー人材を育成する。「マルチディメンジョン」とは、機能、特性、プロセス、環境調和性、経済性、安全、評価等に関する複合的な軸・次元で物質を幅広く俯瞰的に捉えることを意味する。

＜2018 年度の主な成果＞

平成 30 年度から 4 名が新たに加わり、本プログラム学生 62 名が、基盤科目・専門基礎科目・展開科目・応用科目を受講し、プログラム内インターンシップ及び海外や企業での長期インターンシップに取り組んだ。

平成 30 年 5 月 18 日～20 日に札幌市において、北海道大学「物質科学フロンティアを開拓する Ambitious リーダー育成プログラム」学生 29 名と本プログラム学生 23 名が参加して、第 4 回合同シンポジウムを開催した。両プログラムの相互理解と交流を深めるため、研究室訪問、ファシリテーション講座、ポスターセッション、ワークショップなど多彩なプログラムが実施された。

イノベーション戦略推進本部　革新的イノベーション研究機構

＜施設の概要＞

設　　置：平成 26 年 4 月 1 日設置　平成 25 年度に開始した COI-STREAM「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」のプロジェクトに合わせてイノベーション戦略推進本部内に当研究機構を設置、 東北大学が中核機関となり、サテライト（中核機関以外の研究実施場所）の新潟大学，東北学院大学，早稲田大学とともに、(株)東芝を中心とした企業と産学連携した研究開発を実施してきた。現在は、NEC ソリューションイノベータ(株)が企業側の中心となっている。

組　　織：機構長・プロジェクトリーダー ：和賀　巖（NEC ソリューションイノベータ(株)・プロフェッショナルフェロー兼イノベーションラボラトリ所長）

・副機構長・研究リーダー ：末永 智一（東北大・教授）

・プロジェクト参加学内教員数：135 名

目　　標: さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会の実現

研究内容：誰もが生甲斐を持ち健康快活に過ごしたいが、病気への不安、孤独感、離れた家族の心配等が少子高齢化社会を脅かす。常に自分や家族の生活や健康がわかり、理想自己実現に向けた応援支援が得られる「日常人間ドック」を、提案者の MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)・スピントロニクス・通信・エネルギー・素材・医療等の創意を結集して開発する。自律駆動型パッチセンサを主軸に超小型お米、箸、茶碗センサ等でさりげなく収集した日常の行動や健康ログは、クラウド上にビッグデータ PHR(パーソナルヘルスレコード)として一元管理され、ゲノム情報を背景に設計された理想自己実現に向けた励まし指導や家族の見守り、緊急時の消息確認・連絡救護等様々に活用される。

＜2018 年度の主な成果＞

センサ，通信，情報処理などの分野で幅広くプロジェクトに貢献している。通信に関しては，飲み込みが可能な mm サイズの超小型電波センサ／タグを用いた人体内通信システム，およびこのための高周波・省電力デバイスの研究開発を行なった。さらに、地元企業と連携して行った部分義歯管理システム用の cm サイズのパッシブタイプの RFID タグおよび RFID タグシステムの研究開発においては、部分義歯に貼り付け可能な RFID タグのプロトタイプ試作を行った。

関連組織等

スピントロニクス国際共同大学院プログラム

＜施設の概要＞

設　　置：平成 27 年 4 月設置

組　　織：プログラム責任者：滝澤博胤（理事（教育・学生支援担当））
プログラムリーダー：平山祥郎（理学研究科・教授）
プログラム担当者：学内教員 15 名
海外教育研究機関：ヨハネスグーテンベルク大学マインツ（独）、ミュンヘン工科大学（独）、カイザースラウテルン工科大学（独）、レーゲンスブルク大学（独）、デルフト工科大学（蘭）、フローニンゲン大学（蘭）、シカゴ大学（米）、ニューサウスウェールズ大学（豪）

目　　標：・世界で活躍する人材の育成
・スピントロニクスの理論から応用、デバイス形成や産業化までを俯瞰的に見渡せる人材の育成
・広く多様な技術分野のイノベーションを先導することができる人材を育成

概　　要：研究中心大学であり門戸開放を謳う東北大学の特色・強みを活かして、海外教育研究機関と共同してスピントロニクス分野における世界的人財を育成するために設立された。東北大学のみならず海外教育研究機関から世界トップクラスの教員を集め、英語による授業を実施する。海外教育研究機関での研修等を通じて学生の積極的な交流を促進する。Qualifying Examination により学生の質を保証し、実質的に共同指導学位が認定できるレベルの国際共同教育を実践する。

＜2018 年度の主な成果＞

2018 年度は 12 名の招へい研究者が東北大学を訪問した際、講演会・セミナーで講演を行った。

平成 30 年 3 月 1 日～2 日に東北大学理学部において本プログラム学生企画ジョイント･セミナーが開催された。本学学生・若手研究者による発表に加え、ヨハネスグーテンベルク大学マインツ、エクスター大学、ニューヨーク市立大学から招待された世界的な研究者 3 名による特別講義が行われた。また、ヨハネスグーテンベルク大学マインツ、ロレーヌ大学、東北大学の学生・若手研究者による最新の研究成果に関する発表が活発に行われた。

平成 30 年 8 月 22 日および平成 31 年 3 月 11 日に学生の発表スキル向上を目的として学生ワークショップを開催した。

先端スピントロニクス研究開発センター

＜施設の概要＞

設　　置：平成 30 年 1 月 30 日設置
（スピントロニクス世界トップレベル研究拠点が高等研究機構に設置された日付）

組　　織：センター長：平山祥郎（理学研究科・教授）
教員数：34 名（理学研究科・工学研究科・金属材料研究所・電気通信研究所・多元物質科学研究所・材料科学高等研究所・学際科学フロンティア研究所・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・スピントロニクス学術連携研究教育センターから兼務）

目　　標：基礎から応用にわたる幅広い分野の卓越した研究者を海外有力大学との共同研究を通じて戦略的に結集し、Spin-Centered Science というべき領域を世界に先駆けて切り拓く世界トップレベル拠点を形成することを目的とする。

研究内容：スピンを基軸とする基礎科学、先進スピントロニクス材料、スピントロニクスデバイスおよびその集積技術の四つに区分される。

＜2018 年度の主な成果＞

・共同研究プロジェクト

学内でこれまでの枠を超えた共同研究を推進することを目指し、共同研究プロジェクト 13 課題を採択した。提案課題はいずれも質の高い研究成果と国際共著論文につながる資質を有している。

・ジョイントラボ設置

「トポロジカル絶縁体ヘテロ構造におけるスピン検出と制御」に関する共同研究を推進するため、清華大学（中国）にジョイントラボを設置した。

・国際学術会合の開催

海外有力大学との学術交流を目指して、清華大学（2018 年 7 月、仙台）およびユニバーシティ・カレッジ・ロンドン（2018 年 10 月、ロンドン）とワークショップを開催した。材料科学とスピントロニクスの第 2 回世界トップレベル研究拠点合同シンポジウムを 2019 年 2 月 16 日～18 日に仙台国際センターで開催し、6 ヶ国 24 名の外国人を含む 250 名を超える参加者があった。

文部科学省　卓越大学院プログラム
人工知能エレクトロニクス（AIE）卓越大学院

＜施設の概要＞

設　　置：平成 30 年 10 月採択

平成 30 年度からの新規事業である「卓越大学院プログラム」(WISE Program (Doctoral Program for World-leading Innovative & Smart Education)) に採択された.

組　　織：全体責任者：大野英男（東北大学総長）

プログラム責任者　：山口　昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））

プログラムコーディネーター　：金子　俊郎（工学研究科・教授）

プログラム担当者：約 60 名（責任者・コーディネーターを含む）

目　　標：本卓越大学院プログラムでは，産学連携・社会連携を意識して「社会課題の解決」と「新たな価値の創出」を実現する『実践力』と，Society 5.0 における現実空間とサイバー空間およびそれらを繋ぐあらゆる空間を見通せる『俯瞰力』を習得することで，異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成することを目的とする。Society 5.0 の実現にあたっては，ソフトウェア層単独でなく，良質なデータ創生の基盤となるハードウェア層との融合を図る必要がある。本プログラムでは,『人工知能エレクトロニクス』ともいうべき，現実空間からサイバー空間に渡って重要な基盤技術である「人工知能スピンデバイス（ハードウェア層)」と「人工知能データ科学（ソフトウェア層)」，さらにハードウェア・ソフトウェアを考慮した革新技術である「人工知能プロセッサ（アーキテクチャ層)」のあらゆる空間・技術層を見通せる『俯瞰力』を持ち，異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成する。

＜2018 年度の主な成果＞

第 1 期生の募集と選抜を行い，初年度(2019 年度)のプログラム生 36 名（新Ｍ１　15 名，新Ｍ２　9 名，新Ｄ１　12 名）を決定した.

第　7　章　　評価と分析

第３４回 東北大学電気通信研究所運営協議会議事録

日　　時：平成３０年１２月７日（金）午後１時３０分～
場　　所：東北大学電気通信研究所本館６階大会議室
出 席 者：
赤嶺　政巳（株式会社東芝 研究開発センター メディアＡＩラボラトリー シニアフェロー）
大谷　義近（東京大学物性研究所　教授）
喜連川　優（大学共同利用機関法人情報・システム研究機構　国立情報学研究所 所長／東京大学生産技術研究所　教授）
富田二三彦（国立研究開発法人情報通信研究機構　理事）
中川路哲男（三菱電機株式会社　情報技術総合研究所　所長）
中村　祐一（日本電気株式会社　中央研究所　理事）
三木　幸信（国立研究開発法人産業技術総合研究所　副理事長）
三谷　公二（日本放送協会　放送技術研究所　所長）
美濃　導彦（国立研究開発法人理化学研究所　理事）
日笠　健一（東北大学大学院理学研究科 副研究科長（寺田眞浩研究科長代理））
安藤　　晃（東北大学大学院工学研究科 副研究科長（長坂哲也研究科長代理））
佐々木孝彦（東北大学金属材料研究所　副所長（高梨弘毅研究所長代理））
寺内　正己（東北大学多元物質科学研究所　副所長（村松淳司研究所長代理））
吉澤　　誠（東北大学サイバーサイエンスセンター　副センター長 （曽根秀昭センター長代理））
伊藤　彰則（東北大学大学院工学研究科　教授）

電気通信研究所
塩入　諭所長、石山和志副所長、北村喜文副所長、羽生貴弘教育研究評議員、
白井正文所長補佐
大堀　淳、上原洋一、八坂　洋、木下哲男、石黒章夫、佐藤茂雄、堀尾喜彦、
本間尚文、平野愛弓、中野圭介の各教授
荘司弘樹、小川裕之の各特任教授
北形　元、三森康義、吹留博一、片野　諭、マーク サッドグローブ、深見俊輔、
上野雄大、曽　加蕙、加納剛史、阿部和多加の各准教授
辻川雅人、トレビーニョ ホルヘ、鬼沢直哉の各助教

議　　事
塩入所長、北村副所長から、次のことについて説明があった。
（１）研究所の活動全般について
（２）研究体制と研究成果について
以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

★　今回新しく委員になられた方々も、先ほど自己紹介をお伺いしますと理解が不十分なところもあろうかと思いますので、今までがたぶん通研の大体の概要と外形的な評価メトリクスといいますか、成果の部分だと思いますけれども、この時点でちょっとクリアにしておきたいというようなご質問があったらお受けするのがいいのではないかなと思いますが、どしどしいろいろとお伺い.... どうぞ。

★　では、ちょっと口火を切るということで。先ほど教員の中の女性の数というのが増えてきたというお話があったのですが、学生の中の女性の数というのはどれぐらいおられるのでしょうか。

☆　我々の母体になっている学部、電気・情報系の学科の女性学生比率というのは、１０％程度と理解しております。それに比べると、現状の女性教員数というのはずっと低いと。現在３名ですと、６０の３ぐらいという程度で５％までいかない数字になります。

★　ここには２００数十名という学生の数、配属の学生の数がありますけれども、大体その１０％ぐらいは女子学生だということ。

☆　はい、そのように理解していただいて結構です。

★　女性比率はたぶん法人格として通常はカウントしたほうが楽といえば楽ですから、女性に人気があるところで稼いで.... 普通そうなので、あまりここだけ女性３０％というのをすごくやろうと思うのも大変かもしれないですね。東北大学としてのポートフォリオだと思います。

ほかに何かぜひお伺いされるようなことはございますか。

★　先ほどの説明で、外国人の客員教授や外国からの留学生が増えている、ある程度の数がいらっしゃるということなのですけれども、アメリカやヨーロッパの大学に比べるとまだまだ少ないとは思いますけれども、かなり増えてきているということで、それによる効果といいますか、どういうようなポジティブな効果があるのかということについてお聞きしたいと思います。

☆　この客員教授は大体１カ月から２カ月の間滞在するということでお呼びする先生方になります。具体的な成果としての数字は今持ち合わせていませんけれども、そこでは基本的に共同研究が進んでいるということで、将来的な共著論文というのは着実にその分は増えるだろうと。ただ、この数字が特に近年増えているということではなくて、その図である過去５年、あるいはもうちょっと前から、大体１０名程度という数字ですので、今後急激に増えるか、その効果が出てくるということは期待してはいません。

一方で、先ほどの外国人女性のところにあった外国人教員というのは通常の常勤

の教員ということで、そこの人数が増えているというのは、その先それぞれの国に帰る、あるいは国内でどこかに異動するということも含めて、外国人の活動、国際化にも少し大きな影響があるのだろうとは思っております。

★　ですから、何かそういうメトリクスみたいなものを考えてみると、外国の方をお招きするリーズニングがよりきれいになってくるのではないかというようなご指摘ではないかと思いますけれども。

★　そうですね、それからあとは文科省や、あるいは社会的にも大学に対して外国人、ダイバーシティということで外国人の教員を増やすようにという要請があって、それに応える形で雇われて、悪い言い方をすると形式的にやっているのではないかというような思いもあってちょっと質問してみたのですけれども、本当にそれが成果につながるようなことをやっているのかどうかということだと思います。ちょっとその辺が疑問に思いましたので質問させていただきました。

☆　そのダイバーシティの要請という意味では、先ほど申し上げましたように常勤の教員、外国人女性は増えています。それは所の独自財源を使って、特別枠として雇用している分もそれなりに含まれ、女性教員の場合には特に多く含まれています。そういう意味では形式的に対応していると言えなくはありません。ただ、その効果がどう出てくるかというのはまた別の話で、十分研究力のある教員を雇用しています。

それから、具体的に外国人の教員を雇用すると、いろいろな事務連絡その他で、どこかで英語対応をすると。それは研究室外であることが多いのですけれども、所内でもいろいろな文章についてそれも考慮せざるを得なくなるという、それはプラスと見るかマイナスと見るかは見方によるかもしれませんけれども、まあプラスなのだろうと考えております。

★　たぶん一番ややこしいのは処遇なのですね。東大でも総長以下、教員を海外からとってくるというのはやるわけですけれども、なかなかそれだけの予算づけというのは難しかったり、非常にいろいろギクシャクすると思うので、文科省の制度枠の中に入りづらいと思うのですね。だから、どこかの段階で塩入先生から、やりたいのだけどやりづらいところみたいな、そういうのもおっしゃっていただけると、赤嶺委員が文科省に文句を言っていただけるという、そういう構図もできるかもしれませんので。先ほど三谷委員からご質問あったかと。

★　知財的なことについてちょっとお聞きしたいのですけれども、どれくらい年間、特許とかそういうものがあるのかということが、もしわかりましたら教えていただきたいと思います。

☆　知財については、後のほうに資料のご説明がありますので、そのときにご説明し

た後にご不明な点があればまたお答えしたいと思います。

★　わかりました。ありがとうございます。

★　よろしいですか。一つ教えていただきたいのですが、設備あるいは建物の維持費のことであります。我々、筑波にありますので、今筑波の研究所はどこも一番問題として抱えているのは、非常に老朽化していてどうしようかということなのですが、こちらは今、予算総額２２．５億円となっていて、物件費のトータル７億円ぐらいで建物の維持管理、修繕とかいうのも全部見るということなのでしょうか。

☆　はい、通常的な維持管理はその中に含まれると。

★　ただ、やはりどうしても老朽化してきたり、新しいうちはいいけれども、年をとってくるとだんだんそれが嵩んできたりとか、何かあらかじめ計画を立てておかないとなかなか、特に運営費交付金などはそういったところでお金を特別に出してくれる、補正要求とかという話もありますけれども、だんだんそれも苦しくなってきている中でその点をどんなふうに考えていらっしゃいますか。

☆　通常の対応以外は特別考えていないと。ただ、一部、所の予算ですぐに対応できないものは総長裁量経費等々を。

★　当然、東北大学という大きなパイの中でもあるから、まずここで考えて、それで間に合わなかったら本部のほうに相談に行ってということですね。

☆　はい、基本的にはそういうことになるかと思います。ただし、我々はナノ・スピン実験施設という大きなクリーンルームも含む施設を持っておりまして、それについては維持費もある程度毎年受け取っていると。将来の対応も含めて、その施設の中ではどのタイミングで何が必要になるかという意味での予算管理工面をしております。

★　文科省の場合は共同利用の施設というのは特別な措置がございますが、あれで賄っているのでしょうか、それともそれは通常の。

☆　通常のですね。はい、そうです。これについて佐藤先生は.... 欠席のようですので、上原先生。

☆　施設の運営は、毎年運営費交付金の形でやってまいりますので、その中で運営をしております。ただ、老朽化の問題もあり、今所長がご説明になったようにいろいろ５年先１０年先を考えて対応していくと、そういう状況にあります。

★　ありがとうございます。

★　先ほど外国人の先生がどれだけいらっしゃるかという議論をされたと思うのですけれども、東北大の先生、通研の先生はどれくらい外国に出ておられるのかと。サバティカルを利用されて１年間滞在されて共同研究するとか、そういう自ら出ていく姿勢というのがないと、いい先生も来づらいと思うのですよね。だとすると、何か次回からの評価には何人の先生のうち何人が長期のサバティカルで滞在されて、いい研究されましたみたいなことをまとめていただくと、意外と何かそれがメインになって大きい共同研究ができますよねみたいな、そういう雰囲気がわかると思うので、ぜひそちら側も次回まとめていただければと思います。何か皆さん、先生忙しくて、権利があってもそれを使われない先生が非常に多いと聞いておりますので、通研はそれを全員が権利をちゃんと使うのだという組織になっても私はいいと思っています。

☆　ありがとうございます。サバティカル制度については現状で通研はそういう制度を持っていないということで、来年度以降、制定しようと考えているところでございます。ただ、その制度がなくても、若手教員については長期の派遣というのも積極的に進めていまして、希望があった場合には所内の予算で支援すると。ただ、全学にもそういう制度があるので、そこにもアプライしてもらえるように、あるいは最近は科研費の国際でそれを利用するということで、過去３年間は、毎年准教授レベル一人ずつは半年以上外に出ているという状況でございます。

★　ちょっと予想通りといいますか、予想以上にこの段階でいろいろとファンダメンタルなご指摘が出たのは良かったと思います。この後のいろいろなことをお伺いするのには良かったのですが、想定しているよりも質問が若干多かったので、ここから実際の具体的な研究紹介を４名の先生方からお伺いしまして、ここは連続で見たいと思いますが、その後でこの研究に対して、あるいはもっと全体に対して質問時間をとりたいと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

〔研究紹介〕

★　とりあえず今の４件のご発表に、非常にいろいろな分野をお選びいただいたかと思いますけれども、ご質問、コメント等をいただきたいと思います。いかがでしょうか。

誰かが質問の口火を切らないといけないのでしょうけれども、わかりやすいやつでいいますと、３つ目ですかね。コンサートホールという、これはちょっと聞いていても、発表を聞くより実物を聞いたほうが早いような気がするのですけれども、何か次回ラボツアーみたいなのがもしあると、目的関数というか、どれぐらいよくなるかという話がどこかにあるのかもしれないのですが、ぱっと聞いているとちょっと細かい話がいっぱい出てきたような気がするのですけれども、何かお答えいた

だくことは可能かしら。

☆　そうですね、おっしゃるとおり、資料を見るより実際に聞いたほうがいいとは思いますけれども、実際にこれが今、その実現に向けていろいろやっていまして、今、ゲームエンジン技術であるユニティのプラグインとしてこれを開発していまして、一応、ＶＲのＨＭＤ（ヘッドマウントディスプレイ）を使って、自由に動きながら、ある部屋の中の音を実際にヘッドフォンで聞くことができます。
お時間のあるとき連絡をしていただければ、いつでも見せられますので、よろしくお願いします。

★　これで少し考える時間が皆さん。どうぞ。

★　わからないことだらけで、ちょっと質問も躊躇するのですけれども、ちょっと聞きたいのはナノフォトニクス研究というところで、サッドグローブ研究室でしたっけ、これで一番最初の単一光子の量子自由度により情報を伝えるという話がありましたけれども、これによって何が得られるのかがちょっとイメージしにくかったのですけれども、その結果、非常に高速な通信ができるということなのでしょうか。それとも何か暗号通信に使われるとか、そういうことでしょうか。

☆　暗号通信は確かにできると思いますが、個人的にいつも考えるのは、現在、量子コンピュータをつくるのが非常に難しいと思われて、たぶん最初の量子コンピュータは割と小型量子コンピュータになると思います。しかし、小型量子コンピュータを複数つなげることができれば、とにかくパワーアップ、大きな量子コンピュータとして使えるのではないかと思います。そのために、つなげると言いますけれども、量子的につなげないといけません。その量子コンピュータの中の量子的な情報は量子的な方法で送らなくてはなりません。とにかく量子ネットワークのモチベーションは何かというと、たぶんそれが割と基本的なモチベーションだと思います。

★　わかりました。量子コンピュータの接続に使うためにこういう技術が必要だと。

☆　はい、そのとおりだと思います。

★　それから、その３つ目であとメモリ光子のお話が出ましたけれども、金ナノ粒子を用いるとさらに短い間隔でトラップできるというお話がありましたけれども、その結果、じゃあ今できているメモリの密度に比べて何倍密度を高められるのかということについてはどうなのでしょうか。

☆　そうですね、とりあえずトランジスタ、原子が非常に小さいものなのに、トランジスタ技術に負けているのは悲しいと思います。だから、とりあえずトランジスタ技術まで１００ナノメートル以下のレベルまでいかないと残念なことだと思いま

す。原理的には密度がどこまでいけるかというと、原理的にはプラズマの局在は限界がありませんが、必ず限界がありますので、ちょっと勉強不足ですね、その点は。とにかく１００ナノメートル以下が可能なはずです。１００ナノメートル以下というのは原子と原子との間の間隔。それは２次元的にも３次元的にもできれば今のトランジスタ技術より高密度になると思いますが、でも限界は現在わかっておりません。すみません。

★　わかりました。でも、ある目標は持っているわけですね。例えば１００倍にするとか１，０００倍にするとか。

☆　はい、そうですね、現在の目的は何かというと、とりあえず１００ナノメートルスケールですね。その後はまだ可能と思いませんけれども、トランジスタ技術より超えるという感じでいいと思います。

★　ありがとうございました。

★　その関連質問なのですが、量子コンピューティングをやろうとしたときに、たぶんデコヒーレンスの問題とか、そういうことが非常に重要になってくると思うのですが、この場合はどのぐらいのコヒーレンスを保つ時間というのは想定されていて、これで量子演算とかまでやっていこうとされているのですか。

☆　私はその演算のところより、やはりネットワークとか通信に集中しておりますけれども、とにかく、まずはコヒーレンスのお話をさせていただきたいと思います。コヒーレンスは原子が十分アイソレートができれば非常にコヒーレンス、時間が長いと思います。逆に、残念ながらプラズモン、金ナノ粒子上のプラズモン・ポラリトンという歴史は、自己変出時間は非常に早いのです。だから組み合わせるとどうなるか、それはこれからの、たぶん理論だと一緒に考えなくてはならないと思います。コヒーレンスは実際どうなるか、まだはっきりとは言えませんけど、しかし、デコヒーレンスのよい特性を有しているプラズモン技術も進んでいます。だから、お互いに進めばデコヒーレンスのよいシステムがつくれると期待しています。

あと演算子、例えば２つのキュービットの演算子とかの話は現在あまり考えておりませんが、同じ研究室でそのことを研究している方がいますので、お互いに研究すれば何とかなると思います。

★　どうもありがとうございました。

あともう一点よろしいでしょうか、質問して。漠然とした全体の質問で、こちらに関係ございませんので、お聞きしたいのですが、この発表者の人選というのはどのような尺度でされたのかというのがちょっと興味をもったのですが。例えばこの若手の人が非常に外部の競争的資金を非常に成功裏に獲得されているとか、そこら辺どのようにして、トピックスを選んだのか、どういうふうに選ばれたのかなと思

いましてちょっとお聞きしました。

☆　一つは、４つの部門というのがあります。それぞれの部門から１名ずつということ。それから、比較的ダイバーシティも考慮して、若手の方、アクティブな方という基準です。でも毎年違う人を選んでいるので、この人たちだけがアクティブということではもちろんございません。

★　わかりました。大変わかりやすく、外国人の方も非常に日本語が流暢でびっくりしました。

それに関連して、ちょっと一つだけ質問させていただきたいのですが、先ほど外国人の教員を採用するときに、いろいろ、研究所の中で日本語対応とか外国人の英語に対応するとかということを考えておられるとおっしゃったのですけれども、今の日本語の実力を考えると、そんなの必要ないのかなと一瞬思うぐらい完璧にこなされていたのでびっくりしたところです。

あともう一つは、我々の物性研でもそういうふうに外国人の方を採用しようとするのですが、そのとき一つ問題になるのは、研究者に対しての方ばかり僕らは目を向けるのですね。ところが、一人家に残された奥様とか家族に対するそういう対応というのは少しご考慮されているのでしょうか。

☆　まず、前半のほうからお答えします。私も大変びっくりしました。日本語が上手ということで、平均的ではないと思います。

それから、ご家族についてというところまで、特別所としては考慮しておりません。例えば居住環境云々についても、普通の常勤の教員を採用、任用するときというのはもう完全にある意味担当する研究室任せということになっております。

☆　その任された研究室では、ご家族の方と一緒に大体研究室のアクティビティーをやったり、時々来ていただいたり、学生のパーティーに参加してもらったりということはしています。

★　わかりました。どうもありがとうございます。

★　ほかにいかがでしょうか。

★　質問というよりはお願いになるのですけれども、すごくあふれ出る情熱で研究を説明していただいて、非常に熱意があるということはよくわかったのですけれども、これがどういう研究なのかというイメージがわかりづらい研究も幾つかあったので、どういう課題を解こうとしているかというのをまず最初に言っていただいて、それから研究の説明をしていただくとすごくわかりやすくなると思うので、次回からご配慮いただければ幸いです。

☆　わかりました。ありがとうございます。次回以降気をつけたいと思います。

★　特にニイノさんからいつもそういうふうに怒られていらっしゃるので発言したと思うのですが、今のメッセージだと、たぶん若い方は、要するにどれぐらいのストラクションでレベルを上げるのがいいのかというのはたぶんわからないと思うのですね。先ほどみたいに高密度のメモリというのだって、一体１チップに今のフラッシュで小さいチップに４００ギガ超えるぐらい入るなんて、あなたはこれの１００倍目指すのですか、何を目指すのですかというような、何か市民感覚の目線のゴールをたぶんおっしゃってくださいということですよね。

★　いや、そうでもないと思います。

★　そうでもない、失礼しました。

★　というか、例えばですけど、公的競争資金とかを狙われているのであれば、その辺の議論が熟成していることってとても重要だと思うのですね。せっかくなので、そういうのをトレーニングにも使っていただければなとも思いまして、研究者として私はここを目指しますという、たぶん喜連川先生もこれは何を目指していますかとわかるように先生もおっしゃったと思うのですけれども、それをもうちょっと明確に最初に言ってから説明していただけるとわかりやすかったかなという、同じことです。はい。

☆　よくわかりました。ちなみに、研究所の交流会では短時間での発表を、分野外の人にもわかるようにということをやっていたりするので、それも利用して訓練になっているかなと期待はしております。

★　でも、わかりにくいものはわかりづらいですけれども、本質的にわかりにくいと。そんなのはどんなに頑張ってもわからないものはわからないという、難しいものはいっぱいあるのでいいですが、もうちょっと努力するとわかりやすく言えるのではないかな、みたいなところを、お感じになられたということだと思いますが、ほかにご質問、いかがでしょうか。

★　最後のプレゼンされた方の研究、確かに学習に非常にＣＰＵというかコンピュータパワーを使っているというのを感じているのですよ。これ、具体的にこのハードウエアはどれぐらいで実現しそうとかという何かロードマップみたいなものというのはあるのですか。

☆　何年後とかですか。

★　そうですね、大体目指すところはどれぐらいだったらチップ上に載ってできるかなと。

☆　基本的にはこれが終わるころには、３年後には最低何かの学習に使えるチップをつくりたいという話なのですけれども、まあ目標ですね。それはちょっとやってみないとわからないところなので、３年ぐらいを目指しています。

★　ありがとうございます。意外と短いなと感じまして、１０年ぐらいを目指しているのかなと思ったのですけれども、またちょっと考えを変えないといけないですね。ありがとうございました。

★　たぶん横におられる美濃委員に聞いたほうがいいかもしれないですが、３年たったらたぶんディープラーニングの部分が全部なくなっていると普通の人は思っておられたと思うのですが、ちょっとこの司会をやっていると非常にフラストレーションがたまるのがあって、自分が何も質問もできないようなところがあるのですが、これはできないことはあるのですか。つまり、最後にお書きになられたストカスティック演算で記述が通常のディープラーニングの例えばＬＳＴＭとか、いろんなクラスがありますよね。あれは全部これで実現できると思ってよろしいのですか。

☆　学習のですか。それとも推論ということですか。

★　いや、学習のほうで。

☆　学習のほうですか。学習のほうは、誤差逆伝播法自身をストカスティックに実装するわけではなくて、そもそも全然違うインバーティブロジックから学習をするという話なので、それとはまた別個です。誤差逆伝播法をできるかできないかという話だと一応できますけれども、あまりやるメリットはないのかもしれません。

★　前の確率的磁気抵抗素子モデルがインバーティブロジックというご説明だったと思うのですけれども、デバイスそのものはほとんどつくるのはとても難しいから云々というご説明だったと思うのですね。そういう意味で意味がないという、どういう意味で意味がないのでしたっけ。

☆　意味がないというわけではなくて、現在ですと、ようやくデバイス１つがつくれると。ただ、それを実際学習に使おうとしますと、やはり大規模なものが必要と。そうすると、それぞれの抵抗素子の特性がなるべくばらつきがなく、均一かつ歩留まりが高くなければなかなか難しいと。そういうテクノロジーのレベルを考えると、今後５年とかで実現できるのはかなり難しいのではないかということで、現在の技術でできるＣＭＯＳで近似したほうがインバーティブロジックのよさを生かせるのではないかということで、意味がないというわけではないです。

★　だから近似するわけですよね。ですから、近似するマストアタックスティックなＣＭＯＳベースのものは通常世の中で言われているディープラーニングと同じぐらいのケイパビリティーを持ち得るのですかというのが最初の質問だったのですけれども。

☆　それがこの先駆けでのテーマで、そこがそこまで従来の誤差逆伝播法と同等の能力までいくことができるかどうかの見きわめを、この３年でやるというところです。

★　それはでも別にものをつくるとかいう話じゃなくて、全部計算で。

☆　そうです、アルゴリズムのほうです。

★　そうですよね。そこ自身も今から考えていかれるということなのですね。

☆　これからです、はい。

★　ようやくわかりました。たぶん中村委員がおっしゃられたのは僕の質問と同じような感じで、ちょっとご説明の仮定しているところが少しバイパスされているところがおありになられるので、これ今、萌芽的研究と若手研究をお取りになられるのですけれども、おもしろいと思いますというか、電磁作用のＴＰは、これはもう誰でもできるのでほっといたって構わないわけで、サーバーサイドをどうするかというのがうまくいくとすごくプロミシングな領域なので、ＪＳＴ等にどんどん応募されるのがいいので、そういうときはちょっと今みたいなことにご配慮されるといいかなという親心です。

それでは、ほかにご質問いかがでしょうか。何か今日、美濃先生が随分寡黙なのですけれども。いかがですか。前半の何というか、少しここのところとしましては、一応最初のどれでしたっけ、２番目の方と３番目の方と４番目の方に対して、１番目のものに対してのご質問がまだ来ていないのかな。そうですかね。ですから、そこはちょっと何か.... はい、どうぞ。

★　このオペランド分光って最近非常に注目されていて、とてもおもしろいなと思って拝聴したのですが、放射光とかで高輝度化で測定時間の感度を上げるということで最後お話しされていましたけれども、これはどのぐらいフレキシブルなのでしょうか。例えば、自分で素子をつくった、素子をつくって例えばトランスフォートな実験をやったのをそのまま持っていってオペランド分光できるぐらい汎用性があるのかどうかということをお聞きしたいのが一つです。僕の聞いたところでは、非常にサーキュラーを大きくとらないといけないとか、そのようなことがあるのか。そういう制約というのはどのぐらいあるのでしょうか。

☆　まず、どれぐらいの時間で実験ができるかということなのですけれども、準備に

およそ半日。昔は２日ぐらいかかったのですけれども、今は最短では４時間、３時間ぐらいでセットして実験を始めます。試料のサイズですけれども、実際に実験するときにはマーカーみたいなものがあれば、これぐらい小さなものでも測定できます。問題は、デバイス観察試料の配線、例えばソースとかドレインから電極を実際の測定チャンバーのところの配線をどう持っていくかというのは少し不安になるかもしれません。

★　わかりました。どうもありがとうございます。最初から設計していけば非常に汎用性が高く、いろんな測定ができるということでよろしいですか。

☆　はい、ほぼ大体つかめていますので、はい。

★　わかりました。どうもありがとうございます。

★　そういたしましたら、４名の方々のご質問に加えまして、冒頭の組織としてのご説明も含めてご質問をいろいろいただければありがたいと思います。

★　今の最初の運営のお話と、この研究のお話をもうちょっとコマというか、ストーリーにされると聞きやすいなと思っていまして、通研として研究所の方向をこれから常に変えていこうとかいう、たぶん理由が幾つかおありだと思うのですけれども、そのイグザンプルとしてこういう研究を始めましたとか、何かそういうように言っていただけると、いわゆる方向性と実際の例という形のペアで聞けていいのかなと思いますので、そういう意味で今４つ研究成果をご紹介いただいたのですけれども、それぞれのたぶん特徴があって、非常に効果的なものもあれば、あまり実用に近いのはないかもしれないのですけれども、あるいはいろいろいろなところと連携しているとか、今までトライしていなかった分野にも乗り出していますとか、何かそういう方向性とそれの実際のイグザンプルという形でこの研究成果を紹介していただけると非常に聞きやすくなるので、ぜひ今後、そういうことも考えていただければと思いました。

☆　ありがとうございます。新しく始まった大型プロジェクト関連のお話というのもいつも検討テーマにはしているのですけれども、今回、先ほど申し上げた基準で選んだということで少しそういう意味ではわかりにくくなったと思います。次回以降はそういうふうに考えたいと思います。ありがとうございます。

★　前半の部分を含めて伺いたいのですけれども、全体からの外部資金が９億円ぐらいあって、そのうち民間から今年度から１億円ぐらいですか、というような表があったのですが、実はこの研究発表を選ぶときにそういうことも関係したのかなと思うのですけれども、そういう民間からの受託を受けているような研究分野とその内容はどんなことがあるのでしょうか。

☆　申し訳ありません、今回そういう切り口の資料は準備しておりません。１２ページの表、先ほど科研費、それから国プロ、ＪＳＰＳ、ＪＳＴ等々、分類したそれぞれの年度の外部資金の表がございます。全てにおいて今年度減少傾向ということになります。その中の一番、狭くもないですかね、民間・その他というのがあるのですけれども、全体の比率としては非常に少ない額になっております。この点について、産学連携を強化するということは大学全体での方針でもありますし、研究所としても対応を考えているところでございますが、一つの原因としては、大型プロジェクトをとってきて、その中で民間と一緒にやっているというものは民間との共同研究に含まれていないということになります。

★　いや、この表の中で、平成３０年度の１０７という数字は、これは民間からの受託研究ではないのですか。

☆　そうです、民間からの受託研究ということです。ファイルで綴じられている補足資料の８ページをごらんいただけると、４．その他の外部資金受け入れ状況という表になります。①が民間等との共同研究、②が受託研究ということになります。受け入れ金額もそこに記載のとおりで、全体にほかの研究費に比べて少ないというのはそこからも読み取れるかと思います。

★　いや、だから先ほどの質問、大体１億になっているわけですけれども、３０年度とすると一番上のキヤノンメディカルシステムズだけなのですが、これが 2,300 万ですよ、４ぐらいで割ると２９、３０……、３で割るのか。そうしても 700 万、800 万ぐらいなので、たぶんこの民間・その他という表現がちょっとわかりづらくなっているのかなという気もするのですが。

☆　８ページの表は単年度の受け入れ金額ということです。民間・その他のくくりと、これが同じかどうかというと、同じはずなのですけれども、額がちょっと、だいぶ違いますね。申し訳ありません。

★　休み時間もありますし、これはちょっと細かいことでもありますので、またわかった段階でご説明いただいてもいいかもしれません。

☆　はい、わかりました。

★　そうしましたら、美濃委員。

★　外部資金が今年ガッと減っているというので、教授の方がやめられたのだというお話をお聞きしたのですけれども、これ復活するのですか。年齢構成を見ていますと、これから教授の人、どんどんやめていかれるのですよね。それで復活するため

に何かを考えておられるのか。何かそういうことをしないとたぶん、お金をとれる人は今のところお金たくさんとれるのですよね。その先生がいなくなると、ガタッと減るのはまあ仕方ないのですが、次の策をいかに考えていくかというのがすごく重要だと思うのですよね。そこのところをやっぱり所を挙げて何か、次の先生を支援していきながら何かいい研究でとれるようにするとか、そういう全体としての支援を何か考えないと、ほっといて復活するのでしょうかというのがすごく心配になるのですね。そのあたり何か考えていればお知らせください。

☆　ご指摘のとおりで、ほおっておいて何もしなくて復活するという期待はしておりません。むしろ何ができるかということで、一番最後に、「課題と取り組み」のところで少しお話をする予定ではございますけれども、特効薬があるとも理解しておりません。できることは、一つの方向性としては個人の教授の力だけは限界があるので、やはり連携を強化していく。他部局との連携も含めて、さまざまプロジェクトの提案につなげられるような研究交流等々を考えていくということでございます。

★　ちょっとこの話は重い課題ですので、一番最後の質疑のところでも議論するべきですし、美濃委員からはそういうアングルでのご質問ですが、国家から見ると、やっぱり東北のスピントロニクスを、総長になったからというのでその研究が止まるというのは大きな損失なわけですね。それをどう担保するかというような質問にも置きかえられるのですけれども、これはちょっと大きな話ですから、今お答えいただくのがしんどいかもしれませんけれども、とても重要な問題を美濃委員にご指摘いただいていると理解しています。

☆　スピントロニクスについては、大野先生が直接研究に携わる時間はほとんどなくなったということで、東北大学全体としてのスピントロニクス研究はさらに発展していくと。東北大学が指定国立の提案のときの４大プロジェクトの１つになっているということで、大学、それから国からの支援も続くということです。通研においても大野先生の後の研究室をどうするかというのは真剣に考えているところです。

★　ということは、さっき先生が、ちょっとこの図がわかりづらいのですよね。少し研究体制というのが、スピントロニクス学術連携研究教育センター、省エネルギースピントロニクス集積化システムセンターというのは他部局の組織になっていると。なので、スピントロニクスのインカムは、従来は通研に入っていたのが、袋が横にシフトしているだけであって、東北大学としてのインカムは変わらないのだと、そういう理解でよろしいのですか。

☆　インカムが変わらないというか、そうですね、スピントロニクス全体での外部資金獲得とか国からの支援というのは今後も増えていくという期待をしています。

★　そういうことですね。ということで、ちょっといる先生の所属によってこの辺は不幸に見えちゃうというようなところかと思いますが。
ほかにご質問等、いかがでしょうか。じゃあ、もう一度、美濃委員。

★　機動的研究グループとか、こういうグループをつくるというのは簡単なのです、大体。やりたい人がいるので。実はつぶすのが難しいのですよね。つぶすルールというか、それをつくっておかないと次につくれないのですけれども、おばけみたいにいっぱい残ってしまって、先生方が忙しくなるという話が大体起こると思うのですけれども、そのあたりの対処をちゃんと考えておられるのかお伺いします。

☆　機動的研究グループに対しては、ほとんど支援もないかわりに義務もないということで、実際に活動を終了したグループもございます。ここに載っているグループのうちの幾つかも来年度は活動が終了しているだろうというものもあります。例えば３ページの機動的グループのヨッタインフォマティクス研究グループというのは、現在ヨッタインフォマティクス研究センターというのが東北大学の本部の下にできておりますので、今後の活動をここでする必要がないということになります。やめますと言えばやめられるという、そういう制度になっております。

★　そうなればいいんですけれども、それでは、この辺のセンターとか研究の施設というのはやっぱりどうかしてちゃんと見直さないと、ダイナミックに変わる組織にするための制度というのもなかなか難しいですよね。大体決めちゃうとなかなかそこに固定化してしまうので、それを変えるというのはかなりトップダウンというか、所長の権限でエイヤッとやらなきゃいけないことがいっぱいあると思うのですけれども、そのあたりの運営体制がちゃんとできているとすごくいいなと思うので、これはもう我々も含めて全部そういう話なのですけれども。

☆　電気通信研究所は８０年以上の歴史があって、そういうことはもしかしたら苦手な組織になっているかもしれないと、今お話を伺っていて思いました。また、通研が中核をなすハブ局組織というのが通研の外の組織になるので、さらに通研の判断では改廃をすることは難しいと。それはご指摘の問題が残るのだろうと思います。

☆　先生がご指摘のやめるルールですけれども、ここにある機動的研究グループは簡単にやめられる、毎年更新なので、今年は更新しませんと言えばやめられるのですけれども、それ以外の例えば二十一世紀情報通信研究開発センターであるとか、あるいは部門の中につきましても、これは大体何年ごとに見直しましょうというルールを決めておりまして、長いものですと６年ぐらいなのですけれども、そのぐらいのときにこのまま存続させますか、それとも変えますかという検討を何年ごとにやりましょうというルールを決めておりますので、その結果このまま存続という判断ももちろんありますけれども、そういうタイミングで見直していこうということになっております。

★　たぶん、ちょっと言い方を変えますと、その中の組織の改編のダイナミズムを、横軸を時間にとってお示ししていただくと、たぶん通研さんがどれぐらい苦労しながらテーマを取捨選択されている、さっきのヨッタバイトのものなんかもここから卒業して上に行くというのはいいことですよね。そこはあまりアピール材料としてはお書きに、エクスプレッションされていないわけですけれども、組織を見るという意味では結構それって重要な視点ではないかということを美濃委員はおっしゃられたとも受け取れるようなところで、また何かそういう機会がありましたらおまとめいただくと、どうかなぁという気はしますね。

☆　大変重要なご指摘ありがとうございました。

☆　一つのイグザンプルなのですけれども、皆様の積んである資料の下のほうにあるかと思いますが、年表がありまして、これは一階の資料展示室に貼ってあるものの縮刷版です。研究所の設立から現在に至るまでのいろんな研究室、研究グループの変遷がある程度確かめられるように工夫してあります。これで全てを網羅しているとも思いませんけれども、ある程度のことはこれで見ていただけると思います。よろしくお願いします。

★　いやいや、これは国会答弁ではないので、ここにちゃんと書いてあるという返答するためのことではなくて、むしろアピールする材料としてそういう一枚があって、ここで踏み込んでいただいてもいいのではないかという、そういう温かい手が差し伸べられたというふうにお考えいただくと。貴重な情報ありがとうございました。

☆　ありがとうございました。外に出ていった組織についてはこれから。

★　そうしましたら、この予定表では１５時２０分から休憩をしないといけないことになっておりますので、一旦ちょっとブレイクをとらせていただきたいと思いますけれども、事務局から。

－事務局－

それでは、ここの時計で４０分まで休憩にさせていただきたいと思います。どうぞよろしくお願いします。

（休憩）

★　お時間になりましたので、ちょっとプリンを食べながら進めさせていただければと思いますが、これからのことに関しましては、引き続きまして東北大学様の通研のほうから（３）研究評価につきましてご紹介を頂戴できればと思います。

☆　その前に、忘れないうちに先ほどの共同研究についてお答えいたします。パワー

ポイントのスライドの１２ページ、平成３０年度であれば１０７という１億700万円という数字、あるいは平成２９年度であれば5,800万という数字、これが民間・その他という数字です。先ほどのファイルのほうの８ページの資料、これは平成２９年度の資料になります。このファイルの資料というのは、共同利用・共同研究拠点の実施報告書というもので、与えられたフォーマットに従って書いているものになります。民間等との共同研究として、ここで挙げられているのが5,300云々という数字で、この５件というのは代表的な５件、金額の大きいほうからの５件と、そのほか全部集めるとこの数字5,300万ということになります。もう１件、非営利団体というのも、このスライドのほうの5,800万には含まれているということで、少し数字が違っているという状況です。以上になります。

★　いや、質問した趣旨は、９億のうち１億も民間から受託をしているのは、今年は何かすごいことがあった、ということをぜひアピールしていただきたくて質問したのですけれども。何か今年はあったのですか。

☆　すみません、全体が落ちているというところが非常に顕著に見えていて、その点については分析しておりません。

★　いやいや、全体が落ちているのはしょうがないところがあるのですけれども、民間から１億とっているじゃないですか。

★　だからＮＩＣＴから見るとそうなのかもしれないですけれども、普通の全体から見ると全然すごくないということ。

☆　過去の経緯を見ると、平成２６年が１億を超えていて、その後が9,000万、その後２８年も減っていると。特別なことがなくてもこのぐらいの変動はあるということだと一応理解しておりますけれども、特別なことがあればその特別なことを続けていきたいと、そういうご指摘かと思うので、確認いたします。ありがとうございます。

★　ちょっと聞き漏らしたかもしれないですけれども、１億で、民間等との共同研究は5,000万ですよね。残りの5,000万は何だと思えばいいんでしたっけ。

☆　すみません、今のファイルのほうのデータというのは平成２９年度分のデータなので、5,800万という数字です。今年度のデータはこういう形でまだまとめていないということになります。

★　だけども、その表をつくったとしたら、その一番上のところの数字がおおむね１億になるだろうということですね。

☆　はい、そのとおりです。

★　ということは、逆に言うと、今のご質問は何で 5,000 万が急にもう 5,000 万増になったかというご質問かもしれなくて、この分布はたぶん変わらないと思うのですよ。1 個 400 万とか 300 万とかというのがざっと並んで、それのサメーションというのがたぶんこの手の民間とのやつで、1 個何か別に 5,000 万のでかいのがポコッと来るということの確率はあまり多くないような気がするのですけれども、そういうのがあったのかどうかというのがご質問かもしれません。いかがですか。それ、ちょっとわからないところですよね、今ね。

☆　はい、申し訳ありません、現状では何か特別なことがあったというふうには認識していないというのがお答えです。でも確認したいと思います。

★　たぶんこのご発表等を聞いて、最後のところでの議論の話題になるかと思いますが、原則、国家はどんどん貧乏になっていますので、交付金は全部で 1 兆しかありませんから、そうするとゲインは要するに民から、儲かっておられるのは民ですので、儲かると大体静かに流れるのですね。儲からないとワーワーわめかれるのが民業でいらっしゃるので、そういうところからしたときに、たぶん東芝さんとかＮＥＣさんとか三菱さんが今日おいでになられているわけですけれども、そういうところが大学でじゃあその段階で何を期待するのかというようなところのディスカッションを次の評価が終わったとこら辺でご議論させていただければありがたいと思いますので、ちょっとお考えをいただきながら、それではご発表お願いします。

（休憩）

（3）研究評価について
（4）共同利用・共同研究拠点の活動について
（5）課題と取り組みについて
以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

★　大変どうもわかりやすいご説明をありがとうございました。
それでは、今ご報告をいただきました研究評価という部分と、共同利用・共同研究拠点の活動ということと、そして今、塩入所長から全体を通しての今後の通研の取り組みについてご紹介いただいたわけですが、ここら辺で全体のディスカッションができればと思いますが、ご意見いただければと思います。いかがでしょうか。

★　共同研究拠点に関することなのですけれども、実はこの共同利用・共同研究拠点のテーマの選定に当たって選定委員をやってくださいということで、3 年ぐらいやらせていただいているのですけれども、実は。その中には書類の不備が毎回２つ３つあったり、それから不備がなくても、研究の目標、どういう視点でやるか、どん

な新しい技術を開発して、その結果どういう利益があるのかといったようなこと、基本的なことを書かなきゃいけないことになっているのですけれども、そういうことがちゃんと書かれていなくて、私が不採用という印をつけて返すものが大体毎回２件か３件ぐらいあるのですね。ところが最終的には全部採用されているということで、１件につき恐らく３名の委員がいて、３名の方々が審査をしているということで、３名がノーと言わなければ通るという制度だということで、それはそれぞれの見方があるので仕方がないなとは思うのですけれども、ちょっと腑に落ちないなというところがまず一点ですね。

もう一つは、そういう書類の中に一応こういう資金を使って研究するからには、研究の目標、具体的な目標、トータルでの目標と、それから各年の具体的な目標を書くべきじゃないかというふうにコメントをつけて返すのですけれども、そういうことについてどういうお考えなのかということをお聞きしたいなと思います。

☆　ご指摘の点、重く受けとめたいと思います。一方で、この制度について、もともとそれほど大きな予算ではないという前提で、なるべく広く浅くというふうに、なるべく広く採択したい。それから、申請に当たっては必ず通研の教員が対応して、内容については十分理解しているということを前提に動いているということで、そういう意味では、だからそれでいいという話をするつもりはないのですけれども、申請書が甘くなっているかもしれないというふうにご指摘を伺って思いました。制度としては３人の審査員が全員がノーと言わなければ採択ということは、対応教官がしっかりそれを面倒見ますということが前提になっているからです。

それから、ご指摘いただいた点について修正が必要であれば修正して申請書を書き直して最終的に記録されているということは、審査員の方には再度見てもらってはいないと思うのですけれども、制度としてはそうなっております。

今の点については、所内では議論になることはありますが、最終的にはなるべく広く採択しようというところで現状の制度になっているということです。ただ、ご指摘の点はごもっともですので、少なくとも申請書の不備というのはあるべきではないというところはしっかり対応したいとは思っております。

★　まあ、大らかにということで、共・共拠点というのはたぶん大学でもあまり全員の先生は必ずしも知らない、（４）ですけれども、文部科学省の制度になっておりまして、今調べますと大体１００カ所ぐらい日本で認められ、特定分野では基本的に１拠点なのですけれども、それで額を見ていただくとわかりますように 3,500 万ぐらいもらって、それで通研の持ち出しが 5,000 万ぐらいと。そこに１７０件ですので、たしか去年大野所長がおっしゃっていたのですが、比較的一個一個はタイニーになっているのですが、要するに文部科学省としてののし紙がつくということは結構全国の大学が連携するという意味では重要な役割がございまして、トータルのガジェット２０億からすれば小さいかもしれないのですけれども、先ほど北村先生から丁寧なご説明があったかと思うのですけれども、ここでその存在感を示すということは組織にとっては重要なことになっているというふうにご理解いただくこ

とが、ちょっと共・共拠点そのもののイメージってたぶんここにおられる方はほとんどわからないと思いましたので、少し余分な説明をさせていただきました。
ほかに何かご質問。じゃあ三木委員。

★　ほかの項目でもよろしいですか。

★　はい、どうぞ。

★　評価について確認させていただきたいのですけれども、部局評価についてお話しいただいたのですが、これは学内となっていて、何かに使われるのでしょうか。というのは、全部局中３位といいながら、配分率が１０２％という、何かあまりインセンティブがないなという気がしたりして、これは東北大学の業務実績評価に反映させるためにやっぱりどうしても必要だとか、そういう観点でやられているものなのでしょうか。それと、数値がどういうふうにして決まっているのかなというのがちょっとわかれば教えていただければ。

☆　部局評価自体の目的としては、それぞれの部局の問題点等々を洗い出して、本部としても必要なら支援するのだという位置づけになっております。そこで出てきた資料を本部が何かの評価に使うかということであれば、使うこともあると思います。
それから、パーセントが低いというもの、今回は試行的に新しい制度でやったので、来年度以降、傾斜は少しきつくなるのだという説明を受けております。基準値というのは基本的に全部局の平均、ただし科研費なり研究費なりというのは理系と文系まぜるわけにはいかないので、理工系平均、生命系平均、文系平均というものが利用されております。

★　よろしいでしょうか。２％って小さいように見えるのですけれども、インカムがエクスターナル１０億、インターナルそれから文科省直系１０億ですので、１０億の２％ですから、まあまあな額にはなっているのですね。

★　裁量経費って書いてあるから、全体ではなくて、何かまたごく一部の中のものと思ったものですから。

★　そうなのですか。ちょっとよくわかっていない。

☆　そのとおりです。傾斜配分分が取り置かれたところを１００％に対して何％、具体的に言うと１００万程度と。

★　たった１００万ですか。そうすると自動販売機が並ぶより少ないですね。それは非常に、僕はもうちょっと分母が大きいのかなと思っていました。

★　まあ来年から、だからもう少し配分率が高くなって、せめて１割２割、今の裁量経費というのが一部なのだとしたら、それぐらいはせめてないと何かあまりインセンティブにならないのではないでしょうか。

★　美濃先生。

★　ちょっともう帰らないといけないので早く言いますが、将来の話のところで、ちょっと視点が欠けているなと思うのは、研究者の流動性みたいな話は考えられないのかというか、若手もその他も含めそのあたりをどういうふうに動かしていくのか。あるいはどういう形で、パッと見たら東北大学が半分ぐらい出ていて、それが本当にいいのかということも含めて、やはり研究所というのはある意味もっといろんなところから人をとってきて、励ましながら研究するのがいいという話があるわけですね。そういう意味からすると、もう少し若い人たちをもっと積極的に動かしていこうとかいうような、そういうことに研究力の強化は考えられないのですかというのが一番気になった点なのですけど。

☆　一つは人件費が減っているので、そういう自由度がどんどんなくなってきているのでいろいろ企画を立てにくいという状況ではあります。若手教員については、流動性といえるかどうか、ちょっとすぐにはわかりませんけれども、途中で紹介があったように、全学のいろいろな制度を使って研究所内の若手を雇用しています。そういう人たちは多くの場合、任期がついているので、全体的な流動性には役立っていると。ただ、所内に長く残ってもらいたいというときに、やはり人件費の制約があるので、できることは限られていると思います。例えば卓越研究員制度というのは、卓越研究員として認められた人を研究所で雇用するかどうかということを評価できるもので、それは今現在１名雇用としていると。１名なのですけれども、全体として見ればそれをやっている部局は東北大学で数が限られているということで、積極的に若手の任用をしているというふうに自負をしております。ただ、流動性という点はなかなか難しいなと思っています。

★　気になるのはやはり研究者数が全体に国として減っていて、増えていかないという話がありますので、それをどう改善していくかというのをそれぞれのところでちゃんと考えないといけないなという気がすごくしまして、それと今までのようにやっていて、その制度の中でちょこちょこやっているだけでは、状況はなかなか改善されない部分じゃないかと思うので、何かそれぞれうまい方法を考えないと、もう少し研究者を増やしていく、その根本的な話は何なのか。もちろんお金をつけて定員を増やせばいいじゃないかという話はあるわけですけれども、そうじゃなくて、例えば大学で研究している人が積極的に企業のほうへ行くだとか、企業からまた積極的に返していただくとか、そういう大学内だけじゃなくて、産業界も含めた流動性というのをもう少し大学は積極的に考えたほうがいいのかなという気がちょっとしているのですけれども、どうすればいいかよくわからないので、半分自分に聞

いているところなのですけれども、そういうことをいろいろと考えてほしいなという気がします。

☆　ありがとうございます。

★　５０という数字は過去からどういうあれなのでしょうか、変化論から見ると。内部から。

☆　私が知る限り、３割と言われたり５割と言われたりということで、それが特に増えているとか減っているということはないと思いますが。

★　３割と５割とだいぶ違う気がするのですけれども。過去３割だったのが今５割になってきちゃったのだと、流動性が減っているような傾向は、ちょっと憂うべきところかもしれない、というのはたぶん野依先生の統計というのがあって、ノーベル賞をとった人、全部平均をとると異動は４．７であると。４．７往復している人、要するに結構５ぐらい動くことが非常に重要で、どこか違う機関に行くことによって全然違うインスパイレーションの創発がなされるというのが世の中の何となくの受けとめ方なので、今、美濃先生がおっしゃられたこともぜひご配慮いただくことも重要かもしれません。

☆　ありがとうございます。今３割と申し上げたのは、恐らくスライドの６ページの教授の赤い部分２９％という数字になっているところがいつも大体３割だったという、今、記憶でお答えするとそういうことになりますが、調査したいと思います。

★　ほかにご質問等いかがでしょうか。それでは、どうぞ。

★　知財のことでお伺いしたいのですけれども、ちょっと私よく知らないので、大学の知財の管理というのを。お金になる特許というのがこれから増やさなきゃいけないね、みたいな話があったと思いますけれども、申請登録数が必要なのはわかるのですけれども、維持廃棄のクライテリアってどういうふうにされているのですか。要は捨ててしまうと、もしかしたら例えば１８年目ぐらいにすごくお金を稼ぐやつを捨ててしまうかもしれないと。でも、もしかすると維持費を２０年、大学だから減免措置はあるにしろ、２０年間維持しても全然お金にならない特許になりますと、そうすると、そういうときは早めに捨てたほうがいいですねと。例えばＩＢＭとか７年で捨てているとかという話を聞いて、必ず、よっぽど稼いでいないやつは。何かその辺の維持管理のクライテリアをちゃんとしっかりされると、もしかしたらお金がまたここから捻出できるかもしれないというところもあって、今現在どういうクライテリアにされているか、お伺いしたいと思います。

☆　ありがとうございます。荘司先生、わかりますか。

☆　大学としての特許の取り扱いについては、法人化になって以降、少なくとも私の個人的な意見では迷走していると思っております。今だと、例えば我々の特許出願というのは、まず本部の知財部にこういう特許性のあるアイデアがありますというのを申請します。そういたしますと、本部の知財部でそれを検討した上で、じゃあそれを大学が大学の予算で出願し、その後のメンテナンスも含めて全部大学で面倒見ますという一番トップランキングのものと、あとはもう大学では面倒見ませんので、もしこれ出願したければあなたの研究費でどうぞといって差し戻されるというものもあります。差し戻されたところで、こっちにはお金がないので、大体そういう特許は出願すらしないでそのまま取り下げということになることも多いです。その２つの中間ランクとしては、この特許はどこかスポンサーがつきますかという問い合わせが来て、あそこの企業がたぶん買ってくれると思いますとか、買ってくれないまでも特許料を払ってくれると思いますというのがその会社の側からちゃんと約束が入れば、そうすると大学は出願してくれます。というように、そういうランキングに分けて判断されますので、そういたしますと、その差し戻し、つまりトップランキングでもなく、なおかつスポンサーも見つからないようなものというのはほとんど出願もされずにそのまま消えてしまう。実際に出願されたとして、トップランキングになったとしても、大学で持っている特許の多くは１円も生まないので、そうするとそれも何年かごとに見直しがあって、ＴＬＯがやるのですけれども、それは見直し期間のときに、これは例えば私のところに、先生が出した特許です、出願はしましたけど結局だめなので、もうこのまま流しますからという連絡が一本来てそのまま流れると。そういう形になってまいります。というのが私の知る限りの東北大における特許の現状でございます。

★　ですから、この話は大学のＴＬＯが答える話で、通研が答える話とちょっと次元が違うかもしれないですが、大体そんな雰囲気ですね。

★　だとすると、通研として特許で儲けたいという、もしもウィルがあるのだったら、それなりに大学のＴＬＯの言うことを聞かずにこういうふうにやるのだとかというのを何か積極的に打ち出してもいいのかもしれないですね。

☆　それについては、私が知る限りでは大学で特許を持ってそれほど儲かったという例はないということで、企業の場合にはお互いに持ち合うというメリットがあるということでうまく動いていると。唯一の例外と思われるのは、先ほど申し上げた国際集積センターというところでは、バックグラウンド特許として共同研究する間にその特許が利用できるという立場で企業の共同研究のある意味呼び水になって利用している、そういう形が大学で特許をうまく活用する方法なのだろうと、これは大野先生が言っていたことで、そういうことかなと思ってはいます。

★　ちょっとこの問題は非常に議論し出すと長い話で、原則オールジャパンで儲かっている特許はあまりないというのは厳然たる事実のように思います。

★　だとするのだったら、もう特許の話はしないと。じゃあ、もう特許はもう一切関係ないと言うぐらいの思い切りがあって僕は全然いいと思うのですけど。

★　思い切りがあってもいいのですけれども、必ずそれが評価項目の要にあって、一応努力したふりをする大人のアチチュードという。

★　じゃあ、わかりました。じゃあ、こっちも大人のアチチュードであらためますので、ご了承ください。

★　まあ、それが本音のところだと思うのですけれども、ほかにいかがでしょうか。

★　初めての参加なものですから、数値をよく知らないのですけれども、先ほどの美濃先生の質問にも絡むのですけれども、リサーチアシスタントとか学生でそういう身分の人だとかインターンシップであるとか、あるいは社会人のドクターであるとか、そういう人たちはどれぐらいいらっしゃるのですか。

☆　リサーチアシスタントというのが今、学生のいわゆるＲＡとかであると把握するような人数でないし、アルバイト的なものになります。それは研究費で雇っている、それぞれの研究室で毎年何人かとかいうレベルになるかとは思います。社会人ドクターについて、申し訳ありませんが、今、数値はわかりませんが、博士後期課程の学生の何割かは社会人ドクターで、過去に多くいた人たちが最近は減ってきているという話はよく聞きます。それはどういうことかというと、社会人ドクターとして入学して学位を取るという人たちがいろんな会社にいた、その人たちが大体取り終わった、その後ある一定のレベルまで落ち込んだということを話としては聞きます。むしろこれは研究科の先生方に伺ったほうがいいかもしれませんけれども。研究員という意味では最初にお話ししたように、教員６５に対して１１０程度が研究にかかわっているということで、その差分ということで３０人から４０人ぐらいポスドクレベルの研究員がいるというふうに認識しております。

★　比較的社会人ドクターがどこの大学もかなり増えてきているのが現状だと思います、常に。やっぱり会社のほうも、企業のほうは比較的大らかになって、最新のそういう雰囲気を大学から学びつつ、ディグリーもとれるというところはそれなりのインセンティブになっているのだと思います。

☆　すみません、数字がありました。ファイルのほうの２１ページ、これも拠点で毎年報告しているものの平成２９年度版になります。大学院生等の受け入れ状況の区分で、博士後期課程３９名中うち社会人ドクターが１０名という数字になっております。

★　お調べになられる間の対応がだんだん上手にできるようになりましたけれども、ほかにいかがでしょうか。どうぞ。

★　先ほど委員長がおっしゃった研究費の減少を補おうとすると、やはり民間からの資金が必要になるということで、東北大学さんとしても産学官連携を推進しようということで何かいろいろ取り組みをされていると思うのですけれども、もちろん大学ですからいろいろミッションがありますし、そういう中で何か議論だったり意識合わせだったり、そんなことは何かやっておられるのでしょうか。

☆　現状で産学連携について意識合わせという、例えば教授会でそういう議論をするというところまでは至っておりません。全学で進めているところになるべく協力する、あるいは支援をいただくというのが現状です。具体的に何ができるかというところもこれから検討しなければいけないと思っているのですけれども、全体の外部資金の中で民間との共同研究の比率は、先ほど１億円という数字はありましたけど全体に低い。その理由として、大きなプロジェクトを企業と一緒にやっている国プロであるとかＪＳＴのプロジェクトとかはあるのですけれども、それ以外の民間との共同研究というと規模としては小さくなりがちということもありまして、いわゆるそういうネタを持っている先生方が民間との共同研究を積極的にやるというモチベーションは今までたぶん多くはなかった。今後はそういう方向に皆さん向いてもらわなければいけないのかなというふうには感じております。

★　我々の経験をお話します。産総研になってから、橋渡しというのをずっと標榜しておりまして、さらに２０１５年からですかね、我々の第４期は、５年間で外貨、民間からの資金を３倍にするぞというのが目標です。それに向けて頑張っている中で、やはりトップが頑張れるだけ頑張れというと倍ぐらいはとってきます。みんなそれぞれ持ち場のできるところで。それ以上になると、やはりもう今はオープンイノベーションになって、それから先ほどおっしゃったように、１人の研究者が頑張れるのも限度がありますから、やはり組織としてどうやっていくかということになるので、組織としてどうなっているかというところになると、同じ組織の中での連携と、それから東北大の中には外部の他にもありますし、さらにはほかの企業と一緒に、例えば我々も含めてですけれども、そういうところとどうやっていくのかなというのは今後の議論なのだなとは思っています。ここに民間の人たちがいらっしゃるので、先ほどおっしゃったように、いろんな希望というか要望を持っておられているのだなという感想を持ちました。ありがとうございました。

☆　ありがとうございます。ぜひよろしくお願いします。

★　今、三木先生がおっしゃられたことは、大学側からすると実はそうそう簡単ではなくて、経産省の配下の場合はおっしゃられることがある種ミッションになるのですね。ところが国家のポートフォリオを考えますと、文部科学省というのは原則、

基礎研究側にシフトしますので、お金をとってこようと思えばとってこられるのですね。ちょっと手前みそになりますが、ＮＩＩは今年、我が方の研究所はＬＩＮＥと組みまして、これは単年度１億です。レコーディングから外していただければいいのですけれども。じゃあ、その１億をＬＩＮＥともやります、どこともやりますというのを増やそうと思えばできなくはないのですけれども、それをやると一体何をしているのかわからなくなって、僕ら産総研でやっているようなものなのですね。なので、大学というのはやっぱりキュリオシティドリブンといいますか、しっかりとした次のロングタームのもの、どこかに２０年というふうにたしか北村先生がお書きになられたと思うのですけれども、その部分は譲れない部分なのですね。だけども、そうはいってもいられないというか、社会への貢献というものをどうやって果たしているようにちゃんとわかりやすく検証するかという意味で、これはそういうものも必要だというので、一概にどっちかに振れるというのはえらいしんどいかなと思うのですね。

★　私もその辺は十分わかっていて、逆に大学でしっかり研究してもらわないと、みんな我々のようになってもそれはそれでまた我々がお金をもらっている中の半分以上は大企業なのですけれども、３分の１は中小企業です。中小企業は、明日、今困っている技術に関心があるのですが、大企業になるとだんだんだんだんやっぱり先の見通しがやりたい、やってほしいというのが今だんだん強く出てきているのですね。ですから、さっきおっしゃられたように１０年であればひょっとしたら大企業も考えないでもないぞということではないでしょうか。

★　その辺はぜひ忌憚のないご意見を、ＮＥＣさんを通して。

★　あとお願いしますね。たぶん振られるだろうと思って幾つかまとめていたのですけれども、やっぱり企業が大学に何かお願いをするとすれば２つパターンがあると思っています。１つはリスクの高い基礎研究。これはたぶん研究費を全て企業で賄うのは難しいので、うまく国プロ等と全部組み合わせながら大きいものに関して、要はコミュニケーションを密にしながらうまくやっていくというのが１つ。２番目が足りない技術の補塡になっていくと思います。先ほど三木委員がおっしゃられたように、明日要るというわけではないですけど、そういうふうになりますと。そのときに、東北大学電気通信研究所の先生はそういう足りない技術の補塡ということになると、企業は何月何日までにこの技術ができないと困るという状態のもとに頼んでいるわけですから、そういう厳しい状態の中で研究したいですかと、そういうウィルがあるのですかと、いうことだと私は思っています。それをウィルがあるという先生がいるのだったらば、私はそれはやればいいと思う。でも、電気通信研究所はそういう研究はやらないのだと、一切。電気通信研究所としてやらないのだという考え方も僕はありだと思っていて、だから企業からのお金が少ないのですと、そういう研究はやりませんからと胸を張って言っていただければ僕はそれでいいと思うのです。それがいわゆる電気通信研究所としての企業研究に対するポートフ

ォリオはこうなのですって。だから、もしかしたら大人の事情で企業からある程度もらっていますというところのグラフもある程度はっきりしなきゃいけないとかというのはもしかしたらあるのかもしれないですけれども、こういう場ではそういうことはやっぱり言わずに、私たちは胸を張ってそういうふうに私は言ってもらっていいと思っています。

☆　それはそういう選択肢もあるというのは我々理解しています。問題なのは、運営費交付金が減り続けていて、実験費も困ると。そこを何とかしたい。長期的な研究あるいは基礎研究は大学のミッションですので、それを諦めるつもりはもちろんない。それができる環境をどうやって整えるか、維持するかというところが、今我々が直面している面、問題だと認識しております。

★　でも、一部の企業のお金をとるということは、その基礎研究にお金を割けなくなるということと同時なので、いわゆる人件費が減るということと僕は同時だと思うのですね。そういう先生が基礎研究じゃないことをやるわけですから。

☆　それは平均すれば同じかもしれませんけれども、ある教員を２０年間雇用できると、そのうちの一部はそういう研究に時間を使う、でもほかの分は基礎研究に使える、そういう理解かと思っております。

★　今のは、１００％のエフォートという意味で言うと、そうなってしまうのですけれども、そこまではいかない。

★　でも平均するとそうなりますね。2割とられるということは、2割の方が基礎研究から離れるということ、２０％の時間はとられるということですよね。

★　ちょっとこれは僕が答えるところじゃないのですけれども、一人の人間はやっぱり基礎を推し進める中でも、応用的なフレーバーを常に頭の中でリフレッシュすることは重要なことなので、そこは過大になりすぎるのは.... というのが今所長のおっしゃられたことかと思いますけれども、どうでしょうね。

☆　そのとおりだと思います。ですから、何月何日までにこれをというタイプの共同研究についてはすぐにイエスと言う先生は多くはないだろうとは思いますけれども。

★　２割はそういう実用化の研究をやることが自分の研究のフィードバックになるという強いウィルを持っていらっしゃる先生は、僕はそれで全然いいと思います。ちょっとこれ、よその大学とある議論していてちょっと愚痴になるのですけれども、ある大学のある先生たちは、私は企業からお金が欲しいと、でも企業は一切口を出さないでほしいという完全なエンゼルを求めていらっしゃる方も世の中にはいら

っしゃるのですね。たぶん、だから、それはあり得ませんということと、ご自身の研究のポートフォリオとして２割は実用化研究やるのだと、だからそこに関しては歯を食いしばっても頑張るみたいな、その辺は先生方の気持ちの持ち方だと僕は最終的には思います。

★　ちょっとほかの大学の恨みをここでおっしゃられても。旧七帝大以外は少なくともあんまりそういうことを言う人がいるかもしれないですが、もうちょっとバランスがとれているかもしれない。

☆　我々の研究所は工学系の研究所ですので、そういう発想の先生はまあいないだろうとは思います。ほかの研究科、文系の先生はそう思っている方もいらっしゃるかもしれなくて、大学全体としてはそういう研究も続けられるように応援していかなければいけない。私が言うことじゃないかもしれないですけれども。そのためにもむしろ我々は企業との共同研究なりなんなりで間接経費を取って大学全体にフィードバックできるようにという思いもあります。

★　中川路委員はいかがですか。

★　企業が大学に期待する研究って、さっき中村さんがおっしゃったように基礎的なリスクが高い研究なのですけれども、企業からお金をもらうために実用のほうにちょっと目標を下げるというのはやっぱりしていただきたくなくて、大学の先生にはぜひ研究をしっかりやっていただきたいのですけれども、もう一つの切り口として、企業がどうしても取り組めないのは、例えば評価技術のような、物差しをつくるような技術というのは企業ではなかなかできないのですね。企業ってどうしても差別化しろと、他社に勝てといつも言われていますので、どっちかといえば物差しをつくるような基盤的な研究とか基礎的な研究はぜひ大学にやっていただきたいと思いますし、たぶん大学の先生ってそういうのは基礎研究の表裏で必ずやられているはずなので、そういうのを企業側からお願いするとか、そういう基礎と実用の間で分けるのではなくて、研究の中身とか性格で企業側と大学側が分担するような、そんな仕組みがつくれればいいかなと私は思っております。

☆　ありがとうございます。その物差しづくりという点について、ちょっとほかの先生方もしご意見があれば、ですけれども、自分に近い分野で考えると、そういうのはどちらかというと国の研究所でやっていただきたいかなという、何となく私としてはあります。

★　ＮＩＣＴの標準時計とか、何かご意見ありますか。

★　そういう意味では当然取り組みをしているのですけれども、でもやっぱりそれは国でという割り切りじゃないでしょうね。それは一緒にやることであって。それか

ら、今の情報通信研究でそんなに実用と基礎と離れているものですかというイメージがあるのですけどね。だから、そういうマインドを持っている人は意外と研究で新しいネタを見つけてくるというケースは実際に起こっている気がするのです。

★　今のちょっと補足させていただいていいですか。

★　ええ、産総研さんの原器をたくさんもって。

★　キログラム原器はなくなりますけれども。せっかくなので、我々２００１年から共同研究のデータベースを全部つくっておりまして、東北大学とやってきたのが、２００１年から今まで大体５００件あるのですね。５５０件。そのうちのここの電気通信研究所でやっているのが４１件あります。ですから７～８％ある。だから部局が絡んでいたら多いのかなという気はします。もちろん工学系ですから。その中でやはり情報だったり通信だったりというのが一番我々のやらせていただく分野ですけれども、意外と標準に近いところがあります。3分の1ぐらいがそんな感じですね。つまり、我々が物差しをつくる時に、我々にはできない、一緒にやってください、助けてください、そういう意味合いがかなりあるということだと思います。そういう意味で何かアライアンスを組んでほしいなと思う次第です。

☆　ありがとうございます。私の認識不足でした。

★　私も認識不足で、大学は今何をやるかというと、これも大学、喜連川的にそう言っているのは、1番になることは求めるなと。要するに競争はしちゃいけない。オンリーワンになれと。競争の次をやるべきだと。そうすると、その標準化とかメトリクスとかいう次元なんて、もうどうでもいいという世界をやらざるを得ない人は結構いると思います。やっぱり大学のいいところはダイバーシティで、いろいろな多様な研究を唯一幅広く受け入れられる国家としての一つのステークホルダーになっておりますので、東北大学の通研さんも今、中川路委員からご提案いただいたことに貢献できる先生も中には、そんな多くはないと思いますけれども、おいでになられるところ、意外とそういうのも一つのあれかなと。

★　私、物差しというのでちょっとイメージが違ってしまってというか、限定的になってしまったかもしれないのですけれども、例えばセキュリティーでいうと守る技術じゃなくて攻撃する技術だとか、電波でいうと干渉をさせる技術だとかというのも物差しの一つだと思うのです。企業ってやっぱり攻撃する技術とか干渉させる技術ってなかなか取り組めないので、そういうものも取り組んでいただければいいかなと。そんなイメージで、ちょっと広く考えていただければ。

★　それはもう不可能です。オフェンスは学術会議の答申案も出ていますので、安全保障の観点から、防衛省からの、東北大学もそうだと思いますけれども、研究費は

とれないですし、原則ですね。平和国家です。僕なんか手を挙げて、はいと、皆さんコンピュータはどういうところが起源にあるかご存じですかと。これは弾がどう飛ぶかを計算する、根っからの軍事機。これを皆さん要らないとおっしゃられるのですかとか言うわけですけれども、やっぱり憲法学者の方がおられるので、非常に強い思いを込めておられる方が多いです。ですので、今、大学の中ではオフェンスは、いやディフェンスすらできないです。

これまた深い話なのであれですけれども、そういうところのいい機会なので、民間企業がこの程度の意識かというのは非常によくわかっているのですけれども、ものすごく難しいですね。一言で言いますと。

☆　今のご意見については、企業ではできなくて大学でできることはあるということであれば、それはぜひ、はい。

★　そうですね。オフェンスじゃないやつでご提案、いかがですか、東芝さん。

★　東芝というよりは私の考えなのですけれども、３つぐらい大きな期待があるなと思っていまして、一番下の層からいうと、中村先生がおっしゃった補完する技術といいますか、今やっている技術の中で我々が十分に持っていない技術を大学に期待する部分、というところがまず一番下の層で、短期的な視点であります。それについては、私は音声技術を担当していますけれども、主に欧米の大学と共同研究をやっています。ケンブリッジ大学だとかエディンバラ大学とかアメリカの大学とやっていますけれども、それはなぜ日本の大学とやらないのかというと、中村先生がおっしゃった理由ですね。日本の大学の先生は我々がこういうものをやってくださいといったときに、そのとおりにやらないといいますか、なかなか言うことを聞いてくださらない、無視してしまうということでやっていなくて、海外の大学とやるときには、Ｐｈ．Ｄの学生を採用してもらって、またはポスドクを採用してもらってそこに資金を出すと。したがって、共同研究費も結構お金がかかります、人を採用しますので。そのかわり、Ｐｈ．Ｄの学生は、もちろん学生なのでＰｈ．Ｄを取らなきゃいけないという課題はありますけれども、それに従いながらも我々の要求をかなり短期ごとに要求を受けていただいて、それにできるだけ沿うような形で研究を進めてもらって、その成果は途中の成果であっても、例えばソフトウェアという形でいただくと。途中の成果を移管してもらうということをやりながら進めています。これはなかなか日本の大学の先生はやらないことだと思います。

それがいいかどうかわからないですけれども、それについてちょっと考えがあるのは、ただ、そういう中で必ずしも大学側にとって悪いことだけではないですね。我々と一緒にやりながら、新しいニーズをまた見つけることができますし、そうやってきた先生方は結構ビジネスセンスが強い人もいて、自分でベンチャーをつくってしまって新しい会社をつくるということもあるし、それからちょっとその先といいますか、非常に長期的な視点ではないのですけれども、ちょっとすぐその先の研究トピックを見つけて新しい研究を始めるというきっかけになることもあります。

というのが一番下の層の部分で、一番長い層でいうと、期待したいなと思うのは、社会課題だとか、それは日本の社会課題、それから地球規模で考えたときの社会課題というものがあると思います。それとあとは先生方が持っている技術に関する知識といいますか見識と、技術はこういうふうに進むであろうと、こんなことができるだろうという視点があると思うのですけれども、そこから将来必要になる技術に自分の信念に従ってそこの部分をやっていただきたいと。そこに期待して、そこから新しい産業なり新しい事業が生まれるといいなと、その部分に最終的に企業側は、そういう技術に持っていきたいという思いがあります。それが一番長いほう。

中間は、国プロを一緒にとるために共同研究に参加するとか、あるいは複数の研究室が集まって組織対組織的な、もう少し大きな共同研究を一緒にやらせていただきたいというような要求はございます。以上です。

★　いかがでしょうか。

☆　ありがとうございました。一点、欧米との共同研究でポスドクなりＰｈ．Ｄの学生を雇用するというのは、個人的には共同研究を企業とするときにはぜひそうやってほしいと言っていて、私としては、それはいい形だと思っていますので、ちょっと日本の大学でそのケースが少ないというのは意外ではありました。少ないとすれば、なかなかそれに見合う研究費を出してくれていないのかなと漠然とは思っていましたけれども、そうではないということを伺えて大変よかったです。ほかの先生方でそういうケースが多くないとすれば、ちょっと理由は今わかりませんけれども、ぜひそうあるべきだという議論はしたいなと思いました。

それから、社会課題、将来の技術に信念を持ってというのは、一応、大学の先生、通研の先生方は信念を持って研究をしているかなとは思っておりますが、それはたぶん見える形でということなのかなというふうに理解しました。

それから、組織対組織について重要なご指摘かと思いますが、ちょっと今、どういう形があり得るのか、大学としてはそういう組織間の連携、包括協定のような話をどんどん進めたいということを言っていますけれども、今のお話はもう少し具体的な共同研究についてということだと思いますので、どういう形で動かせるかというところがちょっとすぐには見えないのですけれども、何か課題があったときに、１つの研究室では対応できないけれども複数だったら対応できるというようなことを想定すればいいのでしょうかね。そういうものに対して受け入れられる対応・体制をとるということになりますでしょうか。

★　そうですね、例として、単純に組織対組織ではなくて国も絡んでいるとは思うのですけれども、医学部と一緒に共同でやっている研究がありますね。ゲノム、患者のゲノム解析をして、それと病理との関係についてデータベースをつくっていると。ビッグデータをつくって、そこから病理診断に生かしていこうといったような研究があるのですけれども、そこに東芝も協力して参加させていただいていまして、そういうようなイメージを持っています。

☆　一緒にプロジェクトを、という申請ベースでいくと現状でもいろいろあるかなとは思いますけれども。検討したいと思います。

★　ちょっと長期的な話になるかもしれないのですけれども、ちょっと弊社の宣伝になってしまうかもしれませんが、今、兼業・兼職というのが最近働き方改革でいろんなところで言われていると思いますけれども、うちの会社だと３～４人の大学の先生が兼職されています。ＮＥＣの肩書を持って。給料もちゃんと週１日働かれるのだったら週１日分の給料を払っていて、本当に社員としていろいろと、どちらかというとお客様扱いはあまりせずにやっているのですけれども、何かそういうのをやっていくと、じゃあ企業とどのようにつき合えばいいかというのもある程度わかっていくかもしれないので、もしも何かそういう話がまとまるようでしたら、これからもっと通研として広げていこうとか、兼職みたいな話でうまく意識を変えていこうとか、というのはぜひご検討いただければと思います。

☆　ありがとうございます。以前よく話に出ていたのは、昔はもっと企業との人事交流があったはずだという話があって、これからはクロスアポイントメント云々というところで積極的な対応をすべきだという議論も所内にありますので、ぜひ考えてみたいと思います。

☆　すいません、私が発言するのもあれなのですけれども、少しご紹介ということで、企業と通研との関係という話題に今なっているので、東北大の情報通信・スピントロニクス系で卓越大学院という制度と、そこではここにいらっしゃる皆様の企業にもご協力をいただいていて、博士課程の学生の教育に、企業に入ってきていただくということをやっております。通研にも非常に協力していただいておりまして、幾つかのＰＢＬには通研の先生方に担当者として入っていただいているという状況です。今のお話は共同研究というところでしたけれども、ぜひ通研のほうにもお願いという形ですけれども、先ほどＰｈ．Ｄ雇用というお話がありましたけれども、ドクターの教育のところからぜひ企業に協力して、企業と大学と両方が一緒に学生を育てるということもぜひお考えいただくとありがたいなと思っております。ご紹介でした。ありがとうございます。

★　私も、クロスアポイントメントで週１日分企業に行っているというのはあまり聞かないのですけれども、そういうのがもう増えているというわけですね。兼業はいっぱいあるのですけれども。

★　はい、一応その分の給料を払って来ていただいていますけれども、そういう方が何人かいらっしゃいますが。

★　だいぶ時間が長いわけ。要するに１日８時間分ぐらいを雇用されておられる。

★　そうです。遠方から来られるので、２週間に２日とか、そのぐらいで。

★　そんな感じですか。その逆がむしろ難しいのではないかなと思っているのですけどね。

★　逆もありますけど。

★　逆の場合、給与体制が……

★　給料はもらわないです、逆の場合は。

★　それはちょっと、そうですね、単なる出向になるわけですね。

★　いや、だから会社の許可をもらって、大学に週３日とかという人はいます。

★　ちょっとこの辺はいろいろ、たぶん企業それぞれによってもまたちょっとご事情は違うかもしれないので。

★　うちもありますよ。

★　ありますよね。大学。うちも、我々のところもやっています。だからケースが微妙に違うので。先ほどの、私も大学の先生が言うことを聞かないというのは結構胸にグサッとくるところがあるので、ちょっと東大と東北大は言うことを聞く共同研究とかいうカテゴリーをつくればいいのではないかな、と思っているのですけれども、そんなに言うことを聞かないような気が僕はしていない。

★　いや、最初の設計がちゃんとできていないのだと思います、それは。お互いに。お互いに腹を割ってちゃんと話していないからだと思うのですね。

★　結構話しながらやる場合も多いのではないかと思うので、実際やっている感覚からすると、たぶん塩入所長もちょっと違和感あるのではないかなと思うのですけれども、悪い例が何個かあって、最初にまずいドリアンを食べると一生ドリアンはまずいと思うと。最初に上等なドリアンを食べると、すごく好きになるみたいな感じで、一回東芝さんからいい共同研究をお受け入れになられるといいのではないかなと思いましたけれども、そんな捨てたものではないと思いますけれどもね。

★　一点だけいいですか。たぶん、先生方が言うことを聞いてくれないというシチュエーションに近い状態になったときに、企業が文句を言えるかというと言えません。やめてくれとかそういうことは失礼に当たるし、学生さんをもしかしたら採用させてくれなくなるかもしれない報復措置を持っていらっしゃいますから、だから基本

的にそういう場合に、いや困りますってなかなか言えないという企業の状況もちょっと理解していただければと思います。

★　それはだからバックチャンネルでいろいろおっしゃっていただくのが長い目でのいいコラボレーションになるといいますか、そういう先生はたぶん１００人おられたときにそんなにたくさんおられないと思いますので、そういう先生は実は共同研究以外にも大学サイドは困っているのです。ここら辺にいっぱい先生おられるのでなかなか発言できなかったのですけども、そういう情報、サラ金の情報共有と似たようなところがありますから、だんだん話がややこしくなりますのでこの辺でとめておきますけれども。一言で言うとやっぱり大学と企業が従来よりももっとタイトというか密着した関係の中でよりよい研究をできるようなことが日本としては望ましいのではないかと思いますので、ＮＥＣ様と東芝様も三菱様も直接塩入所長のほうにフランクにお出向きいただくといいのではないかなと思います。

ほかに何かございますでしょうか。

委員長はあまり質問できなくてつまらないというのがわかったのですが、でも大変勉強になってよかったと思うのですが、どこの大学も持っていない情報の一つが結局、卒業した学生がどれだけ社会で羽ばたいているのかという、それこそが究極のアウトカム指標ですよね、たぶん。論文をちょこちょこと書くというのはたまたまできたという側面もあるわけでしょうけれども、さっき何か通研さんの中でアウォードをとられた方は今こういうふうにご栄転されていますみたいなのがあったと思うのですけれども、それもあるのですけれども、５０人出るＰｈ.Ｄを取られた方、あるいは修士を取られた方が、個人情報があるので、各大学みんな困っておられるとは思うのですけれど、こういう躍動感のある仕事をされている、そういう人材を大学としては育てていっているというのが一番大きなアウトカム指標ではないかなという気がするのですけれども、もう少しそういう肌感覚はいかがですか、塩入所長は。

☆　実は一昨年ご指摘いただいて、昨年調査した結果を運営協議会でお示ししたところです。でも肌感覚として、それがほかの組織と比べていいか悪いかという評価はなかなかできない。ただ活躍している卒業生はたくさんいますという、そういうデータになっております。そういう意味ではなかなか調査が大変なので、毎年毎年というのは難しいのですけれども、継続的に調査を続けていきたい項目の一つだと考えているところです。

★　サンプルの数がたしか多くなかったような記憶が。そうでもなかったでしょうか。

☆　Ｐｈ.Ｄのドクターコースの学生さきほど３０から４０ということで、毎年それが卒業したら、１９９４年以降の通研研究室で博士号取得者というのは昨年の段階で４０４名、それなりに多くて、それぞれ全員を追跡はできていないと思います。追跡できた人はそのうちの半分弱ですね、１７８名ということです。

★　今年から新たに加わられたような先生方もおいでになられたと思いますので、こういうエルゼビアの指標もいいのかもしれないのですけれども、そういうことに加えて、学生を打ち止めされると困るとおっしゃられるＮＥＣはこんなにたくさん行っているのですよとか、何かそういうデータがぽんと出ると、より発言が穏やかになられると。しないほうがいいかもしれないですけど、何か次回、そういう重要なキーパーメーターというのですかね、いわゆる文科省サイドのリクエストするもの以外も何か出てくるといいかなという気はしましたけれども。

☆　はい、わかりました。次回、発言はマイルドになっていただく必要はないと思っているのですけれども、資料は準備したいと思います。

★　一つだけ追加させていただいていいですか。外国人が国に戻って教授になって共同研究が発生しただとか、新しい成果が出た、そういう追跡もできれば教えていただきたいと思います。

★　それはすごく重要ですね。

☆　ぜひそういう、共同研究に発展したかどうかというのは調査したことはないですけれども、外国人のドクター取得者がどうなったかというところは調査してまいります。

★　最後にちょっと委員長の特権で、エルゼビアのなにか、ございましたよね、研究指標で、７０ページかな、赤で１．４２とか書いてあるやつなのですけれども、この中で通研が投稿中の３８稿、３８編も出しておられるという数字があったかと思うのですけれども、どう考えても比でやるというのもそんなにおもしろくないのかなという気がしていて、３８というのが日本全体で３，０９２だと思うのですけれども、ＷＥというのは結構出ないですよね。ＷＥの中で通信というのをピックアップしたときに、通信という中で３８がどれだけの割合なのかとか、何かそういうほうがいい指標になるのではないかなと。絶対値を解析できないのかなという気がするのですけれども。

☆　教員一人当たりの例えばトップ１０％論文数というのは、通研については評価できます。ただ、それをほかと比較するのは非常に難しいと。論文を全部一個一個、著者を確認してという作業をすればできるのですけれども、ちょっとそれは大変すぎるということになっています。

★　これ科政局にやらせればいいのかわからないですけれども、３，０９２人という数って大した数じゃないですよね、一言で言いますと。１日見れば十分見られるぐらいの数なので、そんな論文の中の通信というぐらいはすぐ引き剥がせるのではないかなという気がしていて、通研さんのコントリビューション、これの１００分の

１というふうに見るべきであって、この根幹のさらに通信分野に対してどのくらい貢献しているのだというのを見れば相当クリアになるのではないかなという気がします。ちょっと伝わったかどうかわからないですけど。とっちらかっているかもしれません。

☆　ここで出てきている分野というのは、あくまでエルゼビアが分けた分野なので、自分たちの主張する得意分野で評価すべきだというご指摘かと思います。それはそのとおりなのですけれども、それがどのぐらい....

★　お金を払わなきゃいけないかもしれないですけれども、彼らのビジネスモデルに乗りたくないというのは私も１００％そうなのですが、ちょっと何かそんな気もしたなという感じがいたしました。

いろいろあろうかと思いますけれども、この式次第では５時２０分に終わらないといけないと書いてありまして、今２８分ぐらいですので、８分おくれというのはこの種の会議にとっては非常に上出来ではないかなと勝手に思っておりまして、もし特段強いご意見がないようでしたら、これで今回の運営協議会を終えたいと思いますけれども、よろしゅうございますでしょうか。

どうもありがとうございました。

この資料、非常に丁寧におまとめいただきまして、また若い先生方にもご発表いただき、そして執行部の先生方にもご丁寧なご発表いただきまして、まことにありがとうございました。これで終了したいと思います。

閉　会

－事務局－

議事につきましては以上になります。

喜連川先生、どうもありがとうございました。ここで先生に自席に戻っていただくことになっているのですが、そのままでも結構でございますので、よろしくお願いします。

それでは、最後に５番の閉会の挨拶ということで、塩入所長より御礼のご挨拶を申し上げます。よろしくお願いします。

☆　委員の皆様方、それから喜連川先生、大変ありがとうございました。長時間にわたるご議論、いろいろなご指摘、とても参考になりました。正直言って、どのぐらい対応できることがあるのかというのはとても不安ですけれども、特に最後のほうの議論にあった民間との共同研究等々、考えれば道が開けるようなお話もたくさんいただいたかなと思って大変ありがたく思っております。それから研究力、また人事交流、人材確保、人件費云々、外部資金というところはまだまだ考えていかなければならないということも改めて認識したところでございます。もう、ちょっと何を言っていいかわからない気分になって、とにかくお礼ということで、どうもありがとうございました。

資　料　編

第１　人　事

１．教員

（人）

年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
教授	24(0)【0】	22(0)【0】	25(0)【1】	24(0)【1】	21(0)【1】
准教授	19(2)【0】	19(3)【0】	22(3)【1】	22(3)【1】	22(3)【1】
講師	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
助授	24(2)【1】	23(3)【1】	20(4)【0】	18(2)【0】	24(3)【2】
特任教授	2(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】
特任助教	0(0)【0】	0(0)【0】	1(0)【0】	2(1)【0】	1(1)【0】

※（　）は外国人、【　】は女性で内数

２．客員外国人教員

（人）

年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
客員教授	6【0】	3【0】	7【0】	7【1】	6【2】
客員准教授	2【0】	4【0】	1【0】	5【0】	3【0】
計	8【0】	7【0】	8【0】	12【1】	9【2】

※【　】は女性で内数

３．客員教員

（人）

年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
客員教授	17(7)【0】	12(4)【0】	15(8)【0】	17(7)【1】	13(6)【2】
客員准教授	4(7)【0】	6(4)【0】	2(1)【0】	6(5)【0】	4(3)【0】
計	21(14)【0】	18(8)【0】	17(9)【0】	23(12)【1】	17(9)【2】

※上記2の客員外国人教員を含む（　）は外国人・【　】は女性で内数

４．非常勤研究員

（人）

年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	
教育研究支援者	9(4)【0】	10(5)【3】	6(0)【1】	5(1)【0】	学術研究員	11(3)【1】
産学官連携研究員	10(2)【0】	9(1)【1】	6(0)【0】	1(0)【0】		
研究支援者	4(3)【0】	2(1)【0】	4(2)【0】	3(1)【0】		
計	23(9)【0】	21(7)【4】	16(2)【1】	9(2)【0】	11(3)【1】	

※雇用契約による研究員、（　）は外国人、【　】は女性で内数、
教育研究支援者（大学運営費・寄附金）、産学官連携研究員(共同研究費・受託研究費)
研究支援者（科学研究費補助金）
※教育研究支援者、産学官連携研究員、研究支援者は平成３０年度から学術研究員に名称が変更された。

５．各種研究員

（人）

年度		26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
客員研究員		0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】
受託研究員		5 (1)【0】	10 (0)【0】	8 (0)【0】	3 (0)【0】	6 (1)【0】
受託研修員		1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】
民間等との共同研究員		5 (0)【0】	2 (0)【0】	2 (0)【0】	7 (0)【0】	11 (0)【0】
日本学術振興会特別研究員		5 (1)【0】	8 (2)【1】	10 (1)【1】	9 (3)【2】	10 (4)【1】
	内訳 PD	1 (0)【0】	2 (1)【1】	2 (0)【1】	3 (1)【1】	2 (2)【1】
	DC	4 (1)【0】	6 (1)【0】	8 (1)【0】	6 (2)【1】	8 (2)【0】
日本学術振興会外国人特別研究員		2 (2)【0】	1 (1)【0】	1 (1)【0】	2 (2)【1】	0 (0)【0】
日本学術振興会外国人招へい研究者		1 (1)【0】	0 (0)【0】	1 (1)【0】	1 (1)【0】	0 (0)【0】
計		19 (5)【0】	22 (3)【1】	23 (3)【1】	23 (6)【3】	28 (5)【1】

※雇用契約のない研究員、（　）は外国人、【　】は女性で内数

６．客員外国人教員（外国人研究員）

氏　名	任用期間	研究内容
KHOLODNYAK,Dmitry	H30.10.29～ H30.11.30	マイクロ波メタマテリアル/受動回路
MITIN,Vladimir V. ※客員称号なし	H31.2.25～ H31.3.24	ナノ・ヘテロ構造光電子デバイスの量子伝導機構
CHAIT,Maria	H30.9.28～ H30.10.27	聴覚・マルチモーダル感覚情報処理に関する研究
TANG,Anthony	H30.4.1～ H30.6.30	インタラクティブコンテンツによる協調作業に関する研究
DEUBEL,Heinrich	H30.8.1～ H30.9.7	眼球運動の視知覚への影響と行動注意との関連
FAZI,Filippo Maria	H30.3.26～ H30.4.27	球座標3次元音響技術の研究
GOCKEL,Hedwig	H30.10.2～ H30.11.2	聴覚情景分析
JIN,Craig Tsung-Wei	H30.8.17～ H30.9.20	超多チャネル３次元音場制御技術の研究
KNAP,Wojciech M	H31.1.11～ H31.2.15	半導体二次元電子系におけるプラズモン不安定性とそのテラヘルツ光源応用
DIETL,Tomasz Stanisław	H30.12.28～ H31.1.27	スピントロニクス材料とデバイスに関する物理と工学

７．学術研究員

氏　名	任用期間	研究内容
齋藤　文孝	H30.4.1～ H31.3.31	音響通信に関する研究
荒井　薫	H30.5.16～ H31.6.1	科学研究費補助金（挑戦的研究（萌芽）） 「低侵襲高周波磁界計測のための新たな計測方式」
福原　洸	H30.4.1～ H30.9.30	動物が実世界環境下で示すしなやかかつ タフな振る舞いの発現機序の解明を目指した研究
小宮　麻希	H30.4.1～ H30.10.31	戦略的創造研究推進事業（CREST）JST-CRESTプログラム 「超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成」
RYZHII,Victor	H30.4.1～ H30.11.30	科学研究費補助金（基盤研究（S）） 「二次元電子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用」
金村　卓郎	H30.10.1～ H31.3.31	戦略的創造研究推進事業（CREST） 「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」
末光　眞希	H30.4.1～ H31.3.31	共同研究「SiC薄膜のデバイス化による評価技術開発に関する研究」
佐々木　文憲	H30.4.1～ H30.6.30 H30.7.1～ H30.12.31 H31.1.1～ H31.3.31	・科学研究費補助（基盤研究（S）） 「二次元電子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用」 ・総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE） 「Beyond 5Gに向けたグラフェン/BN原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発」 ・共同研究 「グラフェンを用いたテラヘルツ帯電子デバイスの開発と放射光解析」
阿部　尚文	H30.4.1～ H31.3.31	単一光子を用いた量子計測の研究
ROY,Tufan	H30.5.1～ H31.3.31	戦略的創造研究推進事業（CREST） 「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」
MUHAMMAD,Alfian Amrizal	H30.4.9～ H31.3.31	情報通信基盤技術に関する研究開発

８．学振特別研究員

氏　名	期　間	研究内容
清水 拓	H28.4.1～ H31.3.31	高次アンビソニックスを用いた複数領域音場再現
安井 浩太郎	H29.4.1～ R2.3.31	ムカデが示す歩行・遊泳間の遷移現象から解き明かす生物の適応的運動機能の発現機序
黄 佳維	H29.4.1～ R2.3.31	人の細かい手作業計測のための3次元モーションセンサシステムの実現と実応用
渡部 杏太	H29.4.1～ H31.3.31	形状磁気異方性を用いた高性能極微細磁気トンネル接合の作製と評価
金 觀洙	H29.4.1～ H31.3.31	マイクロ波熱処理を利用してバンドギャップを持つリップル・グラフェンの形成技術開発
馬 静言	H29.4.1～ H30.11.30	次世代無線通信の高品質運用に向けた超高周波軟磁性ノイズ抑制体の開発
細谷 友崇	H30.4.1～ R3.3.31	巨大利得を有する光無線融合アクティブプラズモニックフォトミキシングデバイスの創出
Ｖｉｄｉｌ Ｐｉｅｒｒｅ	H30.4.1～ R2.3.31	2量子ビット系の非局所一般化量子測定の光学的実装
守谷 哲	H30.4.1～ R2.3.31	トップダウン的アプローチによる時空間神経ダイナミクスの解明と脳型計算機への応用
寺岡 諒	H30.4.1～ R2.3.31	聴覚的注意によるマルチモーダル情報処理過程の解明

９．教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

（人）

転出先	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
企業	2	1	0	1	1
通研・教員	1	0	2	1	2
他部局・教員	0	0	0	1	0
他部局・産学官連携研究員、 COEフェロー （30年度：他部局・学術研究員）	1	2	1	0	1
他大学・高専教員	1	0	1	1	0
他大学ポスドク	0	2	0	0	0
国外大学・企業	0	2	1	1	0
帰国	1	4	0	0	0
その他	0	0	0	0	3
転出者計	6	11	5	5	7
在職者数	15	21	9	4	4

※　在職者：非常勤研究員及び日本学術振興会特別研究員（PD）

１０．支援職員

（人）

年度		26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
専任職員	技術職員	13【2】	11【2】	13【2】	13【3】	16【6】
	事務職員	17【4】	15【4】	14【3】	14【3】	26【16】
	再雇用職員	3【0】	3【0】	2【0】	1【0】	1【0】
	計	33【6】	29【6】	29【5】	28【6】	43【22】
非常勤職員	技術職員	19【12】	14【11】	12【8】	13【10】	14【10】
	事務職員	36【33】	31【28】	33【30】	33【31】	20【18】
	計	55【45】	45【39】	45【38】	46【41】	34【28】

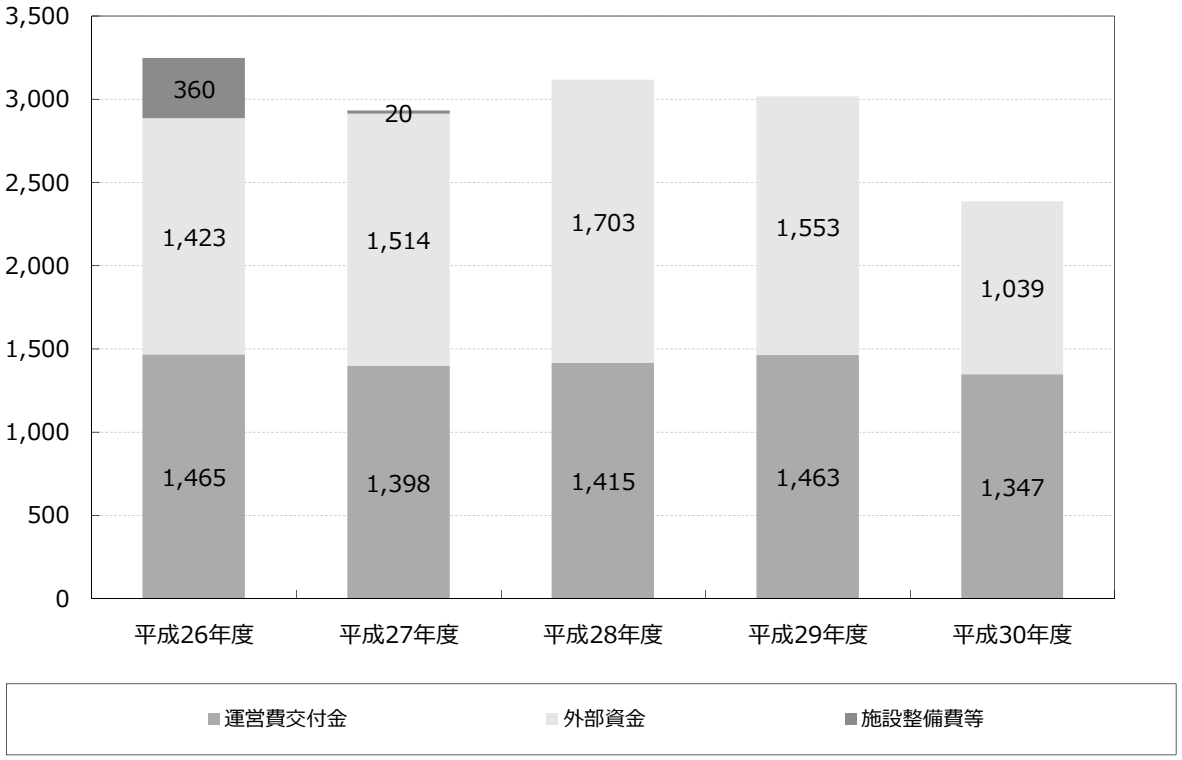
※【　】は女性で内数

※平成30年度より採用された限定正職員は「専任職員」に含む。

第2　予　　算

電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円



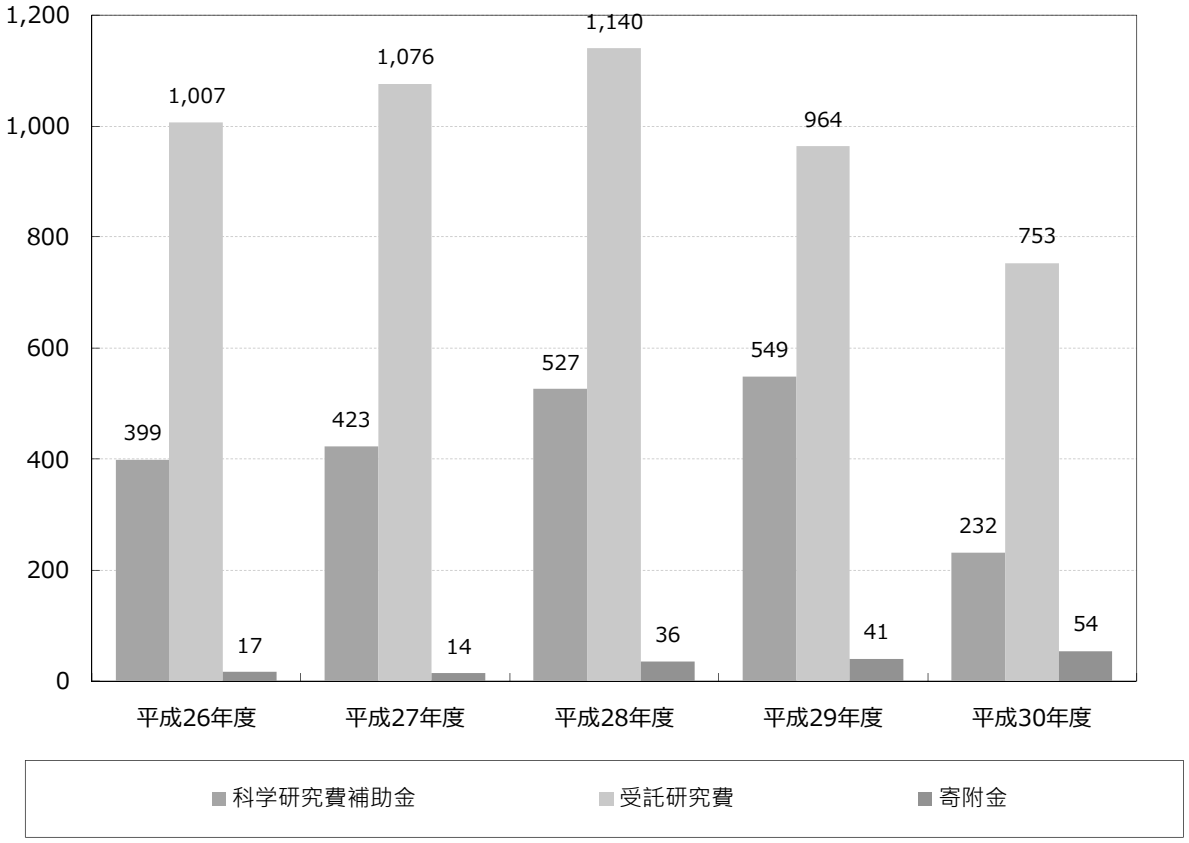
予算額内訳

単位：千円

事　項		平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
運営費交付金	人件費	795, 601	730, 537	808, 066	835, 904	790, 118
	物件費	668, 941	667, 582	606, 599	626, 824	556, 937
運営費交付金　計		1, 464, 542	1, 398, 119	1, 414, 665	1, 462, 728	1, 347, 055
外部資金	科学研究費補助金	399, 311	422, 846	526, 718	549, 034	231, 643
	受託研究費	1, 007, 060	1, 076, 220	1, 140, 386	963, 585	753, 391
	寄附金	16, 890	14, 490	36, 190	40, 541	54, 344
	（再掲）間接経費	212, 669	219, 886	244, 413	220, 733	134, 311
外部資金 計		1, 423, 261	1, 513, 556	1, 703, 294	1, 553, 160	1, 039, 378
災害復旧経費		0	0	0	0	0
移転事業経費		359, 770	20, 011	0	0	0
施設整備費		0	0	0	0	0
施設整備費等　計		359, 770	20, 011	0	0	0
合　計		3, 247, 573	2, 931, 686	3, 117, 959	3, 015, 888	2, 386, 433

外部資金受入状況

単位：百万円



外部資金内訳

単位：千円

事項	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
科学研究費補助金	399,311	422,846	526,718	549,034	231,643
受託研究費	1,007,060	1,076,220	1,140,386	963,585	753,391
寄附金	16,890	14,490	36,190	40,541	54,344
合計	1,423,261	1,513,556	1,703,294	1,553,160	1,039,378

第3　教　育

１．学部学生・大学院生

（人）

区分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
学部（4年）	56（ 0）【 4】	52（ 0）【 4】	51（ 0）【 2】	57（ 0）【 3】	57（ 3）【 7】
大学院前期課程	125（12）【 6】	117（13）【11】	137（15）【14】	141（19）【 9】	132（17）【 8】
工学研究科	78（ 6）【 3】	77（ 6）【 4】	90（ 9）【 4】	85（ 8）【 1】	73（ 6）【 0】
医工学研究科	4（ 0）【 0】	4（ 0）【 1】	5（ 0）【 0】	2（ 0）【 0】	8（ 0）【 1】
情報科学研究科	43（ 6）【 3】	36（ 7）【 6】	42（ 6）【10】	54（11）【 8】	51（11）【 7】
大学院後期課程	38（ 9）【 1】	36（ 9）【 1】	39（12）【 2】	39（15）【 3】	32（11）【 1】
工学研究科	30（ 6）【 0】	28（ 7）【 0】	28（ 8）【 0】	25（ 8）【 2】	21（ 6）【 1】
医工学研究科	0（ 0）【 0】	0（ 0）【 0】	1（ 0）【 1】	0（ 0）【 0】	1（ 0）【 0】
情報科学研究科	8（ 3）【 1】	8（ 2）【 1】	10（ 4）【 1】	14（ 7）【 1】	10（ 5）【 0】
計	219（21）【11】	205（22）【16】	227（27）【18】	237（34）【15】	221（31）【16】

※（ ）は外国人、【 】は女子学生で内数

２．留学生

（人）

区分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
学部４年	0	0	0	0	3
大学院前期	12	13	15	19	17
大学院後期	9	9	12	15	11
計	21	22	27	34	31
地域別内訳					
①アジア	19	17	20	28	27
②北米	0	0	1	1	1
③中南米	1	1	2	2	1
④ヨーロッパ	0	3	3	3	2
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	0	1	0	0
⑦アフリカ	1	1	0	0	0

３．研究所等研究生・特別訪問研修生

区分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
研究所等研究生	12(10)	11(9)	6(5)	6(6)	6(5)
特別訪問研修生	2(2)	1(1)	2(2)	2(2)	6(6)
計	14(12)	12(10)	8(7)	8(8)	12(11)

4. 論文題目一覧

(修士論文)

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気エネルギーシステム専攻	クモヒトデの腕内・腕間協調メカニズムに関する研究	金内　大地	石黒　章夫
	蠕動様ロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究	関東　大樹	石黒　章夫
	適応的歩行を生み出す身体的制約を考慮した自律分散制御に関する研究	齊藤　空良	石黒　章夫
	ムカデの高速ロコモーションに内在する脚と胴体の協調メカニズムに関する研究	古川　和貴	石黒　章夫
	一次元ひも状ロボットの自律分散制御に関する研究	松井　尚輝	石黒　章夫
	高感度薄膜磁界センサの設計に関する研究	横山　広雄	石山　和志
通信工学専攻	InP系光電子融合ダブルミキサトランジスタとその光-ミリ波帯キャリア周波数下方変換への応用に関する研究	大森　雄也	尾辻　泰一
	光ナイキストパルスを用いた超高速・高効率ディジタルコヒーレント伝送に関する研究	木村　光佑	廣岡　俊彦
	組込み電子署名ハードウェアのサイドチャネル解析に関する研究	小岩　航介	本間　尚文
	グラフェンテラヘルツトランジスタレーザー高性能化のための材料プロセスデバイス技術の研究	菅原　健太	尾辻　泰一
	二次元回折構造を介したプラズモンポラリトン励起とそのテラヘルツ電磁波検出素子への応用に関する研究	鈴木　雅也	尾辻　泰一
	時系列特徴に基づく車載ネットワーク向け不正侵入検出技術に関する研究	須田　拓樹	羽生　貴弘
	超小型ICチップ用無線電力伝送に関する研究	武田　尚之	末松　憲治
	ストカスティック演算に基づくインバーティブルロジック算術演算回路の構成に関する基礎研究	西野　海斗	羽生　貴弘
	無線IoTリアルタイムスペクトラムモニタ用ダイレクトRFアンダーサンプリング受信機の研究	古市　朋之	末松　憲治
	送信機及び伝送路の不完全性を考慮した非直交多元接続の研究	真山　健大	末松　憲治
	電磁的画面情報漏えいの統計的安全性評価手法に関する研究	宮田　大輔	本間　尚文
	高精度電流制御回路を用いた省電力真性乱数生成器の構成に関する研究	向田　渉吾	羽生　貴弘

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
通信工学専攻	公開鍵暗号ソフトウェアのキャッシュタイミング解析に関する研究	森　隼人	本間　尚文
	60GHz帯ダイレクトRFアンダーサンプリング受信機用S/H ICの研究	吉野　長浩	末松　憲治
電子工学専攻	High Speed Reading in Ferroelectric Probe Data Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy （走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体記録における高速再生法に関する研究）	ABEYSINGHE RESHAN MADUKA	長　康雄
	機械学習を用いた四元ホイスラー合金の物性予測に関する研究	金村　卓郎	白井　正文
	反射型Siフィルタを用いた小型狭線幅半導体レーザの研究	伊藤　千真	八坂　洋
	PtMn/CoFeB積層構造におけるスピン軌道トルクの評価	伊藤　隆一	深見　俊輔
	プラズマCVDによる不純物ドープSi薄膜形成と電子物性制御に関する研究	加藤　永史	佐藤　茂雄
	半導体レーザの相互注入同期を用いた直交振幅変調光発生に関する研究	小向　知也	八坂　洋
	垂直磁化容易磁気トンネル接合における電流誘起磁化反転エラーレートの測定及びマクロスピンモデルとの比較	齋野　高遥	深見　俊輔
	軽元素添加FeNi規則合金における磁気特性および原子拡散過程に関する理論研究	佐々木　颯清	白井　正文
	酸化グラフェンの熱還元とナノスケール光電子物性に関する研究	笹嶋　匠	上原　洋一
	ホイスラー合金/MgO界面における磁気異方性電圧制御に関する理論研究	佐藤　正樹	白井　正文
	プレーナーホール効果を用いた面内磁化スピン軌道トルク素子の特性評価	高橋　佑	深見　俊輔
	フラーレンを包埋した脂質二分子膜を用いる光センシングの基礎的研究	出口　貴史	平野　愛弓
	高速データ通信に向けたスピン制御面発光レーザの研究	二坂　薫平	八坂　洋
	MgO/(Co)FeB/MgO磁気トンネル接合の強磁性共鳴と電流誘起磁化反転	王　子超	深見　俊輔
情報基礎科学専攻	エージェント型IoTによる生活支援システムの構成法に関する研究	和田　信也	木下　哲男
	エージェント型IoTデバイスの自律的連携による商業施設の顧客支援に関する研究	土田　大樹	木下　哲男

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
情報基礎科学専攻	エージェント型UAV群を用いた沿岸部の避難誘導支援に関する研究	片山　健太	木下　哲男
	ネットワーク運用支援のためのエージェント型情報提供機構に関する研究	松村　洋志	木下　哲男
	対話機能を強化したエージェントと人間の協働によるネットワーク管理に関する研究	星野　拓也	木下　哲男
システム情報科学専攻	Activity-Characterizing Toy Blocks for Behavioral Assessments （遊び動作識別積木による行動の心理評価の試み）	王　溪月 (Wang Xiyue)	北村　喜文
	Observation-based Real-Time Fluid Simulation （観測データに基づくリアルタイム流体シミュレーション）	朱　健楓 (Kin Fung Chu)	北村　喜文
	SML#とopenCVの連携を用いた高水準で宣言的な画像処理プログラミング環境に関する研究	橋本　航汰	大堀　淳
	Sound Space Rendering Based on the Virtual Sphere Model （仮想球モデルに基づく音空間レンダリングに関する研究）	史　俊傑	鈴木　陽一
	The Effect of Distance on Auditory Spatial Attention in the Peripersonal Space （身体近傍空間の聴覚的空間注意における距離の効果）	MONASTEROLO Florent	鈴木　陽一
	Webアプリケーションにおける安全なクライアントサイドの構築技術に関する研究	佐々木　雄哉	大堀　淳
	近接学に基づくHMD利用者と非利用者の間のアウェアネスに関する研究	工藤　義礎	北村　喜文
	空間連動する2つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張	天間　遼太郎	北村　喜文
	A Study for Interactive, Flexible and Multi-dimensional Content Visualization （インタラクティブで柔軟な多次元のコンテンツ可視化に関する研究）	黄　鑫 (Xin Huang)	北村　喜文
	奥行き運動方向と単眼運動処理	日下　怜美	塩入　諭
	音像定位における周波数スペクトルの役割に関する研究	日吉　啓	鈴木　陽一
	機械学習を用いた磁気式モーションセンサの精度向上と手形状・位置・姿勢推定	菅原　諒	北村　喜文
	高次感性の富化に寄与する全身振動生成法に関する基礎的研究	阿部　翔太	鈴木　陽一
	時空間手がかりが聴覚の選択的注意に与える効果	藤村　達弘	鈴木　陽一

教　育

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
システム情報科学専攻	質感処理と初期視覚特徴処理の時間特性の比較	高倉　健太郎	塩入　諭
	手の運動の追従眼球運動の促進	及川　諒	塩入　諭
	手の周辺への視覚的注意に与える利き手の影響	笹田　拓臣	塩入　諭
	収音信号の時空間構造に基づく球状アレイ信号圧縮に関する研究	舟山　拓実	鈴木　陽一
	深層学習を利用した画像の持つ高次主観評価の推定 (The Estimation of Higher-Order Image Features with Convolutional Neural Networks)	王　皓	塩入　諭
	先行刺激に依存した知覚バイアスへの空間要因の検討	坂井　拓美	塩入　諭
応用情報科学専攻	AR技術を用いた毛筆書写技能習得支援に関する研究	古川　詩帆	菅沼　拓夫
	SDNにおける経路切り替え時間を考慮したネットワーク制御手法に関する研究	後谷　浩輔	菅沼　拓夫
	画像中の人物の骨格とエッジを用いた所持品領域検出に関する研究	三浦　誠	菅沼　拓夫
	作業を構成する一連のタスクを支援するAR情報提示手法の研究	石川　渓太	菅沼　拓夫
	自動交渉を用いた円滑な情報流通のための情報価値決定手法に関する研究	園部　達也	菅沼　拓夫
	多人数参加型屋外イベントにおけるヘルスモニタリングのための動的ネットワーク構成法	小川　絢也	菅沼　拓夫
医工学専攻	ヘビ型ロボットの自律分散制御における局所感覚情報の統合方策に関する研究	秋山　恭一	石黒　章夫
	イオンチャネルに対する薬物副作用の検出に関する研究	加藤　美生	平野　愛弓
	パッチクランプ法を用いた人工神経細胞回路の入出力特性評価に関する研究	早川　岳志	平野　愛弓
	有機強誘電体材料を用いたフレキシブル圧力センサに関する研究	山宮　慎	平野　愛弓

（博士論文）

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気エネルギーシステム専攻	Study on Noise Suppression Mechanism of Magnetic Film for On-Chip Design （オンチップ設計に向けた磁性膜によるノイズ抑制機構に関する研究）	馬　静言	石山　和志
通信工学専攻	高信頼ミリ波帯 WBAN の研究	秋元　浩平	末松　憲治
	移動体通信端末用RFアナログ回路の高ダイナミックレンジ化に関する研究	田中　聡	末松　憲治
電子工学専攻	光負帰還法を用いた狭線幅半導体レーザ光源の研究	青山　康之祐	八坂　洋
	垂直磁化容易軸を有する1X/Xnm極微細磁気トンネル接合の材料・素子技術に関する研究	渡部　杏太	深見　俊輔
	微細加工シリコン基板に基づく脂質二分子膜の安定化と高効率薬物副作用検査系への応用に関する研究	山浦　大地	平野　愛弓
情報基礎科学専攻	教育・訓練環境における人間とシステムの協働促進手法に関する研究	福谷 遼太	木下　哲男
システム情報科学専攻	Spatial Domain Modeling of Head-Related Transfer Functions (頭部伝達関数の空間領域特性モデリング)	胡　詩超	鈴木　陽一
	複数聴取者への同一音場情報提示に関する研究	清水　拓	鈴木　陽一
	光学的測定に基づく標準マイクロフォン高精度校正法の研究	徐　載甲	鈴木　陽一

第４　研　究

１．研究成果の掲載・公表状況

区　分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
トピックス （新聞記事等）	69	55	69	55	65

２．トピックス一覧

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
1	助成対象の研究を決定　矢崎科学技術振興記念財団	2018/4/4	空調タイムス	大塚　朋廣 （准教授）
2	人の目に見える色再現　東北大　明るさ・鮮やかさを補正	2018/4/26	日経産業新聞	栗木　一郎 （准教授）
3	東北大30の挑戦　社会にインパクトある研究	2018/4/28	河北新報	塩入　諭
4	矢崎科学技術振興記念財団　研究助成15人など決定　第35回研究助成を贈呈	2018/5/8	プロパン産業新聞	大塚　朋廣 （准教授）
5	検証　東芝危機　半導体迷走㊥　称賛なき「世紀の発明」　厚遇の外資に技術者流出	2018/5/23	日経新聞	舛岡　富士雄 （名誉教授）
6	新学長に聞く①東京工業大学学長　益 一哉氏　財源確保でトップセールス	2018/5/24	日刊工業新聞	益　一哉 （1999年度まで通研に在籍）
7	電波の日・情報通信月間　各地で式典	2018/6/4	電波新聞	加藤　寧 （電気通信研究機構長）
8	チコちゃんに叱られる　No.11	2018/6/22(本放送) 2018/6/23(再放送) 2018/8/17(再々放送)	NHK-G	栗木　一郎 （准教授）
9	「フレッシュ！」内コーナー「井戸端Q」	2018/8/2	フジTV	栗木　一郎 （准教授）
10	ロボに脳は必要か？無意識歩行の謎に迫る	2018/8/9	ニュースイッチ 日刊工業新聞	石黒　章夫
11	東北大電通研が先端技術を紹介　きょうまで一般公開	2018/10/7	河北新報	電気通信研究所
12	西澤潤一さん死去　92歳　ミスター半導体	2018/10/26	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）
13	西澤潤一さん死去　92歳　東北大元総長　ミスター半導体	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）
14	河北春秋	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）
15	西澤潤一さん死去　独創と研究第一貫く	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）
16	西澤潤一さん死去　東北振興の意志を継ぎたい	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）
17	西澤潤一さん死去　「ものづくりに力添え」東北経済界感謝と哀悼	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）
18	西澤潤一さん死去　偉大な先輩後に続く　東北大生、研究者誓う	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一 （名誉教授）

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
19	幅広い人脈を生かす　手腕真の大学人	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一（名誉教授）
20	西澤潤一さん死去　情熱闘う研究者	2018/10/27	河北新報	西澤　潤一（名誉教授）
21	「産学官連携に大きな力発揮」　西沢潤一さん死去惜しむ声	2018/10/27	朝日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
22	西沢潤一さん死去　元東北大総長　半導体研究の権威	2018/10/27	朝日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
23	西澤潤一さん死去　92歳　元東北大学長「ミスター半導体」	2018/10/27	毎日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
24	西沢潤一さん死去　92歳　元東北大学長　ミスター半導体	2018/10/27	讀賣新聞	西澤　潤一（名誉教授）
25	西澤潤一氏死去　92歳　ミスター半導体、正論メンバー	2018/10/27	産経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
26	西沢潤一さん死去　92歳、「ミスター半導体」	2018/10/27	日経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
27	訃報通知	2018/10/27	日経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
28	愚直な実験主義者　西沢潤一さん死去　追い求めた独創性	2018/10/27	日経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
29	後進育成、街づくり尽力　西澤潤一氏死去　東北大総長務め	2018/10/27	産経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
30	元東北大学総長　西澤潤一氏死去	2018/10/29	日刊工業新聞	西澤　潤一（名誉教授）
31	西沢潤一氏死去　光通信、半導体の世界的権威	2018/10/29	電波新聞	西澤　潤一（名誉教授）
32	日本を変えた千の技術博	2018/10/29	日経新聞	故 八木　秀次
33	「日本を変えた千の技術博」特集	2018/10/29	日経新聞	故 八木　秀次
34	威厳感じた西澤先生の姿	2018/11/1	河北新報	西澤　潤一（名誉教授）
35	西澤先生と会話　至極の時	2018/11/6	河北新報	西澤　潤一（名誉教授）
36	西澤潤一氏から学んだ「愚直」	2018/11/6	産経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
37	半導体の巨星　西沢潤一氏　愛国者ゆえの批判	2018/11/9	日経産業新聞	西澤　潤一（名誉教授）
38	北村喜文「仮想現実＝VRの世界に潜入」	2018/11/14	東日本放送(5ch)スーパーJチャンネルみやぎ	北村　喜文
39	仙台で来月16日　西澤氏追悼の会	2018/11/17	河北新報	西澤　潤一（名誉教授）
40	故西沢潤一氏（元東北大学長）のお別れの会	2018/11/17	日経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
41	「独創」武器に　半導体研究　西沢潤一さん　元東北大学長　10月21日死去、92歳	2018/11/18	讀賣新聞	西澤　潤一（名誉教授）
42	本田賞、東北大名誉教授の舛岡氏に	2018/11/21	日経産業新聞	舛岡　富士雄（名誉教授）

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
43	とうほく本の散歩道　西澤先生　読書、文理問わず縦横に	2018/11/25	河北新報	西澤　潤一（名誉教授）
44	科学の森　遅い投資判断、東芝転落　「30年先の発想生かせず」	2018/11/29	毎日新聞	舛岡　富士雄（名誉教授）
45	千の技術博⑤　テレビ用アンテナの起源	2018/12/9	日経新聞	故 八木　秀次
46	故　西澤潤一先生　追悼の会	2018/12/11	毎日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
47	徹底した実験、信念貫く　西沢潤一さん（元東北大学長）	2018/12/14	日経新聞	西澤　潤一（名誉教授）
48	国際リニアコライダー巡る動き大詰め	2018/12/14	日刊工業新聞	西澤　潤一（名誉教授）
49	西沢潤一さんの功績をたたえる　追悼の会に800人	2018/12/17	朝日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
50	「ミスター半導体」　仙台で800人追悼	2018/12/17	讀賣新聞	西澤　潤一（名誉教授）
51	元東北大総長「ミスター半導体」　西沢潤一氏お別れの会	2018/12/17	日刊工業新聞	西澤　潤一（名誉教授）
52	「ミスター半導体」しのぶ　西澤潤一氏　お別れ会に800人	2018/12/17	毎日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
53	科学記者の目　日本の独創研究再考　意欲ある人にチャンスを	2018/12/21	日経産業新聞	故 八木　秀次 西澤　潤一（名誉教授）
54	”ミスター半導体”　元東北大学総長　西澤潤一さん	2018/12/26	日刊工業新聞	西澤　潤一（名誉教授）
55	「聞こえるのに聞き取れない…」ひとりで悩まず受診を	2018/12/27	NHK NEWS WEB	坂本　修一（准教授）
56	墓碑銘2018	2018/12/30	讀賣新聞	西澤　潤一（名誉教授）
57	惜別　亡くなった方々	2018/12/30	朝日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
58	悼む　独創の原点は戦争　西澤潤一さん　元東北大学長	2019/1/7	毎日新聞	西澤　潤一（名誉教授）
59	小中学生が色認識の仕組み学ぶ	2019/1/15	愛媛新聞	栗木　一郎（准教授）
60	続千の技術博（5）電波使った技術の先駆け	2019/2/24	日経新聞	石山　和志
61	0.1gの物体対応　微小重力測定センサー　東北大が開発	2019/2/27	日刊工業新聞	松本　伸之（助教）
62	矢崎科学技術振興記念財団　18年度研究助成を決定　学術賞2氏も選定	2019/3/12	日刊産業新聞	横田　信英（助教）
63	矢崎財団が研究助成金　新材料・エネ分野など15人に	2019/3/12	鉄鋼新聞	横田　信英（助教）
64	東北大学、高性能で低電力の不揮発マイコン開発	2019/3/12	EE Times Japan	羽生　貴弘 夏井　雅典（准教授）
65	定年退職教授（国立大・東北分）	2019/3/31	河北新報	鈴木　陽一 木下　哲男

３．科学研究費助成事業採択一覧（平成30年度研究代表者）

研究種目	氏名	30年度交付額（千円）	補助金総額（千円）	研究課題名	採択年度	終了年度
新学術領域研究公募研究	大塚　朋廣	2,800	5,300	スピン変換研究に向けた電気的超高速局所スピンプローブの開発と応用	29	30
	ＳＡＤＧＲＯＶＥ　ＭＡＲＫ	3,500	7,000	Optical pulling force using a nanowaveguide	29	30
	ＴＳＥＮＧ　ＣＨＩＡＨＵＥＩ	1,700	3,300	Non-verbal communication through yawning: a cross-cultural comparison	30	31
	栗木　一郎	3,200	6,400	広輝度帯域における視覚特性と質感知覚に関する研究	30	31
基盤研究(S)	羽生　貴弘	4,900	127,100	脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	28	32
	長　康雄	19,400	149,700	非線形誘電率顕微鏡法を用いた界面電荷輸送現象における諸問題の起源解明	28	32
	尾辻　泰一	22,400	144,600	二次元原子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用	28	32
基盤研究(A)	鈴木　陽一	9,100	33,900	ADVISE理論に基づく自由聴取点高精細3次元音空間システムの開発	28	30
	石黒　章夫	7,100	29,700	マルチテレストリアルロコモーションから解き明かす生物の多様な振る舞いの発現機序	28	31
	本間　尚文	9,000	32,700	冗長ガロア体算術に基づくセキュリティハードウェアの高水準設計技術の研究開発	29	32
	北村　喜文	13,100	34,300	磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用	30	32
基盤研究(B)	亀田　卓	3,400	12,800	Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証	28	30
	杤　修一郎	2,300	13,100	磁場を用いたワイヤレスハプティックインタフェースの開発とその応用	30	32
	加納　剛史	3,500	14,200	自切する生物から切り拓くスーパーレジリアントなシステムの設計論	28	31
	坂本　修一	1,800	14,100	持続的な回復力を有する環境適応可能な防災無線屋外拡声システムの設計	28	30
	高橋　秀幸	6,800	14,200	天災に適応し地域防災力を強化する避難行動支援システムに向けた実証的研究	30	32
基盤研究(C)	菊池　健太郎	1,000	2,700	文脈移動変換と高階書き換え理論に基づくプログラム検証法の研究	28	30
	高橋　秀幸	800	3,500	超高齢化社会における能動的な介護予防支援プラットフォームの開発	28	30
	木下　哲男	800	3,100	可変構造マイクログリッドのための自律適応型運用制御機構の開発	28	30
	堀尾　喜彦	2,300	3,500	脳・身体総合体コンピューティングのための基礎研究	28	30
	中野　圭介	800	3,400	定式化された形式木言語理論に基づくソフトウェア基盤技術の開発	29	32
	高嶋　和毅	1,000	3,500	自律移動デジタルテーブル・ウォール連携による作業空間最適化モデルとシステムの構築	29	31
	崔　正烈	1,300	3,600	自己運動中の音空間知覚における空間非対称性	29	31
	佐藤　昭	1,700	3,400	二次元周期回折構造を有するプラズモニックTHzディテクタの研究	30	32
	平永　良臣	1,600	3,400	SNDMを用いた誘電率ナノイメージング手法の開発と材料・デバイス評価への展開	30	32
	大堀　淳	700	3,300	超並列技術をML系高信頼言語SML#に統合した超並列関数型言語の実現と最適化	30	33
	浅田　和之	800	2,200	プログラミング言語の普遍的モデルとプログラム推論	30	32
	夏井　雅典	1,200	3,600	完全自律誤り訂正VLSI設計技術の構築と脳型LSIシステムへの応用展開	28	30
挑戦的研究（開拓）	尾辻　泰一	4,900	21,270	グラフェンディラックフェルミオンのプラズモン異常不安定性とそのテラヘルツ機能応用	30	33
挑戦的萌芽研究	塩入　諭	1,200	2,600	幻肢錯覚とフラッシュラグ効果を用いた幻肢の脳内表現の推定とその応用	28	30
	坂本　修一	0	2,600	聴覚情報を活用した雰囲気ジェネレータの試作	28	30
	鬼沢　直哉	1,300	2,700	超並列ストカスティック演算に基づく大規模な人間的視覚処理ハードウェア実現への挑戦	28	30

研　究

研究種目	氏名	30年度交付額（千円）	補助金総額（千円）	研究課題名	採択年度	終了年度
挑戦的研究（萌芽）	枝松　圭一	1,700	4,900	窒素内包C60を用いた相互可干渉単一光子の発生と高性能単一光子源の開発	29	30
	石山　和志	2,800	4,900	低侵襲高周波磁界計測のための新たな計測方式	29	30
	佐藤　茂雄	1,400	4,700	ハードウェア実装を前提とした脳型量子計算アルゴリズムの学習に関する研究	29	30
	末光　眞希	1,700	4,800	グラフェンデバイスの実用化を基礎づけるSiC結晶上擬自立化グラフェン作製法の革新	29	30
	鈴木　陽一	1,900	4,900	目立つ音を目立たせずに創るートップダウン聴覚情景分析で音環境に優しいサイン音ー	29	30
	櫻庭　政夫	3,800	4,900	Ｓｉ極薄膜における低エネルギープラズマ誘起再配列による結晶構造転換の実験的研究	30	31
	吹留　博一	2,300	4,800	生体分子反応における量子効果の直接観測を可能とする雰囲気制御・時間分解Ｘ線分光法	30	31
若手研究	但木　大介	1,100	1,800	有機FETを用いたフレキシブル圧力センサの開発	30	31
若手研究(B)	上野　雄大	500	3,000	実用プログラミング言語のための系統的言語開発基盤の実現	27	30
	羽鳥　康裕	900	3,000	移動に随伴する注意の神経メカニズム	29	30
	ＳＡＬＶＡＤＯＲ ＣＥＳＡＲ	1,200	3,100	Perceptual constancy in spatial hearing	29	30
	渡辺　隆之	900	3,300	電流注入型グラフェンテラヘルツプラズモニックレーザーの創出	29	31
	横田　信英	600	3,300	マッハツェンダ変調器を用いた超高速イメージングシステムの研究	29	30
国際共同研究強化	坂本　修一	0	9,900	人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立	28	30
	亀田　卓	0	10,800	Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証	29	31
	夏井　雅典	0	10,200	知的環境適応型VLSI基盤技術の構築と高信頼脳型LSIシステムへの応用展開	29	31
国際共同研究強化(B)	深見　俊輔	2,700	13,800	反強磁性ヘテロ構造におけるスピン軌道トルク磁化反転の空間・元素・時間分解観察	30	32

※基金分については2018年度請求金額を記載

４．競争的資金状況

単位：件、百万円

		平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
民間等との共同研究	件数	33	33	34	39	43
	金額	66	48	32	74	88
受託研究	件数	22	24	24	16	19
	金額	496	586	429	180	187
奨学寄付金	件数	16	22	36	30	36
	金額	17	14	36	41	54

５．受賞・表彰件数

区　　分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
叙勲・受賞・表彰	40	41	50	52	50

６．受賞・表彰者一覧

団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサーの称号	中沢　正隆	（特任教授）	専門分野において極めて高い業績を有し、かつ先導的な役割を担う。	平成30年4月3日
公益財団法人新技術開発財団 第50回（平成29年度）市村学術賞	本間　尚文	環境調和型セキュア情報システム	ハードウェアアルゴリズムの高水準設計手法の開発とその応用	平成30年4月16日
文部科学省・ 文部科学大臣表彰 若手科学者賞	大塚　朋廣	量子デバイス	固体微細構造中局所電子状態の精密高速観測と制御の研究	平成30年4月17日
公益財団法人船井情報科学振興財団 第17回（平成29年度）船井研究奨励賞	横田　信英	応用量子光学	マッハツェンダ変調器を用いた新奇光パルス制御技術の研究に関する顕著な業績に関して	平成30年4月21日
公益社団法人応用物理学会 第12回（2018年度）応用物理学会フェロー表彰	尾辻　泰一	超ブロードバンド信号処理	二次元プラズモンの共鳴現象を用いたテラヘルツ素子の先駆的研究	平成30年5月10日
一般社団法人電気学会 第74回電気学術振興賞進歩賞	村岡　裕明	（名誉教授）	「耐災害性を強化する地域分散ストレージ技術の開発と実証」	平成30年5月31日
理化学研究所理事長感謝状	大塚　朋廣	量子デバイス	超高速量子ドットプローブを用いた固体微細デバイス中の局所電子状態のダイナミック計測	平成30年5月31日
電子情報通信学会 集積回路研究会 2017年度研究会優秀若手講演賞	加藤　健太郎	新概念VLSIシステム	時系列特徴を用いたチップ内データ転送エラー訂正手法とその可能性	平成30年5月31日
一般社団法人情報処理学会 コンシューマ・デバイス&システム研究会・CDS活動貢献賞	高橋　秀幸	コミュニケーションネットワーク	コンシューマ・デバイス＆システム研究会(CDS)の運営、ならびに、論文誌コンシューマ・デバイス＆システムの編集に多大な貢献を行ったことに対する表彰。	平成30年6月1日
AUMS Young Researcher Award	深見　俊輔	スピントロニクス	Spin-orbit Torque Switching and its Applications -From High-Speed Memory to Artificial Neural Network-	平成30年6月4日
Asian Union of Magnetics Society (AUMS), AUMS Award 2018	村岡　裕明	（名誉教授）	For contribution to high density magnetic recording	平成30年6月4日
一般社団法人情報処理学会 東北支部・奨励賞	齋藤　雄二	先端音情報システム	受賞論文名 「MEMS気圧センサを用いたインフラサウンド収音用マイクロフォンの試作」	平成30年6月20日
German Innovation Award "Gottfried Wagener Prize"2018 （ドイツイノベーションアワード "ゴットフリードワグネル賞"2018）	本間　尚文	環境調和型セキュア情報システム	Design Methodology for Lightweight Tamper-Resistant Cryptographic Hardware （軽量・耐タンパー性暗号ハードウェア設計技術）	平成30年6月26日
The 3rd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage Best Poster Award	羽生　貴弘 鈴木　大輔	新概念VLSIシステム	Design of a Multi-Functional MTJ-Based FPGA for an Ultra-Low-Power Microcontroller Unit	平成30年6月29日

団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
The 26th Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2018)・Young Researcher Award	鈴木　雅也	超ブロードバンド信号処理	AWAD 2018における若手研究者が主著・登壇した発表論文の中で最も優れた２件の発表者に対して授与。 受賞課題　"Introduction of 2D Diffraction Grating into Grating-Gate Plasmonic THz Detector for Controlling Its Polarization Characteristics."	平成30年7月4日
OECC (Opto-Electronics and Communication Conference) 2018 Best Paper Award	中沢　正隆 廣岡　俊彦 吉田　真人 葛西　恵介 竹節　直也 寺山　雅樹	（特任教授） 超高速光通信 応用量子光学	Reverse Phase Modulation Technique for GAWBS Noise Error Floor Elimination in 1024 QAM-160 km Digital Coherent Transmission	平成30年7月4日
OECC (Opto-Electronics and Communication Conference) 2018 Best Student Paper Award	木村　光佑	超高速光通信	Single-Channel 7.68 Tbit/s, 64 QAM Coherent Nyquist Pulse Transmission over 150 km with a Spectral Efficiency of 9.7 bit/s/Hz	平成30年7月4日
応用物理学会解説論文賞	長　康雄	誘電ナノデバイス	High resolution characterization of fine structure of semiconductor device and material using scanning nonliear dielectric microscopy	平成30年7月6日
第19回博士後期課程学生発表会ベストプレゼンテーション賞	寺岡　諒	高次視覚情報システム 先端音情報システム	受賞論文名 「聴覚の空間的注意の情報処理過程に関する研究 」	平成30年7月13日
ICM2018・Best Poster Award	大野　英男 深見　俊輔 陣内　佛霖 佐藤　英夫 渡部　杏太	（総長） スピントロニクス	Magnetization reversal mechanism of shape-anisotropy magnetic tunnel junctions	平成30年7月14日
理化学研究所理事長感謝状	大塚　朋廣	量子デバイス	固体微細構造中局所電子状態の精密高速観測と制御の研究	平成30年7月26日
公益社団法人日本磁気学会「優秀研究賞」	深見　俊輔	スピントロニクス	「高速メモリ・人工神経回路網応用に向けた不揮発性スピントロニクス素子技術に関する研究」	平成30年9月12日
公益社団法人日本磁気学会「学会賞」	村岡　裕明	（名誉教授）	「垂直磁気記録方式による高密度磁気記録システム技術に関する研究」	平成30年9月12日
公益財団法人本田財団・2018年度本田賞	舛岡　富士雄	（名誉教授）	世界で初めて半導体不揮発性メモリーの大容量化を実現した技術である「フラッシュメモリー」の発明と、この領域における技術進化や人材の輩出に大きく貢献した。	平成30年9月28日
革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA) 若手部門 ポスター賞	古市　朋之	先端ワイヤレス通信技術	電子情報通信学会 MIKA2018で行った「無線IoTリアルタイム周波数センサ用ダイレクトRFアンダーサンプリング受信機のクロック周波数の検討」の論文発表	平成30年9月28日
電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会・学生ポスター奨励賞最優秀賞	平田　綾也	超高速光通信	単一チャネル10.2 Tbit/s-300 km光ナイキストパルス伝送	平成30年10月12日
電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会・学生ポスター奨励賞優秀賞	木村　光佑	超高速光通信	9.7 bit/s/Hzの周波数利用効率を有する単一チャネル7.68 Tbit/s-150 km, 64 QAMコヒーレントナイキストパルス伝送	平成30年10月12日

研　究

団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会・学生ポスター奨励賞優秀賞	竹節　直也	応用量子光学	デジタルコヒーレント光伝送における GAWBS雑音の観測とその補償技術の開発	平成30年10月12日
米国光学会（OSA） ・2019年度フェロー表彰	尾辻　泰一	超ブロードバンド信号処理	半導体ナノ・ヘテロ構造における二次元プラズモンおよび二次元電子系を利用したテラヘルツ波放射・検出に関する先駆的研究	平成30年10月22日
The 5th International Workshop on Smart Wireless Communications Best Paper Award	古市　朋之 本良　瑞樹 亀田　卓 末松　憲治	先端ワイヤレス通信技術	SmartCom 2018で行った「Direct RF undersampling receiver for wireless IoT real-time spectrum monitor using high-speed clock switching 」の論文発表	平成30年10月31日
Asia-Pacific Microwave Conference（APMC）2018・ Student Prize	張　俊晧	先端ワイヤレス通信技術	APMC2018で行った「A 26GHz-band Image Enhancement Type 1-Bit DAC for Direct Digital RF 1-Bit Modulator」の論文発表	平成30年11月9日
第28回国際学生対抗VRコンテスト（IVRC 2018）・ Unity賞，ドスパラ賞	市川　将太郎 大西　悠貴 林　大悟 海老　晃行 遠藤　勇 鈴木　蒼生 庭野　杏莉	情報コンテンツ	「Be Bait！～求めよ，さらば食べられん～」において，ハンモックを利用した海中を泳ぐ感覚の提示や，体験のUXデザイン・オペレーションが高く評価され，第28回国際学生対抗VRコンテスト（IVRC 2018）の予選を経て決勝大会に進み，2件の協賛企業賞（Unity賞とドスパラ賞）を受賞	平成30年11月15日
一般財団法人石田實記念財団 ・平成30年度研究奨励賞	片野　諭	ナノフォトエレクトロニクス	「走査トンネル顕微鏡を用いたナノスケール光電子物性解明と極限物性制御に関する研究」	平成30年11月30日
計測自動制御学会（SICE）東北支部・ 「優秀発表奨励賞」	秋山　恭一	実世界コンピューティング	本賞は第320回計測自動制御学会東北支部研究集会における優秀な発表に対して授与され、その功績を讃えるもの。 「あらゆる環境下で推進可能なヘビ型ロボットの実現に向けて　～手応え制御則の再考察～」	平成30年12月8日
電子情報通信学会 電子デバイス研究専門委員会 ・論文発表奨励賞	鈴木　雅也	超ブロードバンド信号処理	電子情報通信学会電子デバイス研究専門委員会主催「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」研究会（平成30年12月開催）において、学生が主著・登壇した発表論文の中で最も優れた発表者に対して授与. 受賞課題　″格子ゲート構造プラズモニックTHzディテクタの偏光特性制御のための二次元ナノアンテナ導入,″ ○鈴木雅也・細谷友崇・末光哲也（東北大）・瀧田佑馬・伊藤弘昌・南出泰亜（理研）・尾辻泰一・佐藤　昭（東北大）	平成31年1月28日
計測自動制御学会・ 学術奨励賞 研究奨励賞	宮澤　咲紀子	実世界コンピューティング	本賞は、計測自動制御学会が主催する講演会・シンポジウム等の研究発表会において、優れた内容の研究報告を行った登壇者から選ばれるもので、その功績を讃えるもの。	平成31年2月8日
2nd Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics - ・Best Poster Award	クレンコフ　アレクサンダー（KURENKOV Aleksandr）	スピントロニクス学術連携研究教育センター	Observation of memristive domain patterns during spin-orbit torque switching in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures	平成31年2月17日
DA・TE・APPS！2019 ITコンテスト 課題解決型ITサービス部門 最優秀賞	林　大悟 市川　将太郎 大西　悠貴 鈴木　蒼生 庭野　杏莉	情報コンテンツ	DA・TE・APPS！2019 ITコンテスト 課題解決型スマホアプリ部門 最優秀賞受賞	平成31年2月23日
IEEE Computational Intelligence Society（CIS）・ Young Researcher Award（YRA）	栗原　翔太	ナノ集積デバイス・プロセス	本賞は、Computational Intelligenceの領域に関連の深い研究会・シンポジウムにて35歳以下の優れた論文発表者でかつ第一著者を表彰するもので、その功績を讃えるもの。	平成31年3月5日

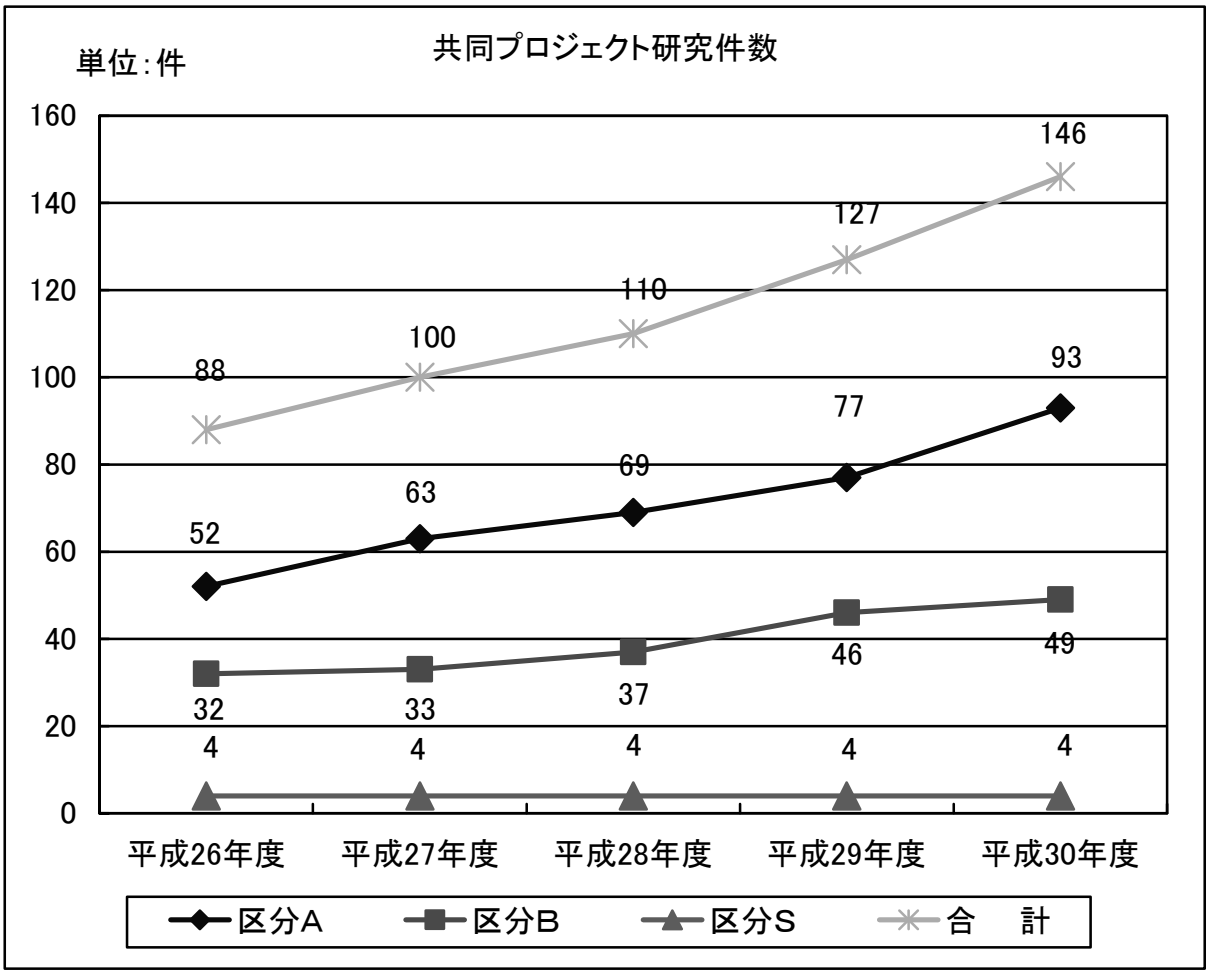
団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
第23回一般社団法人情報処理学会シンポジウム「インタラクション2019」・インタラクティブ発表賞（PC推薦）	コウ　ムティン（Huang Mengting） 藤田　和之 高嶋　和毅 北村　喜文	情報コンテンツ	Mengting Huang, 藤田 和之, 高嶋 和毅, 真鍋 宏幸 (NTTドコモ), 北村 喜文. タッチスクリーン上に重ねた透明シートを利用した位置と速度制御の併用が可能なユーザインタフェース. インタラクション2019論文集, pp. 276-278, 2019年3月.	平成31年3月8日
第21回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ（PPL 2019）・一般発表賞	中野　圭介	コンピューティング情報理論	「On Repetitive Right Application of B-terms」の発表に関して	平成31年3月8日
東北地区 若手研究者研究発表会・優秀発表賞	渋谷　壮	先端音情報システム	受賞論文名・ 「背景音の付加が避難行動を喚起する音情報提示に与える影響」	平成31年3月13日
一般社団法人情報処理学会・ 2018年度（平成30年度）山下記念研究賞	柳生　寛幸	先端音情報システム	受賞論文名・ 「視聴覚コンテンツの音情報から生成した振動の高次感性促進効果」	平成31年3月15日
電子情報通信学会・ 2018年度学術奨励賞	管　貴志	超高速光通信	注入同期法を用いた12 bit/s/Hz, 58.2 Tbit/s, 256 QAM-160 km C バンドWDM伝送	平成31年3月21日
電子情報通信学会・ 2018年度学術奨励賞	平田　綾也	超高速光通信	単一チャネル10.2 Tbit/s-300 km光ナイキストパルス伝送	平成31年3月21日
東北大学大学院工学研究科・ 平成30年度工学研究科長賞	渡部　杏太	スピントロニクス	平成30年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。	平成31年3月26日
東北大学大学院工学研究科・ 平成30年度工学研究科長賞	木村　光佑	超高速光通信	平成30年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。 「光ナイキストパルスを用いた超高速・高効率ディジタルコヒーレント伝送に関する研究」	平成31年3月26日
東北大学・ 平成30年度総長賞	齊藤　悠一	生体電磁情報	学士課程における優れた学業成績	平成31年3月27日
田中貴金属記念財団・ ゴールド賞	深見　俊輔	スピントロニクス	「CoPt系ナノコンポジット材料を用いたアナログナノスピンメモリ素子の創製と脳型情報処理応用」	平成31年3月28日
日本バーチャルリアリティ学会・ 学術奨励賞	市川　将太郎	情報コンテンツ	第23回日本バーチャルリアリティ学会大会、学術奨励賞を受賞。 受賞論文名：「ブロックとコネクタを用いたVR世界構築とインタラクション」	平成31年3月29日

７．発表論文数

区　分		26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
査読付学術論文	英文	126	129	151	147	112
	和文	15	10	8	7	12
	計	141	139	159	154	124
査読付国際会議		255	239	277	255	255
解説・総説		11	9	12	17	12
査読付国内会議、査読なし国内研究会・講演会		282	302	386	356	327

第５　共同プロジェクト研究

1．共同プロジェクト研究件数



（単位：件）

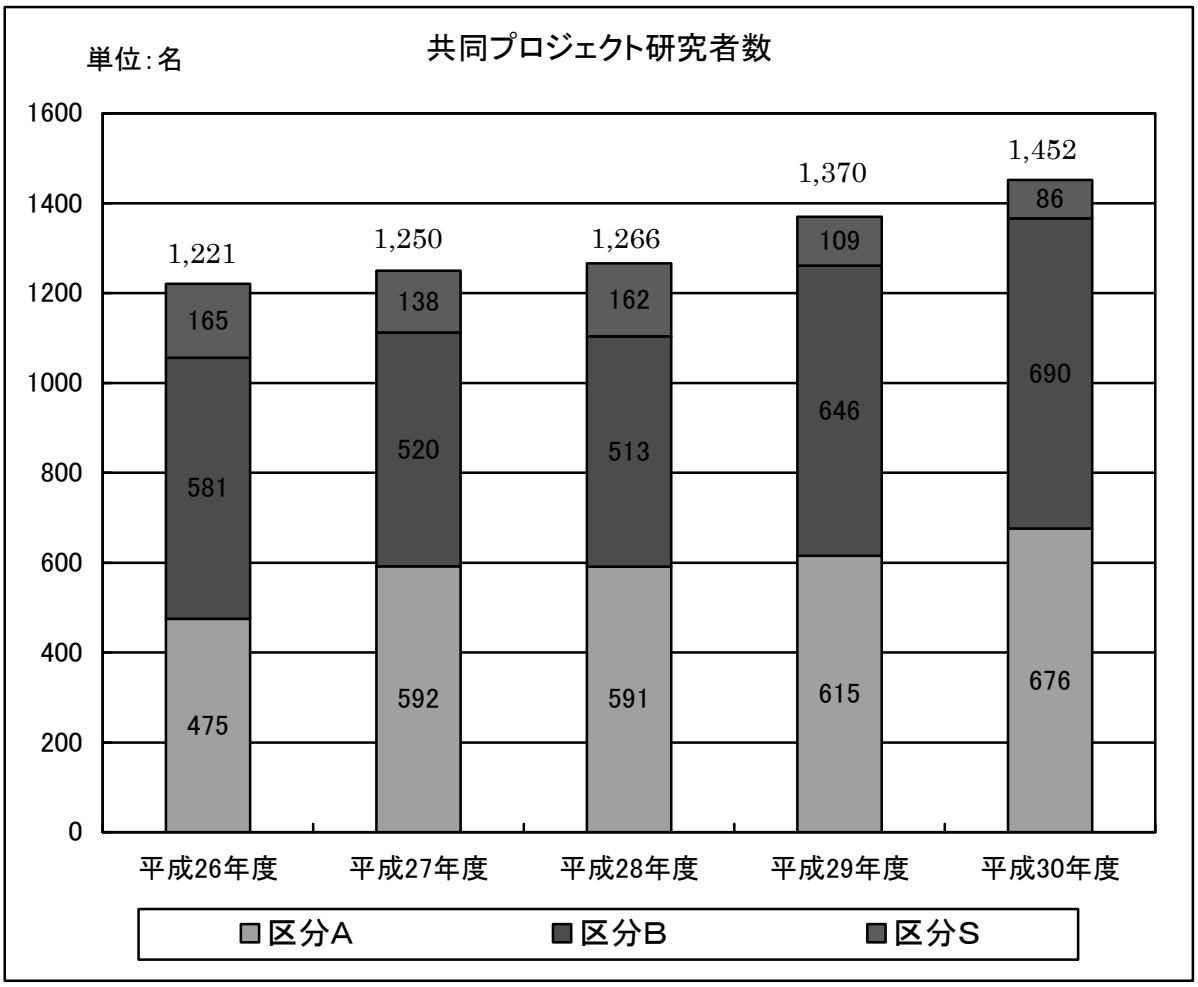
区　分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
区分Ａ	52	63	69	77	93
区分Ｂ	32	33	37	46	49
区分Ｓ	4	4	4	4	4
合　計	88	100	110	127	146

多様な共同プロジェクト研究のさらなる発展を推進すべく、研究区分に加え、6 つの研究タイプを設けている。タイプ別の採択状況は以下のとおりです。

【平成 30 年度タイプ別採択件数】（複数選択可）

・大型プロジェクト提案型：7 件
・若手研究者対象型：14 件
・萌芽的研究支援型：56 件
・先端的研究推進型：63 件
・国際共同研究推進型：44 件
・産学共同研究推進型：14 件
・その他：2 件

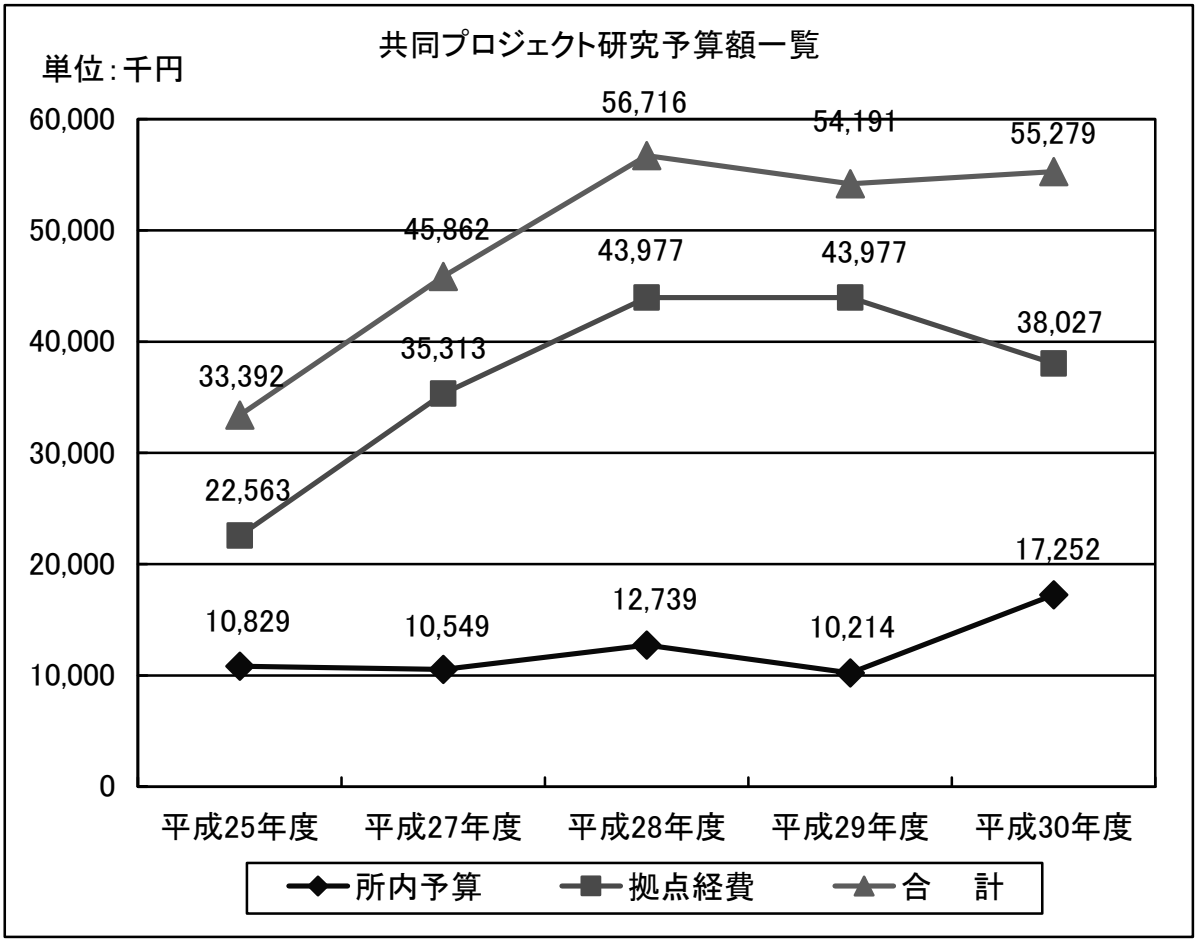
２．共同プロジェクト研究者数



（単位：名）

	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
区分Ａ	475	592	591	615	676
：うち民間	26	26	26	27	29
区分Ｂ	581	520	513	646	690
：うち民間	48	38	46	60	43
区分Ｓ	165	138	162	109	86
：うち民間	0	0	0	0	0
計	1, 221	1, 250	1, 266	1, 370	1, 452

3．共同プロジェクト研究予算額



（単位：千円）

区　　分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
所内予算	10, 687	10, 549	12, 739	10, 214	17, 252
拠点経費	37, 563	35, 313	43, 977	43, 977	38, 027
合　　計	48, 250	45, 862	56, 716	54, 191	55, 279

４．共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
1.スピントロニクス集積回路を用いた分散型ITシステム	JST-ImPACT(革新的研究開発推進プログラム)(総額予算19億円)	H26-H30年度 代表：大野英男教授 参加者：羽生貴弘教授、夏井雅典准教授、深見俊輔准教授、望月明准教授、金井駿助教、鈴木大輔助教、鬼沢直哉助教(以上電気通信研究所)、遠藤哲郎教授、村口正和助教(以上工学研究科)、松倉文礼教授(原子分子材料科学高等研究機構)、池田正二教授(国際集積エレクトロニクス研究開発センター)佐藤英夫准教授(以上省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター)	革新的なスピントロニクス技術を用いてメモリおよび情報処理までを不揮発・超省電力化し、無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器を開発、生活様式を変える革新的省エネ・エコ社会の実現を目指すため、①エナジーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子開発②エナジーハーベスティングで駆動する集積回路向け回路・アーキテクチャ開発③エナジーハーベスティングで駆動する集積回路と300mm集積プロセスの開発　を推進している。本研究の一部は共同プロジェクト研究「半導体スピントロニクス」(H13-H14年度)から発展した。(H13/B03)
2.脳内身体表現の変容機構の理解と制御	科学研究費助成事業新学術領域研究(総額予算10億5,900万円)	H26-H30年度 共同研究者：大脇　大助教、石黒章夫教授、代表機関：東京大学、参加機関：旭川医科大学、国際電気通信基礎技術研究所、国立精神・神経医療研究センター、東京農工大学、慶応大学、東邦大学、京都大学、大阪大学、電気通信大学、国立情報学研究所、近畿大学、杏林大学、立命館大学、北陸先端科学技術大学院大学	本領域では、脳内身体表現の神経機構とその長期的変容メカニズムを明らかにし、リハビリテーション介入へと応用することを目的とする。このため、システムの振る舞いを数理モデルとして整合的に記述できるシステム工学を仲立ちとして脳科学とリハビリテーション医学を融合することを試みる。これにより、運動制御と身体認知を統合的に理解し、真に効果的なリハビリテーション法を確立する「身体性システム科学」なる新たな学問領域の創出を目指す。本プロジェクトの内容は、H25年度・H26年度共同研究プロジェクト(身体性に基づく人間の適応的運動機能の理解)における議論を通して提案されたものである。 (H25/B08)
3.大自由度を巧みに操り実世界環境下を動き回るロボットの構築	JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究(総額予算3億3,000万円)	H26-31年度 共同研究者：石黒章夫教授、代表機関：広島大学、参加機関：北海道大学、大阪大学	実世界をしなやかかつタフに動き回るロボットは依然として実現されていない。本プロジェクトは、数学者、生物学者、ロボット工学者そして制御工学者の協働を通して、生物のロコモーションに内在する制御原理を抽出し、これを基にして既存技術では決して達成できないような、タフなロボットの創成を目指している。本プロジェクトの内容は、H24年度・H25年度共同研究プロジェクト(生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御)における議論を通して提案されたものである。 (H24/B09)
4.超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成	JST-CREST 2億円	H26-31年度 代表：平野愛弓教授(材料科学高等研究所/電気通信研究所) 庭野道夫教授(電気通信研究所) 参加機関 東北大学 山形大学 東京工科大学	安定化脂質二分子膜内にイオンや電子が伝導できるナノスケールチャネルを形成し、それらのナノチャネルの機能を活用した種々の化学・物理センサの構築を目指す。本プロジェクトは平成24-26年度、共同プロジェクト研究「人工脂質二分子膜の形成とバイオ情報デバイスへの応用」から発展したプロジェクトである。(H24/A13)
5.メゾスコピック系における非平衡スピン輸送の微視的理解とその制御	科学研究費補助金基盤研究(S)(総額予算1億9,448万円)	H26-H30年度 小林研介教授(大阪大学)	ゆらぎを精緻にプローブすることにより、スピンのダイナミクスを明らかにする、という構想に基づく計画である。(H25/B01)
6.二次元原子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用	科学研究費補助金基盤研究(S)(総額予算1億8,798万円)	H28-32年度 尾辻泰一(代表) 佐藤昭(分担) 渡辺隆之(分担) 吹留博一(分担)	本研究は、バンドギャップレスな半金属的性質を有するグラフェンを中心として、h-BN等の絶縁体やMoS2等の遷移金属ジカルコゲナイド半導体とのvan der Waals接合からなる二次元原子薄膜ヘテロ接合材料をプラットフォームとして創製し、量子効果やプラズモニック効果などの二次元原子薄膜ヘテロ接合系に特徴付けられた電子・フォトン・プラズモン・フォノンが関わる複合量子系に現れる物理現象を動作機構として新たに導入し、テラヘルツ波領域での増幅・発振・検出・非線形波動制御の各機能を、従来の材料・物理機構が果たし得なかった極めて高いエネルギー効率で実現し得るデバイスを創出することを目的とする。(H22/A01、H27/A04)

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
7.昆虫のゾンビ化から紐解く生物の多様な振る舞いの源泉	科学研究費補助金基盤研究(S)(総額予算1億7,784万円)	H29-33年度 大須賀公一(大阪大学) 小林　亮(広島大学) 石黒章夫(東北大学) など	本研究では、ある種のハチの狩猟行動から着想を得て、生物の上位脳機能を生きたままで段階的に阻害するという斬新な方法により、適応能力に内在する制御構造を同定する。(H26/B07)
8.脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	科学研究費助成事業基盤研究(S)(総額予算1億2,710万円)	H28-32年度 羽生貴弘教授	本研究では、脳内情報処理で本質的に利用されている非同期式制御回路に、不揮発性素子を用いることで極細粒度パワーゲーティングを適用したダークシリコンロジックLSIの基盤技術を構築する．その技術を脳型アプリケーションに応用することで、脳型コンピューティング実現への可能性を開く。(H26/B09)
9.不要電波の広帯域化に対応した電波環境改善技術の研究開発	総務省電波資源拡大のための研究開発(総額予算1億1,000万円)	H27-H30年度 代表：山口正洋教授(東北大学工学研究科) 参加者：石山和志教授(東北大学電気通信研究所)	本プロジェクトは、無線通信に影響を与える不要電波の測定技術ならびに遮蔽技術に関する研究開発を行っている。本研究は共同プロジェクト研究「ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究」(H18/B05)から発展した。
10.室温原子層堆積法による金属酸化物ナノコーティング技術の事業化	JST大学発新産業創出プログラム START(総額予算 8,880万円)	H28-30年度 廣瀬文彦教授(山形大学)	酸化膜形成技術として、研究代表者の廣瀬(山形大学)が独自に開発した原子層堆積法の産業実証を目指す研究。 (H27/B09)
11.新概念スピントロニクス素子創成のための国際研究拠点形成	JSPS研究拠点形成事業　A. 先端拠点形成型(総額予算約 8,000万円)	H27-H31年度 大野英男教授、村岡裕明教授、白井正文教授(東北大) 参加機関 ヨーク大学(英国) カイザースラウテルン工科大学(独国)	日英独の拠点大学を中心として新規磁性材料、スピン・光相互変換、排熱利用に関する共同研究を推進して、新概念スピントロニクス素子の創成に挑戦する。(H26/A05)
12.Beyond 5Gに向けたグラフェン/BN原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発	総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）フェーズII(総額7,800千円)	R1年度 吹留博一准教授 渡邊一世主任研究員 （NICT）	Society 5.0等が目指す超スマート社会は、マイクロ秒オーダーの超低遅延性をもつ次々世代無線通信システム（Beyond 5G）を必要とする。本研究開発は、Beyond 5Gに資する「実用的ゲート長（Lg)100 nmで遮断周波数（ft）100 GHzを突破する」性能をもつ低環境負荷なグラフェン・トランジスタ（GFET）を実現する（H30/A01）
13.ヨッタインフォマティクス研究センター設置	国立大学法人機能強化促進費 （H30-R1年度予算 6,000万円）	H30年度-R4年度予定 塩入諭教授（電気通信研究所） 坂井信之教授（文学研究科） 大町真一郎教授（工学研究科）他。）	共同プロジェクト研究「情報の質と価値を扱う科学技術の創造」（H28-H30）で進めた、情報の質と価値を取り扱うための研究組織「ヨッタインフォマティクス研究センター」を設置し、そのための文理融合プロジェクトを推進する。（H28/B14）
14.行動認識と行動介入による情報駆動型社会システムの実証	JSTさきがけ(総額予算5,200万円)	H28-31年度 荒川豊准教授(奈良先端科学技術大学院大学)	情報技術によって、人に対して割り込みをかけ、その割り込みによって引き起こされる行動変容を社会を駆動するエネルギーにしようという挑戦的な研究である。(H27/A26)
15.高安全・高信頼な情報通信のためのトロイフリーLSIシステム設計・検証技術の開発	公益財団法人セコム科学技術振興財団 （総額予算 5,000万円）	H30-R4年度 本間尚文教授，上野嶺助教 参加機関 東北大学 神戸大学 奈良先端科学技術大学院大学	本研究開発では、LSIシステムに挿入する悪意のあるハードウェア（ハードウェアトロイ）の検知手法を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究」（H29-30年度）および「電磁情報セキュリティに関する研究」（H29-30年度）から発展した。（H29/B16,H29/B19）
16.インバーティブル論理に基づくCMOSベース学習ハードウェアの実現に関する基礎的研究	民間(キヤノンメディカルシステムズ)(総額予算 5,000万円)	H30.1.4-H32.3.31 羽生貴弘教授、鬼沢直哉助教	本研究開発では、CMOSインバーティブル論理を構築し、その手法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究H29/B17、H29/B23から発展した。

共同プロジェクト研究

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
17.マルチテレストリアルロコモーションから解き明かす生物の多様な振る舞いの発現機序	科学研究費補助金基盤研究(A)(総額予算3,861万円)	H28-31年度 石黒章夫(東北大学) 青沼仁志(北海道大学)	本研究では、培地の物理的特性の変化に応じて身体の自由度の使い方を巧みに変化させるムカデに着目して、適応的運動機能の発現機序を解明することを目的としている。(H26/B07)
18.エッジ型学習用ハードウェア実現に向けたインバーティブルロジックの創成	JSTさきがけ（革新的コンピューティング技術の開拓)(3.700万円)	H30.10-R4.03 鬼沢直哉助教	本研究開発では、インバーティブル論理に基づく学習処理アルゴリズムの考案とそのハードウェア実現手法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究H29/B23から発展した。
19.磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用	科学研究費助成事業 基盤研究（A） （総額予算 3,430万円）	H30-R2年度 代表: 北村喜文教授 片山統裕准教授（東北大学情報科学研究科) 高嶋和毅准教授（東北大学電気通信研究所) 栫修一郎准教授（東北大学電気通信研究所)	本研究開発では、従来は計測できなかった対象の3次元の動きを幅広く計測できる新しい磁気式モーションセンサシステムを実現し、いくつかの分野で未解決であった重要な実問題への応用を図る。本研究は、共同プロジェクト研究「深層学習を用いた３次元動作解析、生成の研究、およびHCIへの応用」（H29/A14)、「Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic」(H29/A36)から発展した。
20.Robotics-inspired biology: decoding flexibility of motor control by studying amphibious locomotion	Human Frontier Science Program(予算総額33万USD)	H29-32年度 A。J。Ijspeert (EPFL) E。Standen (University of Ottawa) 石黒章夫(東北大学)	本プロジェクトでは、サンショウウオなど水陸両用のロコモーション様式を発現する動物種に着目することで、環境の変化に呼応して振る舞いを柔軟に変化させる制御原理の解明を目指す。(H26/B07)
21.脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	科学研究費助成事業 基盤研究(A)(総額予算3,320万円) ※H28年度途中に基盤研究(S)へ移行	H28-32年度 羽生貴弘教授	本研究では、脳内情報処理で本質的に利用されている非同期式制御に着目し、それにダークシリコン的アプローチを適用する．これにより、パワーゲーティング機能に適する非同期式回路構造とその動作原理を構築し、実用的脳型コンピューティング実現への可能性を開く。(H26/B09)
22.総務省直轄事業「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」	総務省電波資源拡大のための研究開発平成29年度新規課題提案(初年度総額2,545万円)	H29-H32年度 末松憲治教授 亀田卓准教授 本良瑞樹助教	本研究開発は、工場などの狭空間における複数通信の衝突・干渉を防ぐ技術の開発のために小形な周波数プロファイリング装置の実現を目指す。（H29/A13）
23.光子数識別量子ナノフォトニクスの創成	文部科学省・国家課題対応型研究開発推進事業（Q-LEAP） （H30-R1年度予算2,970万円）	H31-R9年度 枝松圭一教授 福田大治（産業技術総合研究所））	光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測を高度化。（H27/A05）
24.音波・電波センサネットワークによる早期災害検出に向けた研究開発	総務省 SCOPE(171502001)(H29年度予算1,995万円)	H29-H30年度 研究代表者：西村竜一主任研究員(国立研究開発法人情報通信研究機構) 研究分担者：鈴木陽一教授(電気通信研究所)	本研究開発では、センサネットワークにより音波や電波を時間的および空間的に分解能を高めてセンシングすることで、災害関連要素を取得する観測網の実現に向けた研究開発を行う。本研究は、H23年度の共プロ研究「防災広報無線の緊急拡声情報伝達システムの高度化に関する研究」と、H27年度共プロ研究「ロングパスエコーを考慮できる音声了解度の物理評価指標の開発(採択番号：H27/A19)」から発展した。
25.音声処理技術を活用した好感度を改善する発話訓練支援システムの研究	科学研究費若手研究(A) 16H05899(総額予算1,960万円)	H28-H30年度 森勢将雅准教授(山梨大学)	共同プロジェクト研究「感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研究」(H25/A06田中章浩)および「非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による音声処理技術の開発」(H25/A08森勢将雅)の研究代表者の間で、共同プロジェクト研究会での議論をきっかけに本共同研究が開始した。好感度評価の性差に着目した女性発話の音響特徴量分析を実施した。（H25/A06, H25/A08）

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
26.人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業	文部科学省・国立大学法人等運営費交付金特別経費・機能強化経費(H28年度予算1,855万円)	H26-H31年度 羽生貴弘教授、石黒章夫教授、佐藤茂雄教授、鈴木陽一教授、塩入諭教授、坂本修一准教授、松宮一道准教授、夏井雅典准教授、加納剛史准教授、秋間学尚助教、鬼沢直哉助教、大脇大助教	電脳社会と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報処理システムの実現には、ハードウェアとソフトウェアが分離した従来型コンピューティングから脱却した全く新しい情報処理構造と、高速かつ高効率な情報処理アルゴリズムの構築が不可欠である。本事業では、ハード・ソフト融合型処理メカニズムに立脚した新しい集積回路システム「新概念脳型LSI」を世界に先駆けて実現することを目的とする。初年度(H26年度)は視覚情報処理の基本構造を確率論的計算構造(ハード・ソフト融合型処理構造の典型例の１つ)で実現できることを実証すると共に、本事業の成果の一部を発展させた研究テーマが、平成28年度科研費・基盤研究Sに採択されるなど、脳型LSI創出事業の一歩を着実に踏み出した。 (H29/B17, H29/B23)
27.Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証	科学研究費助成事業 基盤研究(B)H28-H30年度 (総額予算1,280万円)	H28-H30年度 代表：亀田卓准教授 末松憲治教授 本良瑞樹助教 富山高等専門学校 小熊教授	情報通信ネットワークはビックデータ活用の普及とともに"Massive Connect IoT"(膨大な量のパケットがやり取りされるIoT)へと発展する。申請者らはMassive Connect IoTのための高効率同期CDMA 無線通信ネットワークを提案している。本提案方式は準天頂衛星システム(QZSS)や全地球測位システム(GPS)の測位信号によって得られるナノ秒オーダの時刻情報やメートルオーダの位置情報を基に送信タイミング制御を行うことで高効率な上りリンク同期CDMA通信を実現している。 本研究課題の研究期間内において、QZSS/GPS 測位信号を基に端末がどの程度の時刻精度で送信タイミング制御可能であるか、実環境におけるフィールド試験によって実証することを目指す。(H26/A10)
28.脳科学のパラダイムシフトに向けた医工学融合研究(脳機能準拠型インターフェースの機能とその応用)	概算要求事業(H28予算500万円)	H28-30年度 山梨大学工学部コンピュータ理工学科	共同プロジェクト研究「非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による音声処理技術の開発」(H25/A08)から発展させ、特に非線形時変特性を持つ聴覚情報表現を計算機上に高精度に構築し、音声処理を人間の脳に準拠した形で行うためのプロジェクトである。
29.音響信号処理と人工知能技術との融合による音響空間全周収録法の確立	科研費基盤研究 (C)(総額予算481万円)	H28-30年度 研究代表者：小澤賢司教授(山梨大学) 研究分担者：坂本修一准教授(電気通信研究所)	本研究開発では、人工知能技術を利用して全周方向の音信号の分離収音を達成する。本研究は、共同プロジェクト研究「非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による音声処理技術の開発」(H25-H27年度)から発展した。 (H25/A08)
30.実時間音声了解度測定メータの基礎検討研究課題	日本学術振興会科学技術研究費補助金基盤研究(C)(総額予算442万円)	H29-H31年度 近藤和弘教授(山形大学)	本研究開発では、高い品質の放送を実現するために、音声品質のブラインド推定モデルを開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「ロングパスエコー下での伝送パラメータを用いない音声了解度推定」(H26-28)から発展した。 (H26/A14)
31.幻肢錯覚とフラッシュラグ効果を用いた幻肢の脳内表現の推定とその応用	科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究 (H28-30年度予算260万円)	H28-H30年度 代表：塩入諭教授 大内田裕助教(東北大学医学系研究科) 松宮一道准教授(東北大学電気通信研究所)	H24/B11 人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究(H24-H26)における議論にもとづき、幻肢患者の脳内の表現を解明するために立ち上げたプロジェクトである。 幻肢患者とは、切断に伴う存在しない手足の感覚(幻肢)を持つ患者のことであり、幻肢に関する脳内の表象過程を解明することは、幻肢痛の軽減などへの貢献が期待される。本研究では、そのために身体位置に自動的に向けられる注意(身体随伴性注意)を利用した身体感覚計測手法を確立する。
32.「よく聴こえる」拡声システムのための音声合成システムの構築	公益財団法人矢崎科学技術振興記念財団 (総額予算100万円)	H30年度 小林洋介助教(室蘭工業大学)	本研究開発では、高い品質の放送を実現するために、品質の予測値をフィードバックするシステムを開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「屋外拡声システム開発のための音声了解度評価とその推定に関する研究」(H29年度)から発展した。 (H29/A18)

第6　国際活動

1．電気通信研究所国際シンポジウム

1	高温超伝導単結晶の固有ジョセフソン効果と THz 帯プラズマ振動	平成 9 年 2 月 23-25 日
2	脳の情報原理に基づくブレインアーキテクチャの設計・制作	平成 10 年 3 月 16-18 日
3	ミリ波革新技術とその応用	平成 10 年 12 月 14-16 日
4	Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議	平成 11 年 9 月 13-17 日
5	フォトニック結晶構造国際会議	平成 12 年 3 月 8-10 日
6	半導体スピン物性の基礎と応用	平成 12 年 9 月 13-15 日
7	証明と計算における書き換え技法	平成 13 年 10 月 25-27 日
8	非線形理論とその応用	平成 13 年 10 月 28 日 -11 月 1 日
9	ニューパラダイム VLSI コンピューティング	平成 14 年 12 月 12-14 日
10	超高密度スピニックストレージシステム	平成 15 年 10 月 23-24 日
11	第 3 回 SiGeC 国際ワークショップ	平成 16 年 10 月 12-13 日
12	第 3 回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ	平成 17 年 4 月 11-12 日
13	第 4 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議（ICSI-4）	平成 17 年 5 月 23-26 日
14	第 1 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 17 年 5 月 27-28 日
15	東北大学情報科学研究科国際シンポジウム　新時代の情報科学：脳、心および社会	平成 17 年 9 月 26-27 日
16	第 1 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 2 月 8-9 日
17	第 4 回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ	平成 18 年 5 月 8 日
18	第 4 回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議	平成 18 年 8 月 15-18 日
19	第 2 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 10 月 2-3 日
20	第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 2 月 15-16 日
21	日中音響学会議 2007	平成 19 年 6 月 4-6 日
22	アルゴリズム論的学習理論および発見科学に関する合同国際会議	平成 19 年 10 月 1-4 日
23	第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 10 月 31 日 -11 月 1 日
24	第 3 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 8-9 日
25	第 1 回ナノ構造＆ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 21-22 日
26	第 18 回アルゴリズムと計算に関する国際会議	平成 19 年 12 月 17-19 日
27	気相－液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム	平成 20 年 9 月 5-6 日
28	第 4 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 9 月 25-27 日
29	第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 10 月 9-10 日
30	ミリ波シンポジウム	平成 21 年 4 月 20-22 日
31	マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ	平成 21 年 4 月 24-25 日
32	第 4 回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム	平成 21 年 8 月 4-5 日
33	第 20 回パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム	平成 21 年 9 月 13-16 日
34	第2回RIEC-CNSIナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する国際ワークショップ(第5回スピントロニクス国際ワークショップ)	平成 21 年 10 月 22-23 日
35	空間音響の原理と応用に関する国際シンポジウム	平成 21 年 11 月 11-13 日
36	第 5 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ	平成 22 年 1 月 29-30 日
37	第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 22 年 2 月 5-6 日
38	第 2 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 22 年 3 月 11-12 日
39	グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム	平成 22 年 10 月 27-29 日
40	第 9 回日韓表面ナノ構造シンポジウム	平成 22 年 11 月 15-16 日
41	第 7 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 23 年 2 月 3-4 日
42	第 12 回国際多感覚研究フォーラム	平成 23 年 10 月 17-20 日
43	第 8 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 2 月 2-3 日
44	第 6 回国際シンポジウム　メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス	平成 24 年 3 月 8 日
45	第 3 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 24 年 3 月 21-22 日
46	第 9 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 5 月 31 日 -6 月 2 日
47	第 1 回スマートテクノロジ国際ワークショップ	平成 24 年 10 月 18-19 日
48	TU Dresden and Tohoku University Symposium 2012	平成 24 年 11 月 2 日
49	第 1 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 24 年 11 月 15-16 日
50	東北大学－ハーバード大学ジョイントワークショップ	平成 25 年 1 月 15-16 日
51	第 11 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 25 年 1 月 31 日 -2 月 1 日
52	メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス第 7 回国際シンポジウム	平成 25 年 3 月 7 日
53	第 6 回ミリ波シンポジウム	平成 25 年 4 月 22-23 日
54	第 2 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 26 年 2 月 21-22 日
55	メディカル・バイオ・エレクトロニクス第 8 回国際シンポジウム	平成 26 年 3 月 6-7 日
56	第 5 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 26 年 3 月 6-7 日

57 第12回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成26年6月25-27日
58 電子レンジマグネティック2014に関するIEEE国際会議	平成26年6月29日-7月2日
59 RIEC国際シンポジウム　知覚とコミュニケーション	平成26年7月24日
60 2014アジア太平洋マイクロ波会議	平成26年11月4-7日
61 脳機能と脳コンピュータに関する第3回RIEC国際シンポジウム	平成27年2月18-19日
62 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成27年3月2-3日
63 第9回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム	平成27年3月2-4日
64 第6回ナノ構造とエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成27年3月2-4日
65 RIEC国際シンポジウム　ビジョンと認知	平成27年3月20日
66 国際色覚学会 第23回シンポジウム	平成27年7月3-7日
67 コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開	平成27年9月26-27日
68 第13回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成27年11月18-20日
69 脳機能と脳コンピュータに関する第4回RIEC国際シンポジウム	平成28年2月23-24日
70 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成28年2月26-27日
71 第10回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム	平成28年3月1-3日
72 第7回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成28年3月1-3日
73 超臨場感音響相互通信に関する国際シンポジウム	平成28年5月20-21日
74 第5回テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するロシア－日本－USA－ヨーロッパシンポジウム（テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するRIEC国際シンポジウム）	平成28年10月31-11月4日
75 ディペンダブルワイヤレスワークショップ2016	平成28年11月9-10日
76 第14回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成28年11月17-19日
77 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成29年2月24-25日
78 第5回脳機能と脳コンピュータに関するRIEC国際シンポジウム	平成29年2月27-28日
79 RIEC医用光工学国際ワークショップ2017	平成29年3月6日
80 第8回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成29年3月6-7日
81 2017年RIECロシア－日本合同マイクロ波国際ワークショップ	平成29年10月19-20日
82 フォトニクスと光通信に関する国際シンポジウム	平成29年10月25-26日
83 エクスペアレンスデザインと認知科学に関する通研国際シンポジウム	平成29年11月18-19日
84 第15回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ	平成29年12月13-14日
85 第6回脳機能と脳コンピュータに関するRIEC国際シンポジウム	平成30年2月1-2日
86 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成30年2月23-24日
87 第9回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成30年3月1-2日
88 磁性材料と磁気デバイスに関する日韓シンポジウム	平成30年8月24日
89 ユニバーサル音コミュニケーション国際シンポジウム2018	平成30年10月22-24日
90 2018アジアワイヤレス電力伝送ワークショップ（AWPT2018）	平成30年11月2-4日
91 第3回グラフェンと関連する二次元材料に関する日欧フラッグシップワークショップ	平成30年11月19-21日
92 第2回東北大学／国立台湾大学連携シンポジウム －人工知能と人間科学の学際的研究－	平成30年11月24日
93 第14回知的情報ハイディングとマルチメディア信号処理に関する国際会議	平成30年11月26-28日
94 ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム	平成30年12月12-13日
95 第16回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ	平成31年1月9-10日
96 第7回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成31年2月22-23日
97 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成31年3月1-2日
98 第10回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成31年3月6-7日

２．本研究所教員が編集員をしている国際ジャーナル

1. IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems
2. IEICE Electronics Letter (ELEX)
3. IEICE Transactions on Communications
4. IEICE Transactions on Communications (EB)
5. International Journal of Energy, Information and Communications
6. Japanese Journal of Applied Physics 特別号
7. Journal of Cryptographic Engineering
8. Neural Networks
9. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
10. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE (NOLTA)
11. Optical Review
12. Scientific Reports (Nature Publishing Group)
13. Soft Robotics

3．本研究所教員が組織委員をつとめた最近の国際会議

1. 12th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM 2019)
2. 15th RIEC International Workshop on Spintronics
3. 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications
4. 25th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems
5. ACM Conference on Interactive Surfaces and Spaces 2018
6. ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia 2018
7. ACM Symposium on Spatial User Interface 2018
8. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST) 2018
9. ACSIN14
10. Asian CHI Symposium 2019: Emerging HCI Research Collection
11. Asia-Pacific Microwave Conference 2018
12. Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD)
13. CIES Technology Forum
14. Compound Semiconductor Week / International Symposium on Compound Semiconductors (CSW/ISCS2019)
15. European Conference on Optical Communication (ECOC)
16. European Material Research Society Fall Meeting (MRS-E Fall Meeting 2018)
17. European Microwave Week 2018
18. IEEE 5G World Forum (WF-5G 2018)
19. IEEE EDS Distinguished Lecturer
20. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC 2018)
21. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2018)
22. IEEE Virtual Reality 2019
23. IFIP TC.13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2019)
24. ImPACT International Symposium on Spintronics Memory, Circuit and Storage
25. Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics, in Zvenigorod (ICMNE2018)
26. International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR2019)
27. International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-E(
28. International Conference on Cryptographic Hardware and Embedded Systems 2018
29. International Conference on InfraRed, MilliMeter Wave and TeraHerz (IRMMW-THz 2018)
30. International Conference on Solid State Devices and Materials
31. International Conferences on Modern Materials & Technologies in Montecatini Terme (CIMTEC 2020)
32. International Electorical Device Meeting
33. Optical Fiber Communication Conference (OFC)
34. Optical Nanofibre Applications: From Quantum to Bio Technologies
35. Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)
36. RIEC International Symposium on Photonics and Optical Communications
37. Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE 2018)
38. Spintronics Workshop on LSI
39. Stanford & Tohoku University Joint Open Workshop on 3D Transistor and its Applications
40. Symposia on VLSI Technology and Circuits
41. The 10th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2018)

42. The 2018 IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM 2018)
43. The 2018 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT 2018)
44. The 2018 International Communications Quality and Reliability Workshop (IEEE CQR 2018)
45. The 2018 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2018)
46. The 2018 International Workshop on Pervasive Flow of Things that is collocated(PerFoT)
47. The 20th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2018)
48. The 22nd IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (IEEE CAMAD 2018)
49. The 2nd IEEE International Workshop on Information Flow Oriented Approaches in Internet of Things and Cyber-Physical Systems (InfoFlow 2019)
50. the 5th ACM International Conference on Nanoscale Computing and Communication (ACS-NanoComm)
51. The 5th International Conference of Information and Communication Technology (ICoICT 2018)
52. The 6th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT-2018)
53. The 6th International Symposium on Brainware LSI
54. The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
55. The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines(AMAM2019)
56. The International Conference on Information Networking 2019 (ICOIN 2019)
57. The SICE Annual Conference 2019 (SICE 2019)
58. Tohoku-Purdue Workshop on Novel Spintronics Physics and Materials for Future Information Processing
59. Tohoku-York-Kaiserslautern 6th Core-to-core Workshop on "New-Concept Spintronics Devices"
60. Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM)
61. When AI Meets Human Science: The 2nd Tohoku-NTU International Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies

４．国際学会における招待講演数

区分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
招待講演数	106	69	73	97	80

５．国際共同研究の実施状況

	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
実施状況（件数）	52	59	84	106	101

6. 国際共同研究一覧

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
フランス	トゥール大学	ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用	H28.4～H31.3	上原研
スイス	チューリッヒ工科大学	Two-Dimensional Defect Mapping of the SiO2/4H-SiC Interface	H30.9～	長研
デンマーク	デンマーク工科大学	ブラックシリコンのキャリア分布評価に向けた非線形誘電率顕微鏡法の適用可能性の検討	H29.11～	長研
英国	The University of York	磁気トンネル接合の微細構造の電子顕微鏡を用いた解析と第一原理計算	H25.2～	白井研
ドイツ	Technical University of Kaiserslautern	新概念スピントロニクス素子創製のための国際研究拠点形成	H27.4～	白井研
英国	The University of York	新概念スピントロニクス素子創製のための国際研究拠点形成	H27.4～	白井研
英国	The University of York	磁壁クリープ薄膜の構造解析	H27.6～	白井研
英国	The University of York	平面走査電子顕微鏡を用いた磁性積層膜界面構造解析法に関する研究	H27.6～	白井研
英国	The University of York	計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出	H29.10～	白井研
ドイツ	Ruhr-University Bochum	半導体微細デバイスに関する研究	H30.4～	大塚研
ポーランド	Polisha Academy of Sciences	機能性磁性材料の電子構造と物性に関する研究	H11.4～	深見研
スウェーデン	University of Gothenburg	スピントロニクス素子の発振現象に関する研究	H28.11～	深見研
スイス	ETH Zurich	X線顕微鏡を用いたスピン軌道トルク磁化反転の観察	H28.11～	深見研
フランス	Université Paris-Sud	スピン軌道トルク磁化反転の時間分解測定	H28.9～	深見研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ポーランド	University of Bialystok	極薄垂直磁化容易薄膜の磁区構造観察	H29.12～	深見研
シンガポール	National University of Singapore	スピントルクダイオードを用いたエナジーハーベスティングの検討	H29.9～	深見研
英国	The University of York	反強磁性ヘテロ構造の結晶構造解析	H30.3～	深見研
フィリピン	Mindanao State University-Iligan Institute of Technology	Effect of sample geometry on the damping mechanism of CoFeB magnetic thin films with perpendicular easy axis using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance spectroscopy	H30.9～	深見研
米国	University of Chicago	酸化物材料の量子情報応用	H30.3～	深見研
米国	Purdue University	低熱安定性磁気トンネル接合を用いた新概念情報処理に関する研究	H30.2～	深見研
フランス	Spintec	磁気トンネル接合における発振現象に関する研究	H30.1～	深見研
ドイツ	ミュンヘン工科大学	磁気光学効果を用いたスピン軌道トルク磁化反転の時間分解観測	H30.10～	深見研
ドイツ	マインツ大学	反強磁性体の共鳴現象に関する研究	H30.11～	深見研
スペイン	Technical University of Catalunya	脳型計算用ハードウェア技術	H27.4～	佐藤研
スペイン	Technical University of Catalunya	脳型計算ハードウェア基盤とその応用	H30.4～	佐藤研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ドイツ	Innovations for High Performance microelectronics (IHP) Technische Universität Berlin	原子層ドーピング	H7.10～	佐藤研
ドイツ ベルギー 米国 フランス スペイン	Innovations for High Performance Microelectronics IHP Tech. Univ. Berlin imec Princeton Univ. MIT Univ. Stuttgart Aix-Marseille Univ. Univ. Vigo Forschungszentrum Juelich	新IV族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究	H29.4～	佐藤研
ロシア	St.Petersburg Electrotechnical University	無線IoTを実現するための先端的高周波回路技術とそのシステム応用	H29.4～	末松研
イタリア	Trent University	移動体IoT探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究	H30.4～	末松研
米国	Rutgers, The State University of New Jersey	Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証（国際共同研究強化）	H30.9～	末松研
ロシア	ロシア科学アカデミーモスクワ物理工学研究所	グラフェンテラヘルツプラズモニックデバイスに関する共同研究	H26.4～	尾辻研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ロシア	ロシア科学アカデミーマイクロ構造物理学研究所	グラフェンを中心とする二次元ヘテロ構造デバイスのテラヘルツレーザー応用に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
米国	Rensselaer Polytechnic Institute	テラヘルツ・ナノエレクトロニクス材料科学に関する日米共同教育研究事業	H26.4～	尾辻研
ロシア	バウマンモスクワ州立工科大学	テラヘルツフォトニクスに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ドイツ	レーゲンスブルク大学	テラヘルツプラズモニックテラヘルツデバイスに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
フランス	CNRS-Montpellier Univ.	テラヘルツ帯プラズモニック・ナノＩＣＴデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
フランス	IEMN-Lille; フランス国立マイクロエレクトロニクス・ナノテクノロジー研究所	テラヘルツ帯プラズモニック・ナノＩＣＴデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
フランス	University of Savoy	テラヘルツ帯プラズモニック・ナノＩＣＴデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
米国	Massachusetts Institute of Technology(MIT)	化合物半導体極限高性能トランジスタ技術およびグラフェントランジスタに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミーコテルニコフ無線電子技術研究所	周期的グラフェンナノ構造におけるテラヘルツ・プラズモニック超放射に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
スペイン	Universidad de Salamanca	半導体プラズモニックナノ構造におけるテラヘルツ放射・検出技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ロシア	モスクワ物理工科大学	グラフェンテラヘルツプラズモニックデバイスに関する共同研究	H28.4～	尾辻研
スペイン	サマランカ大学	Development of graphene based devices for terahertz applications	H29.4～	尾辻研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ロシア	ロシア科学アカデミー・超高周波半導体エレクトロニクス研究所	Japan-Russia International collaborative research on gated GaAs structures with an array of self-assembled Sn-nanothreads and their terahertz applications	H30.4～	尾辻研
ロシア	University at Buffalo, The State University of New York	テラヘルツ放射利得媒質としてのディラック分散則を有するナノ構造に関する研究	H30.4～	尾辻研
ロシア	モスクワ物理工科大学	Theoretical Study of Nonequilibrium Dynamics of Electrons and Plasmons in Two-Dimensional Electron Systems	H29.4～	尾辻研
米国	Massachusetts Institute of Technology(MIT)	周波数無相関量子もつれ光子対光源に関する共同研究	H28.1～	枝松研
インド	Raman Research Institute	量子計測基本過程に関する共同研究	H28.1～	枝松研
ニュージーランド	The University of Auckland	キラルナノ導波路に結合される量子エミッター	H28.4～	枝松研
イタリア	University of Parma	キラルナノ導波路に結合される量子エミッター	H28.4～	枝松研
インド	Bose Institute	量子計測過程に関する共同研究	H30.5～	枝松研
韓国	Kyungsung University	磁性材料の機能性を活用した磁気デバイス	H30.4～	石山研
ドイツ	Technical University of Dresden	高精度音空間創成システム・音声信号処理技術に関する研究	H29.12～	鈴木研
ドイツ	University of Oldenburg	視聴覚音声知覚と次世代補聴技術に関する研究	H29.11～	鈴木研
オーストラリア	University of Sydney	多感覚音空間知覚に関する研究	H29.9～	鈴木研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ドイツ	Oldenburg University	音声明瞭度・了解度の客観評価に関する研究	H28.4～	鈴木研
フィンランド	Aalto University	音空間知覚の理解と立体音響技術の高度化に関する研究	H30.4～	鈴木研
米国	Rochester Institute of Technology	Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiences	H29.4～	鈴木研
オーストラリア	University of Sydney	単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究	H30.4～	鈴木研
ドイツ	Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts	話者映像が音声刺激の聞き取りおよび再生成績に及ぼす影響	H30.4～	鈴木研
ドイツ	Technical University of Dresden	感覚情報の認知がコンテンツの臨場感・迫真性の判断に与える影響に関する検討	H30.4～	鈴木研
韓国	Seoul National University	音声・音楽情報処理のための深層学習技術の高度化に関する研究	H30.9～	鈴木研
米国	カリフォルニア工科大学	脳内の並列情報処理	H27.4～	塩入研
米国	カリフォルニア大学バークリー校	継時依存効果に対する頭部方向の影響	H27.4～	塩入研
フランス	Laboratoire Phychologie de la Perception	情報の質と価値を扱う科学技術の創造	H28.4～	塩入研
ドイツ	Ludwig-Maximilians-Universität（ミュンヘン大学)	サッカード統合に関する輝度コントラストの影響	H28.4～	塩入研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
米国 タイ 台湾	Ohio State University ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校 国立交通大学 国立台湾大学	色名に関する文化差および個人差の研究	H29.4～	塩入研
中国	Kunming University of Sciecne and Technology	定常的視覚誘発電位を用いた純粋空間的注意計測	H29.9～H30.9	塩入研
台湾	National Taiwan University	AI研究と人間科学に関する研究	H30.4～	塩入研
米国	カリフォルニア工科大学	「こころ」を生み出す脳内機構の理解	H30.9～	塩入研
米国	University of Nevada, Reno	Cortical color representation in anomalous trichromats	H29.1～	塩入研
台湾	China Medical University Fu-Guan University	Mind and environment interface: Human attention in the brain	H29.4～	塩入研
台湾	National Taiwan University China Medical University	The effect of attention on the integration of image components in the human visual system	H29.4～	塩入研
米国	カリフォルニア工科大学 California Institute of Technology	Social communication: behavioral and brain representations	H29.4～	塩入研
フランス 台湾	Paris 8 CNRS 国立台湾大学 China Medical University Dr. Sun Yat-sen University National Tschi-hua University	Search Science: an interdisciplinary endeavor	H29.4～	塩入研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
米国	University of Minnesota	Extracting the orientation of rotating objects without object identification: Object orientation induction	H21.12～H30.9	塩入研
シンガポール	National University of Singapore	デザイン学の手法に基づく3次元インタラクティブ技術の日常的なジェスチャを活用したヒューマンコンピュータインタラクションへの応用	H28.4～	北村研
カナダ	University of Calgary	人と空間と情報技術に関する研究	H28.4～	北村研
中国	Dalian Maritime University	アジアにおけるHCI研究の活性化	H28.4～	北村研
シンガポール	National University of Singapore	汎用超小型ジンバルの開発とそのアプリケーションの研究	H28.4～	北村研
シンガポール	Singapore Management University	HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの確立	H29.4～	北村研
スコットランド	University of Edinburgh	深層学習を用いた３次元動作解析、生成の研究、およびHCIへの応用	H29.4～	北村研
カナダ	トロント大学	VR内の知覚とインタラクションに関する研究	H29.4～	北村研
米国	University of Minnesota	Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic	H29.9～	北村研
シンガポール	シンガポール大学	カラスの行動制御のための広域音声システムの開発	H29.9～	北村研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
シンガポール	シンガポール大学	エンタメドローン研究会～エンタティンメント分野へのドローンの活用と興行化へ向けた課題抽出および、その技術的解決手段の検討@EC2017	H29.9～	北村研
タイ	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Creating smart and informative society for the elderly	H30.4～	北村研
シンガポール	シンガポール大学	ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究会	H30.4～	北村研
英国	University of St Andrews	知的創造活動の支援ツール開発のための定量的評価指標の検討	H28.4～	北村研
シンガポール	シンガポール大学	人の三次元的身体的な行動解析に基づいた空間型ユーザインタフェース	H29.4～	北村研
スイス	Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL)	生物ロコモーションの制御原理の解明とロボット応用	H27.4～	石黒研
英国	The University of Manchester	古生物のロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究	H29.4～	石黒研
スイス カナダ	スイス連邦工科大学ローザンヌ校 オタワ大学	水陸両用ロコモーションの発現機序解明に関する研究	H29.9～	石黒研
英国	The University of Warwick	自己犠牲に基づくレジリアントなシステムの設計論の構築に関する研究	H29.6～	石黒研
米国	University of Minnesota	気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成	H30.4～	平野研
ドイツ	University of Erlangen-Nuremberg	酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用	H30.4～	平野研
米国	Seagate Technology LLC	耐災害性・耐障害性の自律検証機能を有する広域分散プラットフォームの国際展開	H29.4～	木下研
韓国	淑明女子大学	エージェント型IoTのためのシステム基盤技術と地域防災情報システムに関する研究	H30.4～	木下研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
フランス	国立パリ高等情報通信大学	先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究	H29.4～	本間研
ベトナム	Renesas Design Vietnam Co., Ltd.	Brain-inspired edge computing system for automotive application	H30.10～	堀尾研
カナダ	McGill大学	脳型LSIとその応用 国際共同研究	H29.4～	羽生研

７．外国人研究者の招へい状況

区分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
文部科学省事業	4	8	0	4	67
日本学術振興会事業	6	15	17	9	10
当該法人による事業	51	75	60	82	84
その他	37	65	72	71	69
計	98	163	149	166	230
地域別内訳					
①アジア	23	32	47	56	74
②北米	19	50	28	42	34
③中南米	1	0	2	2	2
④ヨーロッパ	52	76	67	62	110
⑤オセアニア	1	0	4	3	7
⑥中東	1	5	0	1	2
⑦アフリカ	1	0	1	0	1
計	98	163	149	166	230
滞在期間別内訳					
１月以上滞在	21	15	27	33	36
１週間以上１月未満	15	14	34	42	48
１週間未満	62	134	88	91	146
計	98	163	149	166	230

８．研究者の海外派遣状況

区分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
文部科学省事業	22	30	33	25	9
日本学術振興会事業	120	93	105	112	126
当該法人による事業	38	52	38	27	23
その他	89	59	62	102	126
計	269	234	238	266	284
地域別内訳					
①アジア	30	45	39	56	65
②北米	115	92	80	75	76
③中南米	3	5	3	3	1
④ヨーロッパ	114	89	110	120	136
⑤オセアニア	4	3	4	11	3
⑥中東	1	0	2	0	1
⑦アフリカ	2	0	0	1	2
計	269	234	238	266	284

９．国際学術交流協定一覧

１．部局間協定

代表者	協定校		協定締結年月日	研究課題/目標	協定の主な内容					更新状況
	国名	研究機関名			学生の交流	刊行物の交換	研究指導	共同研究の実施	教官等の交流	
教授 津屋　昇	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー 物理研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究		○	○	○	○	継続
教授 沢田康次	アメリカ	シカゴ大学 ジェームス･フランク研究所	1987.4.27	カオスと乱流		○		○	○	失効
教授 曽根敏夫	タイ	チュラロンコン大学 理学部	1987.4.28	都市騒音の実態と住民への影響に関する計測と評価の国際比較による研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	中国	ハルピン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究		○		○	○	失効
教授 水野皓司	イギリス	ロンドン大学 クイーンメアリー･ウェストフィールドカレッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の測定に関する研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	中国	深圳大学科研処	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェースとエージェントの知的化		○		○	○	失効
教授 山下　努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子に関する研究	○	○		○	○	失効
教授 山下　努	ロシア	ロシア科学アカデミー通信電子工学研究所	1998.2.23	超伝電子通信デバイスの研究	○	○		○	○	失効
教授 山下　努	中国	南京大学 電子科学技術系	1998.4.16	超伝導ミリ波･サブミリ波デバイスの研究	○	○		○	○	失効
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 情報通信工学部	1998.11.6	ニューラルネットワークと知的情報処理に関する研究	○	○		○	○	失効
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー（IHP）	2000.1.22	IV族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスに関する研究		○		○	○	継続
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 マルセイユナノサイエンス学際センター	2005.10.24	半導体表面・界面制御結晶成長の基礎と応用の研究		○		○	○	継続
教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子およびスピントロニクスの基礎と応用の研究		○		○	○	継続

国際活動

教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネット ワーク研究所 （WINLAB）	2009.12.9	超高速屋内ブロードバンド無線通信システムの研究	○			○	○	継続
教授 室田淳一	スペイン	ビゴ大学	2011.2.25	電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設をナノエレクトロニクス国際共同拠点としていく	○	○		○	○	継続
教授 室田淳一	アメリカ	ニューヨーク州立大学･ナノスケール科学技術カレッジ	2011.9.30	電気通信研究所付属ナノ・スピン実験施設をナノエレクトロニクス国際共同拠点としていく	○	○				失効
教授 大野英男	台湾	国立中山大学物理系	2013.5.8	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を活発に行う		○		○	○	失効
教授 尾辻泰一	ロシア	バウマン･モスクワ国立工科大学　フォトニクス･赤外工学研究教育センターおよび無線電子工学･レーザー工学研究所	2014.6.26	新材料として注目されているグラフェンおよび化合物半導体を中心とする半導体ヘテロエピタキシャル材料システムによるテラヘルツ機能デバイス応用の研究を大きく前進させる。	○	○		○	○	新規
教授 中沢正隆	アメリカ	マサチューセッツ工科大学電子工学研究所およびマイクロシステム技術研究所	2015.1.9	・フォトニクス分野から ICT、メカニクス、マテリアル、メディカルエレクトロニクスに至る工学、理学、医工学分野における、本学･MIT の複数の部局にまたがる国際共同研究の推進 ・大学院生および若手研究者を中心とした相互訪問による人的交流の活性化	○	○		○	○	新規
教授 末松憲治	ロシア	サンクトペテルブルク電気工科大学	2016.11.22	ハイブリッドセミコンダクタ回路技術とその応用	○			○	○	新規
教授 本間尚文	フランス	国立パリ高等情報通信大学	2017.10.25	･ハードウェアセキュリティ分野において国際共同研究を推進すること ･教員･研究員の交流により国際化を促進すること	○			○	○	新規
教授 尾辻泰一	ロシア	モスクワ国立大学物理学部	2018.6.8	共同研究の推進と高度人材育成	○			○	○	新規

教授 塩入諭	台湾	国立台湾大学人工知能･先端ロボットセンター	2018.7.31	共同研究の推進と高度人材育成	○			○	○	新規

２．大学間協定

代表者	国名	協定校	協定締結年月日	目標	協定締結のねらい					更新状況
					共同研究の促進	学生・教職員交流	国際貢献	地域連携	その他	
教授 大野英男	アメリカ	カリフォルニア大学サンタバーバラ校	1990.3.15	ナノエレクトロニクス・スピントロニクス分野および先端材料分野において国際共同研究を推進する	○	○				継続
教授 村岡裕明	イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	文化、教育及び科学技術上の交流の促進	○	○	○			継続
教授 伊藤弘昌	ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を活発に行う	○	○				継続
教授 室田淳一	ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を積極的に行う	○	○	○			継続
教授 白鳥則郎 鈴木陽一	台湾	国立清華大学	2009.12.2	毎年数名の教員・学生の相互訪問により、共同研究を促進する	○	○				継続
教授 大野英男	アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	共同研究を推進し、教職員の交流を積極的に行う	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	2012.2.1	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	ヨハネスグーテンベルグ大学	2012.2.6	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継続

国際活動

教授 末光眞希	ドイツ	ケムニッツ工科大学	2013.10.31	研究者交流を促進し、学生交流を推進する	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	レーゲンスブルク大学	2017.3.16	大学間学術交流協定および共同学位プログラム覚書をもとにした教育研究を推進する	○	○				新規
教授 鈴木陽一	ドイツ	オルデンブルク大学	2017.7.13	聴覚を中心とする感覚知覚過程，脳内情報処理過程の解明と，その知識に基づく感覚情報提示システム，感覚代行システム等の応用研究に関して，広汎な共同研究の推進と，学生，特に博士後期課程の大学院生の交流，教職員の交流を目指す	○	○				新規
教授 大野英男	アメリカ	パーデュー大学	1997.9.23	共同研究および学生交流の推進	○	○				継続・通研は新規参画
教授 尾辻泰一	スペイン	サラマンカ大学	2018.5.20	・半導体ナノエレクトロニクス分野、電気通信分野、文学分野、医療分野を中心に国際共同研究を推進するとともに、学生、若手研究の国際交流を促進する。 ・ダブルディグリー制度の導入をめざす。	○	○				新規

第７　社会貢献

１．東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台フォーラム参加者数

年度	26 年度 仙台	27 年度 東京	28 年度 仙台	29 年度 東京	30 年度 仙台
技術セミナー	―	237	―	266	―
講演会	171	247	187	266	161
〈外部〉	120	128	117	150	105
〈内部〉	51	119	70	116	56
来場者数	171	251	187	266	161

２．通研一般公開参加者数

参加者数	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
	803	2,687	2,616	2,137	2,883

※ 27・29 年度は片平まつりと同時開催

３．学会名誉会員及びフェローの状況

区　　分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
国際学会 フェロー	8	9	8	9	4
国内学会 フェロー	11	9	9	9	6
計	19	18	17	18	10

４．学会名誉会員及びフェロー一覧

国際学会

学　　会　　名	氏　　名
IEEE	尾　辻　泰　一
OSA	尾　辻　泰　一
米国音響学会	鈴　木　陽　一
韓国音響学会	鈴　木　陽　一

※　IEEE = The Institute of Electrical and Electronics Engineers
　　OSA = Optical Society of America

国内学会

学　　会　　名	氏　　名
電子情報通信学会	鈴　木　陽　一
電子情報通信学会	堀　尾　喜　彦
応用物理学会	尾　辻　泰　一
日本ソフトウェア学会	大　堀　　淳
日本バーチャルリアリティ学会	鈴　木　陽　一
日本バーチャルリアリティ学会	北　村　喜　文

５．学会役員の状況

区　　分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
国際学会役員	4	3	3	1	0
国内学会役員	13	10	13	13	13
計	17	13	16	14	13

※会長、理事、評議員等

６．学会役員一覧

国際学会（2018）

学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
該当なし			

国内学会（2018）

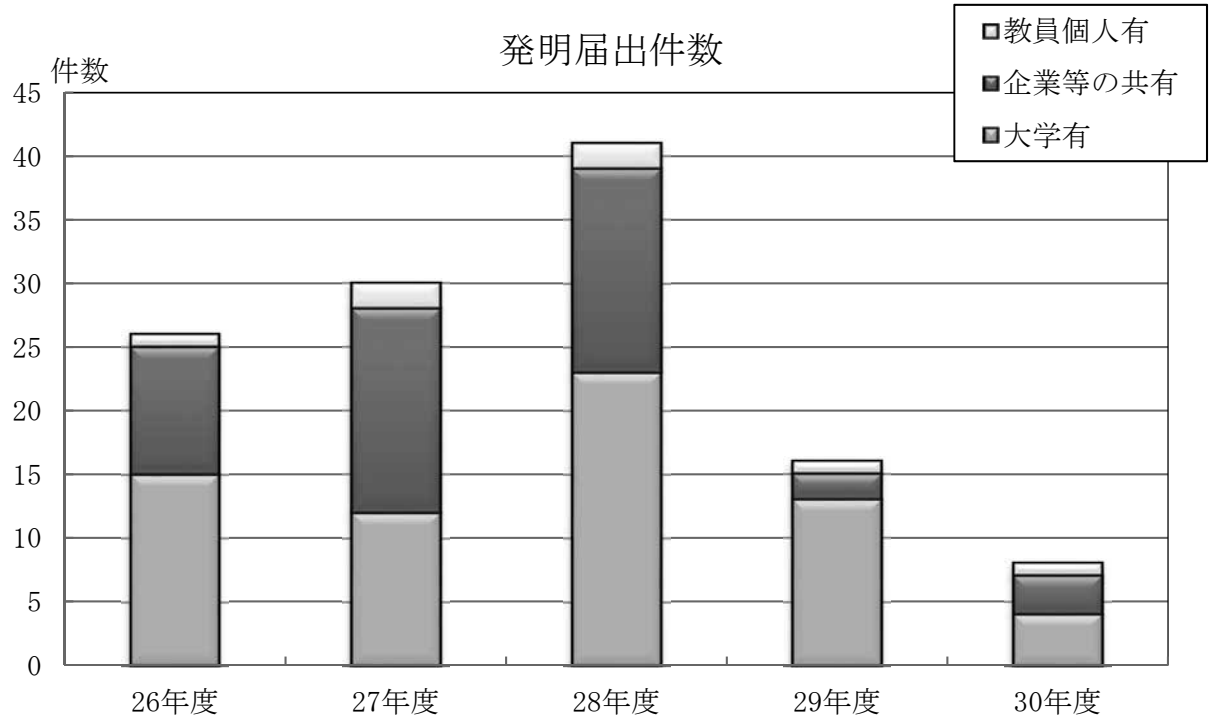
学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
日本神経回路学会	理事	2017～現在	堀尾　喜彦
日本音響学会	理事	2015～現在	坂本　修一
日本バーチャルリアリティ学会	理事	2016～現在	北村　喜文
日本磁気学会	理事	2017～現在	石山　和志
日本磁気学会	理事	2017～現在	サイモン グリーブス
エレクトロニクス実装学会	理事	2017～2019	亀田　卓
日本視覚学会	幹事	2010～現在	塩入　論
日本視覚学会	幹事	2011～現在	栗木　一郎
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007～現在	北村　喜文
日本ソフトウェア科学会	評議員	2015～現在	大堀　淳
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2018～現在	鈴木　陽一
日本物理学会	代議員	2015～2019	枝松　圭一
日本音響学会	監査	2015～現在	鈴木　陽一

７．各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

区　分	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
文部科学省関連	21	26	5	13	0
他省庁	15	17	22	24	15
地方公共団体	3	1	3	6	2
財団、学会	16	18	34	34	30
その他	64	38	94	66	86
計	119	100	158	143	133

第８　産学官連携

１．発明届出件数、特許出願数、特許登録数



区　　分		26 年度	27 年度	28 年度	29 年度	30 年度
発明届出件数		26	30	41	16	8
	教員個人有	1	2	2	1	1
	企業等の共有	10	16	16	2	3
	大学有	15	12	23	13	4
国内出願数		30	28	51	20	9
国内登録数		22	23	18	30	20
外国出願数 （含む PCT 出願数）		13	13	34	19	10
外国登録数		8	13	8	7	8

2．電気通信研究所における技術的相談、指導

区　分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
技術的相談、指導	94	54	95	65	46

第９　広報活動と情報公開

開催行事

1. 磁性材料ならびに磁気デバイスに関する日韓シンポジウム Japan-Korea International Symposium on Magnetic Devices and Materials	2018 年 8 月 24 日(金)
2. ユニバーサル音コミュニケーション国際シンポジウム 2018 International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018	2018 年 10 月 22 日(月)～10 月 24 日(水)
3. 2018 アジアワイヤレス電力伝送ワークショップ(AWPT2018) Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT2018)	2018 年 11 月 2 日(金)～11 月 4 日(日)
4. 第 3 回 日本－ヨーロッパ グラフェンおよび 関連する 2 次原材料に関するフラッグシップワークショップ 3rd Japan-EU Flagship Workshop on Graphene and Related 2D Materials	2018 年 11 月 19 日(月)～11 月 21 日(水)
5. 第 2 回 東北大学/国立台湾大学連携シンポジウム －人工知能と人間科学の学際的研究－ The 2nd Tohoku-NTU U Symposium on Interdisciplinary - AI and Human Studies -	2018 年 11 月 24 日(土)
6. 第 14 回 知的情報ハイディングとマルチメディア信号処理に関する国際会議 The 14th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing	2018 年 11 月 26 日(月)～11 月 28 日(水)
7. ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction (The Third ACM SIGCHI Asian Symposium)	2018 年 12 月 12 日(水)～12 月 13 日(木)
8. 第 16 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ 16th RIEC International Workshop on Spintronics	2019 年 1 月 9 日(水)～1 月 10 日(木)
9. 第 7 回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2019 年 2 月 22 日(金)～2 月 23 日(土)
10. ブレインウェア LSI に関する国際シンポジウム The 6th RIEC International Symposium on Brainware LSI	2019 年 3 月 1 日(金)～3 月 2 日(土)
11. 第 10 回 ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ The 10th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics	2019 年 3 月 6 日(水)～3 月 7 日(木)
12. 電気通信研究所 工学研究会	随時
13. 電気通信研究所 一般公開	2018 年 10 月 6 日(土)～10 月 7 日(日)
14. 電気通信研究所 産学官フォーラム	2018 年 11 月 29 日(木)
15. 電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会	2019 年 2 月 21 日(木)

出版物

1. 電気通信研究所要覧（和文・英文）	年 1 回発行
2. 電気通信研究所研究活動報告（和文･英文）	年 1 回発行
3. 東北大学電通談話会記録	年 2 回発行
4. ナノ・スピン実験施設研究報告書	年 1 回発行
5. 電気通信研究所ニュースレター（RIEC NEWS）	年 3 回発行
6. RIEC Newsletter	年 1 回発行

その他

1. 電気通信研究所ホームページ	公開中
2. 電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中

職　　員

（平成 30 年 5 月 1 日）

所長（併）／教授	Director, Professor	塩　入　　諭	Satoshi Shioiri

研究部門　Research Divisions

情報デバイス研究部門　Information Devices Division

■ ナノフォトエレクトロニクス研究室　Nano-photoelectronics

教　授	Professor	上　原　洋　一	Yoichi Uehara
教　授（兼）	Professor*	藤　掛　英　夫	Hideo Fujikake
准教授	Associate Professor	片　野　　諭	Satoshi Katano
准教授（兼）	Associate Professor*	石　鍋　隆　宏	Takahiro Ishinabe

■ 固体電子工学研究室　Solid State Electronics

教　授	Professor	（佐藤茂雄）	(Shigeo Sato)
教　授（兼）	Professor*	鷲　尾　勝　由	Katsuyoshi Washio
准教授	Associate Professor	吹　留　博　一	Hirokazu Fukidome
講師（兼）	Lecturer	川　島　知　之	Tomoyuki Kawashima
学術研究員	Research Fellow	佐々木　文　憲	Fuminori Sasaki

■ 誘電ナノデバイス研究室　Dielectric Nano-Devices

教　授	Professor	長　　康　雄	Yasuo Cho
教　授（兼）	Professor*	小　玉　哲　也	Tetsuya Kodama
准教授	Associate Professor	山　末　耕　平	Kohei Yamasue
准教授（兼）	Associate Professor*	吉　澤　　晋	Shin Yoshizawa
助　教	Assistant Professor	平　永　良　臣	Yoshiomi Hiranaga
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	山　岸　裕　史	Yuji Yamagishi

■ 物性機能設計研究室　Materials Functionality Design

教　授	Professor	白　井　正　文	Masafumi Shirai
教　授（兼）	Professor*	田　中　和　之	Kazuyuki Tanaka
教　授（兼）	Professor*	安　藤　　晃	Akira Ando
准教授	Associate Professor	阿　部　和多加	Kazutaka Abe
准教授（兼）	Associate Professor*	大　関　真　之	Masayuki Ohzeki
准教授（兼）	Associate Professor*	高　橋　和　貴	Kazunori Takahashi
助　教	Assistant Professor	辻　川　雅　人	Masahito Tsujikawa
学術研究員	Research Fellow	Tufan Roy	Tufan Roy

■ スピントロニクス研究室　Spintronics

教　授（兼）	Professor*	松　倉　文　礼	Fumihiro Matsukura
教　授（兼）	Professor*	安　藤　康　夫	Yasuo Ando
教　授（兼）	Professor*	遠　藤　哲　郎	Tetsuo Endo
教　授（兼）	Professor*	島　津　武　仁	Takehito Simatsu
教　授（兼）	Professor*	齊　藤　　伸	Shin Saito
教　授（兼）	Professor*	池　田　正　二	Shoji Ikeda
教　授（兼）	Professor*	佐　藤　英　夫	Hideo Sato
准教授	Associate Professor	深　見　俊　輔	Shunsuke Fukami
准教授（兼）	Associate Professor*	角　田　匡　清	Masakiyo Tsunoda
准教授（兼）	Associate Professor*	大　兼　幹　彦	Mikihiko Ogane
助　教	Assistant Professor	金　井　　駿	Shun Kanai
助　教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助　教（兼）	Assistant Professor*	張　　超　亮	Chaoliang Zhang

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室　Nano-Integration Devices and Processing

教　授	Professor	佐　藤　茂　雄	Shigeo Sato
教　授（兼）	Professor*	須　川　成　利	Shigetoshi Sugawa
教　授（兼）	Professor*	張　山　昌　論	Masanori Hariyama
准教授	Associate Professor	櫻　庭　政　夫	Masao Sakuraba
准教授（兼）	Associate Professor*	黒　田　理　人	Rihito Kuroda
助　教	Assistant Professor	佐　藤　信　之	Nobuyuki Sato

■ 量子デバイス研究室　Quantum Devices

准教授	Associate Professor	大　塚　朋　廣	Tomohiro Otsuka

職　員

ブロードバンド工学研究部門 Broadband Engineering Division

■ 超高速光通信研究室 Ultrahigh-speed Optical Communication

教　授	Professor	廣　岡　俊　彦	Toshihiko Hirooka
教　授（兼）	Professor*	山　田　博　仁	Hirohito Yamada
教　授（兼）	Professor*	松　浦　祐　司	Yuji Matsuura
准教授（兼）	Associate Professor*	片　桐　崇　史	Takashi Katagiri
助　教	Assistant Professor	葛　西　恵　介	Keisuke Kasai

■ 応用量子光学研究室 Applied Quantum Optics

教　授	Professor	八　坂　　洋	Hiroshi Yasaka
准教授	Associate Professor	吉　田　真　人	Masato Yoshida
助　教	Assistant Professor	横　田　信　英	Nobuhide Yokota

■ 先端ワイヤレス通信技術研究室 Advanced Wireless Information Technology

教　授	Professor	末　松　憲　治	Noriharu Suematsu
教　授（兼）	Professor*	陳　　強	Qiang Chen
准教授	Associate Professor	亀　田　　卓	Suguru Kameda
助　教	Assistant Professor	本　良　瑞　樹	Mizuki Motoyoshi

■ 情報ストレージシステム研究室 Information Storage Systems

教　授	Professor	（羽生貴弘）	(Takahiro Hanyu)
教　授（兼）	Professor*	周　　暁	Xiao Zhou
准教授	Associate Professor	Simon John Greaves	Simon J. Greaves
准教授（兼）	Associate Professor*	伊　藤　健　洋	Takehiro Ito

■ 超ブロードバンド信号処理研究室 Ultra-Broadband Signal Processing

教　授	Professor	尾　辻　泰　一	Taiichi Otsuji
准教授	Associate Professor	佐　藤　　昭	Akira Sato
助　教	Assistant Professor	渡　辺　隆　之	Takayuki Watanabe
学術研究員	Research Fellow	Victor Ryzhii	Victor Ryzhii

■ 量子光情報工学研究室 Quantum-Optical Information Technology

教　授	Professor	枝　松　圭　一	Keiichi Edamatsu
教　授（兼）	Professor*	中　尾　光　之	Mitsuyuki Nakao
准教授	Associate Professor	三　森　康　義	Yasuyoshi Mitsumori
准教授	Associate Professor	Mark Paul Sadgrove	Mark Paul Sadgrove
准教授（兼）	Associate Professor*	片　山　統　裕	Norihiro Katayama
助　教	Assistant Professor	Soyoung Baek	Soyoung Baek
助　教（兼）	Assistant Professor*	松　本　伸　之	Nobuyuki Matsumoto
助　教（兼）	Assistant Professor*	金　田　文　寛	Fumihiro Kaneda
学術研究員	Research Fellow	阿　部　尚　文	Naofumi Abe

■ ブロードバンド通信基盤技術研究室（客員） Basic Technology for Broadband Communication(Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	川　崎　繁　男	Shigeo Kawasaki

人間情報システム研究部門 Human Information Systems Division

■ 生体電磁情報研究室 Electromagnetic Bioinformation Engineering

教　授	Professor	石　山　和　志	Kazushi Ishiyama
教　授（兼）	Professor*	山　口　正　洋	Masahiro Yamaguchi
教　授（兼）	Professor*	津　田　　理	Makoto Tsuda
教　授（兼）	Professor*	渡　邉　高　志	Takashi Watanabe
教　授（兼）	Professor*	中　村　健　二	Kenji Nakamura
教　授（兼）	Professor*	薮　上　　信	Shin Yabukami
准教授	Associate Professor	柼　　修一郎	Shuichiro Hashi
准教授（兼）	Associate Professor*	遠　藤　　恭	Yasushi Endo
准教授（兼）	Associate Professor*	宮　城　大　輔	Daisuke Miyagi
助　教	Assistant Professor	林　　禎　彰	Yoshiaki Hayashi

■ 先端音情報システム研究室　Advanced Acoustic Information Systems

教　授	Professor	鈴木陽一	Yôiti Suzuki
教　授（兼）	Professor*	金井　浩	Hiroshi Kanai
教　授（兼）	Professor*	伊藤彰則	Akinori Ito
准教授	Associate Professor	坂本修一	Shuichi Sakamoto
准教授（兼）	Associate Professor*	川下将一	Masakazu Kawashita
准教授（兼）	Associate Professor*	能勢　隆	Takashi Nose
准教授（兼）	Associate Professor*	荒川元孝	Mototaka Arakawa
助　教	Assistant Professor	Jorge Alberto Treviño López	Jorge Alberto Treviño López
助　教	Assistant Professor	崔　正烈	Zhenglie Cui
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Cesar Daniel Salvador Castaneda	Cesar Daniel Salvador Castaneda
学術研究員	Research Fellow	齋藤文孝	Fumitaka Saito

■ 高次視覚情報システム研究室　Visual Cognition and Systems

教　授	Professor	塩入　諭	Satoshi Shioiri
教　授（兼）	Professor*	吉澤　誠	Makoto Yoshizawa
教　授（兼）	Professor*	川又政征	Masayuki Kawamata
准教授	Associate Professor	栗木一郎	Ichiro Kuriki
准教授	Associate Professor	曽　加蕙	Chia-Huei Tseng
准教授（兼）	Associate Professor*	杉田典大	Norihiro Sugita
准教授（兼）	Associate Professor*	阿部正英	Masahide Abe
助　教	Assistant Professor	羽鳥康裕	Yasuhiro Hatori
助　教（兼）	Assistant Professor*	金子沙永	Sae Kaneko
学術研究員	Research Fellow	Muhammad Alfian Amrizal	Muhammad Alfian Amrizal

■ 情報コンテンツ研究室　Information Content

教　授	Professor	北村喜文	Yoshifumi Kitamura
教　授（兼）	Professor*	加藤　寧	Nei Kato
教　授（兼）	Professor*	菅沼拓夫	Takuo Suganuma
准教授（兼）	Associate Professor*	阿部　亨	Toru Abe
准教授（兼）	Associate Professor*	青木輝勝	Terumasa Aoki
准教授（兼）	Associate Professor*	西山大樹	Hiroki Nishiyama
准教授（兼）	Associate Professor*	Zubair Md Fadlullah	Zubair Md Fadlullah
助　教	Assistant Professor	髙嶋和毅	Kazuki Takashima

■ 実世界コンピューティング研究室　Real-World Computing

教　授	Professor	石黒章夫	Akio Ishiguro
准教授	Associate Professor	加納剛史	Takeshi Kano
学術研究員	Research Fellow	福原　洸	Akira Fukuhara

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室　Nano-Bio Hybrid Molecular Devices

教　授	Professor	平野愛弓	Ayumi Hirano
教　授（兼）	Professor*	吉信達夫	Tatsuo Yoshinobu
教　授（兼）	Professor*	木下賢吾	Kengo Kinoshita
教　授（兼）	Professor*	金子俊郎	Toshiro Kaneko
准教授（兼）	Associate Professor*	大林　武	Takeshi Obayashi
准教授（兼）	Associate Professor*	宮本浩一郎	Koichiro Miyamoto
准教授（兼）	Associate Professor*	神崎　展	Makoto Kanzaki
准教授（兼）	Associate Professor*	加藤俊顕	Toshiaki Kato
助　教	Assistant Professor	但木大介	Daisuke Tadaki
学術研究員	Research Fellow	小宮麻希	Maki Komiya

■ 多感覚情報統合認知システム研究室　Multimodal cognitive system

教　授（兼）	Professor*	坂井信之	Nobuyuki Sakai
助　教	Assistant Professor	山本浩輔	Kosuke Yamamoto

■ マルチモーダルコンピューティング研究室（客員）　Multimodal Computing (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	西村竜一	Ryoichi Nishimura
客員教授	Visiting Professor	赤木正人	Masato Akagi
客員准教授	Visiting Associate Professor	伊藤雄一	Yuichi Ito

職　員

システム・ソフトウェア研究部門　Systems & Software Division

■ ソフトウェア構成研究室　Software Construction

教　授	Professor	大　堀　　淳	Atsushi Ohori
教　授（兼）	Professor*	篠　原　　歩	Ayumi Shinohara
教　授（兼）	Professor*	住　井　英二郎	Eijiro Sumii
准教授	Associate Professor	上　野　雄　大	Katsuhiro Ueno
准教授（兼）	Associate Professor*	松　田　一　孝	Kazutaka Matsuda
准教授（兼）	Associate Professor*	吉　仲　　亮	Ryo Yoshinaka
助　教	Assistant Professor	菊　池　健太郎	Kentaro Kikuchi

■ コンピューティング情報理論研究室　Computing Information Theory

教　授	Professor	中　野　圭　介	Keisuke Nakano
教　授（兼）	Professor*	静　谷　啓　樹	Hiroki Shizuya
教　授（兼）	Professor*	大　町　真一郎	Shinichiro Omachi
准教授（兼）	Associate Professor*	酒　井　正　夫	Masao Sakai
准教授（兼）	Associate Professor*	磯　邉　秀　司	Shuji Isobe
准教授（兼）	Associate Professor*	菅　谷　至　寛	Yoshihiro Sugaya

■ コミュニケーションネットワーク研究室　Communication Network Systems

教　授	Professor	木　下　哲　男	Tetsuo Kinoshita
教　授（兼）	Professor*	斎　藤　浩　海	Hiroumi Saito
教　授（兼）	Professor*	曽　根　秀　昭	Hideaki Sone
教　授（兼）	Professor*	乾　　健太郎	Kentaro Inui
准教授	Associate Professor	北　形　　元	Gen Kitagata
准教授（兼）	Associate Professor*	後　藤　英　昭	Hideaki Goto
准教授（兼）	Associate Professor*	鈴　木　　潤	Jun Suzuki
准教授（兼）	Associate Professor*	水　木　敬　明	Takaaki Mizuki
准教授（兼）	Associate Professor*	飯　岡　大　輔	Daisuke Ioka
助　教	Assistant Professor	高　橋　秀　幸	Hideyuki Takahashi
助　教	Assistant Professor	笹　井　一　人	Kazuto Sasai

■ 環境調和型セキュア情報システム研究室　Environmentally Conscious Secure Information System

教　授	Professor	本　間　尚　文	Naofumi Homma
助　教	Assistant Professor	上　野　　嶺	Rei Ueno

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室　Soft Computing Integrated System

教　授	Professor	堀　尾　喜　彦	Yoshihiko Horio

■ 新概念 VLSI システム研究室　New Paradigm VLSI System

教　授	Professor	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu
教　授（兼）	Professor*	青　木　孝　文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏　井　雅　典	Masanori Natsui
助　教（兼）	Assistant Professor*	鬼　沢　直　哉	Naoya Onizawa
助　教（兼）	Assistant Professor*	鈴　木　大　輔	Daisuke Suzuki

■ 情報社会構造研究室（客員）　Information Social Structure (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	今　井　　雅	Masashi Imai
客員教授	Visiting Professor	米　田　友　洋	Tomohiro Yoneda
客員教授	Visiting Professor	松　岡　　浩	Hiroshi Matsuoka

附属研究施設　Research Facilities

附属ナノ・スピン実験施設　Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

施設長（併）／教授	Director, Professor	上　原　洋　一	Yoichi Uehara

■ 共通部

技術専門職員（兼）	Technical Staff*	森　田　伊　織	Iori Morita
技術一般職員（兼）	Technical Staff*	小　野　力　摩	Rikima Ono
技術一般職員（兼）	Technical Staff*	武　者　倫　正	Michimasa Musha

■ スピントロニクス研究室　Spintronics

教　授（兼）	Professor*	松　倉　文　礼	Fumihiro Matsukura
教　授（兼）	Professor*	安　藤　康　夫	Yasuo Ando
教　授（兼）	Professor*	遠　藤　哲　郎	Tetsuo Endo
教　授（兼）	Professor*	島　津　武　仁	Takehito Simatsu
教　授（兼）	Professor*	齊　藤　　伸	Shin Saito
教　授（兼）	Professor*	池　田　正　二	Shoji Ikeda
教　授（兼）	Professor*	佐　藤　英　夫	Hideo Sato
准教授	Associate Professor	深　見　俊　輔	Shunsuke Fukami
准教授（兼）	Associate Professor*	角　田　匡　清	Masakiyo Tsunoda
准教授（兼）	Associate Professor*	大　兼　幹　彦	Mikihiko Ogane
助　教	Assistant Professor	金　井　　駿	Shun Kanai
助　教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助　教（兼）	Assistant Professor*	張　　超　亮	Chaoliang Zhang

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室　Nano-Bio Hybrid Molecular Devices

教　授	Professor	平　野　愛　弓	Ayumi Hirano
教　授（兼）	Professor*	吉　信　達　夫	Tatsuo Yoshinobu
教　授（兼）	Professor*	木　下　賢　吾	Kengo Kinoshita
教　授（兼）	Professor*	金　子　俊　郎	Toshiro Kaneko
准教授（兼）	Associate Professor*	大　林　　武	Takeshi Obayashi
准教授（兼）	Associate Professor*	宮　本　浩一郎	Koichiro Miyamoto
准教授（兼）	Associate Professor*	神　崎　　展	Makoto Kanzaki
准教授（兼）	Associate Professor*	加　藤　俊　顕	Toshiaki Kato
助　教	Assistant Professor	但　木　大　介	Daisuke Tadaki
学術研究員	Research Fellow	小　宮　麻　希	Maki Komiya

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室　Nano-Integration Devices and Processing

教　授	Professor	佐　藤　茂　雄	Shigeo Sato
教　授（兼）	Professor*	須　川　成　利	Shigetoshi Sugawa
教　授（兼）	Professor*	張　山　昌　論	Masanori Hariyama
准教授	Associate Professor	櫻　庭　政　夫	Masao Sakuraba
准教授（兼）	Associate Professor*	黒　田　理　人	Rihito Kuroda
助　教	Assistant Professor	佐　藤　信　之	Nobuyuki Sato

附属ブレインウェア研究開発施設　Laboratory for Brainware Systems

施設長（併）／教授	Director, Professor	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu

■ 認識・学習システム研究室　Recognition and Learning Systems

教　授	Professor	塩　入　　諭	Satoshi Shioiri
准教授	Associate Professor	坂　本　修　一	Shuichi Sakamoto

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室　Soft Computing Integrated System

教　授	Professor	堀　尾　喜　彦	Yoshihiko Horio

■ 新概念 VLSI システム研究室　New Paradigm VLSI System

教　授	Professor	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu
教　授（兼）	Professor*	青　木　孝　文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏　井　雅　典	Masanori Natsui
助　教（兼）	Assistant Professor*	鬼　沢　直　哉	Naoya Onizawa
助　教（兼）	Assistant Professor*	鈴　木　大　輔	Daisuke Suzuki

■ 実世界コンピューティング研究室　Real-World Computing

教　授	Professor	石　黒　章　夫	Akio Ishiguro
准教授	Associate Professor	加　納　剛　史	Takeshi Kano
学術研究員	Research Fellow	福　原　　洸	Akira Fukuhara

附属21世紀情報通信研究開発センター　Research Center for 21st Century Information Technology

センター長（併）／教授	Director, Professor	末　松　憲　治	Noriharu Suematsu

■ 産学官研究開発部　Industry-Academia-Government-Collaboration Research and Development Division

教　授（兼）	Professor*	末　松　憲　治	Noriharu Suematsu
客員教授	Visiting Professor	岡　崎　浩　司	Hiroshi Okazaki

職　員

■ 学際連携研究部　Interdisciplinary Collaboration Research Division

教　授（兼）	Professor*	塩　入　　諭	Satoshi Shioiri

■ 萌芽研究部　Exploratory Research Division

教　授（兼）	Professor*	北　村　喜　文	Yoshifumi Kitamura
准教授（兼）	Associate Professor*	亀　田　　卓	Suguru Kameda

高等研究機構新領域創成部　多感覚情報総合認知システム分野　Division for the Establishment of Froutier Sciences Multimodal cognitive system

教　授（兼）	Professor*	坂　井　信　之	Nobuyuki Sakai
助　教（兼）	Assistant Professor*	山　本　浩　輔	Kosuke Yamamoto

安全衛生管理室　Management Office for Safety and Health

室　長（兼）／教授	Manager, Professor*	石　山　和　志	Kazushi Ishiyama
副室長（兼）／教授	Deputy Manager, Professor*	上　原　洋　一	Yoichi Uehara
助　教（兼）	Assistant Professor*	佐　藤　信　之	Nobuyuki Sato

共通研究施設　Common Research Facilities

やわらかい情報システムセンター　Flexible Information System Center

センター長（兼）／教授	Director, Professor*	木　下　哲　男	Tetsuo Kinoshita

研究基盤技術センター　Fundamental Technology Center

センター長（兼）／教授	Director, Professor*	佐　藤　茂　雄	Shigeo Sato
技術専門員（技術長）	Technical Staff	末　永　　保	Tamotsu Suenaga

■ 工作部　Machine Shop Division

技術一般職員（グループ長）	Technical Staff	阿　部　健　人	Kento Abe
技術一般職員	Technical Staff	前　田　泰　明	Yasuaki Maeda
技術一般職員	Technical Staff	関　谷　佳　奈	Kana Sekiya

■ 評価部　Evaluation Division

技術専門職員（グループ長）	Technical Staff	阿　部　真　帆	Maho Abe
技術一般職員	Technical Staff	丹　野　健　徳	Takenori Tanno
技術一般職員	Technical Staff	柳　生　寛　幸	Hiroyuki Yagyu
再雇用職員	Technical Staff	庄　子　康　一	Koichi Shoji

■ プロセス部　Process Division

技術専門職員（グループ長）	Technical Staff	森　田　伊　織	Iori Morita
技術一般職員	Technical Staff	小　野　力　摩	Rikima Ono
技術一般職員	Technical Staff	武　者　倫　正	Michimasa Musha

■ 情報技術部　Information Technology Division

技術専門職員	Technical Staff	丸　山　由　子	Yuko Maruyama
技術一般職員（グループ長）	Technical Staff	佐　藤　正　彦	Masahiko Sato
技術一般職員	Technical Staff	太　田　憲　治	Kenji Ota

国際化推進室　Office for the Promotion of International Relations

特任教授	Specially Appointed Professor	塩　崎　充　博	Mitsuhiro Shiozaki

産学官連携推進室　Cooperative Research and Development

特任教授（兼）	Specially Appointed Professor*	荘　司　弘　樹	Hiroki Shoji

事務部　Administration Office

事務長	General Manager	金　子　雅　人	Masato Kaneko
事務長補佐	Deputy-General Manager	寺　嶋　秀　一	Shuichi Terashima
総務係長	Chief of General Affairs Section	金　澤　由　広	Yoshihiro Kanazawa
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	佐　藤　　豪	Go Sato
図書係長	Chief of Library Section	内ヶ崎　洋　一	Yoichi Uchigasaki
経理係長	Chief of Accounting Section	松　本　憲　一	Kenichi Matsumoto
用度係長	Chief of Purchasing Section	川　村　芳　亮	Yoshiaki Kawamura

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第25号

2019年８月発行

発　行　者　　塩　入　　論

編　集　者　　東北大学電気通信研究所総務委員会
〒980-8577　仙台市青葉区片平二丁目１番１号

Ｔ　Ｅ　Ｌ　　022-217-5422

Ｆ　Ａ　Ｘ　　022-217-5426

Ｕ　Ｒ　Ｌ　　http://www.riec.tohoku.ac.jp/

印　刷　所　　有限会社　明倫社
〒983-0842　仙台市宮城野区五輪2-9-5　五輪ビル
TEL 022-295-8211 FAX 022-295-8213



東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication Tohoku University

〒980-8577　仙台市青葉区片平二丁目1-1
TEL：022-217-5420　FAX：022-217-5426
http://www.riec.tohoku.ac.jp