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/ja/

研究活動報告 自己点検評価報告書 Vol.24 （二〇一七年版）

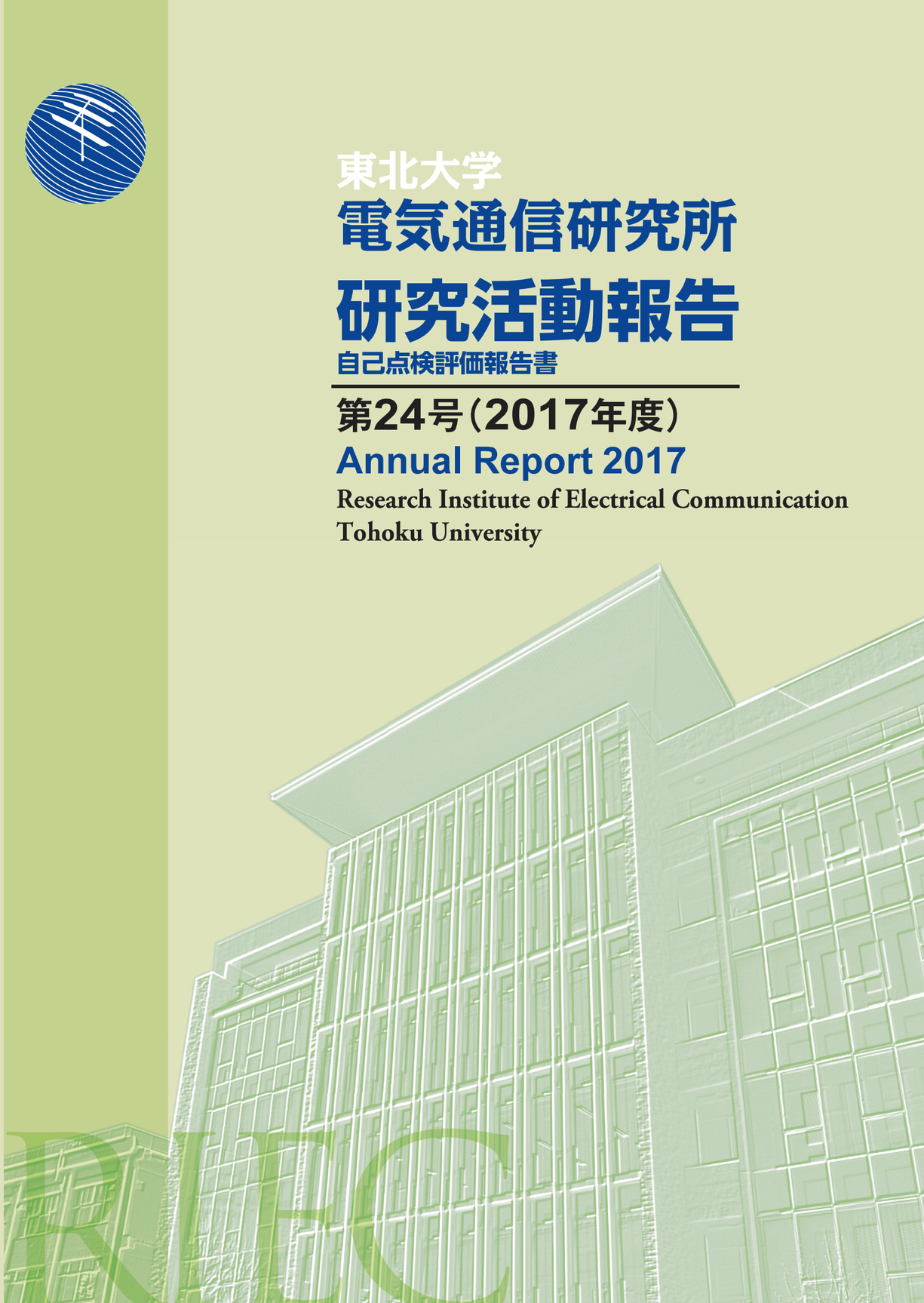
東北大学電気通信研究所

東北大学
電気通信研究所
研究活動報告
自己点検評価報告書

第24号（2017年度）

Annual Report 2017

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 …… 25
(2) 応用量子光学研究室 …… 27
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室 …… 29
(4) 情報ストレージシステム研究室 …… 31
(5) 超ブロードバンド信号処理研究室 …… 33
(6) 量子光情報工学研究室 …… 35
３．　人間情報システム研究部門の目標と成果 …… 37
(1) 生体電磁情報研究室 …… 40
(2) 先端音情報システム研究室 …… 42
(3) 高次視覚情報システム研究室 …… 44
(4) 情報コンテンツ研究室 …… 46
(5) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室 …… 48
(6) 実世界コンピューティング研究室 …… 50

４．　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果 …… 52
(1) ソフトウェア構成研究室 …… 54
(2) コンピューティング情報理論研究室 …… 56
(3) コミュニケーションネットワーク研究室 …… 58
(4) ソフトコンピューティング集積システム研究室 …… 60
(5) 環境調和型セキュア情報システム研究室 …… 62
(6) 新概念 VLSI システム研究室 …… 64
５．　ナノ・スピン実験施設の目標と成果 …… 66
６．　ブレインウェア研究開発施設の目標と成果 …… 70
(1) 認識・学習システム研究室 …… 72
７．　２１世紀情報通信研究開発センターの目標と成果 …… 74
(1) 研究開発部 モバイル分野 …… 77
８．　安全衛生管理室 …… 79
９．　やわらかい情報システムセンター …… 81
10.　研究基盤技術センター …… 83
11.　機動的研究グループ …… 85

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 …… 87
Ｈ２７／Ａ０２　プラズマナノバイオ・医療の基盤確立 …… 91
Ｈ２７／Ａ０３　原子層制御プラズマ CVD を駆使した IV 族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御 …… 94
Ｈ２７／Ａ０４　オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究 …… 97
Ｈ２７／Ａ０５　量子情報通信のための革新的量子光源の開発 …… 100
Ｈ２７／Ａ０６　単一金属ナノ構造体の微細形状制御と光物性 …… 102
Ｈ２７／Ａ０８　位相雑音特性に着目した共鳴トンネル THz 信号源の研究 …… 104
Ｈ２７／Ａ０９　フルコヒーレントアクセス方式を実現するための光－無線周波数変換方式に関する研究　107
Ｈ２７／Ａ１０　M2M(Machine to machine)伝搬環境改善のためのメタマテリアルおよびリフレクトアレー応用に関する研究 …… 110
Ｈ２７／Ａ１１　生理指標に基づく SDN 型ネットワーキングシステムの実証的研究 …… 113
Ｈ２７／Ａ１２　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 …… 116
Ｈ２７／Ａ１３　モノーラル音の知覚と頭部伝達関数の関係に関する研究 …… 119
Ｈ２７／Ａ１６　災害経験をかたりつぐ ICT に関する対話型・実践型研究 …… 122
Ｈ２７／Ａ１７　感覚情報間の同期性の判断がコンテンツの臨場感・迫真性に与える影響に関する検討 …… 125
Ｈ２７／Ａ１８　話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響 …… 127
Ｈ２７／Ａ２０　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 …… 129
Ｈ２７／Ａ２１　脳型計算用ハードウェア技術 …… 132
Ｈ２７／Ａ２３　共生コンピューティングのためのマルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究 …… 135
Ｈ２７／Ａ２４　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 …… 138
Ｈ２７／Ａ２５　スマートコミュニティ構築のためのシステムアーキテクチャと基盤技術の開発 …… 141

Ｈ２７／Ａ２６　ユビキタスシステムの実世界導入に向けた実証的研究 …… 144
Ｈ２７／Ａ２７　嗅覚を含むマルチモーダル情報処理過程に関する研究 …… 147
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 …… 149
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 …… 152
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 …… 155
Ｈ２８／Ａ０４　超伝導検出器と読出回路の高性能化に関する研究 …… 158
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 …… 161
Ｈ２８／Ａ０６　キラルナノ導波路に結合される量子エミッター …… 163
Ｈ２８／Ａ０８　ブレインウェアシステムのアーキテクチャの研究 …… 166
Ｈ２８／Ａ０９　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 …… 169
Ｈ２８／Ａ１０　人工知能技術を利用した音源分離システムの構築 …… 172
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 …… 175
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 …… 177
Ｈ２８／Ａ１４　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 …… 180
Ｈ２８／Ａ１５　グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造のテラヘルツ応用に関する日米共同研究 …… 183
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 …… 186
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 …… 189
Ｈ２８／Ａ２０　確率的誤差拡散を用いた高ダイナミックレンジ画像の表示技術 …… 192
Ｈ２８／Ａ２１　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 …… 195
Ｈ２８／Ａ２２　超高精細全天映像と超高精細全天音声を使った超臨場感空間の再現 …… 198
Ｈ２８／Ａ２３　多数生体信号の分析による異常の予測と検索 …… 200
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 …… 203
Ｈ２９／Ａ０１　磁性体/半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究 …… 206
Ｈ２９／Ａ０２　低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発 …… 208
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 …… 211
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 …… 213
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 …… 215
Ｈ２９／Ａ０６　超伝導光子検出器アレイを用いた革新的光計測及び量子情報通信技術の開発 …… 218
Ｈ２９／Ａ０７　単結晶グラフェンのデバイス化の研究 …… 220
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 …… 223
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 …… 226
Ｈ２９／Ａ１０　Development of graphene based devices for terahertz applications …… 229
Ｈ２９／Ａ１１　Theoretical Study of Nonequilibrium Dynamics of Electrons and Plasmons in Two-Dimensional Electron Systems …… 232
Ｈ２９／Ａ１２　QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究 …… 235
Ｈ２９／Ａ１３　ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究 …… 238
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 …… 241

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 …… 243
Ｈ２９／Ａ１６　色名に関する文化差および個人差の研究 …… 245
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 …… 248
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 …… 251
Ｈ２９／Ａ１９　協調作業における視線情報の可視化 …… 254
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 …… 256
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 …… 259
Ｈ２９／Ａ２２　多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究 …… 262
Ｈ２９／Ａ２３　Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiences …… 264
Ｈ２９／Ａ２４　Mind and environment interface: Human attention in the brain …… 267
Ｈ２９／Ａ２５　The effect of attention on the integration of image components in the human visual system …… 270
Ｈ２９／Ａ２６　Social communication: behavioral and brain representations …… 272
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 …… 275
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 …… 278
Ｈ２９／Ａ２９　新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究 …… 281
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 …… 284
Ｈ２９／Ａ３１　強磁場中で連続かつ低ヒステリシス特性を有する高周波キャリア型薄膜磁界センサの研究 …… 287
Ｈ２９／Ａ３２　圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術 …… 289
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 …… 292
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 …… 294
Ｈ２９／Ａ３５　ミニマルブレインの理解と再構築 …… 297
Ｈ２９／Ａ３６　Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic …… 300

Ｈ２７／Ｂ０１　プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓 …… 302
Ｈ２７／Ｂ０３　量子測定の物理と情報通信 …… 305
Ｈ２７／Ｂ０４　固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用 …… 307
Ｈ２７／Ｂ０５　無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究 …… 309
Ｈ２７／Ｂ０６　科学の客観性と人間性との調和を目指す科学教育のあり方と実施方法
–現代科学の問題点と人類の未来のために– …… 312
Ｈ２７／Ｂ０７　脳内の並列情報処理 …… 315
Ｈ２７／Ｂ０８　高次元ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化 …… 318
Ｈ２７／Ｂ０９　酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用 …… 321
Ｈ２７／Ｂ１３　メディア技術の高機能化に関する研究 …… 324
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 …… 327

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 …… 330
Ｈ２８／Ｂ０４　視覚的な物体質感の認知メカニズムに関する研究 …… 333
Ｈ２８／Ｂ０５　人と空間と情報技術に関する研究 …… 336
Ｈ２８／Ｂ０６　数学の形式化への論理学的アプローチ …… 338
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 …… 341
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 …… 344
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 …… 347
Ｈ２８／Ｂ１０　磁気光学効果を利用した磁界計測システム …… 350
Ｈ２８／Ｂ１１　アジアにおける HCI 研究の活性化 …… 353
Ｈ２８／Ｂ１２　眼球運動を伴う視覚処理機構に関する研究 …… 356
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 …… 358
Ｈ２８／Ｂ１４　情報の質と価値を扱う科学技術の創造 …… 360
Ｈ２８／Ｂ１５　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 …… 363
Ｈ２９／Ｂ０１　高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用 …… 366
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 …… 369
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 …… 372
Ｈ２９／Ｂ０４　第一原理ナノ構造設計手法の開発 …… 375
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 …… 377
Ｈ２９／Ｂ０６　IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用 …… 380
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 …… 383
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 …… 386
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 …… 389
Ｈ２９／Ｂ１０　インタラクティブコンテンツの新展開 …… 391
Ｈ２９／Ｂ１１　自己運動知覚を含む多感覚統合 …… 393
Ｈ２９／Ｂ１２　Search Science: an interdisciplinary endeavor …… 395
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 …… 398
Ｈ２９／Ｂ１４　コトロジー創成：生き物の多様な行動を生み出すミニマルセットを探る …… 400
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 …… 403
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 …… 405
Ｈ２９／Ｂ１７　ブレインウェア LSI とその応用国際共同研究 …… 407
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 …… 410
Ｈ２９／Ｂ１９　電磁情報セキュリティに関する研究 …… 412
Ｈ２９／Ｂ２０　産学連携による半導体技術の新たな展開と応用 …… 415
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 …… 417
Ｈ２９／Ｂ２２　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 …… 420
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 …… 423

Ｈ２７／Ｓ１　大規模データ処理に基づく対話的知識創発を通じた共感計算機構 …… 425
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 …… 428
Ｈ２９／Ｓ２　ナノエレクトロニクスに関する連携研究 …… 431
Ｈ２９／Ｓ３　デザイン学に基づく電気通信システムの革新 …… 434

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

(1) RIEC 日露国際マイクロ波ワークショップ 2017
RIEC Russia-Japan Joint International Microwave Workshop 2017 …… 439

(2) フォトニクス・光通信に関する国際シンポジウム
International Symposium on Photonics and Optical Communications (ISPOC 2017) …… 440

(3) エクスペリエンスデザインと認知科学
RIEC International Symposium on Experience Design and Cognitive Science …… 441

(4) 第15回RIEC スピントロニクス国際ワークショップ
15th RIEC International Workshop on Spintronics …… 442

(5) 第六回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム
The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer …… 443

(6) ブレインウェア LSI に関する国際シンポジウム
The 5th RIEC International Symposium on Brainware LSI …… 444

(7) 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
The 9th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics …… 445

２．　国際会議等の開催状況

(1) 第 11 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
11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics …… 446

３．　工学研究会 …… 447
(1) 伝送工学研究会 …… 448
(2) 音響工学研究会 …… 448
(3) 仙台“プラズマフォーラム” …… 449
(4) ＥＭＣ仙台ゼミナール …… 449
(5) コンピュータサイエンス研究会 …… 450
(6) システム制御研究会 …… 450
(7) 情報バイオトロニクス研究会 …… 451
(8) スピニクス研究会 …… 452
(9) ニューパラダイムコンピューティング研究会 …… 453
(10) 超音波エレクトロニクス研究会 …… 454
(11) ブレインウェア工学研究会 …… 457
(12) 情報・数物研究会 …… 458

(13) 生体・生命工学研究会 …… 458
(14) ナノ・スピン工学研究会 …… 459
(15) 先進的情報通信工学研究会 …… 460

４． 通研講演会
(1) 井島　勇祐　「NTT メディアインテリジェンス研究所における音声処理研究とその実用化」 …… 461
(2) 林　　優一　「漏えい・妨害・改変の３つの視点からみた電磁情報セキュリティ」 …… 462
(3) 一木　隆範　「Development of the Nerve Cell Network High Throughput Screening Devices」 463
(4) 栗田　直幸　「低損失アモルファス鉄心を適用した配電用大容量変圧器の開発」 …… 463
(5) 井上　博之　「車載システムのセキュリティ検証プラットフォーム」 …… 464
(6) 永山　　忍　「ネットワーク侵入検知システム向け
プログラマブルハードウェアの設計・開発について」 …… 464
(7) 藤本　晃司　「圧縮センシングを用いた腹部造影ダイナミック MRI」 …… 465
(8) 小林　　康　「眼球モニターで脳状態を読み取り、操作する」 …… 466
(9) MITIN Vladimir
「グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造とそのテラヘルツ応用
Graphene-Based Atomically-Thin 2D Heterostructures and their Terahertz Applications」 467
(10) MITIN Vladimir
「Reconfigurable Materials and Adaptive Sensors Based on Nanostructures」 …… 468
(11) 神山　　剛　「携帯端末の消費電力可視化技術と利用モデルの一般化」 …… 469

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） …… 471
(2) 電気通信研究機構（ROEC） …… 472
(3) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES） …… 473
(4) スピントロニクス学術連携研究教育センター（CSRN） …… 474
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 …… 475
(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 …… 476
(3) スピントロニクス国際共同大学院プログラム …… 477
(4) ヨッタインフォマティクス研究センター 学際研究重点プログラム …… 478

第７章　評価と分析
運営協議会報告 …… 479

【資料編】

第１　人事 …… 507

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教育研究支援者　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 …… 512

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 …… 514

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 …… 521

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 29 年度研究代表者）　④競争的資金等状況　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 …… 531

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 …… 538

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 …… 556

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 …… 559

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 …… 560

付　録　職員 …… 561

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。

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。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、本研究所がカバーし先導するべき研究領域です。一方で、イノベーションの核となるよう大学に期待が寄せられている時代でもあり、この期待に応えるため、限られた資源をやりくりしつつ本研究所は基盤技術から応用までをカバーして、将来の情報通信技術を創出していかなければなりません。

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)の研究スパン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。本年度は第 2 期の第 3 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に資する、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、人工知能研究の流れに乗って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。

本研究所では、私達に与えられた資源を活用してなされた研究、教育、及び社会貢献にわたる諸活動を広く社会に公開して点検し、研究活動等の改善と今後の発展に資するため、毎年ここにお届けする「研究活動報告」を発行しています。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。

平成 30 年 5 月 24 日

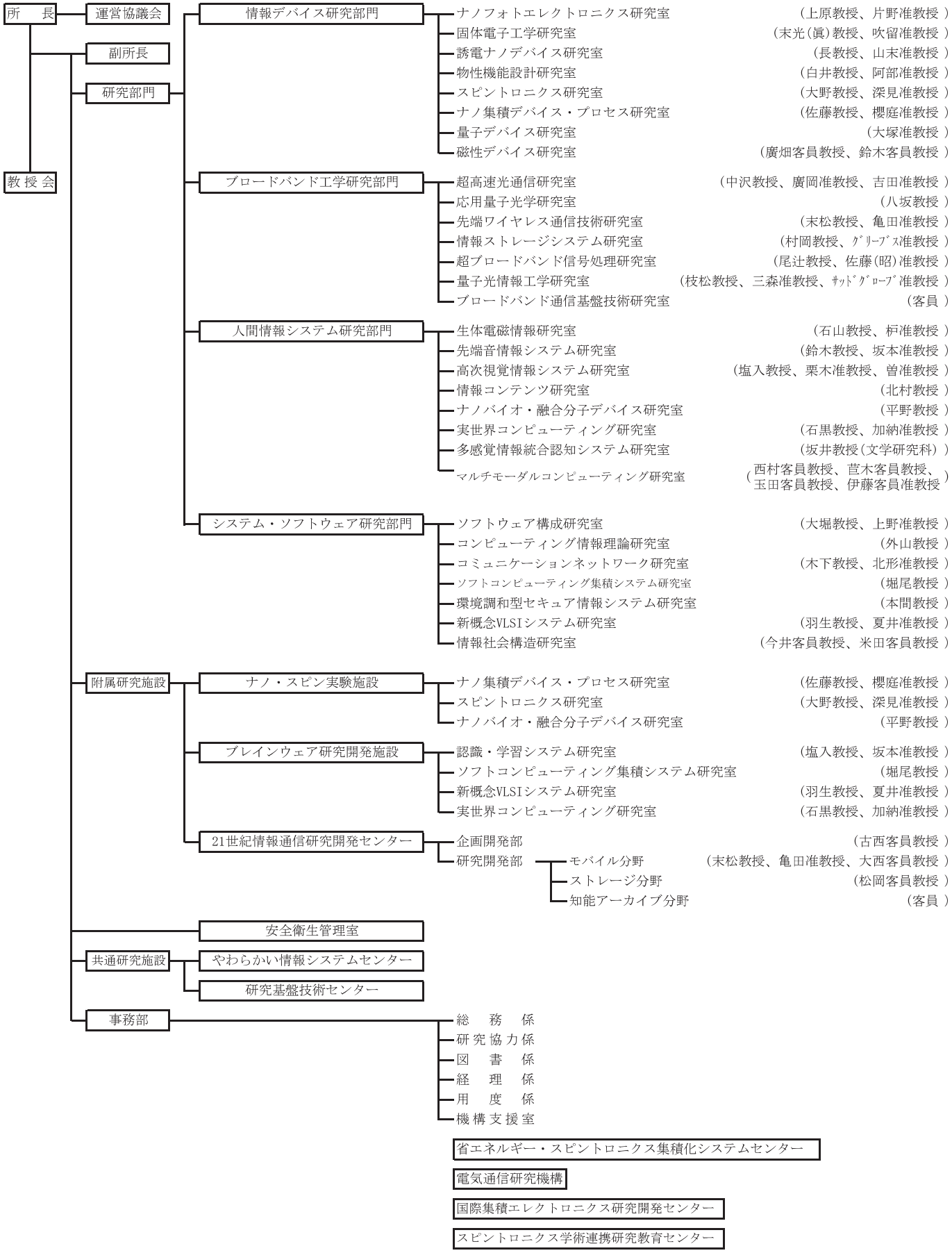
電気通信研究所 所長

塩　入　　諭

第　2　章　　組織・運営

2．1　組　織　図

30.3.31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（　〃　）	東芝リサーチ・コンサルティング株式会社 シニアフェロー
伊　丹　俊　八（　〃　）	総務省 東北通信局長
伊　藤　公　平（　〃　）	慶応義塾大学理工学部長・大学院理学研究科委員長 教授
小野寺　　正（委員長）	ＫＤＤＩ株式会社 取締役会長
金　山　敏　彦（委　員）	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 フェロー
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（　〃　）	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
黒　田　　徹（　〃　）	日本放送協会 放送技術研究所 所長
中川路　哲　男（　〃　）	三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 所長
中小路　久美代（　〃　）	京都大学 学際融合教育研究推進センター 特定教授
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
波多野　睦　子（　〃　）	東京工業大学工学院 教授
前　田　英　作（　〃　）	東京電機大学 システムデザイン工学部 教授
美　濃　導　彦（　〃　）	京都大学 学術情報メディアセンター 教授
寺　田　眞　浩（　〃　）	東北大学大学院 理学研究科長
滝　澤　博　胤（　〃　）	東北大学大学院 工学研究科長
徳　山　　豪（　〃　）	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
川　又　政　征（　〃　）	東北大学大学院 工学研究科 教授

２．３　共同研究組織

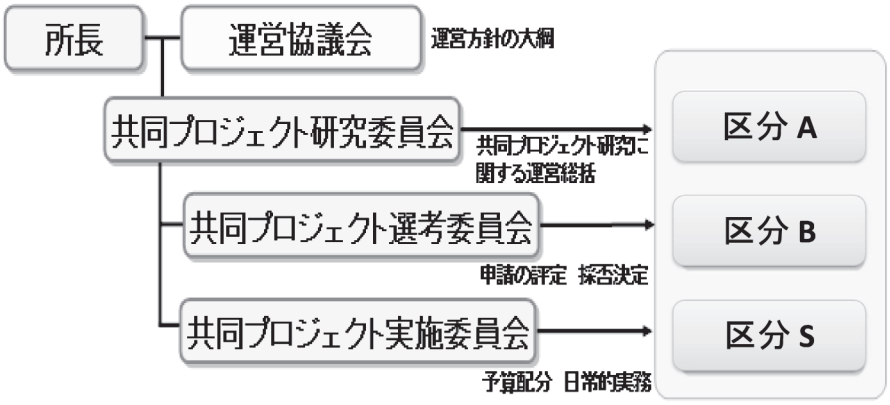
本研究所は平成６年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、無線通信、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成 26 年 4 月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の 2 施設として設備を充実し発足した。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。

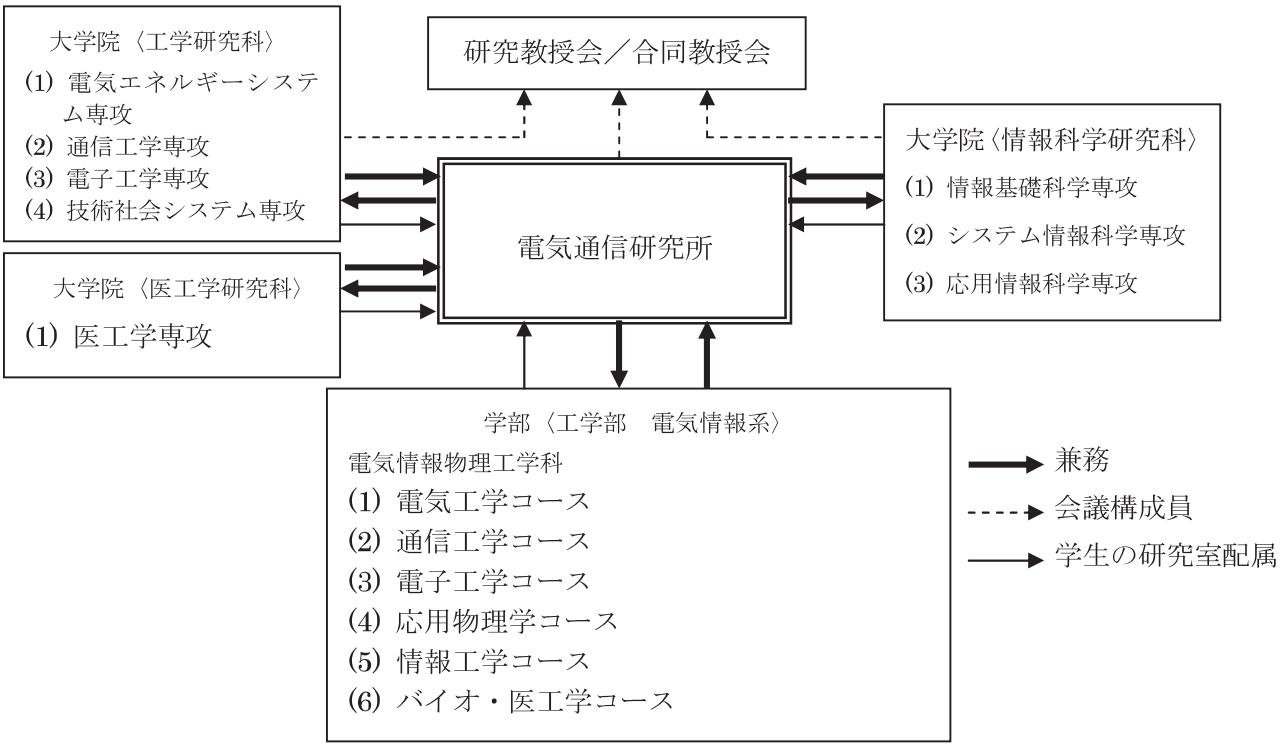
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。2012 年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015 年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2017 年度には通研の 25 研究室のうち 2 研究室が工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、6 研究室が通信工学専攻に、10 研究室が電子工学専攻に、2 研究室が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 研究室がシステム情報科学専攻に、1 研究室が応用情報科学専攻に、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 180 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工学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、次世代情報処理機能デバイス実現の基盤となる，ナノスケール光電変換機能，量子スピン機能制御などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に，これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス，再構成可能論理デバイス，誘電情報デバイス，電子・光相関効果電子デバイス，量子効果デバイス，次世代高性能・省エネルギー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研究室を設置し研究を行っている．

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2017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．

情報デバイス研究部門

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

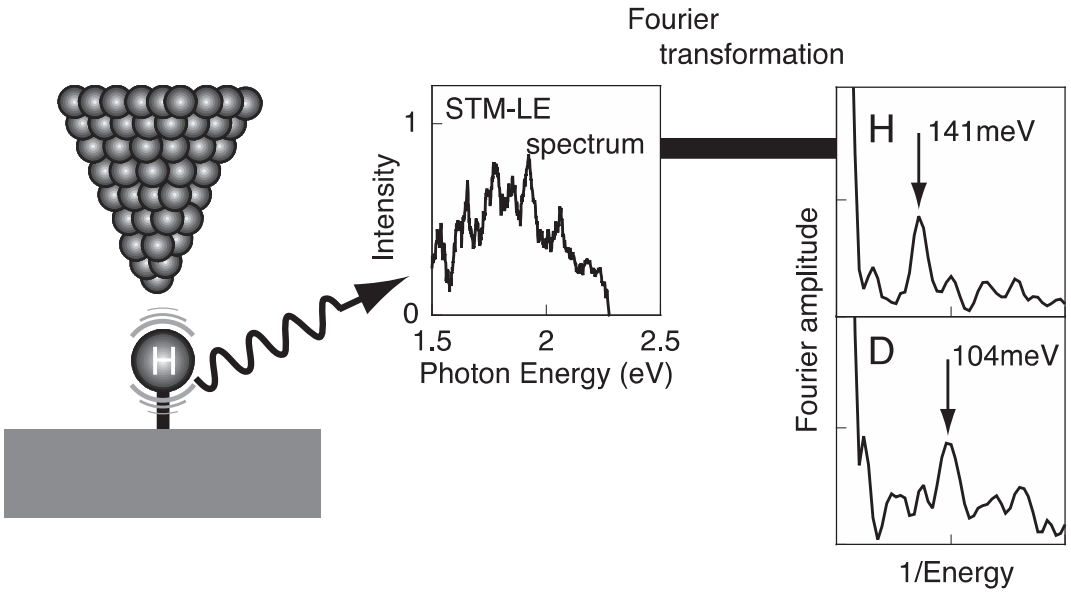


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．Sb_2Te_3のポンプ-プローブSTM発光分光

カルコゲン合金は結晶状態とアモルファス状態で光学的、電気的性質が大きく異なる。このため、光記憶素子や相変化メモリーの材料として注目・研究がなされてきた。本研究では、カルコゲン合金の一種であるSb_2Te_3を試料とし、ピコ秒レーザー光の照射に伴う結晶状態での電子状態変化をピコ秒の時間分解能を有するSTM発光で調べた。Sb_2Te_3にピコ秒レーザーパルスを照射すると、照射後8.7 psでF点のギャップエネルギーが30 meV増加し、15.3 psでは約200 meVまで増加した。その後、減少に転じ、28.7 psで元のギャップエネルギーに戻った。カルコゲンのポンプ-プローブ・レーザー分光の結果によれば、ピコ秒レーザーは、カルコゲナイドの結晶・非晶質相転移を引き起こすことが報告されている。今回の我々の結果と併せると、結晶・非晶質相転移とF点でのバンドギャップエネルギーの上昇の間に相関があることがわかった。

２．STM発光分光スペクトルに現れる振動構造

Cu(110)面上に吸着したベンゼン分子の STM 発光スペクトルにおいて、量子カットオフ近傍にステップ構造が出現することを以前の研究で明らかにした（Katano *et al.*, *J. Phys. Chem. Lett.* **1** (2010) 2763.）。しかしながら、そのような微細構造の出現は通常の非弾性トンネリング過程では説明することができず、その発光機構について理解されていなかった。今年度、吸着分子系における STM 発光の理論計算を琉球大学との共同研究により行った。その結果、分子の振動励起と探針–試料間で発生する STM 発光が強く結合することによりステップ構造が出現することを見出した。本結果は、STM 発光によって原子位置分解能振動分光が達成されることを示す重要な発見である。

３．熱還元された酸化グラフェンの光電子物性

酸化グラフェン(GO)の光電子物性は、グラフェン構造の保たれた導電性のsp^2ドメインと、酸素官能基の接続により形成された絶縁性のsp^3ドメインで構成される局所的な微細構造によって支配される。本研究では、熱還元処理されたGOの光電子物性を原子分解能を有するSTM、光ルミネッセンス(PL)法、および顕微ラマン分光法により明らかにした。オクタンチオール(C_8S)自己組織化単分子膜(SAM)/Au(111)上に固定化されたGOの高さ（シート厚）は0.8 nmであった。しかしながら超高真空下でC_8S-SAMが分解脱離する温度まで基板を昇温したところ、GOの高さが0.4 nm程度まで減少した。このように加熱処理されたGOのPLを計測したところ可視領域における蛍光強度が増大することがわかった。GOの化学状態をラマン分光により分析した結果、GOが熱反応により還元されて発光性のドメインが形成されることが示唆された。

＜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)。

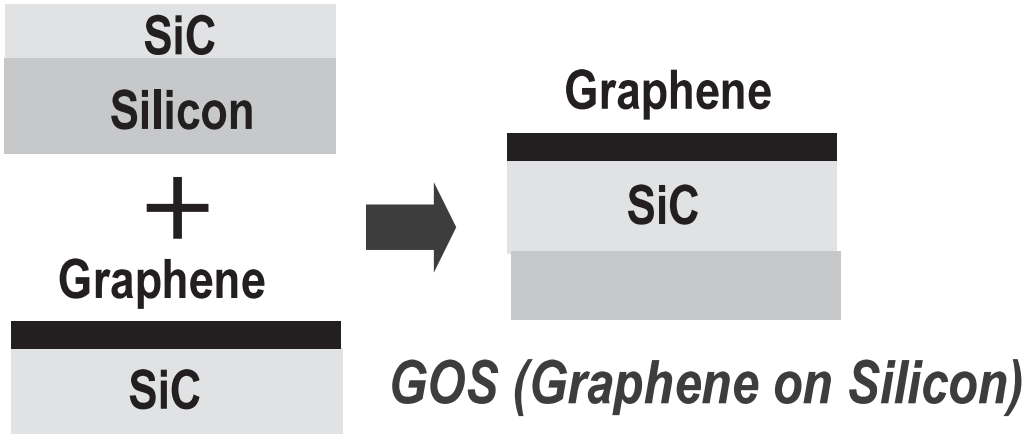
片野 諭 2003 年 3 月　東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士後期課程修了。2003 年 4 月　独立行政法人 理化学研究所中央研究所 博士研究員。2006 年 8 月　東北大学電気通信研究所助手。2007 年 4 月　同助教。2012 年 5 月　同准教授、現在に至る。固体表面における吸着原子・分子の表面物理化学およびナノ光物性研究に従事。第 23 回応用物理学会講演奨励賞（2008 年）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

1. 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).
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**, 104306-1_9 (2018).
3. J. Sakai, S. Katano, M. Kuwahara, and Y. Uehara, "Pump–probe STM Light Emission Spectroscopy for Detection of Photo-induced Semiconductor–metal Phase Transition of VO_2", *J. Phys.: Condens. Matter.*, **29**, 405001_1-7 (2017).
4. 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).
5. S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, and Y. Uehara, "Nanoscale Observation of a Single Graphene Oxide Layer Using Scanning Tunneling Microscopy", *J. Vac. Soc. Jpn.*, **60**, 495-498 (2017).
6. S. Katano, M. Hotsuki, H. Aichi, and Y. Uehara, "Nanoscale Luminescence of Two-dimensional Array of Silver Nanoparticles Investigated by STM Light Emission Spectroscopy", *25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM25)*, Atagawa Heights, Shizuoka, Japan, (2017).
7. S. Katano, M. Aizawa, H. Fujita, and Y. Uehara, "Luminescence from Carbon Nanomaterials Investigated by Scanning Tunneling Microscopy", RIEC International Symposium on Photonics and Optical Communications (ISPOC 2017), Tohoku University, Sendai, (2017).

固体電子工学研究室

炭化ケイ素、グラフェン、二次元物質をシリコン・テクノロジーに



GOS 技術：グラフェンをシリコンテクノロジーに

固体電子工学研究分野　教　授　末光　眞希
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。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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．　グラフェン・トランジスタの電流飽和の実現

ドレイン電流が飽和しないことが、グラフェン・トランジスタ（GFET）の高性能化を阻んでいた。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。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．　マイクロ波照射によるグラフェン/SiC 界面の制御

グラフェン/SiC 界面は、GFET の高周波特性に大きな影響を及ぼす。我々は、マイクロ波照射により、グラフェンに損傷を与えることなく、グラフェン/SiC 界面の化学結合を制御する技術を世界に先駆けて開発した。

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＞

教　授　末光 眞希（2008 年より）
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
産学連携研究員　Venugopal Gunasekaran

＜プロフィール＞

末光　眞希　1975 年 3 月　東北大学工学部電子工学科卒業。1980 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。1980 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1990 年 4 月　同大電気通信研究所助教授。2003 年 4 月　同大学際科学国際高等研究センター教授、2008 年 4 月同大電気通信研究所教授、現在に至る。半導体薄膜表面工学の研究開発に従事。第 30 回熊谷記念真空科学論文賞受賞（2005 年 11 月）。総長教育賞受賞（2010 年 3 月）。2009 年度 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Paper of the Year 賞受賞。2011 年度表面科学会論文賞受賞（2011 年 12 月）。2016 年度 IAAM メダル受賞（2016 年 8 月）

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）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Someya, H. Fukidome, H. Watanabe, T. Yamamoto, M. Okada, H. Suzuki, Y. Ogawa, T. Iimori, N. Ishii, T. Kanai, K. Tashima, B. Feng, S. Yamamoto, J. Itatani, F. Komori, K. Okazaki, S. Shin, and I. Matsuda, “Suppression of Supercollision Carrier Cooling in High Mobility Graphene on SiC(000-1)”, Physical Review B, Vol. 95, pp. 165303-1-165303-7, 2017.

[2] K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, S. Takashi, I. Takushi, K. Fumio, I. Matsuda, M. Suemitsu, “A table-top formation of bilayer quasi-free-standing epitaxial graphene on SiC(0001) by microwave annealing in air”, Carbon, 130, pp. 792-798, 2018.

[3] K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, W.-J. Cho, M. Suemitsu, “Solution-Based Formation of High-Quality Gate Dielectrics on Epitaxial Graphene by Microwave-Assisted Annealing”, Japanese Journal of Applied Physics, 56, pp. 06GF09-1-06GF09-5, 2017.

[4] G. Venugopal, G.-H. Park, M. Suemitsu and H. Fukidome, “Fabrication of Multi-Layer Bi_2Se_3 Devices and Observation of Anomalous Electrical Transport Behaviors”, Materials Science in Semiconductor Processing, 68. (2017), pp. 128-132.

[5] E. Minamitani, R. Arafune, T. Frederiksen, T. Suzuki, S. M. F. Shahed, T. Kobayashi, N. Endo, **H. Fukidome**, S. Watanabe, and T. Komeda, “Atomic-scale characterization of the interfacial phonon in graphene/SiC”, Physical Review B, 96. (2017), pp. 155431-1-155431-7.

[6] Maki Suemitsu, “Gas-Source Epitaxial Growth of 3C-Sic on Si Substrates and Formation of Epitaxial Graphene Thereon in Search for the Electronic and Photonic Device Applications”, ICMAT 2017

[7] Kwan-Soo Kim, Goon-Ho Park, Hirokazu Fukidome, Maki Suemitsu, “Formation of Quasi-Free-standing Epitaxial Graphene on SiC(0001) by Microwave Annealing”, Carbon 2017

[8] H. Fukidome, K. Omika, Y. Tateno, T. Kouchi, T. Komatani, N. Nagamura, S. Konno, Y. Takahashi, M. Kotsugi, K. Horiba, M. Suemitsu, M. Oshima, “Quantification of Surface Electron Trapping of GaN Transistors by Using Operando Soft X-ray Photoelectron Nanospectroscopy”, ISSS-8 2017

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

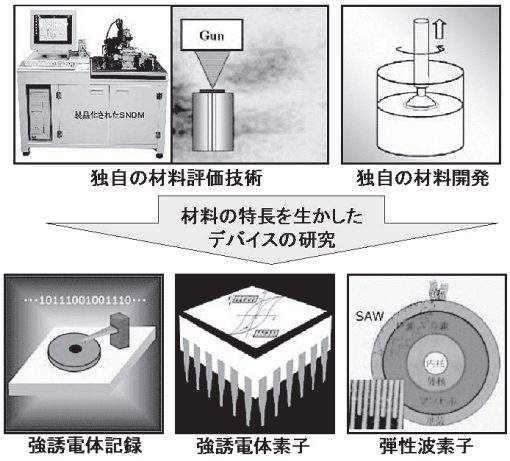


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

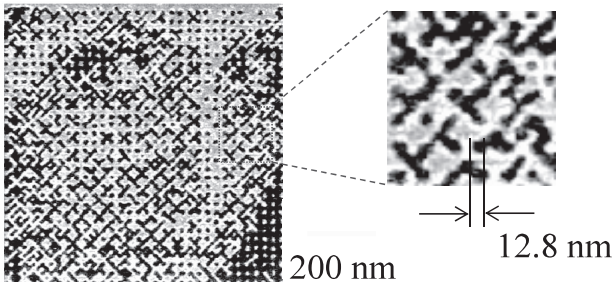


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．　SNDM による半導体材料・デバイス評価に関する研究

時間分解 SNDM の提案および装置開発を行い、パワー半導体デバイス用途の SiC 材料を評価する研究に応用可能なことを実証した。探針−試料表面間容量の時間応答をナノ秒スケールの時間分解能で取得可能な手法を確立し、同手法に基づく局所 DLTS 法（Deep Level Transient Spectroscopy）を用いて SiO_2/SiC 界面における浅い界面準位の密度評価が可能であることを明らかにした。

２．　超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

強誘電体における局所分極反転ダイナミクスの理解に向けて、分極ドメインスイッチング挙動を特徴付け可能な手法を提案した。電圧の繰り返し印加で生じる局所容量の時間応答を大量に取得し、系統的に解析することで、スイッチング挙動を特徴付けるパラメータを抽出可能なことを示した。また、同手法を近年、強誘電性の発現が確認され、強誘電体記録用媒体としての利用が期待されるHfO_2薄膜における局所的な分極反転ダイナミクスの特徴付けに応用した。

３． SNDMプローブを用いた線形誘電率ナノイメージング

線形誘電率のナノスケール観察が可能なdC/dz-SNDM法において、高調波観察モードによる空間分解能の向上ならびに 背景信号の低減が可能となるメカニズムを明らかにした.

＜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

＜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）

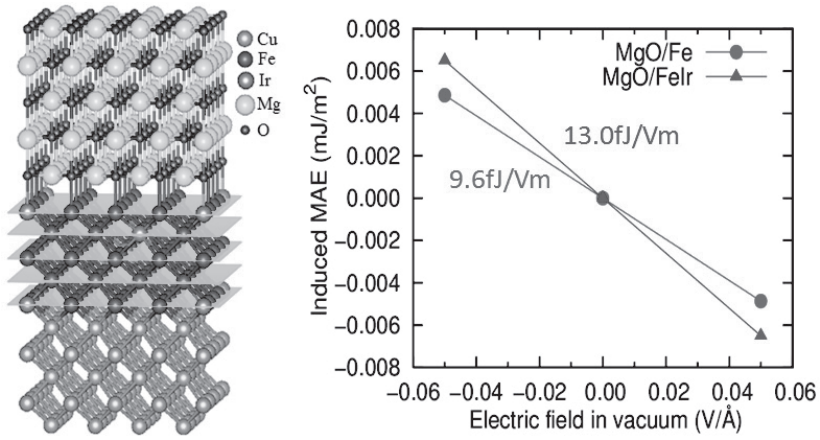
山末　耕平　2002 年 3 月　京都大学工学部電気電子工学科卒業。2007 年 3 月　同大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。2007 年 4 月 同大ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー研究員。2008 年 8 月　同助教。2010 年 4 月 東北大学電気通信研究所助教。2016 年 7 月　同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率ポテンショメトリの開発とその電子材料・デバイス評価への応用に関する研究に従事。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Hiranaga, N. Chinone, and Y. Cho: “Nanoscale linear permittivity imaging based on scanning nonlinear dielectric microscopy”, Nanotechnology, Vol. 29, No.20, pp. 205709.1-9, 2018
[2] Y. Yamagishi and Y. Cho: “Nanosecond microscopy of capacitance at SiO_2/4H-SiC interfaces by time-resolved scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol. 111, No. 16, pp. 163103-1-5, 2017
[3] Y. Hiranaga, T. Mimura, T. Shimizu, H. Funakubo, and Y. Cho: “Dynamic observation of ferroelectric domain switching using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.56, No. 10S, pp.10PF16-1-7, 2017
[4] N. Chinone and Y. Cho: “Local deep level transient spectroscopy using super-higher-order scanning nonlinear dielectric microscopy and its application to imaging two-dimensional distribution of SiO_2/SiC interface traps”, J. Appl. Phys., Vol.122, No. 10, pp.105701-1-9, 2017
[5] Y. Cho: “High resolution characterizations of fine structure of semiconductor device and material using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 56, No. 10, pp.100101-1-10, 2017
[6] K. Hirose, K. Tanahashi, H. Takato, and Y. Cho: “Quantitative measurement of active dopant density distribution in phosphorus-implanted monocrystalline silicon solar cell using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.111, No. 3, pp. 032101-1-4, 2017

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



Ir を添加した MgO/Fe 膜のモデル（左図）と MgO/Fe, MgO/FeIr 膜における磁気異方性エネルギーの電界依存性（右図）[5]

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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．　界面磁気異方性の電界制御

電圧制御磁気異方性(VCMA)効果の増大は超低消費電力にて駆動可能な電圧書き込み型磁気メモリの実現において必要不可欠である。MgO/Fe 界面へ Ir 原子を添加することで、垂直磁気異方性と VCMA 効果の増大が同時に得られることを見出した。また、界面 1, 2 層目に添加された Ir 原子は界面の Fe 原子に比べ 1 桁大きな VCMA 効果を示すことを明らかにした。この Ir 原子の大きな VCMA 効果は、Ir 原子の巨大なスピン軌道相互作用に加え、Fe 3*d* と Ir 5*d* 軌道の強い混成により Ir 原子がスピン非対称な電子状態を持つことに起因することを明らかにした[5]。

２．　高密度金属水素化合物

高圧における ZrH_3、ZrH_4、ZrH_6 金属相の可能性を第一原理計算から示した。その超伝導転移温度は ZrH_3 では低いが、ZrH_4 で 70 K、ZrH_6 で 100 K を超えると見積もっている。また、周期表で対角線上に並ぶ Mg、Sc、Zr において、水素化合物の構造に類似性がみられることも分ってきた。対角線上の構造類似性は、Ca、Y 水素化合物、及び Al、Ge 水素化合物でも見られており、今後、新たな水素化合物を探索する上で有効な指針になると期待している。

＜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）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] J. Okabayashi, T. Koyama, M. Suzuki, M. Tsujikawa, M. Shirai and D. Chiba, “Induced perpendicular magnetization in a Cu layer inserted between Co and Pt layers revealed by x-ray magnetic circular dichroism,” Sci. Rep., Vol. 7, Article no. 46132, pp. 1-9, 2017

[2] S. Miwa, M. Suzuki, M. Tsujikawa, K. Matsuda, T. Nozaki, K. Tanaka, T. Tsukahara, K. Nawaoka, M. Goto, Y. Kotani, T. Ohkubo, F. Bonell, E. Tamura, K. Hono, T. Nakamura, M. Shirai, S. Yuasa and Y. Suzuki, “Voltage control of platinum orbit: A contribution to interfacial magnetism,” Nature Commun., Vol. 8, Article no. 15848, pp. 1-9, 2017

[3] T. Seki, J. Shimada, S. Iihama, M. Tsujikawa, T. Koganezawa, A. Shioda, T. Tashiro, W. Zhou, S. Mizukami, M. Shirai and K. Takanashi, “Magnetic anisotropy and damping for monolayer-controlled Co/Ni epitaxial multilayer,” J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 86, No. 7, Article no. 074710, pp. 1-10, 2017

[4] K. Abe, “Hydrogen-rich scandium compounds at high pressures,” Phys. Rev. B, Vol. 96, No. 14, Article no. 144108, pp. 1-7, 2017

[5] T. Nozaki, A. Koziol-Rachwal, M. Tsujikawa, Y. Shiota, X. Xu, T. Ohkubo, T. Tsukahara, S. Miwa, M. Suzuki, S. Tamaru, H. Kubota, A. Fukushima, K. Hono, M. Shirai, Y. Suzuki and S. Yuasa, “Highly efficient voltage control of spin and enhanced interfacial perpendicular magnetic anisotropy in iridium-doped Fe/MgO magnetic tunnel junctions,” NPG Asia Mater., Vol. 9, Article no. e451, pp. 1-10, 2017

[6] S. Souma, K. Honma, T. Sato, M. Tsujikawa, M. Shirai and T. Takahashi, “Emergence of undulating surface band upon oxygen adsorption of Fe thin film on W(110),” Appl. Phys. Lett., Vol. 111, No. 24, Article no. 241603, pp. 1-4, 2017

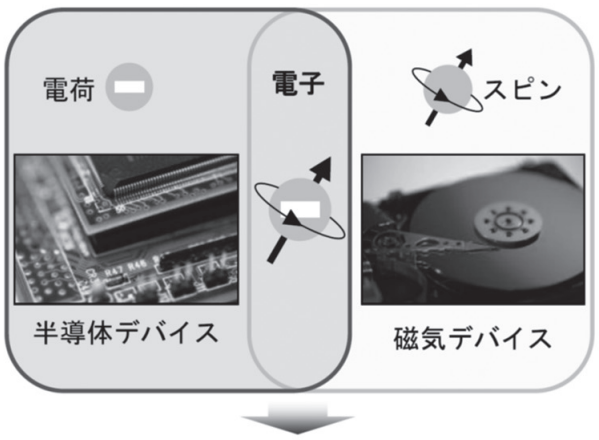
[7] T. Kawabe, K. Yoshikawa, M. Tsujikawa, T. Tsukahara, K. Nawaoka, Y. Kotani, K. Toyoki, M. Goto, M. Suzuki, T. Nakamura, M. Shirai, Y. Suzuki and S. Miwa, “Electric-field-induced magnetic moments and magnetocrystalline anisotropy in cobalt ultrathin films,” Phys. Rev. B, Vol. 96, Article no. 220412(R), pp. 1-6, 2017

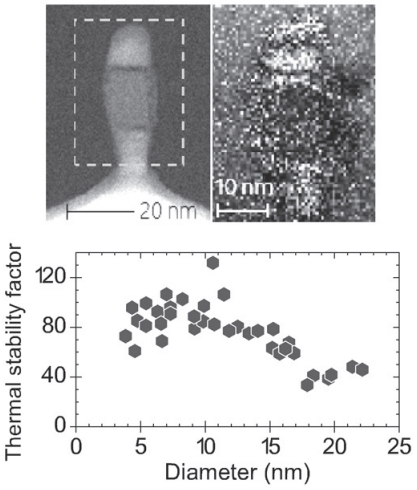
[8] L. Bainsla, K. Z. Suzuki, M. Tsujikawa, H. Tsushiura, M. Shirai and S. Mizukami, “Magnetic tunnel junctions with an equiatomic quaternary CoFeMnSi Heusler alloy electrode,” Appl. Phys. Lett., Vol. 112, No. 5, Article no. 052403, pp. 1-5, 2018

[9] I. Shigeta, Y. Fujimoto, R. Ooka, Y. Nishisako, M. Tsujikawa, R. Y. Umetsu, A. Nomura, K. Yubuta, Y. Miura, T. Kanomata, M. Shirai, J. Gouchi, Y. Uwatoko and M. Hiroi, “Pressure effect on magnetic properties of half-metallic Heusler alloy Co_2TiSn,” Phys. Rev. B, Vol. 97, No. 10, Article no. 104414, pp.1-8, 2018

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・高機能な素子の創生





形状磁気異方性を利用した 1 桁ナノメートル
磁気トンネル接合の動作実証（文献[7]）

スピントロニクス機能工学研究分野　教　授　大野 英男
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への応用を目的として、半導体・金属磁性体におけるスピン現象、及びそれらを利用した新規スピントロニクス素子の創生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物性の評価と理解、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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．　超高熱安定性スピン軌道トルク磁化反転素子の基盤構築

Co/Pt 積層構造が発現するスピン軌道トルク、及び微細細線における熱安定性を調べ、非常に高い熱安定性と大きなスピン軌道トルク磁化反転効率が得られることを明らかにした。（文献[4]）

２．　反強磁性/強磁性積層構造におけるスピン・軌道相互作用に由来した物性の定量評価

PtMn/[Co/Ni]積層構造においてスピン・軌道相互作用に由来するスピン軌道トルクとジャロシンスキー・守谷相互作用を定量評価し、両者が異なる性質を示すことを明らかにした。（文献[6]）

３．　未踏の 1 桁ナノメートル領域での磁気トンネル接合の動作実現

形状磁気異方性を利用した極微細磁気トンネル接合を作製し、未踏の一桁ナノメートル領域における高い熱安定性とスピン移行トルク磁化反転の両立を達成した。（文献[7]）

＜職員名＞

教　授　大野 英男（1994 年より）
准教授　深見 俊輔（2016 年より）
助　教　金井 駿, Justin Llandro

＜プロフィール＞

大野 英男　1982 年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982 年北海道大学講師、1983 年北海道大学助教授、1988-1990 年 IBM T. J. Watson 研究所客員研究員、1994 年より東北大学教授。第 12 回日本 IBM 科学賞、2003 年度 The IUPAP Magnetism Prize、平成 17 年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize、2011 年トムソン・ロイター引用栄誉賞、2012 年第 12 回応用物理学会業績賞(研究業績)、IEEE David Sarnoff Award 2012、2015 年第 5 回化合物半導体エレクトロニクス業績賞（赤﨑勇賞）受賞、2016 年江崎玲於奈賞、2016 年 C&C 賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。中国科学院半導体研究所名誉教授号。応用物理学会フェロー。米国物理学会フェロー。IEEE フェロー。東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサー。IEEE Magnetic Society, Distinguished Lecturer for 2009。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、日本磁気学会、IEEE、AVS 会員。

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。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

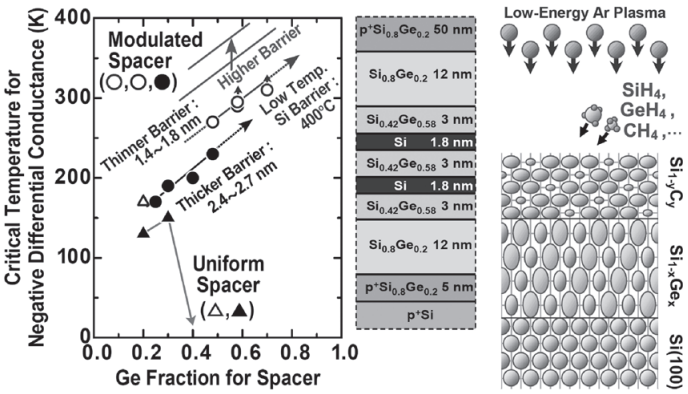
[1] M. Bersweiler, K. Watanabe, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic properties of FeV/MgO-based structures," Appl. Phys. Express **10**, 083001 (2017).
[2] T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effect on spin-wave resonance in a nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junction," Appl. Phys. Lett. **111**, 027403 (2017).
[3] S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic and transport properties of Sb2Te3 doped with high concentration of Cr," Appl. Phys. Express **10**, 103001 (2017).
[4] B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H.Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching in Co/Pt multilayers," Appl. Phys. Lett. **111**, 102402 (2017).
[5] J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic-field-angle dependence of coercivity in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," Appl. Phys. Lett. **111**, 132407 (2017).
[6] S. DuttaGupta, T. Kanemura, C. Zhang, A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torques and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] heterostructures," Appl. Phys. Lett. **111**, 182412 (2017).
[7] K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, "Shape anisotropy revisited in single-digit nanometer magnetic tunnel junctions," Nature Communications **9**, 663 (2018).
[8] C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno, "Time and spatial evolution of spin–orbit torque-induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO structures with various sizes," Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 04FN02 (2018).
[9] M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato, and H. Ohno, "Free-layer size dependence of anisotropy field in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions," Appl. Phys. Express **11**, 043001 (2018).
[10] E. C. I. Enobio, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Evaluation of energy barrier of CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis using retention time measurement," Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 04FN08 (2018).

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、不揮発性メモリと乗算機能を有するシナプスデバイスの開発、自励機能などを有する高機能ニューロン回路の設計・製作、3 次元実装されたトポロジー可変型ニューラルネットワークの開発、並びに脳型計算機プロトタイプ実現を当面の目標とする。併せてこれらの製作に必要な各種プロセス技術、各種デバイス技術の確立を図る。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。

＜2017 年度の主な成果＞

1. ナノ集積デバイス

量子並列性を利用した計算アルゴリズムの開発を目的として、量子ビットネットワークの学習方法を提案した。連想記憶問題を例題として、量子計算用に修正した Hebb 学習則が有効に機能することを確認した。また、脳型視覚情報処理システムの構築を目的として、人の運動視を模倣して局所運動を検出する視覚処理 LSI の動作を検証した。カメラ、FPGA ボード、及び局所運動検出 LSI から構成されるシステムを構成し、ライブ動画像からオプティカルフローをフレームレート 30 fps で検出できることを確認した。さらに、神経回路の構造と時空間ダイナミクスの関係を明らかにすることを目的として、神経回路網のモジュール構造が発火に及ぼす影響を計算機シミュレーションから調べた。モジュール間を結ぶ結合が中程度の時に、様々な同期状態が混在する複雑なダイナミクスを示すことを明らかにした。

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 プロセスの実験研究を進めた結果、高キャリア濃度（2.5×10^{19} cm^{-3}）において高いキャリア移動度（46 cm^2 V^{-1} s^{-1}）を有する B ドープ Si 薄膜エピタキシャル成長に成功すると同時に、pn 接合の逆方向電流が改善されることを明らかにした。

＜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）。

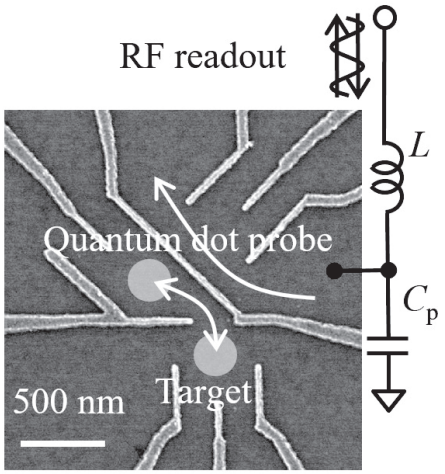
櫻庭 政夫　1990 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1995 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2002 年 8 月　同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月　同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料（SSDM）国際会議 Young Researcher Award 受賞（1992 年）、第 12 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞（2002 年）。石田記念財団研究奨励賞受賞（2015 年）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

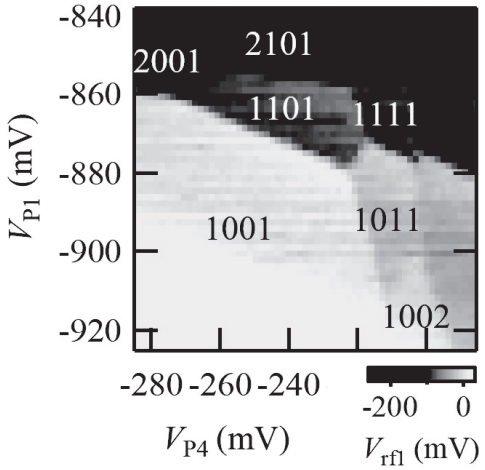
[1] Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, S. Sato, “Quantum Associative Memory with Quantum Neural Network via Adiabatic Hamiltonian Evolution,” IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E100-D, pp.2683-2689, 2017.
[2] M. Sakuraba, K. Sugawara, T. Nosaka, H. Akima and S. Sato, “Carrier properties of B atomic-layer-doped Si films grown by ECR Ar plasma-enhanced CVD without substrate heating,” Science and Technology of Advanced Materials, vol.18, pp.294-306, 2017.
[3] N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Electronic Properties of Si/Si-Ge Alloy/Si(100) Heterostructures Formed by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating,” Materials Science in Semiconductor Processing, vol.70, pp.55-62, 2017.

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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．　半導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、素子構造の改良、高周波測定技術の活用等により、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。

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、トンネルの低次や高次の過程による電荷・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, 7]。

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。デバイス材料の選択により核スピンの影響を低減してコヒーレンス時間を伸ばすことによる量子ビット操作の高精度化や、多重量子ドットを活用した素子数の改善等を行った[2, 4, 5, 6]。

＜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）、新世代研究所 ATI 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）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Noiri, K. Kawasaki, T. Otsuka, T. Nakajima, J. Yoneda, S. Amaha, M. R. Delbecq, K. Takeda, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “A triangular triple quantum dot with tunable tunnel couplings”, Semiconductor Science and Technology 32, 084004 (2017).

[2] T. Nakajima, M. R. Delbecq, T. Otsuka, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, A. Noiri, K. Kawasaki, K. Takeda, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, D. Loss, and S. Tarucha, “Robust Single-Shot Spin Measurement with 99.5% Fidelity in a Quantum Dot Array”, Physical Review Letters 119, 017701 (2017).

[3] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, P. Stano, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Higher-order spin and charge dynamics in a quantum dot-lead hybrid system”, Scientific Reports 7, 12201 (2017).

[4] A. Noiri, T. Takakura, T. Obata, T. Otsuka, T. Nakajima, J. Yoneda, and S. Tarucha, “Cotunneling spin blockade observed in a three-terminal triple quantum dot”, Physical Review B 96, 155414 (2017).

[5] J. Yoneda, K. Takeda, T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, G. Allison, T. Honda, T. Kodera, S. Oda, Y. Hoshi, N. Usami, K. M. Itoh, and S. Tarucha, “A quantum-dot spin qubit with coherence limited by charge noise and fidelity higher than 99.9%”, Nature Nanotechnology 13, 102 (2018).

[6] 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”, International Conference on Electronic Properties of Two Dimensional Systems, State College, U.S.A., Aug. 3, 2017.

[7] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, 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 Hybrid System”, International Conference on Electronic Properties of Two Dimensional Systems, State College, U.S.A., Aug. 1, 2017.

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)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)現在，ネットワークは生活に不可欠なものとなっており，スマートフォンなどを通して我々は逐次情報を得ている。通信トラフィックは増加を続けており，無線ネットワークに掛かる負荷は日々増大している。無線ネットワークの破綻を防ぐには異なる無線システムを融合して「ディペンダブル・エア」を実現する必要がある。我々は複数の無線システムを利用環境や回線状況に応じてシームレスに切り替え，システムの接続性や伝送速度の向上を図るために，高精度な位置情報などとリンクさせることでユーザの位置から高効率な無線システムの選択を実現する「マップ情報」などスモールセルネットワークを積極的に利用する手法を提案している。また，無線通信端末の伝送速度高速化・小型化・低消費電力化を目指し，5G+などの次世代携帯電話や高速大容量衛星通信を実現するHTS(High Throughput Satellite)衛星に利用できる高速サンプルホールド回路(S/H 回路)を用いた受信機についての検討を 65nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。実際に 28GHz 帯で S/H 回路を実現すると共に，S/H 回路を用いた受信機の雑音特性やフィルタの影響を確認した。

(2)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、独自の分布帰還型デュアルゲート構造を有する試作素子により、100K において世界初の単一モードレーザー発振ならびに広帯域増幅自然放出に成功した。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を用いた 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の研究を進め、変調周波数 12GHz で ASK あるいは BPSK 変調された光データ信号から、周波数 22.5GHz の IF データ信号への周波数下方変換を実証した。

⑶超高速光通信研究室

（目標）光・量子エレクトロニクスならびに伝送工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルスの発生・伝送・受光技術、短パルスレーザ技術、ならびにデジタルコヒーレント光信号処理技術および高精度光ファイバ計測の研究を行い、グローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

（成果）コヒーレントナイキストパルスを用いて 64 QAM（Quadrature Amplitude Modulation）方式により単一チャネル 7.68 Tbit/s 伝送に成功し、10 Tbit/s 近い超高速伝送でありながら 9.7 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を初めて達成した。また、4096 QAM 信号の 160 km デジタルコヒーレント伝送に世界で初めて成功し、シャノンリミットに迫る 15.8 bit/s/Hz の周波数利用効率を達成した。さらに、光ファイバ伝送において導波音響波型ブリルアン散乱（GAWBS: Guided Acoustic-Wave Brillouin Scattering）と呼ばれる位相歪み効果が存在することを明らかにし、この GAWBS 雑音をデジタル補償することに初めて成功した。

⑷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）半導体レーザの共振器損失と注入電流を同時に変調する混合変調法を提案し、レーザ応答特性制御を実現した。本変調法を適用することで 100GHz に迫る応答帯域を有する半導体レーザ光源が実現できることを数値解析で明らかにした。また、光負帰還法による半導体レーザの線幅低減実験で、光導波路型リングフィルタを DFB-LD へハイブリッド実装することで小型狭線幅半導体レーザ光源が実現できることを実証した。さらに、LN マッハツェンダ変調器への高調波同時印加法により、光 NRZ 信号から簡便に光 TDM ナイキストパルスを発生可能であることを実証した。

⑸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。

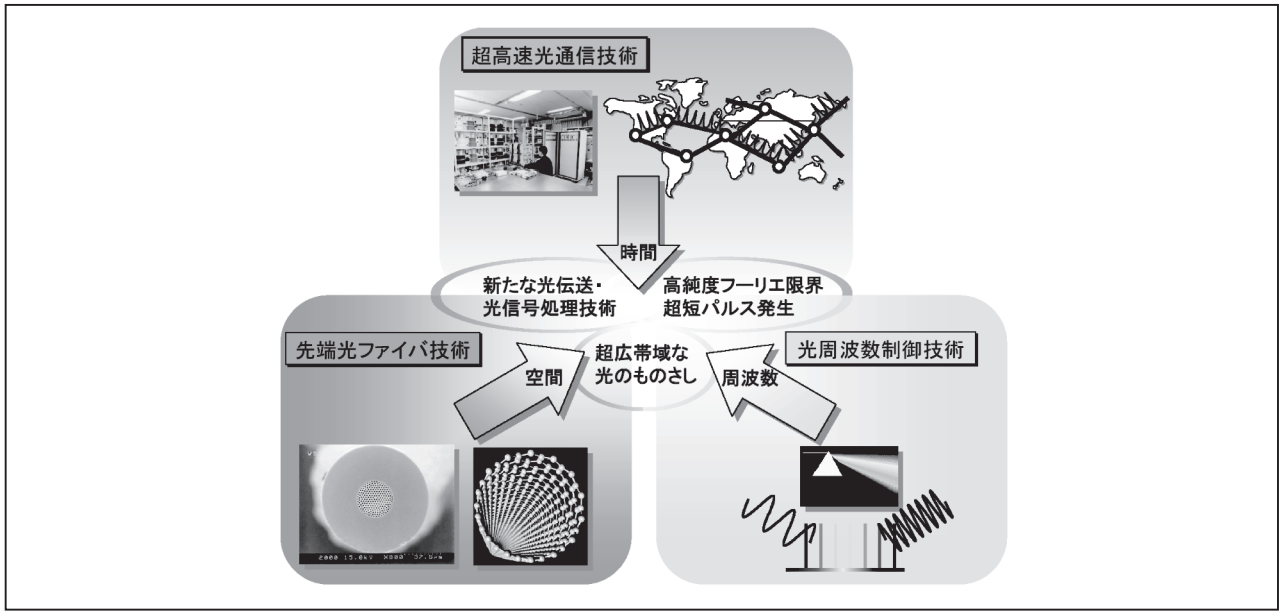
⑹量子光情報工学研究室

（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）ダイヤモンド NV 中心を用いて静的にも動的にも真にランダムな偏光状態にある単一光子の発生を実現。その量子干渉性および波動ー粒子相補性の観測。（2）半導体量子ドットにおける局所電場効果の観測。半導体薄膜の励起子分子から表面ポラリトンへの緩和過程の観測。（3）ナノ光ファイバに金ナノ粒子を付着した系において，ファイバに導入される光の特異なキラル偏光特性の観測と解析。真空中ナノ光ファイバ近傍への冷却原子の生成に成功。

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



光伝送研究分野 教　授　中沢　正隆
光信号処理研究分野 准教授　廣岡　俊彦　　高精度光ファイバ計測研究分野 准教授　吉田　真人

＜研究室の目標＞

インターネットや携帯で扱われる情報が多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスと伝送工学を駆使して、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、デジタルコヒーレント光信号処理技術の研究を行い、21 世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

＜2017 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、文科省の特別推進研究を進めている。2017 年度は、コヒーレントナイキストパルスを用いて 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)方式により単一チャネル 7.68 Tbit/s 伝送に成功し、10 Tbit/s 近い超高速伝送でありながら 9.7 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を初めて達成した。また、ノンコヒーレントナイキストパルスにより単一チャネル 10.2 Tbit/s-300 km 伝送に世界で初めて成功した。

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 QAM 方式によるデジタルコヒーレント超多値光伝送技術に取り組んでいる。2017 年度は、4096 QAM 信号の 160 km デジタルコヒーレント伝送に世界で初めて成功し、シャノンリミットに迫る 15.8 bit/s/Hz の周波数利用効率を達成した。また、光ファイバ伝送において導波音響

波型ブリルアン散乱（GAWBS: Guided Acoustic-Wave Brillouin Scattering）と呼ばれる位相歪み効果が存在することを明らかにし、このGAWBS雑音をデジタル補償することに初めて成功した。

＜職員名＞

教　授　中沢 正隆（2001年より） 准教授　廣岡 俊彦（2007年より）
准教授　吉田 真人（2011年より） 助教（プロジェクト特任）葛西 恵介　秘　書　篠崎 頼子

＜プロフィール＞

中沢 正隆　1980年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。1984～1985年MIT客員研究員。2001年4月より東北大学電気通信研究所教授。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。IEEE Daniel E. Noble Award (2002年)、OSA R. W. Wood Prize (2005年)、Thomson Scientific Laureate (2006年)、産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞(2009年)、紫綬褒章(2010年)、IEEE Quantum Electronics Award (2010年)、日本学士院賞(2013年)、OSA Charles Townes Award (2014年)など受賞。IEEE、OSA、電子情報通信学会および応用物理学会フェロー。2008年本学Distinguished Professor、2010~2012年本研究所所長、2012~2013年国際高等研究教育機構長、2011~2015年電気通信研究機構長。

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、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。

吉田 真人　2001年3月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年4月東北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、コヒーレント光伝送の研究に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、とやま賞、ELEX Best Paper Award、電子情報通信学会論文賞など受賞。

＜2017年度の主な発表論文等＞

[1] J. Nitta, M. Yoshida, K. Kimura, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-Channel 3.84 Tbit/s, 64 QAM Coherent Nyquist Pulse Transmission over 150 km with a Spectral Efficiency of 10.6 Bit/s/Hz,” Opt. Express, vol. 25, no. 13, pp. 15199-15207, June (2017).

[2] M. Nakazawa, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, T. Hirano, T. Ichikawa, R. Namiki, “QAM Quantum Noise Stream Cipher Transmission over 100 km with Continuous Variable Quantum Key Distribution," IEEE J. Quantum Electron., vol. 53, no. 4, 8000316, August (2017).

[3] M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Low-loss and reflection-free fused type fan-out device for 7-core fiber based on a bundled structure,” Opt. Express, vol. 25, no. 16, pp. 18817-18826, August (2017).

[4] S. Kumar and M. Nakazawa, “Discrete solitons in optical fiber systems with large pre-dispersion,” Opt. Express, vol. 25, no. 17, pp. 19923-19945, August (2017).

[5] K. Kasai, M. Nakazawa, Y. Tomomatsu, and T. Endo, “1.5 μm, mode-hop-free full C-band wavelength tunable laser diode with a linewidth of 8 kHz and a RIN of -130 dB/Hz and its extension to the L-band,” Opt. Express, vol. 25, no. 18, pp. 22113-22124, September (2017).

[6] T. Kan, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “42.3 Tbit/s, 18 Gbaud 64 QAM WDM coherent transmission over 160 km in the C-band using an injection-locked homodyne receiver with a spectral efficiency of 9 bit/s/Hz,” Opt. Express vol. 25, no. 19, pp. 22726-22737, September (2017).

[7] H. Ishii, N. Fujiwara, K. Watanabe, S. Kanazawa, M. Itoh, H. Takenouchi, Y. Miyamoto, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Narrow Linewidth Tunable DFB Laser Array Integrated with Optical Feedback Planar Lightwave Circuit (PLC),” IEEE Sel. Top. Quantum Electron. vol. 23, no. 6, 1501007, November/December (2017).

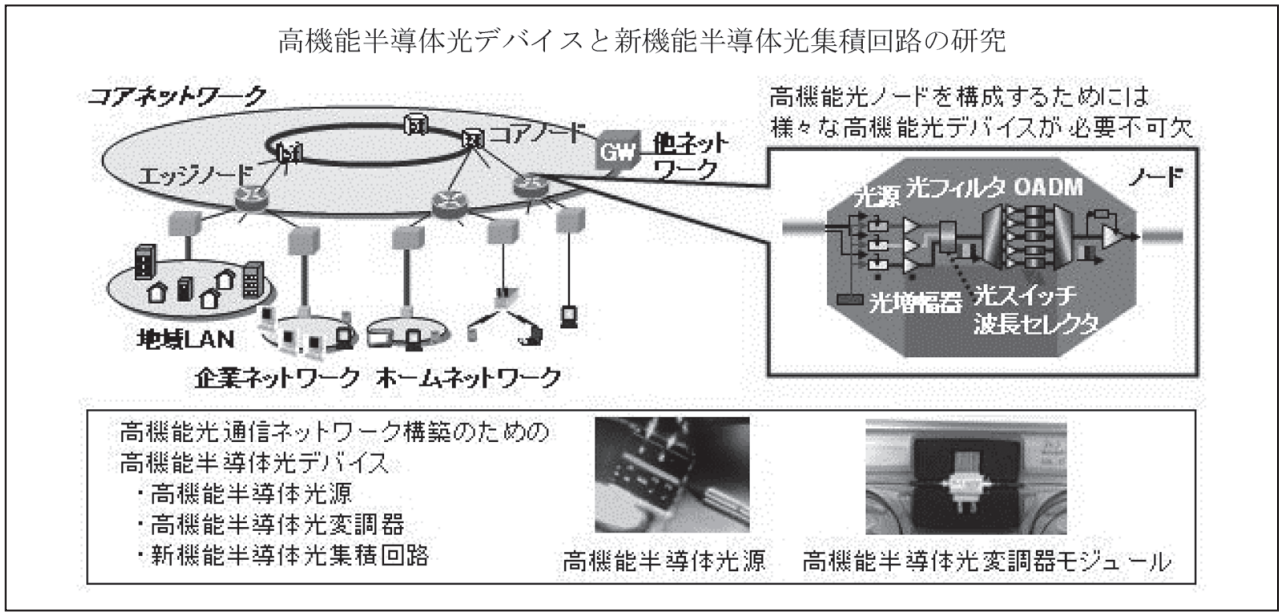
[8] S. Okamoto, M. Terayama, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Experimental and numerical comparison of probabilistically shaped 4096 QAM and a uniformly shaped 1024 QAM in all-Raman amplified 160 km transmission,” Opt. Express vol. 26, no. 3, pp. 3535-3543, February (2018).

[9] K. Kasai, M. Nakazawa, M. Ishikawa, and H. Ishii, “ 8 kHz linewidth, 50 mW output, full C-band wavelength tunable DFB LD array with self-optical feedback,” Opt. Express vol. 26, no. 5, pp. 5675-5685, March (2018).

[10] D. Soma, Y. Wakayama, S. Beppu, S. Sumita, T. Tsuritani, T. Hayashi, T. Nagashima, M. Suzuki, M. Yoshida, K. Kasai, M. Nakazawa, H. Takahashi, K. Igarashi, I. Morita, and M. Suzuki,, “10.16-peta-b/s dense SDM/WDM transmission over 6-mode 19-core fiber across the C+L band,” J. Lightwave Technol. vol. 36, no. 6, pp. 1362-1368, March (2018).

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

＜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。

＜2017 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、外部共振器を付与することで帰還光と発振光の相互作用によって誘起される光子共鳴効果を導入した超高速半導体レーザ光源の研究を進めている。本光源の実現に不可欠なレーザ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、共振器損失変調領域を外部共振器として動作させることで 100GHz に迫る 3dB 帯域が実現できることを数値解析により明らかにした。また本構造素子の動作速度の実験的検証を開始した。

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。単一モード半導体レーザの片出力側に Si 導波路によって形成したリング光フィルタをハイブリッド実装し、この光フィルタを周波数弁別回路として機能させ、光負帰還回路を構成することで集積型小型狭線幅光源の実現可能性を追及した。本光源構成で、安定にスペクトル線幅が低減でき、160kHz のスペクトル線幅を有する集積型小型狭線幅半導体レーザ光源を実現可能であることを実証した。

３．　光変調器を用いた光ナイキストパルス生成

超平坦な光周波数コム発生光源は、光通信システムの周波数利用効率を高めることができる光ナイキストパルスの発生に応用が可能な技術である。本研究では単体マッハツェンダ変調器へ新規に提案した高調波重畳変調法を導入することで、超平坦な光周波数コム発生が可能であることを明らかにし、光周波数コム形状をレイズドコサイン型に成形することで、光ナイキストパルス生成が可能であることを実証している。本技術を用いることで、EADFB レーザから出力された 10Gbps 光 non-return-to-zero (NRZ) 信号を、ナイキスト型 TDM パルス信号に変換可能であることを実証し、デジタル光通信システムへの適用性を明らかにした。

＜職員名＞

教　授　八坂　洋　（2008 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。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1]　K. Aoyama, S. Kobayashi, M. Wada, N. Yokota, and H. Yasaka, “Stable and Narrow Linewidth Semiconductor Laser Assembly with Coherent Optical Negative Feedback,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2017), JTu5A.101, May, 2017.

[2]　N. Yokota, R. Takeuchi, H. Yasaka, and K. Ikeda, “Lasing Polarization Characteristics in 1.55-mm Spin-Injected VCSELs,” IEEE Photonics Technology Letters, vol. 29, No. 9, pp. 711-714, 2017. / DOI 10.1109/LPT.2017.2681129

[3]　N. Yokota, R. Igarashi, and H. Yasaka, “Optical Nyquist pulse generation by using a dual-electrode Mach-Zehnder modulator,” Optics Letters, vol. 42, No. 9, pp. 1856-1859, 2017. / DOI 10.1364/OL.42.001856

[4]　横田信英、小向知也、八坂洋, “EA 変調器による符号化方式を用いたナイキスト型時分割多重光源の検討,” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-3-26, Sep., 2017.

[5]　青山康之祐、伊藤千真、横田信英、北智洋、八坂洋, “反射型 Si リングフィルタを用いた光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の実験的検証,” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-4-4, Sep., 2017.

[6]　三枝慈、横田信英、小林亘、八坂洋, “[奨励講演] 混合変調法による分布帰還型半導体レーザの変調特性制御,” 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), v vol. 117, no. 358, LQE2017-85, pp. 1-4, 2017.

[7]　八坂洋、青山康之祐、横田信英, “光負帰還狭線幅半導体レーザ光源 (招待講演),” レーザー学会学術講演会　第 38 回年次大会, G526pIX06, 2017.

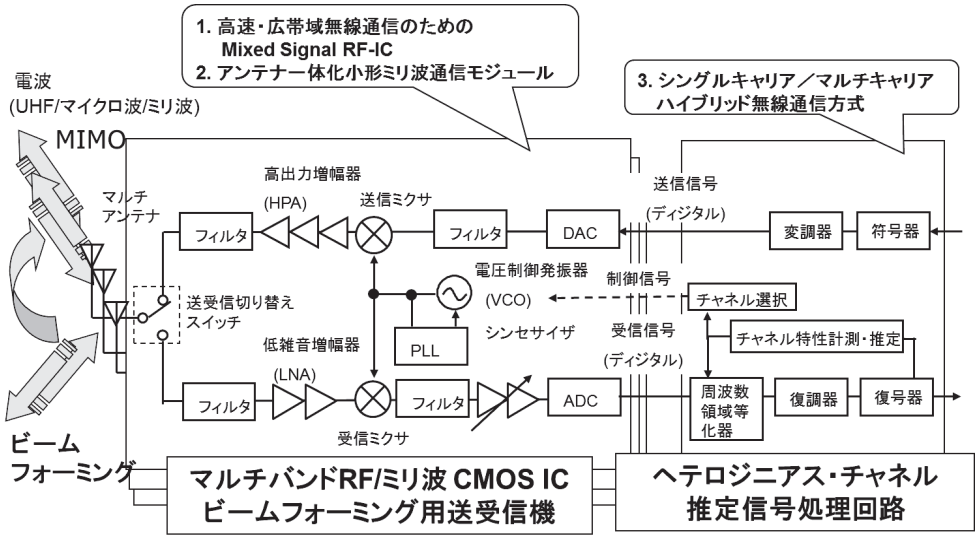
[8]　K. Aoyama, N. Yokota, and H. Yasaka, “3-kHz Spectral Linewidth Laser Assembly with Coherent Optical Negative Feedback,” IEEE Photonics Technology Letters, vol. 30, No. 3, pp. 277-280, 2018. / DOI 10.1109/LPT.2017.2783365

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．

＜2017 年度の主な成果＞

1．高精度位置情報を用いた無線通信ネットワーク負荷分散手法

無線通信トラフィックは増加を続けており，無線ネットワークに掛かる負荷は日々増大している．ネットワークの破綻を防ぐには異なる無線システムを融合して「ディペンダブル・エア」を実現する必要がある．我々は複数の無線システムを利用環境や回線状況に応じてシームレスに切り替え，

システムの接続性や伝送速度の向上を図るために，高精度な位置情報などとリンクさせることでユーザの位置から高効率な無線システムの選択を実現する「マップ情報」などスモールセルネットワークを積極的に利用する手法を提案し，それらを用いての回線状況が良いエリア・ルートをユーザに知らせ利用する「トラフィック・ナビゲーション」を提案した．

２．高速・広帯域無線通信のためのダイレクトディジタル RF 送受信機

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）回路や受信機についての検討を 65nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った．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した。さらには本 IC を用いて 28GHz 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機を設計・試作し，アンダーサンプリングの折返し雑音による受信性能劣化について検討するとともに，実用的な受信性能が得られることを確認した．

＜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

＜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，日本エレクトロニクス実装学会，IEEE 各会員．

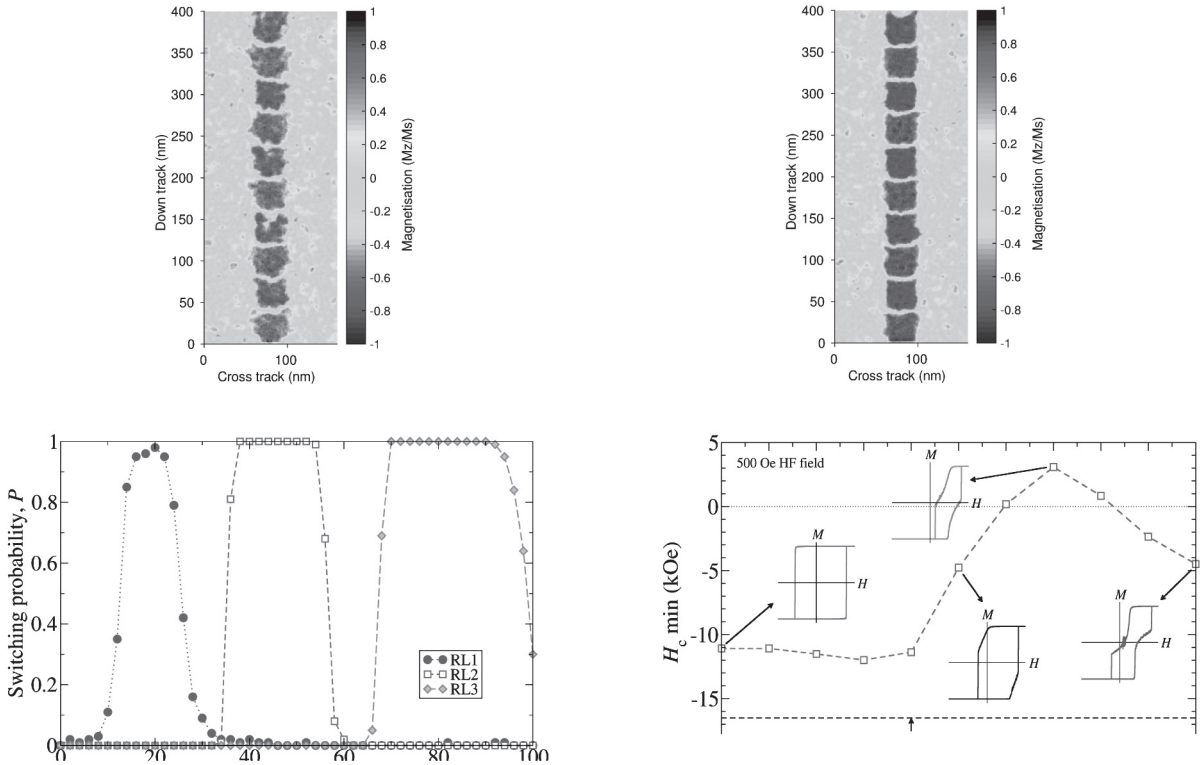
亀田　　卓　1997 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒業．2001 年 9 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了．博士 (工学)．2001 年 10 月同電気通信研究所助手，2007 年 4 月同助教，2012 年 4 月同准教授．2001 年第 16 回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術学生賞），2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞，2008 年電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会研究奨励賞，2012 年同研究会技術特別賞各受賞．電子情報通信学会，IEEE 各会員．

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Maehata, *et al.*, “Cancellation for asymmetrical waveform in 1-bit bandpass delta-sigma modulators,” IEICE Trans. Communications vol.E100-B, no.6, pp.1017-1022, June, 2017.
[2] T. Maehata, *et al.*, “1-bit band-pass delta-sigma modulator with parallel IIR form for concurrent multiband digital transmitter,” IEICE Trans. Communications Vol.E100-B, No.7, pp.1152-1159, Jul. 2017.
[3] M. Kazuno, *et al.*, “A study on the SNR in higher Nyquist zone of 1-bit low-pass delta-sigma RZ-DAC,” in Proc. 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), pp.918-921, 2017.
[4] N. Takeda, *et al.*, “Differential pair feed line design for a millimeter-size antenna for in-body/out-body dual usage,” in Proc. 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 768-771, 2017.
[5] K. Akimoto, *et al.*, “Measurement of human body blocking at 60 GHz for inter-network interference of mmWave WBAN,” in Proc. 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), pp.472-475, 2017.

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



上：２層記録媒体の記録ビットパターン、右層１、左層２。
左下：３層パターン媒体のドットの各層の反転確率とスピントルク発振器の周波数。
右下：磁性粒子の保磁力と粒子の軟磁性層の厚さの依存性。DC 外磁場と同時に高周波磁場印可されてある。

大規模ストレージシステム研究分野　教授　村岡　裕明
情報ストレージデバイス研究分野　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。

＜2017 年度の主な成果＞

今年度は、熱アシスト磁気記録（HAMR）とマイクロ波アシスト磁気記録（MAMR）の２種類のエネルギーアシスト磁気記録技術が研究された。

MAMR システムでは、複数の個別の記録層からなる媒体上に情報を記録することが可能である。これは、異なる強磁性共鳴周波数を有する記録層を用いることによって達成される。記録時、記録ヘッドの隣に位置するスピントルク発振器は、一つの記録層の共振周波数で高周波磁界を発生させ、その層のみを選択的に記録することができる。論文[1]は、3 層記録媒体のシミュレーションの結果を記述している。

論文[2]は、磁化反転確率と信号対雑音比を最大にするために、MAMR システムにおける記録ヘッド磁界パルスの形状を最適化する方法を検討している。様々な最適なパルス形状が、異なる媒体構造に対して見出された。

将来的に使え得る記録技術である HAMR が論文[3]で研究された。エラーレートとデータ損失を最小限に抑えるためには、スイッチング確率はできるだけ 1 に近づける必要がある。交換結合された硬磁性層と軟磁性層からなる複合記録媒体の使用は、単層媒体と比較した場合、媒体粒子の磁化反転確率を上げることが分かった。

複合記録媒体構造はまた、媒体の粒子の磁化が反転するのにかかる時間を短縮するために使用され、書き込み中にデータレートを増加させることができる。論文[4]では、単層および傾斜異方性媒体の磁化反転時間を比較し、後者の磁化反転時間は前者の 2/3 であった。

＜職員名＞

教授　村岡　裕明　（2000 年より）
准教授　サイモン　グリーブス　（2003 年より）

＜プロフィール＞

村岡　裕明　1981 年　東北大学大学院工学研究科電気及び電通工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株）、1991 年電気通信研究所助手、1993 年同助教授、2000 年同教授。高密度磁気記録理論，　磁気記録デバイス及び記録方式、情報ストレージ方式、等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞（2003 年）、IEEE Fellow（2008 年）、日本磁気学会業績賞（2014 年）。

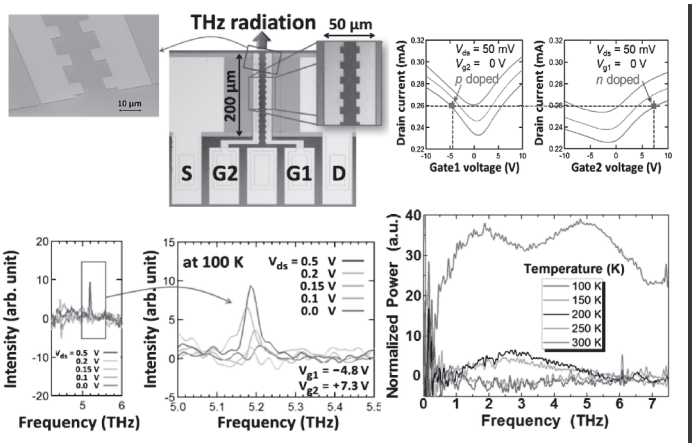
サイモン　グリーブス　1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

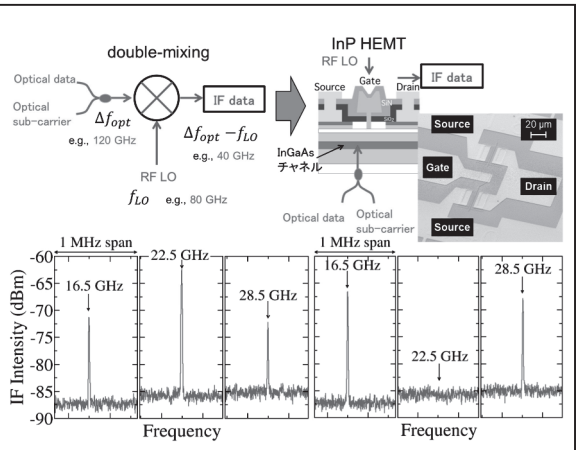
＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Greaves, Y. Kanai and H. Muraoka, “Multiple layer microwave-assisted magnetic recording”, IEEE Transactions on Magnetics 53(2), 3000510-1-10, (2017).
[2] S. J. Greaves, H. Muraoka and Y. Kanai, “Optimisation of applied field pulses for microwave assisted magnetic recording”, AIP Advances 7, 056517-1-7, ‘(2017).
[3] S. Greaves, H. Muraoka and Y. Sonobe, "Composite media for heat assisted magnetic recording", IEEE Transactions on Magnetics 53(11), 8108804-1-4, (2017).
[4] N. Akitaya, S. Greaves and H, Muraoka, "Magnetization switching time of graded anisotropy recording media grains", T. Mag. Soc. Jpn. 1, p1-4, (2017).

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：電流注入型グラフェントランジスタレーザー素子(DFB-DG-GFET)の電子顕微鏡写真およびアンバイポーラ伝達特性(上)、世界初の単一モードテラヘルツレーザー発振および広帯域増幅自然放出の観測結果（下)、右：InP HEMTを用いた光ダブルミキシング機能の概念図およびInP HEMTの電子顕微鏡写真（上)、InP HEMTを用いて1.5-μm帯光信号から周波数22.5 GHzのミリ波帯IF信号へ周波数下方変換された、周波数12 GHzで変調されたASK/BPSKデータ信号の観測結果（左下/右下)。

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。

＜2017 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創出に向けた研究を継続推進し、デバイスプロセス技術の開発を進め、独自の分布帰還型デュアルゲート構造を有する試作素子により、100K において世界初の単一モードレーザー発振ならびに広帯域増幅自然放出に成功した。

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、InP 系高電子移動度トランジスタ（InP HEMT）の光ダブルミキシング機能を用いて、変調周波数 12 GHz で ASK/BPSK 変調された光データ信号から、周波数 22.5 GHz の IF データ信号へ周波数下方変換できることを実証した。

＜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。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Dmitry Ponomarev, Denis Lavrukhin, Alexander Yachmenev, Rustam Khabibullin, Igor Semenikhin, Vladimir Vyurkov, Maxim Ryzhii, Taiichi Otsuji, and Victor Ryzhii, "Lateral terahertz hot-electron bolometer based on an array of Sn nanothreads in GaAs," J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 51, no. 13, pp. 135101-1-8, 2018.

[2] D. Yadav, G. Tamamushi, T. Watanabe, J. Mitsushio, Y. Tobah, K. Sugawara, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Terahertz light-emitting graphene-channel transistor toward single-mode lasing," Nanophotonics, vol. 7, iss. 4, pp. 741-752, 2018.

[3] V. Ryzhii, T. Otsuji, V.E. Karasik, M. Ryzhii, V.G. Leiman, V. Mitin, and M.S. Shur, "Comparison of intersubband quantum-well and interband graphene-layer infrared photodetectors," IEEE J. Quantum Electron., vol. 54, ss. 2 , pp. 1558-1713, 2018.

[4] V. Ryzhii, M.S. Shur, M. Ryzhii, V.E. Karasik, and T. Otsuji, "Device model for pixelless infrared image up-converters based on polycrystalline graphene heterostructures," J. Appl. Phys., vol. 123, pp. 014503-1-9, 2018.

[5] O.V. Polischuk, D. V. Fateev, T. Otsuji, and V.V. Popov, "Plasmonic amplification of terahertz radiation in a preriodic graphene structure with the carrier injection," Appl. Phys. Lett., vol. 111, iss. 8, pp. 081110-1-4, 2017.

[6] V. Ryzhii, M. Ryzhii, S. Svintsov, V. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Effect of doping on the characteristics of infrared photodetectors based on van der Waals heterostructures with multiple graphene layers," J. Appl. Phys., vol. 122, pp. 054505-1-8, 2017.

[7] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V.E. Karasik, and M.S. Shur, "Infrared detection and photon energy up-conversion in graphene layer infrared photodetectors integrated with LEDs based on van der Waals heterostructures: concept, device model, and characteristics," Infrared Phys. Technol., vol. 85, pp. 307-314, 2017.

[8] T. Otsuji, T. Watanabe, A. Satou, D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, T. Suemitsu, and V. Ryzhii, "Terahertz light emission in graphene-based active plasmonic metamaterial heterostructures," META'17: the 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics Abstract Book, Paper ID: SP22.I2, Incheon, Korea, 25-28 July 2017. (invited)

[9] A. Satou and T. Otsuji, "Millimeter-wave/terahertz detection and photonic double-mixing by transistors," SPIE OPTO+ Photonics, Conference on Infrared Remote Sensing and Instrumentation XXV, 104003-27, San Diego Convention Center, San Diego, CA, USA, 6-10 Aug. 2017; Proc. SPIE, vol. 10403, pp. 104030S-1-12, 2017.

[10] D. Yadav, Y. Tobah, J. Mitsushio, G. Tamamushi, T. Watanabe, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Broadband terahertz-light emission by current-injection distributed-feedback dual-gate graphene-channel field-effect transistor," CLEO: Int. Conf. on Lasers and Electro-Optics, AM2B.7, San Jose, CA, USA, May 14-19, 2017. DOI: 10.1364/CLEO_AT.2017.AM2B.7

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

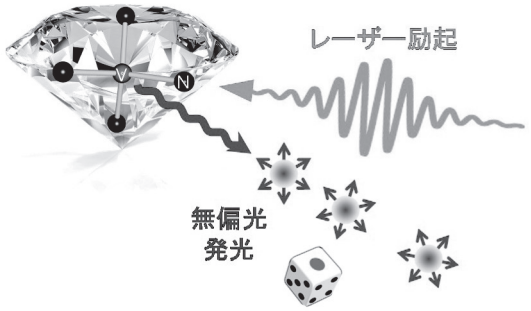


図１．ダイヤモンド中の不純物欠陥（NV 中心）を用いた無偏光単一光子発生の模式図。

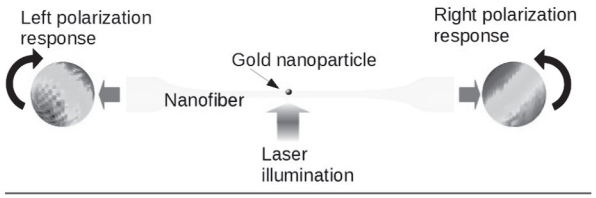


図 2. ナノ光ファイバー・金ナノ球複合体の偏光のキラル性の概念図。

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。本研究分野は，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べき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) 真にランダムな偏光をもつ単一光子の発生と検証

静的にも動的にも真にランダムな偏光状態にある単一光子の発生を，ダイヤモンド中の不純物欠陥（NV 中心）を用いて実現することに成功した。本成果は，光子を用いた真性乱数発生器の実現や量子暗号の技術開発，および量子力学の基礎問題の検証に重要な役割を果たすことが期待される。

(2) 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。本年度は半導体量子ドットにおいて励起子分子が関与する局所電場効果の観測に成功した。また，半導体薄膜の励起子分子の緩和過程において，膜厚によって表面ポラリトンへ

の緩和が増大することを明らかにした。

(3) 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の開発，およびナノフォトニクスデバイスとナノ粒子および冷却原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金ナノ粒子を付着した系において，ナノ粒子を介してファイバに導入される光の特異なキラル偏光特性を観測した。また，真空中ナノ光ファイバ近傍への冷却原子の生成に成功した。

＜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）
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

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Mitsumori, T. Watanuki, Y. Sato, K. Edamatsu, K. Akahane, and N. Yamamoto, “Anomalous optical diffraction by a phase grating induced by a local field effect in semiconductor quantum dots,” Phys. Rev. B **95**,155301 (2017)
[2] N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, and K. Edamatsu, “Dynamically unpolarized single-photon source in diamond with intrinsic randomness,” Sci. Rep. 7, 46722 (2017)
[3] 三森康義, “半導体微小共振器を用いた量子光源～量子情報通信の実現に向けて～,” 電気学会誌 **137**, 232 (2017)
[4] M. Sadgrove and K.P. Nayak, “Composite device for interfacing an array of atoms with a single nanophotonic cavity mode,” New J. Phys. **19**, 063003 (2017)
[5] J. Ni, S. Dadras, W.K. Lam, R.K. Shrestha, M. Sadgrove, S. Wimberger, G.S. Summy, “Hamiltonian Ratchets with Ultra‐Cold Atoms,” Annalen der Physik **529**, 1600335 (2017)
[6] 阿部尚文, 枝松圭一, “ダイヤモンドを使った真にランダムな偏光を持つ単一光子の発生・検証に成功―光子を用いた量子さいころ―,” 電子情報通信学会誌 **100**, 1140 (2017)
[7] M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “Polarization response and scaling law of chirality for a nanofibre optical interface,” Sci. Rep. **7**, 17085 (2017)
[8] 阿部尚文, 枝松圭一, “ダイヤモンド中の単一 NV 中心を用いた真にランダムな偏光をもつ単一光子の発生,” New Diamond **34**, 22 (2018)
[9] 枝松圭一, “非古典光の基礎,” 光学 **47**, 48 (2018)
[10] Y. Mitsumori, S. Matsuura, S. Uchiyama, K. Saito, K. Edamatsu, M. Nakayama, and H. Ajiki, “Biexciton relaxation associated with dissociation into a surface polariton pair in semiconductor films,” Phys. Rev. B **97**, 155303 (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．

2017 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し、展示会(JASIS2017)でデモンストレーションを行なった．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開発し，展示会でのデモンストレーションを行なった．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）将来のマルチモーダル，マルチメディア通信システムの実現に重要な人間のマルチモーダル知覚情報処理過程を，特に，聴覚を含む複数の感覚情報の時空間統合の観点から明らかにする研究と，その知識に基づく情報システムの構築を強力に進めている．

本年度は，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，聴取者と音像のいずれも移動する環境において，聴取者から音像までの距離を変化させた場合の音空間知覚について分析し，自己運動時は移動音像検知限が悪化するが接近音では静止時と変わらない移動音像検知限が保たれること，また，遠離音のみ聴取者遠方では精度が悪化すること等を明らかにした．

また，これらの聴覚に関する知見とディジタル信号処理に基づいて3次元音空間制御手法の高度化研究を進めた．本年度は，本研究分野が開発した球状マイクロホンアレイを用いた音空間高精度収音・再生技術SENZIについて，マイクロフォンのない位置に仮想マイクロフォンを適用して3次元音空間情報を高精細に取得・合成する新しいアルゴリズムを開発し論文化した．また，マイクロフォン信号を高精細にスピーカアレイ信号に変換するための，球状マイクロフォンとスピーカアレイ境界マッチングフィルタ理論を提案した．この成果は，国際的学術誌の論文として掲載された．

更に，このような高精細システムよって得られる「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，国際的学術誌論文として発表した．

(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）2017 年度は，以下の成果を得た．1）視覚の注意の広がりを脳波によって客観的に計測する手法を使用し，注意を向けた対象付近における注意の広がりについて研究した．その結果，注意対象自体の選択機構と，対象の周囲における処理を広く促進する機構の複数の注意処理プロセスが、脳内で階層的に存在する事を明らかにした． 2）色情報処理の脳内計算モデルを提案した．人間の視覚系は照明光の変化に順応し，色の見え方を補正する．順応後の色知覚方は，色の原点である無彩色（白，灰，黒）の非線形な振る舞いにより複雑に変化する．これを簡易に近似する方法を計算モデルに実装した結果，照明光の色と強度の推定により見え方の大きな個人差が有名になったドレス（#theDress）画像において，個人の見え方を画像として模擬する事に成功した．

(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，ディスプレイと 3 次元インタラクションの課題に関しては，公共空間において，ゲームを利用して人のボディジェスチャを自動的に収集し，それを機械学習によって高精度なジェスチャ認識に役立てるシステムについて検討した．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，本年度は自律的に移動して組み合わせが可能な複数テーブル型ディスプレイシステムを開発し，動的な空間形成技術について取り組んだ．さらに，自走式ディスプレイの回転と並進を用いて，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．加えて，加速度センサを埋め込んだ積み木データから幼児の年齢に応じた発達度を判別できる技術を開発し，論文発表を行った．

(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）2017 年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1) きわめて単純な分散神経系しか有さないにもかかわらず身体の一部の欠損に即座に適応して推進するクモヒトデのロコモーションに着想を得て，想定外の故障に即座に適応可能な自律分散制御則を構築した．開発したクモヒトデ型ロボット実機を用いて提案制御則の妥当性を検証し，実際のクモヒトデと同等の振る舞いを再現することに成功した．この成果は Royal Society Open Science に掲載され，プレスリリースも行った．(2) 制御系の意図と環境から得られる感覚情報の間の整合性をリアルタイムに評価する「手応え制御」を昆虫やミミズ，ヘビなどのさまざまな生物のロコモーションに適用し，その有用性を示すことに成功した．(3) 四脚動物の効率的な推進を可能とする胴体と脚の協調メカニズムを明らかにすることにした．さらに，この知見をもとに，ムカデやフナムシなどの他の生物の胴体と脚の協調メカニズムを説明することに成功した.

(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，人工細胞膜のデバイス化の最大の課題である膜の脆弱性の問題に取り組み，膜形成場となる微細孔の縁部形状について検討し，膜安定性を高めるための最適なナノ・マイクロ構造を解明した．さらに，無細胞合成した hERG チャネルの薬物副作用の検出にも成功しており，個別化医療を指向した薬物スクリーニング法への道を切り拓いた．また，表面マイクロパターニングを用いて，生体脳に特徴的な構造であるモジュール型構造をもつ培養神経回路を構築し，その自発活動の記録に成功した．さらに，数理モデルを用いて，モジュール内部の接続構造とシステム全体の同期性との関係についての理論解析を行った．この他，有機太陽電池の電荷輸送機構に関する研究を進めるとともに，ペロブスカイト太陽電池の新しい構造について提案し，シミュレーションによりその有用性を検証した.

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

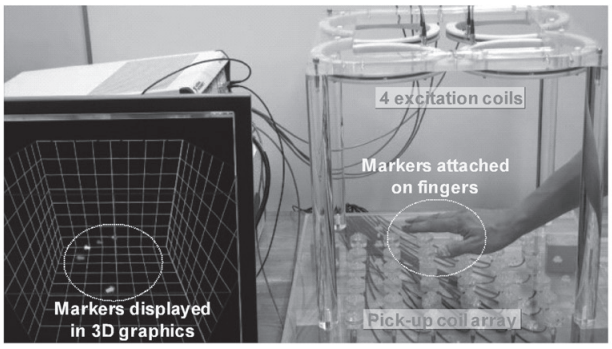


図 1 ４つの励磁コイルを組み合わせることで検出死角を解消したワイヤレス磁気モーションキャプチャシステム

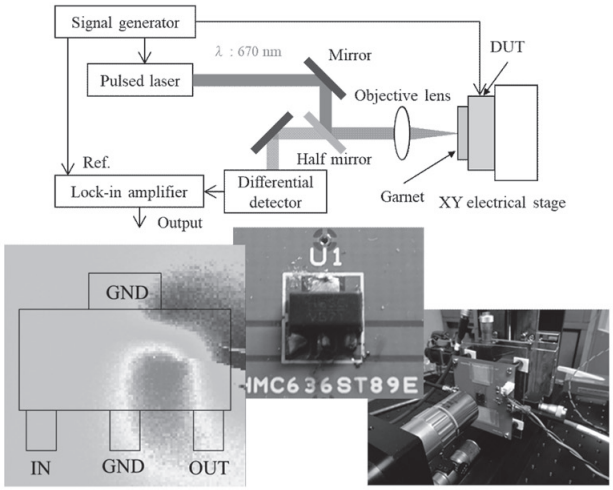


図 2 磁気光学結晶プローブとパルスレーザを用いた高周波磁界分布計測システム

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。

＜2017 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

半導体プロセスや MEMS 技術との融合によるセンサ素子の実用化を目指し、当分野で継続的に取り組んでいる高感度センサ開発技術をもとに、高感度ひずみセンサ素子の Si 基板上への形成を行った。また、低ノイズ検出回路の開発にも取り組み、Si 基板上に形成した高感度ひずみセンサ素子と組み合せることで、高性能な微小振動計測システムを実現した。

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、磁気マーカの姿勢（励磁コイルに対する角度）によらず効率的に磁気マーカを励磁可能な新たな手法を提案し、位置検出精度の向上を達成した。

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．　ナノスケール磁性材料に関する研究

磁性ナノ粒子を利用した新しいナノ構造磁性材料の開発を目指し、磁性ナノ粒子の合成技術に関する検討を行い、非常に高い保磁力を発現することが期待される粒子径を有する硬質磁性ナノ粒子の合成技術を確立した。

＜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）
産学官連携研究員　荒井 薫

＜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)。

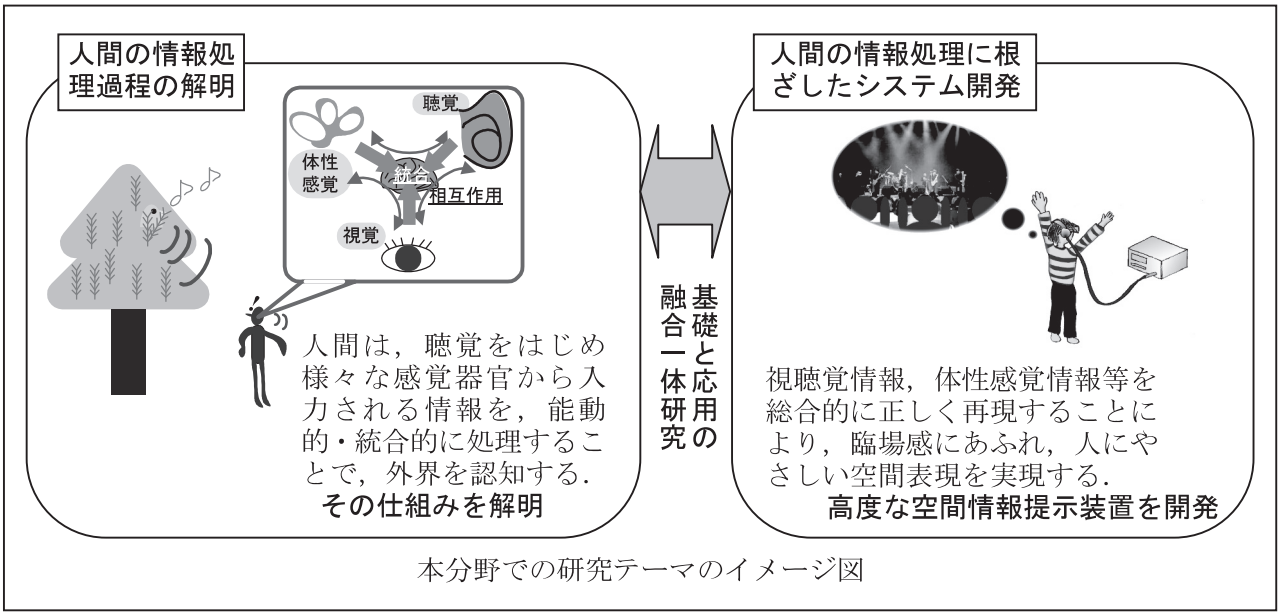
栃 修一郎　1990 年 3 月　琉球大学工学部電気工学科卒業。1992 年 3 月　同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992 年 4 月　本田技研工業（株）入社。1998 年 3 月　東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998 年 4 月　医薬品機構派遣研究員。2000 年 7 月　岐阜大学工学部助手。2007 年 4 月　同大工学部助教。2008 年 4 月　東北大学電気通信研究所助教。2010 年 6 月　同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Yutaro Osaki, Shuichiro Hashi, Shin Yabukami, Hiroyasu Kanetaka, Kazushi Ishiyama, "Wireless magnetic position-detection system with four excitation coils," IEEE Sensors Journal, Vol. 17, No. 14, pp. 4412-4419 (2017).
[2] Hiroaki Kikuchi, Chihiro Sumida, Tomoo Nakai, Shuihiro Hashi, Kazushi Ishiyama, "Effects of dc bias current on behaviors and sensitivity of thin-film magnetoimpedance element," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, 4003704 (2017).
[3] Yoshiaki Hayashi, Tomoyuki Ogawa, and Kazushi Ishiyama, "Preparation and characterization of SiO_2-coated submicron-sized $L1_0$ Fe-Pt particles," AIP Advances, Vol. 8, 056416 (2018).
[4] Jingyan Ma, Sho Muroga, Yasushi Endo, Shuichiro Hashi, Masayuki Naoe, Hiroo Yokoyama, Yoshiaki Hayashi, Kazushi Ishiyama, "Noise suppression and crosstalk analysis of on-chip magnetic film-type noise suppressor," AIP Advances, Vol. 8, 056613 (2018).

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．

＜2017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．2017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，聴取者と音像のいずれも移動する環境において，聴取者から音像までの距離を変化させた場合の音空間知覚について分析し，自己運動時は移動音像検知限が悪化するが接近音では静止時と変わらない移動音像検知限が保たれること，また，遠離音のみ聴取者遠方では精度が悪化すること等を明らかした．

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．2017年度は，本研究分野が開発した球状マイクロホンアレイを用いた音空間高精度収音・再生技術SENZIについて，マイクロフォンのない位

置に仮想マイクロフォンを適用して 3 次元音空間情報を高精細に取得・合成する新しいアルゴリズムの開発し論文化した[1]した．また，マイクロフォン信号を高精細にスピーカアレイ信号に変換するための，球状マイクロフォンとスピーカアレイ境界マッチングフィルタ理論を提案した．この成果は，国際的学術誌の論文[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．2017 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，国際的学術誌論文として発表した[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
研究員　セザール ダニエル サルバドール
技術職員　齋藤 文孝　　事務補佐員　小野寺 美紀

＜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）

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] C. D. Salvador, S. Sakamoto, J. Treviño, and Y. Suzuki, “Enhancement of spatial sound recordings by adding virtual microphones to spherical microphone arrays,” J. Inf. Hiding and Multimedia. Signal Process, 8(6), 1392–1404 (2017).

[2] C. D. Salvador, S. Sakamoto, J. Treviño, and Y. Suzuki, “Boundary matching filters for spherical microphone and loudspeaker arrays,” IEEE/ACM Trans. Audio, Speech, Language Process, 26(3), 461–474 (2018).

[3] Zhenglie CUI, Shuichi SAKAMOTO, Jiro GYOBA and Yôiti SUZUKI, "Influence of visual depth and vibration on the high-level perception of reality in 3D contents," Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 8 (6), 1382-1391 (2017).

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
適応的認知行動システム研究分野　准教授（兼）　松宮　一道
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．

＜2017 年度の主な成果＞

１．　階層的な注意機構の発見

視覚の注意の広がりを脳波によって客観的に計測する手法を開発し、その手法を利用することで注意を向けることがその対象部分の選択であると同時に、注意を向けた対象の周囲における処理の促進であることを明らかにした。この結果は注意の周りの情報について促進と抑制という、相反する効果が脳内に同時に存在することを示す。つまり注意は複数の異なる機能の組み合わせであって、注意を向けるということはまず広く見てそして必要なものを選ぶことだともいえる。これまでの研究は、注意の効果が注意を向けた位置の周辺へ広がることを示す実験結果と、注意位置の周りには抑制的な効果が生じるとの実験結果が混在し、いずれが正しいのか明らかではなかったが、本研究により，このような二つの結果が混在する理由を説明することに成功した。

２．　色の見えの脳内計算モデルの提案

照明が青っぽい光に変化すると，今まで白く見えていた物が僅かに青みを帯びて見える．これは，

視覚の順応が完全ではなく，無彩色点（色を感じない光；灰・白）が必ずしも照明光の色彩と一致しない事を示している．この不完全な順応の予測が正確であれば，照明光が変化した時の色の見え方の変化を精度よく予測できる．しかし，従来提案されていた無彩色点の近似式は，複雑すぎたため余り使われていなかった．我々は，照明光が変化した時の無彩色点を簡易な式で近似する方法を発見しており，その知見を応用した色の見え方の計算モデルを考案した．この計算モデルを用い，個人の見え方が大きく異なり話題となった#theDress 画像（青／黒 or 白／金）の見え方を近似する事に成功した．色の見え方の違いは，写真の情景における照明光の色と強さに関する推定の個人差に起因し，その個人差が過去の想定以上のばらつきを持っている事を示すことに成功した．

＜職員名＞

教　授　塩入　諭（2005 年～）、准教授　栗木一郎（2006 年～）、准教授（兼）松宮一道（2005 年～2018 年）准教授　曽　加蕙（2016 年～）、助教（兼）金子沙永（2018 年～）、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．

松宮　一道　2000 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。同年 4 月カナダ・ヨーク大学視覚研究所博士研究員。2002 年 1 月東京工業大学大学院工学研究科研究機関研究員。2004 年 1 月 ATR 人間情報科学研究所専任研究員。2005 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。2007 年 4 月同助教。2014 年 7 月同准教授、2016 年 12 月 JST さきがけ研究者兼任、現在に至る。視知覚と行動の相互作用に関する心理物理学的研究に従事。Distinguished Contributed Paper Award of Society for Information Display (2010 年)。視覚学会鵜飼論文賞受賞 (2012 年)。石田實記念財団研究奨励賞受賞 (2016 年)。日本学術振興会賞受賞 (2016 年)。

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．

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Yasushi Yagi, Ikuhisa Mitsugami, Satoshi Shioiri, Hitoshi Habe (2017) Behavior Understanding Based on Intention-Gait Model. *Human-Harmonized Information Technology*, Volume 2, 139-172.

[2] Shioiri S. et al. (2017) Dynamic change of spatial attention measured by event related steady state visual evoked potential. European Conference on Visual Perception 2017, Berlin, Germany, August 25-30, 2017.

[3] Cheng, M., Kato, M., and Tseng, C.H (2017) Gender and autistic traits modulate implicit motor synchrony. *PLoS One*, 10(5).

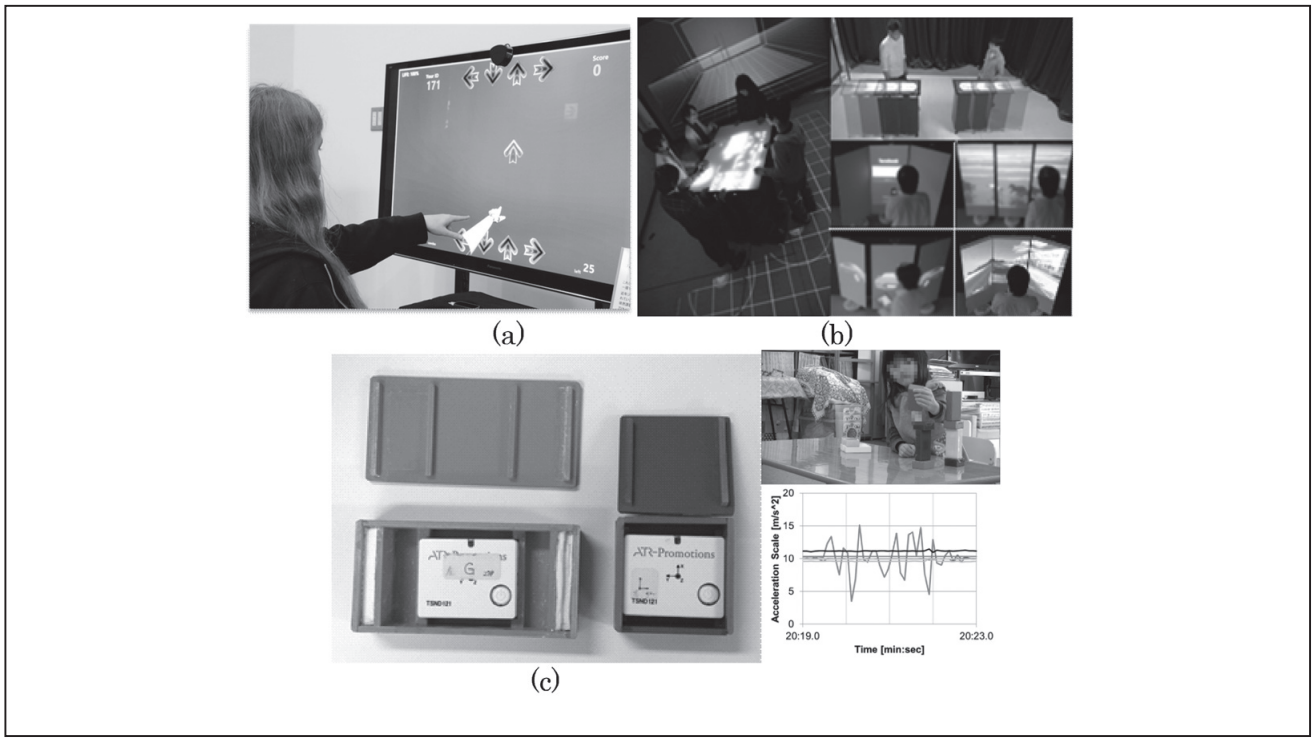
[4] Chan, M.H.M. and Tseng, C.H. (2017) Yawning detection sensitivity and yawning contagion. *i-Perception,* 79(5):1366-1383.

[5] DH Kang, YW Sung, S Shioiri. (2017) Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals, Magnetic resonance imaging 46, 121-129.

[6] Kuriki I (2018). A novel method of color-appearance simulation using achromatic point locus with lightness dependence. *i-Perception*, 9(2), 1-16.

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

＜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る．

＜2017 年度の主な成果＞

１．　3 次元インタラクション

手指の細かな動きの理解やそれを用いた 3 次元インタラクションを実現するためには，人の動きを高精度に認識するエンジンが必要である．今年度は，公共空間において，ゲームを利用して人のボディジェスチャを自動的に収集し，それを機械学習によって高精度なジェスチャ認識に役立てるシステムについて検討した[4]（図 a）．

２．　人と空間とコンテンツに関する研究

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（図 b）．本年度は，自律的に変形が可能なテーブル型ディスプレイ開発し，動的な空間形成技術について取り組んだ[1,3]．また自走式ディスプレイの回転と並進を用いて，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].

３．　積み木型デバイスの開発とその応用

積み木に様々なセンサを埋め込み，幼児のストレスや発達度を積み木遊びから抽出する方法を検討している．本年度は，加速度センサを埋め込んだ積み木データから幼児の年齢に応じた発達度を判別できる技術を開発した[2]（図 c）．

＜職員名＞

教　授　北村 喜文
助　教　高嶋 和毅

＜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, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE などで Conference/Symposium Chair, Program Chair, Steering Committee などを務めている．IFIP TC-13 日本代表，ACM SIGCHI Conference Management Committee, Asian Development Committee, ACM SIGGRAPH SACAG などの委員．日本バーチャルリアリティ学会フェロー．

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] 工藤 義礎, 高嶋 和毅, フィールド モルテン, 北村 喜文, 自動変形可能なタイル型デジタルテーブルを用いたユーザのリーチ拡張に関する検討, 情報処理学会シンポジウムインタラクション論文集, 125-134, 2018 年 3 月.

[2] 上出 寛子, 高嶋 和毅, 石川 美笛, 足立 智昭, 北村 喜文, 加速度センサ搭載積み木による幼児の積み木遊びの発達的変化の定量化, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 20 巻, 1 号, 107-114, 2018 年 1 月.

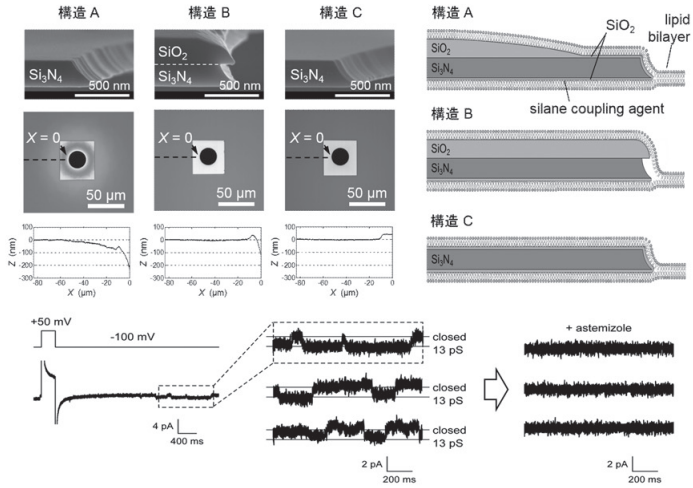
[3] Yoshiki Kudo, Kazuki Takashima and Yoshifumi Kitamura, Adaptive Workspace using MovemenTable, In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '17), 401-404, October 2017.

[4] Kiyoshi Oka, Weiquan Lu, Kasim Ozacar, Kazuki Takashima and Yoshifumi Kitamura, Exploring in-the-Wild Game-Based Gesture Data Collection, INTERACT 2017, Part II, 97-106, September 2017.

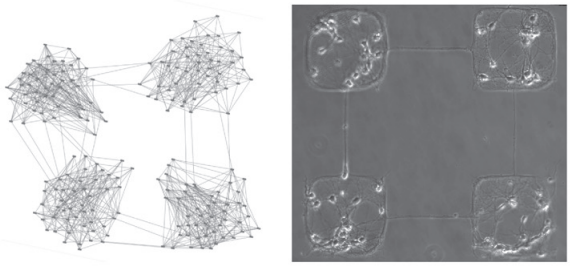
[5] 大西 悠貴, 工藤 義礎, 高嶋 和毅, 北村 喜文, 自走式ディスプレイの回転と並進を用いたコンテンツの表現の拡張の試み, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, 2017, 383-384, 2017 年 9 月. 【ベストデモ賞】

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室

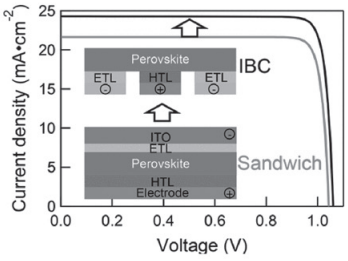
ナノテクノロジーとバイオ材料との融合による新機能デバイスの創出



シリコンチップ微細孔の作製プロセスを構築し（構造 A が最も脂質膜の安定性を高める），無細胞合成 hERG チャネル包埋により薬物反応性を検出することに成功した．



モジュール構造型培養神経回路の人工再構成



ペロブスカイト太陽電池の新構造と検証

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．

＜2017 年度の主な成果＞

１．　半導体微細加工に基づく、個別化医療を指向した薬物副作用センサの開発

細胞膜を模して形成した自立脂質二分子膜は，その機械的強度に課題があり，イオンチャネルセンサ開発のための大きな障壁となっていた．我々はこれまでにも，脂質膜の保持体となる微細孔縁部構造が膜安定性を決める主要因となることを報告してきたが，2017 年度の詳細な解析により，脂質二分子膜の強度・安定性を高めるための最適なナノ・マイクロ構造を解明した．また，埼玉大学大学院理工学研究科の戸澤譲教授との共同研究により，無細胞発現系を用いて合成した hERG チャネルタンパク質を脂質二分子膜に包埋し，副作用薬物の反応性を検出することに成功した．本チャネルはその遺伝子型と薬物副作用との関連も示唆されており，今後個別化医療を指向した薬物スクリーニングが加速していくと期待される．これらの成果は，Sci. Rep. **7**, 17736 (2017). に発表した．

２．　微細表面パターニングによる神経細胞回路網の構築

神経細胞への親和性が異なる２種類の分子をガラス基板上にマイクロパターニングすることにより，回路の構造を規定した培養神経回路を構築し，その自発的神経活動を蛍光カルシウムイメー

ジング法によって記録した．今年度は，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，複雑な神経活動パターンとの関係を，実細胞を用いて解析する実験系を立ち上げた．さらに数理モデルを用いて，モジュール内部の接続構造とシステム全体の同期性との関係を理論解析し，その成果を Front. Comput. Neurosci. **12**, 17 (2018).に発表した．

３． 太陽電池のチャージトランスポート機構に関する研究および新構造太陽電池の開発

有機太陽電池のナノ構造は電池の光電変換効率に大きく関与するが，ナノレベルの構造を観察することは難しい．我々は変位電流評価法を提案し，有機太陽電池中のナノ構造を簡便に評価することに成功し，この成果を Org. Electron. **51**, 269-276 (2017). に発表した．また，ペロブスカイト太陽電池の更なる高効率と低コストを目指し，新たなバックコンタクト構造を提案，シミュレーションで新構造の有用性を検証し，その成果を ACS Appl. Energy Mater. **1**, 970–975 (2018). に発表した．

＜職員名＞

教　授　平野 愛弓
助　教　山本 英明（学際科学フロンティア研究所）
助　教　但木 大介
研究員　小田原 あおい

＜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．

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Ken-ichi Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, Ryusuke Miyata, Yuzuru Tozawa, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Mechanically stable solvent-free lipid bilayers in nano- and micro-tapered apertures for reconstruction of cell-free synthesized hERG channels”, Sci. Rep., **7**, 17736 (2017).

[2] Ryugo Tero, Kohei Fukumoto, Toshinori Motegi, Miyu Yoshida, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Formation of cell membrane component domains in artificial lipid bilayer”, Sci. Rep., **7**, 17905 (2017).

[3] Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Micro- and nano-fabrication methods for ion-channel reconstitution in bilayer lipid membranes”, Jpn. J. Appl. Phys., **57**, 03EA01 (2018).

[4] Hideaki Yamamoto, Shigeru Kubota, Fabio A. Shimizu, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, “Effective subnetwork topology for synchronizing interconnected networks of coupled phase oscillators”, Front. Comput. Neurosci., **12**, 17 (2018).

[5] Sho Kono, Kohei Furusawa, Atsushi Kurotobi, Kohei Hattori, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii, “In situ modification of cell-culture scaffolds by photocatalysis of visible-light-responsive TiO_2 film”, Jpn. J. Appl. Phys., **57**, 027001 (2018).

[6] Hiroyuki Kawano, Kohei Oyabu, Hideaki Yamamoto, Kei Eto, Yuna Adaniya, Kaori Kubota, Takuya Watanabe, Ayumi Hirano-Iwata, Junichi Nabekura, Shutaro Katsurabayashi, Katsunori Iwasaki, “Astrocytes with previous chronic exposure to amyloid β-peptide fragment 1–40 suppress excitatory synaptic transmission”, J. Neurochem., **143**, 624-634 (2017).

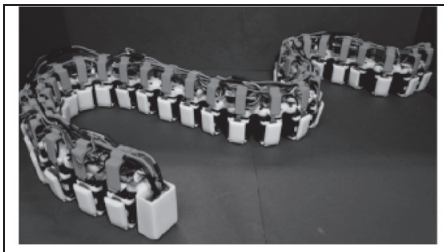
[7] Teng Ma, Jinyu Zhang, Daisuke Tadaki, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, “Charge transport properties of bulk-heterojunction organic solar cells investigated by displacement current measurement technique.” Org. Electron., **51**, 269-276 (2017).

[8] Teng Ma, Qingwen Song, Daisuke Tadaki, Michio Niwano, 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).

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

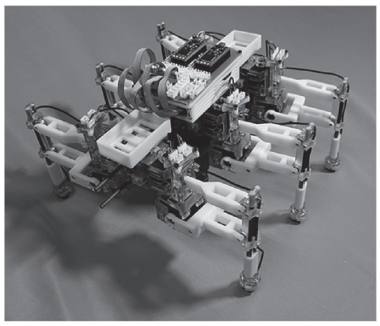
生き物のようにレジリアントな知能システムの創成



環境に応じて多様な運動パターンを発現可能なヘビ型ロボット



想定外の故障に即座に適応可能なクモヒトデ型ロボット



状況依存的な脚間協調を生成可能な昆虫型ロボット

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．

＜2017 年度の主な成果＞

１．　環境に応じて多様な運動パターンを発現可能なヘビ型ロボットの自律分散制御則の構築

ヘビは，環境に呼応して多様な運動パターンを発現する．たとえば，凹凸のある地面では凸部を「足場」として活用しながら地面に対して身体を滑らせて推進するのに対し，狭窄空間では身体の屈曲と進展を繰り返しながら推進する．本研究では，このようなヘビの多様な運動パターンを，環境からの「手応え」に基づく単一の自律分散制御則を用いて再現することに成功した．本成果は環境に呼応した振る舞いを創発するロボットの基盤技術となることが期待される．

２．　想定外の故障に即座に適応可能なクモヒトデ型ロボット

きわめて単純な分散神経系しか有さないにもかかわらず身体の一部の欠損に即座に適応して推進するクモヒトデのロコモーションに着想を得て，想定外の故障に即座に適応可能な自律分散制御則を構築した．開発したクモヒトデ型ロボット実機を用いて提案制御則の妥当性を検証し，実際のクモヒトデと同等の振る舞いを再現することに成功した．想定外の故障に即座に適応可能なロボットを構築したのは世界初であり，その学術的および社会的インパクトはきわめて大きい．

３．　手応えに基づく昆虫型六脚ロボットの脚間協調制御則の構築

本研究では，制御系の意図と環境から得られる感覚情報の間の整合性をリアルタイムに評価することで適応的なロコモーション生成を可能とする「手応え制御」に基づき，昆虫型六脚ロボットの脚間協調制御則を構築した．本年度は，ロボット実機を製作し，提案制御則の実世界環境下での妥当性を検証した．実機実験の結果，移動速度に応じて歩容遷移，重心位置に応じた歩行の変化，さらには脚切断への適応など，実際の昆虫に見られる適応能力を再現することに成功した．

＜職員名＞

教　授	石黒　章夫（2011 年より）
准教授	加納　剛史（2016 年より）
学術研究員	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）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[１]　T. Kano, R. Yoshikawa and A. Ishiguro, “Tegotae-based decentralised control scheme for autonomous gait transition of snake-like robots”, *Bioinspiration & Biomimetics*, 12:046009, 2017

[２]　T. Kano, E. Sato, T. Ono, H. Aonuma, Y. Matsuzaka, and A. Ishiguro, “A Brittle Star-like Robot Capable of Immediately Adapting to Unexpected Physical Damage”, Royal Society Open Science, 4:171200, 2017

[３]　D. Owaki, M. Goda, S. Miyazawa and A. Ishiguro, “A Minimal Model Describing Hexapedal Interlimb Coordination: the Tegotae-based Approach”, *Frontiers in Neurorobotics*, 11:29, 2017

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。そこで本部門は、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 2017 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。理論研究では、動的型チェックの機能を静的型システムに統合するためのコンパイル理論を構築した。実践面では、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#の開発を進め、マルチコア CPU をサポートする並行 GC を OS の軽量スレッドに対応するための実装技術を完成させ､マルチコア上で動く OS スレッドとの統合に成功した｡さらにそれらの一部を実装した SML# 3.4.0 版をリリースした。

（２）コンピューティング情報理論研究分野

書き換えシステムは、等式に基づく柔軟な計算と効率的な推論を与える数学的理論である。本研究室では、書き換えシステムの基礎理論と定理自動証明、代数的仕様記述、関数・論理型言語などへの応用について研究を進めている。本年度の主な研究成果は以下のとおりである｡(i) 書き換え帰納法の適用をより柔軟にする手法を開発し、項書き換えシステムの基底合流性自動検証器 AGCP の改良を行った。(ii) 左線形な名目書き換えシステムの合流性に関する並行閉形定理を示した。

（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、ゆらぎ観測によるネットワークシステム運用手法､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方式等を提案し、システム試作・実験により効果を確認した。能動的情報資源の応用研究では、個人向き知識ベースの想起支援機能の試作と実験によりその効果を確認した。また、エージェント型 IoT（AIoT）の研究では、IoT デバイスのエージェント化による AIoT デバイスの構築手法の評価・改良を継続すると共に、AIoT ドローンを活用した災害時の避難誘導方式を提案し、試作システムを用いたフィールド実験による評価・改良を行った。

（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機器向け暗号コンピューティング技術として、物理攻撃耐性を有するAES暗号ハードウェアアルゴリズムを開発し、その耐性を実証するとともに、世界最低遅延を実現することを確認した。それと並行して、そのような暗号ハードウェアの設計手法ならびにその機能とセキュリティプロパティの両方を数学的に検証する手法を開発した。また、暗号処理を世界最速で実行するPRINCE暗号ハードウェアを開発した。さらに、ハードウェアから抽出されて個体識別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手法を開発し、その有効性を実験的に確認した。

（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、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を、カオスニューラルネットワークにより構成する方法を提案し、その有効性をカオス時系列予測によって確認した。また、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ハイブリッド計算システムを実現するため、2 種類のスイッチト・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プロセスおよびROHM 180 nm CMOSプロセスにより実装した。

（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。本年度の主要な成果は、①不揮発FPGAの高機能化として、シフト演算機能の組込みに成功。特に，シフト演算時の書込みは１ビットのみとすることで，シフト演算の超低消費電力化を初めて達成させたこと、②不揮発マイコンの実現に際し、読込みデータを先読みすることでメモリ-CPU間データアクセスの緩和に成功。この結果、不揮発メモリに対する動作マージン向上が達成できたこと、および③確率的演算に基づく省面積＆省エネルギー性を有するディープラーニングLSIの設計に成功したこと、などであり、その成果をIEEE Trans. VLSI Systemsを初めとする学術論文誌９編、査読付き国際会議論文等12編に発表した。

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

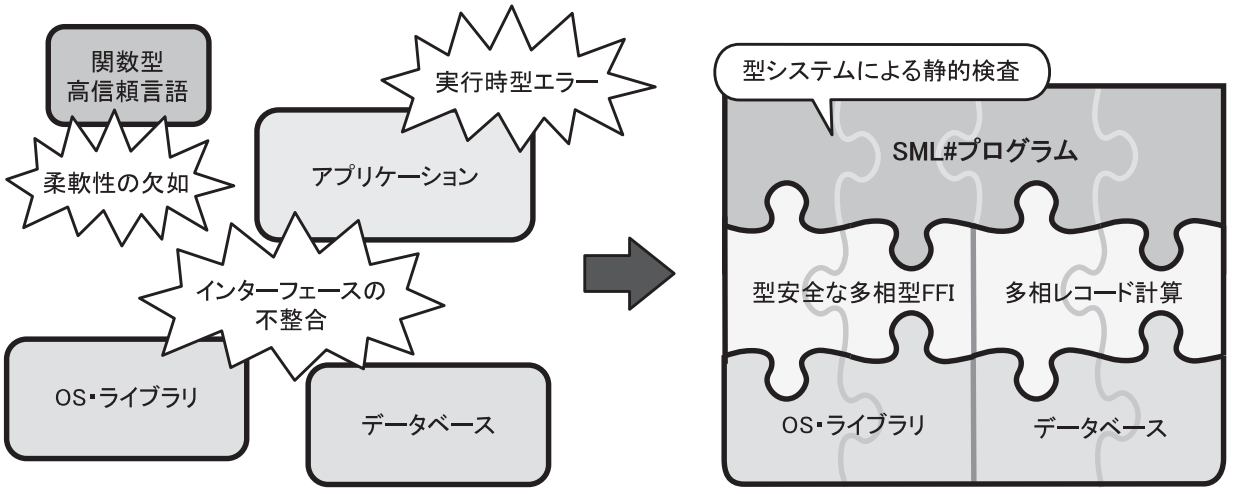


図１：SML#による高信頼言語と既存言語を統合した次世代プログラミング環境の実現

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．

＜2017 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．本年度の主な成果は，昨年度完成したマルチスレッドサポートの更なる発展として，システムの

一部として提供される軽量スレッドライブラリに対応するための実装技術を完成させ，マルチコア CPU 上で高効率に動作する軽量スレッドを SML#に統合することに成功したことである．また，この技術の一部を実装した SML# 3.4.0 版をリリースした．この実装を用いた予備的な性能評価の結果，SML#プログラムから数百万個の軽量スレッドの起動に成功し、並列化による性能向上を得ることができた．この結果は，高信頼言語におけるマルチコア CPU 上の超並列大規模計算の実現に道を拓くものである．

２．動的型チェック機能の静的型システムへの統合

昨年度までに構築した JSON を安全かつ高水準に操作する理論および実装方式を基礎として，JSON に限定されない一般的な動的型チェック機能を静的型システムに統合することを目指し，型主導コンパイル方式に基づく動的型チェック機能のコンパイル理論を確立した．この理論に基づき，SML#コンパイラに型のリーフィケーション機能を実装し，さらにその応用として任意の値をプリントする機能を実現した．この成果の一部は SML# 3.4.0 版としてリリースされた．

３．部分動的レコードの Web アプリケーションへの応用

昨年度までに開発した部分動的レコードを応用し，Web アプリケーションで一般に用いられるテンプレートエンジンを高信頼言語から高水準に取り扱う方式を提案した．このエンジンは実行時に読み込まれるテンプレートに部分動的レコード型を与え，プログラムでのテンプレートの扱い方とテンプレートの内容の整合性を動的型チェックにより検査する．この成果を最初の一歩として，当研究室では，高信頼言語技術による Web の高信頼化を目指している．

＜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．

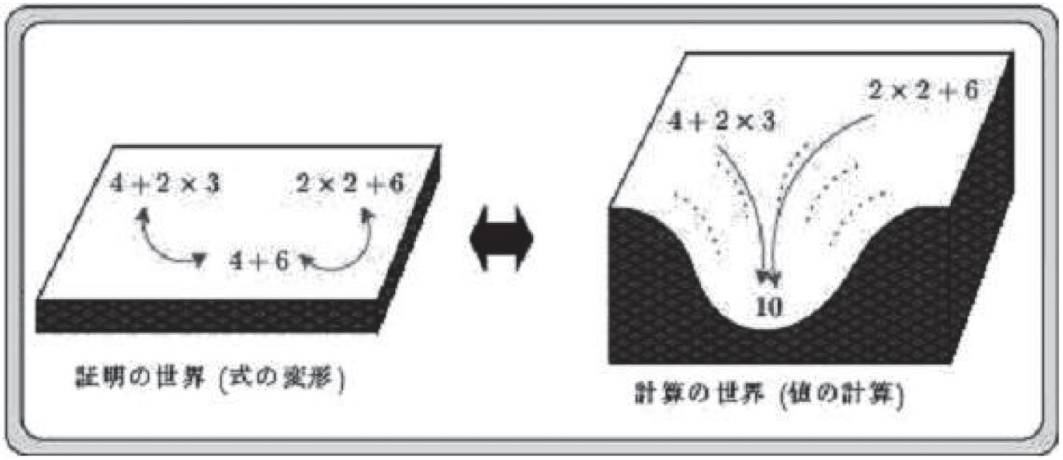
上野 雄大　１９８１年生．２００９年３月東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了．２００９年４月同大学電気通信研究所助手．２０１６年６月同准教授，現在に至る．プログラミング言語理論およびコンパイラ実装技術に関する研究に従事．科学会高橋日本ソフトウェア奨励賞受賞（２０１１年），トーキン財団奨励賞受賞（２０１６年）．

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Atsushi Ohori, Kenjiro Taura, Katsuhiro Ueno: Making SML# a general-purpose high-performance language, ACM SIGPLAN Workshop on ML, 2017.
[2] 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, to appear.

コンピューティング情報理論研究室

計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理



コンピュータが扱う多くの問題では『証明の世界』と『計算の世界』の間に自然な結び付きがあります。この結び付きをうまく用いることによって、専門知識のない人でも簡単に利用できる自動証明システムやプログラミングシステムが実現できます。

コンピューティング情報理論研究分野　　教　授　　外山　芳人

＜研究室の目標＞

本研究室では、証明と計算を融合した新しいソフトウェアの構成原理について研究している。ソフトウェアの形式的開発や検証では、ソフトウェアの効率のみでなく、その論理的な正当性も問題となる。書き換えシステムを基礎とした計算・証明モデルは、証明の世界と計算の世界を統一的な枠組みで取り扱えるため、新しい構成原理に基づくソフトウェアの実現が可能である。我々は、書き換えシステムに基づく関数型言語を対象に、与えられたプログラムから効率的なプログラムへの自動変換、仕様からのプログラム自動合成などの基礎研究を行っている。さらに高階書き換えシステム、プログラムの帰納的性質の自動証明法、関数・論理型言語と定理自動証明システムの融合など、書き換えシステムに基づく計算・証明パラダイムの理論的および実験的研究を進めている。

研究テーマ

（1） 書き換えシステムの基礎理論
（2） プログラム検証・変換・合成
（3） 関数・論理融合型言語
（4） 定理自動証明システム

＜2017 年度の主な成果＞

1. 合流性自動証明法の研究

書き換え帰納法に基づく基底合流性判定手法を改良することで、項書き換えシステムの基底合流性自動証明システム AGCP の能力を向上させた。

2. 高階書き換えシステムの研究

束縛変数をもつ高階書き換えシステムである左線形な名目書き換えシステムの理論的解析を行い、合流性を保証する新しい十分条件を明らかにした。

3. 潜在帰納法の研究

帰納的定理の自動証明法である潜在帰納法に関数の自動導入機能を付け加えた新しい証明手法を提案し、実装と実験をとおしてその有効性を確認した。

＜職員名＞

教　授　外山　芳人（2000 年 4 月より）
助　教　菊池健太郎
秘　書　寒河江香子

＜プロフィール＞

外山　芳人　1952 年生。1977 年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所。1991 年 NTT コミュニケーション科学研究所　主幹研究員。1993 年北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科　教授。2000 年より東北大学　電気通信研究所　教授。この間、プログラム理論、定理自動証明の基礎研究に従事。1997 年第 11 回日本 IBM 科学賞受賞。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

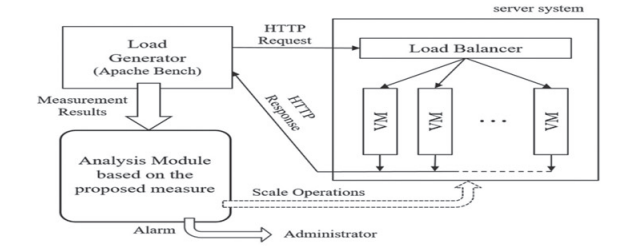
［1］Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Parallel Closure Theorem for Left-Linear Nominal Rewriting Systems, Proceedings of the 11th International Symposium on Frontiers of Combining Systems (FroCoS 2017), Brasilia, Brazil, Lecture Notes in Computer Science, Vol.10483, pp.115-131, 2017.

［2］Kentaro Kikuchi, Confluence by Strong Commutation with Disjoint Parallel Reduction, Proceedings of the 4th International Workshop on Rewriting Techniques for Program Transformations and Evaluation (WPTE 2017), Oxford, UK, pp.9:1-9:10, 2017.

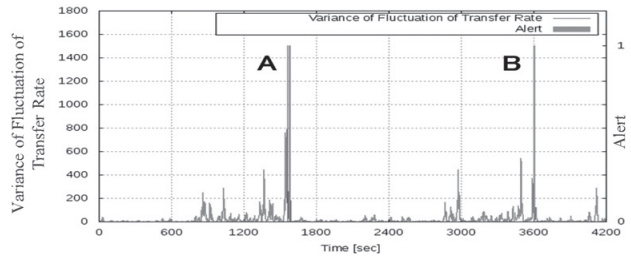
［3］Takahito Aoto, Yoshihito Toyama and Yuta Kimura, Improving rewriting induction approach for proving ground confluence, Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2017), Oxford, UK, Leibniz International Proceedings in Informatics, Vol.84, pp.7:1-7:18, 2017.

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



(a) 実験環境

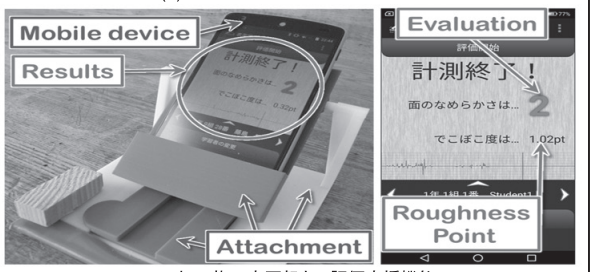


(b) Transfer rateのゆらぎの分散とアラートログ

ネットワークシステムにおける自律的な性能管理手法



(a) 加工面の傾斜の評価支援機能



(b) 加工物の表面粗さの評価支援機能

木製加工物評価支援機構

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。

＜2017 年度の主な成果＞

1.　ネットワークシステムにおける自律的な性能管理手法の提案

ネットワークシステムの理論的な解析によって得られるシステム動作特性に関する知識を利用し、システム動作特性の観測値に付随するゆらぎの変動特性から、突発的に発生するシステム性能の劣化などの変化を予測する手法を提案した。実験によりシステム性能の急激な変化が発生する前にシステム調整操作を自律的に行い、システム性能劣化が回避できることを確認した（文献[6]）。

2.　協働や共同を超えた共創文化の探求とその応用に関する基礎的検討

共創とは、お互いの立場を守りつつ行う共同作業を超えて、ある取り組みにおいて、互いを取り巻く世界そのものを巻き込み変化させて新しい文化的背景を立ち上げるものである。その共創に関する基礎的検討を行った。情報伝達のゆるさがエージェントシステム全体に与える影響について、市場モデルを用いた解析を行った結果、複雑系分野の先端研究を扱う論文誌に採録された（文献[5]）。

3. 技術科教育における ICT を活用した技能の評価支援に関する研究

中学校技術科教員は、勤務の多忙化に直面しながら、生徒のものづくり学習に関する知識と技能育成を行う必要がある。教員と生徒を取り巻く問題を解決するために、技能学習管理システムの開発に取り組み、その一部として、教員や生徒が簡単に加工物の定量的計測・評価を行うことを支援する加工物評価支援機構の開発を行い、実際の中学校においてその有効性を確認した（文献[2],[7]）。

＜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。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] L. Sinapayen, K. Nakamura, K. Nakadai, H. Takahashi, T. Kinoshita, "Swarm of Micro-Quadrocopters for Consensus-based Sound Source Localization," Advanced Robotics, Vol.31, No.12, pp.624-633, Apr. 2017.

[2] 福谷遼太, 安藤明伸, 板垣翔大, 高橋秀幸, 木下哲男, "技術科教育における技能学習管理システムのための木製加工物評価支援機構の提案," 情報処理学会論文誌(CDS), Vol.7, No.2, pp.51-63, May 2017.

[3] Y. Tanimura, K. Sasai, G. Kitagata, T. Kinoshita, "Knowledge-Based Network Management System for Movable and Deployable ICT Resource Unit," J. of Computer and Communications, Vol.5, No.7, pp.135-151, May 2017.

[4] T. Kato, H. Takahashi, T. Kinoshita, "Multiagent-based Autonomic and Resilient Service Provisioning Architecture for the Internet of Things," Int. J. of Computer Science and Network Security, Vol.17, No.6, pp.36-58, June 2017.

[5] K. Sasai, Y.-P. Gunji, T. Kinoshita, "Intermittent Behavior Induced by Asynchronous Interactions in a Continuous Double Auction Model," Advances in Complex Systems, Vol.20, No.02n03, pp.1750005 (21 pages), July 2017.

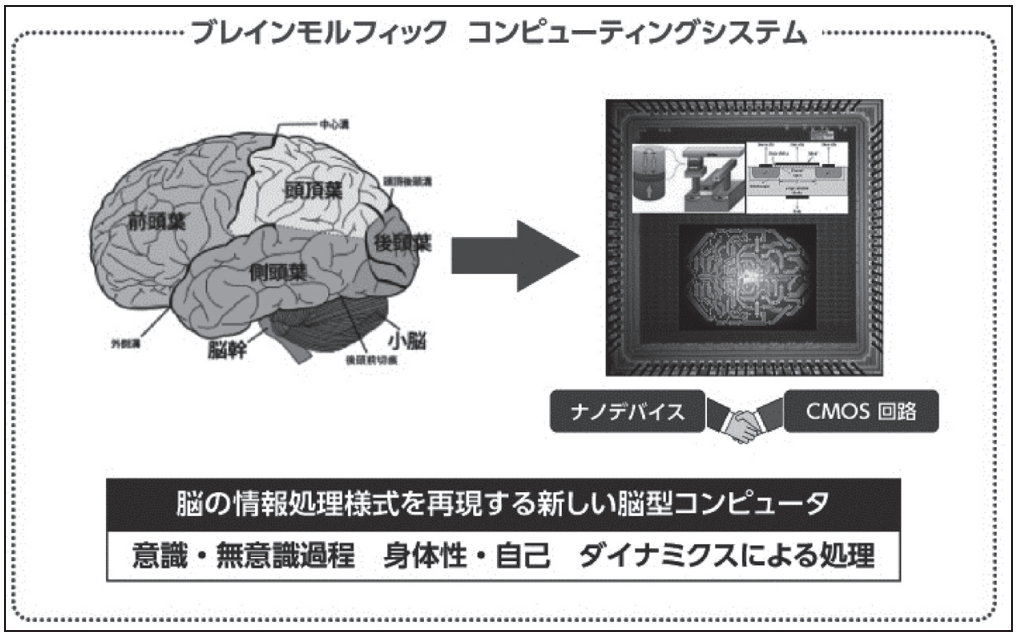
[6] Y. Tanimura, K. Sasai, G. Kitagata, T. Kinoshita, "Analysis of the Macroscopic Behavior of Server Systems in the Internet Environment," Applied Sciences, Vol.7, No.11, pp.1145, Nov. 2017.

[7] R. Fukutani, S. Itagaki, H. Takahashi, A. Ando, T. Kinoshita, “Development and Evaluation of a Workpiece Evaluation Support Mechanism for Students,” Information Engineering Express, Vol.4, No.1, pp.63-75, 2018.

[8] K. Katayama, H. Takahashi, S. Yokoyama, K. Gäfvert, T. Kinoshita, “Evacuation Guidance Support Using Cooperative Agent-based IoT Devices,” Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.98-99, Oct. 2017.

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。

＜2017 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」の具体的な構成を提案[2,3,8,9]すると共に、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リザバーネットワークに、ネットワークとしての安定性を損なうことなくカオスダイナミクスを導入するため、カオスニューラルネットワークを用いる方法を提案し、その有効性をカオス時系列予測によって確認した[7]。

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ハイブリッド計算システムを実現するため、2 種類のスイッチト・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 プロセスおよび ROHM 180 nm CMOS プロセスにより実装した。

３．　スピントロニクスシナプス学習に関する研究

スピントロニクスデバイスを応用した可塑的シナプス回路に適用可能な reward-modulated spike timing dependent plasticity (STDP)学習則について基礎的検討を行った。

４．　リサバーネットワークのダイナミクスに関する研究

多様なダイナミクスを生成可能なリザバーネットワークのダイナミクスについて、カオス時系列予測に対する順序付エントロピーによりその複雑さを評価した[6]。

＜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）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Orima and Y. Horio, "An improved parameter value optimization technique for the reflectionless transmission-line model of the cochlea," Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, vol. 4, no. 1, pp. 49-52, DOI:10.2991/jrnal.2017.4.1.11, 2017.

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

[3] Y. Horio, "Towards a neuromorphic computing hardware system," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 189-192, 2017.

[4] T. Orima, and Y. Horio, "An improved formulation of feature values in passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 128-131, 2017.

[5] Y. Horio and T. Fujino, "IC prototyping of a switched-current A/D converter circuit based on the golden ratio encoder," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 120-123, 2017.

[6] 篠崎亜怜，宮野尚哉，堀尾喜彦，「Echo state network によるカオス時系列予測」，電子情報通信学会総合大会 基礎・境界/NOLTA 講演論文集，N-1-3, p. 226, March 20, 2018.

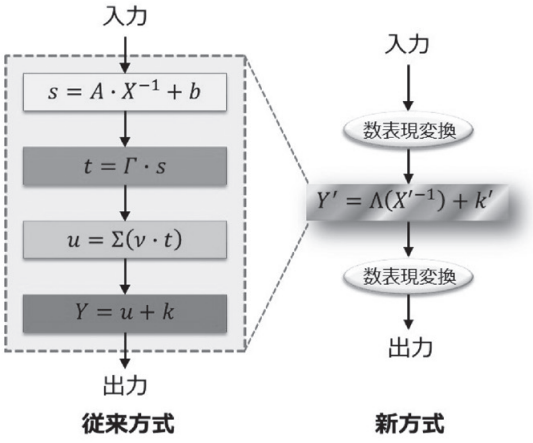
[7] T. Tassy, Y. Horio, "Time series prediction through chaotic neural network reservoir," 電子情報通信学会総合大会 基礎・境界/NOLTA 講演論文集，N-1-2, p. 225, March 20, 2018.

[8] 堀尾喜彦，「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に向けて」，電子情報通信学会技術報告，vol. 117, no. 272, pp. 75-77, 2017.

[9] 堀尾喜彦，「脳・身体総合体コンピューティングについて」，電子情報通信学会技術報告，vol. 117, no. 121, pp. 59-62, (NLP2017-38), 2017.

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



IoT 機器向け高速・省電力暗号コンピューティング技術の開発



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

＜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ている一方で、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、安心・安全に利用できる次世代情報通信ネットワークの構築を目的として、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、システムを各種攻撃から守るセキュア実装技術、システムの利用環境に応じたセキュリティ評価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。

＜2017 年度の主な成果＞

1．　暗号コンピューティングの研究開発

本研究グループでは、現代暗号および次世代暗号のハードウェアアルゴリズム理論の構築に取り組んでいる. 2017 年度は、世界で広く利用される国際標準暗号である AES (Advanced Encryption Standard）を対象として、DPA（差分電力解析）と呼ばれる物理攻撃に耐性を有する世界最高効率のハードウェアアーキテクチャを開発した [1],[10]。また，従来よりも軽量に暗号化・復号処理を可能とする軽量暗号技術を対象として、仏国の研究機関との国際共同研究を推進し、軽量暗号

PRINCE の世界最高低遅延を実現するハードウェアを開発するとともに，その動作を実証した [5]。

２．　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。2017 年度は、特に共通鍵暗号アルゴリズムの多くがガロア体と呼ばれる数体系上の演算として表現されることに着目し、その設計・検証・安全性解析システムのプロトタイプ SW を開発した[3],[4],[6],[9]．また、個体識別や暗号化処理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高める手法を開発し、その有効性を実験的に確認した[2].

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．　2017 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．

＜職員名＞

教　授　本間 尚文（2016 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。LSI IP デザイン・アワード IP 賞（2005 年）、安藤博記念学術奨励賞（2006 年）、船井学術賞（2010 年）、丸文学術賞（2012 年）、RIEC Award（2012 年）、IEEE EMC Best Symposium Paper Award（2013 年）、IACR CHES Best Paper Award（2014 年）、暗号と情報セキュリティシンポジウム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 など受賞。CRYPTREC 暗号技術検討会構成員。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Rei Ueno et al., “Toward More Efficient DPA-Resistant AES Hardware Architecture Based on Threshold Implementation,” COSADE 2017, LNCS 10348, pp. 50—64, Springer, April 2017.

[2] Manami Suzuki et al., “Multiple-Valued Debiasing for Physically Unclonable Functions and Its Application to Fuzzy Extractors,” COSADE 2017, LNCS 10348, pp. 50—64, Springer, April 2017.

[3] Wataru Kawai et al., “Practical Power Analysis on KCipher-2 Software on Low-End Microcontrollers,” SEMS, IEEE EuroS&P Workshops, pp. 113-121, April 2017.

[4] Rei Ueno et al., “A Systematic Design of Tamper-Resistant Galois-Field Arithmetic Circuits Based on Threshold Implementation with (d+1) Input Shares,” ISMVL 2017, pp. 136—141, IEEE, May 2017.

[5] Noriyuki Miura et al., “A 2.5ns-Latency 0.39pJ/b 289 μ m^2/Gb/s Ultra-Light-Weight PRINCE Cryptographic Processor,” 2017 Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers, pp. C266-C267, June 2017.

[6] Rei Ueno et al., “Hierarchical Formal Verification Combining Algebraic Transformation with PPRM Expansion and Its Application to Masked Cryptographic Processors,” IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E100-A, No. 7, pp. 1396—1408, July 2017.

[7] Kazuhide Fukushima et al., “Fault Injection Attack on Salsa20 and ChaCha and a Lightweight Countermeasure,” IEEE TrustCom 2017, pp. 1032—1037, August 1, 2017.

[8] Daisuke Ishihata et al., “Enhancing Reactive Countermeasure against EM Attacks with Low Overhead,” 2017 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 399-404, August 9, 2017.

[9] Rei Ueno et al., “Automatic Generation System for Multiple-Valued Galois-Field Parallel Multipliers,” IEICE Trans. Inf. Syst., Vol. E100-D, No. 8, pp. 1603—1610, August 2017.

[10] Rei Ueno et al., “Highly Efficient GF(28) Inversion Circuit Based on Hybrid GF Arithmetic,” Journal of Cryptographic Engineering, DOI: 10.1007/s13389-018-187-8

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

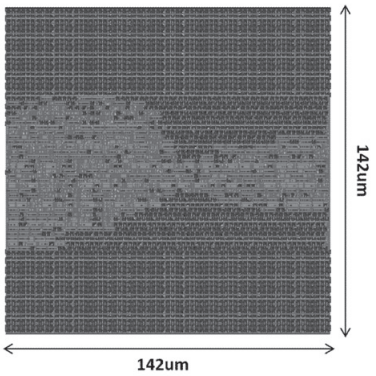


図1.コンパクト＆低電力MTJベース不揮発ロジックLSIのためのメモリアクセス制御回路．CPUへのデータ供給レートを保持(100MHz)しつつ，実メモリアクセス負担の低減(50MHz)を可能にする．

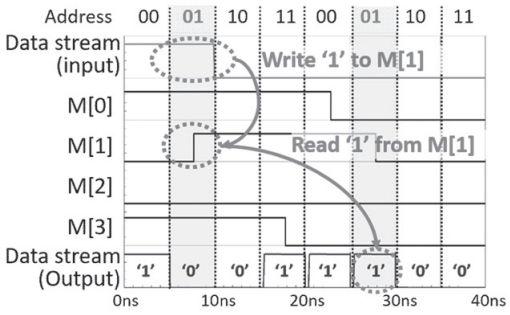


図2．メモリアドレッシングに基づくシフト演算のシミュレーション波形．メモリアドレスに対応した不揮発デバイスのみに読込み/書込みアクセスを行うことで1bitシフトあたりの書込み回数を1に最小化．その結果，従来方式と比較して93%のシフト電力削減を達成．

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．

＜2017 年度の主な成果＞

１．データ再利用によるメモリアクセス高効率化技術の開発（図 1）

CPU の性質を利用して無駄なメモリアクセスを抑制することで，メモリ要求仕様の緩和を実現するインタフェース（I/F）回路を考案．I/F 回路（Accelerator)に先読みしたデータを保持し，メモリへのアクセス頻度を抑制することで，回路全体としての処理速度を保持したまま，メモリの動作周波数および消費電力を低減可能．その結果，キャッシュを用いた場合に比べて 1.17 倍の演算効率向上と 4.6 倍の面積効率向上を実現．

２．メモリアドレッシングに基づくシフト演算機能を有する不揮発 LUT 回路の開発（図 2）

不揮発 FPGA（Field-Programmable Gate Array)の重要な基本回路である不揮発 Lookup Table (NV-LUT)回路においては，性能のみならず演算機能の拡充が実用化に向けた重要な課題である．シフト演算機能は重要な機能の１つであり，従来形 NV-LUT 回路では記憶した全ビットを全て移動させてしまうため，電力消費が増大する問題があった．これを解決するため本年度は，記憶データの必要最小限のビット数のみを移動させる，新しい読出し/書込み方式を考案してシフト演算機能を実現した．この手法によりシフト演算時の不揮発デバイスへの書込みは記憶データ長に依存せず 1

回のみとなり，従来方式と比較して大幅な（6 入力 NV-LUT 回路で 93%の）電力削減を達成した．これは不揮発 LUT の課題である書込み電力を克服する初のシステムレベルの提案である．

３．確率的演算に基づく省面積・省エネルギーディープラーニング VLSI の開発

確率的演算の一種であるストカスティック演算を活用し，ディープラーニングの一種である deep belief networks(DBN)の VLSI 開発を行った．従来 2 値演算による実現と比較して DBN の主要要素である乗算器等をコンパクトに実現できることから，手書き文字認識プログラム MNIST において同等の認識率を達成しつつ，65nm CMOS において約 30%の面積・エネルギーの削減を達成した．

＜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）注)　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.

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Onizawa, et al., “Area/Energy-Efficient Gammatone Filters Based on Stochastic Computation,” IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 25, No. 10, pp. 2724-2735, Oct. 2017.

[2] A. Ardakani, et al., “VLSI Implementation of Deep Neural Networks Using Integral Stochastic Computing,” IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 25, No. 10, pp. 2688-2699, Oct. 2017.

[3] N. Onizawa, et al., “Sudden Power-Outage Resilient In-Processor Checkpointing for Energy-Harvesting Nonvolatile Processors,” IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing (TETC), vol. 5, No. 2, pp. 151-163, Apr.-Jun. 2017.

[4] D. Suzuki and T. Hanyu, “Design of a magnetic-tunnel-junction-oriented nonvolatile lookup table circuit with write-operation-minimized data shifting,” JJAP, vol. 57, no. 4S, pp. 04FE09-1〜4, Mar. 2018.

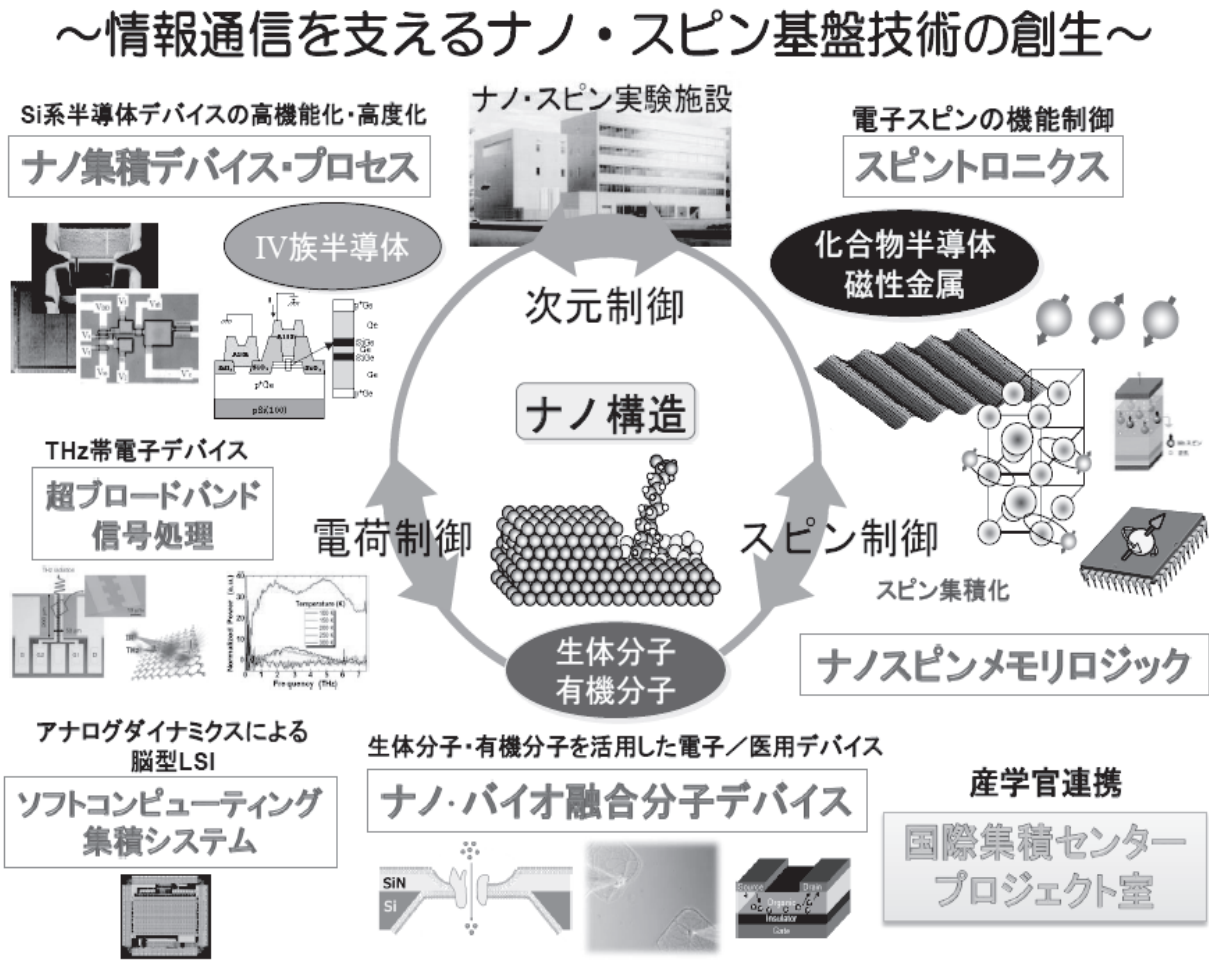
[5] M. Natsui and T. Hanyu, “Design of a memory-access controller with 3.71-times-enhanced energy efficiency for Internet-of-Things-oriented nonvolatile microcontroller unit,” JJAP, Vol.57, No.4S, pp.04FN03-1〜5, Feb. 2018.

（他　学術論文 4 編，査読付国際学会論文等 12 編）

３．５　ナノ・スピン実験施設の目標と成果

「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が入居し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 29 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) 量子並列性を利用した計算アルゴリズムの開発を目的として、量子ビットネットワークの学習方法を提案した。連想記憶問題を例題として、量子計算用に修正した Hebb 学習則が有効に機能することを確認した。

(2) 基板非加熱プラズマ CVD プロセスの実験研究を進めた結果、高キャリア濃度（2.5×10^{19} cm^{-3}）において高いキャリア移動度（46 cm^2 V^{-1} s^{-1}）を有する B ドープ Si 薄膜エピタキシャル成長に成功すると同時に、pn 接合の逆方向電流が改善されることを明らかにした。

(3) 脳型視覚情報処理システムの構築を目的として、人の運動視を模倣して局所運動を検出する視覚処理 LSI の動作を検証した。カメラ、FPGA ボード、及び局所運動検出 LSI から構成されるシステムを構成し、ライブ動画像からオプティカルフローをフレームレート 30 fps で検出できることを確認した。

(4) 神経回路の構造と時空間ダイナミクスの関係を明らかにすることを目的として、神経回路網のモジュール構造が発火に及ぼす影響を計算機シミュレーションから調べた。モジュール間を結ぶ結合が中程度の時に、様々な同期状態が混在する複雑なダイナミクスを示すことを明らかにした。

● 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を、カオスニューラルネットワークにより構成する方法を提案した。さらに、その有効性をカオス時系列予測によって確認した。

(2) 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ハイブリッド計算システムを実現するため、2 種類のスイッチト・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 プロセスおよび ROHM 180 nm CMOS プロセスにより実装した。

(3) Reward modulated STDP 学習則を spin orbit torque シナプスデバイスに応用するための基礎的検討を行った。

(4) リザバーネットワークによるカオス時系列予測のダイナミクスについて、順序付エントロピーによりその複雑さを評価した。

スピントロニクス基盤技術関連

● スピントロニクス（大野英男、深見俊輔）

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への応用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) Fe-V/MgO 積層構造を有する磁気トンネル接合の磁気特性を調べ、Fe-V/MgO 界面に Fe を挿入することで界面磁気異方性を高く保ちながら磁気ダンピングや磁化を低減できることを明らかにした。(2) CoFeB/MgO 積層構造における交換スティフネスの電界効果をナノスケール磁気トンネル接合におけるスピン波共鳴から調べ、過去の磁区観察で得られた結論と整合する電界効果を観測した。(3) 分子線エピタキシーで作製した Cr ドープ Sb_2Te_3 トポロジカル絶縁体の構造と磁気特性を調べ、Cr 組成が 44at.%までは Sb サイトに置換し、このとき世界最高となる 250 K のキュリー温度を得た。(4) Co/Pt

積層構造が発現するスピン軌道トルク、及び微細細線における熱安定性を調べ、Co/Pt 積層膜の積層回数の増加に伴ってスピン軌道トルク磁化反転の効率が増大することを明らかにした。(5) ２つの方法で作製した直径 20 nm 程度の磁気トンネル接合の磁気特性をアストロイド曲線の測定により調べ、２つの試料ではアストロイド曲線に明確な差が生じ、それがエッジ部における磁気異方性の低下で説明できることを明らかにした。(6) PtMn/[Co/Ni]積層構造におけるスピン軌道トルクとジャロシンスキー・守谷相互作用を定量評価して Pt/[Co/Ni 積層構造と比較し、スピン軌道トルクは両者とも同じ符合、同等の大きさであるのに対して、ジャロシンスキー・守谷相互作用は符号が逆で大きさは前者の方が著しく小さいことが分かった。(7) 形状磁気異方性を利用した極微細磁気トンネル接合を作製し、未踏の一桁ナノメートル領域における高い熱安定性とスピン移行トルク磁化反転の両立を達成した。(8) W/CoFeB/MgO 構造におけるスピン軌道トルク磁化反転のサイズ依存性、パルス幅依存性を詳細に調べ、磁化反転の時間的な発展、及び空間的な発展の様式を明らかにした。(9) (5)で記した２つの微細磁気トンネル接合の磁気異方性のサイズ依存性を強磁性共鳴で調べ、エッジダメージの小さいサンプルは形状磁気異方性のサイズ依存性を考えることで良く説明できるのに対して、エッジダメージの大きいサンプルはそれとは異なる振る舞いを示すことを明らかにした。(10) ナノスケール磁気トンネル接合の熱安定性を磁場や電流などで加速することなく温度加熱のみの加速によってより直接的な形で評価する手法を確立し、その評価手法で得られた結果から熱安定性の温度依存性の起源を考察した。

● 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、独自の分布帰還型デュアルゲート構造を有する試作素子により、5.2 THz、100K において世界初の単一モードレーザー発振ならびに広帯域増幅自然放出に成功した。

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。本年度は、InGaAs-HEMT を用いて、変調周波数 12GHz で ASK あるいは BPSK 変調された光データ信号から、周波数 22.5GHz の IF データ信号へ周波数下方変換できることを実証した。

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) 半導体微細加工に基づく、個別化医療を指向した薬物副作用センサの開発

細胞膜を模して形成した自立脂質二分子膜は、その機械的強度に課題があり、イオンチャネルセンサ開発のための大きな障壁となっていた。我々はこれまでにも、脂質膜の保持体となる微細孔縁部構造が膜安定性を決める主要因となることを報告してきたが、2017 年度の詳細な解析により，脂質二分子膜の強度・安定性を高めるための最適なナノ・マイクロ構造を解明した。また、埼玉大学大学院理工学研究科の戸澤譲教授との共同研究により、無細胞発現系を用いて合成したhERG チャネルタンパク質を脂質二分子膜に包埋し、副作用薬物の反応性を検出することに成功した。本チャネルはその遺伝子型と薬物副作用との関連も示唆されており、今後個別化医療を指向した薬物スクリーニングが加速していくと期待される。

(2) 微細表面パターニングによる神経細胞回路網の構築

神経細胞への親和性が異なる２種類の分子をガラス基板上にマイクロパターニングすることにより、回路の構造を規定した培養神経回路を構築し、その自発的神経活動を蛍光カルシウムイメージング法によって記録した。今年度は、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、複雑な神経活動パターンとの関係を、実細胞を用いて解析する実験系を立ち上げた。さらに数理モデルを用いて、モジュール内部の接続構造とシステム全体の同期性との関係を理論解析した。

(3) 太陽電池のチャージトランスポート機構に関する研究および新構造太陽電池の開発

有機太陽電池のナノ構造は電池の光電変換効率に大きく関与するが、ナノレベルの構造を観察することは難しい。我々は変位電流評価法を提案し、有機太陽電池中のナノ構造を簡便に評価することに成功した。また、ペロブスカイト太陽電池の更なる高効率と低コストを目指し、新たなバックコンタクト構造を提案、シミュレーションで新構造の有用性を検証した。

３．６　ブレインウェア研究開発施設の目標と成果

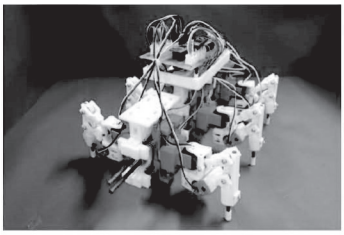
ブレインウェア研究開発施設は、本研究所附属研究施設として平成１６年４月の研究組織の改組・再編と同時にブレインウェア実験施設として新設され、その後、平成２６年度概算要求の採択を機に、平成２６年４月にブレインウェア研究開発施設と名称変更した。その目的は、電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術の創製とその応用分野を展開することである。そのために、本研究所及び本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野の研究成果と全国のブレインウェア分野の研究者の英知を結集して研究を行う。

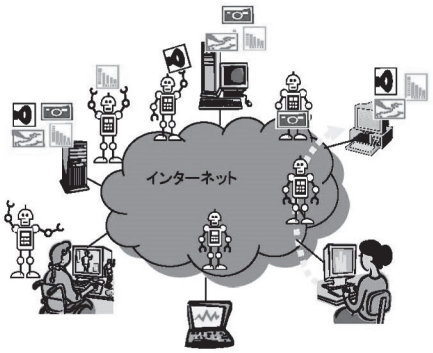
この施設は、適応的認知行動システム研究部（認識・学習システム研究室）、自律分散制御システム研究部（実世界コンピューティング研究室）、脳型 LSI システム研究部（新概念 VLSI システム研究室）、ブレインアーキテクチャ研究部（ソフトコンピューティング集積システム研究室）の４研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。

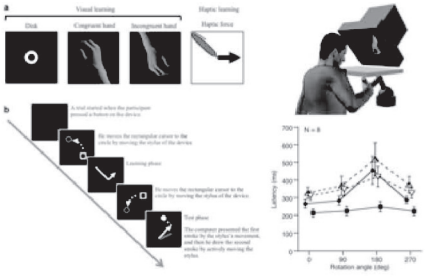
身体性を持つ動的・適応的ハードウェア

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

・超現実空間構成技術
（ブレインアーキテクチャ）



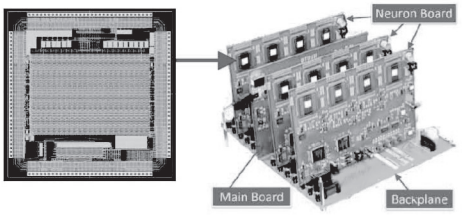


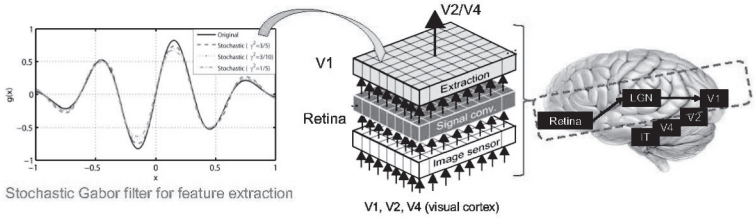


・実世界・動的知能構成技術
（実世界コンピューティング）

・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＞

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。

＜2017 年度の主な成果＞

実世界コンピューティング研究室：2017 年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1) きわめて単純な分散神経系しか有さないにもかかわらず身体の一部の欠損に即座に適応して推進するクモヒトデのロコモーションに着想を得て，想定外の故障に即座に適応可能な自律分散制御則を構築した．開発したクモヒトデ型ロボット実機を用いて提案制御則の妥当性を検証し，実際のクモヒトデと同等の振る舞いを再現することに成功した．この成果は Royal Society Open Science に掲載され，プレスリリースも行った．(2) 制御系の意図と環境から得られる感覚情報の間の整合性をリアルタイムに評価する「手応え制御」を昆虫やミミズ，ヘビなどのさまざまな生物のロコモーションに適用し，その有用性を示すことに成功した．(3) 四脚動物の効率的な推進を可能とする胴体と脚の協調メカニズムを明らかにすることにした．さらに，この知見をもとに，ムカデやフナムシなどの他の生物の胴体と脚の協調メカニズムを説明することに成功した．

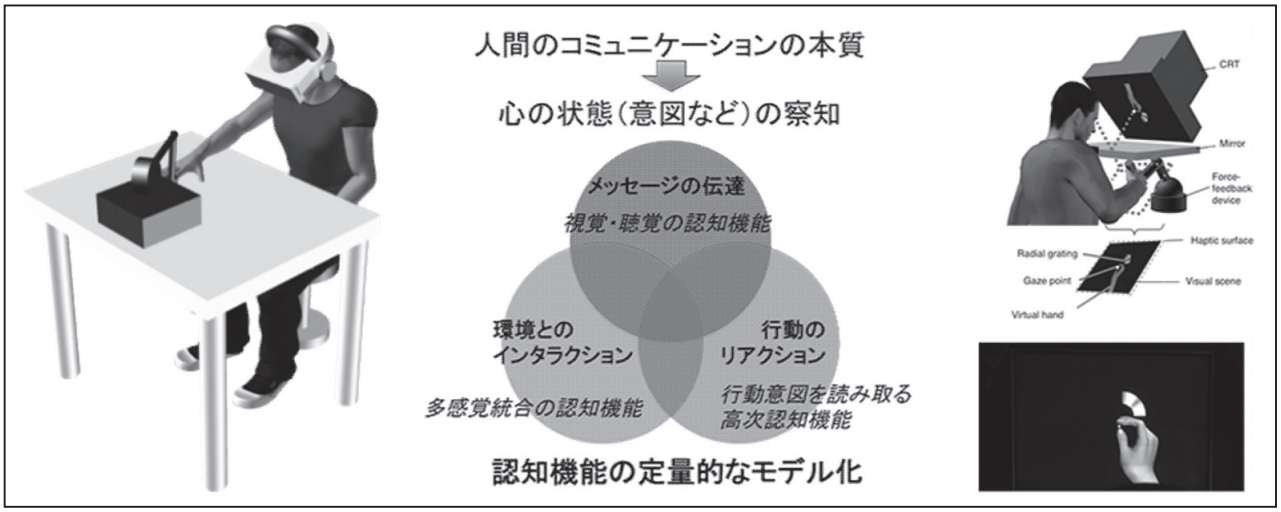
新概念 VLSI システム研究室：2017 年度の主な研究成果は以下の(1)～(3)である；(1) 不揮発 FPGA の高機能化として，シフト演算機能の組込みに成功．特に，シフト演算時の書込みは 1 ビットのみとすることで，シフト演算の超低消費電力化を初めて達成させた，(2) 不揮発マイコンの実現に際し，読込みデータを先読みすることでメモリ-CPU 間データアクセスの緩和に成功．この結果，不揮発メモリに対する動作マージン向上が達成できた、および(3) 確率的演算に基づく省面積&省エネルギー性を有するディープラーニング LSI の設計に成功した．以上の成果を IEEE Trans. VLSI Systems を初めとする学術論文誌 9 編，査読付き国際会議論文等 12 編に発表した．

認識・学習システム研究室：我々の視覚系は外界を繰り返し観察することで視覚世界の表象を構築する。この実験的な証拠として、同じ空間配置を繰り返し提示すると、繰り返された空間配置に対して視覚探索能力が促進することが知られている。この現象は、文脈手掛かり効果と呼ばれている。我々は、この文脈手掛かり効果によって生じる視覚探索能力の向上を説明するモデルを構築した。このモデルでは、強化学習の学習則を用いて、標的の位置と空間配置の大域的な特徴の関係を学習させた。この学習した関係は、各空間配置における標的の位置となる確率として表現され、この確率マップは視覚特徴に基づいて計算される誘目性マップの重みづけとして用いられた。我々が開発したモデルにおいて、心理物理実験の結果とよく一致するパラメータを見出すことができた。

ソフトコンピューティング集積システム研究室：本年度は、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を、カオスニューラルネットワークにより構成する方法を提案し、その有効性をカオス時系列予測によって確認した。また、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ハイブリッド計算システムを実現するため、2 種類のスイッチト・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 プロセスおよび ROHM 180 nm CMOS プロセスにより実装した。さらに、Reward-modulated STDP 学習をスピントロニクスデバイスによるシナプス回路に適用するための基礎的検討を行った。また、リザバーネットワークダイナミクスについて、カオス時系列予測に対する順序付エントロピーによりその複雑さを評価した。

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）
適応的認知行動システム研究分野　准教授　松宮　一道
（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。

＜2017 年度の主な成果＞

1．　強化学習による視覚世界の空間配置学習のモデル化

我々の視覚系は外界を繰り返し観察することで視覚世界の表象を構築する。この実験的な証拠として、同じ空間配置を繰り返し提示すると、繰り返された空間配置に対して視覚探索能力が促進することが知られている。この現象は、文脈手掛かり効果と呼ばれている。我々は、この文脈手掛かり効果によって生じる視覚探索能力の向上を説明するモデルを構築した。このモデルでは、強化学習の学習則を用いて、標的の位置と空間配置の大域的な特徴の関係を学習させた。この学習した関係は、各空間配置における標的の位置となる確率として表現され、この確率マップは視覚特徴に基づいて計算される誘目性マップの重みづけとして用いられた。我々が開発したモデルにおいて、心理物理実験の結果とよく一致するパラメータを見出すことができた。

２．　手を動かすことが身体注意に与える影響

身体近傍に潜在的に向けられる注意(身体性注意)の存在が指摘されている。本研究では、手の運動が身体性注意に与える影響について、フラッシュラグ効果を用いた注意計測によって調べた。フラッシュラグ効果とは、運動刺激の近傍に瞬間提示されるフラッシュラグ刺激が運動刺激よりも遅れた位置に知覚される現象であり、注意を向けることにより減少することから注意効果の推定に利用できる。動いている手の周辺と、静止している手の周辺でフラシュラグ効果を計測することで、運動により手の周辺に向けられる身体性注意が運動によって変化するか否かについて検討した。静止条件に比べ、運動条件でフラッシュラグ効果の減少したことから、運動する手の周辺では静止時に比べてより大きな身体性注意が生じることが示唆された。

＜職員名＞

教　授（兼）　塩入 諭（2005 年より）
准教授　松宮 一道（2014 年から 2018 年 1 月まで）
准教授（兼）　坂本 修一（2011 年より）

＜プロフィール＞

松宮 一道　2000 年 3 月　東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了。同年 4 月　カナダ・ヨーク大学視覚研究所博士研究員。2002 年 1 月　東京工業大学大学院工学研究科像情報工学研究施設研究機関研究員。2004 年 1 月　ATR 人間情報科学研究所専任研究員。2005 年 4 月　東北大学電気通信研究所助手。2007 年 4 月　同助教。2014 年 7 月　同准教授、2016 年 12 月 JST さきがけ研究者兼任。2018 年 2 月東北大学大学院情報科学研究科教授、現在に至る。視知覚と行動の相互作用に関する心理物理学的研究に従事。Distinguished Contributed Paper Award of Society for Information Display (2010 年)。日本視覚学会・鵜飼論文賞受賞（2012 年）。石田實記念財団・研究奨励賞受賞（2016 年）。日本学術振興会賞受賞（2016 年）。

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] Matsumiya, K., Sato, M., Shioiri, S.: “Selective facilitation of the luminance visual pathway by postsaccadic target blanking”, The 19th European Conference on Eye Movements (ECEM2017), Wuppertal, Germany, August 20-24, 2017.

[2] Shioiri, S., Yuan, Z., Matsumiya, K., Kuriki, I.: “Modeling the learning process of object locations in natural scenes”, The 13th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2017), Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.

[3] 鬼沢直哉, 松宮一道, 羽生貴弘 : “ストカスティック演算に基づく省エネルギー脳型 LSI 設計技術”, IEICE Fundamentals Review, Vol. 11, No. 1, 28-39, 2017.

[4] Nonomura, M., Tseng, C.H., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S.: “Shift of visual attention to the illusory hand location”, The 13th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2017), Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.

[5] 野々村, Tseng, 松宮, 栗木, 塩入 : “身体の運動が身体性注意に与える影響”, 日本視覚学会 2018 年冬季大会, 工学院大学, 1 月 17–19 日, 2018 年.

３．７　２１世紀情報通信研究開発センターの目標と成果

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．

＜2017 年度の主な成果＞

今年度は IT21 センターの改組を行い，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加えて，(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を新設し 3 部体制とした。(A)，(B)に関して，それぞれ所内で公募を行い，(A)については 1 件，(B)については 2 件のプロジェクトを採択し，IT21 センターから 3 年間を目途とした経費支援を行うこととした．採択したプロジェクトは以下の通りである．

(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．今年度は，モバイル分野の 1 分野体制とし，「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」に加えて，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」を新たに受託した．これらの概要と平成 29 年度の成果を以下に示す．

１．　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

平成 27 年度から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」を実施している．近年，携帯電話に加え，IoT や M2M と呼ばれる人間を介さない機器間通信も今後発展していくことが見込まれているため，無線通信機器における消費電力の削減は重要な課題である．本研究開発ではこの課題に貢献できる技術として，高調波注入による電力増幅器の高効率化，低歪化技術を無線通信用送信電力増幅モジュールに適用しその実用化を目指す．本年度は，高調波注入回路を内蔵した高調波注入プッシュプル電力増幅器の CMOS ワンチップ化の研究開発を行い，飽和出力電力，出力電力の目標値を達成するとともに，チップ内蔵の高調波注入回路により 2.2%の効率改善を実現した．本研究の成果により，携帯端末用送信電力増幅器の GaAs から CMOS への置き換えに必要な効率改善の効果が得られた．

２．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

本年度から，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」を実施している，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，複数の周波数帯（920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯）のうち，2 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．

＜職員名＞

センター長（教授）村岡　裕明

客員教授　古西　真
客員教授　松岡　浩

研究開発部
モバイル分野
教授（兼）　末松　憲治
准教授（兼）　亀田　卓
客員教授　大西　輝夫

21世紀情報通信研究センター

学際連携研究部

教授（兼）	塩入　諭

萌芽研究部

教授（兼）	北村　喜文
准教授（兼）	亀田　卓

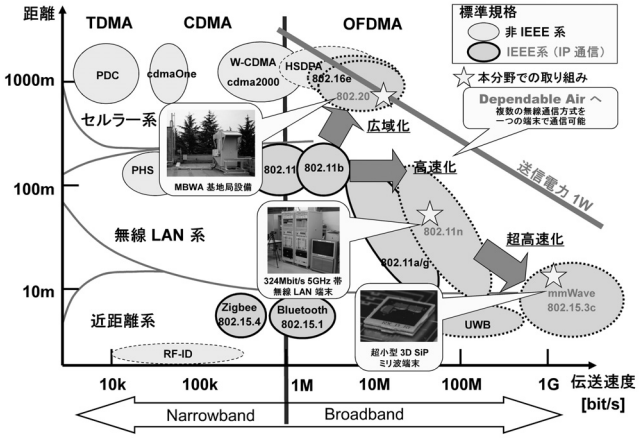
運営委員

本研究所教授	村岡　裕明	工学研究科教授	山田　博仁
	長　康雄		川又　政征
	末松　憲治	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
	外山　芳人		
	末光　眞希		
	羽生　貴弘		

IT21 センター モバイル分野

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
客員教授　大西　輝夫

＜研究室の目標＞

無線通信技術は、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、IT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界のリーダシップを担うわが国の無線通信技術は、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、広い周波数帯域にわたるヘテロジニアス無線通信接続環境をユーザのために最適化することで、災害時でも必ずつながり、市民生活に革新をもたらす情報通信ネットワークとして、異種無線通信方式の統合による高信頼・高速無線ネットワークであるディペンダブル・エアの実現を目標としている。

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」を行っている。

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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．無線通信端末用高効率 CMOS 送信電力増幅モジュールの開発

近年、年率 2 倍程度で急増する無線通信ネットワークのトラヒックの収容が課題となっている。加えて IoT や M2M と呼ばれる人間を介さない機器間通信も今後発展していくことが見込まれているため、無線通信機器における消費電力の削減は重要な課題である。本研究ではこの課題に貢献できる技術として、かねてより検討してきた高調波注入による電力増幅器の高効率化、低歪化技術を無線通信用送信電力増幅モジュールに適用しその実用化を目指す。本年度は、高調波注入回路を内蔵した高調波注入プッシュプル電力増幅器の CMOS ワンチップ化の研究開発を行い、飽和出力電力、出力電力の目標値を達成するとともに、チップ内蔵の高調波注入回路により 2.2%の効率改善を実現した。本研究の成果により、携帯端末用送信電力増幅器の GaAs から CMOS への置き換えに必要な効率改善の効果が得られ、低コスト化・小型化が可能な CMOS 化の促進に貢献できた。

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 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、複数の周波数帯（920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯）のうち、2 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。

＜職員名＞

教授（兼）　末松 憲治
准教授（兼）　亀田　卓
客員教授　大西　輝夫

＜2017 年度の主な発表論文等＞

[1] 本良 瑞樹，亀田 卓，末松 憲治，“[技術展示] マルチキャリアダイレクト RF アンダーサンプリング受信機用高 SNR CMOS サンプルホールド IC,”信学技報 SR2017-17，May 2017.
[2] N. Suematsu, T. Owada, T. Koizumi, M. Motoyoshi, and S. Kameda, “A Ku-Band Direct RF Undersampling Receiver with an Intermittent-Mode Amplifier,” 2017 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT 2017), Seoul, Korea, August 2017.
[3] 末松 憲治，本良 瑞樹，古市 朋之，亀田 卓，“ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機を用いた広帯域リアルタイム型周波数モニタリングの提案,” 信学ソ大 C-2-70, Sept. 2017.
[4] 古市 朋之，本良 瑞樹，亀田 卓，末松 憲治，“広帯域ダイレクト RF アンダーサンプリング周波数センサにおける受信周波数特定のためのクロック周波数切り替え条件の検討,” 信学ソ大 C-2-71, Sept. 2017.
[5] 古市 朋之，本良 瑞樹，亀田 卓，末松 憲治，“広帯域ダイレクト RF アンダーサンプリング周波数センサにおける受信 RF 周波数特定法の検討,”信学技報 MW2017-144，Dec. 2017.
[6] 末松 憲治，本良 瑞樹，亀田 卓，“ダイレクトディジタル RF 技術 ―ナイキスト周波数を超える挑戦―,” 信学総大 BCS-1-3, March 2018.
[7] 古市 朋之，本良 瑞樹，亀田 卓，末松 憲治，“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,” 信学総大 C-2-96, March 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 291 名）
○ 高圧ガス保安講習会の開催（参加者 81 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 16 名）
○ 危険物質総合管理システムの管理、支援、および利用説明会の開催
○ 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）	羽生　貴弘
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

＜2017 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、2017 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
・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．研究室の独自情報システムの集約化

研究室によって独自のメールやウェブなど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。本センターでは、研究室の共用可能なサーバシステムを本センターへ集約化し、これらの負担を軽減していくことがかねてからの課題であった。本取り組みの一環として、研究室から要望のあったメールシステムの集約を行った。研究室の独自メールサーバは、通研のサブドメインを使用して運用されているケースがほとんどであったため、新たに通研メールサーバ上でバーチャルドメイン機能の運用を開始した。バーチャルドメイン機能により、研究室のサブドメインを通研メールサーバ上で運用することが可能となるため、今後の情報システム集約化への効果が期待できる。

３．システムログ分析の可視化

セキュリティインシデント対応や傾向分析を行う際に、様々なデバイスから生成されるシステムログをリアルタイムに可視化し傾向を分析することが、かねてより課題になっていた。そこで、本年度は、DHCP サーバログや Firewall ログを可視化する仕組みをログ収集ツール（logstash）、収集したデータを保存する全文検索時エンジンデータベース（Elasticsearch）、可視化ツール（kibana）を導入し、より高度なシステムログ分析、可視化を行うためのシステムを構築した。また、各サーバの脆弱性やソフトウェア脆弱性情報を的確に把握し、可視化するための脆弱性スキャナ（vuls）を導入した。本システムの導入によって、手軽に高度なデータ可視化技術を利用することが可能となり、ネットワーク・システムの動作傾向を分析することで、巧妙化するサイバー攻撃の脅威や複雑化するシステム障害のリスクに対応するための体制作りを目指している。今後は、機械学習などの人工知能技術を用いたより高度な異常検知等の活用も検討している。

＜職員名＞

(1) 運営委員会

教授　木下 哲男 (2000 年より)　鈴木 陽一（2000 年より）　外山 芳人（2000 年より）
　　白井 正文 (2003 年より)　大堀 淳（2007 年より）　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、2009 年より）
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の目標と成果

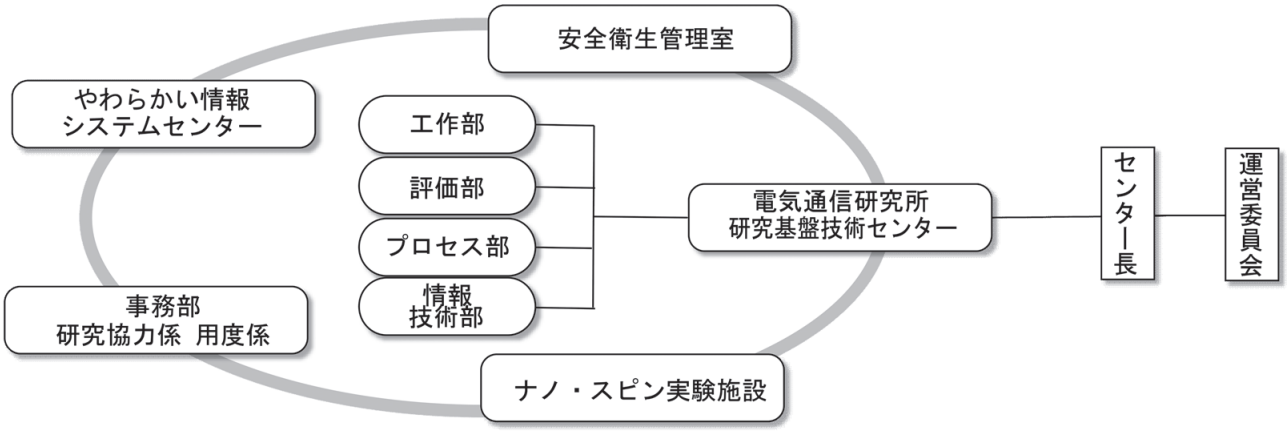


図１　研究基盤技術センター　組織図

＜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。

＜2017 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、139 件の依頼工作を提供した。この中で約10%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。

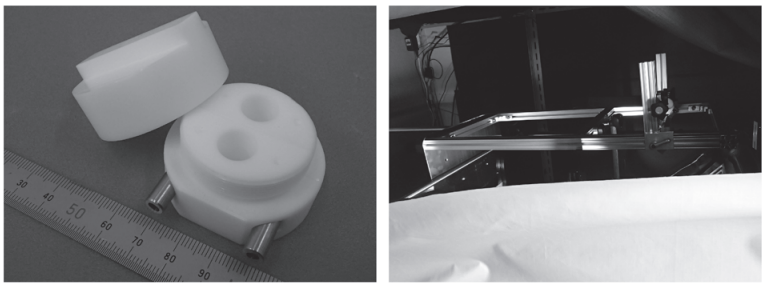


図２　工作部の主な作製品
（左：遠心用テフロンチャンバー、右：頭部－顎固定台）

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。21 の研究室が共通利用計測機器を利用し（総使用時間は 7226 時間）、加えて学外からの利用もあった。ガラス工作の依頼は 6 件であった。3976 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。

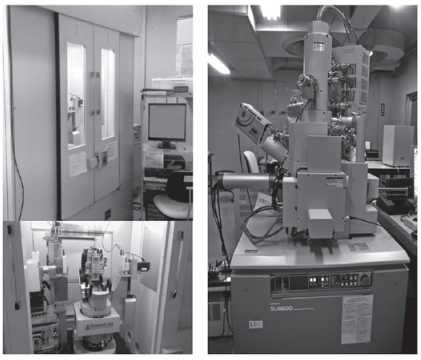


図３　評価部保有の分析装置
（左：X 線回折装置、右：電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置）

3. プロセス部

プロセス部は電子ビーム露光技術(図 4 参照)と光学薄膜作製技術(図 5 参照)を提供している。前者の技術支援では、ナノ・スピン実験施設の共通部と協力して 154 件の電子ビーム露光サービスと 20 件のマスク提供を行った。関連して、ナノ・スピン実験施設のクリーンルームの維持・管理を支援している。光学薄膜に関わる評価装置や基板切断装置を 3 研究室が利用した。

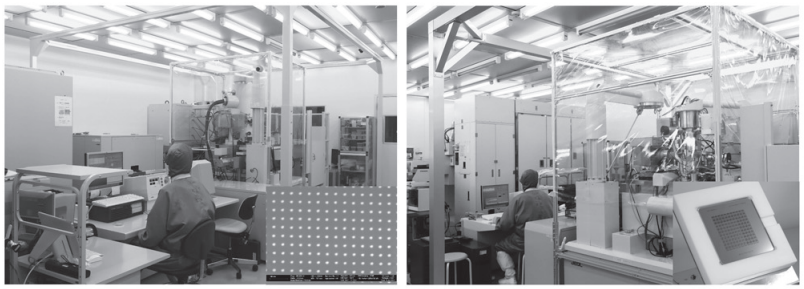


図 4　電子ビーム露光装置
(左 : スポットビーム型　右 : 可変成型ビーム型)

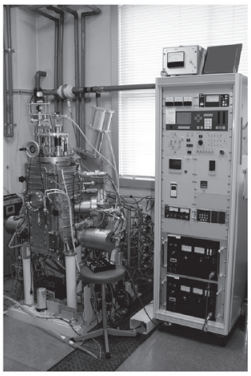


図 5 電子ビーム光学膜蒸着装置

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。

＜職員名＞

センター長（教授）　上原　洋一
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、寒河江　克巳、齋藤　文孝、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が測定できることを確認した。また、本課題に関する科研費への応募も行った。

＜次世代窒化物半導体電子デバイス研究グループ＞

窒化物半導体によって、金研で培ってきた革新的な材料・結晶成長技術と、通研の電子デバイスプロセス技術を融合させることによって、電力利用効率を高める新しい高速・高出力トランジスタの実現を目指す。具体的には、現在一般的に用いられているガリウム（Ga）極性材料と比較してトランジスタの構造上有利となる窒素（N）極性 GaN 材料をトランジスタに応用することを検討した。結晶成長技術を最適化することにより、先行研究と比べてより平坦性の良い結晶を実現し、これを用いた窒素極性 GaN/AlGaN 高電子移動度トランジスタを作製した。これにより、従来問題であったウエハ面内での電気特性の異方性を解消することに成功した。

＜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。平成 29 年度は定期的な全体会議を開催に加えて外部への積極的な発表により議論を深めている。昨年度に引き続き国際シンポジウムを開催して引き続き国際的な情報発信を図った。

＜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 29 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。本年度発足した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。このため、初年度である本年度は、計 9 回の会合を開いて、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、現在の脳型ハードウェアの状況や問題等を明らかにすると共に、これらの分野間の垣根を取り払って、新しい脳型（ブレインモルフィック）ハードウェアを協働して創造するための基本戦略と今後の方針について、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。本年度は、これを構築する概念および実現に向けた技術的な議論・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２９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２９年度共同プロジェクト研究

平成２９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１２７件（A：７７件，B：４６件，S：４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、７７件のうち４７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、３７件のうち２３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９件、区分Bの１６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。さらに区分Sは情報通信分野において特に力点を置いて研究を推進すべき技術・システム上の課題について、本研究所が中心となりつつ、相乗効果や補完効果の期待できる他大学附置研究所等の研究組織とネットワークを構築し、研究を共同で推進する組織間連携プロジェクトである。

共同プロジェクト研究

平成２９年度共同プロジェクト研究採択一覧

Ｈ２７／Ａ０２	プラズマナノバイオ・医療の基盤確立
Ｈ２７／Ａ０３	原子層制御プラズマ CVD を駆使した IV 族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御
Ｈ２７／Ａ０４	オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究
Ｈ２７／Ａ０５	量子情報通信のための革新的量子光源の開発
Ｈ２７／Ａ０６	単一金属ナノ構造体の微細形状制御と光物性
Ｈ２７／Ａ０８	位相雑音特性に着目した共鳴トンネル THz 信号源の研究
Ｈ２７／Ａ０９	フルコヒーレントアクセス方式を実現するための光?無線周波数変換方式に関する研究
Ｈ２７／Ａ１０	M2M(Machine to machine)伝搬環境改善のためのメタマテリアルおよびリフレクトアレー応用に関する研究
Ｈ２７／Ａ１１	生理指標に基づく SDN 型ネットワーキングシステムの実証的研究
Ｈ２７／Ａ１２	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
Ｈ２７／Ａ１３	モノーラル音の知覚と頭部伝達関数の関係に関する研究
Ｈ２７／Ａ１６	災害経験をかたりつぐ ICT に関する対話型・実践型研究
Ｈ２７／Ａ１７	感覚情報間の同期性の判断がコンテンツの臨場感・迫真性に与える影響に関する検討
Ｈ２７／Ａ１８	話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響
Ｈ２７／Ａ２０	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
Ｈ２７／Ａ２１	脳型計算用ハードウェア技術
Ｈ２７／Ａ２３	共生コンピューティングのためのマルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究
Ｈ２７／Ａ２４	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
Ｈ２７／Ａ２５	スマートコミュニティ構築のためのシステムアーキテクチャと基盤技術の開発
Ｈ２７／Ａ２６	ユビキタスシステムの実世界導入に向けた実証的研究
Ｈ２７／Ａ２７	嗅覚を含むマルチモーダル情報処理過程に関する研究
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	ブレインウェアシステムのアーキテクチャの研究
Ｈ２８／Ａ０９	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／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	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
Ｈ２８／Ａ１５	グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造のテラヘルツ応用に関する日米共同研究
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／Ａ２０	確率的誤差拡散を用いた高ダイナミックレンジ画像の表示技術
Ｈ２８／Ａ２１	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／Ａ２２	超高精細全天映像と超高精細全天音声を使った超臨場感空間の再現
Ｈ２８／Ａ２３	多数生体信号の分析による異常の予測と検索
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／Ａ０１	磁性体/半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究
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／Ａ０６	超伝導光子検出器アレイを用いた革新的光計測及び量子情報通信技術の開発
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／Ａ３１	強磁場中で連続かつ低ヒステリシス特性を有する高周波キャリア 型薄膜磁界センサの研究
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
Ｈ２７／Ｂ０１	プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓
Ｈ２７／Ｂ０３	量子測定の物理と情報通信
Ｈ２７／Ｂ０４	固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用
Ｈ２７／Ｂ０５	無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究
Ｈ２７／Ｂ０６	科学の客観性と人間性との調和を目指す科学教育のあり方と実施方法 -現代科学の問題点と人類の未来のために-
Ｈ２７／Ｂ０７	脳内の並列情報処理
Ｈ２７／Ｂ０８	高次元ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化
Ｈ２７／Ｂ０９	酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用
Ｈ２７／Ｂ１３	メディア技術の高機能化に関する研究
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
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／Ｂ０５	人と空間と情報技術に関する研究
Ｈ２８／Ｂ０６	数学の形式化への論理学的アプローチ
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

共同プロジェクト研究

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／Ｂ１２	眼球運動を伴う視覚処理機構に関する研究
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
Ｈ２８／Ｂ１５	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
Ｈ２９／Ｂ０１	高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用
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／Ｂ０４	第一原理ナノ構造設計手法の開発
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／Ｂ１０	インタラクティブコンテンツの新展開
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／Ｂ１４	コトロジー創成：生き物の多様な行動を生み出すミニマルセットを探る
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	脳型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	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／Ｂ２２	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／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
Ｈ２７／Ｓ１	大規模データ処理に基づく対話的知識創発を通じた共感計算機構
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

○　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。例年、研究の公募は、1月中旬に来年度の研究の公募要項の公開、2月末日が申請書の提案締切となっており、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4月中旬頃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

採択回数	1　2　(3)

(国際)

採択番号：**H27/A02**

プラズマナノバイオ・医療の基盤確立

［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）

Eun Ha Choi（Kwangwoon University, Korea）

Yongfeng Li (China University of Petroleum, China)

Peter Bruggeman (The University of Minnesota, USA)

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）

松永 行子（東京大学 生産技術研究所）

佐藤 岳彦（東北大学 流体科学研究所）

野内 亮（大阪府立大学 大学院工学研究科）

太田 裕貴（横浜国立大学 大学院工学研究院）

櫻井 望（かずさDNA研究所 技術開発研究部）

青木 裕一（東北大学東北メディカル・メガバンク機構）

中林 孝和（東北大学 大学院薬学研究科）

林 信哉（九州大学 大学院総合理工学府）

小暮 健太朗（徳島大学 大学院医歯薬学研究部）

南谷 靖史（山形大学 大学院理工学研究科）

田村 泰久（理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター）

菅原 克明（東北大学 材料科学高等研究所）

延べ参加人数：70 人

研究費：物件費　100,000 円
旅費　253,000 円
国際特別支援費　200,000 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台湾および米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 29 年 11 月 1 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. 「Plasma-liquid interactions and water vapor kinetics」Prof. Peter Bruggeman（University of Minnesota, USA）

日時：平成 29 年 11 月 15–16 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. 「分子性固体デバイスにおける表面界面現象の電界制御」野内 亮（大阪府立大学）
2. 「集積化グラフェンナノリボンの特異な光応答」鈴木 弘朗，金子 俊郎，加藤 俊顕（東北大学）
3. 「有機・無機材料を用いたハイブリッドスマートデバイスの開発」太田 裕貴（横浜国立大学）
4. 「ケミカルワールドをどうとらえるか」櫻井 望（かずさDNA 研究所）
5. 「生物ビッグデータ時代における人工知能の可能性」青木 裕一（東北大学）
6. 「分子分光学的手法の細胞計測への応用：ナノ秒パルス電場効果を中心に」中林 孝和（東北大学）

7. 「種子への酸素プラズマ照射により惹起される応答反応とその機序」林 信哉 [1], 合島 玲央奈 [2], 田代 康介 [1], 萩原 央子 [3] ([1]九州大学, [2]佐賀大学, [3]セルイノベーター(株))
8. 「微弱電流刺激による組織・細胞生理の制御と薬物送達」小暮 健太朗 (徳島大学)
9. 「パルス高電界の周波数成分が酵母細胞に与える影響の違いとその応用」南谷 靖史 [1], 齋藤 周大 [1], 檜山 純矢 [1], 影山 陸 [1], 小林 祐太 [1], 杉浦 敏行 [2] ([1]山形大学, [2]天野エンザイム)
10. 「プラズマ照射による脳組織再生研究と広域電子顕微鏡による画像データ解析」田村 泰久 (理化学研究所)
11. 「グラフェン関連原子層超伝導体の高分解能ARPES」菅原 克明 (東北大学)
12. 「単層カーボンナノチューブの原子レベル構造制御合成」許 斌, 金子 俊郎, 加藤 俊顕 (東北大学)

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「プラズマナノバイオ・医療の基盤確立」を主テーマに, プラズマとその応用, ナノカーボンの理論, 及び合成・制御と応用, バイオ・農業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

Ⅰ. プラズマ誘起細胞膜輸送の作用因子同定

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, 高い導入効率と細胞生存率を両立した導入方法を, 非平衡大気圧プラズマを用いて開発し, その重要因子の1つがプラズマ照射に伴って生成される液中活性種であることを明らかにしてきた. しかし, 液中活性種の反応過程および細胞膜輸送の詳細は未だ明らかとなっていない. よって本研究では, さらなる高効率・高生存率の遺伝子・薬剤導入システムの実現に向

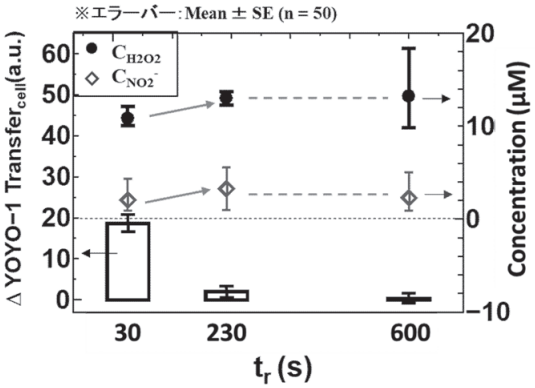


図 1: YOYO-1 導入量・H_2O_2 濃度(C_{H2O2})と NO_2^- 濃度(C_{NO2^-})の保持時間(t_r)依存性.

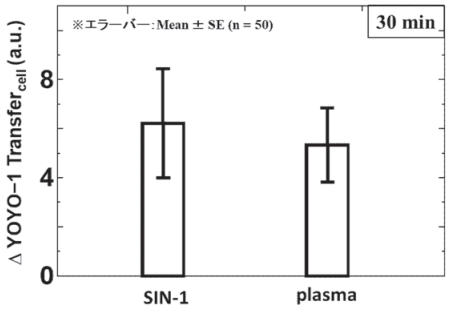


図 2: YOYO-1 導入量に対する $ONOO^-$ 供与体 SIN-1 とプラズマの効果.

けて, プラズマ照射溶液(PIS)による遺伝子, 薬剤導入機構を明らかにすることを目的とした. その目的達成のため, 活性種生成および細胞膜輸送の時間発展解析により作用因子の同定を行った.

本実験では, 作用を液中活性種のみに限定するため, ヘリウム (He) を用いて非平衡大気圧プラズマを用い, PIS を細胞に添加する間接照射を採用した. この時, プラズマ照射終了から, 細胞あるいは化学プローブに添加するまでの時間を保持時間(t_r)と定義した. また, 細胞膜輸送を評価するために, 蛍光量から細胞内導入量を推定することができる非膜透過性水溶性薬剤のモデルとした YOYO-1 を使用した.

図 1 に YOYO-1 導入量, H_2O_2 濃度(C_{H2O2})と NO_2^- 濃度(C_{NO2^-})の t_r 依存性を示す. t_r = 30 s ~ 230 s の間で, PIS の YOYO-1 輸送促進効果は大きく減少した一方で, C_{H2O2} と C_{NO2^-} は上昇していた. このことから, H_2O_2, NO_2^- 自体ではなく, それらの前駆体が YOYO-1 導入促進因子である可能性がある. 先行研究から, この前駆体の候補として, $O_2^{\bullet-}$ 及び $ONOO^-$ が提示されていた. そこで, $ONOO^-$ 供与体である SIN-1 を用いて YOYO-1 導入効果の比較を行った(図 2). その結果, PIS に相当する YOYO-1 輸送促進効果を, SIN-1 で得られた. この時, $O_2^{\bullet-}$ も微量存在するため導入因子になり得ると考え, $ONOO^-$ (+ $O_2^{\bullet-}$) が YOYO-1 導入促進因子である可能性が高いと考えている.

これらの短寿命活性種が導入促進因子であること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

現在, 農場での植物病害防除には化学農薬の使用が主流になっているが, 薬剤耐性個体の出現などが問題となっており, 化学農薬を補う病害防除手法として大気圧プラズマによる殺菌手法を提案している. 先行研究において, 水添加空気プラズマジェットから排出される活性種を含むガス (プラズマ活性ガス)を利用する殺菌手法が開発され, さらにプラズマ中への水導入をおよそ 10 倍に高める装置を開発し, 殺菌処理時間の大幅な短縮(60秒から10秒)とオゾン環境放出量

をおよそ 1/5 に削減することができた. その一方で, この殺菌効果向上の機序は明らかにできていなかった. 本研究では, この水添加空気プラズマジェットの高性能化に至った要因を実験的に解明した.

プラズマ活性ガスが殺菌対象物のある液相に噴霧された際, 液中に様々な活性種が生成されており, 本研究では, 気相中および液相中の活性窒素種の生成に着目した. この気相から液相に輸送された活性種の経路を特定するため, 液中に p-ヒドロキシフェニル酢酸 (p-Hydroxy Phenylacetic Acid : p-HPA) を添加し, 液中活性種のニトロ化を阻害した. また, p-HPA のニトロ化は, $ONOO^-_{aq}$ によっては引き起こされにくいことから, 主に $NO^+_{2\,aq}$ によるニトロ化と考えられる. $p\text{-}HPA_{aq}$ 濃度に対する液中 $NO^-_{3\,aq}$ 供給速度を計測した結果(図3), 液中で硝酸イオンの生成が半分程度に抑制されることが明らかとなった. すなわち, 液中硝酸イオンの生成の半分程度が $NO^+_{2\,aq}$ を介していることを示唆している. この時, 液相への溶解で硝酸イオンとなる気相活性種のほとんどが N_2O_{5gas} であることから, 気相 N_2O_{5gas} が溶解する際に $NO^+_{2\,aq}$ と $NO^-_{3\,aq}$ に分かれ, $NO^+_{2\,aq}$ を気液界面に供給している可能性を示唆している(図 4). また一般的なニトロ化処理 pH < 3 と比較し, 図3は pH 11 と高 pH でもニトロ化能を有することが明らかとなった.

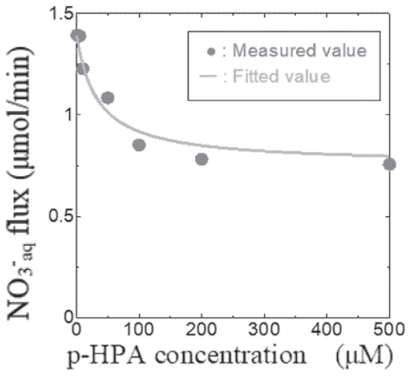


図 3: $NO^-_{3\,aq}$ フラックスの $p\text{-}HPA_{aq}$ (pH 11) 濃度依存性.

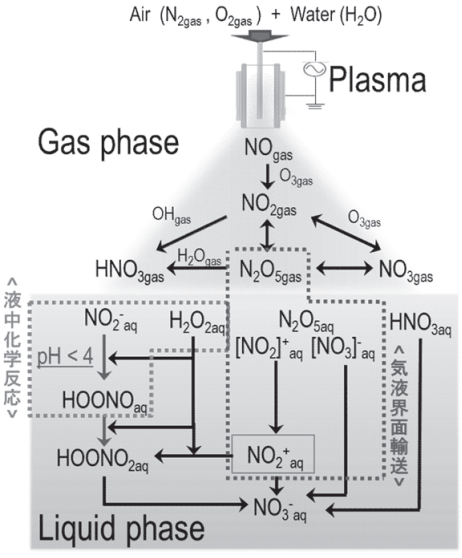


図 4: 活性種生成経路.

同実験条件で同時に供給される H_2O_{2aq} と $NO^+_{2\,aq}$ の反応は, 高い殺菌効果を示す $HOONO_{2aq}$ を生成できる. またプラズマ活性ガス噴霧により, 溶液pH 低下と $NO^-_{2\,aq}$ と H_2O_{2aq} 供給が実験的に示され, 同じく高い殺菌効果を示す $HOONO_{aq}$ の液中生成も示唆された. 以上の気液界面の活性種輸送メカニズム理解は, 今後更なる高性能プラズマ殺菌装置開発に大変有用な知見である.

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, 米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, 英国, ポルトガル, 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, 台湾, 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、研究分野への貢献など

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, 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, 本研究室所属の PD 研究員を米国の Prof. Peter Bruggeman 研究室に派遣し, 米国との国際共同研究を開始している. 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) A. Ochi, H. Konishi, S. Ando, K. Sato, K. Yokoyama, S. Tsushima, S. Yoshida, T. Morikawa, T. Kaneko, and H. Takahashi, *Plant Pathology*, **66**, 67 (2017).
(2) T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, and M. Kanzaki, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **60**, 3 (2017).
(3) A. Komuro, K. Takashima, K. Konno, N. Tanaka, T. Nonomura, T. Kaneko, A. Ando, and K. Asai, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **50**, 215202 (2017).
(4) K. Takashima and T. Kaneko, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **26**, 065018 (2017).
(5) T. Kaneko and R. Hatakeyama, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 0102A6 (2018).
(6) S. Sasaki, Y. Hokari, A. Kumada, M. Kanzaki, and T. Kaneko, *Plasma Process. Polym.*, **15**, e1700077 (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：**H27/A03**

原子層制御プラズマ CVD を駆使した IV 族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御

［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）

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：9 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	218,000 円

［2］研究経過

［目的］量子効果デバイスやナノスケールトランジスタなどの次世代ナノデバイスの高集積化において、ナノメートルオーダ厚さの歪 Si や歪 Ge などを含む量子ヘテロ構造形成やそこにおける高キャリア濃度化を可能にする IV 族半導体のエピタキシャル成長技術が極めて重要である。そこで本研究では、原子オーダで平坦かつ急峻な表面・ヘテロ界面を有する Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造を高集積化するためのプラズマ化学気相成長(CVD)プロセスの開発を目標とする。特に、基板非加熱でのプラズマ CVD における量子ヘテロ構造へのイオン・ラジカル入射制御を駆使することにより、界面ミキシングや不純物（主に B や P など）の偏析・クラスタリングを抑制し、組成や不純物濃度分布のサブナノオーダ制御や不純物の結合状態や電気的活性化の制御を可能とする Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ナノ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセス基盤技術の構築を目指すものである。

［概要］本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。高集積化対応ナノデバイスの新領域開拓を進めるためには、基板非加熱プラズマ CVD におけるイオン・ラジカル入射制御を駆使し、Si 基板と格子整合した歪 Ge、歪 SiGe 混晶、歪 C ドープ Si などの Si-Ge-C 系エピタキシャル成長、並びに、それらへの高濃度（10^{21} cm^{-3} 以上）での不純物（B, C, N, P）ドーピング制御を高度化する研究を進めた。これらを各種面方位の Si 基板やフォトリソグラフィと異方性エッチングにより微細加工した Si 基板上の立体構造側壁面でも可能とするための実験へと発展させることを目指すものである。本実験研究は、特に基板非加熱下での Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセスという未踏領域での成膜実験並びに評価分析が中心となり、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を利用して実験を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、Si 集積回路に用いられる半導体デバイスの高性能化に向けて、Si 並びに Si と格子整合した Si-Ge 混晶などの IV 族半導体を用

いた p^+-n 接合やヘテロ接合の高品質形成プロセス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、サブナノメートルオーダあるいは原子オーダで急峻な接合形成に必要な高濃度 B ドープ Si 薄膜の高品質エピタキシャル成長を実現するために、低エネルギーAr プラズマ照射下で SiH_4 と B_2H_6 を反応させるプラズマ CVD 法について研究を進めた。この方法での高キャリア濃度領域でのキャリア移動度は従来 19 $cm^2V^{-1}s^{-1}$（7.1x10^{19} cm^{-3}）程度にとどまっていた。それに対して本研究者は、高濃度 B が結晶性劣化の原因になっているものと推測し、キャリア移動度の B_2H_6 ガス分圧依存性を調査した所、B 濃度（キャリア濃度）を若干抑えることによりキャリア移動度が増大する現象を見いだし、高濃度 B が結晶性劣化を引き起こしている可能性を示した。同時に、一般に高温ドーピングプロセスで得られるキャリア移動度に匹敵する 46 $cm^2V^{-1}s^{-1}$（2.5x10^{19} cm^{-3}）を達成し、熱的ミキシングを抑制した高キャリア移動度の高キャリア濃度 p^+型 Si エピタキシャル成長の指針を得ることができた。

第２に、上記のようにして得られる高キャリア濃度 B ドープ Si 薄膜を p^+型 Si と n 型歪 $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ エピタキシャル薄膜を n 型 Si(100)基板上に積層することにより、p^+-n 接合ダイオードを形成して電流－電圧特性を測定した。ここでは特に、低温成膜の優位性を見いだすことを重要視して、Al 電極形成には基板非加熱スパッタを用いた低温形成プロセスを採用した。その結果、逆方向電流が 10^{-6}～10^{-5} A cm^{-2}（以前より 1/4）程度にまで抑えられ、電子・正孔対の熱的生成が抑えられていることがわかった。一方で、順バイアス電流は、電圧の増加とともに指数関数的に増加し、ほぼ理想的な立ち上がり特性（60 mV/decade）を示しており、電子・正孔対の再結合がほぼ無視できることも確認できた。これらのことは、B ドープ Si 中の生成・再結合を促進する結晶欠陥密度を効果的に低減できたことを示唆している。また、歪 $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ 薄膜を導入しない構造の特性と比較すると、順方向電流の立ち上がりが低電圧側に 0.19 eV シフトしている現象は再現されていることも確認できた。これは Si／Si-Ge 混晶ヘテロ界面に生じるバンド不連続（約 0.4 eV）と n 型側のドーピング濃度の違いから生じるフェルミレベルの違い（約 0.2 eV）の差分によって生じたシフトであると説明できるものであり、ヘテロ界面での価電子帯不連続の存在が不変であることも示唆している。

これらの研究成果の一部は、国際会議及び学術誌論文（7 件）、国内学術講演会（2 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

前述の研究成果は、IV 族半導体の低抵抗化・高キャリア移動度化やバンド構造制御、並びに、キャリアの量子束縛や量子トンネルなどの量子力学的効果に関わる電子物性とその半導体デバイス応用の研究を進めるために、基板非加熱プラズマ CVD プロセスが有用であることを示唆するものである。これにより、エサキトンネル接合素子や共鳴トンネルデバイス等の次世代半導体デバイスの実用化に寄与することができ、次世代半導体デバイス製造において大きな優位性があるとると期待される。すなわち、基板非加熱であるため、不純物がドーピングされた位置から熱拡散によって広がるのを防止することができ、不純物濃度が低下するのを防ぐことができる。また、基板との接合界面や隣接する半導体層との接合界面で、熱拡散によるミキシングが発生しないため、各接合界面をナノメートルオーダで制御することができる。これらに加えて、コスト・手間・時間のあらゆる観点で、半導体デバイス製造に大きな改善効果をもたらすとともに、装置内装部品からの不要不純物ガスが放出せず、半導体材料や接合界面の特性の劣化やばらつきを抑制することも期待できる。

以上のように、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していきたい。

［4］成果資料

(1) M. Sakuraba, K. Sugawara, T. Nosaka, H. Akima and S. Sato, “Carrier properties of B atomic-layer-doped Si films grown by ECR Ar plasma-enhanced CVD without substrate heating”, Science and Technology of Advanced Materials, 18, (2017), 294-306.

(2) K. Motegi, N. Ueno, M. Sakuraba, Y. Osakabe, H. Akima and S. Sato, “Electrical Properties and B Depth Profiles of In-Situ B Doped Si Film Grown by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, Materials Science in Semiconductor Processing, 70, (2017), 50-54.

(3) N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Electronic Properties of Si/Si-Ge Alloy/Si(100) Heterostructures Formed by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, Materials Science in Semiconductor Processing, 70, (2017), 55-62.

(4) S. Sasaki, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Silicon-Carbon Alloy Film Formation on Si(100) Using SiH_4 and CH_4 Reaction under Low-Energy ECR Ar Plasma Irradiation”, Materials Science in Semiconductor Processing, 70, (2017), 188-192.

(5) 李武, 上野尚文, 加藤永史, 櫻庭政夫, 秋間学尚, 佐藤茂雄, “Si 系半導体デバイス高性能化に向けた Si/Si-Ge 混晶ヘテロ接合形成プロセスに関する研究”, 第 72 回応用物理学会東北支部学術講演会（2017 年 11 月 30 日～12 月 1 日, 秋田）, No.30pA11（口頭発表）.

(6) M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Epitaxy and In-Situ Doping of Group-IV Semiconductors by Low-Energy Plasma CVD for Nanoelectronics” (**Invited**), Abs. 11th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018, Abs.No.I-14, pp.27-28.

(7) W. Li, N. Kato, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Influence of Crystallinity Improvement in B-Doped Si upon Si-Ge p+-n Junctions Formed by ECR Ar Plasma CVD”, Abs. 11th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018, Abs.No.I-14, pp.55-56.

(8) N. Kato, W. Li, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Epitaxial Growth of In-Situ P-Doped Si Films by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, Abs. 11th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018, Abs.No.P-15, pp.57-58.

(9) 李武, 上野尚文, 加藤永史, 櫻庭政夫, 秋間学尚, 佐藤茂雄, “ECR Ar プラズマ CVD により形成した Si-Ge 系 p^+-n 接合への B ドープ Si の結晶性改善の影響”, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会（2018 年 3 月 17～20 日, 東京）, No.17p-C101-6（口頭発表）.

採択回数	1	2	3

（先端・萌芽）

採択番号：**H27/A04**

オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究

［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）
末光　眞希（東北大学電気通信研究所）
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）
金井　駿　（東北大学電気通信研究所）
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：40 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	171,000 円

［2］研究経過

【概要】高性能デバイス研究開発では、デバイス特性の実測値は物性値から予想されるデバイス特性の理論値を下回ることに直面する。この物性値とデバイス特性のギャップを埋める為に、動作しているデバイスの電子状態をナノスケールで測定するという**オペランド顕微分光**を開拓し、以て、ナノスケールでの学理に基づいた次世代デバイス開発を狙う。

現状で、高性能化を企図したシリコン・デバイスの縮小化は 14 nm にまで達している。二世代先の 7nm 世代以降では、縮小化によるメリット（情報処理の高速化・記憶容量増大・低消費電力化）は、もはや享受出来なくなる。ゆえに、シリコンデバイスの機能を補完し得る次世代デバイス・材料の開発が急務となっている。このような次世代デバイス・材料として、例えば、グラフェン、スピントロニクス、及び、GaN の HEMT などが挙げられる。

これらの次世代デバイスの開発における壁として、デバイス作製技術の未成熟さに加えて、**ベタ膜の状態での材料物性と実際に構造を作り込んだデバイスの特性の間のギャップ**が挙げられる。このようなギャップが生まれる原因として、下記の二点が挙げられる；

・Si とは異なる物理が物性を支配している
・界面が電子物性を大きく変調する

例えば、グラフェンにおいては相対論的量子力学が電子物性を支配しており、キャリアの有効質量や後方散乱が、積層構造に依存して、0になったり有限の値を持ったりするようになる。また、グラフェン・トランジスタのデバイス特性（キャリア移動度や遮断周波数）が、コンタクト電極との界面やアクセス領域の存在により二桁程変化することが、代表者らのグループにより明らかにされている(Jung et al., Proc. IEEE (2013))。しかも、これらの界面による電子物性の変調の程度は、外場（例：ゲート電圧）に依存することが、代表者らの研究により最近明らかにされた（Fukidome et al., Sci. Rep. (2014)）。

この材料物性とデバイス特性のギャップを埋める為には、実際に動作しているデバイスの電子状態を調べることが要求される。ゆえに、この要求を満たす、デバイスの活性層（例：チャネル）を動作条件下で（オペランド）の電子状態を微視的に観察する手法、すなわち、「オペランド顕微分光」（Fukidome et al., Sci. Rep. (2014) & APEX (2014)）を開拓することが次世代デバイス開発において重要となると考えられる。

【目的】以上のような理由から、本共同プロジェク

ト研究では、オペランド顕微分光の開拓を図る為に、産・学の垣根を超えた材料・デバイス・先端顕微分光の研究交流の場を提供する。そこから得られた研究のネタを具現化する試料を通研の実験施設にて作製する。このような試料のオペランド顕微分光をプロジェクト参加者間の緊密な連携の下に実施することにより、学理に基づいた次世代デバイス開発を行う。

本プロジェクトは、本年度が第３年度であった。前年度は、下記の三項目に関して研究を行った；

・東大・松田巌准教授とのレーザーにより光励起されたエピタキシャルグラフェン膜のフェムト秒超高速時間分解光電子分光に関する研究打ち合わせ
・東大・松田巌准教授とのレーザーにより光励起されたエピタキシャルグラフェン膜のフェムト秒超高速時間分解光電子分光に関する共同研究
・高輝度放射光 SPring-8 を利用し軟Ｘ線をプローブ光として用いた二次元電子系デバイスのオペランド顕微分光

を行った。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえて、今年度は、デバイス中のキャリア・ダイナミクスの時間的および空間的な変化を、X 線分光を用いて解明することを目的とした研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

１）共同研究の推進

・軟Ｘ線時間分解（～100 ps）光電子分光によるグラフェンのキャリア・ダイナミクスの解明
・GaN-HEMT の電流コラプス現象の時空間オペランド光電子分光観察

２）共同プロジェクト研究会の開催

一回
平成 29 年 8 月
発表者：豊田智史（京都大学）
　　館野泰範（住友電工）
　　吹留博一（東北大学電気通信研究所）
参加人数：20 名

３）研究打ち合わせ

一回
平成 30 年 3 月
参加者：田中　悟（九州大学）
　　吹留博一（東北大学電気通信研究所）

［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、軟Ｘ線時間分解（～100 ps）光電子分光による SiC 基板表面上にエピタキシャル成長させたグラフェンのキャリア・ダイナミクスの解明を目的とした研究を行った。グラフェンを用いた電子・光デバイスの提案がなされているが、実デバイス特性値は理論値を下回る。その理由として、グラフェンと SiC の界面相互作用が挙げられる。

この界面相互作用の目的を解明として研究をス薄めた結果、グラフェンと SiC の光電子スペクトルの時間変化から、グラフェン-SiC 系での電荷移動には、二つのプロセスが関与していることがあきらかとなった；

①グラフェン内のバンド遷移の電子励起

このグラフェン内での電子移動の時定数は、真空紫外光を用いたフェムト秒時間分解・角度分解光電子分光測定結果と一致している。このバンド間遷移は他の物質に比して長い。その理由は、グラフェン内のキャリアの平均自由行程が長いからである。

②グラフェン-SiC 間でのキャリア移動

このグラフェン-SiC 間でのキャリア移動は、SiC 基板の面方位（表面終端）により異なることが明らかとなった。その理由は、Si 終端 SiC(0001) とグラフェンの界面に存在するグラフェンの前駆体である buffer 層が、グラフェン-SiC 界面間のキャリア移動を妨げているからである。

第２に、GaN-HEMT の電流コラプス現象の時空間オペランド光電子分光観察を行った。電流コラプス現象とは、表面準位の電子捕獲により AlGaN/GaN 界面に存在する二次元電子ガス（2DEG）の密度が減少する結果、GaN-HEMT の電気特性が劣化することを指す。

この電流コラプス現象を解明するために、我々はこれまでに、動作条件下で高い空間分解能を有する X 線分光法（オペランド顕微 X 線分光）を用いて、GaN-HEMT の電流コラプス現象の研究を行ってきた。

但し、オペランド顕微 X 線分光には時間分解能が無いために、電流コラプス現象に関わる表面準位のダイナミクスを調べることが出来なかった。そのため、電流コラプス現象の完全な解明は未だなされていないのが現状である。

このような現状を克服するために、我々は、オペランド時空間分解 X 線分光の開拓を行った。その結果、高い時間分解能（～100 ns）と高い空間分解能（～100 nm）で GaN-HEMT の表面準位のダイナミクスを調べることに成功した。このことは、オペランド時空間分解 X 線分光を用いて、半導体デバイス動作に関わる表面準位のダイナミクスの完全な解明が可能となることを示唆する。

（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、電子・光デバイスの動作を決める電子状態を解明するという点で注目を集めている。ゆえに、産業界（住友電工や富士電機）やNICTと交流が飛躍的に活性化された。学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、NICT や住友電工と共同でSCOPE に共同申請するに至った。

・プロジェクト名：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
・資金制度：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（3年枠）
・配分機関：総務省
・研究期間：3年間
・申請金額：29, 825千円

［４］成果資料

1. Suppression of Supercollision Carrier Cooling in High Mobility Graphene on SiC(000-1)
Physical Review B, 95. (2017), pp. 165303-1-165303-7.
T. Someya, H. Fukidome, H. Watanabe, T. Yamamoto, M. Okada, H. Suzuki, Y. Ogawa, T. Iimori, N. Ishii, T. Kanai, K. Tashima, B. Feng, S. Yamamoto, J. Itatani, F. Komori, K. Okazaki, S. Shin, and I. Matsuda
2. Solution-Based Formation of High-Quality Gate Dielectrics on Epitaxial Graphene by Microwave-Assisted Annealing
Japanese Journal of Applied Physics, 56. (2017), pp. 06GF09-1-06GF09-5.
K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, W.-J. Cho, M. Suemitsu
3. Fabrication of Multi-Layer Bi_2Se_3 Devices and Observation of Anomalous Electrical Transport Behaviors
Materials Science in Semiconductor Processing, 68. (2017), pp. 128-132.
G. Venugopal, G.-H. Park, M. Suemitsu and H. Fukidome
4. Atomic-scale characterization of the interfacial phonon in graphene/SiC
Phys. Rev. B, 96. (2017), pp. 155431-1-155431-7.
E. Minamitani, R. Arafune, T. Frederiksen, T. Suzuki, S. M. F. Shahed, T. Kobayashi, N. Endo, H. Fukidome, S. Watanabe, and T. Komeda
5. A table-top formation of bilayer quasi-free-standing epitaxialgraphene on SiC(0001) by microwave annealing in air
Carbon, 130. (2018), pp. 792-798.
K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, S. Takashi, I. Takushi, K. Fumio, I. Matsuda, M. Suemitsu

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：**H27/A05**

量子情報通信のための革新的量子光源の開発

［1］組織

研究代表者：枝松 圭一
（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：枝松 圭一
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：福田 大治
（産業技術総合研究所計測標準研究部門）
延べ参加人数：2 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	117,000 円

［2］研究経過

光を用いた通信，計測等において，光の強度，周波数，位相などの安定度は，通信・計測の精度を決定する最も重要な性能である．近未来の光通信・光計測においては，光の量子性に伴う雑音（量子ゆらぎ）によってその通信容量あるいは計測精度が支配されることになる．古典的光源の限界を打破するためには，光の量子性を極限まで利用し尽す全く新しい光源が必要となる．本研究計画では，量子統計性を極限まで制御した革新的光源の開発を目標とする．具体的には，光パルスの各々に対してその光子数などの量子情報を検出・付帯させ，その付帯情報を前方（受信者側）へ送信（フィードフォワード）して変調処理することで，新奇な量子状態を実現する光源，生成した量子もつれの種類と程度を制御した光源，等の全く新しい光源を実現する．

本プロジェクトは，本年度が第 3 年度であり，大別して以下に示す 2 つの研究開発を行った．

(1) 動的無偏光単一光子と量子計測・量子干渉

単一光子の偏光は，量子情報通信における情報単位（量子ビット）の担体として用いられる．本研究では昨年度までに，(111)ダイヤモンド表面近傍の[111]軸に配向した単一窒素・空孔電子中心（NV 中心）（図 1）から室温において発生する単一光子が，静的にも動的にもほぼ完全な無偏光状態にあることを実験的に検証した．

本年度は，この動的無偏光光子源を用いた量子計測と量子干渉実験を行った．量子計測における誤差・擾乱の不確定関係に関し，純粋状態のみならず混合状態に関しても有効な不等式が理論的に提案されている．動的無偏光単一光子は偏光に関する完全混合状態にあり，上述の不等式の実験検証に好適であるが，その実験のためには，光源の可干渉性が重要である．しかし，動的無偏光単一光子の可干渉性についてはこれまで明らかにはなっていなかった．本研究では，発生した動的無偏光単一光子が高い干渉性を有することを確認するとともに，干渉系の片方の光路で偏光回転を行うことで光路の識別性が付与され干渉性が低下・消失すること，そして干渉系通過後の検出部で偏光の適切な射影測定を行うことで干渉性が復活すること（量子消去）を実験的に検証した（論文準備中）．

(2) 高感度・高分解能超伝導転移端センサの開発

高感度かつ高エネルギー分解能を持つ超伝導転移端センサによる光子数識別機の開発を進めた．超伝導薄膜の臨界電流の精密評価技術，及び，TES の動的インピーダンス測定技術を開発し，臨界電流やインピーダンスが光検出器特性へ与える影響について考察した．また，光ファイバからのフォトンを超伝導転移端センサに高効率で結合できる技術の確立を目指し，光ファイバのコアと TES の中心位置を数ミクロンの精度で自己アライメントする構造をシリコンの深堀エッチングにより作成する手法を確立した．この技術により作成したデバイスで，波長 1.5 μm のフォトンを 0.3 eV のエネルギー分解能で信号検出することに成功した．また，超伝導転移端センサのアレイ化することで，空間分解能を持つ高感度光子検出技術の実現を目指し，多重化した検出器アレイの読出し技術の研究を開始した．さらに，超伝導転移端センサの光子数識別能力や分光特性を応用して，

量子データロックや単一光子分光イメージングに本技術の適用可能性について検討した．これらの結果を論文や学会等で成果発表した．

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究の今年度の成果発表として，査読付雑誌論文7件，解説論文1件，国際会議招待講演1件を行った．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で開発する量子光源技術は,「量子情報通信技術」や「量子光標準」といった産業上重要な応用成果へと発展することが期待され，更なる大型の研究プロジェクト申請による外部資金等の獲得を検討している．

［4］成果資料

1. Dynamically unpolarized single-photon source in diamond with intrinsic randomness, N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, and K. Edamatsu, Sci. Rep. **7**, 46722 (2017).
2. Polarization response and scaling law of chirality for a nanofibre optical interface, M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, Sci. Rep. **7**, 17085 (2017)
3. Anomalous optical diffraction by a phase grating induced by a local field effect in semiconductor quantum dots, Y. Mitsumori, T. Watanuki, Y. Sato, K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, Phys Rev. B 95, 155301 (2017)
4. 非古典光の基礎，枝松圭一，光学 **47** (2), 48 (2018)
5. Nonlocal two-qubit measurement using spin products (invited talk), Keiichi Edamatsu, 3rd International Conference on Quantum Foundations (2017)
6. Few-photon color imaging using energy-dispersive superconducting transition-edge sensor spectrometry, K. Niwa, T. Numata, K. Hattori, D. Fukuda, Scientific Reports **7**, 45660 (2017)
7. Investigation of Third-Order Dispersion of Long-Range Surface-Plasmon-Polariton Waveguides Using a Hong-Ou-Mandel Interferometer, T. Sakaidani, R. Kobayashi, N. Namekata, G. Fujii, D. Fukuda, S. Inoue, Opt. Exp. **25**, 9490 (2017)
8. Study of Nb and NbN Resonators at 0.1 K for Low-Noise Microwave SQUID Multiplexers, T. Irimatsugawa, F. Hirayama, T. Yamamori. S. Kohjiro, A. Sato, S. Nagasawa, D. Fukuda, M. Hidaka. Y. Sato. Y. Ohno, H. Takahashi, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY **27**, 2500305 (2017)
9. Interchannel crosstalk and nonlinearity of microwave SQUID multiplexers, F. Hirayama, T. Irimatsugawa, H. Yamamori, S. Kohjiro, A. Sato, S. Nagasawa, D. Fukuda. H. Sasaki. M. Hidaka, Y. Sato, M. Ohno, H. Takahashi, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, **27**, 2500205 (2017)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：**H27/A06**

単一金属ナノ構造体の微細形状制御と光物性

［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）

延べ参加人数：4 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	101,000 円

［2］研究経過

（2－1）研究目的

数～数十 nm 程度の大きさを有する金属ナノ構造は、バルクマテリアルにはない特異な化学反応、光学応答を示す。とりわけ金や銀などの貴金属で構成される金属ナノ構造体は、可視光との直接相互作用により局在表面プラズモン（LSP）が誘起されることが知られている。LSP は、ナノ構造体から半径程度に広がった空間に非常に強い電場を形成する。そのため、個々の分子やナノ構造体を効率良く励起することができるため、このようなナノ構造体は高感度な計測が必要とされるバイオセンサーなどへの応用が期待されている。LSP の電場強度は、ナノ構造体の大きさや形状、近傍に位置する別のナノ構造体までの距離に強く依存し、それらを精密に制御することが金属ナノ構造体を電界増強の空間場として利用する上で必要不可欠である。しかしながら、個々のナノ構造体の形状を制御する手法の開発に関しては研究初期段階であり、従来のトップダウン手法にはない精密な空間制御が重要な課題となっている。

本研究プロジェクトの目的は、（1）原子スケールで物質を可視化することができる走査トンネル顕微鏡(STM)を用いて個々の金属ナノ構造体の構造を精密に制御する手法を開発すること、（2）ナノ構造体の形状に起因する特異な光物性を STM 発光分光により解明することである。このようなナノ構造体の極限制御により、これまで報告にない高感度な単一分子センシングが可能になると期待される。

（2－2）研究概要

本課題は平成 27 年度に新規採択され、継続 3 年目の研究課題である。平成 29 年度において、(1) 金属ナノ微粒子を二次元に単層整列させる方法を開発し、その金属ナノ微粒子集合体の光物性を単一粒子スケールで明らかにする研究、(2) 単一金属ナノ微粒子の LSP 励起による基板表面のフォノン励起に関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

まず、2 次元配列した金属ナノ微粒子を二次元に単層整列させる方法を検討した結果について述べる。原子平坦なマイカ上に Au を真空蒸着して Au(111) 基板を得た。この基板を大気中で 50-200 ºC に加熱し、その表面に粒径 20 nm の銀ナノ微粒子 (AgNP) 水溶液(Ardrich 社製)を滴下して試料基板を作製した。Au(111)基板を 100 ºC に保持して drop-casting 法により作製した AgNP/Au(111)基板の SEM 像を図. 1(a)に示す。最密構造で配列した AgNP が観測された。この表面を AFM で観測したところ、AgNP の吸着した表面の大部分は 1 粒子層であることがわかった（図 1(b)）。一般に、AgNP は 3 次元に凝集した構造を形成する。そのため、2 次元にならんだ AgNP 構造を作製するためには Langmuir - Schaefer 法などの高度な薄膜作製技術が必要とされると考えられてきた。しかしながら、適切な基板温度に設定して溶媒蒸発の過程を制御すると、より簡便に 2 次元シート状の AgNP 構造が得られることが明らかとなった。

次に、その AgNP アレイ集合体の光物性を STM により単一粒子スケールで明らかにする研究を行った。基板上で STM 発光スペクトルを計測したところ、可視光領域にブロードなピークを有するスペク

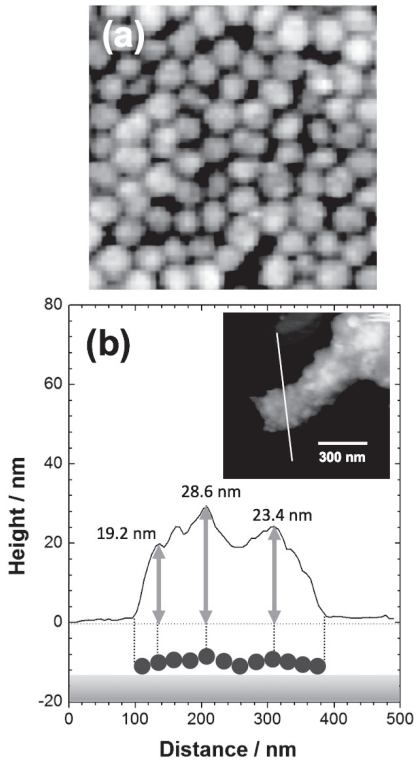


図 1：(a) An SEM image of Au(111) surface obtained after deposition of AgNPs at 373 K (Area: 200 nm×200 nm). (b) The height profile of AgNPs/Au(111). The upper inset is the corresponding AFM image and the lower inset is the structural model of AgNPs/Au(111).

トルが Au 基板および AgNP 上で得られた。Au 基板と比較して数倍高い発光強度を有する微粒子が存在する一方で、発光強度が非常に弱い微粒子が存在することがわかった。さらに、STM 発光の 2 次元マッピングを行ったところ、微粒子のギャップ間において STM 発光が増強されることがわかった。この結果は、STM 発光の増強において AgNP の LSP 励起が強く関与していることを示唆している。

さらに、単一金属ナノ微粒子の LSP 励起による基板表面のフォノン励起に関する研究を行った。レーザーアブレーションにより直径数 nm 程度の AgNP をグラファイト (HOPG) 基板に形成させた。劈開した HOPG 基板に直接 AgNP を吸着させて STM 測定を行ったところ、微粒子が STM 探針に引きずられてしまい、AgNP の STM 像を安定に得ることができなかった。そこで、Ar イオン衝撃により HOPG にナノピットを作製し、AgNP の拡散を抑制できないか検討した。その結果、AgNP はナノピット内にトラップされ、安定に STM 観測されることがわかった。このようなナノピットにトラップされた AgNP の STM 発光を計測したところ、AgNP の LPS 励起に起因するブロードな発光を可視領域で観測することができた。この STM 発光スペクトルにみられる高エネルギー側のカットオフのエネルギーは探針と AgNP/HOPG 基板の間に印加したバイアスエネルギーと一致した。しかしながら、高エネルギー側における量子カットオフ近傍を注意深く見てみると、HOPG 基板の STM 発光スペクトルには見られないステップ構造を確認することができた。AgNP からの発光スペクトルにのみ観測されるこの微細なステップ構造のエネルギー幅は、HOPG 基板のフォノンエネルギーと一致した。つまり AgNP の発光過程において、AgNP と接する HOPG のフォノンが強く励起され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

本研究プロジェクトを通じ、学内外の研究者、特に若手研究者との研究交流ができた。また，本プロジェクトで明らかになった、電界蒸発による単一金属ナノ粒子の形成に関する成果は、ナノ光物性を単一金属微粒子で制御できるという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る。

［４］成果資料

(1) S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, and Y. Uehara, "Nanoscale Observation of a Single Graphene Oxide Layer Using Scanning Tunneling Microscopy", J. Vac. Soc. Jpn., 60, 495-498 (2017).

(2) 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).

(3) 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, 104306_1-9 (2018).

(4) S. Katano, M. Hotsuki, H. Aichi, and Y. Uehara, "Nanoscale Luminescence of Two dimensional Array of Silver Nanoparticles Investigated by STM Light Emission Spectroscopy", 25th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa Heights, Shizuoka, Japan. , 12 月 7 日-9 日 (2017).

(5) 片野諭, 寶槻雅樹, 愛知秀斗, 上原洋一, "2 次元配列した銀ナノ微粒子のナノスケール発光分光", 第65回応用物理学会春季学術講演会, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 3 月 17 日 (2018).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3（先端）

採択番号：**H27/A08**

位相雑音特性に着目した共鳴トンネル THz 信号源の研究

［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）

田近　拓巳（富山大学大学院理工学研究部）

山下　貴士（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）

延べ参加人数：8 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	190,000 円

［2］研究経過

共鳴トンネル素子(RTD)は THz を超える高周波デバイスであり、最近 THz 領域の信号源として注目を集めている。すでに 1.9THz を越える発振も報告されており、コンパクトで低消費電力な THz 信号源の実現が期待される。しかし、これらの報告は、スロットアンテナや、パッチアンテナ自身を共振器として用い、発振と同時に信号放射を行っているため、外部の影響をうけやすいという問題点がある。また、通信など高度な応用を目指すには、信号の低位相雑音化が必須である。RTD は基板面に垂直な電流を用いており、表面の影響を受けにくいため、原理的には低位相雑音が可能と考えられる。しかし、これまで、RTD 発振器の位相雑音についてはほとんど報告がなく、低位相雑音信号源としての RTD の可能性は明らかではない。本研究では、RTD の低周波雑音特性や、ショットノイズ特性、また、発振回路構成と位相雑音の関係を明らかにし、低位相雑音で安定動作可能な THz 固体信号源の実現を目指す。

今年度は、昨年度に引き続き、RTD 発振器の安定性について検討を進め、新しい構成の RTD 発振器を提案し、その可能性をシミュレーションにより検証した。また、RTD 発振器の新しい応用を目指し、広帯域に発振周波数を可変できる新しい構造の発振器を提案した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1）RTD を用いた硬い発振器に関する検討

RTD 発振器の安定性に最も大きな影響を与える問題点として、バイアス不安定性がある。RTD は二端子素子であるため、バイアスラインにも負性抵抗が存在し、それによるスプリアス発振が起きやすい。これは、発振周波数の安定性に大きな障害となり、位相ノイズの測定自身が困難になる場合が多い。ここでは、この問題を解決するために硬い発振器構成の利用を提案した。

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。

まず最もシンプルな構成として、図 1 に示すように、直列抵抗をバイアスラインに挿入した硬い発振器を検討した。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。

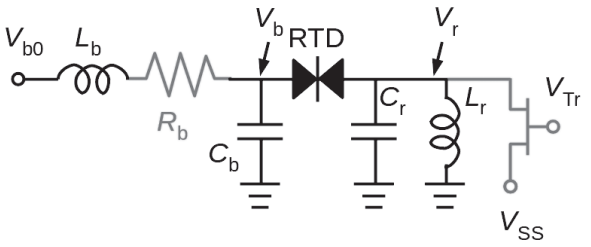


図1　バイアスラインに直列抵抗を設けた硬い発振器

図2 にシミュレーション結果の例を示す。バイアス電圧は、0 から 0.7V まで 5ns の立ち上がり時間で印加した。HEMT のゲートには、上図に示すように、しきい値以下の電圧を印加しておき、10ns において、しきい値+0.5V のパルス（パルス幅 10ps）を加えた。発振ノードの電圧 V_r（下図）は 0 から 10ns までは 0V で一定しており、パルスが印加されると安定した発振を開始した。このことは、本回路が硬い発振器として動作していること、付加した HEMT がトリガ回路として働いていることを示している。

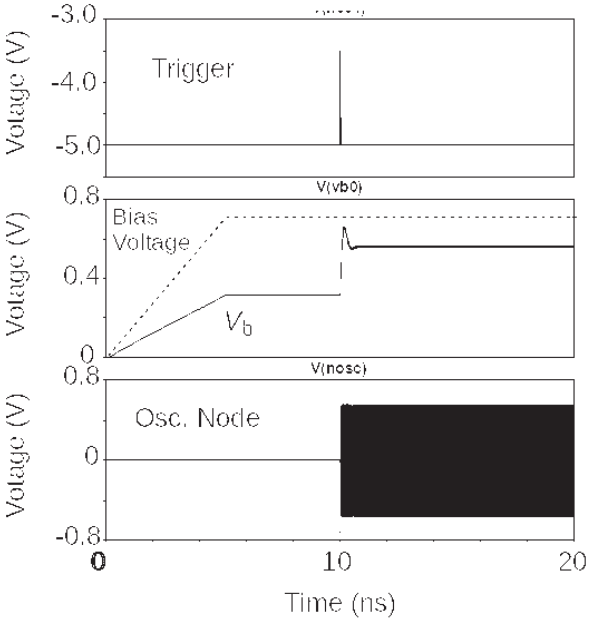


図2　硬い発振器の出力波形のシミュレーション例。上から順にトリガーパルス、バイアス電圧、発振ノード電圧。

この硬い発振器の応用として、興味深いのは複数の RTD を直列に接続することである。RTD 発振器の問題点の一つとして電圧振幅が取れない点もある。電流量は RTD 面積で調整できるが、振幅は電流-電圧特性のピーク電圧、バレー電圧などで決まってしまい、制御できない。このことは、負荷インピーダンスへのマッチングを困難にし、出力を制限する要因となる。

これを解決するための一つの方法は RTD を直列に接続することであるが、直列接続された RTD は双安定回路となり、負性抵抗部分にバイアスできない。（負性抵抗部は不安定平衡点となる。）そのため、直列接合 RTD を発振器に用いるのは困難であった。しかし、直列接合 RTD に共振器を接続した回路は、実際には硬い発振器であって、トリガ回路を設けることにより発振させることが可能である。これにより、発振振幅の増大が期待できる。現在、この可能性をシミュレーションにより、追求している。

2）新しい構造の MEMS 位相シフタを用いた広帯域可変周波数 RTD 発振器

RTD は直流から THz まで、連続的に負性抵抗を示し、共振器さえ用意すればその範囲のすべての周波数で発振できるという特徴がある。広帯域に発振周波数を変化できる信号源は、高度な通信技術や、スペクトロスコピーなどの計測機器への応用が期待できる。ここに RTD を用いれば、特に THz スペクトロスコピーへの応用も可能となる。このためには、非常に広い範囲で共振周波数を可変できる共振器が必要である。最近、我々は、THz 周波数にも適用可能な新しい位相シフタを提案した。これは、コプレーナ伝送線路の上部に金属板（グランドプレーン）を設けたもので、この金属板の上下によって信号伝搬速度を変化させるものである。この方式は、MEMS 化が容易であり、Bragg 周波数の制限を受けず THz 帯域への適用が容易であると言う特徴がある。ここでは、この位相シフタをショートスタブに用いて図 1 に示すような共振器を構成することを考えた。

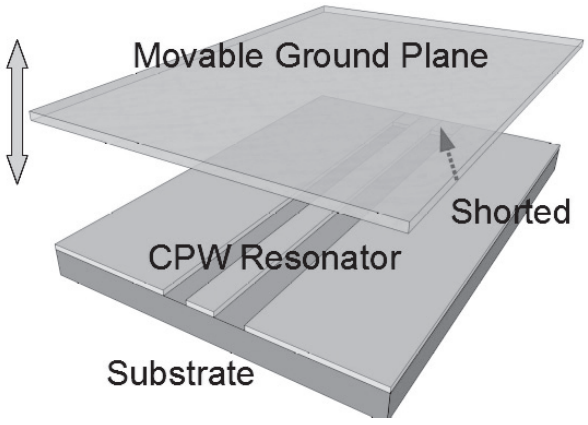


図 3　可動グランドプレーンを用いた可変周波数共振器の概念図

GaAs 基板上の InGaAs メタモルフィックエピ層を用いて RTD 発振器を作製し、基本動作の確認実験を行った。可動グランドプレーンは MEMS 技術を用いて作製することが可能であるが、ここでは、簡単のため、マイクロメータヘッドに金を蒸着した Si 基板を取り付けることにより実験を行った。

図 4 にグランドプレーンの RTD 発振器基板からの距離に対する、発振周波数の変化を示した。図から

わかるようにグランドプレーンが基板に近づくに連れて発振周波数は増大する。これは、伝送線路のインダクタンス成分が減少することにより、信号伝搬速度が増大するためである。約２倍という非常に大きな周波数変化が得られた。

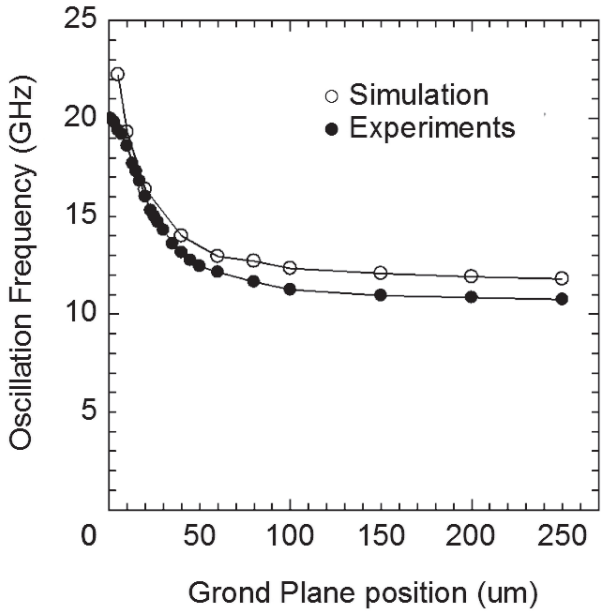


図４　グランドプレーン高さを変化させたときの発振周波数の変化

［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 発振器のスプリアス発振の問題を解決する硬い発振器を提案し、その基本的動作をシミュレーションにより確認した。さらに、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を明らかにした。

第２に、負性抵抗が直流から THz まで存在するという RTD の特性を活かした超広帯域発振器を狙い、広帯域の可変共振器を用いた RTD 発振器のプロトタイプを作製した。約２倍という広い周波数変調幅を得た。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度は、低位相雑音発振器の実現のために重要なバイアス安定化について検討、これを解決するための硬い発振器を提案した。また、RTD の特性を活かした広帯域可変周波数発振器について調べた。これらの結果は、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) T. Yamashita, D. Nakano, K. Mori, and K. Maezawa, “A wide-range variable-frequency resonant tunneling diode oscillator using a variable resonator suitable for simple MEMS process,” Jpn. J. Appl. Phys. 57, DOI: https://doi.org/10.7567 /JJAP.57.04FG10 (2018).

(2) 山下、中野、森、前澤、「新規 MEMS 位相シフタを用いた広帯域可変周波数共鳴トンネルダイオード発振器」、第9回集積化 MEMS シンポジウム、10月、広島国際会議場 (2017). 優秀ポスター賞受賞.

(3) 前澤宏一、中野大輔、森　雅之、石井仁、安藤浩哉、「THz 帯域を目指した新構造可変位相シフタ」、電子情報通信学会、電子デバイス研究会、8月、東京 (2017).

(4) 前澤宏一、「共鳴トンネル発振器の安定性改善とセンサ応用」、電子情報通信学会、電子デバイス研究会、招待講演、12月　仙台 (2017).

(5) K. Maezawa and M. Mori, "Bias Stability and Triggering of a Hard-Type Oscillator Using Series-Connected Resonant Tunneling Diodes," The 12th Tpical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM), Aug., Kirishima (2017).

(6) T. Yamashita, D. Nakano, K. Mori, and K. Maezawa, “A wide-range variable-frequency resonant tunneling diode oscillator using a variable resonator suitable for simple MEMS process,” 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), N-1-02, Sep., Sendai (2017).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3（先端）

採択番号：**H27/A09**

フルコヒーレントアクセス方式を実現するための光−無線周波数変換方式に関する研究

［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）
延べ参加人数：3人

研究費：物件費 100,000 円，旅費 141,000 円

［2］研究経過

本研究は、今後大容量化・多様化する無線アクセスネットワークにおいて、常時／災害時に係わらずネットワーク資源の柔軟な拡張・転用を可能とするために、光領域から無線領域まで電磁波としてのコヒーレンス状態を維持しつつ、キャリア周波数のみを変換することによって、自在に信号を伝達する全く新しい光無線融合型の通信方式（フルコヒーレントアクセス方式）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開始した。

初年度（H27 年度）では、まず第1に、光無線融合ネットワークの要求条件を以下のように整理した。

・IoT 時代の ubiquitous real-time data handling 等多様なトラヒックにも対応できるネットワークであること

・第5世代無線アクセスを含めて、様々なデータ速度とモビリティを有した無線インターフェースに対応すること

・オンデマンドなネットワークリソースの運用に対応すること。特に、ユーザのエリア分布や需要の動向によって、短い時間サイクルでネットワークリソースを柔軟に貸借できるしくみを有すること

・平時のみならず、災害時・緊急時においても、迅速にあらゆるネットワークリソースを最適に配分・追加することによって、ネットワークを復旧・維持すること

次に、フルコヒーレント方式によって、ネットワークの論理層のみならず、物理層（伝送媒体）までも仮想化すること（伝送媒体無依存化）が可能となり、その結果光アクセスと無線アクセスの伝送方式の差異をなくすことによる究極の「アクセスネットワークの仮想化」が実現できることを示した（図1）。

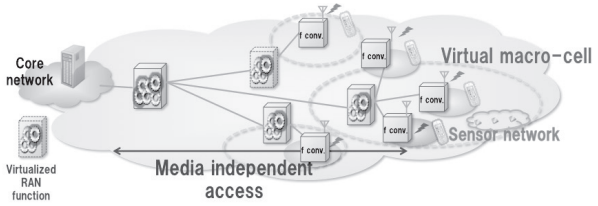


図1　伝送媒体に無依存な完全に仮想化されたアクセスネットワーク

この伝送方式をベースに、実現を目指すネットワークアーキテクチャの提案（図2）、ならびに、このアーキテクチャにおいて、重要な役割を果たすデバイス技術として、①位相同期多波長光源（光周波数コム光源）、②チューナブル光フィルタ、③広帯域周波数ミキサ等の要求条件を整理した。

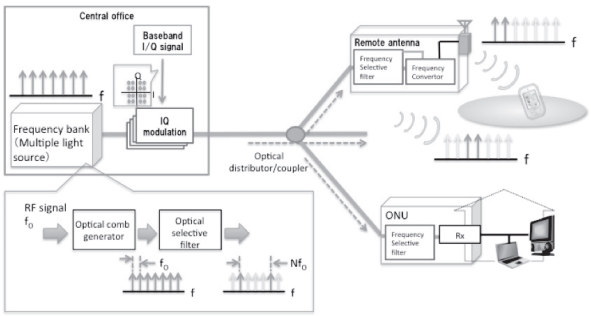


図2　フルコヒーレント方式による光・無線アクセスネットワークとその構成デバイス

H28 年度では、上記ネットワークアーキテクチャを基に、実網を考慮した光伝送路や光送受信回路に起因する損失等のパラメータを考慮し、伝送シミュ

レータ（VPI transmission Maker Optical Systems：VPI Photonics GmbH 社製）を用いて、提案したネットワークの具体的な運用を想定した波長（周波数）配置や、システムのスケーラビリティについて明らかにした。数 100THz の光波から、数 10GHz のサブミリ波まで up/down conversion するための手法として photonic double mixing を実現する波長（周波数）利用効率の高い波長配置を提案した。また、リモート局に配置される光・無線共通トランシーバに関する提案を行った。これによって、フルコヒーレント通信方式は、光アクセスと無線アクセスをシームレスに取り扱うことができるため、光アクセスと無線アクセスを柔軟に切り替えることも可能である。さらには、リモート局に配置される波長選択フィルタの部品構成毎による特徴を明らかにした。最後に、Photo double mixing による変換効率の改善目標を明確化するために、波長（周波数）変換器の変換利得と、リモート局に収容可能なユーザ数の関係を示したのが図３である。

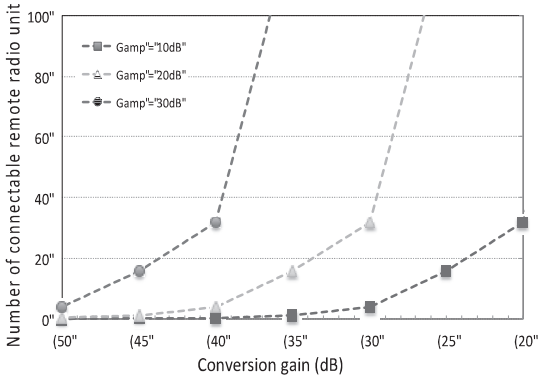


図３　周波数変換器の変換効率と提案システムが収容できるリモート局の数

今年度では、これまで検討してきたフルコヒーレント伝送方式ならびに周波数変換器の目標性能をもとに、一つのケーススタディとして、今後導入が期待されている次世代光アクセスシステム NG-PON2（Next Generation Passive Optical Network 2）にオーバーレイを前提した場合について検討を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

・10 月 16 日

東北大学にて研究会合を実施。これまでの共同研究の成果の確認を行い、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。

・2 月 24 日

研究成果を共同プロジェクト研究発表会にて、今年度の成果について、ポスター発表を行った（代表者吉本が欠席のため、ポスター掲示のみ）。

［３］成果

（３－１）研究成果

まず、図４に検討の前提となる NG-PON2 に本フルコヒーレント方式をオーバーレイした場合を示す。

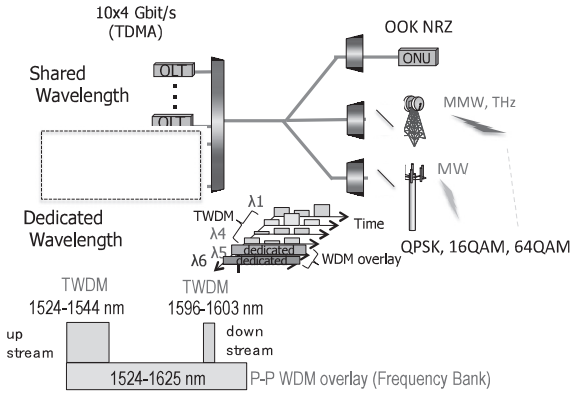


図４　NG-PON2 上における無線アクセスサービスと光アクセスサービスの共存

NG-PON2 は、2015 年に ITU-T で標準化された最新かつ最大システム容量と拡張性を有する光アクセスシステムである。基本的に、1ch（１波長）10Gbps のインターフェースを持った時分割多元アクセス（Time Division multiple Access：TDMA）で共有する部分と、1ch を占有できる部分とで構成されている。TDMA 部分は、需要に応じて 4ch(４波長)まで増設することが可能であり、最大 40Gbps のシステム帯域を有することが可能である。これは、世界中で広く普及している G-PPON/GE-PON をベースとしたマス向け光サービスの後継を想定した仕様となっている。一方、ch 占有部分は、1524nm から 1625nm と広い周波数領域の使用が規定されている。したがって、この部分を今後多様化が進む様々な無線アクセスサービスに適用することのメリットは大きい。一例として、第５世代無線アクセス（５G）の利用周波数帯として挙げられている 3.5GHz 帯、28GHz 帯、60GHz 帯等にそれぞれ 1ch（１波長）割り当てをする。さらには、将来技術として THz 帯についても同様に 1ch を割り当てることによって既設の光ファイバインフラを活用しつつ、柔軟に無線サービスを重畳していくことが可能となる。さらには、需要の変動や障害等によっても柔軟に割り当てる ch（波長）を選択することで対応できる。

NG-PON2 での共存利用を想定した場合、光アクセス区間の拡張性が課題となる。NG-PON2 は、光アクセスサービスの場合で最大 40km までのサービス提供を想定している。そこで、広帯域キャリア周波数変換器を用いたフルコヒーレント方式を用いた場合を想定した無線アクセスの伝送品質とサービス提供エリアとの関係を SNR の観点から示したシミュレーション結果を図５に示す。

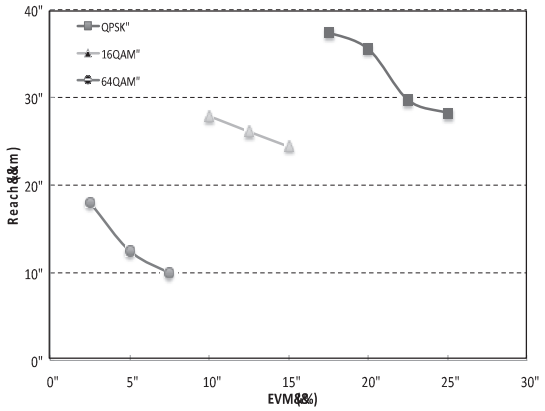


図５　無線アクセス区間の EVM と光アクセス区間の伝送可能距離（サービス提供エリア）との関係

なお、ここでは 64QAM 変調で EVM7.5%の無線信号を 1.5μm 帯の光送受信器を用いて光ファイバ（SMF）伝送した場合の伝送可能距離が 10km であるとした場合との相対値で表している。また、周波数変換器における SN の劣化は無いと仮定した。この結果からわかるとおり、広域センシングサービスを想定した場合、適応変調技術等を用いて多値度を低くすることによって、EVM が 20%と無線伝送品質が低い状態であったとしても、NG-PON2 の最大サービス提供範囲である 40km 程度伝送可能であることが示された。

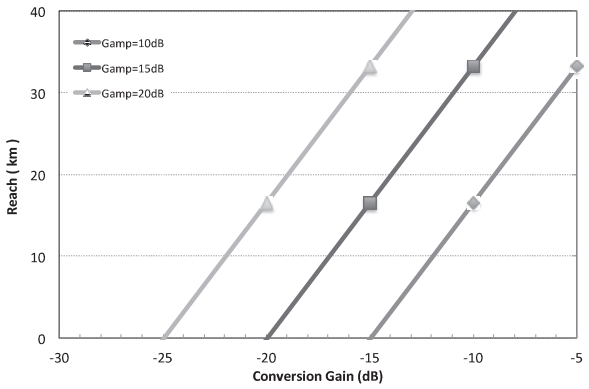


図６　周波数変換器の変換利得と光アクセス区間の伝送可能距離との関係

次に、周波数変換器の周波数変換利得と光アクセス区間の伝送可能距離との関係を budget の観点から示したシミュレーション結果を図６に示す。周波数変換利得を-15dB 程度にすることができれば、光増幅器の利得によって、40km 程度のエリア拡張が可能であることが示された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献

本プロジェクトは、光アクセスネットワークと無線アクセスネットワークの融合領域を扱っている。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、光デバイスと電子デバイスの融合・集積技術を必要とする。したがって、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、光・無線アクセスが高度に融合した「仮想化アクセスネットワーク」と、光デバイスと超広帯域電子デバイス技術が融合した「光・電子集積高速デバイス」いう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

・Optical Fiber Communication 2017 （OFC2017）の Workshop “Ultimate Capacity Limits for TDM/TDMA PON”において、リアルタイム性を具備した５G 時代を支える新しいアクセスネットワークとして、伝送媒体に依存しない仮想化アクセスネットワークを提唱し、その実現には様々な周波数を自在に取り扱うことのできるフルコヒーレント伝送技術の有用性をアピールした。

日時：2018 年 3 月 11 日
開催場所：San Diego Convention Center, CA
参加人数：約 200 名

■研究者ネットワークの拡大として、電子情報通信学会通信方式（CS）研究会（2017 年 4 月 19 日）において、アクセスネットワークの仮想化手法について講演し、アクセスネットワークの仮想化の有用性を紹介するとともに、研究領域を超えた人的ネットワークを構築するきっかけを与えた。

［４］成果資料

（１）N Yoshimoto et al., “Networks for Future Services in a Smart City: Lessons Learned from the Connected OFCity Challenge 2017”, IEEE Communication Magazine, to be published.

採択回数	1	2	3

（先端・萌芽・国際）

採択番号：H27/A10

M2M（Machine to machine）伝搬環境改善のための メタマテリアルおよび リフレクトアレー応用に関する研究

［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）
Andrea Massa（Trento University, Italy）
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）
大宮　学（北海道大学）
延べ参加人数：9人

研究費

物件費	100,000円
旅費	224,000円
国際特別支援費	200,000円

［2］研究経過

あらゆる「モノ」がネットワークにつながる M2M (IoT)では、インフラコスト削減のために、LTE や WiFi などの既存の通信モジュールを適用すると、家どうしの狭い隙間や床下など、「モノ」どうしの通信環境と、人間が使用することを想定した従来サービスの通信環境が、異なることによって生じる伝搬品質の劣化が問題となる。一方、著者らはリフレクトアレーを応用し反射波の向きを制御することによる電波改善方法について報告してきた。しかし M2M（IoT）の場合は、反射板（リフレクトアレー）と波源のある端末の距離が 1/4λ 程度、反射板（リフレクトアレー）の大きさが 1λ 程度と、リフレクトアレーに比べてはるかに小さく半波長程度の素子でアレーを構成するのは困難となる。一方、メタサーフェスは素子の共振する波長サイズではなく、地板とパッチの距離で決まるインダクタンス L とパッチ間のギャップサイズで決まるキャパシタンス C の値を変化させることにより LC 共振する周波数をずらすことにより、反射位相を制御することができる。そこで本研究では、メタサーフェスの反射位相を用いて所望方向に等位相面を構成し電波伝搬環境を改善する手法について検討を行った。

本プロジェクトは、本年度が第３年度であった。初年度は、 (a)小型アンテナのためのメタサーフェス応用について検討し、従来のリフレクトアレーと異なり波長に比べて短い距離にある波源からの電波を波長と同等のサイズの反射板をメタサーフェスで構成し反射位相を変化させることにより電波を所望方向に向けられることを解析により明らかにした。また、(b) 遺伝的アルゴリズムを応用したメタサーフェスの最適設計について検討し、パッチ毎に反射位相で最適化する手法と、メタサーフェス全体を所望放射方向で最適化する方法のそれぞれについて解析結果を示し報告した。さらに(c)アクティブ素子を応用した指向性可変リフレクトアレー設計について検討し、反射位相をアクティブ素子の On/Off で変えられることを解析により明らかにした。

昨年度すなわち第２年度は、(a) 小型アンテナのためのメタサーフェス応用について、試作測定を行いその結果を査読付き国際会議で発表した。また、(b) 遺伝的アルゴリズムを応用した二周波共用リフレクトアレーの設計法を明らかにし査読付き国際会議で発表した。(c)アクティブ素子の On/Off で放射方向を切り替えることの可能な新たなメタサーフェスの構造を考案し、解析結果を共同プロジェクト研究の発表会で報告するとともに、査読付き国際会議に投稿した。

そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、以下の検討を実施した。(a) 前年度考案した、アクティブ素子の On/Off で反射方向を切り替えるメタサーフ

ェスを用いて、小型アンテナの反射方向を切り替えるための設計と試作を行い、電波暗室で放射指向性を測定し、HFSS を用いた解析結果と良く一致する良好な結果が得られた。ここでアクティブ素子の On/Off は接続パッチの有無で近似した。その結果を査読付き国際会議 PIERS2018 に投稿した。また、(b) Particle Swam Optimization (PSO) による最適設計により、振幅と位相を同時に制御する同一偏波二周波共用リフレクトアレーを実現した（国内学会発表２件、査読付き国際会議１件投稿予定）。さらに(c)パッチアンテナにダイオードを実装し、アクティブ素子による On/Off 切り替えによりパッチの特性を変化できることを明らかにした。また電源を用いず、トランシーバからのワイヤレス電力伝送によって、ダイオードの On/Off 切り替えができることを実験により明らかにした。（国内学会発表予定）。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1)　2017 年２月第１回打合せ(H28 年度第２回打合せ)　於東北大学 電気通信研究所

H29 年度の研究方針策定、アクティブ素子装荷メタサーフェスの試作測定に関する評価、ディスカッションの実施。（参加者４名）

(2)　2017 年 8 月　第２回打合せ

アクティブ素子装荷メタサーフェスの試作と測定について、給電回路設計、電子部品選定、DC ブロックなど実験系に合わせた必要部品の選定を行い、高周波回路の測定方法について学生１名が電気通信研究所で実習した。（参加者５名）

(3)　2017 年 9 月~10 月　第３回打合せ

イタリアトレント大学にて、近年着目されているアンテナの最適化手法 Differential Evolution に関するディスカッションを実施した。また本アルゴリズムに基づくプログラミングを MATLAB で実習した。(参加者２名)

(4)　2017 年 12 月　第４回打合せ

電気通信研究所にて、8 月の打合せで決定した部品を用いて、アクティブ素子をと抵抗をパッチアンテナに実装し、DC ブロックを用いて測定を実施した。実験方法および測定結果に関するディスカッションを実施し、本実験結果をアクティブ・リフレクトアレーに適用したときの回路設計について議論した。（参加者４名）

(5) 2018 年２月　第５回打合せ

PSO 最適計算に関する技術討論。電気通信研究所と陳研究室の電波暗室におけるインピーダンス特性、放射指向特性の測定（参加者６名）

研究成果投稿先および次年度研究方針、SCOPE 申請などについて議論した。

［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。

同一の振幅を持つ二周波共用リフレクトアレーの設計

リフレクトアレーを構成する各素子の構造を図１に、リフレクトアレーモデルについて図２に示す。

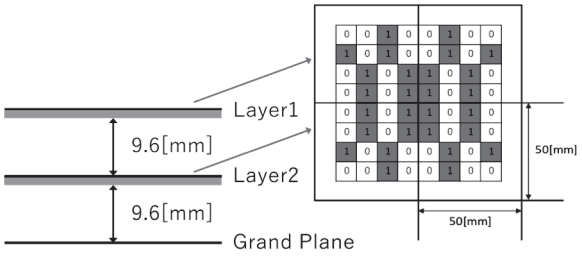


図１　２レイヤ構造のリフレクトアレーの素子構成

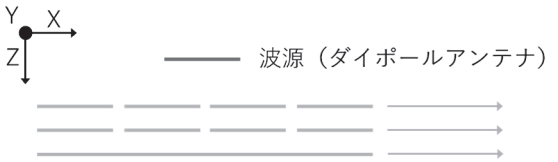


図２　リフレクトアレーモデル

各素子は、それぞれ厚さ 1.6 [mm]の片面紙フェノール（εr=4.8 ）の二つのレイヤで構成している。レイヤ 1、レイヤ 2 とも、素子を 4×4 の格子を対称となるように配置しており、各格子に対する銅箔の有無について PSO を用いて決定している。レイヤ間、およびレイヤと金属地板の間は 9.6[mm]の厚さの空気とした。設計条件を表１に示すように、最大放射方向をθ=-30[deg]、動作周波数を 1.0[GHz]と 1.5[GHz]とした。各素子に対して二つの周波数における反射位相を所望値とし、振幅を 12 種類全ての素子で同一とするための評価関数を(1)式に示す。ここで、各素子の反射位相の所望値は Pozar の式をもとに算出した。

$$\min \begin{cases} \Delta\theta = |\theta^{1.0} - \theta_o^{1.0}| + |\theta^{1.5} - \theta_o^{1.5}| & for\ \Delta\theta \geq 5 \\ \Delta A = |A^{1.0} - A_o^{1.0}| + |A^{1.5} - A_o^{1.5}| & for\ \Delta\theta < 5 \end{cases} \quad -(1)$$

ここで、θ^f は周波数 f[GHz]での反射位相[deg]、θ_o^f は所望反射位相[deg]、A^f は反射振幅、A_o^f は所望反射振幅である。

PSO によって得られた各素子について、構造を図３に、設計位相と反射位相のずれを図４に、各素子の振幅の値を図５に示す。

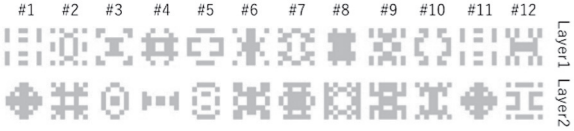


図３　設計した各素子の構造

各素子は所望の位相を満たしていることがわかる。また、図5より、それぞれの素子が設計値と最大で0.07ずれていることがわかった。これは設計値の0.65に対しておよそ10.8[%]程度の誤差であった。

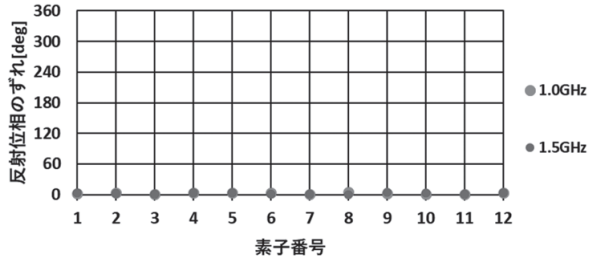


図4　設計した各素子の反射位相のずれ

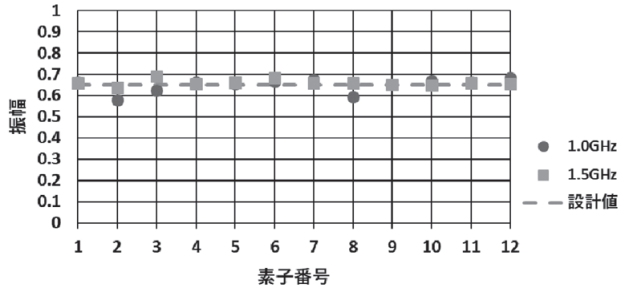


図5　設計した各素子の反射振幅

本研究の成果は、北海道支部大会と電子情報通信学会総合大会にて発表した。また国際会議ISAP2018に投稿する予定である。

（特別支援（国際）に係る研究成果）

本研究はIEEEフェローのトレント大学教授、Massa先生との国際プロジェクトとして実施した。Massa先生はIEEEのdistinguish lectureであり、最適設計法、メタマテリアル、ワイヤレス電力伝送、信号処理、逆問題の専門家として、IEEE AP Magazineには Differential evolutionの記事を依頼されている。本共同プロジェクトの位置づけで、丸山がイタリアのトレント大学に客員研究員として一か月滞在し、研究ディスカッションするとともにDifferential evolutionのコードについて勉強し、プログラミングを実習した。本結果は次の共同研究プロジェクトで成果発表する予定である。Differential evolutionは、微分法の概念を最適計算の突然変異に取り入れたものであり、最適設計の精度や収束速度の向上が期待できる。今年度は、Massa先生を東北大学に招聘し、平成29年度共同プロジェクト研究発表会で” Current Trends and Recent Advances in Computational Optimization as Applied to Electromagnetic Design”という演題でご講演をいただく予定であった。急な事情が生じご本人にお越しいただくことができなくなったが、代わりにスライドと音声により講演を実施した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを進めた結果、今年度新たに、トレント大学のMassa先生にメンバーに入っていただき、新しい最適設計法を取り入れることに発展した。また、これまでの研究成果を踏まえて、函館市のIoTに関わる企業SEC社とともに、外部資金JSTに応募した。残念ながら採択には至らなかったが、今後は実用化も視野に入れSEC社にも共同研究のメンバーに加わっていただき新たな共同研究として本プロジェクトに次年度の申請を行った。本プロジェクトで明らかになった、メタサーフェスにおるIoT端末電波伝搬改善の成果は、移動体IoTの電波環境改善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] T. Maruyama, T. Shimano, Q. Chen, S. Kameda and N. Suematsu: “Novel reflected beam switching method using meta-surface loaded with active elements,” IEEE APWC 2017, pp.300-301.

[2] 大澤 拓門, 丸山 珠美, 大宮 学 :“PSOによる二周波共用リフレクトアレーの設計 ,” 84, 平成29年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2017.9.

[3] 大澤拓門・丸山珠美（函館高専）・大宮学（北大）: “同一振幅を持つ二周波共用リフレクトアレーの設計,” B-1-103, 3月2018.

[4] 尾関剛成・伊藤直樹・丸山珠美 :“IoTのためのダイオード装荷メタサーフェスによるビーム制御, 電子情報通信学会総合大会B-1-94、3月2018.

採択回数	1	2	3（先端）

採択番号：**H27/A11**

生理指標に基づくSDN型ネットワーキングシステムの実証的研究

［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：9人

研究費

物件費	100,000円
旅費	131,000円

［2］研究経過

本研究の目的は，コンピュータユーザの生体信号から推定する情動（短時間で強い正負の感情）に連動してネットワークをはじめとするコンピュータリソースを動的に実時間で制御し，ユーザの心的状態における QoS（Quality of Service）を高く維持する「情動リソース制御システム（図1参照）」を構築するための基礎的な技術を検証することである。提案する情動リソース制御システムの新規性は，コンピュータユーザのストレスなどの心理状態に基づいてネットワークなどのリソースを割り当てる割合を動的に設定することである。これによって，ユーザが集中しておらずさほどイライラしていないタスクにはリソースをあまり割り当てないようにし，一方，ユーザが集中していながらリソースに対してストレスをもっているタスクにはリソースを多く割り当てることができるようになると考える。このようなシステムを実現するためには，本プロジェクトで主張する生体信号の利用が有用であると考える。生体信号は，客観的・連続的・無意識的に測定できるうえに，人間の脳活動や心的変化などが側坐に反映される重要な指標である。

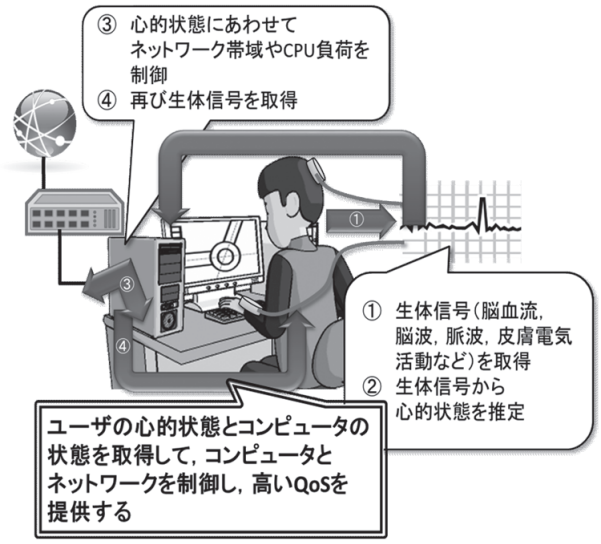


図1：情動リソース制御システムの概念図

本プロジェクトは，本年度が第3年度であった。前年度は，母国語が日本語の学生による英文読解時の理解度と生理指標との関係を検証した。その結果，文書全体に対する理解度が高い場合，認知的負荷が低く脳活動が賦活し覚せい度が高いことから、中枢系では脳波のパワー値と脳血流のHEG率が低下し，また末梢系では脈波のHFパワー値が減少し，皮膚コンダクタンスが増加することが明らかになった。

本年度は，前年度の成果を踏まえながら，昨年度に引き続き，コンピュータユーザとしてe-ラーニング学習者を想定し，コンテンツ閲覧中にマウスクリックなどの操作が伴うか否かによる生体信号の違いを検証した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

(1) 学習者の操作の違いと生体信号との関係の検証

本実験ではeラーニング学習者の「学習しながら何か操作している状態（操作あり）」，「学習しているが何も操作していない状態（操作なし）」，および「学習も何もしていない状態（安

静状態)」の3状態と，これらの状態における生理指標との間の関係を検証する。

実験タスクは，科目は同じであるが内容が異なるスライド資料を見ながら，操作ありでは，そのスライド内の文章や図や表をマウスでクリックして「わかった」「わからない」と示されたポップアップメニューを表示し，そのポインティングした部分の内容が「わかった」か「わからなかった」かを選択して答える。一方，操作なしでは，そのような操作も回答もせずに閲覧のみを行う。

タスク中に測定する生体信号およびその信号をもとに算出する生理指標は，脳波のθ波（4—8 Hz），α1波（8—9 Hz），α2波（9—12 Hz），α3波（12—14 Hz）およびβ波（14—26 Hz）のパワー値，脳血流中の酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの比（HEG），掌の皮膚コンダクタンス(SC)，指先の脈波の高周波成分(HF：0.15—0.4 Hz）と低周波成分（LF：0.04—0.15 Hz），およびこのLF/HF比である。

(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：2018年2月9日（火）13:20〜16:20
- 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
  - 山梨大学小俣研究室
    - ✧ 皮膚電気活動に連動したネットワーク帯域の制限および関連研究紹介（大出 真也）
    - ✧ 生理心理学的指標および今後について（小俣 昌樹）
  - 東北大学北形研究室
    - ✧ 利用者の活動を考慮したSDNの自律的構成法（門脇 伸明，北形 元）
  - 東北大学菅沼研究室
    - ✧ 遠隔操作ロボットと全方位カメラを用いた遠隔臨場感システムのＱｏＳ制御に関する研究（阿部隼斗）
    - ✧ 深度情報を用いた遮蔽に頑健な転倒検出手法に関する研究（榎村昭宏）
    - ✧ 手の周辺領域の状態に着目したインタラクション検出に関する研究（塚本竜広）

(3) ポスター発表

2018年2月22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：Relationship between Physiological Signals and Mouse Operation during e-learning

［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。

表1に，実験参加者（学習者）の「操作あり」「操作なし」「安静時」の各条件間での生理指標について分散分析を行った結果を示す。この表において，＊は，3状態内のいずれかの組み合わせに有意な差があったことを示す（$p < 0.05$）。この後，各生理指標における3状態内の組み合わせに関する多重比較をおこなったところ，掌のSCにおいて，操作ありと操作なしとの間に，他の生理指標と比べて明確な差が見られることがわかった。参加者内における全体的な掌のSCの傾向として，操作ありは安静時よりも高く，操作なしは安静時よりも低くなることがわかった。

表1：操作の有無および安静時と生理指標との関係における分散分析の結果

参加者ID	α1	α2	HEG	SC	HF	LF/HF
A			＊	＊		＊
B			＊	＊	＊	
C	＊	＊	＊	＊	＊	
D	＊	＊	＊	＊	＊	＊
E			＊		＊	＊
All				＊	＊	

*$p < 0.05$

このようなSCの差異の傾向となった理由として，操作の有無の違いによって，参加者がその学習タスク自体へ能動的に対応したか，または受動的に対応したかの違いが関係したと考える。つまり，参加者は，操作ありの場合は各部分部分に対してその理解の程度を検討したうえでクリックしてそれを回答する必要があり，より積極的あるいは意識的になったと考える。一方で，操作なしの場合はそれらの必要がないため，操作ありに比べて積極的あるいは意識的にはならなかったと考える。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

３－１に示した研究成果より，オンライン学習者の掌のSCは，その学習者がその学習コンテンツに対して能動的に対応しているかどうかを検証する指標になり得ると考える。このことは，従来のｅラーニングにおけるアクセスログやテストや質問紙調査だけではわからなかった，学習者の学習の状態や態度までもデータとして記録できるようになると考える。従来のアクセスログでは，ただどのページにどのくらいの時間アクセスしていたかがわかるだけで，実際にどのような態度や状態で閲覧したり取り組んだりしたかまではわからない。また，テストでは，学習の達成度や理解度はわかるが，各学習者がどのような過程や負荷でそのテスト結果に至ったのかまではわからない。また，あまりにテストの頻度を増やしてしまうとかえって学習の妨げとなってしまう。そして，質問紙調査では主観的な判断が含まれてしまうことが懸念される。

したがって，本研究の提案の生理指標データがあれば，遠隔地の教員が各学生の学習の状態や態度を知るためのデータとなったり，ｅラーニングシステム自体がその状態や態度に合わせて学習コンテンツを適宜自動で変更するためのデータとなったりすることが期待される。

そして，このような生理指標は，コンピュータユーザの状態に合わせてコンピュータやネットワークのリソースを動的に制御するという本プロジェクトのフレームワークのためのひとつの制御パラメータにもなると考える。

［４］ 成果資料

（１） Masaki Omata and Shogo Tanabe, “Physiological Estimation of Level of Understanding of Each Sentence in Second Language Reading,” Proc. of 2018 IEEE 4th Middle East Conference on Biomedical Engineering (MECBME 2018), pp.1-6, 2018.

（２） Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Knowledge-Based Network Management System for Movable and Deployable ICT Resource Unit,” Journal of Computer and Communications, Vol.5, No.7, pp.135-151, 2017.

（３） Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Service Oriented Network Management with Knowledge-Based Network Management System in Fluctuating Environment,” Proc. of the 18th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2017), pp.31-44, 2017.

（４） Takuma Oide, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “COSAP: Contract-Oriented Sensor-based Application Platform,” IEEE Access, Vol.5, Issue.1, pp.8261-8275, 2017.

（５） Misumi Hata, Mustafa Soylu, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma, “A Design of SDN Based IP Mobility Management Considering Inter-Domain Handovers and Its Evaluation,” ASTES Journal, Vol.2, Issue.3, pp.922-931, 2017.

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：H27/A12

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

［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（熊本大学文学部）
延べ参加人数：３０人

研究費：物件費　　100,000 円
旅費　　166,000 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」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。また，自己運動知覚において非常に重要な役割を担っていると考えられている視覚的自己運動情報の影響も検討し，視覚的自己運動情報によっても，系統的歪みが生じるものの，前庭刺激時とは異なる異方性を持っていることを明らかにした。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。

本研究では，前年度までのプロジェクトの成果をもとに自己運動に関する前庭情報と視覚情報および視覚対象や音源の位置を系統的に操作して実験を行い，自己身体運動時の空間知覚に関するマルチモーダル感覚情報処理の統合的理解を目指すものである。以下，研究活動状況の概要を記す。

第 1 回研究打ち合わせ（2017 年 4 月 23 日〜24 日）
自己運動時の音空間知覚と自己運動知覚への聴覚情報の影響に関するこれまでの研究を整理し，今年度の研究計画を議論した。
第 2 回研究打ち合わせ（2017 年 10 月 26 日〜27 日）
自己運動時の音空間知覚に関する実験と自己運動知覚への聴覚情報の影響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 3 回研究打ち合わせ（2018 年 2 月 22〜24 日）本年度得られた自己運動時の音空間知覚に関する実験データと自己運動知覚に対する聴覚情報の影響に関する実験データを突き合わせ，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

【実験 1】これまでの研究において前後方向の直線運動に関して，方向／加速度／速度という自己運動パラメータを操作し，自己身体運動時には進行方向側音対象が実際よりも自分の近くに定位される傾向があり，音空間があたかも圧縮しているかのようなかたちを持っていることを示した（花篭他，2015; 崔他，2013; Sakamoto et al., 2015; Teramoto et al., 2012, 2014）。

今年度の研究では，移動音源を用いて自己運動時の

移動音像の検出について検討を行った。自己静止時には，接近音の方が遠離音よりも聴取者のそばに定位されるという報告もある（Neuhoff, 2001; Neuhoff et al., 1998）。そこで，本研究では前進自己運動中の接近音と遠離音の検出できる音像の最小移動距離について恒常法を用いて調べた。

＜方法＞

加速度刺激の提示には，リニアモーターで駆動する移動装置を用いた。移動装置の移動方向に沿って，聴取者の左側 80cm の位置に 5cm 刻みで 15 個のラウドスピーカを配置した。自己運動条件では，移動装置を 0.4m/s² で加速させ，速度 1.2m/s に到達後，0.8m/s² で減速し，停止させた。スピーカアレイの位置には，移動装置の速度が 0.9m/s に達した時点で聴取位置から 85cm 前方にスピーカアレイの中心が位置する近傍条件と，170cm 前方に位置する遠方条件を設けた。

聴覚刺激にはピンクノイズを用いた。隣り合うラウドスピーカから出力されるピンクノイズの振幅の時間包絡を連続的に変化させ，音像の移動を表現した。移動音像は，移動装置の速度が 0.9m/s に達した（1m 移動した）時点で 500ms 間提示された。したがって，移動音像提示中に移動装置は 50cm 移動した（図 1）。

＜手続き＞

実験は暗室で行った。刺激音の開始位置はスピーカアレイの中心（0cm と定義）の位置であり，5cm から 35cm の 7 段階で 500ms 間移動させた。音像移動方向には，聴取者の移動方向とは逆に移動する接近音条件と聴取者の移動方向に移動する遠離音条件の 2 条件を設定した。接近音と遠離音各 7 つの移動距離と音像が 0cm の位置から移動しない条件を各 10 回ずつランダムに提示し，聴取者には接近音と遠離音いずれであったかを判断させた。

聴取者が移動する自己運動条件のほか，聴取者の移動がない自己静止条件を設けた。この自己運動／自己静止条件と遠条件／近条件は異なるセッションで実施した。

＜結果と考察＞

各条件の遠離音判断率に対して，最尤推定法により累積正規分布関数を当てはめ，主観的静止点（PSS）と静止と移動とを区別できる最低限の距離差である丁度可知差異（JND）を求めた。

PSS（図 2）について距離条件（遠／近）と聴取者運動条件（静止／運動）の被験者内 2 要因分散分析を行った。その結果，聴取者運動条件の効果が有意であり，自己運動時の方が自己静止時よりも静止と判断される音像移動距離が拡大していた（$F_{1, 14} = 14.27$, $p < .01$）。JND に対しても同様の分析を行った結果，聴取者運動条件の効果が有意であり，自己運動時の方が自己静止時よりも音像移動を検出できる最小の移動距離が拡大していた（$F_{1, 14} = 20.33$, $p < .01$）。

次に，接近音と遠離音の違いを調べた。当てはめた心理測定関数の 25%（接近音）点と 75%（遠離音）点それぞれの原点からの距離を静止音像と移動音像を区別できる距離の指標とした。距離条件（遠／近）と聴取者運動条件（静止／運動）および音像移動方向（接近／遠離）の被験者内 3 要因分散分析を行った。その結果，聴取者運動条件と音像移動方向の主効果と両者の交互作用が有意であった（$F_{1, 14} = 13.37$, $p < .01$）。そこで，単純主効果の検定を行ったところ，音像移動方向の主効果が有意であり，自己静止時と自己運動時のいずれにおいても，音像移動を検出できる最小の移動距離は接近音の方が遠離音より 9.0cm〜23.7cm 程度小さくなっていた（図 3）。

以上から，静止時だけではなく自己運動時にも接近音の方が遠離音よりも音像が少し移動するだけで検出されることがわかった。これは先行研究（Neuhoff, 2001; Neuhoff et al., 1998）に一致するものであり，危機回避行動等のために選択的に感度が高くなっている可能性を示唆する。

【実験 2】自己運動知覚は，前庭感覚や自己受容感覚，視覚以外にも聴覚系の関与が報告されている（Keshavalz et al., 2014; Sakamoto et al., 2008; Seno et al., 2012）。また，聴覚情報処理においては，様々な知覚の側面で性差があることが報告されている。例えば，ピッチやラウドネス弁別（Rammsayer & Troche, 2012），音源定位（Zündorf et al., 2011），接近音知覚

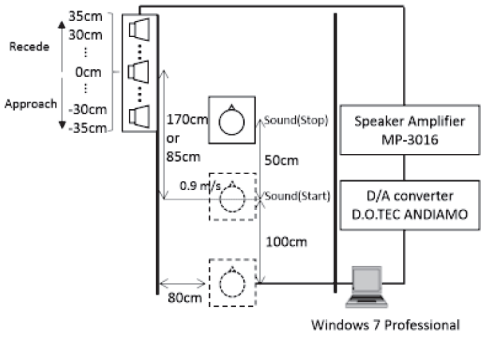


図 1. 実験 1 における実験系の概要

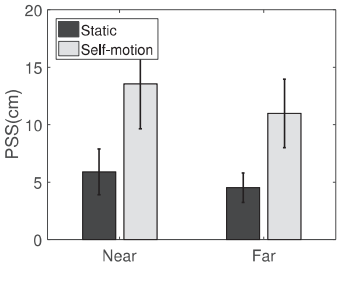


図 2. 実験 1 の PSS の結果

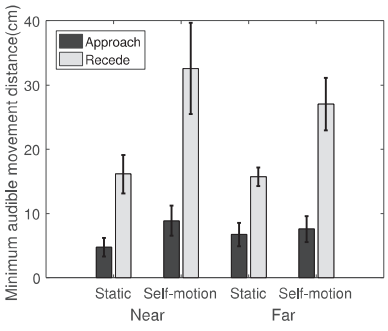


図 3. 実験 1 の JND の結果

（Neuhoff et al., 2008），マガーク効果（Irwin et al., 2006）などが挙げられる。そこで本研究では，視覚的自己運動知覚（ベクション）に対する聴覚情報の影響の性差について検討をおこなった。

＜方法＞

視覚刺激は，OpenGL で作成し，大型スクリーンに対してプロジェクタ（SOLIDRAY, Sight3D HD-U35）を用いて提示した。刺激全体の大きさは視角 90°（横）× 55°（縦）であり，黒色背景に直径 1° のドットを密度 15%で，60 秒間提示した。ドットは右または左方向 10cm/s で移動した。聴覚刺激にはホワイトノイズ（サンプリング周波数: 22050Hz）を用い，ヘッドフォンで提示した（図 4）。左右の耳の音圧を時間変化させることによって移動音像を表現した。刺激長は 1.5s であり，視覚運動刺激が提示されている間繰り返し提示された。

＜手続き＞

実験条件には，視覚のみ条件，視覚刺激と聴覚刺激の運動方向一致条件（AV 右／AV 左），その不一致条件（A 右 V 左／A 左 V 右）を設けた。また，それぞれの条件において聴覚刺激の音圧レベル条件として音 55dB SPL と 75 dB SPL を設けた。各被験者は各条件を 2 回ずつ行った。ベクションの指標として，潜時（ベクションが感じられるまでの時間），持続時間（60 秒間の刺激中に何秒間ベクションが感じられていたか）およびマグニチュード（静止を 0，完全に自分が動いている状態を 100 とした場合に，どれくらいの自己運動強度であったか）を計測した。

＜結果と考察＞

被験者として男性 10 名，女性 10 名が実験に参加した。聴覚情報の効果を視覚のみ条件との差分で示したのが図 5 である。聴覚刺激の音圧レベルが十分に大きい場合に，持続時間およびマグニチュードで性差が認められ，女性の方が男性よりも有意に聴覚情報の影響が大きかった。ただし，これは視聴覚情報の一致条件だけではなく，不一致条件においても認められており，動的視覚捕そく（Soto-Faraco et al., 2002）等が作用した可能性がある。以上のことから，自己運動知覚において，異種感覚相互作用の性差による重み付けの違いが存在する可能性を示唆された。

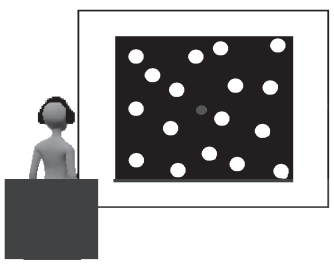


図 4. 実験 2 の実験の様子

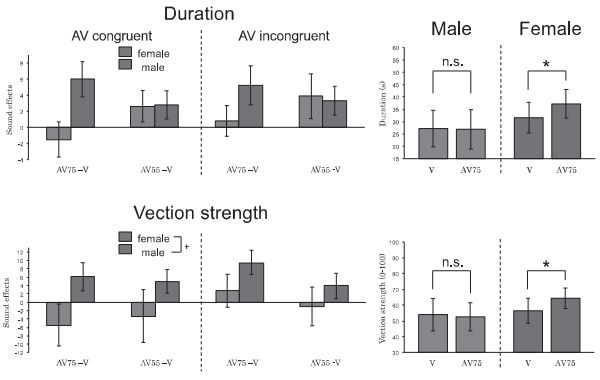


図 5. 実験 2 の結果

（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。

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

・野田美春・坂本修一・崔正烈・寺本渉・鈴木陽一・行場次朗（2018）直線加速度運動時における音像移動検知限の検討. 日本音響学会 2018 春季大会 2018 年 3 月 13-15 日，日本工業大学.

・Noda, M., Sakamoto, S., Cui, Z., Teramoto, W., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2018) Detection threshold of auditory apparent motion during linearly self-motion, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018, 5AM1-1-5, March 4-7, Honolulu, Hawaii, USA. (NCSP'18 Student Paper Award 受賞)

・野田美春・坂本修一・崔正烈・寺本渉・鈴木陽一・行場次朗（2017）直線加速度運動時における仮現運動音像の音像移動検知限. 電子情報通信学会技術報告, vol. 117 (375), HIP2017-92, 43-46.

採択回数	1	2	3（先端）

採択番号：**H27/A13**

モノーラル音の知覚と頭部伝達関数の関係に関する研究

［1］組織
研究代表者
森川　大輔（富山県立大学工学部知能デザイン工学科）
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デザイン工学科）

延べ参加人数：7 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	209,000 円

［2］研究経過

ヒトは、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) を主な情報として、音の到来方向を知覚していると言われている。特に水平方向の知覚には、主に ITD と ILD が利用されていると言われている。

一方、これらの情報のうち単耳でも利用できるのは SC のみになる。近年の研究から、ヒトは単耳しか使えない状況でも水平面の方向知覚が可能であることがわかってきた。したがって、水平面の方向知覚は、ITD と ILD が主体的であるためにあまり議論されていないが、SC も影響していると予測される。

また、単耳受聴である音源から一つの音を呈示した場合に、呈示する方向によっては音の像が二つに分離して知覚され、分離する呈示方向は受聴者によって異なることが発見された。SC のみではこのような分離知覚が生じる原因を説明できないため、この結果からヒトが ITD、ILD、SC 以外の情報も利用していることが予測される。

ヒトが単耳受聴でどのようにそれぞれの情報を利用しているかを明らかにすることは、ヒトの聴知覚メカニズムを解明する上で重要な課題であるといえる。そこで、本研究では、単耳受聴時に利用される情報を統合的に明らかにすることを目的として、単耳受聴で音像が分離知覚される条件及び、単耳受聴時の音像の知覚と HRTF の関係について調査を行った。特に、先天的な一側聾者の定位傾向は両耳受聴者の片耳を塞いだ場合の定位傾向とは異なることが発見されたことから、先天的な一側聾者の音像の知覚について調査を行った。

本プロジェクトは、本年度が第３年度であった。初年度は、健聴者が単耳受聴で音像の分離知覚実験を行い、実音源では無響室、つまり壁や床からの反射がない条件であっても音像の分離知覚が生じること、仮想音源では音像の分離知覚が生じず、全ての音像が解放耳側だけに知覚されることが明らかになった。また、受聴者の HRTF と聴取結果の比較を行い、単耳受聴時にヒトは SC 以外の情報を利用していることを確認した。前年度は、先天的な一側聾者の音方向の知覚実験を行い、音像と音源を別々に定位することが可能であることが明らかになった。この結果は初年度に得た結果と異なった。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、反射等の影響が無い理想的な条件で、先天的な一側聾者の音方向の知覚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。

研究打ち合わせ、実験及び討論

平成 29 年 8 月 20 日～21 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。

平成 30 年 2 月 22 日

共同プロジェクト研究発表会にて得られた知見についてポスター発表し、結果や今後の展開について議論した。

［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、東北大学電気通信研究所のHRTF計測システムを用いて一側聾者の頭部伝達関数の計測を行った。計測結果を図1に示す。

第2に、計測した受聴者本人のHRTFを用いて反射等の影響が無い理想的な条件の仮想音源を合成し，一側聾者の定位実験を行った。音像定位実験の結果を図2、音源定位実験の結果を図3に示す。同図から一側聾者は仮想音源に対しても、音像定位と音源定位を区別して行うことが可能であることがわかる。音像定位実験では、ほとんどの音像は健聴側に定位され、患側の定位は少なかった。一方、音源定位実験では、音源は全ての方向に定位された。

一側聾者が行った実音源での音像定位実験の結果を図4、音源定位の結果を図5に示す。仮想音源の方向と回答方向の一致率は、実音源に比べて低い。つまり、一側聾者は音の方向知覚に反射等の情報を有効に利用していると考えられる。ただし、実音源

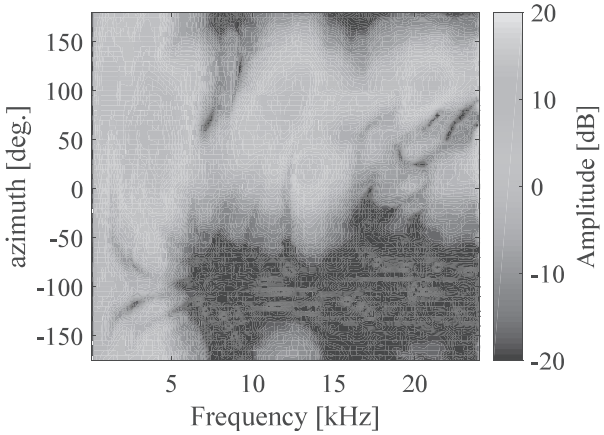


図1：計測したHRTF

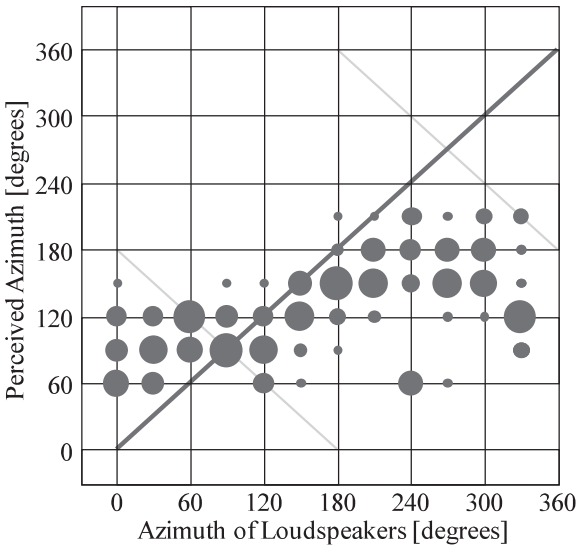


図2：仮想音源による音像定位結果

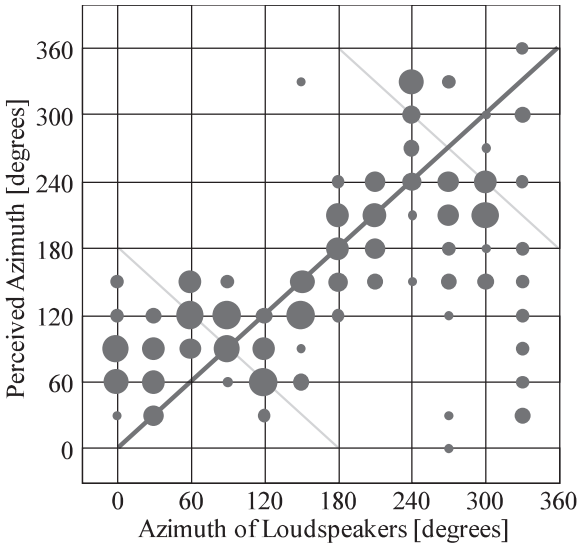


図3：仮想音源による音源定位結果

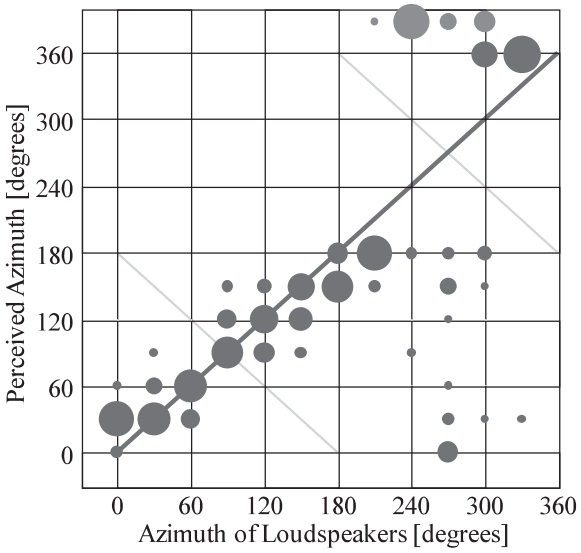


図4：実音源に対する音像定位結果

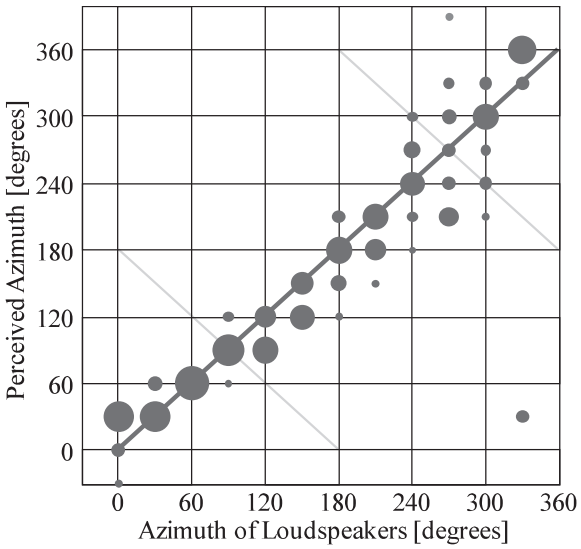


図5：実音源に対する音源定位結果

で患側に見られた定位できないという回答が、仮想音源ではなくなっていた。

また、仮想音源の結果でも、音像定位では健聴側、音源定位では全方位で大まかな方向判断は可能であった。したがって、SC 等の HRTF から得られる情報だけであっても、おおよその定位が可能であることがわかる。

（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。特に、このプロジェクトで発見した一側聾者と両耳聴者の知覚の違いを発展させ、単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いについてより詳しく調査するために、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に新たに申請中である。

また、本プロジェクトは、東北大学と富山県立大学、北陸先端科学技術大学院大学による共同研究の継続や、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への応用や、音源方向推定への応用が期待される。

［４］成果資料

（１） Kyoko Takahashi, Daisuke Morikawa, “Horizontal Localization of Sound Images and Sound Sources for Monaural Congenital Deafness,” Journal of Signal Processing, Vol. 21, No. 4, pp.167-170, 2017.

（２） Nguyen Khanh Bui, Daisuke Morikawa, Masashi Unoki, “Method of estimating direction of arrival of sound source for monaural hearing based on temporal modulation perception,” ICASSP 2018. (accepted)

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：**H27/A16**

災害経験をかたりつぐ ICT に関する対話型・実践型研究

［1］組織

研究代表者：佐藤　翔輔
（東北大学災害科学国際研究所）
通研対応教員：Trevino Lopez Jorge Alberto
（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）
今村　文彦（東北大学災害科学国際研究所）
林勲男（国立民族学博物館）
Maly Elizabeth（東北大学災害科学国際研究所）
山崎麻里子（中越防災推進機構）
井出明（追手門学院大学経営学部）
大須武則（石巻ビジターズ産業ネットワーク）
黒澤健一（がんばろう！石巻の会）
中川政治（公益社団法人みらいサポート石巻）
延べ参加人数：30 人

研究費：物件費　100,000 円
旅費　158,000 円
若手特別支援費　100,000 円

［2］研究経過

2011 年に発生した東日本大震災は，近年発生した災害の規模の類を見ない．それに伴ってか，これまで発生した近年の災害以上に，「語り部」や「被災地案内（ガイド）」等の被災した地域で研修，修学旅行などを目的にした人々に発災当時や復興の過程を伝えようとする事業が多くの地域で実施されている．さらには，「語り部」や「被災地案内」において，また現地の展示施設等において，被災状況や復興状況をデジタル写真，インタビュー映像，電子地図，AR（拡張現実）技術，3D 撮影といったデジタルコンテンツを活用してタブレット端末等で災害の経験を伝えようとする ICT も開発・利用されており，ICT は災害伝承を効果的に行うツールとして高い期待が集まっている．その一方で，ICT ツールを活用した災害を伝承する事業は，一部の地域に限定されていたり，開発した ICT ツールが有効に活用されていないなどの課題がある．ICT ツールが災害の経験を伝えるサポートを行う上で，どのような機能が求められ，どのような用途が効果的なのかは明らかにされていない．

本研究は，災害の経験を伝承する手段としての ICT の可能性に着目し，ICT に求められる要件を明らかにすることを目的とする．具体性や実現性の高い要件を明らかにするために，災害伝承を目的にした ICT ツールの開発者と，それを利用する側である語り部や被災地ガイド（ユーザー）の対話の場をつくり，ワークショップ形式によって，災害をかたりつぐ ICT に求められる要件を明らかにする．本申請の意義は，今後の災害を伝承するという，減災を目的にしたコミュニケーションをより効果的なものにすることにある．

本プロジェクトは，本年度が 3 年目であった．今年度は，1）石巻市の NPO や語り部との対話型ワークショップを通じて，VR 技術，UAV，3D モデルを活用した震災学習コンテンツを作成した．2）加えて，東松島市で開館した「東松島市震災復興伝承館」の来訪者を対象にした，満足度やニーズ調査を行い，その傾向を明らかにした．

以下，研究活動状況の概要を記す．

1）石巻市ワークショップ：みらいサポート石巻，石巻市における NPO や語り部・ガイド（2017 年 5 月 29 日，8 月 8 日，9 月 11 日，10 月 11 日）
2）東松島市ワークショップ：東松島市震災復興伝承館，同館への来訪者（2017 年 4 月 25 日，2017 年 5 月 2 日）
3）研究会（2017 年 7 月 21 日）

［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，VR 技術，UAV，3D モデルを活用した震災学習コンテンツを作成した．

(1)　VR グラスによる 360 度空間の仮想体験

石巻市において震災遺構として整備される旧門脇小学校校舎は，津波火災によって甚大な被害を受けている．現在は，公開前の整備中であるため，校舎内部を自由に見学することはできない．校舎内部を市販の360度カメラで撮影し，それを無償ソフトウェアで変換すること，VR グラスを覗く仮想空間を体験するコンテンツを作成した．

⑵　UAV 空撮映像等による震災遺構3次元モデル

旧門脇小学校校舎を UAV で撮影し，点群データから SfM（Surface from Motion）ソフトウェアを用いて3次元モデルを作成した．現在，同データをウェブで公開し，誰でも閲覧できるようにしている．（公益財団法人みらいサポート石巻，ドローンによる旧門脇小学校校舎の震災遺構 3D モデル，http://ishinomaki-support.com/resilience_170623）

第2に，東松島市で開館した「東松島市震災復興伝承館」の来訪者を対象にした，満足度やニーズ調査を行い，その傾向を明らかにした．同館は東日本大震災の際に津波被害を受けた，JR 旧野蒜駅の駅舎2階に位置している．調査は質問紙を用いて，自記式（一部は調査者による他記式）で実施した．東松島市震災復興伝承館では，被災者が津波の被害や教訓ついて説明する映像や航空写真による復興状況の展示，不定期の語り部による展示の説明等が行われている．調査期間は大型連休を含み，より多くの利用が見込まれる2017年4月23日から2017年5月7日とした．この調査の有効回答数は475票であった．質問紙には利用者の性別や来館理由，施設への満足度など計14個の設問を設けた．

本調査の結果，1）観光目的で東松島市を訪れた40代50代の夫婦の来館が多く，10代20代の若年層は学校や職場の研修などで団体客として訪れる人が多い．2）事前に情報収集せずにたまたま施設を訪れた利用者が多く，震災に関する映像の展示に満足し，常駐の語り部が必要と感じている．この結果より，東松島市震災復興伝承館の利用者を増やすためには，利用が多い中年代の夫婦が関心をもつ内容の展示を増やす必要があると考える．また，観光等の途中でたまたま施設を訪れた利用者が多いため，伝承館の看板や案内の数や形式を工夫して観光客が訪れやすいようにする必要があると考える．

（特別支援（若手）に係る研究成果）

特別支援（若手）により，外部有識者として，林勲男准教授（国立民族学博物館），井出明准教授（追手門学院大学），山崎麻里子研究員（中越防災推進機構）を招聘し，同プロジェクトに多大なる貢献をいただけた．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

（1）大型プロジェクトへの発展（平成27年度報告の再掲）

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，日本学術振興会・課題設定による先導的人文学・社会科学研究推進事業・実社会対応プログラム「効果的・持続的な災害伝承を目的にした拠点構築手法のモデル化と実践的研究」プロジェクトに発展した．また，本プロジェクトで明らかになった以上の実践知に関する成果は，現場の実践知が生み出す効果的な震災伝承の ICT ツールとその運用に関する研究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．

（2）研究者と実務者の「対話の場」構築

東日本大震災の被災地で震災伝承を生業として実施されている大須武則氏（石巻ビジターズ産業ネットワーク），黒澤健一氏（がんばろう！石巻の会），中川政治氏（公益社団法人みらいサポート石巻）を招聘し，研究者と実務者の「対話の場」の構築が実現し，大きく研究が推進した．

［4］成果資料

【査読付き論文】

- Shosuke Sato, Toru Okamoto, Fumihiko Imamura: Development and Evaluation of a Search Support Portal for Public Videos Related to the Great East Japan Earthquake: "3.11 Video Portal－ Great East Japan Earthquake Public Footage Finder", Journal of Disaster Research, Vol.13 No.2, pp. 313-320, 2018.3., doi: 10.20965/jdr.2018.p0313
- 佐藤翔輔，岡元徹，今村文彦：震災からの「教訓」を伝える2つのデータベースの実装とその評価：「3.11 からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」，災害情報，No.16, pp. 95-104，2018.1.
- 浅利満理子，中川政治，佐藤翔輔：宮城県における震災学習プログラムに関する現状分析－東日本大震災と津波災害から6年間の震災伝承の特徴－，地域安全学会論文集，No.31, pp. 77-85, 2017.11.
- 山崎麻里子，佐藤翔輔，山口壽道，マリ・エリザベス：震災伝承施設に必要な要件の探索的分析－木籠メモリアルパークへの再訪者に対する質的調査をもとに－，自然災害科学・特別号，Vol.36，pp. 41-52，2017.9.
- 佐藤翔輔，今村文彦：災害デジタルアーカイブ

を利活用した被災地における防災教材の作成過程に関する実態分析ー多賀城市防災教育副読本資料集作成業務の参与観察とインタビューー調査をもとにー，災害情報，No. 15，No. 15，pp. 41-51，2017.6.

【一般論文】

- 馬場亮太，佐藤翔輔，今村文彦：津波避難における水平移動と避難誘導サインの視認性に関する検討 ー宮城県名取市閖上地区の事例ー，平成 29 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，2018.3.3
- 馬場亮太，佐藤翔輔，今村文彦：地区津波避難計画の作成手法と特徴に関する調査・分析，地域安全学会梗概集，No. 41，pp. 181-184，2017.11.
- 佐藤翔輔，岡元徹，今村文彦：東日本大震災に関する公開動画検索システムの構築：「動画でふりかえる 3.11ー東日本大震災公開動画ファインダーー」，日本災害情報学会 第 19 回研究発表大会予稿集，pp. 204-205，2017.10.
- 浅利満理子，中川政治，佐藤翔輔：宮城県沿岸 8 市町における震災伝承事業と震災学習プログラムの現状と課題，地域安全学会東日本大震災特別論文集，No.6，pp. 39-44，2017.8.
- 中川政治，黒澤健一，佐藤翔輔：VR 技術，UAV，3D モデル等の ICT を活用した震災学習コンテンツ制作手法，地域安全学会東日本大震災特別論文集，No.6，pp. 49-52，2017.8.
- 山崎麻里子，佐藤翔輔，山口壽道，松本勝男：中越メモリアル回廊におけるオープン6年目に見えた課題とその対応，地域安全学会東日本大震災特別論文集，No.6，pp. 45-48，2017.8.

【講演】

- 佐藤翔輔：震災伝承の実践的防災学：科学的検証と実践支援，東北大学災害科学国際研究所・東日本大震災 7 周年シンポジウム・地域社会に開かれた災害研を目指してー地域ニーズに基づいた実践的研究の蓄積・展開・社会実装ー，2018.3.11
- 佐藤翔輔：災害を「伝える」ことに関する実証的・実践的研究：東北における東日本大震災前後のリスクコミュニケーションを事例に，NPO 法人事業継続推進機構（BCAO）仙台地域勉強会，2018.3.2
- 佐藤翔輔：被災地からの経験・教訓の共有と継承ー東日本大震災を中心にー，世界防災フォーラム／防災ダボス会議@仙台 2017，2017.11.26
- 佐藤翔輔：震災メモリアル施設を活用した記憶と経験の継承，市民まちづくりフォーラム（仙台市），2017.11.5
- 佐藤翔輔：震災伝承の現状と事例，塩竈市，2017.7.20
- 佐藤翔輔：震災伝承のあの日まで・あの日から・これから，宮城県平成 29 年度津波防災シンポジウム，2017.5.26
- 佐藤翔輔：災害科学とは何かーよりよい課題研究に向けてー，古川黎明高等学校総合的な学習の時間（SS 総合 I）プロローグ講演会，2017.4.25

【監修・協力】

- Yahoo! JAPAN「全国統一防災模試」

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（萌芽）

採択番号：**H27/A17**

感覚情報間の同期性の判断がコンテンツの臨場感・迫真性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：Jorge Trevino
（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）
行場　次朗（東北大学文学部）
崔　正烈（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　　100,000 円
旅費　　190,000 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った今，データの質の向上が課題となってきた。複数の感覚情報が同時に提示されるコンテンツの評価指標として，現実感，自然性，没入感，臨場感，迫真性などがあげられている。このうち，臨場感と迫真性という感性に着目し検討を行ってきた。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，視覚ー振動情報間の同期，聴覚ー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，感性評価に影響を及ぼしているどうか検討することを目的とした。

本プロジェクトは，本年度は，前年度採取したデータの解析を行い，分担者らとの議論し論文化に向けた準備を行った。

以下，研究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 3 月 12～13 日

研究進捗を報告し，今後の計画について検討した。3 名参加した。

第 2 回研究打合せ　2018 年 3 月 15～17 日

研究進捗を報告し，今後の計画について検討した。2 名参加した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，これまでの実験結果をまとめた。本研究では，東北大学電気通信研究所内の防音室に設置されているモーションプラットフォームを使用した実験を行っている。このモーションプラットフォームを使用することで，視覚刺激や聴覚刺激だけでなく，全身振動刺激を同時に提示することが可能である。本研究では，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ため，これらの感覚刺激の提示時間を操作した実験を行った。実験刺激のコンテンツには，視覚・聴覚・全身振動が同時に発生する状況の中で，最も臨場感を感じやすいという理由で，これまでと同様に電車が目の前を通過するコンテンツを採用した。被験者が線路脇に立っていることを想定し，電車の姿が視認されてから，電車が通過するまでの映像，音声，振動データが収録された素材を用いた。映像刺激を，プロジェクタからスクリーンに投影した。音声刺激を，被験者が装着する密閉型ヘッドフォンを通じて提示した。振動刺激を，モーションプラットフォームを用いて，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った。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した。実験被験者は，1 試行を終える毎に，臨場感と迫真性の感性評価をそれぞれ行った。同期性の判断については，被験者は，1 試行を終えるごとに，音声情報と振動情報，もしくは，視覚情報と振動情報が同期していたか否かを判定した。

結果，データを追加して検討したところ，臨場感や迫真性などの感性評価は，振動情報が早く提示されている条件のほうが高評価であった（例：図 1）。視覚情報と聴覚情報，振動情報の 3 刺激を提示していた我々の研究結果（図 2）と比較すると，視覚もしくは聴覚情報が欠けると評価値のピークが明確ではないという結果を得た。

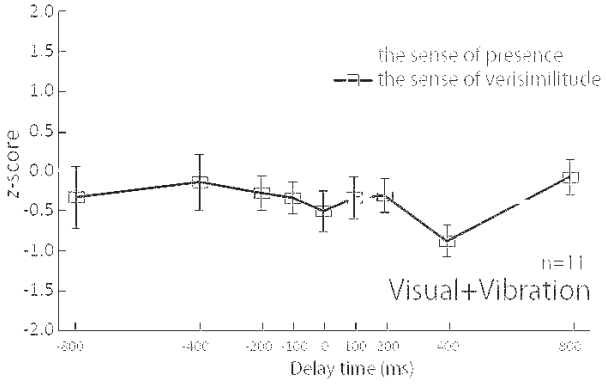


図 1　視覚と振動情報の 2 刺激を提示した際の，臨場感と迫真性の主観評価値の変化。縦軸は主観評価値，横軸は時間ずれ要因。

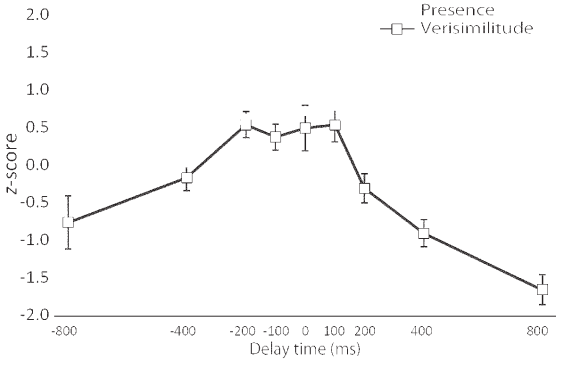


図 2　視覚，聴覚，振動情報の 3 刺激を提示した際の，臨場感と迫真性の主観評価の変化。縦軸は主観評価値，横軸は時間ずれ要因。

これは，提供される感覚情報が増加すると，各感度の潜時との兼ね合いで，感性評価の許容範囲が狭くなったために生じたと推測された。また，感覚モダリティの組み合わせよって感性評価が変化していたことから，同期・非同期弁別の時間限界が異なる可能性も考えられた。一方，主観的な同期性判断については，感覚モダリティの組み合わせによる有意な差は得られず，実際よりも振動情報が早く提示された条件を，主観的に同期していたと判断する率が高かった。

これらの結果から，臨場感と迫真性の評価に影響をあたえる因子は刺激の大きさ，量，振幅だけではなく，同期生判断も含まれることが分かった。これらの因子の重み付けの結果，最終的な評価がされると考えられる。

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することにより，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ている。さらには，多感覚な情報を扱う芸術表現の向上にも資する。

［4］成果資料

（1）Zhenglie CUI, Shuichi SAKAMOTO, Jiro GYOBA and Yoiti SUZUKI (2017). Influence of visual depth and vibration on the high-level perception of reality in 3D contents, Journal of information hiding and multimedia signal processing.

採択回数	1	2	3

（萌芽・国際）

採択番号：**H27/A18**

話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響

［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）
Juergen Hellbrueck （ Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts）
Ralf Graf （Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts）

延べ参加人数：10 人

研究費：物件費　100,000 円
旅費　282,000 円
国際特別支援費　200,000 円

［2］研究経過

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。これまで，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（e.g., Sumby & Pollack, 1954; McGurk & MacDonald, 1976; Driver, 1996）。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無関連言語音効果が知られている（e.g., Coll & Welsh, 1976; Ellermeier & Hellbruck, 1998）。我々は，日常生活のコミュニケーション場面を想定し，読唇の結果が文章理解と密接に関係している記憶機能にも寄与していると考えた。そのため，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。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。

本プロジェクトは，本年度が第3年度であった。これまで採取したデータを基に解析した。また，これまでの実験で妨害音声を付与しただけでは，課題音声の聞き取りや系列再生への負荷が充分であったとは言えない結果であったため，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と音声情報の了解度について，これまで採取したデータと共に解析を行い，分担者らとの議論し論文化に向けた準備を行った。

以下，研究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会会場などで打合せを行った。

第1回研究打合せ　2017 年 11 月 6 日～9 日

YI-WEN LIU 准教授を招聘し，研究内容についてトークをしていただき，議論を行った。23 名参加した。

第2回研究打合せ　2018 年 2 月 22～24 日

東北大学にて開催された共同プロジェクト研究報告会の準備を行った。また，実験結果の解析および論文投稿に関する打合せを行った。5 名参加した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究の実験刺激には，NTT・東北大 親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007（FW07）から選定した4モーラの単語および数字の音声と，話者がそれらを発声している映像を用いた。これらは東北大学電気通信研究所無響室内で話者映像と音声を収録した。実験は，東北大学電気通信研究所防音室で行われた。図1に示したように，刺激提示に用い

た機材は，防音室の外に設置した。

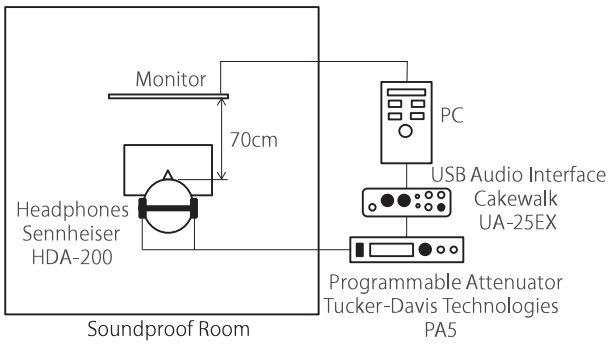


図１　実験環境

本研究の基本的な実験方法は，了解度試験と系列再生課題である。順に説明する。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，被験者には，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教示した。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した。実験では，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した。被験者には，9 個の数字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系列再生課題を実施するよう求めた。

本年度は，これまでに実施した実験結果を解析した。話者映像の有無，再生音声の種類（課題音声，妨害刺激の音声である数字の音声）を操作した実験の結果，話者映像の有無や課題音声と内容が一致しているかどうかで，系列再生課題の成績に有意な差は認められなかった。しかし，課題音声と妨害音声が分離しやすい条件と，課題音声と話者映像が一致した条件との間に，統計的に有意な差がみられないという結果も得られた。これは，妨害刺激を抑制しやすくなったためと考えた。さらに，聴取困難な環境下での話者映像の有無が，これらの課題成績に及ぼす影響を検討することを目的とした実験では，課題音声を発音している際に，スピーチノイズ（SN 比 −9dB，−18dB）を重畳し，了解度試験と系列再生課題を実施した。結果，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。また，聞き取りが困難な環境下において，話者映像が付与された条件のほうが音声のみ提示された条件よりも，系列再生課題の成績がよいという結果も得た。これらの結果から，聴取環境に障がいがある場合において，相手の発言を聞き取りやすくすることは，了解度だけではなく，話者映像も，聞き取った内容の記憶の促進に寄与していることが示されたといえる。

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，YI-WEN LIU 准教授（国立清華大学）を 2017 年 11 月 6 日〜9 日に招いた。滞在期間中は，聴取困難な環境下の音声理解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

本研究の推進によって，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。福祉工学の分野において，健常者と障がい者が，共に映画鑑賞をしたり，ミュージアム鑑賞をしたりすることができるためのデバイス開発が進められている。このような，視覚や聴覚に障がいを持った方々と健常者との間の，スマートな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ている。さらには，芸術分野におけるユニバーサルなコンテンツ制作にも資する。

［４］成果資料

（１）大谷智子(2017). 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（先端）

採択番号：**H27/A20**

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

［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

中沢　正隆（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）

浅川　賢一（海洋研究開発機構）

荒木　英一郎（海洋研究開発機構）

坂田　正治（元防災科学技術研究所）

高森　昭光（東京大学地震研究所）

坪川　恒也（真英計測）

延べ参加人数：１１人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	130,000 円

［2］研究経過

わが国は地殻活動が活発なプレート境界に位置し、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。また、不均質な地殻で起こる破壊や流動現象であり、正確な発生場所を特定することも難しい。そのため、従来陸上においては地震計やＧＰＳによる観測網、海域では複数の自己浮上式地震計やケーブル式地震計による観測など、地表･海底における多点観測が行われてきた。しかし、国土全体を稠密にカバーするのは困難であり、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、地震・火山噴火の被害を契機に監視が強化されるといった後手の対応になりがちである。

本研究では、光ファイバーネットワークの稠密性と光計測式センサーの精度・耐環境性の両者の特長を活かし、地殻活動を面的監視する計測技術に関する研究を行う。とくに、火山観測を行うための絶対重力計、地下深部観測のための地震計、津波・歪計について、光ファイバーを用いた基礎実験を行い、ネットワーク化への展望をはかる。

光ファイバーネットワークを利用した面的観測の有利な点として、高精度計測に必要な安定化光源を各観測点に同時に配信できることが挙げられる。それを検証する第一段階として、通信波長帯でセンサーを動作させ、地殻活動データを取得する。

Ｈ２８年度には地震研究所で開発した絶対重力計装置に中沢研究室で開発した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比較した。本年度は、その結果を踏まえ、光源や検出装置の誤差要因の究明とその対策を実施し、通信波長帯光源での絶対重力計測手法の研究を継続した。

［3］成果

（3－1）研究成果

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」において、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の小型絶対重力計が開発された。計測の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により、開発した絶対重力計 TAG-1 は市販品の約 70%のサイズとなっている。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 以内の精度を確認した。一方、絶対値については 20μGal 程度の不定性があった。

TAG-1 の系統誤差の評価のため、2017 年 4 月 17～24 日に実施された石岡測地観測局（国土地理院、茨城県石岡市）における絶対重力計 FG5（Micro-g LaCoste 社）との比較観測に参加した。近接した花崗岩基台に各絶対重力計が配置され並行して観測す

る。2016 年 4 月に同様に実施した比較観測では、TAG-1 は他の絶対重力計と比較して 30〜50μGal 小さい値が得られた。その原因として、参照マスの自由落下時の反作用による系統誤差のほか、観測場所の基台間の重力差や鉛直重力勾配の違い、他の重力計の動作に伴う振動による影響が考えられた。そこで、今回は TAG-1 単独での測定を実施し他の重力計からの影響を避けるとともに、基台間の重力差や鉛直勾配を事前に測定した結果でデータを補正した。図１は単独観測の様子を示す。図２は観測結果を示す。重力の計測値は理論潮汐と同様の時間変動を示している。地面振動（茶）は 200μGal 程度のばらつきであり、2016 年の測定と同程度である。潮汐や器械高の補正、さらに統計的処理をした結果、(979951251±6)μGal という値が得られ、これは他の重力計の計測値と比較して 26μGal 小さい値であった。2016 年度と比べると差は縮まったが、計測誤差の範囲からは 20μGal 程度外れている。観測日によってこのオーダーで値が変化しているため、外的環境に観測値が影響を受けている可能性が示唆され、継続して評価を行っている。

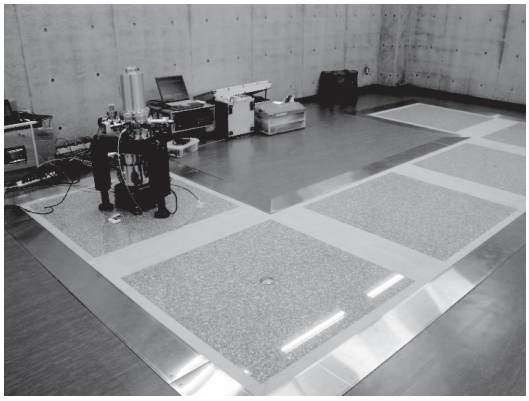


図１　石岡測地観測局（国土地理院、茨城県石岡市）における絶対重力計の観測。他の重力計の動作の影響を避けるためTAG-1単独で実施した。

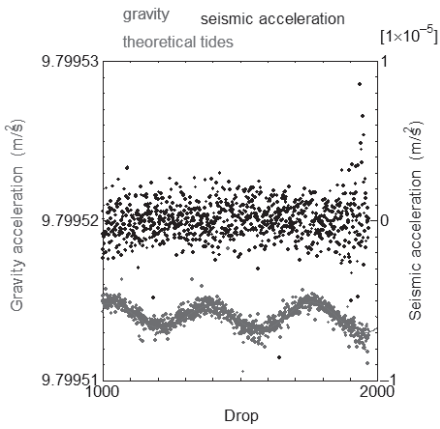


図２　石岡測地観測局における絶対重力計TAG-1の観測結果。

また、火山において複数の絶対重力計を設置し数 km〜数十 km の基線での観測網を構築することを想定し、通信波長帯の周波数安定化光源（波長 1.5μm 帯）を用いた絶対重力計の動作検証を行った。従来の可視光光源（He-Ne レーザー、波長 633nm）は光ファイバーで伝送できる距離が短いため、装置毎に光源が必要になる。一方、通信波長帯では光ファイバーでの損失が極めて少なく、波長安定性を維持したまま光強度を増幅することも可能で長距離伝送する技術が確立されている。そのため、絶対重力測定の基準となる１台の周波数安定化光源を光ファイバーで各観測点の装置に分配し計測することができる。

Ｈ２８年度にはTAG-1の光学素子を1.5μm帯のものに交換したユニットを作成し、光源は東北大・電気通信研究所（中沢研究室）で開発されたアセチレン周波数安定化ファイバーレーザーを用いて同研究所実験室（電気通信研究所本館地下１階）において重力値を計測した。同じ場所で従来の He-Ne レーザーによる計測も実施した。一方、東北大青葉山キャンパス内の地震火山噴火予知センター（Ｂ棟１階）には重力値が既知の基準点（AOB-B）があるため、電通研の測定点との間で 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を求めた。その結果、He-Ne レーザーによる計測結果は AOB-B を参照とした相対重力測定の値から期待される結果と整合していたが、1.5μm 帯光源での測定結果はそれより約 150μGal 大きい値となっており計測系の系統誤差が示唆されていた。そのため、今回は誤差要因の一つとして考えられる光検出器の応答特性を評価するため、前回より高速の光検出器に替えて測定を行った。また、長距離の光ファイバー伝送における計測誤差を評価するために、図３のように光源を 26km の光ファイバーと光アンプを経由して重力計と接続した。計測結果を図４(a)〜(d)に示す。

図４(a)は 633nm 光源を用いた測定結果であり、Ｈ２８年度と同様にAOB-B を参照点とした予想値（赤線）と一致した。図４(b)は 1.5μm 帯光源を短い光ファイバーで重力計に導入した測定結果である。Ｈ２８年度は約 150μGal の系統誤差が認められたが、今回はほぼ予想値と一致し、理由としては帯域 10MHz の高速光検出器を用いたことが挙げられる（Ｈ２８年度に使用した光検出器に替えると系統誤差が再現した）。図４(c)は 1.5μm 帯光源を 26km 長の光ファイバーを経由して重力計に導入した結果であり(b)と比べて違いは認められない。図４(d)は観測の途中で光検出器の周波数帯域を 10MHz から 5MHz に変更した結果であり、変更後は系統誤差の増加が認められる。この結果から光検出器の周波数帯域が系統誤

差に影響していることがわかる。

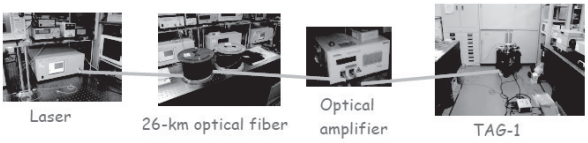


図３ 通信波長帯の周波数安定化光源（波長 1.5 μm 帯）を用いた絶対重力測定の構成（電気通信研究所本館地下１階）。光源を 26km の光ファイバーと光アンプを経由して重力計と接続した。

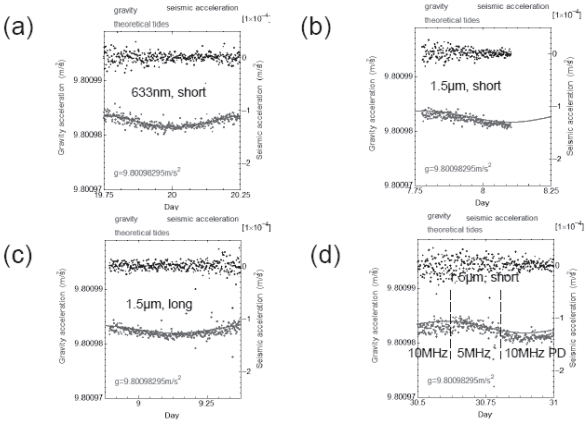


図４　図３の構成で以下の条件での観測結果。(a)633nm 光源、(b)1.5μm 帯光源を短い光ファイバーで重力計に導入、(c)1.5μm 帯光源を 26km 長の光ファイバーで重力計に導入、(d)1.5μm 帯光源を短い光ファイバーで重力計に導入し光検出器の周波数帯域を途中で変更。

（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マグマ活動に伴う密度変化の情報を重力計を用いれば直接計測できる。本年度の研究で 26km の光ファイバーを経由した光源の重力計への導入で計測精度の劣化は認められなかった。この結果は、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の構成に一歩近づくものである。このように、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、新たな観測手法として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。次の段階では複数の重力計を光ファイバーで接続する多重化の検証が必要である。光ファイバーネットワークを利用した面的観測の有利な点として、高温環境での動作が可能であるため地震発生域など地下深部においてその場観測ができることも挙げられる。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）A. Araya, A. Takamori, W. Morii, K. Miyo, M. Ohashi, K. Hayama, T. Uchiyama, S. Miyoki, and Y. Saito, Design and operation of a 1500-m laser strainmeter installed at an underground site in Kamioka, Japan, Earth, Planets and Space, 69:77, 2017.

（２）M. Shinohara, T. Ishihara, A. Araya, T. Yamada, M. Mochizuki, K. Uehira, T. Kanazawa, H. Fujimoto, and S. Omika, and S. Tsukioka, Mapping of seafloor gravity anomalies by underwater gravity measurement system using autonomous underwater vehicle for exploration of seafloor deposits, OCEANS 2017 - Anchorage, pp.1-6, 2017.

（３）新谷昌人, 共同プロジェクト研究「光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, 23, 202-204, 2017.

（４）T. Akutsu, M. Ando, S. Araki, A. Araya, T. Arima et al., Construction of KAGRA: an underground gravitational-wave observatory, Prog. Theor. Exp. Phys., 013F01, 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：**H27/A21**

脳型計算用ハードウェア技術

［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）
秋間　学尚（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）
堀尾　喜彦（東京電機大学工学部）
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（京都産業大学コンピュータ理工学部）
Jordi Madrenas（カタルーニャ工科大学電子工学科）

延べ参加人数：３９人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	302,000 円
国際特別支援費	200,000 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技術を追求することが本研究の狙いである。生物神経系における脳型情報処理の高効率性や柔軟性は、現Siテクノロジーを遙かに凌駕し、次世代の情報処理システムの開発において優れたお手本である。また、脳のような大規模な集積システムを実現する手段はSiテクノロジー以外には皆無であり、Siテクノロジーと脳型情報処理の融合が大きな課題となっている。課題克服のためには、長期記憶を実現する不揮発性メモリデバイス、記憶と演算を融合するシナプスデバイス、時分割処理により大規模配線を実現する回路アーキテクチャ、神経素子のダイナミックな力学特性を再現するアナログ回路モジュール、有限なハードウェアリソースで環境変化に対応しうる学習機能モジュール、モジュール競合により判断処理を行う計算機アーキテクチャなどの要素技術の整備と、これらの統合が必要不可欠である。本研究では、これら技術開発を通じて、脳型計算機構築に必要なハードウェア基盤技術を構築することを目的とする。研究を成功させるためには、ハードウェア側からのボトムアップ的な方向性のみでは不十分であり、システム構築の観点からハードウェアに求められる機能を検証するトップダウン的方向性も不可欠である。ゆえに、脳型計算ハードウェア、計算論的神経科学、神経生理学、非平衡非線形物理学、ロボット工学などの分野から、先導的研究者を結集し、分野横断的研究チームにより本課題に取組むことを提案するものである。

研究は、(A)脳機能の研究、(B)モデルの研究、(C)脳型集積デバイス・回路の開発、そして(D)システム

応用、に分類される。(A)には、脳の神経生理学的研究、脳の生体情報工学的研究が含まれる。(B)は脳の情報処理の基本要素であるニューロンとシナプスを抽象化して構成し、そしてそれらが複合したシステムを研究すると共に、そのハードウェア化へ向けた研究を行う。プロジェクトメンバーは高次ダイナミクスを導入したバースト発火ニューロンモデル、その基本性能の向上へ向けた新しい設計手法の提案等の研究実績を蓄積しており更なる研究を進める。また、これら(A), (B)の研究成果を踏まえ、(C)の脳型集積デバイス・回路が有すべき必要な機能を検証する。(C)では、Si テクノロジーに親和する新たなシナプスデバイスの開発や、アドレスイベント表現プロトコル(AER プロトコル)をベースに、神経素子の莫大な通信を可能とするアナ・デジ混在通信方式の開発、カオスなどの非線形なダイナミクスを取り込んだダイナミックな情報処理機構など、生体が持つ圧倒的な高効率性や柔軟性を実現するためのデバイス・回路技術を探求する。(D)では現実的な実世界の問題で、かつ、現在のコンピューターでは不得意とする問題を扱う応用を探り、その最適なシステムの構築を目指す研究へと繋げる必要があり(A)、(B)、(C)も含めた広い検討・議論を行う必要がありそれらを実施する予定である。

本プロジェクトは、本年度が最終年度にあたり、本プロジェクト研究と連動する形で、「第六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、2018 年 2 月 1, 2 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. On a brainmorphic hardware paradigm, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
2. Design considerations for real-time digital architectures emulating spiking neural models, J. Madrenas, M. Zapata, H. Akima, S. Sato (Technical Univ. Catalunya, Spain)
3. Hebbian and anti-Hebbian learning for a qunatum associative memory, S. Sato, Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba (Tohoku Univ., Japan)
4. Stable lipid bilayers in microfabricated silicon chips as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins, A. Hirano-Iwata, D. Yamaura, T. Ohori, K. Arata, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano (Tohoku Univ., Japan)
5. Dynamics and effective connectivity in neuronal cultures: from experiments to medical applications, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
6. Single-cell manipulation of neuronal morphology and function using microfabricated substrates, H. Yamamoto, R. Matsumura, M. Niwano, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
7. Local control of axonal excitability in the hippocampus, H. Kamiya (Hokaido Univ., Japan)
8. Dynamic neural correlates of working memory phenomena in prefrontal cortex – new experimental findings and theoretical insights, P. Herman, M. Lundqvist, E. K. Miller (Royal Inst. Technology, Sweden)
9. Optimizing deep brain stimulation for treatment of Epilepsy and Parkinson's disease, T. Netoff (Univ. Minnesota, USA)
10. Posture estimation from electromyography signals using a multi-layered neural network, F. Ishida (National Institute of Technology, Toyama College, Japan)

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の主要成果は次の通りである。

本研究では、空間認識システムの実現に向けて、TSMC 65nm CMOS テクノロジーによって作製された、受容野ごとに局所運動を検出する LSI（局所運動検出 LSI）と、局所運動を統合して平面方位・衝突時間を認識する LSI（局所運動統合 LSI)について、それぞれの動作を確認した。また、カメラ、 FPGA ボード、及び局所運動検出 LSI から構成されるシステムを構成し、ライブ動画像からオプティカルフローをフレームレート 30 fps で検出できることを確認した。

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 を用いた実装方法について有益な知見を得た。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

既存のコンピューターは、そのままでは人間と同等の知的情報処理をするには不十分であることが明確になってきた。また、脳のモデルであるニューラルネットワークも、理論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、脳型計算機を

開発し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。その成果は、学術的あるいは技術的な大規模問題の情報処理に活用する方向と同時に、現コンピューターでは克服しきれない知的処理の課題を補間する役割を果たし、我々が必要とする近未来の情報システムの基礎となると予想される。

［4］成果資料

(1) 百瀬 啓, 浅井 哲也, "Deep learning chips and AI computing," 人工知能学会誌, vol. 33, no. 1, pp. 23-30 (2018).
(2) Ando K., Ueyoshi K., Orimo K., Yonekawa H., Sato S., Nakahara H., Takamaeda-Yamazaki S., Ikebe M., Asai T., Kuroda T., and Motomura M., "BRein memory: a single-chip binary/ternary reconfigurable in-memory deep neural network accelerator achieving 1.4TOPS at 0.6W," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 12, (2017), in press.
(3) M. Yamaguchi, H. Tamukoh, H. Suzuki, T. Morie, A CMOS Chaotic Boltzmann Machine Circuit and Three-neuron Network Operation, Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks, pp. 1218-1224, 2017.
(4) 森江 隆,脳型アナログ演算と専用集積回路, 人工知能, Vol. 33, No. 1, pp. 39-44, Jan., 2018.
(5) Moriguchi S, Kita S, Fukaya M, Osanai M, Inagaki R, Sasaki Y, Izumi, H, Horie K, Takeda J, Saito T, Sakagami H, Saido TC, Iwamoto T,, Fukunaga K., Reduced expression of Na+/Ca2+ exchangers is associated with cognitive deficits seen in Alzheimer's disease model mice, Neuropharmacology 131:291-303, 2017.
(6) Ostrovidov S, Ebrahimi M, Bae H, Nguyen HK, Salehi S, Kim SB, Kumatani A, Matsue T, Shi X, Nakajima K, Hidema S, Osanai M, Khademhosseini A. Gelatin-Polyaniline Composite Nanofibers Enhanced Excitation-Contraction Coupling System Maturation in Myotubes, ACS Applied Materials & Interfaces 9(49):42444-42458, 2017.
(7) Y. UWATE and Y. NISHIO, "Synchronization in Dynamical Oscillatory Networks with Non-Uniform Coupling Distributions", Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'17), pp. 846-849, May 2017.
(8) G. YANG, C. IKUTA, S. ZHANG, Y. UWATE, Y. NISHIO and Z. LU, "A Novel Image Fusion Algorithm Using an NSCT and a PCNN with Digital Filtering", International Journal of Image and Data Fusion, vol. 9, no. 1, pp. 82-94, Jan. 2018.
(9) H.-F. Yanai and S. Kouno, Biometric identification using video of body silhouette captured from overhead, C. Stephanidis (Ed.): Human-Computer Interaction International Posters 2017, Part II, CCIS 714, pp. 419-423, 2017.
(10) Y. Horio, "Towards a neuromorphic computing hardware system," Proc. of NOLTA, 189-192, 2017.
(11) R. Sato and T. Saito, Stabilization of desired periodic orbits in dynamic binary neural networks, Neurocomputing 248, pp. 19-27, 2017.
(12) T. Saito, K. Yamaoka, and T. Hamaguchi, Realization of desired digital spike-trains by a simple evolutionary algorithm, NOLTA, IEICE, E8-N, 4, pp. 267-278, 2017.
(13) S. Mochiyama, R. Takahashi, and T. Hikihara, "Trajectory control of manipulator fed by power packets," International Journal of Circuit Theory and Applications, vol.45, no.6, pp.832-842 (2017).
(14) S. Mochiyama, R. Takahashi, and T. Hikihara, Close-loop Angle Control of Stepper Motor Fed by Power Packets, IEICE Trans. A, Vol.E100-A, No.7, pp.1571-1574, 2017.
(15) S. Miyamoto, N. Suematsu, Y. Umehira, Y. Hayashida, T. Yagi, Age-related changes in the spatiotemporal responses to electrical stimulation in the visual cortex of rats with progressive vision loss, Scientific Reports, 7, 14165, 2017.
(16) Tran T. T. Huong, K. Matsumoto, M. Moriya, H. Shimada, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, and Y. Mizugaki, "Gate-tuned negative differential resistance observed at room temperature in an array of gold nanoparticles", Applied Physics A, vol. 123, no. 4, 268 (5 pages), 2017.
(17) T. Samura, Y. Sakai, H. Hayashi, T. Aihara, Efficient Control of Theta TravelingWaves by Synchronized Inhibition through Gap Junctions and GABAergic Connections in a Hippocampal CA3 Model, Proceedings of the 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2017), pp. 367-370, 2017.
(18) T.Harada and K.Kaiwa, "Octagonal MOSFET for Simultaneous Sensing of Temperature and Magnetic Field", The 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), pp. 803-804, Sep. 2017.

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：**H27/A23**

共生コンピューティングのためのマルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究

［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（東北大学電気通信研究所)

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：20 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	212,000 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）を進めている．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は，ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境の整備が必要不可欠である．これまでの研究では，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，開発面での支援は充実しつつある．一方で，多様性を有するエージェントの管理や運用に関しては，充分な支援がなされていない．本研究では，人間のように多様な性質を有するソフトウェアエージェントに対し，人間のように音声や振る舞いでインタラクションが可能なマルチモーダルインタフェースを開発し，開発運用の支援のさらなる充実と利便性の向上を図る．

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．我々の研究グループでは，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．つまり，ソフトウェア自体が，あたかも人間のように知的に動作が可能なフレームワークといえる．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．本プロジェクトは，本年度が最終年度であった．前年度は，移動性を備えた共生エージェントの開発・運用を行った．本年度は主に災害時支援を目的とした共生エージェントの開発・運用機構の構築，共生型アプリの開発を行った．以下，研究活動状況の概要を記す．今年度は下記の研究発表会を行った．平成 30 年 2 月 23 日 14:00〜，電気通信研究所本館 5F M501 室（参加者：打矢，木下，北形，高橋，笹井，菅原，藤田）

［3］成果

（3－1）研究成果：主要研究とその成果を示す.

【発災初期フェーズを対象としたマルチロボット防災システムの開発と評価】

発災直後には安否確認の支援・避難誘導・救助といった防災対応が迅速かつ安全に行われることが望まれる．しかし，防災専用ロボットは一般施設へ導入が進んでおらず，発災直後の迅速な対応は困難と言える．本研究では施設常備型ロボットを用いて，発災直後の対応を行う.

提案システムは複数の走行ロボット Turtlebot2 と管理サーバから構成される．複数ロボットを併用することで，施設常備型ロボットのスペックの低さを補う．また，管理サーバを導入することでロボットだけでは困難な機能を実現する.

提案システムが提供する機能

提案システムの機能は，以下の3つに分類される.

・無線通信路確立機能：安否確認等に用いる通信路をロボットによる無線中継機の運搬により確立する

・避難誘導機能：ロボットにより避難誘導を行う

・被災情報把握機能：システムが収集した情報を提供することで，救助活動や安全管理の支援を行う

被災情報把握機能の設計

災害時には負傷などにより避難が不可能な要救助者が発生する．本機能では，要救助者の発見および，救助活動に有益な施設内の被災状況の把握を目指す．ユーザとしては施設管理者や緊急対応組織を想定する．本機能のプロセスを以下に述べる.

1. ロボットは施設内を自動巡回し被災情報収集
2. サーバに情報を投稿しサーバDBに集積
3. サーバはユーザに対しWeb ページで情報提供

本機能はプロセス 1，2 に相当する情報収集部と，プロセス3 に相当する情報提示部からなる.

情報収集の方法

巡回効率の向上：提案システムではノードに基づき自動巡回を行う．プロトタイプでは訪問回数の少ない隣接ノードに移動することを繰り返していたが，全ノード巡回において効率が悪かったため，最寄りの未訪問ノードへ向かう隣接ノードに移動する手法を導入した.

故障への対応：プロトタイプではロボットの故障を想定していなかったため，2 台運用時でも一方が故障するとその担当エリアの収集が終わらない問題があった．担当エリアの終了時に他ロボットのエリアを巡回する協調動作を導入した.

実験1：情報収集部の評価

本学2 号館2 階フロア全域を対象に，情報収集部の検証実験を行った．Turtlebot2 の巡回には教室前・分岐点など 22 箇所のノードを設定した．フロアをノード数で2 分割し，Turtlebot2 を2 台用いて実験を行った．全ノードを周り終えるまでTurtlebot2 を稼働させ，管理サーバに最初の画像が送信され，最後のノード到着時の画像が送信されるまでの時間と投稿された画像の枚数を測定した.

結果と考察

表1の結果から約 6 分で情報収集が可能である事が分かった．施設常備型ロボットでも緊急対応組織到着までに情報収集が可能である事が確認できた.

表1： 実験結果(5 回実施)

	訪問ノード数	合計撮影枚数	実験時間[s]	実験時間[m:s]
平均	30.6	138.2	363.8	6m03s
標準偏差	1.855	5.492	30.182	

実験2：情報提示部の評価

実験1で収集した画像を用いて情報提示部の評価実験を行った．Web ページは複数の閲覧モードから構成され，一例として図1 に示すような画像を表示する部分とフロア図を表す部分からなる地図ページを用いた．本学の学生 7 名に情報を閲覧して貰い，アンケートによる5段階評価を行った.



図1．情報提示ページの一例(地図ページ)

結果と考察

情報の把握は容易かについて評価 3.857，地図ページは使いやすいかについて評価4.286 となり，この結果から，提案機構の有効性が確認できた.

まとめ

発災初期フェーズにおける防災対応として施設常備型ロボットを用いるシステムを提案した．複数機能を提案し，実機を用いた実験により検証を行った．結論として施設常備型ロボットによる被災状況把握は一定の有効性があることが確認できた.

（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)～(16))．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）Takuo Suganuma, Takuma Oide, Shinji Kitagami, Kenji Sugawara, Norio Shiratori, “Multiagent-Based Flexible Edge Computing Architecture for IoT”, IEEE Network, Vol.32, No.1, pp.16-23, 2018.

（2）Takuma Oide, Toru Abe, Takuo Suganuma, “COSAP: Contract-Oriented Sensor-based Application Platform”, IEEE Access, vol.5, Issue.1, pp.8261-8275, 2017.

（3）Takuma Oide, Toru Abe, Takuo Suganuma, “Implementation and Evaluation of Negotiation Mechanism on Server-less IoT Application Platform”, Proc. of the 2nd International Workshop on the Internet of Agents (IoA, AAMAS2017 Workshop), pp.36-55, 2017.

（4）Yuki Kaeri, Claude Moulin, Kenji Sugawara, Yusuke Manabe, “Agent-based System Architecture Supporting Remote Collaboration via an Internet of Multimedia Things Approach”, IEEE ACCESS, 2018.

（5）Yuki Kaeri, Yusuke Manabe, Kenji Sugawara, Claunde Moulin, “An IoT Application Connecting Edge Resources and Cloud Resources using Agents”, International Journal of Energy, Information and Communications (IJEIC), Vol.8, Issue.1, pp.1-14, 2017.

（6）Takumi Kato, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, “Multiagent-based Autonomic and Resilient Service Provisioning Architecture for the Internet of Things”, International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.17, No.6, pp.36-58, 2017.

（7）Kenta Katayama, Hideyuki Takahashi, Shingo Yokoyama, Karl Gäfvert, Tetsuo Kinoshita, “Evacuation Guidance Support Using Cooperative Agent-based IoT Devices”, Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.98-99, 2017.

（8）Shingo Yokoyama, Ryota Fukutani, Takumi Kato, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, “MATCH: MultiAgent-based Tactful Cooperation Scheme for Heterogeneous IoT Devices”, Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.150-151, 2017.

（9）Shotaro Sugiura, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Supporting Recollection of Memories After Motorcycle Touring by Image Selection”, Proc. of IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics, 2017.

（10）Ryoa Sugisaki, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Implementation of Summarization Mechanism for Laboratories' Research Information”, Proc. of IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics, 2017.

（11）Ryuta Sugie, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Investigation Using Multi-Agent Simulation Environment for Evacuation Guidance with Robots”, Proc. of the 12th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications, pp.834-843, 2017.

（12）Kento Watanabe, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, “Development Support Mechanism for Deep Learning Agent on DASH Agent Framework”, Proc. of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, pp.526-534, 2017.

（13）Ryuta Sugie, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Verification Using Multi-agent Simulation for Evacuation Guidance with Robots”, Proc. of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, pp.516-525, 2017.

（14）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解と情報銀行の分散型セキュアスト レージへの応用”, 情報処理学会 DICOMO2017, pp. 779−784, 2017.（優秀論文賞受賞・優秀プレゼンテーション賞）

（15）河野隆太, 藤田茂, “3 次元回転不変位相限定相関法を用いた 3 次元点群位置合わせ手法の高速化”, FIT2017, H-019, 2017.（FIT 奨励賞）

（16）飯島安恵, 森田陽介, 藤田茂, 今野将, “演奏会を考慮した吹奏楽団向け電子譜面システムのための譜めくり担当者選定アルゴリズム”, 情報処理学会 DICOMO2017, pp. 97−102, 2017.（優秀プレゼンテーション賞）

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（萌芽）

採択番号：**H27/A24**

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）
笹井　一人（東北大学電気通信研究所）
岩谷　幸雄（東北学院大学）
髙橋　秋典（秋田大学大学院工学資源学研究科）
奈須野　裕（苫小牧工業高等専門学校）
五十嵐　隆治（秋田大学大学院工学資源学研究科）
橋本　仁（秋田大学大学院工学資源学研究科）
横山　洋之（秋田大学大学院工学資源学研究科）
藤原　克哉（秋田大学大学院工学資源学研究科）
小原　仁（秋田大学大学院工学資源学研究科）
今野　将（千葉工業大学工学部）
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	100,000 円
旅費	260,000 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。

管理支援のためのデータ分析機能に関しては，シグネチャのデータベースとのパターン認識による「不正検知」ではなく，パケットの動向に着目し，定常時からの外れた挙動を異常とする「異常検知」について検討を行っている。前述のように多様化する情報ネットワークにおいて，新たなネットワークサービスが提供される環境では，シグネチャでは検知困難な未知の攻撃への対応を重要視しなければならないと考えられる。我々は，定常時のトラヒック状態の定量化に対して，R/S Pox レッグライン特性や相転移モデルなど統計的手法の適用を検討し，トラヒック状態指標の研究を進めている。

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 30 年 3 月 2 日に開催した。

【プログラム】

1. L. Koloko, N. Takanohashi, Y. Katoh, P. Selin, H. Obara (Akita University): Network Utilization Monitoring Technique Using Probe Packet Delay Variance
2. 打矢隆弘、浅井信吾、内匠逸（名工大）: 正規ユーザ・攻撃者混在型ゲーム理論モデルを用いた IoT セキュリティ用 IDS の評価
3. 梅田冬稀，高橋秋典，五十嵐隆治，橋本仁(秋田大)：LDoS 攻撃の攻撃周期に着目した R/S Pox Diagram による異常検知に関する検討
4. 上田 浩（京大/NII），中村 素典（NII）: 学認 Moodle におけるユーザトラフィック可視化
5. 笹井一人，星野拓也，北形元，木下哲男(東北大)：人とエージェントの協働によるネットワーク管理

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，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行った。

まず，R/S Pox レッグライン特性による異常検知に関しては，これまでの検討で，周期的特徴が顕現する低レート攻撃パケットを用いた長期的ポートスキャンの検知に対して有効であることが示されてきた。長期的ポートスキャン攻撃は，組織ネットワークにおける対外接続ポートなど複数のサブネットワークのトラヒックが観測できる地点で検知可能となる。低レート攻撃が有する周期的特徴は，ネットワークサーバに対してパスワード攻撃を実施する SSH ブルートフォース攻撃などにも顕現すると推測される。そこで，SSH ブルートフォース攻撃に対する R/S Pox レッグライン特性による異常検知の有効性を検討した。具体的には，Pox ダイアグラムをピクセル単位に分け，バイナリイメージを作成することにより，その面積，周経路長さ，Circularity を評価することにより攻撃を検出できることを示した。

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

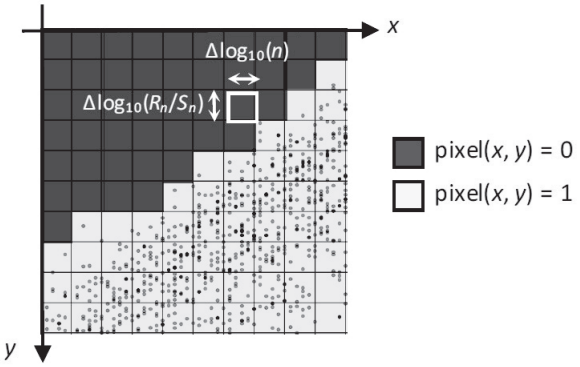


Fig. 1: Overview of the imaging method of an R/S Pox Diagram

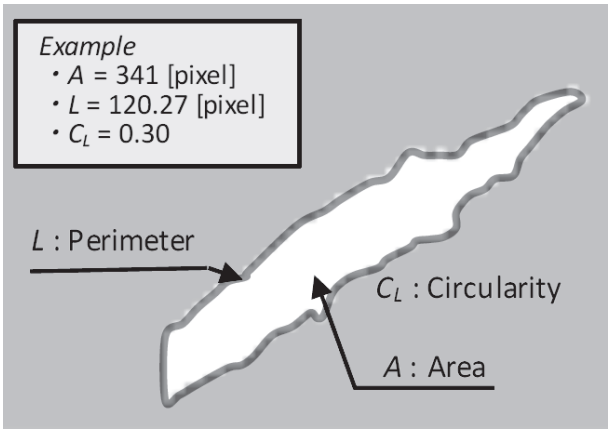


Fig. 2: Shape features

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。AIR-NMS の概念図を Fig. 3 に示す。

AIR-NMS を用いたネットワークに対する不正アクセスの検知を支援する AIR として，レッグライン特性による異常検知の AIR 化に関する検討を行った。本手法の適用は，(1)パケットキャプチャ，(2)解析データ生成，(3)特徴抽出，(4)異常検知という各フェーズにおける処理をそれぞれ AIR 化することで実現する。それぞれの処理を AIR 化することで複数の

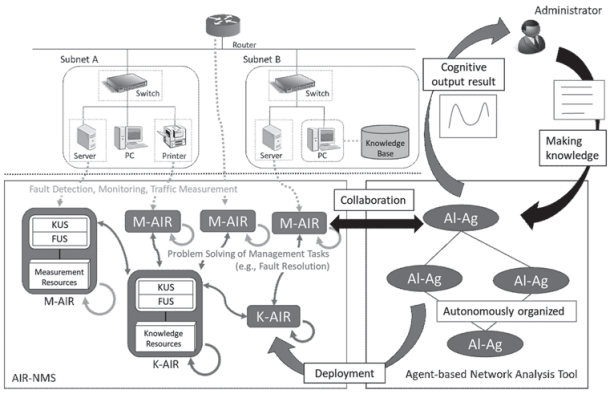


Fig. 3: Agent-based network data analysis foundation

観測端末を切り替えながらの監視が可能となり，また，異なる検知法や検知パラメータを設定されたAIRの連携によって未知の攻撃対象への適用が迅速に行える可能性を有する。

（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ため，トラヒック状態の解析だけでなく，ネットワーク上に存在するログデータ活用の検討も必要と考えられる。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. A. Takahashi, R. Igarashi, K. Sasai, H. Ueda, Y. Iwaya, T. Kinoshita and M. Hashimoto, "Characterization of the Imaged R/S Pox Diagram for Low-rate DoS Attack," Proc. of ICMR 2017 (Akita, Japan), BP-19, pp. 425-430, Oct. 2017.

2. 梅田冬稀，高橋秋典，橋本仁，五十嵐隆治，"低レート DoS 攻撃に注目した R/S Pox Diagram の特徴的変化と攻撃検知への応用"，平成 29 年度情報処理学会東北支部研究会予稿集，Dec. 2017.

3. Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Knowledge-Based Network Management System for Movable and Deployable ICT Resource Unit," Journal of Computer and Communications, Vol. 5, No. 7, pp. 135-151, May 2017.

4. Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Service Oriented Network Management with Knowledge-Based Network Management System in Fluctuating Environment," Proc. of the 18th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2017), pp. 31-44, June 2017.

5. 門脇伸明，笹井一人，北形元，木下哲男，"Reactive network construction method considering user activity," 平成 29 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，p. 2B06, Aug. 2017.

6. Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Analysis of the Macroscopic Behavior of Server Systems in the Internet Environment," Applied Sciences, Vol. 7, No. 11, pp. 1145, Nov. 2017.

7. Takuya Hoshino, Yusuke Tanimura, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Support Mechanism for the Collaboration Between Humans and Agents in Network Management Tasks," Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 399-400, Oct. 2017.

8. 門脇伸明，笹井一人，北形元，木下哲男，"エージェント型スライス制御機構に基づくリアクティブネットワーク構成法，" 第 25 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集，pp. 16-23, Oct. 2017.

9. 志野嘉紀，笹井一人，北形元，木下哲男，"自律分散型タスクオフロードを用いたエッジコンピューティング，" 情報処理学会研究報告，Vol. 2017-MBL-85, No. 26, pp. 1-7, Dec. 2017.

10. Kazuto Sasai, Takuya Hoshino, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Collective interaction between humans and agents in the network management tasks," Proc. of The Twenty-Third International Symposium on Artificial Life and Robotics 2018 (AROB 23rd 2018), pp. 670-673, Jan. 2018.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3（先端）

採択番号：**H27/A25**

スマートコミュニティ構築のための システムアーキテクチャと基盤技術の開発

［1］組織

研究代表者

福田　晃（九州大学大学院システム情報科学研究院）

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

岡田 謙一（慶應義塾大学理工学部）
石原　進（静岡大学工学部）
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（福井工業大学環境情報学部）
小泉 寿男（東京電機大学理工学部）
佐藤 文明（東邦大学理学部）
白鳥 則郎（中央大学）
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）
塚本 昌彦（神戸大学工学部）
富樫　敦（宮城大学事業構想学部）
桧垣　博章（東京電機大学理工学部）
東野 輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科）
水野 忠則（愛知工業大学情報科学部）
宮西 洋太郎（(株)アイエスイーエム）
宗森　純（和歌山大学）
村山 優子（津田塾大学学芸学部）
由井薗 隆也（北陸先端科学技術大学院大学）
渡辺　尚（大阪大学大学院情報科学研究科）

延べ参加人数：23 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	302,000 円

［2］研究経過

スマートコミュニティとは，「環境配慮型都市」とも呼ばれており，再生可能エネルギーやコージェネレーションシステムといった分散型エネルギーを用いつつ，IoT や蓄電池制御等の技術を活用したエネルギーマネジメントシステムを通じて，地域におけるエネルギー需給を総合的に管理し最適化する社会システムである．また，エネルギー利活用だけでなく，交通システムや物流，農業，医療，高齢者見守りなどの行政サービスを ICT の導入によって高度化，高機能化するプロジェクトである．

従来のインフラの ICT 化とスマートコミュニティとの異なる点は，様々なインフラの情報を横断的に利用する点である．しかし，そのためには異なるインフラ間でデータの取り扱いの容易化，円滑化が必要となっている．異なるインフラ間でデータを横断的に利用可能とするためには，異なるインフラで生成された情報を融合し，加工して提供する様々なサービスが必要となる．また，これらの情報にはプライバシーに関わる情報が含まれており，これらを適切に匿名化するサービスが必要である．例えば，スマートメータで取得された各家庭の消費電力は，家庭内の生活の様子を表すプライバシーを含む情報と言える．大量のデータを蓄積し，そこから意味のある情報を取り出すためには，クラウドやデータセンタによる蓄積とマイニングサービスが必要である．また，リアルタイムに処理されるべきデータでは，クラウドに蓄積すると遅延が大きく制御に間に合わないため，データの発生元に近いサイト（エッジ）で処理するサービスが必要である．

本研究では，これらのスマートコミュニティ構築の課題に対応するための，システムアーキテクチャとその基盤技術を研究開発することが目的である．今年度は，本プロジェクトの最終年度であり，異なるサービス間で横断的にデータを共有することによって可能となる統合的シミュレーションシステムの研究，クラウドにデータを集約するだけでは応答性に問題がある例として電力会社と需要家間で需給バランスを調整するデマンドレスポンスにエッジコンピューティングを適用する研究，そして位置情報という共通的なデータを使ってサービスを提供する事例として屋内ナビゲーションシステムの開発を行った．

以下，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29年12月1日～12月2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12, 他15)

A. 研究報告

(1)「これからのコミュニティシステム」水野忠則(愛知工業大学)

(2)「ウェアラブルIoTの研究」塚本昌彦(神戸大学)

(3)「フレキシブルIoTエッジコンピューティングモデルと応用」」北上眞二(福井工業大学), 白鳥則郎(中央大学)

(4)「超スマート社会を支える無線ネットワーキング技術」渡辺尚(大阪大学)

(5)「持続可能なスマートモビリティ研究」福田　晃(九州大学)

(6)「拡張現実を用いた屋内ナビゲーション」佐藤文明(東邦大学)

(7)「災害コミュニケーションにおけるインクルーシブな観点からの課題」村山優子(津田塾大学)

(8)「農学, 文系等の非IT系学生へのIoT教育カリキュラムの提案」小泉寿男(東京電機大学)

(9)「農業におけるIoTの展開」高橋修(はこだて未来大学)

(10)「嗅覚ディスプレイの動向」岡田謙一(慶応大学)

(11)「医療・健康におけるソーシャルオープンデータの活用」東野輝夫(大阪大学)

［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）エージェントベースの統合シミュレーション環境(成果論文(1))

IoT(Internet of Things)技術の発展により, スマートモビリティシステムが新たな社会基盤システムとして注目されている. そのなかで, ITS(Intelligent Transport Systems)関連のシステムやサービスの開発技術やそのライフサイクルに関する研究がますます重要になっている. 本研究の目的は, 次世代の社会情報基盤システムを安全に, かつ安心して使用するために, システムに組み込まれているソフトウェアの不具合を自動的かつ迅速な検証を可能にすることである. この目的のためには, シミュレータにトラフィック情報を生成する機能やITSサービスを作りこむ必要がある. しかし, この作業は実際にITSサービスを構築する作業と同程度の労力を必要とし, コストと時間がかかる問題があった. 本研究で提案するエージェントベースの統合シミュレーションは, シミュレータとITSサービスの実環境とのコミュケーションにより, シミュレータ上にITSサービスを作りこまなくても評価できるメリットがある.

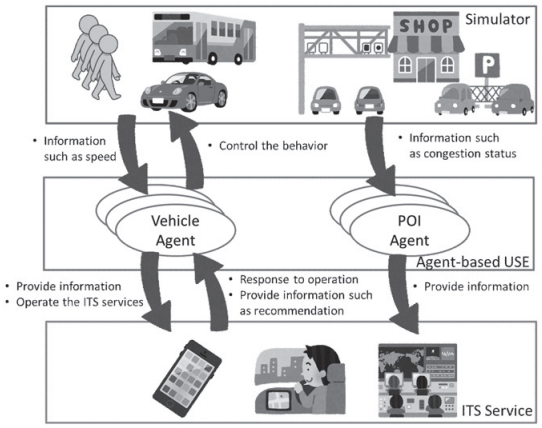


図1　エージェントベースの統合シミュレーション

ⅱ）柔軟なIoTエッジコンピューティングアーキテクチャ(成果文献(5))

クラウドを用いた情報のアップロードや制御には応答時間がかかるため素早い制御が難しい. この課題に対して, データの発生元に近い場所で処理を行うエッジコンピューティングが提案されている. しかし, エッジとクラウドとの役割分担が不明確で, 動的な資源の変動に対応できていない.

この研究では, 電力会社と需要家間で需給バランスを調整するデマンドレスポンスにエッジコンピューティングを適用する際に, エッジにおける個別最適化とクラウドによる全体最適化を組み合わせる役割分担方式を提案した. クラウドとエッジとの間で, コスト関数内に含まれる共有変数を使った通信を行うことで, クラウドとエッジとの間のネゴシエーションを可能とする. このアーキテクチャは, 電力会社と電力需要家との間のデマンドレスポンス制御に応用できることを確認した.

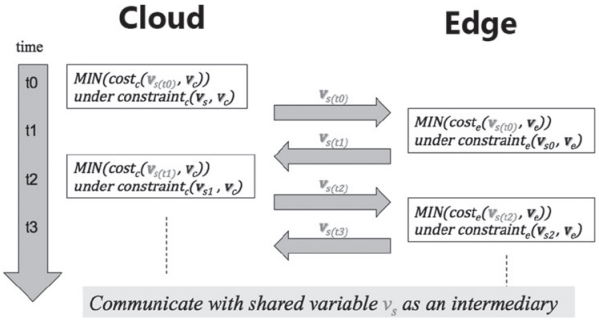


図2　クラウドとエッジとのネゴシエーション

ⅲ）ARマーカを用いた屋内ナビゲーション(成果文献(4))

歩行者や自動車の位置情報は, 渋滞情報やITSサービスを提供するうえでの基礎的な情報である. 本研究では, 屋内での歩行者の位置情報を取得するのに

拡張現実（AR：Augmented Reality）におけるマーカを用いる方法を提案している．マーカによる位置情報取得は，無線LANやビーコンを用いた方式よりコストが低く，評価実験により位置精度も高いことが明らかとなった．この研究では，位置情報をクラウドで管理し，その情報をもとに歩行者ナビゲーションを実施している．その結果，より混雑度の低い歩行経路を提示す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

本研究ではスマートコミュニティ構築のための基盤システムを構築し，インフラ横断的な情報サービスを各種アプリケーションに提供することが可能となった．基盤技術としては，歩行者や自動車の位置情報など多数のアプリケーションで共有できるデータの蓄積方法や管理方法，API を開発した．また，それを使ったシミュレータやナビゲーションなどのアプリケーションを開発した．また，農業，医療，教育といった分野への様々なアプリケーション・サービスを開発した．

また，本プロジェクトメンバーが中核となる新しい国際学会が設立され，白鳥，東野，岡田，水野，宗森らによる国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics)2017 を９月 3〜6 日にクロアチア・ザグレブで開催した．本国際会議において，本プロジェクトに関わるセンサネットワークやセキュリティに関する研究成果が報告された．

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（戦略的情報通信研究開発推進制度）等の外部資金獲得へつなげていく予定である．

［４］成果資料

(1) R. Fujii, Takahiro A., Kenji Hisazimi, T. Mine, T. Nakanishi, and A. Fukuda, ”Development of Support Environment Towards Traffic Simulation for ITS Services”, Proc. the 15th Int. Conf. on Software Engineering Research and Practice (SERP’17), pp. 98-103, 2017.7.17-20, Las Vegas, USA.

(2) S. Ishida, Y. Takashima, S. Tagashira, and A. Fukuda: Design and Initial Evaluation of Bluetooth Low Energy Separate Channel Fingerprinting, New Trends in E-Service and Smart Computing, Studies in Computational Intelligence, vol.742, Springer, pp.19-33 (2018)

(3) Yuria Oigawa, Fumiaki Sato, ″Improvement in IntErzone Routing Protocol of ZRP Based on Bloom Filter″, Journal of Information Processing (JIP)-Information Processing Society, Volume 26 (2018) Pages 124-131.

(4) Fumiaki Sato, Indoor Navigation System Based on Augmented Reality Markers, The 11th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS-2017), pp.266-274, 2017.7.11.

(5) Shinji Kitagami, Takuo Suganuma, Tadashi Ogino and Norio Shiratori, “Proposal of A Multi-agent Based Flexible IoT Edge Computing Architecture Harmonizing Its Control with Cloud Computing,” The Fifth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR2017), Aomori, November 2017.

(6) T. Suganuma, T. Oide, S. Kitagami, K. Sugawara, N. Shiratori, “Multiagent based Flexible Edge Computing Architecture for IoT,” Special Issue-Edge Computing for the Internet-of-Things, IEEE Network Magazine, January 2018.

(7) 小泉寿男，井上雅裕，大江信宏，秋山康智，市村 洋，清尾克彦：分野別 IoT 教育カリキュラムの提案，工学教育(J. of JSEE), 66-1, pp. 46-53 (2018)

(8) Makoto Kobayashi, Ryo Murakami, Kazuhiro Kizaki, Shunsuke Saruwatari, Takashi Watanabe, ″Wireless Full-duplex Medium Access Control for Enhancing Energy Efficiency″, IEEE Transactions on Green Communications and Networking, Vol.1, Issue 1, pp.205-221, 2018.

(9) Iori Otomo, Takuya Fujihashi, Yusuke Hirota, Takashi Watanabe, ″High Quality Multi-view Video Streaming over Multiple Transmission Paths″, IEICE Transactions on Communications, E100-B, 8, pp.1-11, 2017.

(10) Akihiro Yamashita, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno: Acceleration Method for Real-time Processing in Distributed Control System, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2017), pp.19-27 (2017.9).

(11) Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa: An Energy-aware Load Balancing Algorithm to Perform Computation Type Application Processes in a Cluster of Servers, International Journal of Web and Grid Services (IJWGS), vol.13, no.2, January 2017, pp.145-169 (DOI: 10.1504/IJWGS.2017.10004125).

(12) Teruo Higashino, Hirozumi Yamaguchi, Akihito Hiromori, Akira Uchiyama, Keiichi Yasumoto: Edge Computing and IoT Based Research for Building Safe Smart Cities Resistant to Disasters, IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2017. pp.1729-1737, (2017.6).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(若手)

採択番号：**H27/A26**

ユビキタスシステムの実世界導入に向けた実証的研究

［1］組織

研究代表者
荒川 豊　(奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科)
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
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)
村尾 和哉 (立命館大学 情報理工学部情報システム学科)
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 (名城大学理工学部情報工学科)
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 未来科学部情報メディア学科)
梶 克彦　(愛知工業大学 情報科学部情報科学科)
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)

延べ参加人数：１６人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	261,000 円
若手特別支援費	100,000 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、3 年間実施してきた。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)災害、4)農業という 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、2017 年 12 月 1 日～2 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 5 名に加えて、関連する別の研究グループからも 21 名が参加し、計 25 件の最先端研究が発表された。さらに、2018 年 2 月 22 日に電気通信研究所において開催された平成29年度共同プロジェクト研究発表会では、若手プロジェクト成果報告として、名古屋大学・廣井が Empirical Researches for Introducing Ubiquitous Systems into the Actual Life と題してポスター発表を行い、討論を行った。

［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。研究代表者である奈良先端大・荒川は、1 年目、２年目では、カーシェアリングシステム上での行動変容を取り扱っており、その成果が国際会議に採択された（[4]-(1)）。３年目は、オフィスに対する社会実装を進め、職場内で行動変容を引き起こし、メンタルヘルスの改善へ繋げていくという試みについて報告した。オフィス内で、無意識の行動を誘発し、適切な休息や新たなコミュニケーションに繋げていく手段として、姿勢を継続的に計測可能な椅子（[4]-(2)）、集中度を可視化するランプ（[4]-(3)）、積極的に話しかけてくるサイネージ（[4]-(4)）などを開発した。立命館大・村尾からは、行動認識の基盤技術とその応用について報告があった。1 つ目は、競技かるたにおける札

取得者判定システムであり、その成果は、Journal of Information Processing に掲載され、特選論文に選定されている（[4]-(5)）。2 つ目は、手書き文字認識と認識結果の修正機構を搭載した採点作業の集計作業を自動化するシステムであり、その成果は、国際会議 MobiCASE2018 に採択された（[4]-(6)）。

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。大阪大・内山は、都市部における様々な混雑状況をクラウドソーシングにより把握するための手法（[4]-(7)）を提案した。ドライブレコーダーの映像に対して深層学習を利用することで、歩道における人流の詳細かつ広範囲な把握を実現している。また、スマートフォンセンサを活用し、インフラに依存しない形で駅構内の様々なエリアにおける混雑状況の推定を実現した。その成果は、国際会議 Percom2018（[4]-(8)）に採択されている。九州大・石田は、アドホック測位ネットワークを用いたオンデマンド屋内位置情報サービス（[4]-(9)）を提案した。この研究は、イベント会場などにおける一時的な屋内位置情報サービスの実現を目指しており、アドホックネットワーク技術を用いることで設置と同時に位置情報サービスを提供できるという特徴がある。また、実世界の情報を得るための新たなセンシング技術として、ステレオマイクを用いた車両検出システムの基盤技術を開発した（[4]-(10)）。名城大・鈴木は、昨年度から継続して実施している無線 PAN 機器の遠隔制御技術の開発について、実用性を考慮して DTLS を適用してユーザ認証機能及び暗号化通信機能などセキュリティに関わる機能を新たに実装し、商用 LTE 環境を利用して遠隔地に存在する BLE 機器を遠隔で認識できることを確認した。また、一昨年に実施した無線センサネットワークを活用したバスロケーションシステムの仕様を刷新し、LPWA を利用した IoT バスロケーションシステムに関する研究開発を実施した（[4]-(11)）。バスの位置情報を 1 フレームで送信するための圧縮技術や、電子ペーパーを利用した超低消費電力で実現可能なスマートバス停を試作した。さらに、日進市が運営するコミュニティバスの情報を GTFS データとして整備し、Google マップへ反映させたことにより、バス情報の可視化や鉄道などとの乗換案内も実現した。これらの取り組みは、2017 年 8 月より愛知県 ITS 推進協議会より 3 年間の研究プロジェクトとして採択された。

第 3 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、突発的な大災害時における、飛行ロボットの自己位置推定手法の提案を行った（[4]-(12)）。また、ロボット、センサなどの IoT 機器の協調により避難誘導プランを決定し、避難行動を支援するエージェント型避難行動支援システムについて国際会議 GCCE2017 で発表し、Student Paper Award を受賞した（[4]-(13)）。名大・廣井は、都市水害の中でも市街地での浸水現象把握を目的として、(1)浸水発生箇所の実観測データに基づく浸水深の変動過程推定モデルと、(2)推定結果を用いた避難経路生成および交通流・人流把握と避難シミュレーションへの適用を提案している。本年度は、浸水発生に関する基礎データ収集を行うとともに交通流・人流を把握するための分析手法、シミュレーション手法の開発を行った。本研究の成果は、総務省 SCOPE に採択されている。

第 4 の成果として、**IoT を活用した農業の高度化に関する研究成果**を報告する。東京大・川原は、印刷エレクトロニクスを活用したセンシングシステム SenSprout の研究開発を行い、株式会社 SenSprout を通じて同技術を商用化し、普及活動を進めている。土壌水分センサでこれまで見えなかった土中の水分を可視化するだけでなく、潅水装置と連携させ、自動的に水やりを行うことも可能になった（[4]-(16), (17)）。

（特別支援（若手）に係る研究成果）

ユビキタスシステム向けのセンサ、シングルボードコンピュータを設置し、IoT 環境における生活支援システムの試作、成果を発表することができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

九州大・石田と奈良先端大・荒川が共著で論文（[4]-(18)）を執筆することに繋がり、現在も一緒に学生指導を行なっている。

また、本プロジェクトの繋がりから、若手研究者を中心とした、モバイルコンピューティングやアプリケーションに関する国際会議 MobiCASE2018 への開催へとつながった。立命館大・村尾が General Chair、愛工大・梶が Workshop Chair を務め、荒川、米澤、鈴木が TPC メンバーとして参加している。

- 会議、シンポジウム名　MobiCASE 2018
- 日時　2018 年 2 月 28 日～3 月 2 日
- 開催場所　大阪
- 参加人数　46 名

名大・廣井が発表したセンサネットワークを利用した浸水予測のとりくみは、総務省戦略的情報通信開発推進事業（SCOPE）の平成 29 年度若手 ICT 研究者等育成型（若手研究者枠）に採択された。

- プロジェクト名　異種データを用いた浸水予測の時空間解析手法の研究開発
- 資金制度、研究費名
  戦略的情報通信開発推進事業（SCOPE）平成 29 年度若手 ICT 研究者等育成型（若手研究者枠）
- 配分機関名　総務省

・研究期間　　H30 年から 3 年 2 ヶ月

同じく、名城大・鈴木が発表したバスロケーションシステムも下記のプロジェクトに採択されている。

・プロジェクト名　IoT 技術を利用した新たなバスロケーションシステムの開発と災害時情報配信システムへの展開
・資金制度、研究費名　安全・安心な愛知づくりのための ITS 研究補助金
・配分機関名　愛知県 ITS 推進協議会
・研究期間　　H30 年から 3 年間

国際連携へ繋がった例としては、日本学術振興会・二国間交流事業に採択された東北大・高橋、インドやアメリカの研究機関や大規模農家での実証がスタートしている東大・川原の成果が挙げられる。

［4］成果資料

(1) K. Senju, et al., Designing Strategy for Resolving Maldistribution of Vehicles in One-Way Car-Sharing through Active Trip Request to Potential Users, The workshop on Human-Centered Computational Sensing (HCCS'18), Mar. 2018.
(2) Y. Otoda, et al., Census: Continuous Posture Sensing Chair for Office Workers, IEEE International Conference on Consumer Electronics(ICCE 2018), Jan. 2018.
(3) 徳田博行ら、アイウェアによる集中力センシングに基づいた行動変容誘発システムの設計, 情処関西支部大会, Sep. 2017.
(4) 張志華ら、行動変容を誘発するためのインタラクティブサイネージの検討, 情処関西支部大会, Sep. 2017.
(5) H. Yamada, et al., A Method for Determining the Moment of Touching a Card using Wrist-worn Sensor in Competitive Karuta, Journal of Information Processing, Vol. 26, No. 1, pp. 38-47, Jan. 2018.**(特選論文)**
(6) K. Yamamoto, et al., GERMIC: Application of Gesture Recognition Model with Interactive Correction to Manual Grading Tasks, 9th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE2018), Mar. 2018.
(7) 原佑輔ら, 深層学習による頭部検出に基づいた車載カメラ映像からの人流推定法の提案, 情報処理学会研究報告, 2017-MBL-83(14), pp. 1-6, June 2017.
(8) M.Elhamshary, et al., CrowdMeter: Congestion Level Estimation in Railway Stations Using Smartphones, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Mar. 2018.
(9) J. Kajimura, et al.,Design of distributed calculation scheme using network address translation for ad-hoc wireless positioning network, Information Search, Integration, and Personalization (ISIP), Springer CCIS, vol.760, pp.33-48, Oct. 2017.
(10) 久保一雄ら, 離散ウェーブレット変換を用いた路側設置マイクによる省リソース車両検出手法の検討,情報処理学第 71 回 ITS 研究会, Vol.2017-ITS-71, No.21, pp.1-6, Nov.2017.
(11) 岡田真実ら,Bluetooth over DTLS による IoT デバイスの遠隔制御システム, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム(CDS), Vol.8, No.2, May 2018.
(12) L. Sinapayen, et al., Swarm of Micro-Quadrocopters for Consensus-based Sound Source Localization, Advanced Robotics, Vol.31, No.12, pp.624-633, Apr. 2017.
(13) K. Katayama, et al., Evacuation Guidance Support Using Cooperative Agent-based IoT Devices, Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.98-99, Oct. 2017.
(14) 今井瞳ら、複数事業者の路線バス運行実績データに基づく到着時刻予測モデルの提案と精度検証, 情報処理学会研究報告, 2017-ITS-71(23), pp.1-7, Nov. 2017.
(15) T. Arai, et al.,Simulation and Visualization of Bus Operation with Passengers using Actual Bus Management Information, The 16th ITS AP Forum FUKUOKA 2018, May 2018.
(16) Y. Kojima, et al., Matric Potential Sensor Using Dual Probe Heat Pulse Technique, JapaneseSociety of Agricultural Informatics, vol.26, no.4, pp.77-85, Dec. 2017.
(17) R. Shigeta, et al., Trilateration-Inspired Sensor Node Position Estimation for UAV-Assisted Microwave Wireless Power Transfer, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 10, No. 5, pp.350-359, Sep. 2017.
(18) 石田繁巳ら、オンデマンド屋内位置情報サービスに向けた分散測位型アドホック測位ネットワーク,電子情報通信学会論文誌, vol.J101-B, No.5,May 2018.

採択回数	1	2	3

（萌芽）

採択番号：**H27/A27**

嗅覚を含むマルチモーダル情報処理過程に関する研究

［1］組織

研究代表者：坂井　信之
（東北大学大学院文学研究科）
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：
行場 次朗（東北大学大学院文学研究科教授）
大沼 卓也（東北大学国際高等研究教育院院生）
山道 海路（東北大学大学院文学研究科院生）
鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所教授）

延べ参加人数：１０名

研究費：物件費　　100,000 円

［2］研究経過

現在の情報通信のメインは映像と音声によるものである。一方、人の外界の知覚は、単一の感覚のみによって生じるのではなく、複数の感覚の統合が必要となる。この意味に置いて、現在の情報通信による臨場感の伝達には限界がある。そのため、未来の情報通信を考えると、他の感覚を合わせた情報通信方法の開発は不可避である。しかしながら、嗅覚や味覚は実際に化学物質によって喚起される感覚情報であるため、化学物質の移動なしには、伝達することは難しい。そこで、申請者らは嗅覚や味覚と他の感覚の統合を応用し、化学物質の移動なしでも、臨場感を高める方法を提案したい。

現状では、複数の感覚種の情報の統合に関する研究は多くない。特に、今回申請を考えている嗅覚を含んだマルチモーダル情報処理過程についてはほとんど研究例がない。例外的にオックスフォード大学の Spence 教授らがおこなった嗅覚と聴覚の注意の共有機構に関するものや我々のグループがおこなった嗅覚と視覚、あるいは嗅覚と味覚の相互作用に関するものがある。しかしながら、嗅覚を含む３種類以上の刺激を組み合わせたマルチモーダル情報処理についてはほとんど研究されていない。そこで、本研究では、嗅覚を中心とし、嗅覚と視覚や聴覚との統合や相互作用の仕組みを明らかにすることで、化学物質の移動がなくとも、視覚や聴覚によって嗅覚を補い、臨場感を高める情報通信の方法を探ることを目的とする。

嗅覚を中心課題とする理由は、嗅覚が意識上、意識下に関係なく、人の外界の認知や外界への働きかけ、あるいは対人関係などに深く関与するということが知られているからである。視覚刺激や聴覚刺激を使って、このような無意識下の嗅覚機能を活性化することができれば、実際には嗅覚を刺激しない（化学物質を伝達しない）条件でも、嗅覚が刺激されたような感じを与えることができ、伝達される情報の臨場感を高めることができると期待される。

本研究では、電気通信研究所に設置されている嗅覚実験装置を使い、嗅覚が呈示されているときの視覚情報や聴覚情報処理について調べることを目的とする。仮説としては、嗅覚により喚起される表象が、視覚刺激や聴覚刺激の表象と一致するときには、それぞれの情報処理過程が促進され、不一致のときには抑制されるという仮説を元に実験をおこなう。

本年度では、嗅覚刺激を空気砲の原理を応用した嗅覚提示装置（Aroma Shooter）を用いて提示した。また、視覚刺激の提示には 17 インチのディスプレイを用いた。昨年度は複合刺激として提示をせずに、嗅覚刺激法が適切かどうか、嗅覚実験装置が適切に作動するか（外部に嗅覚刺激が拡散しないか、刺激の切り替えができる程度の換気量があるかなど）の確認を主な目的とし、今年度の本実験に用いる実験パラメータを得た。

本年度実施した研究は主に以下に記載する実験であった。

本実験には 60 名の東北大学学部学生・大学院学生が参加した。また、その構成要員は、日本人男性、日本人女性、中国人男性、中国人女性がそれぞれ 15 名ずつであった。

レモン、四角、ラベンダーのそれぞれの視覚刺激に黄色、モノトーン、紫色で色付けされたものを液晶ディスプレイ上に提示した。また、嗅覚刺激として、レモン香料とラベンダー香料を嗅覚提示装置により提示した。

実験参加者はディスプレイ前に置かれた嗅覚刺激

提示装置から 10cm、液晶ディスプレイから 25cm の顎台に顎を固定するように依頼された。それから視覚刺激と嗅覚刺激が提示されるので、嗅覚刺激に対する評定を評定用紙上に行うように教示を受けた。評定項目は香りの強度、香りの快不快、香りと画像の一致度であった。全ての実験参加者は 36 試行（視覚刺激 9 種類×嗅覚刺激 2 種類×繰り返し 2 回）の実験に参加した。視覚刺激および嗅覚刺激の提示順番はカウンターバランスをとった。

［3］成果

（3－1）研究成果

結果では、レモンの香りの強度評価において、性別の有意な主効果、性別 x 国籍の有意な交互作用が見られた。一方で、ラベンダーの香りにおいては、強度評価で、性別の有意な主効果は見られたが、性別 x 国籍の有意な交互作用は見られなかった。つまり、香り（レモンとラベンダー）に対する女性の強度評定値が男性より高いことが分かった。また、香りの快・不快評定において、レモンの香りとラベンダーの香り両方で、性別と国籍の有意な主効果、および性別 x 国籍の有意な交互作用が見られた。具体的には、中国人と比べ、日本人は香りに対してより快と感じていることが見られた。また、中国人においては、男性より女性の方が香りを快く感じることがわかった。一方、日本人においては、男性の方が香りに対する快・不快の評定値が高い傾向にあることが分かった。視覚刺激と嗅覚刺激の一致性評価については、２つの香りとも、性別および国籍の有意な主効果、性別 x 国籍の有意な交互作用はともに見られなかった。これらの結果から、香りの感性評価において、国籍や性別の影響が見られることがわかった。また、一般的に、香りに対しては、中国人より日本人の方が積極的な態度を持つこともわかった。さらに、中国人の場合は、性差の差異が明らかであったが、日本人の場合は、差異がほとんどなかった。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今回の研究結果から、視覚刺激と嗅覚刺激の同時提示により、嗅覚刺激に対する情報処理に変化が生じること、その変化は国籍や性別などの影響を受けることなどが明らかとなった。これらの影響は生物学的なものというよりは日常生活における文化的な現象であることが示唆された。

今後、視聴覚と嗅覚との多感覚統合研究を進めていく上で、普遍的な生物学的要因だけでなく、個々人の個性とも言える社会・文化的な要因も考慮しなければいけないことが明らかになった。

［4］成果資料

（論文発表）

姜毅男・山道海路・坂井信之『視覚刺激の色彩と形態が香りの印象評定に及ぼす影響』日本味と匂学会第 51 回大会 Proceeding 集, PP. S121-124, 2017

（口頭発表）

山道海路・坂井信之『香りのリラクセーション効果：心拍変動解析による検討』日本感性福祉学会第 17 回大会口頭発表 2017 年 10 月 28 日

姜毅男・山道海路・坂井信之『香りの感性における国籍と性別の効果』日本感性福祉学会第 17 回大会口頭発表 2017 年 10 月 28 日

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）

稲岡　毅（琉球大学）

延べ参加人数：6 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	220,000 円
国際特別支援費	200,000 円

［2］研究経過

カルコゲナイドや二酸化バナジウムは室温付近で安定な2相を有し、何れも相転移に伴い電気抵抗や屈折率が大きく変化する。例えばカルコゲナイドの結晶相・非晶質相の間の相転移では、5 桁程度の電気抵抗率変化や30%以上の屈折率変化を伴う。このため、従来は、光記録や相変化メモリといった産業応用がなされてきた。また、二酸化バナジウムでは金属相と半導体相があり、金属相ではプラズモンによる効率的な赤外吸収が可能であることから多機能ガラスなどへの応用がなされている。

残念ながら、我が国では記録デバイス産業の衰退と共に、相変化材料に関する旧来の研究は（基礎と応用の両面で）廃れつつあるのが現状である。一方、新しい応用、例えば光通信用スイッチへの応用、局在光と組み合わせた新しい光デバイス応用など、が提案され、国立研究所や大学が中心となり活発な取り組みが開始されている。

本プロジェクトでは、物性改質を目的として、これまでカルコゲン材料や二酸化バナジウムのナノ構造作製と評価に取り組んできた。これらの取り組みは継続されているが、今年度は個々のナノ構造の評価に力を入れた。すなわち、光スイッチへの応用を意識して、ピコ秒の時間スケールでのカルコゲン（具体的にはSb_2Te_3）の相転移現象の解明に注力した。

Sb_2Te_3は代表的な相変化材料であり、古くは熱電変換材料、光記録材料として研究され、近年はトポロジカル絶縁体材料として注目を集めている。我々は、ここ数年の共同研究により、Sb_2Te_3の走査トンネル顕微鏡（STM）発光の機構の解明を進めてきた。その結果、STM 発光分光により、電子バンド図中のF 点のバンドギャップエネルギーが決定できることを示してきた。また、昨年度の共同プロジェクト研究ではピコ秒の時間分解能を有する STM 発光分光法の開発を行い、二酸化バナジウムの相転移時間（30 ps）の決定に成功した。これらの成果に基づき、今年度はSb_2Te_3を試料対象とした計測を行った。

試料の Sb_2Te_3 薄膜の作製は桑原上級主任研究員（産業技術総合研究所）が担当した。測定は上原教授、片野准教授（東北大学）が担当した。

上述の材料・デバイス開発を意識した研究と並行して、STM 発光分光による局所振動分光法の開発を行って来た。振動分光は材料評価に欠くことが出来ない手法の一つであるが、位置分解能の悪さがナノ構造評価への展開を阻んできた。我々は STM 発光分光による振動分光を創始したが、なぜ振動分光が可能になっているかはよく理解できていなかった。今年度は稲岡教授（琉球大学）により理論的なブレーク・スルーがもたらされ、一気に理解が進んだ。

［3］成果

（3－1）研究成果

<u>Sb_2Te_3の時間分解STM発光分光の結果</u>（論文準備中）

以下のことが明らかになった。Sb_2Te_3にピコ秒レーザーパルスを照射すると、照射後 8.7 ps で F 点のギャップエネルギーが（レーザー照射前の値と比較して）30 meV 増加し、15.3 ps では約 200 meV まで増加する。その後、減少に転じ、28.7 ps で元のギャップエネルギーに戻る。カルコゲンのポンプ-プローブ・レーザー分光の結果によれば、ピコ秒レーザー

は、カルコゲナイドの結晶・非晶質相転移を引き起こすことが報告されている。今回の我々の結果と併せると、結晶・非晶質相転移とF点でのバンドギャップエネルギーの上昇の間に相関があることがわかる。

この結果は、Sb_2Te_3の結晶相と非晶質相の誘電関数の違いと整合する。すなわち、結晶相と非晶質相は共にローレンツ型の誘電関数を有する。結晶相でのローレンツ型の共鳴エネルギーはF点でのバンドギャップエネルギーが与える。一方、非晶質相のそれは、結晶相の値よりも約300 meV大きい。

また、STM発光で決定できるフォノンモードの強度も以上の結論を支持する。すなわち、F点でのバンドギャップエネルギーの上昇がない時にはA_{2u}モードのフォノンがSTM発光により検出されるが、ピコ秒照射後の8.7 ps~22 psの時間範囲では、F点でのバンドギャップエネルギーが上昇し、フォノン信号が消失する。一方、ラマン分光によれば、結晶相では強く観測される振動モードが非晶質相では非常に弱くなる。このようにSTM発光による結晶相・非晶質相の判定は従来の結果と極めて良く整合する。

本研究で用いた手法は、従来法では決定出来ない物理量（例えば、F点のギャップエネルギーやピコ秒の時間分解能でのフォノンエネルギー）を原子レベルの位置分解能で与える特長を有する。

STM発光分光スペクトルに現れる振動構造（論文(2)）

STM発光は、非弾性トンネリング過程により励起されるため、試料-探針間に印加する電圧をV、素電荷をeとすると、STM発光スペクトルは、eVで与えられるエネルギー（量子カットオフ）から低エネルギー側に向かって連続的なスペクトルとなる。可視域での発光では$V = 2$ V程度を必要とし、この場合にはスペクトル幅は振動エネルギーよりも大きくなる。従って、ラマン分光のような振動によるスペクトルシフトを基本とする振動分光は考えられない。

図1はCu(110)面上に吸着した単一ベンゼンのSTM発光スペクトルである。$V = 2.3$ Vで計測した。量子カットオフ近傍にステップ構造が見られる。この構造のエネルギー幅がベンゼン分子の振動モードの一つと一致し、得られる値に対して同位体効果も確認された。従って、このステップ構造はベンゼンの振動がもたらしているのは明らかであるが、機構は不明であった。

稲岡教授（琉球大学）により、図2のようなモデル計算がなされ、図3のような機構でステップ構造が生成されることがわかった。これはSTM発光分光による原子位置分解能振動分光にとって極めて重要な発見である。

なお、高い時間分解能のSTM発光分光法の開発は佐野教授（石川工業高等専門学校）と共同で行った。その結果は論文として準備し、投稿中である（Pump-Probe Scanning Tunneling Microscope Light emissionn Spectroscopy of Au(110) − (2 × 1), Y. Uehara, W. Iida, S. Katano, and H. Sano）。

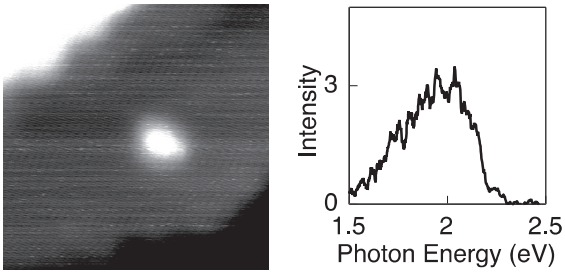


図1 ベンゼン分子のSTMトポグラフィ像（左）とSTM発光スペクトル（右）

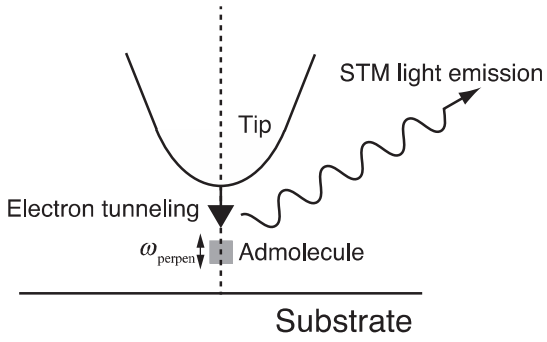


図2 分子振動を考慮したSTM発光モデル

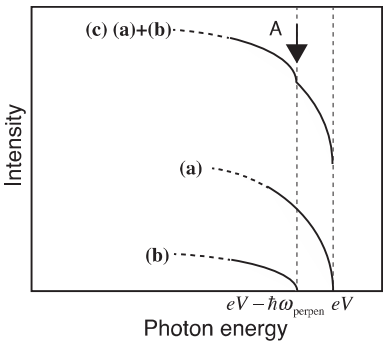


図3 従来の理論によるスペクトル(a)と図2のモデルにより分子振動を考慮したスペクトル(b)。これらの和が実際に観測されるスペクトルなので、Aの位置にステップ構造が現れる。

（特別支援（国際）に係る研究成果）

共同研究者の坂井穣博士（フランス、トゥール大学）が10/23-27の期間、東北大学に共同プロジェクト研究のために滞在した。昨年度に共同で実施した二酸化バナジウムの計測結果が論文として纏まり

（成果資料中論文の（1））、次のステップとして二酸化バナジウム・ナノ構造の相転移研究（すなわち、二酸化バナジウムの相転移のサイズ効果の研究）を考えている。このための試料準備の検討を行った。この時の議論に基づき、試験的に作製された（二酸化バナジウムではなく）金のナノ構造が年末にフランスから東北大学に送付されてきている。なお、共同プロジェクト研究とは直接の関係は無いが、坂井穣博士には10/25-26に開催された「RIEC International Symposium on Photonics and Optical Communication 2017」で、二酸化バナジウムの作製と、本共同プロジェクト研究での成果も含めた評価、そしてデバイス応用について講演を頂いた。

また、残念ながら不採択となったが、JSPSの「平成29年度二国間交流事業　共同研究」に東北大、フランス国立科学研究センター、産総研で申請を行った。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、ナノ粒子やSTM発光を基本とした研究を行ってきた。その中でカルコゲナイド微粒子の物性測定、カルコゲナイドからのTHz発光、二酸化バナジウムの相転移の時間分解測定などを明らかにしてきた。この研究の流れで、光通信用の光スイッチ素子の開発といった応用も芽生えている。今後更に、発光素子やメモリといった応用につなげるよう研究を進める所存である。

［４］成果資料

口頭発表

(1) 「カルコゲン合金のポンプ-プローブSTM発光分光」桑原正史、片野諭、坂井穣、上原洋一、2017年日本物理学会秋季大会、岩手大学

(2) 「Sb_2Te_3のポンプ-プローブSTM発光分光」上原洋一、片野諭、桑原正史、坂井穣、2017年真空・表面科学合同講演会、横浜市立大学

論文

(1) Pump-probe STM light emission spectroscopy for detection of photon-induced semiconductor-metal phase transition of VO_2, J. Sakai, S. Katano, M. Kuwahara, Y. Uehara, J. Phys. Cond. Mat. **29** (2017) 405001 (7 pages).

(2) Classical electricity analysis of the coupling mechanisms between admolecule vibrations and localized surface plasmons in STM for vibration detectability, T. Inaoka and Y. Uehara, J. Appl. Phys. **122** (2017) 085306 (11 pages).

共同プロジェクト研究

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：末光　哲也（～7 月）
（東北大学電気通信研究所）
佐藤　昭　（8 月～）
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：末光　哲也（8 月～）
（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
電気工学専攻）
細谷　友崇
（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　100,000 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 2 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いため、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。

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 の有望な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、末光教授らの作成したフィールドプレート付 InGaAs HEMT の回路モデルを作成し、これを用いてスイッチング動作型電力増幅器の設計、試作を行うとともに、電磁波方式無線電力伝送システムに適用したときの効率を理論およびシミュレーションにより評価する予定である。

（3）打ち合せの開催状況

本プロジェクト研究における平成 29 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 29 年 7 月 13 日（金）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（東北大学准教授（当時））、楳田洋太郎（東京理科大学教授）

打合せ内容：

8 月より末光哲也准教授が国際集積エレクトロニクス研究開発センターに教授として異動することとなったため、その後の本共同プロジェクト研究の体制について議論を行い、通研対応教員を佐藤昭助教（当時、現准教授）に依頼する方向となった。

・第２回研究打合せ

日時：平成 29 年 11 月 30 日（木）13 時 30 分～17 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也（東北大学教授）、佐藤昭（東北大学准教授）、楳田洋太郎（東京理科大学教授）

打合せ内容：

本共同プロジェクト研究に関するこれまでの進捗状況について、通研対応教員を引き継いだ佐藤准教授に説明を行った。また、InGaAs 系 HEMT 回路試作の課題と今後の進め方について、出席者３名で議論を行った。その結果、3 名で協力し、本研究を継続することとなった。また、本研究の発展として、総務省 SCOPE への応募を行うこととなった。楳田より、［4］成果資料（1）の論文について説明があった。

・第３回研究打合せ

日時：平成 30 年 1 月 19 日（金）13 時 30 分～17 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也（東北大学教授）、佐藤昭（東北大学准教授）、楳田洋太郎（東京理科大学教授）

打合せ内容：

総務省 SCOPE への提案の具体的な内容について議論を行った。その結果、InGaAs 系 HEMT を用いて試作した電力増幅器を使いミリ波電磁波方式無線電力伝送系を構築し、実験を行うことにより、その高効率性を実証する提案を行うこととなった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は, InGaAs HEMT の等価回路パラメータを用いてミリ波の各周波数にお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（［4］成果資料（1）参照）。

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。一方、周波数が高くなると、送電側の電力増幅器および受電側の整流器の効率が低下する。このため、高周波化によるアレーアンテナ間伝送効率の向上と送・受電回路効率低下のトレードオフの関係を明確化し、伝送に使用する周波数の最適設計を行った。

素子アンテナに方形マイクロストリップアンテナ（MSA）を備えるアレーアンテナを使用したときのウェアラブル端末に対する電磁波方式無線電力伝送系の一例を図 1 に示す。表 1 に示すように、送信アンテナとしては 20cm 四方、受信アンテナとしては小型のウェアラブル端末を想定して 2、4、8cm 四方の外形のアレーアンテナを用いている。このとき、アンテナの外形寸法に制限があることから、表 2 のように、周波数が高いほど実装できるアレーアンテナの素子数は増加する。Friis の式を用いた理論計算により得られた各伝送周波数における送受アンテナ間の電力伝送効率、および電力増幅器の DC-AC 電力変換効率と周波数の関係を図 2 に示す。図よりわかるように、周波数を周波数が上がるとアンテナ間の伝送効率は向上するが、電力増幅器の電力変換効率は低下する。また、整流器の AC-DC 変換効率も電力増幅器と同様に周波数の上昇とともに低下する。このように、アンテナ間の伝送効率と電力増幅器、整流器の電力変換効率はトレードオフの関係にあるため、システム全体の伝送効率が最大となる最適周波数が存在することがわかった。

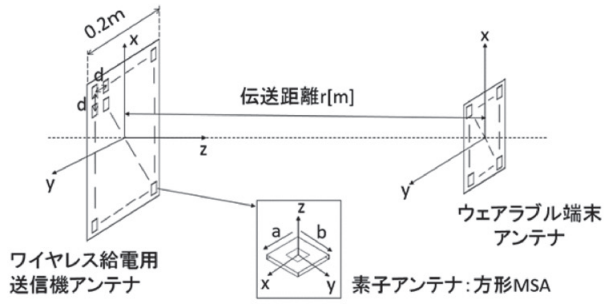


図１　平面アレーアンテナを用いたウェアラブル端末への電磁波方式無線電力伝送系の一例

表１　アレーアンテナの諸元

素子辺長a, b		0.325 λ [m]
素子間隔d		0.664 λ [m]
比誘電率 ε_r		2.27
アンテナ	送信アンテナ	20cm四方
外形寸法	受信アンテナ	2,4,8cm四方
アンテナの位置関係		正面のみ

表２　アレーアンテナの素子数
（アンテナ面積 4cm² の場合）

周波数[GHz]	送信アンテナ	受信アンテナ
10	10×10	1
30	30×30	3×3
100	100×100	10×10
300	300×300	30×30

つぎに、無線電力伝送システム全体の最適周波数 f_{opt} と f_{opt} における最大伝送効率 η_{max} を図３に示す。図よりわかるように、端末のアンテナ面積が 4cm² の場合、最適周波数はすべて 60GHz 以上のミリ波帯にあり、伝送距離 2m のとき f_{opt} は約 70GHz であることがわかった。

なお、今回は f_T=252GHz、f_{max}=208GHz の InGaAs 系 HEMT を評価に用いたため最適周波数は 60GHz 付近となったが、トランジスタの高速化に伴い、将来は 100GHz を超えるテラヘルツ帯でも高い電力伝送効率が実現できるものと予想される。

さらに、平成 30 年度は、最適周波数における電力増幅器効率をフィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いて設計、試作することにより、電磁波方式無線電力伝送応用における傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT の優位性を明らかにする予定である。

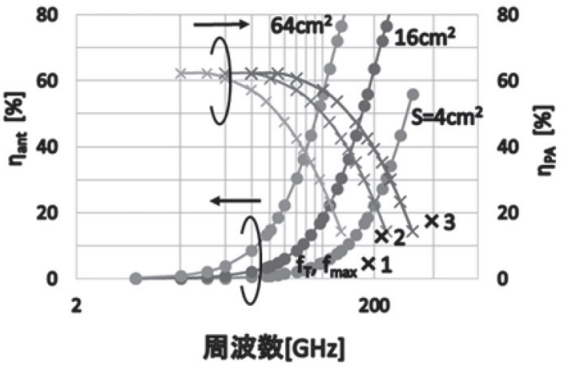


図２ 送受アンテナ間の伝送効率 η_{ant} と電力増幅器の DC-AC 変換効率 η_{PA}

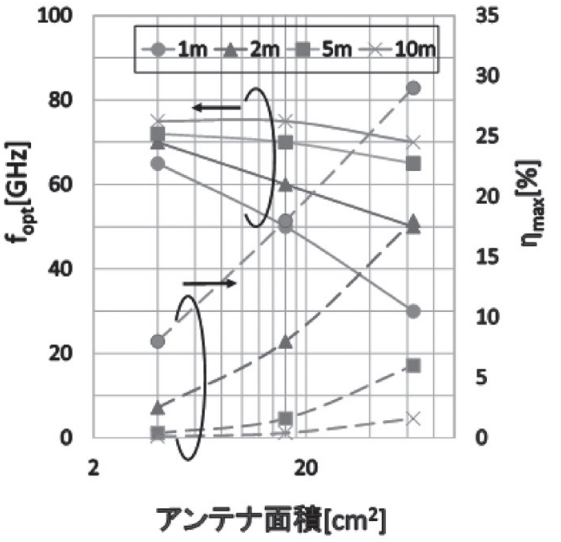


図３ 最適周波数 f_{opt} と最大伝送効率 η_{max}

（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、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）小池悠介，楳田洋太郎，末光哲也，“小形端末用電磁波方式 WPT に最適な周波数・最大効率の検討，”2017 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会，B-21-1，2017 年 9 月．

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（東北大学電気通信研究所）
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	100,000 円
旅費	247,000 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。本年度は、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。

また、本共同プロジェクト研究を推進するために、東北大学にて実験打ち合わせを実施し、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・運営した 3 つの国際会議 The 10th International Conference on Silicon Epitaxy and heterostructures, (Coventry, UK, May 14 -19, 2017)および 11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Sendai, Japan, Feb. 23-24, 2018)での意見・情報交換を通じて、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。

［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。

電子・正孔交互注入による Ge コア Si 量子ドット多重集積構造の発光特性

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、p-Si(100)基板上に高密度 Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造を形成し、その後、SiH_4 と Ar 希釈 O_2 (Ar:O_2=30:20)を用いたリモートプラズマ支援 CVD により約~10nm の SiO_2 薄膜を堆積し、上部および下部 Au/Al 電極を形成した構造において、室温 PL およびエレクトロルミネッセンス(EL)特性を評価した。尚、EL 測定は、p-Si 基板の上部電極周辺部に電子供給源を形成するため試料表面に 100W ハロゲンランプから赤外線フィルタを通して 100-800nm の光を照射し、矩形波電圧(500kHz, duty ratio:50%)を印加して基板裏面から行った。

形成した Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造からは、0.65～0.87eV にブロードな PL スペクトルが認められ、単層ドットと同様に 4 成分(Comp.1:~0.71, Comp.2: ~0.75eV, Comp.3:~0.79eV, Comp.4:~0.83eV)でピーク分離できる。EL スペクトルでは、電圧振幅 ±1.0V で 0.75eV 近傍に発光ピークが認められ、電圧振幅の増大に伴い EL 強度は増大し、高エネルギー側の増大がより顕著であった(図 1)。また、得られた EL スペクトルは PL と同様に 4 成分でピーク分離でき、印加電圧の増加による各成分のピークエネルギー位置の変化は認められなかった。高周波 C-V 測定(1MHz)を可視光照射下において行った場合、反転容量が蓄積容量まで増加することから、光照射により上部電極周辺で光生成された電子が電極下の反転層に供給され、電極周辺部がキャリアの供給源となることが確認できる。従って、これらの結果は、パルスバイアス印加により基板からからドットへ交互に注入された電子ー正孔の量子準位間での発光再結合で説明できる。各 EL 成分の積分強度を印加電圧に対してまとめた結果、Comp.1 は±3V 以上において飽和傾向を示すものの、Comp.2-4 は印加電圧に対して指数関数的に増大することが分かった(図 2)。尚、Comp.4 は±3V 以下では認められない。これらの結果から、Comp.2 は Ge コアにおける第一量子準位、Comp.3-4 は Ge コアにおける高次の量子準位を介した再結合発光であり、Comp.1 は Si クラッドから Ge コアへの電子波動関数の浸み出しにより生じる Si クラッドの伝導帯の量子準位と Ge コアの価電子帯の量子準位を介した電子ー正孔再結合に起因した発光であると考えられる。

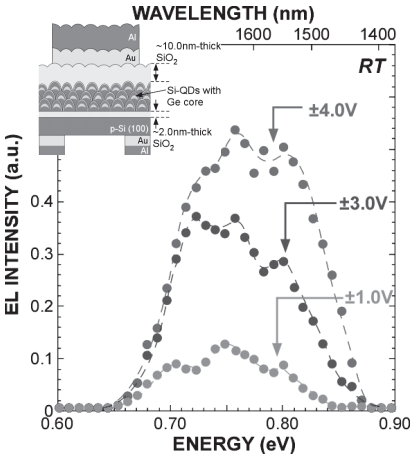


図1　GeコアSi量子ドット3層積層構造の室温ELスペクトルおよびデバイス構造の模式図（挿入図）。

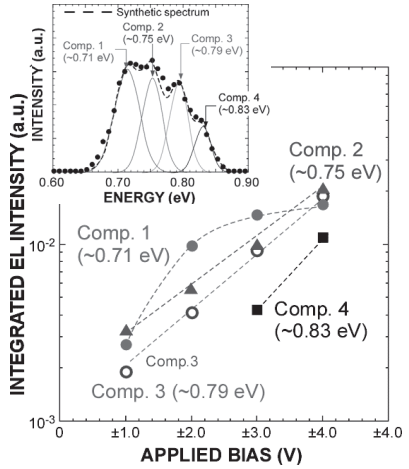


図2　ELスペクトルの波形分離(挿入図)および波形分離して得られた各EL成分の積分強度の印加電圧依存性。

（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）K. Makihara, M. Ikeda, S. Miyazaki,Luminescence Studies of Multiply Stacked Si Quantum Dots with Ge Core, 11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, I-09 (Feb. 23-24, Sendai, Japan)

（3）K. Makihara, M. Ikeda, N. Fujimura, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electroluminescence of Super-atom-like Si-Ge based Quantum Dots Floating Gate, 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials, PS-9-03, (Sendai International Center, Sendai, Japan, September 19-22, 2017)

（4）K. Yamada, K. Makihara, A. Ohta, M. Ikeda, and S. Miyazaki, Characterization of Electroluminescence from Si-QDs with Ge Core, The 10th International Conference on Silicon Epitaxy and heterostructures, (Coventry, UK, 14 -19th May 2017).

（5）S. Miyazaki, K. Yamada, M. Ikeda, and K. Makihara, High Density Formation of and Light Emission from Si-Quantum Dots with Ge core, MRS spring Meeting, ED6.9.02, (April 17-21, 2017, Phoenix, Arizona).

（6）牧原克典、池田弥央、藤村信幸、大田晃生、宮崎誠一，電子・正孔交互注入による Ge コア Si 量子ドット多重集積構造からのエレクトロルミネッセンス，第 65 回応用物理学会春季学術講演会，20a-F104-5（於 早稲田大学　西早稲田キャンパス，2018 年 3 月 17 日-20 日）

（7）牧原 克典、池田 弥央、藤村 信幸、大田 晃生、宮崎 誠一，電子・正孔交互注入による Ge コア Si 量子ドット多重集積構造の発光特性，第 78 回応用物理学会秋季学術講演会，7a-A414-2，12-027（於 福岡国際会議場，2017 年 9 月 5 日-8 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/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	100,000 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。2年目にあたる2017年度は、10月4，5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、トンネル接合検出器2(0)件、マイクロ波力学的インダクタンス検出器3(1)件、量子ビット、ナノストリップ検出器読出を含むディジタル回路5(3)件、の講演が行われた。なお、()内は読出回路を主体とする講演であり、その比重が高いことがわかる。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。

超伝導トンネル接合素子(Superconducting Tunnel Junction, STJ)について、筑波大の武政氏と若狭氏が宇宙背景ニュートリノの崩壊で生じる赤外線光子の検出器について、開発状況の報告があった。宇宙背景ニュートリノは、宇宙初期の熱いビックバンのときに生じたニュートリノで、138 億年たった現在においても宇宙に残存する。1 立方センチメートル当たり、約300 個の背景ニュートリノが存在する。素粒子の標準模型では、ニュートリノは安定であるが、ある種の素粒子モデルでは、重いニュートリノは崩壊し、軽いニュートリノと光子になる。その光子は遠赤外線である。分光器とSTJ を用いて1光子ずつ波長毎に宇宙からの赤外線スペクトルを測定することにより、宇宙背景ニュートリノの存在を直接証明することを目的とする。赤外線光子の信号は大変微弱なため、極低温で作動する信号増幅器が鍵となる。SOI (Silicon On Insulator)で形成されるトランジスターは、極低温下でも動作することが確認されている。そのため、STJ とSOI 上のトランジスター回路からなる信号増幅器を組み合わせた赤外線光子検出器システムが開発されている。SOI 回路上にSTJ を作製することに成功しており、SIS 結合で生じる超伝導ギャップが起因する特有のＩＶカーブと、ジョセフソン電流が観測され、また、STJ による可視光の応答もみられた。極低温増幅SOI 回路の帯域が広がり、1MHz 近傍の信号でもデザイン通りに増幅することが可能になった。

国立天文台の野口氏は、Al 薄膜を用いた超伝導共振器を形成し、そのQ 値の温度依存性を測定・解析したところ、不純物による伝導電子の散乱で生じる近藤効果とBCS 理論における力学的インダクタンスの寄与を考慮したモデルでよく記述できることがわかった。岡山大の喜田氏は、Nb で作製されたLEKIDの力学的インダクタンスの成分比を測定するために、共振器の温度依存性を測定し、その値を0.03 であることをつきとめた。東北大学の石徹白氏は、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊および暗黒物質探索を目指した超伝導検出器 (LEKID)開発状況を報告した。基板としてNdF3 を用い、その上にAl の薄膜を形成し、LEKID をリソグラフィーで作製した。Nd は高いQ 値で二重ベータ崩壊することが知られており、超伝導検出器を用いることにより、基板内で付与されたエネルギーをフォノンに変換し、そのエネルギーを測定することを目的としている。現在冷凍機や測定装置の調整中であり、近々に測定を開始する予定である。

埼玉大の明連氏は、超伝導ナノワイヤー検出器アレイを用いた単一光子光速検出器の開発状況について報告した。ミアンダ型ナノワイヤー部分を並列構造とすることにより、出力電圧の立ち上がりを短縮することに成功した。検出器アレイからの信号を増幅するために、多段 DFQ (Double flux quantum)ドライバーで構成された増幅器を提案し、基本的な動作を試作回路により確認した。また、並列入力 DFQ 増幅器を検討し、高出力・高速応答化に有効であることを確認した。情報通信機構の藪野氏は SFQ (Single flux quantum) 回路による大規模SSPD(Superconducting single photon detector)アレイの信号読み出し技術の開発状況について報告した。1024 ピクセル SSPD アレイの作製を行い、その超伝導特性及び光応答性において、正常に動作することを確認し、SFQ 回路で読み出すのに必要な出力電流を確認した。情報通信研究所の三木氏は、SFQ 回路による同時計数回路を新たに提案し、設計・作製を行った。２光子検出器を試み、その時間ジッターが従来のものより 30%程度低減が得られた。今後２光子干渉観測への向けて新たなパスを創出した。

横浜国立大学の知名氏は、断熱型量子磁束パラメトロン(AQFP)回路を用いたパラレル・シリアル変換回路の動作シミュレーションおよびその回路設計を行った。この開発により、任意のビット数のパラレル・シリアル変換回路を構成することが可能になると期待される。名古屋大学の佐野氏は、NbTiN 薄膜の評価とナノ構造熱援用デバイスへの応用について考察を行い、これまで課題となっていた超伝導・半導体回路間を含めた超伝導低電力広帯域出力インターフェースを具体化に向けた開発を行う。実際に単体のデバイスを作製し、CMOS メモリーセルと接続し、読み出し試験を行い、MOS トランジスターの駆動に成功した。

（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。

本プログラムと関連して、以下の国際会議が開かれた。

・会議名：17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17)
・日時：2017年7月17日～21日
・開催場所：福岡県久留米市　久留米シティプラザ
・参加人数：335名

［4］成果資料

[1] H. Watanabe, S. Mima, S. Oguri, M. Yoshida, M. Hazumi, H. Ishino, H. Ishitsuka, A. Kibayashi, C. Otani, N. Sato, O. Tajima, N. Tomita, "Development of an Optical Coupling with Ground-side Absorption for Antenna-coupled Kinetic Inductance Detectors," IEICE Trans. Elec. E100.C (2017) 298-304; doi:10.1587/transele.E100.C.298

[2] Y. Mizugaki et al., "Thermally-Fluctuated Single-Flux-Quantum Pulse Intervals Reflected in Input-Output Characteristics of a Double-Flux-Quantum Amplifier," J. Phys.: Conf. Series, vol. 871 (2017) 012066.

[3] Y. Mizugaki et al., "Single-Flux-Quantum Bipolar Digital-to-Analog Converter Comprising Polarity-Switchable Double-Flux-Quantum Amplifier," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1400104.

[4] Y. Nakashima et al., "Adjustable SQUID-resonator direct coupling in microwave SQUID multiplexer for TES microcalorimeter array," IEICE Electron. Exp., vol. 14, 20170271 (2017).

[5] 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, 035005 (2018).

[6] Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, and S. Sato, "Quantum Associative Memory with Quantum Neural Network via Adiabatic Hamiltonian Evolution," IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E100-D, no. 11, pp. 2683-2689 (2017)

[7] M. Tanaka, M. Suzuki, G. Konno, Y. Ito, A. Fujimaki, and N. Yoshikawa, "Josephson-CMOS Hybrid Memory With Nanocryotrons," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 No.4 (2017) 1800904.

[8] R. Sato, Y. Hatanaka, Y. Ando, M. Tanaka, A. Fujimaki, K. Takagi, and N. Takagi, "High-Speed Operation of Random-Access-Memory-Embedded Microprocessor With Minimal Instruction Set Architecture Based on Rapid Single-Flux-Quantum Logic," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 No.4 (2017) 1300505.

[9] N. Takeuchi, S. Nagasawa, F. China, T. Ando, M. Hidaka, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Adiabatic quantum-flux-parametron cell library designed using a 10 kA cm^{-2} niobium fabrication process," Superconductor Science and Technology, vol. 30 (2017) 035002.

[10] C. L. Ayala, N. Takeuchi, Y. Yamanashi, T. Ortlepp, N. Yoshikawa, "Majority-logic-optimized parallel prefix carry look-ahead adder families using adiabatic quantum-flux-parametron logic," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1300407.

[11] F. China, N. Tsuji, T. Narama, N. Takeuchi, T. Ortlepp, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Demonstration of Signal Transmission Between Adiabatic Quantum-Flux-Parametrons and Rapid Single-Flux-Quantum Circuits Using Superconductive Microstrip Lines," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1300205.

[12] G. Konno, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Fully Functional Operation of Low-Power 64-kb Josephson-CMOS Hybrid Memories," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1300607.

[13] T. Ono, H. Suzuki, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Design and Implementation of an SFQ-Based Single-Chip FFT Processor," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1301505.

[14] K. Sano, T. Shimoda, Y. Abe, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Reduction of the Supply Current of Single-Flux-Quantum Time-to-Digital Converters by Current Recycling Techniques," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1300305.

[15] M. Tanaka, M. Suzuki, G. Konno, Y. Ito, A.Fujimaki, N. Yoshikawa, "Josephson-CMOS Hybrid Memory With Nanocryotrons," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27 (2017) 1800904.

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	100,000 円
旅費	82,000 円

［2］研究経過

半導体中の局在電子分極のエネルギー状態は離散化しているため、フォノンとの相互作用が非常に小さいことが知られている。このため、局在電子分極の位相緩和時間は非常に長い(均一幅は非常に細い)ことが実験的に確かめられている。一方、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。このうち電子分極の縦波成分は光誘起電荷と等価であるため、局在電子分極を光学励起すると、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するため（局所電場効果)、電子分極の共鳴周波数は光励起強度により制御可能であることが示唆されている。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においては電子分極の共鳴周波数が励起光の照射強度により変化するため、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を探索することを第一目標に研究を進めた。具体的には半導体中の電子分極の局在中心である不純物中心に束縛されている励起子分極に着目し、束縛励起子分極が局所電場効果を発現するかを、時間分解分光により実験的に検証を行った。半導体中の不純物中心に束縛されている励起子分極は非常に強く空間的に局在しているため、量子ドット中の電子分極と同様な振る舞いを示すと期待される。また、同種原子に起因する不純物中心に束縛されている励起子分極の共鳴周波数は同じ値を示すことから、巨視的な実験、測定によっても局所電場効果が示す新しい光学効果を観測しやすい利点を持つ。

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２９年１１月２９日～１２月１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４．２μm)中のGa不純物準位に局在した中性励起子に着目し、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Ga不純物中心に局在するライトホール励起子であり、励起レーザー光をその準位に共鳴させ、四光波混合(FWM)シグナルを測定することで

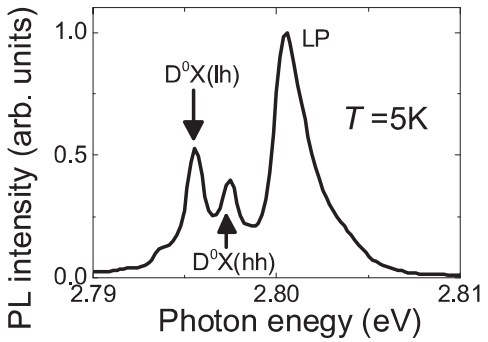


図１：ZnSe/GaAs の発光スペクトル

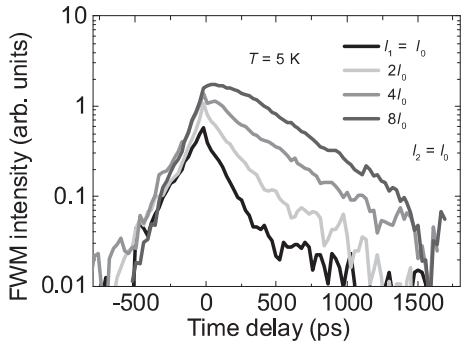


図2:FWM シグナル応答の励起強度依存性

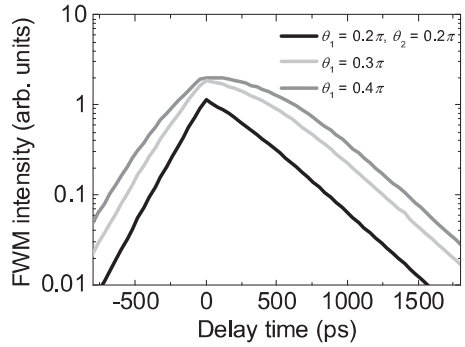


図3:FWM シグナル応答の理論曲線

局所電場効果特有の光学効果の観測を行った。FWM はk_1、k_2の波数の異なる２つの励起パルスをサンプルに照射し、$2k_2-k_1$方向に発生するシグナル光強度を２つのパルスの遅延時間の関数として測定する分光法である。

FWM シグナルの励起強度依存性を図２に示す。通常、２準位系における FWM シグナルの応答は遅延時間０において急激にシグナルが発生し、その後、位相緩和過程の影響を受けて指数関数的に減衰する。しかし、ZnSe 薄膜中の不純物中心に局在する励起子分極においては、負の遅延時間領域からシグナルが発生し、さらに励起光強度を増加させると正の遅延時間領域において、指数関数的減衰から非指数関数的応答へ変化する過程が観測された。これは局所電場効果により、異なる波数を持つ光パルス励起で、局在電子分極の共鳴周波数がサンプル内で波数k_2-k_1で空間的に変調された結果、位相回折格子が生成され、高次の FWM シグナルが発生していると理解することができる。図３に局所電場効果が出現時の FWM シグナル応答の理論計算結果を示す。理論曲線の励起強度依存性は非常に実験結果を再現しており、半導体中の不純物準位に局在する励起子分極において局所電場効果が発現することが本実験結果より明らかになった。

（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。本研究プロジェクトにより、局所電場効果による新しい光学効果が出現する可能性を指摘することができた。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しい光学効果である局所電場効果が観測されることは、新しい材料物性機能を既存の半導体に付加することに対応する。また、半導体中の不純物中心に束縛された励起子分極は共鳴周波数が均一なため、量子力学的効果を容易に巨視的測定によって抽出できると期待されるため、新しい動作原理の光デバイス開発に向けた可能性が大きく広がったと考えられる。

［４］成果資料

本研究期間内において下記２件の学会発表を行った。また、現在、論文投稿準備中である。

（１）日本物理学会　2017 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”、 常盤圭佑、三森康義、Mark Sadgrove、 枝松圭一、小川佳宏

（２）日本物理学会　第 73 回年次大会、“ZnSe 中の不純物中心に局在する励起子の四光波混合 II”、三森康義、常盤圭佑、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)

Kali Nayak (University of Electro-communications, Center for Photonic Innovations)

延べ参加人数：4人

研究費

物件費	100,000円
旅費	247,000円
国際特別支援費	200,000円
若手特別支援費	100,000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 researcgm 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 nanodiamond particles. ii) We will 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.

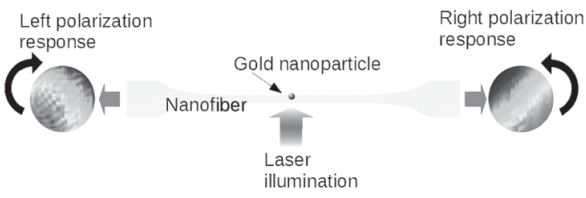


Figure 1: Measured polarization response of an optical nanofiber.

- Apart from published results, we have made the following progress in the lab:
  - Realization of a magneto-optical trap of rubidium atoms in the presence of an optical nanofiber with a gold nanorod attached to its surface
  - 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.
  - We have recently had accepted for publication a review paper on "Nanofiber quantum photonics".

（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 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

- National symposium:
  Quantum electronics meeting at Karuizawa
  Seminar House Karuizawa
  14-16 December, (2017).
  M. Sadgrove "Chiral waveguides",
  Participant number: ~50

- National syposium:
  NINS research meeting on optics
  NINS Okazaki
  11 October (2017)
  M. Sadgrove "Single photons with applications".
  Participant number: ~50

［4］成果資料

[1] K. Nayak, M. Sadgrove, R. Yalla, F. L. Kien, and K. Hakuta, "Nanofiber Quantum Photonics", Accepted, Journal of Optics (2018).

[2] M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, "Polarization response and scaling law of chirality for a nanofibre optical interface", Scientific Reports 7, 17085 (2017). {0 Citations}

[3] J. Ni, S. Dadras, W. K. Lam, R. K. Shrestha, M. Sadgrove, S. Wimberger, G. S. Summy, "Hamiltonian ratchets with ultra-cold atoms", Analen der Physik 529, 1600335 (2017). {2 citations}

[4] N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, K. Edamatsu, "Dynamically unpolarized single-photon source in diamond with intrinsic randomness", Scientific Reports 7, 46722 (2017). {1 citation}

[5] M. Sadgrove, K.P. Nayak, "Composite device for interfacing an array of atoms with a single nanophotonic cavity mode", New Journal of Physics 19 063003 (2017). {1 citation}

共同プロジェクト研究

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

大野 英男，大堀 淳，塩入 論，鈴木 陽一，佐藤 茂雄，石黒 章夫，北村 喜文，羽生 貴弘，外山 芳人，松宮 一道，秋間 学尚，加納 剛史，夏井 雅典，大脇 大，Wiliam Borders，横田 信英，山本 英明，五十嵐 純太，宗谷 哲，平野 愛弓，王 子超，篠田 悠斗，深見 俊輔，早川 岳志，織間 健守，奈良 公明，畠山 周，佐藤 拓，野村 将矢（東北大学電気通信研究所）

中尾 光之，片山 統裕（東北大学大学院情報科学研究科）

矢野 雅文，中島 康治（東北大学名誉教授）

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）

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，松田 雄馬（日本電気（株））

大淵 康（東京工科大学メディア学部）

内平 直志（北陸先端科学技術大学）

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）

Timothée Levi（東京大学生産技術研究所）

富岡 洋一，Stanislav Sedukhin（会津大学コンピュータ理工学部）

三宅 陽一郎（（株）スクウェア・エニックス）

田向 権（九州工業大学生命体工学研究科）

青野 真士（慶應義塾大学環境情報学部）

高橋 宏知（東京大学先端科学技術研究センター）

田中 剛平（東京大学工学系研究科）

萩原 将文（慶應義塾大学理工学部）

吉田 知也（経済産業省商務情報政策局）

林 秀樹（NEDO 技術戦略研究センター）

水林 亘（産業技術総合研究所）

延べ参加人数：76 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	302,000 円

［2］研究経過

現在、「AI（人工知能）」が第 3 の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大量のデータ(Big Data)を用いて、従来のニューラルネットワークの手法を、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、本年度が第2年度であった。前年度は、Brainwareに関してTuring Machineとの比較・検討に基づき、視覚認識における空間視のLSI実装や、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、研究活動状況の概要を記す。

研究会開催実績：

第1回 ブレインウェア研究会・平成29年7月5日
東北大学電気通信研究所本館6F　中会議室
『Biomimetic neural network for bio-hybrid systems』(東京大学・生産技術研究所・Timothée Levi)、
『脳型CNNアクセラレータの設計と解析』会津大学コンピュータ理工学部・富岡 洋一
出席者　24名

第2回 ブレインウェア研究会・平成29年10月6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
『仮想空間の生命の知能の構造について』((株)スクウェア・エニックス・三宅 陽一郎)、
『サービスロボットのための脳型人工知能』(九州工業大学・大学院生命体工学研究科・田向 権)
出席者　14名

第3回 ブレインウェア研究会・平成29年12月22日
東北大学電気通信研究所本館3F　M331室
『粘菌アメーバにインスパイアされた自然計算モデル』(慶應義塾大学 環境情報学部・青野 真士)、
『神経活動パターンの多様性と秩序:“生命知能”の源泉を探る』(東東京大学 先端科学技術研究センター・高橋 宏知)
出席者　19名

第4回 ブレインウェア研究会・平成30年2月7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
『省エネルギー脳型情報処理への数理的アプローチ』(東京大学 工学系研究科・田中 剛平)、
『知情意を考慮した人工知能へ』(慶應義塾大学 理工学部 情報工学科・萩原 将文)
出席者　26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、その基本アーキテクチャを提案した、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、実験によりその有効性を確認した。

● 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の基本的構成を提案した。

● 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、現状のCNNやリザバーコンピューティングについて検討を行い、ダイナミクスを有効に活用するアーキテクチャを提案した。

● 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29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30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。

［4］成果資料

(1) 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.

(2) Y Yagi, I Mitsugami, S Shioiri, H. Habe. “Behavior understanding based on intention-gait model,” Human-Harmonized Information Technology, 2, 139-172, 2017.

(3) H. Akima, S. Kawakami, J. Madrenas, S. Moriya, M. Yano, K. Nakajima, M. Sakuraba, and S. Sato, "Complexity Reduction of Neural Network Model for Local Motion Detection in Motion Stereo Vision," in Proc. ICONIP, 830-839, 2017.

(4) Y. Osakabe, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, and S. Sato, "Quantum Associative Memory with Quantum Neural Network via Adiabatic Hamiltonian Evolution," IEICE Transactions on Information and Systems, E100-D, 11, 2683-2689, 2017.

(5) S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, S. Kubota and S. Sato, "Modularity-Dependent Modulation of Synchronized Bursting Activity in Cultured Neuronal Network Models," in Proc. IJCNN, 1163-1168, 2017.

(6) Y. Osakabe, S. Sato, H. Akima, M. Sakuraba, and M. Kinjo, “Neuro-inspired Quantum Associative Memory Using Adiabatic Hamiltonian Evolution,” in Proc. IJCNN, 803-807, 2017.

(7) 佐藤直行 “ヒト海馬の神経回路モデルの構築,” 人工知能, 32, 6, 851-856, 2017

(8) Naoyuki Sato, “A theoretical study of subpopulation network structure and electroencephalogram coherence coupling,” The Annual Meeting of Society for Neuroscience. 2017.

(9) Naoyuki Sato, “Words-in-sequence memory formed by eye movement sequences during reading; A network model based on theta phase coding,” Neural Processing Letters, DOI: 10.1007/s11063-017-9632-4, 2017

(10) Naoyuki Sato, “Episodic Memory and the Hippocampus,” in: (Ed.) Ah A. Moustafa, "Computational Models of Brain and Behavior," Wiley-Blackwell, 2017.

(11) Naoyuki Sato, “Memory Processing in the Nervous System,” in: (Ed.) Alfons J. Schuster, "Understanding Information: From the Big Bang to Big Data (Advanced Information and Knowledge Processing)," Wiley-Blackwell. Springer, 2017.

(12) 松宮一道, 佐藤雅之, 塩入　諭, “サッカード変位抑制におけるブランク効果とランドマーク効果の比較 -信号検出理論による分析-”, 信学会技報 117, 259, HIP2017-71, 65-68, 2017.

(13) M. Nonomura, C.H. Tseng, K. Matsumiya, I. Kuriki, S. Shioiri, “Shift of visual attention to the illusory hand location”, The 13th Asia-Pacific Conference on Vision, 2017.

(14) K. Matsumiya, M. Sato, S. Shioiri, “Selective facilitation of the luminance visual pathway by postsaccadic target blanking”, The 19th European Conference on Eye Movements, 2017.

(15) T. Orima and Y. Horio, "An improved parameter value optimization technique for the reflectionless transmission-line model of the cochlea," Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, 4, 1, 49-52, DOI:10.2991/jrnal.2017.4.1.11, 2017.

(16) Y. Horio, "Towards a neuromorphic computing hardware system," in Proc. NOLTA, 189-192, 2017.

(17) T. Orima, and Yoshihiko Horio, "An improved formulation of feature values in passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea," in Proc. NOLTA, 128-131, 2017.

(18) Y. Horio and Takayoshi Fujino, "IC prototyping of a switched-current A/D converter circuit based on the golden ratio encoder," in Proc. NOLTA, 120-123, 2017.

(19) W.A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno "An artificial neural network with an analogue spin-orbit torque device," in Proc. IEEE NTERMAG Europe, Dublin, Ireland, 2017.

(20) T. Orima, and Y. Horio, "An improved parameter value optimization technique for the reflectionless transmission-line model of the cochlea," in Proc. Int. Conf. Artificial Life and Robotics, 136-139, 2017.

(21) T. Nakajima, H. Arisawa, R. Hosaka, and H. Mushiake, “Intended arm use influences interhemispheric correlation of beta oscillations in primate medial motor areas,” Journal of Neurophysiology, 118, 5, 2865-2883, 2017.

(22) Y. Matsuzaka, E. Sato, T. Kano, H. Aonuma and A. Ishiguro, “Non-centralized and functionally localized nervous system of ophiuroids,” Biol. Open, 6, 425-438, 2017.

採択回数	1	2	3

（萌芽・国際）

採択番号：**H28/A09**

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

［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
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）
月田　有香（Cheers Inc.）
藤原　健（大阪経済大学）
唐山　英明（富山県立大学）
横山　ひとみ（東京農工大学）
大塚　正斗（九州大学大学院）
Miguel Nacenta（University of St Andrews）
Sabah Boustila（University of Strasbourg）
延べ参加人数：10人

研究費

物件費	100,000円
旅費	232,000円
国際特別支援費	200,000円

［2］研究経過

近年，アイデアソンやハッカソンなどの共創型イベントが数多く実施されている．共創型イベントには，幅広い分野の人がチームとなり短期間に集中して議論することで，効率よくアイデアを創出できるという利点がある反面，初対面のメンバーでチームが構成されることが多く，ディスカッションの進行がぎこちなくなるという問題も生じやすい．この問題を解決する方法の一つとして支援ツールを導入することが考えられる．例えば，ディスプレイによる情報提示をすることで会議の流れを制御する方法などが一般的であるが，集団による作業は複雑な社会的要素を含むため，その効果を明快に説明することが難しかった．本研究では，長期目標として共創型知的創造活動の支援ツールの開発とその効果測定手法の確立を目指し，知的創造活動支援ツールの開発と創造性の定量化を目指す．本課題は昨年度より継続である．昨年度では，この目的に向けて，

(1)お菓子提示デバイス

(2)インプロ（コミュニケーション・トレーニング）の効果測定

について取り組んできたが，本研究期間ではそれらをさらに発展させ，(1)では，昨年度試作したお菓子提示デバイスを実証実験から得た知見をもとに改良し，共創型の知的創造活動の支援にさらに適した提示方法や状況センシングの種類や方法について検討した．次に，(2)については，昨年度実施したインプロによる効果測定実験のデータをもとに，共創型の知的活動の構造やインプロとの関連を詳細に調査解析した．

本プロジェクトは，昨年からの継続しているものであり，[3]に示すように，(2)のインプロについてはこれまで実施してきた実験データの見直しを進めて論文を学会に投稿し，研究のまとめの段階としたが，(1)については昨年度に引き続き研究分担者や通研対応教員と密に連係を取り，研究を大きく進めた．

［3］成果

（3－1）研究成果

(1) お菓子提示デバイスについて

本プロジェクトのユニークなポイントとして，共創場面での人々のインタラクションを円滑にするために，人々の状態や発話状態に応じてお菓子を自動的に提示するというアイディアがある．一昨年度の成果として，パイロット実験を実施する目的で，任意のタイミングで蓋が開き，約1分後に閉じる仕組みのお菓子提示デバイスを試作し，パルスセンサーを用い心拍変動（RRV）を算出し，ストレス状態により蓋の開閉を行う条件と，設定した時間間隔で蓋の

開閉を行う条件とコントロール条件の３条件で実験を行った．実験では「スマートフォンが今後どう発展していくか」というテーマで15分間のディスカッションを，被験者９名（男性６名，女性３名）３グループにわけて行った．実験結果の定量的評価のため，頭部移動量，会話，ストレス値を記録，実験後に主観評価（アンケート）を実施し，提案された各グループのアイデアを第三者評定により「Originality」「Feasibility」「Effectiveness」の３項目を５段階評価で５名に判定してもらった．被験者数が少ないため統計的評価はできないが，お菓子を提示することで，Originality のあるアイディアが創出できたこと，お菓子を提示することで食べている間に発話が抑制されるため，発話者が偏らず分散されるなどの特長があることが整理された．この実験は一昨年にしたものであるが，成果は今年度，2017年９月に東北大学電気通信研究所で開催された情報処理学会シンポジウム「エンタテインメントコンピューティング2017」にて発表した．聴衆からポジティブな評価を得た．このシンポジウムには大塚氏（九州大学）が参加して発表し，その後に発表や成果発表について打合せを実施し，提示デバイスの改良版ついて議論した．

その成果やフィードバックをもとに本年度はさらにデバイスの改良を施した．問題点として整理された点は，プロトタイプ実験で用いたお菓子提示の方法では，上部の蓋を開閉することで内部のお菓子を全て提示していたため，提示するお菓子の種類や量を調節できないという問題点があった．そのため，会議最初のアイスブレーキングに参加者の緊張をなごませる目的でお菓子を提示したり，会議終盤に脳が疲労したタイミングで糖分を提供するため甘いお菓子を提示するといったような，ディスカッションの進行に合わせた特定のお菓子を提示する機能を持たなかった．そこで，複数のレーンからなる自動お菓子提示デバイスを開発した（図２）．この装置は，クランプアームを用いてテーブルの上方に配置するため，プロトタイプ実験で用いた図１の初期のお菓子提示デバイスのように作業スペースを狭めるという問題点は改善されている．この改良版装置では，お菓子を上方から落下させることで，お菓子を提示するため，お菓子がテーブルと衝突した際に騒音が生じてしまう．そのため，お菓子の着地点に底がクッション状になっている皿を用意し，そこにお菓子を落とすことにした．この改良版装置では，複数人の共創作業だけではなく個人作業のデスクにも設置できるため個人の状況を計測できれば，個人の作業支援にも応用できる可能性が示された．改良版装置のデモンストレーション発表を2018年3月に情報処理学会シンポジウム「インタラクション」にてインタラクティブ発表した．ここでは，600 人を越す参加者があり，様々なフィードバックをもらった．多くはポジティブなものであり，人の状態センシング技術や社会科学的研究との融合など様々な方向性を探ることができた．なお，本プロジェクトは来年度も課題名を調整して継続予定であり，これらで得られた成果は来年度の計画に反映させる．

(2) インプロの効果測定

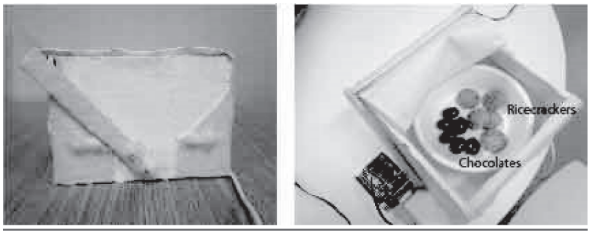
なお，インプロの効果測定については，今年度は大きな進展はないが，一昨年度の実験データを再解析して議論を再度組み立て，論文誌へ投稿しており現在査読中である．

投稿論文：

月田有香，高嶋和毅，横山ひとみ，市野順子，伊藤雄一，大坊郁夫，北村喜文：インプロによる集団討論場面のコミュニケーションの強化，ヒューマンインタフェース学会論文誌（査読中）

特別支援に係る成果

本プロジェクトは特別支援(国際)を受けている．本年度はシュツットガルト大学のサバ研究員を招聘した．サバ氏は情報提示や認知心理学実験の専門家であり，本プロジェクトにおけるデバイスの設計および現在検討中の被験者実験計画に積極的に関わった．どのようなタイミングでどのように情報やお菓子を提示すると人々の作業を阻害せずに適切な支援ができるかを議論し，実際にシステムのアルゴリズムを設計するとともに，効果測定実験の予備実験を経て計画の大枠を完成させることができた．来年度の本実験の実施に直接関わる成果である．



(a) お菓子提示デバイスの外観



(b) お菓子提示デバイスの共創場面での利用実験

図１．初期のお菓子提示デバイス



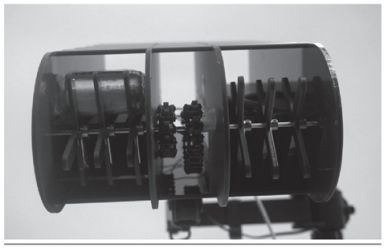


図２．本年度改良したお菓子提示デバイス
(デスクライト型)

（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２件の学会発表を経たが，どの場でもポジティブなフィードバック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．本年度はサバ氏など国際的なつながりを持つことができたことも大きい．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．来年度は国際会議発表などよりインパクトの高い成果発表をし，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，高嶋和毅，上岡玲子，北村喜文．複数人討論を活性化させるお菓子提示デバイス「お菓子くん」の検討，エンタテインメントコンピューティング 2017，pp. 59–63，2017 年 9 月

（２）大塚正斗，高嶋和毅，上岡玲子，北村喜文．複数人討論を活性化させるお菓子提示デバイス「お菓子くん」の改良，情報処理学会シンポジウム インタラクション論文集，pp. 561–564，2018 年 3 月

採択回数	1	2	3

（先端）

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
森勢　将雅（山梨大学大学院総合研究部）
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：８人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	180,000 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２年度であった。前年度は，本研究で構築するシステムの動作原理を定式化し，仮に原理通りにシステムが動作した場合の理想特性を示した。本年度は，前年度の成果を踏まえながら，実現可能な規模のシステムにおける特性に関して検討した。

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（2017年８月，2018年１月，２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。あわせて，通研の無響室を利用した音響計測を行った。

［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。まず，「可聴周波数帯域において空間折返し歪が発生しない間隔 d でマイクロホンを配置したアレイ」をマイクロ間隔マイクロホンアレイ（略称：μ^2 ホンアレイ）と定義した。仮に可聴周波数の上限を 20 kHz とした場合には，$d<8.5$ [mm] が条件となる。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ものであり，以下では「μ^2 ホンアレイスペクトル」と呼称する。

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μ^2ホンアレイ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４点を挙げて検討を行った。

(A) 雑音スペクトルの瞬時推定によるスペクトルサブトラクション効果の検証 (成果資料 4, 6)
(B) 高精細な時空間音圧分布画像の復元 (同 2, 4)
(C) 小規模アレイによる音源の方向推定 (同 1, 5)
(D) ニューラルネットワークを用いたアレイ処理の広帯域化 (同 3)

このうち課題 (C), (D) についての詳細は (成果資料 1, 3, 5) 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．雑音スペクトルの瞬時推定による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。この帯域であれば，μ^2ホンアレイは 2 cm 間隔でマイクロホンを配置することで実現される。スマートフォンの長手方向を考えると，マイクロホン数 8 個で 14 cm のアレイを搭載可能である。

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μ^2ホンアレイスペクトルを図 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（4 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 4 番ビン（直流成分）に漏れ出した雑音の振幅値を，ビン 0〜3 および 5〜7 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・出力層のユニット数はそれぞれ 7･7･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。

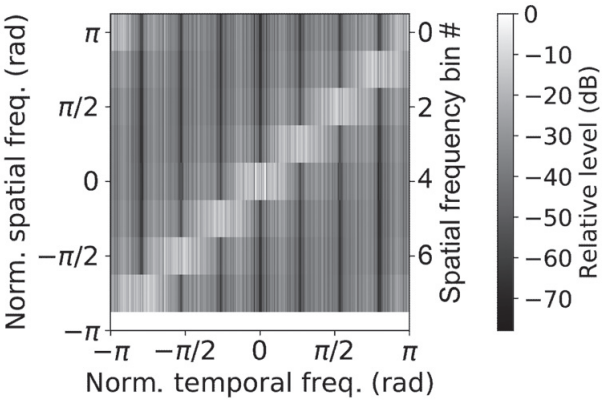


図 1　音声 (DOA : 0°) と白色雑音 (DOA: 90°) が到来した場合のμ^2ホンアレイスペクトル

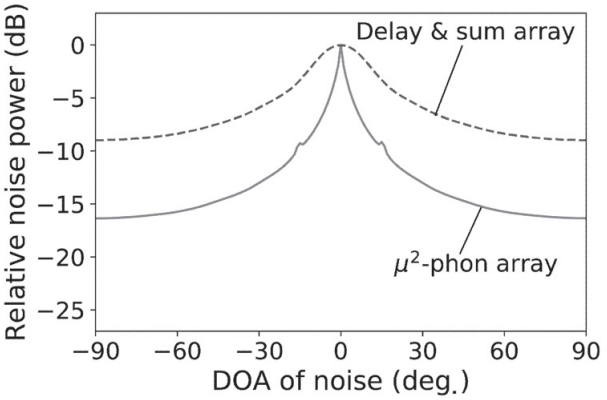


図 2　雑音の到来方向（DOA）の関数としての雑音抑圧の効果音。DOA: 0° には目的音が存在する。

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 4 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アレイに比べて，十分な雑音抑圧がなされていることが分かる。以上，ここでは正面から到来する平面波に焦点を合わせ，他方向からの雑音を抑圧する効果が十分であることから，提案原理により高性能な小型システム構築が可能であることを示した。

３．高精細な時空間音圧分布画像の復元

μ^2ホンアレイでは多くのマイクロホンを必要とするが，システム規模を抑えるためには少数マイクロホンを用いて実現できることが望ましい。前章ではスマートフォンを想定して等間隔 8 個のマイクロホンが実在する場合の時空間音圧分布画像を考えたが，本章では不等間隔 4 個のマイクロホンからその画像の復元を試みる。

本年度は，音源分離システムとして，入力音を周波数成分に分解して処理した後に，重ね合わせて出力を得る方式を取り上げた。この方式では，まず各

マイクロホン出力である時間波形を，FFT を利用して正弦波成分に分解する。その後に逆 FFT を行うことで各周波数成分ごとの波形を得て，音圧瞬時値を輝度に変換して時空間音圧分布画像を生成する。この疎なマイクロホン配置で得られる画像から，密なマイクロホン配置で得られる画像を復元する。

図 3(a) は，スマートフォンを想定して 2 cm 間隔で 8 個のマイクロホンを並べた μ^2 ホンアレイに，基本周波数150 Hz と200 Hz の高調波複合音（8 kHz 未満の高調波まで等振幅）が，それぞれ 0°と 90°から同時に到来した場合について，周波数 625 Hz ビンにおける時空間音圧分布画像を示している。標本化周波数は 16 kHz で，512 点 FFT を行った。

図 3(b) は，4 個のマイクロホンを不等間隔に配置したアレイ（マイクロホン番号:0, 1, 4, 7）に関して，上記と同じ 2 音が到来した場合の時空間音圧分布画像を示している。この図 3(b)から図 3(a)を復元することを目的とした。

時刻 n における 8 点の観測値を，図 3(b) に○印で示した 4 点に加え，時系列として約 1/4 周期（△印），1/2 周期（□印）だけ離れた位置にある点も含めた計 12 点を用いて復元した。復元には，機械学習の一つの手法である L_1 正則化 (LASSO) を用いた。まず，予め −90° から 90° の範囲を 5° 刻みで平面波が到来する場合を想定して音圧の空間パターンを求めておき，辞書行列を構成した。観測された部分波形を，音源が疎に配置されているという制約の下で分解し，それらの線形和として全体を復元した。

図 3(c) に結果を示すとおり，十分な精度で復元が可能であった（復元誤差パワーは，入力音のパワーに比べて−22.3 dB）。周波数が高くなると復元誤差が大きくなるが，電話音声帯域に限定すれば十分に実用に耐えうる精度であることを確認した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献

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・森勢・坂本により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のうち，システムの広帯域化を検討した成果 (3) について，The 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), Excellent Paper Award (3st Prize) を受賞しており，高い評価を受けている。また，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。

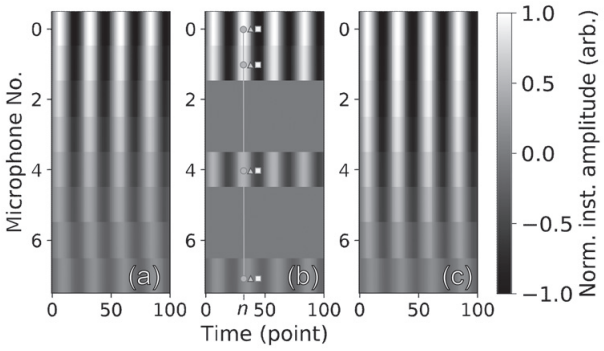


図 3　625 Hz に関する時空間音圧分布画像の復元。(a) μ^2 ホンアレイの出力。(b) 4 個のマイクロホンからの出力。(c) 復元された時空間音圧分布画像。

［4］成果資料

（1）K. Ozawa, S. Yokouchi, and M. Morise, “Noise reduction using an eyeglass-frame microphone array based on DOA estimation by LASSO,” Proc. of the 1st International Conference on Challenges in Hearing Assistive Technology (CHAT-2017), pp. 73－74 (2017).

（2）小澤賢司, 伊藤将亮, 清水源也, 森勢将雅, 坂本修一, “時空間音圧分布画像の復元に関する考察,” 音響学会講演集 2017 年 9 月, pp. 707－708 (2017).

（3）K. Ozawa, Y. Akishika, M. Morise, A. Iseki, and Y. Kinoshita, “Broadbanding of a NN-based microphone-array system by decomposing into frequency components,” Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 141－142 (2017).

（4）小澤賢司, 伊藤将亮, 清水源也, 瀧澤恵里, 森勢将雅, 坂本修一, “マイクロホンアレイにより得た時空間音圧分布画像の復元に関する考察,” 信学技報 EMM2017-66, pp. 1－6 (2018).

（5）小澤賢司, 横打詩音, 森勢将雅, “眼鏡フレーム上のマイクロホンアレイによる雑音抑制 ～LASSO アルゴリズムによる優勢な雑音源の方向推定～,” 音響学会講演集 2018年3月, pp. 545－546 (2018).

（6）K. Ozawa, M. Morise, S. Sakamoto, and Y. Suzuki, “Restoration of a spatio-temporal sound pressure distribution image by L_1 regularization,” 東北大学電気通信研究所—情報通信共同研究拠点—平成 29 年度共同プロジェクト研究発表会, ポスター発表 (2018).

採択回数	1	2	3

（萌芽）

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）

延べ参加人数：6人

研究費

物件費	100,000円
旅費	147,000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．

2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，2018年2月の研究打ち合わせには研究員・学生を含む6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29年度は(B)を中心に進めた．

(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．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

ロボットやコンピュータなどの機械が人間の音声を模倣するだけでなく，多様な生物種の音声を発することで，人間の模倣とは異なった形で感性情報を伝達できる可能性に関する基礎的検討をおこなった．本年度は情動を感じるための前提として，その音声の生き物らしさ（アニマシー）を規定する要因について検討を進めた．実験では，動物の鳴き声を操作して，鳴き声の持つどのような要因がアニマシー知覚に影響するのかを検討した．実験ではイヌおよびトリの鳴き声を使用した．それぞれオリジナル条件（元の鳴き声を呈示），間隔オリジナル条件（時間間隔はオリジナルと同一で，単発の鳴き声は同じ鳴き声を反復呈示），拍節条件（単発の鳴き声を一定のリズムで呈示），等間隔条件（単発の鳴き声を等間隔で呈示）の４条件を設定した．実験参加者は鳴き声を聞き，それがどのくらい生き物らしいかを７段階で評定した．実験の結果，イヌでは等間隔条件のみアニマシーが低下し，他の３条件間では有意差は見られなかった．一方，トリではオリジナル＞間隔オリジナル＞拍節＞等間隔の順となった．以上の結果から，生き物らしさを高めるためには単発の鳴き声の時間間隔が重要なこと，そしてその重要性は生物種によって異なることが示唆された．

(2) 音声感情が認知・行動に及ぼす影響

音声感情が聞き手の認知と行動に及ぼす影響について検証するための基礎的検討として，生理計測装置の導入をおこなった．今年度は音声よりも結果が得られやすい顔の表情を用いて，顔の表情を呈示した際の顔面筋の活動を測定し，今後の音声による検討の予備的検討とした。喜び・怒り・悲しみの３種類の表情呈示時の大頬骨筋と皺眉筋の筋活動量を測定した結果，喜び表情では大頬骨筋，怒り・悲しみ表情では皺眉筋に選択的な筋活動が認められた．こうした筋活動について実験参加者は自覚しておらず，参加者の自覚・意識とは独立に感情の影響を計測する手法として今後活用できる可能性が示された．

（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

学会発表等

1. 田中章浩（2017）顔と声による情動の多感覚コミュニケーション．音学シンポジウム 2017，第 115 回音楽情報科学研究会（招待講演）
2. Kawase, M., Adachi, I & Tanaka, A.(2017) Multisensory perception of emotion for human and chimpanzee expressions by humans. Proceedings of the International Conference on Auditory-Visual Speech Processing 2017, D2. S5. 3
3. 川瀬茉里奈，足立幾磨，田中章浩（2017）ヒトにおけるチンパンジーの情動表現に対する多感覚知覚．第９回多感覚研究会

採択回数	1	2	3

（萌芽・その他）

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

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：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）
大澤五住（大阪大学）
行場次朗（東北大学）
北岡明佳（立命館大学）
佐藤俊治（電気通信大学）
栗木一郎（東北大学）
松宮一道（東北大学）
丸谷和史（NTT）
細川研知（東京大学）
他東北大研究員，学生10名
電気通信大学学生1名
延べ参加人数：29人

研究費
物件費　100,000円
旅費　156,000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する。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25年度から27年度に進めた先行プロジェクトでの検討結果に基づき，共通環境実質化をめざして研究を行った。

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29年2月2日には，代表者酒井，分担者佐藤，細川，丸谷らによるモデル構築プラットフォームの利用方法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。塩入らは，奥行運動知覚に関して，初期視覚特性である網膜像変化の運動検出モデルを基礎に，両眼間速度差を計算し，心理物理学実験の結果と電気生理学実験の結果の説明を試みた。佐藤は，視覚野の神経細胞のゲインコントロールを数理モデルに取り入れることによって，各種の明暗錯視が説明出来ることを示した。酒井は，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。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経由での検査の可能性に関する議論も行った。

また今回招待した我妻伸彦の研究は，初期視覚の神経細胞の応答をまとめることで，図となるべき領域をひとつのオブジェクトとして統合するための，細胞集団が協働するモデルについての研究である。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。

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度に引き続き，各モデルに適用する視覚機能を中心に検討を進めた。そのひとつは，奥行運動検出に関するもので，その協調的利用の可能性についての検討である。両眼の網膜像の動きの差（両眼間速度差）から奥行運動を知覚できるとの事実に基づき（図1），Wu と塩入らは両眼間速度差による奥行運動検出モデルを提案した。そのモデルは，それぞれの網膜像から前額平行面での動きを検出し，その組合せで奥行運動信号を検出する。

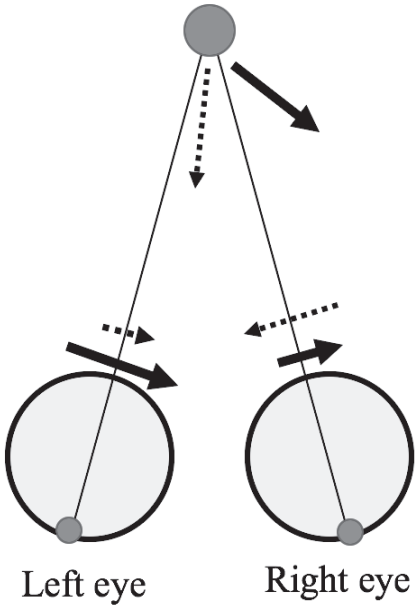


図1　奥行き運動と左右眼の運動情報

提案モデルは，それぞれの網膜像の処理のために，速い運動に感度を持つ運動検出器と遅い運動に感度を持つ運動検出器の２種類を，それぞれについて左右に感度を持つ２種類の合計４種類を考える。それぞれの組み合わせにより，４種類の奥行運動方向に感度を持つ，両眼間速度差検出器を構成する（図２）。彼らはまず，このような構成で，奥行運動が検出できることを示した。この点は，先行研究で提案された類似のモデルと同様である。Wu らのモデルは，奥行運動の方向を区別するための機能を持ち，それが心理物理実験の結果を説明できることを示した点で重要である。運動方向弁別を予測するために，異なる方向に感度を持つ４つのチャンネルを仮定する。このチャンネルは，サルの大脳の MT 野で見つかっている両眼間速度差に感度を持つ神経細胞の分布との関連についての説明を与えている。

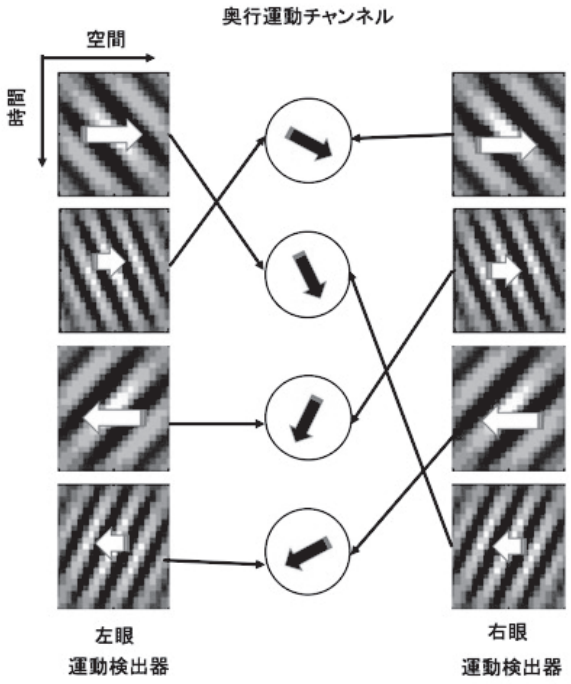


図2　単眼運動検出器の組み合わせによる両眼間速度差検出器の構築

図３に示すように４つのチャンネルは，両眼の間に向かう動きに感度を持つ２つと，左右それぞれの方向で近づいてくる２つの４つである。これは心理物理実験の結果（Beverly and Regan, 1973）に対応する条件設定である。この４チャンネルは，多くの神経細胞をグルーピングして，その応答を加算することで，構築できることが示された。ここで利用される研究は，限られたものであることから，今後さらに多くの研究結果に対応することが必要である。

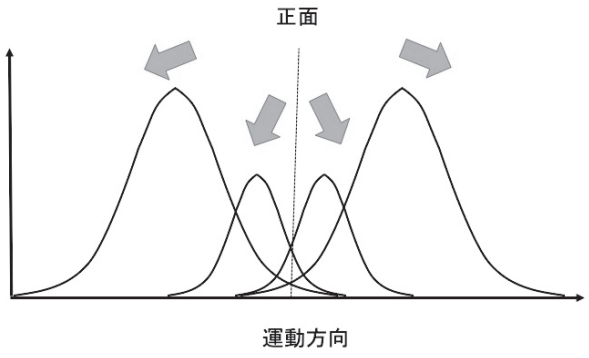


図3　両眼間速度差検出器チャンネル

その他，視覚特性を実際の場面に適応を目的とした処理を，視覚モデル環境の検討に組み込むことを試みた。視覚の空間周波数特性を，観察距離も考慮して，計算し，その結果を表示することは，広く利用するためには，不可欠である。

（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
・共同研究
・理化学研究所
・平成 26 年 4 月 1 日から平成 29 年 3 月 31 日まで

［４］成果資料

(学会発表等)

1) Wu Wei, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri, A model based on interocular velocity difference —to estimate motion direction in depth—, 映像情報メディア学会, 2017

2) 坂井拓美, 羽鳥康裕, 方昱, 松宮一道, 栗木一郎, 塩入諭, 継時刺激効果に対する頭部方向の影響, IEICE technical report: 信学技報 117 (375), 35-38, 2017

(雑誌論文等)

1) Y Yagi, I Mitsugami, S Shioiri, H Habe, Behavior Understanding Based on Intention-Gait Model, Human-Harmonized Information Technology, Volume 2, 139-172, 2017

2) Daiki Nakamura & Shunji Satoh, Simple speed estimators reproduce MT responses and identify strength of visual illusion, Neural Computing and Applications, p.1-13 (Nov. 2017)

3) Eiichi Mitsukura & Shunji Satoh, Computational study of depth completion consistent with human bi-stable perception for ambiguous figures, Neural Networks, vol.99, pp.42-55 (Mar. 2018)

4) Zaem Arif Zainal & Shunji Satoh, A border-ownership model based on computational electromagnetism, Neural Networks, vol.99, pp.114-122 (Mar. 2018), https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.12.004

5) Yuito Mori and Ko Sakai, Analysis of real-world illumination -Lighting changes perception of specularity-. Journal of Science and Technology in Lighting, Vol.42 (in press)

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/A14**

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

［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

村岡 裕明（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）

Andrew Kowles（Seagate Technology）

延べ参加人数：9人

研究費

旅費	274,000円
国際特別支援費	200,000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)用途での今後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二年度であった。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。

2017 年 11 月 29 日に東北大学電気通信研究所で RICC-RIEC workshop 2017 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 4 件の発表が行われ、34 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研究分担者である Seagate Technology の Andrew Kowles 氏を招いたこともあり、使用言語は全て英語である。

- Beyond PMR: Cutting Edge Magnetic Recording Techniques / Andrew Kowles (Seagate Inc.)
  Abstract: Hard disk drives are, still, essential for modern information systems and this is expected to continue for at least another 10 years. It is very important that HDD cost and density continue to scale in order for systems and services to also scale. However, major challenges exist for continued HDD scaling including but not limited to the superparamagnetic limit. Heat-assisted Magnetic Recording (HAMR), Shingled Magnetic Recording (SMR), Multi-Sensor Magnetic Recording (MSMR), Heated Dot Magnetic Recording (HDMR), and various other techniques are presented here as solutions. The composition of the modern data center and enterprise environments will also be presented to highlight how each technology fits into the storage ecosystem.
- DATEstor: Highly-available Metro Area Distributed Storage Systems / Takaki Nakamura (Hitachi, Ltd.)
  Abstract: We introduce Disaster-resilient, Autonomous, Tactical, and Economical storage (DATEstor) systems. The development of DATEstor is motivated by tragedies of the East Japan Great Earthquake and Tsunami of 2011. As the disaster damaged information networks as well as information storages, people in the disaster area were not able to access backup data stored in the safe area. They were therefore unable to benefit from information services such as resident registries and medical histories. To tackle this social issue, we have proposed metro area distributed storage systems and the two features: Risk-aware Data Replication (RDR) and Multi Route Restoration (MRR). The RDR feature replicates data to nearby safe sites while considering the damage risk at both primary sites and backup sites. The MRR feature restores data simultaneously from survived backup sites. In this talk, we present the overview of DATEstor and the demonstration of developed systems.
- "Chaos Infrastructure" for trustworthy transactions of data harvesting / Hiroki Kashiwazaki (Osaka Univ.)
  Abstract: Cyber-phisical system is one of the most important system in the era of IoT and Big Data. On the cyber-phisical infrastructure, data harvesting is also one of the most expectable application. Data harvesting is a broker service between persons who allow to sell their personal information and buyers who want to buy personal data. It is nessesary to maintain high quality, trustworthy communication transaction because data harvesting is to say currency transaction. Thus we propose a trustworthy infrastructure with intentional failure injections. We call the infrastructure as Chaos Infrastructure. In this presentation, I will show a design and implmentations of Chaos Infrastructure.
- Dynamic International SDN and Inter-Cloud Infrastructure / Kohei Ichikawa (NAIST)
  Abstract: Effective sharable cyberinfrastructures that allow researchers to freely perform their research experiments on the environment are fundamental for collaborative research in widely distributed environments. This talk will introduce an integration of an international Software-Defined Networking testbed (PRAGMA-ENT) and an Inter-Cloud service (Virtual Cloud Provider) by using a dynamic VLAN service (NSI). Using these services and infrastructures, we can dynamically design and deploy our own research testbed in the Inter-Cloud environment in an on-demand manner. In the talk, we present the overview of these services and introduce some applications on the testbed.

［3］成果

（3－1）研究成果

Distcloudは2017年度、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)やSINET5 NFV、NII クラウド利活用実証実験の協力を経て、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により、多様な環境での相互接続実験ができる環境を実現した。

2017 年 11 月に開催されたワークショップではSeagate TechnologyのAndrew Kowles氏に講演して頂いたほか、Seagate Technologyが提供する新技術HDD の検証プログラムを紹介していただき、本研究に参画する複数の研究者がこの検証プログラムでの検証を開始している。これにより今後、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できた。

（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ている。

- 平成30年度国立研究開発法人情報通信研究所「スマートコミュニティを支える高信頼ネットワーク構成技術の研究開発」永続的自己攻撃制御に基づく動的平衡ネットワークアーキテクチャに関する研究開発 ([Proposal full title/English] NeTS: JUNO2: A Disaster-Resilient and Robust Cloud/Fog/Wireless Network System Supporting IoT/CPS for Smart and Connected Communities)
- 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」

その他、本研究課題に関連する以下のワークショップを2017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12回地域間インタークラウドワークショップ(2017年9月7日，北海道大学学術交流会館)
- 第13回地域間インタークラウドワークショップ(2018年2月20日，沖縄産業支援センター)

［4］成果資料

（1） Pongsakorn U-chupala, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Hajimu Iida: Application-aware network: network route management using SDN based on application characteristics, CSI Transactions on ICT, Vol. 5, No. 4, pp 375-385 (June 2017)

（2） Che Huang, Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Yasuhiro Watashiba, Hajimu Iida: A Multipath OpenFlow Controller for Multiple TCP Stream Applications, Journal of Information Processing, Vol. 25, pp. 924-933 (October 2017)

（3） Pongsakorn U-Chupala, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Hajimu Iida: Container Rebalancing: Towards Proactive Linux Containers Placement Optimization in a Data Center, IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2017), pp. 788-795 (July 2017)

（4） Ikuo Nakagawa: IoT Agent Platform Mechanism with Transparent Cloud Computing Framework for Improving IoT Security, 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 684-689, doi: 10.1109/COMPSAC.2017.156

（5） 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)

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**

グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造のテラヘルツ応用に関する日米共同研究

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（ニューヨーク州立大学バッファロー校電気電子工学専攻）

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

Dr. SATOU Akira（東北大学電気通信研究所）

Dr. RYZHII Victor（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数　4 人

研究費

物件費	100, 000 円
旅費	253, 000 円
国際特別支援費	200, 000 円

［2］研究経過

During the second year of the collaborative efforts Prof. Vladimir Mitin visited the group of Co-PI and collaborator Prof. Taiichi Otsuji twice. The first five days visit (Nov 15-Nov 20, 2017) was focused on discussion of progress on collaborative efforts and plans for the nearest future. During the visit lengthy discussion were with Profs. T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii and with students, especially with Deepika Yadav about experimental results. During the second 6 days visit (February 20 – February 26, 2018) in addition to the discussions with the mentioned above professors-collaborators about results and plans, Prof. V. Mitin presented a poster "Graphene-Based Atomically-Thin 2D Heterostructures and their Terahertz Applications" at the RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects "Compass for Next Generation ICT" on February 22, 2018. In addition, during the first and the second visits, V. Mitin gave talk to students about advantages of the graphene based THz detectors (in Nov. 2017) and about reconfigurable materials and adaptive sensors (in February 2018).

During the second year the efforts were focused on further development of the proposed during the first year graphene layer (GL) photodetectors (PD) based on the van der Waals (vdW) heterostructures with the radiation absorbing GLs. The operation of the GL PDs 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). In the suggested PDs the electron photoexcitation from the GL valence band is high and the probability for electrons to be captured back into GLs is low, the responsivity of the newly proposed PDs is substantially higher than the currently available quantum well PDs. We demonstrated that selective doping of barriers (in addition or instead of doping the GLs) give a possibility to control PD performance in wide range of frequencies. The elevated photoelectric gain, relatively high detectivity, high-speed operation, and the sensitivity to normally incident radiation provides additional potential advantages in comparison with conventional PDs based on quantum wells (QWs) [A1]—[A3], [C1]—[C3].

［3］成果

（3－1）研究成果

Photodetectors based on graphene van der Waals heterostructures.

The operation of the GL PDs 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) as it is shown in Fig 1. On the first glance, these PDs remind a quantum well PDs, but there is a very important and substantial difference: the quantum well PDs the photoexcitation is from the electron states in the quantum well and

the number of those states are limited, while in the suggested PDs the electron photoexcitation is from the GL valence band where the number of electron is several orders of magnitude higher than in quantum wells.

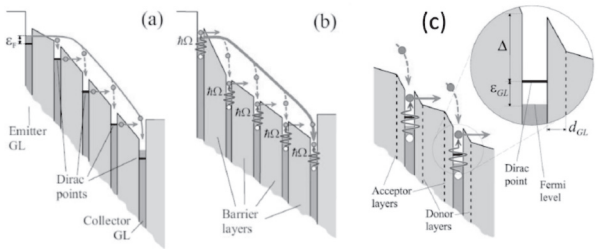


FIG. 1: Band diagrams of a GL PD (a) in dark and (b) under strong irradiation. (c) A fragment of the GL PD band diagram with barrier layers doped by acceptors and donors ("dipole" doped) and GLs doped by acceptors. The inset shows the barrier "tooth" and its parameters Bold arrows indicate the tunneling injection of thermalized and photoexcited electrons from the GLs and their propagation in the continuum states above the barriers, wavy arrows show the electron interband intra-GL photoexcitation with the generation of electron-hole pairs followed by the electron tunneling escape from the GLs, dashed arrows correspond to the electron capture from the continuum states into the GLs.

The space charge of the holes trapped in the GLs provides a relatively strong injection and large photoelectric gain. We calculated the GLIP responsivity and dark current detectivity as functions of the energy of incident photons and the structural parameters. It is shown that both the periodic selective doping of the inter-GL barrier layers, Σ_B, and the GL doping, Σ_{GL}, (see Fig. 1 (c)) lead to a pronounced variation of the GL PD spectral characteristics, particularly near the interband absorption threshold (see Fig. 2), while the doping of GLs solely results in a substantial increase in the GL PD detectivity (see Fig. 3).

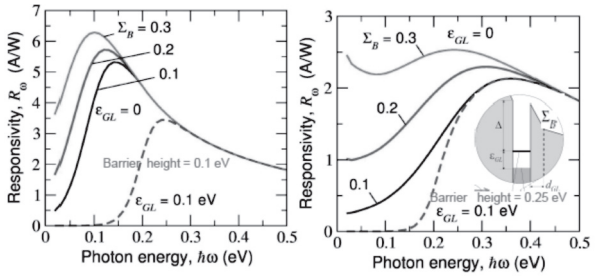


Fig. 2: Spectral characteristics of GL PDs with $\Delta = 0.1$ meV (left) and $\Delta = 0.25$ meV (right), for five GL PDs with undoped GLs ($\Sigma_{GL} = 0$), and different donor and acceptor densities in the barriers Σ_B (in units 10^{12} cm^{-2}) at T=100 K. The dashed line corresponds to GL PD with doped GLs ($\varepsilon_{GL} = 0.1$ eV, $\Sigma_{GL} = 0.8 \cdot 10^{12}$ cm^{-1}) -- curves for different barrier doping are undistinguished.

The electrons propagating over the barriers have low probability to be captured back into GLs, so the responsivity as well as detectivity of the newly proposed PDs is substantially higher than the conventional QW PDs as it is shown in Fig. 4. The possibility of high-speed operation and the sensitivity to normally incident radiation provides additional potential advantages in comparison with other PDs. The doping "engineering" opens wide opportunities for the optimization of GL PDs for operation in different parts of the radiation spectrum from near infrared to terahertz.

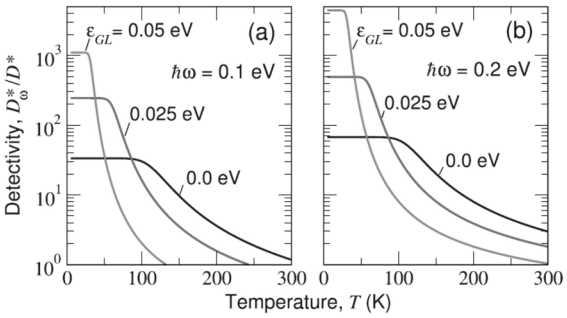


Fig. 3: Temperature dependences of detectivity of GL PDs with $\Delta = 0.1$ eV, undoped barriers and different Fermi energies ε_{GL} for (a) $\hbar\omega = 0.1$ eV and (b) $\hbar\omega = 0.2$ eV.

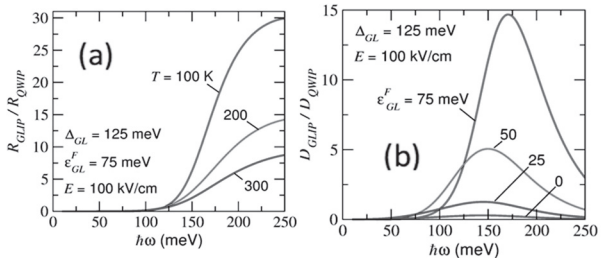


Fig. 4: GL PD vs. QW PD: (a) responsivity and (b) detectivity.

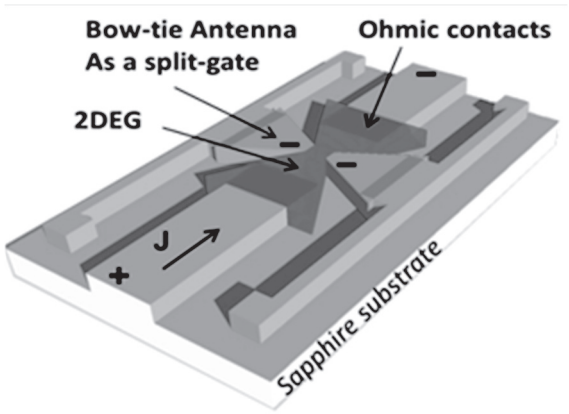


Fig. 5: A split-gate design. The bow-tie antenna serves also as a biased negatively split-gate.

（特別支援（国際）にかかる研究成果）

The special fund was used mainly for travel expense for one additional visit to RIEC for discussion stimulating the GL PD modeling and novel device implementation. This led us to a new result and achievement shown in Figs. 1 (c)– 4.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

In the collaboration the theory of new and efficient THz and infrared photodetectors were developed. The group of Prof. Taiichi Otsuji is on the front line of world specialists in THz devices that operate at elevated temperatures. Our future efforts will be on optimization of device structures to achieve plasmonic enhancement described above.
In particular, to achieve high detectivity we will decrease the size of a PD using a new design that we start to develop starting from the second year of the project: a bow-tie antenna that serves also as a biased negatively split-gate. Split-gate provides control of the 2DEG active area of the PD. Applying a negative bias voltage to the antenna, we can reduce the channel area between antenna apexes due to the electron depletion around the negatively charged apexes. Using the split-gate approach, we plan to reduce the channel area to nanometer scale that is achievable with lithography (see Fig. 5). Special attention will be paid to enhancement of responsivity in multiple GL structures.

［４］成果資料

1. Peer reviewed journal articles

[A1] V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, L. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Infrared photodetectors based on graphene van der Waals heterostructures," Infrared Phys. Technol., vol.84, pp. 72-81, 2017. DOI:10.1016/j.infrared.2017.01.016.

[A2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. Svintsov, V. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Nonlinear response of infrared photodetectors based on van der Waals heterostructures with graphene layers," Opt. Exp., vol. 25, no. 5, pp. 5536-5549, 2017. DOI: 10.1364/OE.25.005536

[A3] V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Leiman, V. Mitin, M. S. Shur, and T. Otsuji, “Effect of doping on the characteristics of infrared photodetectors based on van derWaals heterostructures with multiple graphene layers,” J. Appl. Phys., Vol. 122, pp. 054505-1-8, 2017. DOI: 10.1063/1.4997459

2. Invited Presentations at International Conferences

[C1] V. Mitin, V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji and M.S. Shur, "Terahertz devices based on graphene: role of resonant plasmons", General&Nanostructured Materials, EMN Bali Meeting June 20-24, 2017, Bali, Indonesia. (Invited).

[C2] V. Mitin, V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Infrared and terahertz detectors on graphene van der Waals heterostructures and effect of doping", The 6th Russia–Japan–USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies "RJUSE TeraTech-2017," Oct. 2-5, 2017, Troy, RPI, USA. (Invited).

[C3] V. Mitin, V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, “Teraherts detectors on graphene van derWaals heterostructures and role of resonant plasmons,” Invited talk at the MTSA2017&TeraNano 8, November 19-23, 2017, Okayama, Japan. (Invited).

共同プロジェクト研究

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）

延べ参加人数：7 人

研究費：物件費　100,000 円
旅費　113,000 円
若手特別支援費　100,000 円

［2］研究経過

固体中におけるスピン軌道相互作用は、強磁性体および半導体を含め、スピンを制御する上で最も重要な概念の一つとなっている。特に、不揮発メモリや量子情報処理など高速・高精度スピン制御を実現する上で、外部磁場によるスピン制御は非効率であり、量子力学に起因するスピン軌道相互作用は必要不可欠な基盤技術となる。しかしながら、非磁性金属および半導体を舞台としたスピン軌道相互作用とその電界制御の統一的な理解はまだ不十分であり、これを明らかにすることによりデバイス応用上の重要な指針を与える。このような背景から、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。

前年度に引き続き、金属および半導体スピントロニクスの分野において、磁性の電場制御、高速磁化ダイナミクス操作、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、半導体における長距離スピン輸送を主軸として研究する 6 名の研究者と、今年度はよりデバイス応用に近い通信波長を用いた半導体スピン物性に従事する研究分担者を加え総勢 7 名で磁化・スピンダイナミクス操作に関する研究に従事した。1 月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 WPI 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、高分解能 ARPES による磁性材料の電子構造、磁性体におけるスピン波分散関係の直接観測、InGaAs 量子井戸構造における時空間スピンダイナミクス、フレキシブル基板上でのスピントロニクスデバイス、レザバーコンピューティングの基礎とスピンダイナミクスを用いた演算能力、スピンネルンスト効果、反強磁性体のラシュバ効果、そしてスピントロニクス現象の有効電磁場理論に関する成果発表が行われた。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、GaAs/AlGaAs 量子井戸構造を用いて、ドレッセルハウススピン軌道相互作用をドリフト電圧により制御できることを示した。有効磁場の周りを歳差運動しながら空間的に伝搬するスピンは、通常スピン軌道相互作用の強さが決まれば、その歳差運動周波数は空間的にドリフト速度に因らず一定となる。しかしながら、ドリフト電圧を印加していくと歳差運動周波数が長くなることを実験的に見出し、その起源がドリフト運動により熱励起された電子スピンに因ることを明らかにした。これまでドレッセルハウススピン軌道相互作用は材料固有の値であると信じられてきたが、本結果により、外部から制御できる可能性を示し、デバイス応用上も重要な結果となった。

第2に、層状半導体 GaSe におけるスピン軌道相互作用の電気的制御を実現した。遷移金属モノカルコゲナイドである GaSe は内部有効磁場が面内方向に存在するため面直有効磁場を有し、長いスピン緩和時間が期待できる新たな原子層物質群の一つである。しかしながら、スピン軌道相互作用がどのくらいの大きさなのか定量的な評価はなされてこなかった。そこで、バックゲート電極付きの FET 構造を作製し、低温における磁気輸送測定から有効磁場の強さを明らかにした。その結果、InGaAs 量子井戸と同程度の有効磁場を有することが分かった。さらに、ゲート電圧によって有効磁場の強さを制御できることも示し、原子層物質に対するスピントロニクスデバイス応用への可能性を示した。

第3に、層状半導体 GaSe の偏光フォトルミネッセンス測定より、得られる発光の偏光には導波路効果が大きく寄与していることを明らかにした。原子層物質の多くはスコッチテープ法と呼ばれる技術によって、SiO_2/Si 基板上に転写される。光学デバイスに用いる場合には、転写された構造がスラブ導波路構造になるため、得られる発光の偏光が物質の遷移選択則に起因するのか構造（導波路）に起因するのかを分離することは必要不可欠となる。そこで、円偏光および直線偏光励起を用いた詳細な偏光フォトルミネッセンス測定を行い、得られる発光は直線偏光であることを明らかにし、その起源が GaSe 内を伝搬する TE モードに由来することを明らかにした。

第4に、ひずんだ方向に応じて磁石の磁化方向が変化する現象を利用し、ひずみの“方向”を検出することに初めて成功した。フィルム上にセンサを集積化することも容易であることから、場所により異なる局所的なひずみ方向を可視化するような場面での用途も広がると考えられる。Co/Cu/Py 巨大磁気抵抗素子を、柔らかいポリエチレンナフタレートフィルム上に作製し、ひずみの方向に対して Co の磁化が向きやすい性質を利用することで磁気抵抗変化を用いたひずみ検出素子を実現した。スピンバルブ構造は集積化も容易であるため、フレキシブル基板上にひずみ方向検出用スピンバルブを整然と並べれば、場所によって異なるひずみの方向を素子ごとの抵抗の違いとして可視化するような用途に使用することもできる。

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

前年度と同様、本プロジェクト期間中に「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 WPI 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、最新の研究内容に関する情報交換と、今後のスピントロニクスの展開について議論した。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と

なった。今後もこのようなネットワークを維持し研究を推進していくことを決めた。

［4］成果資料

(1) Yoji Kunihashi, Haruki Sanada, Yusuke Tanaka, Hideki Gotoh, Koji Onomitsu, Keita Nakagawara, Makoto Kohda, Junsaku Nitta, and Tetsuomi Sogawa, Phys. Rev. Lett. **119**, 187703 (2017).

(2) Shoichi Takasuna, Junichi Shiogai, Shunichiro Matsuzaka, Makoto Kohda, Yutaka Oyama and Junsaku Nitta, Phys. Rev. B Rapid Communications **96**, 161303(R) (2017).

(3) Masaki Suzuki, Makoto Kohda, Shoichi Takasuna, Shunichiro Matsuzaka, Yohei Sato, Tadao Tanabe, Yutaka Oyama and Junsaku Nitta, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 020308 (2018).

(4) Shinya Ohta, Yo Ando and Daichi Chiba, Nature Electronics **1**, 124 (2018).

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　100,000 円
　旅費　196,000 円

［2］研究経過

比較的大きな磁歪を持つアモルファス軟磁性膜の逆磁歪効果（応力を印加された磁性体の内部磁化状態が変化する現象）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た研究を行っている。磁性体の逆磁歪効果は古くから知られているが、特に薄膜ではデバイス作製時の異方性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、磁化し易さ（or し難さ）の目安となる磁気異方性の制御が重要となる。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・加速度センサ実現に向け検討を行っており、2 年目は、初年度の基礎検討結果を基にして、実際にデバイスを試作し特性評価を行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

［3］成果

（3－1）研究成果

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、昨年度に得られた知見に基づき、図１の模式図に示すような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

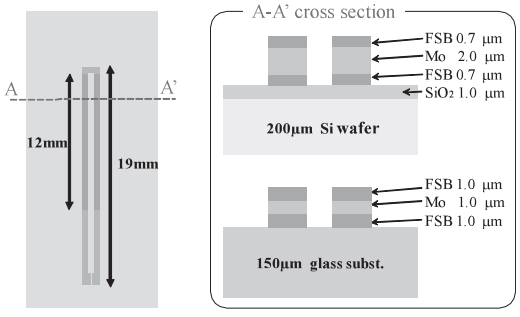


図１ デバイス応用を想定した積層構造

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 基板では図１の短冊長手方向に、またカバーガラス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、図２に示すように、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、図３に示すような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。図４に印加歪みに対する試料のインピーダンス変化の測定結果を示す。磁歪薄膜及びMo膜の厚みが異なるため、単純な比較はできないが、印加歪みに対するインピーダンスの変化の傾き（図４中の赤い点線）を比較すると、カバーガラス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を示している。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ており、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ていることがわか

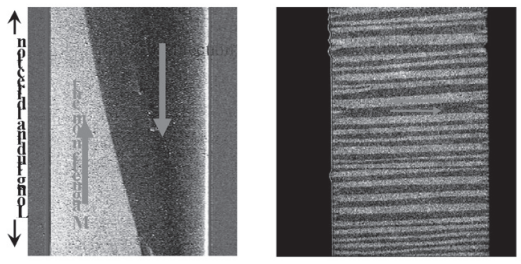


図２ 磁歪薄膜の磁気異方性の状態を確認するための表面磁区構造の観察結果

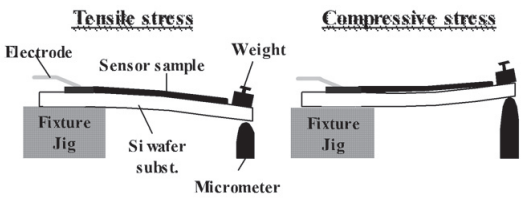


図３ 片持ち梁構造による歪み印加方法

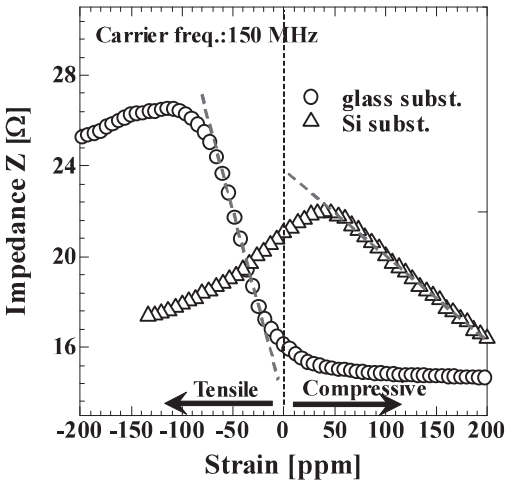


図４ 印加歪みに対する試料の高周波インピーダンスの測定結果

る。

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、図４で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［４］成果資料（３）の学術論文としてまとめた。

（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。本年度に得られた知見を基にして、素子の構造に対するアモルファス磁歪膜の異方性誘導技術の詳細な研究調査を推し進めることで、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，荒井薫，杤修一郎，石山和志，「逆磁歪効果型薄膜歪センサの振動センサへの応用」，第 41 回日本磁気学会学術講演概要集，21aD-7，p.173（2017）.

（２）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」，第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」，31pm3-PS-60，(2017).

（３）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）.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

（萌芽）

採択番号：**H28/A20**

確率的誤差拡散を用いた高ダイナミックレンジ画像の表示技術

［1］組織
研究代表者：永井　岳大
（山形大学大学院理工学研究科）
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：４人

研究費：物件費　100,000円
旅費　87,000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順応し，視覚情報を得る事ができる．一方，通常のディジタルディスプレイでは高々10^4程度の光の強弱しか表示できず，実風景の写真を表示するためにトーンマッピング技術を用いて情報を圧縮している．一方，近年10^7–10^8倍のダイナミックレンジを持つ有機 EL ディスプレイが登場しているが，市販のシステムでの画像符号化は高々10^3（2^{10}）であり，輝度階調数の面においてディスプレイの性能を生かし切れていない．そこで本共同研究では，画像表示に時空間的な確率的誤差拡散法を用いて，ハードウェアはそのままに高ダイナミックレンジかつ高階調で表示する技術の確立を目指す．また，この技術を用いることで初めて検証される視覚特性や，表示技術の改善に関する研究を行う．

上述した通常のディスプレイでは，自然画像の表現に様々な制限が生じる．例えば，屋内／屋外のように照度の大きく異なる空間を現在のディスプレイ上で１フレームに同時表示すると，屋内が黒く潰れるか屋外が白く飛んだ画像しか表示できない．本共同研究の技術が確立すれば，これらの画像において暗所も明所も同時に表示でき，目を凝らすと全てが見える画像を表示できるようになる．建築や自動車など屋内外が同時に存在する場面の設計等に用いるCG（コンピュータグラフィクス）の表示，強い光沢と表面質感を同時に見る必要がある生鮮食品の鮮度評価のための画像表示においても，提案技術は非常に有用となる．このように，高ダイナミックレンジ表示は幅広い需要が期待される．

一方，視覚に関する基礎研究の実験手法としても提案技術は強いインパクトを持つ．我々が普段目にする自然界のシーンは上述したとおり非常に高いダイナミックレンジをもっているため，その環境における視覚特性の理解は極めて重要である．しかし，高ダイナミックレンジ（$>10^6$）を連続的に表現した装置は例が少なく，視覚基礎研究でもこの広いレンジでの連続した感度測定が行われた例はない．例えば，明所と暗所が同時に存在する画像における明／暗順応や，視覚感度の適応的変化の特性は，高ダイナミックレンジを同時に表示できる技術が存在しなければ不可能である．このような，世界でも例の少ない視覚基礎研究が将来の成果として期待される．

［2．1］打ち合わせの詳細

本年度は，実験装置の設置された場所の見学や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６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）．

4/24–25：山形大学米沢キャンパスにて，実験状況の見学および打ち合わせを実施（永井，栗木，佐藤）．
6/29–7/2：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）．
8/8–9：一関高専にて，広輝度レンジディスプレイの実機を見ながら，広輝度レンジ画像の提示方法，および脳内色情報処理に関する技術的検討を実施（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コントラスト感度測定につい

ての研究経過について打ち合わせを実施（永井，栗木）．

1/17-18：日本視覚学会 2018 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，佐藤，栗木）．

2/22：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3件の研究成果を得た．以下に詳細を記述する．

[1] 確率的誤差補償法の検証

コンピュータディスプレイ上で量子化された RGB 値を用いて任意の中間調の輝度を表示する技術として，確率的誤差補償法の技術を実装した．この方法では，例えばデジタル値 127 と 128 の光を 30% : 70% の比率で時間的にランダムにディスプレイ上に呈示すると 127.7 に相当する輝度を呈示する事が理論的に可能なはずである．我々は，実際に中間の輝度が画面上に表示されているか，測光を行って検証した．広輝度レンジ対応モニタ（SONY KJ-65Z9D）上に確率的誤差補償法で呈示した光の輝度を測光器（JETI Specbos 1211）で測光した．

その結果，中間調の輝度・色度がいずれも計算どおり再現されている事を確認する事ができた．

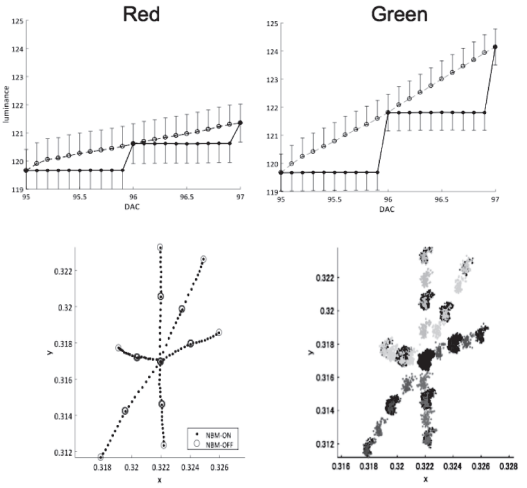


図1．確率的誤差補償法の確認．上：輝度，下：色度．

[2] 広輝度ダイナミックレンジにおけるコントラスト感度測定．

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[1]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）の２通りにおいて，0.83 cd/m^2 から 106.4 cd/m^2 の広い範囲の平均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研究をおこなった．

具体的には，空間周波数の異なる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）の周辺に最大〜最小輝度のパッチを含むグレイスケールのモザイクパターンを呈示し，視野全体の輝度レンジを明示的に与えた（図２左）．一様条件では，測定する輝度レベルと同じ一様背景を画面全体に呈示した（図２右）．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．

被験者数が少なく，HDR 実験条件に用いた背景の空間周波数による影響が厳密に特定できていないため，確定的な結論はできないが，少なくとも輝度コントラスト感度のテスト輝度による変化が HDR 条件と一様条件で異なることが分った．HDR 条件ではテスト輝度の変化に伴って感度が大きく変動する

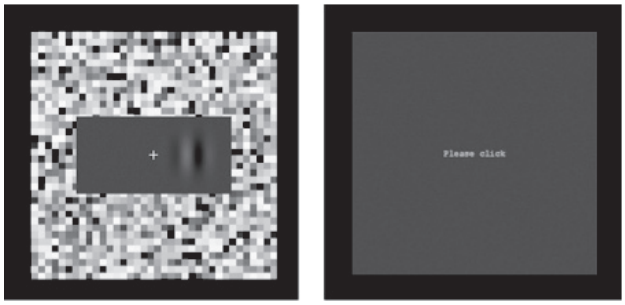


図２．２つの刺激条件．HDR 条件(左)，一様条件(右)

（平均値で約2 $\log_{10}$）のに対し，一様条件では平均値で約 1 $\log_{10}$の変化であった．

過去の輝度コントラスト感度における空間周波数の影響は，本研究での一様条件に相当する古典的な方法で行われており，少なくとも今回のHDR条件での測定結果が一様条件と異なったことから，現実の場面と同様なHDR背景を明示的に示したHDR条件において視覚感度を測定し，検討することの必要性が明らかになった．

［3］脳内の色情報計算モデルに関する研究

現在までに提案されている色の見えのモデル（color appearance models: CAM）は，錐体信号を錐体毎に調整するvon Kries 型順応をベースにしており，重み付けの係数は１つの照明条件につき１組（３錐体に１つずつ）となっている．この方式のCAMの大きな欠点は，無彩色点（ある照明環境の下で色みを感じない光）の軌跡が不正確である事と，明度方向の補正をすると信号中の色の彩度が減少する事である．２点目の問題は１点目とも関連しているが，特に無彩色点は，輝度レンジが広くなってくると無視できない問題となる．

過去に提案されたCAMには無彩色点の軌跡を数式に表現したものも存在した（Nayatani et al., 1990, 1995）．国際標準モデル（CIE CAM97, CAM97s）の制定時には採用されたが，近似式が複雑すぎたためその後の改訂（CIE CAM02）において省略された．省略されたもう一つの理由は，使用される場面（画像）の輝度レンジが狭かったため，無彩色点の非線形な変化を無視できた事である．しかし，画像/画面の広輝度レンジ化は進歩しており，この非線形な現象が無視できない領域が広がりつつある．我々は以前，実物大の（＝広輝度レンジの）装置を用いて測定した無彩色点の軌跡（Kuriki, 2006）が簡便に近似できることを発見した（Kuriki, 2015）ため，これを応用した色の見えモデルを提案した．

ある有彩色照明光の下に順応した観察者の無彩色点軌跡は，白色光（標準光源D_{65}など）で正規化したCIE LAB座標系では明度軸と平行な直線で近似できる（Kuriki, 2015）．無彩色点軌跡を画像から推定して近似し，明度軸（無色：彩度＝０）と一致するように色度を変換するモデルを提案した（図３）．

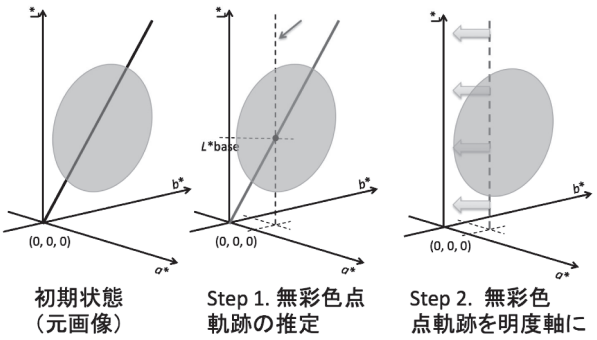


図３．色補正アルゴリズム．有彩色の照明光の下で取得した色度を調整する．Step 1で推定した無彩色点の軌跡が明度軸（＝無色；彩度ゼロ）と一致するように，von-Kries変換を行う．

人によって色の感じ方が白/金か青/黒で大きく異なる事が有名になった #theDress の画像に，このアルゴリズムの適用を試みた．この画像の色の見え（白/金，青/黒）を再現する場合には明度方向の変化を含む．von Kries 変換をベースとする従来型の CAM では，明度を下げると色の鮮やかさも下がる問題がある．我々のモデルでは明度に関わらず色補正量が等しいため（図３，step 2），明度による彩度変化の差異が少ない．このモデルを用いた場合には元画像の 85% 程度の色の鮮やかさが保持されるのに対し，従来モデルでは50-70%と低く，特に明度が低い領域で提案モデルが優位である事が明らかになった（Kuriki, 2018）．このモデルはさらに，#theDressの色の見え方の個人差を表現する事にも成功した．この研究成果は国際的学術誌 i-Perception において査読付き原著論文として掲載された．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

有機ELディスプレイや微小LEDマトリクスバックライトを用いた液晶ディスプレイなど，広輝度ダイナミックレンジを持つディスプレイは今後益々普及が進み，広輝度レンジにおける視覚特性の理解は重要な鍵になると思われる．その際に，画像として表現されるHDRコンテンツを従来型の画像表示プラットフォーム上で正しく表示するためにも，我々の開発した確率的誤差補償の技術は重要な役割を占める可能性があると考えられる．

さらに，本研究プロジェクトにおける共同研究を通して，科研費新学術領域研究「多元質感知」の公募研究への共同応募を実現するに到った．

［4］成果資料

1) 佐藤智治・永井岳大・栗木一郎. 確率的誤差補償法による高ダイナミックレンジ画像表示システムの開発. 映像情報メディア学会技術報告 vol. 41, no. 40, HI2017-72, 21-24, 2017.
2) 早坂美咲, 永井岳大, 佐藤智治, 栗木一郎. HDR 背景上におけるコントラスト感度特性. 日本視覚学会2018冬季大会, 2018/1/17-19
3) 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）

採択回数	1	(2)	3

(国際)

採択番号：**H28/A21**

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

［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

Ellen Yi-Luen Do
(National University of Singapore)
Weiquan Lu(National University of Singapore)
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	100,000円
旅費	166,000円
国際特別支援費	200,000円

［2］研究経過

バーチャルリアリティを始めとした3次元インタラクティブシステムでは，コンテンツを操作するためにジェスチャなど日常的な身体動作を模した入力方法が好まれる．本研究では，ジェスチャを活用したインタラクションシステムを試作し評価するにあたり，デザイン学の考えを取り入れて研究を進める．

本プロジェクトは数年に渡って継続してきたものであるが，本年は，これまでの成果を踏まえながら実アプリケーションの開発と評価に取り組んだ．具体的には，教育場面で最も利用可能性や普及度が高いスマートフォンを用いたAR (Augmented Reality) のオーサリングを開発し評価した．また，その中で，教育コンテンツを操作するためのジェスチャインタフェースの設計と実装に力を入れ，実際に教壇に立つ教師による評価も実施した．

本研究を遂行するために，今年度は，デザイン学によるインタフェースシステムの開発を専門とする研究分担者であるWeiquan Lu (National University of Singapore) を招聘し密な議論の場を設けた．なお，国際枠の支援が得られたため，氏の滞在期間を29年7月1日から8月2日と一ヶ月とすることができ，この期間に多くの議論や設計を進めることができた．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，様々にあるARやVRの利用可能性の中から教育場面を取り上げ，現場で教員が利用可能なAR オーサリングツールおよびジェスチャ入力システムの研究に取り組んだ．本研究はデザイン学的なフローも取り入れ，教育に携わる人達がARコンテンツを開発する際にどのような事が必要か議論するワークショップを実施し，その中から設計要素を抽出し，それらを整理しながら提案するシステムの設計と実装を進めた．

提案システムは，図1に示すように，スマートフォンを利用することで，把持スタイルでも頭部搭載（簡単なヘッドセットを利用）スタイルでも利用可能なものとした．これにより，外界の情報との連係が必要な時，両手が必要な時，詳細な操作が必要な時など利用場面に応じて適切な持ち方に切り替えられるようにした．この機構は両手や片手ジェスチャの利用にも関わる重要な設計要素でもある．

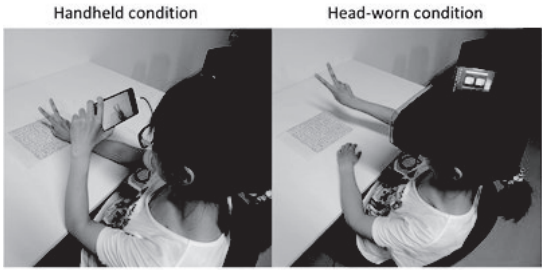


図1．把持，頭部搭載型のスマートフォンAR

図２に，実際のスマートフォン内での表示画面の例を示す．仮想オブジェクト（教育コンテンツとして様々なモデルを登録可能）が表示されており，それを操作するためのユーザの手も同時に見ることができる．ジェスチャの認識については，スマートフォンの単眼カメラのみを利用して手指の動きを計測するシステムを実装した.単眼カメラを使う場合は，指の奥行きの動きの計測が難しい．ここでは，その制約の中で最も認識率が高いジェスチャセットを検討した．様々な方法を用意できるが，最もシンプルなものとして，例えば，図３で示すように，指の本数を数えることでジェスチャのコマンド登録と実行を出来るように設計した.

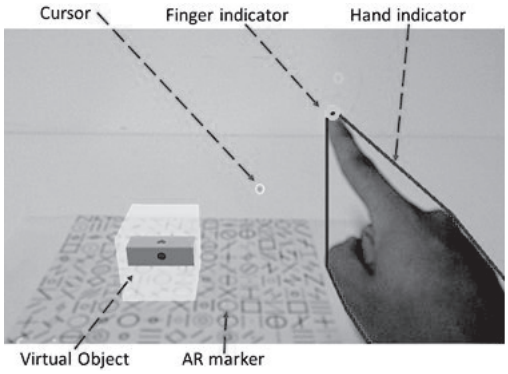


図２．開発した教育用 AR オーサリングツール

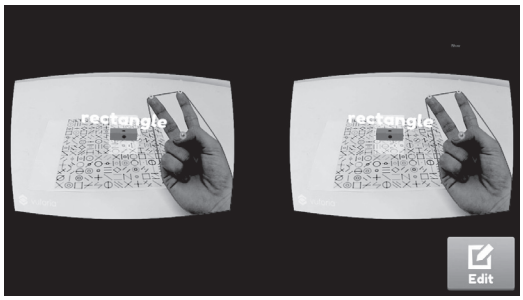


図３．単眼カメラを用いた指のジェスチャ認識

オブジェクトの操作や登録だけではなく，教育コンテンツの製作に欠かせないテキスト入力についても検討した．多くの AR や VR システムではテキストタイピングに課題があるが，本研究では，図４に示すように，スマートフォンを利用していることを活かして，簡単にテキスト登録をすることを可能とした.

これら設計と実装は教育現場の声をもとになされものであるが，開発したシステムの有用性について検証する必要がある.そこで,本プロジェクトでは，実際に教壇にたつ先生（理科系科目の専門）三名にシステムの様子やシナリオを説明し，提案システムにどのような可能性があるかをインタビュー形式で評価した．その結果，タブレットやスマートフォンが教育現場へ浸透していることからこのような検討に大きな価値があること，授業全体というよりは，個別の課題（数学の幾何学など）への適用可能性が大きい，等の肯定的な意見を得ることができた．その他，使い勝手や望ましい機能などについても整理することができた.



図４．AR コンテンツに対するスマートフォンによるテキスト入力.

これらの研究は，北村研究室の修士二年の岡聖志君が，Weiguan Lu と議論しながら，修士論文研究の一環として実施したものである．修士論文は英文で執筆されたこともあり,既に VR 関係の学会に投稿する準備がほぼ整った状態である.

国際支援により，Weiquan Lu の滞在を比較的長くすることができたため，設計や議論に留まらず，実装や評価実験まで進めることができたと言える.

（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，複数年に渡って続けてきたプロジェクトである．最大の特長としては，典型的な工学または人間工学的な VR や AR のジェスチャインタフェースの設計ではなく，デザイン学の考えを取り入れることで，様々な領域で検討される身体的なジェスチャについての新たな設計論を提案できたことである．また，国際交流を長期に亘って続けたことで文化的な議論もできた．例えば，今年度の成果では，教育に関わる日本とシンガポールの考え方の違い，言語の違い，IoT 技術の社会的な受容度などについて議論することができた．これらは，実アプリケーションを設計する時には極めて重要であり，後の教育用スマートフォン AR の設計と実装に大きく寄与できると考える.

［4］成果資料

Kiyoshi Oka, Weiquan Lu, Kasim Ozacar, Kazuki Takashima, and Yoshifumi Kitamura: Exploring In-the-Wild Game-based Gesture Data Collection, Proceedings of the 16th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction - INTERACT, pp. 97-106, 2017

Kiyoshi Oka: A Study on AR Authoring Tool using a Smartphone for School Teachers, Master's thesis, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University.

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：**H28/A22**

超高精細全天映像と超高精細全天音声を使った超臨場感空間の再現

［1］組織

研究代表者

尾久土　正己（和歌山大学観光学部）

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

坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

Jorge Alberto Treviño López

（東北大学電気通信研究所）

中辻　晴香（和歌山大学観光学部）

大井田かおり（和歌山大学大学院観光学研究科）

延べ参加人数：6 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	135,000 円

［2］研究経過

プラネタリウムのドームスクリーンに実写の高精細な映像を投影する研究・開発は，ようやくプラネタリウム業界の間でも取り組みが始まり，我々が提唱するスポーツや観光の映像を投影する取り組みに関心が高まってきている。本プロジェクトは，ドームに投影した高精細な全天映像に，東北大学電気通信研究所の先端音情報システム研究室が研究・開発を進めている高精細な全方位音声を加えることで，より高い臨場感空間を再現することを目的としており，最終的には東京オリンピックでの超臨場感パブリックビューイングの実現を目指している。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，お互いの研究現場を見学し，課題を理解することで，今後のプロジェクトの進め方を議論した。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，2017 年 11 月４日，八尾市総合体育館で開催されたバレーボールの試合の現場で 8K カメラを使った全天映像の撮影と 64ch のマイクアレイを使った全方位音声の録音を行った。



図１　バレーボールの試合が行われた体育館の観客席に設置した 8K カメラと 64ch マイクアレイ。



図２　和歌山大学のドームシアターに投影したバレーボールの試合を観戦する被験者。

ドームでの高精細音声の再生には，多数のスピーカーを設置する方法が考えられるが，和歌山大学のドームスクリーンはエアドームを採用しているため，スクリーンの裏面にスピーカーを設置することができない。そこで、録音した音声をバイノーラル音声に変換し，ヘッドフォンで再生することにした。その結果，従来のステレオ音声に比べて，高い臨場感の音声を再生することに成功した。

この臨場感の差を評価する方法として，感性工学の手法の１つであるSD法と，脳血流の変化の測定を検討した。SD法については，先にドーム映像だけで評価実験を行い，その手法の有用性を明らかにした(1)。また，脳血流の測定は，映像の切り替えの前後に血流の目立った変化が見られたが，その解釈についてはさらなる研究が必要である。来年度はSD法を用いて，高精細全天音声の効果を評価する予定である。

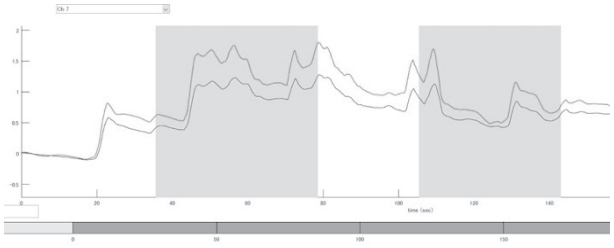


図３　全天映像を見たときの脳血流の変化の一例。網掛け部分が映像を流した時間帯。

［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，8Kカメラと64chマイクアレイを使い，映像・音声ともに超高精細な全天データをスポーツの現場で撮影・録音することができた。試合中は観客席はほぼ満席になったが，最低限のスペースで周囲の観客に迷惑をかけることなく設置・運用できたことで，このシステムがオリンピックなど観客の多い現場でも展開可能なことを示せた。

第２に，それらの映像・音声をドーム内で再生することができた。通常のプラネタリウム館では，数個のスピーカーは埋め込まれているが，それ以上の設置は大規模改修のときを除いて不可能である。今回のようにヘッドフォンでのバイノーラル音声の再生であれば，座席に端子を配線することで実現可能である。近年の外国人観光客の増加に対応して，副音声用の端子を座席に整備する館も出てきており，今後さらに普及するものと考えている。

なお，今年度リニューアルした都内のプラネタリウム館ではドーム内に 43 個のスピーカーを埋め込んでいる。今後はそれらの館の協力を得て，マルチスピーカーでの高精細音声の再生にも挑戦したい。また，SD法や脳血流を使った臨場感の評価も行いたい。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，研究代表者がWGリーダーを務める超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)の全天映像WGの活動を通じて，政府関係者やオリンピック関係者にも情報提供されている。今年度は２度，都内のプラネタリウム館を借りて上映会を開催している(2)(3)。その結果，内閣府の「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会に 向けた科学技術・イノベーションの取組に関するタスクフォース」のプロジェクト８に選ばれ，2017年11月15 日に開催されたタスクフォースの推進会議でその活動が総務省から報告されている(4)。さらに，2018年２月23日に内閣府が開催したシンポジウムで研究代表者が講演を行う(5)など，2020 年のオリンピックでの超臨場感パブリックビューイングの実現に向けて着実に関係者の理解が進んでいる。

［４］成果資料

（１）論文：大井田かおり，中辻晴香，吉住千亜紀，尾久土正己「観光対象にいだくイメージ評価の試論～SD法からの考察～」，観光学 18，1-9（2018）

（２）上映会：「全天映像を使ったスポーツ・観光映像の上映会」（主催：超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)、コニカミノルタプラネタリウム“満天”in Sunshine City（東京都豊島区)），2017/9/27.

（３）上映会：「全天映像を使ったスポーツ・観光映像の上映会」（主催：超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)、コニカミノルタプラネタリウム“天空”in 東京スカイツリータウン（東京都墨田区)），2018/2/2.

（４）議事概要：2020年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けた科学技術・イノベーションの取組に関するタスクフォース 推進会議（第８回）
http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/olyparasuishin/8kai/gijigaiyo8.pdf

（５）シンポジウム：「社会への実用化に向けた提案ー社会課題と技術。2020 年を転機としてー」（内閣府主催，時事通信ホール），2018.2.23
http://www.jamp.jiji.com/ad/sympo/2017/11/repo/

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（萌芽）

採択番号：H28/A23

多数生体信号の分析による異常の予測と検索

［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）
上山拓也（岩手県立大学・ソフトウェア情報学部）
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	100,000 円
旅費	113,000 円

［2］研究経過

One of manifestation of lifestyle related diseases, like hypertension, hyperlipidemia, diabetes, is arteriosclerosis. Arteriosclerosis is hardening of artery caused due to smoking, obesity, stress, etc. Arteriosclerosis means thickening and hardening of the arterial wall. This leads to high blood pressure, artery blocks leading to cardiovascular diseases. Becomes thick or hard, and the original work is slow. It is a generic name of lesions.

Measuring the Pulse Wave Velocity (PWV) is the test to investigate the state of arteriosclerosis. PWV is an index of the hardness of the arterial wall, known to be optimal as a means for early detection of arteriosclerosis. Furthermore, PWV is a non-invasive method, easy to test and result is available immediately. However, since the equipment is expensive, and big, it is necessary to visit a hospital with cardiology department, and the perform PWV inspection by a trained person. For these reasons, this test is not included in regular health check.

The aim of this study is to measure arteriosclerosis using simple and inexpensive sensors and the collected data analyzed by light computation, like a smart phone. Then, this test could be accommodated in portable health-examination vehicles. This will enable wider use of PWV and awareness of potential patients, who otherwise feel healthy.

With decreasing price and size of novel sensors, better noise reduction both in the hardware and software, wireless connection by BT and increasing computational power and memory of small mobile devices like smart phone, it is now possible to collect different bio-signals, transfer the data to smart phone, analyze them in real time, and generate reports and/or warnings.

PWV is a well accepted parameter to judge the condition of hardening of artery. At present, one has to visit a hospital with cardiovascular unit to get PWV tested. In this work, we propose a simple and cheap way to get PWV tested. Experimenting on several subjects, we have shown that the proposed system delivers reliable results.

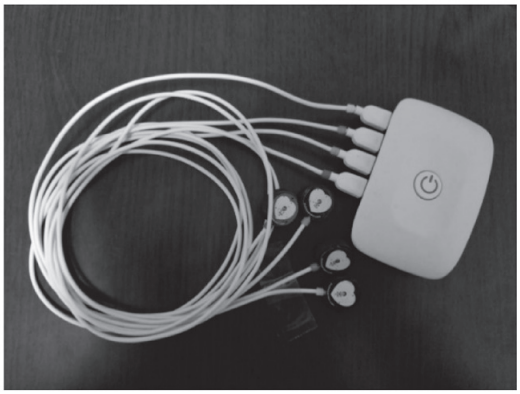


Figure 1: volumetric Pulse wave sensor system

Lifestyle-related diseases are caused by continuation of unhealthy lifestyle like sedentary habit lack of exercise, smoking, sleep deprivation, high calorie food etc. This leads to high blood pressure, cardiovascular disease, diabetes etc. Though these diseases have a few explicit alarming symptoms, they are life threatening. So, early detection and awareness is important. This is possible if we have cheap and simple diagnostic methods.

The proposed method only measures PWV, i.e., the stiffness of the artery. The hospital equipment has four inflatable cuffs which are pumped tightly and then released slowly, to measure blood pressure at four points. The test is to be undertaken by trained health professional. Our equipment measures pulse wave using light reflected from blood flow.

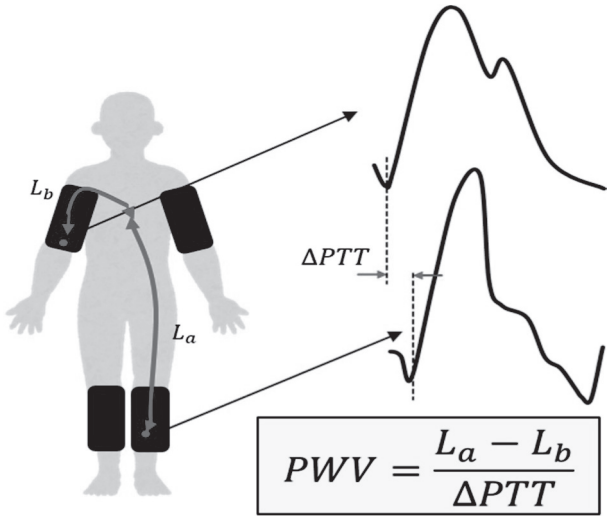


Figure 2: PWV Calculation

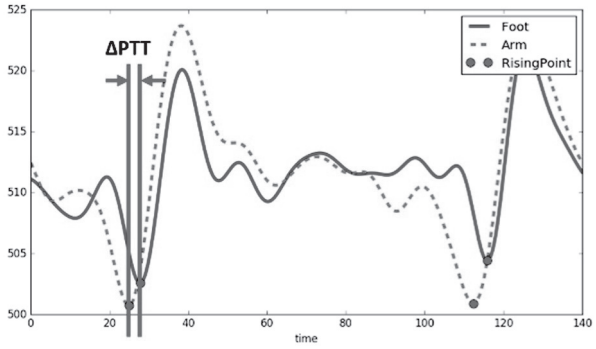


Figure 3: Pulse wave rising point and ⊿PTT

PWV = (La - Lb)/ APTT , where APTT is the time of travel of the pulse wave between two sites of arterial tree ?they are elbow and ankle. (La - Lb) is a measure of the artery length between the two sites, which is calculated from the height. Strictly, it depends on arm and leg length, but an approximate relation is worked out. When the artery is stiff, the pulse wave moves faster, making APTT smaller. Thus, higher PWV indicates stiffer artery.

LPTT accuracy is important. For a person with average height, change in the value of LPTT from 0.03 sec. to 0.02 sec. will change PWV from 1053.3 to 1579.9. Data were collected at 1000 Hz. rate, so that an accuracy of 1 millisecond was ensured. Data were collected from 6 subjects, 3 males and 3 females. 5 subjects were in their 20's and one aged 60. PWV values using our equipment were all within the normal range ensuring the correctness of the approach. Comparison with values using hospital equipment will be done in future.

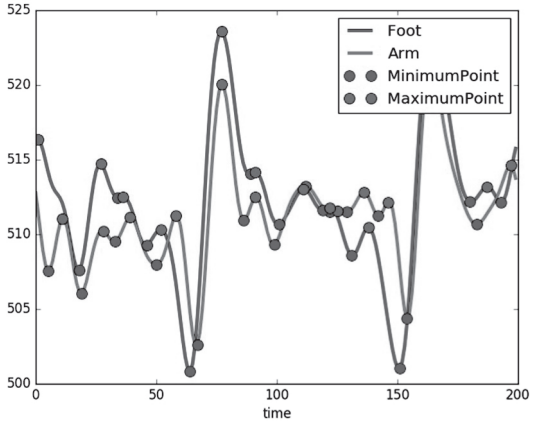


Figure 4: Min. and Max. points of the pulse identified

The aim of this work is to realize a cheap, easy to carry testing system, which in conjunction with a smart phone will be able to measure the PWV and therefore could estimate the hardness of artery.

List of Visits to Tohoku University RIEC:

(1) 1st. visit - 2017/9/27
(2) 2nd. visit – 2018/2/2 – 2018/2/3
(3) 3rd. visit - 2018/03/09 – 2018/03/10

［3］成果

（3－1）研究成果

In this work we measured PWV using cheap sensors, and it could easily be transported to a smart phone platform.



Figure 4: Existing Equipment

Figure 4 shows the equipment used in hospitals' cardiology department. For its bulky size, and cost,

this equipment is not available on portable medical test units, and not in clinics. This test is also not available in regular health-check.

On the right, the sensors we used is shown with the data collection unit, which can communicate wirelessly using BlueTooth. While taking pulse data, sensors are attached to the body using Velcro straps. It is possible to add BT and small battery with the strap, to get rid of the separate communication unit, transmitting data directly to a smart phone. The cost of the proposed system is ver cheap and the size and weight allows it to be portable.

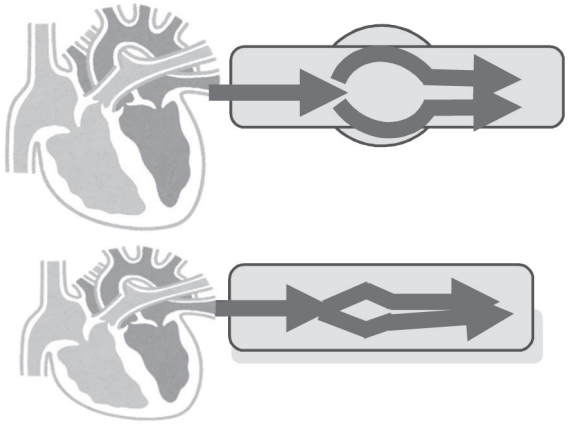


Figure 5: Blood flow - soft artery (up) and hard artery (below)

In Fig. 5, we see what happens when blood is pumped (by heart) through artery. When the artery is soft, Fig. 5 (up), the pulse of blood push the artery wall making it wider. Thus, the velocity of the pulse is low. On the other hand, as shown in Fig. 5 (below), when the artery is hard the artery diameter does not change with the pressure of the blood pulse wave, and the velocity of the pulse wave is faster. By measuring this velocity, one could measure the hardening of the artery. This is the principle of PWV meter. On the right of Fig. 3, we have shown the difference or the delay, between the pulse arrival at two specific locations, *a* and *b*, of the body. If their distances from heart are L_a and L_b respective, and the time delay is ΔPTT (PTT stands for pulse travel time), we can measure the pulse wave velocity as:

$$PWV = \frac{L_a - L_b}{\Delta PTT}$$

If PWV is large, ΔPTT is small, i.e., pulse moves fast. This indicates that the artery is hardening.

$L_a - L_b$ is estimated from the height of the subject. The accuracy of determining ΔPTT is most crucial in finding the true value of PWV. A change in the value of LPTT from 0.03 sec. to 0.02 sec. will change PWV from 1053.3 to 1579.9. Data from the sensor was collected at the rate of 1000 Hz. So, the accuracy of measurement was 1 mili-second. Fig. 6 shows the value of PWV for male and female subjects of different ages.

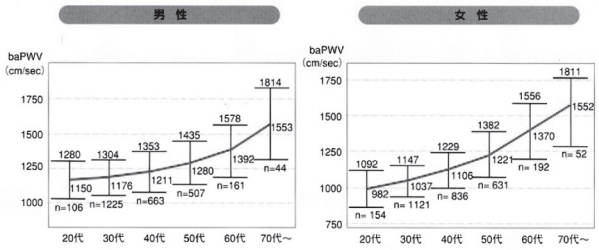


Figure 6: The average and range of PWV for male and female of different ages

We took data from 6 subjects of different sex, age and height. Table below shows the result. It is seen that all results fall under the range of value corresponding to their age and sex.

Age	Sex	PWV	Low	Average	High
20s	Female	1019	872	982	1092
20s	Female	1046	872	982	1092
60s	Female	1231	1184	1370	1556
20s	Male	1080	1020	1150	128-
20s	Male	1101	1020	1150	1280
20s	Male	1259	1020	1150	1280

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Most of the hospital equipment, as PWV shown in Fig. 4, are costly and bulky. For these reasons, this equipment is not available on portable medical test units or clinic. This test is also not available in regular health-check (健康診断). With new sensors, many could be replaced by small, cheap, portable ones, which could monitor our health real time. Our research shows one such possibility.

［４］ 成果資料

（１） Goutam Chakraborty, Takuya Kamiyama, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "An Efficient Anomaly Detection in Quasi Periodic Time-series Data - A Case Study with ECG," International work-conference on Time Series, September, 2017, Spain.

（２）Takuya Kamiyama, Goutam Chakraborty,"Real-time Anomaly Detection of Continuously Monitored Periodic Bio-signals like ECG," Springer Lecture Notes on AI, 10091, pp: 418-427, 2017.

（３） Weilun Wang, Goutam Chakraborty, "Probes Minimization Still Maintaining High Accuracy to Classify Target Stimuli P300," IEEE International Conference on Awareness Science and Technology, November, 2017, Taiwan.

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：**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　100,000 円
旅費　98,000 円
若手特別支援費　100,000 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 2 年目であった．初年度の検討では，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．そこで本年度は，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に研究を推進し，2017 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，2017 年 11 月の研究会デザインガイア，2018 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と意見交換を行った．2018 年 2 月には電気通信研究所にて研究講演会を企画し，本プロジェクトの成果を広く公開するとともに，その後に行った研究打合せを通し，本年度の研究成果と次年度へ向けた課題の整理を行った．

［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，Random Forest による検知手法を提案するとともに，そのコンパクトなハードウェア実装に向けた検討を行った．VEVBDD (Vectorized Edge-Valued Binary Decision Diagram)と呼ぶデータ表現を用いることにより，FPGA 実装におけるハードウェアリソースを抑えつつ，ソフトウェア実装の25倍の性能を達成できることを示すとともに，その書換え可能ハードウェアへの発展の可能性についても同時に示した．

アノマリ検知型については，前年度に提案した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推進した．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．

本プロジェクトの成果の一部は，2018 年 2 月に東北大学電気通信研究所本館にて開催された研究講演会において報告が行われ，若手特別支援費はこのときの講演者（永山忍と井上博之）の旅費補助に使用した．それまではオンラインでの打合せのみであったが，対面での打合せにより活発な意見交換を行うことができ，現状と今後の課題がより明確になった．

（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推進する計画である．

［４］成果資料

[1] Toshitaka Ito, Yuri Itotani, Shin'Ichi Wakabayashi, Shinobu Nagayama, Masato Inagi, "An FPGA-based Nearest Neighbor Search Engine Using Distance-based Hashing for High-Dimensional Data," The 21st Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information technologies, March 2018 (accepted).

[2] 薛 斌斌，永山 忍，稲木 雅人，若林 真一，"ランダムフォレストに基づく書き換え可能なネットワーク侵入検知ハードウェアのメモリ量削減について，" 電子情報通信学会技法 VLD2017-90, pp. 7-12, 2018 年 2 月.

[3] 荒井 悠人，若林 真一，永山 忍，稲木 雅人，"高次元データに対する LSH 法を用いた k 近傍探索ハードウェアの提案と FPGA 実装，" 電子情報通信学会技法 VLD2017-91, pp. 13-18, 2018 年 2 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を用いたモチーフ抽出法の提案と実験的評価，" 電子情報通信学会技法 VLD2017-108, pp. 115-120, 2018 年 2 月.

[5] 須田拓樹，夏井雅典，羽生貴弘，"脳型計算に基づく非シグネチャ不正侵入検出手法，" 第 31 回多値論理とその応用研究会, pp. 51-56, 2018 年 1 月.

[6] Binbin Xue, Shinobu Nagayama, Masato Inagi, and Shin'ichi Wakabasashi, "A Programmable Architecture Based on Vectorized EVBDDs for Network Intrusion Detection Using Random Forests," NOLTA 2017, pp. 132-135, Dec. 2017.

[7] 夏井雅典，須田拓樹，羽生貴弘，"時系列特徴を用いた脳型計算ベース車載ネットワークセキュリティ技術，" 多値論理研究ノート, pp. 12-1-12-5, 2017 年 9 月.

[8] 須田拓樹，夏井雅典，羽生貴弘，"脳型計算に基づく車載ネットワークの不正侵入検出法，" 平成 29 年度電気関係学会東北支部連合大会 2017 年 8 月.

[9] 薛 斌斌，永山 忍，稲木 雅人，若林 真一，"ランダムフォレストに基づく再構成可能なネットワーク侵入検知システムの一実装法，" 電子情報通信学会技法 VLD2017-10, pp. 37-42, 2017 年 6 月.

[10] 須田拓樹，夏井雅典，羽生貴弘，″時系列特徴を考慮した脳型計算ベース車載ネットワークセキュリティ技術に関する基礎的検討，″ LSIとシステムのワークショップ2017 2017年5月.

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3
（国際）

採択番号：**H29/A01**

磁性体/半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究

［1］組織

研究代表者

松倉　文礼（東北大学材料科学高等研究所）

通研対応教員

白井　正文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

廣畑　貴文（ヨーク大学）

大野　英男（東北大学電気通信研究所）

佐藤　英夫（東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター）

金井　駿（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	100,000 円
旅費	50,000 円
国際特別支援費	200,000 円

［2］研究経過

スピントロニクス・デバイスの研究開発は、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、高品質な強磁性体/半導体ハイブリッド構造の成膜手法の確立、構造の基礎特性評価、デバイス試作を行うことで、新機能スピントロニクス・デバイス開発に必要な基盤技術を確立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るが、同メンバーによるプロジェクトは平成26-28年度のも採択されていた。これ迄に、強磁性金属 Py/トポロジカル絶縁体$(Bi,Sb)_2Te_3$の積層構造の強磁性共鳴(FMR)スペクトルを測定し、FMRスペクトル線幅の増大は主に$(Bi,Sb)_2Te_3$の表面粗さに起因することを明らかにした。

以下、研究活動状況の概要を記す。

電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設において既存の分子線エピタキシ装置により$(Bi,Sb)_2Te_3$のCrドープSb_2Te_3結晶成長を大野、松倉と博士研究員のSachin Guptaが担当した。それらの構造評価、磁気輸送測定の評価は松倉と Gupta が担当した。$(Bi,Sb)_2Te_3$上への同実験施設のスパッタ装置を用いた強磁性金属Pyの成膜は佐藤とGuptaが担当した。Py/$(Bi,Sb)_2Te_3$半導体の界面において生成されるスピン流の生成と検出は松倉、Gupta、金井が担当した。廣畑とは白井を交えて仙台にて、研究方針に対する打ち合わせを行った。

［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。本年度は、国際特別支援費の支出とそれに関わる成果はない。

(1) 約50 nm厚のCrをドープしたSb_2Te_3を半絶縁性GaAs (111)B 基板上に分子線エピタキシ法により、基板温度280℃で成長した。Cr組成が0.44迄は二次相の析出のないテトラジマイト構造の単結晶$(Cr,Sb)_2Te_3$が作製できることをX線回折等により確認した。$(Cr,Sb)_2Te_3$は垂直磁気異方性を伴う強磁性を示し、そのキュリー温度はCr組成の増加に伴い向上した。Cr組成0.44の試料に対しては、キュリー温度250 Kを観測し、磁性元素をドープしたトポロジカル絶縁体における最高のキュリー温度を得た。

(2) 約50 nm厚$(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$を半絶縁性GaAs (111)A基板上に分子線エピタキシ法により、基板温度320℃で成長した。Sb組成xは0から1の間でBi/Sbフラックス比を調整することで変えた。Bi組成xが0.3から0.6の範囲にある試料に対して室温からの温度

減少に伴い電気抵抗が増加し、約40 Kにおいてほぼ飽和した値を取る。このことは40 K以下では表面状態の電気伝導が支配的となっていることを示唆する。

ウェハを劈開し、約2×3 mm^2の領域に20 nm厚のPyをスパッタにより製膜した。参照試料として熱酸化膜付きSi基板上に直接Pyを堆積した試料も用意した。Pyの強磁性共鳴(FMR)スペクトル測定のために試料をマイクロ波(9 GHz)導波路内に導入した。スペクトルは外部磁界を掃引することで得た。表面粗さのスペクトル線幅への影響を避けるために外部磁界は面内方向とし、FMRスペクトルの温度依存性を測定した。

共鳴磁界の温度依存性は~40 K以上では$(Bi,Sb)_2Te_3$上のPyと基板上のPyでほぼ同じ傾向を示し、温度低下につれて単調減少した。これは温度低下に伴う磁化の増大に起因するものと考えられる。~40 K以下では$(Bi,Sb)_2Te_3$上のPyの共鳴磁界は基板上のPyのものより急激に減少した。共鳴線幅の温度依存性は~40 K以上では$(Bi,Sb_2)Te_3$上のPyと基板上のPyでほぼ同じ傾向を示し、温度低下につれて単調減少した。~40 K以下では$(Bi,Sb)_2Te_3$上のPyの共鳴線幅は基板上のPyのものより急激に増加した。これらのことは、~40 K以下においてPyと$(Bi,Sb)_2Te_{3n}$の界面に交換結合もしくは界面磁気異方性があること及びスピンポンピングがあることを示している。表面状態の伝導が支配的になる温度以下で見られる現象であることから、表面状態の存在に起因する効果であるものと推察される。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究により、トポロジカル絶縁体に磁性元素を高濃度にドープすることによりキュリー温度の高い磁性トポロジカル絶縁体の作製が可能であること、磁性金属/トポロジカル絶縁体界面においてスピン流を生成可能であることが示された。

金属/半導体界面でのスピン流生成は両材料間に電気伝導率不整合があるため、困難であるとされてきた。金属/半導体界面での効率の良いスピン流生成は、新しい機能を持つスピントロニクス・デバイスの創生に向けた基盤技術となることが期待される。

通研の分担者である大野を日本側のコーディネータとした日本学術振興会の先端拠点形成事業(東北大学・英国ヨーク大学・独国カイザースラウテルン工科大学)が平成28年度から5年間の予定で採択されている。より密接な共同研究体制の構築が進んでおり、今後の研究の加速化が期待される。

［４］成果資料

（1）S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic and transport properties of Sb_2Te_3 doped with high concentration of Cr," Appl. Phys. Express **10**, 103001 (2017).

（2）S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of ferromagnetic resonance spectra of permalloy on $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$," Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 020302 (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：**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

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：5 人

研究費

物件費　100, 000 円

［2］研究経過

本研究は、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・メタマテリアルを実用化するために、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 Au 等の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材料である。情報通信機器の高性能化が期待できることから、近年ますますその重要性が増している。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できるので、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、我々は LiF 基板上にエピタキシャル成長した単結晶 Au 薄膜を作製し、結晶粒界のない極めて平坦な表面を持つプラズモニック・メタマテリアルを作製した。その結果、Fano 共鳴によるピークの観測に成功し、従来の約 5 倍の利得（Q 値）を持つことがわかった。さらに、高効率材料の単結晶 Ag 薄膜をマイカ基板上にファンデルワールス・エピタキシーで成長させることに成功し、光学定数測定結果から単結晶 Au 薄膜の約 20 倍の Q 値を持つことを見出した [1] 。

本プロジェクトは本年度が初年度で、プラズモニック・メタマテリアルの応用として、表面増強ラマン散乱(Surface-Enhanced Raman Spectroscopy: SERS)の高性能化を検討した。SERS は、直径数 10 nm の Au ナノ粒子表面に吸着した分子のラマン散乱強度が、局在表面プラズモン共鳴によって 10^6 倍も増強する現象である。近年、SERS によりタンパク質 1 分子でも検出できることが報告され、その応用技術が注目されている。従来、SERS 基板には Au ナノドットが用いられてきたが、Ag 薄膜を用いることができれば、低価格と製造工程の簡略化が期待できる。我々は、表面に多数のボイドを持つ単結晶 Ag 薄膜について SERS 効果を調べた結果、従来のナノドット構造以上の感度を持つことを見出した [2]。そこで、本年度は高感度な SERS 基板を開発するために、グラフェンと単結晶 Ag 薄膜の SERS 効果を詳細に検討した。

SERS 基板は、物質・材料研究機構の高真空スパッタを用いて、真空度 10^{-5} Pa、500℃の高温でマイカ劈開面上に作製した。作製した試料の結晶構造解析を東北工業大学において行った。グラフェンは物質・材料研究機構の全自動スパッタ装置でマイカ劈開面上に堆積した Cu 薄膜上に東北工業大学の CVD 装置を用いて成長させた。SERS 評価試料は 10^{-6} M のローダミン 6G (R6G)水溶液に 3 時間浸漬させた後に、空気中で自然乾燥させることにより作製した。SERS 特性は、末光真希研究室のラマン分光装置（励起レーザー波長 532 nm）用いて評価し

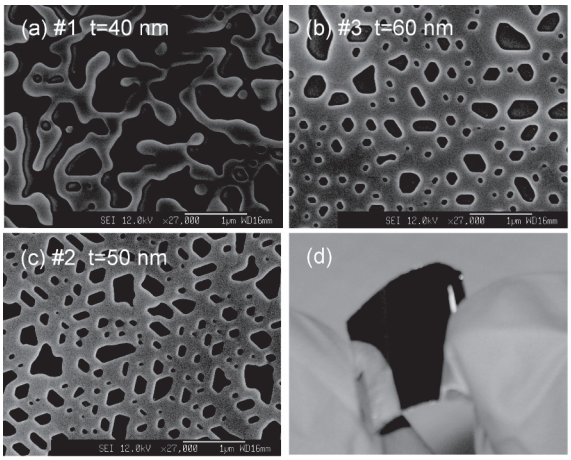


Fig. 1 (a)-(c) SEM images of Ag thin films and (d) a photo of flexible SERS substrate.

Table 1 Summary of measured SERS substrates.

Sample	Substrate	Ag thickness	Graphene	Surface texture	Ag coverage	Days after deposition	SERS S/N ratio at 614 cm^{-1}
#1	mica/Ag	40 nm	no	trench	51.7%	14	8.1%
#2	mica/Ag	50 nm	no	hole	65.9%	48	16.6%
#3	mica/Ag	60 nm	no	hole	70.9%	14	14.9%
#4	mica/Ag	50 nm	no	hole	64.5%	273	9.0%
#5	mica/Ag	50 nm	yes	hole	65.9%	48	0%
#6	Si/SiO_2	n/a	yes	flat	n/a	14	9.3%
#7	Si/SiO_2	n/a	no	flat	n/a	14	0%

た。実験および解析は、２回／月の頻度で行い、研究成果を応用物理学会および共同研究プロジェクト研究発表会で発表した [2, 3]。

［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、単結晶 Ag 薄膜の SERS 効果を検討した結果、ナノボイドの面密度に比例して感度が向上することがわかった。

第２に、単層グラフェンだけでも SERS 効果を示すことがわかった。しかし、Ag 薄膜とグラフェンの積層を作製すると、逆に SERS 効果が低減することがわかった。

第３に、単結晶 Ag 薄膜は SERS 効果に関して、

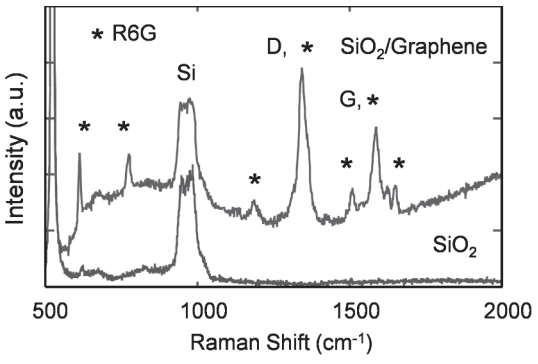


Fig. 2 Raman spectra of R6G on SiO_2 and graphene substrates, respectively.

耐久性に優れていることがわかった。これは単結晶 Ag 表面が安定なためと考えられる。

図１に Ag 薄膜の SEM 像を示す。堆積温度 500 ℃で Ag 薄膜を堆積した結果、表面にナノサイズのボイドが発生した。この原因として、Ag は凝集エネルギーが低く、加熱により凝集しやすいことや薄膜のため結晶安定性が低減し、凝集しやすくなることが考えられる。

本プロジェクトで作製した Ag 薄膜は、テープでマイカ基板を剥離することにより、マイカ基板を膜厚 200 μm 以下に薄層化するとフレキシブル基板として利用できることがわかった(図１d)。表１に本プロジェクトで評価した試料の仕様をまとめて示す。

はじめに、SiO_2 基板上に R6G を付加した試料#7 の SERS 効果を調べた(図２)。その結果、R6G のピークは観測できなかった。次に、単層グラフェンのみの SERS 効果を調べた結果、R6G 由来のピークを観測することに成功した。この結果から、グラフェンが高い品質係数を持ったプラズモン材料であることがわかった。

図３に単結晶 Ag 薄膜の SERS 効果を調べた結果を示す。Ag 薄膜の膜厚の増加とともに R6G 由来のピーク強度が大きくなった。この原因としてボイドの面積が小さくなった結果、表面プラズモンポラリトン(SPP)により SERS 効果が増強されたことが考えられる。

Ag 表面は酸化や硫化により変色することが知られている。そこで、Ag 薄膜の SERS 効果の耐久性について調べた（図４）。Ag 堆積後約９ヶ月経過した試料#4 は、Ag 堆積直後の試料#2 と同様に R6G 由来のピークを持つことがわかった。これは、単結晶 Ag 薄膜が大気中で安定なことを示唆している。

次にグラフェンと銀薄膜を積層化した試料#5 の SERS 効果を調べた。その結果、グラフェンのみの

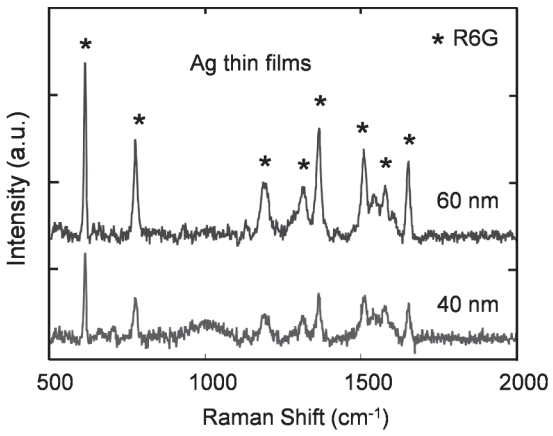


Fig. 3 Ag film thickness dependence of SERS spectra.

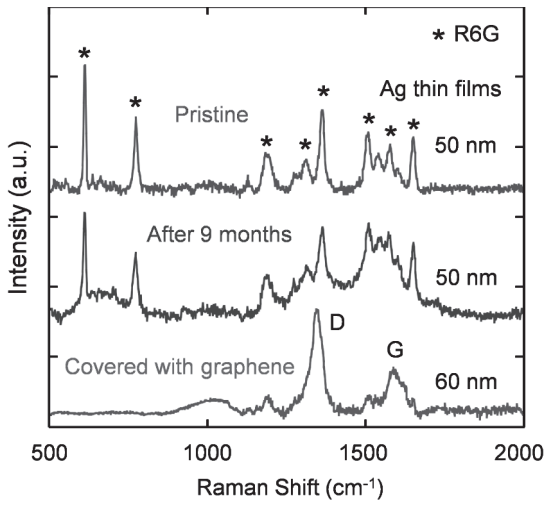


Fig. 4 Endurance reliability of the Ag SERS substrates and SERS spectrum of the stacked Ag/graphene substrate.

試料#6 よりも感度が下がった。試料#5 と#6 の両方で波数 1200 cm^{-1} 付近に同様のピークが観測されていることから、表面にあるグラフェン層の SERS 効果が支配的になっていると考えられる。以上の結果から、高感度な SERS 基板を作製するためには、グラフェンと Ag 薄膜の間に Al_2O_3 などの絶縁膜層を挿入する必要があると考えられる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、ナノサイズのボイドを持つ Ag 薄膜が SERS 基板として利用できることがわかった。SERS 基板には従来、Au ナノ粒子が用いられていることが多いが、Ag 薄膜に置き換えることにより、安価かつ簡便な製造工程を実現することが可能になる。また、本プロジェクトで明らかになった単結晶 Ag 薄膜の研究成果は、新しいプラズモニック・デバイスの開拓に結びつき、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”, submitted to Optical Materials Express.

（２）大黒 厚樹、石田 凌脩、内野 俊, “単結晶銀薄膜を用いたフレキシブル SERS 基板の作製”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 6p-PA3-22 (2017.9 福岡国際会議場).

（３）志賀 佳菜子、竹澤 政記、菅原 健太、尾辻 泰一、内野 俊, “ゲート付きグラフェントンネルダイオードの電気特性”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 5p-PA1-54 (2017.9 福岡国際会議場).

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
(熊本高等専門学校
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：3 人

研究費
物件費　100,000 円
旅費　113,000 円

［2］研究経過

圧電体や強誘電体は、超音波デバイス、アクチュエータ、焦電デバイス、光デバイス、記録デバイス等に広く用いられている。これらのデバイスでは、材料開発の他に、極性（分極）を意図的に反転させた構造を用いることが高性能化への一手段となる。

早稲田大の柳谷らはZnOやAlN等の圧電薄膜をスパッタリングで成膜する際、条件を制御することで極性を変える技術を開発し、研究を進めている。この技術が確立すれば、積層型の微細な極性反転構造が作製可能となり、また、マイクロ・ナノマシン（MEMS）技術との融合も可能であるため、次世代の圧電デバイスの開発に大きく貢献するものと期待される。これらの研究を推進するために、SNDMを応用して、層状構造の極性反転層を非破壊で評価する技術を確立するのが本研究の目的である。

一般に、誘電体試料に接触した探針下の電界分布は、試料と探針との接触点部分に集中することが知られているが、SNDMでは更にその電界の2乗に比例して信号が得られるため、特に接触点からの距離が非常に狭い領域のみの情報を観察することになる。このため、SNDMは面内で非常に高分解能に分極の観察が可能である。また、測定の深さについても、電界が表面付近に集中しているため、試料の表面付近の情報のみを測定している。この電界分布は、試料の誘電率と探針半径に依存し、探針半径が小さい程、また、誘電率が大きいほど探針直下に集中する。

この特性を用いると、探針半径を適切に変えてSNDMの測定を行うことで、分極分極反転層の面内からの深さを推定することが可能であると考えられる。即ち、極性によってSNDM信号の符号が反転するので、探針半径が層の厚さに対して十分に大きければ、基板の内部まで電界が生じ、表面の反転層よりも基板内部の分極を反映した信号が出力されることになり、逆に層の厚さに対して探針半径が小さければ、層の部分の極性のみを反映した信号が出力されることになる。更に、反転層の深さと電界分布が同程度の範囲となる探針半径である場合には、信号強度や符号はその層の厚さに応じて敏感に変化することが予想される。

昨年度までの共同プロジェクト研究で、層状に積層された構造の強誘電体や、成膜条件を成膜中に変化させて作製された層構造の圧電薄膜の極性について、非破壊に面内および深さ方向の分布を定量的に測定する技術を得ることができた。その技術を応用して、種々の層状構造を有するデバイス、例えば光導波路や多層膜の弾性波素子、プロトン交換層や拡散層など、デバイスプロセスの条件で深さが変わる構造について、非破壊で試料表面から評価を行できるように、個々の問題へ適用することを最終目的とする。本年度は、昨年度行った3層構造の評価のシミュレーションを元に、実験的検討を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

図1は極性基板の上に反転層が2層形成された場合の、出力信号と探針半径の関係をシミュレーションした図である。この図から、2 つ以上の異なる半径の探針を用いて測定することで、層厚を推定することができることがわかる。

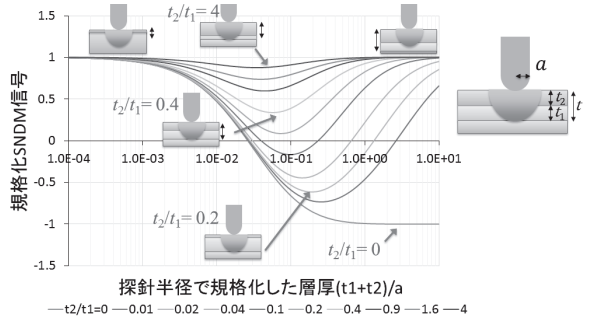


図 1. 規格化 SNDM 信号と反転層の厚さの関係

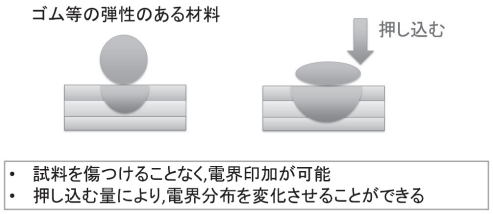


図 2. 柔らかい探針を用いた測定

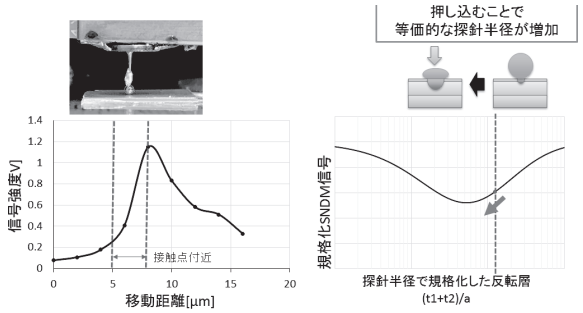


図 3. 押し込み量と出力信号の実験結果

しかし、探針を変えて測定するのは、煩雑であるので、図 2 のように、柔らかい探針を用い、押し込み深さを変えることで等価的に単身半径を変えることを提案する。

図 3. は実際にシリコンゴムに金を蒸着した探針で測定を行った結果である。左図から、探針が接触した点から信号強度が急激に増加し始め、押し込みとともに信号強度強くなっていることがわかる。これは、等価的に探針半径が大きくなったために、より深い反転層まで電界が侵入したためであると考えられる。

実験結果とシミュレーション結果を比較した結果を図 4 に示す。傾向は合っているものの両者に差がある。これは、探針先端の形状が球からずれてきていることが原因の一つであると考えられる。

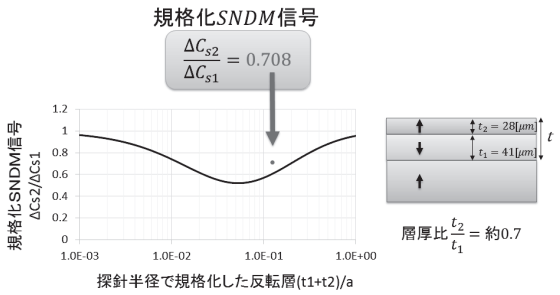


図 4. 実験結果

今後は、有限要素法で探針の変形と電界分布を正確に求め、より精度の高い解析を行う必要がある。このように精度の面で更に研究を進める必要があるが、本年度の研究で、本手法の可能性を確認することができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の成果は、分極反転構造を利用したデバイス研究の進展に寄与するものであり、将来、MEMS 技術と融合して移動通信用の高周波フィルタ、センサ、アクチュエータ、医療用のトランスジューサ等へ応用されることが期待される。

また、本技術を応用することで、分極反転のみでなく種々の層状構造を有するデバイス、例えば光導波路や多層膜の弾性波素子、プロトン交換層や拡散層など、デバイスプロセスの条件で深さが変わる構造について、非破壊で試料表面から評価できるようになる。関連分野への貢献が期待され、具体的な個々の問題に適用する研究を推進していく必要がある。

［４］成果資料

(1) Hiroyuki Odagawa, Koshiro Terada, Yohei Tanaka, Hiroaki Nishikawa, Takahiko Yanagitani and Yasuo Cho, "Quantitative thickness measurement in polarity-inverted piezoelectric thin film layer using scanning nonlinear dielectric microscopy", JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, No.56, 10PF18 (2017).

(2) H. Odagawa, K. Terada, H. Nishikawa, Y. Tanaka, T. Yanagitani and Y. Cho, "Quantitative thickness measurement in polarity-inverted piezoelectric layered thin film using scanning nonlinear dielectric microscopy", 2017 Joint IEEE ISAF - IWATMD - PFM (26th International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF)), (May 7-11, 2017, Atlanta).

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）

金井　駿（東北大学電気通信研究所）

大野　義章（新潟大学理学部）

関川　卓也（新潟大学理学部）

延べ参加人数：６人

研究費

物件費	12,500 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，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。

本研究の前段階として，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目指した。

平成 29 年 12 月 25 日，分担者の松倉と東北大学電気通信研究所内の松倉教授室で研究打ち合わせをし，複数の試料を受け取り，新潟大学にて核スピン計測を行なった。

得られた成果は，２月２２日の成果発表会にてポスター発表し，さまざまな研究者と議論を行った。

［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，積極的にキャリアを相殺するために Cr をドープした GaAs 基板では，Ga-NMR と As-NMR とで明瞭な違いが出た。すなわち As-NMR では，undoped GaAs 基板と同じ線幅でガウス型。反対に，Ga-NMR では，やや高周波側にサテライト構造が確認された。

第２に，Si-doped GaAs でも Zn-doped GaAs でも，また，Ga-NMR でも As-NMR でも，undoped の場合のスペクトルに対しいて線幅がほぼ２倍で，かつ明確にローレンツ型であった。

第３に，以上の実験から，ドープされた Cr 原子は選択的に As サイトを置換し，Ga サイトには入らないこと，Si と Zn は Ga サイトと As サイトの両方を置換していること，が強く示唆される。

第４に，本学の関川による第一原理計算を行ったところ，GaAs 基板において Cr-dope の場合には選択的に As サイトを置換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。実際，東北大学電気通信研究所の成果発表会では，対応教員である深見准教授のところに在籍している Justin Lliandro に強い興味を持たれ，来年度の共同研究者に加わってもらい，研究提案を申請することに繋がっている。

また，たとえば２０１４年度のノーベル物理学賞の対象となった GaN 系のバルクでも，強く求められている情報であり，名古屋大学の GaN 研究センターとの共同研究にも展開する。

以上より，本プロジェクトにより，「半導体のドー

パントの位置の同定」という基本的かつ基礎的で重要な知見を得る手法に展開することが強く見込まれ，今後の発展と展開および広がりが大いに期待される。

［4］成果資料

平成２９年度中に採択された論文はなく，現在，論文準備中である。下記の特許を出願済みである。

「歪み検出装置，歪み検出方法およびプログラム」佐々木　進：特許願０６８２０００ＪＰ，平成30年3月20日出願

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

小鍋　哲（筑波大学数理物質系）

澁田　靖（東京大学大学院工学系研究科）

太田　裕貴（横浜国立大学大学院工学研究院）

野内　亮（大阪府立大学大学院工学研究科）

菅原　克明（東北大学材料科学高等研究所）

延べ参加人数：70 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	141,000 円
若手特別支援費	100,000 円

［2］研究経過

研究経過

原子オーダーの厚みを有する２次元シート形状の物質は，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２次元シート薄膜に関する研究・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２次元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．

3 年計画の初年度であった本年度は，原子層半導体物質である遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）の大結晶合成，及び TMD 活用透明フレキシブル太陽電池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 29 年 11 月 15-16 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. 「有機・無機材料を用いたハイブリッドスマートデバイスの開発」太田 裕貴（横浜国立大学 大学院工学研究院）
2. 「分子性固体デバイスにおける表面界面現象の電界制御」野内 亮（大阪府立大学 大学院工学研究科）
3. 「集積化グラフェンナノリボンの特異な光応答」鈴木 弘郎（東北大学 大学院工学研究科）
4. 「ケミカルワールドをどうとらえるか」櫻井 望（かずさ DNA 研究所 技術開発研究部）
5. 「生物ビッグデータ時代における人工知能の可能性」青木 裕一（東北大学 東北メディカル・メガバンク機構）
6. 「分子分光学的手法の細胞計測への応用：ナノ秒パルス電場効果を中心に」中林 孝和（東北大学 大学院薬学研究科）
7. 「種子への酸素プラズマ照射により惹起される応答反応とその機序」林 信哉（九州大学 大学院総合理工学府）
8. 「微弱電流刺激による組織・細胞生理の制御と薬物送達」小暮 健太朗（徳島大学 大学院医歯薬学研究部（薬学系））
9. 「パルス高電界の周波数成分が酵母細胞に与える影響の違いとその応用」南谷 靖史（山形大学 大学院理工学研究科）
10. 「プラズマ照射による脳組織再生研究と広域電子顕微鏡による画像データ解析」田村 泰久（理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター）
11. 「グラフェン関連原子層超伝導体の高分解能 ARPES」菅原 克明（東北大学 材料科学高等研究所）
12. 「単層カーボンナノチューブの原子レベル構造制御合成」許 斌（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2次元薄膜物質である遷移金属ダイカルコゲナイドを対象として，大結晶合成，及び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. 単層単結晶遷移金属ダイカルコゲナイドの大結晶合成

原子オーダーという構造的特長に加え優れたキャリア輸送特性，高い光透過率，機械強度を合わせ持つ原子層物質は，次世代のフレキシブルエレクトロニクスに向け大きな可能性を秘めた新材料である．炭素原子からなるグラフェンが最も有名であるが，グラフェンにはバンドギャップが存在しないため，半導体デバイス分野への応用が困難とされている．これに対し，遷移金属をカルコゲン原子でサンドイッチした構造をとる遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）は，原子オーダー厚みという構造的特長に加え，可視光エネルギー領域に対応したバンドギャップを持つこと，さらに多層から単層になることで間接から直接遷移構造に変化すること等から光エレクトロニクス分野で大きな注目を集めている．この様な大きな可能性をもつTMDではあるが，単層構造に関する研究はまだ日が浅く，高品質大結晶のTMDを合成する手法は未だに確立されていない．そこで我々は，これまで類似のナノカーボン材料で実績のある化学気相堆積（CVD）法を用いて，TMD結晶の一種である二硫化タングステン(WS_2)の大結晶化に向けた合成実験を行った．

CVD法はTMD合成で最も一般的に用いられる手法であるが，合成できる単結晶サイズは通常100μm程度が上限となっていた．TMD合成の場合，硫化物を扱う不安定な反応であるため，装置の腐食等の観点から長時間の合成実験は技術的に困難である．従って，大結晶化を実現するには，必然的に結晶成長の高速化が重要な課題となる．高速成長を実現するには，基板温度を高温にする必要があるが，一方でこの場合，成長前駆体の基板からの脱離反応が進行するため，気相から供給される実効的な成長前駆体フラックスが低下してしまう．つまり，高速成長と高効率成長前駆体供給を同時に実現することが従来CVD法では困難であった．そこで，合成中に一時的に基板を急冷しその後再加熱を行う急速冷却CVD(RCCVD)法を考案した．一時的に冷却することで気相から基板への成長前駆体付着効率を一時的に高め，その後基板温度を高くすることで結晶成長を促す手法である．

冷却速度，冷却時間，再加熱温度等の合成パラメータを精密に最適化した結果，急速冷却効果を取り

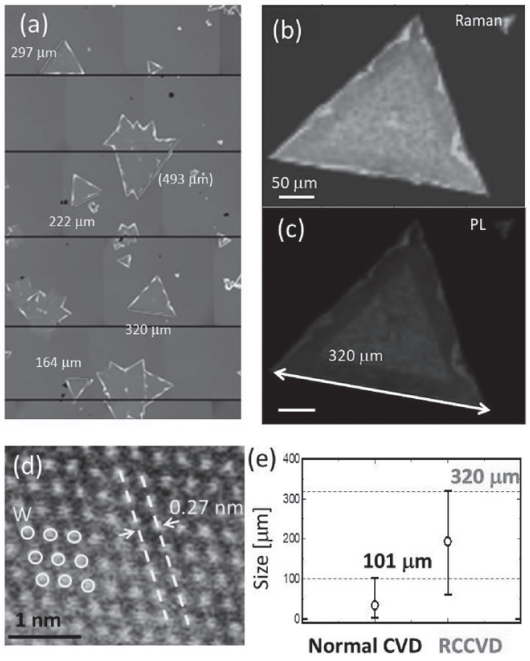


図1：(a) RCCVD法により合成した大結晶WS_2の(a)光学顕微鏡像，(b)ラマン強度マッピング像，(c)PL強度マッピング像，及び(d)STEM像．(e)従来CVD法とRCCVD法により合成した単層単結晶WS_2のサイズ比較．

入れることで320 μmの結晶サイズをもつ巨大単層単結晶WS_2の合成に成功した(図1)．明瞭な蛍光(PL)特性に加え，原子レベルで均質なWS_2が得られたことが走査型透過電子顕微鏡(STEM)像から確認されたことから，本手法で合成したWS_2が高品質であることが明らかになった．絶縁基板上に直接合成した単層単結晶TMDとしては世界最大単結晶サイズの一つである．

II. 遷移金属ダイカルコゲナイドを用いた透明フレキシブル太陽電池の開発

原子オーダーの厚みを有するTMDは明確なバンドギャップをもつ半導体として光電子デバイス応用に大きな注目を集めている．中でも，光透過性と機械的柔軟性を合わせ持つことから，数層TMDは高効率な透明太陽電池応用に向けて大きな期待を寄せられている．実際，数層TMDを用いた太陽電池に関して

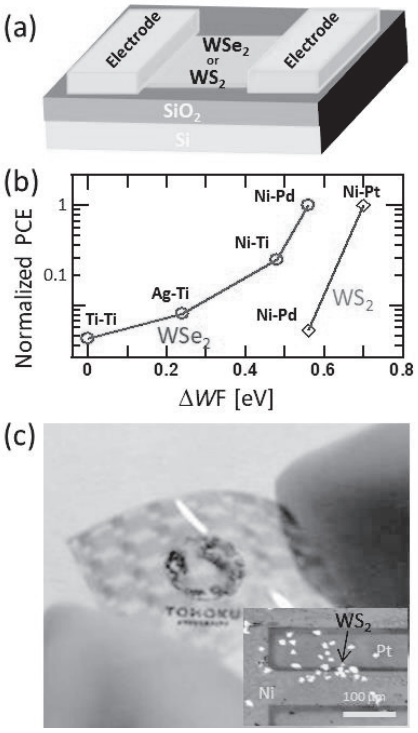


図 2: (a) 異種電極接合ショットキーデバイスの典型的なデバイス構造図. (b) 両端電極対の仕事関数差に対する発電効率のプロット. (c) 透明フレキシブル基板上に形成した TMD 太陽電池の光学写真.

は, pn 接合型やヘテロ接合型などにより, 既に多くの報告がなされている. 一方で, これらの手法では複雑なデュアルゲート構造, あるいは局所的化学ドーピングが必須なため, 実用上重要である大面積化に関しては, 大きな障壁が残されている. これに対し, 比較的簡便に太陽電池の作製が可能な手法として知られているデバイス構造にショットキー型構造がある. この場合, 金属と半導体材料間のショットキー障壁を利用する発電であり, 半導体材料に適切な金属材料を接合させるだけで太陽電池としての動作が可能である. このため, スケールアップが容易であり, 上記の問題とされてきた大面積化に向けて非常に大きな可能性を秘めた手法と言える. しかしながら, 数層 TMD を用いたショットキー接合型の太陽電池はこれまで世界中でほとんど報告されておらず, 高効率発電にも至っていないのが現状である. そこで本研究では, 数層 TMD を用いたショットキー型太陽電池の実現と高効率化, 及び大面積化に向けた研究を行った.

高性能ショットキー太陽電池を作製するには, 片側でショットキー障壁を作り, 対向側ではオーミック接合をするデバイス構造が必要である. そこで, 様々な両端電極種の組み合わせを変化させ, 仕事関数差を制御し, 発電特性を測定した. その結果図 2(a), (b)に示す様に, 両端の仕事関数差に比例して発電効率が上昇し, Ni-Pd 電極の組み合わせを用いた場合に最大発電効率が得られることが分かった. また, 光電流マッピング測定により発電領域の特定を行ったところ, 電極と TMD との接合面でのみ明確な光電流が観測され, 本手法で作成した TMD 太陽電池がショットキー型デバイスであることが証明された.

本デバイスにおいて, 電極間距離, 及び基板からの不純物散乱の抑制などの最適化を行った結果, 発電効率を 0.7 %まで向上させることに成功した. この値は, 数層 TMD 太陽電池において, 現在報告されている中で, 最も高い発電効率である. さらに本手法の利点である簡便性を活用し大面積透明フレキシブル基板上へのショットキー型 TMD 太陽電池の試作を行った. その結果透明フレキシブル基板上においても明確な太陽光発電を観測することに成功した(図 2(c)).

(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, 遷移金属ダイカルコゲナイド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
本プロジェクトで開発した単層単結晶 TMD の大結晶合成手法は今後の光電子デバイス応用に向け大きな貢献が期待されている. また TMD を用いた透明フレキシブル太陽電池の開発に成功した本成果は, TMD の新たな光電子デバイス応用を開拓した観点で極めて重要な成果である.

［4］成果資料
(1) Schottky solar cell using few-layered transition metal dichalcogenides toward large-scale fabrication of semitransparent and flexible power generator, T. Akama, W. Okita, R. Nagai, C. Li, T. Kaneko, T. Kato, Scientific Reports 7, 11967-1-10 (2017).
(2) Preferential synthesis of (6,4) single-walled carbon nanotubes by controlling oxidation degree of Co catalyst, B. Xu, T. Kaneko, Y. Shibuta, T. Kato, Scientific Reports 7, 11149-1- 9 (2017).
(3) Large single-domain growth of monolayer WS_2 by rapid-cooling chemical vapor deposition , C. Li, Y. Yamaguchi, T. Kaneko, and T. Kato, Applied Physics Express 10, 075201-1-4 (2017).

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3
（先端）

採択番号：**H29/A06**

超伝導光子検出器アレイを用いた革新的光計測及び量子情報通信技術の開発

［1］組織

研究代表者

寺井　弘高（情報通信研究機構）

通研対応教員

枝松　圭一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

三木　茂人（情報通信研究機構）

山下　太郎（情報通信研究機構）

藪野　正裕（情報通信研究機構）

延べ参加人数：８人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	211,000 円

［2］研究経過

量子光計測、量子光通信技術の研究開発は、量子鍵配送等の物理的に安全性を保証する完全秘匿通信、シャノン限界を超える大容量光通信、これまでにない解像度のイメージングを可能とする量子センシングの実現に向けて、近年ますますその重要性を増している。光の量子性を活用するためには、光源、検出器といった要素技術の高度化が不可欠であり、本プロジェクトでは、従来にない高速かつ高効率な超伝導ナノワイヤ単一光子検出器（Superconducting nanowire Single-Photon Detector: SSPD)を開発するとともに、それを応用した新たな量子光計測、量子光通信技術を創出することを目的として研究開発を進めている。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、SSPDを用いて光子対の周波数相関および時間相関を精密かつ高速に計測する技術の確立を目指して、情報通信研究機構ではSSPDの高速化と高効率化を、東北大学電気通信研究所では拡張位相整合およびシリコン細線導波路を用いた高純度、高効率な光子対（伝令付単一光子）光源技術の開発を進めつつ、情報通信研究機構で開発したSSPDを東北大学電気通信研究所で保有する冷凍機に実装するための準備を進めた。具体的には、研究打ち合わせの機会を設け、お互いの研究内容・進捗を共有しながら今後の進め方を議論すると同時に、東北大学電気通信研究所の研究者を情報通信研究機構に派遣して、SSPDシステム用の冷凍機内部構造や、SSPDの冷凍機への実装方法、冷却方法、使用方法についての実習を行った。

［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。

情報通信研究機構では、さらなる高検出効率化、高速化を実現するために、超伝導アバランシェ型光子検出器（SNAP）と呼ばれる新構造の光子検出器の開発に取り組んだ。従来型のSSPDが1本のナノワイヤをメアンダ状に受光面に敷き詰めた構造を持つのに対して、SNAPは並列な超伝導ナノワイヤを直列接続した構造を持つ。図1に2並列の超伝導ナノワイヤを用いた2SNAPの模式図を示す。SNAPの基本動作原理としては、一方のナノワイヤが光子を検出して抵抗状態に転移すると、並列接続されたもう一方のナノワイヤにバイアス電流が流れ込み、もう一方のナノワイヤも抵抗状態に転移するために出力信号が得られるというものである。

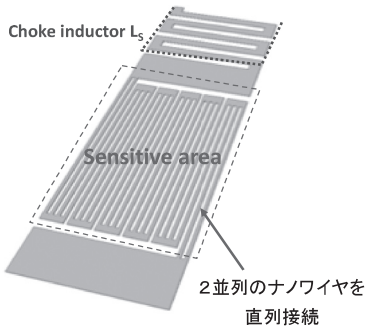


図1　超伝導アバランシェ型光子検出器（SNAP）の模式図

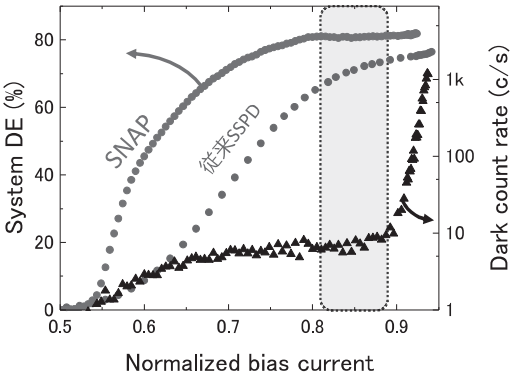


図２　検出効率のバイアス依存性における 2SNAP と従来型 SSPD の比較

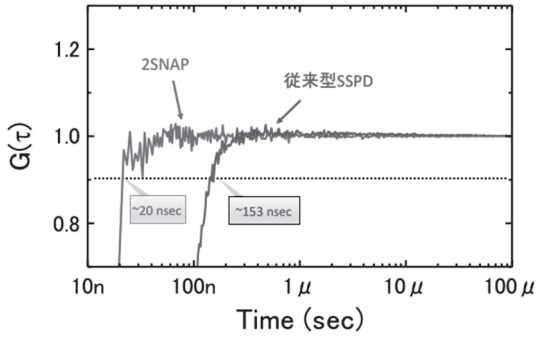


図３　自己相関における 2SNAP と従来型 SSPD の比較

SNAP 構造にすることで、同じナノワイヤの材料、形状であれば、素子に印加できるバイアス電流（臨界電流）を従来型に比べて 2 倍にすることができるため、出力の SN 比の向上、ひいては FWHM ジッタの改善が期待される。また、2SNAP 構造に採用することで、従来型 SSPD と同じ臨界電流を、よりエネルギーギャップの小さな超伝導材料、より細く、薄い超伝導ナノワイヤで実現できるため、臨界電流付近までバイアス電流を印加することなく高い検出効率を実現できる。このことは、暗計数を抑制する上で有利に働くため、高検出効率と低暗計数率の両立が期待される。さらには、同じ受光面積に 2SNAP と従来型 SSPD でナノワイヤを敷き詰めた場合で比較すると、2SNAP の方がカイネティックインダクタンスを小さくできるため、より短いデッドタイム、高い最大計数率を実現できると期待される。

実際に設計・作製した 2SNAP について、検出効率のバイアス電流依存性を評価し、従来型 SSPD と比較した結果を図 2 に示す。2SNAP では、0.8 以上の規格化バイアス電流で検出効率が飽和しており、暗計数が急激に増大する 0.9 よりも小さなバイアス電流で、十分に高い検出効率を実現できていることがわかる。その結果、従来型 SSPD では実現できなかった 10 cps 以下の暗計数と 80%以上の検出効率の両立を実現することに成功した。

図 3 に 2SNAP と従来型 SSPD のそれぞれについて、出力信号の自己相関をプロットした結果を示す。図 3 の自己相関曲線における信号の立ち上がりは、2 つ光子が短い時間間隔で検出器に入力した場合に、検出器が追随できる最小の時間間隔を反映しており、検出器のデッドタイム（不感時間）の評価指標となる。図 3 から、2SNAP のデッドタイムは 20 ns 程度で、従来型 SSPD に比べて 1/7 以下であり、SNAP が高速化という観点でも有利であることがわかる。また、FWHM ジッタにおいても、2SNAP の従来型 SSPD に対する大きな優位性が確認された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、NICT および東北大学電気通信研究所が各々有していた技術を基盤とした研究交流が飛躍的に活性化し、それらの技術を融合した新たな量子光計測、量子光通信技術の創出への協力体制を構築することができた。本研究の成果を踏まえ、今後、科研費、総務省 SCOPE 等の競争的研究資金への申請を検討中である。

［４］成果資料

(1) S. Miki, M. Yabuno, T. Yamashita, H. Terai, Optics Express **25**, 6976, 2017.

(2) N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, and K. Edamatsu, Dynamically unpolarized single-photon source in diamond with intrinsic randomness, Sci. Rep. **7**, 46722, 2017.

(3) 国際会議発表：K. Edamatsu, Nonlocal two-qubit measurement using spin products (invited talk), 3rd International Conference on Quantum Foundations, Patna, India, 外２件

(4) 国内学会発表：P. Vidil, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, and K. Edamatsu, Two-qubit arbitrary-strength measurement using a hyper-entangled photon source, 日本物理学会第 73 回年次大会（野田市），外３件

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3
（先端）

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	100,000 円
旅費	211,000 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１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、この技術をベースとしてそのデバイス化に関する検討を行った。本年度は、グラフェンーグラフェン積層接合デバイスの形成を目指して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。

まず、接合デバイス作製のための基本的な検討を行った。SiC 基板上に熱昇華法を用いて作製した単結晶グラフェンを２枚準備し、片方のグラフェン上にトンネル絶縁膜を形成した上で、SiC 基板のグラフェン面同士を直接接合することによりトンネルデバイスを作製する。このデバイス実現には平坦な SiC 基板上に単結晶グラフェンを形成する必要がある。さらに、グラフェン上に極薄トンネル絶縁膜を形成する必要がある。平坦な基板上へのグラフェンの成長条件は検討済みであるため、本年度は、極薄トンネル絶縁膜の形成に関する検討を行った。各種表面処理の検討を行った結果、SiC 上グラフェンの表面には超純水洗浄処理後に構造水層が形成されることが明らかとなった。構造水層厚は0.4nm 程度であり、トンネル絶縁膜として好適であることから、これを用いたトンネル接合を形成した。グラフェンのパターニングや積層接合を維持するための治具、コンタクト電極等の検討を行った後、グラフェン−構造水層−グラフェン積層接合トンネルダイオードの試作を行った。電気特性を計測したところトンネル特性を得ることができた。

この間、共通の学会において研究打合せを２回（x２名）行った。また、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（x２名）。

来年度は、試作したトンネル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。

まず第１に、単結晶グラフェン上に純水処理により形成した構造水層の性状を明らかにした。図１は純水処理後（DI water treated）とアニール処理後（annealed）の SiC 上グラフェンのキャリア密度の湿度依存性である。環境制御チャンバー中のグラフェン試料のシート抵抗を van der Pauw 法により計測

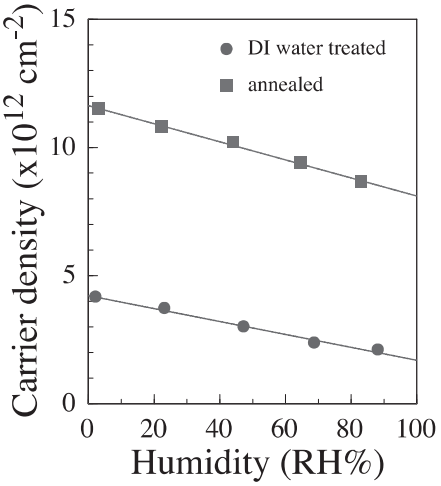


図１　キャリア密度の湿度依存性

し、キャリア密度を導出した。湿度の影響でキャリア密度は低下する。SiC 上グラフェンはｎ（電子）ドープされていることから湿度はｐ型ドーパントとして作用することが判る。ここで重要なのは純水処理後の試料はキャリア密度が大きく低下している点である。つまり試料表面に強いｐ型ドーパントとして作用する層が形成されている。図２は純水処理前後の試料表面の走査プローブ顕微鏡像である。初期状態(a)では、SiC 基板の結晶性に由来するステップ－テラス構造のみが観察され、テラス上は非常に平坦な状況である。これに対して、純水処理後(b)の試料表面は層状の構造により覆われている。一部、被覆されていない領域を利用して計測した構造厚さは 0.4 nm 程度である。この構造水層は、常温で真空中でも安定に存在する。以上のように純水処理により、極薄な構造水層がグラフェン上に形成されることを明らかにした。

第２に、この構造水層をトンネル障壁とするダイオード素子の作製を試みた。これまでの研究例では、酸化膜付のシリコン基板上にグラフェンを転写、その上に絶縁膜となる h-BN を転写、さらにグラフェンを転写することにより積層接合を形成している。しかし、本研究課題では、より簡便な手法での積層接合の作製を行った。図３(a)に作製したグラフェン積層接合ダイオードの概略図を示す。２枚の SiC 上グラフェンを準備し、片方の試料に純水処理を施すことにより表面に構造水層を形成する。この構造水層はトンネル障壁として機能する。２枚の試料を直接接合することにより積層接合が形成される。試料を固定する治具に電極となるコンタクトピンを取り付けることによりダイオード構造は完成する。この時、２枚のグラフェンは図３(b)に示すように構造水層のトンネル障壁で隔てられた状況となる。図４にグラフェン積層接合ダイオードの電気特性を示す。図４(a)の電流-電圧特性から判るように強い非線形特性を示す。最大で１μA 程度の電流を流すことができる一方で 0V 付近でのトンネル抵抗は 1GΩ 程度である。この電流-電圧特性の Fowler-Nordheim(F-N)プロットを図４(b)に示す。高電界領域(1/V<0.3)は負の傾きを持つ直線に従っており、F-N トンネル電流が流れていることが判る。一方、低電界領域ではほぼ、電圧に比例的に電流が増加しており、直接トンネル電流が流れている。構造水層をトンネル障壁と

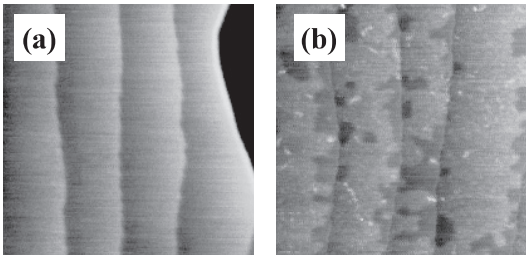


図２　SiC 上グラフェン走査プローブ顕微鏡像
(a)初期状態、(b)純水処理後

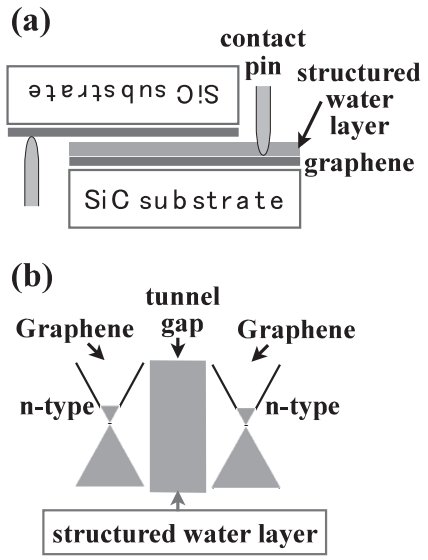


図３　グラフェン積層接合ダイオード
(a)概略図、(b)バンド構造

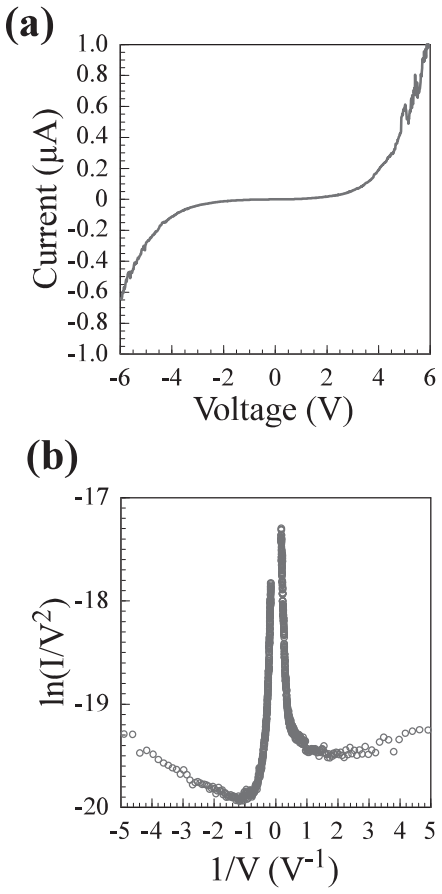


図４　グラフェン積層接合ダイオード特性
(a)電流-電圧特性、(b)F-N プロット

して用いることで、直接トンネル領域からF-Nトンネル領域まで、広い電界強度範囲で動作するグラフェン積層接合ダイオードの実現に成功した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで実現した新規構造グラフェン積層接合デバイスはテラヘルツLED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ことによりその性能の確認が行えれば、新たなテラヘルツ素子の創出となる。その波及効果は大きく、新しい研究領域の開拓につながり、今後の発展が期待されている。

［４］成果資料

(1)査読付き学術論文

[1] M. Kitaoka, T. Nagahama, K. Nakamura, T. Aritsuki, K. Takashima, Y. Ohno and M. Nagase: Carrier doping effect of humidity for single-crystal graphene on SiC, Jpn, J. Appl. Phys. 56, 085102 (2017)

(2)国内講演会

[1] J. Du, Y. Kimura, M. Tahara, K. Matsui, Hi. Teratani, Y. Ohno, and M. Nagase: Vertically stacked graphene tunneling junction with insulative water layer, JSPS spring meeting, 18a-C202-11, 2018.3.18 (Waseda Univ., Tokyo)

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）
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）
高橋　庸夫　（北海道大学大学院工学研究科）
堀口　誠二
（秋田大学大学院工学資源学研究科）
土屋　敏章　（島根大学総合理工学部）
宮尾　正信
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
佐道　泰造
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
宮崎　誠一　（名古屋大学大学院工学研究科）
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）
荻野　俊郎　（横浜国立大学大学院工学研究院）
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）
平山　　誠
（米国・ニューヨーク州立大学オルバニー校）
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）
Judy Hoyt
（米国・マサチューセッツ工科大学）
Eugene Fitzgerald
（米国・マサチューセッツ工科大学）
Erich Kasper
（ドイツ・シュトゥットガルト大学）
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：41 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	302,000 円
国際特別支援費	200,000 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初年度であり、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３つの国際会議・国際ワークショップを開催した。

- 第 10 回 Si エピタキシー＆ヘテロ構造国際会議（10th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI)), Univ. Warwick, UK, May 14-19, 2017 年 5 月 14〜19 日,（http://warwick.ac.uk/icsi-10），招待講演 13 件，口頭発表 55 件，参加者 90 名, Proceeding 特集（Special issue on Silicon Epitaxy and Silicon Heterostructures）を Semicond. Sci. Technol. (Vols.32-33, 2017) で出版済.
- 第 10 回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 10, 232nd Electrochem. Soc. Meeting), National Harbor, MD, USA, 2017 年 10 月 1〜6 日（http://www.electrochem.org/232），基調講演 3 件，招待講演 28 件，口頭発表 13 件，参加者 60 名, Proceeding 特集号を ECS Trans. (Vol.79, No.1, 2017) で出版済.
- 第 11 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（11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics），仙台，2018 年 2 月 23〜24 日（http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/ EI4 GroupIV-WS2018/），招待講演 14 件（ドイツ 2 件，ベルギー1 件，日本 11 件），ポスター発表 15 件，参加者 38 名.

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、Si-Ge 系 IV 族半導体の原子層積層 CVD 技術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、Si や Ge のエピタキシャル成長中の In-Situ ドーピングにおいて P や B の取りこまれる現象と偏析現象との間の関係を明らかにするための新たな実験を行うとともに、現象を定量的に説明できる手法を構築した。成長中の偏析現象については詳細不明なケースが多いため、本成果はナノメートルオーダの局所的なドーピング制御を実現する上で極めて有用である。

第 2 に、P 原子層ドープ Ge 薄膜を多重積層することによって Ge 中 P 濃度の高濃度化に成功すると同時に、フォトルミネセンス強度の増強とレッドシフトを確認した。n^+型 Ge では発光性再結合が顕著になって赤外線発光デバイスへの応用が期待されていることから、本成果は Si ウェハ上への発光デバイス集積搭載に向けて重要な足掛かりになるものである。

第 3 に、C 原子層ドーピングによって Si／SiGe 混晶ヘテロ界面におけるミキシングを抑制しながら、同時に Si 層の結晶性向上も実現できることを実証した。量子井戸デバイス応用においてヘテロ界面の急峻性と結晶性の両立は不可欠となるので、本成果は良質な量子井戸製作方法として期待できるものである。

以上の成果は、いずれも外部研究機関分担者との共同研究成果であり、国際会議論文及び学術誌論文（合計 4 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、ベルギー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 30 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（Joint Conf. of 9th Int SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM 2018) & 11th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI), Potsdam, Germany, May, 2018）
- 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. G03: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 8, The Electrochem. Soc. (ECS) and La Sociedad Mexicana de Electroquímica (SMEQ) Joint Int. Meeting : American Int. Meeting on Electrochemistry and Solid State Science (AiMES 2018), Cancun, Mexico, Sep. 30-Oct.4, 2018）
- 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, 開催時期調整中）

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) Y. Yamamoto, P. Zaumseil, M. A. Schubert, A. Hesse, J. Murota and B. Tillack, “Abrupt SiGe and Si Profile Fabrication by Introducing Carbon Delta Layer”, ECS Journal of Solid State Science and Technology, Vol.6, No.8 (2017) pp.P531-P534.

(2) Y. Yamamoto, L.-W. Nien, G. Capellini, M. Virgilio, I. Costina, M. A. Schubert, W. Seifert, A. Srinivasan, R. Loo, G. Scappucci, D. Sabbagh, A. Hesse, J. Murota, T. Schroeder and B. Tillack, “Photoluminescence of phosphorus atomic layer doped Ge grown on Si”, Semicond. Sci. Technol. Vol.32 (2017) p.104005 (6pp).

(3) 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 Trans., Vol.79、No.1 (2017) pp.33-42.

(4) J. Murota, Y. Yamamoto, I. Costina, B. Tillack, V. Le Thanh, R. Loo and M. Caymax, “Dopant Segregation and Diffusion in CVD Epitaxial Grown Germanium” (**Invited**), 6th Int. Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2017), Phan Thiet, Vietnam, Nov. 8-11, 2017, No.NFT-003-I.

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/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）
福田 幸夫（諏訪東京理科大学工学部）
王谷 洋平（諏訪東京理科大学工学部）

延べ参加人数：１３人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	180,000 円

［2］研究経過

集積度の限界に差しかかっている Si-MOS デバイスの限界を突破するため、high-k 絶縁膜や立体構造が取り入れられるようになったが、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、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を用いた ALD 法 (PA-ALD 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。また、Ge-MIS 構造における最近の話題の一つが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に向けた取組である。

本プロジェクトは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り、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、Ge 基板の p 型と n 型による特性差の検討、HfO_2 層の導入、及び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取り組んだ。

本プロジェクトの研究活動は前記薄膜プロセスによる Ge-MIS 構造の作製並びに成膜プロセスにおける物理の解明、Ge-MIS 界面並びに界面近傍の特性評価手法の検討、同特性のプロセス条件やアニール条件依存性評価を軸としたものである。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。

研究成果は国際会議等による発表で一定の評価を得るとともに、本プロジェクトの目的である高品質な high-k-Ge-MIS 構造の作製方法並びにその評価手法の確立に向けて新たな可能性を見いだした。本研究グループにおいては各種の high-k-Ge-MIS 構造を複数のプロセス手法によって形成し、評価を行っているが、その中でもユニークな構造が、ゲルマニウムとメタルと酸素が結合したジャーマネイト中間層を有するものである。今回は新たに n 基板 Al_2O_3/Al ジャーマネイト/Ge 構造、HfO_2/Hf ジャーマネイト/Ge 構造、HfO_2/Al ジャーマネイト/Ge 構造を作製し、その特性を評価した。

［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。

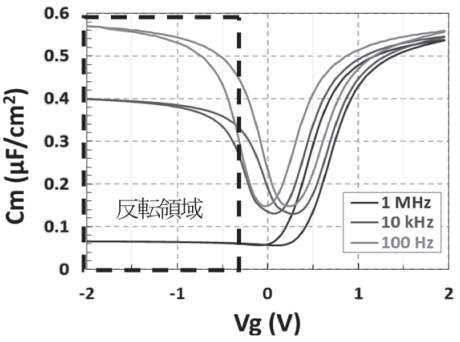
まず第1に、これまで p 型基板のみを用いて作製・評価してきた Al_2O_3/Al ジャーマネイト/Ge 構造について、n 型基板試料を作製して評価を行った結果、これまでに報告例のない特異な反転電荷の応答特性が見られた。このことについてモデルを考案した。

第2には、新たにhigh-k膜としてHfO_2を採用し、中間層としてHf ジャーマネイトと Al ジャーマネイトを導入した試料の特性を比較し、Al ジャーマネイト中間層の優位性を明らかにした。

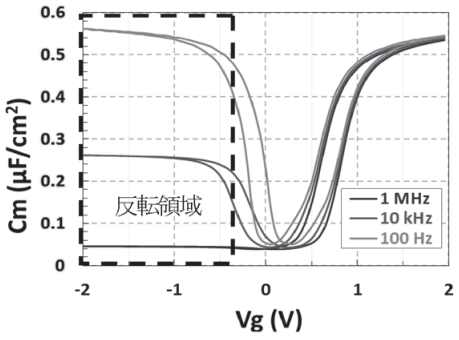
以下、順に実験結果をもとに説明する。

図1 (a), (b)にそれぞれ Al_2O_3/Al ジャーマネイト/n-Ge 基板構造の室温と 180 K における *C-V* 特性を示す[成果資料]。この試料の Al ジャーマネイトは ALD の酸化工程に酸素ラジカルを用いたAl_2O_3の形成時に自発的に形成されたものである[1]。特徴的なことは180 K という低温下においても反転領域（マイナス電圧側）において反転電荷の応答による容量の上昇が見られることである。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ところ、図2のアレニウスプロットの通り約0.1 eV という値が得られた。こ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、価電子帯近傍に高密度な界面準位またはボーダートラップが存在するというモデルによる仮説を立てた。

次に high-k 膜として HfO_2 を採用した構造の検討結果を説明する。図3は HfO_2/Hf ジャーマネイト/p-Ge 構造における、ゲート金属形成後アニール（PMA）前後の絶縁膜容量（C_{OX}）とミッドギャップ付近の界面準位密度（D_{it}）のグラフである。これまでに報告してきた Al_2O_3/Al ジャーマネイト/p-Ge 構造[1]に比べ、D_{it} が高く、PMA による低減効果も得られていないことがわかった。このことは第一原理計算から予測されている傾向と符合している[2]。そこで中間層を Al ジャーマネイトに置き換えるために、Al_2O_3 層の形成後に酸素ラジカル照射によって Al ジャーマネイト層を形成した後HfO_2層を形成するプロセスの検討を行った（この検討における ALD 工程の酸化剤はH_2O)。図4に Al ジャーマネイト層上のHfO_2層形成時の原料供給サイクル数と C_{OX} 並びに D_{it} の関係を示す。20サイクルの試料においてはEOT～1.0 nm が得られている。図5は HfO_2/Hf ジャーマネイト/p-Ge 構造 (PMA 後) における酸素ラジカル照射時間と C_{OX} 並びに D_{it} の関係を示す。適切な照射時間による試料に PMA 処理を加えることで D_{it} が大幅に低減されることが明らかとなった。



(a) 室温



(b) 180 K

図1．Al_2O_3/Al ジャーマネイト/n-Ge 基板構造の室温と 180 K における *C-V* 特性

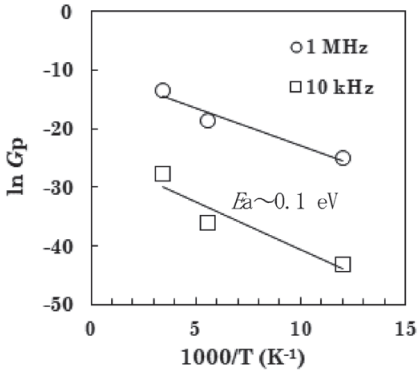


図2．並列コンダクタンスのアレニウスプロット

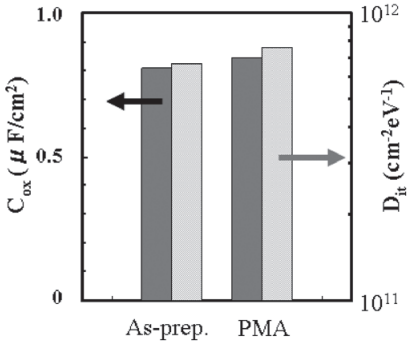


図3．HfO_2/Hf ジャーマネイト/p-Ge 構造の絶縁膜容量（C_{OX}）と界面準位密度（D_{it}）

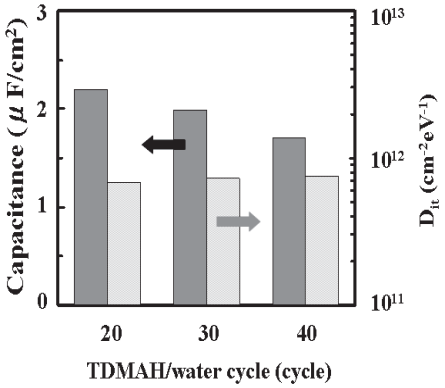


図４．HfO_2/Hf ジャーマネイト/p-Ge 構造の HfO_2 層原料（TDMAH）供給サイクル数と C_{OX} 並びに D_{it} の関係

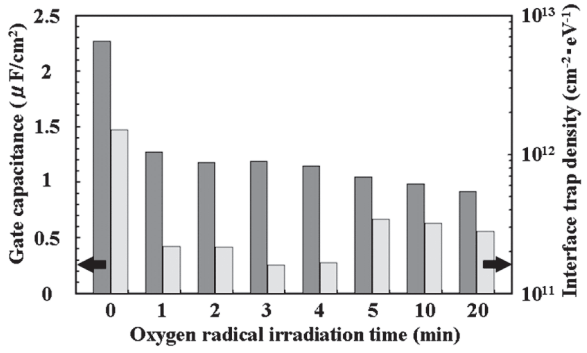


図５．HfO_2/Hf ジャーマネイト/p-Ge 構造（PMA 後）における酸素ラジカル照射時間と C_{OX} 並びに D_{it} の関係

本項目の参考文献

[1] Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita, Appl. Phys. Lett. vol 102, pp. 132904-1-132904-3 (2013).

[2] M. Houssa, G. Pourtois, M. Caymax, M. Meuris, and M. M. Heyns, Appl. Phys. Lett. 92, 242101 (2008).

（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

（１）D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, H. Okamoto, Y. Fukuda, "Formation of Al and Hf Germanates as Interlayers between High-κ Dielectrics and Ge Substrates by Radical-Enhanced Atomic Layer Deposition", The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2017), PA4-1-2, (Fukui, Japan, June 21, 2017)

（２）長浜優、山田大地、王谷洋平、福田幸夫、岡本浩「RE-ALD 形成 Al_2O_3/GeO_2/p-Ge MOS キャパシタの電気的特性に及ぼすゲート電極金属の影響 －２」第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 6a-PA9-3 (2017 年 9 月，福岡国際会議場・福岡国際センター・福岡サンパレスホテル)

（３）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「原子層堆積法により Ge 基板上に形成した Al_2O_3 への酸素ラジカル照射が Al_2O_3/p-Ge 界面特性に及ぼす影響」第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 6a-PA9-2 (2017 年 9 月，福岡国際会議場・福岡国際センター・福岡サンパレスホテル)

（４）上西理加、山田大地、王谷洋平、福田幸夫、岡本浩「Al ジャーマネイト絶縁層を有する n 型基板 Ge-MIS 構造の電気的特性評価」応用物理学会東北支部第 72 回学術講演会，19p- 30p-A05，秋田大学，2017 年 11 月.

（５）王谷洋平、山田大地、白倉麻依、山本千綾、山中淳二、佐藤哲也、岡本浩、福田幸夫「p-Ge 基板上に ALD 堆積 した Al_2O_3 への酸素 ラジカル 照射の及ぼす影響」平成 29 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会，E05，(2017 年 12 月 9 日，金沢歌舞伎座).

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山梨大学の山中淳二先生、佐藤哲也先生、同技術職員の山本千綾氏、同技術補佐員の白倉麻依氏、諏訪東京理科大学大学院生の山田大地氏、弘前大学大学院生の上西理加氏、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

Prof. VELAZQUEZ J.E.（サラマンカ大学）

Mr. DELGADO J.A.（サラマンカ大学）

Assist. Prof. WATANABE T.（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	100, 000 円
旅費	274, 000 円
国際特別支援費	200, 000 円

［2］研究経過

The aim of this project is to fabricate 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 ten days (03-13/11, 2017) 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 fabricated two field effect transistors with asymmetric grating gates graphene based (ADGG-GFET). In general, the exfoliated graphene (bilayer for device 1 and monolayer for device 2) 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.

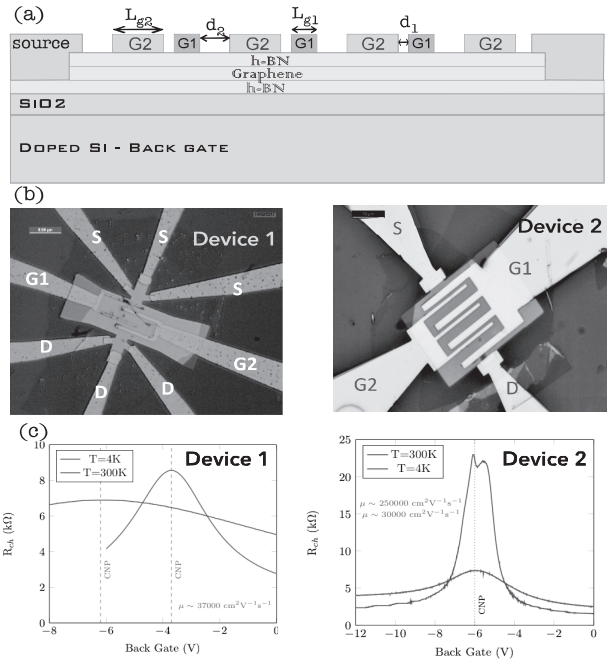


Fig. 1. (a) Side description of the GFET structure (b) and top view microscopic image of the device 1 (bilayer Gr) and device 2 (monolayer Gr) where the asymmetric grating gates are highlighted as G1 and G2. (c) Charge Neutrality Point (CNP) Measurements for both devices.

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 1 nA was observed at 4K with the device 2. Similar behavior was observed under excitation of 0.15 THz. Room temperature detection was also observed with the device 2 with a photocurrent intensity of around 100 pA. However, device 1 didn´t shows any photocurrent at room temperature. This is mainly due to the low quality of device with low mobility at room temperature (Fig.1).

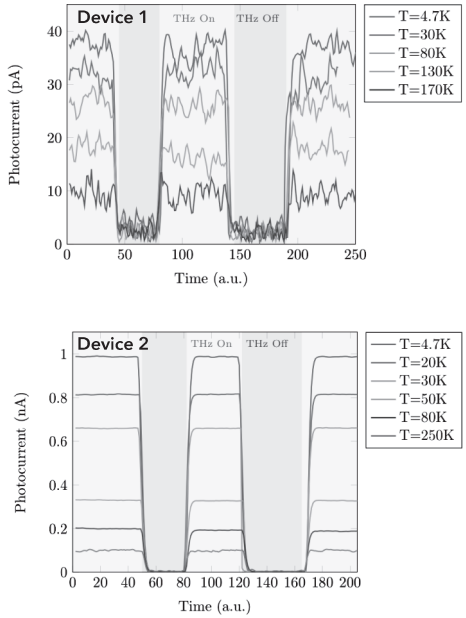


Fig. 2. Measured Photocurrent vs time when the THz source was switched on & off for both devices.

Figure 3 shows the measured photocurrent versus the back gate (Fig.3-(a)) and the top fingers gate (Fig.3-(b)). For both gates, a high intensity of photocurrent was measured (~0.5 nA). The behavior observed in figure 3-(b) is in good agreement with earlier results and related to the variation of the conductivity (∂σ/∂Vg) under the fingers of the top gate. Moreover, the measured photocurrent versus back gate shows different peaks at different values of the gate bias. Since there are two top gates (G1/G2 with four/two fingers respectively) and back gate (whole channel), the conductivity may be different for each region under the excitations of THz radiations. This feature is quite new and new simulations are needed to fully understand this behavior.

③ THz Imaging using ADGG-GFET

The device 2 was used as a sensor in a terahertz imaging system at 0.3THz at room temperature. Inspection of concealed object was demonstrated as shown in Fig. 4. The cutter was hidden inside a simple envelope.

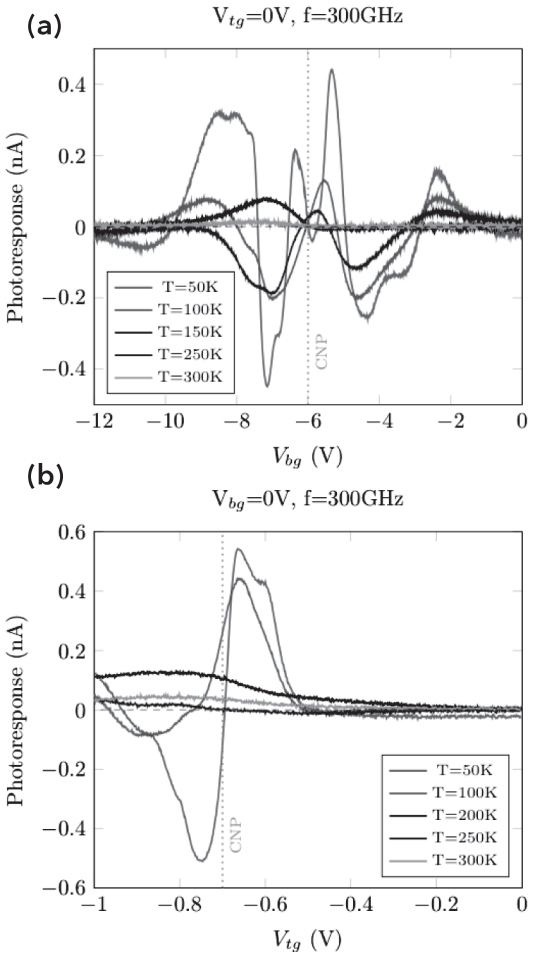


Fig. 3. Measured photocurrent vs (a) back gate and (b) fingers top gate at different temperatures.

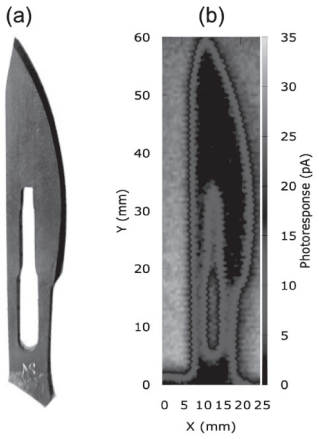


Fig. 4. (a) Visible image of cutter (b) THz image of hidden cutter in an envelope.

（特別支援（国際）にかかる研究成果）

Y.M. Meziani, from Salamanca's group stayed 10 days (03-13 of November 2017) 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.

（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 responsitivities 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 detection of terahertz radiation by this type of devices without biasing (neither in voltage nor in current) the device.

［４］成果資料

[1] J. A. Delgado Notario, V. Clerico, Y.M. Meziani, E. Diez, J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, D. Yadav, and T. Otsuji, ¨ Asymmetric dual grating gate bilayer graphene FET for detection of terahertz radiation¨ Oral at 2017 42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Cancun, 2017, pp. 1-2.

[2] J. A. Delgado Notario, E. Javadi, J. E. Velázquez, E. Diez, Y. M. Meziani, K. Fobelets, "Detection of terahertz radiation using submicron field effect transistors and their use for inspection applications", Proc. SPIE 10439, Millimetre Wave and Terahertz Sensors and Technology X, 1043907 (6 October 2017); doi: 10.1117/12.2278208; https://doi.org/10.1117/12.2278208

[3] J.A. Delgado Notario1, E. Javadi1,2, K. Fobelets3, T. Otsuji4, E. Diez1, J.E. Velázquez-Pérez1, and Y.M. Meziani, Experimental and theoretical study of Sub-THz detection using strained-Si FETs Orla at the 20th International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures EDISON20, Buffalo, NY, July 16-21 (2017).

[4] J.A. Delgado Notario, E. Javadi, K. Fobelets, E. Diez, J.E. Velázquez-Pérez, and Y.M. Meziani, Experimental and theoretical studies of Sub-THz detection using strained-Si MODFETs, Oral at 41th WOCSDICE - Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits 2017. 21-24 May 2017 / Las Palmas de Gran Canaria, Spain.

[5] 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

[6] 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

[7] 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.

[8] Delgado-Notario, J. A.; Javadi, E.; Calvo-Gallego, J.; Diez, E.; Meziani, Y. M.; Velázquez-Pérez, J. E.; Fobelets, K. *phys. stat. sol. (a)* **2017**, *83*, 1700475–1700476.

[9] Delgado Notario, J. A.; Javadi, E.; Clericò, V.; Fobelets, K.; Otsuji, T.; Diez, E.; Velázquez-Pérez, J. E.; Meziani, Y. M. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2017**, *906*, 012003–012005.

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：**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
Aleksandr Petrov (Laboratory of 2d Materials' Optoelectronics, Moscow Institute of Physics and Technology)

延べ参加人数　6 人

研究費

物件費	50, 000 円
旅費	239, 000 円
国際特別支援費	200, 000 円
若手特別支援費	100, 000 円

［2］研究経過

The project was aimed at the theoretical studies of non-equilibrium dynamics electrons and plasmons in graphene. The understanding of this dynamics if of great importance for realization of novel THz radiation sources. The gapless energy spectrum of graphene makes it a promising candidate for realization of THz lasers; however, the processes of non-radiative recombination in graphene are not yet well understood. Due to superior carrier mobility, graphene also hosts long-lived THz plasmons, but the methods of their excitation (current-driven instabilities) have to be revisited due to unusual graphene's band structure.

This fiscal year was the first year of the project. This fiscal year, we conducted the studies of (1) Auger recombination in non-equilibrium graphene (2) current-driven instabilities in graphene-based heterostructures.

First, we have developed a physical model and computational program for calculation of Auger recombination rate in graphene which exploits the non-equilibrium Green's function technique. We have shown that account of many-body effects (collisional broadening of conservation laws, dispersion renormalization, dynamic screening) are all important to obtain recombination rates consistent with experiment. We have shown that Auger recombination is suppressed by placing graphene near the metal gates and/or introducing a small (~10 meV) energy gap. Semiconductors with symmetric Dirac-like electron-hole dispersion with gap or even gapless semiconductors in 3d with linera bands are shown to have even smaller Auger recombination rate than graphene.

Second, we have developed a kinetic theory of current-driven instabilities in single-layer graphene and double-graphene layer heterostructures. We have shown the possibility of Cerenkov-like instabilities in graphene in hydrodynamic regime under strong electron-electron collisions. In the opposite, kinetic regime, instabilities are possible only in double-layer structures comprising graphene and 2d semiconductors with massive electrons.

This fiscal year, we visited RIEC twice for the cooperative research project. The following are the details of our visits:

1. Research Stay (30th, Oct. 2017 – 13th, Nov. 2017)
   Dmitry Svintsov and Aleksandr Petrov stayed RIEC for about 2 weeks for discussions with Akira Satou about the collaborative research topics.
2. Invited Talk at FY 2017 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects (20th, Feb. 2018 – 23rd,

Feb. 2018)

Dmitry Svintov visited RIEC for 3 days to present the results of the cooperative project at FY 2017 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects. He also discussed with Akira Satou about cooperative research plans for the next fiscal year.

［3］成果

（3－1）研究成果

First, we have developed a physical model and computational program for calculation of Auger recombination rate in graphene. The program uses the non-equilibrium Green's function formalism. Its computational efficiency is effectuated by the use of fast Fourier transforms for evaluation of convolution-type integrals for electron self-energy and polarizabilitiy. The self-consistent scheme of solution is shown in Fig. 1.

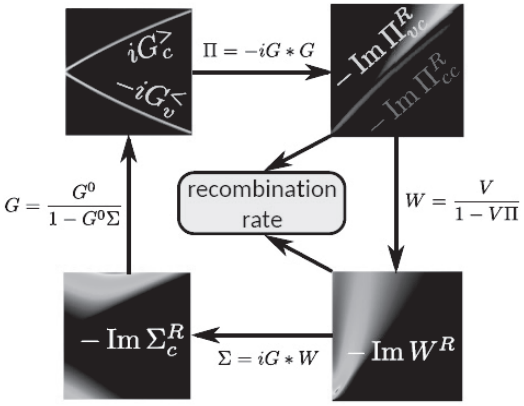


Fig. 1 Schematic of the self-consistent GW scheme for calculations of Auger recombination. First, GW equations are solved iteratively to calculate inter-/intraband polarizabilities and screened interaction with many-body corrections, which are then used to find the recombination rate. For illustrative purposes, some quantities are shown on the momentum - energy plane: lesser/greater Green's functions show the distribution of filled/empty states; imaginary parts of inter-/intraband polarizabilities indicate regions of inter-/intraband excitations; imaginary part of the screened interaction ImW_R provides information about collective excitations; and imaginary part of the self-energy is minus the scattering rate.

The results of simulations indicate that recombination time is nearly inversely proportional to the temperature and only slightly depends on dielectric constant due to over-screening of collinear scattering. We have shown that Auger recombination is the dominant recombination channel in pumped graphene on SiO2 and hBN substrates, while for high-k substartes the recombination via polar phonons can play dominant role (Fig. 2).

We have shown that Auger recombination in graphene can be effectively suppressed by placing a graphene sheet near the metal gate. By placing the gate at the distance ~2 nm, one can enhance the non-radiative lifetime almost by an order of magnitude (Fig. 3). The results on Auger recombination are available on arxiv.org/abs/1709.09015 and are submitted to Physical Review B.

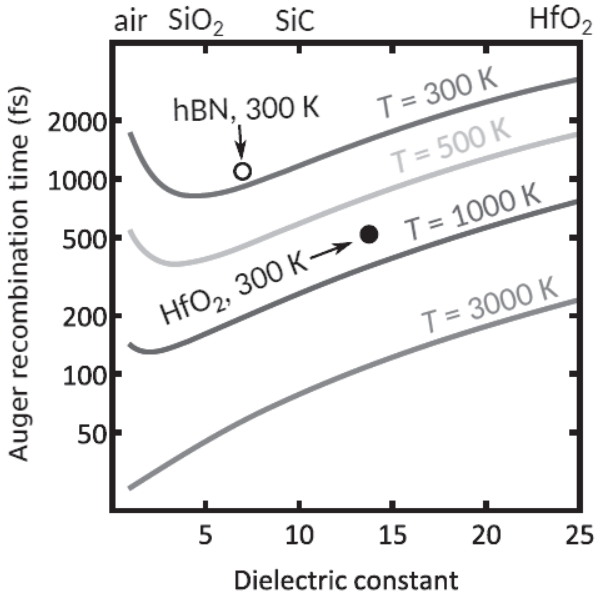


Fig. 2. Auger recombination time in weakly pumped undoped graphene vs the background dielectric constant at different temperatures. Static dielectric constants of several common materials are indicated on the top. Circles denote full recombination times including phonon-assisted process.

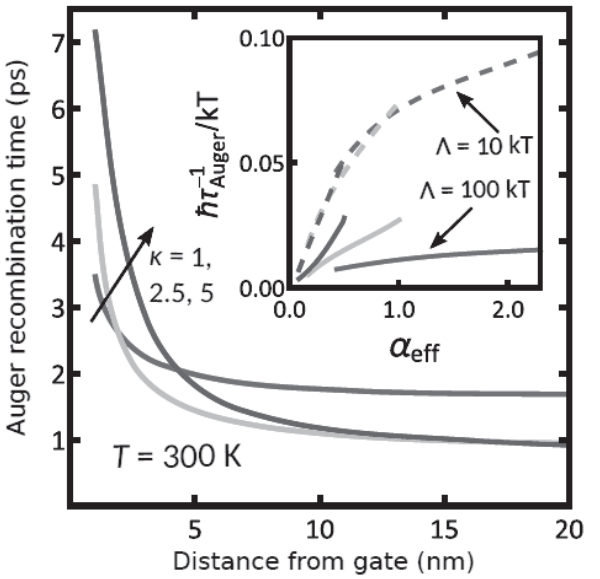


Fig. 3. Auger recombination time in weakly pumped undoped graphene vs the distance from a metal gate at room temperature and different dielectric constants

Second, we have theoretically studied the current-driven instabilities in graphene-based heterostructures. We have proved the existence of critical carrier drift velocity ~0.5 of the Fermi velocity in graphene in hydrodynamic regime, after which the flow becomes unstable with respect to the excitation of plasma waves. The plasma wave instability occurs upon coalescence of drift shear-entropy modes and normal plasmons (Fig. 4).

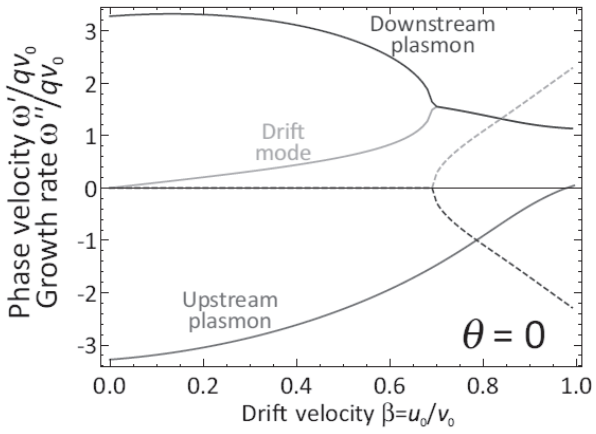


Fig. 4.Instability of hydrodynamic electron flow in graphene: calculated phase velocities (solid) and growth rates (dashed) of collective modes in drifting graphene plasma at various drift velocities and propagation parallel to the electron flow. Steady-state plasmon velocity is 3.2 of the Fermi velocity.

In the ballistic regime (infrequent electron-electron collisions), the plasmon instabilities are strongly hindered by the presence of singularity in the non-local conductivity of graphene which does not let the plasmons have velocity below the Fermi velocity. Nevertheless, current-driven instabilities are possible upon injection of collimated electron beam in graphene, which can be conveniently achieved with Klein p-n junctions (Fig. 5). The low-angle character of electron scattering in 2d suppresses the angular spreading of electron beam.

We have also shown the possibility of two-stream instabilities in heterostructures comprising graphene and massive 2deg (e.g., indium selenide).

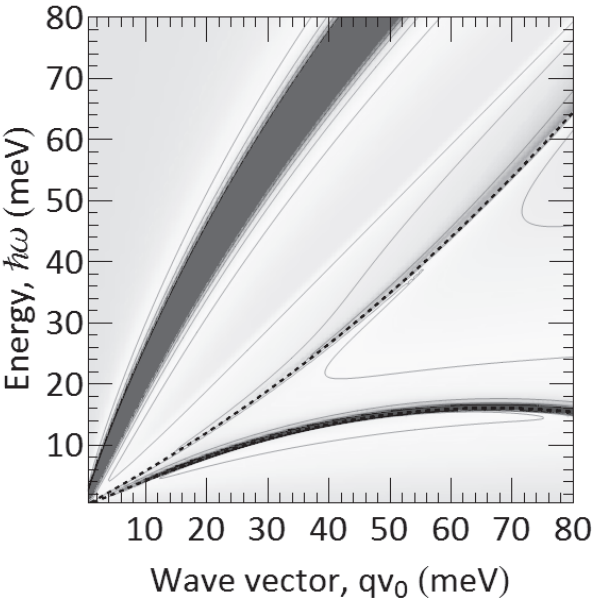


Fig. 5. Beam instability in graphene: Loss function for graphene with collimated electron beam of density $n_b = 10^{10}$ *cm*$^{-2}$*. Fermi energy in graphene is 100 meV, T = 300 K. The lowest blue mode is the unstable plasma mode associated with injection of the beam.*

Two visits to RIEC indicated in Section 2 were supported both by the Young Researcher's Project and International Cooperative Research. During those visits, 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

Interchange of researchers:

Interchange of researchers between RIEC, Tohoku University, and Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT) could promote the practical realization of project results. Particularly, internships of MIPT student at RIEC and their practice in graphene growth, characterization and THz spectroscopic measurements could be useful for creation of graphene-based THz devices.

Creation of new research fields:

The results of the project indicate that not only graphene, but other 2d and 3d materials with 'quasi-relativistic' carriers (CdHgTe quantum wells, Weyl semimetals) are promising candidates for THz lasing. The research on THz laser gain and non-radiative processes in such materials is on the very early stage but has a huge potential for optoelectronics.

［4］成果資料

(1) G. Alymov, D. Svintsov, V. Vyurkov, A. Satou, V. Ryzhii, "Auger recombination in Dirac materials: A tangle of many-body effects", arXiv:1709.09015, submitted to Phys. Rev. B

(2) D. Svintsov, A. Satou, V. Leiman and V. Ryzhii "Current-driven plasmon instabilities in graphene-based heterostructures" (publication prepared)

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　　100,000 円
旅費　　302,000 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．以下に開催日を列挙する．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．

2017 年：4 月 14 日，5 月 11 日，6 月 9 日，
6 月 12 日，7 月 10 日，8 月 24 日，
9 月 6 日，10 月 16 日，11 月 8 日，
12 月 7 日
2018 年：1 月 15 日，2 月 26 日
3 月 6 日，3 月 9 日

［3］成果

（3－1）研究成果

今年度は，準天頂衛星システム（QZSS: Quasi-Zenith Satellite System）のロケーション・ショートメッセージ通信システムへの搭載を想定した同期 SS-CDMA（spread-spectrum code-division multiple-access)通信の時刻同期精度を実験的に評価するため送信タイミング制御システムを構築し，構築システムにおける時刻同期精度の評価を行った．

地上系の通信インフラが被害を受ける災害時においても安否確認や避難状況の通知を可能にするため，これまでQZSSを用いたロケーション・ショートメッセージ同期SS-CDMA通信の検討を行ってきた．本通信方式では長拡散符号を用いて拡散利得を確保し，端末ー衛星間の直接通信を送信電力約1 Wで実現するとともに，その拡散符号を端末に割り当てることで多くの端末からのメッセージを収容する．本通信方式においては，限られた時間内で確実に安否確認を行う性能が求められる．具体的には，1時間当たり300万端末からのショートメッセージを受け入れる必要がある．これに対し，我々が提案している同期SS-CDMA通信においては，約10,000端末の高密度なユーザ多元接続を実現するために，各ユーザ端末が衛星測位信号を用いて送信する時刻・周波数を制御し，衛星測位信号から得られる位置情報を用いて全てのユーザ端末からの上りリンク信号の衛星到達タイミングを同期させることにより，ユーザ端末間の符号直交性を確保する．一方で，衛星到達タイミングは，端末間で保持する時刻が異なることが原因で発生する端末時刻偏差と，位置誤差が原因で発生する伝搬遅延算出誤差が原因で，誤差を含む．衛星到達タイミング誤差が50 ns以内であれば，高密度なユーザ多元接続が実現可能であることがこれまでの評価で分かっている．これまで衛星到達タイミング誤差の要因である端末時刻偏差と伝搬遅延算出誤差について，それぞれ異なる受信機を用いた測定が行われてきた．一方で，衛星到達タイミングの評価には，同一端末で同時に測定された2つの要因を同時に測定する必要がある．

構築した送信タイミング制御システムのブロック図を図1に示す．太陽誘電製GPS受信機AE-GYSFDMAXB，MCUとしてNXPセミコンダクターズ社製マイコンボードmbed LPC1768，さらにDigilent社製のXilinx Spartan 3E-100 CP132を搭載したFPGAボードであるBasys 2を用いて構築した．構築システムはMCUを用いた送信タイミング算出部とFPGAを用いた遅延制御部より構成される．送信タイミング算出部では，まずGPS受信機から得られる位置情報を用いてMCUにて発信電波の伝搬時間を算出する．伝搬時間の算出は，GPS受信機より出力されるNMEA 0183データから得た自機の座標情報と静止衛星の座標情報を地心直交座標系に変換し計算する．本稿では，静止衛星の位置を赤道上東経140度，高度35,786 kmと仮定し自機の位置情報のみから伝搬時間の算出を行った．その後，GPS受信機から出力されるPPS信号を基準とし，PPS信号の立ち上がりからタイミング制御信号発生までの遅延時間を，伝搬時間を用いて算出する．遅延制御部では，算出された遅延時間のデータをFPGAにてMCUより受け取り，FPGA上に構築したカウンタにより，指定されたPPS信号の立ち上がりからの経過時間を測定し時間遅延したタイミング制御信号を出力する．今回使用したFPGAボードでは100 MHzの基準クロックを用いているため，理論上では10 nsの精度で時刻同期を行うことができる．

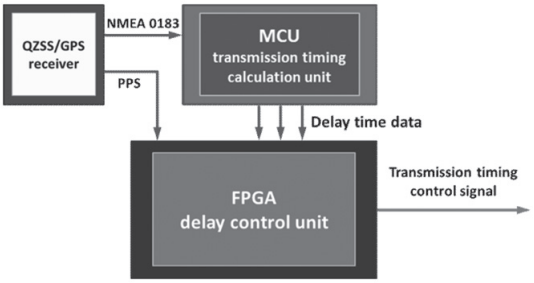


図1: ブロック図

オープンスカイの環境にて実際にGPS受信機を用いて測定した際の端末時刻偏差の測定結果について説明する．図2に実際に測定したPPS信号の時刻パルスとタイミング制御信号の一例を示す．この結果より，FPGAとMCUを用いて構築したシステムによる送信タイミング制御に成功したことが分かる．次に，座標をPCから入力し様々な遅延時間での送信タイミング制御を行った際の端末時刻偏差の測定結果について説明する．遅延時間と端末時刻偏差の関係を表すグラフを図3に示す．この結果より，端末時刻偏差は遅延時間に比例して増加することが確認できた．また，待機時間が330 nsである場合の端末時刻偏差は，±8 ns以内に収まることが測定により明らかとなった．

（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

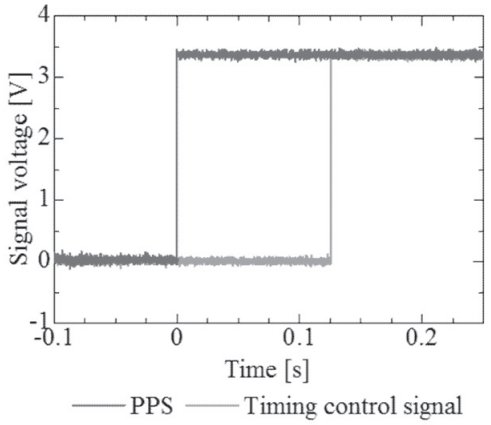


図2: 送信タイミング制御結果

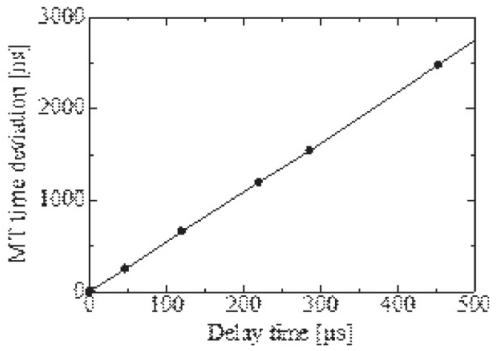


図3: 遅延時間と端末時刻偏差の関係

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．

［4］成果資料

○ 査読あり国際会議発表

（1）K. Ohya, S. Kameda, H. Oguma, N. Suematsu, “Experimental evaluation of transmission timing control method for QZSS short message synchronized SS-CDMA communication,” The 9th International Conference on Ubiquitous and Future Networks 2017 (ICUFN 2017), Milan, Italy, July 2017.

（2）Y. Yoshino, H. Oguma, S. Kameda, N. Suematsu, “Feasibility study of expansion of OpenFlow network using satellite communication to wide area,” The 9th International Conference on Ubiquitous and Future Networks 2017 (ICUFN 2017), Milan, Italy, July 2017.

（3）R. Kawai, H. Oguma, S. Kameda, N. Suematsu, “Construction of transmission timing control system using FPGA for QZSS short message synchronized SS-CDMA communication,” 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC2017), Jeju, Korea, Oct. 2017.

（4）S. Tatsuguchi, Y. Oshima, H. Oguma, S. Kameda, N. Suematsu, “Influence of multi path on positioning accuracy in a low sky view factor environment,” 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC2017), Jeju, Korea, Oct. 2017.

○ 国内大会・研究会発表

（5）河合怜，小熊博，大屋慶，亀田卓，末松憲治，“QZSS ショートメッセージ SS－CDMA 通信の実験的評価 － FPGA を用いた送信タイミング制御システムの構築 －，” 電子情報通信学会技術研究報告 巻：117 号：56 (SR2017 1-23) pp. 89－95, May 2017.

（6）小熊博，河合怜，亀田卓，末松憲治，“QZSS ショートメッセージ SS－CDMA 通信の実験的評価－送信タイミング制御システムの SOC 化検討－，” 電子情報通信学会大会講演論文集 2017, B－17－1, Sep. 2017.

（7）山形文啓，小熊博，亀田卓，末松憲治，“釧路地域における BeiDou システムによる標高測定精度，” 電子情報通信学会大会講演論文集 2017, A－19－2, Sep. 2017.

（8）辰口尚，小熊博，“キネマティック法を用いた GPS/BeiDou の位置捕捉精度，”電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, F1 － 9, Sep. 2017.

（9）亀田卓，小熊博，末松憲治，“QZSS/GPS 高精度時刻・位置情報を活用した Massive Connect IoT，” 電子情報通信学会技術研究報告 巻：117 号：246 (RCS2017 168-203), Nov. 2017.

（10）山形文啓，小熊博，亀田卓，末松憲治，“釧路地域における複合衛星測位システムによる標高測定精度，” 電子情報通信学会総合大会，A－19－5, March 2018.

（11）篠崎蓮，辰口尚，小熊博，山形文啓，亀田卓，末松憲治，“種々の天空率条件下の GPS/BeiDou の位置捕捉精度，” 電子情報通信学会総合大会，B－17－16, March 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/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：
Banda Daliso（Univ. of Zambia）
Dipankar Ghosh（元 Indian Institute of Tech. INDORE）
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）

延べ参加人数：13 人
研究費：
物件費　100,000 円
旅費　223,000 円
特別支援（国際）　200,000 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。

2017 年度は，2013 年 9 月まで通研にて博士前期課程の留学生として在学し，その後ザンビア大学研究員として，上記共同プロジェクト研究に参画してきた Banda Daliso 氏および今年度から分担者として新たに参加した Dipankar Ghosh 氏の助言を得て，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示された。

また，ダイレクトディジタル RF 送信機については，DAC のサンプリング周波数よりも高い周波数に生成されるイメージを送信波として使えるかどうかを検討し，より効率的，より低スプリアスな生成法について検討し，8Gbps の 1 ビットデルタシグマ変調器を用いることで，26GHz の準ミリ波帯の信号の生成が可能であることを明らかにした。

これらの成果をもとに，太郎丸　眞教授の支援を得て，Beyond 5G と呼ばれる次世代移動体通信で注目されている高 SHF 帯/EHF 帯のフルディジタル方式 MASSIVE MIMO への適用について検討し，64QAM の多値変調信号の変調動作と復調動作をそれぞれ実証した。さらに，高周波 IC の実装に詳しい谷藤　正一准教授の支援を得て，受信評価ホードの試作を行い，28GHz 帯で 3dB 程度の NF が得られることを実験的に確認した。

［3］成果

（3－1）研究成果

ダイレクトディジタル RF 受信機として，1GHz クロックを用いた 28 次アンダーサンプリングによる 28GHz 帯受信機を試作し，NF3dB 以下の受信特性が

実現できることを実証した。さらに，S/H 回路以降の信号処理系を，1GHz クロックで 16 ビットの分解能で実現することで，64QAM の多値変調信号の復調が可能であることを示した。これらの成果は，2018 年度に国際学会で発表予定である。また，この特性に関する電子情報通信学会大会での講演に関して，2018 年 3 月に電子情報通信学会学術奨励賞を受賞した。

ダイレクトディジタル RF 送信機に関しては，8Gbps の 1 ビットデルタシグマ変調器から，26GHz の RF 信号を直接生成できることを示した。この成果はミリ波関連の国際学会である GSMM2018 に採録された。さらに，これら送受信機技術をまとめた形で，末松が，同国際学会において，基調講演を行う予定である。

（３－２）特別支援（国際）に係る研究成果

・タイプ : 国際共同研究推進型

・特別支援分の研究費により，年初計画では，Univ. of Zambia の Banda Daliso 氏を，60GHz 帯のミリ波で動作する IC の実現性検討の詰めを行う 2017 年秋から冬の段階で招へいする予定であったが，同氏の英国オックスフォード大学留学スケジュールと調整がつかず， Skype や電子メールなどを使った，実現性検討の半ばの段階までの技術ディスカッションや設計レビューに留まってしまった．これを補うために，この技術に知見と興味を持っている元 INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY INDORE, INDIA の DIPANKAR GHOSH 氏を，新たに招へいすることとし，2017 年 11 月に同氏を本プロジェクトのメンバーとして追加した。これに先立ち，同年 9 月から，Skype や電子メールなどを使って，IC 実現性検討の議論への参加を開始した。その後，実現性検討の最終確認に合わせて，2018 年 1～2 月に同氏の招へいする予定で，調整を行ってきたが，年明けにインド国内で新しい職を得たとのことで，新しい職場との日程調整がつかず，招へいを再び断念せざるを得ない状況となった。しかし，既に実現性検討については，最終確認を除き，ほぼ終了していたため，プロジェクト的には大きな支障は発生しなかった. なお，来年度は，上記経緯のため，DIPANKAR GHOSH 氏をプロジェクトメンバーから外すことにした。

（３－３）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまでの学会発表などにより，ダイレクトディジタル RF 技術が次第に認知されるようになってきており，2018 年電子情報通信学会総合大会において，シンポジウムセッション「BCS-1. Digital RF 技術とそれを支える要素技術の最新動向」を企画し，計 4 件のシンポジウム講演が行われた。

また，これまでに得られたダイレクトディジタル RF 送受信機の研究成果をもとに，外部資金獲得を目指した活動を行った結果，本プロジェクトで検討してきたアンダーサンプリング受信方式のダイレクトディジタル RF 受信機の広帯域化に関する研究が，平成29年度から4年間のプロジェクトである総務省委託研究「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」に採択された。総務省の委託研究では，800MHz～6GHz の非常に広い周波数帯域を ms オーダーのリアルタイムでスペクトラムセンシングする受信機を開発する予定である。

［４］成果資料

(論文・査読あり)

(1) T. Maehata, S. Kameda, N. Suematsu, “Cancellation for Asymmetrical Waveform in 1-bit Bandpass Delta-Sigma Modulators,” IEICE Trans. Commun., vol.E100-B, no.6, pp.1017-1022, June 2017.

(2) T. Maehata, S. Kameda, N. Suematsu, “1-bit Band-Pass Delta-Sigma Modulator with Parallel IIR Form for Concurrent Multiband Digital Transmitter,” IEICE Trans. Commun., vol.E100-B, no.7, pp.1152-1159, July 2017.

(国際学会・査読あり)

(3) M. Kazuno, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “A 18.6 GHz Locking Range, 60GHz Band Varactor-Tuned Injection Locked Frequency Divider in 65 nm CMOS,” Global Symposium on Millimeter-Waves 2017 (GSMM2017), May 2017.

(4) M. Kazuno, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “A Study on the SNR in Higher Nyquist Zone of 1-Bit Low-Pass Delta-Sigma RZ-DAC,” Asia Pacific Microwave Conference (APMC2017), 13-16 Nov. 2017.

(研究会)

(5) 数野将史, 本良瑞樹, 亀田卓, 末松憲治, “高次ナイキストゾーンにおけるマンチェスタ符号を用いた 1 ビットバンドパス ΔΣ 変調器の SNR,” 信学技報, vol. 117, no. 216, MW2017-73, pp. 29-34, Sep. 2017.

(6) Y. Gui, K. Norishima, M. Motoyoshi, S. Kameda, N.

Suematsu, “SNR Measurement of Direct RF Undersampling Receiver for 28GHz Band Satellite Communication,” 2017 Korea-Japan Microwave workshop (KJMW2017), 11 Dec. 2017.

採択回数　1　2　3
（先端・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：Ikhsanul Habibie
（エジンバラ大学）
Daniel Holden（エジンバラ大学）
Maria Mannone（ミネソタ大学）

延べ参加人数：10人

研究費：　物件費　100,000円
旅費　247,000円
国際特別支援費　200,000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2017年9月、及び2017年1月に来日し、電気通信研究所にそれぞれ数日間滞在し、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。2017年9月に来日した際には北村教授の科学技術研究費の研究テーマについて議論した。この際に、流体の状態のキャプチャおよび機械学習的な手法により流体の状態を推定するためにIM3Dを用いる方法の手法について議論した。また、2018年1月に来日した際は東北大学電気通信研究所の共同プロジェクトの研究会で発表する内容（機械学習的な手法による照明状態の大局的な描画手法）についての議論を行った。

［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。まず基盤技術

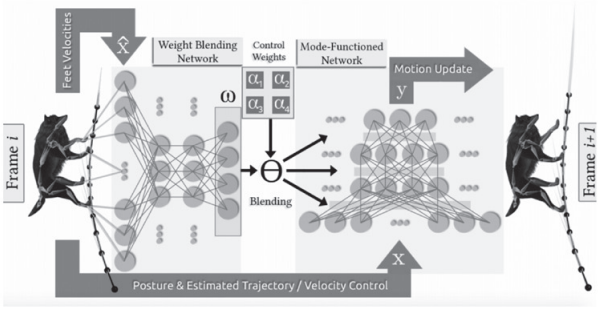


図1：動作に応じて重みを変化させるニューラルネットワーク構造を用いて多相な歩行動作を生成する技術を確立した。

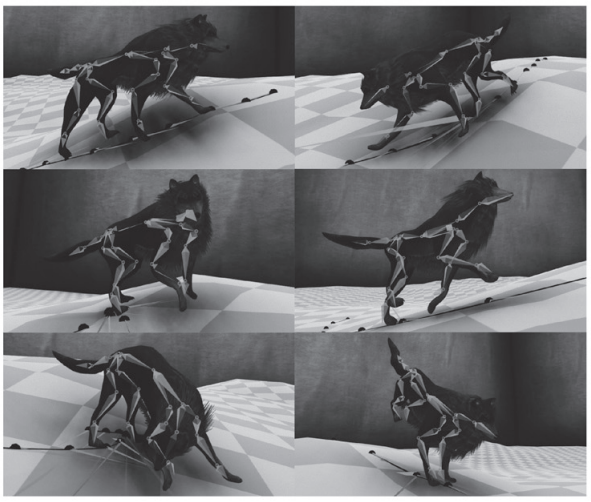


図2：提案手法により、様々な地形の上で多相な歩容動作を生成した結果



図3：Random Forestを用いた手法により、安定的に小動物の動作や手の動きを獲得できるようになった。

として、四足歩行動物の動作をニューラルネットワークで学習する際に（成果資料(1)、図 1 参照）Mixture of Experts と似た手法を取り入れた。四足歩行ではペース、ウォーク、トロット、ギャロップといった多相な歩行動作があり、またジャンプ、座り、立ち上がり、回転といった非周期的な動作が存在する。これらの動作を単純なニューラルネットワークで学習すると多相な動作が混ざりあってしまうため、出力動作が混ざってしまい、望むような結果を得ることができない。また先行研究であるフェーズファンクションニューラルネットを用いる際には歩容の位相を定義する必要があるが、多相な歩容において位相を同一基準で定義することは難しい。本手法では、多数のエキスパートを用意しておき、それらの混合により動作を生成するニューラルネットワークを計算している。ネットワークの学習自体は全体を一度にやる(End-to-end learning)ことができるので、動作データを分類する手間も省くことができる。本手法を用いることにより、コンピュータアニメーションや３次元ゲームにおける犬や馬などのキャラクターの動きを実時間で生成することが可能になった（図２参照)。

次に IM3D システムを用いて手の姿勢推定を行う研究を行った。本システムではコイルの状態をニューラルネットワークを用いて推定している。データグローブとコイルを手に装着して様々な動きを行い、対応するセンサーの隆起状態のデータを集めた。これらのデータを用いて、ニューラルネットワークを使った学習を行うことにより、ランタイムにコイルの三次元姿勢を推定し、さらにエジンバラ大学の Sebastian Starke の逆運動学手法と組み合わせることにより手の動きを安定的に生成することができた（図３参照)。

最後に機械学習を用いて照明状態の大局的な描画手法の提案を行った。本手法では G バッファの情報を入力として、各ピクセルにおける光素(photon)の入射角及び輝度を推定し、ピクセルシェーダーで最終的な描画を行った。描画自体をピクセルシェーダーで行うことにより画像がはっきり映るようになり、質が向上した。本手法を用いることにより、リアルタイムに大局的な照明情報を考慮した描画を行うことができるようになった（図４参照)。

本研究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 を利用して研究を進めているが、同様に IM3D を活用して研究を進めている Maria Mannone（ミネソタ大学）とも連携してノウハウなどを共有し合いながら本年度は研究を進めた。国際特別支援費はその打ち合わせのために利用した。

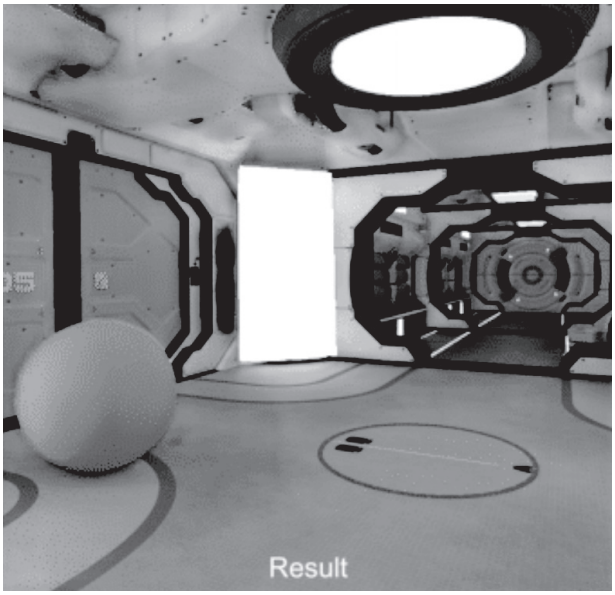


図 3:　スクリーンスペースの G バッファ情報を入力としてニューラルネットワークを用いて描画した画像

(３－２)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度は IM3D システムを用いて流体動作の獲得と深層学習を行う予定である。また大局的照明状態の推定手法に基づいて、トップコンファレンスへの論文投稿を目指すとともに、JSPS London Symposium and Seminar Scheme に申請して、研究会開催を予定している。

[4] 成果資料

(1) He Zhang, Sebastian Starke, Taku Komura, Jun Saito, “Mode-Adaptive Neural Networks for Quadruped Motion Control”, ACM Transactions on Graphics, Vol. 37, Issue 4, SIGGRAPH 2018 Proceedings Volume.

採択回数　(1)　2　3
(萌芽)

採択番号：**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

［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
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）
Xin Huang　（東北大学電気通信研究所）
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：6 人

研究費
物件費　100,000 円
旅費　116,000 円

［2］研究経過

本研究課題「集団脳波に基づく視聴覚コンテンツ評価に関する研究」では，写真画像コンテンツを見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，本年度が初年度であり，東北大学電気通信研究所における会議（2018 年 8 月，参加人数 6 名），インターネットを介しての会議（参加人数 5 名）を開催し，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詳細に意識合わせを行った．また，2018 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．また，今後の研究の進め方についての議論も行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度，研究目的を達成するために，以下に示す実験を行った．

8 名の被験者が今回の実験に参加し，その 8 名の集団の脳波を同時に計測した（図 1）．それぞれの被験者には 4 個の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 Fz，Cz，Pz，Oz の位置に装着された（国際 10/20 法とその拡張）．

この集団に対して，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・不快な感情を誘起する画像を 20 枚ずつ抽出して実験に用いた．ここで 2 種類の画像



図 1　集団脳波同時計測の様子



図2　D-FLIP の画面例

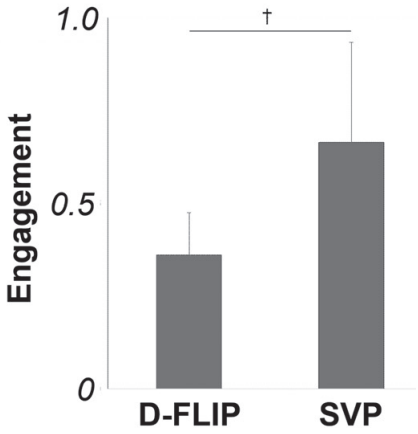


図3 エンゲージメントの比較

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る．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る．D-FLIP の画像の例を図 2 に示す．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統合して分析する．

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．

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の値を用いて[4]，統計的検定を行ったところ，2 つの条件の間に有意傾向（$p<0.10$）が認められた．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今回の研究結果から，集団脳波によって画像提示手法の評価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エンゲージメントの値が小さく，精神的な負荷が小さいとも考えられる．

今後は映像コンテンツの内容，すなわち，快・中立・不快のカテゴリーの判別なども検討されるべきである．感情の識別は従来の研究から困難なものと考えられるが，集団脳波の統合解析により，この問題を克服できればと考えている．

なお，集団脳波の解析は国内外を見てもまださほど研究がなされていない分野であり，今後，実験を追加すべく本共同プロジェクトを継続することとなっている．

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

2018 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：
塩入　諭（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）
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）
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	100,000 円
旅費	213,000 円
国際特別支援費	200,000 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知覚である色カテゴリーは，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色カテゴリー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，色カテゴリー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ー研究を拡張したものである。本年度が第 1 年度であり，研究は台湾の言語のデータ解析，タイの言語による実験の実施への取組，計画について研究打合せを実施した。

（2-1）打合せの詳細

1）2017 年 5 月 31 日～6 月 2 日，9 月 4～14 日
【参加者】栗木一郎，武藤ゆみ子（東工大），謝 翠如（台湾中国文化大），I-Ping Chen（メールにて）
【内容】台湾のカラーネーミングデータの処理について

2）2017 月 5 月 15 日
【参加者】Delwin Lindsey，Angela Brown，栗木一郎（メールにて）
【内容】北米英語データと，それと同じ手法で取得された日本と台湾のデータにおいて，直接比較検討のためのデータの扱いについて

3）2017 月 11 月 24，25 日
【参加者】謝 翠如（台湾中国文化大），I-Ping Chen，栗木一郎（中華色彩学会，台湾にて）
【内容】台湾のデータ整理の進め方についての打合せと意見交換

4）2018 月 2 月 7～11 日
【参加者】Delwin Lindsey，Angela Brown，栗木一郎（メールにて）
【内容】台湾のカラーネーミングデータ解析における k-means 解析の事前処理に関する技術的な打ち合わせ

5）2018 月 3 月 13 日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan，池田光男，徳永留美（東北大学電気通信研究所にて）
【内容】タイで実験を実施するための装置の大き

さなどの詳細や視覚刺激の作成についての説明，確認

6）2018 月 3 月 15 日
【参加者】Chanprapha Phuangsuwan，池田光男，栗木一郎，徳永留美（東北大学電気通信研究所にて）
【内容】実験の際に使用する被験者へのインストラクションについて，タイ語の語彙を考慮したタイ語版のインストラクションの作成，実験装置の照明器具，実験の手順などについての確認

（2－2）研究会の開催

研究分担者である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 Phuangsuwan 助教授と同大学池田光男教授を招聘し，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。詳細を下記に示す。

平成 29 年度 共同プロジェクト研究会（共同開催）
日時：平成 30 年 3 月 14 日～15 日
場所：東北大学 電気通信研究所 本館 4 階 セミナー室（M431 号室）

Chanprapha Phuangsuwan・池田光男（タイ・ラジャマンガラ工科大学）【招待講演】
"Demonstration of the Chromatic adaptation that takes place for a 2D picture as for a real space by D-up technique"

栗木一郎（東北大学）・謝 翠如（台湾・中国文化大学）・武藤ゆみ子（東京工業大学）・陳 一平（台湾・国立交通大学）・塩入 諭（東北大学）
「台湾の中国語話者における色カテゴリー」

内川惠二（神奈川大学）・福田一帆（工学院大学）・森本拓馬（英国・ オックスフォード大学）
「オプティマルカラー仮説による発光色モード閾値の予測」

金子沙永（東北大学）・Søren Andersen（英国・アバディーン大学）・ 栗木一郎（東北大学）
「SSVEP を用いた色選択性応答の計測」

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，主に台湾で実施した中国語の色カテゴリーの実験について，成果が得られた。

中国語の色名について調べるため，先行研究と同じ方法で台湾の学生を対象とした実験と解析を行なった。実験では，330 色のマンセル色票に対し，被験者 41 名が修飾語（「薄い」等）や複合語（黄緑など）を禁じた単一語彙による色名呼称を行なった。

被験者によって使用された色名は被験者により異なり 10 から 15 色であった。表 1 に色名とその色名を使用した被験者の数を示す。紅，緑，藍，黄，紫，橙，灰，咖啡の 8 色名は全ての被験者が利用し，白，粉紅（ピンク），黒についてもほとんど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，本実験の方が利用する色名が少ないことが分かった。色名に対する利用者数についての結果を図 1 に示す。黒色以降は，利用者数が急激に減少することが分かる。

また，茶色に関わる色名として咖啡，棕，褐の 3 つの色名があり，特に，咖啡が茶色の色名であるのは，日本語の結果で緑色に関する色名で抹茶が挙げられる。つまり，飲み物と色名と色の関係性が類似しており，文化的な言語と意味付けの成り立ちなどの解析が可能になると期待できる。

表 1　色名とそれを使用した被験者数

	Color terms		
1	紅	red	41
2	綠	green	41
3	藍	blue	41
4	黃	yellow	41
5	紫	purple	41
6	橘	orange	41
7	灰	gray	41
8	咖啡	brown	41
9	白	white	40
10	粉紅	pink	40
11	黑	black	39

	Color terms	
12	棕	10
13	桃紅	6
14	土	3
15	皮膚・膚	3
16	褐	2
17	澄	1
18	茶	1
19	乳白	1
20	墨	1
21	湛	1
22	橙	1
23	青蘋果	1

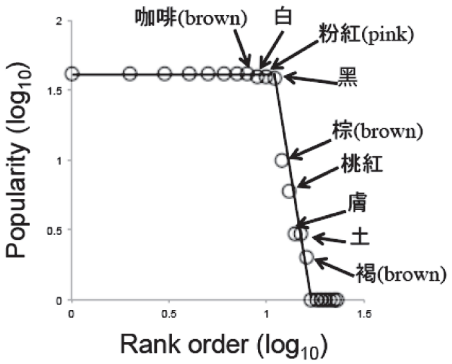


図 1　各中国語色名に対する利用者数

これらのデータに対してクラスタリング分析を行った。クラスタ数を k=2 から k=24 の間で変化させ，

各クラスタの重心と要素の間の残渣距離を元にしたGap 統計量による評価を行い，最適クラスタ数の推定を行った。この結果を図２に示す。その結果，妥当なクラスタ数としてk=8 を推定した。それらは基本色の赤，緑，黄，青，紫，ピンク，オレンジ，茶色である。クラスタ解析の都合上，白，黒，灰色は含まない結果となっている。

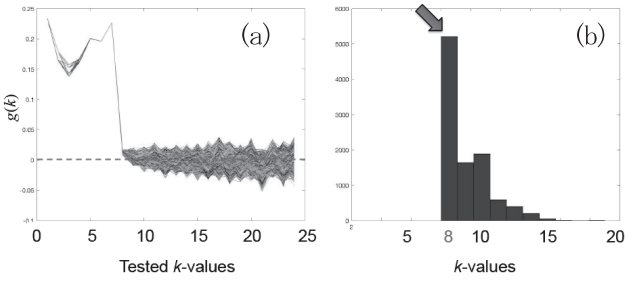


図２　Gap 統計量による解析

また，タイ語に関しては，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において，英語，日本語，中国語の実験と共通のシステムを構築し，同様の手続きで実験を実施しデータを収集する予定である。

（特別支援（国際）にかかる研究成果）

平成30年3月11日-17日 に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Phuangsuwan 助教授を招聘し，来年度に実施する同大学での実験実施にかかる検討，確認をし，タイ語における可能性について議論した。

（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。

また，前プロジェクト（H26/A25）の結果から，近年の色名について新聞やウェブ上でも紹介されており，色名について改めて認識するということで，研究の影響は大きいと考える。この研究は朝日小学生新聞への記事の掲載や，愛知教育大学附属中学校の国語科から資料提供の要請があるなど，初等・中等教育への影響も見る事ができ，この研究課題が持つ波及効果の裾野の広さを示した。さらに，言語系のワークショップにおける講演・意見交換を行うなど他分野へも繋がりが広がりをみせた。色カテゴリー研究は，色覚研究への貢献のみならず，言語・文化や脳科学など幅広い研究分野への発展が期待できる。

［４］成果資料

（学会発表等）

1）栗木一郎，Ryan Lange，武藤ゆみ子，Angela M. Brown，福田一帆，徳永留美，Delwin T. Lindsey，内川惠二，塩入 諭．日本語色カテゴリーとその個人差類型．日本視覚学会2017 夏季大会（2017）．

2）栗木一郎，Ryan Lange，武藤ゆみ子，Angela M Brown，福田一帆，徳永留美，Delwin T. Lindsey，内川惠二，塩入 諭．k-平均法による日本語話者の色カテゴリー領域と個人差類型の導出．日本画像学会 Imaging Conference Japan 2017 Fall meeting 抄録集，pp. 23-24（2017）．

（招待講演）

1） Ichiro Kuriki: Color category in languages and infants. Keynote lecture at Color Association of Taiwan, Taipei, Taiwan.（基調講演）

2） 栗木一郎：日本語の色カテゴリーと乳幼児の色カテゴリーに関する研究．東北大学大学院 情報科学研究科 言語変異・変化研究ユニット講演会，3/2/2018.

（報道等）

1）朝日小学生新聞「水色はこの30年で青から独立」（１面）3/28/2017.

2）中日新聞「色？時代とともに変化する名前」（日曜版17面：知るコレ！）5/21/2017.

3）マイナビニュース，レポート「緑色なのに「青信号」と呼ぶのはなぜ? - 大学教授に聞いてみた」http://news.mynavi.jp/articles/2017/04/27/green_light/，4/27/2017.　（同サイトにおける「科学分野」「テクノロジー分野」の 2017 年の年間アクセス数１位）

4）アカデミスト・ジャーナル，研究コラム「脳のなかの色，言葉のなかの色-「青々とした緑」という言葉のウラにあるもの」https://academist-cf.com/journal/?p=5004，6/16/2017.

共同プロジェクト研究

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）

延べ参加人数：61 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	95,000 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 nm 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。生体分子の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と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，金属ナノ粒子やグラフェンなどのナノ材料の機能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。

プロジェクト初年度である本年度は，人工脂質二分子膜への細胞膜成分の融合過程の直接観察，安定化脂質二分子膜デバイス中の微細構造の最適化を行った。また，支持脂質二分子膜系を用いてナノ構造基板への担持や金属微粒子の包含が脂質二分子膜の構造・物性に及ぼす影響を明らかにした。これらの成果は人工無機材料と人工脂質二分子膜，人工脂質二分子膜と生体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，半導体微細加工技術と脂質二分子膜の機能融合のために役立つ。

平成 30 年 3 月 1-2 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。

7th 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 30 年 3 月 1 日(木) － 2 日(金)
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 (木)
“Modulation of signal propagation in connected cell

networks by localized heat stimulation",
Bernhard Wolfrum (Technical University of Munich, Germany)
"Development of bioanalytical platforms for extracellular vesicles",
Takanori Ichiki (The University of Tokyo, Japan)
"Mechanically stable solvent-free lipid bilayers for ion channel proteins"
Ayumi Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan)
"Photomodulation of electrical conductivity across a PCBM doped free-standing lipid bilayer",
Kensaku Kanomata (Yamagata University, Japan)
"Microscopic morphology of polyethylene-glycol-modified lipids and its effects on macroscopic physical properties in supported lipid bilayers"
Yasuhiro Kakimoto (Toyohashi University of Technology, Japan)
"Substrate-induced asymmetric and anisotropic diffusion in supported lipid bilayers"
Ryugo Tero (Toyohashi University of Technology, Japan)

Poster Session
"Hydrogel printing by electrodeposition",
Noriko Taira (Tohoku University, Japan)
"A gas-sensitive SPIM for spatially resolved detection of ethanol using SnO_2 as sensing element",
Mengyun Wang (Tohoku University, Japan)
"Improvement of spatial resolution and measurement speed of chemical imaging sensor using a partially etched structure for light-addressable potentiometric sensor",
Hoang Anh Truong (Tohoku University, Japan)
"Reference-free detection of silver nanoparticle impacts for future point-of-use systems",
Leroy Grob (Technical University of Munich, Germany)
"Microwire-embedded PVDF flexible pressure sensor",
Shin Yamamiya (Tohoku University, Japan)
"Microfabricated silicon chips with built-in electrodes as a novel platform for bilayer lipid membranes",
Yusuke Tsuneta (Tohoku University, Japan)
"Quantification of drug side effects on cell-free synthesized ion-channels in solvent-free lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips",
Miki Kato (Tohoku University, Japan)
"Optimization of nano- and micro-tapered structures at SiO_2/Si_3N_4 aperture edges for formation of mechanically stable solvent-free lipid membranes",
Daisuke Tadaki (Tohoku University, Japan)
"Chemically modified apertures for enhanced stability of free-standing lipid bilayer membranes",
Daichi Yamaura (Tohoku University, Japan)
"Effects of lipid composition on formation process and microdomains of supported lipid bilayer consisting of phosphatidylcholine, cholesterol and phosphatidylethanolamine",
Melvin Goh Wei Shern (Toyohashi University of Technology, Japan)
"Interfacial Modification of metal oxides for highly efficient perovskite solar cells",
Teng Ma (Tohoku University, Japan)
"Light-induced current response of PCBM-embedded bilayer lipid membrane",
Takafumi Deguchi (Tohoku University, Japan)
"Effect of cell morphology on freqency-response curves of micropatterned neurons in culture",
Ryosuke Matsumura (Tohoku University, Japan)
"Evaluation of input/output characteristics of a convergent neural network unit by dynamic-clump"
Takeshi Hayakawa (Tohoku University, Japan)
"Spontaneous activity patterns of micropatterned cortical networks with 4, 16, and 36 modules",
Katsuya Ide (Tohoku University, Japan)
"High-speed calcium imaging of synchronized spontaneous activity in micropatterned modular neuronal networks",
Kei Wakimura (Tohoku University, Japan)

3月7日 (金)
"Membrane Functionalized Sensor Architectures",
Craig A. Aspinwall (University of Arizona, USA)
"Artificial bilayers on a substrate for channel recordings",
Toru Ide (Okayama University, Japan)
"Noninvasive electrochemical characterization of multicellular spheroids and embryoid bodies",
Hitoshi Shiku (Tohoku University, Japan)
"Patterned model biological membrane on the solid substrate",
Kenichi Morigaki (Kobe University, Japan)
"Numerical simulation for single-electron charging effects in random arrays of small tunnel junctions"
Yoshinao Mizugaki (The University of Electro-Communications, 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。そこで膜融合過程の詳細を理解するために，支持脂質二分子膜(supported lipid bilayer: SLB)を用いて蛍光顕微鏡観察および原子間力顕微鏡(AFM)観察を行った。脂質二分子膜デバイスでのイオンチャネル計測に用いられるのと同じ組成の SLB を作製し，培養細胞から取得した PL を添加したところ，SLB 内に暗い領域が現れた(図 1a)。CHO 細胞は非染色であるため，暗い領域は CHO-PL 由来のドメインであり，またドメインに明瞭な境界が存在することは CHO の細胞膜成分が人工支持膜と混合せずに分離していることを明確に示している。明瞭なドメイン境界は AFM 形状像でも観察され，CHO-PL 由来の領域中には，細胞膜に含まれる膜タンパク質などが隆起物として観察された(図 1b)。PL 融合する前の SLB 内に微小脂質ドメインが存在し，PL が融合するサイトとして働いていることを明らかにした。膜融合過程を蛍光顕微鏡により直接観察した結果と合わせて，膜内微小ドメインを輝点とする PL 融合過程のモデルを提案した。

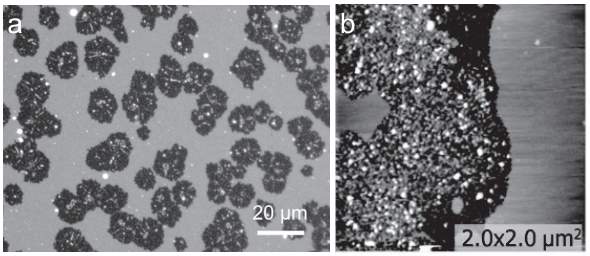


図 1. プロテオリポソームを融合した人工脂質二分子膜の(a)蛍光像と(b)AFM 形状像。

また，マイカ，熱酸化 SiO_2/Si，単結晶 Al_2O_3(0001)基板上の SLB について，蛍光一粒子追跡法による膜内分子拡散の観察結果から，固体基板表面の材質やナノ構造に依存した非対称的・異方的分子拡散現象を見出した。脂質二分子膜デバイスにおいて脂質膜が直接触れる微細孔において，開口端のナノ構造や表面化学修飾状態が脂質二分子膜の安定化や PL 融合効率に関わることも明らかにした。プロジェクト二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。

前述の国際シンポジウムでの交流をきっかけに，2018 年度に開催される会議での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 80 名 (見込み)

［４］成果資料

(1) R. Tero, K. Fukumoto, T. Motegi, M. Yoshida, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Formation of Cell Membrane Component Domains in Artificial Lipid Bilayer”, Sci. Rep. 7 (2017) 17905. DOI: 10.1038/s41598-017-18242-9.
(2) T. Motegi, K. Yamazaki, T. Ogino, R. Tero, “Substrate-Induced Structure and Molecular Dynamics in a Lipid Bilayer Membrane”, Langmuir 33 (2017) 14748–14755. DOI: 10.1021/acs.langmuir.7b03212.
(3) D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, K. Ishibashi, M. Kato, T. Ma, R. Miyata, Y. Tozawa, H. Yamamoto, M. Niwano, and A. Hirano-Iwata, Mechanically stable solvent-free lipid bilayers in nano- and micro-tapered apertures for reconstitution of cell-free synthesized hERG channels, Sci. Rep. 7 (2017) 17736. DOI: 10.1038/s41598-017-17905-x.
(4) N. Sakaguchi, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, T. Ogino, Fabrication of Au-Nanoparticle-Embedded Lipid Bilayer Membranes Supported on Solid Substrates, J. Phys. Chem. B 121 (2017) 4474–4481. DOI:10.1021/acs.jpcb.7b00500.
(5) D. Tadaki, D. Yamaura, K. Arata, T. Ohori, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, and A. Hirano-Iwata, Micro- and nanofabrication methods for ion channel reconstitution in bilayer lipid membranes, Jpn. J. Appl. Phys. 57 (2018) 03EA01. DOI:10.7567/JJAP.57.03EA01.

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）
　児島　悠太（室蘭工業大学）
　野口　啓太（室蘭工業大学）

延べ参加人数：7人

研究費

物件費	100,000円
旅費	244,000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，プロトタイプモデルの開発と，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。

・H29年7月に山形大学にて，小林と近藤による提案法の改良についてと論文投稿について打ち合わせを行った。
・H29年9月に愛媛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。
・H29年9月に室蘭工大にて，小林と太田による提案法の改良についてと論文投稿について打ち合わせを行った。
・H30年2月に電気通信研究所で開催された共同研究プロジェクト研究発表会の際に，進捗を報告し，今年度進捗した予測モデルのデモ機について討論した。
・H30年3月に日本工業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

① 屋外拡声システム評価計測器のデモ機開発

申請者らがこれまでに検討してきた屋外での音声了解度予測モデルは，MFCC による音声認識の音響モデルと言語モデル，P.563 による音声品質モデルの３つを混合し，多数の SVM を構築するという点で計算コストがかかっていた。このため，最終的な利用法であるハンドヘルド計測器とするには課題が多い。

そこで，全体の計算と主観評価過程の簡略化を目指した。特に近年大きく発展してきた，シングルボードコンピュータでも運用可能な軽量なシステムとすることを目標とした。このため，先行研究のシステムで効果があったと考えられた音声認識の音響モデルに利用される入力音声の特徴量として MFCC(Mel Frequency Cepstrum Coefficients)の時系列信号のみに特徴量を絞り込み，計算コストが線形時間で設計しやすい機械学習法の 1 つである RF(Random Forest)を利用する。また，了解度よりも小規模な実験でも評価値が定まる主観品質評価である聴き取りにくさの指標 LDR(Listening Difficulty Raite)を用いた「聴き取りにくさ計」とすることにした。LDR は，単語了解度と同時に集計する方法もあるが，1 つの文章を用いた評価も可能であるため，被験者の拘束時間を短くすることが可能である。

さらに，リアルタイム動作時には，今解析している信号が音声かどうかの判別が必要である。そこで，VAD(Voice Activity Detection：音声区間判別)も RF で実装し，音声区間の聴き取りにくさを求めることとした。

図 1 に提案する計測器のフローを示す。この計測器は，2 台のシングルボードコンピュータを用い，屋外に設置されている拡声器等から放送される音声を録音し，リアルタイムに LDR 予測結果を表示する。

実機システムには，マイクロホンに入力された音源を Board 1 で 1 sec. ごとに録音し，フレーム長を 100 msec. として 12 次元の MFCC とパワーおよび，delta パラメータを算出する。次に，Board 2 で学習済みモデルを使用して，VAD と LDR 予測を行う。最後に，Board 1 の LCD ディスプレイに VAD の結果と予測 LDR を表示する。

RF のモデルは，教師データに主観評価値を用いる必要があるため，作成に必要なインパルス応答と騒音音源を室蘭工業大学の広場で収録し，被験者 19 名による主観評価を行った。評価音源は 160 音源であり，このうち約 70%をモデル作成のトレーニングデータ，残りをテストデータとした。また，VAD は音声の有無の 2 択であるため，多数のデータが作れることから，微細な SN 比の差も含め，3,593,038 音源を作成し，約 70%のデータで RF によるモデルを作成し，残りの約 30%のデータで評価した。

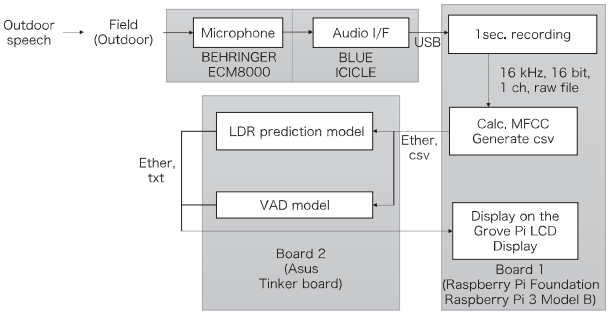


図 1　計測器のプロトタイプのフロー図

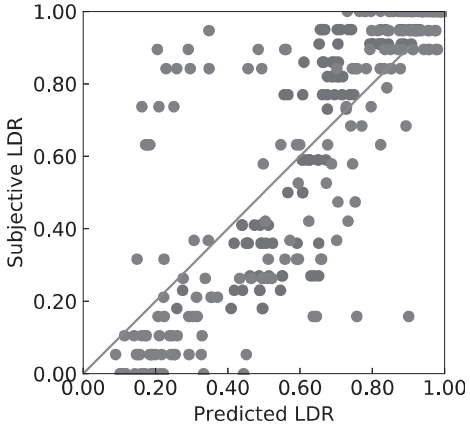


図 2 モデルの性能

表 1 VAD の結果

	音声(予測値)	非音声(予測値)
音声(真値)	924,059	811
非音声(真値)	3,840	149,202

② 深層学習を用いた風雑音の除去

これまでに述べたようなシステムは，屋外で利用するため，風の影響を受けやすい。そこで，深層学習を用いた風雑音の除去について検討した。用いたデータには風雑音にクラクション音を加算した信号である。提案モデルは，学習に図 3 のような風雑音が混入したサイレン信号(サンプリング周波数 44.1 kHz)をフレーム長 320 sample で切り出して，FFT した際の FFT ビンごとのパワーを特徴量とし，教師データとして，風雑音を含まない同信号の FFT ビンごとのパワーを教師とした中間層が 3 層の DNN で構成した。中間層の活性化関数は ReLU で出力層の活性化関数は sigmoid とした。DNN の各パラメータは予備実験で最適化した。図 3 の信号にモデルを適応した結果が図 4 である。非サイレン区間の信号がほぼゼロとなり十分な抑圧ができている。また，サイレン区間には一部周波数特性が変わっているものの，聴感上の音色はほぼ一致していた。

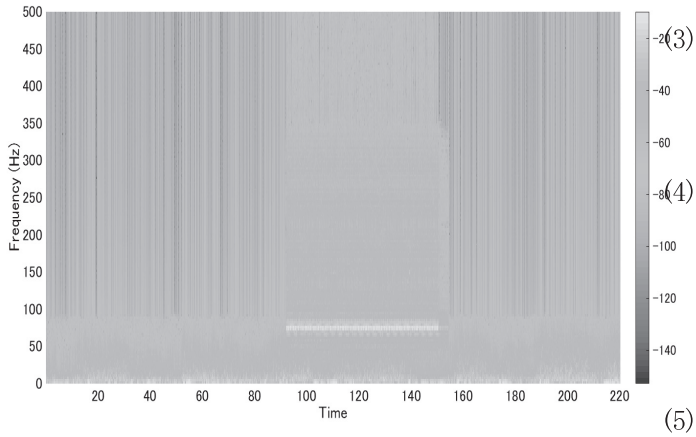


図３　風雑音のある信号のスペクトログラム

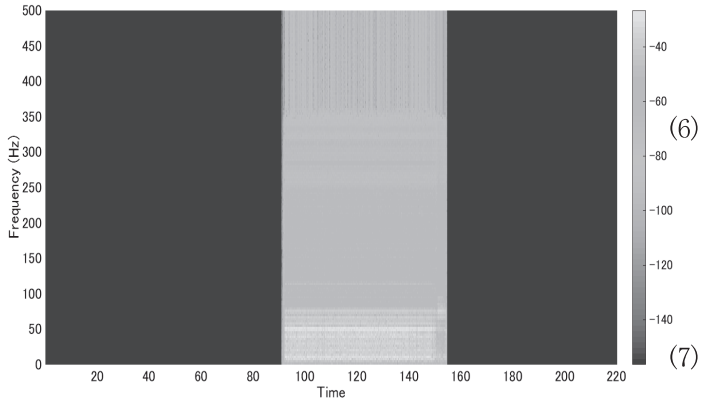


図４　DNN によるフィルタを適用したスペクトログラム例

（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，公益財団法人電気通信普及財団の研究助成，公益財団法人立石科学技術振興財団，公益財団法人国際科学技術財団より研究助成を受けている。また，来年度について研究代表の小林は，公益財団法人矢崎科学技術振興財団からの研究助成が内定している。

［４］成果資料

(1) 児島悠太，小林洋介，“音環境センシングシステムの開発，” 信学技報 EA2017-22，pp. 125-130，2017.7
(2) 北川 冬弥，近藤和弘，“拡張音響現実を用いた自転車でのナビゲーションシステムの基礎検討”，信学技報 EA2017-29，pp. 13-20，2017.8
(3) 児島悠太，小林洋介，”音環境センサネットワークの基礎検討，” 日本音響学会 2017 年秋季研究大会，1-P-40(Poster)，pp.749-750，2017 年 9 月
(4) Y. Kobayashi, K. Ishikawa, K. Ohta and J. Kishigami, “Semantic Parser for Easy Understandable Speech Broadcasting,” Proc. The 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 28 - 29, Nagoya, Japan, 2017.
(5) T. Kitagawa, K. Kondo, “On a Wind Noise Countermeasure for Bicycle Audio Augmented Reality Systems,” Proc. The 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 231 - 232, Nagoya, Japan, 2017.
(6) 野口啓太，小林洋介，岸上順一，栗栖清浩，“屋外録音音声の聴き取りにくさ予測に用いる機械学習手法の比較，”平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集，143，pp.210-211，北海道函館市，(2017 年 10 月 28-29 日)
(7) Y. Kobayashi, K. Kondo “A Case Study of Bootstrap Masker Quality Assessment for Speech-Privacy Protection,” Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Volume 8, Number 6, pp. 1460-1469, November 2017.
(8) K. Kondo, K. Taira, “Estimation of binaural speech intelligibility using machine learning,” Applied Acoustics, vol. 129, pp. 408-416, 2018.1
(9) 北川冬弥，近藤和弘 “深層学習による風邪雑音対策法の基礎検討，” 信学技報 EMM2017-67，pp. 7-12，2018.1
(10) K. Noguch, Y. Kobayashi, J. Kishigami and K. Kurisu, “Listening Difficulty Meter Using the ITU-T P.563 Feature Set for Public-Address System,” Abstract of Joint Seminar on Environmental Science and Disaster Mitigation Research 2018 (JSED2018), pp.73-74, Mar.2, 2018, Muroran
(11) 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のプロトタイプ開発，” 日本音響学会 2018 年春季研究大会，2-P-3(Poster)，pp.659-660，2018 年 3 月.

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）

※申請時：大阪大学サイバーメディアセンター

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

Photchara Ratsamee（大阪大学サイバーメディアセンター）

延べ参加人数：5 人

研究費

物件費	100,000 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．

本年度は初年度であり，環境づくりと研究を進めるにあたっての基本的なソフトウェアなどを開発した．

研究代表者と通研対応教員とは，本年度は二回の現地（通研）ミーティングを実施した．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．その後，通研対応教員の研究室の博士前期課程学生１名と高嶋助教らと数回のビデオミーティングをして開発を進めた．さらに，本年度末の共同研究発表プロジェクト発表会の前後でも来年度の計画などの詳細を議論した．なお，代表者と通研対応教員である北村教授は，関連学会等で2，3回会い，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

本年度は，本プロジェクトでの研究予算にて，PupilLabs 社製の視線計測装置１台（図１）を購入することができた．これを利用して，現状ではリアルタイムでの視線追跡（図 2）と取得した視線情報を可視化する（今回はヒートマップ）システムを開発した（図3）．図２と図３に示すように，瞳孔の動きだけではなく，ユーザに取り付けたカメラで世界の情報も取得して，大画面の壁面ディスプレイでユーザがどの点を見ているかを安定して取得できるようになった．図３では視線情報をヒートマップとして可視化しているが，グラフィックスを変更することで様々な表現が可能である．

本研究の目的は視線情報を可視化することで協調作業の質がどのように改善されるかを見ることであり，今年度はその点については検証できていない．しかし，来年度の実験やシステム構築のための土台を開発することができたと言える．実際，来年度の実験計画や実験環境構築についてはその概要を決定済みである．

なお，ソフトウェア開発は，通研対応教員研究室の博士前期課程工藤氏と東北大学工学部２年生アドバンス創造工学演習の参加者らとともに実施した．



図１：調達した単眼視線計測装置



図２：リアルタイム視線追跡



図３：視線情報から作成されたヒートマップ

（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．視線トラッカを内蔵するヘッドマウントディスプレイが市販されるなど，視線トラッカが手軽に利用できるようになりつつあり，本研究の成果により視線トラッカが利用できる環境での協調作業の質を大幅に高めることができると期待できる．

また，通研対応教員である北村喜文教授の研究室では，以前より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例が少なく，独自性の高い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への発展も検討していきたい．

［４］成果資料

特になし

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
岩谷　幸雄（東北学院大学工学部）
大谷　真　（京都大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：8人

研究費

物件費	100,000円
旅費	185,000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，米ドルビー社が推進する立体音響技術の一つで，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提供される座標，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スピーカで再現する技術である。主に映画館などの大規模な音響システムに採用されており，ハリウッドでは次世代の音響基盤技術の一つとして認識されている。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たレンダリング実施してきた。その結果，CD並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。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，本年度が初年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

・H29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，移動音源に関する簡単な実験を実施した。
・H29年9月に愛媛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。
・H29年10月には電気通信研究所で，第3回の研究打ち合わせと各種移動音源の実験を行った。
・H30年2月に電気通信研究所で第4回の研究打ち合わせと各種移動音源および音像定位実験を行った。

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。

まず第1に，移動音源に対する定式化を行った。音空間レンダリングでは，主にCompact Explicit Finite Difference-Time Domain (CE-FDTD)法を使用するため，その音源駆動方式を移動音源に対応させた。CE-FDTD法で移動音源を表現するには，音源の移動経路上にあるグリッド点を音源速度に応じて

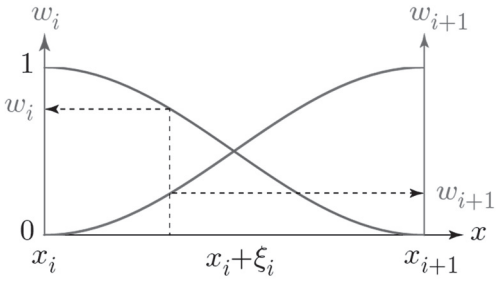


Fig. 1 音源分布関数

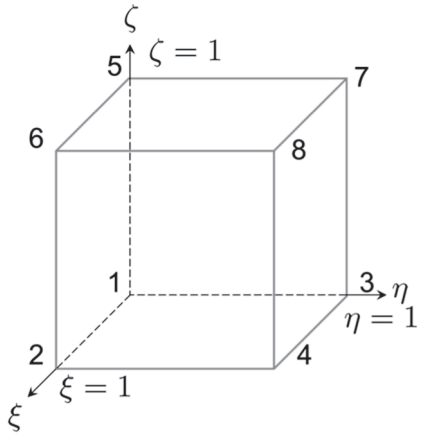


Fig. 2 体積座標系(3 次元セル)

次々と切り替えて駆動することになる。その際，音源がグリッド点上にあるときはそのままグリッド点を駆動すればよいが，グリッド点間にあるときには適当な音源重み関数を導入して，近接のグリッド点に振り分けて駆動する必要がある。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。つぎにこれを 3 次元に拡張する。Fig. 2 を参照すると，3 次元の場合の音源重み関数は，体積座標を用いて次のように表すことができる。

$$w_1 = (1+\cos(\pi\xi))(1+\cos(\pi\eta))(1+\cos(\pi\zeta))$$
$$w_2 = (1-\cos(\pi\xi))(1+\cos(\pi\eta))(1+\cos(\pi\zeta))$$
$$w_3 = (1+\cos(\pi\xi))(1-\cos(\pi\eta))(1+\cos(\pi\zeta))$$
$$w_4 = (1-\cos(\pi\xi))(1-\cos(\pi\eta))(1+\cos(\pi\zeta))$$
$$w_5 = (1+\cos(\pi\xi))(1+\cos(\pi\eta))(1-\cos(\pi\zeta))$$
$$w_6 = (1-\cos(\pi\xi))(1+\cos(\pi\eta))(1-\cos(\pi\zeta))$$
$$w_7 = (1+\cos(\pi\xi))(1-\cos(\pi\eta))(1-\cos(\pi\zeta))$$
$$w_8 = (1-\cos(\pi\xi))(1-\cos(\pi\eta))(1-\cos(\pi\zeta))$$

ただし，上式はグリッド 1 に対しての未表記しており，ξ,η,ζ はそれぞれ x, y, z 方向の規格化体積座標である。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。

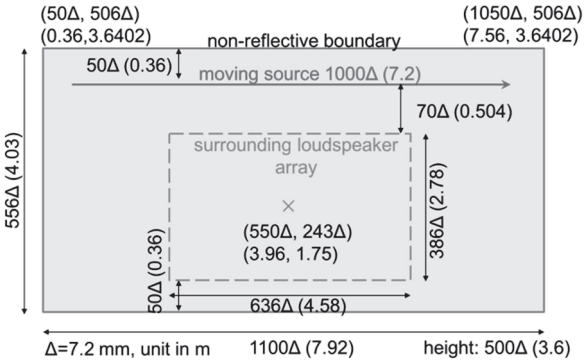


Fig. 3 移動音源のための数値モデル

つぎに，上記定式化に従い数値実験を行った。Fig. 3 は移動音源のための数値モデルである。図中の破線で囲った部分が包囲型スピーカアレイに対応し，その周りを仮想空間で囲っている。仮想空間の大きさは，7.92 x 3.64 x 3.6 m^{3}で，これを 7.2 mm の立方体セルで離散化している。したがって，全体を 1100 x 556 x 500 のセルで分割していることになる。音源は，包囲型スピーカアレイの後方 0.5 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Mur の 1 次吸収境界条件とした。

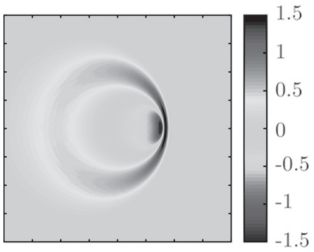


Fig. 4 音源近傍の音圧分布図

Fig. 4 は，速度 272 m/s (M=0.8, M:マッハ数)としたときの音源近傍の音圧分布図である。本定式化では，音源速度が音速に近い場合であっても，衝撃波が形成されなければ十分精度良く計算が行えることが特徴である。また，音源の進行方向に音波が圧縮され，反対方向には伸張されていることから，ドップラー効果も問題なく組み入れが行えていることが確認できる。さらに，ドップラー効果による周波数変化の精度を確認するために，連続正弦波を放射しながら音源を移動させた。計算された音波の音圧波形を FFT により周波数分析してドップラー効果による周波数変化を求めた。結果を Fig. 5 に示す。図中の実線は，CE-FDTD 法による計算結果，破線はドップラー効果の理論値である。音源速度は，−0.5 M から 0.5 Mの間で変化させている。このように，計

算結果と理論値は良く一致しており，音源移動が精度良く計算できていることが示された。

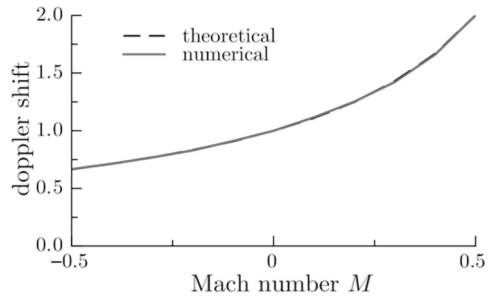


Fig.5 ドップラー効果による周波数変化

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。ただし，一部の実験において，音源が直線運動であるにも拘わらず音源軌跡が湾曲して知覚される場合があった。これは，反射体が観測者近傍にあるときにはこのような軌跡の湾曲例が報告されているが，本実験のように自由空間を想定している場合は湾曲しないはずであることから，包囲型スピーカアレイのように離散化された場の特徴である可能性が示唆された。具体的には，離散的に設置されたスピーカから放射された音のインパルス応答が，反射体がある場合に類似しているなどの原因が考えられる。同様に離散化された場では，音源位置が上昇して知覚される傾向にあることも示唆された。これらの現象の解明は，今後の重要な研究課題と考えられる。

（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,高/超臨場感オーディオとの関連が深く，この度音響学会に新しく設置された高臨場感オーディオ調査研究委員会との連携を強めながら，今後の発展が期待されている。さらに，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）飯野慎吾，松下　翔，土屋隆生，″フレネル・キルヒホッフ回折公式を用いたバイノーラル音空間レンダリングの高速化の検討″,電子情報通信学会技術研究報告，EA2017-8 (2017).

（2）福田晃大，大久保寛，大嶋拓也，土屋隆生，金森正史，″CIP法を用いた媒質の移流を考慮した3次元音波伝搬シミュレーション″，日本音響学会2017年秋季研究発表会，1-Q-33 (2017).

（3）A. Fukuda, K. Okubo, T. Oshima, T. Tsuchiya, and M. Kanamori, ″Three-dimensional Numerical Acoustic Simulation with Background Flow Using Method of Characteristics,″ Proc. Sympo. on Ultrason. Electron., Vol. 38, 2P2-9 (2017).

（4）園部拓郎，大久保寛，田川憲男，土屋隆生，″CIP-MOC 法を用いた音響ドップラー効果の時間領域数値解析″，電子情報通信学会技術研究報告，US2017-97 (2018).

（5）土屋隆生,″バイノーラル音空間レンダリングを用いた自由視聴点VRの試み″，超臨場感コミュニケーションフォーラム(URCF)，VR/AR のためのオーディオセミナー (2018).

（6）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).

（7）青山　澪，坂本大地，土屋隆生,″シミュレーションと実験によるバイノーラル信号を用いた水平面音像定位実験″，電子情報通信学会技術研究報告，EA2017-121 (2018).

（8）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).

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

佐藤 茂雄，織間 健守，奈良 公明，畠山 周，佐藤 拓，野村 将矢，Théophane Tassy，Azady Bayu（東北大学電気通信研究所）

吉野 倫太郎（東北大学工学部）

安達 雅春，有江 勇人，伊藤 佳卓（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，塩見 優介，青木 舞優，頼 さくら（東京理科大学工学部）

神野 健哉，木村 貴幸，進藤 卓也，松浦 隆文，石川 成之助，山崎 天砂，金子 将也，森田 雄貴，澤出 浩幹，木山 潤（日本工業大学大学院工学部）

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，Rutvika Manohar，朝山 和香，田中 宗一郎（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，加藤 秀行（東京工科大学工学部）

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）

寺本 誠司（米子高等工業専門学校）

山内 将行，田中 幹也（広島工業大学工学部）

吉田 晃基，幸田 嵩裕（大阪府立大学大学院工学研究科）

早川 吉弘（仙台高等工業専門学校）

坪根 正（長岡技術科学大学）

前沢 正明（産業技術総合研究所）

若宮 直紀（大阪大学大学院情報科学研究科）

劉 忠達（石巻専修大学理工学部）

小沢 高広，安藤 海斗（法政大学工学部）

川村 暁（岩手大学情報基盤センター）

延べ参加人数：58 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	302,000 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。

本年度は初年度であることから、まず、主要メンバーによるキックオフ研究会を開催し、これを機に、「非線形系・複雑系理論応用研究会」を立ち上げた。

[1] 平成 29 年度　第 1 回　非線形系・複雑系理論応用研究会；平成 29 年 7 月 2 日，7 月 3 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

1. 『ワイヤレス給電システムとパワープロセッシング』、関屋 大雄（千葉大学）
2. 『進化計算における解探索のダイナミクス』、神野 健哉（日本工業大学）

参加人数：15 名

2 回目の研究会は、電子情報通信学会非線形問題研究会と共同で開催した。

[2] 平成 29 年度　第 2 回　非線形系・複雑系理論応用研究会；平成 29 年 11 月 5 日，11 月 4 日
東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟 4 階 A402 室

1. 『粒子群最適化の解探索方法の解析』、神野 健哉, 石川 成之助（日本工大）
2. 『MOPSO とカオスダイナミクスを用いた多目的 Pemutation Flow Shop Scheduling 問題の解法』、有江 勇人、安達 雅春（東京電機大）
3. 『PWM インバータのスイッチング位相の最適化』、山崎天砂，神野健哉（日本工大）
4. 『遅延最小化施設配置配送計画問題に対する指数減衰タブーサーチを用いた解法』、金子将也、森田雄貴、澤出浩幹、木村貴幸（日本工大）
5. 『PSO に基づいた TSP 解法について』、木山 潤、神野健哉（日本工大）
6. 『 Passivity-based Control for Ring Coupled Converters and Analysis using Energy Functions with Multiple Equilibria 』、Rutvika Manohar, Takashi Hikihara（Kyoto Univ.）
7. 『外乱を考慮した可到達集合を用いたマイクログリッド内発電機挙動解析』、朝山 和香、引原 隆士（京大）
8. 『媒介中心性と送信履歴情報を用いた経路制御手法』、森田 雄貴、木村 貴幸（日本工大）
9. 『メトロノーム数が同期に与える影響』、塩見優介、島田 裕、藤原 寛太郎、池口 徹（東京理科大）
10. 『エクストリーム学習器を用いたカオスニューロンの分岐図再構成』、伊藤 佳卓、安達 雅春（東京電機大）
11. 『結合強度に依存した STDP 学習則による神経雪崩現象の解析』、青木 舞優（東京理科大）、加藤 秀行（東京工科大）、島田 裕、藤原 寛太郎、池口 徹（東京理科大）
12. 『蝸牛に基づく受動的無反射伝送線路モデルの特徴量の定式化の改良』、織間 健守、堀尾 喜彦（東北大）
13. 『ドーパミンの作用と抑制性シナプスの学習による低周波リズムの生成』、頼 さくら、島田 裕、藤原 寛太郎、池口 徹（東京理科大）
14. 『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に向けて』、堀尾 喜彦（東北大）

参加人数：34 名

なお、これらの発表原稿は、電子情報通信学会技術報告 vol. 117, no. 272 に全て収録されている。

［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。

まず第 1 に、最適化問題に関して、粒子群最適化(PSO)のダイナミクスの解析や新しいアルゴリズムの提案、多目的最適化への応用などを行った。さらに、PSO の電力システムや TSP への応用を行い、良好な結果を得た。また、配送計画などに指数減衰カオスタブーサーチを導入し、良好な結果を得た。さらに、量子ニューラルネットワークを最適化問題に応用するための手法を開発した。

第 2 に、電力システムに関して、コンバーターの解析・設計・最適制御手法の提案や、マイクログリッドのロバスト化を行った。

第 3 に、無線通信システムに関して、周波数リソースの動的割当てやその最適化のアルゴリズムを提案し、実証実験によりその有効性を示した。その際に、複雑ネットワーク理論を応用した。

第 4 に、脳の情報処理については、モデル研究により様々なスパイク同期現象を解明するとともに、Spike Timing Dependent Plasticity に基づく学習アルゴリズムの提案とその解析・応用を行った。さらに、身体性を考慮に入れた脳・身体総合体コンピューティングパラダイムを提案した。同時に、高次元複雑ダイナミクスを用いて、脳の高次機能を実現するハードウェアを提案した。

第 5 に、実数、特に黄金比を変換基底とする新しい A/D 変換回路を、スイッチト・カレント回路を用いて Rohm 180nm CMOS プロセスで集積回路化した。

（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、来年度開始予定の 2 つの新規共同プロジェクト研究の申請につながった。

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、2 つの研究会が来年度に合同研究会を開催するきっかけを作った。

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) H. Ando, K. Takehara, and M.U. Kobayashi, "Time-delayed feedback control of diffusion in random walkers," Physical Review E, 96, 1, 012148-1-012148-6, 2017.
(2) H. Kato, “Nonlinearity in Phenomenological STP Model for Diverse Synaptic Dynamics,” in Proc. of NOLTA, 383-386, 2017.
(3) M. Aoki, H. Kato, S. Shimada, K. Fujiwara, T. Ikeguchi, “Effect of connectivity weights of

inhibitory neurons in neuronal avalanches," in Proc. of NOLTA, 152-155, 2017.
(4) T. Nagashima, X. Wei, E. Bou, E. Alarcon, M.K. Kazimierczuk, and H. Sekiya, "Steady-state analysis of isolated class-E2 converter outside nominal operation," IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64, 4, 3227-3238, 2017.
(5) A. Lotfi, A. Ershadi, A. Medi, M. Hayati, M.K. Kazimierczuk, H. Sekiya, A. Katsuki, and F. Kurokawa, "Outside nominal operation analysis and design considerations of inverse-class-E power amplifier," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 6, 1, 165-174, 2018.
(6) K. Sanada and H. Sekiya, "Bottom-up analysis concept for throughput and delay analyses of wireless network," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 8, 3, 181-203, 2017.
(7) W.X. Liu, A. Liu, Z. Li, S. Tian, Y Choi, H. Sekiya, and J. Li, "Distributed cooperative communication nodes control and optimization reliability for resource-constrained," Neurocomputing, 207, 122-136, 2017.
(8) K. Sanada, N. Komuro, Z. Li, T. Pei, Y.J. Choi, and H. Sekiya, "Generalized analytical expressions for end-to-end throughput of IEEE 802.11 string-topology multi-hop networks," Ad Hoc Networks, 7, 1, 135-148, 2018.
(9) S. Mochiyama, R. Takahashi and T. Hikihara, "Close-loop angle control of stepper motor fed by power packets," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 100-A, 7, 1571-1574, 2017.
(10) H. Matsushita, Y. Tomimura, H. Kurokawa, T. Kousaka, "Period doubling bifurcation point detection strategy with nested layer particle swarm optimization," International Journal of Bifurcation and Chaos, 27, 7, 1750101, 2017.
(11) T. Matsuura, T. Kimura, "Covering salesman problem with nodes and segments," American Journal of Operations Research, 7, 4, 249-262, 2017.
(12) T. Shindo, J. Xiao, T. Kurihara, K. Jin'no, "Analysis of the dynamical characteristics of the firefly algorithm," International Journal of Swarm Intelligence Research, 8, 4, 18-33, 2017.
(13) K. Jin'no, Y. Hariya, T. Shindo, "A study of PCMPSO," in Proc. of NOLTA, 506-509, 2017.
(14) T. Shindo, K. Jin'no, "Study of SI algorithm that individual to drop out," in Proc. of NOLTA, 510-513, 2017.
(15) K. Kanno, T. Hida, A. Uchida, and M. Bunsen, "Spontaneous exchange of leader-laggard relationship in mutually coupled synchronized semiconductor lasers," Physical Review E, 95, 052212-1-12, 2017.
(16) 内木 楓, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, "Izhikevich ニューロンモデルにおけるカオス応答とカオス同期," 電子情報通信学会論文誌 A, J100-A, 5, 195-204, 2017.
(17) T. Kobayashi, Y. Shimada, K. Fujiwara and T. Ikeguchi, "Reproducing infra-slow oscillations with dopaminergic modulation," Scientific Reports, 7, 2411, 2017.
(18) H. Ohnishi, Y. Shimada, K. Fujiwara and T. Ikeguchi, "Chaotic neurodynamical search with small number of neurons for solving QAP" Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 8, 3, 255-265, 2017.
(19) K. Kuroda, H. Kato, S.J. Kim, M. Naruse, M. Hasegawa, "Improving throughput using multi-armed bandit algorithm for wireless LANs," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 9, 1, 74-81, 2018.
(20) R. Takahashi, S. Azuma, M. Hasegawa, H. Ando, and T. Hikihara, "Power processing for advanced power distribution and control," IEICE Trans. on Communications, E100-B, 6, 941-947, 2017.
(21) M.-T. Thi, T. Huynh, M. Hasegawa, W.-J. Hwang, "A rate allocation framework for multi-class services in software-defined networks," Journal of Network and System Management, 25, 1, 1-20, 2017.
(22) 長谷川 幹雄, "量子ニューラルネットワークを用いた組合せ最適化及びその応用," Fundamentals Review, 11, 2, 113-117, 2017.
(23) T. Nakajima, H. Arisawa, R. Hosaka, and H. Mushiake, "Intended arm use influences interhemispheric correlation of beta oscillations in primate medial motor areas," Journal of Neurophysiology, 118, 5, 2865-2883, 2017.
(24) Y. Morita and T. Kimura, "An improved routing algorithm using chaotic neurodynamics for packet routing problems," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 9, 95-106, 2018.
(25) M. Mabe, Y. Morita, M. Fujita, and T. Kimura, "An immunity placement method for suppressing spread of viruses," Journal of Signal Processing, 21, 6, 159-162, 2017.
(26) Y. Morita and TT. Kimura, "Performance analysis of routing methods using complex network theory," in Proc. of NOLTA, 716-719, 2017.
(27) H. Sawade and T. Kimura, "An efficient routing method using learning ability for load balancing," in Proc. of NOLTA, 708-711, 2017.
(28) T. Orima and Y. Horio, "An improved parameter value optimization technique for the reflectionless transmission-line model of the cochlea," Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, 4, 1, 49-52, DOI:10.2991/jrnal.2017.4.1.11, 2017.
(29) Y. Horio, "Towards a neuromorphic computing hardware system," in Proc. of NOLTA, 189-192, 2017.
(30) T. Orima, and Y. Horio, "An improved formulation of feature values in passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea," in Proc. of NOLTA, 128-131, 2017.
(31) Y. Horio and T. Fujino, "IC prototyping of a switched-current A/D converter circuit based on the golden ratio encoder," in Proc. of NOLTA, 120-123, 2017.

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/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
（山梨英和大学人間文化学部）
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）
角掛　沙也香（東北大学電気通信研究所）
前田　啓（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	100,000円
旅費	204,000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，研究活動状況の概要を記す。

(1)　2017 年 4 月 20 日～4 月 21 日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する実験と研究打ち合わせを行った。
(2)　2017 年 6 月 2 日～6 月 3 日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する実験と研究打ち合わせを行った。
(3)　2017 年 8 月 10 日～8 月 11 日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する予備実験の結果に関する打ち合わせを行った。
(4)　2017 年 10 月 19 日～10 月 20 日：多感覚音空間知覚の時間特性に関する実験結果について考察・検討を行い，今後の研究計画について議論を行った。

［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。

（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. (in press). Effects of Listener’s Whole-Body Rotation and Sound Duration on Horizontal Sound Localization Accuracy. Acoustical Science and Technology. 【査読付き論文】

(2) Honda, A., Tsunokake, S., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2017). Effects of Listener’s Whole-Body Rotation and Sound Duration on Sound Localization Accuracy. The 174th Meeting of the Acoustical Society of America, December 4- December 8, 2017, New Orleans, Louisiana, USA. (The Journal of the Acoustical Society of America, 142(4), 2676.)

(3) Honda, A., Tsunokake, S., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2018). Effects of Listener’s Whole-Body Rotation and Sound Duration on Sound Localization Accuracy. 東北大学電気通信研究所平成 29 年度共同プロジェクト研究発表会，2018 年 2 月 22 日，東北大学電気通信研究所.

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/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）

延べ参加人数　2 人

研究費

物件費	166, 000 円
旅費	100, 000 円
国際特別支援費	200, 000 円

［2］研究経過

The goal of the overall research theme is to determine a relationship between understanding an immersive environment and overhead ambiences. Through this grant (for a collaborative research between RIT and RIEC), the principal investigator (PI), Dr. Sungyoung Kim, wanted to capture binaural recordings 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, PI had a difficulty to find a reference condition to which various listening environments can be compared. The RIEC anechoic room can serve as the perfect experimental reference, not only because of its acoustics free from reflections but also a special moving loudspeaker array.

After preparing and designing the experiment with the RIEC host researcher, Dr. Shuichi Sakamoto, PI visited RIEC from July 5th to 15th 2017 and captured binaural responses to 22.2-channel reproduced music. For this purpose, Dr. Kim brought the RIT's Head-And-Torso Simulator (HATS), Bru□el & Kjær 4100D, that has been used to capture binaural responses at three other listening environments (ENT2128 at RIT, Studio B at Tokyo University of the Arts, and 22.2 Studio at McGill University).

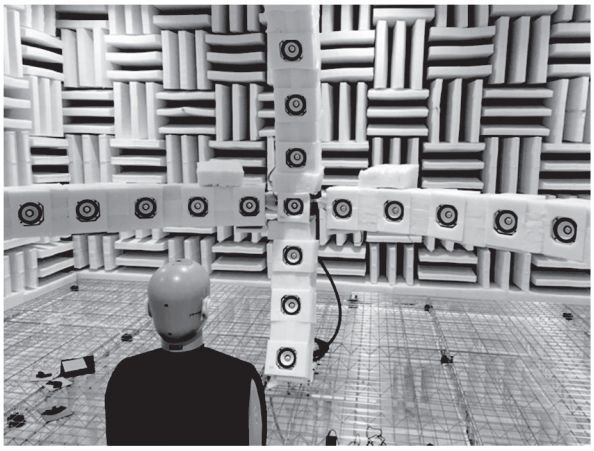


Figure 1. The RIT Head-And-Torso Simulator (HATS) located at the center of the microphone array in the RIEC anechoic room. The HATS captured binaural responses to 22.2-channel reproduced music as a reference signal for the research.

Using the captured binaural recording at the RIEC anechoic room, Dr. Kim conducted a subjective evaluation. Fifteen trained listeners (graduate students and faculty members) from the Graduate Program in Sound Recording at McGill University participated in the listening experiment; they rated eight stimuli (four rooms in two reproduction formats) for five salient attributes– perceived width, perceived depth, spatial clarity, impression being enveloped, and spectral balance of the sound field across eight binaural stimuli recorded. These attributes were chosen from previous literatures on spatial audio and its perceptual evaluation. General preference ratings were also collected. Ratings of four spatial attributes (Width, Depth, Envelopment, and Clarity) were

quantified via an indirect non-verbal elicitation method (drawing a shape of each stimuli). In contrast, two remaining attributes were compared to the **reference**, which is a binaural recording made at the RIEC anechoic room (using multiple comparison with a reference).

Please note that PI also captured other binaural responses associated with height and angle changes of loudspeaker position during his stay. The corresponding subjective evaluation is still in its planning stage and PI plans to conduct it through 2018 and 2019.

［3］成果

（3－1）研究成果

A principle-component factor analysis was conducted on the correlations of the five attributes. Two factors were extracted with eigenvalues equal to or greater than 1. The first factor accounted for 40% of the total variance and the second factor 30%. The first factor is associated with three attributes (Width, Depth and Envelopment), namely the spatial dimension of a sound field, and the second factor with two attributes (Spectral Balance and Spatial Clarity), namely the spectral and spatial integration (or blend) of sound components.

Further analyses show that the first factor, spatial dimension, differentiates two multichannel reproduction formats (22.2- and 2-channel) and the second factor, spectral and spatial integration, explains unique characteristics of four reproduction rooms. In other words, when a music piece was reproduced through a 22.2-channel system, listeners perceived the similar spatial dimension of a sound field at the four rooms even though they had different dimensions and reflecting surfaces. However, unique features of a specific reproduction room changed listeners' impression of spectral and spatial integration of sound components regardless of the reproduction format.

Figure 1 below shows the average scores for each stimulus on the first wo resulting principal components. In addition, the figure visualizes a latent semantic relation of the stimuli by projecting directions of five attributes in this PC-space. Four rooms were denoted with four characters (M, R, G, and T) associated with four spaces while two appended numbers (22 and 02) indicate reproduction formats. For example, T22 stands for 22.2-channel reproduction at Tohoku University (RIEC).

Subsequently, a stepwise regression analysis was conducted to estimate the relation between global preferences (dependent variable) and five attributes (independent variables). The regression selected two attributes (Spectral

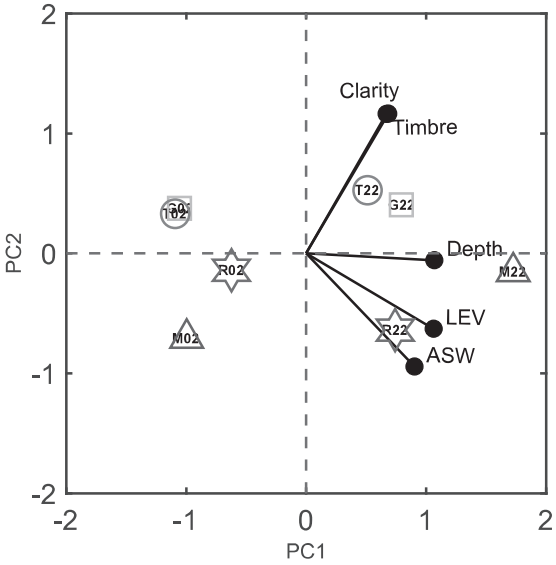


Figure 2. Principal component space visualizing interrelation of five attributes. Four rooms were denoted with four characters (M, R, G, and T) associated with four spaces and two numbers (22 and 02) indicating reproduction formats. For example, T22 stands for 22.2-channel reproduction at Tohoku University (RIEC anechoic room).

Balance and Width) and excluded three attributes (Envelopment, Spatial Clarity and Depth) based on the collinearity.

The regression model is:

Preference = 0.616*Spectral Balance + 0.159*Width + 3.9E-6 (r= 0.656, p < 0.0001).

Tonal Balance was highly correlated with the second factor (r = 0.764) and Width with the first factor (r = 0.857).

A conclusive summary would be as follows: an "immersive impression" of multichannel-reproduced music is well preserved and listeners could recognize it regardless of listening environment characteristics.

The support for ITL allowed me to extend my stay in Sendai and collect additional electro-acoustic measurements at the RIEC anechoic room. These additional measurements include (1) dynamic captures of binaural responses to various apparent source width (ASW) and (2) Front-and-Overhead Energy Ratio (FOER) of height loudspeaker positions and their variations (for instance, the system G (4+5+0) and H (3+10+9) specified in the ITU-R BS 2051).

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The study result can serve as a guideline for following broad questions: Would it be possible for listeners to expect such an “enhancement” in any listening room? Can I still experience same perceptual attributes associated with the 22.2-channel reproduced sound fields even in my living room?

The result of the current study show that when a music piece was reproduced through a 22.2-channel system, listeners perceived the similar spatial benefits (factor 1 of the aforementioned results) of a reproduced sound field in any listening room even though these listening spaces had different dimensions and reflecting surfaces. Therefore, a recording and mixing engineer can assume that spatial attributes what they perceive in the production stage can be delivered to any room.

However, unique features of a specific reproduction room changed listeners’ impression of spectral and spatial integration of sound components regardless of the reproduction format.

Therefore, a future research project should focus on an experimental and/or theoretical method that can preserve “integration of sound sources in the target sound field” in any listening environment.

The follow-up experiment will also need to verify whether the current results can be considered representative of a larger case wherein more listeners would participate. It is possible that the current results were biased by a specific listener group (degree of training, cultural background, familiarity with specific room acoustics, and more). Including two new listener groups (untrained listeners as well as trained group but from different training and cultural background) will increase external validity of the proposed research.

［４］成果資料

(1) Ashok, M., King, R., Kamekawa, T., and Kim, S., “Acoustic and Subjective Evaluation of 22.2- and 2-Channel Reproduced Sound Fields in Three Studios,” in Proc. Audio Engineering Society 144th Int. Conv. , AES, Milan, Italy, 2018.

(2) Kim, S., King, R., Kamekawa, T., and Sakamoto, S., “Recognition of an auditory environment: investigating room-induced influences on immersive experience,” in Proc. AES Int. Conf. on Spatial Reproduction, AES, Tokyo, Japan, 2018.

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　5 人

This project included three investigators, as well as one graduate student (Takumi Miura) and one undergraduate (Shin Ono).

研究費

物件費	100,000 円
旅費	141,000 円
国際特別支援	200,000 円

［2］研究経過

To cope with the immense amount of sensory signals in modern world life, we rely on attention to efficiently allocate our resources to the most needed spatial locations and tasks. In this case, we usually pay attention to salient locations. However, environmental regularity, especially if there are items aligned to each other, can make visual search more difficult. In other words, collinear alignment can mask salient items, preventing these salient items from capturing attention. The goal of this project is to understand the brain mechanism of the interaction between environmental regularity and human attention via EEG recording.

We combined the attentional search task developed by Li and Tseng (Jingling & Tseng, 2013) with event-related EEG recording. We modified the behavior paradigm to fit the EEG recording requirement. Two trained students joined this project to help data collection and data analysis. The applicant (Li) visited RIEC twice with the support of this collaborative grant (i.e. September 10-17, 2017, for stimuli implement and procedure modification; and February 5-13, 2018, for data analysis). Currently 10 participants, each completed 1440 trials of visual search during EEG recording, joined the experiment. The data collected were reported in three conferences: 2018 Winter Meeting of Japan Vision Society, 2018 Taiwan Society of Cognitive Neuroscience Annual Meeting, and 平成 29 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 revealed the physiological mechanism of the interaction between attention and perceptual grouping. The major findings can be summarized in the following points. First, we found that the collinear masking effect is robustly found in the condition which we modified to fit the procedure of EEG data collection (Figure 1). In particular, the target overlapped with a collinear structure was discriminated slower than non-overlapping target. Meanwhile, similarity structure did not generate masking effect. Thus the behavior data replicated the collinear masking effect while concurrently recording EEG signals.

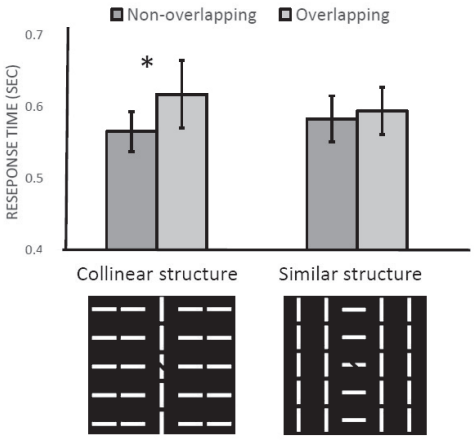


Figure 1: Behavior results of the current study. Overlapped target with a collinear structure was slower than non-overlapped target (i.e. collinear masking effect). The similarity structure did not show such a masking effect.

Second, we found that event-related potentials recorded from occipital sites (averages O1 and O2) showed that the

collinear structure produced an earlier effect than the non-collinear structure. More specifically, a significant amplitude reduction around 200 ms after the display onset was found for target overlapping with a structure grouped in collinearly alignment (Figure 2), while such reduction appeared 300 ms after a target overlapping with a structure grouped in similarity appeared (Figure 3). Interestingly, overlapping with a collinear structure produced the masking effect in behavior while overlapping with a similarity structure did not. Our second year project will further examine the processing in the critical 100 ms.

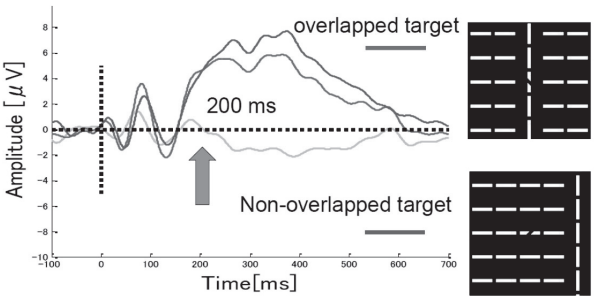


Figure 2: A target overlapped with a collinear structure reduced amplitude 200 ms after display onset compare to the not-overlapped target.

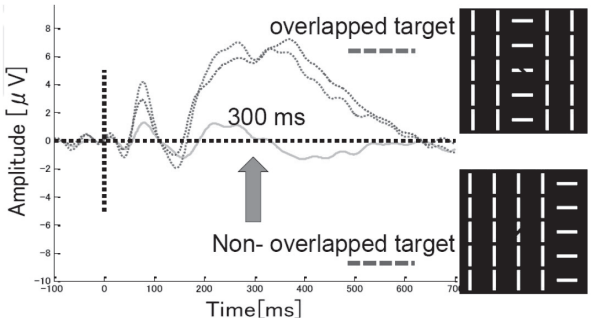


Figure 3: Overlapped target with a non-collinear structure (i.e. grouped with similarity principle) reduced amplitude around 300 ms after display onset compare to non-overlapping targets.

Analysis of electrodes in frontal area (average the F3, F4, C3, C4, Fz, and Cz sites) also revealed the effect of collinear grouping in visual search. Figure 4 shows the main findings. The recorded amplitude from trials with a target in the background (i.e. non-overlapping target) of the display with a collinear structure was significantly lower than other conditions 100-150 ms after the display onset. In other words, behaviorally masking effect may start from the frontal sites (100-150 ms) rather than the occipital sites (Figure 1, 200 ms). Meanwhile, the display with a structure composed of similarity grouping principle showed an increase in amplitude 250-300 ms after the stimulus onset, which matches the time course at the occipital site (Figure 2, 300 ms). We will further explore the relationships between different sites in near future.

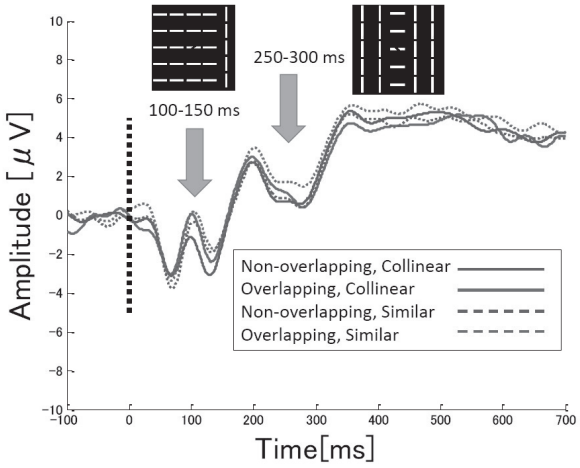


Figure 4: The ERP data from the frontal sites revealed effects of faster responses for displays with a collinear (100-150 ms) or a similar (250-300 ms) structures.

Our preliminary findings suggested that perceptual grouping of collinearity was processed faster than grouping of similarity. Furthermore, both occipital and frontal network were involved in this visual search task. The collinear masking effect might be achieved by both top-down and bottom-up processing.

特別支援（国際）に係る研究成果

We invited Dr. Wang from Fo-Guan University to give a special seminar talk at RIEC with the special funds for the ITL on Feb 9 and she led a workshop on Feb 11 and 12. This visit was extremely insightful and stimulating for our future work plan.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The project is the first electrophysiological study of the collinear masking effect in visual search. The applicant (Li) has another project on the same issue currently co-operating with National Taiwan University with fMRI. This shared research topic project can make further connections between RIEC, China Medical University, and National Taiwan University.

We plan to report our current findings in an international conference in July 2018 in the Asia-Pacific

Conference on Vision (submitted). With more data, we plan to further publish the study at an international journal to generate a higher impact.

［4］成果資料

(1) Li (September 2017). Concealed by the most salient structure in visual search. RIEC, Tohoku University

(2) Chan, Chow, and Tseng (January 2018). Visual awareness is required for location- and eye-defined singletons to capture attention in search. 2018 Winter Meeting of Japan Vision Society.

(3) Liu and Li (January 2018). Region-based or edge-based? On the grouping mechanism of the collinear masking effect in visual search. Taiwan Society of Cognitive Neuroscience Annual Meeting.

(4) Tseng (January 2018) Eye-of-origin: Temporal profile with priming paradigm. 2018 Winter Meeting of Japan Vision Society.

(5) Li, Tseng, Ono, Miura, & Shioiri (February, 2018). Mind and environment interface: Human attention in the brain. 平成 29 年度 共同プロジェクト研究発表会

共同プロジェクト研究

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　5 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	190,000 円
国際特別支援費	200,000 円

［2］研究経過

The research project 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. The goal is to extend beyond the conventional image quality assessment metric which focused on the detection of single image element and rarely takes the integration of image elements into account.

Dr. Chien-Chung Chen visited RIEC June 18-25, 2017 for the first research collaboration research meeting. During the visit, several tentative designs and experiments were planned. At August, during the second visit, we set up the testing environment. The follow-up pilot testing was conducted at RIEC by Tseng. In December, 2017, the group had another meeting and fine-tuned the testing paradigm based on the pilot results.

Dr. Chen also gave a seminar talk at RIEC during his visit
Talk Time: 3-6 p.m., Monday, June 19, 2017
Title: Psychophysics and Computational Model of Perceptual Grouping
Speaker: Dr. Chien-Chung Chen
Department of Psychology, National Taiwan University

［3］成果

（3－1）研究成果

Human attentional system actively selects limited information for further processing, and it is critical to understand how this ability interacts with environment properties.　However, there are two main challenges:
(1) Perceptual grouping principles are used in descriptive manner which makes it difficult for quantitative measurements (Fig 1). (2) Attentional effect on grouping is usually reported as higher accuracy and shorter response time, which makes the examination of mechanism work difficult.

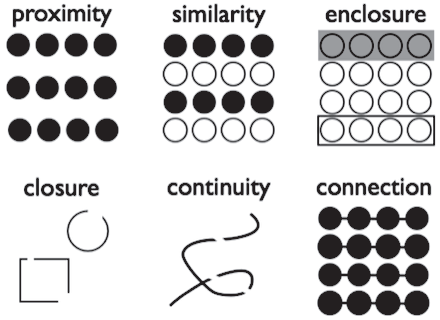


Figure 1. Common grouping principles

During the first year, we addressed these two challenges with the following innovative solution:

1. Tripoles Glass Patterns:
Glass patterns are the unique patterns which allow the analysis of both global and local perception, and it also allows the manipulation of different kinds of grouping laws (Figure 2). In the tripoles glass patterns, each pattern composes of two units of elements which can be perceived in opposite/different directions. The perceptual report from participants can be used as a quantitative indicator of the

relative strength of two grouping principles. One step further, with contrast level modulations, it is now possible to build a detection models based on the past knowledge on image processing to formulate this interaction.

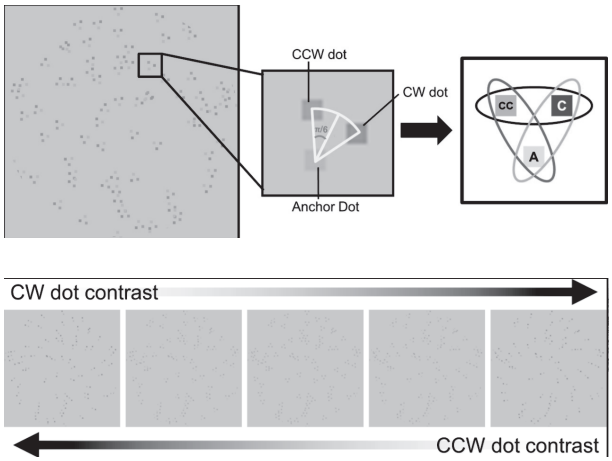


Figure 2. Tripole Glass patterns
Each triple glass pattern consists of two sets of possible integration for participants' perceptual report. The perceived orientation depends on the relative strength of the grouping principles.

2. Cueing Paradigm & Threshold Estimation:
We selected a cueing paradigm as a measure of attentional effect as it is a well-tested method, and the optimal parameters were already previously identified (Figure 3). We measured participants' detection thresholds, instead of accuracy/response time, as the mechanism of a contrast sensitivity function is well-characterized to help our understanding of the attentional facilitation effect.

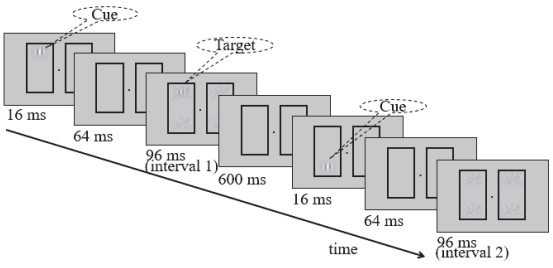
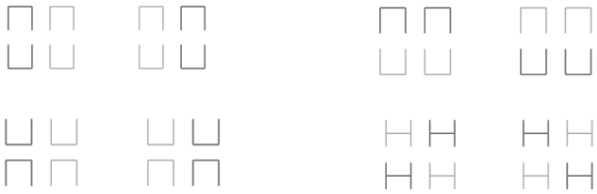


Figure 2. Cueing Paradigm
Participants receive a location-valid or invalid cue before the target appears. The performance is usually enhanced when the target and the cue share the same location.

特別支援（国際）に係る研究成果
We have achieved the following goals with this support:

(1). Develop proper testing stimuli for the proposed study
(2). Identify suitable behavioral paradigms to examine attentional effect
(3). Generate pilot results based on human participants

In particular, we have designed the following cases which combined the cueing detection paradigm with the grouping principle variations in our display. Below is an example of enclosure and similarity grouping rule competition in visual displays.



Enclosure cue vs similarity cue

（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 implementation into a contrast detection model also enables us to isolate the processes involved in attentional selection, which has a potential to serve as a platform for future neurophysiological studies to further explore its neural origins.

［４］成果資料
(1) Lin, Y. S., Cho, P. C., & Chen, C. C. (2017). Contrast gain control determines global form percept in tripole Glass patterns. *Journal of vision*, *17*(5), 2-2.
(2) Wu, C. C., & Chen, C. C. (2017). The Integration of Color-Selective Mechanisms in Symmetry Detection. *Scientific reports*, *7*, 42972.
(3) Chan, Chow, and Tseng (January 2018). Visual awareness is required for location- and eye-defined singletons to capture attention in search. 2018 Winter Meeting of Japan Vision Society.
(4) Tseng (January 2018). Eye-of-origin: Temporal profile with priming paradigm. 2018 Winter Meeting of Japan Vision Society.
(5) Tseng, Chen, and Shioiri (under review): The effect of attention on perceptual grouping. European Conference on Visual Perception.

共同プロジェクト研究

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

Shinsuke Shimojo（Division of Biology, California Institute of Technology）

Mohammad Shehata (Toyohashi University of Technology)

Miao Cheng (The University of Hong Kong)

延べ参加人数　24 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	185,000 円
国際特別支援費	200,000 円

［2］研究経過

During the first year of this collaborative efforts, Dr. Shimojo (from California Institute of Technology) and Dr. Shehata (from Toyohashi University of Technology) visited RIEC Tohoku University on November 22-24, 2017. During this visit, both visitors gave public seminars on the target areas which evoked a lot of simulating discussion with researchers at Tohoku University. It was well attended by over 40 scholars and students.

We studied "Interpersonal flow" this year as a start to probe the research topic on interpersonal communication. Flow is a psychological state that people feel fully engaged and energized focused. It is a state that most professionals and experts reported to experience, and the full involvement and enjoyment in the process is believed to associate with superior performance and positive emotion. Although many practices (e.g. meditation, yoga, and etc) are effective to bring one into the "flow state", it is not yet known whether inter-socially, a person in flow state can take the other person into this similar state, i.e. socially contagious.

We investigated "social flow" with a music rhythm action game in laboratory environment (Figure 1). One or two players can use their fingers to tap along the rhythm, and the visual feedback is provided instantly. The players' individual and interpersonal flow will be observed. Our goals were to: (1) establish an objective index (e.g. behavioral features, neural representation) in addition to the subjective reports for the flow state. (2) examine whether a task partner's flow status will modulate his/her co-actor's mental state.

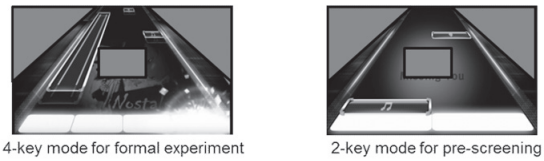


Figure 1. Game interface from player's view in formal experiment and pre-screening test. Participants played 2-key mode in pre-screening test and 4-key mode in the formal experiment.

We assessed the validity of our paradigms with participant's subjective reports on task difficulty and level of enjoyment. The effectiveness from social context (e.g. individual player, double players with a division in the middle, double players with full visual access to each other, and etc) in our design was also compared with neural measurements (i.e. hyperscanning EEG, Figure 2).

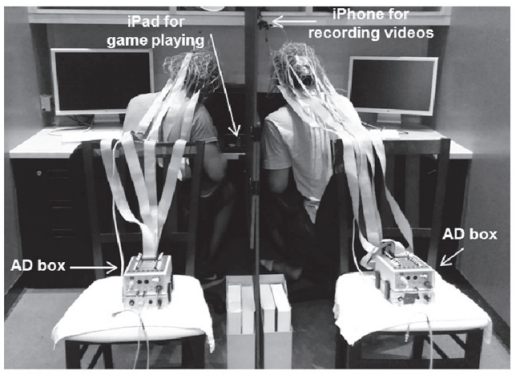


Figure 2. Hyperscannign EEG: two participants' simultaneous signals were recorded during the play of music games.

［3］成果
（3－1）研究成果

Behaviorally, we validated the music games as a probe to take participants into the flow state. Participants reported that they enjoyed the game, they did not detect the task-irrelevant noises which we inserted to test attentional engagement, and their report of task difficulty fell into the range of previous studies in flow (Figure 3). As the participants' subjective reports were only obtained at each music session, to have a more time-locked definition of flow states for electrophysiological signals, we used participants' attentional suppression signals locked to the task-irrelevant auditory noises as an index.

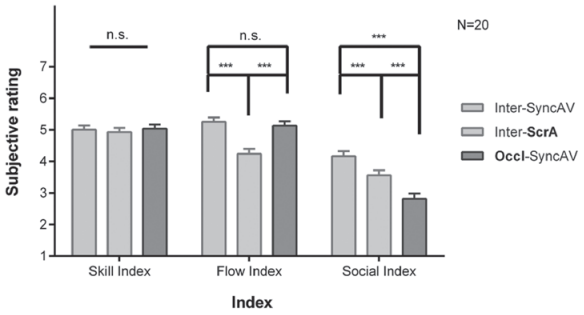


Figure 3. Participants' subject reports on flow state experiences, task difficulty, and social interaction.

We applied Phase Locking Value (PLV) analysis to estimate the neural connectivity between two brains. The source-localized EEG data were processed through a fast Fourier transform (FFT) for 4 frequency bands: 4-8 Hz (theta), 8-12 Hz (alpha), 12-18 Hz (low-beta), and 18-30 Hz (high-beta). Phases and amplitudes of each brain were extracted from FFT processing. The neural synchrony between two participants was computed using PLV (Lachaux, Rodriguez, Martinerie, & Varela, 1999), which was defined as:

$$PLV = \frac{1}{N}\left|\sum_{t=1}^{N} e^{j(\varphi_1(t)-\varphi_2(t))}\right|$$

Where N was the number of time windows, $\varphi_1(t)$ and $\varphi_2(t)$ were the two participants' phase signals at the time point t during the time window. The range of PLV varies from 0 (no phase synchronization) to 1 (perfect phase synchronization). (Figure 4)

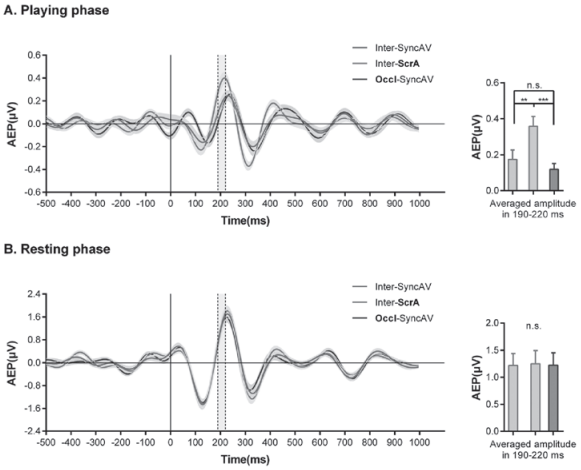


Figure 4. Participants' EEG signals were obtained for correlational analysis with their partner.

To estimate functional connectivity associated to interpersonal flow, we located the inter-brain connections with phase synchrony significantly differed between low and high AEP units in Inter-SyncAV condition, but not differed in the other 2 conditions (i.e. Inter-ScrA and Occl-SyncAV). We calculated PLV between two participants 148 ROIs, which produced 21,904 (148 × 148) possible inter-brain ROI connections with a 2-way ANOVA analysis with factors of conditions (Inter-SyncAV, Inter-ScrA, and Occl-SyncAV) and AEP (low and high) on PLV scores, Bonferroni test were used for post-hoc multiple comparisons. We identified13 functional connections related to interpersonal flow were discovered in high-beta (18-30 Hz) frequency band (Fig. 5).

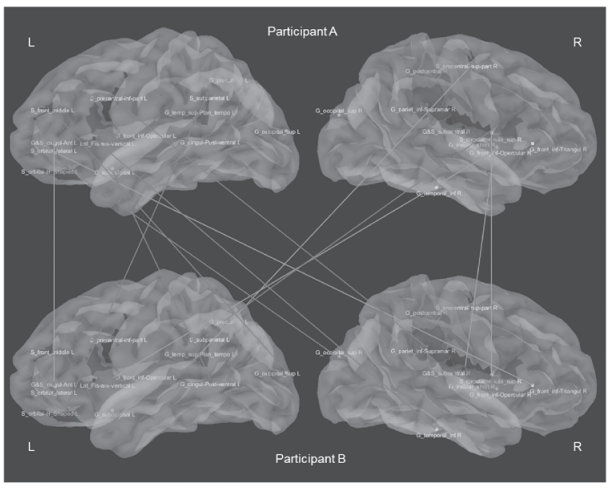


Figure 5. Lateral topography of significant inter-brain connections associated with interpersonal flow in high-beta (18-30 Hz).

特別支援（国際）に係る研究成果

To develop other possible study tools, we have invited overseas researchers and experts in the field to further exchange scientific methods for interpersonal social communication. Visitors include: Dr. Asaf Bachrach, Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France (title: Thinking together about togetherness), Dr. I-Lien Ho, National Sun Yat-Sen Univeristy, Kaoshiung, Taiwan (title: Kongwu (空無, emptiness, nothingness) into performance), and Dr. Dr. John McCreery, National Tsing-hua University, Taiwan (title: Of things that fall in cracks, gaps and transformations: From Anthropology to Advertising).

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

We have organized a 3-day workshop to form an interdisciplinary research group with similar research interests to further develop an abstract concept on a high-level social communication (MA, 間) Feb 10-12, 2018. It was held at RIEC, Tohoku and attended by 25 participants (8 overseas). The participating scholars have committed to look for a venue targeting for a special issue publication in the next 12 months.

［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

Thesis Publications:
Interpersonal coordination of body movement, psychological state, and identity referential processing (submitted by Miao Cheng, 2018 as part of PhD degree requirement)

Invited Talks:
Dr. Mohammad Shehata “How our brains are linked? - Neural signatures of synchronization during interpersonal interaction”, November 22, 2017, RIEC, Tohoku University

Dr. Shinsuke Shimojo “Multisensory Interactions and plasticity - Shooting “Hidden Assumptions”, November 22, 2017, RIEC, Tohoku University

Miao Cheng “Neural correlated of interpersonal flow”, March 7, 2018, NTT Communication and Sciences Laboratories.

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）
山口 弘純（大阪大学大学院情報科学研究科）
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　100、000 円
旅費　300、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初年度であり、各要素技術を(A)センサ情報を用いた人間行動の理解・可視化を行う技術と、(B)センサ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・流通させる基盤技術に分類し、各分担者が個別テーマを設定して研究を進めた。また、本プロジェクトのまとめとして、2017 年 12 月 1〜2 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た。さらに、研究成果を共有し議論を深化させるために 2018 年 3 月に、情報流に関する国際ワークショップ PerFot を開催した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、(A)センサ情報の理解・可視化技術、(B)情報流の集約・流通基盤のそれぞれに対して、以下に示す研究成果を得た。

(A1)高度・高次ストリーム処理・センシング技術とその応用（山口・阪大）

多数の人や車両などから生成される IoT データストリームやアプリケーションの効率的な処理のためには、それらのデータストリームを効果的に処理するスキームが必要になる。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方法を提案した。またマルチデバイス IoT 環境における情報集約技術や位置情報処理技術を提案している。

(A2)複数の発生源からの多次元データストリームに対する特徴抽出（原・阪大）

情報流を扱うシステムでは、一般的に複数の発生源から高頻度で生成される多次元データに対して、特定のパターンなど効率的に特徴を抽出することが求められ、多くのアプリケーションで利用されている。本研究では、最も多くのシーケンスデータ（ストリームデータのサブシーケンス）に登場する類似パターンを効率的に求めるアルゴリズムを始めとして、いくつかの異なる問題を対象としたアルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムは、既存のアプローチと比較して数十から 100 倍程度の高速化を実現した。

(A3)Wi-Fi 受信電波強度の変化を用いた通路の歩行者数推定方式の検討（白石・はこだて未来大）

Wi-Fi の受信電波強度の変化に着目し、通路の歩行者数を推定する方式の検討を行った。カメラやレーザレンジスキャナなどの設置型の専用機器を利用する方式は導入コストが高いが、通信インフラとして普及している Wi-Fi を利用することで、低コストで広範囲での計測が期待できる。提案手法では、Wi-Fi の送受信機を通路の両側に設置し、計測領域を歩行者が通過する際の Wi-Fi 電波強度の減衰波形から特

徴量を抽出することで、学習器を作成する。実環境において、歩行者の通過パターン（離散通過、連続通過）の影響や送受信機の配置の影響について調べ、複数の計測箇所での実験を行い、提案手法が有効であることを示した。

(A4) 人移動軌跡予測データを用いたロボットの人回避経路計画の提案（加藤・東京女子大）

本研究では、人と共存する環境で動作する自律移動ロボットを対象に、未来の人の移動経路を予測することで、ロボットが安全かつ効率的な経路を自律的に生成する手法の研究開発を進めている。今年度は、環境内に設置されたセンサによる収集される人の移動履歴を基に、機械学習アルゴリズムによりあらかじめ構築しておいた予測器を用いて、人の進行方向を予測する手法を提案した。学習に用いる特徴量としては、歩行者動線を速度ベクトルの集合と捉え、速さと方向を組にした系列データを用いた。データセットを用いた実験より、十分な精度で予測が可能であることを確認した。

(A5) 人間の計画立案行動に基づくダミーデータの生成に関する検討（乃村・岡山大）

大量の情報を扱う研究やアプリケーションの開発においては、実データに近いダミーデータを高速に生成することが求められる。本研究では、架空の個人のカレンダ情報を大量に生成する手法について考察した。まず、組織や個人の特性を反映したグループカレンダを表現するモデルとその記法を提案した。次に、計画立案の行動に関する時系列を再現することで、現実に則したダミーカレンダを生成できることを示した。その結果、複数のカレンダから構成された、組織の特徴を反映したダミーデータを長期に渡って大量に生成し、組織改変や個人の仕事の変化をシミュレートできることを示した。

(B1) 情報流基盤を構成する IoT ノードの開発と応用システム（安本・奈良先端大）

情報流基盤を構成する IoT ノードとして使用可能な、８種類のセンサと BLE 無線通信機能、CoreTex M4 プロセッサによるデータ処理機能を備えた超小型センサノードを開発した。また、情報流基盤の健康支援への応用として、あらゆる歩行ルートに対して事前に心拍数変化を予測し歩行経路計画を支援するシステムと、ダイエットのための行動変容を促す情報を生成・提示するスマートフォンアプリケーションを構築し評価した。

(B2) 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の検討（河口・名大）

既存の実世界データ利用の多くは、サービス毎に独立した情報処理が行われており、せっかく取得されたデータの応用が十分になされているとは言えない。異なる組織間でデータ交換を行うためには、相互の信頼関係が必要であるが、その構築手法がデータ処理とは独立しているため、信頼を獲得するためのコストが必然的に高くなり、費用対効果の点から普及に時間がかかる点が問題となる。我々は多様なデータソースとサービスの間に「情報流ネットワーク」を構築しその上で、トラスト経済モデルを実現するための検討を進めてきた。実世界から得られる生データに加え、その情報の種別や粒度、費用やリアルタイム性、セキュリティレベル、プライバシといった様々な付加情報を追加し、例えば ROI（費用対効果）が計測できる枠組みを検討している。

(B3) 帯域状況に基づく PoI を考慮した被災地情報収集機構の検討（重野・慶大）

災害時における救命率を向上させることを目的として救命情報共有システムが検討されている。災害時に重要情報の送受信を効率的にするために、ユーザからの要求を反映したネットワークの制御が必要である。そこで、ユーザの興味の対象（PoI）に基づいた情報の取捨選択と通信資源の割り当てを実現する被災地情報収集機構を提案した。提案機構のプロトタイプシステムを実装し、動作確認の結果から、各中継器からの最大トラフィックに応じた情報の取捨選択と帯域状況に応じた情報の経路制御を確認した。

(B4) ロボットを活用した支援サービス用ネットワークプラットフォームの開発（岡部・京大）

ロボットを活用して人の活動を支援するサービスは、多様なセンサーとそれらをつなぐセンサーネットワーク、ビッグデータ処理や対話処理などを支えるのエッジコンピューティング、クラウドコンピューティングなどを統合した複雑な ICT 環境に立脚している。我々は、高齢者支援を題材に、人の活動をロボットで支援するさまざまなサービスを考え、それを支える IoT プラットフォームの研究開発を行っている。研究開発しているプラットフォームでは、ロボットや大量のデータが飛び交うネットワークを制御する API を、サービスの効率のよい開発や利用を支援できる形で提供する。

(B5) 地産地処に向けた自律型タスクオフロード手法の検討（北形・東北大）

データストリームの発生地点に近い場所、すなわちネットワークのエッジでデータ処理を行いつつ、計算ノードやタスクの負荷に応じてタスクを自律的にクラウドへオフロードする、エージェント型のタスクオフロード手法を提案し、試作システムを用いて基礎的な機能評価を行った。その結果、データ処理のプロセスを内包した移動エージェントが計算ノードの負荷とタスクの予想負荷を考慮し、与えられたタスクに適したノードを選択・移動することでタス

クの自律的な再配置を実現できることを示した。

(B6) スマートフォンとマイコンを連動させる情報収集システム（内藤・愛工大）

情報流では様々な情報源を想定しており、モノや場所に設置されるセンシング機器も情報源の候補である。本研究では、多数のセンシング機器に長距離通信モジュールを内蔵するのではなく、安価かつ省電力性の高い近距離無線技術を用いて、近隣に存在するスマートフォンが情報収集するシステムを提案している。一般にスマートフォンアプリケーションは省電力対応のため、ユーザからの操作が情報収集には必要であるが、提案方式では、ビーコン技術を活用することにより、当該アプリケーションを自動的に起動し、近隣のセンシング機器から自動的に情報収集が可能であることを示した。

(B7) 多様な IoT データ向け優先度制御通信手法の検討（峰野・静大）

本研究では、遅延耐性のあるコンテンツを含むリモートモニタリング IoT システムを対象に、コンテンツ種別毎に優先度を設定した優先度制御通信を可能とすることで、動的に通信品質の変動しやすい低料金モバイルネットワークでも必要なデータ通信を優先する手法を研究開発した。画像やセンサデータといった多様なデータだけでなく、収集頻度の優先度も設定し、通信品質の変動特性が異なる複数の拠点において、適切に送信すべきデータを選択し優先度制御通信できるか実証実験を行った。その結果、従来手法に比べ、優先度別の平均伝送完了時間を最大 20.0%削減できることを確認でき、遅延耐性のあるコンテンツを含むリモートモニタリング IoT システムにおいて有効なデータ通信手法になりうることが示された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果を広く共有し、議論を深めるために、2018 年 3 月にトップ国際会議 PerCom2018 の併設ワークショップ PerFot2018（International Workshop on Pervasive Flow of Things 2018）を開催した（2018 年 3 月 23 日、アテネ、参加人数 30 人）。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た（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」）。今後は、個別の研究課題を深化させるとともに、これらを融合することが期待される。

［４］成果資料

[1] 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, 2018 (招待論文)

[2] Youngtae Noh, Hirozumi Yamaguchi and Uichin Lee, Infrastructure-free Collaborative Indoor Positioning Scheme for Time-critical Team Operations, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Systems (IEEE), 48(3), pp. 418-432, 2018.

[3] Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Two-tier VoI Prioritization System on Requirement-based Data Streaming toward IoT, Mobile Information Systems, Vol. 2017, No. , pp. 1-16, 2017.

[4] Tatsuaki Osafune, Toshimitsu Takahashi, Noboru Kiyama, Tsuneo Sobue, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Analysis of Accident Risks from Driving Behaviors, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research (Springer), Vol. 15, No. 3, pp. 192-202, 2017.

[5] 倉 聖美, 白石 陽, 山口 弘純, Wi-Fi 受信電波強度の変化を利用した通路の歩行者数推定手法,, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.2, pp.496-507 (2018).

[6] Edith Talina Luhanga, Elder Akpa A.H, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto, Identifying and Evaluating User Requirements for Smartphone Group Fitness Applications, IEEE Access, Vol. 6, Issue 1, pp. 3256-3269 (Feb. 2018). DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793844.

[7] Yugo Nakamura, Yutaka Arakawa, Takuya Kanehira, Masashi Fujiwara, and Keiichi Yasumoto, SenStick: Comprehensive Sensing Platform with an Ultra Tiny All-In-One Sensor Board for IoT Research, Journal of Sensors, vol. 2017, Article ID 6308302, 16 pages, 2017. doi:10.1155/2017/6308302.

[8] Takuma Tachibana, Eisuke Kasahara, Takamasa Yoshida, Hiroshi Mineno, “Evaluation of Priority Control Mechanism for Remote Monitoring IoT System in Greenhouses,” 9th EAI International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE), 28.Feb.2018

[9] T. Yoshihiro, D. Araki, H. Sakaguchi, and N. Shibata, "Providing Reliable Communications over Static-node-assisted Vehicular Networks Using Distance-vector Routing," Mobile Networks and Applications (Springer), pp.1-19, 2018.

[10] Daichi Araki and Takuya Yoshihiro, A Multi-path Extension to RDV Routing Scheme for Static-node-assisted Vehicular Networks, In Proc. IEEE AINA'18, 2018.

[11] Takuo Suganuma, Takuma Oide, Shinji Kitagami, Kenji Sugawara and Norio Shiratori, ``Multiagent-Based Flexible Edge Computing Architecture for IoT," IEEE Network, 32(1), 16-23, 2018.

[12] Takuma Oide, Toru Abe, and Takuo Suganuma, ``COSAP: Contract-Oriented Sensor-based Application Platform," IEEE Access, Vol.5, Issue.1, pp.8261-8275 (April 2017).

[13] Y. Kato, Y. Nagano and H. Yokoyama, A Pedestrian Model in Human-Robot Coexisting Environment for Mobile Robot Navigation, Proc. 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2017), 2017(12).

[14] 西山潤，多幡早紀，小林裕樹，重野寛，“災害時における Publish/Subscribe 通信を用いたネットワークとアプリケーションの相互制御機構", 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.2, pp.544-552, 2018.

共同プロジェクト研究

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）
奥山　和樹（東北工業大学工学部）
佐藤　光太（東北工業大学工学部）
延べ参加人数：５人
研究費
物件費　100,000 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１年度である本年度は，これまでの研究の問題点を洗い出し、特に上記の (1) と (2) について研究を展開した．以下に研究活動状況の概要を示す．

◇ 耳介形状の計測装置

耳介の形状はアルジネート印象材を用いて石膏模型に写し取ることが可能だが，このとき頭部における耳介の位置と方向を再現するのは困難である．これまでの研究では，石膏模型とは別に被験者の耳介周辺の頭部の形状を，図１の装置を用いて計測し，作成した石膏模型の向きを補正していた．だがこの装置は機械精度が不十分であり、また石膏模型の作成と方向補正という２段階の処理が必要である点に問題があった．

そこで本年度は，両耳形状の計測と石膏模型の型取りを同時に行う新たな計測装置を開発した（図 2）．新装置は座高計をベースにしており，鉛直高さを調整できる本体と，幅と奥行きを変えられるスライドレールで構成される．

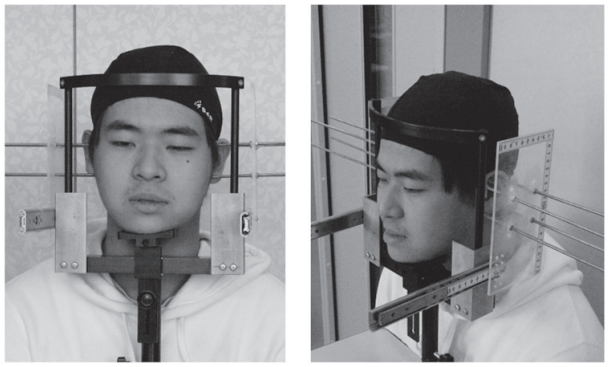


図１．頭部形状の計測装置（旧型）

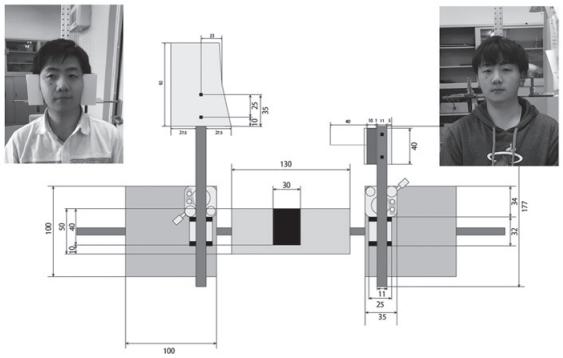


図2. 頭部形状計測と石膏模型の型取り装置(新型)

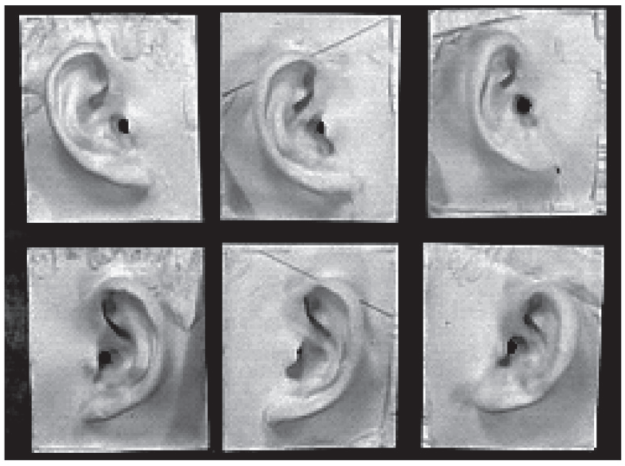


図3. 作成した石膏模型

スライドレールの上には計測位置をポイントするための金属棒と，石膏模型の型取りに用いるアクリルボックスを配置する(上面図)．この装置を用いることで，頭部における耳介の位置と向きを再現した石膏模型を，容易かつ精度良く作成することが可能となった．

図3にこの装置を用いて作成した成人男性3名の両耳の石膏模型を示す(上下が同じ被験者に対応)．土台部分は70×90 ㎜の直方体であり，側面と底面を鉛直面と水平面に合わせることで，モデルとなった被験者の頭部における両耳の方向を容易に再現できる．

◇ 音響特性の自動計測

得られた石膏模型の音響計測には擬似頭部を用いる．本研究では効率的に多数の耳介形状を評価するために，音源であるスピーカーの位置は変えずに，サーボモーターにより擬似頭部を回転させることで音源と頭部との相対的位置関係を再現する．

これまでの研究では，直径200 ㎜の球の左右両側を鉛直に切り落とした擬似頭部を用いていたが，本年度の研究で図2の計測装置で成人男性の頭部形状を計測した結果，法線ベクトルを側方から鉛直下方向に10度，水平後方に1.5度ずらした平面で球を切除した方が，より人間の頭部に近くなることが分かった．図4に設計した擬似頭部の形状図面と，3次元プリンタを用いて試作したナイロン樹脂の擬似頭部を示す．石膏模型を嵌め込んだ写真から分かるとおり，この擬似頭部では境界での誤差が大きく，さらなる改良が必要である．

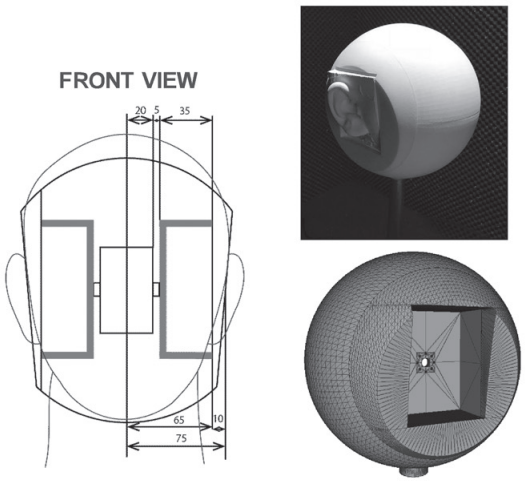


図4. 擬似頭部の形状

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，耳介の方向を維持したまま石膏模型を作成するための装置（図2）を製作し，これを用いて耳介の石膏模型が精度良く作成できることを確認した（図3）．現在の装置は，計測値の自動電子化など，まだ改良の余地はあるものの，これまでのように製作した石膏模型の向きを補正する必要がなく，スムーズな音響計測ができると期待できる．

またこの装置を用いた耳介周辺の頭部形状については，本年度は15名の成人男性の形状を計測した．計測位置は図5に示す外耳道入り口を中心とした9点であり，スライドレールで計測した左右位置の平均値から正中矢状面との距離を計測した．

図6に計測結果を示す．本年度は最も単純な近似として，この形状を平面で近似して，音響計測用の擬似頭部を試作したが，前述した通りこの近似には問題がある．特に曲面の一次微分の不連続点では音が散乱するため，この擬似頭部を用いた音響計測結果では，耳介形状の影響を正確に評価することが困難になると予測される．

この問題に対応するため，来年度以降の研究では被験者を増やし，平面ではなく曲面を用いて頭部形状を近似する手法について検討する．

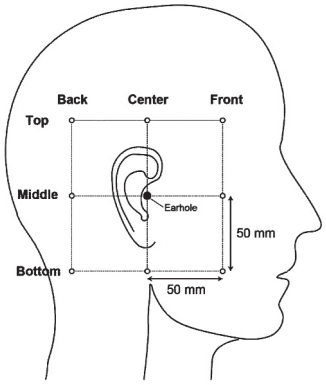


図 5. 頭部形状の測定位置

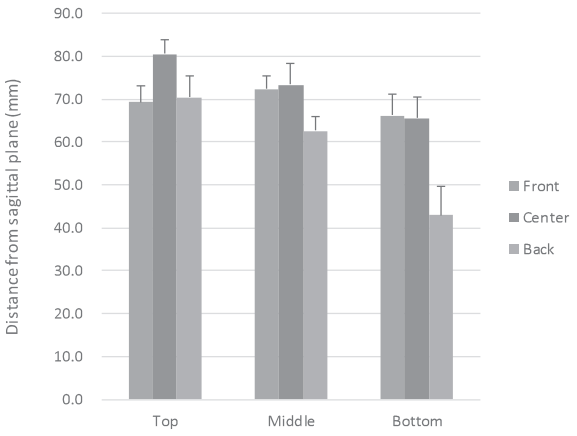


図 6. 頭部形状の計測結果

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の学術的な成果は，学術的に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．ここでの主要な問題は，耳介形状の複雑性と多様性にあり，これを調べるためには多数の人間の耳介の形状データと，その音響伝達特性データの組み合わせが必要となる．

本研究で開発した石膏模型作成装置は，このパラレルデータを得るために有効であると考えられる．これまでの耳介の石膏模型を利用した研究では，耳介そのものの形状は評価されてきたが，頭部における耳介の方向は十分に考慮されてこなかった．人間の空間的な聴覚能力において耳介の形状が果たす役割を正確に評価するためには，本研究で提案した石膏模型製作装置が有効であると考えられる．

ま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は，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．

より具体的なメカニズムを理解するために，本研究では実際に形状を変調した耳介模型を作成し，その音響特性を計測することを計画している．音響特性は音源の方向により大きく変化するため，ひとつの耳介について音源位置を変えた長時間の計測が必要となる．よって計測の自動化は必須であり，これを実現するための擬似頭部ロボットを開発する．本年度は擬似頭部の形状の試作にとどまったが，来年度以降に音響計測系を実現したいと考えている．

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） 奥山和樹，佐藤光太，伊藤仁：頭部における耳介の向きを考慮した石膏模型の製作と音響特性の自動計測，東北地区若手研究者研究発表会 pp. 203-204，2018.

採択回数　(1)　2　3
（萌芽・先端）

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　聡
（鶴岡工業高等専門学校情報コース助教）

延べ参加人数：４人

研究費
物件費　100, 000 円
旅費　101, 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.

This was the first year of the research project. During the first year, the requirements of such platform were investigated and the essential components were defined. In addition, a new hierarchical edge architecture, DHEA, has been proposed.

Four researchers, including the principal investigator, co-researcher Dr. S. Takahashi of National Institute of Technology, Tsuruoka College, 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 a face to face meeting on the topic at RIEC on February 22, 2018 where the principal investigator, RIEC counterpart prof. Kinoshita and Dr. H. Takahashi participated.

［3］成果

（3－1）研究成果

①Proposal of KIBAN IoT platform

In this research, we propose a new generation IoT platform, KIBAN, that is capable of meeting the challenges 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)

Data Acquisition and Storage Layer: Data acquisition and storage layer ensures easy and smooth collection of data from various connected devices, objects and sensors. KIBAN allows makers of connected objects and sensors upload a table containing data dictionary and/or necessary metadata about their product describing the data format and their interpretation onto this platform. The data acquisition layer uses the format information to incorporate the data onto the database. At the user end, this layer deploys a lightweight interface software for the gateways which collects data using any of the interfaces of the gateway and uploads the data onto the desired server.

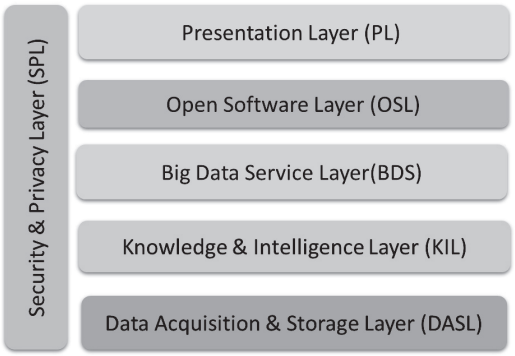


Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

Because of these functionalities, it is possible to add new IoT elements without much manual set up. Also, new users without much technical knowledge can connect to this platform from scratch without difficulty.

Knowledge and intelligence Layer: This layer of KIBAN platform handles interpretation and intelligent processing of collected data. This layer utilizes the interpretation information from the data dictionary tables that the makers of devices or sensors upload onto KIBAN.

Big data service layer: Big data service is designed to yield new values from this accumulation of data. Such new values would allow valuable insights to the industry as well as various social system design process.

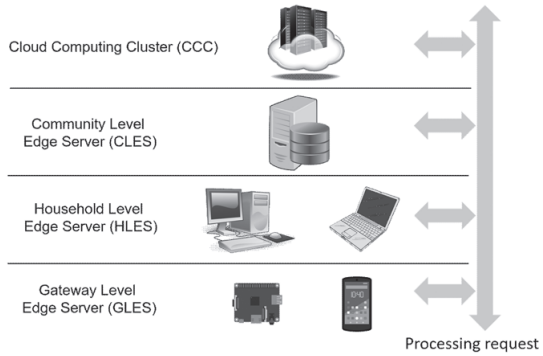


Fig. 2: Different levels of DHEA

Open software layer: Open software layer provides a platform for third party software developers to release application software for interpretation and handling of data from different devices, controlling the devices etc. Upon registration at the platform, a developer would be provided access to a particular slice of information from the data dictionary and collected data depending on what types of software for what type of device she/he wants to work on. Third party software development is expected to attract new ideas and features and new levels of control making IoT more oriented to the end user.

Presentation layer: Presentation layer aims at offering the optimal presentation of information based on a person's requirements and abilities. Also, this layer in collaboration with the Knowledge and Intelligence layer learns from user's interaction with the system and adopts to better serve the user with enhanced user experience.

Security and privacy layer: In KIBAN platform, we design security and privacy as a vertical layer. That is, this layer aims at handling security and privacy issues to be encountered at each layer of the platform.

②Proposal of DHEA: Dynamic Hierarchical Edge Architecture

We also proposed Dynamic Hierarchical Edge Architecture (DHEA) for decentralized management of the Internet of things (Figure 2). DHEA allows adoption of a hierarchy of edge servers for storage and computation based on the requirements and availability of resources. The term "Dynamic" comes from the fact that DHEA leads to dynamic adoption of the level of server. It should be noted that although we introduce DHEA in the context of KIBAN platform, the architecture is adoptable for any IoT deployments.

A. Hierarchical organization

DHEA assumes that for any IoT deployment, data storage and computing can be performed at different levels of a hierarchical organization of edge servers. At the top or root of this architecture lies the cloud computing cluster (CCC) which corresponds to the maximum storage and computing resource that the IoT deployment could utilize. Examples of such resources could be Amazon Web Service, Microsoft Azure platform etc. In case when all the computation and storage is done centrally at the cloud and no edge server is deployed, the degree of hierarchy of DHEA would be zero.

At the bottom or leaf of the edge lies the edge server with the lowest storage and computing capabilities. If there is one level of edge server, the degree of hierarchy of DHEA would be one. There can be one or more intermediate levels of edge servers in our architecture leading to degree of hierarchy of two or more (TABLE I).

B. Choices of Edge servers

As regards to the capability of edge servers, different choices of resource and hierarchy could be made. In our research we aim at implementing leaf level edge servers with very low storage and computing capabilities such as microcontroller or gateways like Raspberry Pi. We call this as gateway level edge servers (GLES).

Above this level, we believe edge server could be implemented utilizing the computing and storage resources on common computing devices like personal computers, networked drives etc. Such edge servers could meet the computing and storage requirements of IoT involving a household or few households. We call such implementations as the household level edge servers (HLES).

The next level up in the hierarchy could implement edge server on more powerful computing resources like server grade computers. Usually edge servers at this level would be capable of supporting IoT requirements of an enterprise or a community. We call this as the community level edge server. Amazon Snowball Edge could be a good candidate for community level edge server.

TABLE I: DHEA LEVEL TO IMPLEMENT DIFFERENT KIBAN LAYERS

Layer of KIBAN IoT platform	DHEA level to implement
Data acquisition & storage layer	GLES, HLES
Knowledge & intelligence layer	GLES, HLES, CLES, CCC
Big data service layer	CCC
Open software layer	CCC
Presentation layer	HLES, CLES, CCC
Security & privacy layer	GLES, HLES, CLES, CCC

C. Hierarchy management

Rather than offering exclusivity to edge servers at different levels, DHEA focuses on efficiency of IoT deployment. If the computing and storage resources are not sufficient at a particular level of the hierarchy, it can be pushed upward to the next level of the hierarchy. In addition, a particular edge level can collaborate with peer edge servers at the same level as well as with layers above it up to the root level. The choice of appropriate level of the edge server is to be managed through a hierarchy management list.

D. Benefits of a hierarchical edge structure

Since DHEA facilitates adoption of the appropriate edge server as per the computing and storage requirements, it ensures optimal performance as well as optimal utilization of resources.

In addition, when computing and storage is performed at the lower levels of the edge, it is possible to collect and store data even in case when connectivity to the Internet is temporarily unavailable.

③Performance evaluation

This year, we emphasized on implementing 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 with Quad Cortex A53 processor having a clock speed of 1.2GHz. Such unit is equipped with 1GB of SDRAM. For ROM, a 16GB of micro-SD ROM was used. The experimental set up is shown in Figure 3.

A. Data storage and interpretation

Experiments corresponding to a typical scenario in a household in early 2020s where many sensors and connected objects or devices are linked to the IoT were conducted. Each of these devices generate data reporting the latest situations either periodically or when some changes take place. We name this data as status data. Status data needs to be stored in the database of the DASL layer. Also, it needs to be interpreted with the help of the KIL layer to check whether it should initiate some actions. A message that we name as interpretation message is generated back accordingly as a response. We name the time required in the process as response time.

B. Experiments at different levels of DHEA

In our experiments, generation of status data was emulated using PCs. Incorporation of status data into the SQL database and generation of interpretation message is performed using Node.js. The same experiments were repeated at the GLES on Raspberry Pi, at the HLES on Intel core i7 PC, CLES on Intel core i7 PC and the CCC. For the CCC, we used a free EC-2 server with RDS provided by the Amazon Web Service (AWS).

C. Comparison of response time at different levels of DHEA

Figure 5 shows how the average response time varies with the increase in the number of status data for servers at different levels of the DHEA. As can be observed, even though the computational power at GLES implemented on Raspberry Pi is very low, the response time is around two times faster than the response time at the CCC server on EC-2. Hence for time critical applications, for example, navigation of household robots, emergency management etc. GLES may be more suitable than CCC.

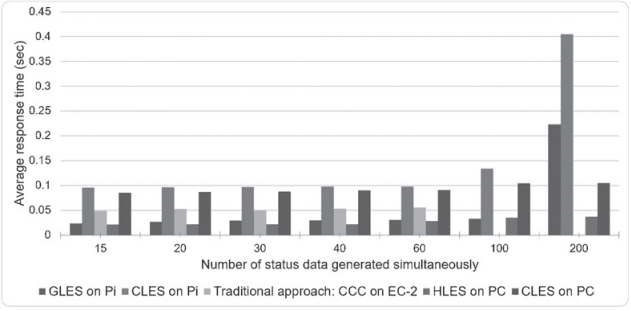


Fig. 4: Comparison of response time with servers at different levels of DHEA

The graph also shows the outcome of experiments conducted with HLES and CLES both implemented on the PC and CLES implemented on Raspberry Pi. As can be seen, the deployment of more powerful computing resource like PC at the HLES ensures a comparable but faster response time. Also, in our experiments, it has been observed that as the number of status data generated per second increases, EC-2 server starts dropping them much earlier than Raspberry Pi at GLES.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Implementation 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. Lower load at the cloud servers and the network would help achieve high scalability. 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, Yoosook, P., Kamsaeng, C, Kiatikitikul, S., Development of an IoT based novel technology for detection and scaring wild animals from agricultural fields, 2017 年度 農業情報学会(JSAI)・電子情報通信学会(IEICE) 知的環境とセンサネットワーク(ASN)研究会連催 合同研究会、農業×情報通信ワークショップ，2017

[3] Zabir, S.M.S., 新世代IoTプラットフォームの設計及び構築に関する研究，鶴岡工業高等専門学校地域連携センターリポート.

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（新潟大学大学院自然科学研究科）
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（新潟大学工学部情報工学科）
前田　義信（新潟大学工学部福祉人間工学科）
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（新潟大学工学部情報工学科）
延べ参加人数：７人

研究費

物件費	100,000 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。また，ユーザの利用端末が小形，軽量化され，通信方式が LTE（Long Term Evolution）から 5G の実用化も差し迫っており，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１年度であった。そのため，実世界 SNS のコンセプト固めと要素技術の研究開発を行った。

実世界 SNS のコンセプトの中心となる，近くのユーザ同士の気が合う状況とは，ユーザ間の同調行動を引き起こしたり，その行動を支援したりすることと考えた。日本語で「波長が合う」ということがあり，英語でも“on the same wavelength”ということからも調子を合わせるということは重要であると考える。また，要素技術として，一人一人のユーザの行動を把握するために加速度センサの適用可能性を検討した。

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２９年９月１５日から９月１６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 のコンセプトの検討を行った。ここでユーザ間の同調行動の支援に焦点を当て，特に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）による支援を目指すこととした。その後，ウェーブ支援の進捗報告と加速度センサを用いたユーザ行動分析の報告のために，平成３０年２月８日から２月９日に新潟大学より３名が東北大学電気通信研究所を訪問し，打合せを行った。ただし，訪問者の１名は他の要件もあったため，東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究費は用いていない。このように打合せを重ねた結果，最終的にウェーブ支援システムのプロトタイプを作成し，東北大学で開催された，平成２９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３０年２月２２日から２３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。

まず第1に，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を支援するシステムのプロトタイプ作成を行った。そのために，ウェーブの仕組みの分析を行い，最小限の身体動作を周囲の人と同調してテンポよくつなげることが必要条件と定義した。その結果，身体面での不自由さのために両腕を挙げて立ち上がるという動作ができない人も参加でき，ウェーブ実施が禁止されている施設でも実現できる，新たなユニバーサルウェーブとも考えられる新たなコンセプトができた。

ユニバーサルウェーブのコンセプトに基づき，システム設計を行った。提案システムの概要を図1に示す。図1において，システムは主としてユーザ端末と集中制御装置から構成され，ここでユーザ端末は観客が身体に装着することを想定する通信機能付きの端末である。集中制御装置の役割は，ユーザが挙手動作するタイミングをユーザ端末の位置情報に基づき決定し，適切なタイミングでユーザ端末に伝えることである。なお，ユーザ端末の正確な位置情報が得られているという前提に基づきシステムは設計されており，ユーザ端末にはユーザに挙手動作を促すためのアクチュエータが備わっているものとする。

さらに，提案システムに基づき，ウェーブ支援システムのプロトタイプシステムを作成した。図2にプロトタイプシステム構成を示す。 ユーザ端末はRaspberry Piをベースに，振動モータ，発光ダイオード，加速度センサを具備した構成となっている。振動モータはユーザに挙手動作を促すアクチュエータの役割を担い，挙手動作が周囲に分かりやすくするために発光ダイオードが用いられている。加速度センサはユーザの動作検出のために用いられる。

第2に，加速度センサによるユーザ動作検出を要素技術の研究開発として実施した。そのために，まず加速度センサを搭載したユーザ端末（Android 端末ZenPad 3 8.0(Z581KL)）を使用した実験を行った。実験では，被験者がユーザ端末を胸部に固定し，「歩く」，「座る」，「立つ」，及び「前屈」の四動作を行い，端末上のアプリケーションで加速度センサの実測値

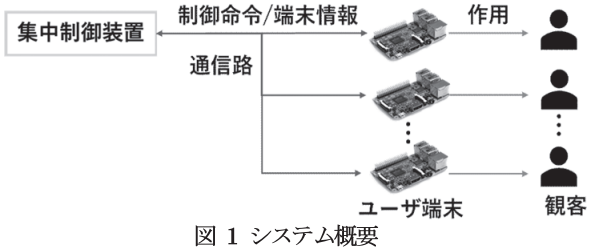


図 1 システム概要

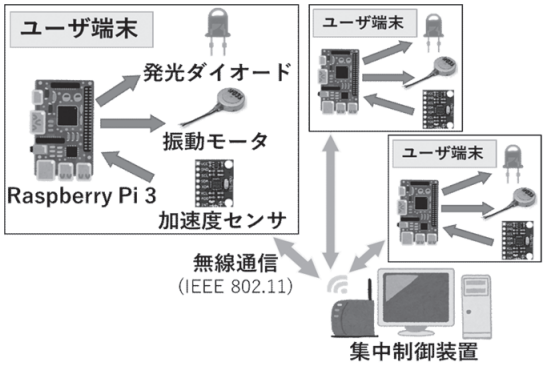


図 2 プロトタイプの構成

を記録した。測定時間は約30秒間であり，加速度センサはそれぞれ直交する3軸方向を測定できるものを用いた。センサの実測データが正規分布に従っているという仮定の下，正規分布モデルで近似し，モデルの 95%信頼区間に入っていればその動作と判定できるという方法により，動作の識別テストを行った。識別テストの結果を表1に示す。

表1. 四動作の識別テスト結果

判定 / 動作	歩く	立つ	座る	前屈	識別率
歩く	6220	6	2	940	86.8%
立つ	107	207	65	5765	3.4%
座る	683	86	5333	42	86.8%
前屈	583	3	4	6578	91.8%

表 1 より，「歩く」，「座る」，「前屈」の識別率は86.0%以上であった。これら三動作は特徴的であり，特定の加速度センサ計測値が現れ易かったためと考えられる。一方で，「立つ」という動作の正解の識別率は3.4%であった。「立つ」が最も誤認識されたのは「前屈」であったが，これら二つの正規分布モデルの 95%信頼区間がかなりの部分重複していたためである。ただ単に加速度の実測値データの値の比較だけでは基本的な動作の識別も十分ではなく，3軸の加速度データの相互関係や，周波数分析による結果を用いるべきであるという周知の事実が確認された結果となった。なお，「歩く」，「座る」，「立つ」，「前屈」の4動作を選んだ理由は，次のステップでこれらの動作の組み合わせで「食事行動」をモデル化し，日常の行動データより認識することを目的としているためである。

（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という新たなコンセプトのサービスを創り出していく中で，東北大学が進めてきたIoT（Internet of Things）の知見が生かされ，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。第1年度で得られた成果を基に，科学研究費助成事業に提案を提出しており，今後も外部ファンドの獲得を目指していく。

［4］成果資料

(1) 西田悠，前田義信，″人工学級ゲームを用いたいじめ問題の分析の検討,″ 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会，PS5-1，pp.1595-1596，Sep. 2017.

(2) 高橋仁志，伊藤尚，前田義信，″安冨モデルにおける情報交換の不完全化が通貨の発生へ与える影響について,″ 平成29年電気学会 電子・情報・システム部門大会，PS5-2，pp.1597-1598，Sep. 2017.

(3) Kenta Katayama, Hideyuki Takahashi, Shingo Yokoyama, Karl Gäfvert, Tetsuo Kinoshita, ″Evacuation Guidance Support Using Cooperative Agent-based IoT Devices,″ Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.98-99, Oct. 2017.

(4) Shingo Yokoyama, Ryota Fukutani, Takumi Kato, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, ″MATCH: MultiAgent-based Tactful Cooperation Scheme for Heterogeneous IoT Devices,″ Proc. of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.150-151, Oct. 2017.

(5) 村上尊哉，前田義信，山崎達也，″スマートグラスを用いた農作業管理システム開発の試み,″ 電子情報通信学会技術研究報告，知的環境とセンサネットワーク研究会，ASN2017-71，pp.55-58，Nov. 2017.

(6) Asuka Hashimoto,, Nao Ito, Ryuichi Matoba, Yoshinobu Maeda, ″Improvement and Evaluation of an Evacuation Behavior Simulation Model,″ 2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA2017), pp.45-48, Nov. 2017.

(7) Shohei Kidani, Nao Ito, Ryuichi Matoba, Yoshinobu Maeda, ″Proposal for DTN Routing Using Helping Behavior,″ 2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA2017), pp.49-54, Nov. 2017.

(8) 橋本侑季，山崎達也，″3軸加速度センサを用いた外食行動認識のための動作判定手法の検討,″ 2018年信学会総合大会，no.D-9-2，Mar. 2018.

(9) 福井暉斗，高橋秀幸，山崎達也，″ユーザの同調行動を支援するデバイス協調システムの研究,″ 2018年信学会総合大会，no.A-1-13，Mar. 2018.

採択回数　1　2　3
（先端）

採択番号：**H29/A31**

強磁場中で連続かつ低ヒステリシス特性を有する高周波キャリア型薄膜磁界センサの研究

［1］組織
研究代表者
中居　倫夫（宮城県産業技術総合センター）
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
松尾　哲司（京都大学）
栃　修一郎（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：４人

研究費
物件費　100,000 円
旅費　87,000 円

［2］研究経過

本研究では，生産工程における製品検査を高度化することを目的として，強い磁場中でも数ナノテスラ（nT）台の感度を有する高周波キャリア型薄膜磁界センサの応用検討を行っている。このようなセンサを強磁場を活用した検査装置や分析装置に応用するためには，検査領域への強磁場印加とセンサ設置部における磁場乱れ低減化の両方を考慮した磁場構造の実現が必要であるとともに，強磁場環境におけるセンサ素子のインピーダンス変化特性について滑らかな連続特性と低ヒステリシス特性を有することが求められる。本研究では，強磁場中で薄膜磁性体に生じる磁区構造を最適に制御することでこのセンサ特性を実現するとともに，産業応用を目的にこのセンサを用いた異物検査装置や分析装置の研究開発を行っている。

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。

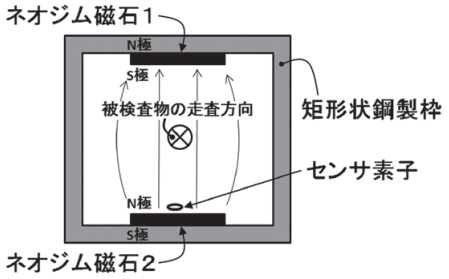
最初に，本研究で提案する異物検査装置の概要を説明する。

センサ素子膜面に対し，1 kG 程度の法線方向磁場を印加しても感度低下が無い薄膜高周波キャリア型センサを用いて，図 1 のような異物検査装置を提案する。図 1(a)は装置構造の概略図で，大型のネオジム磁石１対を閉磁路をなす鋼製矩形枠の上下に固定して枠内部に強い磁場を印加する構造である。この構造体において，磁石の直近にセンサを配置し，枠内部を通過する磁性異物を検出する方法を用いた異物検査装置を提案する。磁石近傍のセンサ設置部の磁場分布を制御して，センサが動作できる条件範囲内とすることで，磁石上に複数個のセンサを配置することを可能にする磁場構造を実現して特許出願を行ったが，この特許が未公開であることから，詳細は別の報告で行うことにする。本研究の実験では，上下のネオジム磁石間隔を 200 mm として，センサを下側磁石上 15 mm の位置に設置した。図 1(b)は，センサ駆動回路である。薄膜高周波キャリア型磁界センサは，500 MHz 程度の高周波を通電した際に感度が極大値となることから，ここでは，汎用回路を利用して駆動周波数を 400 MHz として回路試作した。駆動回路は，電圧制御型のアッテネータと移相器を用いて信号調整したキャリアサプレス回路を使用した。本回路の高周波検波部に使用したログアンプは入力の対数を演算して出力する演算増幅器のことであり，これを利用するメリットは，磁場の減衰により，異物とセンサの間の距離の累乗に反比例して検出信号が減衰する検出信号をレンジで異物検出できる利点がある。

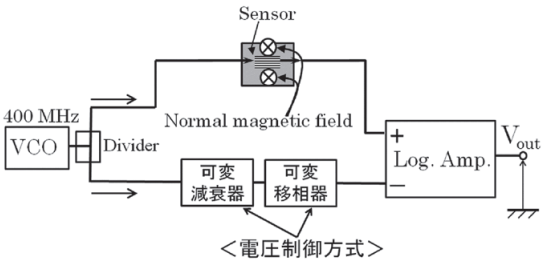
以下に測定結果の一例を示す。直径 5 mm，長さ 5 mm の工具鋼製の円柱を被検出物として，検出装置の鋼製枠の中央（ネオジム磁石から 100 mm）を走査させた。この位置における磁場は上下方向の向きで強度は約 180 Oe である。サンプルの走査方向は矩形状の鋼製枠を貫く方向で，速度は約 100 mm/s 一定とした。

図 2 に検出結果を示す。図の横軸は時間，縦軸はセンサ出力である。模擬サンプルの出力電圧は，約−250 mV から+430 mV でありバックグラウンドノ

イズより明らかに大きな異物信号が得られることが分かった。図の中には模擬サンプルと同じ材質から得られた磁化曲線も示してある。本サンプルは，閉じたMH曲線を持つ磁性体であり，従来提案されているようにセンサ計測の前に事前着磁する方式の検出方法では，残留磁束密度が小さいために検出が困難なサンプルである。しかしながら，本提案の検出手法を用いることで，センサから100 mmの距離を通過した直径5 mm, 長さ5 mmの工具鋼砕片を検出できることを確認した。



(a)異物検査装置の構造概略図



(b)センサ駆動回路

図１．提案する異物検出装置
Fig1. Mechanical structure and electric circuit of system.

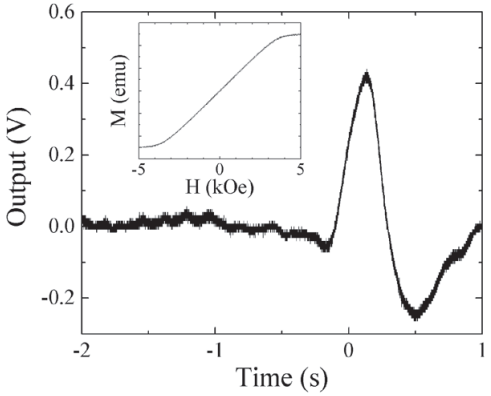


図２．磁性体異物の検出例
Fig2. Measured result of a scanned magnetic small piece.

［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，大型のネオジム磁石を利用して数百mmサイズの大型部品内部の磁性異物検査を行うシステムを想定して，原理確認の磁場発生機構を試作した。

第２に，対数アンプを使ったセンサ駆動回路を提案し，上記の磁場発生装置と組み合わせてセンサから100 mmの距離を通過する異物の信号を良好なS/N比で検出できることを示した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの実施により，全国の研究者間の交流が活性化した。強い法線磁場中における磁区制御により，連続的かつ低ヒステリシスなセンサ特性の実現を目指す本研究の方針は，新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）と，これを応用した実用システムの開発に結びつくものと考えられる。

［４］成果資料

（１）Magnetic Domain of Stepped Magneto-Impedance Sensor Controlled by a Normal Magnetic Field, T. Nakai, IEEJ Trans. Sensors and Micromachines, Vol. 138, No. 1, pp23-29 (2018).

（２）日本国特許： 特願2017-040118（未公開）

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：10 人

研究費

物件費	100,000 円
旅費	177,000 円

［2］研究経過

（2－1）目的・概要

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）の利用が進む。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。

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圧電材料として $BiFeO_3$（以下では BFO と表記する）が注目されている。鉛は環境への影響の問題から、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開発することを目的とする。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。

本研究では初年度である今年度に、これまでの圧電材料で使用されてきた $Pb(Zr,Ti)O_3$ や $Pb(Mn,Nb)O_3$ 等の材料に代わり、鉛を含まない材料という利点を持ち、環境にやさしい材料として BFO 薄膜の材料開発を行う。次年度以降に行う開発として、ワイヤレスセンサモジュールや強誘電体メモリへの応用が挙げられる。また近年では材料のドメイン障壁の電位差を利用し発電を行う太陽電池デバイスへの実現の可能性が指摘されており、BFO の太陽電池の応用への基礎研究も行う予定である。

次に、BFO の材料開発の概要について述べる。BFO はこれまで主に、ゾルゲル法、パルスレーザーデポジション（PLD）法で主に成膜されているが、本研究では RF スパッタリング成膜を採用した。RF スパッタリングでは、低いイオン照射エネルギーを用いることで、比較的簡単に高品質な薄膜を得ることができる。しかしながら、スパッタリング法を用いた BFO 成膜による成功例は少ない。これは、成膜後の薄膜中に酸素欠損に起因する欠陥が多く存在し、成膜後の熱処理を行っても完全に消滅することができていないためである。そのため、現在は酸素欠損を少なくするためのプロセスの研究が多く行われている。本研究では、後述するマイクロ波励起光密度プラズマを用いて酸素欠損の改善を行った。また、圧電材料やメモリに BFO を応用する場合には、基板との膜剥がれが起きやすい。そのため大きな圧電性が得ることが難しい等の問題も有り、この問題を解決するために下地材料の選定も重要である。最近では、大きな強誘電性、圧電性を得るためには、Pt や STO 基板等が主に使われている。これは、BFO の格子定数 a=0.396nm とのミスマッチが小さいためである。

本研究では、図 1 に示す新しい材料として $DyScO_3$ 基板を採用した。$DyScO_3$ 基板についても、BFO との格子定数のミスマッチが小さいので、大きな圧電性

が得られるのではないかと予測できる。また$DyScO_3$基板は透明で、不純物を導入することで導電性を示す可能性も有り、下地電極としても使用できるという利点もある。初年度では、マイクロ波励起光密度プラズマを用いて酸素ラジカルを照射しBFO薄膜の改善することと、$DyScO_3$基板上に成膜したBFO薄膜の基礎特性を評価し、材料としての今後の有効性を示す。

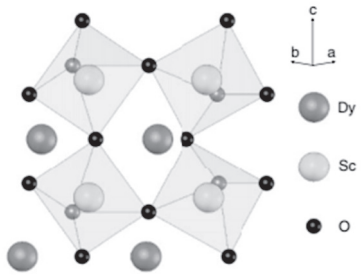


図1 $DyScO_3$基板

［3］成果

（3－1）研究成果

研究初年度は、ワイヤレスセンサモジュールとして使用する圧電BFO薄膜の材料開発を行った。

実験前の基板洗浄としてPt、$DyScO_3$（110）の2種類の基板に有機洗浄を行い、表面の有機物を除去した後、RFスパッタリング装置を用いてBFOを常温で成膜した。プラズマ励起には、周波数13.56MHzのRF電源を用いた。プロセスガスはアルゴンと酸素の混合ガスを用いて、それぞれの流量は40sccmと20sccmである。成膜時の圧力は、4.0Paであり、基板温度は常温とした。Pt基板上に成膜したBFOには酸素欠損が多く存在することが予測されるため、成膜後に希ガスと酸素の混合ガスを2.45GHzのマイクロ波を用いてプラズマを励起した。プラズマ中に発生した大量の酸素ラジカルをBFO薄膜に照射することで、薄膜中に酸素を導入することが目的である。その後、2種類の基板上に成膜したBFO薄膜を酸素雰囲気中で、550℃、10分の熱処理を行い、アモルファスのBFO薄膜を結晶化させた。薄膜の評価には、XRDとXPSを用いて、配向性や、BFOに含まれるFeの価数を調べた。図2に実験のプロセスをまとめた。

図3(a)、(b)にPt/TiN上に成膜したBFO薄膜のXRD測定結果を示す。(a)は酸素ラジカル処理無し、(b)は酸素ラジカル処理有りの様々なポストアニール温度変化による、2θ/θの測定結果である。ポストアニール温度は300℃から500℃の温度範囲で実行した。また、比較用としてポストアニール無しの測定結果も示す。

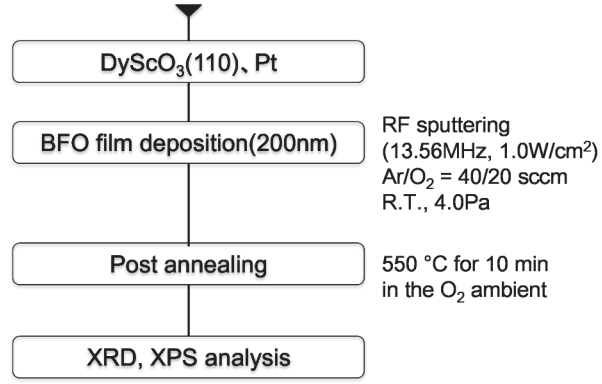


図2　実験方法

全てのBFO薄膜は200nmで同じ厚さである。ポストアニールを行わない場合は、酸素ラジカル処理の有無に関わらず、BFOに起因するピークは見られなかった。しかし、酸素ラジカル処理を行った場合は、300℃のポストアニールの後でBFOの(010)、(110)、(200)、(120)、(121)の弱いピークが現れている。また、350℃のポストアニールでは、酸素ラジカル処理無しに比べて、有りの場合はこれらのピークはより強く現れていることがわかる。特に酸素ラジカル処理有りの350℃では、BFO(110)の32°のピーク強度が大きく現れていて、Bi_2O_3の28°のピークが低くなっている。

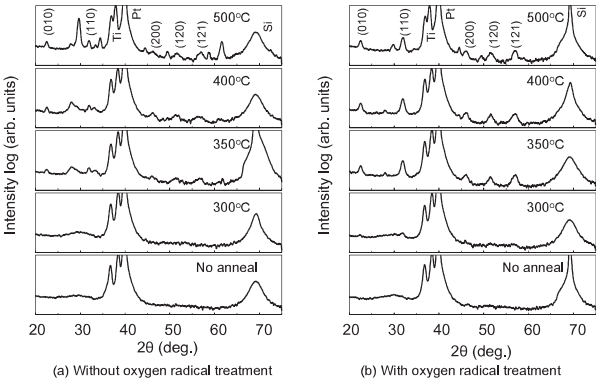


図3　BFO薄膜のXRD測定結果で、様々なポストアニールによる配向性の違いを示す。(a)酸素ラジカル処理無、(b)酸素ラジカル処理有であり、BFO膜厚は全て200nmに統一してある。

BFOの組成比は1:1:3であるため、Bi_2O_3の構造はBiが過剰で有り、酸素欠損の状態であるため、化学量論的なBFO薄膜を得る際に、ふさわしくないXRDのピークである。このことから、酸素ラジカル処理は、スパッタリング直後に、BFO薄膜中に残存している酸素欠損に起因する欠陥を減少させ、その後のポストアニールによりBFOの結晶化がより強く進ん

でいることがわかる。

次に$DyScO_3$基板上に成膜したBFO薄膜のXRD測定結果について述べる。図4にXRDの測定結果を示す。550℃の熱処理後のBFOについては、(110)、(120)、(121)に配向していることがわかる。また2θ=47°には、$DyScO_3$基板のピークが観測された。この結果から、$DyScO_3$基板上でも、550℃の熱処理によってBFOが結晶化されていることが分かった。特に(110)に配向していることは、BFOで強い圧電性や強誘電性を示すことが知られており、圧電デバイスや強誘電体メモリへの応用が期待される。

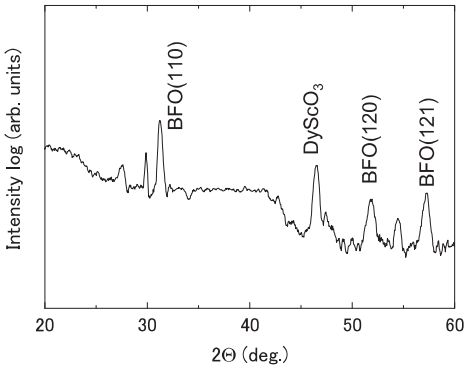


図4　$DyScO_3$基板上に成膜したBFO薄膜のXRD測定
BFO薄膜の膜厚は200nm

次に図5にXPSの測定結果を示す。二つの大きなピークは、Fe 2p3/2、Fe 2p1/2のピークである。これらの波形を分離することで、BFO中のFeの結合状態を調べた。Fe 2p3/2のピークを波形分離し、Fe^{2+}とFe^{3+}の状態が存在することを確認した。

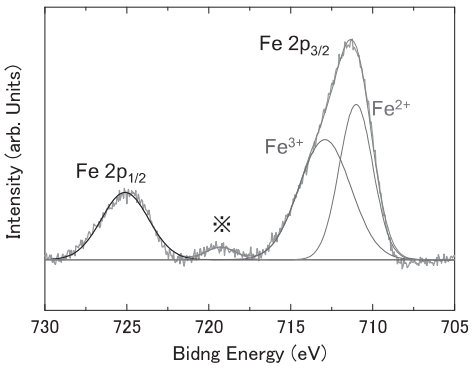


図5　BFO/$DyScO_3$のXPS測定結果

Fe^{2+}は高エネルギー側のピークで711.1eVであり、Fe^{3+}は低エネルギー側の712.7eVにピークが現れている。また、図3に※で示す718.1eVのピークはFe^{3+}のサテライトピークであり、Fe 2p1/2のピークは725.1eVに観察された。特にFe^{2+}は、BFOをメモリや圧電デバイスや強誘電体メモリとして応用する際には、リーク電流の大きな原因となることが報告されている。そのため、Fe^{2+}の状態を作らない薄膜の成膜方法や、または材料に添加剤を加えることでFe^{2+}の発生を抑制することが今後の課題である。

本研究でも、これまでの研究と同様にFe^{2+}のピークが観測されたことから、$DyScO_3$上に成膜したBFOのリーク電流が大きいことが予想される。さらに、Fe^{2+}とFe^{3+}のピーク比については、4:5であり、薄膜中のFe^{2+}の存在割合も大きいことが分かった。これらの対策は次年度以降の課題として取り組んでいきたい。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、BFO薄膜の基本的な物性について明らかになり、その成果は応用として現在、2社の企業との共同研究を予定している。第一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、第二に、$DyScO_3$基板上にBFO薄膜を成膜し、BFOの配向性を確認できたことの意義は大きい。次年度からは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る。

［4］成果資料

（1）今泉 文伸「$DyScO_3$基板を用いたBFO薄膜の基礎特性」、日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門主催第8回マイクロ・ナノ工学シンポジウム、02pm1-PN-119、2017

（2）柳田 幸祐、森田 渡海也、今泉 文伸「3軸加速度センサの静止時における温度変化による基礎特性」、日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会、No.17、2017

（3）森田 渡海也、柳田 幸佑、今泉 文伸「明度情報の変化による赤外線センサの基礎特性」日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会、No.18、2017

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：15 人

研究費

物件費	100,000 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、本年度が初年度であり、開発課題は以下の通りである。

（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）

（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）触媒微粒子の金属種を換えた複数のガスセンサを集積化する。（⇒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(図２参照)。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。

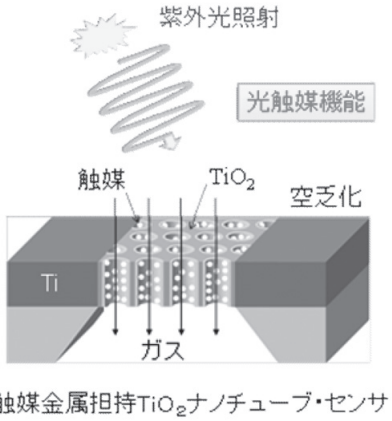


図1　ナノチューブガスセンサの模式図。酸化チタンNT膜の抵抗変化でガス検知。

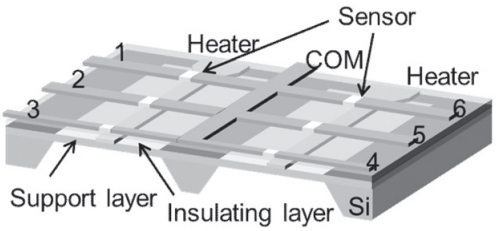


図2　集積化ガスセンサ。

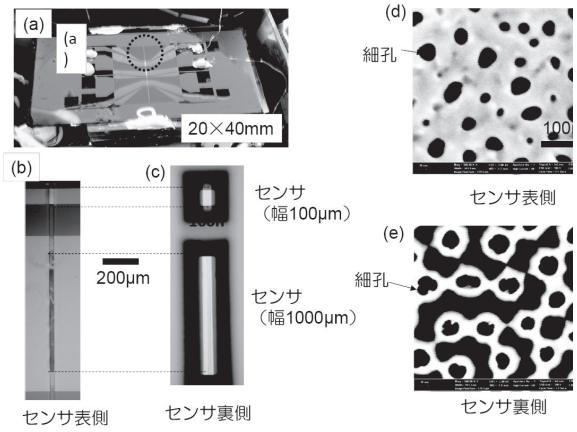


図3　作製したガスセンサ。(a) センサ外観写真；(b) センシング部の表側と(c) 裏側の光学顕微鏡像；透過型センサのセンシング部の (d) 表側と (e) 裏面側の走査電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope；SEM）像。

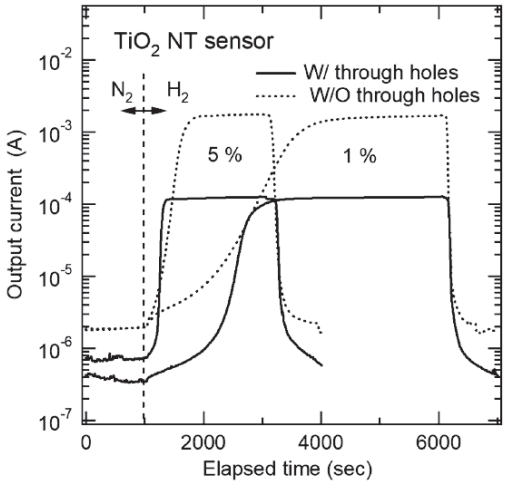


図4　5%と 1%の窒素希釈水素ガスに対する透過型センサ（実線）と非透過型センサ（点線）の出力電流の測定結果。

本年度は透過型のガスセンサの作製を試み、実際に透過型センサの作製に成功した。更に、透過型と非透過型ガスセンサの水素ガスに対する応答特性を比較しセンサを透過型することにより、応答時間が短縮できることが確かめられた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の成果の第一は、透過型のガスセンサの作製を試み、図3に示すように、実際に透過型センサの作製に成功したことである。ナノチューブ薄膜を用いた透過型ガスセンサはこれまで報告がなく、半導体微細加工技術と電気化学的手法を融合した新しいデバイス製造技術を確立できた。

成果の第二は、透過型と非透過型ガスセンサの水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、センサを透過型することにより応答時間が短縮できることが確かめられたことである。

次年度以降は、ナノチューブの内壁に触媒金属を担持して、応答時間の更なる短縮と感度の向上を試みる。これまでの準備研究の結果、ナノチューブ内壁にPt 金属微粒子を担持することにより、応答時間および感度が一桁以上向上することが分かり、これらの成果を基に、今後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、学外研究者（民間企業の研究者も含む）との研究交流が飛躍的に活性化し、当該ガスセンサの実用化への道が大きく開けた。特に、本プロジェクトの研究分担者である民間の研究者が代表者となり、平成２９年度宮城県新規参入・新産業創出等支援事業費補助金（成長分野参入支援型）が採択となり、この事業によりガスセンサの実用化が格段に促進したことは特筆に値する。この事業は県内の企業の新産業創出を目的としたものであり、本プロジェクトが地域産業創出にも大きく貢献したと言える。

・プロジェクト名：「酸化チタンナノチューブ構造によるガスセンサシステムの開発」
・資金制度、研究費名：平成２９年度宮城県新規参入・新産業創出等支援事業費補助金（成長分野参入支援型）
・配分機関名：宮城県
・研究期間：H29 年 7 月 24 日 ～ H30 年 3 月 15 日

［4］成果資料

（1）（発表論文）阿部宏之、馬　騰、但木大介、平野愛弓、木村康男、庭野道夫「酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発」東北福祉大学　感性福祉研究所年報（２０１７年）（印刷中）
（2）（学会発表）阿部 宏之、馬 騰、平野 愛弓、木村 康男、庭野 道夫「酸化チタンナノチューブ型ガスセンサの開発」第６５回応用物理学会春季学術講演会（早稲田大学）

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（東北大学学際科学フロンティア研究所）

秋間　学尚（東北大学電気通信研究所）

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	100,000 円
旅費	190,000 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。

今年度の研究では、主に以下の２つの方向から研究を推進した。

（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 30 年 2 月 1–2 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 6th 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。

［3］成果

（3－1）研究成果

（1）神経回路シミュレーションによる解析結果

個々の神経のランダムな活動が、モジュール内の局所的興奮を経て、複数のモジュールを含む大域的な同期発火を引き起こす過程を解析するため、積分発火型神経細胞によるモジュラーネットワークモデルを構築した。個々の神経細胞の膜電位モデルには、リーク電流、細胞内カルシウムに依存したカリウム電流、興奮性シナプス電流に加えて、定常ポアソン過程に従って活性化するノイズ電流が導入された。

膜電位は、これらの電流入力を受ける一次系として記述されるが、膜電位が発火しきい値を超えると活動電位を放出し、発火しきい値以下の値にリセットされる。皮質神経活動を特徴づける相対的不応性の効果を模擬するため、活動電位の発生後に短時間だけ活性化する抑制性の電流も組み込まれた。また、各細胞内のカルシウム濃度は、細胞外への排出過程を表す一次系のダイナミクスにより記述されている。活動電位の発生時には、細胞外からのカルシウム流入が起きることで、カルシウム濃度が一定レベルだけ瞬時に上昇するものとモデル化されている。

モジュラーネットワークを構成する神経細胞数(100 個)、モジュールの総数(4 個)をあらかじめ決めて、各モジュールに等しい数(25 個)の細胞を割り当てた。モジュール内とモジュール間の結合数をあらかじめ決められた本数に設定するという制約の下で、任意のニューロン間の結合をランダムに決定することで、モジュール回路を構築した。

単一モジュール内の発火特性を調べた研究では、モジュール内の結合数を変化させた時の、同期発火頻度の変化を解析した。その結果、モジュール内結合数が一定のしきい値以下の場合には同期発火は起きないが、結合数がこのしきい値を超えると、同期発火頻度が結合数に対してほぼ直線的に増加することが示された。過去の同様のモデルを用いた研究により、ランダム回路では、短時間に一定規模の局所的な神経興奮が発生することが、全体同期を引き起こすトリガーとなることが示されている。今回得られた結果は、モジュール内結合が密になると、同期発火を引き起こすのに必要な局所興奮が容易に形成されるため、同期発火が頻繁に発生するようになったと理解することができる。

さらに、モジュール内の結合数を固定した条件で、モジュール間の結合数と全体同期頻度の関係について解析した。但し、モジュール内結合数は、培養神経回路の実験結果と対応させるように、同期発火が一定の頻度で発生するように調整された。この解析においても、モジュール間の結合数があるしきい値以下である時には、全体同期が発生しないのに対し、結合数がこのしきい値を超えて増加すると、全体同期頻度が結合数と共に上昇して、最終的に飽和する傾向が示された。また、あるモジュール内の同期が全体同期に発達するためには、モジュール内結合数に対して非常に少ない（数パーセントの）モジュール間結合があれば十分であることが分かった。このことは、神経回路のモジュール性が、多数の神経間の情報伝達を効率的に行う上で有用であることを意味している。

各細胞のスパイク列の時空間分布を表すラスタープロット、及び各細胞内のカルシウム濃度の相関係数を調べることで、詳細な発火パターンの解析を行った。その結果、モジュール間結合数が十分大きい場合は、すべての神経が短時間に集中して発火する全体同期のみが起きるのに対し、モジュール間結合数が中間的な値をとる場合には、全体同期と部分同期が混在する複雑な発火パターンが生じることが明らかとなった。また、モジュール間結合数の増加に伴って、各細胞のカルシウム濃度の相関も強化されることが判明した。

これらの解析結果は、モジュール内とモジュール間の結合の相対的な影響を調節することにより、個々のモジュールの活動が全体に広がるプロセスを制御して、複雑な機能表現を創出することが可能であることを示唆しており、大変興味深い成果である。

（2）パターン化された培養神経回路を用いた実験結果

パターニングされた基板上に、ラットの大脳皮質から摘出した神経細胞を播種し、神経回路の自発的活動を蛍光カルシウムイメージングにより計測した。①4 つの正方形のモジュールを、直線(実線)で接続したパターン、②①に対して接続線を点線とすることで、回路全体のモジュール性を高めたパターン、③①に対してモジュール数を 16 に増やしたパターンについて活動を比較した。

その結果、点線接続パターンでは、実線接続パターンに比べて、接続部の神経束の太さが細くなることが観察された。また、点線接続パターンにおける全体同期発火の頻度は、実線接続パターンに比べて大幅に減少した。この結果は、接続線を点線状にすることで、モジュール間の機能的な統合のレベルが低下して、全体同期が抑制される傾向にあることを示唆している。また、モジュール数を 16 としたパターンでは、全体同期と部分同期が混在する複雑な発火パターンが観察された。

以上の結果は、マイクロパターン化された神経回路のモジュール性を制御することで、大域的な同期を抑えて、実際の脳で観察される複雑な応答が再現できる可能性を示唆しており、大変重要である。今後、シミュレーションによる解析結果と組み合わせることで、モジュラーネットワークの構造的な変化が、多様な機能表現に結びつく仕組みについてさらに検討を行う予定である。

（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）S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, S. Kubota, S. Sato, Modularity-dependent modulation of synchronized bursting activity in cultured neuronal network models, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2017), p. 1163-1168, William A. Egan Civic & Convention Center, Anchorage, 15 May, 2017.

（2）井手克哉，山本英明，守谷 哲，脇村 桂，谷井孝至，秋間学尚，久保田 繁，佐藤茂雄，庭野道夫，平野愛弓，“生体分子パターンの形状による神経細胞回路のモジュール間相互作用の制御”，第78回応用物理学会秋季学術講演会，2017年9月5日，福岡国際会議場，博多.

（3）守谷 哲，山本英明，井手克哉，秋間学尚，平野愛弓，庭野道夫，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同期活動のメカニズム”，電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会，2017年11月24日，東北大学，仙台.

（4）S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, S. Kubota, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, S. Sato, “Synchronization of spontaneous activity in modular neuronal network models”, Proceedings of 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Tohoku University, Sendai, 1 Feb, 2018.

（5）H. Yamamoto, S. Kubota, F. A. Shimizu, A. Hirano-Iwata, M. Niwano “Effective subnetwork topology for synchronizing interconnected networks of coupled phase oscillators”, Front. Comput. Neurosci., 12, 17 (2018).

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　（東北大学学際科学フロンティア研究所）

延べ参加人数：60 人

研究費
　物件費　100,000 円
　旅費　247,000 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、人工回路網の機能解析を進展させ、神経回路を構成する細胞数と同期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 30 年 2 月 1―2 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 6th 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30年2月1日（木）−2日（金）
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1日（木）
「On a brainmorphic hardware paradigm」Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)
「Design considerations for real-time digital architectures emulating spiking neural models」J. Madrenas (Technical Univ. Catalunya, Spain)
「Hebbian and anti-Hebbian learning for a quantum associative memory」S. Sato (Tohoku Univ., Japan)
「Stable lipid bilayers in microfabricated silicon chips as a platform for cell-free synthesized ion channel proteins」A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
「Dynamics and effective connectivity in neuronal cultures: from experiments to medical applications」J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)
「Single-cell manipulation of neuronal morphology and function using microfabricated substrates」H. Yamamoto (Tohoku Univ., Japan)

2月2日（金）
「Local control of axonal excitability in the hippocampus」H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
「Dynamic neural correlates of working memory phenomena in prefrontal cortex - new experimental findings and theoretical insights」P. Herman (Royal Inst. Technology, Sweden)
「Optimizing deep brain stimulation for treatment of Epilepsy and Parkinson's disease」T. Netoff (Univ. Minnesota, USA)
「Posture estimation from electromyography signals using a multi-layered neural network」F. Ishida (National Institute of Technology, Toyama College, 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、ミニマルブレインの動作原理を理解するために人工脂質二重膜を用いた再構成イオンチャンネルの安定な発現と計測技術の開発に成功し、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。加えて、酸化チタンの光触媒能を応用した新しい培養神経細胞の操作技術、グリア−神経相互作用のボトムアップ解析、さらには神経ネットワークの構造と活動パターンのモデル化に関する研究も共同研究が進み、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H30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1〜2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30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) D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, K. Ishibashi, M. Kato, T. Ma, R. Miyata, Y.Tozawa, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata.: “Mechanically stable solvent-free lipid bilayers in nano- and micro-tapered apertures for reconstitution of

cell-free synthesized hERG channels." *Sci. Rep. 7:17736 (2017).*

(2) S. Ohura, H. Kamiya: "Short-term depression of axonal spikes at the mouse hippocampal mossy fibers and sodium channel-dependent modulation." *eNeuro* 5(1): ENEURO.0415-17.2018 (2018).

(3) H. Kawano, K. Oyabu, H. Yamamoto, K. Eto, Y. Adaniya, K. Kubota, T. Watanabe, A. Hirano-Iwata, J. Nabekura, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki: "Astrocytes with previous chronic exposure to amyloid ß-peptide fragment 1–40 suppress excitatory synaptic transmission." *J. Neurochem.* 143:624-634 (2017).

(4) H. Yamamoto, S. Kubota, F. A. Shimizu, A. Hirano-Iwata, M. Niwano: "Effective subnetwork topology for synchronizing interconnected networks of coupled phase oscillators." *Front. Comp. Neurosci.* 12:17 (2018).

(5) 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, 027001 (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 (School of Music, University of Minnesota)

黄 佳維（東北大学 電気通信研究所　D1）

菅原 諒（東北大学 電気通信研究所　M1）

延べ参加人数: 5 人

研究費

旅費	154,000 円
物件費	58,400 円
国際特別支援費	200,000 円

［2］研究経過

The general purpose of the research is the realization of a creative and artistic application of the IM3D technology for motion tracking, developed 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 at the School of Music of the University of Minnesota, starting from mathematical music theory applied to music (combinatorics and music theory).

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. Its first prototype was completed in November, and we submitted a paper and video to a conference named NIME (New Interfaces for Musical Expression), and Academy of Arts. These were successfully accepted and will be presented in June 2018, and published in September 2018, respectively.

［3］成果

（3－1）研究成果

We developed a new musical interface, CubeHarmonic, with the magnetic 3D motion tracking system IM3D as shown in Figure 1. This system precisely tracks positions of tiny, wireless, battery-less, and identifiable markers (LC coils) in real time. The CubeHarmonic is a musical application of the Rubik's cube, with notes on each little piece. Scrambling the cube, we get different chords and chord sequences. 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 also measured by the LC coils located into the corners of Rubik's cube, and, depending on the position, we can manipulate 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.

Figure 2 shows a perspective from above of the cube and the magnets. The user can scramble the cube (blue arrow), getting new chords and chord sequences. The overall displacement of the cube (red arrow) changes the overall loudness and pitch; e.g., we can play a diminuendo to silence, or a crescendo with glissando. We can play quarter-tones, and adapt to other instruments' tuning.

The pitch-change option can be enabled or disabled. The notes can be customized, determining the degree of harmonic variability. In a performance setup, the combinations given by the cube may constitute a harmonic basis for the other instruments. There is no fixed-tempo sequencer. In Figure 3, we show cube playing featured in a composed cube-piano duo (Mannone's *Hello Cube!*) and in a free improvised trio (with percussion).

As noted above, we could implemented a prototype system and then showed a demonstration of actual musical performance by using our prototype system. For these purposes, Dr. Maria Mannone came and stayed with Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University twice. And our work is successfully accepted by the NIME conference. We owe our successful achievements to the support of ITL (international).

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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. The advantage over instruments such as *theremin* is that we can have chords, and an easier interface to play. Vibrato might be made possible. Next applications will include collaborative and more complex music with *theremin* and haptic devices and the improvement of the mobile app to simulate our instrument without IM3D. Tracking speed and precision, as well as *timbral* variety, will be improved in future prototypes. A more user-friendly interface is under development, to enable the performer in changing the initial note-material without any coding. A new visual cue with multiple views would allow the performer to more easily predict the upcoming combinations.

We will also include a MIDI output, enhancing the cube's compatibility with synthesizers and other electronic instruments. We can investigate the cube in classroom scenarios, to make tangible and enjoyable some abstract concepts.

［４］成果資料

Maria Mannone, Eri Kitamura, Jiawei Huang, Ryo Sugawara, Yoshifumi Kitamura: CubeHarmonic: A New Interface from a Magnetic 3D Motion Tracking System to Music Performance, Proceedings of NIME (New Interfaces for Musical Expression), pp. 350-351, June 3-6, Blacksburg, VA, 2018.



Figure 1: The Cube-Harmonic

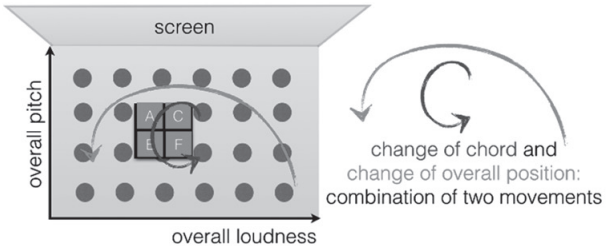


Figure 2: Movements and their musical output



Figure 3: Cube playing featured in a composed cube-piano with percussion in a free improvised trio.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（萌芽）

採択番号：**H27/B01**

プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓

［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：末光眞希
（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

犬竹正明（東北大学電気通信研究所）
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）
服部邦彦（日本工業大学　共通教育系）
船木一幸（宇宙航空研究開発機構）
佐々木浩一（北海道大学院工学研究科）
中島秀紀（九州大学総合理工学研究院）
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）
佐宗章弘（名古屋大学大学院工学研究科）
小紫公也（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
津島 晴（横浜国立大学大学院）
戸張博之（日本原子力研究開発機構）
田中雅慶（九州大学　大学院総合理工学研究院）
高木浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）
水野　彰（豊橋技術科学大学）
吉村信次（核融合科学研究所）
永田正義（兵庫県立大学　工学研究科）
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）
林　信哉（九州大学総合理工学研究院）
竹入康彦（核融合科学研究所）
市村　真（筑波大学数理物質科学研究科）

延べ参加人数：８０人

研究費

旅費　211,000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，微細構造から巨視的構造に至る線形・非線形的な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，プラズマ流中のマルチスケール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，マルチスケール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。

① 日 時：平成30年2月23日(金) 13:30 -17:50
2月24日(土) 9:30 – 11:30

東北大学工学研究科 電気情報系103講義室にて、「プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓」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120人程度であった.

（1） 挨拶・趣旨説明
安藤晃(東北大学)
（2）『LHDの重水素実験とイオン熱輸送改善の物理』
永岡 賢一(核融合科学研究所)
（3）『NIFS-NBTSにおける負イオンビーム中の非ガウス成分の実験観測』
波場 泰昭（名古屋大学)
（4）『宇宙・地上産業展開を目指した有磁場ＲＦプラズマ研究』
高橋 和貴(東北大学)
（5）『エレクトロスプレー現象を利用した高電流密度イオン源の開発と超小型宇宙推進機への応用』
鷹尾 祥典（横浜国立大学)
（6）『プラズマ切断機におけるプラズマー材料相互作用と溶融鋼の流動挙動の可視化』
竹中 裕亮（金沢大学)
（7）『ガスダイナミックレーザーの物理と分子振動緩和現象』
佐藤 浩之助(九州大学)
（8）『GAMMA 10 におけるイオンエネルギー分析器を用いたイオンの軸方向輸送の研究』
ジャンソウォン（筑波大学)
（9）『DT-ALPHA 装置における核融合炉ダイバータ模擬プラズマ中のイオン温度計測』
高橋 宏幸（東北大学)
（１０）『HYPER装置におけるプラズマー中性粒子相互作用と流れ形成』
寺坂 健一郎(九州大学)
（１１）まとめ，総合議論
安藤晃(東北大学)
（１４）実験室見学，フリーディスカッション

［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。

核融合科学研究所の永岡賢一氏からはヘリカル型磁場閉じ込め装置であるLHDにおいて、重水素実験が開始された件に関しての報告がなされた。イオン温度10keVの達成とそれに大きな役割をはたしている水素同位体効果とイオン内部輸送障壁生成を実験データ解析から議論した。イオン内部輸送障壁の形成には、イオン温度勾配依存性の抑制機構が寄与することが明らかとなった。

名古屋大学の波場 泰昭氏からはプラズマ加熱用負イオンビームの高性能化を目的として、核融合科学研究所のNBIテストスタンド(NIFS-NBTS)においてペッパーポット・エミッタンス計測器を開発し、負イオンビーム位相空間構造の実験観測を行った件に関しての報告がなされた。発表中では、垂直位相空間構造の計測から得た非ガウス成分の解析結果について紹介され、議論が行われた。

東北大学の高橋和貴氏からは高周波プラズマを用いた宇宙関連技術応用、エッチングやスパッタリングといった産業応用に関する報告が行われた。

横浜国立大学の鷹尾 祥典氏からは高電流密度イオン源の研究開発状況に関する報告がなされた。超小型衛星の打ち上げが激増する中で、真に小型で10 kg 以下の衛星にも搭載可能な推進機の需要が高まっており、講演中では、イオン液体を利用することで、推進剤供給機構の簡素化・小型化を図り、かつ、電界放出電子源の製作技術を利用することで、従来の実装密度を4桁増やした手法について紹介があった。

金沢大学の竹中 裕亮氏からはプラズマ切断技術に関する報告がなされた。プラズマ切断とは，陰極と鋼板の間にアークプラズマを生成し，鋼板を局所的に溶断する熱切断手法の一つである。しかし，鋼板に溶融鋼が付着してしまい切断品質を劣化させるという問題があり、溶融鋼の低減手法の開発が急務であった。講演では切断現象メカニズム解明のため，レーザストロボ撮影システムを開発し，今まで見ることのできなかった切断面における溶融鋼の挙動観測を行った結果についての紹介がなされた。

九州大学の佐藤 浩之助氏からはガスダイナミックレーザーの物理と分子振動緩和現象に関するレクチャーが行われた。主に学生向けの講演となっており、講演中では若手研究者に対する貴重な提言等がなされた。

筑波大学のジャンソウォン氏からは GAMMA

10/PDX における端損失イオンの制御を目的に ICRF 波動を用いた実験を行なった結果についての報告がなされた。閉じ込められているイオンのロス機構を明らかにするために端損失イオンエネルギー分析器を用いており、プラズマ中に励起する波動がイオンの流れに及ぼす影響を調べたものである。講演中ではプラズマの電位上昇による低エネルギーイオンの粒子束の上昇や、波動の共鳴による高エネルギーイオンの軸方向輸送等が確認された結果についての紹介がなされた。

東北大学の高橋 宏幸氏からはプラズマで体積再結合が進展する過程において、バルクイオンが果たす役割を実験的に調査する事を目的として Ion Sensitive Probe（ISP）を開発し、高周波プラズマ源 DT-ALPHA へ適用した研究に関する報告がなされた。開発した ISP の概要および、イオン温度の RF パワーおよび中性粒子圧力依存性計測結果が紹介された。RF パワー依存性の調査では、パワーの増加に伴うイオン温度の上昇が確認された。このイオン温度の増加は電子-イオン温度緩和を反映するものと考えられる。

九州大学の寺坂健一郎氏からは HYPER 装置におけるプラズマ－中性粒子相互作用と流れ形成という題目で講演頂いた。

以上により、大型装置から小型装置、またはプラズマ中の微視的構造から巨視的構造の形成に関する議論と，新たな応用研究に関する議論を行い、新たな反応場開拓に寄与する共同研究展開が促進されたといえる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究会では、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、それとともに電場形成や構造化、中性粒子との相互作用、磁場との相互作用など新規現象が発現している。本研究会では、これらのプラズマの流れ場形成や、関連した複雑な挙動、加速、加熱、計測手法などについて議論や情報交換を行い、普遍性のある物理現象の理解を進めることが出来た。プラズマ流による高機能性の発現と反応場を理解し、その応用展開についても紹介があったことで，分野を横断した研究課題を認識できた点は本研究プロジェクトの大きな成果であった。本研究会活動を基盤として、プラズマ流れが生み出す新機能性の発現と反応場の基礎研究および応用分野において、今後ますます究の発展・理解につながることが期待される。

［４］成果資料

(1) Nakagawa, Tsuchiya, and Takao, Jpn. J. Appl. Phys., **56**, (2017) 06GN18.
(2) 伊藤毅他：「プラズマ切断における磁気吹きとダブルアーク条件」，電気学会放電・静止器・開閉保護研究会，ED-13-076, SA-13-049, SP-13-021
(3) 高田伸浩他：「アーク陰極点における外部磁場印加時のアークプラズマ―陰極溶融池の動的挙動Ⅱ」，電気学会 A 部門大会，17-D-p2-3
(4) 竹中裕亮「スペックルノイズ低減によるプラズマ切断面における溶融鋼の挙動観測」，プラズマ／パルスパワー／放電合同研究会，PST-17-073, PPT-17-054, ED-17-091

採択回数	1　2　(3)

（先端・大型）

採択番号 **H27/B03**

量子測定の物理と情報通信

［1］組織

研究代表者：枝松 圭一
（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：枝松 圭一
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
小澤 正直
（名古屋大学大学院情報科学研究科）
井元 信之
（大阪大学大学院基礎工学研究科）
筒井 泉
（高エネルギー加速器研究機構）
福田 大治
（産業技術総合研究所計測標準部門）
仙場 浩一
（情報通信研究機構未来 ICT 研究所）
青木 隆朗
（早稲田大学理工学学術院）
飯沼 昌隆
（広島大学先端物質科学研究科）
鹿野 豊
（分子科学研究所協奏分子システム研究センター）
遊佐 剛
（東北大学大学院理学研究科）

延べ参加人数：12 人

研究費
旅費　　274,000 円

［2］研究経過

物理量の観測・測定は，自然科学において最も基本となる行為であるばかりでなく，情報通信における受信過程の基礎をなすものでもある．古典的には，対象系の状態を変化させずに物理量の正確な値を得る「理想測定」の存在を仮定するが，量子系に対する測定（量子測定）では，測定で得られる値は測定過程に依存して確率的に与えられるほか，測定過程が対象系に及ぼす反作用によって対象系の状態は変化するなど，その概念は古典的測定のそれとは大きく異なる．本研究では，量子測定における物理過程の基本的理解とその情報通信への応用に関して，物理，数学，工学，情報科学等の広い分野の研究者を集めて議論するとともに，大型プロジェクトの提案を目指した研究活動を展開した．

本プロジェクトは，本年度が第 3 年度であった．以下に，本年度開催した研究会の概要を記す．

東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究
「量子測定の物理と情報通信」研究会

【日時】平成 30 年 3 月 6 日（火）～　7 日（水）
【場所】東北大学電気通信研究所
本館 M209 セミナー室
【プログラム】
3 月 6 日（火）
13:30 開会，連絡事項
13:40 Le Bin Ho（大阪大）”Modular-value approach to nonlocal measurements”
14:10 Mark Sadgrove（東北大）”Chiral polarization response of a nanophotonic device”
14:40 阿部尚文（東北大）”Quantum measurement and interference of dynamically unpolarized single photons from diamond”
15:10~15:20　　休憩
15:20 井元信之（大阪大）「長最近興味を持っていること」
16:10 小澤正直（名古屋大）「不確定性原理の状態依存性”」
17:00 Lab tour，自由討論
3 月 7 日（水）
9:30　筒井泉（KEK）「弱値と量子測定：ABL 規則の解釈と混合状態における弱値」
10:20 飯沼昌隆（広島大）「エンタングルメントを利用した測定の不確定性の実験的評価」

11:10 鹿野豊（東京大）「重ね合わせラゲール・ガウスビームによる Gouy 位相の直接測定」
12:00~13:00　昼食
13:00~15:00　自由討論
15:00 閉会
（参加者：12 名）

［3］成果

（3－1）研究成果
本年度開催の研究会および参加者相互の議論を通して，量子測定の物理とその情報通信への応用に関する第一線の研究者による分野横断型ネットワークを構築し，大型プロジェクトの提案に向けた組織の基礎を形成することができた.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等
今後, 本プロジェクト研究の構成員が中心となり，科学研究費新学術領域，JST CREST 等の大型プロジェクトへの申請や，量子測定に関する国際会議，日本物理学会へのシンポジウム提案等を検討している，本プロジェクトにより，学内外の第一線の研究者との交流が飛躍的に活性化することが期待される.

［4］成果資料

1. Orthomodular-valued models for quantum set theory, Masanao Ozawa, The Review of Symbolic Logic **10** (4) 782-807 (2017).
2. Operational meanings of orders of observables defined through quantum set theories with different conditionals, Masanao Ozawa, Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science (EPTS) **236**, 127-144 (2017).
3. 竹内先生の数学的世界観：量子論理に基づく数学（特集：竹内外史と数学基礎論），小澤 正直，数学セミナー **57** (2) 28-33 (2018).
4. Quantum weak and modular values in enlarged Hilbert spaces, Le Bin Ho and Nobuyuki Imoto,, Phys. Rev. A **97**, 012112 (2018).
5. Experimental demonstration of robust entanglement distribution over reciprocal noisy channels assisted by a counter-propagating classical reference light, Rikizo Ikuta, Shota Nozaki, Takashi Yamamoto, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto, Sci. Rep. **7**, 4819 (2017).
6. Differential-phase-shift quantum-key-distribution protocol with a small number of random delays, Yuki Hatakeyama, Akihiro Mizutani, Go Kato, Nobuyuki Imoto, and Kiyoshi Tamaki, Phys. Rev. A **95**, 042301 (2017).
7. Quasi-probabilities in conditioned quantum measurement and a geometric/statistical interpretation of Aharonov's weak value, Jaeha Lee and Izumi Tsutsui, Prog. Theor. Exp. Phys. 2017, 052A01 (2017)
8. On the relation between measurement outcomes and physical properties, T. Nii, M. Iinuma, and H. F. Hofmann, Quantum Stud.: Math. Found. 2017, DOI 10.1007/s40509-017-0114-1
9. Derivation of the statistics of quantum measurements from the action of unitary dynamics, K. Hibino, K. Fujiwara, J.-Y. Wu, M. Iinuma, and H. F. Hofmann, Eur. Phys. J. Plus **133**, 118 (2018)
10. Dynamically unpolarized single-photon source in diamond with intrinsic randomness, N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, and K. Edamatsu, Sci. Rep. **7**, 46722 (2017).
11. Polarization response and scaling law of chirality for a nanofibre optical interface, M. Sadgrove, M. Sugawara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, Sci. Rep. **7**, 17085 (2017)
12. 非古典光の基礎，枝松圭一，光学 **47** (2)，48 (2018)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：**H27/B04**

固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用

［1］組織

研究代表者

松倉　文礼（東北大学材料科学高等研究所）

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

家田　淳一（日本原子力開発機構）
大江　純一郎（東邦大学）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
齋藤　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）
宗片　比呂夫（東京工業大学）

延べ参加人数：１５人

研究費

旅費　149,000 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、トポロジカル絶縁体と多彩である。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 3 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・計算・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 2018 年 1 月 26 日に東北大学電気通信研究所で開催した。講演者と講演題目は、

1. 相馬清吾（東北大学）
「高分解 ARPES でみる高機能磁性材料の微細電子構造」
2. 橋本祐介（東北大学）
「光によるスピン波分散関係の直接観測」
3. 森田健（千葉大学）
「InGaAs 量子井戸における時空間スピンダイナミクス」
4. 多々良源（理化学研究所）
「スピントロニクス現象の有効電磁場理論」
5. 千葉大地（東京大学）
「フレキシブル基板上のスピントロニクスデバイス」
6. 三輪真嗣（大阪大学）
「レザバコンピューティングの基礎とスピンダイナミクスの演算能力」
7. 林将光（東京大学）
「金属ヘテロ構造におけるスピンホール・スピンネルンスト効果」
8. 家田淳一（日本原子力研究開発機構）

「反強磁性体のラシュバ効果と磁気異方性」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することができた。スピン現象の観測を通して、半導体(InGaAs)、金属(Pt、Ta)といった様々な物質中のスピン緩和時間、スピン-軌道相互作用やジャロシンスキー―守谷相互作用の定量的評価が可能となった。また、角度分解光電子分光法によるスピントロニクス材料の評価、新しい手法であるスピン波トモグラフィによるスピン波分散関係の観察、フレキシブル基板上のスピントロニクス素子の応用の提案といった最新の情報を共有することができた。また、スピントロにクス素子の人工知能への応用の可能性もシミュレーションにより示された。スピン・ダイナミクスにより生じるスピン起電力や反強磁性体中のラシュバ効果等について、理論的側面からの議論も行った。

（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。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化を図り、世界的に競争の激しい分野での日本の優位性を維持する。

［4］成果資料

(1)T. Dohi, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effect on spin-wave resonance in a nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junction," Appl. Phys. Lett. 111, 072403 (2017).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（先端・国際・産学）

採択番号：**H27/B05**

無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究

［1］組織

代表者：山口　正洋
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：サイ ラナジット，田中　聡，松木　英敏，佐藤　光晴，宮澤　安範，高橋　昭博，畠山　賢介（東北大学未来科学技術共同研究センター）
バート　ナバカンタ，シバシャンカール
スリニハスラオ（インド理科大学院）
ウー　ミンゾン（コロラド州立大）
石田　光一（ドレスデン工科大）
チェン　ヤジー（ロジャース）
林　優一（ルーベン工科大・奈良先端大）
石上　忍（東北学院大）
石塚　洋一，志谷　和真（長崎大学）
秋山　佳春（NTT ネットワーク基盤技術研究所）
大西　輝夫（NTT ドコモ先進技術研究所）
沖米田　恭之（昭和飛行機工業）
小西　泰司（ネオアーク）
近藤　幸一（NEC トーキン）
佐藤　敏郎（信州大学）
戸花　照雄（秋田県立大学）
中居　倫夫（宮城県産業技術総合センター）
永田　真（神戸大学）
中山　英俊（長野高専）
益　一哉（東京工業大学）
松本　泰（情報通信研究機構）
室賀　翔（豊田高専）
和田　修己（京都大学）

研究費：旅費　290,000 円
国際特別支援経費　200,000 円
産学特別支援費　50,000 円
延べ参加人数：32 人

［2］研究経過

移動体通信のトラヒックは今後も急速な拡大が予測され、広帯域の周波数を確保するため、2020 年頃には、SHF 帯(3～30 GHz)に及ぶ更に高い周波数への移行が予想されている。一方で、2020 年前後には、SiC や GaN 等の高速パワーデバイスとそれを用いたインバータ機器やワイヤレス電力伝送システム（WPT）等の新たな電波利用機器の普及が見込まれる等、外来ノイズの増加が懸念されている。家庭や車内のように家電製品や電子機器等が稠密に設置された環境では、スイッチングノイズが SHF 帯まで及ぶ恐れがあり、これが将来の移動通信システムの安定な運用を阻害する要因となり得ると考えられる。

本研究会では、700MHz から 6GHz までの周波数を対象とし、外来ノイズから無線設備の安定的な運用を確保するために必要な電波環境改善技術の実現に資することを念頭に、無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法を提案することを目的とした。

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった。前年度は，雑音耐性 10 dB 以上向上と受信感度の低下防護を両立させる磁性材料として，Co 系アモルファス薄膜／NiFe 多結晶膜、面内等方性を有する Co-AlN 系グラニュラ膜、および六方晶フェライト微粒子材料などが有用と考えられること、疑似分布定数型構造を有するコイル部品のノイズ抑制周波数の広帯域化および周波数チューニングについて原理確認レベルで検証したこと、光磁気光学結晶を用いた高速（時間分解能 45 ps 以上）かつ高精度（空間分解能 1μm 以下）に向けた近傍磁界分布計測が可能であること、無線通信性能評価に必要な 170 dBm/Hz までの微小信号の測定を可能とする不要電波測定法を開発し LTE 方式（2 GHz 帯）の最小受信感度（−100 dBm）を参考指標として、計算機環境における移動体通信シミュレーションを用いて評価することに成功したことなどの成果を挙げた。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，これらの成果をより高度に発展させる研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

5 月 21 日、東北大、神戸大、NEC トーキンおよび

昭和飛行機の関係者が参集し（仙台）、インバータ機器から発射される不要電波の測定について意見交換を行い、これに基づいて随時、個別テーマについて関係者間で研究討論会を行った。

その一方で、通信端末性能への不要電波の影響について、より先端的な議論を行った。10 月 30～31 日には石塚洋一氏・志谷和真氏（長崎大）と DC-DC コンバータにプレーナトランスを適用した場合の不要電波の強度と帯域について、回路方式、トランス構造、磁性材料などの寄与について情報意見交換を行った。（３－１）特別支援（国際・産学）に係る研究成果も参照されたい。

研究成果の一端を紹介するため、7 月 13 日に次の公開ワークショップを実施した。この際、戸花照雄氏（秋田県立大学）も議論に参画した。

公開ワークショップ「不要電波の広帯域化に対応した電波環境改善技術」
日時：2017 年 7 月 13 日(木)
場所：東北大学片平さくらホール
主催：東北大学未来科学技術共同研究センター(NICHe)
共催：・IEEE EMC Society Sendai Chapter
・東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会 H27／B05「無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究」
協賛：
・IEEE EMC Society Joint Japan Chapter
・IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Section Chapter
・IEEE Solid-State Circuits Society, Kansai Chapter
・電子情報通信学会 EMCJ 研究専門委員会
・電子情報通信学会集積回路研究専門委員会(ICD)
・電気学会マグネティックス技術委員会
・電気学会高周波磁性材料の実用化のための技術動向調査専門委員会
・東北大学未来科学技術共同研究センター次世代移動体システム研究会
・東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会 H28／B10「磁気光学効果を利用した磁界計測システム」
・東北大学通研工学研究会 EMC 仙台ゼミナール
・東北大学通研工学研究会スピニクス研究会
後援：総務省

次第
ご挨拶
・総務省総合通信基盤局 電波部 電波環境課 電波利用環境専門官　関口　裕
・東北大学未来科学技術共同研究センター センター長　長谷川史彦
基調講演Ⅰ
・NTT-R&D における通信 EMC への取り組み
NTT ネットワーク基盤技術研究所　秋山佳春
研究開発報告
・研究開発の概要～インバータ機器と電波環境～
東北大　山口正洋
・受信回路用ノイズ抑制磁性材料
東北大　佐藤光晴
・ノイズ抑制シートによるインバータ機器の GHz 帯までの放射ノイズ抑制
トーキン　近藤幸一
・非侵襲光磁気プローブ
東北大　石山和志
・SiC・GaN パワーデバイスによる WPT 共通テストベンチ　昭和飛行機工業　沖米田恭之
・スイッチング機器による不要電波と移動通信へのインパクト
東北大　田中　聡、神戸大　永田　真
基調講演Ⅱ
・パワーエレクトロニクスの EMI と解析手法
首都大学東京　清水敏久
関連技術の動向
・磁気光学効果を用いた磁気計測技術
ネオアーク　目黒　栄
総括と閉会
京都大学　和田修己
(参加者 92 名)予稿集を下記よりダウンロードできる。http://www.niche.tohoku.ac.jp/?p=2188

［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，受信側対策技術では対策材料の選定指針として入力損失比 Ploss/Pin を参照して混入ノイズの具体的低減値を実現する設計法を提示し、六方晶およびスピネルフェライト微粒子による磁性シートで実験的に確認を行う段階に達した。

第２に、送信側対策技術では、GaN スイッチング素子による kW 級 WPT 装置に対してノイズ低減効果を実証している。

第３に、光磁気プローブでは可搬型装置の改良によりノイズ発生・伝搬箇所を低侵襲で素早く特定できることが実証された。

第４に、GaN による kW 級 WPT 装置が稼働し、公道走行が可能な電気自動車もノイズ研究のテストベンチに加わり、モビリティの高いテストベンチを構築できた。無線通信性能評価では、特定周波数で無縁通信性能の劣化が受信回路へのノイズ混入で発生することを初めて実証できた。

（特別支援（国際・産学）に係る研究成果）

5月8～9日にバート　ナバカンタ教授、シバシャンカール　スリニハスラオ教授（インド理科大学院ナノエレクトロニクス研究センター）が来訪し、不要電波の無線通信機器への混入抑制のための材料技術に関する研究打合せを行い、マイクロ波アシスト法によるスピネルおよび六方晶フェライト材料の作成とデバイス応用について共同研究を実施した。

5月24日にはチェン　ヤジー氏（ロジャース（株）、アメリカ）が来訪し、不要電波抑制のための磁性体の高周波透磁率計測に関する装置見学と情報意見交換を行った。

7月17～28日にはサイ　ラナジット助教（未来科学技術共同研究センター）がインド理科大学院ナノエレクトロニクス研究センターを訪問し、バートナバカンタ教授、シバシャンカール　スリニハスラオ教授と不要電波抑制のための、マイクロ波アシスト法によるスピネルおよび六方晶フェライト材料の共同研究、および情報意見交換を行った。

11月7日には、MMM2017（アメリカ、ピッツバーグ）の折に研究代表者とウー　ミンゾン准教授（コロラド州立大）が面会し、高周波フェライト材料の共鳴周波数制御とその無線機器への応用について、情報意見交換を行った。

12月25～26日には林優一教授（ルーベン工科大、奈良先端大）が来訪し、工学研究会EMC仙台ゼミナールの共催で「漏えい・妨害・改変の3つの視点からみた電磁情報セキュリティ」と題する講演を行い、これに基づいて不要電波へのセキュリティ攻撃に関する最新の情報意見交換を共同プロジェクト研究会メンバーと行った（参加者19名）。

1月10日には石田光一博士（ドレスデン工科大）が来訪し、電波利用および不要電波の広帯域化に関する動向紹介と情報意見交換（「OOK/AM送受信機の開発：分野の背景や今後の方向性を含めて」と題して最近の研究報告を行い、共同プロジェクト研究会メンバーと意見交換を行った。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

(1) 測定誤差の原因となる被測定対象周辺の電磁環境の攪乱を発生させず、6 GHzまでの近傍電磁界を高空間分解能で測定可能とする技術を提案できる。

(2) 無線設備に搭載する電源装置等からの高域にわたる放射雑音（スイッチングノイズ）、及び雑音源近傍にある移動通信を行う無線局の受信部に侵入する不要電波を、電波暗室の内部空間および時間軸上で広範に記録し、スプリアスの発生と低減を定量的かつ動的に評価する手法を提案できる。

(3) SHF帯の漏えい電波が少なく今後普及が見込まれる同周波数帯の無線システムと問題なく共用できる高速スイッチング素子によるインバータ回路および機器の設計技術を提案できる。

(4) 国際競争力の強化を実現するため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動に貢献できる。

（研究分野への貢献）

・プロジェクト名：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
・資金制度、研究費名：電波利用料制度、電波資源拡大のための研究開発
・配分機関名：総務省
・研究期間：平成27年8月31日～平成31年3月31日（予定）

（その他）

・関連シンポジウム

2017 IEEE International Magnetics Conferece (Intermag2017)におけるシンポジウムSMART CITY, SMART LIVINGにおいてMagnetic Integrated Passives for Information and Communication Technologyを招待講演（成果資料（4）参照）。

・関連学会学会誌特集

電子情報通信学会論文誌B, Eシステムを支えるEMC技術論文特集に招待論文「不要電波の広帯域化に対応した電波環境計測技術と改善技術」を掲載（成果資料（3）参照）。

［4］成果資料

（1）T. Igarashi, K. Kondo and S. Yoshida, “Design and evaluation of noise suppression sheet for GHz band utilizing magneto-elastic effect,” J. Magn. Magn. Mater., 444, pp. 390-393 (2017).

（2）Ranajit Sai, Mitsuharu Sato, Shigeru Tanaka, Shin Yabukami, Masahiro Yamaguchi, “Co/Ti-substituted SrM-based composite sheets: High frequency permeability and electromagnetic noise suppression above 6 GHz”, J. Magn. Magn. Mater. (2017, In press).

（3）山口正洋，田中　聡，吉田栄吉，石山和志，永田　真，近藤幸一，沖米田恭之，佐藤光晴，宮澤安範，畠山賢介，“不要電波の広帯域化に対応した電波環境計測技術と改善技術（招待論文）”，電子情報通信学会論文誌B, Vol.J101-B No.3 pp.204-211 (2018).

（4）M. Yamaguchi, S. Tanaka, J. Ma, Y. Miyazawa, M. Sato, M. Nishizawa, M. Nagata, K. Ishiyama, K. Kondo, Y. Okiyoneda, ″Magnetic Integrated Passives for Information and Communication Technology (Invited)″, INTERMAG Europe 2017, BA-03, Dublin, Ireland, Apr. 25, 2017.

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　3（萌芽）

採択番号： **H27/B06**

科学の客観性と人間性との調和を目指ざす科学教育のあり方と実施方法

［1］組織

研究代表者　津田一郎（中部大學創発学術院）
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
高草木薫（旭川医科大学脳機能医工学研究セ）
坂上雅道（玉川大学脳科学研究所）
平川秀幸（大阪大学ＣＯデザインセ）
片山統裕（東北大学情報科学研究科）
櫛田孝司（大阪大学理学研究科）
桜井芳雄（同志社大学脳科学研究科）
沢田康次（東北大学高等研究教育院）
池上高志（東京大学総合文化研究科）
多賀厳太郎（東京大学教育学研究科）
鳥海光弘（東京大学、ＪＡＭＳＴＥＣ）
中小路久美代（京大学際融合教育研究推進セ）
野家啓一（東北大学文学研究科）
羽田貴史（東北大学高度教養教育学生支援機構）
中村教博（東北大学融合教育セ）
山内保典（東北大学融合教育セ）
矢野雅文（東北大学電気通信研究所）
外山芳人（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：１９人
研究費 旅費　　262,000 円

［2］研究経過

ガリレオ、ニュートン以来４世紀が経過し、自然を理解する科学と人類に役立つ道具の製作技術の発展には目を見張るものがある。他方で、この発展によって、人間性に与えた影響と、人類の持続性に種々の問題を作り出した。本研究は、科学教育と研究において蔓延する科学法則の因果性への信頼と、人間性との関係を明らかにすることを目的とする。

本プロジェクトは，本年度が第３年目であった。初年度は、問題点の共有とメンバー全員の見解の披露と各人の問題に関する討論を行い、前年度は，科学の因果律(野家)、主観の実証科学の可能性(大堀)、科学教育の現場からトランスサイエンス(平川)、教養教育(羽田)の議論を行い、現代の科学教育の問題点を明らかにした。本年度は，前年度までの成果を踏まえながら,「科学の因果性の限界と科学教育の人間性への影響に関する研究」を展開した。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

I. 研究会「科学の因果性の限界と人間性」

平成 29 年 11 月 15 日－16 日　（参加者１１名）

「現代科学に対する認識を深める作業」

講演１.「3.11 の教訓と科学の使命」大澤真幸氏（社会学）：テーマ１.「裏返しの終末論」福島事故をノアの箱舟にたとえ、終わった後から過去を振り返ると当たり前のことをなぜ事前にできなかったか？歴史的に見た科学の特異性を語る。

テーマ２、「科学は人間にとって何？」科学は、人類の知識からすると特異的で、人類に向いていない。近代科学は 16 世紀からで、そのことを中世以前の人類は納得しない。歴史的にみて極めて特異的。16 世紀以降、知識量がどんどん増大するが、知のシステムは知るに値するものなのか？いくら知っても、我々には知らないことがある。誰もがすべてを知っている訳ではない。西ヨーロッパの地図には空白がなかった 16 世紀以前は。近代科学は、我々は全てを知ってはいないことを告白した。嘗ては、knowledge（技術知識）と wisdom（知恵）は関係がなかった。近代科学はこの二つに交流が生じた。嘗ては、宇宙に目的があった。近代科学には目的はない。宇宙に何の意味もないことは耐え難くさびしい。科学は偶然性を受け入れない。

講演２.「人と技術の系の様相についての創造と想像の知」小路久美代氏（インタアクションデザイン）：Design is Science of Artificials. Design as solving wicked problems.「人と技術の系の様相についての創造と想像の知」という観点か意思決定の科学との深い関係において工学との違いを語る。

デザイン学と他の学との違い；自然科学は物事がどうなっているか (How things are?) 一方、デザインは物事がどうあるべきか (How things ought to be?) の科学。どういうつもりで人はデザインしたか？ また、人がどこまで考えてデザインするか？問題と解が同時進行 Tacit knowledge (暗黙知) 馬の artificials;ロボット馬かトラックか？人間の知っていることには、表出することができない類のことがある。人間の感覚代行；病気か病気の結果としての症状にすぎないのか知らないとデザインできない。

講演３．「高等教育研究から見た日本の科学教育の問題」羽田貴史氏 １．3.11 が見せた日本の科学者の姿；事故後の科学者の対応のまずさ、そのメンタリティや価値観は何に由来するのか。大学教育はどう関係するのか？1 つは、現場で起きていることへの想像力の欠如、第２に日本人が取り付かれている責任追及への怖れ。「責任を取りたくない＝非難されたくない」と言うメンタリティは問題解決のための最善の努力をとれない行動となる。第３は、経験の狭さと、組織的行動に対する忠誠心で、組織にお伺いを立て、計画を立てお墨付きをもらわないと動けないメンタリティである。日本崩壊の危機にあっても、首相の了解がない理由で１号機への海水注入を中断した例など。以下、わが国の一般教育・教養教育の歴史、官邸主導の高等教育政策と大学ランキングという「大人の偏差値モーティベーション」滅びの道をたどる大学教育。
２．教養教育を再生するために必要なこととして、
１.専門教育による能力育成を超えた視点を大学教育論として持つこと。２．教養教育のあり方を探求する専門家集団を持つこと。３．大学行為句のあり方を高等教育研究者だけに任せないこと。４．育成する教養と科目とを直接対応させないacross the curriculum を開発すること。５．正課教育・非正課教育の区分を声、学生に豊かな経験を与えること。

講演４．「東北大学の科学教育の現状と全学教育での再構築試案」中村教博氏 教養部解散のあと、東北大学の理系基礎教育は４単位の基礎科目、展開科目（概論＋数学、物理、化学、生物、地学）、基礎ゼミと自然科学総合実験から成される。
現状と問題点；理系学部は異分野間の共同研究が普通に行われるので、総合観が必要。学生はテストのためによく勉強している。 人間性と科学の限界・人工知能との問題がある。高校での未履修問題があるが,「自然科学総合実験」は高校程度の知識で構成デザインして、「論理的思考力の養成」「複雑な自然現象を考え、本質を見抜く力を育てる」「科学的な文章を書く力を育てる。」を目的とする。

講演５．「科学と社会を架橋する−科学コミュニケーション能力の育成」山内保典氏.
１）専門分野の限界を知らせる。専門家同士の意見が衝突する現場を見せる。何が真実か？何が問題なのか？専門家に対する不信感。
２）トランスサイエンス
・類型 I. 科学では答えを出せないものが或る。
・類型 II. 社会科学の不十分さ、個人による違い。
・類型 III. 価値による違い。社会と科学の共進化。
３）分野の相対化。学際的なアプローチが必要な問題について、学際的なメンバーで議論する。異分野コミュニケーション(議論→プレゼンテーション)
目的；学際的なコミュニケーションやアプローチの困難さを体験させる。教室と社会や市民の意見をつなげる。 (World Wide Views 2009)
各自の専門性を活かせる学内プロジェクトに参画する。自分の学びを自分で決める(「遊学」ためして、つないで、ふりかえる。）自分ごととして考える。大学内の研究に関する規定など、自分の将来にかかわる問題を考えさせる。社会人学生などを通して社会を垣間見る。教室や大学で学んだことが社会に役立っていることがわかる。

［3］成果

（3－1）研究成果;
本年度は，上記研究会を中心に以下に示す研究成果を得た。
〇現代科学の根底にある仮定は、生命も含めた自然は、実験事実と論理で推論できるとするところにある。そして、その例題が数多く示され、それに基づく産業が生まれ、工学が発展し、人類に多大の便宜差を提供してきた。一方で、20 世紀の後半からの核問題、21 世紀の初頭から再生医療やネットワーク社会の将来などに懸念も生じていること。
〇人間が生み出した科学と人間との関係が不明のままで、科学教育を行っている現状は、真の意味での科学の精神に反するものであること。
〇現代の科学社会をこのように不明瞭にしている大きな要素は、我々が人間をよく知らないという驚くべき事実に原因がある。初等中等教育でも高等教育でも人間の科学的教育が殆どない。人間と言う一番複雑なシステムをほとんど理解しないで、極めて単純な人工システムのことを学んでいる。その結果、人間性を放置し、単純な人工物と暮らす社会を作ってしまったこと。

○『科学法則が正しい結果を与えるのは、閉じた系だけであり、閉じた系は実際存在しない』こと。
○『たとえ閉じた現実系があったとしても、現実の複雑系においては、単純な物理法則ではその因果関係を人は予言できないことは証明済みである』こと。
○このことは、生物学の DNA セントラルドグマの崩壊や、素粒子物理学現状からも明らかであり、またこの認識が、人間と AI との正しい関係を与えること。
○『人間は原理的に自然界を近似でしか理解できないこと』と『人間は人間のことを近似的にさえよく知らない』ことを科学教育に含める必要があること。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献;
「通研共プロ研究会 OUTPUT MEETING」(出席者 ; 津田、大堀, 沢田、矢野) を平成 30 年 1 月 19 日 (金) 通研の大堀研究室で行った。
研究会の output 方法を議論した。OUTPUT の方法として,1. 日本学術会議、物理学会、科学教育学会などにおける発表。２．関連書籍の出版、３．各大學の教育プログラム、学生実験に反映することを検討した。

［４］成果資料
(津田) 1. Ichiro Tsuda, Finding mathematics in dynamics of the brain: Walter Freeman as an outstanding applied mathematician, Journal of Consciousness Studies, 25(2017) 121-130.
2. Ichiro Tsuda, Computational theory for constra- ined self-organization in neural systems and its applications. Advances in Neuroinformatics 2017. Doi ; 10.14931/aini2017.kl.3<http://dx.doi.org/10.14931/aini2017.kl.3>
3. Namiki T, Tsuda I, Mathematical Structures in the Brain Dynamics of Epilepsy. Advances in Neuroinformatics 2017. doi: 10.14931/aini 2017. osiv.4
<http://dx.doi.org/10.14931/aini2017.osiv.4>
4. Ichiro Tsuda, Self-organization with constraints —The significance of invariant manifolds, Proc. of the 6ˆth International Conference on Cognitive Neurodynamics (to be published in 2018, Springer-Verlag)
5. 津田一郎、“ガリレオからニュートンへ―因果関係を否定する法則の定式化、現代思想特集「世界で最も美しい理論」（青土社、２０１７年２月）

(沢田) 1.「科学の因果律と人間性は調和できるか、実践する科学の倫理」(ed. 梶谷、社会評論社 2018)
2. Conversion time to heat of the vortices injected only initially is much longer than the ones in a well-developed equilibrium turbulence (Physica A, 2018 to appear)

(野家) 1.” Phenomenology in Japan: Its Inception and Blossoming” in Michiko YUSA (ed.) *Contemp. Japanese Philosophy*, Bloomsbury, 2017.
2.” Nishida Kitaro as a Philosopher of Science (enlarged version)” in Michiko YUSA (ed.) *Contemp. Japanese Philosophy*, Bloomsbury, 2017.
3.「科学の成り立ちと知の変貌」、JST 研究開発戦略センター (編)『科学をめざす君たちへ』慶應義塾大学出版会、2017 年 3 月
4.「＜分析哲学＞私論」、『現代思想』第 45 巻 21 号、2017 年 12 月臨時増刊号
5.「カント歴史哲学と物語り論」、牧野英二 (編)『新・カント読本』法政大学出版局、2018 年 2 月
６.「＜教養＞のための弁明」、山脇直司 (編)『教養教育と統合知』東京大学出版会、2018 年 3 月
(羽田) １．(単著)「危機に立つ教養教育ー大綱化後 4 半世紀の課題と将来 指定討論『教養教育の何が危機なのか』」『大学教育学会誌』39-2, 2017 年, 24-28. ※依頼論文
２．(単著)「テクノサイエンス・リスク社会における研究倫理の再定義」『高等教育研究』20, 日本高等教育学会, 2017 年, 11-29. ※依頼論文
３．(単著)「STEM 教育をめぐる国際動向と日本の課題」『大学教育学会誌』39-1, 2017 年, 81-85. ※依頼論文.
１．(単著)「書評 有本章『大学教育再生とは何か 大学教授職の日米比較』」日本教育社会学会『教育社会学研究』第 101 集, 2017 年, 217-220.
２．(単著)「アルカディア学報 608 米国高等教育の問題ー学問の自由をめぐる葛藤」『教育学術新聞』2017 年 4 月 18 日号.
３．(単著)『PD ブックレット 研究倫理マネジメントの手引き』東北大学高度教養教育・学生支援機構, 2018 年. 3 月,
４．(編著)『グローバル時代の教養教育を求めて』東北大学出版会, 2018 年 3 月, 全 320p.
５．(編著)『高等教育ライブラリ 13 数理科学教育の展開』東北大学出版会, 2018 年 3 月, i -viii, 35-47, 全 209p.

(矢野) １．矢野雅文 ; 「人間と調和するホスピタリティ科学技術ー持続可能な人間・自然・地球環境との共存ー」iichiko, vol. 136, pp77-101 (2017)

採択回数	1	2	3

（大型・国際）

採択番号：**H27/B07**

脳内の並列情報処理

［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：
酒井　宏（筑波大学）
西田眞也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
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）
田中真樹（北海道大学）
一川　誠（千葉大学）
吉田正俊（生理学研究所）
富田浩史（岩手大学）
金子寛彦（東京工業大学）
齋木　潤（京都大学）
小川　正（京都大学）
渡邊克己（早稲田大学）
七五三木聡（大阪大学）
佐藤暢哉（関西学院大学）
鮫島和行（玉川大学）
行場次朗（東北大学）
大内田裕（東北大学）
栗木一郎（東北大学）
松宮一道（東北大学）
河邉隆寛（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
櫻井研三（東北学院大学）
大木　紫（杏林大学）
村田　哲（近畿大学）
下條信輔（カリフォルニア工科大学）
Søren Andersen　（アバディーン大学）

延べ参加人数：28 人
研究費：旅費　　250,000 円
国際特別支援費　200,000 円

［2］研究経過

人間の情報処理機構を理解する事は，今後の情報通信技術の発展にとって必要不可欠である．例えば，インターネットの発達は，多くの人に恩恵をもたらしたが，新しい技術の発達は必ずしも人に使いやすいものではなく，また利用できない人を排除する傾向も生み出している．そのような環境の中で，より人間性豊かな社会を作り出すためには，人間の脳機能を理解しその特性に合わせた技術を確立することが必要である．一方，脳機能の理解のためには，生理学，心理学，情報科学，工学，生物学，医学など多岐にわたる分野で様々なアプローチにより研究が進んでいる．それぞれの分野での研究の発展はめざましいものがあるが，脳機能の全体的理解からその応用までを考えると，分野をまたぐ情報交換や共同研究の重要性は明らかである．特に情報通信技術においては，人間と情報端末を総体として捉える視点から，脳機能を理解することが重要である．本プロジェクトでは，意識的処理／無意識的処理，トップダウン／ボトムアップ，さらには正常／鬱状態などの脳内の並列処理に着目し，将来の情報環境とのインターフェース技術も含めた検討を行うことを目的に活動した。

平成 30 年 2 月 16 日 に「脳内の並列情報処理」研究会を開催し、坂井 信之 先生（東北大学）、安部 健太郎 先生（東北大学）、鯉田 孝和 先生（豊橋技術科学大学）、松宮 一道 先生（東北大学）を講演者として、関連研究分野の将来の方向性を見据えた議論を行った。それに加えて国際共同研究推進型の特徴を生かし，複数の海外の研究者を招聘し，下記の講演会を企画した。平成 29 年 6 月 15 日には，アバディーン大学のアンダーセン（Søren Andersen）教授、9 月 15 日には、国立台湾大学のイェ（Su Ling Yeh）教授と中国医科大学のリ（Jingling Li）教授、11 月 22 日にはカリフォルニア工科大学の下條信輔教授と豊橋技科大のシェハタ博士（Mohammad Shehata）を招き，講演会を企画した。それらの企画にはのべ約 100 名の参加者があった。

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会における講演では、従来の知覚研究の発展として、異なる脳機能に関する最新の内容について議

論した。「フレーバーの質情報と価値情報の並列情報処理」（坂井）においては、味覚や嗅覚の研究手法の紹介など基本的な知見を始め、講演者の研究成果を含む多岐に亘る内容の紹介があった。特に、味覚に関する他の感覚の情報の関与は、各感覚の並列的処理とそれらの統合過程を考える上で重要である。特に、味覚が嗅覚情報（嗅覚センサーからの信号）に直接的影響を受けることを示す研究は、嗅覚センサーの信号が味覚において主要な役割を担っていることを意味し、感覚器と感覚の間の関係を見直す必要を示唆している点で重要である。「小鳥の音声学習における脳内情報処理」（安部）においては、鳴禽類の「歌」や「さえずり」による個体間のコミュニケーション能力の発達を中心に、学習による脳内の神経ネットワークの変化に関連する研究の紹介があった。特に、ジュウシマツが発する音声シーケンスに人為的に音素の並びの改変を施し、そのような改変「歌」を判別できるかを行動学的に解析した結果、些細なシーケンス改変も敏感に識別することができることを明らかにした研究は、人の言語獲得との関連においても、興味深い。実際、識別できるシーケンス改変と識別できないシーケンス改変が飼育している複数個体に共通することから、ジュウシマツはこのような音声シーケンスの内の法則性を後天的に獲得することを示唆する。「サル下側頭皮質の色カテゴリー認知のダイナミクス」（鯉田）では、サルの単一電極記録実験から、色の名前（色カテゴリー）の判断に関する処理が、色の違いを見分ける課題（弁別課題）と異なり、ニューロンレベルの活動の変化があるとの報告があった。色のカテゴリー評価については、「色名に関する文化差および個人差の研究」（H29/A16）において進めている、言語間、個人間の類似と相違にも関連していて、種による類似性などの議論も行った。「運動視からみた知覚と行動」（松宮）では、行動に利用される視覚情報の問題を、運動残効という初期視覚レベルと考えられてきた現象を利用して研究した結果を報告した。多くの研究によって行動と知覚が関連するのと同様に、身体と知覚の関連も指摘されている。手の近傍における視覚処理には、その手の位置との関係（手中心座標系）によって視覚処理をしている神経機構があることを、運動残効を利用して明らかにしたとの報告があった。

その他、アンダーセン教授は、脳波計測による特徴注意の計測について、下條教授によるクロスモーダルな知覚の初期レベルの相互作用、シェハタ博士の２人の被験者の間の脳波計測による、無意識の協調運動の研究について、イェ教授はメラノプシン細胞の働きとブルーライトによる睡眠妨害効果の研究、リ教授は方位差に基づくパターンの誘目性による注意効果の抑制の研究などについて講演した。いずれも脳機能の並列性を指示する研究成果であり、それらを以下に整理するかが今後の課題である。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究会（B）区分の国際共同研究推進型として，海外研究者５名の招へいを実現し，関連研究に関して有益な情報交換，議論を行うことができた。平成30年２月の研究会では，長時間の議論を確保したことから，研究の意義や本質的問題について検討することができた。味覚や触覚など、今後の情報通信技術においても重要性が増すと考えられる科学技術に関する討議から、将来の人間と情報端末を総体として捉えるコミュニケーションツールの開発への貢献が期待できる。また、小鳥やサルに関する研究脳科学の知見から人間の情報処理過程の理解に向けた議論をする有益な機会となった。

［４］成果資料

（論文・著書等）

1）Fujiwara J, Usui N, Eifuku S, Iijima T, Taira M, Tsutsui KI, Tobler PN (2018) Ventrolateral prefrontal cortex updates chosen value according to choice set size. J Cogn Neurosci 30:307-318.

2）Kodama T, Kojima T, Honda Y, Hosokawa T, Tsutsui KI, Watanabe M (2017) Oral administration of Methylphenidate (Ritalin) affects dopamine release differentially between the prefrontal cortex and striatum: a microdialysis study in the monkey. Journal of Neuroscience 37: 2387-2394.

3）筒井健一郎 中村晋也 (2017) 経頭蓋磁気刺激（rTMS）によるサル内側前頭皮質の情動・気分調節機能の検証 心身医学 57(9): 916-921

4）Y Yagi, I Mitsugami, S Shioiri, H Habe (2017) Behavior Understanding Based on Intention-Gait Model. Human-Harmonized Information Technology, Volume 2, 139-172.

5）Kang, D., Sung, YW, Shioiri, S (2018) Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals, Magnetic Resonance Imaging 46, 121-129.

（学会発表等）

1）筒井健一郎. 内側前頭皮質腹側部の気分・情動調節機能 ― 低頻度経頭蓋磁気刺激（TMS）による機能阻害による検討 第39回 生物学的精神医学会、2017年９月28日（札幌）

2) Tsutsui KI Use of trans-cranial magnetic stimulation (TMS) as a tool for basic neuroscience research: The role of medial frontal cortex tested by inhibitory repetitive TMS. MyNeuro 2017 (Joint Meeting of 27th Malaysian Society of Neurosciences and 17th Neurosurgical Association of Malaysia) 2017年8月12日（Kuala Lumpur, Malaysia）
3) Wu Wei, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri, A model based on interocular velocity difference —to estimate motion direction in depth—, 映像情報メディア学会、2017
4) 坂井拓美, 羽鳥康裕, 方昱, 松宮一道, 栗木一郎, 塩入諭, 継時刺激効果に対する頭部方向の影響, IEICE technical report: 信学技報 117 (375), 35-38, 2017
5) Shioiri, S., Yuan, Z., Matsumiya, K., Kuriki, I.: "Modeling the learning process of object locations in natural scenes", The 13th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2017), Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.
6) Miura, T., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S.: "Measuring attentional facilitation related to preparation of hand movements", The 13th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2017), Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.
7) Wu, W., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S.: "Predicting direction of motion in depth by a model with lateral motion detectors", The 13th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2017), Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.
8) Nonomura, M., Tseng, C.H., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S.: "Shift of visual attention to the illusory hand location", The 13th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2017), Tainan, Taiwan, July 13-17, 2017.
9) Matsumiya, K., Sato, M., Shioiri, S.: "Selective facilitation of the luminance visual pathway by postsaccadic target blanking", The 19th European Conference on Eye Movements (ECEM2017), Wuppertal, Germany, August 20-24, 2017.

採択回数	1	2	3

(先端)

採択番号：**H27/B08**

高次元ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化

［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

秋間　学尚（東北大学電気通信研究所）
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）

延べ参加人数：２２人

研究費

旅費　289,000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多層ニューラルネットワークに，深層学習(Deep Learning)を導入することにより，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．

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．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に，最適な情報表現を見出し，さらに，効率的ハードウェア実現のために，ビット数や素子数

の最適化を含む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, 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, 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. さらに, これらの知見を深層学習に応用し, 多層ニューラルネットワークの性能向上を確認した上で, より一般的な情報表現の最適化技術として確立を図る. 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.

最終年度にあたる本年度は, 12 月 12, 13 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, これまでに得られた成果と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) キム・ヒョンス、廣瀬　明 (東大)
「四元数オートエンコーダと自己組織化マップによる偏波合成開口レーダ土地状況区分」
2) 佐藤　茂雄、刑部　好弘 (東北大学)
「量子ビット間相互作用に基づく脳型量子計算アルゴリズム」
3) Eckhard Hitzer (ICU), Robert B. Easter
“Developing Conformal Geometric Algebra for the Representation of Algebraic Curves and Surfaces”
4) 小林正樹 (山梨大)
「複素ニューラルネットワークの特異点」
5) Takehiko Mizoguchi, Isao Yamada (Tokyo Institute of Technology)
“A real domain computation for hypercomplex singular value decompositions and its application to tensor recovery
6) Hiroki Kuroda, Masao Yamagishi, Isao Yamada (Tokyo Institute of Technology)
“Exploiting Sparsity for Recovery of Finite-Dimensional Piecewise Continuous Signals”
7) 新田徹 (産総研), 黒江康明 (京都工芸繊維大学)
「階層型双曲ニューラルネットワークの学習特性」
8) 黒江康明 (京都工繊大)
「スパイキングニューラルネットワークの学習法とその応用」
10) 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を含む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電気電子分 野を中心とする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. 本年度は, 高分解能の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. PolSAR は数十 cm の高い分解能を実現するまでに至った. しかし, 従来の手法は畑, 森, 町などの地表カテゴリーを区別するために, 実空間の距離を基準に 10m × 20m 程度の空間平均を行う. 高分解能の PolSAR データの分解能を落としては, 分解能の向上による新規の地表カテゴリーの発見が期待できない. 提案手法は, 高分解能の PolSAR データの各ピクセルが持つ詳細な偏波特徴を保ちながら, 畑, 森などの地表カテゴリーも区別することで, 人間が自然に区別できる畑, 森などのラフな地表カテゴリーでの分類を実現した. そして, 高分解能の PolSAR データだからこそ分類できる新規の詳細な地表カテゴリーの発見にも成功した.

また, 計算ユニット (量子ビット) の状態が複素数によって表現される量子計算の応用として, 量子連想記憶(Q-AM)の学習方法について検討した. 人工神経回路の手法を応用した, 量子ビット間相互作用により構成されるハミルトニアンについて, 従来の人工神経回路で用いられる Hebb・反 Hebb 学習によるハミルトニアンの更新方法の適用を試みた. その結果, 学習無し Q-AM に比べ学習有り Q-AM は 7%程度想起性能が向上することが明らかになった. このことは、学習によるハミルトニアンの最適化が可能であることを意味しており、アルゴリズムを自動獲得しうる量子計算機の実現に向けて重要な成果である。

（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

・多層ニューラルネットワークへも応用可能な情報表現最適化手法
・最適な情報表現を実現するハードウェアの構成方法

［4］成果資料

(1) R. Nakane, G. Tanaka, A. Hirose, Reservoir Computing With Spin Waves Excited in a Garnet Film, IEEE Access, 6, 4462 - 4469, 2018, 10.1109/ACCESS.2018.2794584
(2) E. Koyama, A. Hirose, Development of complex-valued self-organizing-map landmine visualization system equipped with moving one-dimensional array antenna, IEICE Trans. on Electron., E101C, 1, (2018), 35 - 38, 10.1587/transele.E101.C.35
(3) H. Kim, A. Hirose, Unsupervised Fine Land Classification Using Quaternion Auto-Encoder-based Polarization Feature Extraction and Self-Organizing Mapping, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 56, 3 (2018), 1839 - 1851, 10.1109/TGRS.2017.2768619
(4) T. Minami, K. Tachibana, Modeling of Behavior in Bus for Counting Multiple Passengers without Identification, Proc. The 17th World Congress on International Fuzzy Systems Association and the 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, 2017.
(5) T. Minami, K. Tachibana, A Study on Observation Model of PHD Filter for Estimating Behavior of Bus Passenger, The 16th Int'l Symposium on Advanced Technology (ISAT16), p.180, 2017.
(6) Nang Hung Van NGUYEN, Minh Tuan PHAM, Phuc Hao DO, Kanta TACHIBANA, The fast Gaussian Distribution based AdaBoost Algorithm for Face Detection, The 16th Int'l Symposium on Advanced Technology (ISAT16), p.213, 2017.
(7) M. Kobayashi, Stability of Rotor Hopfield Neural Networks with Synchronous Mode, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 29, 3, 744-748, 2018.
(8) M. Kobayashi, Hyperbolic Hopfield Neural Networks with Directional Multistate Activation Function, Neurocomputing, 275, 2217-2226, 2018.
(9) M. Kobayashi, Uniqueness Theorem for Quaternionic Neural Networks, Signal Processing, 136, 102-106, 2017.
(10) R. Hata, M. A. H. Akhand, K. Murase, Multi-Valued Autoencoders and Classification of Large-Scale Multi-Class Problem, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8, 11, 19-26, doi: 10.14569/IJACSA.2017.081103, 2017.
(11) 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, 9, 1, 224-235, doi:10.14569/IJACSA.2018.090131, 2018.
(12) R. Hata, M. A. H. Akhand, Md. Monirul Islam, K. Murase, Simplified Real-, Complex-, and Quaternion-Valued Neuro-Fuzzy Learning Algorithms, International Journal of Intelligent Systems and Applications, (in press).
(13) T. Nitta, "Resolution of Singularities Introduced by Hierarchical Structure in Deep Neural Networks", IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol.28, No.10, pp.2282-2293, 2017.
(14) E.Hitzer, General one-sided Clifford Fourier transform, convolution products in the spatial and frequency domains, and auto-correlation theorems, Proc. the 17th International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering (CMMSE 2017), Costa Ballena, Rota, Cadiz, Spain, 4-8 July 2017, Vol. III, pp. 1042-1053 (2017), ISBN 978-84-617-8694-7. Preprint: http://cmmse.usal.es/cmmse2017/sites/default/files/volumes/Proceedings_CMMSE_2017_vol_1_6.pdf
(15) R.B. Easter, E. Hitzer, Double Conformal Geometric Algebra, Adv. of App. Cliff. Algs. 27(3), pp. 2175-2199 (2017), First Online: 20th April 2017, DOI: 10.1007/s00006-017-0784-0. Preprint: http://vixra.org/pdf/1705.0019v1.pdf
(16) R.B. Easter, E. Hitzer, Triple Conformal Geometric Algebra for Cubic Plane Curves, Mathematical Methods in the Applied Sciences, Aug. 2017, 16 pages, DOI: 10.1002/mma.4597
(17) Y. Osakabe, S. Sato, H. Akima, M. Sakuraba, M. Kinjo, Quantum Associative Memory with Quantum Neural Network via Adiabatic Hamiltonian Evolution, IEICE Trans. Inf. & Syst., E100-D, 11, 2683-2689, 2017.

採択回数	1　2　③

（国際）

H27/B09

酸化物表面の新機能性創生とナノ・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）
分担者：
越田　信義（東京農工大学大学院共生科学技術研究部）
立間　徹　（東京大学生産技術研究所）
玉田　薫　（九州大学先導物質化学研究所）
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）
嘉数　誠　（佐賀大学大学院工学系研究科）
Patrik Schmuki (University of Erlangen -Nuremberg)
Richard Rosenberg(アルゴンヌ国立研)
林　靖彦（岡山大学大学院大学院自然科学研究科）
木村　康男（東京工科大学コンピュータサイエンス学部）
鹿又　建作（山形大学大学院理工学研究科）

研究費：旅費 29 万 5 千円、国際特別支援 20 万円

［2］研究経過

金属酸化物は、液晶ディスプレイに使われる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、太陽電池や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で誘導され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，酸化物の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。そのために、ナノサイズの膜形成、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。

9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics（IWNN-9）
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：2018 年 3 月 1 日（木）13:00～17:30、3 月 2 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
参加人数：計 61 名（うち外国人 11 名）
発表人数：計 19 名（うち外国人 5 名）

3 月 1 日

1. Opening Remarks
Ayumi Hirano-Iwata (Research Institute of Electrical Communication / Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)

2.Modulation of signal propagation in connected cell networks by localized heat stimulation
Philipp Rinklin[1], Kamy Dang[1], Nouran Adly[1], Korkut Terkan[1], Leroy Grob1, Sabine Zips1, and Bernhard Wolfrum[1,2]
([1]Neuroelectronics - Munich School of Bioengineering, Department of Electrical and

Computer Engineering, Technical University of Munich (TUM), Boltzmannstr. 11, 85748 Garching, Germany, [2]Institute of Bioelectronics (PGI-8/ICS-8), Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Germany)

3. Development of bioanalytical platforms for extracellular vesicles
Takanori Ichiki[1,2]
([1]Department of Materials Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo, Japan, [2]Innovation Center of Nanomedicine (iCONM), Kawasaki Institute of Industry Promotion, Kawasaki, Japan)

4. Mechanically stable solvent-free lipid bilayers for ion channel proteins
Ayumi Hirano-Iwata[1,2], Daisuke Tadaki2, Daichi Yamaura[2], Takeshi Ohori[2], Kohei Arara[2], Miki Kato[2], Takafumi Deguchi[2], Teng Ma[1], Hideaki Yamamoto[3], and Michio Niwano[4]
([1]Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, [2]Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, [3]Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan, [4]Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan)

5. Photomodulation of electrical conductivity across a PCBM doped free-standing lipid bilayer
Kensaku Kanomata[1], Takumi Haseyama[1], Masanori Miura[1], Takafumi Deguchi[2], Daichi Yamaura[2,3], Daisuke Tadaki[2], Teng Ma[4], Ayumi Hirano-Iwata[2,4], and Fumihiko Hirose[1]
([1]Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Yonezawa, Japan, [2]Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, [3]Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan, [4]Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan)

6. Microscopic morphology of polyethylene -glycol-modified lipids and its effects on macroscopic physical properties in supported lipid bilayers
Yasuhiro Kakimoto and Tero Ryugo
(Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)

6. Substrate-induced asymmetric and anisotropic diffusion in supported lipid bilayers
Ryugo Tero[1], Toshinori Motegi1, Kenji Yamazaki[2], and Toshio Ogino3
([1]Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, [2]Hokkaido University, Sapporo, Japan, [3]Yokohama National University, Yokohama, Japan)

3月2日
7. Membrane Functionalized Sensor Architectures
Craig A. Aspinwall, Isen A. C. Calderon, Diem Nguyen, and Xuemin Wang
(University of Arizona, Departments of Chemistry and Biochemistry and Biomedical Engineering, Tucson, Arizona, USA)

8. Artificial bilayers on a substrate for channel recordings
Toru Ide1 and Minako Hirano[2]
([1]Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Okayama, Japan, [2]The Graduate School for the Creation of New Photonics Industries, Hamamatsu, Japan)

9.Noninvasive electrochemical characterization of multicellular spheroids and embryoid bodies
Hitoshi Shiku[1], Kosuke Ino[1], and Tomokazu Matsue[2]
([1]Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, [2]Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai, Japan)

10. Patterned model biological membrane on the solid substrate
Kenichi Morigaki[1,2]
([1]Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan, [2]Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan)

11. Numerical simulation for single-electron charging effects in random arrays of small tunnel junctions
Yoshinao Mizugaki[1], Masataka Moriya[1], Hiroshi Shimada[1], Kazuhiko Matsumoto[1], Makoto Moribayashi[1], Tomoki Yagai[1], Yasuo Kimura[2], Ayumi Hirano-Iwata[3], and Fumihiko Hirose[4]

([1]The University of Electro-Communications (UEC Tokyo), Chofu, Japan, [2]Tokyo University of Technology, Hachioji, Japan, [3]Tohoku University, Sendai, Japan, [4]Yamagata University, Yonezawa, Japan)

本プロジェクトに関連して、国内の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東北大学電気通信研究所で次の日程で開催した。

電子情報通信学会電子デバイス研究会
2017年4月20日(木)-4月21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50名（うち外国人1名）

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは、酸化物機能表面によるナノエレクトロニクスとそのデバイス応用を中心とした討議が広い分野にわたって行われた。これまで太陽電池やセンサーデバイスを中心とした動向に加えて、プリンタブルエレクトロニクス、単電子トランジスタ、エレクトロルミネッセンスなどの成果も公表され、この研究会の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。

平野愛弓教授の進めるCREST研究関連では、人工的に形成した脂質二分子膜をナノ薄膜絶縁体として、イオンチャンネルデバイスとして実用化を目指す研究が報告され、細胞分子ポンプとしての展開の可能性が示された。

ナノ薄膜形成技術として山形大が中心として進めている室温原子層堆積研究においては、量産化技術として1メートル規模の反応容量をもつ量産機が開発されるなど、実用化が着実に進められていることが示された。また、その技術を利用して形成されたナノチャネル薄膜トランジスタにおいては、量子効率が非常に高いUVセンサとしての可能性が示され、指紋認証センサとして活用が期待される。

特別支援（国際）に関わる研究成果

国際ワークショップを通じて酸化物機能表面のニューロサイエンス、バイオデバイスへの応用について、海外研究者と意見交換を行うことができた。構築したネットワークを生かして、国際共同研究へ展開すべく、今後も討論を継続する予定である。

（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としての室温原子層堆積法においては、大量製膜技術が開発され、産業浸透が進むものと考えられる。また応用としては、エレクトロルミネッセンスデバイスの長寿命化や、プリンタブルエレクトロニクスの高性能化の部分で波及効果があると思われる。

バイオ技術との融合として、脂質二分子膜を活用したイオンチャネルデバイスとしては、細胞に任意の物質を輸送することを原理とした、医療技術としての新展開も期待される。また生体内でも動作する人工網膜としての活用も期待される。

本共同プロジェクトを通じて、米国、欧州のナノテクとバイオ境界領域の研究者との交流が促進されたと考えられる。今後、脂質膜技術をベースにしたナノデバイス研究において、国際共同研究体制を構築する予定である。

［4］成果資料

国際ワークショップ資料

Symposium abstracts; 9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

ジャーナル論文

1) D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, K. Ishibashi, M. Kato, T. Ma, R. Miyata, Y. Tozawa, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Mechanically stable solventfree lipid bilayers in nano- and micro-tapered apertures for reconstitution of cell-free synthesized hERG channels", Sci. Rep. 7, 17736 (2017).

2) S. Kubota, Y. Harada, T. Sudo, K. Kanomata, B. Ahmmad, J. Mizuno, F. Hirose, "An integrated antireflection design using nanotexture and high-refractive-index glass for organic photovoltaics", J. Coat. Technol. Res., 14, 1209-1224 (2017).

採択回数	1	2	(3)

（先端・萌芽・国際）

採択番号：**H27/B13**

メディア技術の高機能化に関する研究

［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（千葉大学大学院融合科学研究科）
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（山口大学大学院理工学研究科）
姜 錫（北海道大学大学院情報科学研究科）
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）
野田 秀樹（九州工業大学情報工学研究院）
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	200,000 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3年目であり，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 2015 年度に新規採用されたものであり，2018 年 1 月 29―30 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 2017 年度の研究活動状況になっている．合計 11 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 6 件であり，そのうち 1 件は本共同研究プロジェクトによって韓国ソウル大学から招聘した Lee 教授による特別講演となっている．

［3］成果

（3－1）研究成果

2018 年 1 月 29―30 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 6 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) 本発表は，音楽情報処理の分野における近年の展開として，人工知能を利用した研究の動向について紹介する．具体例として，音源分離と自動採譜における研究成果を発表する．

(2) 我々はチェッカパターンの重ね合わせによる復号が可能なチェッカパターンキャリアスクリーン画像を提案している．本報告では，スマートフォンを用いた復号手法として，復号用アプリケーションを必要としないピンチ操作による復号手法について提案する．提案手法では，スマートフォンでキャリアスクリーン画像を撮影し，ピンチ操作により撮影した画像を縮小表示することで秘密画像が復号される．復号実験を行い，多数の機種で復号できることを確認した．

(3) スマートフォンが普及する中，人と機械の間のコミュニケーションの方法について様々な研究が行われてきた．本研究で扱う AudioGest は，ノートパソコン等に備え付けられたスピーカーとマイクを使い，ドップラー効果を利用してジェスチャー認識を行うため，追加のデバイスを必要とせず，環境からの影響をあまり受けずにジェスチャー認識ができるシステムである．本研究では AudioGest を実装し，その有効性を様々な環境下で検証する．

(4) 本稿では，リズムおよび用いられている楽器による音色の変化に基づいて楽曲の分割を行う手法について述べる．リズム・音色の変化それぞれを用いて楽曲分割を行った結果音色の変化を用いたほうが正確に楽曲が分割できることが予想されたが，同時に改善すべき点もわかった．

(5) ギターなどの楽器で用いられる信号の歪み現象において，クリッピング回路を操作することで情報の埋め込みを行い，ステゴ信号の平均振幅値から情報を抽出する手法がある．本手法は，楽曲をレコーディングする段階，あるいはデジタル音源を作成する段階で用いることを想定しているため，オリジナルデータとして作成されるデータがすでにステゴ信号となっている．このことから，データの劣化を考える必要がなく，ブラインド方式での抽出が可能である．本稿では，提案手法の埋め込み方式と抽出方法を述べるとともに，一般的な各種攻撃耐性を検証する．その結果 HPF 攻撃に対して耐性がなかったが，エンベロープ検出を利用することで改善されることが判明した．

(6) 近年、視線入力をはじめとするインターフェースデバイスが安価に入手できるようになってきており，身体障害者の QoL 向上に利用が期待されている．しかし，こうしたデバイスを使いこなすには高度なプログラミングのスキルが必要であり，初心者にはしきいが高いことも事実である．本稿では，こうしたデバイスの普及を促進するためのアウトリーチの可能性について述べる．

（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 年度に発足した新しい研究会であるが，年 6 回のペースで精力的に研究会を開催してきており，2016 年度は 100 件ほどの論文投稿があった．さらに，2017 年 1 月には，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 小特集号を刊行している．

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実施されるものである．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，韓国ソウル大学から Lee 教授を招聘し，特別講演の開催を通して，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) Kyogu Lee (Seoul National University, Korea)，［招待講演］Machine Musicianship: When AI meets with music，信学技報 EMM2017-71，2018.

(2) 生源寺 類 (静岡大)，チェッカパターンキャリアスクリーン画像のピンチ操作による復号，信学技報 EMM2017-74，2018.

(3) 有働 篤人，青木 直史，土橋 宜典，山本 強（北大），汎用 PC における音波を用いたジェスチャ検出の応用，信学技報 EMM2017-73，2018.

(4) 菊池 雄大，青木 直史，土橋 宜典，山本 強（北大），リズムおよび音色の変化による楽曲の分割に関する一検討，信学技報 EMM2017-70，2018.

(5) 松永 悠斗 (北大)，小嶋 徹也 (東京高専)，青木 直史，土橋 宜典，山本 強 (北大)，歪みエフェクトを用いた音響電子透かしの改良，信学技報 EMM2017-76，2018.

(6) 青木 直史，元由 勝人（北大），身体障害者のための QoL プログラミング，信学技報 EMM2017-72，2018.

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

大野　英男（東北大学電気通信研究所）
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量子電子物性研究部）
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（理化学研究所 創発物性科学研究センター）
新見　康洋（大阪大学 大学院理学研究科）

延べ参加人数：14 人

研究費

旅費	252,000 円
産学特別支援費	50,000 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２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，将来の方向性が明らかになった。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，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。2017 年度の活動実績としては 2017 年 11 月 2 日（火）―3 日（水）の日程で平成 29 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，２名のプロジェクト外講演者が出席し，活発な議論を行った。

［3］成果

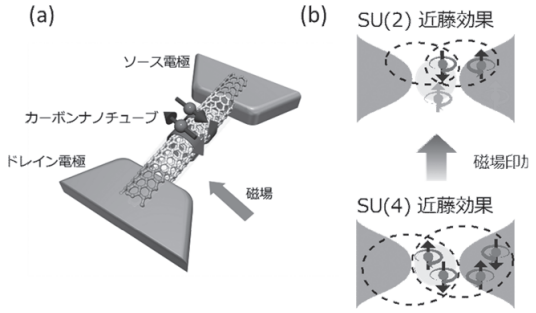
（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，プロジェクト外講師として，大関真之准教授（東北大学）をお招きして「量子アニーリングが加速する最適化技術と機械学習」と題する特別講演を依頼し，電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学からどのような新潮流が生み出されるかを徹底的に議論した。非常に活発な議論が行われて極めて有意義であった。

第２の成果として，量子液体の非平衡ダイナミクスの定量化に関する研究成果を挙げる。近藤効果は，1960–70 年代にかけて解明された量子多体効果であ

り，半世紀にわたって数多くの研究が行われてきた。理論的には近藤状態は「局所フェルミ液体」として記述されることが確立しており，近藤状態の振る舞いを研究することは，強い電子相関に支配される量子液体を研究することと等価である。小林らは，カーボンナノチューブに作製した量子ドットにおける近藤効果を研究した。本研究によって，近藤状態においては，一粒子の伝導過程だけではなく，二個の粒子が関与する伝導過程もあり，それによって電流ゆらぎが通常の値よりも増大することが分かった。この電流ゆらぎから，量子液体を特徴づける量（ウィルソン比）を求めることができ，量子ドットが極めて強い量子多体状態にあることを実証した。さらに，これまでに知られていなかった非平衡スケーリング則を実験的に確立した。また，対称性の異なる近藤状態の間の連続的な遷移にともなうウィルソン比の変化を定量的に抽出することにも成功した。このような成果は，非平衡量子多体系の精密な定量化に成功したものであり，今後の理論・実験の発展を促すものと期待される。本成果は、［4］成果資料の(2) の論文に結実し、プレスリリースを行い、後述するような反響を得た。



図：(a) 実験に用いたカーボンナノチューブ人工原子の概念図。ソース電極とドレイン電極の間に一本のカーボンナノチューブをはさみ込んだ構造になっている。このナノチューブにある電子の個数は，近傍にあるゲート電極（図には表示していない）によって，一個単位で制御可能である。図には、二個の電子がナノチューブ内にあることを示している。電子は青い矢印で示すようにスピン自由度を持っている。また，ナノチューブは円筒構造をしているので、右回りの軌道と左回りの軌道という軌道自由度も持っている。スピンの自由度と軌道の自由度によって SU(4) 対称性を持った近藤効果が生じる。(b) 試料において発現する近藤状態を概念的に示した図。青い部分がソース電極とドレイン電極を表し、真ん中の黄色い部分がナノチューブにつくられる人工原子を表す。磁場が小さいときは下方に示した SU(4) 近藤効果が生じるが磁場を印加していくと SU(2) 近藤効果に連続的に遷移していく状況を示している。

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。

- アナログスピンメモリ素子とその人工知能応用
- 反強磁性体・フェリ磁性体のスピンダイナミクス
- スピン流と磁気揺らぎ
- フェムト秒パルス波形整形のバイオメディカルイメージングへの応用
- ベクトル波形整形波による二次元電子系の光励起効果
- 歪み検出の新提案：核スピンから見た GaN 歪みとその空間分布
- 半導体におけるスピン軌道ロッキングを用いたスピン制御
- 磁性トポロジカル絶縁体について
- トポロジーに由来する界面磁気輸送現象
- グラフェンへのインターカレーション
- 分裂する電子スピンが引き起こす新しい量子磁性現象
- スピンショット雑音

（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、新たに研究分担者１名を招聘することができ、トポロジー由来の界面輸送現象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，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，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へと発展した。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，非平衡輸送や量子液体の研究が進み，今後の発展が期待されている。その成果と研究分野への貢献の一端は，以下の［4］成果資料に記載した発表論文リストからも明らかである。

［4］成果資料

以下の論文は,「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ものである。

（1）Shuichi Iwakiri, Yasuhiro Niimi, and Kensuke Kobayashi, Dynamics of pure spin current in high-frequency quantum regime. Applied Physics Express 10, 053001 (2017).

（2）Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrange, Richard Deblock, Yoshimichi Teratani, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, Quantum Fluctuations along Symmetry Crossover in a Kondo-Correlated Quantum Dot. Phys. Rev. Lett. 118, 196803 (2017).

なお, 上記（2）の成果については, プレスリリースを行い, 特記事項として, 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の一環で行われた旨, 記載させていただいた。

プレスリリース：
http://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2017/20170428_1

本プレスリリースについては以下のような反響を得た。

1. 大阪大学の研究紹介冊子 "OSAKA UNIVERSITY RESEARCH PROFILE 2017" に本研究が紹介される [2017/04/11]
2. 日本経済新聞（電子版）「大阪市立大と東大と阪大, 近藤効果の内部構造と量子ゆらぎの解明に成功」[2017/4/28]
http://www.nikkei.com/article/DGXLRSP443985_Y7A420C1000000/
3. マイナビニュース「阪大など, CNT の構造を利用して近藤状態の種類と量子ゆらぎの関係を解明」[2017/05/01]
http://news.mynavi.jp/news/2017/05/01/166/
4. "Novel method to study quantum fluctuations in exotic phases of matter"
http://www.chemeurope.com/en/news/163472
CHEMIE.DE Information Service GmbH

共同プロジェクト研究

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：45 人

研究費：旅費　　246,000 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 29 年 9 月 25 日、9 月 26 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 25 日、9 月 26 日　計 45 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，Md. J. Rahman, H. K. Maria（静岡大学　創造科学技術大学院）
「水分散性ナノチューブの合成と応用」
○加藤　俊顕（東北大学　大学院工学研究科）
「プラズマアトミックエンジニアリングによる低次元ナノカーボン材料の構造制御合成と応用」
○蟹江　澄志（東北大学　多元物質科学研究所）
「機能性無機ナノ粒子のサイズ・形態制御液相合成と多元ハイブリッド材料への展開」
○林　康明（京都工芸繊維大学　電気電子工学系）
「イメージング・ミー散乱エリプソメトリによる微粒子プラズマの解析」

○白谷　正治（九州大学　大学院システム情報科学研究大学院）
「微粒子プラズマの揺動解析」
○高橋　和生（京都工芸繊維大学　電気電子工学系）
「プラズマにおける微粒子の空間分布とその制御 ボイド形成の観点から考える」
○冨田　知志（奈良先端科学技術大学院大学　物質創成科学研究科）
「メタマテリアルから微粒子プラズマへの期待」
○金森　義明（東北大学　大学院工学研究科）
「可動機構を備えたメタマテリアル・フォトニック構造：光フィルタ応用の可能性」
○齋藤　和史（宇都宮大学　工学研究科）
「磁場中の微粒子の挙動とSPHシミュレーション」
○三瓶　明希夫（京都工芸繊維大学　電気電子工学系）
「限定視野下における微粒子プラズマ三次元分布再構成」

＜討　議＞

［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（静岡大）の研究成果発表により、カーボンナノチューブの液中分散について、強酸を使用しない新規の効率的な手法が報告された。そして、その溶質・溶媒の繊維への含侵により、電気特性・機械特性・難燃性などの新規の特性発現に成功した。すなわち、マイクロ波吸収材や、熱ヒーター材料としての可能性などの応用が見込まれる。
加藤（東北大）の研究成果発表により、ナノカーボン合成、カーボンナノチューブのカイラリティ制御、そしてグラフェンナノリボンの作製とデバイス応用が報告された。カーボンナノチューブの生成において、現在、数種のカイラリティのバランス制御が可能になってきており、格段の制御性の促進が達成された。
また、蟹江（東北大）の研究成果発表により、駅中プロセスにより非常に多種類にわたるナノ粒子のサイズ・形態制御が可能となることが示された。例えば、液相法としてソルボサーマル法と水熱法を用いることで、凝集を抑え、超密度ドーピングが可能となったことで、電磁波制御・熱電変換・光電変換などの効果の発現が期待される。
冨田（奈良先端大学院大学）の研究成果発表により、メタマテリアル効果の一種として、カイラルメタ分子による電磁波伝搬の方向制御が報告された。
そして、そのような微小コイル構造をプラズマ中に投入することで、部分的にではあるが微粒子プラズマと同様に空間に浮遊することが可能であることが示された。
その他にも、先の研究会の発表題目にあるように、多くの成果が得られたが、ここでは紙面の都合で割愛する。これらの内容は下記の表のようにまとめることができる。

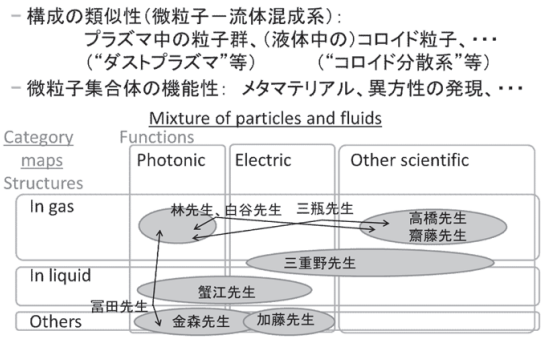


図１．研究会での成果の学術マッピングの様子。

（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29年12月11日‐12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18回微粒子プラズマ・ワークショップが開催された（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. I. Adamovich, S. D. Baalrud, A. Bogaerts, P. J. Bruggeman, M. Cappelli, V. Colombo, U. Czarnetzki, U. Ebert, J. G. Eden,P. Favia, D. B. Graves, S. Hamaguchi, G. Hieftje, M. Hori, I. D. Kaganovich, U. Kortshagen, M. J. Kushner, N. J. Mason, S. Mazouffre, S. Mededovic Thagard, H.-R. Metelmann, A..Mizuno, E. Moreau, A. B. Murphy, B. A. Niemira, G. S. Oehrlein, Z. Lj Petrovic, L. C. Pitchford, Y.-K. Pu, S. Rauf, O. Sakai, S. Samukawa, S. Starikovskaia, J. Tennyson, K. Terashima, M. M. Turner, M. C. M. van de Sanden and A. Vardelle,
"The 2017 Plasma Roadmap: Low temperature plasma science and technology,"
Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 50, pp. 232001-1-46 (2017).
2. A. Bambina, S. Yamaguchi, S. Miyagi and O. Sakai,
"Anisotropic Magnetic Metamaterial in Numerical Analysis for Electromagnetic-Wave Propagation around Cloaking Device,"
Global Journal of Science Frontier Research, vol. 17, pp. 5-10 (2017).
3. Y. Mizui, T. Kojima, S. Miyagi and O. Sakai,
"Graphical classification in multi-centrality-index diagram for complex chemical network,"
Symmetry, vol. 9, pp. 309-1-12 (2017).
4. A. Iwai, O. Sakai and Y. Omura,
"One-dimensional particle simulation of second harmonic waves in a composite of plasma and metamaterial,"
Physics of Plasmas, vol. 24, pp. 122112-1-12 (2017).
5. A. Bambina, S. Yamaguchi, A. Iwai, S. Miyagi and O. Sakai,
"Valid size of plasma-metamaterial cloaking monitored by scattering wave in finite-difference time-domain code,"
AIP Advances, vol. 8, pp. 015309-1-10 (2018).
6. O. Sakai, A. Iwai and Y. Omura,
"Invariance of parameter identification in multiscales of meta-atoms in metamaterials,"
Advances in Physics: X, vol. 3, pp. 1433551-1-19 (pp. 338-355) (2018).
7. O. Sakai, A. Iwai, Y. Omura, S. Iio and T. Naito,
"Wave propagation in and around negative-dielectric-constant discharge plasma,"
Physics of Plasmas, vol. 25, pp. 031901-1-8 (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）
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）
齊藤　晴美（NTT ｻｰﾋﾞｽｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ総合研究所）
坂田　勝亮（女子美術大学）
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（山形大学）
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）

延べ参加人数：３２人

研究費：旅費　　264,000 円
産学特別支援費　　50,000 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回研究会では木村英司氏（千葉大）を，第２回研究会で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」と共催し Chanprapha Phuangsuwan 氏・池田光男氏（タイ・ラジャマンガラ工科大学）を招聘した．

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 29 年 12 月 9 日(金)～10 日(土)
会場：東北大学 電気通信研究所 M331 号室

内川惠二（神奈川大）「オプティマルカラー仮説による#TheDress の色の見えの理解」
清川宏暁・永井岳大（山形大）「鏡面ハイライトに依

存しない光沢感知覚のための画像手掛かり」
永田雅人・岡嶋克典（横国大）「多重 LOG フィルタリングによる光沢と陰影の検出と画像処理」
木村英司（千葉大）【招聘】「情景認知の際の色欠損の見落とし現象：周辺視野および中心視野での検討」
兼松 圭・鯉田孝和（豊橋技科大）「白色境界線による同時色対比増強」
辻村誠一（鹿児島大）「メラノプシン刺激によるマウス活動期の制御」
永井岳大・早坂美咲（山形大）・栗木一郎（東北大）「HDR 環境におけるコントラスト感度特性」
（参加者数：１４名）

第２回研究会
日時：平成 30 年 3 月 14 日(水)〜15 日(木)
会場：東北大学 電気通信研究所 M431 号室

溝上陽子（千葉大学）「肌の色素成分変化と色弁別特性」
Chanprapha Phuangsuwan・池田光男（タイ・ラジャマンガラ工科大学）【招待講演】"Demonstration of the Chromatic adaptation that takes place for a 2D picture as for a real space by D-up technique"
栗木一郎（東北大学）・謝 翠如（台湾・中国文化大学）・陳 一平（台湾・国立交通大学）・武藤ゆみ子（東京工業大学）・塩入 諭（東北大学）「台湾の中国語話者における色カテゴリー」
中山亮平・本吉勇（東京大学）「Vision ToolBox: PsychToolBox ベースの視覚実験パッケージの開発」
山川昌彦・岡嶋克典（横浜国立大学）「ipRGC を考慮した明るさ知覚の定式化とメカニズム」
内川惠二（神奈川工科大学）・福田一帆（工学院大学）・森本拓馬（英国・オックスフォード大学）「オプティマルカラー仮説による発光色モード閾値の予測」
金子沙永（東北大学）・Søren K. Andersen（英国・アバディーン大学）・栗木一郎（東北大学）「SSVEP を用いた色選択性応答の計測」
（参加者数：１８名）

［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

内川は，分光特性の限界から定義される，各色度で最大に取りうる輝度（オプティマルカラー）の制約から，自然視野における照明光の推定アルゴリズムについて報告した．オプティマルカラーを用いる際に不可欠な制約が想定とは別に存在するのではないかという指摘があり，活発な議論が行われた．

清川・永井は，光輝反射（specular reflection）以外の光沢感知覚の手がかりについて，画像の統計的性質から検討する報告を行った．被験者が評定した光沢感知覚と画像統計量の相関解析を行った．その結果，画像内に含まれる輝度エッジの割合が知覚的な光沢感との相関性が高いという結果を得た．この結果に対し，輝度エッジが光沢の物理的特性の何を反映したかについて，多くの議論がなされた．

永田・岡嶋は，多重 log フィルタによる光沢と陰影の検出アルゴリズムについてその計算手法と効果について説明を行った．多重解像度で簡易な計算を行うと光沢／陰影に対応した画像が得られる手法で，見た目には高度な検出アルゴリズムと同等の性能が得られる．この手法が上手く機能する理由・視覚系との対応などについて，活発な討論が行われた．

木村（招聘）は，視野の周辺領域において色に対する感度が落ちることから，視野の周辺のどの範囲まで着色を無くしても気づかないか，という研究の発展について話題提供を行った．実際には視野全面に色がついていないにも関わらず「着色している」と報告する例があるため，反応バイアスの影響について検証を行った．また，日常的に目にしている物に対する色の先入観が反応バイアスを引きおこす可能性についても検討された．

兼松・鯉田は，水色と白色に接している青色が赤みを帯びて見える錯視現象のメカニズムに関する研究について報告した．誘導野の色が薄いほど誘導色が強く見える傾向や，Monnier–Shevell 錯視など他の錯視現象との比較などについて報告が行われた．

辻村は，概日リズムとの関連が指摘される光受容体メラノプシン含有の網膜神経節細胞（ipRGC）への光刺激により，動物の活動時間を制御できるかマウスを用いて行った研究を報告した．その結果，夜行性の動物を昼行性に誘導することや，その状態からの復帰を光刺激により操作できる事を示した．

永井らは，通常のモニタが持つ 1:1,000 程度の輝度レンジより広い 1:1,000,000 程度の広輝度レンジで起きるコントラスト感度の空間周波数特性の変化について，心理物理学的に調べた結果を報告した．予備的検討ながら，古典的知見と異なり，コントラスト感度の空間周波数特性が輝度レベルの違いにより異なる事を報告した．

［３．２］第２回研究会

溝上は，皮膚の色素成分と，人間の視覚の色弁別特性に関する研究を報告した．肌の色変化を皮下の色素（メラニン：黒み，ヘモグロビン：赤み）の分

光特性からシミュレーションした画像，もしくは肌色を独立性分分析で抽出した成分で操作した画像を用い知覚評価実験を行なった．その結果ヘモグロビンの増減に関する色変化への感度が，メラニンによる色変化より高いことが示された．その現象が顔画像に固有のものかなど，深い討論が行なわれた．

Phuangsuwan と池田（招聘）は，実物の部屋型の実験装置を用いて自然な環境に近い状態での色順応特性を調べた研究について報告を行った．また，視野を広く覆うように写真を呈示し，周辺視野を遮光すると，写真への没入感が高くなり実物での色順応に近い効果が現れることなどを報告した．

栗木は，台湾において中国語話者の色カテゴリー特性を調べた実験結果を，k-平均法によるクラスター解析で調べた研究結果を報告した．平均すると80%以上コンセンサスの得られる領域は日本語のカテゴリーとの一致度が高いが，グループ間相互情報量で評価すると台湾データの個人差が日本語より若干高い傾向が示されることを報告した．

中山と本吉は，視覚実験の初心者でも 30 行に満たない短いコードで容易にアイディアを試せるような，プログラミングのパッケージに関する紹介を行なった．調整法の実装などが今後必要であることなどの指摘が挙がった．

山川と岡嶋は，メラノプシン含有の網膜神経節細胞（ipRGC）を光刺激した時の明るさ感への影響について，様々な光源での実験に基づいた近似式の提案を行った．明るさに対し，錐体は非線形に，ipRGC への刺激はほぼ線形に寄与する事が報告された．本件は特別支援（産学）に関わる研究成果である．

内川らは，物体が反射表面か発光体かを見極める閾値がオプティマルカラー仮説に基づいて予測可能かについて報告した．オプティマルカラーの包絡線をフィッティングさせる方法により予測値に影響が出ることを報告した．一方で，研究に用いられたデータが暖色系の物体（果物等）に偏っていることによる問題点も指摘された．

金子らは，脳内の色選択性細胞の活動を定常視覚誘発脳波（SSVEP）により計測する試みについて紹介した．色相に対する応答に加え，順応による感度変化についての計測の試みを報告した．順応実験の刺激設計などについて多数の助言が得られた．

[３．３]波及効果と発展性、研究分野への貢献など

２回の研究会を通じて，色覚（ipRGC も含めれば光覚）の基礎から肌質感，光沢感の知覚まで幅広い研究テーマについて最前線の研究を掘り下げることができた．それぞれの研究者は研究課題の存在するフィールドで高い業績を挙げている．昨年の研究会での討議の結果が１件の論文掲載に到り，学位取得にも貢献した（文献 1)）．今後も，質感・色覚に関する複数分野の国内研究者の交流と，成果獲得に貢献していきたい．

［４］成果資料（関連する学会発表等）

1) Hamada, D., Yamamoto, H., & Saiki, J. (2017). Multilevel analysis of individual differences in regularities of grapheme–color associations in synesthesia. *Consciousness and cognition*, 53, 122-135.（謝辞記載あり）
2) Uchikawa K., Morimoto T., Matsumoto T. Understanding individual differences in color appearance of #TheDress based on the optimal color hypothesis. *Journal of Vision, 17*(10), 2017.
3) Kiyokawa T., Tashiro T., Kawashima Y., Yamauchi Y., Nagai T. Glossiness perception not depending on specular highlights –impacts of luminance edges–. *Asia-Pacific Conference on Vision, 2017.*
4) Kimura, E. & Takahashi, N. Blindness to absence of color in natural scene images. *The 24th Symposium of International Colour Vision Society, 2017.*
5) Kanematsu T. Koida K., Hyper color contrast illusion (HCC), large enhancement of simultaneous color contrast by bordering white line. *The 24th Symposium of International Colour Vision Society*, 2017.
6) 辻村誠一．メラノプシン神経筋細胞の輝度経路への時間周波数依存性．*日本生理人類学会第68回大会.*
7) 早坂美咲，永井岳大，佐藤智治，栗木一郎 : HDR 背景上におけるコントラスト感度特性．*日本視覚学会 2018 年冬季大会.*
8) Hamada K., Mizokami Y., Kikuchi K., Yaguchi H., Discrimination Thresholds for Skin Image and Uniform Color Stimulus. *The 13th International AIC Congress 2017.*
9) Phuangsuwan C., Ikeda M. Chromatic adaptation demonstrated on a 2D photograph as for a real 3D space by utilizing a D-up viewer. *日本色彩学会第48回全国大会*, 2017.
10) Kuriki I. Color category in languages and infants. Keynote lecture at *Color Association of Taiwan 2017.*
11) 山川昌彦，岡嶋克典．瞳孔径と光感受性網膜神経節細胞応答を考慮した明るさ知覚の定式化．*日本色彩学会第47回全国大会*, 2016.
12) Uchikawa K., Fukuda K., Morimoto T. Predicting the luminosity thresholds for chromatic stimuli by the optimal color hypothesis. *OSA Fall Vision Meeting 2017.*
13) 金子沙永，Søren K Andersen，栗木一郎．定常視覚誘発電位を使ったヒト色相選択性応答の検証．*日本視覚学会 2018 冬季大会.*

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(国際・産学)

採択番号：**H28/B05**

人と空間と情報技術に関する研究

A Study for Human, Space, and Information Technologies

［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

大坊 郁夫（東京未来大学）
大森 慈子（仁愛大学）
伊藤 雄一（大阪大学）
市野 順子（香川大学）
嶋田 強（㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ）
平松知江子（㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ）
米澤 一造（㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ）
加藤 晋（㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ）
小川 耕作（㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ）
丹羽 佑輔（㈱富士通ソーシアルサイエンスラボラトリ）
市原 誠（富士通株式会社）
吉村 智史（富士通株式会社）
Ehud Sharlin（University of Calgary）
James Young（University of Manitoba）
山口 徳郎（沖電気工業(株)）
藤田 和之（(株)イトーキ）
Damien Ablart（University of Sussex）
塚原 直樹（総合研究大学院大学）
藤原 健（大阪経済大学）
横山 ひとみ（東京農工大学）
鈴木 高宏（東北大学未来科学技術共同研究センター）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）
天間遼太郎（東北大学 電気通信研究所M1）

延べ参加人数：30人

研究費

旅費	289,000円
国際特別支援費	200,000円
産学特別支援費	50,000円

［2］研究経過

人と空間と情報技術に関する研究・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，人と空間と情報技術に関する研究を行っている学内外の研究者及び企業に声をかけ，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としたディスカッションを行う場として研究会を行ってきた．

本プロジェクトは本年度が第7年目である．本年度も前年度までの成果を踏まえながら，新規な取り組み，また過去に発表のあった研究者からの継続発展内容を合わせて共同研究会を展開した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

研究会名：人と空間と情報技術
日程：２０１８年3月１２日
場所：東北大学電気通信研究所本館5階 M531
回数：第7回
参加人数：述べ30名（内発表者11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．

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．

北村：人と空間と情報技術の研究
米澤：会社概要とイノベーションへの取り組み紹介
小川：分身ロボットを活用した価値創出の取組み
丹羽：親子間のコミュニケーション促進を目指す
「創作デジタル絵本」のプロトタイプ開発

藤田：働き方改革とワークプレイスの未来
市原：FUJITSU Knowledge Integration Base PLY の取り組みについて
吉村：FUJITSU Knowledge Integration Base PLY から生まれた人と空間とをつなぐ「Serenbler」
天間：座標系対連動法による FPV と TPV を用いたドローン操縦インタフェース
藤原：身体同期からみる対人コミュニケーション：二者間会話と三者間会話
伊藤：無意識コンピューティングのための要素技術
鈴木：自動運転／コネクテッド・モビリティと東北地方創成

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．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．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

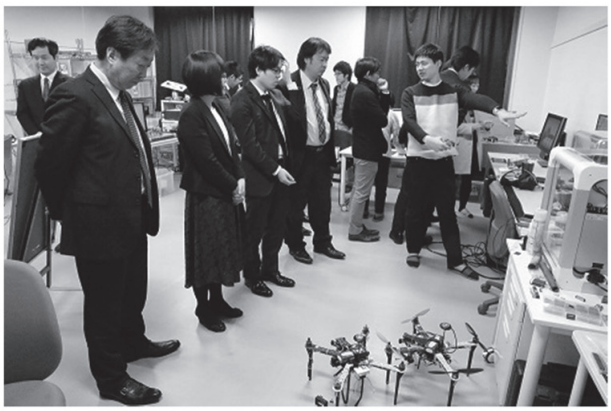
本プロジェクトは，新たな共同研究の萌芽及び新たな研究領域の開拓を目的にしている．研究会の実施により学外研究者との交流が活性化し，研究者ネットワークが拡大され，共同研究の可能性が向上した．また，企業が参加することにより基礎研究にとどまらず，社会への実装が期待される．

各プレゼンテーションのポイントを以下に示す．

北村：研究会の主旨と方向性の共有
米澤：オープンイノベーション実践の具体例
小川：遠隔会議における身体性の価値模索
丹羽：創作デジタル絵本による幼児・親間のコミュニケーション促進の可能性
藤田：　会議空間での発言記録自動データ化による効率化と働き方改革への可能性
市原：お客様との共創空間「PLY」の紹介と実践例
吉村：空間でのさりげない情報提示による、偶然の出会いを支援する機器の試作開発手法と経緯
天間：座標系対連動法を用いたドローン操縦支援の新たな可能性
藤原：二者、三者間会話状況における身体的運動を元にした協調検出とその計算手法の模索
伊藤：筆記中の運動状態計測と学習との関連、また靴センサから運動負荷の相対的評価実現
鈴木：東北地方にて進められる地方再生の取り組みの現実とあわせた自動運転の取り組みにおける、新しい価値、Automate から Connected への提案







研究会の様子

［4］成果資料

現在準備中である．

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

(萌芽)

採択番号：**H28/B06**

数学の形式化への論理学的アプローチ

［1］組織

研究代表者

桜井　貴文（千葉大学大学院理学研究院）

通研対応教員

外山　芳人（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

佐藤　雅彦（京都大学名誉教授）
亀山　幸義（筑波大学システム情報系）
五十嵐　淳（京都大学大学院情報学研究科）
中澤　巧爾（名古屋大学大学院情報科学研究科）
浜名　誠　（群馬大学大学院理工学府）
青戸　等人（新潟大学工学部情報工学科）
竹内　泉　（産業技術総合研究所）
菊池　健太郎（東北大学電気通信研究所）
赤間　陽二（東北大学大学院理学研究科）
村瀬　唯斗（東京大学大学院情報理工学系研究科）

延べ参加人数：12 人

研究費

旅費　169,000 円

［2］研究経過

数学の証明は普通は紙と鉛筆で書かれるが、最近、数学の証明を計算機上で記述し証明系によりチェックしようという気運が高まりつつあり、いくつかの大きな数学の定理の証明も証明系によりチェックされている。証明系は、Coq(SSReflect) や Isabelle/HOL 等が代表的なものであるが、それらは何らかの論理体系に基づいて作られている。本研究の目的は、その基礎となる論理体系を検討し、さらに発展させることである。

本プロジェクトの研究分担者は平成２５～２７年度の通研プロジェクト「メタプログラムに対する論理学アプローチ」(代表　亀山幸義)に参加しており、2 年目である本年度は、1 年目に各研究分担者が各自の研究についておこなった発表と議論をふまえて現在の研究について述べ、引き続き数学の形式化への論理学的アプローチの基礎となる論理体系の研究との関わりについて議論した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

今年度は、平成 29 年 12 月 19～20 日に、東北大学電気通信研究所において、研究集会を開催した。参加者は本プロジェクトの研究メンバーに加え、ゲストスピーカーとして、赤間陽二准教授、村瀬唯斗氏の参加を得て、従来とは異なる角度からの話題提供を得ることができた。研究集会での発表は以下の通りである。(発表順)

1 日目：

- 五十嵐　淳、A Guess-and-Assume Approach to Loop Fusion for Program Verification
- 赤間　陽二、Relativized reducibility method and Goguen-Luo's type theories
- 村瀬　唯斗、Polymorphic Context for Contextual Modal Type Theory
- 浜名　誠、Type Inference for Second-Order Rules and Rewriting Analysis of Coherence of Categories
- 中澤　巧爾、Complete Cyclic-Proof System for Separation Logic: On a Bound for Nesting Wands
- 竹内　泉、数学と変数 独立変数と従属変数

2 日目：

- 菊池　健太郎、Confluence by Strong Commutation with Disjoint Paralell Reduction
- 亀山　幸義、Program Generation for ML Modules
- 青戸　等人、Proving Unique Normal Forms w.r.t. Conversion of Term Rewriting Systems Automatically
- 外山　芳人、Head Normalization by Random Descent

- 佐藤　雅彦、A Common Notation System for the Lambda-Calculus and Combinatory Logic (part 1)
- 桜井　貴文、A Common Notation System for the Lambda-Calculus and Combinatory Logic (part 2)

［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。

・多相型付き体系の型推論アルゴリズム：
単純型付きの形式的計算体系を記述するためには、多相型付き体系が必要である。そのために、二階計算システムを多相に拡張し、型推論アルゴリズムを考案、SOL システムに実装した。これらは自動合流性、停止性チェッカの標準書換え規則フォーマットにおける、型宣言の冗長さを解決する。実際、ゲーデルの System T や、圏といった体系の型が自動推論できることを示した。また SOL システムの応用として、モノイダル圏のコヒーレンス問題が合流性チェックにより行えることを示した。

・コントロール・エフェクトを持つメタプログラムの安全性：
メタプログラミングをサポートするプログラミング言語の機能として重要なものは、生成されるプログラムの変数スコープや型の誤りを静的に(プログラム生成前に)発見することである。プログラムを生成してからこれらの誤りが見つかった場合、もとのメタプログラムのどこをどう修正すればよいかがわかりにくいため、除去しにくい不具合を生じることがある。この問題に対して型システムを構築して対処する方法について一貫して取り組んでおり、本年度は、効率良いプログラムの生成に欠かせないコントロール･エフェクトを持つメタプログラムに対して、上記の問題が決して起きないという意味での安全性を静的に保証することに成功した。

・ランダム降下性による頭部正規化戦略：
Newman が提案したランダム降下性の概念に基づき、リダクションの頭部正規化戦略の抽象的理論を与えた。この理論はきわめて抽象的な枠組みに基づいているため、ラムダ計算、項書き換えシステム、高階書き換えシステムなどのさまざまなリダクションシステムの頭部正規化戦略の解析を、統一的に行うことが可能となる。

･Guess-and-Assume アプローチに基づく自動アサーション検証のためのプログラム変換：
プログラムが連続するループを含む場合、ループ不変式が複雑になってしまい自動検証に失敗してしまう、という問題がしばしば発生する。ループ融合変換でループをひとつにまとめるとループ不変式が単純化され自動検証に成功する場合があるが、適用条件が厳しいという課題があった。これに対し「一番目のループ終了後の変数値をその開始前にランダムに推測し、実行終了後に推測が正しいかどうかを検査し、誤りだった場合には無限ループに入る」という、我々が guess-and-assume と呼ぶ前変換を使って、任意の連続ループに適用可能なループ融合変換を考案した。そして、それがアサーション自動検査の結果を保存することを証明した。さらに、この変換をいくつかのベンチマークプログラムに適用し、検証ができなかったプログラムの検証に成功することを確認した。

・数学における変数に関する研究：
昨年度に引き続き、数学に現れる独立変数と従属変数の解釈について議論した。数学の文章においては、大域的な独立変数とは別に、偏微分式などには局所的な独立変数が出現する。これを述語論理によって分析するには、数学の変数の間の関係を表現する述語論理の函数記号と、数学の独立変数を表現する述語論理の変数が必要である。数学の変数から述語論理の表現への翻訳は、その変数が出現する場所においてどのような役割を果たしているかに依存する。

・項書き換えシステムにおける正規形の一意性：
項書き換えシステムにおける正規形の一意性に関する性質には、合流性の他にもいくつかの性質が知られている。等価性(Conversion)に関する正規形の一意性(UNC 性)は、等価な正規項は高々1 つになるという性質である。従来、UNC 性を保証する十分条件として非ω重なり性が知られている他、UNC 性が決定可能なクラスとして左線形右基底項書き換えシステムが知られている。UNC 完備化法と名付けた証明手法や UNC 性の十分条件を新たに考案するとともに、我々が開発している合流性証明システム ACP に、それらを実装し、UNC 性の自動証明が行えるように拡張を行なった。

・左線形名目書き換えシステムの合流条件：
合流性は書き換えシステムの応用において重要な性質である。本研究では、左線形項書き換えシステムに対する並列閉包定理による合流条件を、左線形名目書き換えシステムに対する合流条件に拡張した。この条件は、α安定性をもたない名目書き換えシス

テムに対しても有効であるため、従来の束縛変数を伴う高階書き換えの枠組みでは取り扱えない例に対しても適用可能である。さらに、提案した合流条件を計算機上に実装し、実験を通じてその有効性を示した。

・λ計算の項の表記とその意味：
前年度までに、我々は伝統的なλ項の構成法に代わり束縛変数名を持たないという特徴を持っているλ項 L の構成法を考案し、さらにλ項として L と伝統的なλ項の両方を含んだ計算体系 M を導入した。そして L を M の「文法の意味」とみなす過程で自然にα同値類を扱うことができ、その上でβ変換を行うことができることを示した。本年度はさらにその立場を推し進め、伝統的にはβ変換と同列に扱われるη変換もα変換と同様に「意味」を変えないものであるという立場に立ち、合流性等の性質を示すことを目指した。まだ進行中の部分もあるが、これは今までにない新しい視点を導入するものである。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究は、プログラム言語と論理学の理論と実装に精通する第一線の研究者が集まり、数学の形式化に向けての論理学的アプローチという目標を置いて最新の成果と手法を交換することにより、計算機科学と数学の双方に新たな研究成果をもたらすことを目指したものである。その成果の１つとして、共同研究、共著論文の執筆があげられる。大学や研究機関の垣根を超えた交流は、科学技術の発展にとって極めて重要であり、特に、基礎分野ではその必要性は高い。本プロジェクトの支援により多くの共同研究の芽がまかれたことは大変に喜ばしい成果である。これらの芽が近い将来に大きな研究成果として花開くことが期待できる。

［４］成果資料

- M. Hamana. How to Prove Your Calculus is ; Decidable: Practical Applications of Second-order Algebraic Theories and Computation, Proceedings of the ACM on Programming Languages, Vol. 1, Issue ICFP, September 2017, Article No. 22, pp.1-28, ACM Press, 2017.
- M. Hamana. Cyclic Datatypes modulo Bisimulation based on Second-Order Algebraic Theories, Logical Methods in Computer Science, Vol. 13, No.3, pp.1-38, 2017.
- M. Hamana. A Functional Implementation of Function-as-Constructor Higher-Order Unification, Proc. of International Workshop on Unification 2017, pp. 10-15, Oxford, UK, July 2017.
- Junpei Oishi, Yukiyoshi Kameyama: Staging with Control: Type-Safe Multi-Stage Programming with Control Operators, Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN International Conference on Generative Programming: Concepts and Experiences (GPCE 2017), pp.29-40, Oct., 2017.
- Takahisa Watanabe, Yukiyoshi Kameyama: Program Generation for ML Modules (short paper), Proceedings of the ACM SIGPLAN Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM 2018), pp.60-66, Jan., 2018.
- Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Parallel Closure Theorem for Left-Linear Nominal Rewriting Systems, In Proceedings of the 11th International Symposium on Frontiers of Combining Systems (FroCoS 2017), Brasilia, Brazil, Lecture Notes in Computer Science, Vol.10483, pp.115-131, 2017..
- Takahito Aoto, Yoshihito Toyama and Yuta Kimura, Improving rewriting induction approach for proving ground confluence, In Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2017), Oxford, UK, Leibniz International Proceedings in Informatics, Vol.84, pp.7:1-7:18, 2017..
- Akifumi Imanishi, Kohei Suenaga, Atsushi Igarashi: A guess-and-assume approach to loop fusion for program verification. PEPM 2018: 2-14

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）

延べ参加人数：７人

研究費

旅費	192,000 円
産学特別支援費	50,000 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２年度であった．前年度は，本プロジェクトの当面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．本年度は，その流れを受けて，具体的な型システムとその検証器を実現することを目指し，電子メールなどによる機動的な打ち合わせを行い，技術的な課題を整理した．また，この課題の達成に向けた検討と議論を行うために，年度末の 2018 年３月６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，および分担者合わせて４名に加え，Ruby と型理論の双方に造詣がある技術者２名（SideCI 株式会社松本宗太郎氏，クックパッド株式会社遠藤侑介氏）を招聘し，さらに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，Ruby 開発チームからは動的型付け言語に対する静的型付けの試みについて，SML# 開発チームからは静的型付け言語への動的型付けの導入の試みについて，それぞれ開発および調査の状況が報告され，今後の研究開発の方向性について議論を行った．

研究集での発表内容の概略は以下の通りである．

松本宗太郎氏からは，松本宗太郎氏を中心として開発が進められている型検査器 Steep の開発状況について報告があった．Steep は，Ruby の各クラスに対して与えられたシグネチャを用いて Ruby プログラムの型検査を行う型検査器である．Steep は gradual typing，subtyping，および Java の Generics の手法に基づく型体系を持つ．ユーザーは，各メソッドの型をこの体系の下で記述する．研究会時点で

の Steep の開発は，Steep とは独立に開発された8,000行程度のRubyソフトウェアを当面の型検査の対象として，Steep を実際に動かしながら，言語やライブラリの網羅性，実用上の型の表現能力，および検査結果の有用性などに検討を重ねつつ進められている．一方，型体系の妥当性や型検査の正しさに関する検証は課題として残っている．本研究会では，Steep および Steep を起点とする型システムの可能性について議論を行い，Ruby にふさわしい型システムが持つべき性質としていくつかの指針を得た．その主なものは以下の２点である．

- Ruby の動的意味は構造的な多相性に主眼をおいて設計されている一方，型を記述する体系はクラス名をアトムとする多相性に基づくように設計したほうが，より厳密な検証を行うことができ，またユーザーにとっても直感的であると考えられる．この状況は主に以下の２点で観察される：(1)クラス名をタグとする分岐が行われた時，各分岐の中では型情報が回復されるべきである．(2)継承関係に無い２つのクラスのインスタンスに束縛され得る変数の型を構造的に計算すると，その変数への誤った代入が型エラーを起こさない場合がある．
- すでに確立している subtyping の型理論の厳密な適用は，Ruby の表現力を制限するだけでなく，ユーザーに型理論に関する素養を要求し，Ruby の生産性を大きく損ねる可能性がある．型理論的な妥当性の追求よりも，実用上のユースケースがおおよそカバーされたシステムを目指すほうが現実的と思われる．

遠藤氏からは，既発表の Ruby 向け型システムの調査状況について報告があった．学術分野における Ruby の型システムについての研究として RDL が挙げられる．RDL は実験的な実装が公開されており，誰でも試すことができる．この RDL の実装を，Steep の開発で型検査の対象として用いている Ruby ソフトウェアの一部に適用することで，RDL に関する調査を行った．研究会では，その調査結果として，RDL が要求する厳密な型注釈をユーザーが書くのは煩雑であり，100 行程度の Ruby プログラムに型注釈を書くだけでも数多くの試行錯誤を要したこと，その苦労とは裏腹に型チェックが通った時の安心感はよくわからなかったこと，その一方で型注釈が動的であることは Ruby の動的な性質によく適合しており使いやすかったことなどが報告された．学術分野以外でもいくつかの Ruby プログラムの検証方法が提案されており，前述の Steep に加え，constacts.ruby，dry-types，type_struct，ruby-type-inference などはその代表例である．これらの提案は，コミュニティによる集合知を活用したプログラム検証法などの興味深い提案を含むものの，適用範囲，汎用性，信頼性などに不明な点が多い．総じて，既存の Ruby の型検査機構には様々な試みがなされている一方で，実用言語に組み込むシステムとしてはまだ初期の実験段階であることが確認された．

遠藤氏からはさらに，Ruby プログラムからメソッドの型定義のスタブを生成する型プロファイラの試作について報告があった．この型プロファイラは，テストプログラムを実行するなどして，メソッドに渡される実際の引数や返り値を見て，メソッドのシグネチャを推定する．引数や返り値のクラスが多岐に渡る場合は，様々なヒューリスティックスを導入してシグネチャを簡単化する．この試みから得られた知見として，型変数の必要性に検討の余地があること，テストが念入りすぎる場合の対処，構造的型付けや静的型付けとの折衷案，プロファイルの実行効率などが示された．

大堀氏からは，SML#の最新開発動向を交えつつ，静的多相型言語への動的型の導入方式について報告があった．静的型付け言語は，プログラム内部に閉じた整合性検査には有用である一方，型制約のため値のプリントが容易でない，外部との入出力を行うインターフェース部分にはうまく型が付けられない，などの表現力の制限がある．動的型付けを静的型付け言語に導入することができるならば，静的型付け言語の表現力を拡張し，更なる実用性を獲得することができると考えられる．その一方で，動的型付けのネイティブコードコンパイラへの系統的な導入方法は確立していなかった．本発表では，この課題の解決方法として，型主導コンパイル方式が適用可能であることが示され，その方式による SML#での動的型付けの実装が例を交えて紹介された．

［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，２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 および SML#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.

次期 Ruby に向けた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. 本プロジェクトは, これらの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.

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

本プロジェクトの波及効果や発展性は, 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を与えるだけでなく, 健全でないが実用的な型システムなどを含む, 未踏領域への研究の発展が期待できる. また, 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ると確信している.

本プロジェクトを足がかりに, 静的型付けを備えた動的型付け言語 Ruby 3.0 に向けた研究開発, および動的型付けを備えた静的型付け言語としての SML#の研究開発を, 産学で密な連携を取りつつ展開する予定である.

［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

(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所）
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）

延べ参加人数：１８人

研究費：旅費　　244,000 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

IV)　LiveSAR 画像の付加情報抽出検討会 : 平成 30 年 3 月 15, 16, 20 日、8 日、福岡工業大学、参加者 3 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7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の現状とレジストレーションソフトウェアの開発(近木、竹内、LiveSAR開発チーム)

さらなる高精細画像の生成を目指し、複数のLiveSAR取得画像の合成を行うマルチショットSARソフト（応用ソフト）開発について、同一地域を多方向から撮像したイメージをほぼ自動的に重ね合わせることができたが、若干のズレが有る旨報告された。また、LiveSARで複数の画像取得をさらに歩留まり良く取得するための慣性センサ改修の提案をうけて、今年度実施したIMUの改修について説明があり、IMUが地上モード時は精度良く姿勢を検出しアンテナがロックオンすることが報告された。

Ⅱ-2) 超高帯域チャープマイクロ波変調レーザSAR開発の現状(間瀬)

レーザレーダによる近距離物体の画像をより高精度化するフーリエ変換を用いた処理方法が紹介された。これにより、ターゲットまでのレンジのエラーが各位置で少なくなった。また、レンジの遠いターゲットにレーザレーダを適用した実験についても報告された。20m～30mのターゲットについて十分な強度の反射光が得られることがわかり、またこの実験におけるS/N比の検討から、数百メートルレンジのターゲットもイメージングできることなど議論された。

Ⅱ-3) 陸上設置型潮位観測レーダにおける電波伝搬シミュレーションを用いた潮位解析手法の研究（金子）

地上設置型のレーダによる波高観測レーダのシミュレーション実験について報告があった。縦に複数個並べたアンテナにより取得したデータから、波高および高度を算出する解析手法について報告を行った。位相勾配時間平均方法およびフーリエ変換方法による潮位推定手法が提案され、津波などで潮位が変化する様子をレーダのシミュレーションデータから解析できることが示された。

Ⅱ-4) 陸上設置型潮位観測レーダ開発の現状(中園)

上記潮位観測レーダのハードウェア開発および室内におけるレーダの実機実証実験について報告された。光ファイバースプールおよび短距離のアンテナにより信号を伝搬させ、レーダの動作検証を進めた。これにより、5km以上のターゲットにおいて1mm以下の位置分解性能を持つことが報告された。また室内実験における信号のS/N比を用いて5kmのターゲットでは散乱断面積1㎡のターゲットを検出できることが報告された。また電波暗室内の短距離レーダ実験においても、アンテナおよびターゲット間の位置が正確に測定できることが報告された。

Ⅱ-5) GB-SARによる地滑りならびに空港計測(佐藤)

地上設置型合成開口レーダにおいて、従来は送受信アンテナの位置を機械駆動していたものを、MIMOを導入し駆動機構を排除したシステムを紹介した。これにより、高精度かつ移動する鉄橋のような物体のイメージングも可能になることが報告された。

GB-SARを栗原地区および熊本に適用した例が報告され、栗原地区では降雪により堆積物に若干の変化があることが紹介された。熊本の地すべりが起こった地区では、斜面にコーナリフレクターを設置して各点までの距離を長期モニタリングを行った。モニタリング地点によっては20mm程度の移動があることが紹介された。

地雷探査用の合成開口レーダについての報告もあった。IMUを人力でスキャンするレーダ本体に搭載することにより、レーダ計測を行った位置をリアルタイムに計測し地中の深さと水平方向の３次元でイメージングする様子をデモンストレーションした。

Ⅱ-5) 災害対応を目的とした『ヘリコプター全天候運航システム』構築の状況(冨尾)

国土交通省で進められている災害時の全天候型ヘリコプタ運行ルートについての説明があり、運用システムの全体像が決まってきたことなど報告された。日本全国をカバーする運行ルートや災害時の情報収集の検討案が報告され、この制度を利用したLiveSAR運用についても議論された。

Ⅲ) H29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) 平成28年度LiveSARおよびレーダSARの総括について議論された。前日のIMU改修について議論され、よりイメージを改善するためキネマティックGPSを利用したレーダ位置の高精度化を検討することになった。また来年度は、移動体検出も可能なスプリットビームSAR方式へ発展させるべく、アンテナおよびスイッチングシステムの構築を行っていくことになった

Ⅲ-2) レーザレーダの課題について議論を行った。現状のベクトルネットワークアナライザを用いた計測システムでは計測が長時間となるため、LiveSAR同様のFMモジュールおよびAD変換器の利用が議論され、来年度システムの構築と実機検証を行うことになった。

Ⅲ-3) 平成30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。
Ⅳ）LiveSAR 画像の付加情報抽出検討会では、LiveSAR 画像重ね合わせのレジストレーションソフトウェアのプログラム改善について取り組んだ。その結果、5 枚の LiveSAR 画像の重ね合わせが自動でできることを確認し、より密度の高い画像になることが確認された。

（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、
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。
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、今後は屋外での性能検証実施が期待される。

［4］ 成果資料
1. ”マイクロ波・ミリ波反射計（レーダ）の開発と応用事例”, 間瀬 淳・近木祐一郎・桑原大介・長山好夫・池地弘行・伊藤直樹・小波蔵純子・吉川正志・王 小龍・犬竹正明, 電子情報通信学会ソサエティ大会、2017 年 9 月 13 日 招待講演
2. “Development and application of radar reflectometer using millimeter to infrared waves”, Atsushi Mase, Yuichiro Kogi, Daisuke Kuwahara, Hiroyuki Ikezi, Yoshio Nagayama, Xiaolong Wang, Naoki Ito, and Masaaki Inutake, BIT7S 6th Annual world congress of advanced materials 2017, June 14-16, 2017 Xi’an China, 招待講演

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)
松村　耕平（立命館大学情報理工学部)
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)
尾形　正泰（産業技術総合研究所)
樋口　啓太（東京大学生産技術研究所)
阪口　紗季（東京大学大学院情報学環)
Kotaro Hara（Carnegie Mellon University)
(2017年11月よりSingapore Management University)

延べ参加人数：12人

研究費

旅費	225,000円
国際特別支援費	200,000円

［2］研究経過

Human-Computer Interaction（HCI）分野は1980年頃に誕生し、いまだ30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　2017年11月18日（土）～19日（日）
   会場　東北大学電気通信研究所
   参加人数　約60名
   詳細
   http://www.riec.tohoku.ac.jp/wp-content/uploads/2017/11/RIEC-Symposium-20171118-19-Program-1.pdf

［3］成果

（3－1）研究成果

2017年11月18日（土）および19日（日）の2日間にわたって RIEC International Symposium on Experience Design and Cognitive Science が、第二回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塩入 諭 教授と北村喜文 教授をチェアとして開催された。本シンポジウムは、本共同プロジェクト等複数の共同プロジェクトの協力で開催され、エクスペリエンスデザインと認知科学に焦点を当て、それぞれの分野で世界的に活躍されている方々の中からアジア諸国を中心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、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。

Saturday, November 18

13:00-13:15 Registration

13:15-13:30 Opening Remark

Yoshifumi Kitamura (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

13:30-15:00 Session 1: Experience Design (1)

- Some Challenges to the UX Practice
  Zhengjie Liu (Dalian Maritime University)
- Designing Technologies for the Minority Population
  Naomi Yamashita (NTT Communication Science Labs.)
- Adaptive Workspace using Robotic Displays
  Kazuki Takashima (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

15:30-17:00 Session 2: Cognitive Science (1)

- Neural Mechanisms of Summary Statistics
  Kim Yee Joon (Institute for Basic Science)
- Human Visual Perception of Object Qualities based on Image Statistics
  Masataka Sawayama (NTT Communication Science Labs.)
- Enhancing the Spatial Perception of Stereo Sound Signals
  Jorge Trevino (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

17:00-18:00 Lab. Tour

18:00- Reception (Lounge, 5th floor, RIEC Main Building)

Sunday, November 19

9:30-10:20 Keynote

- Electronic Learning Environments as Tools for Adult Learning and Teaching
  Gerrit van der Veer (Vrije Universiteit Amsterdam (VUA), ACM SIGCHI)

10:30-12:00 Session 3: Experience Design (2)

- Delivering Benefits of Programming to Everyone through Programming Experience Research
  Jun Kato (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
- Tool and Workshop Design for Edutainment
  Saki Sakaguchi (The University of Tokyo)
- Text Input in non-English languages
  Anirudha Joshi (Indian Institute of Technology, Bombay)

12:00-13:30 Lunch Session

13:30-15:00 Session 4: Cognitive Science (2)

- Two aspects of multisensory integration in perceiving self-motion
  Kenzo Sakurai (Tohoku Gakuin University)
- Unity assumption: A top-down factor modulating multisensory integration
  Yi-Chuan Chen (Department of Medicine, Mackay Medical College)
- Bodily Awareness and the Coding of Visual Space
  Kazumichi Matsumiya (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

15:30-17:00 Session 5: Experience Design (3)

- Interactive Technologies for Creative Innovation by Designers and Consumers
  Yuta Sugiura (Keio University)
- Embodied Interaction for Human Interface of Future
  Masa Ogata (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
- Design Thinking as a Strategy for Innovation
  Eunice Sari (UX Indonesia)

17:00-17:15 Closing Remark

Satoshi Shioiri (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

（特別支援（若手・国際・産学）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。当初予定では Carnegie Mellon University の Kotaro Hara 氏を招へいし、ご講演頂き、議論をしたいと考えていたが、シンポジウム開催のタイミングと、氏の Singapore Management University へのご異動のタイミングが重なってしまい、招へいを実現できなかった。その代わり、他の共同プロジェクトや通研国際シンポジウムとの合同開催によって、実りのある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。



（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「Experience Design and Cognitive Science（体験設計と認知科学）」をテーマとして開催した。HCI において Experience Design（体験設計）と Cognitive Science（認知科学）は主要なトピックである。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。本シンポジウムによって、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。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 3 会場（札幌、東京、大阪）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 2018 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：2018 年 4 月 22 日（日）
- 開催場所：Palais des Congrès de Montréal, Montréal, Canada
- 参加人数：30 名（予定）

［4］成果資料

（1）Keita Higuchi, Eunice Sari, Taku Hachisu, Adi Tedjasaputra, Masa Ogata, Masitah Ghazali, Hiromi Nakamura, Ellen Yi Luen Do, Jun Kato, Saki Sakaguchi, Takeshi Nishida, Kohei Matsumura, Daisuke Sakamoto, and Yoshifumi Kitamura. 2017. Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '17)*. ACM, New York, NY, USA, 3085-3090. https://doi.org/10.1145/3027063.3108904



米国デンバーで開催された
Asian CHI symposium 2017 の様子

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：１０人

研究費

旅費	210,000 円
産学特別支援費	50,000 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、高周波帯域では測定対象とする高周波磁界により金属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指摘されている。その解決策として、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実現できる。

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。

研究会は、各自が有する知見を持ち寄って実施する討論会を中心とする。平成 29 年 12 月 19 日に実施した討論会では、それぞれの機関に所属する学生も含めた 10 名での討論会を行い、それぞれに研究成果をフィードバックした。

［3］成果

（3－1）研究成果

前年度までの検討で明らかとなっていたとおり、近傍磁界分布測定において被測定磁界側をバースト変調した際は，被測定磁界の ON/OFF により磁界変化分のみが交流成分となり，測定対象から発生する磁界のみを検出でき、その結果、ロックインアンプを用いた増幅が可能となり高い感度が実現できていた．しかし，被測定磁界側をバースト変調することは現実的ではない．従ってパルスレーザ側をバースト変調させる必要があるが，その場合はレーザの ON/OFF によりガーネットの表面形状による偏光角度の変化，測定機器のドリフトによる値の変化も出力にノイズとして含まれてしまい，本来検出したい測定対象からの発生磁界が埋もれてしまうという課題があった．これを解決するためには、表面形状等の影響を打ち消すために，磁界発生時と発生磁界無しのバックグラウンドでそれぞれ磁界分布測定を行い，二つの測定結果を差分するという方法が考えられるが，時間経過に伴うドリフトの影響が色濃く表れてしまい，発生磁界が埋もれ S/N が非常に悪くなってしまう．

そこで今年度は新たな手法として、磁界分布を測定していく過程の一点一点で，基準位相の磁界検出値と基準位相から 180 度ずれた点における磁界検出値を測定し，両者の差分を分布上のある一点の値としてプロットしていく手法について検討した。これにより、機器のドリフトの影響も位相変化に要するごく短い時間分に抑えることができ，S/N の良い測定が可能である．また，基準とするレーザ発振タイ

ミングの位相を連続的に変化させることで，従来通りのストロボ法の利点を生かした，磁界の位相情報，強度，周波数の測定が可能となっている．

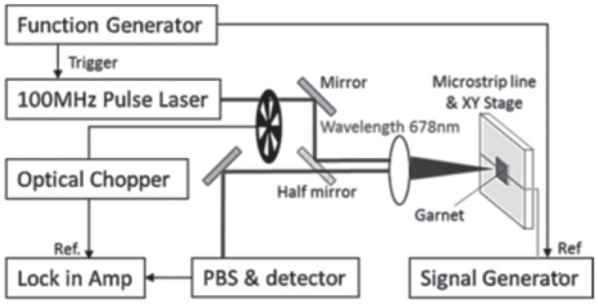


図１　実験用光学系構成図

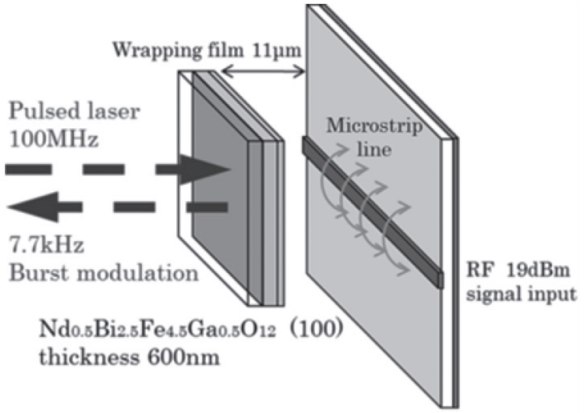


図２　ガーネットとマイクロストリップライン(測定対象)の配置

この考えの下に、長岡技科大ならびに名古屋工業大学で作製したガーネット材料を用い、図 1、図 2 に示す東北大学電気通信研究所に設置された光学系を活用した実証実験を行なった。光路に機械式チョッパーを挿入し，物理的にレーザ光を ON/OFF させパルスレーザをバースト変調させた．マイクロストリップライン(MSL)近傍にガーネットを配置し，ガーネット上をスキャンしていく形式で測定を行った．レーザを 100MHz で発振，機械式チョッパーを 7.7kHz で回転させ，MSL に 19dBm，1.0GHz の RF 信号を入力したときの，MSL 近傍 1.5mm 四方の磁界分布を 100 点×100 点で測定した。結果を図 3 に示す．MSL（線路幅 430 μm）は同図の Y＝0 のラインを中心に横方向に配置しており，エッジ付近に強い垂直方向成分磁界を検出していることから，発生磁界のみを計測できていると考えられる．

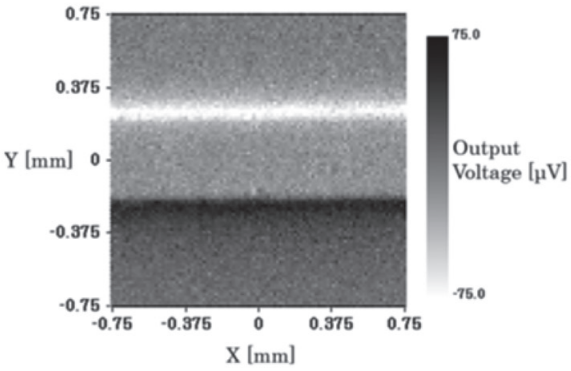


図３　マイクロストリップライン近傍の磁界分布計測結果

この結果を踏まえ、回路基板上の高周波パワーアンプ近傍の磁界分布計測を行った．用いた測定システムは前述の MSL 近傍磁界計測に使用したものと同一である．測定対象とした回路写真を図 4 に示す．1GHz，10dBm の RF 信号を入力した際にアンプ素子近傍から発生する磁界の計測を行った．素子に 5mm×5mm のガーネット素子を載せ，ガーネット上をレーザでスキャンしながら計測することで可視化した．

図 5 はその計測結果である．増幅後の出力端に大電流が流れていることが示唆される磁界分布が計測された．これにより，この素子が発する高周波電磁ノイズが周辺環境に悪影響を及ぼす際に，それを防ぐシールドを配置すべき位置が明らかとなった．

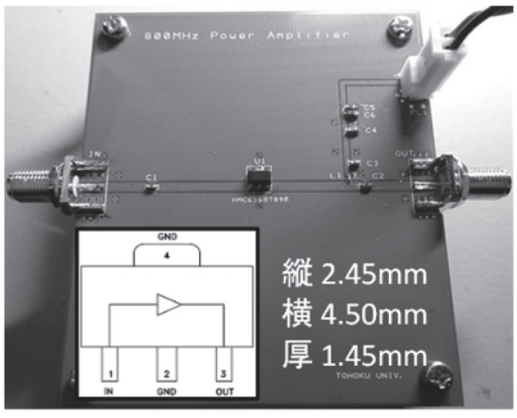


図４　被測定回路(中央部 RF アンプ素子)

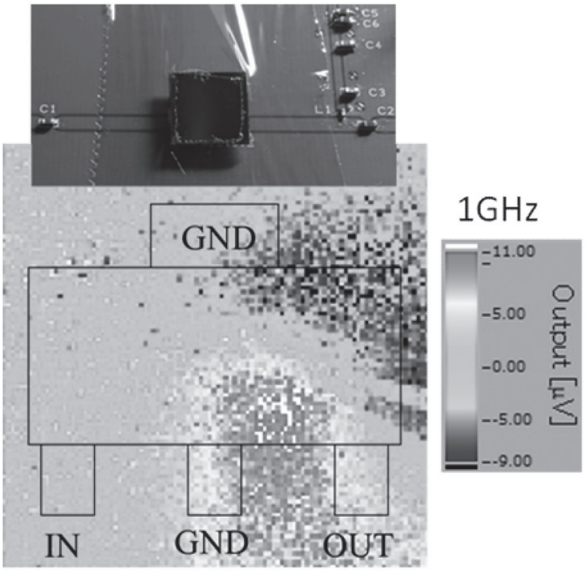


図５　1GHz の近傍磁界計測結果

以上のように本年度は、パルスレーザバースト変調時の磁界測定におけるノイズ等の課題に対し，被測定磁界の二つの特定位相による検出値の差分を取る手法を提案し，実際の測定結果より本手法の妥当性が確認された．従って本手法を用いることで，測定対象をバースト駆動させずに測定することが可能となり，実際の集積回路等の磁界分布測定への適用が期待できる．

次年度以降は，集積回路等から発生する微弱な磁界をより高感度に検出すべく，ガーネットの高周波特性やパルスレーザバースト変調時のノイズ低減について検討を行う予定である．

（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も実施予定であり、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、平成30年４月４日から６日まで東京ビッグサイトで開催されるモバイル通信機展示会で高周波磁界測定プローブとしてデモ展示を行なう予定である。

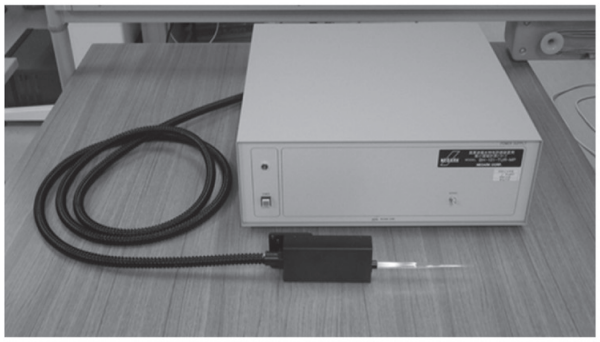


図６　本研究から発展した光プローブ型磁界測定装置プロトタイプ

[４]成果資料

1. 石山和志、「磁気光学材料薄膜を利用した高周波磁界計測」電気学会　光・熱・磁気の相互作用を利用した新規スピンデバイス・ストレージ技術調査専門委員会（2017年９月１日）
2. 松本悠人、立岡大青、荒井薫、林禎彰、杤修一郎、石山和志、「パルスレーザバースト変調による高周波回路素子の近傍磁界分布測定」日本磁気学会学術講演会（2017年９月21日）
3. 石山和志、「変調レーザを用いた高周波磁界計測」電子情報通信学会　PEM研究会（2018年１月26日）

共同プロジェクト研究

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)

延べ参加人数：60人

研究費

旅費	234,000円
国際特別支援費	200,000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．

2017年にはこのようなシンポジウムを4回，アジアの3か所と米国で開催した．1回目は，4月18日にインドネシアのジャカルタで，CHIuXID 2017 の中で，SEACHI 2017 Symposium として開催した． 2回目は5月7日に米国のデンバーで，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．3回目は9月26日にインドのムンバイで，IFIP TC-13主催の国際会議 INTERACT の中で Symposium on Asian HCI Research として開催した．4回目は11月18 日～19 日に仙台の電気通信研究所で，RIEC International Symposium on Experience Design and Cognitive Science (The Second 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18日にインドネシアのジャカルタで，CHIuXID 2017 の中の SEACHI 2017 Symposium として開催した．下に示すプログラムのように，タイ，マレーシア，インドネシア，日本から7件の発表があり，韓国からのメンバも加わってディスカッションを行った．

Design Sprint in Indonesia: Reflecting Cultural Dimension Perspective for a Next Billion Users Country
Eunice Sari, UX Indonesia and ACM SIGCHI Asian Development Committee - Southeast Asia

New Experiences with Dynamic Aware Interiors
Yoshifumi Kitamura, Tohoku University, Japan and ACM SIGCHI Asian Development Committee - Japan Liaison

Preliminary Work on Design Thinking: Solving Challenges using LoFidelity Prototyping with Rural Teenagers in Layang-Layang, Johor, Malaysia
Masitah Ghazali, UTM ViCubeLab Research Group, Faculty of Computing, Universiti Teknologi Malaysia

UX in Thailand
Karun Waraponsittikul, Computerlogy, Thailand

How I fall in love with User Experience (UX)
Najiha Gaus, MDEC Malaysia

Accessibility in Embedded System: UX metrics for Disabled User
Kanisius Karyono, Universitas Multimedia Nusantara, Indonesia

Loose to Tight Cooperation Strategy Impacts Positive Student Learning Experience through Industry Collaboration
Azrina Binti Kamaruddin, Faculty of Computer Science and Information Technology, University Putra Malaysia

2 回目は 5 月 7 日に米国のデンバーで，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．大阪大学の Yusuke Sugano 准教授，インドネシアの Eunice Sari，東京大学博士研究員の Saki Sakaguchi，米・カーネギーメロン大学の Kotaro Hara 氏，電通の Kana Misawa 氏を招待講演として迎え，12 件のポスター発表と東南アジアセッションから構成された．

第 3 回目は 9 月 26 日にインドのムンバイで，IFIP TC-13 主催の国際会議 INTERACT の中で Symposium on Asian HCI Research として開催した．このシンポジウムで講演をしたのは次の 11 か国から 11 名であった．サウジアラビアやイラン，バングラディシュなど，普段はこのようなイベントに参加しない国々からの代表者が集まったことは極めて意義深い機会となった．

Yoshifumi Kitamura, Japan;
Minghui Sun, China;
Eunice Sari, SEA/Indonesia;
Jinwoo Kim, Korea;
Simon Perrault, Singapore;
Kaveh Bazargan, Iran;
Chui Yin Wong, Malaysia;
Nova Ahmed, Bangladesh;
Ebtisam Alabdulqader, Saudi Arabia;
Thippaya Chintakovid, Thailand;
Anshuman Sharma, India

第 4 回目は，11 月 18 日～19 日に仙台の電気通信研究所で，RIEC International Symposium on Experience Design and Cognitive Science (The Second 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: 坂本大介 北海道大学) と共同で，通研国際シンポジウムとして開催し，約 60 名が参加した．エクスペリエンスデザインと認知科学に焦点を当てたこのシンポジウムには，それぞれの分野で世界的に活躍されている方々の中からアジア諸国を中心にお集まりいただき，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．

Saturday, November 18

Opening Remark

Yoshifumi Kitamura (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

Session 1: Experience Design (1)

Some Challenges to the UX Practice
Zhengjie Liu (Dalian Maritime University)
Designing Technologies for the Minority Population
Naomi Yamashita (NTT Communication Science Labs.)
Adaptive Workspace using Robotic Displays
Kazuki Takashima (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

Session 2: Cognitive Science (1)

Neural Mechanisms of Summary Statistics
Kim Yee Joon (Institute for Basic Science)
Human Visual Perception of Object Qualities based on Image Statistics
Masataka Sawayama (NTT Communication Science Labs.)
Enhancing the Spatial Perception of Stereo Sound Signals
Jorge Trevino (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

Sunday, November 19

Keynote

Electronic Learning Environments as Tools for Adult Learning and Teaching
Gerrit van der Veer (Vrije Universiteit Amsterdam (VUA), ACM SIGCHI)

Session 3: Experience Design (2)

Delivering Benefits of Programming to Everyone through Programming Experience Research
Jun Kato (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
Tool and Workshop Design for Edutainment
Saki Sakaguchi (The University of Tokyo)
Text Input in non-English languages
Anirudha Joshi (Indian Institute of Technology, Bombay)

Lunch Session

Session 4: Cognitive Science (2)

Two aspects of multisensory integration in perceiving self-motion
Kenzo Sakurai (Tohoku Gakuin University)
Unity assumption: A top-down factor modulating multisensory integration
Yi-Chuan Chen (Department of Medicine, Mackay Medical College)
Bodily Awareness and the Coding of Visual Space
Kazumichi Matsumiya (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

Session 5: Experience Design (3)

Interactive Technologies for Creative Innovation by Designers and Consumers
Yuta Sugiura (Keio University)
Embodied Interaction for Human Interface of Future
Masa Ogata (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
Design Thinking as a Strategy for Innovation
Eunice Sari (UX Indonesia)

Closing Remark

Satoshi Shioiri (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

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，インドネシア，中国，そしてインドから各国のHCIの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HCI分野の多くの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4回開催することができた．特に日本での開催は，昨年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．シンポジウムでは「Experience Design and Cognitive Science（体験設計と認知科学）」をテーマとして開催した．HCIにおいてExperience Design（体験設計）とCognitive Science（認知科学）は主要なトピックである．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．本シンポジウムによって，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．



第1回シンポジウム（2017年4月18日，インドネシア・ジャカルタ）



第3回シンポジウム（2017年9月26日，インド・ムンバイ）

［４］成果資料

[1] 第1回シンポジウム（2017年4月18日，インドネシア・ジャカルタ），http://2017.chiuxid.org/
[2] 第2回シンポジウム（2017年5月7日，米国・デンバー），http://hci.tokyo/chi2017/
[3] 第3回シンポジウム（2017年9月26日，インド・ムンバイ），http://hciresearch.in/
[4] 4回目シンポジウム（2017年11月18日～19日，仙台），http://www.riec.tohoku.ac.jp/wp-content/uploads/2017/11/RIEC-Symposium-20171118-19-Program-1.pdf

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：**H28/B12**

眼球運動を伴う視覚処理機構に関する研究

［1］組織

研究代表者

松宮　一道（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

松宮　一道（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

古賀　一男（京都ノートルダム女子大学）

金子　寛彦（東京工業大学）

佐藤　雅之（北九州市立大学）

稲場　直子（北海道大学）

寺尾　将彦（山口大学）

塩入　諭　（東北大学）

延べ参加人数：10 人

研究費

旅費　176,000 円

［2］研究経過

私たちの眼は、日常生活のほとんどの場面において，絶えず動いているが、眼を動かす度に外界が動いて見えることはない。これは「視覚世界の安定性」と呼ばれる現象である。この現象は古くから知られてはいるが、未だにその処理機構は明らかにされておらず、視覚科学における重要な問題の一つとなっている。本プロジェクトでは、分散しがちな、心理学、生理学、工学などの様々な研究分野の研究者が集まり、知見の共有、議論と連携の促進を行うことで、眼球運動時の視覚処理機構、特に、視覚世界の安定性の処理機構の解明を目指す。眼球運動研究の情報通信技術への応用的展開の可能性についても考える。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，自己紹介も兼ねて、メンバー各自が現在進めている研究と本プロジェクトとの関連について講演を行った。本年度は，眼球運動計測からどのような応用的展開が可能なのかを議論するために、大阪大学大学院生命機能研究科の小林　康先生をお呼びし、講演を行ってもらった。今回は１回の開催で、参加人数は 32 名であった。

［3］成果

（3−1）研究成果

平成 29 年 12 月 6 日、7 日に研究会を開催した。招待講演者として、大阪大学大学院生命機能研究科の小林　康先生に、「眼球モニターで脳状態を読み取り、操作する」という演題で講演を行ってもらった。この講演では、固視微動と呼ばれる小さな眼の動きに着目し、この一見無関係に起こると思われる固視微動が、視覚情報の変化、随意的な眼球運動の意思決定、報酬予測、脳幹脚橋被蓋核の神経活動によって動的に変化することを示し、「固視微動の計測」によって認知過程、意思決定、報酬予測などの「脳の状態を読み取れる」可能性を示唆していた。また、大脳への経頭蓋磁気刺激と固視微動計測を組み合わせることで、脳をいかにして操作するか、その可能性についても触れ、大変刺激的な講演であった。

また、本メンバーである京都ノートルダム女子大学の古賀一男先生には、眼球運動データの中から瞬目のアーチファクトを除去する方法について講演していただき、いかにして精度の高い眼球運動の計測するかを学ぶ貴重な機会を得た。

さらに、本メンバーである東北大学の塩入　諭先生と松宮は、手の動きが追従眼球運動に与える影響について報告した。一般的に、追従眼球運動は目の前に運動する視覚対象があり、その視覚対象を追跡するときに生じると考えられている。しかし、視覚対象がなくても、暗黒化で自分の手を追跡させると追従眼球運動が生じることが報告されており、非視覚性の刺激であっても追従眼球運動が生じることが知られてはいるが、手から得られる非視覚性のどのような手がかりから追従眼球運動が生じているかは

明らかにされていなかった。我々は、この過去の研究を再現することに成功し、暗黒化で手の動きから追従眼球運動が誘発される手がかりが何かを同定するために、手の位置情報が関与しているのか、手の速度情報が関与しているのかを明らかにする実験を行った。その結果、手の位置情報が使われていることが示唆された。

（3−2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に進み，眼球運動研究に根ざした学術領域をより活性化していくことで意見が一致した。また，本プロジェクトで明らかになった成果が、情報通信技術との関連に関してさらに議論する必要があるとの見解でも一致した。

［4］成果資料

1. 松宮一道，佐藤雅之，塩入　諭：サッカード変位抑制におけるブランク効果とランドマーク効果の比較 -信号検出理論による分析-，電子情報通信学会技術研究報告（ヒューマン情報処理），Vol. 117, No. 259, HIP2017-71, pp. 65-68, 2017.
2. 及川 諒，Chia-huei Tseng，松宮一道，栗木一郎，塩入 諭：手の動きが追従眼球運動に与える影響，日本視覚学会 2018 冬季大会，東京，2018/1/17-19.
3. Matsumiya, K., Sato, M., Shioiri, S.: Contribution of Luminance-based Transient Signals to Transsaccadic Integration, The 5th International Symposium on Brainware LSI, Sendai, 2018/2/23-24.

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：10 人

研究費：　旅費　　141,000 円

［2］研究経過

半導体技術を基盤とした化学センサは、pH などのイオン濃度測定を通じて臨床検査・食品検査等の様々なアプリケーションの可能性が提案されてきた。しかしながら、実用的なアプリケーションとそれを支える情報システムの構築に際しては、特定のセンサや評価法に拘泥することなく、相補的なセンサを組み合わせることで多元的な評価を行い、測定対象の差異や多様性に対応することが重要である。本研究会は複数のセンサと測定手法を統合したマルチパラメータ測定系とアプリケーション開発の構想を立ち上げる目的で開始された。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，2 回の研究会を開催して活発な討論を行い、複数のセンサによって情報を補完する測定システムの構築について着想を得た。すなわち、平面な構造を有する複数センサによって細胞層やフィルム上の試料を測定する機構である。これを実現するために、コラーゲンフィルムを利用することも提案され、平野らより技術提供を受けて研究を推進することとなった。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，マルチパラメータ測定デバイスの具体的な応用を検討するために研究会を開催し、参加者らと討論を重ねた。以下，研究活動状況の概要を記す。

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：2017 年 11 月 17 日(金)
場所：東北大学工学部電気・情報系 2 号館 505 号室
参加人数：22 人

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デバイスへの展開」　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アレルギー診断」　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)

15:40～「抗体／分子インプリントポリマーハイブリッド材料によるエクソソームの高感度蛍光センシング」　竹内俊文（神戸大学）

16:10～「血管新生とバリア機能を解析する三次元組織モデル」　松永行子（東京大学）

16:40～「地中海食薬資源由来機能性成分の探索と評価」　礒田博子（筑波大学）

［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について概説した。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イオン分布を可視化できるセンサである。加えて、センサ表面のインピーダンス分布をマッピングする機能もあり、これまでに細胞層の欠損を可視化する技術として提案してきた。細胞層の欠損を定量的に評価することができれば、新規創傷アッセイとして応用が可能である。細胞層のインピーダンスマッピングの最新状況を報告すると同時に、研究会の趣旨として、様々なセンサとの組み合わせによりマルチパラメータ測定を実現するシステム開発の構想を紹介した。

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、最新の知見が紹介された。基礎研究・臨床分野において、非標識でリアルタイムに生細胞の応答を検出する技術の開発が求められているが、実用化に至ったセンサは殆ど無い。発表では、センサ上のインピーダンス変化を無標識・リアルタイムに検出可能なインピーダンスセンサと、ヒト IgE 受容体発現細胞株を組み合わせ、ヒト末梢血由来血清からの即時型アレルギー診断に応用した例が紹介された。

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。3 次元コンピューターシミュレーションによる細胞のインピーダンス計算や、等価回路モデルに基づく解析式開発による基礎的知見および解析手法を生かし、実際に 40 μm 間隔で対向した電極による細胞計測を行った例や、電極アレイを用いた細胞組織のインピーダンスマッピング・トモグラフィーなど、今後の応用展開の可能性について討論が行われた。

つづいて竹内より、内因性細胞外微粒子の一つであるエクソソームの検出について講演が行われた。エクソソームは従来の手法では簡便かつ高感度な検出が困難であったが、分子インプリンティング技術と、ポリマの認識部位のみに種々の分子を付加するポストインプリンティング修飾法を用いて、高感度蛍光センシングが可能となった研究が紹介された。エクソソームには、放出した細胞由来のタンパク質、miRNA、mRNA などが含まれており、細胞間コミュニケーションに関連するため、大きな関心を集めている領域である。竹内らの成果は、今後の展開が期待される内容であり、現在の研究情勢についても理解が深まった。

松永の講演では、近年注目されている organ-on-a-chip とよばれる in vitro 組織モデルについて紹介された。松永らは、コラーゲンゲルとマイクロ加工技術を用いた三次元微小血管構造形成により、血管新生と血管透過性の双方を評価しうる手法を確立し、大きな注目を浴びている。血管壁など細胞層の測定をターゲットにしている当研究会にとって非常に興味深い成果が紹介された。それら研究成果と合わせて、腫瘍組織内に血管組織が形成される様子、がん細胞がその血管内へ浸潤する様子など今後の展望について討論が行われた。

礒田の講演では、細胞アッセイによる生理活性物質の機能性評価について、最新の研究例が紹介された。ヒト及び動物由来細胞を用いたバイオアッセイにより、疾患のモデルを試験管レベルで再現することにより、生体に及ぼす影響を推測することが可能である。 特に、これまでの研究から悪性黒色腫（メラノーマ）の転移抑制効果を持つ機能性物質を紹介すると共に、ブドウや藻類から抽出された興味深い新規物質について報告された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度の研究会を通じて、単一の細胞層だけで無く、組織としての皮膚構造と機能に着目した測定を検討すべきであるという意見を集約することが出来た。そのためには、3 次元培養系や細胞足場に血管構造を作り込む手法についてこれまでの治験を調査していく必要がある。今年度中は、宮本・柳瀬・宇野がお互いの研究拠点を行き来しながらディスカッションを重ねると共に、研究を遂行するための、試料準備、電極作製、実験なども進めており、基礎的な知見が得られつつある。今後の共同研究の成果が期待される。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

(1) 「バイオセンサを利用したアレルギー病態解明と治療ターゲット探索」柳瀬 雄輝, 宇野 重康, 宮本浩一郎, 秀 道広, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会「生体材料と先端デバイスをつなぐ学際的アプローチ」シンポジウム（平成 30 年 9 月 5 日～9 月 8 日、福岡国際会議場）

(2) 「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（平成 30 年 3 月 17～20 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス）

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

（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：村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：村岡　裕明
（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（東北大学大学院文学研究科）
塩入　諭（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）
Patrick Cavanagh
（Laboratoire Psychologie de la Perception Université Paris Descartes）
Laurent Itti
（University of Southern California）
越前　功
（国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系）
二瓶　真理子（松山大学経済学部経済学科）
大黒　岳彦（明治大学情報ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ学部）

延べ参加人数：55 人

研究費：旅費　236,000 円
国際特別支援費　200,000 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。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，情報の質を定義して価値を判断するアルゴリズムについて検討を行った。

そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，具体的な研究課題の企画に資するための議論を展開した。以下，研究活動状況の概要を記す。

【研究会】

①平成 29 年第 1 回
日時：6 月 1 日（木）14:00～16 時半
会場：電気通信研究所 3 階ゼミ室 M331
議題：「ポストネットワーク」明治大・大黒岳彦、「ウェブ・アーカイビング」松山大・二瓶真理子
出席者：15 名

②平成 29 年度第 2 回
日時：9 月 26 日（火）14:00～16 時半
会場：電気通信研究所 6 階中会議室 M602
議題：「機械と価値観」東北大・文・村上祐子、「次世代コンピューティング」富士通・石原輝雄、「予測・識別問題」東北大・経・石垣司
出席者：15 名

【個別テーマ】

①画像特徴による質判断の推定
②熟練技術者のように少量多品種に対応する人工知能搭載実装基板検査システム
③パターンの取捨選択時にはたらく人間の認知活動

［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）画像特徴による質判断の推定（塩入 諭、王　皓（東北大・電気通信研究所）、坂井 信之（東北大・高等研究機構・新領域創成部）

≪目的≫計算機によって自動抽出した画像の特徴から主観評価の予測を行うことができるモデルを開発する。今回は食品画像（お弁当画像）を対象とし、深層学習により訓練されたシステムが抽出する画像特徴を利用した人間の好みを評価する方法について検討した。

≪方法≫人間の評価を予測するための画像特徴の抽出には、物体認識のために訓練されたシステム、VGG-19 を使用した。また、利用するデータベースと

して、760 枚のお弁当画像に対しては「おいしそうか？」「盛り付けはきれいか？」「女性／男性向けか？」「食べてみたいか？」「写真は綺麗に撮れているか？」「若者／高齢者向けか？」の６つの評価質問を 100 人の被験者に行った結果（立命館大学和田有史先生からの提供）を用い、特徴量と主観評価スコアの間の相関を調べた。さらに、Itti らの提案する注意モデルに基づいた誘目性地図の利用による予測改善への効果についても検討した。
≪結果≫評価内容によって特徴量と主観評価スコアの間の相関パターンの違いが見られたため、画像特徴による主観評価予測の可能であることが示された。誘目性を考慮した場合は、①初期視覚に関連すると思われる評価（盛り付け、写真のきれいさ）で、相関が低下した、②高次の評価（おいしそうか、食べてみたいか）では、相関は不変であった、③「女性／男性向けか」と「若者／高齢者向けか」は逆の傾向となった。男女は 高次層で誘目性考慮で相関増加、老若は 低次層で誘目性考慮で相関低下した。
　今後、実際の視線分布を利用することで、視覚処理を取り入れた評価を目指す。

（２）熟練技術者のように少量多品種に対応する人工知能搭載実装基板検査システム
田面木　真也、、齋藤　武、鈴木　章弘、板橋　勉（東北電子産業株式会社）、塩入　諭（東北大・電気通信研究所）
≪目的≫検査する場所や判定基準の変更が多々発生する少量多品種の生産ラインでは、検査に対して柔軟性のある熟練技術者への依存度が高い。生産性をあげるため、「画像認識技術」を用い、少量多品種でも検査に対して柔軟性をもつ自動検査装置を開発することを目的とする。
≪結果≫市場調査を行い、自動検査装置の課題抽出を行った。それらの課題を考慮し、自動検査装置の設計では、ギア等の機構設計、制御方法の決定及び制御基板の作成、メカ部分の作成及び制御を行った。

（３）パターンの取捨選択時にはたらく人間の認知活動（行場次朗（東北大学大学院文学研究科）
≪目的≫パターンの良さの評定の研究では、変換構造説などの認知モデルが提出されてきたが、パターンの集合から、限定された数のパターンを取捨選択（トリアージ）する際に、どのような認知活動が関わるのかほとんど研究がなされていない。そこで今回は、変換構造と良さ評定が既知であるパターンを刺激として用いて、方法に示すような取捨選択課題を行い、その際にはたらく認知活動を明確化することを目的とした。
≪方法≫
パターンの取捨選択時にはたらく認知活動を推定するために、今回は、遺跡発掘者という条件を設定し、仮想の遺跡から見つかった絵文字 48 パターン）から持ち帰ることができる６あるいは12個のパターンを選択する実験を 24 名に対して行った。
≪結果≫①選択許容数が少ないと（６つしか持ち帰ることができないという、ゆとりがない場合）、 知識構造に一致する（認知的に安定し、解釈が容易な）情報を主として保存する傾向にある。すなわち、認知構造に依拠した規則性、法則性を見いだせないものから捨てられていく。
②選択数が多くなっても（12 個のパターンを持ち帰ることができるという、比較的ゆとりがある場合であっても）、 容易に認知できる情報を優先的に選択する傾向は依然としてみられるが、知識構造では容易に解釈ができない（認知的に負荷がかかる）情報でも、できるだけ均等の残そうとする傾向もあらわれる。

（４）国際特別支援に係る研究成果
○支援の効果
　イタリア学術会議考古学文化財研究所 CNR-IBAM の Massimo Cultraro 教授を AIIC シンポジウムにおいて招待講演を企画することで、イラクの古代美術品のヴァーチャルミュージアムの研究を通して、文化遺産の新しいコミュニケーション技術の重要性を認識することができたとともに、今後の本プロジェクトでの美術における研究企画の連携テーマの検討も可能となった。
○招聘実績
AIIC シンポジウムでの招待講演
・Massimo Cultraro（イタリア学術会議考古学文化財研究所、教授）

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献等
　本プロジェクトにより，異分野研究者の交流が活性化し，東北大学の掲げる戦略に合致し、平成 30 年度国立大学法人機能強化促進費により新しい情報科学の創出を目指すヨッタインフォマティクス研究センター設置に発展した。同センターは、共同利用・共同研究拠点である電気通信研究所が中心となって学内８部局の教員により構成される。加えて、通研と文学研究科が連携し、高等研究機構新領域創成部に講座を設置し、さらに、国立大学法人機能強化促進費により若手研究者の採用を予定しており、研究体制の強化を図る。
　これまでに、文理融合研究として情報定質化の基

本概念の構築、大容量の古典籍データに関する文学・工学の共同研究をはじめ６つのプロジェクトを企画を開始している。また、地域企業とともに競争的研究資金を獲得し、ものづくり分野における製品開発にも取り組んでいる。さらに、本プロジェクトにより学外の研究者との研究における連携も推進している。

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の成果は，情報質インフォマティクス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。

（1）他のプロジェクトへの発展

①

・プロジェクト名：ヨッタインフォマティクス研究センターの設立　ー超巨大情報量時代に向けた情報の質と価値の科学技術構築事業ー
・資金制度、研究費名：平成 30 年度国立大学法人機能強化促進費
・配分機関名：文部科学省？
・研究期間：5 年間

②

・プロジェクト名：熟練技術者のように少量多品種に対応する人工知能搭載実装基板検査システムの研究開発（東北電子産業株式会社との共同研究）
・資金制度、研究費名：戦略的情報通信研究開発推進事業（ＳＣＯＰＥ）・若手 ICT 研究者等育成型研究開発・中小企業枠
・配分機関名：総務省
・研究期間：1 年間

（2）国際会議・シンポジウム開催状況

・シンポジウム名：AIIC シンポジウム「ヨッタインフォマティクスの世界　～ビヨンドビッグデータの地平～」
・日時：平成 30 年 3 月 23 日（金）13:30-17:00
・開催場所：東北大学電気通信研究所本館
・参加人数：25 名

（3）関連学会での発表

①Satoshi Shioiri, “Implicit Learning of Spatial Layouts and Modeling the Process for AI Clone.”, The 1st NTU-Tohoku U Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies, Invited Talk, December 2017.

②Satoshi Shioiri, “Attention at locations unattended”, Asia Pacific Conference on Vision, 13-17 July, 2017, Tainan, Taiwan（招待講演）″

③Shioiri, S, Honjyo, H, Kashiwase, Y, Miura, T, Matsumiya, K, Kuriki, I, “Dynamic change of spa al a en on measured by event related steady state visual evoked potenal”, European Conference on Visual Perception, 27-31 August 2017, Berlin, Germany.

④Satoshi Shioiri, Zhengxiong Yuan, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, “Modeling the learning process of object locations in natural scenes, Asia Pacific Conference on Vision, 13-17 July, 2017, Tainan, Taiwan.

⑤Takumi Miura, Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri, “Measuring attentional facilitation related to preparation of hand movements.”, Asia Pacific Conference on Vision, 13-17 July, 2017, Tainan, Taiwan.

⑥村岡裕明、「ヨッタバイトスケール巨大情報量とそのインパクト」、東北大学 Tohoku Forum for Creativity Symposium「データとインテリジェンス」，8 月 24 日，2017，仙台.

［4］成果資料

①Zhenglie Cui, Shuichi Sakamoto, Jiro Gyoba and Yôiti Suzuki , “Influence of visual depth and vibration on the high-level perception of reality in 3D contents.”, Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 8(6), 1382-1391 (2017).

②柳生寛幸，崔正烈，坂本修一，鈴木陽一，行場次朗、「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」、エンタテインメントコンピューティング 2017、11-16 (2017)

③Ichiro Kuriki, Ryan Lange, Yumiko Muto, Angela M Brown, Kazuho Fukuda, Rumi Tokunaga, Delwin T Lindsey, Keiji Uchikawa, Satoshi Shioiri, “The modern Japanese color lexicon”, Journal of Vision 17 (3), 1-1(2017)

④野々村萌，松宮一道，栗木一郎，塩入諭，「錯覚的手の位置への視覚的注意（ヒューマン情報処理）」、電子情報通信学会技術研究報告= IEICE technical report: 信学技報 116 (377), 29 - 32

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

(国際・産学)

採択番号：**H28/B15**

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

［1］組織

研究代表者

末田　航（シンガポール国立大学)

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

川内 見作（シンガポール国立大学)

鈴木 由信（シンガポール国立大学)

矢口 陽介(Namiki precision Singapore Pte. Ltd.)

延べ参加人数　５人

研究費

旅費	302,000 円
国際特別支援費	200,000 円
産学特別支援費	50,000 円

［2］研究経過

遠隔操作ロボットやドローン等の普及に伴って、遠隔での機体操作や撮影作業を円滑に行うためのFPV(First Person View)や第３人称視点による安定した映像配信のための小型軽量機器と容易に操作が可能なユーザインタフェースの需要が高まっている。とりわけ空撮映像を安定化させるためのジンバルは撮影オペレータと鑑賞者双方にとって重要な装置である。昨今のドローンを取り巻く状況は、安全面や法的な制約から、高性能と小型軽量を両立させる必要があり、これらの要求を満たす超小型ジンバルの研究開発価値は高い。本研究会では、将来における国別・産学でのドローンとそのアプリケーションのニーズの把握と議論、また試作を通して超小型ジンバル研究開発の方向付けと、そのアプリケーションについての検討を行った。また本研究会では、研究開発を推進するための資金や協力者の獲得を目的に、各種グラントへの応募や関連団体との会合などを行っている。それらの取り組みの一部は、例えば中山隼雄科学技術文化財団の助成金事業に採択されるなど、次のステップへの足がかりとなった。

以下，研究活動状況の概要を記す。

第１回：2017/5/27-5/28

超小型ジンバルの適用先と、そのアプリケーションについて、電気通信研究所北村研究室のメンバーと協議と、研究開発を推進するための資金獲得先の模索として、カシオ財団などの公募に対し提案書を準備した。また、地域におけるドローンの利用を円滑にする目的で（一社）ドローンテックラボ仙台の関係者と接触した。

第２回：2017/6/30-7/4

ドローン特区である仙台で日本ドローンレース協会などの主催で開催された、「Japan Drone Nationals 2017 in Sendai」の視察と、当レースへ集まる関係者に対し、同年９月に電気通信研究所で開催した情報処理学会 EC2017 のドローンセッションにての協力を得るために会合をもった。

第３回：2017/9/15-9/18

2018 年の 9/16 から 9/18 の会期で東北大学電気通信研究所本館で開催された情報処理学会シンポジウム エンタテインメントコンピューティング(EC2017)への参加と、研究成果の発表を行った。ハンズフリーのジンバルコントローラとして重要なヘッドトラッカーのオープンハードウェア・ソフトウェア化に関する発表の他に、学会参加者に向けてドローンのアプリケーションとしての FPV や空撮配信を鑑賞してもらうことを目的に、会場となった天気通信研究所本館にて、日本ドローンレース協会の協力により日本代表Ｗ杯出場パイロットを含む熟練 FPV パイロットを招聘し屋内ドローンレースを開催した。

［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。

情報処理学会 EC2017 にて研究発表：

ジンバルのコントローラ用のオープンソース・ハードウェア「500 円ヘッドトラッカー」を EC2017 にて発表[1]。使用に必要な、ソフトウェアと回路情報を Github に公開[1]した。新しい装置の導入するために、安価で容易に入手可能なコンポーネントとソフトウェアによる利用環境を準備することの意義や可能性についての意見交換をすることができた。

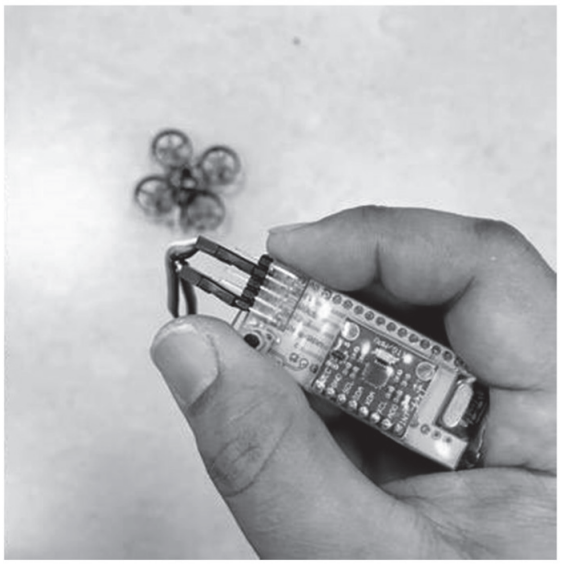


図 1 DIY ヘッドトラッカーのユニット

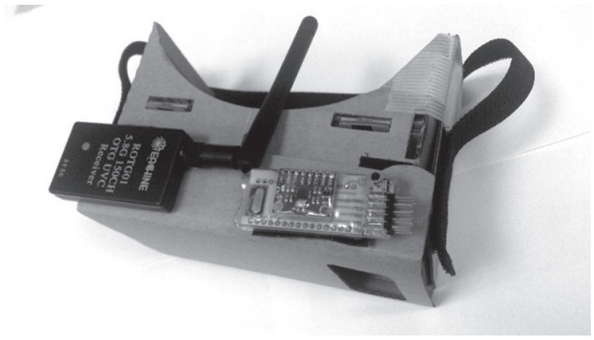


図 2 ヘッドトラッカーを用いたゴーグル型コントローラ

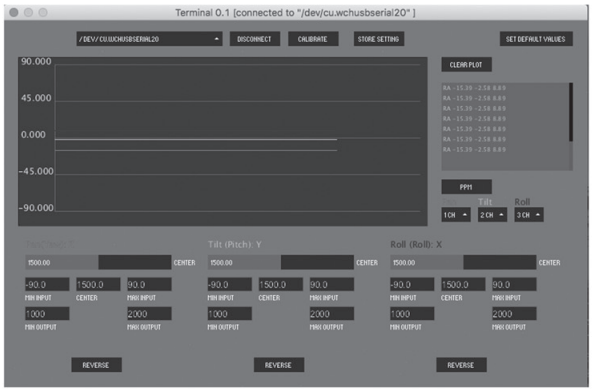


図 3　ヘッドトラッカー設定ソフトウェア

グラントの獲得と研究協力者の開拓：

研究会で検討した本研究の方向性を具現化するために研究資金獲得と、飛行場所の提供も含めたドローンの運用等を支援可能な協力者の開拓を行った。研究資金面では、「IT-21 センタープロジェクト B 萌芽研究部」テーマとして採択された。本テーマでは申請者と北村研究室らが本研究会と並行して活動している「エンタメドローン研究会」、「カラスと対話するドローンの開発」を統合するかたちで、「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基盤技術の研究開発」として、研究開発を開始することとなった[2]。また、ドローンを用いたインタラクティブシステムの中で、映像配信技術革新の需要が見込まれる娯楽用途のドローン向けアプリケーション開発研究として「ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法の研究」が、中山隼雄財団研究助成事業に採択され、2018 年度から本格的に研究活動を開始する[3]。

本研究会では、ドローン研究開発における実証実験のための環境を整備するため、産学官を問わず、ドローンの運用を支援する組織との連携を常に模索している。2017 年 9 月と 11 月には、本研究会発足時から交流を続けている仙台市産業振興課の紹介により、仙山連携の連携先である山形市と共同でカラス対策音声システムとドローンの運用実験を行ったが、ジンバル開発と空撮技術の支援システムの適用先を模索したことが発端となっている。

国際共同研究活動：

本研究会では、申請者の所属するシンガポール国立大学から、申請者の他に 2 名のスタッフが訪仙し、前述の情報処理学会 EC2017 にて論文やデモの発表、ドローンセッションの運営に携わった。また、本研究会活動を進める中で、当分野の実社会への適用先として有力である娯楽分野に於けるドローン活用に

1 https://github.com/GimbalBrosNUS/head-tracker

ついての調査研究一環として、「娯楽用途に適用可能なドローン関連分野の研究発表についての調査及び発表者との議論」が文部科学省の「日本国外アカデミアで注目される研究テーマ」の委託調査事業[1]として選定[2]され、2017年12月にタイ王国のバンコクにて開催された、CG,AR/VR 系最大級の国際学会「ACM SIGGRAPH Asia 2017」にて、関連分野の調査と、参加者との議論等を行った。また、同事業にて調査結果の議論の場として開催するワークショップで屋内FPV ドローンレースを開催、関連分野の関係者（研究者、起業家、ドローンレーサー、ドローン興行事業者など）と想定顧客としてのレース鑑賞者とで、娯楽向けドローンの社会への浸透に際した課題や、可能性についての議論を行った。またこのワークショップで開催したドローンレースがきっかけとなり、シンガポール科学技術センター（Science Centre Singapore）の公式行事として、同国内のドローンソリューション事業を手掛けるスタートアップ企業とともに、2018年4月にシンガポール国内の屋内FPV ドローンレースの開催することが決定している。

特別支援（国際・産学）にかかわる成果：

以上、本項で前述した当研究会の成果は、シンガポール国立大学からの研究者の参加（３名）、産業界からはIHI（１２月に１名訪仙），並木精密宝石や由紀精密など金属加工や精密加工を得意とする企業のアドバイスを受け、具体的な設計実装に向けて引き続き協議を進める体制が整いつつある。またこれらの活動のための関係者の招聘費用等は、本共同プロジェクト研究の特別支援（国際・産学）によって助成を受けている。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

前述の通り、当初ドローンの空撮技術を支援するハードウェアとしての超小型ジンバルの研究会としてスタートして、本研究会はドローン業界や潜在ユーザの需要を検討する過程で、娯楽や空撮技術を支えるインタフェースの開発を視野にいれるようになったことで、産学官を巻き込んだ共同研究プロジェクトへと発展しつつある。また、研究会での議論から派生した新たなテーマの幾つかは、グラントを獲得し、具体的な研究開発活動として継続される見込みであり、社会のニーズとマッチした研究の方向性を模索する過程で、ドローンを運用・実証実験を行うための協力者を得ることができた。2018年度はこれらの成果をもとに、ますます活発に共同研究活動を進める予定である。

成果資料：

[1]500円DIY ヘッドトラッカー計画, 川内 見作，末田 航, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2017論文集, 2017, 92-99 (2017-09-09)

[2]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, IT-21 センタープロジェクトB萌芽研究部, 2017/10-2020/3

[3] 「ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法の研究」, H31 年度中山隼雄財団研究助成事業 http://www.nakayama-zaidan.or.jp/activity-grant04.html

---

2 https://www.mri.co.jp/news/information/uploadfiles/1_youkou_academia201708_v2.pdf

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 H29/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：　梅村　晋一郎
（東北大学大学院医工学研究科）
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）
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）
金井　浩（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）
鹿田真一（独立行政法人産業技術総合研究所
ダイヤモンド研究センター）
高野剛浩（東北工業大学工学部）
高柳真司
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
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：９４人

研究費：旅費　　302,000 円
産学特別支援費　50,000 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 28 年 2 月 5 日，2 月 6 日の両日に東北大学工学部カタール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 2018」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，日立製作所の川畑健一博士による「定量的生体情報イメージング用の Medical Ultrasound Tomography (MUST) プロトシステムの構築」，千葉大学の橋本研也教授による「SAW/BAW デバイスの波動論的解析に関する最近の話題」(1) と題する招待講演 2 件を含む計 26 件の研究発表が行われた．参加者は昨年度を上回る 94 名であり活発なシンポジウムとなった．

現在、医療診断に用いられている超音波イメージングは，すべてパルス・エコー法によるものである．一方，透過法に基づく超音波 Tomography は，過去数十年にわたり幾度も医療診断応用をめざして研究開発の挑戦がされてきたが，臨床的実用に至っていない．川畑博士による招待講演は，その技術背景を踏まえた上で，最近，日立製作所で進めている研究開発に関するものである．送受信器の特性による影響を詳細に取り込んだ信号処理により，実用に供し得る画像が得られたことが報告され，医用超音波分野を中心とする研究者に注目された．

現在の SAW/BAW デバイスの研究開発における解析は，工業製品化をめざした具体的デバイス構造

に関する数値計算シミュレーションが多くを占めるようになり，原理まで遡るような波動論的解析がされることは稀になってきている．これに対して，橋本教授による招待講演は，波動論的解析の重要性を説いたもので，デバイス設計の大局的な見通しを立てるにあたって有用であることが伝わる講演であった．特に，SAW/BAW デバイス設計に携わるメーカー技術者の注目を多く集めた．

２講演とも，意義たいへん大であった．

各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである．

(A) **圧電特性**：非線形弾性係数を導入したボルト締めランジュバン振動子の非線形モデル化は，高パワー動作が当然である同振動子の動作解析において重要な発表であった．また，抗電界の高い圧電層と低い圧電層とを交互に重ねて，共振周波数をスイッチャブルとした薄膜共振子など，圧電特性を巧みに利用したユニークな構造をもつ圧電デバイスの報告が数多くあった．

(B) **医療応用**：招待講演のほか，光音響イメージング用球面アレイ・トランスデューサ，低強度パルス超音波生体刺激装置(2)などの発表があった．

(C)(D) **SAW デバイス**：招待講演のほか，圧電薄膜と高速基板の接合による高結合化・高安定化の一つ方法として，水晶基板の上に $LiTaO_3$ 薄板を接合した構造について発表(3)があった

(E) **圧電材料**：PZT 薄膜とバルク圧電材料(4)と題し，薄膜とバルクの両方を圧電デバイス材料の観点から大局的に眺めた発表(4)があった．また，ScAlN 薄膜のスパッタ成膜中に，Sc ターゲットに不純物として含まれる酸素が高エネルギーの負イオンとなって基板に照射され，ScAlN 薄膜の結晶配向性と圧電性の劣化について詳細に調べた結果について発表(5)があった．

(F) **計測応用**：弾性表面波を用いた液滴位置計測において，液滴内部に発生する音響流の影響を調べた発表(6)があった．また，すべりモードを利用した液体試料の特性を計測するセンサに関する発表が２件，ボール SAW 水分計に関する発表，たわみモードを用いた発電デバイスに関する発表があった．

［３］研究成果

(A) 成果・波及効果と発展性：

医療応用分野では，招待講演により，医用超音波イメージングにおける新しい方向の可能性を提言できた．

SAW デバイス分野では，招待講演(2)により，SAW/BAW 研究開発および設計における指針設定に役立つ波動論的解析について，示唆を提供することができた．

圧電材料分野では，薄膜デバイス用とバルク・デバイス用をまたいで圧電材料を大局的に眺める(4)ことのできる視点を提供できた．

計測応用分野では，ボール SAW を含む SAW のセンサ応用に展望を与えることができた．

(B) 産学特別支援に係る成果：

産学特別支援費を，旅費に加算して用いることによって，より多くの講演者を招致することができ，本研究会の活性化に役立てることができた．しかし，旅費としての補助に対して予稿集への謝辞記載を要求したためか，一部の招待講演者が旅費受け取りを辞退したため，１－２名分の旅費を余して予算を使う結果となった，

(C) 研究分野への貢献：

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研究集会の一つとして認知されるに至っている．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) K. Hashimoto, L. Xinyi, B. Jingfu, H. Yulin, Z. Benfeng, H. Tao, “Recent topics on theoretical analysis of waves in SAW/BAW devices”, Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp, 2018, pp. 65-72.

(2) Y. Yamashita, T. Karaki, G. F. Xu, P. F. Ni, “Application of multi-frequencies and mult-pulse repetition frequencies of low intensity pulse ultrasound whole body stimulation equipment”, Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp, 2018, pp. 37-38.

(3) J. Hayashi, K. Yamaya, M. Suzuki, S. Kakio, H. Suzaki, T. Yonai, K. Kishida, J. Mizuno, “High coupling and highly stable leaky SAWs on $LiTaO_3$ thin plate bonded to quartz substrate”, Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp, 2018, pp. 47-52.

(4) K. Wasa, T. Shimizu, H. Adachi, S. Yoshida, T. Yanagitani, S. Tanaka, “PZT thin films &

bulk piezoelectric materials", Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp, 2018, pp. 69-68.
(5) S. Takayanagi, T. Yanagitani, "Degradation of crystalline orientation and elelctromechanical property of ScAlN film by negative ion bombardment from Sc grains during sputtering deposition", Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp, 2018, pp. 81-84.
(6) S. Tsunogaya, J. Kondoh, "Measurements of droplet position using surface acoustic wave: Influence of acoustic streaming in droplet", Proc. Piezoelectric & Materials Devices Symp, 2018, pp. 87-90.

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
（富山高等専門学校電気制御システム工学科）
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
杤　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（東北学院大学工学部）
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：23 人

研究費
旅費　274,000 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た。

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

共同プロジェクト研究会は平成30年2月7日に通研にて開催し，9 人が参加し発表および議論を行った。また，平成29年7月14日に通研にて開催された電気学会マグネティックス研究会（https://workshop.iee.or.jp/sbtk/cgi-bin/sbtk-show program.cgi?workshopid=SBW00004E94）に協賛し，本共同プロジェクト研究参加者からは8 人が参加して議論が行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

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，活発な議論が行われた。

共同プロジェクト研究会においては3件の研究が紹介された。磁性体の混合材料を精密加工に応用する研究については，磁束制御のための装置周辺の磁性材料配置や装置構造に対する議論が行われ，加工法の特徴やメカニズムに対する議論も行われた。

高周波伝送線路の表皮効果損失低減を目的として

磁性材料の負の透磁率を応用する研究については，数値解析に用いられた各種材料特性の実現可能性や，非定常状態での動作について議論が深められた。

熱や応力による磁区構造変化の観察を試みる研究については，測定の難しさや，そのための装置の工夫が詳細に説明されたことに対して，さらに多くの視点から測定方法の検討が行われた。

（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異なる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。本年度の研究会における発表に限っても，磁性材料の微細構造の観察と機械加工への利用，そして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幅広い視点からの指摘が数多くなされた。本年度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. Yoshiaki Hayashi, Tomoyuki Ogawa, and Kazushi Ishiyama, “Preparation and characterization of SiO_2 -coated submicron-sized L1_0 Fe-Pt particles”,AIP Advances, 8, 056416 (2018)

2. Shigeru Takeda and Masayuki Naoe: “Size optimization for complex permeability measurement of magnetic thin films using a short-circuited microstrip line up to 30GHz”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 449 pp. 530-537 (2017.10).

3. Jingyan Ma, Sho Muroga, Yasushi Endo, Shuichiro Hashi, Masayuki Naoe, Hiroo Yokoyama, Yoshiaki Hayashi, and Kazushi Ishiyama: “Noise suppression and crosstalk analysis of on-chip magnetic film-type noise suppressor”, AIP Advances, Vol. 8, No. 5, 056613 (2017.12).

4. 直江 正幸, 武田 茂, 本間 敦: 「組成により 10 GHz を超える共鳴周波数を呈するナノグラニュラー強磁性膜」, 電気学会研究会資料(マグネティックス研究会, MAG-17-079～085), MAG-17-079, pp. 1-6 (2017).

5. M. Nakano, Y. Chikuba, D. Shimizu, A. Yamashita, T. Yanai, and H. Fukunaga, “Enhancement in (BH)max of PLD-made isotropic Nd-Fe-B thick film magnets deposited on Si substrates”, AIP Advances, Vol.7, (2017) #056239.

6. Y. Furukawa, H. Koga, T. Yanai, M. Nakano, and H.Fukunaga, “Anisotropic Sm-Co/α-Fe Thick-Film Magnets Prepared by Two-Step Annealing”, IEEE Magnetics Letters, Vol. 8 (2017) #5502104.

7. 山下 昂洋, 黒崎 陽, 柳井 武志, 福永 博俊, 中野 正基, “PLD 法を用い作製した Pr-Fe-B/Fe-Co 積層型ナノコンポジット磁石膜の磁気特性ならびに微細構造に関する研究”, 電気学会論文誌Ａ（基礎・材料・共通部門誌）, Vol. 137, (2017) pp. 404-409.

8. T. Yanai, K. Koda, K. Eguchi, K. Takashima, T. Morimura, M. Nakano, H. Fukunaga, “Effect of ammonium chloride in plating baths on soft magnetic properties of electroplated Fe-Ni films”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, Issue 11 (2017) #2004303.

9. T. Yanai, R. Hamamura, J. Honda, A. Tomita, H. Yamada, N. Fujita, K. Takashima, M. Nakano, H. Fukunaga, “Electroplated Co-Pt thick-film-magnets prepared in citric-acid-based plating baths”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, Issue 11, (2017) #2101803.

10. T. Yanai, T. Yamaguchi, T. Akiyoshi, K. Takashima, M. Nakano, H. Fukunaga, “Effects of glycine in DES-based plating baths on structural and magnetic properties of Fe-Ni films”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, Issue 11, (2017) #2004404.

11. M. Itakura, S. Murayama, M. Mitsuhara M. Nishida, H. Koga, M. Nakano, H. Fukunaga, “Microstructures of Ta-Inserted SmCo5/Fe Nanocomposite Thick Film Magnets”, MATERIALS TRANSACTIONS, Vol. 58, No. 10, (2017) pp. 1351-1355.

12. C. Neetzel, T. Ohgai, T. Yanai, M. Nakano and H. Fukunaga, “Uniaxial Magnetization Performance of Textured Fe Nanowire Arrays Electrodeposited by a Pulsed Potential Deposition Technique”, Nanoscale Research Letters, Vol.12, (2017) #598

13. T. Yanai, K. Koda, K. Eguchi, T. Morimura, K. Takashima, M. Nakano, 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) #056239.

14. 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) #056127.

15. T. Yanai, K. Eguchi, K. Koda, J. Kaji, H. Aramaki, K. Takashima, M. Nakano, H. Fukunaga, “Investigation of coercivity for electroplated Fe-Ni thick films”, AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018) #056123.

16. T. Yanai, J. Honda, R. Hamamura, Y. Omagari, H. Yamada, N. Fujita, K. Takashima, M. Nakano, H. Fukunaga, “Improvement in surface conditions of

electroplated Fe-Pt thick-film magnets", AIP Advances, Vol. 8, Issue 5 (2018) #056437.

17. 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) #056106.

18. M. Nakano, H. Kondo, A. Yamashita, T. Yanai, M. Itakura, and H. Fukunaga, "Preparation of Nd-Fe-B/α-Fe nano-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) # 056223.

19. 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) # 056231.

共同プロジェクト研究

採択回数	(1)	2	3

(先端)

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
大野　英男
（東北大学 電気通信研究所）
研究分担者：
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
（独立行政法人　物質・材料研究機構）
大毛利　健治
（筑波大学　数理物質科学研究科
/デバイスラボ）
村口　正和
（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　207,000 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。これら高効率な電力変換と消費電力の削減は、それぞれ別の課題として存在するのではなく、将来的には一体のシステ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とその回路および集積化技術である。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る。また、あらゆる電気機器にはマイコンをはじめとする集積回路が搭載されており、それらは当然、半導体デバイスとその回路技術に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、それぞれ別々に発展を遂げてきた。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、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。本プロジェクトは、本年度が初年度であった。本年度は、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を組織し、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できる体制の構築を進めた。当該技術分野での議論を深めていくうえで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SiC などの新規材料を用いた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、2018 年 3 月 3 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状況などについて、産業界、国の研究機関からの研究者らを招聘し、技術討論を行い、本プロジェクトのテーマに関する議論を行った。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２５名、学生２０名以上であった。

これに加えて、本分野の主要研究会である電子デバイス界面テクノロジー研究会、IWDTF、応用物理学会などにおいて、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システ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の議論を中心に、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、分野横断的にテクノロジーとサイエンスの視点の両面から議論を出来る枠組みを構築した。これにより、単なるナノ構造デバイスやパワー半導体素子の研究開発にとどまらない、より上位のシステムまでを視野に入れた学問分野の構築の端緒が得られる体制が整った。

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 のスケーリングやそのデバイス内部での少数キャリア寿命の評価技術、新規材料であるSiC 上の熱酸化膜の持つ特異性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、両者の研究開発に対する問題意識の共有などに関しても得るものがあった。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融合領域の新たな姿の端緒を得ることが出来た。

以上まとめると、本プロジェクトの本年度の活動では、電気エネルギーの高効率利用に向けた半導体デバイス技術をパワーエレクトロニクスと集積回路技術の融合という観点から検討することで今後の技術の方向性について端緒を得て、これにより将来の集積システムに求められる技術課題の抽出やスペックなどに着手できた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本年度は、まず本研究会が目指す当該分野での目標の共有と枠組み構築に注力し、また新たなメンバーとして産業界の研究者らを加え継続的に活動できる土台を作ることができた。来年度以降本テーマについてメンバー間の議論を成熟させていくことで、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へ向けた活動につなげていく。

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。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、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。この新たな集積システムは、バイオテクノロジー、生態認証、磁性デバイス、MEMS 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。加えて、本研究

会での活動を通して、若手研究者らを中心とした交流の活発化と拡大を進め、新たに顕れつつある本研究領域を今後の大きな成長の柱に育てていくことを目指す。

［4］成果資料

（1）Yoshiyuki YAMASHITA, Ryu HASUNUMA, Takahiro NAGATA, Toyohiro CHIKYOW. Direct Observation of the Energy Distribution of Interface States at SiO2/4H-SiC Interface: Operando Hard X-ray Photoelectron Spectroscopic Study. JOURNAL OF THE SURFACE SCIENCE SOCIETY OF JAPAN(表面科学). 38［7］(2017) 347 10.1380/jsssj.38.347

（２） Yoshihisa Suzuki, Takahiro Nagata, Yoshiyuki Yamashita, Toshihide Nabatame, Atsushi Ogura1 and Toyohiro Chikyow, “Effect of Y and Mn doping into rutile type TiO2/Ge stack structure by combinatorial synthesis”. JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. 56［6S1］(2017) 06GF11-1 10.7567/jjap.56.06gf11

(3) T. Chikyo, “Study on Semiconductor Device and its Integrated Electronics Systems for High Efficiency Energy Utilization”, 共同プロジェクト報告会, ポスターH29/B03, 2018.02.22

採択回数 (1) 2 3
(萌芽)

採択番号：**H29/B04**

第一原理ナノ構造設計手法の開発

［1］組織
研究代表者
下司　雅章（大阪大学ナノサイエンスデザイン教育研究センター）
通研対応教員
阿部　和多加（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
石河　孝洋（大阪大学基礎工学研究科附属極限科学センター）
中西　章尊（大阪大学基礎工学研究科附属極限科学センター）
洗平　昌晃（名古屋大学未来材料・システム研究所）
原嶋　庸介（国立研究開発法人物質・材料研究機構磁性・スピントロニクス材料研究拠点元素戦略磁性材料研究拠点）
延べ参加人数：6 人

研究費
旅費　124,000 円

［2］研究経過

物質の安定構造を第一原理計算で探る場合、1990 年代頃までは試行錯誤に頼ることが多かった。構造探索法というと、分子動力学を利用したアニーリングなどはあったが、これは扱うセルが大きいため計算時間がかかるし、きれいな結晶構造にたどり着くことも少ない。しかしこの状況は、2000 年代以降大きく変化する。それは、第一原理計算による系統的な構造探索法が、高圧分野を中心として発展してきたことによる。現在では、未知の高圧相の理論予測において、試行錯誤や分子動力学に頼ることはほとんどない。そこで用いられているのは、進化的アルゴリズムによる構造探索、粒子群最適化法、そしてランダム構造探索などの第一原理構造探索法である。実際これらの手法はかなり有効であり、例えば既知の系に対して試した場合、それほどの困難なく安定構造にたどり着くことが確認されている。

ただ今のところ、第一原理構造探索法はバルクに対してのみ適用されているのが実情だ。またバルクであっても、現実的な時間で見つけ出せるのはおそらくプリミティブセル内の原子数が 30 個程度の系までであろう。（ただし、探索領域になんらかの制限を課すことができれば、系の拡大はできる。）原子数が 2 倍になると、安定構造が現れる可能性は、粗くいって一桁下がる。またそのほかにも、第一原理計算自体に多大な時間がかかる。第一原理構造探索法を表面、界面等のナノ構造に適用するならば、何らかの工夫がさらに必要になるのは確かだ。

本プロジェクトでは、将来的なナノ構造への第一原理構造探索の適用を見据えて、主に構造探索法の高速化に関する議論を実施した。この目的のため平成 29 年 9 月 4 日に研究会（参加人数 6 人）を開催した。またこの研究会では、構造探索法とともに、磁性、超伝導等所望の物性を有する物質の設計手法についても議論されている。

［3］成果

（3－1）研究成果

<u>ランダム構造探索法の開発と有効性の評価</u>

今のところ、最も広く用いられている構造探索法は、進化的アルゴリズムによるものである。しかし、生成された構造の数に対して安定構造が現れる回数（即ち効率）を比較すると、ランダム構造探索法でもそれほど遜色はないことが、本プロジェクトの研究過程で分ってきた。例えば、水素の高圧原子相である Fddd 構造を進化的アルゴリズムで探索した場合、10 個の構造からなるグループを 25 世代に渡って調べる必要があった。即ち、Fddd 構造が現れるまでに生成された構造は 250 個になる。これに対してランダム構造探索法では、100 個中 3 個の割合で、Fddd 構造が現れた。条件がやや異なるので単純な比較はできないが、この場合はランダム構造探索法の方が効率はむしろ高くなっている。

進化的アルゴリズムも粒子群最適化法も、一群の構造が変化してゆくプロセスを踏み、最終的に安定構造にたどり着く。ただそのプロセスの設定によっては、探索領域を不適切に制限してしまうことがある。実際以下で触れるが、Zr 水素化合物において、粒子群最適化法で発見できなかった構造が、ランダム構造探索では見つけ出された。ランダム構造探索法では探索領域の絞り込みが起きないため、比較的安定して構造を探り出すという傾向はありそうだ。

進化的アルゴリズム、粒子群最適化法のように、構造の群れを発展させていく手法の場合、その探索過程には因果関係が存在する。これは並列計算へと拡張する際、ひとつの障害となる。一方、ランダム構造探索法では、全ての生成される構造に因果関係はなく、完全な並列処理が可能だ。各手法の効率に大きな違いがないことが分った今、構造間の完全並列処理が可能なランダム構造探索法が、大規模系への将来的な拡張には最適との予測がたつ。

また強磁性体に対しても、鉄などの典型的な系に対してではあるが、ランダム構造探索法が比較的うまく働くことが確認された。新奇強磁性材料設計、スピントロニクス材料設計等への応用を期待させる研究成果といえる。

水素化合物の高圧相探索への応用

本プロジェクトをとおして開発されたランダム構造探索コードを利用し、Zr水素化合物の高圧相探索を実施した。安定なZr水素化合物で、最も水素リッチなものは 常圧ではZrH_2であるが、ただこれも高圧下では状況が変る。最近の理論研究［Li *et al.*, Phys. Chem. Chem. Phys. **19**, 3538 (2017)］では、130 GPa以上で ZrH_6 が安定化されると予測され、その構造として$Cmc2_1$構造が提案されている。しかし本研究では、Liらの提案した構造とは異なる、他の$Cmc2_1$構造がより安定であることを示した。Liらの論文では実は粒子群最適化法が用いられており、本結果からも、ランダム構造探索法が有効な手段であることが窺える。

ちなみに、この新たな $Cmc2_1$ 構造は、加圧すると 275 GPa で I4/mmm 構造または$P2_1/c$ 構造へと転移する。(これら二つの構造は自由エネルギーが非常に近く、どちらが安定かは現時点で断定できない。) さらに加圧すると、320 GPa で I4/mmm 構造が明らかに安定構造となる。この三つの構造は全て金属相であり、超伝導転移温度（T_c）は$Cmc2_1$構造で 55 K (160 GPa)、$P2_1/c$ 構造で 153 K (295 GPa)、I4/mmm 構造で 114 K (295 GPa) と見積もっている。

他の高圧水素化合物についても、ランダム構造探索を実施している。そのひとつは Mg 水素化合物だ。これまでMgH_6は、MgH_4とHに相分離するため、320 GPa までは安定化しないとされてきた[Feng *et al.*, RSC Adv. **5**, 59292 (2015)]。しかし本研究における探索では新たに C2/m 構造を見つけ出し、MgH_6が 235 GPa で現れるとの予測を示している。この相も金属相であり、T_c は 25 K (260 GPa)程度となる。

また V 水素化合物に関しては、約 50 GPa 以上で VH_3 (Fm-3m 構造)、VH_5 (P6/mmm 構造)が安定化されるとの予測を示した。これも金属相であり、T_cはVH_3 (Fm-3m 構造)で 15 K (120 GPa)、VH_5 (P6/mmm 構造)で 18 K (100 GPa)と見積もっている。この T_cは他の水素化合物金属相と比較すると、やや低く思えるかもしれない。しかし、これまで V 水素化合物に対して示された T_cの最高値が、VH_2 (Pnma 構造)における 4 K (60 GPa) [Chen *et al.*, J. Chem. Phys. **140**, 114703 (2014)] であることを考えると、T_cの予測値はかなり上昇している。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトには、高圧物理、超伝導、表面界面、磁性、マクロスケールシミュレーションに携わる研究者が参加した。これまで第一原理構造探索手法は、主に高圧物理を専門とする、限られた理論家によって開発されて来たという経緯がある。この垣根を越えて、様々な分野での物質設計における需要を知ることにより、第一原理構造探索法の開発の将来的な方向性が明確になってきた。今後、第一原理構造探索法の適用が、他分野での応用へと拡張されていく重要なきっかけを、本プロジェクトは担ったといえるだろう。

［４］成果資料

該当なし

採択回数　(1)　2　3
（先端・産学）

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
大野　英男（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）
渡邉　孝信
（早稲田大学 理工学術院）
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
（東芝 セミコンダクター社/東京工業大学）
細井　卓治
（大阪大学 大学院工学研究科）
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）
村口　正和
（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	264,000 円
産学特別支援費	50,000 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や、IOT のための超低消費電力マイコンなどの技術に対する社会的要請が高まっており、これらの情報処理を実現するためには、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などの画像処理チップによっており、その動作上、低消費電力化に限界があり、大きな制約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技術を模索することを目的に本共同プロジェクト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初年度であった。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 や電子デバイス界面テクノロジー研究会、IWDTF などにおいて、随時会合を持ち、将来のエレクトロニクス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、2018

年３月３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の状況などについて、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、本テーマの深化と総括を進めた。なお、参加者は研究者２５名、学生２０名以上と盛況であった。また、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フリー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を考えると、新たな情報処理に必要となる集積システムへの要求とそれを実現するための新規デバイス技術というハードウエア側からのアプローチが不可欠となる。本研究会では、この視点から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に力点を置き活動を進めた。上述したように、産官学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、大学関係者のみならず、企業、国の研究機関など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。当該研究分野では、経済的な要因などから企業の研究者と大学の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、システムの高効率電力利用に不可欠な新規の電力変換素子向け素子およびその材料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、新材料を含むナノスケールの材料と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。

開催した研究会においては、当該分野の将来を担う若手研究者や学生に、積極的に研究報告の機会を与え、一流の研究者から自身の研究について評価を受け、議論できる場を設けた。活発な質疑が行われ、若手研究者に成長のきっかけを与えることが出来たと考えている。

また、産学の連携として大手半導体企業などから研究者を招聘し、将来の電子システムに関する議論を行うなど、当該分野における産業界のニーズと大学が持つシーズのマッチングを図り交流を拡大することができた。本交流を来年度以降も継続していきたい。

大学のみならず産業界の研究者を多数集め、研究会を組織し、分野を横断した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と日本を代表する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、初年度であり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布石を打っている段階である。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の課題の抽出を進め、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す。これらのことは、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り、科学技術立国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) H. Oka, K. Inoue, T. T. Nguyen, S. Kuroki, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Back-side illuminated GeSn photodiode array on quartz substrate fabricated by laser-induced liquid-phase crystallization for monolithically-integrated NIR imager chip", 63rd IEEE International Electron Devices Meeting (2017 IEDM), San Francisco, U.S.A., December 2 - 6, (2017).

(2) H. Oka, T. Amamoto, M. Koyama, Y. Imai, S. Kimura, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Fabrication of tensile-strained single-crystalline GeSn on transparent substrate by nucleation-controlled liquid-phase crystallization", Appl. Phys. Lett. 110, 032104 (2017).

(3) H. Oka, T. Tomita, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Lightly doped n-type tensile-strained single-crystalline GeSn-on-insulator structures formed by lateral liquid-phase crystallization", Applied Physics Express 11, 011304 (2018).

(4) Tetsuo Endoh, Masakazu Muraguchi, "Research on new concept devices with nano materials/ silicon integrated circuit hybrid technology and its application", 共同プロジェクト報告会, ポスター H29/B05, 2018.02.22

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・学術研究院）
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（明石工業高等専門学校）
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）
延べ参加人数：28 人

研究費：旅費　302,000 円
産学特別支援費　50,000 円

［2］研究経過

IoT（Internet of Things）時代においては，ユーザの主体が「ヒト」から「モノ」や「コト」へ変化するため，膨大な数のノードが多種多様な要求条件で通信を行うことが予想される．このような IoT 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．

これまでに，研究代表者の藤井，通研対応教員の亀田らは，電子情報通信学会スマート無線研究専門委員会（SR 研）や短距離無線通信研究会（SRW 研）などが主催の国際研究会 SmartCom を運営してきた．SmartCom は 2014 年にシンガポール，2015 年に東京，2016 年にフィンランド・オウル，2017 年にイタリア・ローマにて開催され，第 5 回が 2018 年秋にタイにて開催される予定である．SmartCom では日本と開催国の無線通信研究のコミュニティーを中心とし，無線通信に関する先進技術についての議論や技術交流を行ってきた．

［3］成果

（3－1）研究成果

2017 年 12 月 26 日（火）～27 日（水）に東北大学電気通信研究所などで第 1 回研究会を実施した．本研究会では，まずスマートスペクトラムとその応用分野に関連する以下の 6 件の講演を行い，議論した．

(1) アンテナ素子間隔制御型アダプティブアンテナ － 新しい自由度 －（梅林 健太・東京農工大学）

近年，第 5 世代移動通信システムをはじめとする移動体通信システムのさらなる高速化，高信頼化が望まれている．これを実現する技術に複数アンテナを用いた通信方式として MIMO（multiple inputs multiple outputs）やアダプティブアレーアンテナが注目されている．M 素子のアダプティブアレーアンテナでは，M 個の重みを適切に制御することで M-1 波までの独立な干渉波を除去できることが知られており，M-1 はアレー自由度と呼ばれ，それ以上の干渉

波存在する場合は干渉抑圧が困難とされてきた．本発表では，素子間隔を新たな自由度として捉え，重みだけでなく素子間隔を制御できる受信アダプティブアレーアンテナを想定する．特に，2 素子の線形アダプティブアレーアンテナを想定し，2 つの重みと 2 素子間隔 d を $0<d<L$（最大素子間隔）の範囲内で制御する．適切な素子間隔の制御が可能な場合，LoS （line of sight）の環境において 2 素子以上の素子数を持つ線形アダプティブアレーアンテナよりも高い平均通信路容量を達成することができることを示した．本アダプティブアレーアンテナでは，素子間隔を適切に決定する手法の開発が必要であり，この課題にも取り組んだ．具体的には，干渉波と希望波の到来方向情報を用いて SINR （Signal to interference plus noise power ratio）をできるだけ高くできる素子間隔を設定する手法を開発し，その有効性を計算機シミュレーションで示した．

(2) 無線 LAN パラメータ最適化戦略の模倣学習
（西尾 理志・京都大学）

IEEE 802.11 規格対応の無線 LAN（Local Area Networks）機器の普及に伴い，様々な用途や環境で無線 LAN が使用されるようになった．IEEE 802.11 対応機器には送信電力や通信チャネル, RTS (Request to Send) スレッショルドなど制御可能なパラメータがあり，通信環境にあわせて適切に設定する必要がある．しかし，適切な設定には専門知識が必要であり, また, 通信環境は時々刻々と変化していくため，無線通信帯域を効率よく利用するためには設定を変更していく必要がある．無線 LAN パラメータの最適化に関する先行研究では，特定の通信環境あるいは特定のパラメータのみを対象としており，想定外の環境や多数のパラメータに渡った最適化は十分議論されていない．本研究では，スループットを最大化するパラメータを学習する手法を検討した．具体的には，無線 LAN アクセスポイントが強化学習によりその BSS (Basic Service Set) で使用するパラメータを学習した．パラメータはビーコンにより端末に通知され，端末は決定されたパラメータを用いた．ここで課題となるのは，学習の速度である．環境が多様になりパラメータが多岐にわたると，環境や行動の空間が膨大になり，スループットを向上する方策への収束に時間がかかり，学習途中の性能が低下する．本研究では模倣学習を用いた方策の事前学習を提案した．既存のスループットモデルやヒューリスティックスに基づく制御を教師として教師あり学習させることで事前に良い方策を獲得する．これにより, 強化学習開始直後の性能低下期間を解消した．

(3) Graph-based Joint Signal/Power Restoration for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks
（金子 めぐみ・国立情報学研究所）

The design of energy- and spectrally efficient Wireless Sensor Networks (WSN) is crucial to support the upcoming expansion of Internet-of-Things (IoT) mobile data traffic. In this work, we consider an energy harvesting WSN where sensor data are periodically reported to a Fusion Center (FC) by a sparse set of active sensors. Unlike most existing works, the transmit power levels of each sensor are assumed to be unknown at the FC in this distributed setting. To regularize the ill-posed problem, we assume both a graph-signal smoothness prior (signal is smooth with respect to a graph modeling spatial correlations among sensors) and a sparsity power prior for the two unknown variables. We design an efficient algorithm by alternately fixing one variable and solving for the other until convergence. Specifically, when the signal is fixed, we solve for the power vector using Simplex pivoting in linear programming (LP) to iteratively identify sparse feasible solutions, locally minimizing an objective. Numerical results show that our proposal can achieve very low reconstruction errors and outperform conventional schemes based on Compressed Sensing (CS).

(4) ミリ波及びテラヘルツ波の電波伝搬に関する研究と標準化（沢田 浩和・情報通信研究機構）

携帯電話や無線 LAN 等の急速な普及による無線周波数の逼迫対策や高速通信を可能とする広い信号帯域が確保できる利点を理由に，ミリ波帯やテラヘルツ波帯の無線通信利用が検討されている．従来，高い周波数の電波は光波の性質に近づき，直進性が高くなるため移動通信用途には向かないと考えられてきたが，2019 年世界無線通信会議（WRC-19）において検討される議題の中には，IMT 周波数に対する 24.25–86 GHz 帯候補周波数の追加特定や，移動及び固定業務への 275–450 GHz 帯の周波数特定等が予定されており，技術革新によるミリ波・テラヘルツ波の移動通信利用に大きな期待が集まっている．また国内においては 40, 90 GHz 帯を鉄道路車間通信に利用しようとする動きもある．これらミリ波・テラヘルツ波帯の利用を検討するにあたり，通信回線の設計や他の無線システムとの周波数共用のための干渉評価が必要となるため，電波伝搬特性の明確化が求められている．本報告では，上記周波数帯におけるミリ波・テラヘルツ波帯の電波伝搬研究の成果及び研究成果の一部である伝搬モデルの開発と国際標準化の関わりについて，最新動向を紹介した．

(5) ミリ波レーダを応用したセーフティ向け
無線センシング技術（有吉 正行・NEC）

AI や IoT などの急速な進展を背景に，デジタルトランスフォーメーションを通じた社会課題の解決，新たな価値創造が期待されており，デジタルデータを活用して ICT で実現される「コト」の理解を起点にした社会価値創造が重要である．この価値創造プロセスは，実世界とサイバー世界の情報を統合して「見える化」「分析」「対処」の流れで進められる．本講演では「見える化」の実現手段であるセンシング技術を取りあげた．一方，世界の都市化に伴う治安・テロ対策ニーズの高まりなどを背景に，重大犯罪や事故を未然に防止するセーフティ（監視）ソリューションの充実が希求されている．一般的なセーフティやフィジカルセキュリティ用途のセンシング手段としては，カメラや赤外線センサ等が既に普及しているが，これらは可視領域での認識に限定され，夜間や悪天候時，見通し外領域などで性能が低下する弱点がある．本講演では，従来のカメラ等では捉えきれない「見えない状況」を「見える化」する，ミリ波レーダを応用した無線センシング技術およびその応用展開事例について紹介した．

(6) Smart Spectrum と今後の無線通信研究
（藤井 威生・電気通信大学）

本講演では将来の無線通信における周波数利用高度化を実現する一つのコンセプトである Smart Spectrum について，基本的な考え方から，構成要素技術，基礎実証実験の結果について紹介し，将来の無線通信における周波数利用がどのような形になるのかを俯瞰した．Smart Spectrum は高度な周波数利用のために，無線環境実観測に基づき，ユーザの要求に応じて環境適応的に周波数を利用するコンセプトである．スペクトラム観測，スペクトラムモデリング，スペクトラムデータベース，スペクトラム管理を一体化して，周波数を環境適応的に利用するものであり，従来の固定的な周波数利用からユーザ要求に基づくダイナミックな周波数利用を，高い周波数利用効率と品質保証を伴って実現することを目指している．特に，重要となるのが電波伝搬予測技術への応用である．従来は，経験則に基づく電波伝搬モデル化により実システムの電波伝搬予測や設計を行っていたが，予測精度が低く，不確定性が高いことが課題であった．一方，Smart Spectrum の世界では，無線端末を使ったスペクトラム観測結果を集約し，データベース化することで，正確な電波伝搬予測を行うことが可能となり，環境に適応した周波数共用と，あらかじめ無線通信品質を予測し保証することが可能となる．本講演では，Smart Spectrum を実現する上で重要な構成要素技術となるスペクトラムデータベースのアーキテクチャを示し，スペクトラムデータベースを使った実証例として，テレビ放送の電波到達状況を車両に搭載した無線機からの観測情報の集約により把握する実験，無線 LAN における隠れ端末状況を観測結果の集約により検出する検討，加えて V2V（Vehicle to Vehicle）通信における通信信頼度向上のためのスペクトラムデータベースの活用法について紹介した．その後，Smart Spectrum の考え方をもとに将来の無線通信の姿をおよび今後の無線通信研究がどのような方向性で発展していくのかを議論した．

その後，イブニングセッションにおいて，「スマートスペクトラムや周辺の無線通信技術の研究開発の方向性」をテーマに，参加者全員によるショートプレゼンテーションを実施し，活発な議論が行われた．

（特別支援（産学）に係る研究成果）

第 1 回研究会においては，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，国内外の若手の無線通信ならびに周辺技術に関する研究者のコミュニティーのすそ野を広げ，スマートスペクトラムをはじめとする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．

第 1 回研究会で議論された今後の無線通信技術の研究開発の方向性を基に，これから科研費・基盤研究（S）や総務省 SCOPE などをはじめとする，比較的大規模な共同研究へ発展させていく．また，国内外の研究者コミュニティーに対して，IoT 時代に求められるスマート無線化へのアプローチなど，無線通信技術の新たな研究開発の方向性を提言する．加えて，本研究会が国内外の若手の無線通信ならびに周辺技術に関する産学連携の研究者コミュニティーの中心となり，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などの発足を目指す．

［４］成果資料

[1] Takeo Fujii, “Smart Spectrum for V2X Communication,” Proc. SmartCom 2017, Rome, Italy, October 2017. (Invited Talk)
[2] 亀田 卓, “Massive Connect IoT: 高精度時刻・位置情報を活用した多元接続方式,” 信学技報, CQ2017-54, August 2017.（チュートリアル招待講演）

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（所属は申請時）

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（東京工業大学・環境社会理工学院）
藤島　実　（広島大学・大学院先端物質科学研究科）
藤本　竜一（東芝メモリー）
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）
Dmitry V. Kholodnyak（St. Petersburg Electrotechnical Univ.）

延べ参加人数：21 人

研究費

旅費	302,000 円
国際特別支援費	200,000 円
産学特別支援費	50,000 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。

このような多岐に亘る無線通信に対する要求を達成するためには、省電力無線通信デバイス、それを支えるための無線給電等を含むエナジーバーベストを実現するためのデバイス、広帯域無線通信デバイス等、それぞれの分野における、研究開発の進展が必要で有り、それを為し得るには、当該技術の現状把握・課題の明確化をおこない、それらを達成するための方法論を議論する必要がある。

今年度は上記目的に鑑み、低消費電力無線通信をサブテーマとして、電池、エナジーハーベストにて動作する無線通信集積回路について、ラピスセミコンダクタの太矢氏、Bluetooth Low Energy について東芝の王氏を招聘し、議論を行った。また、日露ワークショップを東北大学電気通信研究所で開催し、集積回路からシステムまで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：平成 29 年 10 月 18 日（水）～20 日（金）
場所：東北大学電気通信研究所大会議室　他
出席者：Prof. A. Grigorev, Prof. L. Babak, Prof. A. Nikitin, Prof. D. Kholodnyak, 佐藤、吉田、尾辻、末松、秋元、藤島、川崎、本良、伊藤、真田、石崎
プログラム：

- Design of Capsule Antenna For Ingestible Endoscope, *Dr. H. Sato, Tohoku Univ.*
- Electrically Tunable Antenna for Mobile Handsets, *Prof.*

A. Grigorev, St. Petersburg Electrotechnical Univ. (LETI)
- 60-GHz-Band Vertical Interconnection Structure with Excavated Structure for 5G Application, *Dr. S Yoshida, Kagoshima Univ.*
- Terahertz light emission and lasing in graphene transistors under current-injection pumping, *Prof. T. Otsuji, Tohoku Univ.*
- Direct Digital RF technologies, *Prof. N. Suematsu, Tohoku Univ.*
- Inter-Network Interference of Millimeter-Wave WBAN on Measurement of Human Body Blocking, *Mr. K. Akimoto, Tohoku Univ.*
- CMOS terahertz transceiver to open up an emerging communication region, *Prof. M. Fujishima, Hiroshima Univ.*
- MMIC Design Based on New Approaches and Schematic/Layout Synthesis Software, *Prof. L. Babak, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*
- The C-Band Hybrid Semiconductor Integrated Circuit Energy Harvester, *Prof. S. Kawasaki, JAXA ISAS*
- Ultra Low Power Oscillator for Millimeter-Wave IoT, *Dr. M. Motoyoshi, Tohoku Univ.*
- Tunable Low-phase-noise Microwave Photonics Oscillators: Theory, Designs, Performance Characteristics, *Prof. A. Nikitin, LETI*
- Study of Striped Inductor for High-Frequency Voltage-Controlled Oscillators, *Prof. N. Itoh, Okayama Pref. Univ.*
- Evanescent wave generation for sub-wavelength focusing with a trilayer metasurface, *Prof. A. Sanada, Osaka Univ.*
- Electrically Tunable Microwave Bandpass Filters on Lumped Elements, *Prof. D. Kholodnyak, LETI*
- Novel attempts to miniaturize microwave filters, *Prof. T. Ishizaki, Ryukokui Univ.*

＜研究会＞
日時：平成 29 年 10 月 20 日（金）
場所：東北大学電気通信研究所本館 3 回 M331
出席者（敬称略）：河合、西川、末松、石崎、伊藤、河合、真田、丸橋、藤島、太矢、王、Prof. D. Kholodnyak,
プログラム：
- 研究代表者挨拶
- “小型電池およびエナジーハーベスタにて動作する無線通信システム向け集積回路”,太矢隆士（ラピス）
- “A 3.2mA-RX 3.5mA-TX Fully Integrated SoC for Bluetooth Low Energy System”, 王トウ（東芝）

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会においては、低消費電力無線通信用 LSI として、スマートキー、特定省電力、BLE 等の LSI の実現方法を招聘した 2 名に紹介していただき、それらを実現する場合の課題等を明らかにした。まず第 1 に、低消費電力とはいえ、基準クロックは常に動作しており、比較的消費電力が大きい部分のため、どのように消費電力を抑制するかという点であり、例えば通信を行う場合と待機時の動作状態をダイナミックに変える等の方法が議論された。そして第 2 に、電力消費の大きい LO 部分の再利用と、送信部と受信部で消費電力的を含めて最適化された LO を実現するために、チップ面積の増大はあるものの、それぞれ分けて実現する事等が議論された。これらが、本研究テーマで明確にしようと考えている、無線 IoT を実現するための高周波回路における低消費電力化の技術として重要なポイントであることが認識された。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究会で主に討議された、低消費電力無線通信回路/システムを通して、無線 IoT に必要な低消費電力を実現するためのポイントを掴むことができた。また、個々で得られた知見は、無線 IoT に係わらず、多くの無線通信回路のアーキテクチャを検討する上で基本となると考えられる。

（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、移動体通信用のチューナブルアンテナ、集積回路を実現する場合の回路/レイアウトの合成等、新たなアプローチが議論され、先端的高周波回路技術のトレンドを得る第一歩となった。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

(1). A. Takeshige, Y. Ito, K. Takano, K. Katayama, T. Yoshida, M. Fujishima, S. Amakawa, “Causal transmission line model incorporating frequency-dependent linear resistors,” IEEE Workshop on Signal and Power Integrity, pp. 1-4, May 2017.
(2). T. Hirano, "Relationship between Q factor and complex resonant frequency: investigations using RLC series circuit," IEICE Electronics Express, Vol.14, No.21 pp.20170941, 2017.
(3). T. Hirano, N. Li, K. Okada, "Analysis of Effective Material Properties of Metal Dummy Fills in a CMOS Chip," IEICE Trans. Commun., Vol.E100-B, No.5, pp.793-798, May 2017.

(4). K. Katayama, S. Amakawa, K. Takano, T. Yoshida, M. Fujishima, K. Hisamitsu, H. Takatsuka, “An 80–106 GHz CMOS amplifier with 0.5 V supply voltage,” Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, pp. 308-311, Jun. 2017.
(5). K. Takano, K. Katayama, S. Amakawa, T. Yoshida, M. Fujishima, “56-Gbit/s 16-QAM Wireless Link With 300-GHz-Band CMOS Transmitter,” IEEE International Microwave Symposium, pp. 1-4 Jun. 2017.
(6). S. Hara, K. Katayama, K. Takano, R. Dong, I. Watanabe, N. Sekine, A. Kasamatsu, T. Yoshida, S. Amakawa, M. Fujishima, “A 32 Gbit/s 16QAM CMOS Receiver in 300 GHz Band,” IEEE International Microwave Symposium, pp. 1-4 Jun. 2017.
(7). K. Takano, S. Amakawa, T. Yoshida, and M. Fujishima, “A figure of merit for terahertz transceiver modules,” Vietnam Japan Microwave Conference, Jun 2017
(8). K. Katayama, S. Amakawa, K. Takano, T. Yoshida, M. Fujishima, K. Hisamitsu, H. Takatsuka, “An 80–106 GHz CMOS amplifier with 0.5 V supply voltage,” Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, pp. 308-311, Jun. 2017.
(9). K. Takano, K. Katayama, S. Amakawa, T. Yoshida, M. Fujishima, “56-Gbit/s 16-QAM Wireless Link With 300-GHz-Band CMOS Transmitter,” IEEE International Microwave Symposium, pp. 1-4 Jun. 2017.
(10).S. Kohara, S. Amakawa, T. Yoshida, M. Fujishima, “Noise-figure optimization of a multi-stage millimeter-wave amplifier with negative capacitance feedback,” Thailand-Japan Microwave, 15 Jun 2017.
(11).T. A. Vu, M. Fujishima, “A 300 GHz CMOS Transmitter Front-End for Ultrahigh-Speed Wireless Communications,” International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 7, no. 4, pp. 2278-2286, Aug. 2017.
(12).K. Katayama, K. Takano, S. Amakawa, T. Yoshida, M. Fujishima, “2.37-dBm-output 288–310 GHz frequency multiplier in 40 nm CMOS,” IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, pp. 28-30, 31 Aug 2017.
(13).Takuichi Hirano and Jiro Hirokawa, "Education Materials of Electricity and Magnetism using MATLAB," IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, TH_1B_2, pp.16-18, Seoul, Korea, Aug. 31, 2017
(14).S. Hara, K. Katayama, K. Takano, R. Dong, I. Watanabe, N. Sekine, A. Kasamatsu, T. Yoshida, S. Amakawa, M. Fujishima, “A 416-mW 32-Gbit/s 300-GHz CMOS receiver” IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, pp. 65-67, 31 Aug. 2017.
(15).N. Suematsu, T. Owada, T. Koizumi, M. Motoyoshi S. Kameda, "A Ku-band direct RF undersampling receiver with an intermittent-mode amplifier," International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, pp.217-219, Aug. 2017.
(16).T. A. Vu, K. Takano, M. Fujishima, “A 300 GHz single varactor doubler in 40 nm CMOS,” International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, pp. 165-167, Sep 2017.
(17).K. Hamano; R. Tanaka; S. Yoshida; H. Sakaki; K. Nishikawa; S. Kawasaki; K. Kawai; H. Okazaki; S. Narahashi; N. Shinohara, “Wide dynamic range rectifier circuit with sequential power delivery technique,” European Microwave Integrated Circuits Conference, pp.415 - 418, Oct. 2017.
(18).Y. Okada, T. Kawai, and A. Enokihara, "Design method for multiband WPDs using multisection LC-ladder circuits," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.27, No.10, pp.894-896, Oct. 2017.
(19).Y. Okada, T. Kawai, and A. Enokihara, "Design of Multi-Way LC-ladder Dividers with Multi-Band Operation," IEICE Transaction on Electronics,” Vol.E100-C, No.10, pp.893-900, Oct. 2017.
(20).T. Hirano, N. Li, T. Inoue, H. Yagi, K. Okada, A. Matsuzawa, "Gain Measurement of 60 GHz CMOS On-Chip Dipole Antenna By Proton Irradiation," Proc. of International Symposium on Antennas and Propagation, Session 3E2.3, Phuket, Thailand, Oct. 30-Nov. 2, 2017
(21).Y. Sakamoto, K. Komoku, T. Morishita, N. Itoh, “24 GHz Low-Phase-Noise VCO Using 3D-Striped Inductor Utilized Thin-Metal Layers,” Proc. of the 2017 Asia-Pacific Microwave Conference, TH3-E, Kuala Lumpur, Nov. 2017.
(22).T. Kitano, K. Komoku, T. Morishita, N. Itoh, “A CMOS LNA Equipped with Concurrent Dual-Band Matching Networks,” Asia-Pacific Microwave Conference, WE2-B, Kuala Lumpur, Nov. 2017.
(23).H. Hojo, T. Ishizaki, "Study on quasi-millimeter-wave WiCoPT system and development of circuits for the system", Asia Pacific Microwave Conference, ala Lumpur, Nov. 2017.
(24).Y. Suzuki; K. Kawai; H. Okazaki; S. Narahashi; T. Asai; Y. Okumura, “Experimental investigations of 28-GHz-Band power amplifier for massive MIMO transmitter,” Asia Pacific Microwave Conference , pp.479-482, Nov. 2017.
(25).Y. Suzuki, T. Kaho, K. Satoh, H. Okazaki, M. Arai, Y. Yamaguchi, S. Narahashi, H. Shiba, “26 GHz Band Extremely Low-Profile Front-End Configuration Employing Integrated Modules of Patch Antennas and SIW Filters,” IEICE Transactions on Electronics Vol.E100-C No.12, pp.1097-1107, Dec. 2017.
(26).T. Kawai, Y. Haoka, and A. Enokihara, "Broadband Branch-Line Coupler Utilizing Coupled-Transmission Lines for 5G Applications," International Microwave and RF Conference, TU1A-1, Dec. 2017.

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

中沢　正隆（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

廣岡　俊彦（東北大学電気通信研究所）
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）
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）
鳥塚　健二（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）
中村　圭佑（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）
寺田　純（日本電信電話）
原　直紀（富士通研究所）
山口　聡（三菱電機）

延べ参加人数：２５人

研究費

旅費　238,000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１年目に当たり、平成２９年１２月１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、日本電信電話、富士通研究所、三菱電機の研究者が参加して研究会を開催し、12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、無線通信用高周波デバイス・アンテナ技術、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１日（金）
１．開会挨拶　　中沢正隆（東北大）
２．4096QAM デジタルコヒーレント伝送：○寺山雅樹・岡本聖司・葛西恵介・吉田真人・中沢正隆（東北大）
３．単一チャネル 3.84 Tbit/s, 64 QAM コヒーレントナイキストパルス信号の 150 km 伝送：○新田純平・木村光佑・吉田真人・葛西恵介・中沢正隆（東北大）
４．光注入同期を用いた 200 Gbit/s, 10 Gsymbol/s 1024 QAM-160 km コヒーレント伝送：○王怡昕・岡本聖司・葛西恵介・吉田真人・中沢正隆（東北大）
５．モバイルフロントホール用 80 Gbit/s/ch, 256 QAM デジタルコヒーレント伝送：○葛西恵介・王怡昕・吉田真人・廣岡俊彦・岩月勝美・中沢正隆（東北大）
６．モバイル光ネットワークを支える光アクセス技術：○寺田純（日本電信電話）
７．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の提案：○中沢正隆（東北大）
８．最近の高周波電子デバイス技術の発展と無線通信への応用：○原直紀（富士通研究所）
９．無線通信向け APAA の実例と 5G 向け Massive MIMO アンテナ開発の取り組み：○山口聡（三菱電機）
10．エルビウムファイバレーザーの公倍数高調波モード同期：中村圭佑・大久保章・柏木謙・○稲場肇（産総研）
11．高機能ファイバコム光源の開発：○中嶋善晶・秦祐也・美濃島薫（電通大）
12．光コムの高コヒーレント化と広帯域化：○洪鋒雷（横浜国大）
13．デジタルコヒーレントライダー：○土田英実（産総研）
14．閉会挨拶　土田英実（産総研）

［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 信号対雑音比の改善、光位相同期の高精度化、ストークス空間を用いた偏波分離アルゴリズム、周波数領域歪み補償により、1.5Gsymbol/s、4096QAM、160km デジタルコヒーレント伝送を実現した。
② 周波数安定化モード同期レーザによるナイキストパルス光源と、逆伝搬法による非線形位相回転補償を利用して、単一チャンネル 3.84Tbit/s、64QAM コヒーレント伝送を実現し、周波数利用効率 10.6bit/s/Hz を達成した。
③ 光注入同期と適応 FIR フィルタによる時間変化波形歪み補償を利用して、200Gbit/s、10Gsymbole/s、1024QAM、160km コヒーレント伝送を実現し、周波数利用効率 12.6bit/s/Hz を達成した。
④ 移動通信システムのモバイルフロントホールに用いるデジタルコヒーレント伝送方式を提案し、80Gbit/s、256QAM、26km 双方向伝送を実現した。
⑤ 5G に向けた移動体通信のトレンド、無線アクセスネットワークにおける光アクセス技術の課題と取り組みを紹介し、デジタルコヒーレント技術の利用可能性について議論した。
⑥ 光と無線をコヒーレント技術で統合したフルコヒーレント通信を提案し、次世代アクセスネットワークに向けた取り組みを紹介した。
⑦ 高周波電子デバイスの無線通信応用、送信用 GaN、受信用 InP デバイスの現状と課題を紹介した。GaN デバイスについては、高周波化、高出力化と結晶品質の向上、InP デバイスについては、微細化と他デバイスとの集積化が今後の課題である。
⑧ 衛星、移動体通信用のアクティブフェーズドアレイアンテナ技術を紹介し、5G 向け Massive MIMO アンテナ、フロントエンドモジュール高速・広帯域モデムの開発状況を紹介した。
⑨ 公倍数高調波モード同期ファイバレーザにおいて、光領域のモード間隔を広くできない問題を確認し、注入同期により上記問題を解決した。
⑩ 分光等に用いるデュアルコム光源の実現を目的として、双方向動作のモード同期レーザ、および非線形増幅ファイバループミラーを用いた偏波多重モード同期レーザを開発した。
⑪ Nd:YAG レーザを基準とする高速制御型光周波数コムを開発し、GPS の限界を越える安定度を実現した。導波路型 PPLN を用いた光周波数コムの広帯域化メカニズムを明らかにした。
⑫ デジタル信号処理により直接変調半導体レーザの非線形チャープや光周波数雑音を補償するデジタルコヒーレントライダーを提案し、既知の光周波数変調波形とビート周波数から距離を算出する FMCW ライダーを実現した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
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. Terayama, S. Okamoto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “4096 QAM (72 Gbit/s) single-carrier coherent optical transmission with a potential SE of 15.8 bit/s/Hz in all-Raman amplified 160 km fiber link,” OFC 2018, Th1F.2 (Mar., 2018).

（2） J. Nitta, M. Yoshida, K. Kimura, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 3.84 Tbit/s, 64 QAM coherent Nyquist pulse transmission over 150 km with a spectral efficiency of 10.6 bit/s/Hz,” Opt. Express, vol. 25, no. 13, pp. 15199-15207 (Jun., 2017).

（3） K. Kasai, Y. Wang, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Iwatsuki, and M. Nakazawa, “80 Gbit/s/ch, 256 QAM digital coherent optical transmission system with injection-locking for next generation mobile fronthaul network,” ECOC 2017, Th.1.B.5 (Sep., 2017).

（4） K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Injection-locked homodyne detection for higher-order QAM transmission,” OFC 2018, Invited talk, M4G.1 (Mar., 2018).

（5） S. Yamaguchi, H. Nakamizo, S. Shinjo, K. Tsutsumi, T. Fukasawa, and H. Miyashita, “Development of active phased array antenna for high SHF wideband massive MIMO in 5G,” in Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propag. (Jul., 2017).

（6） K. Nakamura, S. Okubo, M. Schramm, K. Kashiwagi, and H. Inaba, “Offset-free all-fiber frequency comb with an acousto-optic modulator and two f –2 f interferometers,” Appl. Phys. Express, vol. 10, 072501 (Jun., 2017).

（7） S. Okubo, A. Onae, K. Nakamura, T. Udem, and H. Inaba, “Offset-free optical frequency comb self-referencing with an f-2f interferometer,” Optica, vol. 5, no. 2, pp. 188-192 (Feb., 2018).

（8） Y. Nakajima, A. Nishiyama, and K. Minoshima, “Mode-filtering technique based on all-fiber-based external cavity for fiber-based optical frequency comb,” Opt. Express, vol.26, no. 4, pp. 4656-4664 (Feb., 2018).

（9） K. Yoshii, T. Inamura, H. Sagawa, K. Nakagawa, and F.-L. Hong, “Modulation-free frequency-stabilized laser at 1.5 μm using a narrow-linewidth diode laser,” CLEO 2017, JTh2A.69 (May, 2017).

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）
馬場 哲晃（首都大学東京）
三武 裕玄（東京工業大学）
細川 靖（八戸高専）
末田 航（国立シンガポール大学）
伊藤 雄一（大阪大学）
小坂 崇之（神奈川工科大学）
犛山 祐佳

延べ参加人数：14 人

研究費

旅費	231,000 円
国際特別支援費	200,000 円
若手特別支援費	100,000 円
産学特別支援費	50,000 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，本年度が初年であり，探索的な議論をすることを目的として，二回の研究会を開催した．

1．一回目研究会
日時： 平成 29 年 5 月 26 日～27 日
参加者：
京都大学　山本豪志朗
（急用のため急遽スカイプ参加）
シンガポール国立大学　末田　航
大阪大学　倉本到
大阪大学　伊藤雄一
神奈川工科大学　小坂 崇之
岩手県立大学　小倉加奈代
デザイナ　犛山裕佳
グローバルラボ仙台 篠原敏也
東北大学 北村喜文，高嶋 和毅

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することである．そのため，まず，参加者それぞれの観点から，人の身体的行動の解析と空間型ユーザインタフェースの設計について発表頂いた．その後，それらの講演を元に，それぞれの分野で認識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．二日目も継続して議論し，今回の参加者の専門を考慮し，インタラクティブアートやエンタテインメント，多人数コミュニケーションの分野を中

心に議論した．デザイナや組織運営に携わる参加者もおり，研究以外の視点からの意見など，幅広い項目をカバーできた．なお，研究代表者と通研対応者ともに本研究プロジェクトを申請する段階でドローンを用いた計測技術について情報を集めたかったため，その専門家である末田氏（シンガポール大学）を分担者（国際共同研究枠）として招いた．末田氏がもつ様々なドローン設計と実装の経験や，社会的な応用例などの情報提供は本研究会で一番大きな盛り上がりがあった．

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 29 年 8 月 23 日～24 日

参加者：

一回目とほぼ同様であるが，新たに磯山直也（神戸大学）が参加し，末田航（国立シンガポール大学）はビデオ会議参加とした．

内容：

第一回目の研究会と同様の参加者があったために前回の議論を引き続き実施した．新たに参加した磯山直也（神戸大学）氏の研究紹介と，第一回目の議論のまとめを全員で共有した．次にそれぞれ追加の提案や話題提供などを経て，総合的な議論をした．また，申請書でも触れていたが，平成２９年９月に情報処理学会シンポジウムエンタテインメントコンピューティング@通研の開催が計画されており，そこでのオーガナイズドセッションや企画セッションの可能性についても議論した．実際にシンポジウムにいて，末田航（シンガポール大学）を中心にドローンを利用したエンターテインメントの企画セッションを実施することができた．なお，その９月のシンポジウムには本共同プロジェクトの研究分担者の多くが参加しており，この８月時点の議論のフォローアップを簡単にすることができた．

［3］成果

（３－１）研究成果

研究期間に二回の研究会を開催することができた．まず，これまで学会等で簡単な交流しかできなかった若手研究者が深く議論する場を作れたことが大きな成果であった．十分な時間をかけて，様々な分野からの情報を関連研究者間で共有することができたと考える．発散的議論が主であったが，全員で共有した成果としては，計測技術と空間 UI ではそれぞれ研究主題が異なる事が多い点（連携すること自体が難しい），エンタテインメントで必要とされる身体行動の計測要件，ドローンによる計測とその安全性，Kinect など民生品と医療やスポーツ計測の専門製品との違いなど，研究成果の出し方から研究現場の運用に関するノウ・ハウなどを共有することが出来た．

なお，本研究プロジェクトを通して，情報処理学会シンポジウム，エンタテインメントコンピューティング 2017@通研の企画セッションへの連携も実現できた．一つは第一回目の研究会にも参加していただいたグローバルラボ仙台による東北地方における様々なインタフェース事業の試みの紹介である．もう一つはドローンとエンタテインメントを議論する企画である．いずれも聴取多数で大変盛り上がった．

なお，特別支援分については，ドローンの研究者であり，ドローン機体の設計，実装，運用，社会応用と幅広い実績を持つ末田氏をシンガポールから招へいに利用した．ユーザインタフェースやエンタテインメントの分野でドローンの存在感は極めて大きくなっており，世界的にも注目されている若手専門家から最新の動向やノウ・ハウを共有していただけたことは本研究会の議論を発展深化させるために大きな成果であったと考える．

（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，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することが目的である．二回の研究会を経て，お互いの交流は大きく発展した．今年度は議論の経緯上，エンタテインメント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

（産学）

採択番号：**H29/B10**

インタラクティブコンテンツの新展開

New Horizon: Research on Interactive Content Design

［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

西村 公児（(株)ルーチェ）
月田 有香（Cheers Inc.）
中山 景（エネコール）
堀田 龍也（東北大学大学院情報科学研究科）
窪 俊一（東北大学大学院情報科学研究科）
佐々木 加奈子（東北大学大学院情報科学研究科）
板垣 翔大（東北大学大学院情報科学研究科）
臼井 昭子（東北大学大学院情報科学研究科）
嶋田 強 （㈱富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ）
平松知江子（㈱富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ）
米澤 一造（㈱富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ）
加藤 晋 （㈱富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ）
丹羽佑輔（㈱富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ）
大橋 良枝（聖学院大学）
藤原 健 （大阪経済大学）
足立 智昭（宮城学院女子大学）

延べ参加人数：30 人

研究費

旅費	199,000 円
産学特別支援費	50,000 円

［2］研究経過

コンテンツは一般に，私たちの生活を豊かにしてくれるものであるが，その中で，人とのやりとりによって提供されるインタラクティブコンテンツは，利便性や快適性だけではなく，感動や喜びなど，さまざまなポジティブな要因を与えてくれる．そのため，最近，利用される機会がますます増えてきている．それらは，ディスプレイ装置などの適切な出力装置を介して人に提示され，人はまた何らかの意図を適切な入力装置を介してコンピュータに与えることによって，コンテンツをより深く理解して利用できるようになり，また楽しむこともできる． このようなコンピュータ上のコンテンツと人の間のインタラクションを経ることによって，人は満足感や幸福感をより高めることができる．そこで，これまでのインタラクティブコンテンツの研究成果を世の中の多くの方に使っていただくように社会展開を進めるための議論を行うのが目標である．

本年度から開始した本プロジェクトでは，東北大学大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻メディア情報学講座の堀田龍也教授と窪 俊一准教授，そして企業の方々を交えて，インタラクティブコンテンツ技術のメディア教育などへの応用を議論する共同研究会を開催した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

研究会名：インタラクティブコンテンツのメディア教育などへの応用
日：2017 年 9 月 20 日
会場：東北大学電気通信研究所本館 5 階 M531
参加人数：約 30 名（内発表者 11 名）

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会のプログラムを記す．

ご挨拶 北村喜文 （東北大学 電気通信研究所）

D-FLIP 商品化事例①: Web コア Innovation Suite とその利用状況のご紹介
米澤一造，丹羽佑輔
（株式会社 富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ）

Web コア Innovation Suite のグループ研修での活用事例報告とそれを踏まえた組織内活用についての今後の展望 ～ビジョン共有による自己表現と相互理解支援の探索的研究について～
月田有香（Cheers 株式会社），中山景（エネコール）

D-FLIP 商品化事例②: ふわっとサイネージのご紹介
堤 太一 （沖電気工業 株式会社 情報通信事業本部 金融・法人ソリューション事業部）

新しい D-FLIP 3D について
Xin Huang（東北大学 電気通信研究所 / 大学院情報科学研究科・博士前期課程 1 年）
北村喜文（東北大学 電気通信研究所）

メディア教育論ゼミにおける活動の概要
堀田龍也（東北大学 学院情報科学研究科・教授）

スマートフォンを活用した技能学習支援に関する実践的研究
板垣翔大（東北大学 学院情報科学研究科・博士後期課程 3 年）

D-FLIP による美術教育支援に関する実践的研究
臼井昭子（東北大学 学院情報科学研究科・博士後期課程 3 年）

ご挨拶 堀田龍也（東北大学 学院情報科学研究科）

東北大学 電気通信研究所 インタラクティブコンテンツ設計学 研究室見学

今回の研究会では特に，インタラクティブで柔軟なコンテンツ群可視化ソフトウエア(D-FLIP)をこれまでに商品化された企業の方からの経験に基づくご意見と，将来に向かってそういった商品の潜在的ニーズがある教育分野の方のお話が伺え，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

本プロジェクトの第 1 年目として，電気通信研究所の北村のグループで研究開発を進めている，柔軟でインタラクティブな情報コンテンツ表示法などの技術を中心にとりあげ, 北村の研究室のグループと，東北大学大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻メディア情報学講座の堀田龍也教授と窪 俊一准教授，同講座の研究員と博士課程の学生，そして企業の方々を交えて，インタラクティブコンテンツ技術のメディア教育などへの応用を議論する共同研究会を開催することができた．これは，産学特別支援分の研究費によるところが大きい.

通研のグループと堀田先生・窪先生のグループは，「メディア」と呼ばれるものを，技術と教育利用という異なった方向から見て扱ってきたという状況で，今回，初めて研究面の意見交換・交流の機会を持てたことは，今後の両分野の発展，および共同研究の可能性探索にも有意義な研究会をなった．また，関係する企業の方とも情報共有できたことも，双方を繋ぐ立場が期待できるという面から，両分野への貢献，および普及・応用が進むと思われる.



研究会の様子

［4］成果資料

現在準備中である.

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）
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：30 人

研究費

旅費	294,000 円
国際特別支援費	200,000 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は進んでいない。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。

本プロジェクトは，今年度が 1 年目であった。奥行きの方向が逆転して知覚される凹面顔錯視の研究者として著名な Thomas V. Papathomas 教授（Rutgers 大学，米国）を年度末の 3 月に招聘し，研究打合せと講演会を行なった。

3 月 13 日（火）16 時より東北学院サテライトステーションにおいて研究打ち合わせ会を実施し，研究会参加者の研究成果報告を行なった。その後 Papathomas 教授からコメントをいただき，全員で自由討議を行なった。

翌日 3 月 14 日（水）11 時より電気通信研究所本館 5 階セミナー室において Papathomas 教授の講演会を開催した。参加者は国外 4 名，国内 19 名の計 23 名であった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の成果の第 1 は，凹面顔錯視の研究者として著名な Thomas V. Papathomas 教授を招聘できたことである。Papathomas 教授はベル研究所でランダムドットステレオグラムを考案したベラ・ユレシュに元で研究をされていたこともあり，知覚のボトムアップの機序とトップダウンの影響について造詣が深い著名な研究者であるが，これまで来日したことはなかった。そのような研究者をお招きできたことは，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，自己運動と知覚の関係をテーマとする本プロジェクトのメンバーが，凹面顔錯視に関するまとまった解説を聴き，プロジェクトの研究テ

ーマとの関連について議論を深められたことである。凹面顔錯視は単に対象（顔）の奥行きが逆転して知覚されるにとどまらず，観察者の運動に従って対象（顔）が常に観察者の方を向いているように見えるという特徴を持つ。この自己運動と錯視の関わりについてPapathomas教授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。

3月に行なわれた研究会での講演の要旨は以下の通りである。

講演者：Thomas V. Papathomas (Department of Biomedical Engineering, Rutgers University, USA)

題目：Converging evidence for top-down influences in visual perception.

要旨：One of the oldest hypotheses in vision is that what we perceive does not depend only on the signals that come in through our eyes, but also on the state of the observer, experience-based stored knowledge (in the form of rules or of specific knowledge of objects), suggestions from others, etc. What we perceive is not a passive process, akin to a video camera, but it is the product of active processing of the data coming through our eyes. It appears that the visual brain makes hypotheses, based on the input signals, about what is out there and then tests these hypotheses against the incoming data. It is only when this interaction of the data processing mechanisms and top-down analysis converge that we achieve a stable percept. I will present evidence from studies in perception under altered states, in pathologies, bistable illusions, impoverished ambiguous stimuli and brain imaging that supports this hypothesis.

（特別支援（国際）にかかる研究成果）

・米国のRutgers大学のThomas Papathomas教授を2018年3月11日から3月14日の期間で仙台に招聘した。滞在期間中の活動として，13日午後に東北学院サテライトステーションでの共同プロジェクト研究会に参加していただき，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。翌3月14日午前は電気通信研究所本館において，上記の講演を公開で行い，参加者は23名（国外4名，国内19名）であった。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，塩入研究室と東北学院大学教養学部の櫻井研究室を訪問し，視聴覚知覚研究の情報交換を行なった。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

昨年10月に九州の福岡で開催された国際心理物理学会（FechnerDay2017）では，本プロジェクトで構築された人的交流が生かされ，［4］に示すように複数の学会発表が行われた。

［4］成果資料

（1）Harris, L.R., Sakurai, K., Beaudot, W.A. Tactile Flow Overrides Other Cues To Self Motion. Scientific Reports (2017), 7, 1059 doi:10.1038/s41598-017-01111-w

（2）Uesaki, M., Takemura, H. Ashida, H. Computational neuroanatomy of human stratum proprium of interparietal sulcus. Brain Struct Funct (2018), 223: 489-507. doi:10.1007/s00429-017-1492-1

（3）Fujii, Y., Seno, T., Allison, R. S. Smoothness of stimulus motion can affect vection strength. Experimental Brain Research (2018), 236(1), 243-252. doi: 10.1007/s00221-017-5122-1

（4）Seno, T., Sawai, K. I., Kanaya, H., Wakebe, T., Ogawa, M., Fujii, Y., Palmisano, S. The Oscillating Potential Model of Visually Induced Vection. i-Perception (2017), 8(6), doi:10.1177/2041669517742176

（5）妹尾武治・清水隆哉　単眼・両眼観察及び利き目・非利き目観察とベクション強度の関係. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，22(4). doi:10.18974/tvrsj.22.4_553

（6）森将輝・妹尾武治　身体姿勢の違いがベクションに及ぼす影響. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 22(3), 391-394. doi:10.18974/tvrsj.22.3_391

（7）小松英海・村田佳代子・妹尾武治　ベクションへの現象学的アプローチ. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，22(3)，431-434. doi:10.18974/tvrsj.22.3_431

（8）村田佳代子・妹尾武治　風によるベクションの促進と抑制. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 22(2), 287-290. doi:10.18974/tvrsj.22.2_287

採択回数（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

Asaf Bachrach (French NCSR)
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)
Jingling Li (China Medical University, Taiwan)
Masaharu Kato (Doshisha University)
Hsin-Ni Ho (NTT CS Laboratories)
Junji Watanabe (NTT CS Laboratories)
Shinsuke Shimojo（Cal. Institute of Technology）
Mohammad Shehata (Toyohashi University of Technology)
Miao Cheng (The University of Hong Kong)
Satoshi Shioiri（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数　44 人

研究費

旅費	290, 000 円
国際特別支援費	200, 000 円
産学特別支援費	50, 000 円

［2］研究経過

Search behavior is essential for living organisms, from C. elegans to humans. Search behavior is now the focus of a dynamic research field at the intersection of perception, attention, memory and decision making. This interest group will synergize the expertise of participants and exchange research progress as well as brainstorming for the solutions for future applications on search challenges in human behavior, computational optimization, and industrial applications.

At the first year of this project, we have achieved:

(1) Form a group of scientists sharing similar interests in search science
(2) Identify promising research directions for research collaboration
(3) Create a supportive environment to exchange research progress and ideas

These were achieved by several seminar talks and research exchange meetings held at RIEC.

［3］成果

（3－1）研究成果

Seminar talks:

Friday, September 15, 2017 @ RIEC Seminar Room
Dr. Su-Ling Yeh, National Taiwan University
Title: Blue-light effects: some examples of results from multidisciplinary approach
Dr. Li Jingling, China Medical University, Taiwan
Title: Concealed by the most salient structure in visual search



Thursday, October 5, 2017 @ RIEC M401
Dr. Suling Yeh, National Taiwan University
Title: Meaning survives visual crowding, but not semantic integration over time
Dr. Shi Lin, Kunming University of Science and Technology

Title: Is color perception sensitive to temporal sequence orders of stimuli?
Wednesday, October 18, 2016 @ RIEC
Speakers: Dr. Su-ling Yeh
Department of Psychology, National Taiwan University
Title: Multisensory integration: time, space, and consciousness



特別支援（国際・産学）に係る研究成果

We have held a special talk and workshop on visual design and aesthetics by a renown visual scientist and a professional garden designer Dr. Gert Jakobus van Tonder from Reki-An Pavilion, Kyoto
on Feb 9 and 10, 2018. The talk "Full of emptiness: How 'Ma' is made visible in the classical Japanese garden" is well received and the hand-on workshop was stimulating in both artistic and scientific intersection.

Japanese Moss Garden Design



A body-movement workshop is curated by Dr. Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France) followed by his seminar talk on "Thinking together about togetherness" on Feb 9, 2018. The workshops include a Aikido field practice and a joint dancing improvisation session led by two professional dancers. Scientific discussion about how to study the signals and messages between movements were implemented at a "hacketon-style" where groups of participants proposed, designed, and conducted possible experiments.

Aikido and Joint Contact Improvisation



Our search also extends beyond vision. When we talk about music, we tend to focus on the "sounds" that are in it. But what about the silence in music? A seemingly contradictory quote from Laotzu says, "the loudest sound is no sound" (大音希聲). What does it mean? What is the function of silence? What is the mechanism behind it? What are the conditions for silence, if there is any, to be appreciated? Dr. Yating Wang led a music improvisation workshop on Feb 11 after her seminar talk on "Silence in music." Similarly, Dr. I-Lien Ho presented investigations on how the concept of Kongwu, an intercultural synthesis of Chinese Daoism and Indian Buddhism, may shape the principles underlying stage performance. This endeavor is further enriched by Dr. John McCreery from an anthropologist's point of view. His special attention to things that fall in cracks, anomalous things that don't fit neatly into established categories, and the liminal phase in rites of passage, in which those undergoing the transformation are betwixt-and-between, became valuable insights in his copywriter career in commercial advertisement.

Silence in Music



RIEC Science



（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The richness and the diversity of this research interest group have evolved into possible collaboration opportunities between RIEC and its partners.

RIEC scientists and scholars have participated in the first NTU-Tohoku Symposium on AI x Human Studies (Dec 22-24, 2017) in at National Taiwan University. It is a beginning of a new phase of inter-institutional collaboration toward a new area to be fostered.

The group members are also in the process to look for publication opportunities to summarize the meeting discussions possibly in the form of a special issue to increase our research impact.

［４］成果資料

Chou, W.L., & Yeh, S.L. (2017). Dissociating Location-Based and Object-Based Cue Validity Effects in Object-Based Attention. Vision Research. 143(2018), 34-41.

Yeh, S.L., Chou, W.L, & Ho, P. (2017). Lexical processing of Chinese sub-character components: Semantic activation of phonetic radicals as revealed by the Stroop effect. Scientific Reports, 7(1), 15782.

Li, K. A. & Yeh, S. L. (2017). Mean size estimation yields left-side bias: Role of attention on perceptual averaging. Attention, Perception, & Psychophysics, 1-14.

Yang, Y. H., Zhou, J., Li, K. A., Hung, T., Pegna, A. J. & Yeh, S. L. (2017). Opposite ERP effects for conscious and unconscious semantic processing under continuous flash suppression. Consciousness and Cognition, 114-128.

Yang, Y. H., Tien, Y. H., Yang, P. L. & Yeh, S. L. (2017). Role of consciousness in temporal integration of semantic information. Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience, 1-19.

Jing-Ling Li, Lu, YH, Cheng, M., Tseng, C.H. (2017) Collinear masking effect in visual search is independent of perceptual salience , Attention Perception & Psychophysics, 79(5):1366-1383

Lu, Y.-H. Ho, H.-N. (2018) "Material recognition based on thermal cues: Mechanisms and applications" Temperature, 5(1), pp. 36-55

Zhou, Y., Ho, H.-N., Watanabe, J. (2017) "Perceptual-semantic congruency facilitates semantic discrimination of thermal qualities," Frontiers in Psychology

Ho, H.-N., Sato, K., Kuroki, S., Watanabe, J., Maeno, T., Nishida, S. (2017) "Physical-Perceptual Correspondence for Dynamic Thermal Stimulation," IEEE Transactions on Haptics, 10 (1), 84-93

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：**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
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）
森畑　明昌（東京大学大学院総合文化研究科）
西村 進（京都大学 大学院理学研究科）
田島　敬史（京都大学国際高等教育院）
吉田　信明（京都高度技術研究所）
上野　雄大（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：8 人

研究費
旅費　141,000 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、

さらに、

(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、を究極の目標とする。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、そのような課題は、年間 15 万円弱程度の予算での数年の研究プロジェクトにて達成できるものではない。本研究プロジェクトの具体的な目的は、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に連携し、これら課題の達成に必要な具術的な課題を分析し、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である。

この目的の下、本研究プロジェクトでは、研究チームが緊密に連携し、電子メール等による起動的な研究打ち合わせを行い、技術的な課題に関するディスカッションを実施し、上述の研究課題とその方法論に関する検討を行った。この検討の過程で、超並列高水準プログラミング環境の実現には、上記の３項目に加え、システムの仕様記述と検証が重要との知見を得た。そこで、この分野の最先端研究で成果を上げている北陸先端科学技術大学院大学の緒方和博氏に研究への参画を依頼し、研究目標を拡大し、それらを下に、所期の計画通り、技術課題を整理し、課題達成に向けた詳細な計画を含む大規模学術研究計画を立案した。

さらに、年度末には、それら研究打ち合わせの総括として、電気通信研究所にて研究代表者、加藤 和彦氏、田浦 健次朗氏、森畑 明昌氏、上野 雄大氏の参加のもと研究集会を実施し、策定した大規模学術研究計画に関連した以下の技術課題を論じた。

［大堀］：静的多相型言語への動的型の導入方式

動的型付けは、静的多相型言語が表現力を獲得する上で重要な機能であるが、ネイティブコードコンパイラへの系統的な導入手法は確立していなかった。この問題の系統的な解決手法として、型主導コンパイル方式が適用可能であることを示し、その予備的な実装を、例を交えて紹介した。

［加藤］：世代別ガーベジコレクションを活用した高帯域幅メモリの有効利用方式

近年、高並列マルチコアプロセッサに対応したメモリとして高帯域幅を有するメモリが開発され、注目を集めている。例えばインテル社のMCDRAMがその典型である。このメモリを活用するために、世代別ガーベジコレクションによるメモリ管理に適用する方法の提案と、これまでに得られている実験結果を論じた。

［田浦］：(1) SML#のスケーラビリティの調査

SML#のconcurrent GCの実行時間のブレークダウンを行い、スケーラビリティの解析を行った。系統的なプロファイリングの結果、コア数とともにアプリケーションスレッドのGC待ち時間が増大していることが確認され、それがスケーラビリティの阻害要因であること等が報告された。

(2) MassiveThreads 軽量スレッドライブラリのlocality awareなスケジューラ

動的に作られる軽量スレッドの負荷分散手法としてはrandom work stealingが標準的だが、多数のコアの階層的なメモリ構成へスケールさせることは困難である。この問題を解決する負荷分散アルゴリズムとその効果について論じた。

［森畑］：頂点主体並列グラフ処理の効率化のための基礎理論

頂点主体並列グラフ処理の宣言的高レベル記述では無駄な計算・通信・同期などが発生しがちであった。これに対し、効率化が可能な条件を論理的に記述し、それを制約解消器で確認することで効率化を行う手法を論じた。予備的な実験の結果からは、この効率化により高レベル記述がもたらす主要な非効率性が取り除けることが示唆された。

［上野］：SML#のマルチコア対応の並行GC

SML#は、マルチコア上で動作する並列GCの実装に成功したが、現状では理想的なスケーラビリティを達成していない。そこで、並列GCの基本アーキテクチャに核コアで動くワーカ対応のメモリ割り付けをするなどの種々の効率化手法およびその期待される効果を論じた。

研究集会では、さらに、これら新たな技術的な課題等を踏まえ、本年度に策定した大規模学術研究計画の、次年度以降の研究計画の拡充についての討議を行った。

［３］成果

（３－１）研究成果

前項で述べた通り、本研究の具体的な目的は先端分野の大規模学術研究計画の立案である。本年度は、この目的を十全に達成し、その成果を、「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加藤和彦氏、田浦健次朗氏、上野雄大氏、さらに、上述の仕様記述との融合の要となる緒方和博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。

（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の具体的な目的である大規模学術研究計画の策定であり、本研究プロジェクトの初年度の活動自体が、波及効果や研究分野への貢献などを目指したものではない。しかしながら、本研究プロジェクトが策定した大規模学術研究計画は、もし実施されるならば、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。

［４］成果資料

本研究プロジェクトの目的は第［２］項で述べた通り、技術的な課題の分析や研究戦略の検討、さらにそれらに基づく大規模学術研究計画の策定であり、その性格上、初年度の本研究プロジェクトの直接の成果としての論文等は存在しない。

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
（大型）

採択番号：**H29/B14**

コトロジー創成：生き物の多様な行動を生み出すミニマルセットを探る

［1］組織

研究代表者：大須賀　公一
（大阪大学大学院工学研究科）
通研対応教員：石黒　章夫
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
小林　亮
（広島大学大学院理学研究科）
青沼　仁志
（北海道大学電子科学研究所）
辻　瑞樹
（琉球大学農学部）
岡　浩太郎
（慶応義塾大学理工学部）
石川　将人
（大阪大学大学院工学研究科）
杉本　靖博
（大阪大学大学院工学研究科）
倉林　大輔
（東京工業大学大学院理工学研究科）
伊藤　賢太郎
（法政大学生命科学部）
井上　康介
（茨城大学知能システム工学科）
李　聖林
（広島大学大学院理学研究科）
末岡　裕一郎
（大阪大学大学院工学研究科）
黒田　茂
（北海道大学電子科学研究所）
梅舘　拓也
（東京大学大学院工学系研究科）
南　裕樹
（大阪大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：２５人（参加した学生を含む）

研究費：旅費（予算）　300,000 円

［2］研究経過

生物は，単純な脳神経系しか持たない種であっても，十分に高度な適応的行動を見せる．このような振る舞いは，脳・身体・環境の相互作用から生み出されていると考えられているが，依然としてその発現機序は明らかではない．この本質の理解のためには，脳・身体・環境の相互作用のミニマルなセットに着目し，そこに内在する制御構造を抽出することが必要である．本プロジェクトでは，生物学・工学・数学・哲学を融合させたアプローチを通して，その解明を試み，新規な学術領域を生み出すことを目指す．

本プロジェクトは本年度が初年度であったが，旧プロジェクトでの成果を踏まえながら，大型予算への申請に関しても議論するための研究会を開催した．以下にその概要を示す：

開催日程：　平成 28 年 10 月 12 日（木曜日）

場所：　東北大学電気通信研究所本館 M457 室

プログラム：

13:00	開催挨拶 大須賀　公一　氏（大阪大学）
13:15	多足類のロコモーションのミニマルモデル 小林　亮　氏（広島大学）
14:15	弱いアクチュエータとその応用 石川　将人　氏（大阪大学）
15:15	Coffee Break
15:30	コオロギのゾンビ化手法 青沼　仁志　氏（北海道大学）
16:30	６脚ロコモーションに内在する手応え制御 石黒　章夫　氏（東北大学）

17:30　クモヒトデ に内在する自律分散制御則
加納　剛史　氏（東北大学）
18:30　石黒研究室見学
20:00　ナイトセッション（今後の共同研究の進め方など）

参加者数：　２０名（参加した学生を含む）

議論をより進めるために，上記以外にも，スカイプによるミーティングも開催している．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，脳・身体・環境の相互作用のミニマルセットを考えるためのプラットフォームとして，薬理学的に上位中枢からの指令を遮断したコオロギを用いる方法論について議論を行った．併せて，どのような試薬をカクテル化すれば効果的にコオロギをゾンビ化できるのかについても議論した．予備実験の結果，上位中枢からの指令を遮断し，物理的に牽引すると歩行を始めるゾンビ化コオロギの生成に成功した．このように，プラットフォームの構築が進んだことは大きな成果である．加えて，基盤研究(S)の採択に向けた対策ミーティングを開催し，研究の方向性についての確認を行った．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同プロジェクト研究での議論を通して，以下に示す大型研究予算の獲得につながっている：

科研費基盤研究(S)「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」（研究代表者：大須賀公一，研究分担者：小林　亮，青沼仁志，石黒章夫，石川将人，李　聖林，佐倉　緑，杉本靖博）　本共同プロジェクトに参画するほとんどのメンバーが中心となって昨年度申請した．本年度６月に採択通知が届いた．
研究期間：　平成29年度〜33年度（５年間）
配分機関名：　大阪大学

［4］成果資料

1) Kano, T., Sakai, K., Yasui, K., Owaki, D., Ishiguro, A. (2017) Decentralized control mechanism underlying interlimb coordination of millipedes, Bioinspiration and Biomimetic, 12, 36007.

2) Matsuzaka, Y., Sato, E., Kano, T., Aonuma, H., Ishiguro, A. (2017) Non-centrailzed and functionally localized nervous system of ophiuroids: evidence from topical anesthetic experiments, Biology Open, 6, 425-438.

3) Kano, T., Yoshizawa, R., Ishiguro A. (2017) Tegotae-based decentralized control scheme for autonomous gait transition of snake-like robots, Bioinspiration and Biomimetics, 12(4), 46009.

4) Owaki, D., Goda, M., Miyazawa, S., Ishiguro, A. (2017) A Minimal Model Describing Hexapedal Interlimb Coordination: the Tegotae-based Approach, Frontiers in Neurorobotics, 11(29), dio:10.3389/fnbot.2017.00029.

5) Owaki, D., Ishiguro, A. (2017) A Quadruped Robot Exhibiting Spontaneous Gait Transitions from Walking to Trotting to Galloping, Scientific Reports, 7(27), dio:10.1038/s41598-017-00348-9.

6) Kano, T., Osuka, K., Kawakatsu, T., Ishiguro, A., Mathematical Analysis for Non-reciprocal-interaction-based Model of Collective Behavior, Journal of the Physical Society of Japan, 86, 124004.

7) Kano, T., Sato, E., Ono, T., Aonuma, H., Matsuzaka, Y., Ishiguro, A (2017) A Brittle Star-like Robot Capable of Immediately Adapting to Unexpected Physical Damage, Royal Society Open Science, 4, 171200.

8) Yasui, K., Kikuchi, K., Kano, T., Hayase, Y., Kuroda, S., Aonuma, H., Kobayashi, R., Ishiguro, A. (2017) Decentralized Control Mechanism Underlying Interlimb Coordination of Centipedes, AMAM2017, 82-83.

9) Suzuki, S., Fukuhara, A., Owaki, D., Kano, T., Ijspeert, A. J., Ishiguro, A. (2017) A Minimal Model for Body-limb Coordination

in Quadruped Locomotion, AMAM2017, 106-017.

10) Fukuhara, A., Owaki, D., Kano, T., Kobayashi, R., Ishiguro, A. (2017) Gait Transition to Gallop via an Interlimb Coordination Mechanism Based on Tegotae form Body Support and Propulsion, AMAM2017, 80-81.

11) Kano, T., Osuka, K., Kawakatsu, T., Matsui, N., Ishiguro, A. (2017) AMinimal Model of Collectiev Behaviour Based on Non-reciprocal Interaction, ECAL2017, 237-244.

12) Momohara Y., Aonuma H. and Nagayama T. (2018 *accepted*) Tyraminergic modulation of agonistic outcomes in crayfish. *J. Comp. Physiol.*

13) DiRienzo, N. and Aonuma H. (2017 *accepted*) Plasticity in extended phenotype increases offspring defense despite individual variation in web structure and behavior. *Animal Behav.*

14) Aonuma H., Totani Y., Kaneda M., Nakamura R., Watanabe T., Hatakeyama D., Dyakonovae V. E., Lukowiak K. and Ito E. (2018) Effects of 5-HT and insulin on learning and memory formation in food-deprived snails. *Neurobiol. Learn. Mem.*, 148: 20-29.

15) Kinugasa, T., Osuka, K., Hayashi, R., Miyamoto, N. and Yoshida, K. (2017) Development of a small and lightweight myriapod robot using passive dynamics, Artificial Life and Robotics, 22(4), 429-434, doi: 10.1007/s10015-017-0378-x.

16) Ura, D., Sugimoto, Y., Sueoka, Y., and Osuka, K. (2017) Asymptotic Realization of Desired Control Performance by Body Adaptation of Passive Dynamic Walker, J. of Robotics and Mechatronics, 29(3), 480-489.

17) Masuda, Y., Ishikawa, M. (2017) Development of a Deformation-driven Rolling Robot with a Soft Outer Shell, *In IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2017).*

18) Masuda, Y., Ishikawa, M., (2017) Muscles Excite and Synchronize Themselves through Their Intrinsic Dynamics, *In The 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2017).*

19) Masuda, Y., Y. Minami, Ishikawa, M. (2017) Actuator Synchronization for Adaptive Motion Generation without Any Sensor or Microprocessor, *In Asian Control Conference (ASCC2017).*

20) Masuda, Y., Naniwa, K., Ishikawa, M., and Osuka, K. (2017) Weak Actuators Generate Adaptive Animal Gaits without a Brain, *In IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2017).*

21) Furuse, Y., Ishikawa, M. (2017) Rolling Mobile Robot Using Decentralized Mass-Driver Units , Yusuke Furuse, Masato Ishikawa, *In IEEE Int'l. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2017).*

22) Ishikawa, M., Yasutani,N., Kuratani,R. (2017) On Decentralized Control of Tripedal Walking Robot Using Reaction Force Feedback, *Human Centric Robotics, World Scientific, pp. 431-438.*

23) T. Umedachi, K. Ito, R. Kobayashi, A. Ishiguro and T. Nakagaki: "Response to various periods of mechanical stimuli in Physarum plasmodium", *J. Phys. D: Appl. Phys*, 50: 254002- (2017)

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）

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）

秋間　学尚（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：１２人

研究費

旅費	294,000 円
若手特別支援費	100,000 円

［2］研究経過

近年、脳の様式を情報処理に取り入れることで、従来のコンピュータで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「脳型コンピューティング」「人工知能」などと呼ばれる分野が活況を呈している。ディープラーニングなどのアルゴリズムは既に社会の多くの場面で活用されており、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いる。これらによって脳型コンピューティングの従来の情報処理に対する優位性の一端は実証されている。一方で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）と低消費電力性（～20 ワット）を実現ことは困難であり、技術的に大きな飛躍が必要である。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１年度であり、まずは参画研究者がどのような研究をしてきたかをお互いに知り合うことを目的として、研究発表と討論を行った。

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2017年12月26日（火）に東北大学電気通信研究所本館M331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、１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。

報告者である東北大学の深見からは、「アナログスピントロニクスメモリを用いた人工神経回路網」という題目で、アナログ情報の記憶が可能である反強磁性体と強磁性体の積層構造から構成されるスピン軌道トルク磁化反転素子を人工シナプスとして用いて構築した人工神経回路網を用い、Hopfieldモデル

を用いて行った連想記憶のコンセプト実証実験について講演した。

続いてプロジェクト外の招聘研究者である東京大学の矢嶋からは、「VO_2の金属絶縁体転移を用いたニューロン回路の設計」という題目で、機能性材料を用いた取り組みとして、金属絶縁体転移材料の VO2 を用いたニューロン回路に関する研究が紹介された。

次に、九州工業大学の森江からは、「脳型 AI ハードウェアの物理モデルとアナログメモリ素子」という題目で、深層学習ベースの人工知能（AI）において，最も計算量が多い積和演算を、スパイキングニューロンモデルに基づいて、多並列抵抗と単一キャパシタの回路により時間領域で実現する超低消費電力物理モデルと、その集積回路実装に必要なアナログメモリ素子に関する研究例が紹介された。

次に北海道大学の浅井からは、「三次元ニューラルネットワークデバイスの実現に向けた材料・デバイス・回路技術」という題目で、三次元ニューラルネットワークデバイス技術の実現に向けた、チップ間の磁界結合技術（ThruChip Interface：TCI）を用いたイメージセンサ・プロセッサの 3D 結合ニューラルネットワークチップ、3D 磁界結合系におけるクロストーク除去を行う学習型ニューラルネットワーク回路、3D 化が容易な液相ポリマーを用いたオンライン学習が可能なニューラルネットワークシステムのプロトタイプなどが紹介された。

続いて大阪工業大学の奥野からは、「初期視覚系における情報処理の回路実装とその応用」という題目で、主に FPGA を用いた、網膜、及び一次視覚野における時空間処理の回路実装、及び初期視覚系における情報処理の工学的応用にむけた取り組みについて紹介された。

次に東北大学通研の秋間からは、「運動立体視による脳型視覚情報処理」という題目で、運動視による空間認識を行う神経回路網モデルや、その工学的応用を目指した LSI 化と空間認識システム構築に関する研究が紹介された。

続いて九州工業大学の田向からは、「RoboCup@ホームロボットのための脳型人工知能」という題目で、ホームサービスロボットの国際競技会である RoboCup@Home リーグ向けに開発してきたロボットの知的処理について紹介がなされた。

最後に東北大学通研の堀尾からは、「脳・身体総合体コンピューティングについて」という題目で、現状の脳型コンピュータ開発の問題点を克服するため、身体による制約を生かし、身体の状態をある意味での自己としてリファレンスする「脳・身体総合体 (Whole Organism) コンピューティング」のフレームワークが紹介された。

また本研究プロジェクトは若手特別支援の対象としての指定を受けた。これによる成果としては、プロジェクト外招聘研究者として東京大学大学院工学系研究科の矢嶋赳彬氏を招聘し、モット絶縁体を用いたタイプⅠニューロン、タイプⅡニューロン、及びスパイクタイミング依存シナプス可塑性に類する動作をするシナプス素子などに関する議論を行えたことがあげられる。これらの議論によって、今後のスピントロニクスの脳型コンピューティング応用に関する研究を遂行する上で有用な知見を得ることができた。

（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た。

［４］成果資料

（１）S. DuttaGupta, T. Kanemura, C. Zhang, A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torques and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] heterostructures," Applied Physics Letters, vol. 111, 182412 (5 pages), November 2017.

（２）K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno "Shape anisotropy revisited in single-digit nanometer magnetic tunnel junctions", NATURE COMMUNICATIONS, vol. 9, 663, (6 pages), February 2018.

（３）C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno "Time and spatial evolution of spin-orbit torque-induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO structures with various sizes", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, 04FN02, (5 pages), February 2018.

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）

忍田 大和（東北大学大学院情報科学研究科）

鈴木 麻奈美（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）

延べ参加人数：12 人

研究費

旅費　141,000 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，本年度が初年度であった．まず，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。

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】

5 月 8 日：研究打ち合わせ（4 名）

10 月 1-2 日：研究討論（12 名）

2 月 1-3 日：研究会（12 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。

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。

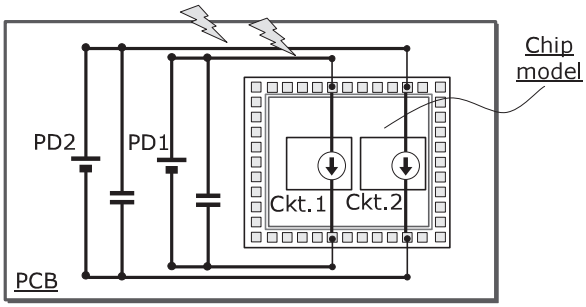


図1：暗号処理LSI回路チップの等価回路

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。

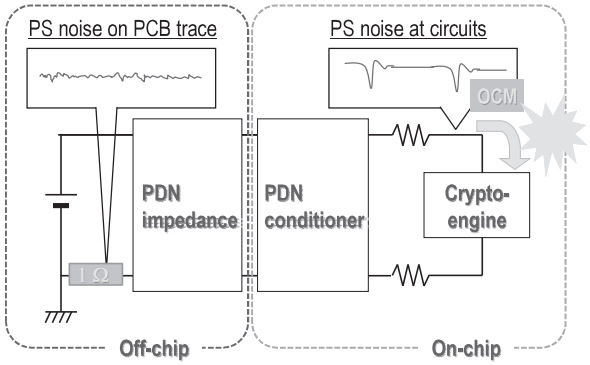


図2：セキュリティハードウェアの一般構成

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について理解を進めつつ、電源供給調整機構として回路アーキテクチャやパッケージングテクノロジを考案し、モデルベース・シミュレーションによる探索を進めることとした。

第2に，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について有望な知見が得られた。

（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．

［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）
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（東北大学学際科学フロンティア研究所）
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　　295,000 円
国際特別支援費　　200,000 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．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。
本年度における最も重要な成果として，平成 30 年 2 月 23 日～24 日の二日間に渡って開催された The 5th Internal Symposium on Brainware LSI（第 5 回ブレインウェア国際シンポジウム）がある．
・第 5 回ブレインウェア国際シンポジウム
・平成 30 年 2 月 23 日～24 日
・東北大学電気通信研究所本館大会議室
・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．脳情報処理とその応用で著名なスイス EPFL の Alexandre Schmid 氏は，1924 年から続く電極侵襲による脳内信号の取得技術とその応用について講演した．また，物体認識＆理解分野で著名な米国 UCB 大学・David Whitney 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米国 Rochester 大学・Sungyoung Kim 氏，ロボット・ロコモーション原理究明に関して著名な大阪大学・Masato Ishikawa 氏なと，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．

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（ブレインウェア工学研究会，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29年12月19日
・東北大学電気通信研究所 ナノスピン棟4F カンファレンスルーム
・約40名

本研究会の講師として，原田知親氏（山形大学）から「8角形多端子MOSFETと複数センサ活用による計測システムの開発」と題した講演を伺った．氏は山形大学と山形市が連携して取り組んでいる「地域に住む人々の日々の生活を支える快適な居住環境創出」に関する研究開発の一環として，IoTデバイス（センサデバイス）と集積化の現状を紹介した．このような研究成果は脳型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．

・2017 International Workshop on Emerging Technologies of Microelectronics and Their Application to IoT Paradigm（本プロジェクトと共催）
・平成29年12月14日（木）～16日（土）
・米国ハワイ州 Waikiki Resort Hotel
・約10名

招待講演として，パワーデバイス＆パワーマネージメント技術とその応用技術を専門とする，Wai Tung Ng氏（カナダ・トロント大学・教授），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），現在の2値CMOS技術の弱点を克服する可能性を有する回路技術の1つ，stochastic logicとその応用の紹介（東北大学学際科学フロンティア研究所・助教・鬼沢直哉氏）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) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a magnetic-tunnel-junction-oriented nonvolatile lookup table circuit with write-operation-minimized data shifting," JJAP, vol. 57, no. 4S, pp. 04FE09-1～4, Mar. 2018.

2) M. Natsui and T. Hanyu, "Design of a memory-access controller with 3.71-times-enhanced energy efficiency for Internet-of-Things-oriented nonvolatile microcontroller unit," JJAP, Vol.57, No.4S, pp.04FN03-1～5, Feb. 2018.

3) N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Abe, M. Kawamata, and T. Hanyu, "Area/Energy-Efficient Gammatone Filters Based on Stochastic Computation," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 25, No.10, pp. 2724-2735, Oct. 2017.

4) A. Ardakani, F. Leduc-Primeau, N. Onizawa, T. Hanyu, and W. J. Gross, "VLSI Implementation of Deep Neural Networks Using Integral Stochastic Computing," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 25, no. 10, pp. 2688-2699, Oct. 2017.

5) N. Onizawa, A. Tamakoshi and T. Hanyu, "Evaluation of reinitialization-free nonvolatile computer systems for energy-harvesting Internet of things applications," JJAP, Vol.56, No.8, pp.0802B7-1～0802B7-7, Aug. 2017.

6) D. Suzuki and T. Hanyu, "Energy-Efficient and Highly-Reliable Nonvolatile FPGA Using Self-Terminated Power-Gating Scheme," IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E100-D, No.8, pp.1618-1624, Aug. 2017.

7) S. Koshita, N. Onizawa, M. Abe, T. HANYU, and M. Kawamata, "High-Accuracy and Area-Efficient Stochastic FIR Digital Filters Based on Hybrid Computation," IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E100-D, No.8, p.1592-1602, Aug. 2017.

8) N. Onizawa, A. Mochizuki, A. Tamakoshi, and T. Hanyu, "Sudden Power-Outage Resilient In-Processor Checkpointing for Energy-Harvesting Nonvolatile Processors," IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing (TETC), Vol. 5, No. 2, pp. 151-163, April-June 2017.

＜国際シンポジウム＞（査読付）

1) M. Imai, N. Onizawa, T. Hanyu, T. Yoneda, "Minimum Power Supply Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing," The 21st Workshop on Synthesis and System Integration of Mixed Information Technologies (SASIMI2018), 6pages, Mar., 2018.

2) N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, and T. Hanyu, "Design of Stochastic Asymmetirc Compensation Filter for Auditory SignalProcessing," Proc. 5th IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), pp. 1315-1319, Nov. 2017.

3) M. Natsui and T. Hanyu, "Energy-Efficient High-Performance Nonvolatile VLSI Processor with a Temporary-Data Reuse Technique," Extended Abstracts of 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2017), pp.977-978, Sendai, September 2017.

4) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of an MTJ-Oriented Nonvolatile Lookup Table Circuit with Write-Operation Minimizing," Extended Abstracts of the 2016 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.195-196, Sendai, Sept. 2017.

5) N. Onizawa, K. Matsumiya, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Accuracy/Energy-Flexible Stochastic Configurable 2D Gabor Filter with Instant-on Capability," Proc. 43rd European Solid-State Circuit Conference (ESSCIRC), pp. 43-46, Sep. 2017.

6) M. Rizk, J.-P. Diguet, N. Onizawa, M. J. Sepulveda, Y. Akgul, V. Gripon, A. Baghdadi, and T. Hanyu, "NoC-MRAM Architecture for Memory-Based Computing: Database-Search Case Study," Proc. 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), pp. 309-312, June 2017.

7) N. Onizawa, M. Imai, T. Hanyu and T. Yoneda, "MTJ-based asynchronous circuits for re-initialization free computing against power failures," Proc. of 23rd IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems, pp.118-125, May 2017.

8) N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, and T. Hanyu, "Evaluation of Stochastic Cascaded IIR Filters," Proc. 47th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL), pp. 224-229, May 2017.

他，国際シンポジウム（査読付）を 10 編以上，招待講演（国際会議等 5 件）をそれぞれ行うなどの研究成果を挙げるに至った.

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

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）

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）

忍田 大和（東北大学大学院情報科学研究科）

鈴木 麻奈美（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）

延べ参加人数：12 人

研究費

旅費	141,000 円
国際特別支援費	200,000 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 Jean-Luc Danger 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，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・試作する暗号 LSI のハードウェアアーキテクチャの方針を得る．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，本年度が初年度であった．まず，先端的な高機能暗号（秘匿計算などを可能とする暗号）および軽量暗号（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った．また，それを踏まえて新たな LSI の試作方針について検討した．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，そのハードウェアアーキテクチャに関する指針を得た．耐タンパー化技術としては，秘密分散法および RSM（Rotating S-box Mask）に基づく対策を中心に検討した．さらに将来的な連携研究テーマについては，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】

8 月 14-25 日：研究打ち合わせ（4 名）

10 月 1-2 日：研究討論（12 名）

11 月 21 日：研究討論（3 名）

2 月 19-20 日：研究討論（3 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アーキテクチャおよび耐タンパー化ハードウェアアーキテクチャに関する新たな知見が得られた．特に，RSM（Rotating S-box Masking）と呼ばれる軽量マスキングスキームを応用することで，従来のThreshold Implementation（TI）と比べて有意な軽量化をはかれるとの見通しが得られた．一方で，PRINCEの典型的なアーキテクチャであるアンロールドアーキテクチャの場合，Round関数に部分的にマスキングを施しても選択平文型の攻撃に対して脆弱であることがわかった．

（特別支援（国際）に係る研究成果）

特別支援により，海外研究者ならびに関連する国内研究者を通研に招聘して対面による緊密な研究打ち合わせを実施することで，実装するデバイスに応じた最適化，安全性解析の計測に関する新たな知見が得られた．これは直接実験を共同で行うことで初めて実現されたものである．また，国際交流という観点では，直接的な交流をもつことにより，本プロジェクトを端緒とする部局間協定が円滑に締結され，今後の協力体制の基盤が得られた．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

耐タンパー化ハードウェアについては，得られた上記の知見を元にさらなる検討をすすめることにより，軽量な耐タンパー化ハードウェアを実現できるとの見通しを得た．また，LSI 試作設計についても合わせて議論し，今後のLSI共同開発に関する指針を得た．今後，世界最高性能の耐タンパー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．

［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
（先端）

採択番号：**H29/B19**

電磁情報セキュリティに関する研究

［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・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）
忍田 大和（東北大学・大学院情報科学研究科）
鈴木 麻奈美（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）

延べ参加人数：12 人

研究費

旅費　141,000 円

［2］研究経過

近年，スマートフォンやタブレットに代表される情報通信端末の利用が爆発的に拡大している．これに伴い，不特定の第3者が存在する公共の場において，同端末を用いたプライバシーや金銭に関わる情報のやり取りがなされる機会が増加している．しかし，そうした公共の場では，いわゆるショルダーハックと呼ばれる盗み見の他に，端末から非意図的に放射される電磁波を介した電磁的な盗視の恐れがある．また，端末に意図的に照射された電磁波によるセキュリティの低下も懸念される．本研究では，そうした電磁波を介した情報セキュリティ低下のメカニズムの解明と，それを抑止・検知する効果的な対策技術の開発を目的とする．

本研究では，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進めている．実験は，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う．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の同定を行う．その上で，その漏えい情報の伝搬特性の評価をすすめる．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】

2 月 1 日：研究発表会（12 名）
2 月 2 日：研究打ち合わせ（12 名）・評価実験（3 名）
2 月 3 日：研究打ち合わせ（12 名）・評価実験（3 名）
3 月 12 日：研究打ち合わせ・研究討論会（11 名）

【テレビ会議による研究打ち合わせ】

4 月 25 日：研究打ち合わせ（2 名）
5 月 2 日：研究打ち合わせ（2 名）
5 月 29 日：研究打ち合わせ（2 名）
9 月 13 日：研究打ち合わせ（2 名）
9 月 20 日：研究打ち合わせ（2 名）
10 月 3 日：研究打ち合わせ（2 名）
10 月 7 日：研究打ち合わせ（2 名）
11 月 22 日：研究打ち合わせ（2 名）
12 月 25 日：研究打ち合わせ（2 名）
1 月 26 日：研究打ち合わせ（2 名）
3 月 8 日：研究打ち合わせ（2 名）

［3］成果

（3－1）研究成果

スマートデバイスからの電磁波を通じた情報の漏えいは特定の周波数（漏えいチャネル）で発生しており，この周波数において観測される放射電磁波に対して信号処理を施すことで画面の再構築が可能となる．一方，スマートデバイスから放射される電磁波は，図1のように非常に広い周波数で生じており，周波数毎にディスプレイの画面情報が得られるかを画面の再構築まで行って確認する場合，多大な時間を要する．これまで行った基礎検討により，漏えい周波数は図1中の周波数Aの様に強い放射が観測される周波数ではなく，周波数Bの様にそれほど強い放射が観測されない様な周波数であることが確認されており，放射スペクトルの強度から判断することは難しい．そこで，今年度の研究では，端末から画面描画情報が漏えいするモデル（漏えいモデル）を構築し，モバイル端末から放射される周波数を高速にスキャンし，漏えいパターンにマッチする周波数を探索し，漏えいチャネルを特定する手法を開発する．漏えいモデルは，「ディスプレイ描画に関わるデータはその処理，および伝送において周期性を有する」・「画面の情報は，データがシリアルに処理・伝送される部位においてその周期で漏えいする」ということを仮定して構築した．

また，画面情報を含む電磁放射は，一般に，ダイオードなどの非線形な素子が介在しない放射のため，漏えいチャネルをキャリア周波数としたAM変調された放射が発生すると予想される．そのため，端末から電磁放射が観測される周波数に対してAM復調を逐次施しながら，漏えいモデルで仮定した周期性の有無を確認することで，漏えいチャネルを推定することを可能とした．また，提案モデルの妥当性についても数種類のスマートデバイスに対して，実験を行っており，図2に示す様に，周波数領域において情報を含む周波数と含まない周波数を有意に分離できることを確認した．本基礎知見を基に，評価技術の高精度化・適用できるデバイスを拡大し，スマートデバイス全般に適用可能な情報漏えいの有無を高精度に短時間に判定可能な評価技術の開発を行った．

（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対策技術を回路レベルで開発する．さらに，対策技術が既存の電磁波盗視にも有効である場合には，従来の対策にくらべて安価に，そして容易に実装できることから，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．

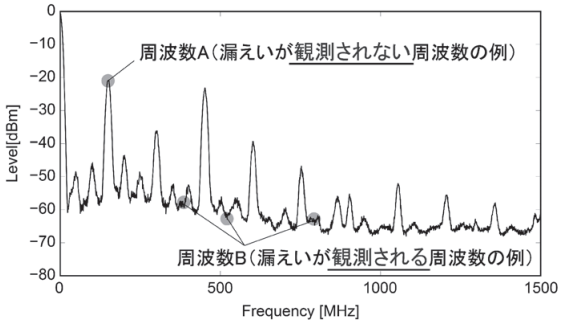


図1：スマートデバイスの放射電磁波スペクトル

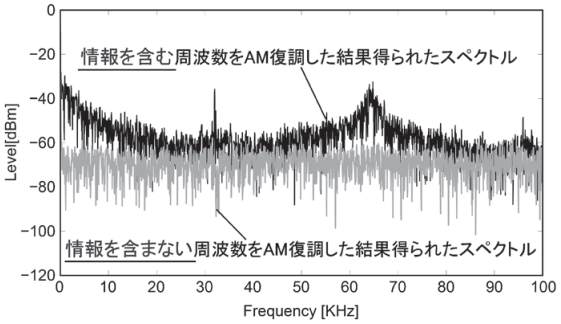


図2：モデルを用いた漏えいチャネルの推定

［4］成果資料

1. Ville Yli-Mäyry, 宮田大輔, 林優一, 本間尚文, 青木孝文, “スマートデバイスからの電磁的情報漏えいに対する安全性評価手法,”2018 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2018), No. 1D1-3, 新潟県, January2018.
2. 宮田大輔, ヴィッレウリマウル, 本間尚文, 林優一, 青木孝文 “スマートデバイスからの電磁的情報漏えいの評価に関する検討,” ハードウェアセキュリティフォーラム 2017, ポスターNo.11, 東京都, December 2017.
3. Ville Yli-Mayry, Daisuke Miyata, Naofumi Homma, Yuichi Hayashi, Takafumi Aoki, " On the Evaluation of Electromagnetic Information Leakage from Mobile Device Screens," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (accepted).

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
　末光　眞希（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
　末光　眞希（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）
　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	50,000 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１年度であり，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．

・第一回半導体基礎講座
　日時：平成 29 年 9 月 27, 28 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）SiO2 成膜，フォトリソグラフィー，SiO2 エッチング，走査型電子顕微鏡，X 線回折装置等
・第一回研究会
　日時：平成 29 年 9 月 27 日
　参加者：18 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
・第二回半導体基礎講座
　日時：平成 30 年 3 月 14, 15 日
　参加者：15 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）SiO2 成膜，フォトリソグラフィー，SiO2 エッチング，走査型電子顕微鏡，X 線回折装置等
・第二回研究会
　日時：平成 30 年 3 月 14 日
　参加者：16 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　酸化膜（SiO2）の形成
　1.1 ウエハカット
　1.2 洗浄
　　1.2.1 SPM 洗浄
　　1.2.2 自然酸化膜エッチング
　1.3 熱酸化
　1.4 膜厚測定
2　酸化膜（SiO2）の加工
　2.1 フォトリソグラフィー
　　2.1.1 乾燥ベーク
　　2.1.2 レジスト塗布
　　2.1.3 プリベーク
　　2.1.4 露光
　　2.1.5 現像
　　2.1.6 ポストベーク
　2.2 SiO2 エッチング
　2.3 レジスト剥離（SPM 洗浄）
　2.4 膜厚測定

［3］成果

（3－1）研究成果

講習会，研究会には総数 20 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につい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 7 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) J. Sakai, S. Katano, M. Kuwahara, and Y. Uehara, Pump-probe STM light emission spectroscopy for detection of photo-induced semiconductor-metal phase transition of VO2, J. Phys. Condens. Mat., vol. 29, no. 40, 405001, 2017.

(2) 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., vol. 122, no. 8, 085306, 2017.

(3) S. Katano, H. Fujita, and Y. Uehara, Investigation of local modification and luminescence of a carbon nanotube by scanning tunneling microscopy, Appl. Phys. Lett., vol. 112, no. 1, 2018.

(4) Y. Osakabe, S. Sato, H. Akima, M. Sakuraba, and M. Kinjo, Quantum Associative Memory with Quantum Neural Network via Adiabatic Hamiltonian Evolution, IEICE Trans. Inf. & Syst., E100-D, no. 11, pp. 2683-2689, 2017.

(5) S. Sasaki, M. Sakuraba, H. Akima, and S. Sato, “Silicon-Carbon alloy film formation on Si(100) using SiH4 and CH4 reaction under low-energy ECR Ar plasma irradiation,” Materials Science in Semiconductor Processing, 70, 188-192, 2017.

(6) N. Ueno, M. Sakuraba, Y. Osakabe, H. Akima, and S. Sato: Electronic Properties of Si/Si-Ge Alloy/Si(100) Heterostructures Formed by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating, Materials Science in Semiconductor Processing, 70, 55-62, 2017.

(7) K. Motegi, N. Ueno, M. Sakuraba, Y. Osakabe, H. Akima, and S. Sato: Electrical properties and B depth profiles of in-situ B doped Si films grown by ECR Ar plasma CVD without substrate heating, Materials Science in Semiconductor Processing, 70, 50-54, 2017

共同プロジェクト研究

採択回数　(1)　2　3
（萌芽・国際・その他）

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（総合研究大学院大学学融合推進センター）

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）

冨樫　奈々（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（総合研究大学院大学学術情報基盤センター）

延べ参加人数：10 人

研究費

旅費	222,000 円
国際特別支援費	200,000 円

［2］研究経過

カラスによる農作物被害は約 17 億円に達している（農林水産省　平成 27 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。

今年度は、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 9 月 15 日と 11 月 12 日の 2 回行った。9 月 15 日には 6 人が、11 月 12 日には 3 人が参加した。

山形市では、市役所周辺の市街地にカラスが多数集まり、糞害などの被害が深刻である。この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。

［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。使用する音声やスピーカーの配置など、具体的なシステムの検討がなされ、それをもとに実証試験が計画された。

山形市で行なった実証試験では、複数のスピーカーを用いてカラスの鳴き声などを再生することで、300 羽程度のカラスの群れが 200m 程離れた意図した場所へ移動した。このことから、広域音声システムにより、任意の場所へ誘導できる可能性を見出せた。

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。本研究の広域音声システムにドローンを導入し、スピーカーを三次元的に移動させることを検討しているおり、本年度の研究会等において、末田氏の招聘により、ドローンを使った具体的なシス

テムについて検討することができた。また、本システムに導入することを想定したドローンについて、自作の固定翼機にスピーカーを搭載し、飛行を制御する開発をシンガポールにて行うことが具体的に計画された。

（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、10 月 23 日の NHK WORLD への掲載をきっかけに、韓国や中国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

【招待講演等】

(1) 野生動物管理学研究センター連続講義「野生動物を知る」、「カラスとの共生に挑戦〜カラス研究最前線〜」、2018 年 1 月、岐阜大学（岐阜県）
(2) 九州昆虫セミナー、「カラス研究 15 年、基礎から応用、そして起業しました」、2018 年 1 月、佐賀大学（佐賀県）
(3) 佐賀城公園周辺におけるカラス対策推進会議、「カラスの生理・生態を知り被害を防ぐ」、2018 年 1 月、佐賀県庁（佐賀県）
(4) カラス対策講演会、「カラスの生理・生態を知り被害を防ぐ」、2017 年 12 月、JA みなみ信州（長野県）
(5) Entertainment Computing 2017、「特別企画 ドローンとエンタテインメントとカラス」、2017 年 9 月、東北大学（宮城県）
(6) 山形市カラス対策セミナー、「カラスの生理・生態と被害対策」、2017 年 9 月、山形市役所（山形県）

【メディア出演】

(1) 飯田エフエム放送「かざこし歳時記」、2018 年 1 月 10 日
(2) NHK「しあわせニュース」、2017 年 12 月 31 日
(3) 室蘭民報、2017 年 12 月 21 日
(4) 飯田ケーブルテレビ「ニュース」、2017 年 12 月 20 日
(5) 日経新聞、2017 年 12 月 19 日
(https://www.nikkei.com/article/DGXMZO24778040Y7A211C1L60000/)
(6) 信濃毎日新聞、2017 年 12 月 17 日
(7) 秋田魁新報、2017 年 12 月 17 日
(8) 中部経済新聞、2017 年 12 月 14 日
(9) 高知新聞、2017 年 12 月 13 日
(10) 北國新聞、2017 年 12 月 13 日
(11) 東奥日報、2017 年 12 月 13 日
(12) 熊本日日新聞、2017 年 12 月 9 日
(13) TBS ラジオ「森本毅郎スタンバイ！」、2017 年 12 月 4 日
(14) TBS「あさチャン」、2017 年 11 月 22 日
(15) 文化放送「斉藤一美ニュースワイド SAKIDORI!」、2017 年 11 月 21 日
(16) ＨＢＣ北海道放送「今日ドキッ！」、2017 年 11 月 14 日
(17) NAVER corp.（韓国）、2017 年 11 月 1 日
(http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&oid=001&aid=0009650853&sid1=001)
(18) NHK 総合テレビ「シブ５時」、2017 年 11 月 1 日
(19) NHK NEWS WEB、2017 年 10 月 30 日
(http://www3.nhk.or.jp/news/web_tokushu/2017_1030.html)
(20) NHK ラジオ第一「先読み！夕方ニュース」、2017 年 10 月 30 日
(21) NHK 総合「おはよう日本」、2017 年 10 月 25 日
(22) 六點半新聞報道(中国ニュース番組)、2017 年 10 月 24 日
(https://www.youtube.com/watch?feature=youtu.be&v=0ctyXhV7510&t=20m23s&app=desktop)
(23) NHK WORLD、2017 年 10 月 23 日
(https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/newsroomtokyo/features/20171023.html)
(24) YTN(韓国ニュース番組)、2017 年 10 月 5 日
(http://www.ytn.co.kr/_ln/0104_201710050223572041)

(25) CBC ラジオ　「多田しげおの気分爽快～朝から P. O. N」、2017 年 10 月 5 日
(http://hicbc.com/radio/kibun/)
(26) 東京 FM「クロノス」、2017 年 10 月 2 日
(http://www.tfm.co.jp/ch/index.php)
(27) NUS NEWS、2017 年 9 月 26 日
(http://news.nus.edu.sg/highlights/walking-about-block71)
(28) TBS「N スタ」、2017 年 9 月 20 日
(29) Yahoo!ニュース、2017 年 9 月 19 日
(https://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20170920-00000005-khks-soci)
(30) 日本テレビ「スッキリ」、2017 年 9 月 20 日
(31) 河北新報、2017 年 9 月 20 日
(http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201709/20170920_53013.html)

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3
（国際・産学）

採択番号：**H29/B22**

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

［1］組織

研究代表者

末田　航（シンガポール国立大学）

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

小寺悠（一般社団法人日本ドローンレース協会）

横田淳（一般社団法人日本ドローンレース協会）

五十嵐裕也（一般社団法人日本ドローンレース協会）

延べ参加人数　7人

研究費

旅費	171,000円
国際特別支援費	200,000円
産学特別支援費	50,000円

［2］研究経過

本研究会は、東北大学電気通信研究所を会場として、２０１７年９月１６日から３日間の日程で行われた、情報処理学会主催のエンタティメント系HCI学会「エンタティメントコンピューティングシンポジウム2017(EC2017)」の付帯イベントとして、ドローンレースやフリースタイル飛行が可能な娯楽向けドローンのデモ飛行実施をした。これに先立つ2017年の7月に、国家戦略特区（通称ドローン特区）に指定されている仙台市[ii]で開催された、国際ドローンレース「Japan Drone Nationals 2017[1]」の主催者日本ドローンレース協会(JDRA)[2]やドローンテックラボ仙台(DTLS)の関係者などと接触した。そして、興行スポーツとして発展をし続けるために解決されるべき技術的な課題などを共有議論と学会内での屋内ドローンレース等の開催準備のためのミーティングを実施した。本研究会では、当学会のプログラムとして以下の実施、及び学会内での口頭発表と技術デモを行った[3]。

- ✓ E-sports、興行スポーツとしてのドローンレースの基幹技術、FPV/TPV(Third Person View)とその配信方法等の現状理解(飛行デモ有り)
- ✓ ショービジネスとしてのドローンレースが抱える今日的な課題の整理と共有（JDRA関係者との研究会・飛行デモ）
- ✓ 娯楽としてのドローン体験を向上・改善する取り組みの紹介（技術紹介及びデモ）

以上、本研究会は、EC2017の「特別企画 ドローンとエンタティンメントとカラス」[4]の一部として開催された。

［3］成果

（3－1）研究成果

エンターティンメント・コンピューティング系国内学会初のドローンレース開催：

急速に実社会に浸透しているドローンは、2020年に

[1] https://www.jdra.or.jp/events/2017/0701-japan-drone-nationals/

[2] https://www.jdra.or.jp

[3] 口頭発表「500円ヘッドトラッカー計画」は本年度の共同プロジェクト研究として活動している、「超小型ジンバルによるカメラ制御とそれを活かすドローン映像配信・利用ユーザインタフェースの研究開発」の成果として発表した。

[4] http://ec2017.entcomp.org/event/#drone

は15兆円の市場を創出すると予想されており、ドローンの機体のみならずそれを活用したサービスやアプリケーションの研究開発が盛んに行われている。そこで本研究会では，情報処理学会主催のエンタティメント系HCI学会「エンタティメントコンピューティングシンポジウム 2017(EC2017）」の参加者に対して、ドローンのエンタメへの応用やドローンにしかできない社会的な試みなどを実演を交えて紹介。EC2017 での本研究会の活動紹介の場として「特別企画 ドローン と エンタテインメント と カラス」というセッションを設け、活動報告のトークセッションと、ドローンレースW杯日本代表レベルのパイロットが操縦する実機による飛行デモとレースを開催した。





図 1 EC2017 特別企画セッションでのデモ飛行の様子

ドローンレースは、優勝賞金額が１億円を超えるものもあり，新しいショービジネスになろうとしている。パイロットは通常，HMD をかぶり，ドローンに付けたカメラによる映像(First Person View; FPV)を見て操縦をする．そのため，動体視力と反射神経の極限を競うレースとなり、また，ドローン操縦テクニックや制御の全体的なレベルアップを促すという役割も担っている。事実、世界のトップレーサーのテクニックを学習した AI ドローンとの対戦レースを NASA や Google が実施するなど、ドローン研究の最先端を担う分野であり、加えて娯楽としての興行性やそのための技術的課題を当分野の学会コミュニティに紹介・共有する、国内学会として初の試みであったと考えている。また、本企画の終了後は当学会の懇親会が開催され、インフォーマルな場での議論も盛んに行われ、例えば、超人スポーツ協会共同代表の稲見昌彦教授から演出を技術で強化することの重要性や、ドローンパイロットから地上カメラの設置や配信の方法について、具体的なアドバイスを受けるなど、有意義がフィードバックが得られた。そして、昨今の日本国内における社会のドローンへの印象の悪さも相まって、ドローンを用いた研究開発を躊躇する傾向がある中で、産官学の関係者がノウハウを共有しあうことで、研究開発や飛行デモが実施可能となることを示すことができたのも意義があったと考えている。また、本研究会では申請時の研究分担者の他に、日本ドローンレース協会理事の加古直秀氏を EC2017 特別企画の MC 兼技術説明スタッフとして招聘した。

国際共同研究活動：



図 2 Maker Faire Singapore でのドローンレースの様子[5]

本研究会の目標の一つであるドローンレースを開催するにあたっては、飛行場所の管理者から許可を受ける前に、日本の法規制をクリアすることが前提となる。そのため、開催準備にあたっては、申請者が居住する、シンガポールにて MakerFaire[6]で予行演習的にドローンレースを開催した。MakerFaire は、

[5] https://youtu.be/GMiP0cJrmGE

[6] https://www.facebook.com/MakerFaireSingapore/

もともとDIYカルチャーのオフ会的な特色を持つことから、現在レーシングドーン製作の主流となっている自作ドローンとも相性が良い。また参加者層もアカデミック、研究開発産業分野に限らないことから、非常に広範にわたり、年齢や興味の違う様々な参加者が楽しめるドローンレースを検討するにあたり、有意義な事前学習ができた。

特別支援（国際・産学）にかかわる成果：
以上、本項で前述した当研究会の成果は、シンガポール国立大学からの研究者の参加、産業界からは日本ドローンレース協会の関係者のサポートによって実現された。またこれらの活動のための関係者の招聘費用等は、本共同プロジェクト研究の特別支援（国際・産学）によって関係者の招聘費用等の助成を受けている。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
上記に加えて、シンガポール政府が自作ドローン・ロボットや、それを用いたSTEM教育に近年力を入れていることもあり、このレースをきっかけに同国内の博物館やスタートアップ系イベント運営母体などからのドローンイベント企画依頼などの引き合いがあった。そして現地企業と申請者らが相互に協力する形で、娯楽系ドローンのコミュニティ活動が開始された。また、EC2017でのエンタメドローン研究会の企画をさらに発展させる形で、2018年9月東北大学で開催予定の日本VR学会、2018年12月に東京で開催予定のACM SIGGRAPH Asia 2018などへの参画を検討しており、今後も引き続きアカデミック関係者、産官の地域振興関係者、娯楽・コンテンツ業界関係者、ドローンパイロットなどを巻き込んだ国際共同研究開発ネットワークとして育てていきたい所存である。

また、本研究会テーマの研究開発活動を推進するため、電気通信研究所の北村研究室と並行して進めている、共同プロジェクト研究テーマとして、本テーマと並行して進めている、ドローンの利活用を促進うるインタフェースとインタラクティブなコンテンツに関する研究テーマを横断する形で「IT-21 センタープロジェクトB萌芽研究部」にて「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」[1]として、新たな研究体制で活動をすることとなった。また、この研究会の、とりわけEC2017でのドローンレースの結果を踏まえた、娯楽用途のドローン関連研究活動を促進するために、「中山隼雄科学技術文化財団」より「ドローンレースの娯楽性向上のための配信技術の研究」[2]が研究助成事業として採択され、来年度からシンガポール国立大学に加えて、学内起業やコンテンツ制作の専門家養成機関として多くの実績を持つデジタルハリウッド大学と共に共同研究活動をスタートする。また、同じく共同プロジェクト研究としてスタートし、EC2017の特別企画でも研究会活動を行った「カラスの行動制御のための広域音声システムの開発」は、鳥害対策システムの共同研究として、山形市との協力関係のもと、都市空間レベルでの実証実験を実施した。その活動がNHKなどで取材・放送されることにより、例えば石川県の能登空港に隣接する日本航空学園とのバードストライク対策ドローンの挙動研究に向けた交流がスタートするなど、今後ますます共同研究活動が活性化する可能性がある。

［４］成果資料
[1] 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,IT-21 センタープロジェクトB 萌芽研究部, 2017/10-2020/3
[2] 平成 30 年度中山隼雄科学技術文化財団研究助成事業、「ドローンレースの娯楽性向上のための配信技術の研究,
http://www.nakayama-zaidan.or.jp/activity-grant04.html

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（東北大学学際科学フロンティア研究所）

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初年度であり，「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，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，2017 年 11 月 27 日に第１回目の打ち合わせ，2018 年 2 月 17 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，新概念非同期式回路アーキテクチャを考案した．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，提案方式では静的電力・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た．図１に提案の不揮発非同期式回路アーキテクチャの基本回路（AND 演算）を示す．

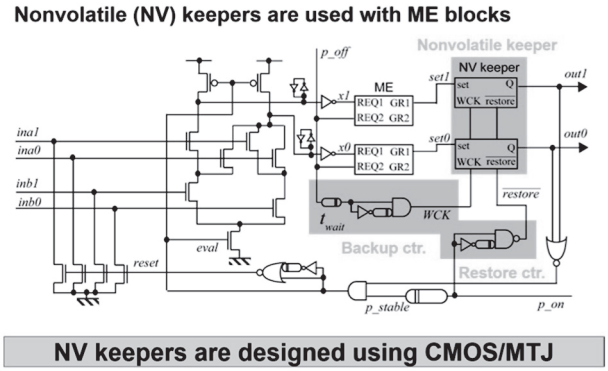


図１　CMOS/MTJ ハイブリッド実現による不揮発性非同期式回路の例（AND 回路）．電源電圧の状態に応じて自動的にデータをバックアップおよび復帰させる機能を盛り込むことで，超低消費電力での動作が可能

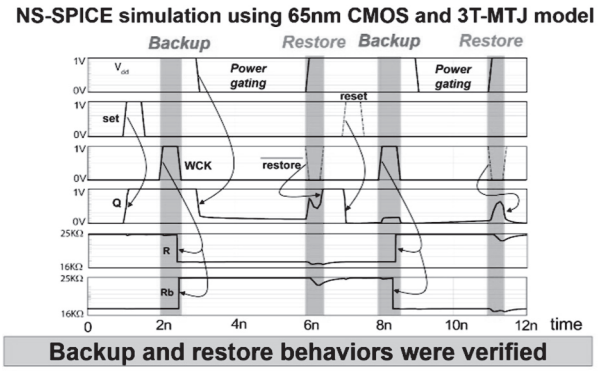


図２　TSMC 65nm CMOS プロセスおよび３端子 MTJ モデルによる提案回路のシミュレーション波形．提案回路が電源電圧の状態に応じて，自動的にデータをバックアップ・復帰する動作を確認

提案回路は CMOS トランジスタと不揮発性素子の一種である Magnetic tunnel junction (MTJ) 素子を同時活用したハイブリッド構成となっている．不揮発性記憶ブロックである（Nonvolatile (NV) keeper）を CMOS/MTJ 回路で実現し，非演算時に自動的にデータを NV keeper にバックアップし，その後パワーゲーティング（電源 OFF）を行うことで，静的電力の削減を図っている．

バックアップ時には，演算が確実に停止状態(stall 状態)になっていなければ変化途中のデータを誤って記憶する可能性があり，電源復帰時に正しくデータを復帰できない危険性がある．そのため，バックアップ時には外部制御信号である p_off を low から high 状態に変化させ，演算信号との調停処理を Mutual exclusive (ME) ブロックで実現する．その結果，stall 状態になった後に正しくデータをバックアップすることが可能となった．

また演算を再開させる際には，まず電源を ON 状態にさせ，外部制御信号である p_on を low から high 状態に変化させることで，NV keeper からバックアップデータを復帰させる．その結果，電源復帰後に演算を初期状態からやり直しすることなく，パワーゲーティング前の状態から演算を再開させることが可能となるため，電力効率のよい回路が実現された．

上記動作をシミュレーションにより検証するために，提案回路の回路シミュレーションを行った．図２に提案回路の動作シミュレーション波形を示す．提案回路を TSMC 65nm CMOS プロセスおよび３端子 MTJ モデルにより設計し，NS-SPICE と呼ばれる MTJ モデルとトランジスタを同時に扱うことができる SPICE シミュレータにより評価を行った．シミュレーション動作としては，電源電圧の状態に応じて自動的にバックアップおよび復帰動作が行われるかの確認を行い，所望の動作波形が得られていることがわかった．その結果，本年度は脳型システム実現に向けた超低消費電力非同期回路の基盤技術の考案および検証を行うことが出来た．

（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. Hanyu, and T. Yoneda “MTJ-based Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing against Power Failures,” *Proc. 23rd IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC)*, pp. 118-125, May. 2017.

（２）N. Onizawa, “Energy-Efficient Brainware LSI Based on Stochastic Computation,” *Proc. 5th IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Nov. 2017. **(invited)**

（３）M. Imai, N. Onizawa, T. Hanyu, and T. Yoneda, “Minimum Power Supply Asynchronous Circuits for Re-initialization Free Computing,” *Proc. 21st Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies*, Mar. 2018. (to appear)

採択回数	1	2	3

採択番号：**H27/S1**

大規模データ処理に基づく対話的知識創発を通じた共感計算機構

［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
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）
Jorge Alberto Treviño López
（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）
塩入　諭（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（東北大学電気通信研究所）
曽　加蕙（東北大学電気通信研究所）
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
杤　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）
大堀　淳（東北大学電気通信研究所）
上野　雄大（東北大学電気通信研究所）
外山　芳人（東北大学電気通信研究所）
菊池 健太郎（東北大学電気通信研究所）
木下　哲男（東北大学電気通信研究所）
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）
高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（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）
石黒　章夫（東北大学電気通信研究所）
加納　剛史（東北大学電気通信研究所）
大脇　大（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）
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
沼尾　正行（大阪大学産業科学研究所）
八木　康史（大阪大学産業科学研究所）
鷲尾　隆（大阪大学産業科学研究所）
槇原　靖（大阪大学産業科学研究所）
村松　大吾（大阪大学産業科学研究所）
福井　健一（大阪大学産業科学研究所）
河原　吉伸（大阪大学産業科学研究所）
古崎　晃司（大阪大学産業科学研究所）
満上　育久（大阪大学産業科学研究所）
大倉　史生（大阪大学産業科学研究所）
武田　龍（大阪大学産業科学研究所）

延べ参加人数　43 人

研究費
物件費・ 旅費：1,000,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトは，平成 27 年度から新規プロジェクトとして再度立ち上げられ，本年度が 3 年目であった．本研究課題は大規模化・多様化・複雑化する情報環境の中での「共感計算機構」実現を目指すものであり，これには多様な技術や知見の集積が必要であるため，研究所間の連携を通じて研究を推進してきた．両研究所間の情報交換や新たな共同研究の深化を狙い，本年度も 2017 年 12 月 27 日(水)28 日(木)の両日に，東北大学電気通信研究所本館 5 階 M531 セミナー室において研究会を開催した．この研究会には両研究所から教員 21 名が参加し，東北大通研から 11 件，阪大産研から 10 件の発表が行われた．本研究テーマに関連する，インタフェース，ビジョン，音響，人工知能，データマイニング，ソフトウェアなどの研究についての発表がなされ，参加者にとってはさらなる共同研究の可能性を示す新たな知見の共有があり，積極的な質疑応答がなされた．

［3］成果

（3－1）研究成果

上記の研究会での各研究グループの研究成果ないし報告の概要は以下のとおりである．

まず東北大通研の北村喜文教授から本研究会全体の方向性について説明がなされた．東北大通研の塩入諭教授からは，情報の質と価値の科学技術と題した発表があった．またヨッタインフォマティクス研究センターについても紹介があった．



東北大通研の堀尾喜彦教授からは，身体性による制約を考慮・活用し，状態変化のリファレンスとなる動的な自己参照パターンを有する脳型計算ハードウェア，特にEdgeハードウェアの構成について提案がなされた．どのレベルのハードウェアを目指すのかという議論があり，この枠組みが成立する最小の構成をまずは目標とする旨が説明された．

東北大通研の羽生貴弘教授からは，人工知能ハードウェアを実現する上で重要な電力消費問題を解決するため，多機能素子（スピントロニクス素子）技術と半導体集積回路技術を融合した不揮発性ロジックとその可能性について講演がなされた．具体的実現例としてFPGAの不揮発化とその効果が示された．

阪大産研の沼尾正行教授からは，皮膚抵抗，心電，脳波による快不快と覚醒度の推定に関する研究が紹介された．人工知能のフロンティアと考えられる小説や音楽などの創造行為において，創作の目的は受容者（音楽の場合，聴き手）に感動を引き起こすことにある．そこで聴き手の反応，すなわち感情を測定し，さらには聴き手の反応を予測する．これらを行うため，音楽を対象とした感情の測定技術と予測技術，それらをベースにした自動作曲について論じた．質疑では，機械学習のラベルとして感情の真値を快不快−覚醒度軸でユーザから得ていること，機械学習による推定精度は70%程度だが，デモでの満足度が高いことが説明された．福井健一准教授からは，睡眠環境音に基づく睡眠パターンの可視化と睡眠の良否判別に関する研究が紹介された．ここでは非接触で簡便に計測できる音に着目し，まず睡眠中の生体活動（いびき，歯ぎしり，体動）および環境音（エアコンの作動音，外の車など）の時間変動パターンを拡張自己組織化マップにより2次元空間に可視化する手法が紹介された．次に，これら睡眠環境音の時系列発生パターンを隠れマルコフモデルにより良い睡眠と悪い睡眠の遷移モデルをそれぞれ構築し，SVMにより良否を判別する方法が紹介された．睡眠の良否判別した結果，睡眠をどのように改善していくのか課題である．

東北大通研の鈴木・坂本研究室のサルバドール特任助教からは，マイクロフォンアレイ受音信号に基づいて高精細空間音響情報を生成する理論的枠組みであるBMF（boundary matching filters，境界整合フィルタ）について説明がなされた．一例として，高リアリティ遠隔コミュニケーションに適した高精細パーソナル空間音響システムへの応用が紹介された．

東北大通研の北形元准教授からはエージェント型情報流処理基盤に関する検討が発表された．笹井一人助教からは，Chatbot機能をNMSに装着し，人とエージェントの柔軟な協働関係をネットワーク管理に応用する研究について発表がなされた．討論では，対話の理解を命令に接続する部分がまだ不十分であり，複雑な要求に対処できないという問題の指摘があり，今後取り組むべき課題が明確化された．高橋秀幸助教からは，沿岸部地域向け避難誘導支援システムの実現に向けた取り組みと題して，IoT機器を活用した沿岸部地域向け避難誘導支援システムの概要および試作について発表が行われた．沿岸部でドローンを活用する際の気象条件や制御・実装方法，今後の課題について有益な議論が行われた．

阪大産研・八木研究室の槇原靖准教授は，歩き方の個性に基づく個人認証のための計量学習について紹介した．画像間照合における輝度の共起に対する相違度を，従来のL1ノルムのような単調増加な計量から，より柔軟な計量として定義し，それを学習データから得る枠組みを発表した．質疑では，周波数解析による周波数への重み付けや，動的・静的部分への明示的な重み付けとの差異や，歩容認証以外の領域での適用可能性に関する議論を行った．村松大吾准教授は，隠ぺいのあるシーンでの人物認証を可能にする技術として，欠損のある歩容特徴（部分歩容特徴）から，全身歩容特徴を再生する歩容再生技術を対象とした研究を紹介した．歩容らしさを定量化し考慮することによる再生精度の改善を報告した．大倉史生助教は，「目に見えないもの」を推定・生成するコンピュータビジョン技術の一例として，一枚の全身画像から，衣服の下に隠れた真の体型（非着衣体型）を推定する手法を解説した．質疑では，深層学習による着衣画像生成精度や，試着システム以外への応用性，複数画像入力への拡張性等に関する議論が行われた．

阪大産研の鷲尾隆教授は，単なる機械学習の応用ではない，計測の特性を踏まえた新しい機械学習の研究開発に関するCRESTプロジェクトについて，その現状，成果について発表した．その中で，計測指向の新たな機械学習により，実用的な嗅覚センサや高精度な分子カウンティングセンサが実現可能なことを紹介した．計測指向の新たな機械学習問題の難しさや，嗅覚センサの識別性能，実装可能性・用途

について議論が行われた．河原吉伸准教授は，クープマン作用素の推定に基づいた，データ駆動によるダイナミクスに関する情報抽出に関する研究成果について紹介した．質疑では，紹介した方法の具体的な実行手順や適用性に関して議論を行なった．原聡助教は，機械学習モデルの列挙と題して発表を行った．機械学習モデルは最適化問題の解として定義されるが，これはモデルが実用において最適であることを意味しない．例えば，モデルがユーザの直感に反する場合，それはユーザにとって”安心して使えない”という点で最適ではない．解決法として，線形モデル・ルールモデルを列挙する方法を紹介した．モデル候補を列挙してユーザに提示することで，より直感に即した”安心して使える”モデルを提供できる．質疑では，列挙したモデルの安定性などに関して議論した．

東北大通研の上野雄大准教授は，大規模並列計算に向けたメモリ管理技術に関する発表を行った．大堀淳教授は，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に関して発表を行った．東北大通研・北村研究室の高嶋和毅助教は，遊戯療法で実績のある積み木をセンサ化し，積み木遊びから幼児のストレスや発達を定量的に計測するシステムを開発した．現場での実験を経て，実際に遊び方とストレス軽減の間に相関があることや，遊び方で年齢（3-5 歳）を高精度に判別できることが分かった．それらの実験の観察をもとにさらに高精度で多くの情報を取得可能な積み木型センサの試作や将来展望についても議論した．

阪大産研の駒谷和範教授は，DNN 音源定位についてまず紹介した．これは東北大通研・北村研との共同研究の成果である．DNN 音源定位では，実行時の環境が学習時環境と異なる場合，定位性能は大きく劣化する．これへの対処として，モデルベースの音源定位結果と DNN による音源定位結果をともに用いて，大きく外れた定位結果を抑圧する．さらに定位結果に基づいて入力特徴空間を変換し，環境にモデルを適応させる．この手法の評価を，学習時と全く異なるデータを収集して行い，教師なし適応により高い性能が得られることを示した．また対話を通じた知識獲得についても紹介し，未知語に対する推定結果を，暗黙的確認と呼ばれる一連の対話を通じて検証し，正しい候補を選別する手法について説明した．古崎晃司准教授は，Web の仕組みを用いたオープンなナレッジグラフである Linked Open Data（LOD）について，DBpedia と Wikidata を中心に，公開・利用事例を紹介した．さらに LOD を活用した産官学民の共創による“まちづくり”のためのプラットフォームの開発について説明した．

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本研究プロジェクトにより，両研究所間で従来から続いてきた協力関係に加え，新たな連携も産み出された．組織間連携により，通常は接点が少ない研究者との対話や交流を深める意義があり，このような取り組みによりイノベーションの種が育成される．具体的には，機械学習やメディア処理と，ヒューマンインタフェース分野や基盤ソフトウェア分野において，現在各方面で形成されつつある情報システム開発の萌芽的組織の中核となる拠点形成を可能とし，今後の研究を牽引する組織作りができる．

成果資料の(1)は，本プロジェクトで通研北村研と産研駒谷研の間で新たに推進した共同研究の成果である．また(2)は，以前から続いている通研塩入研と産研八木研との間の協力に基づく成果である．

［４］成果資料

(1) R. Takeda, Y. Kudo, K. Takashima, Y. Kitamura, K. 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), (accepted), 2018.

(2) Y. Yagi, I. Mitsugami, S. Shioiri, H. Habe, “Behavior Understanding Based on Intention-Gait Model,” Human-Harmonized Information Technology, Vol.2, Springer, ISBN:978-4-431-56533-8, 2017.

(3) K. Ono, R. Takeda, E. Nichols, M. Nakano, K. Komatani: Lexical Acquisition through Implicit Confirmations over Multiple Dialogues. Proc. SIGDIAL, pp.50-59, 2017.

(4) T. Washio, G. Imamura and G. Yoshikawa: Machine Learning Independent of Population Distributions for Measurement. Proc. DSAA2017: 4th IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics, 2017.

(5) Y. Makihara, A. Suzuki, D. Muramatsu, X. Li, Y. Yagi, ″Joint Intensity and Spatial Metric Learning for Robust Gait Recognition″, In Proc. of the 30th IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2017), pp.5705-5715, Jul., 2017.

共同プロジェクト研究

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　78 人

研究費

物件費・旅費：1,000,000 円

［2］研究経過

平成 29 年度から新たに始まる本プロジェクトでは、これまでの成果を踏まえ、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。本年度から若手研究者との交流を促進する目的から、サマーセミナーを新たに設定し、平成 29 年 7 月 21 日、東北大電気通信研究所にて口頭発表 6 件、ポスター発表 8 件、参加者 19 名で開催した。そして平成 29 年 12 月 22 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 6 件、ポスター発表 15 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 49 名の参加の下、盛況な研究交流を持つことができた。また、平成 30 年 2 月 23 日、通研にて「平成 29 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、電研佐々木哲朗教授が「Spectroscopy by Coherent Monochromatic Terahertz Wave」と題して成果報告を行った。具体的には、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

本年度は、それぞれの研究室で以下の成果を得た。

【静岡大学・三村・根尾研究室】

全反射(ATR)法において、金属―誘電体―金属薄膜多層構造（MIM)での表面プラズモン共鳴を利用した新しい光学機能デバイスの研究を進める。MIM 構造中には入射光、MIM で構成される導路路モード、及び最表面の金属薄膜内の表面プラズモンポラリトン(SPP)の二つの共振器が存在し、その結合を制御する事で４つの結合モード(電磁誘導透明化及び吸収化、ファノ共鳴、ラビ分裂）の実現に初めて成功しており、MIM 構造を更に発展させ、これまでに無い機能性を有した表面プラズモン増幅器及び表面プラズモンミラーについて研究を進めた。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】

理論的に発生するショットノイズ以外の電子回路等のノイズがカウント軸ではなくエネルギー軸に変換させる放射線領域でのフォトンカウンティングイメージングは、理論的には電気ノイズレスの画像を得ることができる。ただし、一般的にはエネルギーに閾値を設けたカウント数を利用するためエネルギー軸のブレがカウント数のブレとして画像劣化の一因となる。このため、提案した新しいレーザ界面直接照射ドーピング法による接合の均一化による電荷収集効率の均一化を進めた。また、信号読み出しLSI との接合後工程プロセスのため、提案接合形成方法が理論的に優れるとされる熱安定性、機械的強度安定性の優位性を確認した。

【静岡大学・川人研究室】

４タップの画素出力をもつ TOF センサとデューティが小さい短パルス光を用いた高度な距離測定方式を提案した．高い近赤外感度を有する 0.11μm CIS プロセスによって製造された横電界（LEF）制御を用いた埋め込み型フォトダイオード高速電荷変調画素を有する CMOS TOF 距離センサを用い，測定可能な範囲を維持しながら距離分解能を向上させるために複数の時間窓を用いたレンジシフト法を適用した．0.8～8.6m の距離測定において，従来の単一時間窓測定した場合，距離分解能が 8.6m で 282mm（3.3%）であるのに比べ，N＝3 では 95.9mm（1.2%）と，約３倍距離分解能が向上した。

【静岡大学・原　研究室】

BCl_3 と NH_3 を原料とする減圧化学気相成長により作製した六方晶 BN 薄膜について、膜構造と発光特性の関連を調べた結果、固有励起子発光は、柱状グレインのみから、深い準位からの発光は主に無配向グレインから得られることが明らかになった。これにより、これまで言われていた残留不純物の低減のみならず、膜構造の制御が、薄膜の発光特性の大幅な向上につながることを新たに示した。

【静岡大学・猪川研究室】

アンテナ結合ボロメータ：熱的なデバイス設計に有用なナノワイヤの熱伝導率や比熱の計測技術を開発し Si や AlN ナノワイヤ適用した。単電子トランジスタ等（整流作用）：超高周波にて整流作用が持続するメカニズムが明らかになった。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の空間パタン解析の自動計測系を整備し予備的なデータの取得に成功した。

【静岡大学・庭山研究室】

コヒーレント波（近赤外レーザ光）を利用し、光が生体組織中を伝播する時間を測定し、空間分解法と組み合わせ、光学定数を高精度測定できる手法の実現を目指して、センサの試作と演算アルゴリズムの改良、ファントム実験を行った。今期は超小型 TOF 測定モジュールを用いて利便性よく測定できるシステムを構築した。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リアルタイムに算出することに成功した。

【静岡大学・小野研究室】

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 100 nm サイズのキューブを作製し，移流集積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を作製した．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。

【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、従来は操作容易性を重視してレンズを用いて集光と角度位相整合を同時に実現してきた。今年度実施した実験および数値計算により、高効率化を実現するパラメータを見出した。しかし同時にこの設計での変換効率の限界も明らかになり、他の光学設計を採用することでより高効率化が見込まれることがわかった。

【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。堅牢なケージ型レーザアセンブリ構造を導入することで、帰還光の結合効率・位相の安定性を向上させ、3 kHz のスペクトル線幅を１時間以上維持することに成功した。本成果を足掛かりとし、今後は光源系を半導体基板上へ集積化するための検討を進める。

【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っている。したがっ

て、近傍音場におけるエバネッセント波をはじめとする音の波動性を考慮した音場情報の合成が重要である。今年度は、球面調和解析に基づく 3 次元音空間技術において、収音を行う球面と、音場を合成するスピーカを配置する球面を 2 重化する際の精度を大幅に向上させる技術(成果(8))の開発等を進めた。

【東北大学・上原・片野研究室】

高い空間分解能とマニピュレーション能力の両者をあわせ持つ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。平成 29 年度において、カーボンナノチューブの鎖上に単一のナノ構造を作製し、そのナノ光物性を STM 発光分光により明らかにした。また、単一銀ナノ微粒子の STM 発光解析から、基板表面のフォノン励起に関する知見が得られることを示した。さらに、酸化グラフェンの STM 観察に初めて成功しグラフェンシート内に局在した電子状態を同定した。

【東北大学・藤掛研究室】

フレキシブル液晶ディスプレイは、携帯・設置・意匠の自由度を飛躍的に拡大する次世代表示技術として期待されている。しかし、２枚のプラスチックフィルム基板を強固に接着する高分子壁スペーサを形成する技術が必要となる。ここでは、基板表面の濡れ性をパターニングして液晶・モノマ溶液を熱的過飽和状態にすることにより、濡れパターンに応じて両成分が自発的に分離することを明らかにした。さらに、紫外線の照射に伴うモノマ硬化により格子状高分子壁を形成することで、プラスチック基板デバイスを試作した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

今年度は、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。コヒーレント波光源の開発においては、スペクトル線幅 3kHz レベルの超小型狭線幅半導体レーザ光源の開発を進めた。THz 波光源では、その高効率化実現のためのパラメータを見出すことができた。深紫外光源においては、膜構造制御により、高い発光効率実現への可能性を得た。コヒーレント波の制御においては、表面プラズモンを誘起する材料およびその構造をナノレベルで制御するためのパラメータを明らかにした。さらに STM 発光分光により発光デバイスへの期待があるグラフェンのナノ光物性の知見が得られた。また、音の波動性を考慮した球面調和解析に基づく 3 次元音空間技術開発及びプラスシックベースのフレキシブル液晶デバイスの開発を進めた。コヒーレント波応用分野では、近赤外レーザ光を利用した生体組織パラメータのリアルタイム算出に成功した。

全体としては、研究者ネットワークの拡大を目指し、新たにサマーセミナーを企画・追加し、本プロジェクトメンバー以外の参加を促し、研究交流を活性化させることで、研究への波及・相乗効果を狙う。

［４］成果資料

(1) Kohei Yamada, Akihito Komazawa, Taishi Takasawa, Keita Yasutomi, Keiichiro Kagawa, Shoji Kawahito, "A Distance Measurement Method Using A Time-of-Flight CMOS Range Image Sensor with 4-Tap Output Pixels and Multiple Time-Windows", Electronic Imaging 2018, Burlingame, California USA, 2018.1.31

(2) K. Hara, N. Umehara, A. Masuda, T. Shimizu, T. Kouno and H. Kominami, “Influence of growth parameters on the nucleation and film formation of hexagonal boron nitride during low pressure chemical vapor deposition”, Technical Digest of Int. Workshop on UV Matererial and Devices 2017, p.168 (2017).

(3) H. Inokawa (Invited), "Surface Plasmon Antenna on Photodiode for Sensitivity Enhancement and Biosensing," 2017 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC'17) T3B-1 (National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, Oct. 18-20, 2017).

(4) T Isse, M Niwayama, Noncontact blood distribution measurement using spatially-resolved spectroscopy, The 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, July 11-15 2017, Jeju, Korea

(5) 小野篤史, ″結晶性銀ナノワイヤを用いた表面プラズモン共鳴伝搬″, 化学工業 68, 4, 1–5 (2017)

(6) Tetsuo Sasaki, Tomoaki Sakamoto, Makoto Otsuka, "Continuous Wave Gallium Phosphide THz spectrometer applied for Pharmaceutical Industry", 8th International THz-Bio Workshop, (THz-BIO2017), 2017.10.4-6, Frascati, Italy

(7) K. Aoyama, N. Yokota, and H. Yasaka, "3-kHz Spectral Linewidth Laser Assembly With Coherent Optical Negative Feedback," IEEE Photon. Technol. Lett. 30, 277 (2018).

(8) C.D. Salvador, S. Sakamoto, J. Treviño, and Y. Suzuki, “Boundary Matching Filters for Spherical Microphone and Loudspeaker Arrays,” IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing 26 (3), 461-474 (2017).

(9) 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).

(10) S. Kawamorita, Y. Shibata, T. Ishinabe, and H. Fujikake, “Morphological Control of Monomer Aggregation Using Fluororesin Transfer Process for Flexible Liquid Crystal Displays”, International Display Workshops, FLXp1-12L, pp.1580-1581, (2017.12).

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

末光　眞希（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

西出 宏之　（早稲田大学ﾅﾉ・ﾗｲﾌ創新研究機構）
川原田 洋　（同上）
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）
谷井 孝至　（同上）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
上原　洋一（同上）
枝松　圭一（同上）
長　　康雄（同上）
白井　正文（同上）
石山　和志（同上）
中沢　正隆（同上）
村岡　裕明（同上）
尾辻　泰一（同上）
八坂　洋　（同上）
平野　愛弓（同上）
佐藤　茂雄（同上）

延べ参加人数　４１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。

［3］成果

（3－1）研究成果

組織連携型共同プロジェクトＳ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。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おり、また、通研国際シンポジウムをはじめとして、国際会議や学会等において、両機関の研究者間で成果発表を行っている。2017 年 12 月 27 日（水）には、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟 4 階カンファレンスルームにおいて、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、両組織間で活発な討論を行った。なお、口頭講演およびポスター発表の内容は下記のとおりである。

（口頭講演）

オペランド顕微 X 線分光による GaN-HEMT の電流コラプス現象の機構解明

東北大　吹留 博一 准教授

ダイヤモンド 2 次元正孔ガス FET を利用した相補型パワーインバータへの応用

早稲田大　川原田 洋 教授

IV 族半導体ナノデバイス高性能化のためのプラズマ CVD プロセスの開発

東北大　櫻庭 政夫 准教授

ダイヤモンド中浅い単一 NV センター配列の作製―NV センターと表面スピン浴とのカップリング評価―

早稲田大　谷井 孝至 教授

量子構造半導体光増幅器を用いた高速光信号処理素子

早稲田大　宇高 勝之 教授

断熱的量子計算における最終ハミルトニアンの学習について

東北大　佐藤 茂雄 教授

三次元マイクロ構造・流体を用いた多様な断面形状のゲルファイバーの作製

早稲田大　尹 棟鉉 助教

バイオ界面制御に基づく神経細胞回路の構造機能制御

東北大　山本 英明 助教

（ポスター講演）

（早稲田大）

量子ドットと組成混合技術を用いた機能集積光素子

M2　松井 信衛

偏波無依存シリコン2×2マッハツェンダー型光スイッチの検討

M1　清水 叶

p 型シリコンナノワイヤを用いた熱電発電デバイスの短チャネル効果

M1　姫田 悠矢

分子動力学計算による AlOxNy/SiO2 界面におけるダイポール形成の駆動力の調査

M1　高橋 憶人

マイクロパターン表面上に構築した微小神経細胞回路の構築と活動解析

D3　河野 翔

イオン注入を用いたダイヤモンドSiVセンターの作製と生成収率のエネルギー依存性評価

M2　加賀美 理沙

フィードバック構造を有する単一ニューロンの自発的神経活動に関する研究

M2　服部 晃平

Er:O 共注入 Si の 3 次元アトムプローブ測定および蛍光特性評価

M1　鈴木 雄大

量子センシングのための浅い単一NVセンターの規則配列形成:イマージョンオイル中の水素核スピン計測

M1　福田 諒介

（東北大）

ヘテロエピタキシャル 3C-SiC(111)薄膜を介した Si 上エピグラフェン成長の高品質化

M2　高橋 謙介

顕微X線分光を用いたグラフェントランジスタの動作機構解析

M2　齊藤 和馬

微細加工表面を用いた単一神経細胞の周波数特性制御

D3　松村 亮佑

支持体の表面修飾による自立型脂質二分子分子膜の安定性の向上

D2　山浦 大地

人工脂質二分子膜における無細胞合成ヒトイオンチャネルの機能再構成究

M2　荒田 航平

脂質二分子膜の多方向電気特性評価のための微細加工シリコンチップの作製

M2　大堀 健

ボルツマンマシン型量子ビットネットワーク学習則

D3　刑部 好弘

Si 系半導体デバイス高性能化に向けた Si/Si-Ge 混晶ヘテロ接合形成プロセスに関する研究

D3　李 武

運動立体視による空間認識システムの構築

M2　栗原 祥太

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

継続的に、神経細胞の機能制御・解析（バイオ）に、ガラス基板表面パターニング（ナノ）を活用する連携（庭野・佐藤・平野ー谷井）で具体的な成果が出ており、この技術を通して実神経細胞を素子とする神経回路を基板上に再構成する技術が構築されつつあり、この技術を実細胞回路の解析に展開できるようになりつつある。また、単一光子計測において、新しい連携の枠組みが構築されつつある（枝松ー谷井)。具体的には、ダイヤモンドやSiへのイオン注入による発光センターの形成およびその単一発光センターからのフォトルミネッセンス計測であり、早大側で作製した試料を東北大に輸送して精密計測を行うことを始めている。

［４］成果資料

（論文発表）

- 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 TiO2 film, Jpn. J. Appl. Phys. 57 (2018) 027001, 1-5.

（学会発表）

- 河野翔、黒飛敦 、服部晃平、山本英明、平野愛弓、谷井孝至： マイクロ構造に対する接着差を利用した癌・正常細胞選別ー表面接着性によるライブセル・ラベルフリーな癌・正常細胞判別胞の提案ー, 第37回 表面科学学術講演会, 2017年8月17日, 横浜市立大学金沢八景キャンパス.

- 河野翔、黒飛敦 、服部晃平、山本英明、谷井孝至：可視光応答酸化チタン薄膜の光触媒能を利用した細胞の液中パターニング (Ⅱ), 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 2017年9月5日, 福岡国際会議場.

- 井手克哉、山本英明、守谷哲、脇村桂、谷井孝至、秋間学尚、久保田繁、佐藤茂雄、 庭野道夫、平野愛弓：生体分子パターンの形状による神経細胞回路のモジュー ル間相互作用の制御, 第37回 表面科学学術講演会, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 2017年9月5日, 福岡国際会議場.

- K. Hattori, S. Kono, T. Yoneyama, A. Nakanishi, H. Yamamoto, T. Tanii: An experimental and computational study on spontaneous firing pattern of a single neuron, 第27回日本神経回路学会全国大会, 9/20/2017, 北九州国際会議場.

共同プロジェクト研究

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

Innovation of Electrical Communication Systems based on Design

［1］組織

研究代表者
　椹木 哲夫（京都大学デザイン学連携大学院ユニット）
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
　松井 啓之（京都大学デザイン学連携大学院ユニット）
　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）
　村上 陽平（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）
　塩入 諭（同上）
　栗木 一郎（同上）
　松宮 一道（同上）
　曽 加蕙（同上）
　石山 和志（同上）
　杤 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）
　大脇 大（同上）
　本間 尚文（同上）

延べ参加人数　30 人
研究費
　物件費・旅費：1,000,000 円

［2］研究経過

東北大学電気通信研究所では，1935 年の設置以来，アンテナ，磁気記録，半導体・光通信をはじめとし，現代の情報通信の基盤となる多くの研究成果を先駆けて挙げ，世界をリードする活動を続けてきた．しかし，このような技術シーズを基にするボトムアップ的なものづくりの手法には，その限界が見え始めてきている．最近では，人間性豊かなコミュニケーションを実現するという目標から，要素技術をトップダウンで統合することにより，どのような体験をさせるかという最上位の目標から環境設計が有効であることが明らかとなりつつある．このアプローチを可能にするのが「デザイン学」の視点である．これは，多くの学問領域の知見を重ね合わせて解決法を模索することによって，現代社会の複雑な問題に対応してゆこうとするものである．

京都大学デザイン学大学院連携ユニットは，デザイン学情報学研究科，工学研究科（機械工学，建築学），教育学研究科（心理学），経営管理大学院（経営学）が中心となった部局横断型の組織として，深い専門性に基づく独創力と幅広い俯瞰力や他領域との協働力を兼ね備えた人材の育成を目指し，様々なプログラムを実践してきた．デザイン学にとって未知の電気通信システムという分野にこれまでの経験に基づいてチャレンジすることにより，新たな問題発見と解決法を見出すことができるとともに，デザイン学に基づいたコミュニケーション環境の技術や設計方法論に対する新たなブレークスルーおよび産業展開が期待される．

そこで本研究では，要素技術となる，先端音情報システム，高次視覚情報システム，生体電磁情報，インタラクティブコンテンツ，実世界コンピューティング，環境調和型セキュア情報システムなどについて，人間性豊かなコミュニケーションを実現するという目標から，ブレークダウンすることによって，総合的な検討と研究を展開することを目的とする．

デザイン学では，個々の分野の専門性をベースに，俯瞰性を併せ持って，様々な専門領域を超えた協働によって，様々な社会問題の解決を目指し，様々な方法論や知見を得ている．そこで，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，デザイン学の知見を活用することで，これまでのデザイン学の視野を深め，より一層発展させることで，相乗効果が期待できる．

この具体的な内容や成果を議論するため，数回の少人数による打ち合わせを仙台と京都で開催し，それぞれが有する個々の専門性を確認した後，平成29年12月15日に，双方から合計で約30名が集まる研究会を仙台の電気通信研究所本館にて開催した．

［3］成果

（3－1）研究成果

上記の研究会での報告と議論の内容をプログラムに即して記す．

＜SESSION 1: 仕組みと機構＞

インタラクティブコンテンツのデザイン
北村喜文（東北大学電気通信研究所）

本共同プロジェクト研究の経緯と目的について確認し，電気通信研究所の概要について紹介した．その後，自身の研究室で進めているインタラクティブコンテンツの研究の中から，身の周りのあらゆるものをコンテンツとして捉えて空間全体の情報化と知能化に取り組んでいるDynamic Aware Interiorsの研究などを紹介した．

動物の生き生きとした振る舞いに内在する制御原理
石黒章夫（東北大学電気通信研究所）

実世界環境とリアルタイムで折り合いをつけることが可能なシステムの設計，あるいは創発の余地を残したシステム設計とはどのように実現できるのだろうか．本講演では，四脚動物が示す巧みな脚間協調現象に内在する制御原理の解明を目指した事例研究を通してその考察を試みた．その結果，自律分散制御や手応え（制御系の意図と得られた感覚情報との整合性を評価するために導入した概念）が重要な役割を果たしうることを示した．

デザインプロセスの拡張的記述の試み
北雄介（京都大学学際融合教育研究推進センター）

デザイン行為が長期的に多様な方面に影響を及ぼしうることを指摘し，時間・空間・もの・人という諸側面について従来よりも拡張的な視野でデザイン行為を捉えるための方法論を提示した．具体的には，T. Ingoldの理論に立脚し，世界の履歴を理解するための2つの理論モデルを示し，またそれに基づいてワークショップのプロセスや京都の都市史などを記述するプロジェクトを紹介した．

新機能メカニズム－全方向駆動車輪、変速システム
小森雅晴（京都大学大学院工学研究科）

新機能メカニズムの研究として，どの方向にも移動可能な全方向駆動車輪について紹介した．また，自動車などの変速機では、変速時に駆動力が伝わらず，速度が低下するなどの問題が発生するが、これを解決する、減速比を滑らかに変化させることができる非円形歯車を用いた変速システムについて紹介した．

視覚と行動に関する脳処理と日常生活での役割
塩入諭（東北大学電気通信研究所）

行動を前提とした視覚情報処理に関する研究成果として，物体の3次元的な配置の学習と身体近傍における注意効果について紹介した．前者は，繰り返し観察による空間配置の学習効果が，無意識の空間配置が3次元的な学習を生むためには，自己運動が必要であることを示す実験であり，自己の行動と空間の脳内表象が不可分な関係にあることを明確に示す．後者は，手の周辺に，自動的に向けられる視覚的注意効果を示す研究であり，意識的に別の場所に注意を向けている場合においても，手の周辺の視覚刺激に対する促進効果があることを明らかにした．この結果も，手でものをつかむ，道具を使うなどの行動と視覚処理が強く関連することを示す．

＜SESSION 2：認知と社会＞

共感覚メタファに基づく言語のデザイン
楠見孝（京都大学大学院教育学研究科）

共感覚的メタファー（例：甘い音）の理解を支えているのは，通様相性をもつ意味構造（快–不快，強–弱など）である．ここには，近感覚（皮膚感覚や味覚）の形容語・オノマトペで遠感覚（聴覚や視覚）を表現するという一方向性がある（例:柔らかい音）．これらを心理学の評定実験に基づく多変量解析によって解明し，さらに，感覚入力に基づいて，言語を出力したり，逆に，言語入力に基づいて，感覚経験を出力するシステムの可能性について検討した．

Human Implicit Social Interactions
曽加蕙（Chia-Huei Tseng）
（東北大学電気通信研究所）

人々の心を理解することが，コンピュータなど将来のデバイスには求められる．人の運動と脳の同調現象の研究を通して，そのような将来のデバイスの基本原理やアルゴリズムを創り上げることができるのではないかと考えている．

マルチモーダル空間情報の高次感性評価

崔正烈（東北大学電気通信研究所）

臨場感と迫真性を評価指標として，提示するマルチモーダル感覚情報の特性と表出する高次感性の関係について検討を行った結果，全身振動情報が高次感性に重要な役割を果たすことが明らかになった．更に，振動の取得が比較的困難であることを考慮し，音情報から全身振動情報を生成する手法を提案して，その効果について検討を行った結果を報告した．そして，一つのシーンは前景的要素と背景的要素の両方によって構成されることを考慮し，背景に該当する「臨場感」と「前景」に該当する「迫真性」という両指標を提案したことや，臨場感の特性として刺激の量に依存して評価値が単純増加するが，無限に増加し続けるわけではなく，値が過剰に大きい場合は飽和・減少することなどが議論された．

研究アーカイブの展示・展開・展望

山本恭裕（京都大学学際融合教育研究推進センター）

電気通信研究所の資料展示室を舞台にした二つのAKIRA ワークショップを中心に紹介した．AKIRAは，京都大学デザイン学ユニットのデザイン実習と連携する形で，展示物と展示室の関係に対する視点としてPersEls (Perspective Elements) という呼応関係の作成プロセスを導入し，多彩なPersElsを元に様々なデザインを進めるワークショップとなった．発表では，資料展示室の今後の展望として，研究成果として蓄積された資料の学術作品としての扱いを示し，学術館という位置づけを提案した．

組織デザインに対するゲームを用いたアプローチ

松井啓之（京都大学経営管理大学院/大学院経済学研究科）

マネジメントという複雑な意思決定問題を解くための仕組みとして組織が存在し，組織デザインに関しては，コンピュータシミュレーション等の様々なアプローチによる分析，研究が行われている．そこで，情報分断された状況で、組織決定に向け情報共有の必要性を学ぶための簡単なビジネスゲームを紹介し，それが教育や研究でどのように活用されているか報告した．

＜SESSION 3：作用と効用＞

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

椹木哲夫（京都大学大学院工学研究科）

来るべき超スマート社会の中で人間機械系，さらに組織的要因も含めた社会技術系のデザインのための 3 つのコンセプトとして「環(Feedback)」「輪(Community)」「和(Harmony)」を掲げ，それぞれの概念と解決課題について述べた．最後に，これらの実現に向けた新たな臨床的システムズアプローチについて紹介した．

専門領域を超えた専門家の協働による産学オープンイノベーション

十河卓司（京都大学学際融合教育研究推進センター）

デザインイノベーションコンソーシアムで実施している「オープンイノベーション」に関して，学外での新たな枠組みの構築，京大デザインスクールの実習としての活用，共同研究への接続などについて説明した．

触発と知識創造を指向するデータ体験とビジュアルインタラクティビティ

中小路久美代（京都大学学際融合教育研究推進センター）

計算機環境とのインタラクションにより人の創造的思考や知識創発を支援するナレッジインタラクションデザインという研究の枠組みを紹介した上で，大規模なデータをブラウズする際のユーザのデータ体験と，そのためのビジュアルインタラクティビティのデザインについて論じた．ビッグデータから，クラスタリングやマイニング技術を通して抽出できるデータの特徴や特質の関係性や遍在性の可視化表現をする際に，人が自らの専門知識や実務体験を踏まえた上で，そこから価値や意味を見出し易いようなデータとのインタラクティビティ（自らの行為とそれに起因する可視化表現の変化）を創出するにあたっての，modelling-probing-experimenting の循環するプロセスを紹介した．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度から開始された本研究プロジェクトでは，東北大学電気通信研究所の要素技術である，先端音情報システム，高次視覚情報システム，インタラクティブコンテンツ，実世界コンピューティングなどについて，京都大学デザイン学連携大学院ユニットのメンバと共有し，人間性豊かなコミュニケーションを実現するという目標からブレークダウンするための総合的な検討と研究を展開する土壌形成を行うことができた．

デザイン学では，個々の分野の専門性をベースに，俯瞰性を併せ持って，様々な専門領域を超えた協働によって，様々な社会問題の解決を目指し，様々な方法論や知見を得ている．12 月に開催した研究会ではそういった考え方を東北大学電気通信研究所のメンバと共有することができた．来年度は，通研が有

する電気通信分野における要素技術に対して，デザイン学の知見を活用することで，これまでのデザイン学の視野を深め，より一層発展させることで，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) 石田亨(編), 『デザイン学概論』, 共立出版株式会社, April, 2016

(2) 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.

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

RIEC 日露国際マイクロ波ワークショップ 2017
RIEC Russia-Japan Joint International Microwave Workshop 2017

開 催 日：平成２９年１０月１８日（水曜日）～２０日（金曜日）（３日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノスピン研究棟　カンファレンスルーム
のべ参加人数：５２名（うち外国人参加者人数１９名）

近年の集積回路の特性改善はプロセスの微細化によってなされてきた. しかし, CMOS プロセスの微細化は限界に近付きつつあり，かつ，トランジスタのカットオフ周波数(ft)や最大発振周波数(fmax)は数百 GHz の領域であるため，今後，プロセス微細化による大幅な革新は見込めない状況にある. 本ワークショップでは, 微細化にとらわれない高周波集積回路技術の実現のために, 能動回路, 受動回路両面からの回路技術を中心にした高周波集積回路について議論することを目的として, 10 月 18 日～20 日の 3 日間に渡って開催された. 本ワークショップの開催に当たり，電子情報通信学会マイクロ波研究専門委員会（MW 研）から技術共催を頂いた.

昨年度は, 小規模な日露国際研究会をロシア・サンクトペテルブルク電気工科大で開催し，技術交流を行なったが，今年度は，より活発な技術交流を目指し，日本で通研主催の国際ワークショップとして開催することになった. 今年度は, 通研と部局間協定を締結しているサンクトペテルブルク電気工科の 4 名の研究者，国内各大学の高周波集積回路の 6 名の研究者，東北大学の 5 名の研究者，合わせて 15 名の研究者による講演が行われた. 各講演においては, 受動回路, 能動回路, 集積回路を主なターゲットとし, アンテナ技術, Digital RF 技術，エナジーハーベスト技術，高周波発振器など，各分野の最先端技術についての発表がなされ，有意義な質疑応答が活発に行われた.

開催には，多くの通研教員・学生が企画運営に携わるとともに，皆様から多くの支援を賜り，成功裏に開催することができた.





RIEC Russia-Japan Joint International Microwave Workshop 2017 の様子

国際シンポジウム

フォトニクス・光通信に関する国際シンポジウム
International Symposium on Photonics and Optical Communications (ISPOC 2017)

開 催 日：平成 29 年 10 月 25 日（水曜日）～26 日（木曜日）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟および本館
参加人数：132 名（うち外国人参加者人数 20 人）

近年、超高速・大容量光通信、超短パルス光源、光デバイス、精密光計測などの先端フォトニクス技術からバイオ・医療応用まで、フォトニクスの重要性がますます高まっている。本シンポジウムはこれらの分野の研究者が集い、互いに理解を深めることを目的に企画された。本シンポジウムでは、MIT の Erich P. Ippen 教授による基調講演をはじめ、光集積デバイス、シリコンフォトニクスから光物性、量子光学、テラヘルツ、光通信に亘る最新の研究トピックスを、国内外の著名な研究者 6 名の方々にご講演頂いた。また本シンポジウムでは、通研が中心となって 10 年前から開催している「東北大学光科学技術フォーラム」の一環として、学内の各部局における光通信・計測から光源、光デバイス、光物性・材料に至るフォトニクス全般の研究活動の紹介も行われた。学内から 8 名の先生方にご講演を頂くとともに、ポスターセッションにおいては若手研究者による 25 件の発表が行われ、活発な議論が繰り広げられた。会場には、光通信、光デバイス、計測器に関連の深い企業 11 社による展示も併設され、有意義な情報交換が行われた。2 日間の参加者は 132 名にのぼり、大変盛況に開催することが出来た。



エクスペリエンスデザインと認知科学
(RIEC International Symposium on Experience Design and Cognitive Science)

開 催 日：平成 29 年 11 月 18 日（土）～19 日（日）(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：60 名

東北大学電気通信研究所で，エクスペリエンスデザインと認知科学と題して，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 second SIGCHI Asian Symposium との共同開催である．二日間にわたり，ユーザインタフェースと認知科学の専門家が集まり，16 件の発表プログラムを組み，約 60 名が参加した．それぞれの分野で世界的に活躍されている方々の中からアジア諸国を中心に招へいし，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．プログラムを通して，エクスペリエンスデザインと認知科学のお互いの分野を理解し，将来の共同研究を見据えた議論もすることができた．



国際シンポジウム

第 15 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ

15th RIEC International Workshop on Spintronics

開 催 日：平成２９年１２月１３日（水曜日）～１４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２９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 15 回目の開催となった。今回は、我が国をはじめとして、アメリカ、台湾、シンガポール、フランス、ポーランド、韓国、スイス、ドイツ、スウェーデンからの招待講演者による 19 件の招待講演に加え、22 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、スピン軌道トルク、磁性の電界効果、スピントルク磁化反転技術、スピン波、磁気スキルミオン、トポロジー、というように最近のスピントロニクス研究の中で進展が著しい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各国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

第六回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム
The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

開 催 日：平成 30 年 2 月 1 日（木曜日）～2 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：39 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。今回が六回目であり、平成３０年２月１日、２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１０件の口頭発表、１０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。



第六回 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

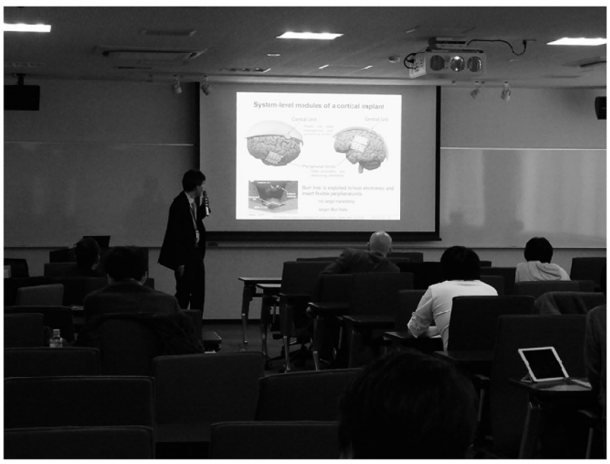
ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム
The 5th RIEC International Symposium on Brainware LSI

開 催 日：平成30年2月23日（金曜日）～24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：44名（うち外国人参加者人数4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30年2月23日～24日の二日間に渡って開催された。脳情報処理とその応用で著名なスイスEPFLのAlexandre Schmid氏をはじめ、物体認識＆理解分野で著名な米国UCB大学・David Whitney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米国Rochester大学・Sungyoung Kim氏、ロボット・ロコモーション原理究明に関して著名な大阪大学・Masato Ishikawa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

（The 9th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics）

開 催 日：平成３０年３月１日（木曜日）～２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：６１名（うち外国人参加者人数１１人）

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が平成３０年３月１日（木）～２日（金）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。アメリカ、ドイツ、そして日本からの計６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６１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から多くの意見が交換され、活発な討論が展開された。特に、高精細ナノ・マイクロファブリケーション技術、顕微イメージング技術を用いることによるバイオ分析プラットフォームの開発や、バイオナノ薄膜である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、といった幅広い領域にまたがる内容の発表が多くなされ、こ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 11 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

11th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開 催 日：平成 30 年 2 月 23 日（金曜日）～24 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：38 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 H27／A03「原子層制御プラズマ CVD を駆使した IV 族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御」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，ベルギーの各国拠点代表者らの発表を含む招待講演 14 件、ポスター講演 15 件の総数 29 件の講演（内、東北大学通研の関係する発表 3 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	陳　　強 教授	今野 佳祐 助教
2	音響工学研究会	鈴木 陽一 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	中村 健二 教授	遠藤　恭　准教授 林　禎彰　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	梅村晋一郎教授	吉澤　晋　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 片岡　駿　助教
13	生体・生命工学研究会	塩入　諭　教授	大林　武　准教授 松宮 一道 准教授
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　陳　強，　幹事　今野　佳祐

伝送工学研究会は，工学研究会の中でも最も長い歴史を有する研究会であり，平成２９年度までに合計５９７回開催されている．本研究会は，電波から光波に亘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しており，放射・伝播・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの研究報告を実施してきた．本年度は９回の研究会が開催され，特別講演が７件，一般講演が２４件行われた．これらの発表では最新の研究動向と成果が報告され，活発な議論が行われた．各種アンテナの設計や電波・光波による無線電力伝送，および中空光ファイバを利用した非侵襲医療センサの開発などが主な話題であった．

音響工学研究会

主査　鈴木　陽一、幹事　能勢　隆、坂本　修一

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。2017 年度は、主査鈴木陽一教授、幹事能勢隆准教授、坂本修一准教授のもとで、研究会 2 回（第 373 回、第 374 回）、通研講演会 1 回が開催された。会場は、第 373 回が東北大学電気通信研究所本館 1 階オープンセミナー室、第 374 回が電子情報システム・応物 1 号館 2 階大会議室、通研講演会が東北大学電子情報システム・応物系南講義棟 103 講義室であった。なお、第 373 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 374 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 373 回は 2017 年 12 月 25 日（月）、26 日（火）に開催され、研究発表 12 件、参加者は延べ 64 名であった。第 374 回は 2018 年 2 月 1 日（木）に開催され、研究発表 5 件、参加者は 46 名であった。通研講演会は、2017 年 6 月 21 日（水）に井島勇祐氏（NTT メディアインテリジェンス研究所）による「NTT メディアインテリジェンス研究所における音声処理研究とその実用化」という題で開催され、参加者は 37 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，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 29 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 3 回開催。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。国内，国外研究者によるプラズマ乱流と相転移，イオンビーム応用，プラズマ推進機開発，核融合プラズマ内の輸送，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 5 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29年度は，本研究会の開催は２回あり，第204回（12月25日）の通研講演会で林優一教授（奈良先端大）による講演，第205回（3月10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。2017年度は第176回講演会の1回の講演会を開催し、新屋良磨氏(秋田大学)が「オートマトン理論再考」というタイトルで講演を行った(2018年3月16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103回

1) 東北学院大学工学部 教授　郭　海蛟 氏
　　演題：制御理論と応用のあいだに
2) 朝日大学大学院 経営学研究科長　板谷　雄二 氏
　　演題：出版！よもやまばなし　うらばなし

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

電子工学技術と多様な機能をもつ生命科学反応系との融合に基づくナノ・バイオエレクトロニクス分野は、今後ますます重要になると考えられる科学技術分野の一つである。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，生体分子の配向や活性の保持等，解決すべき課題も多い．本研究会では，電子工学や半導体工学の研究者と，表面科学，生理学，数理工学等の様々な分野の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29年11月17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)、竹内俊文(神戸大)、松永行子(東京大)、礒田博子(筑波大)

The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer.
平成30年2月1-2日開催 J. Madrenas (Tech. Univ. Catalunya, Spain), S. Soriano (Univ. Barcelona, Spain), P. Herman (Royal Inst. Tech., Sweden), T. Netoff (Univ. Minnesota, USA), H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan), F. Ishida (Toyama Univ., Japan) 他

9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics.
平成30年3月1-2日開催 B. Wolfrum (Tech. Univ. Munich, Germany), C. A. Aspinwall (Univ. Arizona, USA), T. Ichiki (Univ. Tokyo), K. Kanomata (Yamagata Univ., Japan), R. Tero (Toyohashi Univ. Tech.), T. Ide (Okayama University, Japan), K. Morigaki (Kobe University, Japan), Y. Mizugaki (UEC Tokyo, Japan) 他

工学研究会

スピニクス研究会

主査　中村　健二，　幹事　遠藤　恭、林　禎彰

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およびIEEE Sendai Sectionの協賛による研究会(7回)と、秋田大学大学院理工学研究科、IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter, IEEE Sendai Sectionとの共催による特別研究会(1回)を開催した。

第1回はIEEE Magnetic Society DLの東北大学斎藤英治教授による講演会を開催した。第2回は東北大学窪田崇秀助教と東北大学大兼幹夫准教授による講演会を開催した。第3回はIEEE Magnetic Society DLのHendrik Ohldag氏による講演会を開催した。第4回は日立製作所栗田直幸氏、日立製作所畠山智行氏、函館工業高等専門学校森田孝教授による通研講演会を開催した。第5回は一般公募による特別研究会を開催し、秋田大学大学院理工学研究科で2日間にわたり28件の講演が行われ、96人（2日間述べ人数）の参加を得て盛大に開催された。第6回は東北大学三浦大介助教と野崎友大准教授（電子）による講演会を開催した。第7回は2016年IEEE Magnetics Society DLであったXiaofeng Jin氏による講演会を開催した。第8回は岩手大学三浦健司准教授、日立製作所中村隆喜氏、東北工業大学田河育也教授、山形大学田中陽一郎教授、中央大学二本正昭教授による講演会および、東北大学村岡裕明教授による特別講演会を開催した。本年度の運営は、主査：中村健二教授（技社)、幹事：遠藤恭准教授（電気)、林禎彰助教（通研)、企画幹事： Simon Greaves准教授（通研)、小川智之助教（電子)、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29年度は以下の3回を開催した。

第104回　平成28年11月 2日（木）電気通信研究所
研究発表9件

第105回　平成29年11月4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106回　平成30年 2月 6日（火）電気通信研究所　通研講演会
演題：「車載システムのセキュリティ検証プラットフォーム」
講演者：井上博之（広島市立大学）
演題：「ネットワーク侵入検知システム向け
プログラマブルハードウェアの設計・開発について」
講演者：永山忍（広島市立大学）

工学研究会

超音波エレクトロニクス研究会

主査　梅村　晋一郎，　幹事　吉澤　晋

目的：超音波計測，音波物性，超音波デバイスとその応用，
医用超音波に関する研究発表・討論を行う．

第84回
日時：2017年10月5日 (木)　13:00 ～ 16:50
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
超音波研究会と共催

演題:

1. 「赤血球集合に着目した糖尿病患者に対する超音波の散乱特性解析」
　◎榊　紘輝・荒川元孝（東北大）・八代　諭・石垣　泰（岩手医科大）・
　金井　浩（東北大）
2. 「光干渉断層法から求めた点広がり関数による高周波超音波画像の補正」
　◎柏倉直史・長岡　亮（東北大）・小林和人（本多電子）・
　西條芳文（東北大）
3. 「超音波エコー法を用いたヒト組織変位ベクトル観測における over-determinedシステムおよび変位ベクトル計測の超音波エコー画像の高分解能化への応用」
　◎炭　親良・川見遥香・濱田励一・塩野谷俊介・村岡和樹（上智大）
4. 「超音波計測した頸動脈壁振動の解析による脈波伝播速度の算出」
　◎伊藤未夏・荒川元孝・金井　浩（東北大）
5. 「心室中隔壁における心筋収縮の興奮伝播の超音波計測に関する検討」
　◎小林　樹・荒川元孝・金井　浩（東北大）
6. 「M系列位相変調を用いたパラメトリック差音のパルス圧縮」
　◎西岡　陸・野村英之（電通大）
7. 「HIFU治療における定在波抑制照射法による領域外のキャビテーション気泡発生の影響」
　◎坂本和広（東北大）・高木　亮（産総研）・吉澤　晋・
　梅村晋一郎（東北大）
8. 「コイル状ステータ超音波モータの解析に関する研究 ～ コイル状ステータに用いる音響導波路上の波動伝搬解析に関する基礎検討 ～」
　◎大関誠也（つくば国際大/桐蔭横浜大）・栗田恵亮・上原長佑・
　中根記章・佐藤敏夫・竹内真一（桐蔭横浜大）

第85回
日時 : 2017年11月16日 (木) 13:00-17:20
会場 : 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 別館4階 480会議室

演題:
1. 「超音波によるヒト頸動脈内膜粗さ推定における長軸方向変位推定の高精度化」
◎藤原 晃佳[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)
2. 「AM変調超音波を利用した双方向音響放射圧加振による対象物の組織粘弾性特性推定法に関する検討」
◎渡辺 諒一[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)
3. 「超音波による血管径-血圧同位置計測の高精度化と粘弾性特性評価に関する基礎検討」
◎工藤 広太[1], 荒川 元孝[2,1], 小林 和人[3], 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, 3 本多電子株式会社 研究開発本部)
4. 「キャビテーション誘導集束超音波治療用送信システムの研究」
◎玉野 聡[1], 吉澤 晋[1], 梅村 晋一郎[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)
5. 「光学的測定と音響ホログラフィー解析によるイメージングパルス音場の定量測定」
◎中村 拓也[1], 岩﨑 亮祐[1], 吉澤 晋[2], 梅村 晋一郎[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)
6. 「音響化学療法に向けた活性酸素生成の定量と高効率化」
◎西高 慎也[1], 益子 大作[1], 玉野 聡[2], 吉澤 晋[2], 梅村 晋一郎[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86回
日時 : 2018年2月1日 (木) 13:00-15:40
会場 : 東北大学工学部 電子情報システム・応物系1号館2階 大会議室
音響工学研究会と共催

演題:
1. 「行列型了解度試験 Oldenburg Sentence Test 日本語版の開発」
◎板垣匠, 坂本修一, 鈴木陽一 (東北大学 電気通信研究所)
2. 「Analyzing directional features of the head-related transfer function with spherical wavelets」
◎Shichao Hu, Jorge Trevino, Cesar Salvador, Shuichi Sakamoto, Yôiti Suzuki
(東北大学 電気通信研究所, 東北大学 大学院情報科学研究科)

3. 「An estimation method of sound velocity distribution in measurement area for high-resolution ultrasonic tomographic images」
◎Keiichiro Abe[1], Mototaka Arakawa[2,1], Hiroshi Kanai[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)
4. 「複数角度の超音波送信ビームによるヒト胸椎表面描出法に関する検討」
◎横山智大[1], 荒川元孝[1,2], 山内正憲[3], 大西詠子[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 大学院医学系研究科)
5. 「心臓の高時間分解能超音波計測を目指した平面波幅と減衰の定量的な関係評価」
◎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)

第87回
日時 : 2018年2月5日 (月) 16:00-17:40
会場 : 東北大学カタール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2018,
第5回日本超音波医学会基礎技術研究会と共催

演題:
1. 「音響分解能をもつ光超音波信号検出のためのセミランダムアレイトランスデューサ」
◎梅村晋一郎, 長岡亮, 吉澤晋, 西條芳文 (東北大)
2. 「分極反転構造を有する積層型振動子による超音波イメージング」
◎長谷川英之[1], 西條芳文[2], 梅村晋一郎[2] (1富山大, 2東北大)
3. 「定量的生体情報イメージング用のMedical Ultrasound Tomography (MUST) プロトシステムの構築」
◎川畑健一 (日立製作所)
4. 「マルチ周波数&繰り返し周波数の低強度パルス超音波生体刺激装置とその応用」
◎山下洋八[1], 唐木智明[1], 徐根甫[2], 倪鹏飞[2]
(1富山県立大, 2浙江嘉康电子股份有限公司, 中国)

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29年7月19日、第二回を平成29年11月2日、第三回を平成29年12月19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：「脳・身体総合体コンピューティングについて」堀尾 喜彦（東北大）、「文脈手掛かり効果とそのモデル化」塩入 諭　（東北大）、「ストカスティック演算に基づく省エネルギー脳型LSI実現の展望」鬼沢 直哉（東北大）、「多脚歩行に通底する制御原理の理解に向けて」安井 浩太郎（東北大）、第二回：「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」加藤 健太郎（東北大），「視覚誘発電位を用いた身体運動準備時における空間的注意の測定」三浦拓巳（東北大），「錯覚的手の位置への視覚的注意」三浦拓巳（東北大），「フナムシ特有の歩容変化から学ぶ脚と身体の協調制御則」池下 義人（東北大），「胴体の伸縮運動と脚運動の協調が可能な多脚ロボットの自律分散制御則」菊池 和気（東北大），「脚運動との連関を可能とした胴体の屈曲運動の制御について」佐々木 瞭（東北大），「脚の役割に応じた関節運動を生成可能な6脚歩行の脚内協調制御則」宮澤 咲紀子（東北大），「環境変化に呼応してロコモーション様式を改変可能な自律分散型ヘビロボット」吉澤 遼（東北大），第三回：「非侵襲的にヒトの脳活動を変調して視知覚を生み出す脳内機構に迫る」天野　薫（情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター(CiNet)）、「生物ソナー・コウモリの超音波センシング　－〝音で見る〟ための様々な工夫－」飛龍　志津子（同志社大学）、「ナノ光学とレーザーカオスを用いた強化学習メカニズム」成瀬　誠（情報通信研究機構）、「8角形多端子MOSFETと複数センサ活用による計測システムの開発」原田　知親（山形大学）。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、片岡　駿

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：世永公輝氏(産総研・東北大 MathAM-OIL)“物性物理における密度行列繰り込み群の応用”、高橋惇氏(東京大学大学院総合文化研究科)“量子モンテカルロを用いたStoquasticな量子アニーリングのシミュレーション可能性”、宮崎涼二氏(東北大学大学院情報科学研究科)“コヒーレントイジングマシンとその応用”、徳田悟氏(産総研・東北大 MathAM-OIL)“分光測定へのベイズ的アプローチ：データ解析から実験計画まで”。

生体・生命工学研究会

主査　塩入　諭、幹事　大林　武、松宮　一道

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２９年度の活動概要を示す．

第32回は平成29年12月6日（水）に１６：００から１７：００まで電気通信研究所ナノ・スピン棟4階カンファレンスルームにて開催され，大阪大学大学院生命機能研究科 准教授の小林康先生の「眼球モニターで脳状態を読み取り、操作する」と題する特別講演が行われた．12月7日（水）の１０：００から１２：００まで６件の一般講演があった．参加者は３２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２９年度は以下のように計１０回の研究会を実施した。

第94回　平成29年11月17日　13:30 - 15:00、「グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造とそのテラヘルツ応用」、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95回　平成29年12月 4日　15:30 - 17:00、“THz Studies of Dirac-Like Fermions in Graphene-Like HgCdTe Structures”、クナップ ヴォイチェック教授（フランス国立科学中央研究所モンペリエ第2大学）
第96回　平成29年12月 7日　16:00 - 17:30、“An experimentalist view of the Gilbert damping in FeCoB/MgO systems” 、 Professor Thibaut Devolder (Universite Paris-Sud, France)
第97回　平成29年12月11日　10:00 - 11:30、“Nanosecond-scale STT switching in perpendicularly magnetized STT-MRAM cells” 、 Professor Thibaut Devolder (Universite Paris-Sud, France)
第98回　平成29年12月18日　12:55 - 17:35, 12月19日　09:00 - 16:05
テーマ：「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」、「コヒーレントテラヘルツ波発生に向けた半導体光集積デバイス技術」、加藤和利（九大）、外20件
第99回　平成30年1月15日　15:00 - 16:00、「ダイヤモンドライクカーボン薄膜への他元素添加と特性評価」、中澤日出樹　（弘前大学、准教授）
第100回　平成30年2月27日　13:30 - 15:00、「先輩が語るIoTの時代に向けたメモリ技術の挑戦」、早坂 伸夫（東芝メモリ(株)、技術統括）
第101回　平成30年3月15日　13:30 - 15:00、“Reconfigurable Materials and Adaptive Sensors Based on Nanostructures” 、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102回　平成30年3月15日　15:00 - 16:30、「放射光で磁性を観る―X線磁気円二色性による磁気解析」、鈴木 基寛（高輝度光科学研究センター主幹研究員、東北大学電気通信研究所客員教授）
第103回　平成30年3月26日　10:30 - 11:30、「半導体量子ドットを用いた固体ナノ構造中局所電子状態の精密高速観測と制御」、大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所、准教授）

工学研究会

先端的情報通信工学研究会

主査　木下　哲男，　幹事　北形　元

２０１７年度は、以下の通り、通研講演会を含む３回の研究会を開催した。↓

・第２０回先進的情報通信工学研究会・通研講演会
日時：平成２９年１１月１７日（金）１４：００～１５：３０
場所：電気通信研究所　本館　Ｍ５３１セミナー室
題目：携帯端末の消費電力可視化技術と利用モデルの一般化
講師：神山 剛（ (株)NTTドコモ　サービスイノベーション部　）

・第２１回先進的情報通信工学研究会
日時：平成３０年２月２３日（金）１４：００～１５：５０
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「共生コンピューティングのためのマルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究」
講演数：４件

・第２２回先進的情報通信工学研究会
日時：平成３０年３月２日（金）１３：３０～１６：００
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「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」
講演数：５件

５．４　通研講演会

NTT メディアインテリジェンス研究所における音声処理研究とその実用化

NTT メディアインテリジェンス研究所
井島勇祐氏

開 催 日：2017 年 6 月 21 日（水）
開催場所：東北大学電子情報システム・応物系南講義棟 103 講義室

ここ数年、携帯電話における音声アシスタントやスマートスピーカ等、音声を利用して機械と対話的に操作や雑談を行うことができる機器が登場し、急速に普及しつつある。音声認識や音声合成はこのような機器において音声をテキストに、あるいはテキストを音声に変換する基本技術として重要な役割を担っている。特に最近では深層学習を利用した手法が次々と登場し、大規模な学習データを利用して高性能化が進んでいる。

今回の講演者は、NTT メディアインテリジェンス研究所にて音声合成技術の研究・開発を主導する研究者であり、多様な音声の合成や高品質音声合成の研究に従事し、学会においても音声合成の研究分野において中心的な役割を果たしている。音声合成は機械学習を用いた手法の研究が進んでおり、機械学習の様々な手法を導入することで、多様化・高品質化が進んでいる。

ご講演では、音声合成を中心とし、これまでの NTT 研究所での音声処理研究について概説していただくとともに、最新の音声合成技術について解説していただいた。音声合成については学生は普段は歴史的な経緯などに触れる機会が少ないため、各年代での代表的な手法やその合成音声を聞ける貴重な機会が得られた。また、最新の手法として深層学習を用いて多数の話者のデータを事前情報として利用し、ごく少量の音声データからでも自然で再現性の高い合成音声を生成可能であることを、その理論とともにわかりやすく解説いただいた。最後には現在の実用化の状況や今後の課題についても述べていただき、参加者間でも大変好評であった。

通研講演会

漏えい・妨害・改変の３つの視点からみた電磁情報セキュリティ

奈良先端科学技術大学院大学　教授　林 優一

開 催 日：平成２９年１２月２５日（月曜日）15:00～16:30
開催場所：電子情報システム・応物系（電気・情報系）103 教室

情報セキュリティをシステムに実現する際、セキュリティアンカーとなるハードウェアの安全性確保が重要となるが、近年、その安全性を低下させる脅威が報告されている。

本講演では中でも電磁波を通じたセキュリティ低下の問題に着目し、それらを

1. 機器内部で行われる情報処理に起因して生ずる電磁情報により引き起こされる脅威、
2. 意図的に電磁的な外乱を機器に与えることにより引き起こされる脅威、
3. 回路の意図的な改変によるイミュニティ低下により引き起こされる脅威、

に分類し、それぞれの脅威の詳細、評価法、対策法について、講演者が取り組んでいる研究を具体例としてとりあげながら解説した。

Development of the Nerve Cell Network High Throughput Screening Devices

東京大学工学部マテリアル工学科・教授・一木　隆範

開 催 日：平成３０年３月１日（木曜日）１３：４５～１４：１５
開催場所：東北大学電気通信研究所　４階　カンファレンスルーム
参加人数：３８名
（9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronicsと共催）

講演者の研究室では，高精細ナノ・マイクロファブリケーション技術と顕微イメージング技術を駆使した高機能バイオデバイス開発を通じて，新たなナノバイオ分析，ナノバイオ合成システムの創成とその実用化を目指している．本講演では，講演者の研究室で行われている，細胞外微小ベシクルのためのバイオ分析プラットフォームの開発と応用について，分かりやすく講演していただいた．そのアプローチはナノバイオ分野のみならず，幅広い分野の研究者の関心を集めるものであった．ナノバイオ融合分野の発展を目指す電子工学，表面科学，生物科学，材料科学等の多様な分野の研究者から多くの意見が交換され，活発な討論が展開された．

低損失アモルファス鉄心を適用した配電用大容量変圧器の開発

日立製作所・主任研究員・栗田直幸

開 催 日：平成２９年１１月２４日（金）１５：００～１６：００
開催場所：東北大学 総合研究棟 １階 １１０号室
参加人数：２０名

配電用変圧器には一般に珪素鋼板鉄心が使われるが、低損失アモルファス鉄心への置き換えにより、大きな省エネルギー効果が期待できる。一方、アモルファス材は剛性がない薄帯状であり、大形鉄心が構造的に成立せず、これまで開発例がなかった。本講演では、大形アモルファス鉄心の重量を支持する独自構造や、変圧器実負荷運転時の電力効率の向上効果などについて説明があった。また、大型クレーンを使った変圧器の試作、および損失測定の様子など、メーカーにおける大規模製品開発の一端についても写真を交えた紹介があり、活発な議論が展開された。

通研講演会

車載システムのセキュリティ検証プラットフォーム

井上博之（広島市立大学）

開 催 日：平成３０年２月６日（火）　９：３０～１０：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所本館 M331
参加人数：１２名

自動車サービスの高度化，通信手段の低価格化に伴い，自動車が広域ネットワークや V2X 等で外部ネットワークに接続することが当然となってきている．本講演では，広島市立大学にて数年前から実施している，車載ネットワークやコンピュータに対する攻撃可能性を評価し，また防御のメカニズムを検討するためのプラットフォームについての解説，ならびに，それを用いた様々な研究事例が紹介された．講演後は同分野の今後の展望や将来への期待などについて活発な質疑がなされた．

ネットワーク侵入検知システム向け プログラマブルハードウェアの設計・開発について

永山忍（広島市立大学）

開 催 日：平成３０年２月６日（火）１０：３０～１１：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所本館 M331
参加人数：１２名

ネットワーク侵入検知システムでは，高速な処理と新たに発見された攻撃への迅速な対応が求められる．本講演では，不正侵入を効率良く検知するための，ランダムフォレストによる侵入検知法，および，高速な処理と迅速な攻撃への対応の要求に応えるためのプログラマブルハードウェアの実装について紹介された．また，高速かつコンパクトなプログラマブルハードウェアを設計するための，決定グラフを用いた設計法についても紹介があった．講演後は同分野の今後の課題や具体的応用事例における性能評価などについて活発な質疑がなされた．

圧縮センシングを用いた腹部造影ダイナミックMRI

京都大学大学院医学研究科附属脳機能総合研究センター 特定助教 藤本晃司

開 催 日：平成２９年１１月１５日（水）１６：２０～１７：５０
開催場所：情報科学研究科棟２階中講義室
参加人数：２８名

平成２９年１１月１５日に標記講演会を開催した。講演の主題である、MRI は非侵襲的に人体内部の病変を可視化出来るという点で、現代の医療に欠かせない。MRI の大きな課題のひとつに撮像時間の短縮化が挙げられるが、近年圧縮センシングの方法論を画像再構成に組み込むことで従来よりも少ないデータから同等の画像が得られることがわかってきた。本講演では、ラジアルスキャンを用いた撮像データから腹部造影ダイナミック MRI 画像を再構成する手法について紹介し、再構成手法を改良することで同一の観測データから呼吸による動きの情報を組み込んだ再構成が可能となることが紹介された。また、MRI ではアレイコイル（複数の信号受信センサー）によって得られたデータの冗長性をこれまでどのように用いてきたか、圧縮センシングの登場によりそれがどう変わってきたかについても言及された.本講演会では学内のみならず東京大学および山形大学の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

眼球モニターで脳状態を読み取り、操作する

大阪大学 大学院生命機能研究科　准教授　小林 康

開 催 日：平成２９年１２月６日（水）１６：００～１７：００
開催場所：東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン棟4階カンファレンスルーム
参加人数：３２名

視野内のある一点を見つめているときでさえ、われわれの眼球は止まることなく、常に小さく揺らいでいます。この小さな揺らぎは「固視微動」と呼ばれ、わたしたちの意思とは無関係に起こると思われていました。わたしたちは最近、固視微動の頻度が視覚情報の変化、随意的な眼球運動意思、報酬予測、脳幹脚橋被蓋核の神経活動によってダイナミックに変化することを発見しました。わたしたちの一連の研究より、「固視微動の計測」によって認知過程、意思決定、報酬予測などの「脳の状態を読み取れる」可能性が出てきました。現在、固視微動や瞬目などの計測で脳状態を読み取りながら、大脳への経頭蓋磁気刺激によって「脳を操作する研究」を始めていますので紹介させていただきます。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、文学系、生物学系の広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、活発な議論がなされた。

グラフェンを中心とする二次元原子薄膜ヘテロ構造とそのテラヘルツ応用
Graphene-Based Atomically-Thin 2D Heterostructures and their Terahertz Applications

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２９年１１月１７日（金）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，窒化ホウ素や二硫化モリブデンなどの数原子層からなる極薄の誘電体層とそれによって分離されたグラフェンとによるグラフェン二重層ファンデルワールス積層を基本とする二次元原子薄膜ヘテロ構造の興味深い物性物理とそのテラヘルツ波長及び赤外線波長域で動作する光検出素子への応用について，最近の研究成果を中心に講演された。グラフェン二重層はそれ自体への電圧印加と外部ゲートからの静電誘導によって，所望のエネルギーを有するフォトンもしくはプラズモンの吸収・放射がアシストする共鳴トンネル現象を生じる。このフォトン・プラズモンアシスト共鳴トンネル現象がテラヘルツ及び赤外線波長域のフォトンに対して極めて高い量子効率による整流検波機能を有することが丁寧に紹介された。さらに，グラフェン二重層を積層化してなるカスケード構造においては，バンド間およびバンド内フォトン吸収とバイアス印加に伴うバンド傾斜がもたらすトンネル効果とによってさらに検出感度の向上が図れることが示され，量子ドット型検出器等の各種既存素子との性能ベンチマークによりその優秀性がわかりやすく説明された。

会場からは、プラズモン検出の感度と共鳴強度の相関およびその物質・温度依存性やグラフェンキャリアダイナミクスの同定能力など，熱心な質問が多数寄せられ、今後の研究動向についても、活発な議論が展開された。

通研講演会

Reconfigurable Materials and Adaptive Sensors Based on Nanostructures

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２月２３日（金）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，ガリウムひ素系ヘテロ構造量子ドットと、グラフェン／窒化ホウ素／二硫化モリブデンなどの二次元原子薄膜を周期的に積層したヘテロ構造に基づく光検出器について、それらの基本的な動作原理とともに、光検出感度や動作速度といったデバイス性能をドーピングと外部電圧印可によって自在に制御する手法が紹介された。また、二次元原子薄膜ヘテロ構造光検出器の光感度が、従来の量子ドット光検出器と比して一桁以上高くできること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デバイスの作製法などに関する質疑応答が活発に行われた。

携帯端末の消費電力可視化技術と利用モデルの一般化

（株）NTTドコモ　サービスイノベーション部　神山　剛

開　催　日：平成２９年１１月１７日（金）１４：００～１５：３０
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：２５名

スマートフォンやタブレットなどの携帯端末の普及に伴い、電子機器の低消費電力化技術が注目されている。本講演では、従来のハードウェアの設計過程で用いられた消費電力見積り手法に対して、アプリケーション実行により消費される電力を小さい計算負荷で見積り、ソフトウェアレベルで観測可能な携帯端末の基本機能やプロセスごとの消費電力解析も可能にする消費電力モデルとその生成手法、さらに、実際の携帯端末利用モデルの導出に関する取り組み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　：大野英男（通研所長・教授）
・職員数：26 名（うち兼務 17 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～」

研究内容：最先端スピントロニクス素子技術、300㎜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。

＜2017 年度の主な成果＞

①低 RA（~4 Ωμm²）と低ダンピング（~0.004）を併せ持つ磁気トンネル接合（MTJ）積層膜を開発し、未踏の一桁ナノメートル領域での MTJ で高い熱安定性の実現とスピン移行トルクによる磁化反転の動作実証に貢献した。②アステロイド曲線からマイクロマグネティックシミュレーションにより MTJ のエッジダメージを評価する新手法を確立した。この評価技術は集積化プロセスの開発指針を取得するために有効である。③ナノスケールスピン軌道トルク（SOT）素子の加工プロセスを開発し、反強磁性 PtMn と Ni/Co 強磁性多層膜からなる 50 nmϕ SOT 素子において 1 ns での磁化反転を実証した。④デバイス特性ばらつきに起因する余分な電流を削減するための MTJ デバイスの書込み完了を自律検知する Self-Terminated 回路技術を提案した。⑤対象 CPU の性質を利用して余分なメモリアクセスを抑制することで回路ブロックへの要求仕様の緩和とデータ読込の高速化を実現するためのメモリアクセス高効率化技術を提案した。⑥演算回路（不揮発 FPGA）の多機能＆低消費エネルギー化技術を提案した。

関連組織等

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。

＜2017 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、仙台放送、東北大学、NTT ドコモ、構造計画研究所が共同で、「スマホ de リレー」を利用したメッセージング機能の実用性評価のため、仙台市でフィールド実証実験を実施した。

(2)情報発信：2017 年 7 月、2018 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、通研主催の東京フォーラ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。

＜2017 年度の主な発表論文＞

[1] H. Nishiyama, et al., "On OFDM-Based Resource Allocation in LTE Radio Management System for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) (Invited Paper)", 2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC2017 fall), Toronto, Canada.
[2] T. Otsuji, et al., "Sub-THz photonic frequency conversion using optoelectronic transistors for future fully coherent access network systems," Proc. SPIE, vol. 9772, pp. 977204-1-9, 2016. (invited) DOI: 10.1117/12.2209211
[3] K. Kasai, et al., "80 Gbit/s/ch, 256 QAM Digital Coherent Optical Transmission System with Injection-Locking for Next Generation Mobile Fronthaul Network," ECOC 2017, Th.1.B.5, September 2017.

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：86 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。

＜2017 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の企業と連携して、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、CSTI-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。コンソーシアムへの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のある世界唯一となる大学が運営するスピントロニクス集積回路対応の 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とする多様な革新的技術を開発し、多くの先進的成果をあげた。特に、STT-MRAM 開発では、科学的理解に基づく材料・デバイスから、集積化プロセス・回路まで一貫した技術開発と高度化を更に推進し、革新的不揮発 AI プロセッサの開発、評価装置の製品化などの成果が得られた。加えて、これまで取り組んできた GaN on Si パワーデバイス開発では、パワーモジュール化技術、革新的パワーエレクトロニクス技術の開発へと進展した。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、本学が「指定国立大学法人」の認定を受けて、今後、構築して行く拠点（コアリサーチクラスター）の一翼を担うと共に、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：大野英男（電気通信研究所長・教授）
教員数：63 名（専任教員：4 名、兼務教員：59 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）

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。

＜2017 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 42 件に予算配分した。共同研究先は国内 37 機関、国外 13 機関に上る。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 30 年 2 月 20 日に仙台で第 1 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 18 件を共催した。

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：花輪公雄（理事（教育・学生支援・教育国際交流担当））
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。

＜2017 年度の主な成果＞

平成 29 年度から 10 名が新たに加わり、本プログラム学生 68 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 29 年 5 月 19 日～20 日に蔵王において、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 15 名と本プログラム学生 41 名が参加して、第 3 回合同シンポジウムを開催した。本プログラム学生幹事が中心となり企画し、両プログラムの交流促進のため、ワークショップやポスターセッション、活動報告などが実施されました。

関連組織等

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。

＜2017 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，人体貼り付けセンサの電波伝搬モデリングへの協力，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った。さらに、地元企業と連携して、部分義歯管理システム用に、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を開始し、リーダーライタのプロトタイプ試作を行った。

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：花輪公雄（理事（教育・学生支援・教育国際交流担当））
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。

＜2017 年度の主な成果＞

2017 年度は 15 名の招へい研究者が東北大学を訪問した際、GP-Spin セミナーとして講義した。

平成 29 年 10 月 31 日～11 月 2 日に東北大学片平キャンパスにおいて、本プログラム学生が主体となってロレーヌ・マインツ・東北合同セミナー「Prospect of Future Spintronics 2017」を開催した。本学に加えヨハネスグーテンベルク大学マインツとロレーヌ大学の関連研究者 4 名による特別講義をはじめとして、最新の研究成果に関する講演が行われた。

平成 30 年 1 月 10 日～12 日に東北大学金属材料研究所において第 43 回 Reimei/GP-spin/ICC-IMR 国際ワークショップ「New Excitations in Spintronics」が開催された。

ヨッタインフォマティクス研究センター
学際研究重点プログラム　ヨッタスケールデータの研究プラットフォームの構築

＜プロジェクトの概要＞

発　　足：平成２６年１０月に学際研究重点プログラムに採択

体　　制：代表者　：村岡裕明（電気通信研究所・教授）

プロジェクトメンバ：２６名（文学研究科、経済学研究科、工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科、電気通信研究所、サイバーサイエンスセンター、原子分子材料科学高等研究機構）

目　　標:超巨大情報情報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人文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（１兆バイトの１兆倍、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ので新たな情報処理パラダイムが必要である。そこで情報の「量」に加えて「質」をも扱う科学技術基盤の創出を目指す。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、ヨッタバイト級の巨大情報「量」に加えて、情報の「質」と「価値」を判断する科学技術を構築するために部局を超えた研究者集団を構成する。

本学電気情報系の強みである情報通信とエレクトロニクス分野での実績と情報科学分野の成果を元に、質や価値に関する深い研究蓄積を成してきた人文社会科学の研究者の助力を得るものである。文理連携とハードソフト融合による多様な学際性を踏まえて、情報の「量」と「質」の両面を扱う基盤技術を確立して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。

＜2017 年度の主な成果＞

１．情報質アルゴリズム検討

本プロジェクトのコアとなる情報質に対して、情報が持つ多様な属性を元にして、人間的な判断によって情報の質から価値を導く原則的な情報質分析手法を具体的プロジェクトに展開した。

２．会議の開催と研究体制の構築

２回の全体会議を開催して着実に議論を深めた。

３．シンポジウムの開催と情報発信

イタリア学術会議考古学文化財研究所、Massimo Cultraro 教授の招待講演と、７件のプロジェクトの進捗報告からなるシンポジウムを開催した。

４．研究助成

①文部科学省「平成 30 年度国立大学法人機能強化促進費」（平成 30 年度から 5 年間）

・プロジェクト名：ヨッタインフォマティクス研究センターの設立　－超巨大情報量時代に向けた情報の質と価値の科学技術構築事業－

②総務省「戦略的情報通信研究開発推進事業（ＳＣＯＰＥ）・若手 ICT 研究者等育成型研究開発・中小企業枠」（平成 29 年、１年間）

・プロジェクト名：熟練技術者のように少量多品種に対応する人工知能搭載実装基板検査システムの研究開発（東北電子産業株式会社との共同研究）

第 7 章　評価と分析

第３３回東北大学電気通信研究所運営協議会議事録

日　　時：平成２９年１２月８日（金）午後１時３０分～午後５時２５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：
合原　一幸　（東京大学生産技術研究所　教授）
赤嶺　政巳　（東芝リサーチ・コンサルティング株式会社　シニアフェロー）
伊丹　俊八　（総務省　東北総合通信局　局長）
伊藤　公平　（慶応義塾大学理工学部長・大学院理工学研究科委員長　教授）
小野寺　正　（ＫＤＤＩ株式会社　取締役会長）
金山　敏彦　（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 フェロー）
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）
黒田　　徹　（日本放送協会　放送技術研究所 所長）
中川路哲男　（三菱電機株式会社　情報技術総合研究所　所長）
中小路久美代（京都大学学際融合教育研究推進センター 特定教授）
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）
波多野睦子　（東京工業大学工学院　教授）
前田　英作　（東京電機大学システムデザイン工学部　教授）
美濃　導彦　（京都大学学術情報メディアセンター　教授）
寺田　眞浩　（東北大学大学院理学研究科長）
滝澤　博胤　（東北大学大学院工学研究科長）
加藤　　寧　（東北大学大学院情報科学研究科　教授（徳山　豪研究科長代理））
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
（川又政征東北大学大学院工学研究科教授代理））

電気通信研究所
大野英男所長、塩入諭教育研究評議員、羽生貴弘副所長、石山和志副所長、
北村喜文所長補佐、外山芳人、中沢正隆、白井正文、尾辻泰一、大堀淳、上原洋一、
末光眞希、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
の各教授
荘司弘樹、塩崎充博の各特任教授
櫻庭政夫、栗木一郎、北形元、三森康義、吉田真人、吹留博一、亀田卓、
サッドグローブ、上野雄大、曽　加蕙、加納剛史、阿部和多加、佐藤昭の各准教授
秋間学尚、鬼沢直哉の各助教
安井浩太郎氏（D2）

議　　事

大野所長、石山副所長から、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

★　　先生方からご発表をいただきました。ありがとうございました。

ここで質疑応答を少し、皆様方からいただきたいと思います。大野所長から今、５人の方に研究の各分野の発表をいただきましたけれども、ここまでの間の項目について皆さんからご質問、ご意見があればお願いしたいと思います。よろしくお願いいたします。

★　　２つ、体制絡みで質問させていただきます。

最初に大野所長からご説明のあった人員、特に教員数が下がっているというのは今ここの研究所だけではなくて、私どもを含めたいろんなこういう機関共通の悩みだと思いますが、それにもかかわらず生産性が増えているというのは非常にすばらしいと感銘を受けているところですが、私は逆に悩んでいるところでもあります。どういう運営のポイントがそういう人員の減少を感じさせない成果とか、特に論文の成果とか、外部から共同研究で人を受け入れて、いろんな手間暇がかかって、各自に対する負担が増えるんじゃないかと思うんですけれども、それを乗り越えて論文を同じようなペースで書いて、ほかの成果も上がっているから、どこに秘訣があるのかなと思って、ぜひ教えていただきたいなと。

☆　　秘訣というものはたぶんなくて、現在我々の置かれている状況というのを構成員の方々に理解していただいた結果のレスポンスだと思います。少なくとも論文の数等に関しては。やはりこういう限られたリソースで、しかしそれなりのアウトプットを出していくことが求められているということを、私が申し上げているというよりも、いろんな客観的なデータでこういうふうな、今我々のミッションにあると、こういうことを考えなければいけないということをお話しした結果だと思います。

一方で、外部の方々がたくさん、今１，３００人を超える形で共同研究に参画していただいていますけれども、それを回していくことで、我々も共同研究の果実をいただいていると。したがいまして、これが負荷だと思われるようになれば、うまくいかないと思いますけれども、一緒にいろんなことをやらせていただけるということが所内で理解されているのでこういう結果になっていると思います。それが１つの要因。

もう１つの要因は、やはりこういう共同プロジェクト研究に対するニーズが非常に高まっている。それは一緒にいろんなことをやろうというニーズだけではなくて、今、金山先生のほうからご質問の最初にありましたように、国立大学法人も厳しいところは非常に厳しくて、例えば年間の自由に最初に使えるお金が１０万円を切っている大学もあります。そうしますと、１回出張するだけでおしまいということになりますので、１、２回出張するとおしまいということにもなりかねませんのでと

言うべきなのかと思いますけれども、こういう形で共同プロジェクト研究に参画して、研究のスタートをみんなと一緒に議論できるという機会が非常に貴重な機会になりつつあるということも今感じております。

そういう２つの要因で、外部の方にたくさん来ていただいて、それをまた我々は大きな負担というよりは大きな我々の財産だと考えている。もちろん、このままいきますと最終的には論文数が減ってくると思いますし、そういうところでどういう手を打つのかということは今から少し考えて準備していかなければいけないと思っています。

★　追加で今のことと関連して、外部の方との関係を保つために何か、例えば研究会を開くとか、そういった工夫はされているんでしょうか。

☆　特に明示的には今やっていません。ただ、その共同プロジェクト研究の大部分は共同プロジェクト研究会という形で運営されていますので、それが徐々に浸透しつつあって、そういうことをじゃあ私たちもやってみようかというふうになりつつあるんだと思います。もちろん、個々の教員からお知り合いの方にそういう機会、あるいはこういうことがあるんだったらばぜひこの枠組みを使って研究会をやってから、例えば大型研究をしてみませんかというようなお誘いはしているとは思いますけれども、所を挙げてそういうキャンペーンをしているということは今はまだございません。

★　もう１つよろしいでしょうか。若干、体制に絡むんですけれども、堀尾先生からご紹介いただいた脳型研究について、１つの研究機関の中でこれだけ多階層の研究がプッシュできるというのはすばらしいと思いますので、ぜひ期待しているところですが、逆の面からいいますと、それをまた多階層の研究をしなきゃいけないというのは、基本的にはみんな感じているところで、実際それをどうやって縦に統合するか、なかなか非常に難しい課題じゃないかと思いますが、これを１つの研究機関の中に多階層があるという利点を生かして、どんなふうに実現されているのか、そこをぜひ参考にさせていただきたいと思います。

☆　ありがとうございます。実はおっしゃったとおり、非常に難しい問題なんですけれども、今、今年だけで６回研究会、会合をやりまして、まず最初にしゃべっている言葉も違いますし、何が問題なのかも違うので、それをすり合わせしなければいけないので、今年はそれを全部すり合わせましょうというところからまず始めまして、各分野での問題点とか、これに貢献できるんではないかということを１つずつ６回に分けて、全部、２時間強話し合いまして、やっと今度７回目の研究会があるんですが、そこでどっち方向に進んでいったら先ほどの縦方向のやつができるんだということを統合していこうということに今なっているところであります。

ただし、我々の先ほどのアドバンテージというところでお見せいたしましたけれども、持っている技術はナノテクノロジーを中心にやるということがまず１つ。そ

れから、バイオ細胞という技術がありますので、そちらのほうの技術を生かすというのがもう１つ。もう１つは、新しいアナログ回路とデジタル回路、その辺の技術をちゃんと融合して、さらに私の専門はダイナミクスのほうですので、ダイナミクスのほうの観点からそれを融合していこうと。最後にちょっとお見せしましたけれども、研究の手法といたしましては合成による解析という、脳科学のほうで使われているスタンダードな手法というんですかね、これを使いまして、理論をつくりながら、ものをつくって、そういうものをつくったところからまた理論を持ってくるという、それをぐるぐる回すことによってやっていこうと。

そのときに、一番肝になるのが中間の層ですね。一番上位のレベルから細胞レベル、膜レベルまでありますけれども、そこをつなぐ層が非常に難しいので、そこを中心に今やっていこうと考えております。

★　ありがとうございました。

★　よろしゅうございますか。それでは、合原先生。

★　研究の話がすごくおもしろかったので、研究に関してちょっとコメントしたいと思います。

大きく言うと、違う分野の研究者を入れたほうがいいのではないかということと、それから理論解析はもうちょっとやったほうがいいのではないかという、その２点です。まず前者に関しては、例えば堀尾先生の話ですけれども、非常に狙いは重要なところだと思います。バイオ実験の方とかが入られていますけれども、ニューロサイエンス等は入っていないわけですよね。東北大はシステムニューロサイエンスのいい先生たちがいるので、そこと、メンバーに入れるかどうかは別として、ちょっと連携したほうがいいかなという気はしていて、東大で今度ニューロインテリジェンスのＷＰＩが秋に立ち上がりました。それは、狙いは似ていて、次世代ＡＩを狙っているんですけれども、そのコアはニューロサイエンスと数理モデリング、ここをどう融合するかという、そこが結構重要になっているんですね。東北大も脳科学のレベルが高いので、そこは何か議論しないともったいないかなと。

同じように曽さんのインターパーソナルフローみたいな話も、心理とか脳テストとかが絡む話なので、もうやっておられるのかもしれませんけれども、脳研究者と一緒にやると、もっと広がるかなという印象を受けました。

それから、数理的なものに関していうと、実験データがすごくおもしろいので、それの数理解析をすることは重要であろうと。研究自体のインパクトをより高めることになると思います。例えばグラフェンのプラズモニックでしたっけ、不安定性の話ですけれども、あれは典型的なスーパークリティカルホップ分岐なんですよ。そういう分岐解析とかはやられていますかね。理論解析、やられていますか。

☆　シミュレーションで示したという意味では理論解析はやっています。

★　シミュレーションではだめで、分岐現象なので、分岐理論を使って、不安定化のそのメカニズムの理解をもうちょっと深めるとすごくおもしろい話になります。本当に絵に描いたような典型的ホップ分岐なので、少し分岐理論解析をやられるといいと思います。

☆　ありがとうございます。

★　それから、ウォーキングシンクロナイゼーションの話も、インフェーズのゼロとアウトオブフェーズのπで同期が起きるというのは、これも数理的にはおもしろいので、どういう条件のときにインフェーズになって、どういうときにアウトオブフェーズになるかというのを数理的にやると理解が深まると。英語で言ったほうがいいんですか。
（上記意見を英語で発言）

☆　ありがとうございます。

★　それから、最後の安井さんの話は、僕は生き物が好きなのですが、ムカデはあんまり好きじゃないんですけれども、まず聞きたいのはムカデ好きなんですか。

☆　僕ももともと研究を始めるまではムカデと言うよりはぼやっとしたイメージぐらいしかなかったんですけれども、実際に研究室で生物を飼っていて、ムカデをとりにいって、実際に生物を使って実験してモデリングとかするんですけれども、触れているうちに今は大好きになっているという感じです。

★　好きならばいいんです。動物を使う実験はやっぱり自分の好きな動物を使うというのが一番ポイントなので、だから好きになればそれはそれで大丈夫なのですが、やっぱりいろんなあり方を、状況をああやって生み出す生き物というのはほかにもいっぱいいるので、ムカデにあんまりこだわる必要はないかなと。もっとおもしろいの、いっぱいいますよ。

☆　はい。ありがとうございます。

★　どうぞ。

★　今、委員の先生方から、総合的に分野をもう越えて、階層も越えて、横の分野も越えてどんどん大きな融合の動きを新たな道に進むという試みは非常に私にとってインパクトが大きかったんですけれども、そうしますと、歴史ある通研、高梨先生もいらっしゃいますけれども、金材研含めて、東北大学は研究所が非常に強いという、東工大からしますと全然違うんですけれども、ミッションはだいぶ変わってきているという、将来的に考えると、研究所だからこそもっと新しい分野をつくり

やすいし、そういうこともやりやすいと。それを今度、大学そのものにフィードバックされるような、そういううまい循環ができているのかなということを想像するんですけれども、そうしますと将来、大野先生は総長になられるので、将来、この研究所というのを１０年後ぐらい、５年、１０年後というのはどういう形に成長していくのだろうかなというのは非常に楽しみでもあり、お聞きしたいところでございます。

☆　大学の研究所ですので、構成員の意思といいますか、意向を反映しつつ、外の、今回とてもそういう大事な機会なんですけれども、外部のご意見もいただきながら我々も進路を決めていくということで、仕組みの上では将来計画委員会というのがございまして、そこでこういう分野を手当てしよう、こういう分野でもある程度やりたいなというふうに考えています。

一方で、やはり基礎的な、あるいは基盤的な分野というのは、今日も無線通信の一つのあり方というのでテラヘルツの話をさせていただきましたけれども、光通信、無線通信、あるいはそれらの融合ということで、やはりＩＣＴ技術がここまで花開いているのは、早く、省エネに、安くということが徹底されたからで、それを簡単に諦めて次の分野にというわけにはいかないと思うんですね。そういう基盤的な技術というのはこれからも本所はきちんとやっていかなければいけない。

一方で、シンギュラリティも間近だと言われているような状況で、社会がＩＴ技術を使って大きく変わろうとしているときに我々はどういうふうに、後でちょっとだけお話ししますけれども、どういうふうに時代を画す研究成果を上げ続けられるのかというのは非常に難しい問題で、真剣に考えていかなければいけない。これは今から５年後、１０年後、プランニングしてできるというものではないと思いますが、非常に高いクオリティーの研究をできる環境を整えて、そこにいい方に来ていただけることで我々がここに研究所があってよかったねと皆さんに言っていただけるような結果を残せるのかなと思っています。

★　ありがとうございます。安心しました。

★　波多野先生からお話のあった件は、恐らくどこの研究所も、研究機関も悩んでいるところなんだと思うんですけれども、ほかの先生方、いかがですか。

★　ちょっと関連して、去年も同じようなことをお伺いしたかと思うんですけれども、この機動的研究グループというのが何かうまく普通に働いているというのはすばらしいと思うんですけれども、これはトップダウンでやっているわけではなくて、ボトムアップなんですよね。お金を別につけているわけでもなくて、何かボトムアップでこういうグループができて、それで共同で、将来の中の共同研究が促進されているというのはすばらしいと思うんですが、何か普通にある意味、どうぞとやっていてできるのかなと。そこは何か工夫というか、そこら辺のところを教えていただければと思います。

☆　ありがとうございます。本当にボトムアップなのかということですね。一部はサジェスチョンといいますか、こういう方向でまとまったらいいんじゃないか、あるいは部局をまたいで通研もほかの部局にも参画していただいて、こういう分野をやるべきなんじゃないかということは、少しは申し上げています。ただ、やはり大学ですので、やるやらないというのはそういうチームのメンバーの中心となる方のご判断によっているところです。

ただ、一方で将来的に所として予算をとりにいくという言い方はあれかもしれませんけれども、概算要求をして、あるいは概算要求だけが出口ではないと思いますけれども、そういう重要な分野だとご自身が思うのであれば、こういう枠でここに仲間を広げて何らかの形で予算をとりにいく準備というのはされたほうがいいんじゃないかというぐらいのことは申し上げています。それ以上の――インセンティブという言葉はあまり好きじゃありませんけれども――ことはありません。ホームページに載せる、それから提案を教授会でしていただく、１年に１回、１枚程度のレポートを書いていただく、以上です。

★　グループのリーダーの方のリーダーシップがやっぱりかなり強いですか。普通だとたぶんグループごとにそれはさまざま。

☆　それもさまざまだと思います。２４研究室で非常に広い情報通信の分野をカバーするためには、やはり外の方のご協力がなければいけないし、その状況に今はもっともっとずっと強まっていると思いますので、２４人の方が、ある分野のいわゆるリーダーとしてなっていただくためにはこういう仕組みを使っていただくのがいいかなというふうにサジェスチョンはしています。

★　ほかに。どうぞ、長田先生。

★　今の話は非常におもしろかったんですけれども、ピンポイントでＵＲＡ活動について、どういうふうに見つけるかとか、というところで何かいいやり方があれば教えていただきたいというのと、それから去年も聞いたんですけれども、女性教員の話のときに、今回は、採用はしているんだが、なかなか長続きしないと。そこに対する、何か、どうしてなのかというような、そういう分析とかがあれば教えていただければありがたいと思います。

☆　ありがとうございます。女性教員のほうから、私の考え方をお話ししたいと思います。長続きしないというのは決して悪いことではないかなと思っています。今は女性教員、我々が中心になっている分野での女子学生の数というのは非常に限られています。ですので、我々の目標は、その女子学生の数すら到達していないので、そのパーセンテージはいきたいなとは思っていますけれども、幸いにしてというか、我々の研究の、今のヨッタスケールですと、文学研究科とも一緒に研究させていた

だいたりして、ヒューマンセントリックなところでは心理学も入っていますけれども、そういう分野では比較的女性研究者が多いので、そういう方々に来ていただいて、一時期一緒に研究をしていただくというのが今までのスタイルです。そのときに、私どもの所で教授として１つのチームを抱えていただくという形には非常になりにくい分野ですので、最終的には外でご活躍いただくという道になるんだと思っています。もちろん分野によりますけれども。そのときに、ここでしばらくいていただいて、それが認められて外に新たに職を見つけられるというのは私たちとしても非常にハッピーな状況ではないかと考えています。ただ、パーマネントに女性教員を増やすということでは今申し上げたようなやり方だけではだめなので、やはり恒常的に女性教員の方がある割合でいる研究所にしようということで、先ほどもちょっと申し上げましたけれども、教授会でお認めいただいて、これから最大３人までは雇用しようという形で来年度臨む予定です。

ＵＲＡに関しては、今回のＵＲＡの方はとても有能で、我々としては非常にうれしく思っています。実は我々がＵＲＡと言わせていただいている特任教授の方は、電気通信研究だけではなくて電気系、あるいはほかのところも面倒を見ているようになっていますけれども、引っ張りだこです。ですので、パンクしないように増員するため次の方を探しています。しかし、なかなか見つけられずにいて、最初のほうのご質問は我々もどうやって見つけたらいいんだろうというのを聞きたいという状況です。非常に今いていただいている方は貢献度が高いので、２人目をという悩みを今抱えているということでございます。

★　よろしいですか。では、ほかの方どうぞ。中小路先生。

★　皆さんおっしゃっているんですが、機動的研究グループ、それから共同プロジェクト研究がうまく循環して外部資金をとってきて新しいプロジェクトを進めているのは非常にすばらしく回っているように拝見しますが、一方で、２０年のスパンで考える研究部門というものを持たれていて、ここの配付資料の中にあった電気通信研究所の歩みを拝見しますと、２０年前というと１９９７年とかになるんですかね。そこから２０年、２０年前にあったであろう研究部門で、２０年経って、２０年スパンの研究をしてきて回っているわけですが、この部門構成なり、部門自体の循環と申しますか、生態系と申しますか、発展自体はどのようにしていこうと思っていらっしゃるでしょうか。

☆　それは非常に重要なポイントです。先ほど申し上げた将来計画委員会というのが、我々大学６年間の中期目標、中期計画で動いていますので、６年ごとにそれらを見直そうというふうになっています。小さな見直しは随時行うということになっていますけれども、大きな見直しは６年を単位として、もしかしたら１０年、１２年で非常に大きな転換をするということになるかもしれませんけれども、見直しは６年ごとにやろうということで今は進めております。

★　ほかの委員の方、どうぞ。

★　ちょっと学生数を見ていますと、２４の研究室にしてもすごく多いですね。多いですねというか、学部生まで含まれて、研究科の研究室と、学生数はあんまり変わらないんじゃないかというような気がするぐらいなんです。そうすると、研究所と研究科の違いというのは、言ってみれば学生の教育機関に対しては研究所も研究科も同じような、という話になってくると、研究科は研究していないじゃないかという話になって、研究所は一生懸命研究するのかという話になるわけですね。そうなったときに、大学の中で研究所の存在価値というのは一体何で、研究科とどう違いを出していくんだというような議論が必要かなという気がすごくするんですけれども、そのあたりに関してどういうふうにお考えですか。

☆　２０年ぐらい前からずっとその議論をしています。研究科と研究所はどこが違うんだということは、特に私ども、歴史的な経緯がございまして、電気工学科自身が発足してしばらく経ってから研究場所をつくろうとして電気通信研究所ができたと。１９１９年、電気工学科ができまして、我々は１９３５年です。そういう意味で、今も電気系という形で教授人事も含めて一緒に考えていただいています。そういう経緯がありますので、２０年前は特に本所では学生配属数も含めて学部と一緒にすべきであるというような議論も電気系の方々と交えてありましたので、そうすると今おっしゃったように一体どこが違うんだという話になりました。種々の議論がされて今の形に落ちついているんですけれども、今は学部教育も参画していますし、学部学生も一部我々のところで教育していますけれども、大体その学部教育に関しては種々の者が研究科の電気系と１対２ぐらいの割合になるようにしています。工学研究科あるいは工学部の皆さんは学生教育の枠組みをつくるところもしていらっしゃいますし、各種ある入学試験のところも全責任を負っておられます。我々はそういう意味で総体的にそういう部分は立場上も大きくコミットするということはなく、研究に割ける時間がより多い部署であるというふうに今はなっています。ですので、より研究に、もちろん教育も、今おっしゃられたようにやっていますけれども、研究をやりやすい環境になっています。今は、恐縮ですけれども、研究科、学部はなかなかいろんな大変な状況になっていると思います。それに比べて研究をやりやすい環境であるというのを研究所の特徴だと考えることができると思います。いろんなお考えがあると思いますけれども。

一方、もう一つだけ、私たちが実現しようとしてまだできていないのは、研究科と研究所のある種学内の頭脳循環と、一旦研究科に行ってしまうと研究所に行けないとか、あるいは研究所に行くと研究科に行けないというのではなくて、全員が回る必要はないんですけれども、研究が旬なときに研究所に来ていただくということはあり得るかなとは思っています。一方でそういう議論をこれまでもしてきたんですが、最近ちょっとやりにくくなったのは、研究成果というので部局の評価をされますので、旬の人を研究所に集めるのはけしからんというような流れにもありますが、少し慎重な議論が必要かなと思います。

★　今のことに関係して、社会連携もいろいろやられていらっしゃいますよね、一般市民、高校生、社会人と。それから、随分と立派なパンフレットもたくさんつくられていて、要はそういうプログラムがどんどん増えていく場合に、研究に割ける時間が減っていくという可能性もあるので、どうやって既にあるプログラムとかを整理されながら進めていらっしゃるのかということを教えていただきたいと思います。

☆　意識的な整理は今のところはしていません。ただ、できるだけ、事務の方々も結構いろんな意味でいっぱいいっぱいの状態ではありますけれども、事務の方々が引き受けていただけるところは全部引き受けていただいて、教員の管理運営じゃなくて、今言われたようなパンフレットをつくるとか、そういう部分はできるだけ時間が少なくて済むようになっています。

お手元の要覧も、もちろん内容は私たちがチェックする部分が幾つもありますけれども、ほぼルーティンとして自動的に毎年更新されたものが仕上がるという形になっていますので、そういう意味で、それは本所だけではなくて、これからの大学で非常に重要なポイントだと思いますけれども、事務と教員とが一体になって業務をシェアし、効率化していかないと今までと同じようなこと、あるいは今まで以上のことはできなくなってきますので、非常に重要なことだと思います。

★　前田委員、どうぞ。

★　いろいろすばらしい成果が出ているのが非常によくわかりまして、コメントが１つと感想が１つなんですけれども、まず、私自身も前職とかでこういった研究を含めて説明をする立場であったことがありまして、そのときの反省とか、あるいは告白も含めて申し上げますと、５人優秀な研究者が集まってグループをつくると、毎年誰かがいい成果を上げてくるので、今年はこれをトピックにして発表させようという形でやってきたことがございます。そうすると、毎年毎年それなりの報告はできるんだけれども、じゃあ５つ、５年間並べてみると結局どうだったのかということが結構ありまして、要するにグループプロジェクトの最終の目標はあるけれども、じゃあそれに向かってちゃんと戦略的な手が打てているのかというのがやはりポイントだと思うんですね。その意味では、今日これだけ世界の動きが早い中で、基礎研究の現場もたぶん世界の状況は毎年毎年変わっていると思うんですよ。ですから、例えばここ１年で世界の状況がどう変わったから、我々は、次はここをこういうふうにしたとか、あるいは、いや世界の状況はこうだけど我々はやっぱりここでいくんだという、そういうご説明があると非常によかったかなと思います。

それから、２つ目の感想は、最後のムカデの話は結構大事だと思っているんですけれども、３０年前に聞いた授業を思い出したんですが、生物屋さんはだんだん顔かたちが扱っている生物に似てくるということがありまして、最後の方は非常に手が長いのでたぶん歩き方も似てくると思うんですけれども、あの手の仕事、私は３

０年前のことを思いますと非常にこれから大事だと思っています。どういう意味かというと、あの手の仕事、ある種限られた人たちが取り扱ってくるテーマなんですけれども、３０年間の間に進んだＩＣＴの技術によって、まさにサイエンスの限度が今大きく変わりつつあるという実感があります。ですから、３０年前の研究者が同じテーマでやって１年かけてやった仕事が、今は最新の技術を使うと１週間あるいは１ヶ月でできるということがたくさんあると思うんですよ。そういう意味では、ああいった昔からやっているテーマをもう一回拾い上げて最新の技術をやることによって新しい発見がたぶんどんどんこれからサイエンスでも出てくると思いますので、あれは色物と思ってはいけないと思いました。

☆　大変貴重なサジェスチョンをありがとうございます。世界の状況はということに関しては、やはりそれはきちんと踏まえる必要があるなと思います。一方で、大学はどちらかというと積分器のようなところがありまして、今こうで明日こうでというところじゃない形で貢献できるようにしなければいけないのかなという思いもあります。そこをどう、いいバランスでやっていくのかというのはたぶんどこでも同じ悩みなのかなと思いますけれども、最後のところでちょっとお話しさせていただきたいと思っていましたが、いい人事をするというのが非常に重要なことで、そこでいい方に来ていただいて、１０年、２０年というホライゾンもあり、そこで研究していただくことで世界を変える、あるいは時代を画す、そういう研究が成就すると我々としてはよくやったと言っていただけるような状況なのかなと思います。どうもありがとうございました。

★　ムカデの話はよろしいですか。

☆　安井君は授業に行きましたので、ちょっと今、指導教員の石黒先生にかわって発言していただきます。

☆　石黒でございます。貴重なコメント、ありがとうございました。先ほど将来に向けてああいう研究が重要だということを言われて、大変心強く思いました。実際やってみますと、我々もこれまで４脚動物の足並み、４本の足がどのようにコーディネートされるかという問題を解いていたんですけれども、それは数学的にいえば非常に特解に近いもので、ムカデをやることである種一般解が見つかったみたいな、これはごく最近の成果です。そのことで、多脚ロボットの足をどうコーディネートするかという大きな問題の解に近づいているんじゃないかという野望というか野心を今感じつつあります。そういうことで、こういうムカデの研究も、人はちょっと嫌がるんですけれども、楽しくやることで新しい展開につなげていきたいと思っております。どうもありがとうございました。

★　それでは、赤嶺委員からどうぞ。

★　国際交流について１つお聞きしたいんですけれども、１２大学の大学間で大学間協定を締結していると、それから国際シンポジウムも随時開催しているということで、非常に活動的にやっておられるという感じなんですけれども、こういう国際交流がどういうふうに研究成果に結びついているのかということと、または人材の採用にどういうふうに結びついているかということについてちょっとお聞きしたいと思います。

☆　国際交流の実績はいろいろございますが、私の知っているところをちょっとご紹介して、こういう使い方というんですか、こういう貢献があるということをお話しさせていただければと思いますけれども、毎年、私の分野でワークショップを今年、来週も含めて１５回開催しています。私たちの分野で成果を出された方に招待講演をいただいて、２日ないし３日間のワークショップですけれども、そこと、それから我々の最近の、特に見出したい成果を一緒にまぜてワークショップをします。その結果、国際的な、いわゆるキーパーソンたちが我々の成果を必ず知っているという状況ができあがります。そういう方が論文を書くときに我々のところを無視してほかのものを引用するということがしにくいような形になります。また、若手の中核となる方をできるだけ先物で招待することもしておりまして、そういうところから新しいつながりができます。今、本所に来ている外国人の助教で、ケンブリッジ大学から来ている彼はそういうツテで採用した者です。従いまして、国際学術交流、協定ベースではないものも含め、学術交流をするというのは非常に我々の研究のプレゼンスというものを世界に発信し、おっしゃられたとおり、一部はリクルートにもつながっているということで、非常に重要な活動だと認識しております。ありがとうございました。

★　ありがとうございました。そろそろ休憩をとらなきゃいけない時間のようですので、ここで１５分休憩、５０分から再開したいと思います。最後にまた質疑応答の時間をたっぷりとってございますので、そこでまた皆さんからご意見を募りたいと思いますので、よろしくお願いします。
　それでは、５０分まで休憩いたします。

（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）前回コメントに対する回答について
（６）今後の課題について
以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

★　どうもありがとうございました。
　それでは、皆さんのほうからご質問、ご意見等いただきたいと思います。今、所

長のほうからは若手研究員と設備の問題が出ていましたけれども、その辺でも結構ですし、それ以前の前半でご発言になった部分でのご質問でも結構でございますので、よろしくお願いします。喜連川先生。

★　東北大学には本当に非常にお世話になっておりまして、昨年のＳＩＮＥＴの開通のときも里見先生にお越しいただいて、大変私どもとしては感謝申し上げたいと思います。

今日、大野先生からいろいろなご報告を聞いていて、非常に躍動感がある、私ども生産技術研究所、東大からご卒業しておられて、こういうアクティビティーを維持していただいているというのは本当に心強い限りなんですけれども、その中であえて１つお伺いしたいと思いますのは、比較的最近、大野先生がＣ＆Ｃ賞をおとりになられて、今年のＣ＆Ｃ賞は非常にインプレッシブで、なぜかといいますと、ウルマンが来て、エイホが来て、ホップクロフトが来たというので、コンピューターをなりわいにしている人にとってみると、もう輝けるような人が来られたんですね。同じように５０周年のチューリング賞というのもありまして、そんな中でいわゆる比較的老齢といいますか、エスタブリッシュされた先生方がほとんど同じようなことを懸念としておっしゃられるのは、どうやって非アウトカムベースの研究を米国が維持していくべきだろうというようなことをおっしゃいます。チューリング賞のケネスもアメリカ人ですので。つまり、ほとんどの研究が今どんどんどんどんアウトカムベースになってくると。

大野先生も私どもも合原先生もＦＩＲＳＴをいただいて、あれは本当によかったなと思うんですが、あれはあんまりアウトカムベースでなかったと思うんですね。今ＩｍＰＡＣＴになり、あるいはＳＩＰになっているわけですけれども、今日は中川路さんがいるのであんまり言えないんです。ＤＡＲＰＡというのはもうアメリカでは相手にされないぐらい落ちこぼれているそのフィロソフィーを一生懸命入れてきて、やたらと出口志向になっているというのは非常に嘆かわしいというか寂しいところで、それをアメリカ自身も非常に強く、今日は、本当はあんまり強くなかったところ、あまり丁寧にご説明いただいていなかったような気もするんですけれども、その辺が非常に心配になるところかなと思うんです。もちろん東大はＦＩＲＳＴといっても研究センターなんか何もつくってこられなかったんですけれども、先生のところは研究センターもつくってくださるということで、東北大学というのは非常に温かい組織だなと思って、僕も東北大学のほうがよかったかなと思うぐらいなんですけれども、ちょっと見えにくいんだけれども、２０年と先生がおっしゃられたそういう大きなサブスタンスをどうやってつくるのかと。そういう人々をどうやって育てるのかと。今年、去年ぐらいで今、ＡＲ、ＶＲがはやっているんですけれども、ほとんどの基礎技術というのはサザランドがつくっていまして、アイバン・サザランドはある意味ではむちゃくちゃな研究をしているんですね、当時としては。そういう基礎研究って必ずしもお金が要らないということではなくて、それなりの大きな投資を無尽蔵に入れているのでそういうことができるし、ＵＮＩＸのベル研も同じようなこと。インターネットのインベーションはどこから来てるか。

我々はやっぱり東北大学にすごく期待したいところというのは、岩崎先生の垂直も含めて、根源的に大きなものというものを出すためには、せせこましい、何がアウトカムみたいな、こんな諸悪の根源は誰かというと、たぶんグーグルとエルゼビアしかないわけで、エルゼビアの多くのスタティクティクスを、たくさんお金を払って買うというのは全くもって無意味だと個人的には思っているんですけれども、それは学術会議で大野先生もやっておられたと思いますけれども、そういうものをどうやって東北大学としてはお育てになられようとするかという、何かその秘策があればぜひお伺いしたいなと思います。

☆　秘策はあくまでも秘策なので、いろんな方に私が申し上げるようなことではないのかなと思いますけれども、まじめな話、やはり時代時代によって研究に要求されることが違うと思います。研究資金の出し方も違って、それを本来あるべき方向に持っていこうという努力というのは常に必要だと思っています。ですので、今おっしゃられたような非アウトカムベースの研究を維持するために一定の研究資金が出るべきであるということは、我々は忘れてはいけないと思います。

一方で、現実的にその組織を運営する立場になりますと、それなりの研究費が入ってこないと組織の高いアクティビティーというのは維持できませんので、それをうんと高くしてしまえば、うんとという意味がちょっとあれですけれども、高く維持できればその分、非アウトカムベースの研究をする余裕ができると考えています。もちろんお金を湯水のごとく使うような非アウトカムベースの研究というのをサポートはたぶんできないんじゃないかと思いますけれども、我々としてはほかにかける時間が、積が一定みたいなところがありますから、そういう意味で我々が提供できる部分はたくさんお金を使うというところは各自努力をしていただくとして、非アウトカムベースの研究、時間がかかるというふうに仮定していますけれども、その時間を何とか大学では確保すると。それは全員がそういう研究をするということにはたぶんならないと思いますので、そのアウトカムベースを華々しく、今、旬の研究成果を出している方々がとってこられる研究資金の、今は間接経費等を使いながら非アウトカムベースの研究をきちんと維持していくというのが現実的な姿かなと思っています。ということで、境界条件を変えなければいけない、あるいは非アウトカムベースの研究を維持するための資金をちゃんと出してもらわなければいけないということを外部に発信すると同時に、内部では今申し上げたような努力をして、そういう研究を維持発展させるということが重要かなと思っています。一般的な話でどうも申しわけありません。秘策でも何でもないです。

★　たぶん、私も同じように聞かれたら、先生とほぼ１００％同じように答えると思うんですけれども、やっぱりはるばる寒い中東北に来ていますので、ちょっと秘策があるといいなと個人的には思いました。大人の会話としては、やはり納税者への説明というのが強く求められるような世の中になっておりますので、研究者そのものが自分自身の研究のアウトカムを説明しなくてはいけないですし、競争的資金をどんどんとってくるということは当然のことながらやらなくてはいけない。ただ、

全体の研究のポートフォリオをどう考えるのかというのが今後一番、戦略としては一番重要になってまいります、のではないかと個人的には思いますので、そういう意味でこういうところが、さっき前田さんがおっしゃられたみたいに見せやすい研究ですよと。ほっといたってわかるわけですね。この部分が実はちょっと弾込めなんですよというようなことを共有できる世界というのを国立大学の中でもいろいろやっていかなきゃいけないんじゃないかなと。国家としてそれをどうやってつくっていくかというのを法人が競争させられるという、その構造を超えたものをたぶん共同利用共同研究機関としてなされているというところでは、何かぜひお考えをいただけると私どもとしては大変ありがたいかなと思った次第ですが、これも別に小野寺さんから、今日は静かすぎるから何か言えとおっしゃられたので言っております。そういうふうに言わないと、本音はもっと優しいと思ってください。

☆　もう少し付言しますと、今おっしゃられたところはやはり文化の領域にも入ってくると思います。こういう研究を社会として税金を使っても構わないと、長くやってもらっても構わないという文化を醸成するという意味では、大学の中にそういう文化を維持するという我々の責務は非常に大きいと思います。

非アウトカムベースになりますと今度はいろんな指標、今言われていたエルゼビア等でもはかりにくい指標、まあ指標があるかどうかもわからないぐらいの領域に入ってまいりますので、役に立つという軸は非常にわかりやすいわけですけれども、深く理解する、あるいはアウトカムがなくてもきちんと理解するという軸に対してどう考えるべきかが大事になります。私、江崎玲於奈先生の研究室にいたことがあるんですけれども、江崎さんが言われていたのは、そういう研究はテイストであると。したがって、万人が理解できないかもしれないけれども、やはりそういう、日本語でどういうふうに訳していいかあれですけれども、いい趣味というと、ちょっと小さくなりすぎる語感がありますけれども、それはいいテイストを持った研究をやっていただくと。そういう人を選んでいかなければいけないという意味で、人事というのは非常に重要になってくる、あるいは我々の選球眼というのが問われているところでもあるかなというふうにずっと考えている次第です。相変わらず秘策ではないんですけれども、申し訳ありません。

★　どうぞ、合原委員。

★　秘策にはならないんですけれども、関連することをちょっとお話しすると、さっきもお金と時間というのがあって、我々数理の分野ってお金が要らない代表的な分野です。でも我々の学問は時間が要るんですね。そのときに、やっぱりアウトカムベースの研究と非アウトカムベースの研究と両方きちんとやるんですよ。アウトカムベースの研究というのを我々の言葉でいうとアプライド・マセマティクスといって、具体的なターゲットになる応用があって、そこで数学が発達する。他方で、非アウトカムベースの研究というのはアプリカブル・マセマティクスといいます。それはすぐに応用があるわけではないんだけれども、数学的にいろいろ深い理論を

つくっておくと、将来そこからいろんなことが開けてくる可能性があるわけですね。そちらの引き出しを増やすグループは常に続いているんですよ。そのアプライドとアプリカブルがバランスよくあることによって、この数理の学問分野がきちんと維持されていくという、そういう形になっていて、通研でそれがどういう形になるかというのはちょっとイメージが、分野が違うのであまりわからないんですけれども、私も両方のバランスというのはすごく重要かなと。特に非アウトカムベースの研究でいかに深いものを持っているかというのが結構数理だと、そこは勝負になるんですけれども、ほかの分野でもそうかなという気はしています。

☆　今日はご紹介いたしませんでしたけれども、非常に数学に近いソフトウエアの分野の研究室もございますので、そういうところは非アウトカムベースだと決めつけてしまえば怒られると思いますが、そういうきちんとした理論的な枠組みというものを深く考えるチームというのは常に本研究所には必要だと思って、そういう形でこの枠を運営してきました。

★　今の議論をもう少し具体的なレベルでお聞きしたいと思いますが、今日ご紹介いただいた幾つかのキーワードの中で、ヨッタインフォマティクスというのが今後の通研の方向性の一つの柱になるような研究をこれからされているんだろうと理解したんですが、一方であまり今日はこれの説明をいただけなかったんですが、捉え方によるとこれは非常に広いことなので何でも入ります。ですけれども、せっかく大野所長が所長をされているように、大学の強みというのは人材の持っている可能性、これは非常によくわかります。同時に、通研の置かれているミッションとしては次の次の時代の情報通信の研究の方向性を示すような、何か革新的なものをフラッグシップとして出してほしいという要求があると思います。言いたいことは、したがってこのヨッタインフォマティクスというのを考えられていて、これの研究方向をどのようにして、周りをどう巻き込むか、この仕組みをつくっていくのが非常に重要じゃないかと思っていますが、これは今どういうふうに進んでいるんでしょうか。

☆　これは少し時間がかかるプロジェクトなので、今年度で通研が終わりになる私よりは今センター長をされている塩入先生から少しご説明していただこうと思います。

☆　塩入から説明させていただきます。先ほどの表にもありましたように、ヨッタインフォマティクス研究センターのアイデアが出てきたのが２年、３年前です。最初に学内の学部連携プロジェクトに採択されて、８部局、文学部、経済学部と研究科等を含めた８部局の先生方で集まっていただいて、ビヨンドビッグデータと呼んでいるデータ量がとっておけなくなるという問題をどう解決するかということでディスカッションを続けてきました。その仕組みというのは初めからもう他部局との連携が始まっていたということです。

我々、具体的な研究としてどういうことを考えているかといいますと、情報の質と価値を評価すると。情報の価値という意味はいろんな意味があると思うんですけれども、最終的には人間が判断するということですので、人文社会系の知恵、これまで蓄積された知恵、大学にはそういうものがたくさんあると。それをうまく取り入れて、計算機処理にのせていきたいと考えています。

そのための枠組みとして、さまざまな知識を持っている人の評価基準に合わせた情報量というのをそれぞれの分野で見つけられるようなシステムをつくると、そういう枠組みで進めていると。具体的には幾つかの、ある意味トイプロジェクト的なものなんですけれども、例えばいろんな画像である判断に必要なもの、どういうものを捨てたい、どういうものを選びたいか、いわゆる情報の優先づけの問題等を扱っているところです。

ちょっと漠然としたお答えになっていますけれども。

☆　ちょっとだけつけ加えさせていただきますと、私どもがこれを所としてこういうことを情報化しようとしたときにはやはり非アウトカムベースだということで、学術をきちんとやろうということだったんですけれども、また今でもそうなんですが、意外とこの問題意識というのは広がりがあって、海外の幾つかの研究グループもかかわっていますし、実際には民間からも一緒に考えたいというようなことも既に出ています。ですので、思ったより早くにいろんなリングが広がって、さまざまな方と一緒に研究できるのではないかと楽しみにしているところです。

★　私の印象で、これはたぶん時間スケールがいろいろ違う内容を包含し得る旗印で、今ご説明いただいたことが牽引力になるかと思いますが。最終的には材料・デバイスを含めた優れた分野を牽引できるのかわかりませんけれども。そういうことを引っ張るんだというぐらいのところで、次の流れをつくるような研究をしていただくことに期待しています。

★　今の金山委員がおっしゃった最後のところ、材料・デバイスも含めてというところで私思ったんですけれども、多元とか金研との関係というのは、マテリアルサイエンス分野ではどのような連携があるか、教えていただけますか。

☆　私が関係しているスピントロニクスでは、先ほどのスピントロニクス学術連携研究教育センターで、多元研そして金研の皆様とはもちろん工学研究科あるいはほかの研究所の皆さんを加えた中で連携していますが、そういう意味で最初に申し上げたような通研の外に組織をつくることによって、そこを場にして他部局が参加して、他部局や多くの部局が参画して新たな研究課題を追究するという仕組みが幾つもできていますので、それは大変我々としてはよかったなと思っています。

★　前田委員、どうぞ。

★　先ほど喜連川先生から秘策というお話がありましたけれども、秘策ってアウトカムベースでない研究、お金をとってくるための秘策と、そういったのを育てる、守るための秘策とたぶんちょっと違うと思うんですね。お金をとるための秘策は、ちょっと私はわからないので、それは置いておいて、じゃあそういったのをいかに育てるかということを考えたときに、私が今かかわっているプロジェクトというか中間評価が出たときにちょっと申し上げたことがあるんですけれども、成果報告をする方が、この成果はこういう難関会議を通りました、こういう有名な論文誌に、インパクトの高い論文を出したということを必ず後づけで加えるんですね。私は、それを言うのを１回やめようよと言ったことがあります。なぜかというと、その評価って大事でそれを使うのはいいんですけれども、そこに頼ってしまって中身の魅力が伝わらない。本来中身でその魅力を伝えるべきなので、そこにもう少し頭で知恵を絞る、熱意も含めてですね、そのほうがいいんじゃないかということをちょっと言ったことがあるんですが、先ほど大野先生がおっしゃったテイストというのはまさにそこだと思うんですね。テイストが伝わるかどうか。テイストというのは、私が日本語に置きかえるとすると、たぶん肌ざわりという言葉がちょっと近いかなと思うんですけれども、研究の中身そのものが持っている肌ざわり感、それはサイエンティフィックへの鋭さということも含めて言われるんですけれども、そういうものをお互い伝え合うという文化というのをきちんとつくっていかないと、守れないんじゃないかなということが１つ。

その意味で、今日幾つかいただいた研究報告って、そういうことに頼っていないご発表だったので、非常にその部分が伝わってきてよかったかなと思います。

★　中小路委員、どうぞ。

★　少しトーンの違うご質問なんですが、運営的なところに関して、今までずっとお伺いしていますと、外部資金をとってくる、産学連携を行うというお話が多いんですが、個人の方からの寄附、基金といった形でお金を集めてくるような方策もしくは方法というのをお考えでしょうか。昨年の運営協議会の後、１階で研究資料室、展示室、拝見いたしまして、電気通信研究所の前身は斉藤報恩会からの、今のお金で１０億円程度ですか、４人の方に出されて、自由に使えて、すごい勢いでアンテナができたり通信技術ができたり、今８０年以上経って、どうも世の中、貧富の差も激しくなってきて、お金のある人たちが意義のあることにお金を使いたいという文化ができてきつつあるように感じます。通研でされている研究のお話を伺うと、本当におもしろくて、中身はわからないですが何か楽しそうとか、すごいとかいう感じは十分に市民に伝わるように思います。それに対しするかかわってみたいとか応援したいとかいう感覚をうまく使って、お金という資源に転換して若手研究者を育てるなり、施設、設備を個人が使えるぐらいに回していければすばらしいことじゃないかなと思うんですが、いかがでしょうか。

☆　我々はまだ取り組んでいません。ただ、これからはクラウドファンディングのよ

うなものを、とにかくＩＣＴの研究所ですので、積極的に推進するということは一つの方向性だと思います。非常に多額の金額を集めるというよりは、やはりこういう我々の研究、もっと一般的に大学でやられている研究に対してシンパシーを持ってもらう、あるいは身近に感じていただくという作業として、クラウドファンディングというのは非常に注目しています。それはたぶんどこかの段階でぜひ試してみたいと思っていますので、ぜひよろしくご指導のほどお願い申し上げます。

★　今ちょっとだけ見たんですが、東京大学とか個別のプロジェクトごとにお金を寄附できる形態がありますね。京都大学でも組織とか何か、バーチャルな組織でやっているようなプロジェクトにスペシフィックに寄附できるウェブページがあったりするものですが、東北大学の場合、大学には寄附できるんですが、どこにとか何にとかいうことが言えないんですね。それだと何か嫌な感じがするというのは個人的にもわかります。なので、その辺も、通研の持っている魅力とか、通研の中でやっているこのおもしろいこと、というのにうまく回るような仕組みがあれば非常におもしろいんじゃないかなと思いました。

☆　ありがとうございます。まだメニューが充実していなくて、実はこれに対しての寄附だというふうに言っていただけるようにはなっているんですけれども、外の方にはわかりにくい寄附の仕組みを改善し、ちゃんとつくっていきたいと思います。ありがとうございます。

★　僕も大学に寄附したことがあるんですけれども、東大ではなく。受ける側は何でもいいからお金が欲しいので、どんな条件も書くことが自由にできるのが普通の大学の方式ですので、そこはご心配なく。

★　今お話のあった個人の寄附の問題は、今からますます大きくなっていかないとおかしいと思うんです。ただ、アメリカの文化と比べても、個人が寄附することに対するバリアが、日本の場合、例えば税金の問題含めて非常に大きいのが今問題だと思うんですね。各大学とも基金をつくられて、基金に寄附すれば、たしか免税措置が受けられるはずですよね。それも先生おっしゃるように、各大学の基金によって、よく見てみるとよくわからないというのがいっぱいあって、そういう意味で受ける側ももうちょっと努力が必要なのかもしれませんね。そこをうまく回すことによって、もう少し個人が寄附しやすい仕組みをつくるということが必要なんでしょうね。

★　ほとんどはきっちり免税措置ができるように、どんな大学もばかじゃないので、それぐらいのことは全部していると思います。ちょっと調べ方がまずいか、事務局に問い合わせれば幾らでも、いかようにもしますという言い方がほとんどの大学。

★　免税措置はもうおっしゃるとおりなんです。ただ、ほかにも細かく見るとあるんです。そこはやはり財務省と話をしなきゃいけない部分がたぶんあるんだろうと思

うんですが、そこは徐々に改善されているのは事実だと思うので、あとは大学がどれだけ努力して、それを一般の方にわかってもらう仕組みにしていくか、かもしれませんね。

☆　本学の体制としては、寄附関係の人員というのはたぶん東大の１０分の１ぐらいだったと思います。ですので、これから充実させていかなければいけない一つの部署です。税金に関していうと、現物を寄附したとき、例えば寄贈したときとか、土地を。それをいつ現金化するかによって、寄附された方に税金がかかってしまうとか、そういう仕組みが今まだあります。ですので、そこら辺を整理していただくと、いろいろな寄附される方の負担にならないような形で我々もありがたく受けることができるということになると思いますので、ぜひそれは各方面から声を上げていただいて、我々も主張していきたいと思います。

★　関連してお聞きしたいと思ったんですけれども、同窓会組織についてはどんな感じになっているのかなと。今日、卒業生、ここを出た方々、活躍している方々を調べられたんですけれども、ああいう方々、要するに同窓会の組織、そういう方々に寄附者になっていただけるわけですけれども、その辺をちょっと。

☆　同窓会組織は電気・情報系として一体で我々はあります。その中で、通研の関係だった方が誰かということがちょっとうまく整理できていなかった。今、同窓会長、小野寺先生がそういう形で運営されております。

★　先生おっしゃるとおりで、一つは同窓会の組織をどう使うかがあるんだろうと思うんです。ただ、これはよく言われる話なんですけれども、例えば海外の大学だとスタンフォードにしてもＭＩＴにしても、大学の卒業生ということであって、どこの学部の卒業生ってみんな言わないんですよね。大学としての寄附を集めているのが一般的みたいです。これは慶應がその点うまくやっているんですね。慶應の同窓会は非常に強いので、慶應さんは大体、何周年といってお金を集めると予定以上に必ず集まるのが慶應さんで、あとはなかなかしんどいというのが普通の大学だと思うんです。それもやはりおっしゃるとおり同窓会の組織が機能しているんだろうと思うんですが、先生、いかがですか。

★　それは秘策というものなので。卒業１０周年、２０周年、３０周年とかそういう形で毎年キャンパスにお呼びするとか、そのときに卒業２５周年、５０周年は寄附をしてくださいとか、そういう流れがもうできているというのがあるので、そういう流れがあるというのは大きいと思います。

★　やはり慶應さんが強いのは三田会として機能しているんですよね。学部じゃないんですよね、同窓会が。もちろん三田会の中に学部単位でもあるんですけれども、むしろ学年横断のほうが強いみたいですね。

★　いろいろありますね。

★　当社にも当然三田会の支部みたいな格好になっていて、はっきり言って幹事から何から全部わかります。聞くとすぐに。ほかの大学、たぶん自分の大学含めてですけれども、ないのが一般的ですね。ですから、そういう意味でいうと、これはどういう形がいいのか、いろいろ各大学で考えるべきだと思うんですが、同窓会の役割が非常に大きいというのは事実だと思いますね。

皆さんのほうから何かございませんか。

★　では、あまり話題になっていない産学連携について少し意見というか、従来、産学連携って大学が基礎研究をした成果をいただいて企業が事業化するというのが従来の産学連携のいわゆる一つのパターンだと思うんですけれども、今日、本間先生のお話とかを聞いていると、やっぱりセキュリティって利用もあるんですけれども実装という意味も一つの研究になっていて、ああいうハードウエアセキュリティってたぶん実装面での攻撃と防御というのも一つの基礎研究だと思うんですね。そういう意味で、新しい産学連携の一面を見たような気もしたんですけれども、そこら辺で何か工夫されていること、あるいは企業に対する要望とか、何かそこら辺ちょっとお聞かせ願えればと思うんですけれども、いかがでしょうか。

☆　コメントありがとうございます。ハードウエアセキュリティの運営自体はセキュリティの分野の中では比較的新しい分野でございまして、やはり企業の方はどうしてもサイバーセキュリティという話に、まず最初に来るんですけれども、本日お話ししたようなことを丁寧にというかご説明して、今少しずつ産学連携を進めているところでございます。

あとは海外のほうは、実はハードウエアセキュリティの研究はやはり活発に行われていまして、欧米中心にそういった産学連携という話が進んでおりますので、そういった事例も交えながら、今いろんなところと研究を深めようとしているところでございまして、実際に幾つか、新しい分野でありますけれども、ご理解いただいている企業さんと一緒に共同研究を始めているというようなところでございます。ありがとうございます。

★　ありがとうございます。いろんな産学連携のパターンというかがあると思いますので、いろんなことを一緒に模索できればと思います。ありがとうございました。

★　金山委員のところが特定研究開発法人であって、特に産総研は産学連携について積極的にされていますよね。その中で何かサジェスチョンがあればお願いできますか。

★　サジェスチョンがあればぜひ伺いたいところですけれども、東北大学さん、特に

通研さんなんかともいろんな意味で共同歩調をとって産学連携を促進するように日本のいろんな制度を変えていく必要があると思っています。特定研究開発法人になって何が変わったんですかと聞かれるんですけれども、名前が変わりました。あまり顕著な変化は実はなくて、唯一変わったところがございまして、特定のついていない研究開発法人と特定のついている法人では、会計制度が若干ですけれども緩やかになった。ほんの若干です。会員企業から寄附金は当然ですけれども、委託研究費等々を受けても、使用方法は全て国の会計法に準拠すると。これで、なぜか知りませんが、大学と研究機関では規制が少し違っていまして、特定になった場合で若干大学に近づいたということです。最初寄附がありまして、それから成果の帰属、知財等々全て、本来の意味でそれぞれの持っている機関が自分たちのミッションをよく発揮できるような形に変えていくということを、皆さんはわかっていると思うんですが、なかなか日本の国では実現していない。この辺はもう少し声を合わせて訴えかけていただきたいかなと思っています。

これも実は時代とともに必要要件が変わってきている気がしていまして、小野寺委員長があちらにいらっしゃると申しわけないんですけれども、かつての日本のいろんな制度は全て、全てというのは言いすぎですが、結果的に大企業さんが使いやすいようにできているところがあるんじゃないかと思うんです。今はもっとそこが、お金を出したから権利帰属するというところを、少し制約を緩めて、もっとフリーに大学の研究機関もハンドリングして、場合によってはベンチャーが果たすような部分も含めて、自由度を増やしつつ、きちんと制度にあたって行く方向に、おそらく変えていかないといけない。今いろんな不正事件等があって、ともすると制度が逆の方向に行っちゃいまして、これは単に煩雑になるだけでは終わらなくて、大学の先生もそうだと思いますが、研究に割ける時間が少なくなるということになっていきますので、どこかで根本的な見直しの必要性を皆さん感じていると思いますが、そこを実現化するということについても少し全体で合同して働きかけるのが必要かなと。そこら辺についてもぜひ、大野先生が学長になられましたらよろしくお願いいたします。

★　今の御質問で、私、今日ぜひ伺いたかったのは、指定国立大学になることによって、この研究所ってどう変わっていくのかなと。さっき１０年後という質問させていただいたことにも関連するんですけれども、もちろんベンチャー企業とか、いろいろ、それこそ秘策であると思いますけれども、なかなか東工大もちょっととれなかったので、今回は。とれて、先生たちとか学生が幸せかと言われるとわからないのですけれども、思うところがありまして、伺いたいところです。

☆　指定国立大学は今のところ特定研究開発法人と同じで看板をいただいたということです。我々、看板だということはわかってはいたという面もありますけれども、たかが看板、されど看板で、やはりそれによって、これからいろんな起こるであろうことが、ここは指定国立大学だからとか、ここはそうでないからという形でされたときに役立つはずです。あとは、ご存じの方が多いと思いますけれども、指定国

立大学は２０３０年までにどういう大学になっていたいかということを提案する仕組みでして、そういう意味で学内といいますか、我々の考え方、大学として何が必要かということを整理する良い機会ではあったと思います。これから指定国立大学をどういうふうに使っていくのかというのは、我々というよりは文科省にちゃんと考えてもらわないといけないなと。特に期待しているのは、例えばなかなか難しいとは思いますが、学生定員を大学の中であるレベルで自由にさせてほしいということも指定国立大学の提案の中に入れてあります。それに対しては今のところ音沙汰がありません。必ずしも運営費交付金を増やしてほしいと、それもありますけれども、それだけじゃなくて、いろんな規制、あるいは手足を縛っているというと言いすぎですけれども、困っているところを緩やかにして我々の責任で変えられるようにしてほしいということをこれからも継続的に言って、少しでもそういうことができるようになればいい看板だったなというふうになろうかと思います。

★　ぜひロールモデルになっていただいて、次の大学に引き継いでいただけたらと思います。ありがとうございました。

★　どうぞ、美濃先生。

★　質問じゃないですけれども、感想でもないし、ひとり言みたいな話をちょっとしたいんですけれども、ＩＣＴ技術が世の中に普及していくことはまず効率化なんですね。研究のほうへいくと、それが効率化プラス何かというと、オープンデータとかですね。オープンソース、プログラム、それからもちろんペーパーも。これは何が起こるかというと、たぶん研究のスピードがうんと速くなるんですね。なぜかというと、うちのほうで久しぶりに国際会議に行きまして、何を思ったかというと、論文を発表しているときには、その論文は既に生まれているという状況が起こっている。つまり、投稿した段階でオープンにしちゃうんですね。通る、通らずにかかわらず。そうすると、国際会議に行くと、それを読まずに行くと、全然何を議論しているかわからんというか、細かすぎてわからんという話になって、これは大丈夫かと思い出したんですね。要するに、研究のスピードが３カ月の間ですよ、投稿してから発表するまでのこの間に進んでいるわけ。これを感じて帰ってきて、大学の今の制度の、１年単位で学生を教育して研究しているというのでこれから研究をやっていけるんだろうかとすごく不安になってくる、つまり情報がオープンされてシェアされるということは、研究の速度が今まで思っているよりもっと速くなるんじゃないか。つまり効率化しようとしているから、それは目的にかなったことで、言ってみればそれをしようとしてオープン化しているわけですよね。特に我々の分野はソースウエアがオープンされるということはすごいことなので、今まで研究していろいろやって、ここにノウハウがあるなら、このノウハウもほとんどなくなってきたという印象を受けてしまうわけです。つまり、最先端のソフトがオープンされてしまう、みんなでシェアされる。みんな、そこからスタートになると。そうすると、研究の姿勢がきたないなと思ってどうしようかなと。

それで、そういう話を見ていると、この辺の材料とか物質の分野はまだ得、得というか、それほど早く行かない。その物があるから、それをつくるときにはそれなりのものを買って生きたのが残ってくるわけです。でも、これから情報技術が来て、どんどんいろんな研究プロセスをオープンしましょう、何やらオープンしましょうという形になっていったら、果たしてどこで大学というのはやっていけるんだろうかと考えると、どう考えても産学連携かなと、さっきの話を聞いていて思うんですけれども、つまり今までのように大学の技術を移転するんじゃなくて、大学と企業が一緒にやらないと、一緒に研究するというような産学連携を考えないと無理じゃないかなというような印象を最近持っていて、単にひとり言なんですけれども、こんな、たわ言に答えていただくのもあれだと思っていますが、そういうふうな印象を持っているということで、これから新たな産学連携のあり方というのはそんな形になるかなと勝手に思っていますというだけの感想です。

☆　産学連携というのはたぶん古い言葉になりつつあるんだと思います。産学共創という形で、一緒にものをつくっていくということで、従来の形の大学の技術を産業界が受け取ってということもこれからもずっとあるとは思いますけれども、一緒につくっていくというところが強くなってくるんだと考えています。

それがどういうふうに関係していくかわかりませんが、オープンサイエンス、オープンデータというのは、特にヨーロッパを中心にして大きな力、流れになっていますので、今おっしゃられたような、特に、さっさと書いて発表して、発表というか、アーカイブにのっけちゃってからいろんなことを議論するという分野がだんだん増えていくのかなと思います。

これは我々のほうでどう転がしていくのかというのは、分野によって随分違うので何とも言い切れないところがあります。ステークホルダーたちがどういうメリットを感じてオープンにするのか、あるいはそれにのっからないともうついていけないような分野であればもうのっからざるを得ないわけです。非常にケース・バイ・ケースかなと思っています。これに関してはたぶん私がとやかく言うよりは、喜連川先生などがこの元締めなところがありますので、何か一言言っていただけるのかなと思いますが、いかがでしょうか。

★　秘策は先生、それは申し上げませんけれども、現在いろいろ文部科学省なんかで動かれていまして、普通のやつは全部傍聴されますので、ネイチャーとか、これ自身も議事録から外していただける場合がありますけれども、そういうレベルは全部出てきちゃいますので、そこをオミットした形で議論していますけれども、一番問題なのは、グローバルな学会がそこにデータをくっつけて論文投稿と一緒に上げましょうというのを言われた瞬間に、さっき美濃先生がおっしゃったみたいに、通らない論文のデータやアドレスも一緒にくっついちゃうと。そこが、企業側が資金提供することによって、そのシステムをつくってあげるかわりに、僕たちにちょっと見せてよね、みたいな話になりますと、ほとんど研究費がなくてもかなりの結果を利用できるようになる。このとき日本はどういう立ち位置に持っていけばいいのか

というのをまさに検討しています。

つまり、これもＩＴ屋として、ＩＣＴ屋としてなかなか厳しいんですけれども、デジタルになった瞬間に持っていかれると。だから、本当にコアなところは実はノンデジタルに置いておかなきゃいけないという、ものすごく矛盾を感じながら研究をしなきゃいけないなという気が今しているというのが、これで秘策の答えには全然なっていないんですけれども、そのときに一番諸悪の根源はやっぱりエルゼビアですね。これは何とかしなきゃいけないと。つまり、グーグルもだめなんですけれども、己のコンテンツは何一つないんですね。他人の論文でその論文のノーティスを動かすことによってマネタイズをするということに対して、大学がこぞってＳｃｏｐｕｓのデータなんかにお金を払うということだけはやっちゃいけないと個人的には思っていまして、そこをみんなで共闘して頑張らなきゃいけないかなと思っています。

せっかく当てていただいたので、褒めることも褒めておかなきゃいけないかなと思ったんですけれども、今日私どもが拝見していて一番すごかったのは、最後の卒業生がどう動いているのかというのを丁寧にお調べになられたのは本当に頭が下がります。以前、京都大学のこのような情報系の研究科に行ったとき、やっぱり個人情報ってなかなかとれないんですよね。教育のアウトカムはどうするんだと。つまり、どう教育したらどれぐらいどういういい学生が羽ばたいていくのか。それが一番ある意味で非常に重要で、この前も京都大学はカードをピッとやると授業に参加したかどうかわかるとか、そんなもの、あなたのところでよけいノーベル賞を出していると思うけれども、そんなえらい先生からしょうもないご議論が出ているはずがないと僕は思うんだけれどもという話をしたんですけれども、ぜひこれ、ちょっと丁寧にお進めいただけると僕はすごくおもしろいデータが出てくるんじゃないかなと思っています。

ヘッドコンテンツよりちょっとミッド層ぐらいのところで、一体どういう人生のパターンがあって、何が人生に大きなインパクトを与えているのかというのはお調べいただくとすごく、僕の人生にはもう寄与しないかもしれないんですけれども、若い人々にとっては非常に役に立つんじゃないかなという気がしますね。ですので、統計的な数値に加えて、ぜひインタビューのようなものを、全員がするとかというのは非常に難しいかと思うんですけれども、ここが一番、大野研にいてよかったことだ、みたいなものを調べていただくと、本当に各大学みんなたぶんやるべきだと思うんですけれども、それに対して非常に強い期待感があるので、というお褒めの言葉というか賛辞を述べさせていただきたいと思います。

★　ありがとうございました。今、喜連川先生がおっしゃったことは、下手すると企業サイドも一番欲しい情報なんです。採用するときに本当に今の企業の採用の形態でもってきちんとした人が採れているのかといったらものすごく疑問があります。これ、あんまり言うと怒られますけれども。そういう意味でいうと、今の新卒４月一括採用で、わずか１人の面接はせいぜい３０分です。それで人を見きわめられるのかと僕は人事によく言うんですけれども、この辺は本当に難しい問題です。そう

いう意味で、喜連川先生からまたすばらしいご提案を、難しいご提案をいただき、ありがとうございます。

そろそろ時間になるんですけれども、先ほど産学共創オープンイノベーションの話がちょっと出ていたんですが、この前、実は国大協のときにちょっとしゃべれと言われてお話ししたんですけれども、国大協で去年、一昨年お話しされたのが、金融のほうから三井住友銀行の会長、去年は技術のほうで須藤さんという東芝出身で、経団連未来産業・技術委員会の部会長をされた方で、一般論をみんなしゃべられたので、私からはちょっと私見だけ申し上げたんですけれども、一つは先ほどもお話がありましたけれども、とにかく今は産業界という言葉で皆さん括られるんだけれども、実は発言するのは経団連、同友会ぐらいなもので、要するに大企業の集まりなんです。ですから、産業界といって皆さんが全ての産業を網羅していると思われると間違いですよと私申し上げたんです。

もう一つ産業界のほうで、逆に大学側からもっと言ってもらわなきゃいけないと思っているのは、オープンイノベーションの件なんです。オープンイノベーションって簡単に皆さんおっしゃるんですが、各企業とも、じゃあどこをオープンでどこをクローズでやるんだという境目をきっちり持っている会社は正直言ってないと思います。経団連の中でもオープンイノベーションということで、例えば産業界をまたがって、業界をまたがってといったらいいかな、オープンイノベーションでやりたいと。前の未来産業・技術委員会の委員長、トヨタの内山田さんとうちがやっていたんですけれども、トヨタさんが音頭を取って、ご存じかと思いますが、内燃機関の燃焼効率を２割以上上げるというプロジェクトが生まれて、これは自動車業界みんな共同で産総研とあと大学が結構入っているという形で成り立っているんですが、これは内山田さんが音頭を取ったというのが一つ大きいと思っていて、それと産総研さんがうまく組んでいただいて、オープンイノベーションという格好になっているんですけれども、ほかの部分では残念ながらまだ無いに等しいと思います。

そういう意味で、大学側からこの件についてはむしろ業界にまたがって基礎技術として開発すべきだと思われる案件については、申しわけないんですけれども、大学側もしくは産総研とか理研と組んでいただいて構わないんですけれども、そういうところと組んで、ここはこうやってオープンにやりましょうよと言わないと、民間企業側からなかなかそこはオープンイノベーションでやりましょうという話にはならないんじゃないかと。中川路先生、どうですか。

★　産学連携というか、オープンイノベーションというか、もうパターンがたぶん非常に広がってきていて、いろんなパターンをたぶん我々みんなで探していかないといけない時代になってきているのかなと。特にやっぱり欧米のスピード感に勝っていくためには、そこを本当に企業も大学もお役所も、ですけれども、みんなで寄ってたかって考えていかないと、プロセスでこっちが進んだからこっちという、そういう時代ではたぶんないのは確かなので、そこをぜひいろいろ一緒に考えさせていただければと思います。

★　産業界といえども必ずしもひとつじゃないということと、それと産業界といったって大企業の話ばっかりになってしまいかねないということで、日本全体としてイノベーションを進めていくためにはどうすればいいかというのは、やはりもうちょっと公共的な機関である国立大学法人とか産総研のような国立の研究開発法人がもう少し考えていただかないといかんのかなと思っています。

もう一つ余計なことを言わせていただきますと、グローバル化という話がよくあるんですけれども、グローバル化というのは、学は昔からグローバルだと思うんですけれども、産業界も今はグローバル競争になっちゃっていますけれども、そのグローバル競争の中で私が考えている最大の問題点は、例えば昔は資本主義の社会で産業界が発展すると自動的にその国のＧＤＰが増えて国の富も増えた。ところが、今の時代、特にアメリカの企業はひどいですけれども、皆さんご存じのとおりで、企業が幾らもうけても、その国であるアメリカに落ちている税金というのは非常に少なくなっている。それは、とりもなおさず企業はグローバルに行っても税制とかレギュレーションはもう国単位なんです、相変わらず。そこのコンフリクトがいろいろ既に出てきていまして、そこが企業側から見たときに、大学や研究所と組むときに、正直言って日本の大学と組んだほうが得なの、海外の大学と組んだほうが得なのというふうにどうしてもなってしまう。これはもう企業としてはどちらが得かという判断しかないので、そういう意味でいうと、国としてどう考えてるか、日本として研究開発をどう考えるんだといったときには、やはり国立大学法人とか国立の研究開発法人が考えていただかないと、企業の意見ばかり聞いていると間違うんじゃないかと私は思っています。

そういう意味で、今日は東北大学の電気通信研究所運営協議会だったんですけれども、皆さんからいろいろなお話が出て、かなり幅広い話になっていたと思いますが、ぜひ電気通信研究所、大野所長は今度かわられるんだと思いますけれども、今までの伝統を生かしながら、皆さんからいろいろ新しいこともどんどんやってほしいというお話もありましたけれども、そういう点も含めてご努力いただければと思います。

閉　会

★　それでは、質疑応答はこの辺にさせていただいて、最後に閉会の挨拶を大野先生にお願いしたいと思います。

☆　今日は、小野寺先生はじめ皆様、半日お付き合いいただきまして、本当にありがとうございます。非常に貴重なご意見をいただきました。私共、所員一同、これから、今日いただいたご意見を消化し、どのように実地に移していくか言うことを考えていきたいと思います。また、運営協議会自身は来年も開催いたしますので、そのときに今日いただいたものも含めて、どういうふうに我々が消化しこれからどういうふうに発展させていくのかということをお話させていただきたいと思いますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。今日は長時間どうもありがとうござい

ました。

★　どうもありがとうございました。拙い司会で申し訳ございません。ありがとうございました。

資　料　編

４．非常勤研究員

（人）

年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
教育研究支援者	9(4)【0】	9(4)【0】	10(5)【3】	6(0)【1】	5(1)【0】
産学官連携研究員	10(2)【0】	10(2)【0】	9(1)【1】	6(0)【0】	1(0)【0】
研究支援者	4(3)【0】	4(3)【0】	2(1)【0】	4(2)【0】	3(1)【0】
計	23(9)【0】	23(9)【0】	21(7)【4】	16(2)【1】	9(2)【0】

※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）、産連研究員(共同研究費・受託研究費)
研究支援者（科学研究費補助金）

５．各種研究員

（人）

年度		25年度	26年度	27年度	28年度	29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		6 (1)【0】	5 (1)【0】	10 (0)【0】	8 (0)【0】	3 (0)【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		4 (0)【0】	5 (0)【0】	2 (0)【0】	2 (0)【0】	7 (0)【0】
日本学術振興会特別研究員		5 (0)【0】	5 (1)【0】	8 (2)【1】	10 (1)【1】	9 (3)【2】
	内訳 PD	1 (0)【0】	1 (0)【0】	2 (1)【1】	2 (0)【1】	3 (1)【1】
	DC	4 (0)【0】	4 (1)【0】	6 (1)【0】	8 (1)【0】	6 (2)【1】
日本学術振興会外国人特別研究員		0 (0)【0】	2 (2)【0】	1 (1)【0】	1 (1)【0】	2 (2)【1】
日本学術振興会外国人招へい研究者		0 (0)【0】	1 (1)【0】	0 (0)【0】	1 (1)【0】	1 (1)【0】
計		16 (1)【0】	19 (5)【0】	22 (3)【1】	23 (3)【1】	23 (6)【3】

※雇用契約のない研究員、（　）は外国人、【　】は女性で内数

第１　人　事

１．教員

（人）

年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
教授	25(0)【0】	24(0)【0】	22(0)【0】	25(0)【1】	24(0)【1】
准教授	20(1)【0】	19(2)【0】	19(3)【0】	22(3)【1】	22(3)【1】
講師	0	0	0	0	0
助授	24(1)【1】	24(2)【1】	23(3)【1】	20(4)【0】	18(4)【0】
特任教授	3(0)【0】	2(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】
特任助教	0	0	0	1(0)【0】	2(0)【0】

※（　）は外国人、【　】は女性で内数

２．客員外国人教員

（人）

年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
客員教授	1【0】	6【0】	3【0】	7【0】	7【1】
客員准教授	6【0】	2【0】	4【0】	1【0】	5【0】
計	7【0】	8【0】	7【0】	8【0】	12【1】

※【　】は女性で内数

３．客員教員

（人）

年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
客員教授	11(2)【0】	17(7)【0】	12(4)【0】	15(8)【0】	17(7)【1】
客員准教授	10(7)【0】	4(7)【0】	6(4)【0】	2(1)【0】	6(5)【0】
計	21(9)【0】	21(14)【0】	18(8)【0】	17(9)【0】	23(12)【1】

※上記2の客員外国人教員を含む（　）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
Gross, Warren Jeffrey	H29.5.1～ H29.5.31	信号処理用ハードウェアアルゴリズムとそのLSI実現に関する研究
Søren K. Andersen	H29.6.7～ H29.7.7	視覚的注意の脳機能に関する研究
DIETL Tomasz Stanisław	H30.2.18～ H30.3.18	スピントロニクス材料とデバイスに関する物理と工学
Fjeld Morten	H29.4.1～ H29.5.31	室内空間型ユーザインタフェースシステムに関する研究
Singh, Karansher	H29.6.1～ H29.7.15	インタラクティブコンピュータグラフィックスに関する研究
Filimonov Sergey	H29.7.1～ H29.7.31	ロボットを用いたヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究
KNAP Wojciech M	H29.10.10～ H29.12.8	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
FAZI, Filippo Maria	H29.11.15～ H29.12.14	球座標3次元音響技術の研究
SHARLIN, Ehud	H29.7.26～ H29.8.28	ロボットを用いたヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究
沈　愛東	H30.1.5～ H30.8.5	スピントロニクス材料の作製と評価
葉　素玲	H29.9.11～ H29.10.11	視覚の意識と注意に関する研究
Patrick　Finn	H30.1.9～ H30.2.23	劇場型インタラクティブコンテンツに関する研究

７．教育研究支援者

氏　名	任用期間	研究内容
阿部　尚文	H29.4.1～ H30.3.31	量子光情報工学に関する業務 巨視的機械振動子の量子状態制御の研究に関する業務
朴　君昊	H29.4.1～ H29.8.31	超高周波グラフェンデバイスの研究開発
渡辺　隆之	H29.4.1～ H29.10.31	新材料・新原理を導入した新たな半導体テラヘルツデバイスの開発
内林　俊洋	H29.4.1～ H29.11.30	情報通信基盤技術に関する研究
齋藤　文孝	H29.7.1～ H30.3.31	「音響通信に関する研究」の研究支援

８．学振特別研究員

氏　名	期　間	研究内容
金子　沙永	H27.4.1～ H30.1.31	時空間的文脈を利用した効率的な知覚構築のメカニズムの解明
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
福原 洸	H28.4.1～ H30.3.31	マルチテレストリアルロコモーションから解き明かす脚間・脚内協調メカニズム
岡田 篤	H28.4.1～ H30.3.31	磁性の電界効果を用いた新規スピン現象とスピントロニクスデバイスの実証
安井 浩太郎	H29.4.1～ H32.3.31	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～ H32.3.31	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
馬 静言	H29.4.1～ H31.3.31	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
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

９．教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

（人）

転出先	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
企業	6	2	1		1
通研・教員	1	1		2	1
他部局・教員	1				1
他部局・産学官連携研究員、COEフェロー	1	1	2	1	
他大学・高専教員	2	1		1	1
他大学ポスドク			2		
国外大学・企業			2	1	1
帰国	2	1	4		
転出者計	13	6	11	5	5
在職者数	24	15	21	9	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）

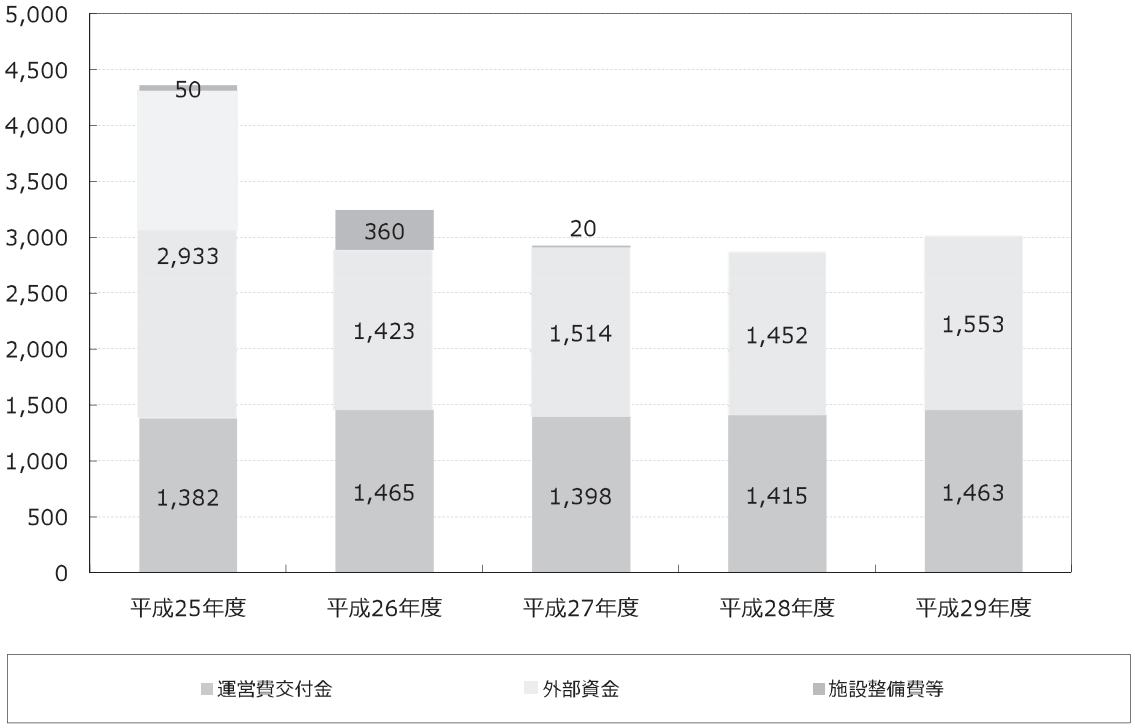
年度		25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
専任職員	技術職員	10【3】	13【2】	11【2】	13【2】	13【3】
	事務職員	18【3】	17【4】	15【4】	14【3】	14【3】
	再雇用職員	6【0】	3【0】	3【0】	2【0】	1【0】
	計	34【6】	33【6】	29【6】	29【5】	28【6】
非常勤職員	技術職員	19【12】	19【12】	14【11】	12【8】	13【10】
	事務職員	36【33】	36【33】	31【28】	33【30】	33【31】
	計	55【45】	55【45】	45【39】	45【38】	46【41】

※【　】は女性で内数

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



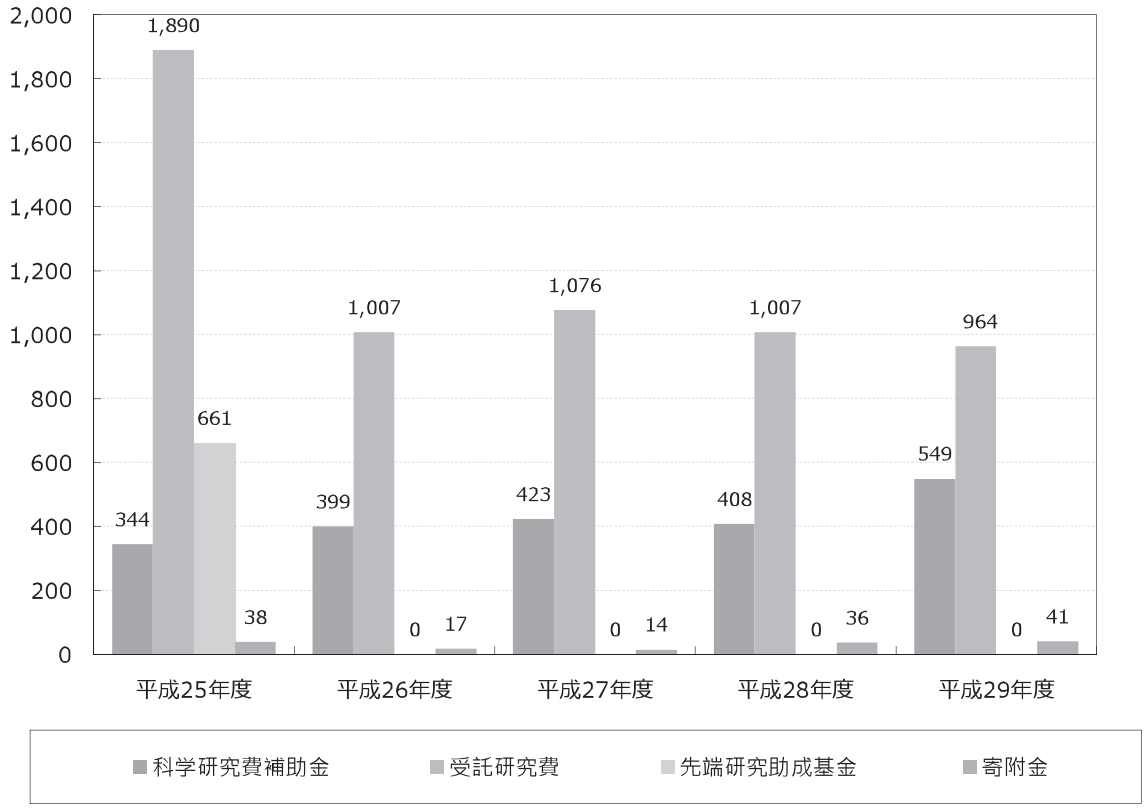
予算額内訳

単位：千円

事　項		平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
運営費交付金	人件費	723,507	795,601	730,537	808,066	835,904
	物件費	658,590	668,941	667,582	606,599	626,824
運営費交付金　計		1,382,097	1,464,542	1,398,119	1,414,665	1,462,728
外部資金	科学研究費補助金	343,824	399,311	422,846	407,902	549,034
	受託研究費	1,890,012	1,007,060	1,076,220	1,007,451	963,585
	先端研究助成基金	660,578	0	0	0	0
	寄附金	38,100	16,890	14,490	36,190	40,541
	（再掲）間接経費	336,037	212,669	219,886	244,413	220,733
外部資金 計		2,932,514	1,423,261	1,513,556	1,451,543	1,553,160
災害復旧経費		0	0	0	0	0
移転事業経費		49,632	359,770	20,011	0	0
施設整備費		0	0	0	0	0
施設整備費等　計		49,632	359,770	20,011	0	0
合　計		4,364,243	3,247,573	2,931,686	2,866,208	3,015,888

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25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
科学研究費補助金	343,824	399,311	422,846	407,902	549,034
受託研究費	1,890,012	1,007,060	1,076,220	1,007,451	963,585
先端研究助成基金	660,578	0	0	0	0
寄附金	38,100	16,890	14,490	36,190	40,541
合計	2,932,514	1,423,261	1,513,556	1,451,543	1,553,160

第3　教　育

1．学部学生・大学院生

（人）

区分	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
学部（4年）	67（ 1）【 6】	56（ 0）【 4】	52（ 0）【 4】	51（ 0）【 2】	57（ 0）【 3】
大学院前期課程	125（17）【 7】	125（12）【 6】	117（13）【11】	137（15）【14】	141（19）【 9】
工学研究科	74（ 8）【 3】	78（ 6）【 3】	77（ 6）【 4】	90（ 9）【 4】	85（ 8）【 1】
医工学研究科	2（ 0）【 0】	4（ 0）【 0】	4（ 0）【 1】	5（ 0）【 0】	2（ 0）【 0】
情報科学研究科	49（ 9）【 4】	43（ 6）【 3】	36（ 7）【 6】	42（ 6）【10】	54（11）【 8】
大学院後期課程	38（14）【 1】	38（ 9）【 1】	36（ 9）【 1】	39（12）【 2】	39（15）【 3】
工学研究科	28（ 7）【 1】	30（ 6）【 0】	28（ 7）【 0】	28（ 8）【 0】	25（ 8）【 2】
医工学研究科	0（ 0）【 0】	0（ 0）【 0】	0（ 0）【 0】	1（ 0）【 1】	0（ 0）【 0】
情報科学研究科	10（ 7）【 0】	8（ 3）【 1】	8（ 2）【 1】	10（ 4）【 1】	14（ 7）【 1】
計	230（32）【14】	219（21）【11】	205（22）【16】	227（27）【18】	237（34）【15】

※（　）は外国人、【　】は女子学生で内数

2．留学生

（人）

区分	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
学部４年	1	0	0	0	0
大学院前期	17	12	13	15	19
大学院後期	14	9	9	12	15
計	32	21	22	27	34
地域別内訳					
①アジア	27	19	17	20	28
②北米	0	0	0	1	1
③中南米	3	1	1	2	2
④ヨーロッパ	1	0	3	3	3
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	0	0	1	0
⑦アフリカ	1	1	1	0	0

3．研究所等研究生・特別訪問研修生

区分	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
研究所等研究生	8(7)	12(10)	11(9)	6(5)	6(6)
特別訪問研修生	2(2)	2(2)	1(1)	2(2)	2(2)
計	10(9)	14(12)	12(10)	8(7)	8(8)

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	全身自由度を活用する四脚ロコモーションの自律分散制御則に関する研究	鈴木　朱羅	石黒　章夫
	胴体の伸縮を活用する多脚ロボットの自律分散制御	菊池　和気	石黒　章夫
	高周波キャリア型磁界センサの高感度化に関する研究	楠　洸介	石山　和志
	逆磁歪効果を利用した振動センサに関する研究	久保　結人	石山　和志
	多脚ロコモーションにおける脚運動と胴体の屈曲運動の連関様式に関する研究	佐々木　瞭	石黒　章夫
	磁気光学効果を利用した低侵襲近傍磁界計測に関する研究	松本　悠人	石山　和志
	脚の役割分担を自発的に生成可能な６脚歩行の脚内協調制御則に関する研究	宮澤　咲紀子	石黒　章夫
	環境変化に呼応してロコモーション様式を改変可能な自律分散型ヘビロボットに関する研究	吉澤　遼	石黒　章夫
通信工学専攻	光ナイキストパルスを用いた単一チャンネル10 Tbit/s伝送に関する研究	王　建平	中沢　正隆
	端末移動経路予測を用いた無線ネットワーク負荷分散手法の研究	小野　貴博	末松　憲治
	高次ナイキストゾーンにおける1ビットバンドパスΔΣ変調RZ-DAC変調出力に関する研究	数野　将史	末松　憲治
	時系列特徴抽出に基づくチップ内データ伝送エラー訂正手法に関する研究	加藤　健太郎	羽生　貴弘
	分散ファイルシステムを用いたファイルストレージの高速データ転送化の研究	金子　舜	村岡　裕明
	注入同期技術を用いた大容量デジタルコヒーレント光伝送に関する研究	管　貴志	中沢　正隆
	高周波アシスト記録における記録層内の交換相互作用に関する研究	菊地　忠裕	村岡　裕明
	28ＧＨｚ帯衛星通信用ダイレクトRF アンダーサンプリング受信機の低雑音化に関する研究	桂　陽	末松　憲治
	多層積層型記録層の再生メカニズムに関する研究	斎藤　仁	村岡　裕明
	マルチヘッドを用いる並列トラック記録再生の信号処理方式の研究	佐藤　信之	村岡　裕明
	QAMデジタルコヒーレント伝送における超多値化に関する研究	寺山　雅樹	中沢　正隆

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
通信工学専攻	コヒーレント光ナイキストパルスを用いた高速・高効率伝送に関する研究	新田　純平	中沢　正隆
	高電子移動度トランジスタの極限高速化とそのプラズモニックテラヘルツ機能デバイス応用に関する研究	細谷　友崇	尾辻　泰一
	高線密度磁気記録における信号等化手法に関する研究	間瀬　朗生	村岡　裕明
電子工学専攻	Photoluminescence Studies of Nitrogen-Atom Endohedral Fullerenes （窒素原子内包フラーレンのフォトルミネッセンスの研究）	CATAÑO LÓPES SETH BENJAMiN	枝松　圭一
	微細CoFeB/MgO垂直磁気トンネル接合における磁化反転の構造依存性	五十嵐　純太	大野　英男
	Characterization of Analog Spin-Orbit Torque Devices for Artificial Neural Networks （人工神経回路網に向けたアナログスピン軌道トルク素子の特性評価）	WILLIAM BORDERS	大野　英男
	微細CoFeB/MgO磁気トンネル接合のダンピング定数の評価	篠崎　基矢	大野　英男
	強誘電体障壁磁気トンネル接合における磁性と伝導に及ぼす電気分極の効果に関する理論研究	隈田　壮	白井　正文
	Ta/CoFeB/MgO積層構造における磁区構造のCoFeB膜厚依存性とその電界効果	市川　直樹	大野　英男
	混合変調レーザの単一モード性向上の研究	一色　竜杜	八坂　洋
	SiC基板上エピタキシャルグラフェンの大面積化とその評価	岩田　大地	末光　眞希
	ハイブリッドSiC基板上エピタキシャルグラフェンの形成とデバイス応用	遠藤　則史	末光　眞希
	脂質二分子膜トランジスタの構築に関する研究	大堀　健	平野　愛弓
	Siフィルタを用いたハイブリッド集積型光負帰還半導体レーザの研究	川崎　翔平	八坂　洋
	運動立体視の神経回路網モデルに基づいた脳型視覚情報処理システムに関する研究	栗原　祥太	佐藤　茂雄
	高スピン偏極ホイスラー合金／非磁性合金界面における電気伝導に関する理論研究	呉　寒	白井　正文
	Co基強磁性形状記憶合金の構造相変態に関する理論研究	今　諒磨	白井　正文
	顕微X線分光を用いたグラフェントランジスタの動作機構解析	齊藤　和馬	末光　眞希

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	微細CoFeB/MgO磁気トンネル接合におけるダンピング定数の評価	篠崎　基矢	大野　英男
	CoPtCrグラニュラ垂直磁気記録媒体のマイクロ波アシスト磁化反転に関する研究	島田　恭平	島津　武仁
	金ナノ粒子―ナノ光ファイバ結合系の偏光に対するキラル性の研究	菅原　大和	枝松　圭一
	ヘテロエピSiC薄膜を介したSi基板上グラフェンの成長機構と高品質化に関する研究	高橋　謙介	末光　眞希
	縦型Siトランジスタ高性能化に向けたプラズマエピタキシャル成長とドーピング制御に関する研究	手塚　浩久	佐藤　茂雄
	ZnSe中のGa不純物中心に局在する励起子のコヒーレント光学効果の研究	常盤　圭佑	枝松　圭一
	走査型非線形誘電率常磁性共鳴法に関する基礎的検討	原田　明永	長　康雄
	高磁化・高磁気異方性を有するMn基規則合金に関する理論研究	三橋　唯澄	白井　正文
情報基礎科学専攻	関数自動導入を用いた定理自動証明	伊藤　祐太	外山　芳人
	利用者の活動を考慮したネットワークの自律的構成法に関する研究	門脇　伸明	木下　哲男
	創造活動における能動的情報資源の獲得支援機能に関する研究	河間　勇気	木下　哲男
	能動的な記憶断片を用いた想起支援に関する研究	高橋　香穂	木下　哲男
	ネットワーク管理支援のためのエージェント型情報提示機能に関する研究	松村　洋志	木下　哲男
	状況変化に適応するエージェント型IoTデバイスの研究	横山　真悟	木下　哲男
	エッジコンピューティングにおける自律分散型タスクオフロードに関する研究	志野　嘉紀	木下　哲男
システム情報科学専攻	A study for Real-time Screen-space Global Illumination with Generative Adversarial Network (Generative Adversarial Network を用いたリアルタイム・グローバル・イリュミネーションに関する研究)	王　洋	北村　喜文
	A Study of Dynamic Scalable Workspace with Visual and Physical Content （視覚的・物理的コンテンツによる動的拡張空間に関する研究)	白　淑霞	北村　喜文
	音空間情報取得における球状アレイの効率化に関する研究	愛知　秀斗	鈴木　陽一

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	関数型言語のためのコードレベルデバッグ環境の実現方式	大野　一樹	大堀　淳
	Gesture-based Interaction in Augmented Reality using Smartphones （スマートフォンを用いたAR環境におけるジェスチャインタラクションに関する研究）	岡　聖志	北村　喜文
	分割ディープニューラルネットワークを用いたプライバシー保護機能を有する顔表情認識技術に関する研究	北谷　俊介	北村　喜文
	A Study on Loop Closure Detection for visual-SLAM using RGB-D Information （RGB-D情報を用いたビジュアルSLAMのためのループ検出技術に関する研究）	黄　実文	北村　喜文
	3次元音情報収音再生法SENZIの知覚的高精度化に関する基礎的研究	齋藤　翔	鈴木　陽一
	MEMS気圧センサを用いたインフラサウンド観測の研究	齋藤　雄二	鈴木　陽一
	A Study on Dynamic Prediction of Student Performance from Limited Data in a Blended Learning Environment （ブレンド型学習環境における限定的なデータを利用した学習者パフォーマンスの動的予測手法に関する研究）	SANCHEZ MCNEW BYRON ISRAEL	北村　喜文
	乾電池リサイクルのための深層学習を用いた廃乾電池の断面画像認識に関する研究	武内　貴裕	北村　喜文
	仮想球モデル型聴覚ディスプレイADVISEの高度化に関する研究	田村　祐揮	鈴木　陽一
	A Study for Flexible Interactions with Foldable and Detachable Multiple Mobile Devices （折り畳みと着脱可能な複数のモバイルデバイスによる柔軟なインタラクションに関する研究）	陳 文静	北村　喜文
	関数型OS記述言語実現のための基礎研究	徳永　航平	大堀　淳
	自己運動が音像移動知覚に及ぼす影響の研究	野田　美春	鈴木　陽一
	行動の身体性注意への影響	野々村　萌	塩入　諭
	視覚誘発電位を用いた注意資源の配分に関する研究	三浦　拓巳	塩入　諭
	多相型言語の最適化のための静的解析手法に関する研究	美馬　久行	大堀　淳
応用情報科学専攻	投影型AR技術を用いた作業支援における情報の視認性向上のための投影光制御手法	越後　佑暉	菅沼　拓夫

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
	機械学習を用いた適応型ライブストリーミングサービスに関する研究	生出　真人	菅沼　拓夫
応用情報科学専攻	時系列画像を用いた遮蔽に頑健な人物追跡手法に関する研究	荻荘　裕太	菅沼　拓夫
	背景の変動に頑健な背景差分に基づく移動物体領域抽出手法	笠原　優也	菅沼　拓夫
	利用者の多様性を考慮したパーソナルデータ流通制御支援に関する研究	萱場　啓太	菅沼　拓夫
	エッジコンピューティングにおけるリソース検索システムの性能向上に関する研究	甚野　和成	菅沼　拓夫
	災害発生直後における被災の影響とデータ転送量を考慮したネットワーク制御手法の研究	髙平　寛之	菅沼　拓夫
医工学専攻	イオンチャネルの開閉機構解析のための膜反応場に関する研究	荒田　航平	平野　愛弓
	フナムシの高速ロコモーションに学ぶ胴体の自由度を活用した多脚ロボットの自律分散制御	池下　義人	石黒　章夫

（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	四脚動物の高速ロコモーションに内在する脚間協調メカニズムに関する研究	福原　洸	石黒　章夫
通信工学専攻	Study on Graphene-based Two-dimensional Heterostructures for Emission and Detection of Terahertz Radiation （グラフェンを基本とする二次元ヘテロ構造におけるテラヘルツ波の放射および検出に関する研究）	YADAV DEEPIKA	尾辻　泰一
	リスク考慮型ストレージシステムの高可用化に関する研究	松本　慎也	村岡　裕明
	デジタルコヒーレント光伝送における超多値信号の高精度歪み補償に関する研究	岡本　聖司	中沢　正隆
	1ビットバンドパスΔΣ RF変調器の低歪み・マルチバンド化に関する研究	前畠　貴	末松　憲治
電子工学専攻	Efficient Photon-Pair Generation via Quasi and Extended Phase Matching Devices Based on Spontaneous Parametric Downconversion （擬似・拡張位相整合自発パラメトリック下方変換素子を用いた高効率光子対発生）	曹　博	枝松　圭一
	界面異方性を有する磁性薄膜における磁化ダイナミクスとその電界効果に関する研究	岡田　篤	大野　英男

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	Studies on Fabrication of High-Frequency Graphene Field Effect Transistors Using Microwave Annealing （マイクロ波熱処理を用いた高周波グラフェン電界効果トランジスタ作製に関する研究）	金 觀洙	末光　眞希
	多芯プラスチック光ファイバの光伝送・センサ応用に関する研究	佐生　誠司	末光　眞希
	原子拡散接合法による室温接合技術を用いた紫外線LEDの高効率化に関する研究	市川　将嗣	島津　武仁
	脳型計算を模倣した断熱的量子計算アルゴリズムとそのハードウェア構成に関する研究	刑部　好弘	佐藤　茂雄
	Spin-Orbit Torque Controlled Antiferromagnet/Ferromagnet Heterostructures for Nonvolatile Memory and Neuromorphic Computing （スピン軌道トルクを用いた反強磁性/強磁性ヘテロ構造の制御とその不揮発メモリ、脳型情報処理応用）	ALEKSANDR KURENKOV	大野　英男
	Studies on Graphene Electrodes for Organic Light-emitting Diodes Application （有機発光ダイオード用グラフェン電極の研究）	申　眞旭	末光　眞希
情報基礎科学専攻	Agent-Based Function Synthesis Framework for Human-Centered Systems （人間中心システムのエージェント指向機能合成フレームワークの研究）	加藤　匠	木下　哲男
	自律的ネットワーク運用のための管理知識の利用手法に関する研究	谷村　優介	木下　哲男
システム情報科学専攻	A Study on High-speed 3D Model Retrieval （3次元モデル検索の高速化に関する研究）	VICKY SINTUNATA	北村　喜文
	A Study on Blurred Image Matching Based on Local Image Moments （局所画像モーメントに基づくブラー画像マッチングに関する研究）	童　強	北村　喜文
応用情報科学専攻	契約概念に基づく利用者指向センサデータ流通基盤に関する研究	生出　拓馬	菅沼　拓夫
医工学専攻	生体神経回路機能のセンシングと人工再構成に関する研究	松村　亮佑	平野　愛弓

第４　研　究

１．研究成果の掲載・公表状況

区　分	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
トピックス （新聞記事等）	71	69	55	69	55

２．トピックス一覧

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
1	春の園遊会招待者	2017/4/6	讀賣新聞	中沢　正隆
2	ネットに頼らず	2017/4/7	日刊工業新聞	村岡　裕明
3	きがるにワーク：日本語の色表現変化，水色と青色区別30年前より増加	2017/4/9	河北新報	塩入研究室
4	波聞風問　日本発の半導体 問われる中核産業の将来図	2017/4/11	朝日新聞	舛岡　富士雄 （名誉教授）
5	東北大、成果に応じ評価 産学共同研究の博士学生　企業資金で支援	2017/4/13	日刊工業新聞	東北大学 電気系部局
6	銅薄膜内の誘起磁化　膜面に垂直　実証 東大など	2017/4/14	日刊工業新聞	白井　正文 辻川　雅人
7	シンプルな構造のムカデロボ	2017/4/20	日経産業新聞	石黒　章夫 大脇　大 （助教）
8	緑色なのに「青信号」と呼ぶのはなぜ？ー大学教授に聞いてみた	2017/4/27	マイナビニュース	栗木　一郎 （准教授）
9	真にランダムな偏光　単一光子、発生に成功 東北大、量子暗号開発加速	2017/5/4	日刊工業新聞	枝松　圭一 阿部　尚文 （教育研究支援者）
10	３Ｍで光ファイバー通信の限界を超える ２０３０年に１０００倍の性能向上目指す	2017年5月号	日経コミュニケーション（月刊誌）	中沢　正隆
11	走る速さに合わせて足並みを変える四脚ロボット	2017年6月号 （2017.5.10 発行）	子供の科学 （月刊誌）	石黒　章夫 大脇　大 （助教）
12	「共創」を科学で解き明かせ	2017/5/19	日本経済新聞	木下研究室
13	知るコレ！今週のテーマ「色」：時代で変化する名前	2017/5/21	中日新聞	塩入研究室
14	安藤博記念学術奨励賞 伊藤筑波大准教授ら選定	2017/5/29	日刊工業新聞	金井　駿 （助教）
15	「きもかわいい」ムカデ型ロボット くねくね安定走行　岡山理科大などが開発	2017/6/2	日刊工業新聞	石黒　章夫 大脇　大 （助教）
16	東芝危機の原点　自社発の独創　見過ごす	2017/6/16	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
17	研究コラム：脳のなかの色、言葉のなかの色ー「青々とした緑」という言葉のウラにあるもの	2017/6/16	アカデミストジャーナル	塩入研究室
18	目指すは「美しい研究」 佐野雅己・東大教授	2017/6/28	讀賣新聞	佐野　雅己 (1999年度まで通研に在籍)
19	東北大　全学横断プロジェクト 「社会にインパクトある研究」　7分野30種本格スタート	2017/7/14	日経新聞	電気通信研究所など
20	「インパクトある研究」始動	2017/7/21	日経産業新聞	電気通信研究所など
21	超広帯域アンテナ研究評価 IEEEが東北大にマイルストーン賞	2017/7/28	河北新報	虫明　康人 (名誉教授)
22	電圧効果で原子変形 超省エネ磁気メモリ実現 阪大、JASRIなど新原理発見	2017/7/28	科学新聞	白井研究室
23	光増幅器が世界変えた	2017/9/21	中日新聞	中沢研究室
24	日本人４年連続なるか　ノーベル賞発表迫る	2017/9/22	日刊工業新聞	大野　英男
25	全方向からの音再現　東北大、音響システムＶＲ向け用途想定	2017/10/12	日経産業新聞	坂本　修一 (准教授)
26	手が届く３９大学はここだ 研究者の厚みから「ノーベル賞に近い」大学が見えた	2017/10/16	週刊アエラ	中沢　正隆 大野　英男
27	東北大学長に大野氏　電気通信研究所長	2017/10/19	讀賣新聞	大野　英男
28	東北大次期総長　大野氏　来春就任	2017/10/19	河北新報	大野　英男
29	東北大次期総長　世界トップ３０に挑戦 産学連携推進へ抱負	2017/10/19	河北新報	大野　英男
30	時の人　東北大次期総長に決まった 大野 英男さん　開拓精神のばしていく	2017/10/19	河北新報	大野　英男
31	東北大次期学長候補に大野氏 電気通信研究所長	2017/10/19	日経新聞	大野　英男
32	登場　東北大次期学長候補　大野 英男氏 「挑戦する大学」合言葉	2017/10/19	日経新聞	大野　英男
33	東北大総長　大野氏就任へ	2017/10/19	朝日新聞	大野　英男
34	東北大、総長に大野英男氏	2017/10/19	日刊工業新聞	大野　英男
35	製造革新の再評価　量から質　転換もたらす	2017/10/20	日経産業新聞	舛岡　富士雄 (名誉教授)
36	東北大　次期学長に大野氏 電気通信研究所長「産学連携を」	2017/10/20	毎日新聞	大野　英男
37	情報通信研究９人に奨励賞　石田実記念財団	2017/11/26	河北新報	亀田　卓 (准教授) 坂本　修一 (准教授)

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
38	５年後の未来を探せ 鈴木陽一　東北大学教授に聞く 聴覚からのＶＲ技術の充実に向けて	2017 Winter	KDDI Nextcom Vol.32 2017 Winter	鈴木　陽一
39	ロボット革命　脚とれても歩き続けるロボ 故障を前提に機能設計 宇宙や災害現場で活用	2017/12/18	日刊工業新聞	石黒　章夫 加納　剛史 （准教授）
40	ヒトデのように動くロボ　東北大 腕壊れても即座に適応	2017/12/20	日経産業新聞	石黒　章夫
41	５本腕のクモヒトデ型ロボット登場 想定外にも対処、東北大など開発	2017/12/23	産経新聞	石黒研究室
42	２０１７年　マイナビニュース「科学分野」 の年間アクセスランキングトップ３	2017/12/28	マイナビ ニュース	栗木　一郎 （准教授）
43	特集：色と言葉（色名）の関係	2017/12/31	まなびの杜 （東北大学）	塩入研究室
44	科学トピックス　クモヒトデがモデルのロボ 腕一本でも移動再開 災害現場でタフな活躍期待	2018/1/25	讀賣新聞	石黒　章夫
45	今年度共同プロ研究発表会 東北大、来月２２日	2018/1/31	日刊工業新聞	電気通信研究所
46	磁石の性質使う新メモリー 容量ＤＲＡＭの１０倍 東北大、微細な素子開発	2018/2/19	日経新聞	大野　英男 深見　俊輔 （准教授）
47	生物に学ぶロボット② 壊れても動き続ける「ヒトデ」	2018/2/25	日経新聞	石黒　章夫
48	東北大学が新部局長発表	2018/3/9	河北新報	電気通信研究所
49	矢崎科学技術振興記念財団第35回研究助成金 贈呈式	2018/3/15	交通毎日新聞	大塚研究室
50	矢崎科学技術振興記念財団研究助成金・矢崎 学術賞など決定	2018/3/16	科学新聞	大塚研究室
51	矢崎財団リチウム電池など研究に助成・援助	2018/3/17	燃料油脂新聞	大塚研究室
52	東北大、脳内の色情報計算に関する新しいモ デルを提案	2018/3/20	日経速報 ニュース アーカイブ	栗木　一郎 （准教授）
53	29年度研究助成者を決定 矢崎科技振記念財団　贈呈式開く	2018/3/26	プロパン新聞	大塚研究室
54	矢崎財団学術賞に忍久保氏、大塚氏 研究助成金は15人	2018/3/26	電線新聞	大塚研究室
55	文部科学省人事	2018/3/28	朝日新聞	大野　英男

３．科学研究費助成事業採択一覧（平成29年度研究代表者）

研究種目	氏名	29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
特別推進研究	中沢　正隆	77,100	446,000	多機能なコヒーレントナイキストパルスの提案とそれを用いた超高速・高効率光伝送技術	26	30
	大野　英男	39,500	447,300	スピントロニクスを用いた人工知能ハードウェアパラダイムの創成	29	33
新学術領域研究公募研究	吹留　博一	2,000	4,000	単一分子の物性とデバイス特性のギャップを埋める時空間オペランドX線分光の開拓	28	29
	栗木　一郎	2,900	6,100	質感知覚における輝度ヒストグラム部分情報と空間サイクル数の寄与	28	29
	塩入　諭	2,700	5,600	フラッシュラグ効果を用いた質感処理過程の同定	28	29
	ＳＡＤＧＲＯＶＥ　ＭＡＲＫ	3,500	7,000	Optical pulling force using a nanowaveguide	29	30
基盤研究(S)	羽生　貴弘	94,600	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	19,900	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	23,600	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)	北村　喜文	9,100	33,700	人の細かい手作業計測のための3次元6自由度モーションセンサシステムの実現と応用	27	29
	鈴木　陽一	11,800	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	7,300	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	6,400	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
基盤研究(B)	大堀　淳	1,700	6,300	ML系多相型言語SML#の実用化技術に関する基礎研究	25	29
	栗木　一郎	3,400	15,400	脳内における順行性・遡行性の視覚信号の相互作用	27	29
	吹留　博一	2,600	13,000	二次元原子薄膜の材料物性とデバイス特性を繋ぐオペランド顕微光電子分光	27	29
	亀田　卓	4,100	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
	加納　剛史	3,700	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	3,900	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
基盤研究(C)	山末　耕平	1,100	3,900	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	27	29
	菊池　健太郎	900	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	700	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	1,100	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	1,000	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
	高嶋　和毅	1,400	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	1,200	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
	夏井　雅典	1,300	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

研究種目	氏名	29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
挑戦的萌芽研究	栗木　一郎	600	2,900	両眼合成周波数 SSVEP による視覚的注意の空間分布の計測	27	29
	本間　尚文	1,700	2,600	組込みシステムへのサイバー・フィジカル協調型攻撃を防ぐ命令シーケンス構成法の開拓	28	29
	塩入　諭	800	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	1,500	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
	尾辻　泰一	1,100	2,800	半導体二次元プラズモニックブームの発生とそのテラヘルツ応用	28	29
挑戦的研究（萌芽）	枝松　圭一	3,200	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	2,100	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	3,300	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	3,100	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	3,000	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
若手研究(A)	深見　俊輔	1,700	11,700	極微細世代における新規磁壁移動方式の研究と3次元デバイスへの展開	27	29
	金井　駿	3,400	9,900	磁性体／絶縁体界面磁気異方性の電界制御の研究	28	29
若手研究(B)	上野　雄大	900	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
	秋間　学尚	1,100	3,100	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の集積化に関する研究	27	29
	ＴＲＥＶＩＮＯ　ＪＯＲＧＥ	1,200	2,900	Spatial sound presentation systems for active listening	28	29
	ＳＡＬＶＡＤＯＲ　ＣＥＳＡＲ	1,900	3,100	Perceptual constancy in spatial hearing	29	30
	渡辺　隆之	1,800	3,300	電流注入型グラフェンテラヘルツプラズモニッククレーザーの創出	29	31
	横田　信英	2,700	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	本間　尚文	0	11,100	ガロア体算術演算に基づくVLSIデータパスの形式的設計技術の開拓（国際共同研究強化）	28	29
	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（国際共同研究強化）	28	30
	亀田　卓	10,800	10,800	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）	29	31
	夏井　雅典	10,200	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

※基金分については2017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25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
民間等との共同研究	件数	35	33	33	34	39
	金額	57	66	48	32	74
受託研究	件数	33	22	24	24	16
	金額	511	496	586	429	180
奨学寄付金	件数	15	16	22	36	30
	金額	38	17	14	36	41

５．受賞・表彰件数

区　　分	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
叙勲・受賞・表彰	38	40	41	50	52

６．　受賞・表彰者一覧

団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
文部科学省 平成29年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 科学技術賞(開発部門)	大野　英男	スピントロニクス	STT-RAM大容量化回路技術に関する先駆的研究開発	平成29年4月19日
2017 IEEE International Magnetics Conference, Best Poster Award	Mathias BERSWEILER	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	″An interfacial anisotropy and Gilbert damping constant of double (Co)FeB-MgO interface structure of MgO/(Co)FeB/MgO″	平成29年4月28日
日本磁気学会 MSJ論文奨励賞	秋田谷　尚紀	情報ストレージシステム	傾斜異方性記録媒体の単粒子における磁化反転時間の検討	平成29年5月1日
第42回（2017年春季） 応用物理学会講演奨励賞	BORDERS A. William	スピントロニクス	An Analogue Spin-Orbit Torque Device for an Artificial Neural Network (H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno)	平成29年5月12日
情報処理学会論文誌 ジャーナル特選論文	北村　喜文 高嶋　和毅 大山　貴史 浅利　勇佑	情報コンテンツ	「自律移動・変形する壁型ディスプレイの設計と実装」，情報処理学会論文誌ジャーナル Vol.58 No.5, pp. 1049-1060.　本発表論文を多くの研究者が参照すべきとして，情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文に選定	平成29年5月15日
財団法人みやぎ産業科学振興基金 平成29年度研究奨励賞	吉田　真人	超高速光通信	「高速大容量デジタルコヒーレント伝送に関する多大な貢献」	平成29年5月20日
電気学会 技術委員会奨励賞	金子　舜	情報ストレージシステム	「ボラタイルメモリストレージシステム向けのデータレイアウトと保護方式の検討」	平成29年5月29日
情報処理学会 東北支部奨励賞	横山　真悟	コミュニケーションネットワーク	エージェント型IoTシステムにおける適応制御機構の設計と実装	平成29年6月7日
情報処理学会 東北支部奨励賞	加藤　健太郎	新概念VLSIシステム	Approximate Computingに基づく脳型LSIの高精度・省電力・省面積実装技術の一考察	平成29年6月7日
一般財団法人安藤研究所 第30回安藤博記念学術奨励賞	金井　駿	スピントロニクス	強磁性体/酸化物界面の電界制御とその記憶素子応用	平成29年6月24日
Best Poster Award 国際会議 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9)	松村　亮佑	ナノ・バイオ融合分子デバイス	Frequency characterics of morphology controlled neurons on microcontact printed protein patterns（マイクロ加工表面を用いた単一神経細胞のパターニングとその周波数応答特性の制御）に関する研究	平成29年6月27日
電子情報通信学会 2017年総合大会・エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞（光半導体およびフォトニクス分野）	三枝　慈	応用量子光学	混合変調法による半導体レーザの変調特性制御	平成29年7月7日
42nd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2017) Outstanding Student Paper Award, the Third Place	YADAV　Deepika	超ブロードバンド信号処理	IRMMW-THz 2017における学生が主著・登壇した発表論文の中で最も優れた３件の発表者に対して授与. 受賞課題　″Terahertz Light Emitting Transistor based on Current Injection Dual-Gate Graphene-Channel FET.″	平成29年8月30日

団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
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（CDS）研究会・モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム研究会） 第5回学生スマートフォンアプリコンテスト優秀賞	長澤　弘輝 土田　大樹 片山　健太 和田　信也 伊東　拓歩 若張　直紀 門脇　伸明 河間　勇気 福谷　遼太	コミュニケーションネットワーク	応募作品「ほっとSpeech」に対する表彰	平成29年8月30日
応用物理学会 第11回（2017年度）フェロー表彰	末光　眞希	固体電子工学	「IV族系ガスソースMBEとSi上エピタキシャルグラフェンの研究」	平成29年9月5日
2017年応用物理学会春季学術講演会 第7回英語講演奨励賞	BORDERS A. William	スピントロニクス	″An analogue spin-orbit torque device for an artificial neural network″	平成29年9月5日
エンタテインメントコンピューティング2017ベストペーパー賞	鈴木　陽一 坂本　修一 崔　正烈 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29年9月17日
エンタテインメントコンピューティング2017ベストデモ賞（一般投票）	北村　喜文 高嶋　和毅 大西　悠貴 工藤　義礎	情報コンテンツ	自走式ディスプレイの回転と並進を用いたコンテンツの表現の拡張の試み	平成29年9月18日
エンタテインメントコンピューティング2017ベストビデオ賞	北村　喜文 高嶋　和毅 市川　将太郎	情報コンテンツ	世界樹とブロックのメタファによる探索型インタフェースを活用したVR Safari Parkの試作	平成29年9月18日
日本ソフトウェア科学会 第21回研究論文賞	外山　芳人 菊池　健太郎	コンピューティング情報理論	受賞論文名「項書き換えシステムの変換を利用した帰納的定理自動証明」	平成29年9月19日
日本ソフトウェア科学会 第6回解説論文賞	大堀　淳	ソフトウェア構成	「LR構文解析の原理」	平成29年9月19日
公益社団法人日本磁気学会 第40回学術講演会 学生講演賞(桜井講演賞)	松本　悠人	生体電磁情報	パルスレーザバースト変調による交流磁界分布測定	平成29年9月20日
3rd ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Best Poster Award	張　超亮	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	″Spin-orbit torque induced magnetization switching in nano-scale Ta/CoFeB/MgO dots″	平成29年9月25日
日本学術振興会 平成29年度「科研費」審査委員	大堀　淳	ソフトウェア構成	「有意義な審査意見を付していただいた審査委員」	平成29年10月23日
2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), 2nd Prize, IEEE GCCE 2017 Student Paper Award	木下　哲男 高橋　秀幸 片山　健太 横山　真悟	コミュニケーションネットワーク	Evacuation Guidance Support Using Cooperative Agent-based IoT Devices	平成29年10月26日
一般財団法人石田實記念財団 平成29年度研究奨励賞	亀田　卓	先端ワイヤレス通信技術	異種通信システムを融合したディペンダブル無線通信ネットワークに関する研究	平成29年11月24日
一般財団法人石田實記念財団 平成29年度研究奨励賞	坂本　修一	先端音情報システム	3次元音空間の高精度収音・再生技術に関する研究	平成29年11月24日
日本音響学会東北支部 若手研究者優秀論文賞	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29年11月27日

団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
平成29年度スピニクス特別研究会 Best Student Presentation Award	松本　悠人	生体電磁情報	パルスレーザバースト変調方式での高周波回路近傍磁界分布計測	平成29年11月28日
一般財団法人青葉工学振興会 第11回青葉工学振興会賞	深見　俊輔	スピントロニクス	「新規スピントロニクス素子の開拓と集積回路・脳型情報処理応用」	平成29年12月1日
IEEE Sendai Student Awards 2017 (The Best Paper Prize)	門脇　伸明	コミュニケーションネットワーク	Reactive network construction method considering user activity（共著者：門脇伸明，笹井一人，北形元，木下哲男）	平成29年12月7日
Best Poster Award 国際会議 11th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2017)	山浦　大地	ナノ・バイオ融合分子デバイス	Modified aperture surface with self-assembled monolayer enhanced stability of suspended lipid membrane（マイクロ開孔基板表面の自己組織化単分子膜修飾による自立型脂質二分子膜の安定性向上）に関する研究	平成29年12月14日
電子情報通信学会 マイクロ波研究会 学生研究優秀発表賞	古市　朋之	先端ワイヤレス通信技術	電子情報通信学会マイクロ波研究会で行った「広帯域ダイレクトRFアンダーサンプリング周波数センサにおける受信RF周波数特定法の検討 」の論文発表	平成29年12月20日
第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2017）優秀講演賞	石黒　章夫 宮澤　咲紀子	実世界コンピューティング	「脚の役割分担を自発的に生成可能な6脚歩行の脚内協調制御則」	平成29年12月23日
米国電気電子学会（IEEE） フェロー授与	大野　英男	スピントロニクス	for contributions to materials and device design for spintronics 「スピントロニクスにおける材料とデバイス設計に関する貢献」	平成30年1月5日
独立行政法人 日本学術振興会 第14回(平成29年度) 日本学術振興会賞	本間　尚文	環境調和型セキュア情報システム	「算術演算ハードウェアアルゴリズムの理論構築と暗号ハードウェア設計への応用」	平成30年2月7日
DA・TE・APPS！2018 ITコンテストの課題解決型スマホアプリ部門 最優秀賞	菅原　諒 工藤　義礎 天間　遼太郎 市川　将太郎 大西　悠 貴林　大悟	情報コンテンツ	作品名　PICK	平成30年2月10日
電子情報通信学会スマート無線研究専門委員会 2017年論文賞	末松　憲治 亀田　卓 前畠　貴	先端ワイヤレス通信技術	1-bit BP-DSM 方式デュアルバンド変調器における非対称波形成分を考慮したひずみ抑圧法	平成30年3月2日
NCSP’2018 Student Paper Award	野田　美春	先端音情報システム	受賞論文名 「Detection threshold of auditory apparent motion during linear self-motion」	平成30年3月7日
矢崎科学技術振興記念財団 矢崎学術奨励賞	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3月8日
東北大学 電気・情報系研究教授会・ 平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	金井　駿	スピントロニクス	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日
東北大学 電気・情報系研究教授会・ 平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	横田　信英	応用量子光学	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日
東北大学 電気・情報系研究教授会・ 平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	松本　伸之	量子光情報工学	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日

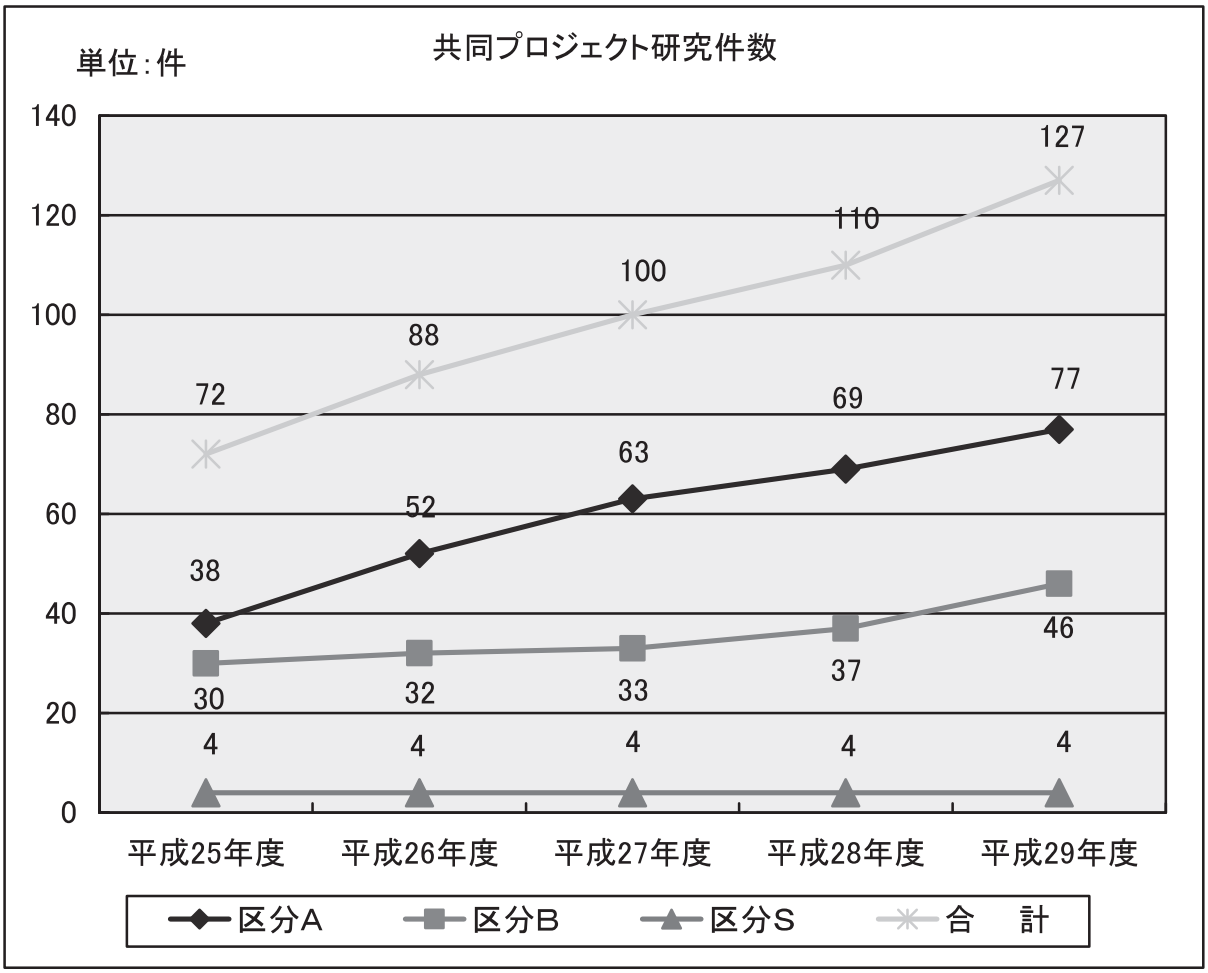
団体名・賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
東北大学 電気・情報系研究教授会・平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	金子　沙永	高次視覚情報システム	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日
東北大学 電気・情報系研究教授会・平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	山本　英明	ナノ・バイオ融合分子デバイス	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日
東北大学 電気・情報系研究教授会・平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	鬼沢　直哉	新概念VLSIシステム	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日
東北大学 電気・情報系研究教授会・平成29年度電気･情報系若手優秀研究賞	鈴木　大輔	新概念VLSIシステム	優れたジャーナル等に筆頭論文が多数掲載された若手研究者	平成30年3月13日
一般社団法人電子情報通信学会フェロー称号	堀尾　喜彦	ソフトコンピューティング集積システム	脳型情報処理とそのハードウェア実現技術に関する研究	平成30年3月22日
電子情報通信学会2017年度学術奨励賞	古市　朋之	先端ワイヤレス通信技術	2017年度電子情報通信学会ソサイエティ大会で行った「広帯域ダイレクトRFアンダーサンプリング周波数センサにおける受信周波数特定のためのクロック周波数切り替え条件の検討」の論文発表	平成30年3月22日
電子情報通信学会2017年度学術奨励賞	吉野　長浩	先端ワイヤレス通信技術	2017年度電子情報通信学会ソサイエティ大会で行った「28GHz帯ダイレクトRFアンダーサンプリング受信用サンプルホールドCMOS IC」の論文発表	平成30年3月22日
電子情報通信学会2017年度学術奨励賞	秋元 浩平	先端ワイヤレス通信技術	2017年電子情報通信学会総合大会で行った「ミリ波帯WBANのための簡易伝搬モデルを用いたユーザ間干渉量の評価」およびソサイエティ大会で行った「人体ブロッキングによる減衰量の測定に基づくミリ波帯WBAN間干渉の検討」の論文発表	平成30年3月22日
平成29年度工学部長賞	若張　直紀	コミュニケーションネットワーク	卓越した学業成果	平成30年3月26日

7．発表論文数

区　分		25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
査読付学術論文	英文	156	126	129	151	147
	和文	12	15	10	8	7
	計	168	141	139	159	154
査読付国際会議		287	255	239	277	255
解説・総説		15	11	9	12	17
査読付国内会議、査読なし国内研究会・講演会		363	282	302	386	356

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）

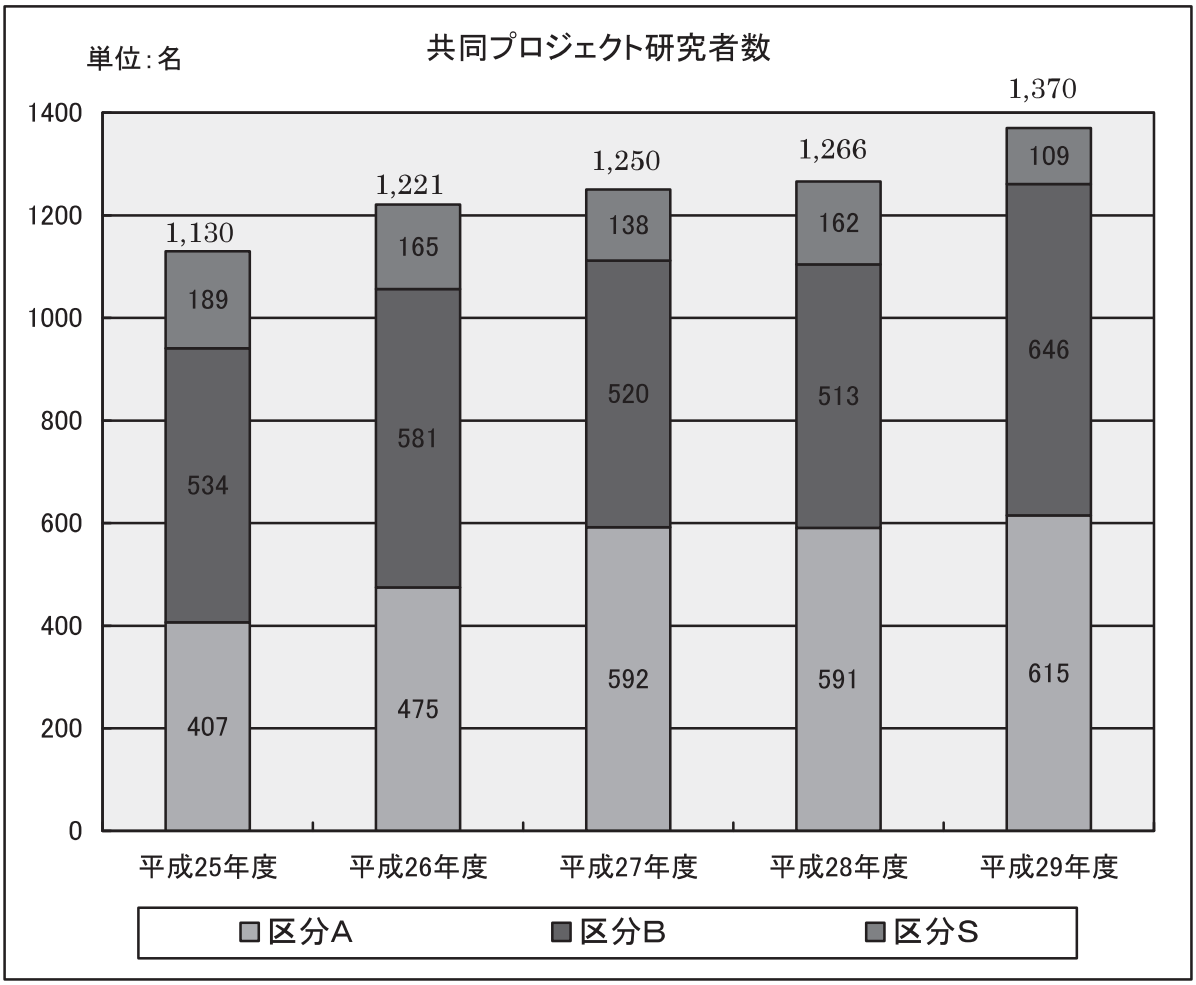
区　分	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
区分Ａ	38	52	63	69	77
区分Ｂ	30	32	33	37	46
区分Ｓ	4	4	4	4	4
合　計	72	88	100	110	127

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 29 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：9 件
・若手研究者対象型：9 件
・萌芽的研究支援型：46 件
・先端的研究推進型：59 件
・国際共同研究推進型：39 件
・産学共同研究推進型：16 件
・その他：2 件

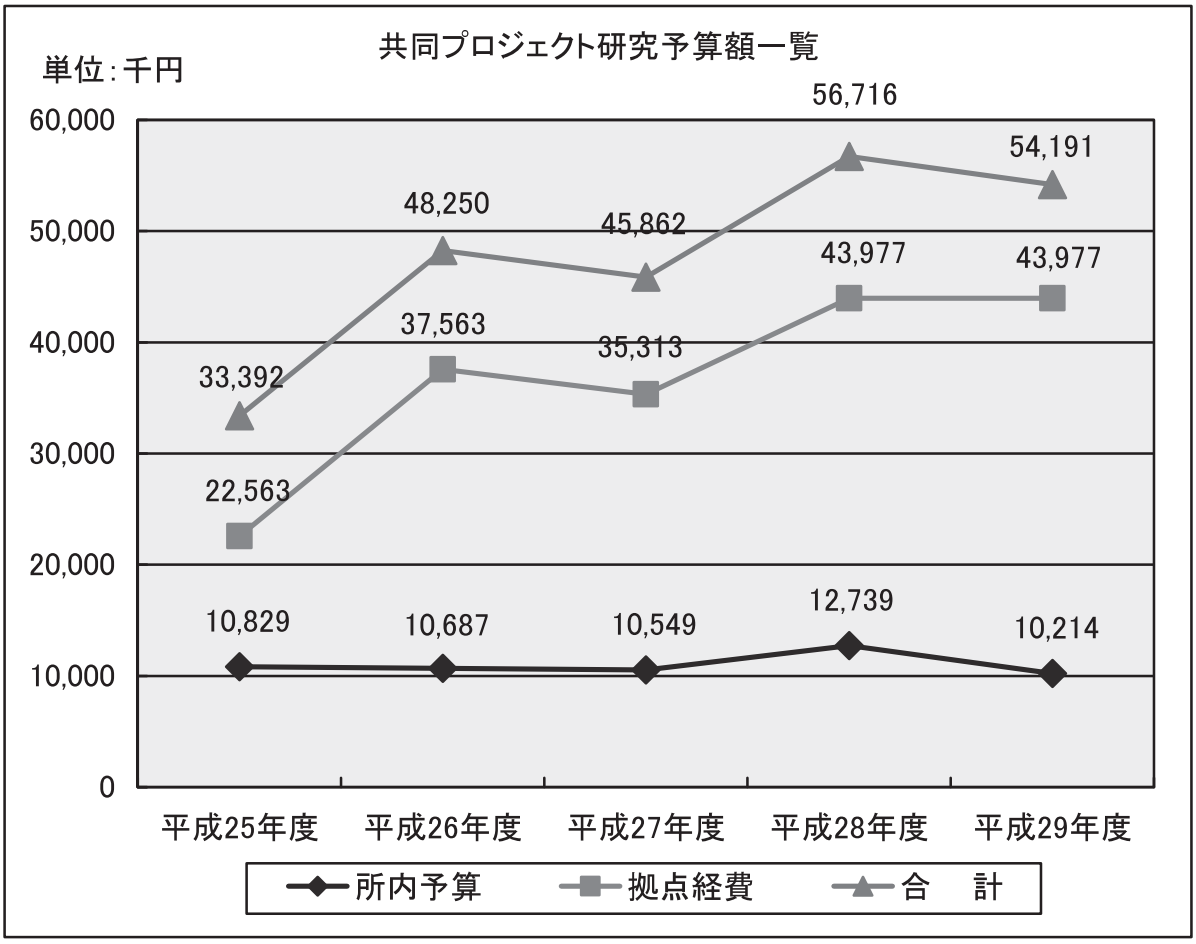
２．共同プロジェクト研究者数



（単位：名）

	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
区分Ａ	407	475	592	591	615
：うち民間	30	26	26	26	27
区分Ｂ	534	581	520	513	646
：うち民間	49	48	38	46	60
区分Ｓ	189	165	138	162	109
：うち民間	0	0	0	0	0
計	1, 130	1, 221	1, 250	1, 266	1, 370

3．共同プロジェクト研究予算額



（単位：千円）

区　　分	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
所内予算	10, 829	10, 687	10, 549	12, 739	10, 214
拠点経費	22, 563	37, 563	35, 313	43, 977	43, 977
合　　計	33, 392	48, 250	45, 862	56, 716	54, 191

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300㎜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。
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。
3.スピントロニクスを用いた人工知能ハードウェアパラダイムの創成	科学研究費補助金特別推進研究(総額予算未定(約5億円))	H29-33年度 大野英男教授、深見俊輔准教授(東北大学)	人工知能ハードウェアパラダイムの創成を念頭に、不揮発性スピン素子を用いた人工知能ハードウェアとしての集積回路を設計実現する。(H28/B01、H28/A16)
4.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。
5.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)
6.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)
7.二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
8.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)
9.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)
10.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。
11.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)
12.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)
13.「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点の整備	文部科学省・国立大学法人等運営費交付金　機能強化経費（共通政策課題分）（H29 年度予算5,353万円）	H29年度 センター長：大野英男 （拠点機関：東北大学、東京大学、大阪大学、慶應義塾大学）	スピントロニクス研究開発の格段の推進を目的として、スピントロニクス学術連携研究教育センターを４拠点大学に設置し、全国の有力研究機関を結ぶ全日本体制のネットワーク型研究拠点を形成し、世界をリードする。 H29年度は上記センター教員を中心としてスピントロニクスデバイス・集積システムに関する共同研究プロジェクト（42件）を実施した。また、拠点機関の連携により、国内外の学生や企業研究者向けスクールを開催し、次世代研究者の育成に努めた。
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.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。
16.マルチテ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)
17.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)
18.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)

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
19.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。
20.ヨッタスケールデータの研究プラットフォームの構築	東北大学学際科学フロンティア研究所「学際研究重点プログラム」 (総額予算2,500万円)	H27.10.1-H30.3.31	情報の量と質、価値に関する工学的技術体系と文系的知識体系を共有、議論することから創発効果を生み出すためのプラットフォームを構築する。本研究は共同プロジェクト研究(H28/B14)と連携して推進し、H30年度国立大学法人機能強化促進費の獲得につながった。
21.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。
22.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。
23.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、塩入論教授、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。
24.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)
25.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。
26.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。
27.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。
28.オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究	科学研究費助成事業新学術領域研究 （400万円）	H28-29年度 吹留博一准教授	本研究は、本共同研究プロジェクト研究成果(グラフェン成長およびデバイスの精密制御)から発展させた、グラフェン・デバイスの電子状態を高時間分解能(<100ps)高空間分解能(<100nm)で動作条件下で観察するというオペランド分光を用いた研究を含む科研費・新学術領域研究の公募研究として採択されたものである。

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
29.音環境センサネットワークを活用した「よく聴こえる」拡声システム	公益財団法人立石科学技術振興財団(総額予算315万円)	H29年度 小林洋介助教(室蘭工業大学)	本研究開発では、屋外での音声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「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。
30.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。
31.THz帯動作の実現に向けたDual-gate型グラフェントランジスタの機構解明	情報通信研究機構-東北大学マッチングファンド(160万円)	H29年度 吹留博一(電気通信研究所) 渡邊一世(情報通信研究機構)	本研究では、グラフェンの弱点であるドレイン電流の非飽和を克服すべく新たなデバイスの提案、機構解明、および、デバイス構造のナノスケール最適化を行った。その結果、ドレイン電流が飽和するグラフェンFETの開発に成功した。
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。

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

２．本研究所教員が編集員をしている国際ジャーナル

1. Acoustical Science & Technology
2. Applied Acoustics
3. Electronic Journal of Surface Science and Nanotechnology
4. IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems
5. IEEE Virtual Reality Journal Track
   (IEEE Transactions on Visualizaton and Computer Graphics)
6. IEICE Transactions on Communications (EB)
7. International Journal of Energy, Information and Communications
8. Journal of Cryptographic Engineering
9. Journal of informatin hiding and multimedia signal processing
10. Mobile Information Systems
11. Neural Networks
12. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
13. Scientific Reports (Nature Publishing Group)
14. 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. 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics
3. 15th RIEC International Workshop on Spintronics
4. 2017 Asian Pacific Conference on Vision
5. 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (IFAAP 2018)
6. 5th ACM International Conference on Nanoscale Computing and Communication (ACS-NanoComm)
7. 9th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
8. ACM Conference on Interactive Surfaces and Spaces 2017
9. ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia 2017
10. ACM Symposium on Spatial User Interface 2017
11. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST) 2017
12. ACSIN14 & ICSPM26
13. Asia-Pacific Microwave Conference 2018
14. Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices(AWAD)
15. European Material Research Society Fall Meeting 2018 (MRS-E Fall Meeting)
16. European Microwave Week 2018
17. IEEE International Sympoisum on Asynchronous Circuits and Systems 2019
18. IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic 2017
19. Int. Conf. on Micro- and Nano-Electronics (ICMNE)
20. International Conference on Artificial Reality and Telexistence & Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE) 2017
21. International Conference on Cryptographic Hardware and Embedded Systems 2017
22. International Conference on InfraRed, MilliMeter Wave and TeraHerz (IRMMW-THz 2018)
23. International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR)
24. International Conferences on Modern Materials & Technologies (CIMTEC)
25. International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS)
26. Korea-Japan Microwave Workshop (KJMW2017)
27. Optical Nanofibre Applications: From Quantum to Bio Technologies
28. RIEC International Symposium on Photonics and Optical Communications (ISPOC2017)
29. RIEC Russia-Japan Joint International Microwave Workshop 2017
30. Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies 2018 (RJUSE 2018)

31. Technical Committee of Multiple-Valued Logic, IEEE Computer Society 2017
32. The 2018 International Workshop on Pervasive Flow of Things (PerFoT)
33. The 31st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2017)
34. The 3rd International Symposium on Intelligent Systems Technologies and Applications (ISTA'17)
35. The 5th International Symposium on Brainware LSI
36. The 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics 2017 (GCCE2017)
37. The 6th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT-2018)
38. The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
39. The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)
40. The 9th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS 2017)
41. The International Multisensory Research Forum 2017 (IMRF2017)
42. The Twelfth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP2017)
43. Tohoku-Purdue Workshop on Novel Spintronics Physics and Materials for Future Information Processing
44. Tohoku-York-Kaiserslautern 6th Core-to-core Workshop on "New-Concept Spintronics Devices"
45. Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM)
46. VLSI Circuits Symposium 2017

４．国際学会における招待講演数

区分	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
招待講演数	89	106	69	73	97

５．国際共同研究の実施状況

実施状況(件数)	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
	46	52	59	84	106

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～	上原研
米国	Bruker Surfaces Business	新型SNDM(走査型非線形誘電率顕微鏡)の開発	H26.3～H29.4	長研
英国	The University of York	磁性体／半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究	H26.4～H29.3	白井研
英国	The University of York	磁性体/半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究	H29.4～	白井研
ポーランド	Polisha Academy of Sciences	磁性半導体の電子構造に関する研究	H11.4～	大野研
英国	The University of York	CoFeB-MgO界面の界面磁気異方性の温度依存性	H23.6～	大野研
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～	大野研
シンガポール	Nanyang Technological University	CoFeB/MgO中の磁化ダイナミクスに関する研究	H27.1～	大野研
スウェーデン	University of Gothenburg	CoFeB-MgOナノ磁気トンネル接合中のスピン波共鳴	H27.2～	大野研
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～	大野研
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～	大野研
英国	The University of York	磁壁クリープ薄膜の構造解析	H27.6～	大野研
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～	大野研
スウェーデン	University of Gothenburg	CoFeB-MgO磁気トンネル接合を用いた発振現象に関する研究	H28.11～	大野研
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～	大野研
英国	The University of York	ナノ磁性体の磁化反転機構に関する研究	H28.4～H29.3	大野研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
スウェーデン	University of Gothenburg	微細スピントロニクスデバイスにおける電気的手法による高速磁化反転に関する研究	H28.4～H29.3	大野研
ポーランド	University of Bialystok	CoFeB中のスピン波励起に関する研究	H28.8～	大野研
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～	大野研
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～	大野研
英国	The University of York	反強磁性ヘテロ構造の結晶構造解析	H30.3～	大野研
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～	大野研
米国	University of Chicago	酸化物材料の量子情報応用	H30.3～	大野研
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
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
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
カナダ	McMaster University	コヒーレントナイキストパルス伝送における非線形波形歪みの解析とその補償技術の開発	H28.11～H29.7	中沢研
インド	Karunya University	グラフェン技術を用いた次世代巨大磁気抵抗スピントロニクスデバイスの開発	H26.10～H28.8	末松研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ロシア	St.Petersburg Electrotechnical University	ダイレクトディジタルRF変復調技術の研究	H26.4～H29.3	末松研
ザンビア	Zambia University	ハイブリッドセミコンダクタ回路技術とその応用	H26.4～H29.3	末松研
イタリア	Trent University	M2M(Machine to machine)伝搬環境改善のためのメタマテリアルおよびリフレクトアレー応用に関する研究	H29.4～	末松研
ザンビア	Zambia University	ダイレクトディジタルRF送受信機の研究	H29.4～	末松研
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
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～	村岡研
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～	村岡研
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～H30.3	尾辻研
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～H30.3	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～H29.3	尾辻研
米国	Rice University	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～H29.3	尾辻研
米国	University at Buffalo, The State University of New York	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～H29.3	尾辻研
スペイン	Universidad de Salamanca	テラヘルツセンシングデバイスに関する日西国際共同研究	H26.4～H29.3	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～H30.3	尾辻研
米国	Rensselaer Polytechnic Institute	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～H30.3	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～H30.3	尾辻研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
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～H30.3	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～H30.3	尾辻研
フランス	University of Savoie	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～H30.3	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～H30.3	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～H30.3	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～H30.3	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～H30.3	尾辻研
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	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～H32.3	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
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	インド理科大学院ナノエレクトロニクス研究センター	無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究	H29.4～	石山研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
オーストラリア	University of Wollongong	多感覚統合への自己身体運動の寄与	H26.4～H29.3	鈴木研
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
ドイツ	Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts	話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響	H27.4～	鈴木研
韓国	Seoul National University	メディア技術の高機能化に関する研究	H27.4～	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
米国	ラトガース大学	自己運動知覚を含む多感覚統合	H29.4～	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
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
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
台湾	Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts	話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響	H29.8～	鈴木研
韓国	Seul National University	メディア技術の高機能化に関する研究	H27.4～	鈴木研
英国	University of Southampton	球座標3次元音響技術に関する研究	H28.3～	鈴木研
米国	University of Nevada, Reno	Cortical color representation in anomalous trichromats	H29.1～	塩入研
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

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 国立台湾大	色名に関する文化差および個人差の研究	H29.4～	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 China Medical University Dr. Sun Yat-sen University National Tschi-hua University	Search Science: an interdisciplinary endeavor	H29.4～	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
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
中国	Microsoft Research Lab - Asia	人と移動体のセンシング・コミュニケーション技術に関する研究	H26.4～H29.3	北村研
スコットランド	University of Edinburgh	細かい手の操作の機械学習とHCIへの応用	H26.4～H29.3	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	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

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
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
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
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
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
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	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
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
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
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～	北村研
スペイン	Technical University of Catalunya	神経信号伝達に関する研究	H28.10～H29.3	平野研
ドイツ	Technical University of Munich	ナノエレクトロニクスのバイオデバイス応用に関する研究	H29.2～	平野研
米国	University of Minnesota	プラズマナノバイオ・医療の基盤確立	H27.4～	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	H27.4～	平野研
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 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

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
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
フランス	国立パリ高等情報通信大学	ガロア体算術演算に基づくVLSIデータパスの形式的設計技術の開拓	H28.9～H29.3	本間研
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
カナダ	University of Toronto	ブレインウェアＬＳＩ国際共同研究	H26.4～H29.3	羽生研
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	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
文部科学省事業	9	4	8	0	4
日本学術振興会事業	8	6	15	17	9
当該法人による事業	39	51	75	60	82
その他	56	37	65	72	71
計	112	98	163	149	166
地域別内訳					
①アジア	35	23	32	47	56
②北米	18	19	50	28	42
③中南米	0	1	0	2	2
④ヨーロッパ	51	52	76	67	62
⑤オセアニア	7	1	0	4	3
⑥中東	0	1	5	0	1
⑦アフリカ	1	1	0	1	0
計	112	98	163	149	166
滞在期間別内訳					
１月以上滞在	17	21	15	27	33
１週間以上１月未満	18	15	14	34	42
１週間未満	77	62	134	88	91
計	112	98	163	149	166

８．研究者の海外派遣状況

区分	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
文部科学省事業	2	22	30	33	25
日本学術振興会事業	49	120	93	105	112
当該法人による事業	21	38	52	38	27
その他	166	89	59	62	102
計	238	269	234	238	266
地域別内訳					
①アジア	36	30	45	39	56
②北米	89	115	92	80	75
③中南米	2	3	5	3	3
④ヨーロッパ	104	114	89	110	120
⑤オセアニア	2	4	3	4	11
⑥中東	4	1	0	2	0
⑦アフリカ	1	2	0	0	1
計	238	269	234	238	266

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

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。	○	○		○	○	継続
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	○	○		○	○	継続
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	○			○	○	継続
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

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
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

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	25 年度 東京	26 年度 仙台	27 年度 東京	28 年度 仙台	29 年度 東京
技術セミナー	186	—	237	—	266
講演会	246	171	247	187	266
〈外部〉	134	120	128	117	150
〈内部〉	112	51	119	70	116
来場者数	269	171	251	187	266

２．通研一般公開参加者数

参加者数	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
	1,975	803	2,687	2,616	2,137

※ 25・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	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
国際学会 フェロー	8	8	9	9	9
国内学会 フェロー	9	11	9	9	9
計	17	19	18	18	18

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	中　沢　正　隆
IEEE	村　岡　裕　明
IEEE	尾　辻　泰　一
IEEE	大　野　英　男
OSA	中　沢　正　隆
米国物理学会	大　野　英　男
米国音響学会	鈴　木　陽　一
英国物理学会評議会	大　野　英　男
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	中　沢　正　隆
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	大　野　英　男
応用物理学会	中　沢　正　隆
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
ソフトウエア科学会	外　山　芳　人

5．学会役員の状況

区　　分	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
国際学会役員	4	4	3	3	3
国内学会役員	10	13	10	10	10
計	14	17	13	13	13

※会長、理事、評議員等

6．学会役員一覧

国際学会（2017）

学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
IEEE Sendai Section	Chair	2016～2017	中沢　正隆
強誘電体応用会議（FMA）	運営・論文委員	2006～現在	長　康雄
Japan-Korea Conference on Ferroelectricity	運営委員	2012～現在	長　康雄

国内学会（2017）

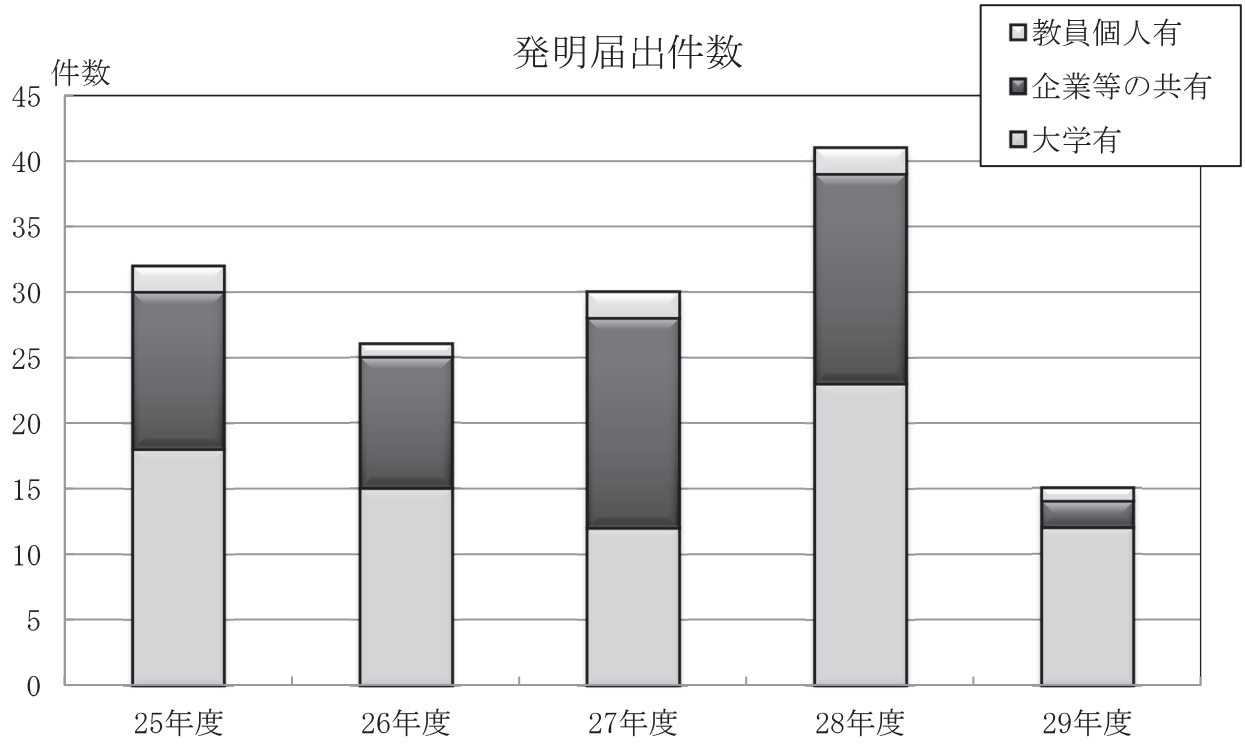
学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
日本神経回路学会	理事	2017～現在	佐藤　茂雄
日本音響学会	理事	2015～現在	坂本　修一
日本音響学会	監査	2015～現在	鈴木　陽一
日本バーチャルリアリティ学会	理事	2014～2017	鈴木　陽一
日本バーチャルリアリティ学会	理事	2016～現在	北村　喜文
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007 年～現在	北村　喜文
日本ソフトウェア科学会	評議員	2015～現在	大堀　　淳
日本磁気学会	理事	2017～現在	石山　和志
日本物理学会	代議員	2015～現在	枝松　圭一
日本表面科学会	ソフトナノテクノロジー研究部会　部会長	2017～現在	平野　愛弓

7．各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

区　分	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
文部科学省関連	33	21	26	5	13
他省庁	19	15	17	22	24
地方公共団体	1	3	1	3	6
財団、学会	22	16	18	34	34
その他	66	64	38	94	66
計	141	119	100	158	143

第８　産学連携

１．発明届出件数、特許出願数、特許登録数



区　　分		25 年度	26 年度	27 年度	28 年度	29 年度
発明届出件数		32	26	30	41	15
	教員個人有	2	1	2	2	1
	企業等の共有	12	10	16	16	2
	大学有	18	15	12	23	12
国内出願数		42	30	28	46	13
国内登録数		19	22	23	18	29
外国出願数（含む PCT 出願数）		19	13	13	25	12
外国登録数		10	8	13	8	6

2．電気通信研究所における技術的相談、指導

区　分	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
技術的相談、指導	58	94	54	95	65

第９　広報活動と情報公開

開催行事

1. 2017年RIECロシアー日本合同マイクロ波国際ワークショップ RIEC Russia-Japan Joint International Microwave Workshop 2017	2017年10月19日(木)～10月20日(金)
2. フォトニクスと光通信に関する国際シンポジウム International Symposium on Photonics and Optical Communications（ISPOC 2017）	2017年10月25日(水)～10月26日(木)
3. 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 RIEC International Symposium on Experience Design and Cognitive Science （The Second ACM SIGCHI Asian Symposium）	2017年11月18日(土)～11月19日(日)
4. 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 15 th RIEC International Workshop on Spintronics	2017年12月13日(水)～12月14日(木)
5. 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 The 6th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2018年2月1日(木)～2月2日(金)
6. ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム The 5th International Symposium on Brainware LSI	2018年2月23日(金)～2月24日(土)
7. 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 The 9th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics	2018年3月1日(木)～3月2日(金)
8. 電気通信研究所工学研究会	随時
9. 電気通信研究所一般公開	2017年10月7日(土)～10月8日(日)
10. 電気通信研究所産学官フォーラム	2017年10月31日(火)
11. 電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会	2018年 2月22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

職員（平成29年５月１日）

所長（併）／教授	Director, Professor	大　野　英　男	Hideo Ohno

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	末　光　眞　希	Maki Suemitsu
教　授（兼）	Professor*	鷲　尾　勝　由	Katsuyoshi Washio
准教授	Associate Professor	吹　留　博　一	Hirokazu Fukidome
准教授（兼）	Associate Professor*	野　崎　友　大	Tomohiro Nozaki
研究員	Research Fellow	朴　　君　昊	Goonho Park
産学官連携研究員	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*	梅　村　晋一郎	Shinichiro Umemura
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	Assistant 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

■ スピントロニクス研究室　Spintronics

教　授	Professor	大　野　英　男	Hideo Ohno
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
准教授	Assistant Professor	深　見　俊　輔	Shunsuke Fukami
准教授（兼）	Associate Professor*	佐　藤　英　夫	Hideo Sato
准教授（兼）	Associate Professor*	角　田　匡　清	Masakiyo Tsunoda
准教授（兼）	Associate Professor*	大　兼　幹　彦	Mikihiko Ogane
准教授（兼）	Associate Professor*	村　口　正　和	Masakazu Muraguchi
助　教	Assistant Professor	金　井　　駿	Shun Kanai
助　教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro

職　員

■ 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	Assistant 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
助　教	Assistant Professor	秋　間　学　尚	Hisanao Akima

■ 磁性デバイス研究室（客員）　Magnetic Devices (Visiting Section)

客員教授	Visiting Professor	廣　畑　貴　文	Atsufumi Hirohata
客員教授	Visiting Professor	鈴　木　基　寛	Motohiro Suzuki

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	中　沢　正　隆	Masataka Nakazawa
教　授（兼）	Professor*	山　田　博　仁	Hirohito Yamada
教　授（兼）	Professor*	松　浦　祐　司	Yuji Matsuura
准教授	Associate Professor	廣　岡　俊　彦	Toshihiko Hirooka
准教授	Associate Professor	吉　田　真　人	Masato Yoshida
准教授（兼）	Associate Professor*	大　寺　康　夫	Yasuo Ohtera
准教授（兼）	Associate Professor*	片　桐　崇　史	Takashi Katagiri
准教授（兼）	Associate Professor*	北　　智　洋	Tomohiro Kita
助　教	Assistant Professor	葛　西　恵　介	Keisuke Kasai
研究員	Research Fellow	原　子　広　大	Kodai Harako

■ 応用量子光学研究室　Applied Quantum Optics

教　授	Professor	八　坂　　洋	Hiroshi Yasaka
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	村　岡　裕　明	Hiroaki Muraoka
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　　泰　一	Taiichi Otsuji
准教授	Associate Professor	末　光　哲　也	Tetsuya Suemitsu
助　教	Assistant Professor	佐　藤　　昭	Akira Sato
研究員	Research Fellow	Victor Ryzhii	Victor Ryzhii
研究員	Research Fellow	渡　辺　隆　之	Takayuki Watanabe

■ 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（兼）	Associate Professor*	松　本　伸　之	Nobuyuki Matsumoto
研究員	Research Fellow	阿　部　尚　文	Naofumi Abe

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
准教授	Associate Professor	柮　　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
産学官連携研究員	Research Fellow	荒　井　　薫	Kaoru Arai

■ 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
再雇用職員（兼）	Technical Staff*	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	松　宮　一　道	Kazumichi Matsumiya
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

■ 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
助　教	Assistant Professor	大　脇　　大	Dai Owaki

職　員

■ 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
助　教（兼）	Assistant Professor*	山　本　英　明	Hideki 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	荏　木　禎　史	Yoshifumi Chisaki
客員教授	Visiting Professor	玉　田　　薫	Kaoru Tamada
客員准教授	Visiting Associate Professor	伊　藤　雄　一	Yuichi ito

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 Consruction

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
教　授（兼）	Professor*	松　田　一　孝	Kazutaka Matsuda
准教授	Associate Professor	上　野　雄　大	Katsuhiro Ueno
准教授（兼）	Associate Professor*	吉　仲　　亮	Ryo Yoshinaka

■ コンピューティング情報理論研究室　Computing Information Theory

教　授	Professor	外　山　芳　人	Yoshihito Toyama
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
助　教	Assistant Professor	菊　池　健太郎	Kentaro Kikuchi

■ 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*	岡　崎　直　観	Naoaki Okazaki
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

■ 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
産学官連携研究員	Research Fellow	玉　越　　晃	Akira Tamakoshi

■ 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

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	末光眞希	Maki Suemitsu

■ 共通部

技術一般職員（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	Professor	大野英男	Hideo Ohno
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
准教授	Associate Professor	深見俊輔	Shunsuke Fukami
准教授（兼）	Associate Professor*	佐藤英夫	Hideo Sato
准教授（兼）	Associate Professor*	角田匡清	Masakiyo Tsunoda
准教授（兼）	Associate Professor*	大兼幹彦	Mikihiko Ogane
准教授（兼）	Associate Professor*	村口正和	Masakazu Muraguchi
助　教	Assistant Professor	金井　駿	Shun Kanai
助　教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro

■ 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
助　教（兼）	Assistant Professor*	山本英明	Hideaki Yamamoto

■ 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
助　教	Assistant Professor	秋間学尚	Hisanao Akima

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
准教授	Associate Professor	松宮一道	Kazumichi Matsumiya

職　員

■ 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　介	Daisuke Suzuki
産学官連携研究員	Research Fellow	玉　越　　晃	Akira Tamakoshi

■ 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
助　教	Assistant Professor	大　脇　　大	Dai Owaki

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	村　岡　裕　明	Hiroaki Muraoka

■ 企画開発部　Project Planning Division

客員教授	Visiting Professor	古　西　　真	Makoto Furunishi

■ 研究開発部　Technology Development Division

モバイル分野			Mobile Wireless Technology Group
教　授（兼）	Professor*	末　松　憲　治	Noriharu Suematsu
客員教授	Visiting Professor	大　西　輝　夫	Teruo Ohnishi
准教授（兼）	Associate Professor*	亀　田　　卓	Suguru Kameda
ストレージ分野			Storage Technology Group
客員教授	Visiting Professor	松　岡　　浩	Hiroshi Matsuoka

安全衛生管理室　Management Office for Safety and Health

室　長（兼）／教授	Manager, Professor*	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu
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
教　授（兼）	Professor*	外　山　芳　人	Yoshihito Toyama
教　授（兼）	Professor*	菅　沼　拓　夫	Takuo Suganuma

研究基盤技術センター　Fundamental Technology Center

センター長（兼）／教授	Director, Professor*	上　原　洋　一	Yoichi Uehara
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

職　員

■ プロセス部			Process Division
技術一般職員（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
再雇用職員	Technical Staff	寒河江　克　巳	Katsumi Sagae

■ 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
再雇用職員	Technical Staff	齋　藤　文　孝	Fumitaka Saito

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24号

自己点検評価報告書

2018年８月発行

発　行　者　　塩　入　　諭

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/ja/

印　刷　所　　東北大学生活協同組合 キャンパスサポートセンター
〒989-3121　仙台市青葉区郷六字久保8-1
TEL:022-226-3886　FAX:022-223-4518