東北大学

# 電気通信研究所

# 研究活動報告

第27号（2020年度）

## Annual Report 2020

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University



# 目　　次

## 【本編】


**第１章　はじめに**…… 1

**第２章　組織・運営**

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

**第３章　研究活動**

１．情報デバイス研究部門の目標と成果…… 7
(1) ナノフォトエレクトロニクス研究室…… 8
(2) 固体電子工学研究室…… 10
(3) 誘電ナノデバイス研究室…… 12
(4) 物性機能設計研究室…… 14
(5) スピントロニクス研究室…… 16
(6) ナノ集積デバイス・プロセス研究室…… 18
(7) 量子デバイス研究室…… 20
２．ブロードバンド工学研究部門の目標と成果…… 22
(1) 超高速光通信研究室…… 24
(2) 応用量子光学研究室…… 26
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室…… 28
(4) 情報ストレージシステム研究室…… 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) 実世界コンピューティング研究室…… 48
(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室…… 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…… 55
(2) コンピューティング情報理論研究室…… 57
(3) コミュニケーションネットワーク研究室…… 59
(4) 環境調和型セキュア情報システム研究室…… 61
(5) ソフトコンピューティング集積システム研究室…… 63
(6) 新概念 VLSI システム研究室 …… 65
５．ナノ・スピン実験施設…… 67

６．ブレインウェア研究開発施設…… 71
（1）認識・学習システム研究室…… 73
７．21 世紀情報通信研究開発センター …… 75
（1）産学官研究開発部　ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト …… 78
（2）学際連携研究部　情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト…… 81
（3）萌芽研究部　ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発…… 83
（4）萌芽研究部　安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発…… 85
８．安全衛生管理室…… 87
９．やわらかい情報システムセンター…… 89
10．研究基盤技術センター…… 91
11．機動的研究グループ…… 93

**第４章　共同プロジェクト研究**

１．共同プロジェクト研究の理念と概要…… 95
Ｈ３０／Ａ０１　オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究 …… 102
Ｈ３０／Ａ０２　気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成 …… 105
Ｈ３０／Ａ０５　高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用 …… 108
Ｈ３０／Ａ０６　汎用型量子系制御技術に関する研究 …… 111
Ｈ３０／Ａ０７　光－スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究 …… 113
Ｈ３０／Ａ０８　カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御 …… 115
Ｈ３０／Ａ０９　量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究 …… 117
Ｈ３０／Ａ１１　移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用
アクティブリフレクトアレーの研究 …… 119
Ｈ３０／Ａ１２　広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの
構成法に関する研究 …… 121
Ｈ３０／Ａ１３　共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用 …… 123
Ｈ３０／Ａ１４　高効率非接触給電のための損失解析 …… 125
Ｈ３０／Ａ１５　選択によって感情体験を変容させる方法の研究 …… 127
Ｈ３０／Ａ１６　自己運動に伴う身体近傍空間の変容 …… 129
Ｈ３０／Ａ１７　単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究 …… 132
Ｈ３０／Ａ１８　繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電波環境対策に関する研究 …… 134
Ｈ３０／Ａ１９　光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に
関する研究 …… 136
Ｈ３０／Ａ２０　脳型計算ハードウェア基盤とその応用 …… 139
Ｈ３０／Ａ２４　PVDF 薄膜を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究 …… 141
Ｈ３０／Ａ２６　IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究…… 143
Ｈ３０／Ａ２８　薄膜デバイスを用いた脳型集積システム …… 145
Ｈ３０／Ａ２９　IoT 用ハードウェアセキュリティの研究…… 148
Ｈ３０／Ａ３０　インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究 …… 150
Ｈ３０／Ａ３２　セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに
関する研究 …… 152
Ｈ３０／Ａ３３　エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究 …… 154
Ｈ３０／Ａ３４　Ge-on-Insulator 基板上でのメタル・ソース／ドレイン型 CMOS の実現 …… 157
Ｈ３０／Ａ３７　超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究 …… 159

Ｈ３０／Ａ３８　多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究 …… 161
Ｈ３１／Ａ０１　Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures …… 163
Ｈ３１／Ａ０２　原子層物質活用高性能量子デバイス開発 …… 166
Ｈ３１／Ａ０４　Si-Ge 系量子ドットの規則配列と電子輸送制御に関する研究…… 168
Ｈ３１／Ａ０５　Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures …… 170
Ｈ３１／Ａ０６　2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピン輸送機構解明と高効率磁化反転素子の開発 …… 172
Ｈ３１／Ａ０７　量子検出のための高 Q 値マイクロ波共振器に関する研究 …… 174
Ｈ３１／Ａ０９　光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製 …… 176
Ｈ３１／Ａ１０　直流励起マイクロ波発振素子に向けたスピン軌道トルクとスピン波媒介位相同期による強磁性ダイナミクス制御の検討 …… 178
Ｈ３１／Ａ１１　傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた光変調器駆動高速化の研究… 180
Ｈ３１／Ａ１２　視覚モデル共有環境の構築 …… 182
Ｈ３１／Ａ１３　マルチモーダル感情誘発システムに関する研究 …… 184
Ｈ３１／Ａ１４　Pre-verbal infant learning: Infants’ preference and understanding from eye movements and pupil dilation …… 186
Ｈ３１／Ａ１６　音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現 …… 188
Ｈ３１／Ａ１８　利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現 …… 190
Ｈ３１／Ａ１９　Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy …… 193
Ｈ３１／Ａ２１　ラピッドプロトタイピングのためのソフトウェア無線機の同期性能の検討 …… 195
Ｈ３１／Ａ２２　Interactive Content for Emergent Users …… 197
Ｈ３１／Ａ２３　学習支援のための追体験システムの構築 …… 199
Ｈ３１／Ａ２４　インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析 …… 201
Ｈ３１／Ａ２６　Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications …… 203
Ｈ３１／Ａ２８　人体領域通信用無線伝搬路に関する研究 …… 205
Ｒ０２／Ａ０１　Development of graphene based devices for terahertz applications …… 207
Ｒ０２／Ａ０２　人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化 …… 209
Ｒ０２／Ａ０３　二次元材料を用いた光電子デバイスの開発 …… 212
Ｒ０２／Ａ０４　Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets …… 214
Ｒ０２／Ａ０５　新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究…… 216
Ｒ０２／Ａ０６　微小領域における圧電定数の分布計測装置の開発 …… 219
Ｒ０２／Ａ０７　スパッタリングプロセスを用いた $\beta$-$Ga_2O_3$ 薄膜とデバイス形成 …… 220
Ｒ０２／Ａ０８　負の透磁率を利用した移動体通信機器内の電磁クロストーク抑制に関する研究 … 222
Ｒ０２／Ａ０９　金属ナノ接合における量子伝導の制御と機能性素子への応用 …… 224
Ｒ０２／Ａ１０　high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明 …… 226
Ｒ０２／Ａ１１　単結晶グラフェン機能デバイス …… 228
Ｒ０２／Ａ１２　Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging …… 230
Ｒ０２／Ａ１３　8K 高精細画像センシング向け超低遅延動画像符号化方式 …… 233
Ｒ０２／Ａ１４　ワイヤレス Massive Connect IoT の研究 …… 235
Ｒ０２／Ａ１５　超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究…… 237

Ｒ０２／Ａ１６　3D プリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究 …… 239
Ｒ０２／Ａ１７　HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music …… 241
Ｒ０２／Ａ１８　Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition …… 243
Ｒ０２／Ａ１９　モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発とその応用 …… 245
Ｒ０２／Ａ２０　ミニマルブレインの理解と再構築 …… 247
Ｒ０２／Ａ２１　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 …… 250
Ｒ０２／Ａ２２　新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究 …… 252
Ｒ０２／Ａ２３　Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices … 254
Ｒ０２／Ａ２４　Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system …… 256
Ｒ０２／Ａ２５　人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤 …… 258
Ｒ０２／Ａ２６　Implicit non-verbal behaviors and brain communications …… 260
Ｒ０２／Ａ２７　色名に関する文化差および個人差の多言語での研究 …… 262
Ｒ０２／Ａ２８　協調作業における視線情報の可視化 …… 265
Ｒ０２／Ａ２９　Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes …… 267
Ｒ０２／Ａ３０　循環調節を介した予測的な視触覚の感度調整に関する研究 …… 269
Ｒ０２／Ａ３１　非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開 …… 271
Ｒ０２／Ａ３２　多感覚音空間知覚の規定因に関する研究 …… 273
Ｒ０２／Ａ３３　脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ / メモリ コンピューティング基盤の研究 In-Storage/Memory Computing Platform for Brain Neuro Science …… 275
Ｈ３０／Ｂ０４　プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成 …… 277
Ｈ３０／Ｂ０６　光の空間モードに関する研究開発 …… 279
Ｈ３０／Ｂ０７　酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用 …… 281
Ｈ３０／Ｂ０８　集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立 …… 285
Ｈ３０／Ｂ１２　高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立 …… 287
Ｈ３０／Ｂ１３　高次元ニューロダイナミクスとそのニューロハードウエア構築への展開 …… 289
Ｈ３０／Ｂ１４　未来型オフィス空間とインタラクション …… 291
Ｈ３０／Ｂ１７　非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究 …… 293
Ｈ３０／Ｂ１８　ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究 … 296
Ｈ３０／Ｂ２０　「こころ」を生み出す脳内機構の理解 …… 298
Ｈ３１／Ｂ０１　物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現 …… 301
Ｈ３１／Ｂ０２　固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓 …… 303
Ｈ３１／Ｂ０３　次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究 …… 305
Ｈ３１／Ｂ０４　HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展 …… 307
Ｈ３１／Ｂ０５　アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化 HCI Research Community Development in Asia …… 310
Ｈ３１／Ｂ０６　質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究 …… 312
Ｈ３１／Ｂ０８　地域活性化のための UAV 利活用技術とその社会実装に関する研究会 …… 315
Ｈ３１／Ｂ０９　マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ実用化研究の新展開 …… 317
Ｈ３１／Ｂ１０　エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開 …… 320
Ｈ３１／Ｂ１１　動的言語の静的解析技術とその実用化に関する研究 …… 322
Ｈ３１／Ｂ１２　複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース …… 324

Ｈ３１／Ｂ１３　固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御 …… 326
Ｈ３１／Ｂ１５　多機能マルチメディア生成技術に関する研究 …… 328
Ｈ３１／Ｂ１６　型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成 …… 330
Ｈ３１／Ｂ１７　PSDL2: Physical Security of Deep Learning 2 …… 332
Ｈ３１／Ｂ１８　モバイルエッジコンピューティングにおける動的サービス制御技術 …… 334
Ｈ３１／Ｂ１９　Securing IoT devices against EM Fault Injection …… 336
Ｒ０２／Ｂ０１　磁性材料の微細構造制御による次世代情報通信システムのための磁気デバイスの開発 …… 338
Ｒ０２／Ｂ０２　コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究 …… 339
Ｒ０２／Ｂ０３　将来無線のレイヤレスデザインとその応用 …… 342
Ｒ０２／Ｂ０４　Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索 …… 344
Ｒ０２／Ｂ０５　Attentive Search: Theory and Application…… 346
Ｒ０２／Ｂ０６　人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザインタフェース …… 348
Ｒ０２／Ｂ０７　異種データ融合による人・社会センシング基盤 …… 350
Ｒ０２／Ｂ０８　ヒトと動きを協調するロボットの制御則 …… 353
Ｒ０２／Ｂ０９　カラスとの共存・共生を実現するインタラクションに関する研究会 …… 355
Ｒ０２／Ｂ１０　生物の即時適応機能に学ぶ人工物の設計論 …… 357
Ｒ０２／Ｂ１１　音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発 …… 359
Ｒ０２／Ｂ１２　脳型 LSI とその関連技術国際共同研究 …… 362
Ｒ０２／Ｂ１３　Cognition-Aware-Systems for Improving Human Performance …… 365
Ｒ０２／Ｂ１４　3 次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合 …… 367
Ｒ０２／Ｂ１５　半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発 …… 369
Ｒ０２／Ｓ１　先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用 …… 371
Ｈ３０／ＳＩ１　AI 研究と人間科学に関する研究　AI and Human Studies …… 374
Ｒ０２／Ｕ０１　オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討 …… 379
Ｒ０２／Ｕ０２　豊かな対人コミュニケーション実現のための非言語情報 AI の検討…… 382

**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…… 385
（1）第 9 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム…… 385
The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Compute
（2）ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する通研国際シンポジウム…… 386
RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction
（3）第 11 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 …… 387
The 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
（4）第 4 回 AI と人間に関する学際研究分野での東北大学国立台湾大学連携シンポジウム …… 388
The 4th Tohoku - NTU Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies
（5）2021 年ヨッタスケールデータ研究プラットフォームに関する国際シンポジウム …… 389
Symposium of Yotta Informatics Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021
（6）脳型 LSI に関する国際シンポジウム…… 390
The 7th RIEC International Symposium on Brainware LSI
２．国際会議等の開催状況…… 391
（1）第 15 回関数型および論理型プログラミングに関する国際シンポジウム …… 391
15th International Symposium on Functional and Logic Programming

３．工学研究会…… 392
(1) 伝送工学研究会…… 393
(2) 音響工学研究会…… 395
(3) 仙台“プラズマフォーラム”…… 395
(4) EMC 仙台ゼミナール …… 396
(5) コンピュータサイエンス研究会…… 396
(6) システム制御研究会…… 397
(7) 情報バイオトロニクス研究会…… 397
(8) スピニクス研究会…… 398
(9) ニューパラダイムコンピューティング研究会…… 398
(10) 超音波エレクトロニクス研究会 …… 399
(11) ブレインウェア工学研究会 …… 399
(12) 情報・数物研究会 …… 400
(13) 生体・生命工学研究会 …… 400
(14) ナノ・スピン工学研究会 …… 401

４．通研講演会
(1) 工藤　和恵　「制約量子アニーリングにおける局在現象」…… 402
(2) 露崎　弘毅　「行列・テンソル分解を用いた異種バイオデータ統合解析の数理」…… 402
(3) 森　俊博　「トヨタ自動車の挑戦 〜モビリティカンパニーへの変革〜 」…… 403
(4) 樺島　祥介　「線形回帰にもとづくネットワーク推定」…… 403

**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…… 405
(1) 高等研究機構　新領域創成部 多感覚情報統合認知システム研究室 …… 405
(2) 高等研究機構　新領域創成部 スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室 …… 407
(3) 先端スピントロニクス研究開発センター（CSIS）…… 409
(4) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES）…… 410
(5) 電気通信研究機構（ROEC） …… 412
(6) スピントロニクス学術連携研究教育センター（CSRN） …… 413
(7) ヨッタインフォマティクス研究センター…… 414

２．参画する事業・プログラム…… 415
(1) 博士課程教育リーディングプログラム…… 415
(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 …… 416
(3) スピントロニクス国際共同大学院プログラム…… 417
(4) 卓越大学院プログラム…… 418

**第７章　評価と分析**
運営協議会報告…… 419

## 【資料編】


**第 1　人事** …… 445
①教員　②客員外国人教員　③客員教員　④非常勤研究員　⑤各種研究員
⑥客員外国人教員（外国人研究員）　⑦学術研究員　⑧学振特別研究員
⑨教員以外の研究員（ポスドク）の転出先　⑩支援職員
**第 2　予算** …… 450
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** …… 452
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** …… 458
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（令和 2 年度研究代表者）
④競争的資金状況　⑤受賞・表彰件数　⑥受賞・表彰者一覧　⑦発表論文数
**第 5　共同プロジェクト研究** …… 467
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** …… 474
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委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　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** …… 492
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** …… 495
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** …… 496

**付　録**　職員…… 497

# 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。ポストコロナ、ニューノーマルで求められる社会像においても、情報通信分野の研究への期待は今後さらに大きくなると予想されます。本研究所は、時々の社会の要請に耳を傾けつつ、将来の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活動を続けます。

第 6 期科学技術･イノベーション基本計画では第５期基本計画で掲げた Society5.0 を具体化していくことが必要とされています。つまり、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)、デバイスをさらに強化することが期待されています。これらは言うまでもなく、本研究所が先導するべき研究領域であり、時代の要請に貢献するためにも注力すべきテーマです。一方で、教員の自由な発想に基づく基礎研究、基盤研究は大学の欠くことのできない重要な役割です。本所の歴史を振りかえっても、西澤潤一教授の光通信の 3 要素の提案、岩崎俊一教授の垂直磁気記録など、全く新しい分野を切り開く契機となる基盤的研究がその後大きく発展したものも少なくありません。最近の話題としては、今後の ICT デバイスとして注目されている磁気抵抗メモリ（MRAM）は、大野英男教授が基礎研究から先導してきたスピントロニクス技術に基づくものです。大学、そして本研究所を取り巻く環境は時々刻々と変化していますが、大学の研究者が果たすべき役割を十分認識した上で、ミッション遂行のために資源を有効活用していくこと、またそのための環境を構築することが必要です。

本研究所の体制は、平成 16 年度(2004 年度)から情報デバイス、ブロードバンド工学、人間情報システム、システム・ソフトウェアの 4 つの研究部門と、ナノ・スピン実験施設及びブレインウェア研究開発施設の 2 つの施設、21 世紀情報通信研究開発センターの 1 センターの組織からなっています。それぞれ研究部門は長期(20 年)、施設は中期(10 年)、センターは短期(5 年)の研究期間を念

頭におき研究を進めています。さらに、大学院工学研究科、情報科学研究科及び医工学研究科の本学電気情報系と密接に連携し、幅広い最先端研究分野をカバーすると共に、優れた研究者、技術者を輩出するための体制を整えています。

本研究所はまた、文部科学省から情報通信共同研究拠点として、共同利用・共同研究拠点の認定を受けています。2020 年度は第 2 期の第 5 年度目です。運営費交付金が減少する中、国内外の情報通信コミュニティのさらなる発展に資する役割はますます重要になります。このため、産官学の外部研究者・技術者との共同プロジェクト研究を組織的に進めています。

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

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

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

令和 3 年 7 月 1 日

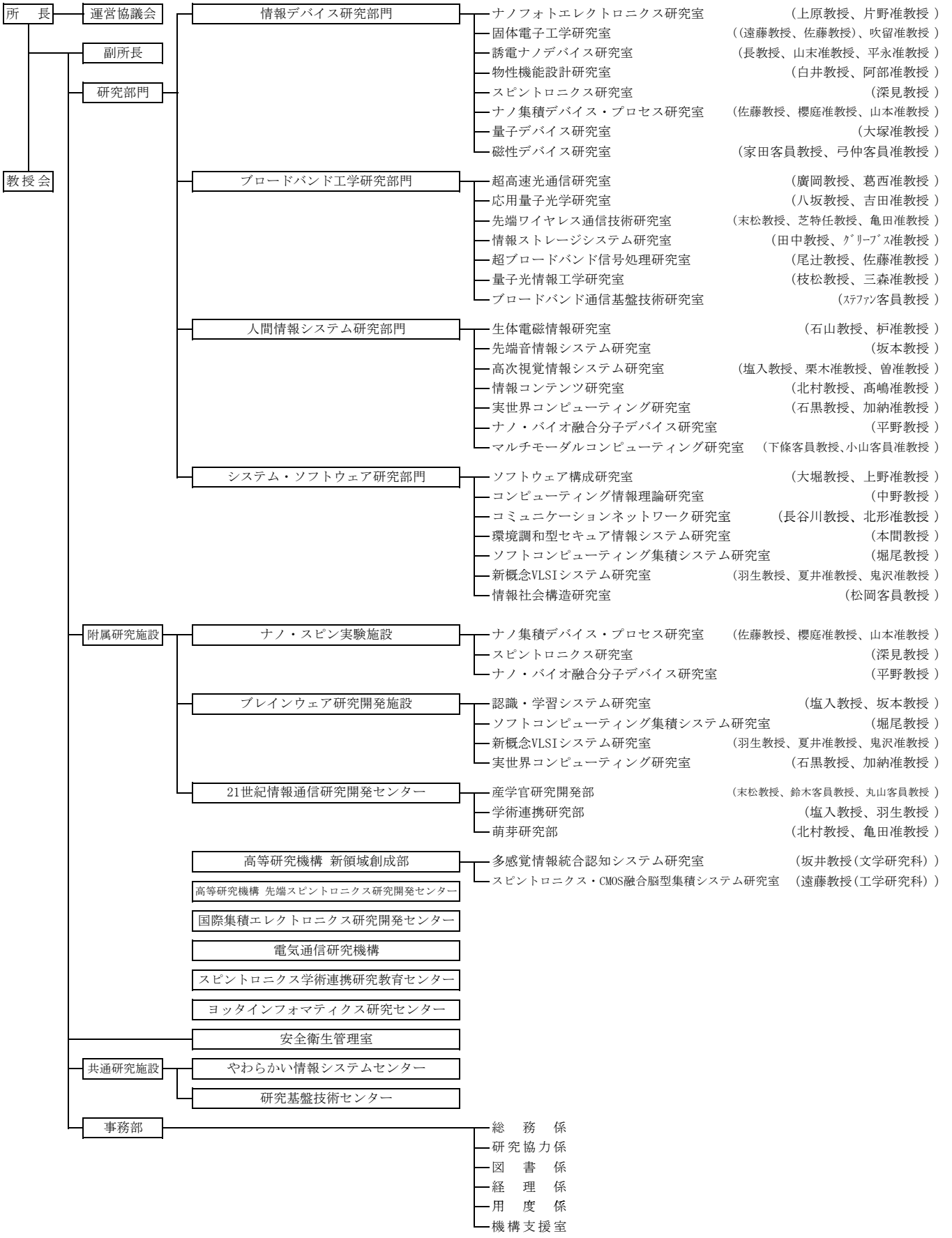
電気通信研究所 所長

塩　入　　諭

# 第　2　章　　組織・運営

# 2．1　組　織　図

R3.3.31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。

| | |
|---|---|
| 岸　本　光　弘（委　員） | 国立研究開発法人　産業技術総合研究所<br>デジタルアーキテクチャ推進センター長 |
| 大　谷　義　近（　〃　） | 東京大学物性研究所　教授 |
| 田　中　弘　美（　〃　） | 立命館大学　情報理工学部　特命教授 |
| 富　田　二三彦（　〃　） | 国立研究開発法人 情報通信研究機構<br>Ｒ＆Ｄアドバイザー |
| 中　村　祐　一（　〃　） | 日本電気株式会社　研究・開発ユニット<br>主席技術主幹 |
| 金　丸　正　剛（　〃　） | 国立研究開発法人 産業技術総合研究所　副理事長 |
| 三　谷　公　二（　〃　） | 日本放送協会 放送技術研究所　所長 |
| 山　口　浩　司（　〃　） | 日本電信電話株式会社　ＮＴＴ物性科学基礎研究所<br>上席特別研究員 |
| 関　野　　徹（　〃　） | 大阪大学産業科学研究所　所長 |
| 斉　藤　　健（　〃　） | 株式会社東芝　研究開発センター<br>情報通信プラットフォーム研究所　所長 |
| 玉　田　　薫（　〃　） | 九州大学　副学長／先導物質科学研究所　主幹教授 |
| 小　林　直　樹（　〃　） | 東京大学大学院情報理工学系研究科　教授 |
| 丸　山　　宏（　〃　） | 株式会社 Preferred Networks　PFN フェロー |
| 前　田　裕　二（　〃　） | ＮＴＴ宇宙環境エネルギー研究所　所長 |
| 中　村　　孝（　〃　） | 大阪大学大学院　工学研究科　特任教授 |
| 佐々木　直　樹（　〃　） | キャノンメディカルシステムズ株式会社　上席常務 |
| 小　松　直　子（　〃　） | 宮城県　環境生活部　次長 |
| 江　村　克　己（委員長） | 日本電気株式会社　ＮＥＣフェロー |
| 寺　田　眞　浩（委　員） | 東北大学大学院 理学研究科長 |
| 長　坂　徹　也（　〃　） | 東北大学大学院 工学研究科長 |
| 尾　畑　伸　明（　〃　） | 東北大学大学院 情報科学研究科長 |
| 古　原　　忠（　〃　） | 東北大学 金属材料研究所長 |
| 寺　内　正　己（　〃　） | 東北大学 多元物質科学研究所長 |
| 菅　沼　拓　夫（　〃　） | 東北大学 サイバーサイエンスセンター長 |
| 伊　藤　彰　則（　〃　） | 東北大学大学院 工学研究科　教授 |

# ２．３　共同研究組織

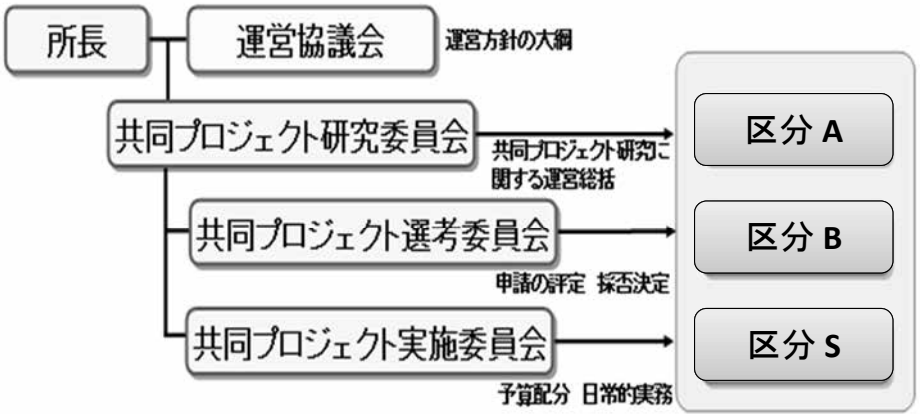
本研究所は平成 6 年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、無線通信、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成 26 年 4 月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の 2 施設として設備を充実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

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

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

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

**平成22年度以降の体制**



# ２．４　教育組織

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

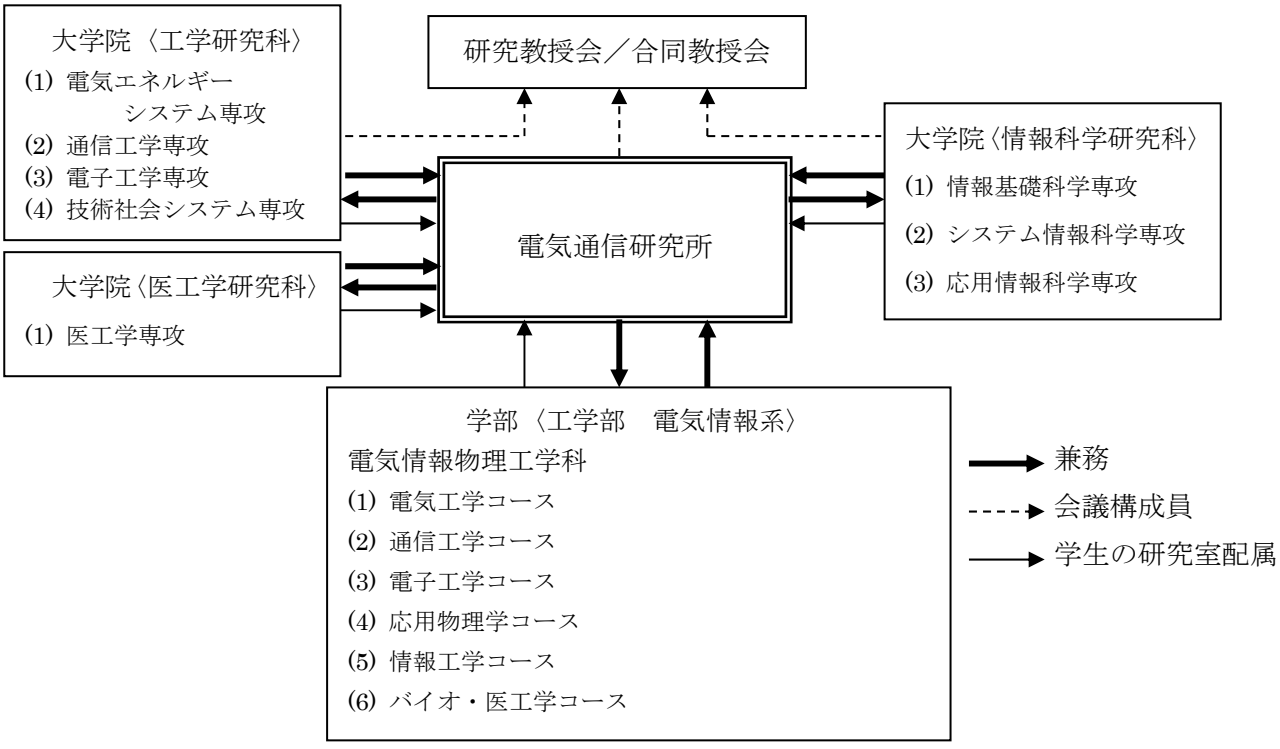
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。2012 年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015 年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2020 年度には通研の 25 研究室のうち 2 研究室が大学院工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、6 研究室が同研究科通信工学専攻に 10 研究室が同研究科電子工学専攻に、2 研究室が大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 研究室が同研究科システム情報科学専攻に、1 研究室が同研究科応用情報科学専攻に、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 170 名、学部生は 53 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・講師も含む電気・情報系合同教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。教育上の具体的な事項の実行、運用に関しては、大学院に工学研究科電通・電子専攻教員会議、電気・情報系 7 コースに大学院教務委員会があり、通研からも委員が参加している。

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



# 第　3　章　　研究活動

# ３．１　情報デバイス研究部門の目標と成果

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

目標に到達するために，下記の8研究室が研究開発を行っている．

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

各分野の目標ならびに2020年度の研究活動の成果の概要を，次ページ以降に記述する．

## ナノフォトエレクトロニクス研究室

# ナノ構造物性の探索とデバイス応用

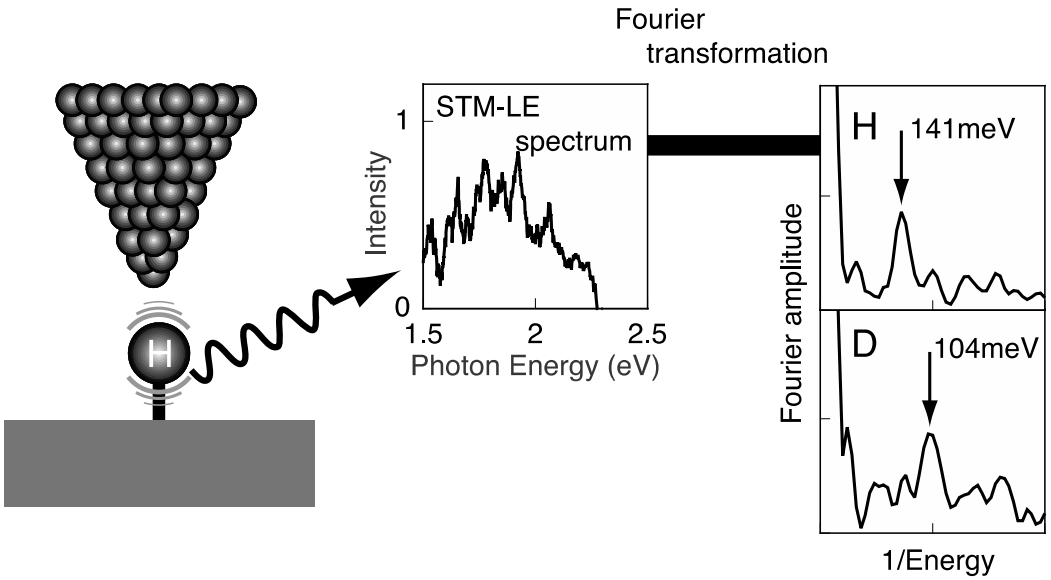



図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

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

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．STM発光スペクトルに出現する振動構造の生成機構解明

STM発光分光法を用いた振動分光では、スペクトル中に現れる特徴的な周期的微細構造を解析することにより振動エネルギーを特定することができる。本研究では、STM発光スペクトル中に出現する周期的微細構造の出現機構を明らかにする研究を行った。その結果、試料の振動により探針-試料のギャップ長が変調された場合、トンネル電流が振動の周期で変調されることを見出した。この発光機構を定式化したところ、非弾性トンネルスペクトル中に振動の角周波数の周期構造が現れることがわかった。この理論モデルに基づきNi(110)-(1×2)H、AgNP-HOPG、AuNP-$Al_2O_3$の3つの系について計算を行ったところ、実験で示されているSTM発光の周期的微細構造を再現できた。

#### ２．STM発光分光振動分光：有限差分時間領域解析

個々の表面吸着種の振動エネルギーがSTM発光スペクトル中の量子カットオフ近傍のステップ構造から決定されることを発見し（例えば、*J. Phys. Chem. Lett.* **1** (2010) 2763.）、出現機構を記述する解析的な電磁気学的理論を提示した（*J. Appl. Phys.* **122** (2017) 085306.）。この理論により、定性的には、現象は適切に記述されたが、定量的には、理論が予測するステップ構造の強さが実験的に

得られる構造の強さに比べ１桁程度弱いという問題点が残っていた。我々は、振動誘起構造比を実験的に観測されているレベルにまで増強する機構を有限差分時間領域（FDTD）法を用いて解明する研究を行った。Cu(110)-(1×1)清浄表面に吸着した単分子ベンゼンのSTM発光について、探針の微細形状、材質に着目してFDTD解析を行い、振動誘起構造比への影響を調べた。その結果、表面に存在するナノ構造が局所電界を増強し、振動誘起構造比が増強されることを見出した。

### ３．ナノカーボンの微視的な構造制御

酸化グラフェン（GO）は、グラフェンの二次元シート上に、COOH基、OH基などの酸素官能基が修飾された炭素化合物であり、バイオセンサーや光学素子などへの利用が期待されている。特に基板表面におけるGOの吸着構造を制御することは応用上重要な課題である。本研究では、Au(111)表面に親水性と疎水性の有機単分子膜を形成させて表面の濡れ性を制御し、GOの吸着構造を制御することを検討した。$C_8H_{16}SH$単分子膜上では、GOは平面吸着となった。一方、強い疎水性を示す$C_{10}F_{17}SH$単分子膜上では、シート状のGOが凝縮することを見出した。これは、酸素官能基を有するGOは親水性を示すため、疎水性分子膜上でGOが平面構造を保てないためであると考えられる。

### ４．金属ナノ微粒子集合体のナノスケール光電子物性制御

新しいプラズモニック材料として注目されている立方体の形状の銀ナノキューブ（AgNC）をAu(111)基板上に集積し、その集合体表面に被覆した高分子(PVP)とAgNCの熱反応を走査プローブ顕微鏡およびRaman分光法で評価した。その結果、AgNC上のPVPが段階的にナノカーボンへ変換されることを見出した。また、単体AgNCの融点よりも低温で微粒子間の焼結が起こり、AgNCに起因した表面増強ラマン散乱(SERS)活性が低下することがわかった。

### 5. 原子絶縁層のナノスケール成長機構の解明

金属基板に形成させた絶縁薄膜を用いて吸着種の帯電状態を制御し、単一原子および分子を利用した単電子トランジスタ実現の可能性が近年指摘されている。しかしながら、このような絶縁薄膜の動的過程に関する研究例は未だ報告されておらず、その薄膜形成のメカニズムは解明されていない。我々は、Au(111)表面に形成したNaCl薄膜の熱拡散過程を、STMを用いた連続局所観察により検証した。その結果、Au基板の単原子ステップを介したNaClの原子膜成長を明らかにした。

## ＜職員名＞

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

## ＜プロフィール＞

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

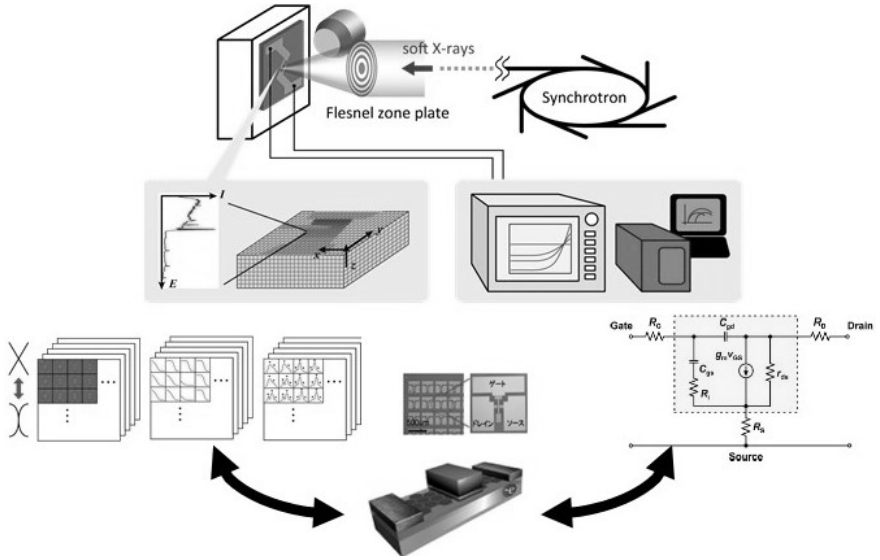
**片野 諭** 2003 年 3 月　東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士後期課程修了。2003 年 4 月　独立行政法人 理化学研究所中央研究所 博士研究員。2006 年 8 月　東北大学電気通信研究所助手。2007 年 4 月　同助教。2012 年 5 月　同准教授、現在に至る。固体表面における吸着原子・分子の表面物理化学・ナノ光物性研究に従事。第 23 回応用物理学会講演奨励賞（2008 年）、石田實記念財団研究奨励賞(2018 年)。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


1. S. Katano, and Y. Uehara, "In situ Observation of Atomic Scale Growth of NaCl Thin Crystal on Au(111) by Scanning Tunneling Microscopy", *J. Phys. Chem. C*, **124**, 20184–20192 (2020).
2. S. Katano, T. Iwahori, R. Yamasaki, A. Mizuno, A. Ono, and Y. Uehara, "Localized surface plasmon-induced vibrational excitations in the surface-enhanced Raman scattering using two-dimensional array of silver nanocubes", *J. Appl. Phys.*, **127**, 185301_1-9 (2020).
3. T. Iwahori, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano, "The Effect of Thermal Deformation of Silver Nanocube Array on the Surface Enhanced Raman Scattering", *28th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM28)*, online, 12 月 10 日 (2020).

## 固体電子工学研究室

# グラフェンなどの次世代デバイスを学理に基づいて研究開発




**固体電子物性工学研究分野　准教授　吹留　博一**

**＜研究室の目標＞**

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

**＜2018 年度の主な成果＞**

**１．　高性能グラフェン・トランジスタの高性能化**

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

**２．　GaN-HEMT の電流コラプス現象の解明**

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

**３．　時空間オペランド X 線分光の開拓**

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

## ＜職員名＞

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

## ＜プロフィール＞

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

## ＜2019 年度の主な発表論文等＞


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

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

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

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

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

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

## 誘電ナノデバイス（長・山末・平永）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

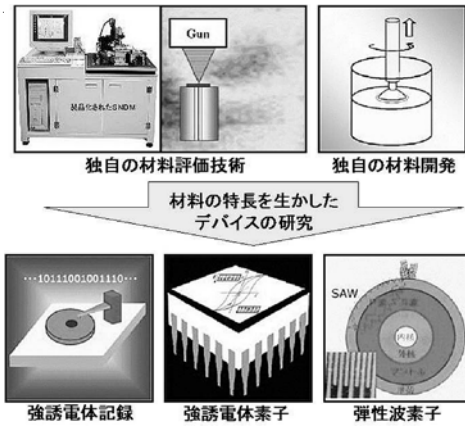



図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

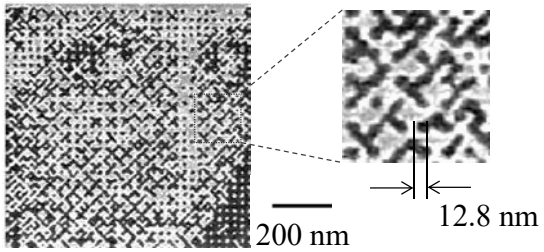



図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch$^2$ の密度で記録されたディジタル情報

**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**
**誘電物性工学研究分野　准教授　平永 良臣**

### ＜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・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。本顕微鏡は残留分極分布計測や結晶性評価を純電気的に行える世界で初めての装置であり、既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイル、界面欠陥の観測や固体中の単一双極子モーメントの可視化など SNDM の高機能・高分解能化を目指した研究を行っている。更に SNDM は強誘電体ドメインをナノレベルで観測・制御できるため、次世代超高密度誘電体記録への応用研究も推進している。

### ＜20 年度の主な成果＞

SNDM に基づく半導体材料・デバイス評価に関する研究では以下の成果を得た: (1)単結晶シリコン太陽電池にみられる電圧誘起出力低下（PID）に関して、キャリア濃度低下や空乏層幅拡大など半導体セル中に生じる微視的劣化機構の可視化に成功 (2)次世代SiCパワートランジスタのゲート絶縁膜/半導体界面の研究を行い、SNDM で得られた実データを組み込んだデバイスシミュレーションにより、界面欠陥分布の不均一がデバイスの性能に及ぼす影響を考察 (3) 原子層材料として期待される $MoS_2$ に生じる薄化や UV/オゾン処理にともなう多数キャリア極性・濃度変化の可視化に成功 (4) 3 次元積層フラッシュメモリセルのフローティングゲートおよびチャネル構造のキャリア分布観察に成功。キャリア分布観察としては最小の 1.9 nm 未満の空間分解能に到達。次に、SNDM によ

る強誘電体記録デバイスの研究では次の成果を得た:(1) 記録再生速度の飛躍的向上の実現に有効な媒体の高非線形誘電率化に関して、強誘電体の現象論的アプローチに基づいて材料設計指針を明確化 (2)強誘電体ドメインのスイッチングダイナミクスを実空間で可視化できる局所 CV マッピング法の提案と実証 (3) 電流リークの影響で薄化時の強誘電性発現の実証が困難であった新規複合窒化物薄膜である($Al_{1-x}Sc_x$)N の SNDM 観察を行い、9 nm の膜厚で強誘電性を示すことの実証に成功。

## ＜職員名＞

教 授　　長　康 雄（２００１年より）
准教授　　山末　耕平（２０１６年より）　平永　良臣（２０２０年より）

## ＜プロフィール＞

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

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

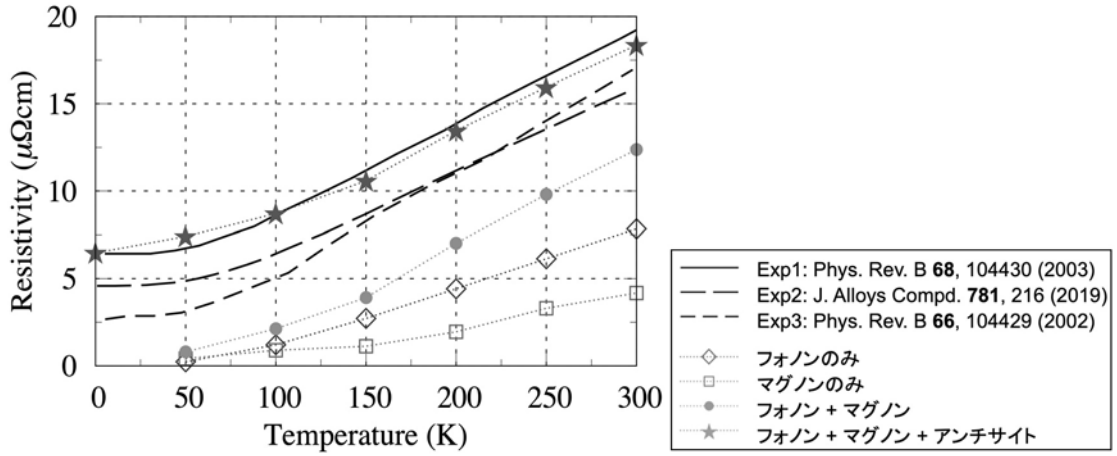
**平永　良臣**　2001 年 3 月　東北大学工学部退学（但し、大学院飛び入学制度の為)。2006 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2006 年 4 月　同大電気通信研究所助手（2007 年より助教)。2020 年 11 月　同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録の開発に従事。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] Y. Cho, S. Jonai, and A. Masuda: “A scanning nonlinear dielectric microscopic investigation of potential-induced degradation in monocrystalline silicon solar cells”, Appl. Phys. Lett., Vol. 116, p. 182107, 2020.
[2] K. Yamasue, Y. Yamagishi, and Y. Cho: “Influence of non-uniform interface defect clustering on field-effect mobility in SiC MOSFETs investigated by local deep level transient spectroscopy and device simulation”, Mater. Sci. Forum, Vol. 1004, pp. 627-634, 2020.
[3] K. Yamasue and Y. Cho: “Nanoscale characterization of unintentional doping of atomically thin layered semiconductors by scanning nonlinear dielectric microscopy”, J. Appl. Phys. 128, pp.074301, 2020.
[4] S. Yasuoka, T. Shimizu, A. Tateyama, M. Uehara, H. Yamada, M. Akiyama, Y. Hiranaga, Y. Cho, and H. Funakubo: “Effects of deposition conditions on the ferroelectric properties of ($Al_{1-x}Sc_x$)N thin films”, J. Appl. Phys 128, p.114103, 2020.
[5] K. Yamasue and Y. Cho: “Spatial scale dependent impact of non-uniform interface defect distribution on field effect mobility in SiC MOSFETs”, Microelectron. Reliab. 114, 113829, 2020.
[6] J. Hirota, K. Yamasue, and Y. Cho: “Profiling of carriers in a 3D flash memory cell with nanometer-level resolution using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Microelectron. Reliab. 114, 113774, 2020.
[7] Y. Hiranaga, T. Mimura, T. Shimizu, H. Funakubo and Y. Cho: “Local C-V mapping for ferroelectrics using scanning nonlinear dielectric microscopy”, J. Appl. Phys. 128, 244105, 2020.
[8] Y. Hiranaga and Y. Cho: “Material Design Strategy for Enhancement of Readback Signal Intensity in Ferroelectric Probe Data Storage”, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control 68, pp. 859-864, 2021.

## 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




ホイスラー合金 $Co_2MnSi$ の電気抵抗率の温度変化（計算値と実験値の比較）[9]

**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・機能の設計手法の確立を目指している。現在は、高スピン偏極合金や強磁性半導体の物質設計に加えて有限温度のデバイス特性を評価する計算手法の開発に取り組んでいる。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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　有限温度における伝導特性計算

ホイスラー合金電極トンネル磁気抵抗(TMR)素子では温度上昇に伴い TMR 比が減少するため、素子動作温度における TMR 比を見積もる必要があるが、通常の第一原理計算では有限温度における物性予測は困難である。そこで不純物散乱に加えて熱励起フォノンやマグノンによる散乱をコヒーレントポテンシャル近似により統一的に考慮して、伝導特性を第一原理計算する手法を確立した。この手法を用いて $Co_2MnSi$ の電気抵抗の温度依存性を定量的に評価することに成功した[9]。

#### ２．　ホイスラー合金／酸化マグネシウム接合の機械学習

四元ホイスラー合金／酸化マグネシウム接合の第一原理計算を行い、磁気スティフネスなどの物性値をデータベースへ収録し、得られたデータを用いて機械学習による物性値の予測モデルを構築した。特徴量には合金に含まれる原子の価電子数など既知の値のみを用いているが、磁気スティフネスの予測値と計算値の相関係数が 0.9 程度と高精度な予測に成功した。

### ３． 高密度金属水素化合物

水素化合物超伝導の研究が活発化した 2000 年代半ば、Si 水素化合物（$SiH_4$）は水素濃度の高さなどから最も注目を集めていた。しかしその後の研究では、$SiH_4$ は金属化してもそれ程高い超伝導転移温度（$T_c$）はもたず、500 GPa 以下では $T_c$ が 40 K を超えないと予測されている。このような状況のもと本研究では、高圧における $SiH_2$、$SiH_3$ 高温超伝導相の可能性を第一原理計算から示した。$T_c$ は $SiH_2$、$SiH_3$ でそれぞれ 83 K（400 GPa）、88 K（450 GPa）と見積もられ、Si 水素化合物の高温超伝導は、$SiH_4$ よりむしろ低水素濃度の組成で起きるとの見解を得ている。

## ＜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
助　教　新屋 ひかり　　学術研究員　Tufan Roy　　学術研究員　井上 順一郎

## ＜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）。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] M. Tsujikawa, Y. Mitsuhashi, and M. Shirai, “Theoretical design of tetragonal rare-earth-free alloys with high magnetisation and high magnetic anisotropy,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 59, Article no. 055506, pp. 1-5, 2020

[2] T. Seki, M. Tsujikawa, K. Ito, K. Uchida, H. Kurebayashi, M. Shirai, and K. Takanashi, “Perpendicularly magnetized Ni/Pt(001) epitaxial superlattice,” Phys. Rev. Mater., Vol. 4, Article no. 064413, pp. 1-9, 2020

[3] Y. Onodera, K. Elphick, T. Kanemura, T. Roy, T. Tsuchiya, M. Tsujikawa, K. Yoshida, Y. Nagai, S. Mizukami, A. Hirohata, and M. Shirai, “Experimental inspection of a computationally-designed NiCrMnSi Heusler alloy with high Curie temperature,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 59, Article no. 073003, pp. 1-5, 2020

[4] K. Kunimatsu, T. Tsuchiya, T. Roy, K. Elphick, T. Ichinose, M. Tsujikawa, A. Hirohata, M. Shirai, and S. Mizukami, “Magnetic tunnel junctions with metastable bcc $Co_3Mn$ electrodes,” Appl. Phys. Express, Vol. 13, Article no. 083007, pp. 1-5, 2020

[5] T. Seki, Y. Sakuraba, K. Masuda, A. Miura, M. Tsujikawa, K. Uchida, T. Kubota, Y. Miura, M. Shirai, and K. Takanashi, “Enhancement of the anomalous Nernst effect in Ni/Pt superlattices,” Phys. Rev. B, Vol. 103, Article no. L020402, pp.1-7, 2021

[6] R. Monma, T. Roy, K. Suzuki, T. Tsuchiya, M. Tsujikawa, S. Mizukami and M. Shirai, “Structural and magnetic properties of CoIrMnAl equiatomic quaternary Heusler alloy epitaxial films designed using first-principles calculations,” J. Alloys Compd., Vol. 868, Article no. 159175, pp. 1-7, 2021

[7] T. Roy, M. Tsujikawa, and M. Shirai, “*Ab initio* study of electronic and magnetic properties of $Mn_2RuZ$/MgO (001) heterostructures (Z = Al, Ge),” J. Phys.: Condens. Matter, Vol. 33, Article no. 145505, pp. 1-9, 2021

[8] T. Kihara, T. Roy, X. Xu, A. Miyake, M. Tsujikawa, H. Mitamura, M. Tokunaga, Y. Adachi, T. Eto, and T. Kanomata, “Observation of inverse magnetocaloric effect in magnetic-field-induced austenite phase of Heusler alloys $Ni_{50-x}Co_xMn_{31.5}Ga_{18.5}$ ($x$ = 9 and 9.7),” Phys. Rev. Mater., Vol. 5, Article no. 034416, pp. 1-13, 2021

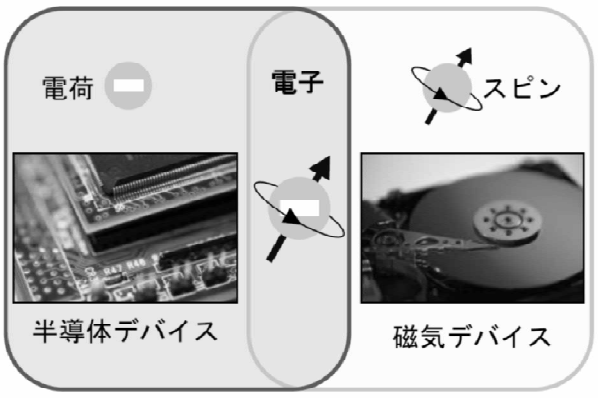
[9] H. Shinya, S. Kou, T. Fukushima, A. Masago, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, and H. Akai, “First-principles calculations of finite temperature electronic structures and transport properties of Heusler alloy $Co_2MnSi$,” Appl. Phys. Lett., Vol. 117, Article no. 042402, pp. 1-5, 2020

[10] A. Masago, H. Shinya, T. Fukushima, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, “Hole-mediated ferromagnetism in a high-magnetic moment material, Gd-doped GaN,” J. Phys.: Condens. Matter, Vol. 32, Article no. 485803, pp. 1-6, 2020

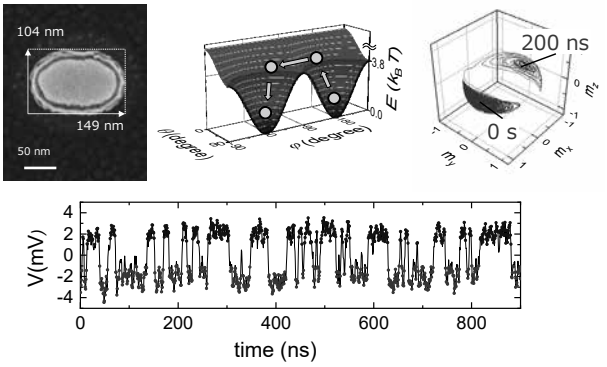
[11] R. Yamada, A. Masago, T. Fukushima, H. Shinya, T. Q. Nguyen, and K. Sato, “First-principles calculation of electronic density of states and Seebeck coefficient in transition-metal-doped Si–Ge alloys,” Solid State Commun., Vol. 323, Article no. 114115, pp. 1-5, 2020

## スピントロニクス研究室

# スピントロニクスを用いた省エネルギー・高機能な素子の創製




省エネルギー・高機能な
スピントロニクス素子




世界最速スピントロニクス疑似量子（確率）ビット（文献[9, 10]）

**ナノスピン材料デバイス研究分野　教授　深見 俊輔**

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

**１．　磁性体３次元らせん状ネットワークの複雑な磁気構造の可視化に成功**

３次元自己組織化らせん状ナノ構造（ジャイロイド）を磁性体で形成することに成功し、電子線ホログラフィーを用いてその磁気構造を解明（文献[1]）

**２．　世界最小磁気トンネル接合素子の高性能動作を実証**

直径 2.3 ナノメートルまでの世界最小高性能磁気トンネル接合素子を開発し、車載応用可能な150℃でも高い保持特性、DRAM 用途で必要となる 10 ナノ秒での高速低電圧動作実現（文献[7]）

**３．　スピントロニクス疑似量子ビットを従来比 100 倍超に高速化**

磁気トンネル接合を用いた擬似的な量子ビット(確率ビット：P ビット)で 1 秒間に 1 億回以上状態を更新する重要技術を開発し、その動作原理を解明。（文献[9,10]）

## ＜職員名＞

教授　深見 俊輔（2020 年より）
助　教　金井 駿, Justin Llandro

## ＜プロフィール＞

**深見 俊輔**　2005 年名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻博士前期課程修了。博士（工学）。2005 年日本電気株式会社、2011 年東北大学助教、2015 年より東北大学准教授。2012 年応用物理学会論文賞、2013 年 RIEC Award 東北大学研究者賞、2014 年船井研究奨励賞、2014 年応用物理学会講演奨励賞、2015 年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2015 年原田研究奨励賞、2016 年 DPS Paper Award、2017 年 ImPACT Symposium – Best Poster Award、2017 年青葉工学振興会賞受賞、2018 年 Asian Union of Magnetics Societies, Young Researchers Award、2018 年日本磁気学会優秀研究賞、2019 年田中貴金属記念財団貴金属に関わる研究助成金ゴールド賞。2019 年応用物理学会優秀論文賞。2021 年丸文研究奨励賞。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] J. Llandro, D. M. Love, A. KovácsJan, J. Caron, K. N. Vyas, A. Kákay, R. Salikhov, K. Lenz, J. Fassbender, M. R. J. Scherer, C. Cimorra, U. Steiner, C. H. W. Barnes, R. E. Dunin-Borkowski, S. Fukami, and H. Ohno, "Visualizing Magnetic Structure in 3D Nanoscale Ni–Fe Gyroid Networks," Nano Letters **20**, 3642-3650 (2020).

[2] B. Jinnai, K. Watanabe S. Fukami, and H. Ohno, "Scaling magnetic tunnel junction down to single-digit nanometers—Challenges and prospects," Applied Physics Letters **116**, 160501 (2020).

[3] K. V. De Zoysa, S. DuttaGupta, R. Itoh, Y. Takeuchi, H. Ohno, and S. Fukami, "Composition dependence of spin−orbit torque in Pt1−xMnx/CoFeB heterostructures," Applied Physics Letters **117**, 012402 (2020).

[4] H. Fulara, M. Zahedinejad, R. Khymyn, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Åkerman, "Giant voltage-controlled modulation of spin Hall nano-oscillator damping," Nature Communications **11**, 4006 (2020).

[5] S. DuttaGupta, A. Kurenkov, O. A. Tretiakov, G. Krishnaswamy, G. Sala, V. Krizakova, F. Maccherozzi, S. S. Dhesi, P. Gambardella, S. Fukami & H. Ohno, "Spin-orbit torque switching of an antiferromagnetic metallic heterostructure," Nature Communications **11**, 5715 (2020).

[6] J. Igarashi, Q. Remy, S. Iihama, G. Malinowski, M. Hehn, J. Gorchon, J. Hohlfeld, S. Fukami, H. Ohno, and S. Mangin, "Engineering Single-Shot All-Optical Switching of Ferromagnetic Materials," Nano Letters **20**, 8654 (2020).

[7] B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "High-Performance Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions down to 2.3 nm," IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM2020), 24.6.1, Online, 2020/12/12-18.

[8] C. Zhang, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno, "Field-free and sub-ns magnetization switching of magnetic tunnel junctions by combining spin-transfer torque and spin–orbit torque," Applied Physics Letters **118**, 092406 (2021).

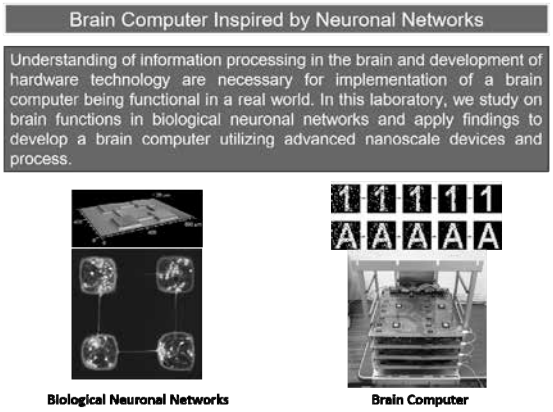
[9] K. Hayakawa, S. Kanai, T. Funatsu, J. Igarashi, B. Jinnai, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, "Nanosecond Random Telegraph Noise in In-Plane Magnetic Tunnel Junctions," Physical Review Letters **126**, 117202 (2021).

[10] S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, "Theory of relaxation time of stochastic nanomagnets," Physical Review B **103**, 094423 (2021).

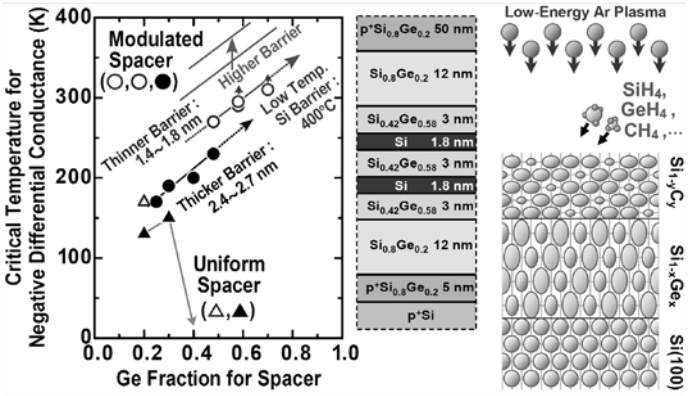
情報デバイス研究部門

## ナノ集積デバイス・プロセス研究室

# ナノ集積化技術の深化と脳型計算機の開発




脳型計算機の実現に向けて




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**
**ナノ集積神経情報システム研究分野　　准教授　山本 英明**


### ＜研究室の目標＞

本研究室では脳型計算や量子計算などの非ノイマン型計算に着目し、それらのハードウェア基盤技術について研究を行っている。デバイス、プロセス、回路、あるいはアルゴリズムや神経科学など多様な研究を遂行し、それらの統合により全く新しい計算機技術の創成に挑戦する。

ナノ集積デバイス研究分野では、脳型計算を含む AI 技術のより一層の社会実装に向けて、ハードウェアの高効率化や低消費電力化を可能とする脳型デバイスや専用 LSI、あるいはそれらから構成される AI システムの開発を通して脳型計算ハードウェア基盤技術の構築を目指す。また、量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野では、プラズマ誘起反応などを駆使して極薄領域におけるヘテロ構造形成を可能にし、新規電子物性を探索する。同時に、量子ヘテロ構造を Si 集積回路に搭載するための基盤技術構築を目指す。さらに、ナノ集積神経情報システム研究分野では、半導体微細加工・神経細胞培養・数理モデリングを統合し、脳情報処理の神経基盤をボトムアップに解析するための新しい実験系を構築する。これにより，脳神経系の基礎理解はもちろん，現行の脳型システムが直面している電力効率やアーキテクチャの壁などの解決に向けた、生物規範的なアプローチの創成を目指す。

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### 1. ナノ集積デバイス

脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、極低電力で動作するスパイキングニューロン回路の開発を行った。弱反転領域を利用するアナログ MOS 回路の消費電力が 10 nW 以下となることを数値実験により確認した。

2. **量子ヘテロ構造高集積化プロセス**

ペンタシリセンへの Si 結晶構造転換の実現を目的として、5 nm 厚の極薄 Si 層を Ge 層で挟み込んだ Ge／極薄 Si／Ge ヘテロ構造中の Ge 層を選択的に除去する実験を行った。マイクロメータスケールの大きさの極薄 Si 層が単離できていることを確認し、独立した極薄 Si の架橋構造を形成できる見通しを得た。

3. **ナノ集積神経情報システム**

生物の脳神経系で進化的に保存されているモジュール構造、そして大脳皮質視覚野の情報処理に基づいて提案されたハフ変換を導入することにより、リザバーコンピューティングの画像認識タスクの計算効率および損傷耐性を向上でき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）
准 教 授　　山本 英明（2020 年より）
学術研究員　　守谷 哲　（2020 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）、応用物理学会優秀論文賞（2019 年）、日本神経回路学会優秀研究賞（2019 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）。

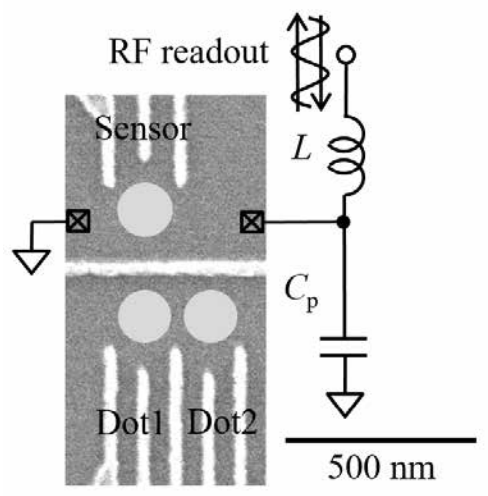
**山本 英明**　2005 年 3 月 早稲田大学理工学部電子・情報通信学科卒業。2009 年 3 月 同大学院先進理工学研究科ナノ理工学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員、早稲田大学高等研究所助教、東北大学学際科学フロンティア研究所助教、同大材料科学高等研究所助教を経て、2020 年 1 月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。JST さきがけ研究者（兼任）。神経細胞ネットワークの構成論的研究に従事。トーキン科学技術振興財団奨励賞受賞（2017 年）。青葉工学研究奨励賞受賞（2017 年）。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

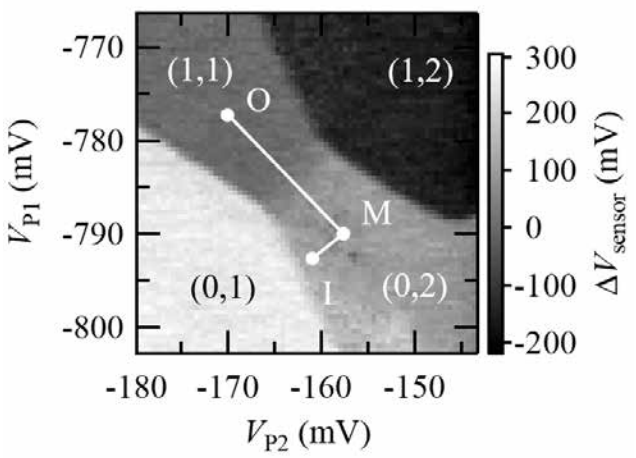
[1] S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, “Modular Networks of Spiking Neurons for Applications in Time-Series Information Processing”, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 11, 590-600, 2020.
[2] Y. Dai, H. Yamamoto, M. Sakuraba, S. Sato, “Computational Efficiency of a Modular Reservoir Network for Image Recognition”, Frontiers in Computational Neuroscience, 15, 594337, 2021.

## 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、制御技術を駆使しながら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。

**＜2020 年度の主な成果＞**

**１．　固体ナノ構造中局所電子状態の高速精密電気測定手法の研究**

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、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センサが重要となる。このようなセンサとして、我々は半導体量子ドット等を用いたミクロなセンサを開発している。高周波を活用した高速電気測定や、データ科学手法を活用した解析により、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定する手法について研究を行った[1, 3, 4]。

**２．　固体ナノ構造中の局所電子状態の研究**

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。我々は高速ミクロセンサ等の精密測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。量子ドットデバイスにおける電荷・スピン状態や、新材料における電子物性についてその詳細を解明した[2, 5]。

### ３． 固体ナノ構造を用いた量子デバイスの研究

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制御・観測技術を活用して、半導体量子ビット等の量子デバイスの研究を行った。量子ビット操作の研究とともに、量子系のスケールアップに向けた手法の研究を行った[6, 7]。

## ＜職員名＞

准教授　大塚　朋廣（2018 年より）
技術補佐員　熊坂　武志
事務補佐員　善積　利佳子

## ＜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）、日本物理学会若手奨励賞（2017 年）、理化学研究所研究奨励賞（2017 年）、矢崎科学技術振興記念財団学術奨励賞（2018 年）、文部科学大臣表彰若手科学者賞（2018 年）、東北大学ディスティングイッシュトリサーチャー（2020 年）。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, T. Ito, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, and T. Otsuka, “Gate voltage dependence of noise distribution in radio-frequency reflectometry in gallium arsenide quantum dots”, Applied Physics Express 14, 035002 (2021).

[2] T. Otsuka, T. Abe, T. Kitada, N. Ito, T. Tanaka, and K. Nakahara, “Formation of quantum dots in GaN/AlGaN FETs”, Scientific Reports 10, 15421 (2020).

[3] M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, T. Ito, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, and T. Otsuka, “Readout noise in radio-frequency reflectometry in gallium arsenide quantum dots”, International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, Online, Feb. 24, 2021.

[4] Y. Muto, M. Shinozaki, T. Kitada, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, S. Tarucha, and T. Otsuka, “Charge state estimation in quantum dots by Bayesian approach”, International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, Online, Feb. 24, 2021.

[5] T. Kitada, M. Seo, T. Abe, M. Shinozaki, N. Sato, T. Aizawa, Y. Muto, T. Kaneko, T. Kato, and T. Otsuka, “Quantum Dots in plasma CVD Graphene Nanoribbons”, International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, Online, Feb. 24, 2021.

[6] 大塚朋廣、「半導体量子ドットを用いた電子スピン状態の測定と制御」、日本物理学会、オンライン開催、2021 年 3 月 12 日

[7] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Measurement and control of spin quantum states utilizing semiconductor quantum dots”, 日本磁気学会学術講演会、オンライン開催、2020 年 12 月 15 日

# 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)無線 IoT への多数端末同時接続時上り回線非直交多元接続(NOMA)の適用を検討し、時刻・周波数同期の不完全性を考慮したプリアンブルを提案し、有効性を計算機シミュレーションにより確認した。また、今までのダイレクトディジタル RF 送信機技術の研究成果を基に、10GbE 用光ファイバ伝送系を用いた超ナイキスト周波数 RF 信号伝送を提案した。サブ 10GHz 帯フルディジタルビームフォーミングアンテナ送信機を試作し、その動作を実証した。

(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し、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有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により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9%のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した（2020.07. プレスリリース；国際会議招待講演 3 件）。また、光無線融合デバイスの実現に向け、InGaAs 系高電子移動度トランジスタに単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子の開発を進め、フォトダイオードのアクティブ領域面積を縮小することにより、1.5μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を 1 桁向上させることに成功した。

(3)超高速光通信研究室

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

(成果)1 チャネルあたり 1.28 Tbit/s の信号を 10 波長多重した 12.8 Tbit/s 光ナイキストパルスの OTDM-WDM 伝送実験を行い、1500 km の長距離伝送に成功した。これにより、1 チャネルあたり 1 Tbit/s を超える WDM 伝送において 1000 km を超える伝送距離を初めて実現した。さらに、注入同期型ヘテロダイン検波回路により光 QAM 信号から 61 GHz 帯 IF 信号へのキャリヤ周波数変換を実現し、64 Gbit/s, 256 QAM 信号の SMF 10 km、無線 6 m 光・無線融合フルコヒーレント伝送に成

功した。

(4)応用量子光学研究室

(目標)高性能・高機能な半導体光デバイス実現へ向け、超高速、超低雑音動作可能な半導体光源、高機能半導体光変調器の研究を進めている。また、新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、高機能半導体光デバイス及び新機能半導体光集積回路の研究を進めている。
(成果)提案した混合変調半導体レーザ光源の応答帯域を光学的手法により実験検証し、80GHz以上の応答帯域を有することを実証した。本検証結果を基に数値解析を進め、素子長の短尺化によって本応答帯域を 100GHz 以上に拡大可能であることを明らかにした。また、狭線幅光負帰還半導体レーザ光源の研究において、Si 細線光導波路によって構成された超小型光負帰還用光フィルタの最適構造設計を進め、帰還系の帰還利得の増大を図ることで発振スペクトル線幅 50kHz の小型狭線幅半導体レーザ光源の実現に成功した。

(5)情報ストレージシステム研究室

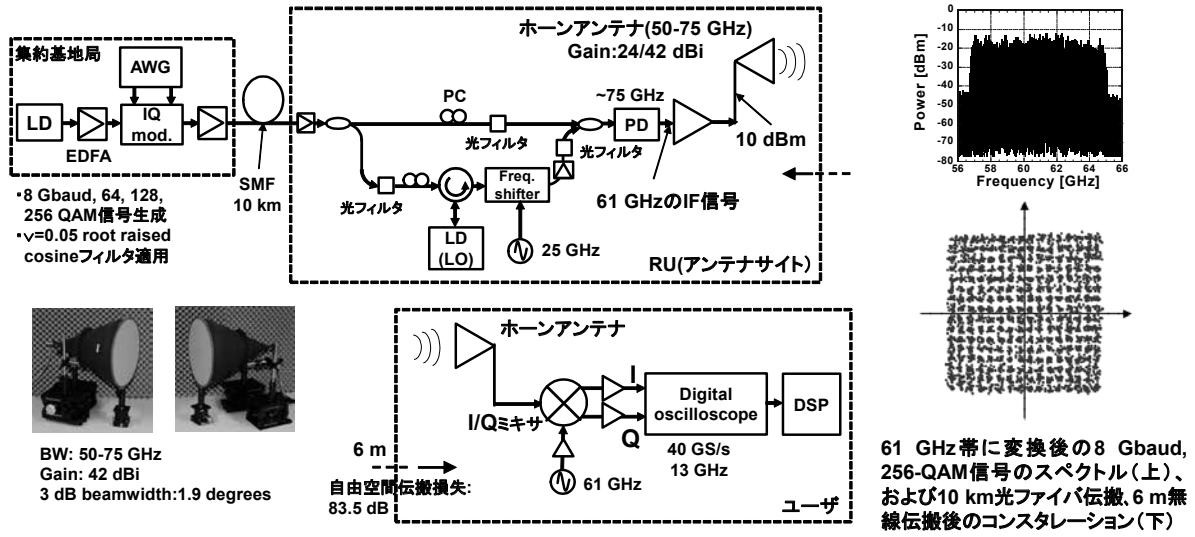
(目標) IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。高密度・高性能のストレージに対する需要の高まりに応え、次世代垂直磁気記録の研究を行う。高性能データインテンシブ解析に向け、コンピューティングとストレージを融合一体化したコンピュテーショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行う。
(成果) 複数の個別の記録層を持つ記録媒体に対して選択的に多重記録することを可能にする、新しい3次元エネルギーアシスト記録技術を開発した。スピントルク発振器(STO)によるマイクロ波アシスト磁気記録(MAMR)と、近接場光による熱アシスト磁気記録(HAMR)において、実効的で最適な多重記録条件を見出した。この技術の実現により、MAMR と HAMR の両方で、データ保存量をそれぞれ2倍に高めることが出来る可能性を確認した。また、PB 級大規模ストレージにコンピュテーション機能を近接化した脳神経構造の可視化解析プラットフォームのテストベッドを構築し、蛍光顕微鏡で撮像したニューロン構造3次元可視化機能における高性能データアクセスを確認した。

(6)量子光情報工学研究室

(目標)電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し，未来の量子情報通信の中核となるべき極限技術の開発に挑戦する。
(成果) (1) 光子対光源の高速かつ精密な2光子スペクトルの計測方法を開発。 (2) 巨視的物体の量子制御を可能とする超低損失機械振子を開発。 (3) 半導体中のスピンの高精度時間分解検出を可能とする技術(ヘテロダイン検出顕微カー回転分光法)を開発。(4) ナノ光ファイバに複数の金ナノ粒子を付着した系における光のキラル偏光特性を観測。水中のナノ光ファイバ近傍へのナノ・マイクロ粒子の捕捉，輸送の観測に成功。

## 超高速光通信研究室

# 次世代超高速光通信技術に関する研究




光注入同期によるキャリヤ周波数変換回路を用いた 61 GHz 帯光・無線融合フルコヒーレント伝送

**超高速光通信研究分野　教　授　廣岡 俊彦**
**光波制御システム研究分野　准教授　葛西 恵介**

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### 1．　超高速光伝送技術に関する研究

本研究室では、スペクトル広がりを抑えつつ高速伝送を実現できる新たな光パルス「光ナイキストパルス」を提案している。2020 年度は、光ナイキストパルスの高速性を活かして、1 チャネルあたり 1.28 Tbit/s の信号を 10 波長多重した 12.8 Tbit/s 光ナイキストパルスの OTDM-WDM 伝送実験を行い、1500 km の長距離伝送に成功した。これにより、1 チャネルあたり 1 Tbit/s を超える WDM 伝送において 1000 km を超える伝送距離を初めて実現した。

### 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、光張り出し方式で構成される第 5 世代移動通信システム(5G)等の無線アクセスネットワークにおいて、広帯域化および長延化を実現するために、デジタルコヒーレント方式による超高速モバイルフロントホールの実現を目指している。2020 年度は、注入同期型キャリヤ周波数変換回路により光 QAM 信号から 61 GHz 帯 IF 信号へのフルコヒーレント変換を実現し、高い S/N と低い位相雑音特性を有する IF 信号を生成した。本回路を用いて、64 Gbit/s、8 Gbaud-256 QAM 信号の 61 GHz 帯 SMF-10 km、無線 6 m 光・無線融合フルコヒーレント伝送に成功した。

## ＜職員名＞

教　授　廣岡 俊彦（2018 年より）
准教授　葛西 恵介（2019 年より）

## ＜プロフィール＞

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

**葛西 恵介**　2008 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2009 年 4 月日本学術振興会特別研究員（PD）。2012 年 11 月東北大電気通信研究所助教。2019 年 8 月同准教授、現在に至る。光波位相制御技術、デジタルコヒーレント光通信の研究開発に従事。電子情報通信学会 ELEX Best Paper Prize（2008 年）、電子情報通信学会論文賞（2012 年）など受賞。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] N. Takefushi, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “GAWBS phase noise characteristics in multi-core fibers for digital coherent transmission,” Opt. Express vol. 28, no. 15, pp. 23012-23022, July (2020).

[2] T. Kan, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Injection-locked 256 QAM WDM coherent transmissions in C- and L-bands,” Opt. Express, vol. 28, no. 23, pp. 34665-34676, November (2020).

[3] M. Yoshida, N. Takefushi, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Precise measurements and their analysis of GAWBS-induced depolarization noise in various optical fibers for digital coherent transmission,” Opt. Express vol. 28, no. 23, pp. 34422-34433, November (2020).

[4] K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “64 Gbit/s, 256 QAM coherently-linked optical and wireless transmission in 61 GHz band using novel injection-locked carrier frequency converter,” ECOC 2020, Th1G-7, Dec. (2020).

[5] T. Kan, K. Sato, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Spectrally efficient pilot tone-based compensation of inter-channel cross-phase modulation noise in a WDM coherent transmission using injection locking,” Opt. Express, vol. 29, no. 2, pp. 1454-1469, January (2021).

[6] M. Yoshida, T. Kan, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “10 Tbit/s QAM quantum noise stream cipher coherent transmission over 160 km,” J. Lightwave Technol., vol. 39, no. 4, pp. 1056-1063, February (2021).

[7] M. Yoshida, T. Kan, K. Kasai, T. Hirooka, K. Iwatsuki, and M. Nakazawa, “10 channel WDM 80 Gbit/s/ch, 256 QAM bi-directional coherent transmission for a high capacity next-generation mobile fronthaul,” J. Lightwave Technol., vol. 39, no. 5, pp. 1289-1295, March (2021).

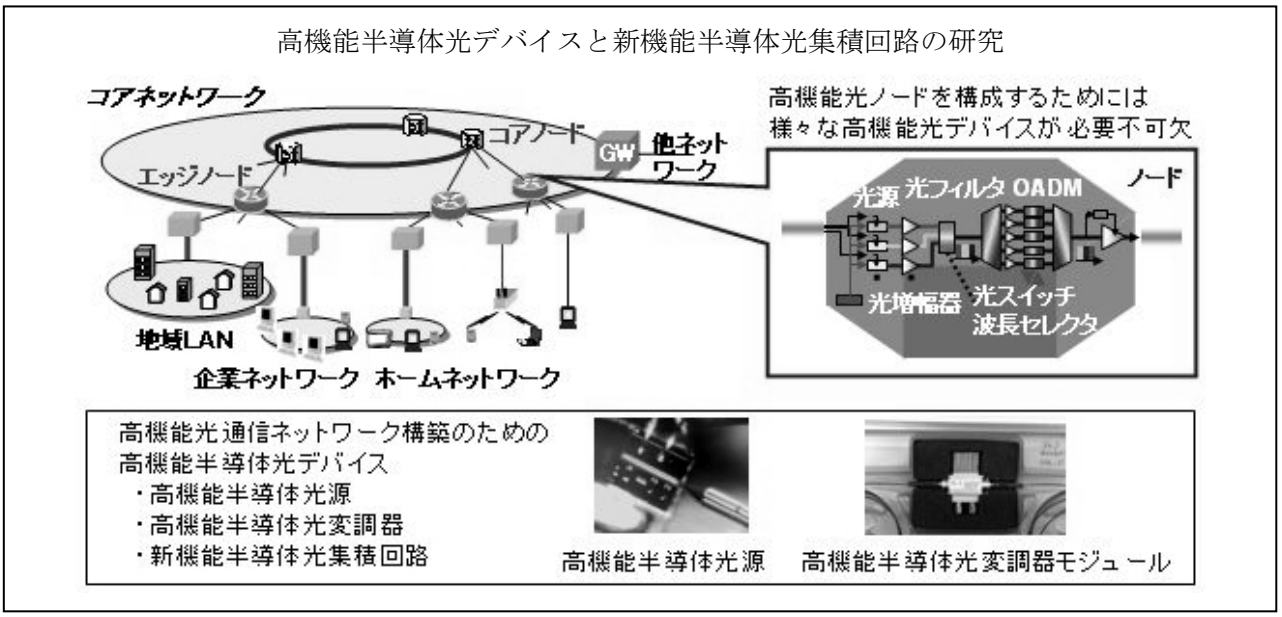
[8] M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Ultrahigh-speed Nyquist pulse transmission beyond 10 Tbit/s,” IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics (invited paper), vol. 27, no. 2, 7700612, March/April (2021).

[9] K. Sato, T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Chromatic dispersion dependence of GAWBS phase noise compensation with pilot tone,” Opt. Express, vol. 29, no. 7, pp. 10676-10687, March (2021).

[10] N. Yamanaka, M. Nishimura, M. Ishiguro, Y. Okazaki, T. Kawanishi, T. Tsuritani, A. Nakao, H. Harai, T. Hirooka, H. Furukawa, M. Miyazawa, N. Yamamoto, and S. Yoshino, “Future Vision of Beyond 5G Network — Overview of Architecture and Breakthrough Technologies for 2030—,” IEICE Trans. Comm., vol. J104–B, no. 3, pp. 315–336, March (2021).

## 応用量子光学研究室

# 革新的光通信用高機能半導体光デバイスの創出に関する研究




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

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　超高速半導体レーザ光源

超高速・超大容量光通信ネットワークを構築する上で、100Gb/s 以上の動作速度を有する高機能半導体光源の実現が必須である。半導体レーザの応答帯域拡大に向け、応答特性制御技術としてレーザ共振器損失と注入電流量を同時に変調可能な混合変調法を提案し、数値解析を通して 100GHz 以上の応答帯域の実現が可能であることを実証している。本原理を実験検証するために、試作した注入電流変調量域が 375μm、レーザ共振器損失変調領域が 220μm の混合変調半導体レーザ光源の光学的手法を用いた応答帯域測定を行うことで、本構造素子が 80GHz 以上の応答帯域を有することを実証した。本検証実験の結果を基に数値計算を行うことで素子長の短尺化で更なる広帯域化が可能であることを明らかにし、100GHz 超の応答帯域を有する半導体レーザ光源の実現可能性を示した。

## 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。本手法における光学的負帰還回路としての光フィルタに Si 細線光導波路によって構成した超小型光リングフィルタを採用することで超小型狭線幅光負帰還半導体レーザ光源の実現を目指した。光負帰還半導体レーザ光源においては、負帰還系の位相余裕と帰還利得を大きくし、安定な負帰還動作を実現することが重要となることより、光フィルタの光入出力導波路とリング導波路が 1 回だけ結合する新規構造光リングフィルタを提案し位相余裕の拡大と帰還利得の増大を実現した。本構造の光フィルタと単一モード半導体レーザをハイブリッド実装することで、発振スペクトル線幅が 50kHz にまで狭窄された小型光負帰還半導体レーザを実現した。

## ＜職員名＞

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

## ＜プロフィール＞

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

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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] M. Kanno, N. Yokota, and **H. Yasaka**, "Measurement of Intrinsic Modulation Bandwidth of Hybrid Modulation Laser," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 32, No. 13, pp. 839-842, 2020. (June) / DOI 10.1109/LPT.2020.2993797

[2] N. Yokota, K. Ikeda, and H. Yasaka, "Numerical investigation of direct IQ modulation of spin-VCSELs for coherent communications (**Invited**)," SPIE Optics+Photonics, paper 11470-87, Online, 24-28 Aug. 2020.

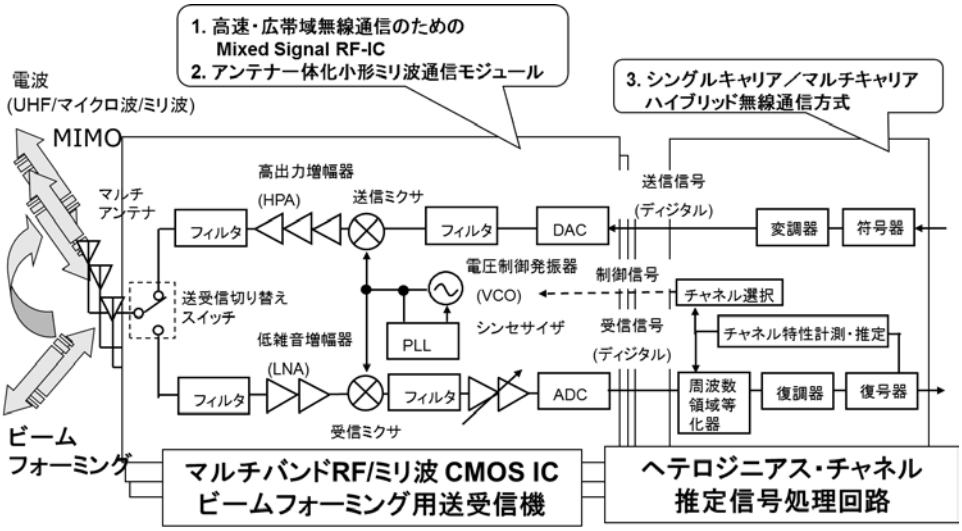
[3] N. Yokota, H. Kiuchi, and **H. Yasaka**, "Role of modulation bandwidth in narrow spectral linewidth semiconductor lasers under optical negative feedback," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 59, No. 10, pp. 102001-1-10, 2020. (Oct.) / DOI 10.35848/1347-4065/abb39d

[4] N. Yokota and H. Yasaka, "Cascaded SSB comb generation using injection-locked seed lasers," Optics Letters, vol. 46, No. 4, pp. 769-772, 2021. (Feb.) / DOI 10.1364/OL.416825

[5] N. Yokota, K. Ikeda, and H. Yasaka, "Spin-Injected Birefringent VCSELs for Analog Radio-Over-Fiber Systems," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 33, No. 6, pp. 297-300, 2021. (Mar. / Publication: 16 Feb. 2021) / DOI 10.1109/LPT.2021.3059697

## 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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

**１．　無線 IoT のための多数端末同時接続上り回線非直交多元接続（NOMA）**

産業用途などでの活用が期待される無線 IoT では、様々な種類でかつ膨大な数のデバイスが同時に通信を行うため、周波数リソースの逼迫が予想されている。特に各デバイスが個別に情報をネットワーク側に送信する上り回線トラヒックの増加が考えられるので、上り回線の周波数利用効率を

向上させる技術が今後ますます必要不可欠である。我々は周波数利用効率を向上させる技術である NOMA を無線 IoT に適用することを検討している。今年度は上り回線 NOMA において時刻・周波数同期の不完全性を考慮したプリアンブルを提案した。計算機シミュレーションによるリンクレベル特性の評価を行い、提案手法の有効性を示した。

### ２．10GbE 光ファイバ伝送系を用いたフルディジタル方式ディジタルビームフォーミングアンテナ

ナイキスト周波数を超える RF 周波数の伝送を可能とするダイレクトディジタル RF 送信機技術の研究成果を基に、10GbE 用光ファイバ伝送系を用いたサブ 10GHz 帯フルディジタルビームフォーミングアンテナおよび送信機を提案した。SFP+モジュールを実装したアンテナユニットを試作し、その動作を実証した。

## ＜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）
研究員　ジャン・テンガ（2019 年より）
技術補佐員　富澤 幸恵　　山田 かおり

## ＜プロフィール＞

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

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

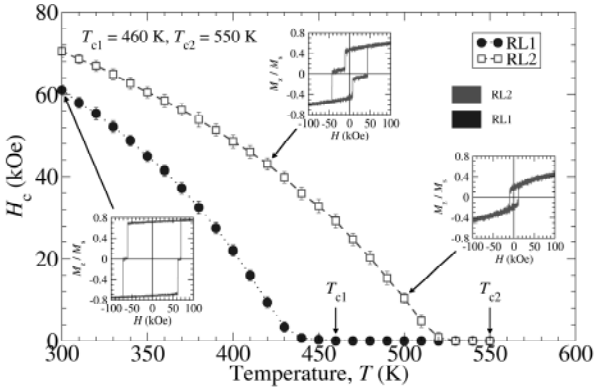
## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Novel Dual-Band Wireless Communication System for Medical usage," 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 130-132, Sep. 2020.
[2] B. Dang, M. Motoyoshi, J. Xu, H. Sato, S. Kameda, Q. Chen, N. Suematsu, "In-body/Out-body Dual-Use Miniaturized RFID Tag System Using 920MHz/5.02GHz Bands," 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 148-150, Sep. 2020.
[3] T. Yokouchi, K. Akimoto, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Evaluation of Channel Capacity of Millimeter-Wave Wireless Body Area Network in Overcrowded Train," IEICE Communication Express, vol.9, no. 9, pp.451-456, Sep. 2020.

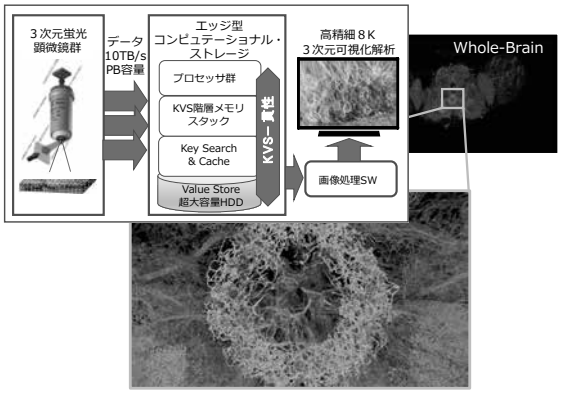
[4] K. Ono, K. Akimoto, S. Kameda, N. Suematsu, "Dual-CTS: Novel High-Efficiency Spatial Reuse Method in Heterogeneous Wireless IoT Systems," 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, TS MAC-NET, Oct. 2020.
[5] K. Yoshida, S. Kameda, N. Suematsu, “Effect of Estimation Timing Error on pre-TDE for Narrowband Uplink NOMA,” Wireless Personal Multimedia Communications 2020 (WPMC2020), Oct. 2020
[6] T. Furuichi, Y. Gui, M. Motoyoshi, S. Kameda, T. Shiba, N. Suematsu, "A Filter Design Method of Direct RF Undersampling On-Board Receiver for Ka-Band HTS," IEICE Transactions on Communications, vol.E103-B, no.10, pp.1078-1085, Oct. 2020.
[7] T. Machii, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Gain Improvement of a 130 GHz CMOS Amplifier by Using Radial Stub as AC Ground," 2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.770-772, RS35-1, Dec. 2020.
[8] R.Tamura, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Output Signal Characteristics of Optical Fiber Feed Direct Digital RF Transmitter Using SFP+ Module," 2020 50th European Microwave Conference (EuMC), pp. 276-279, EuMC14-1, Jan. 2021.

## 情報ストレージシステム研究室

# 高密度・高速エネルギーアシスト磁気記録、及び コンピュテーショナル・ストレージシステム研究




2 記録層の HAMR 媒体の保持力の温度依存性と MH 曲線の例




コンピュテーショナルストレージによる神経構造解析基盤の概念図

**情報ストレージ・コンピューティングシステム研究分野　教　授　田中 陽一郎**
**記録理論コンピューテーション研究分野　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（HDD）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するために高記録密度化による HDD 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進めている。コンピュータシミュレーションによる記録及び再生理論の検討と、今後の高速データ転送速度と高い面記録密度を実現するためのエネルギーアシスト垂直磁気記録再生方式の確立に取り組んでいる。さらに、高性能データインテンシブ解析に向け、コンピューティングとストレージを融合一体化してインテリジェンス性を高めたコンピュテーショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行っている。

### ＜2020 年度の主な成果＞

磁気記録装置の高速化、高密度化のための技術開発の取り組みとして、今年度はエネルギーアシスト垂直磁気記録として、マイクロ波アシスト磁気記録（MAMR）と熱アシスト磁気記録(HAMR)の両方式について多重記録による記録密度２倍増を目指した研究を実施した。MAMR システムでは、異なる強磁性共鳴周波数を有する記録層を利用することによって、複数の別々の記録層からなる媒体に情報を多重記録することが可能である。MAMR 多重記録に用いる複数の記録層媒体と記録の条件を最適化する研究を行ない、結果を論文[1-3]に発表した。論文[1]は、記録磁極による磁界を用いる

ことなく、スピントルク発振器からの回転磁界のみによって記録媒体の磁化反転と信号記録が可能であることをシミュレーションで検証した結果である。また、HAMR システムでは、異なるキュリー温度 Tc を有する記録層に対し、ヒートスポットの温度を変えることで選択的に多重記録することが可能であることを示した[4]。上記２種類の記録方法について、多重記録に用いる複数の記録層媒体と記録の条件を最適化する研究を行なった。

大規模ストレージとコンピュテーション機能を近接化して PB 級データセットの解析を行うコンピュテーショナル・ストレージの研究を推進している。今年度は、脳神経構造の 3 次元可視化をモチーフとしたデータ解析プラットフォームのテストベッドを構築した。Xeon-CPU 及び GPU ベースのコンピュータノードと大容量垂直磁気記録 HDD クラスタを内蔵するストレージノードを統合した解析基盤を構築し、さらに 100Gbps 級の高速データアクセスを可能とする NVMe-over-Fabric 型の高性能 All-Flash Storage システムを組み込んだ。蛍光顕微鏡で撮像した Drosophila(Fruit-fly)や Mouse 等のニューロン構造の３次元可視化を可能とする解析ツールを導入し、上記テストベッド上でデータアクセス性能の評価を実施した[5]。本研究に対し、本年度より科研費基盤研究(B) 20H02194 の助成を受けている。

## ＜職員名＞

教　授　田中 陽一郎（2019 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＞

**田中 陽一郎**　1981 年 3 月東北大学工学部通信工学科卒業。1983 年 3 月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士前期課程修了。2006 年 9 月同電子工学専攻博士後期課程修了。1983 年 4 月東芝。2016 年 11 月山形大学大学院教授。2019 年 4 月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。高密度垂直磁気記録方式、情報ストレージシステムの研究開発に従事。日経 BP 技術賞（2006 年)、日本応用磁気学会業績賞（2006 年)、大河内記念技術賞（2007 年）を受賞。日本磁気学会フェロー。

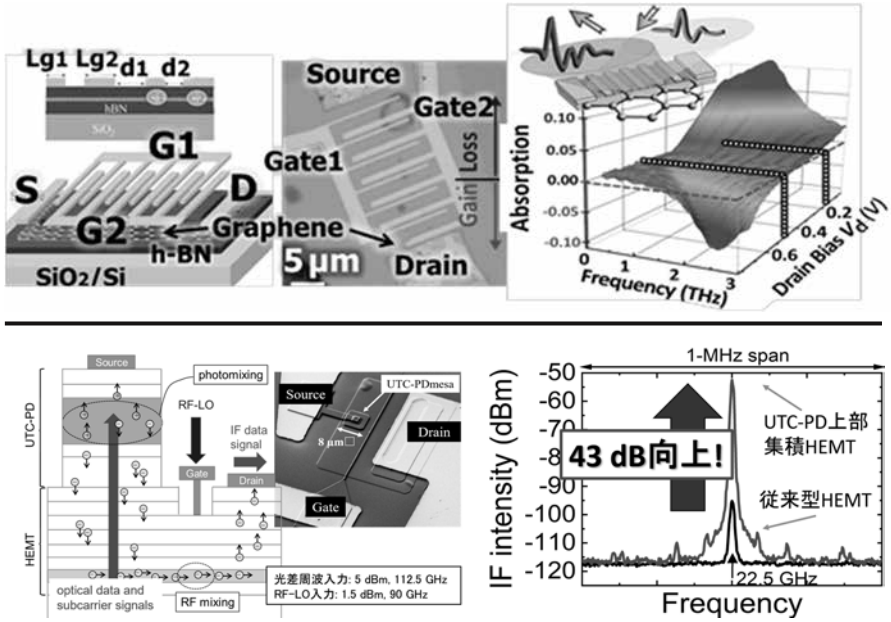
**サイモン グリーブス**　1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] W. Saito, S. Greaves, Y. Tanaka, “Investigation of selective dual-layer recording only using spin torque oscillator”, Trans. Mag. Soc. Jpn. 4, p1-4, 2020
[2] S. J. Greaves, Y. Kanai, “Optimisation of dual structure recording media for microwave-assisted magnetic recording”, AIP Advances 10, 125130, 2020
[3] S. Greaves, Microwave-assisted magnetic recording: Current status and outlook, Magnetics Japan 15(2), p110-117, 2020
[4] Hikaru Yamane, Simon John Greaves, and Yoichiro Tanaka, “Heat-Assisted Magnetic Recording on Dual Structure Bit Patterned Media”, IEEE Trans. Magn., Vol. 57, No. 2, 2021
[5] 田中陽一郎, “ライフサイエンス大規模データ解析に向けたコンピュテーショナル・ストレージ”, IoT/AI 時代におけるオープンイノベーション推進協議会 第 5 回シンポジウム, 2020
[6] Yoichiro Tanaka, “Computational storage platform for brain neural structure visualization analytics”, RIEC International Symposium, Symposium of Yotta Informatics Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021

## 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




上：非対称二重回折格子ゲート構造を有するグラフェンテラヘルツトランジスタの構造図および試作素子の顕微鏡写真、室温下で観測された透過テラヘルツ波コヒーレント増幅の減衰・利得スペクトル（負が利得を示す）.

下：UTC-PD 集積 HEMT 光無線周波数下方変換素子の断面構造図およびその電子顕微鏡写真、従来型 HEMT と UTC-PD 集積 HEMT を用いて 1.5-μm 帯光信号から周波数下方変換されたミリ波帯 IF 信号出力強度比較結果.

**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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

１．超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、単原子層炭素材料:グラフェンを利得媒質とする新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイスプロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9％のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した（2020.07. プレスリリース；国際会議招待講演 3 件）。

２．超ブロードバンドデバイス物理研究分野

新規材料・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・光電子物性の理論的解明や実験的実証を行なうとともに、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、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ（InGaAs-HEMT）の光ダブルミキシング機能の研究を進めている。今年度は、InGaAs-HEMT に単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子の開発を進め、フォトダイオードの能動領域面積を縮小することにより、1.5μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を 4 桁以上、格段に向上させることに成功した。

## ＜職員名＞

教　授　尾辻　泰一　（2005 年より）
准教授　佐藤　昭　（2017 年より）
助　教　渡辺　隆之　（2017 年より）
学術研究員　RYZHII Victor,　TANG Chao　　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。1994 年 2 月 博士（工学）取得（東京工業大学）。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。文部科学大臣表彰科学技術賞（研究分野）受賞（2019 年），IEEE GaAs IC Symposium Outstanding Paper Award 受賞（1997 年）。IEEE Electron Device Society Distinguished Lecturer, IEEE Fellow，OSA Fellow，JSAP Fellow，IEICE シニア会員，MRS，SPIE，各会員。

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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "Terahertz emission in an InGaAs-based dual-grating-gate high-electron-mobility transistor plasmonic photomixer," Appl. Phys. Exp., vol. 14(5), pp. 14 051001-1-5, April 2021. DOI: 10.35848/1882-0786/abf02a

[2] A. Satou, Y. Omori, K. Nishimura, T. Hosotani, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "Unitraveling-carrier-photodiode-integrated high-electron-mobility transistor for photonic double-mixing," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 39 (10), pp. 3341-3349, Feb 2021. DOI: 10.1109/JLT.2021.3060795

[3] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V.G. Leiman, P.P. Maltsev, V.E. Karasik, V. Mitin, and M.S. Shur, "Theoretical analysis of injection driven thermal light emitters based on graphene encapsulated by hexagonal boron nitride," Opt. Mat. Exp., vol. 11(2), pp. 468-486, Feb. 2021. DOI: 10.1364/OME.412973

[4] T. Negoro, T. Saito, T. Hosotani, T. Otsuji, Y Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "Gate-readout of photovoltage from a grating-gate plasmonic THz detector," IRMMW-THz: 45th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Buffalo, NY, USA, Nov. 8-13, 2020. (Virtual) DOI: 10.1109/IRMMW-THz46771.2020.9370627

[5] V. Ryzhii, M. Ryzhii, P.P. Maltsev, V.E. Karasik, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Far-infrared and terahertz emitting diodes based on graphene/black-P and graphene/MoS2 heterostructures," Opt. Exp., vol. 28, no. 16, pp. 24136-1-16, July 2020. DOI: 10.1364/OE.394662

[6] V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, and M. Shur, “Multiple heterostructures with van der Waals barrier layers for terahertz superluminescent and laser diodes with lateral/vertical current injection," Semicond. Sci. Technol., vol. 35, pp. 085023-1-9, July 2020. DOI: 10.1088/1361-6641/ab9398

[7] S. Boubanga-Tombet, W. Knap, D. Yadav, A. Satou, D.B. But, V.V. Popov, I.V. Gorbenko, V. Kachorovskii, and T. Otsuji, "Room temperature amplification of terahertz radiation by grating-gate graphene structures," Phys. Rev. X, vol. 10(3), pp. 031004-1-19, July 2020. DOI: 10.1103/PhysRevX.10.031004

[8] J. A. Delgado-Notario, V. Clericò, E. Diez, J.E. Vel'azquez-P'erez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, and Y.M. Meziani, "Asymmetric dual grating gates graphene FET for detection of terahertz radiations," APL Photon., vol. 5, pp. 066102-1-8, June 2020. DOI: 10.1063/5.0007249

[9] T. Negoro, T. Saito, T. Hosotani, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, and A. Satou, "A novel grating-gate plasmonic THz detector with photovoltage gate-readout for use in high-speed wireless communications," DRC: 78th Annual Device Research Conference Dig., paper #1J, Ohio State Univ., Columbus, OH, USA, June 22, 2020.

[10] V. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, "Graphene based plasma-wave devices for terahertz applications," Appl. Phys. Lett., vol. 116, pp. 140501-1-6, Apr. 2020. (invited, perspective) DOI: 10.1063/1.5140712

## 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

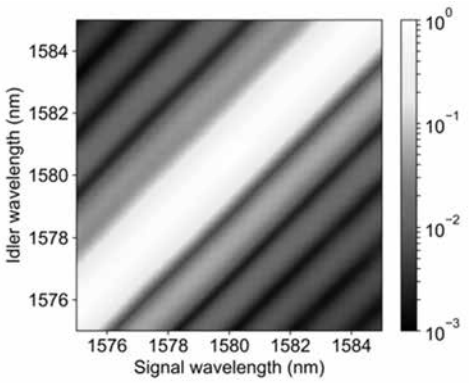



図 1. 光子対光源の２光子スペクトルの測定例。和周波発生法を用いることで，高速かつ精密な２光子スペクトルの計測を可能とした。



図 2. 石英ナノファイバを懸架線とする超低損失機械振子。巨視的物体の量子制御を可能とする。

**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**

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### (1) 光子対光源の高速かつ精密な2光子スペクトルの計測方法を開発

量子もつれ光子や伝令付単一光子を生成する光子対光源の特性評価方法として、和周波発生法を用いて高速かつ精密に２光子スペクトルを計測可能な技術を開発したを可能とした（図１）。さらに、多周期疑似位相整合による、高精度周波数無相関光子対源を開発した。

#### (2) 巨視的物体の量子制御を可能とする超低損失機械振子を開発

石英ナノファイバを懸架線として用いることで、世界最小のエネルギー散逸（損失）をもつ巨視的機械振子を開発した（図２）。散逸によるブラウン運動の影響を抑え，巨視的物体の量子制御を可能とする技術である。

### (3) 半導体量子ドット，量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し，半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究している。本年度は、半導体中のスピンの高精度時間分解検出を可能とする技術（ヘテロダイン検出顕微カー回転分光法）を開発した。

### (4) ナノ光ファイバを用いた単一光子光源，ナノフォトニクスデバイスの開発

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

## ＜職員名＞

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

## ＜プロフィール＞

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

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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] S.B. Cataño-Lopez, J.G. Santiago-Condori, K. Edamatsu, N. Matsumoto, “High Q mg-scale monolithic pendulum for quantum-limited gravity measurements”, Phys. Rev. Lett. **124**, 2221102/1-6 (2020).
[2] M. Sugawara, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, M. Sadgrove, “Optical detection of nano-particle characteristics using coupling to a nano-waveguide”, Opt. Exp. **28**, 18938-18945 (2020).
[3] T. Yhoshino, D. Yamaura, M. Komiya, M. Sugawara, Y. Mitsumori, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, K. Edamatsu, and M. Sadgrove, “Optical transport of sub-micron lipid vesicles along a nanofiber”, Opt. Exp. **28**, 38527-38538 (2020)
[4] F. Kaneda, J. Oikawa, M. Yabuno, F. China, S. Miki, H. Terai, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “Spectral characterization of photon-pair sources via classical sum-frequency generation”, Opt. Exp. **28**, 38993-39004 (2020).
[5] Y. Mitsumori, K. Uedaira, S. Shimomura, and K. Edamatsu, “Photoinduced Kerr rotation spectroscopy for microscopic spin systems using heterodyne detection”, Opt. Exp. **29**, 10386-10394 (2021).
[6] P. Vidil and K. Edamatsu, “Nonlocal generalized quantum measurements of bipartite spin products without maximal entanglement”, New J. Phys. 23, 043004/1-10 (2021).

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

2020 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，市販のセンサに比べて極めて感度の高いセンサシステムを構築した．民間企業との共同研究に発展している．高周波磁界計測に関しては，磁性ガーネットを用いてプローブ部分から金属を排した新たな手法で高周波回路内の高周波漏洩磁界分布の可視化に成功した．IoT 機器の電源問題を解決する小型振動発電機構に関する研究では，従来にない全く新しいメカニズムを提案した．これは磁性材料の相変態に立脚するものであり，従来特殊かつ高価な材料が必要であった逆磁歪型振動発電に対して優位なエネルギー変換素子となりうることを実証した．

## (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）**聴覚の空間的注意に関する研究を精力的に進め，競合音中における目的音の聴き取り様相の分析から，聴覚の空間的注意の空間窓の広がりが聴取課題に依存することを明らかにした．この知見は聴覚情報処理障害の早期診断法についても診断法への適用も可能であり，医工学研究科との共同研究が進んでいる．また，デジタル信号処理に基づいた 3

次元音空間収音技術の開発も進め，複数の球状マイクロホンアレイを分散配置することで，広領域の音空間情報を高精度に収音する方法を提案した．

### (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）**2020 年度は，以下の成果を得た．1）動きの視知覚には，高速運動検出器と低速運動検出器があるが，それらの役割の違いについて検討した結果，低速運動検出器はより広域の情報を統合し，回転や拡大縮小など複雑な大域的運動に関与していることを示した．これは視覚系が入力される網膜情報に合った運動処理を実現していることを意味する興味深い結果である．2）日本語の「間」の概念と「一体感」の概念について，2 人のダンサーの即興ダンスを刺激として研究し，プロのダンサーを評価者として間が感じられる場面について聞き取り調査をした．それに基づき，間の概念について空間や時間の間隙という意味以上に，意図的な注意状態あるいはある種の知覚モードであるとの提案をした．これは基礎研究としても重要な知見であるとともに，将来の非言語情報のコミュニケーション技術にとっても重要である．

### (4) 情報コンテンツ研究分野

**（目標）**コンピュータで直接扱えるようにデジタル化されているものだけでなく，身の回りのあらゆるものをコンテンツと捉え，これらを活用して人々が快適に，または効率的・直感的に作業をしたり，円滑かつ豊かなコミュニケーションができるようにするために，人と空間（およびその構成物）のインタラクションを考慮して，インタラクティブコンテンツに関する研究に取り組む．
**（成果）**本年度は，モバイルデバイスのタッチ入力や三次元モーションキャプチャシステムを拡張する新たな仕組みや要素技術を開発した．本研究室では，これまでより，人と空間とコンテンツの関係性を調べるため，様々なセンサデバイス，壁面や床ディスプレイ，自律移動ディスプレイ等によって構成される空間を試作しているが，本年度では，部屋規模のバーチャルリアリティにおいて空間インフラの触覚を提示するための動的作業空間構築技術について検討を進めた．

### (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）**2020 年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1) 四脚動物などが示す胴体–脚間の相互作用様式を明らかにした．(2) ヘビが示す適応的な運動パターンに内在する自律分散制御則を明らかにした．(3)適応的な一次元這行運動に内在する自律分散制御則を明らかにした．(4)バクテリアのバイオフィルム形成に内在する自律分散制御則を明らかにした．(5) 餌を互いに分け与えることで厳しい環境下を生き延びるチスイコウモリの社会形成メカニズムを明らかにした．

## (6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野

**（目標）**ナノテクノロジーとバイオ・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，副作用性不整脈の問題から注目される心臓の膜タンパク質 hERG チャネルを，微細加工したシリコンチップ中に埋め込んで並列させることにより，高効率な薬物副作用センサの基盤技術を構築した. 生体脳でよく見られるモジュール構造型神経回路を，培養神経細胞系に再構成するためのマイクロ流体デバイスを開発した．このデバイスを用いて，モジュール間の相互作用を切断間際まで弱めた条件では，培養神経回路の発火パターンが生体条件に近づくことを明らかにした．また，有機強誘電体であるポリフッ化ビニリデン（PVDF）膜に基づく圧力センサを開発し，下地金電極の化学修飾によるセンサの高感度化を実現し,画期的なセンサ作製法として提案した. この他,Si 基板上に形成した TiO2 ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサの開発に成功した.

## (7)多感覚情報統合認知システム研究分野

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

**（成果）**2020 年度は，食物知覚における食感（口腔内触覚と運動感覚との統合）の役割に関する研究，味覚や聴覚と視覚のイメージに関する研究，商品における色と香りの相互作用に関する研究などを実施した．また，並行して，聴覚が両眼視野闘争に及ぼす効果や視聴覚間での注意機能の違いの検証，聴覚と体性感覚の相互作用，視聴覚間での感情・覚醒に及ぼす影響の比較などの研究を開始した.

## 生体電磁情報研究室

# 生体との良好なコミュニケーションを目指して

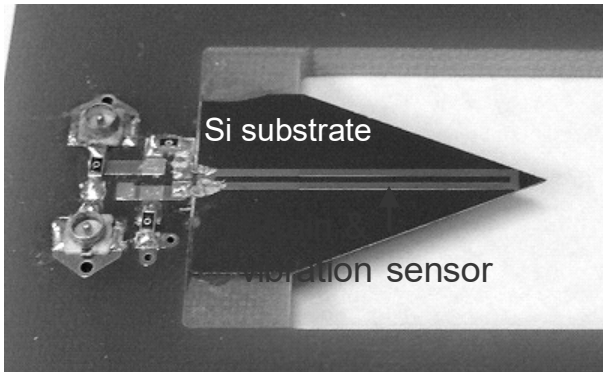



図 1 Si ウエハ上に作製された磁歪薄膜の逆磁歪効果を利用した高感度ひずみ&振動センサ素子

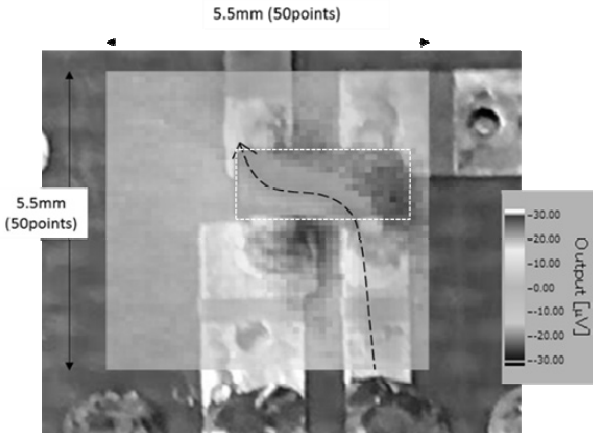



図 2 高周波磁界分布計測システムで可視化された VCO 内部回路上の磁界分布(@623MHz)

**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　栃　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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

**１．　高感度ひずみセンサを用いた微小振動計測システムの開発に関する研究**

磁性体の特徴の一つである逆磁歪効果と、本研究室で開発した磁気異方性の誘導技術を適用することで、磁性薄膜型高感度ひずみ・振動センサ素子を実現した。磁歪薄膜の磁気異方性の誘導方向が、基板を含む素子の構成材の機械的特性に依存することを利用して、Si ウエハ（図 1）または薄ガラス基板のいずれにおいても高感度特性を示すことを明らかにし、数十 Hz 以下の低振動周波数における微小振動が検知可能な高感度計測システムを実現するとともに、このセンサが数十 kHz の振動計測にも適用可能であることを実証した。

**２．　モーションキャプチャと組み合わせた触覚情報提示手法に関する研究**

微小な磁石を指先に装着し、その指を交流磁界中に置くことで指に振動を与えることができる。これを位置検出システムと組み合わせることで触覚を提示する手法について検討した。指先に移動速度に比例した周波数の振動を与えることにより、表面凹凸をなぞるような感覚を指に与えることに成功し、新しい触覚提示システムとしての可能性を示した。

### ３． 高周波磁界計測に関する研究

磁性ガーネットの磁気光学効果とパルスレーザを用いた高周波磁界測定システムにおいて、被測定対象回路から取り出した信号を基準とする同期手法の実現により、汎用の電子機器内部回路に対する本システムの適用の可能性を示した（図 2)。

### ４． 逆磁歪効果利用振動発電に関する研究

逆磁歪効果を利用した振動発電において、磁性材料の磁気異方性と、応力が印加された場合の磁気異方性の変化を考慮して発電デバイスを設計することで高効率の振動発電が実現できることを示し、磁歪定数の大きさのみに依存した従来の材料選択方式に新たな視点を提案した[3]。

## ＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）
准教授　栃 修一郎（2010 年より）

## ＜プロフィール＞

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

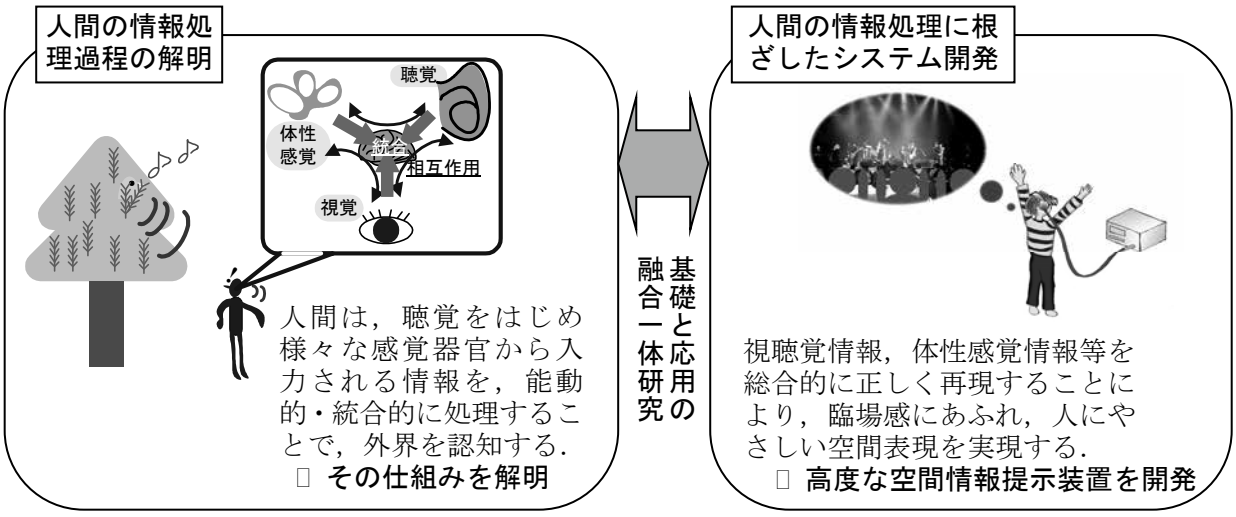
**栃 修一郎**　1990 年 3 月　琉球大学工学部電気工学科卒業。1992 年 3 月　同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992 年 4 月　本田技研工業（株）入社。1998 年 3 月　東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998 年 4 月　医薬品機構派遣研究員。2000 年 7 月　岐阜大学工学部助手。2007 年 4 月　同大工学部助教。2008 年 4 月　東北大学電気通信研究所助教。2010 年 6 月　同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] 立岡大青, 栃修一郎, 石山和志「パルスレーザを用いた高周波近傍電磁界計測における新しい同期手法の提案」日本磁気学会論文特集号, Vol. 4, No. 1, pp. 37-40, 2020.（日本磁気学会論文奨励賞受賞論文）
[2] 曽良大輔, 栃修一郎, 石山和志「強制振動による逆磁歪効果型ひずみセンサの特性評価」日本磁気学会論文特集号, Vol. 4, No. 1, pp. 41-45, 2020. （日本磁気学会論文奨励賞受賞論文）
[3] S. Inoue, T. Okada, S. Fujieda, F. Osanai, S. Hashi, K. Ishiyama, S. Seino, T. Nakagawa, T. A. Yamamoto, and S. Suzuki, “High-performance vibration power generation using polycrystalline Fe–Co-based alloy due to large inverse magnetostrictive effect,” AIP Advances 11, 035021 (2021)

## 先端音情報システム研究室

快適な音環境・高度な音響通信技術の実現を目指して




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　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．

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　聴覚および聴覚を含む多感覚情報処理過程の解明

人間は同時並列的に複数の感覚器官に入力された情報を取捨選択，統合して外界をより安定・正確に認識している．本分野ではこのような人間の認識過程に着目し，その主要な感覚情報の一つである聴覚情報を中心に，この聴覚・多感覚情報処理過程の解明に取り組んでいる．

2020 年度は，聴覚の空間的注意に関する研究を精力的に進め，多くの知見を得た．カクテルパーティー効果を念頭に行った競合音存在下における標的音の検出性能に関する研究では，水平方向の様々な角度に配置した妨害音の中から標的となる音を聴取者に聴き取らせ，あらかじめ標的音が提示される方向に注意を向ける条件と向けない条件での音の検出性能を考察した．その結果，課題が音声の聴き取りの場合，標的音声が提示される方向に注意を向けることで了解度が向上するのに対し，課題が標的音の検出課題の場合，標的音の提示方向に注意を向けたとしても検出域値は変化しないことが明らかとなった[1].

そのほかにも，高齢者や人工内耳装用者の音声聴き取り訓練に活用可能な，タブレットを用いた視聴覚音声聴取訓練システムの構築と評価[2]，ならびに，自己運動中における移動音像の移動検知限や頭部回転中の音空間知覚について興味深い結果が得られた．

### ２． 3 次元音空間の制御・再現法の研究

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．2020 年度は，球状マイクロホンアレイを複数用いた分散マイクロホンアレイによる音空間広領域収音技術について研究を進めた．具体的には，所望の聴取点の周囲に仮想的に境界球面を設置し，その球面上の音圧を複数の球状マイクロホンアレイの収音信号から求め，仮想球モデル型聴覚ディスプレイ（Auditory display based on virtual sphere model：ADVISE）を規範として聴取点の音圧を求める方法を提案した．

### 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．2020 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った．音から作る振動を AM 波形と見立て，振動の包絡線と搬送波周波数が高次感性にどのような影響を及ぼすのかについて分析した結果，個々の物理パラメータ自体は大きな影響を及ぼさないものの，パラメータの値によって再現されるイベントの有無が高次感性評価に影響を及ぼすことが明らかとなった[3].

## ＜職員名＞

教　授　　坂本 修一（2019 年より）

## ＜プロフィール＞

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，2019 年 8 月同教授，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～2020 年 5 月）

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] Effects of listening task characteristics on auditory spatial attention in multi-source environment
R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki and S. Shioiri
Acoustical Science and Technology, 42(1), 12-21 (2021).

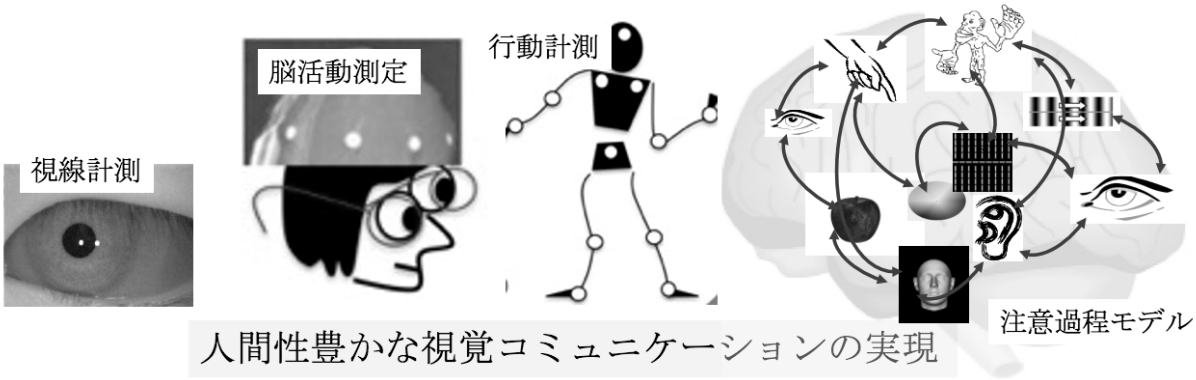
[2] In-home auditory training using audiovisual stimuli on a tablet computer: feasibility and preliminary results
T. Sato, T. Yabushita, S. Sakamoto, Y. Katori and T. Kawase
Auris Nasus Larynx, 47(3), 348-352 (2020).

[3] 音から生成した全身振動の周波数特性が高次感性に与える影響～多感覚情報の高次感性を定める要因の解明を目指して～
阿部翔太，崔正烈，坂本修一，鈴木陽一，行場次朗
日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 26(1), 62-71 (2021).

[4] 防災行政無線屋外拡声子局における出力レベルの最適化
西村竜一，坂本修一，苣木禎史，山高正烈
日本音響学会誌，76(9)，475-484 (2020).

## 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










ヒトの脳の視覚処理系を探求し，その成果を人間工学，画像工学などへ展開し、人間性豊かな視覚コミュニケーションの実現を目的とする．そのために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い．

**高次視覚情報システム研究分野　教　授　塩入　諭**
**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．

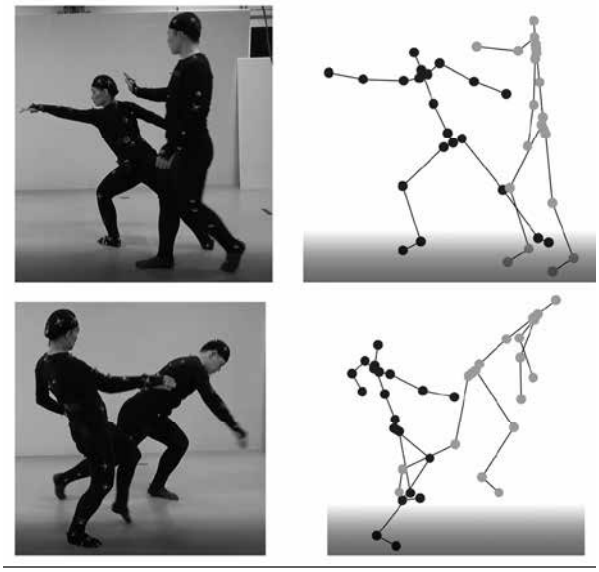
**＜2020 年度の主な成果＞**

**１．　<u>大域運動処理に関する低速運動検出と高速運動検出システム</u>**

動きの視知覚には，高速運動検出器と低速運動検出器があるが，それらの役割の違いについて検討した結果，低速運動検出器はより広域の情報を統合し，回転や拡大縮小など複雑な大域的運動に関与していることを示した．これは視覚系が入力される網膜情報に合った運動処理を実現していることを意味する興味深い結果である．

## 2.「間」と「一体感」に関する対人認識の研究

日本語の「間」の概念と「一体感」の概念について，2 人のダンサーの即興ダンスをモーションキャプチャーし，それを利用して刺激を用いた実験を行った．プロのダンサーを評価者として、ダンスの中で「間」が感じられる場面について聞き取り調査をした．それに基づき，「間」の概念について空間や時間の間隙という意味以上に，意図的な注意状態あるいはある種の知覚モードであるとの提案をした．これは対人知覚/行動の基礎研究として重要な知見であるとともに，将来の非言語情報のコミュニケーション技術にとっても重要である



一体感と間の知覚の評価のために使った視覚刺激。2 人のダンサーによる即興ダンス。

## ＜職員名＞

教　授　塩入　諭（2005 年より）、准教授　曽　加蕙（2016 年より）、助教　羽鳥　康裕（2018 年より）助教、（兼任）SUN Sai（2020 年より）、特任助教（兼任）佐藤　好幸（2018 年より）、秘書 永島　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.

**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．

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] Shioiri S, Matsumiya K, Tseng CH. Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. Scientific reports. 2021;11(1):3995.

[2] Wu W, Hatori Y, Tseng CH, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S. A motion-in-depth model based on inter-ocular velocity to estimate direction in depth. Vision Res. 2020;172:11-26.

[3] Takano S, Matsumiya K, Tseng CH, Kuriki I, Deubel H, Shioiri S. Displacement detection is suppressed by the post-saccadic stimulus. Scientific reports. 2020;10(1):9273.

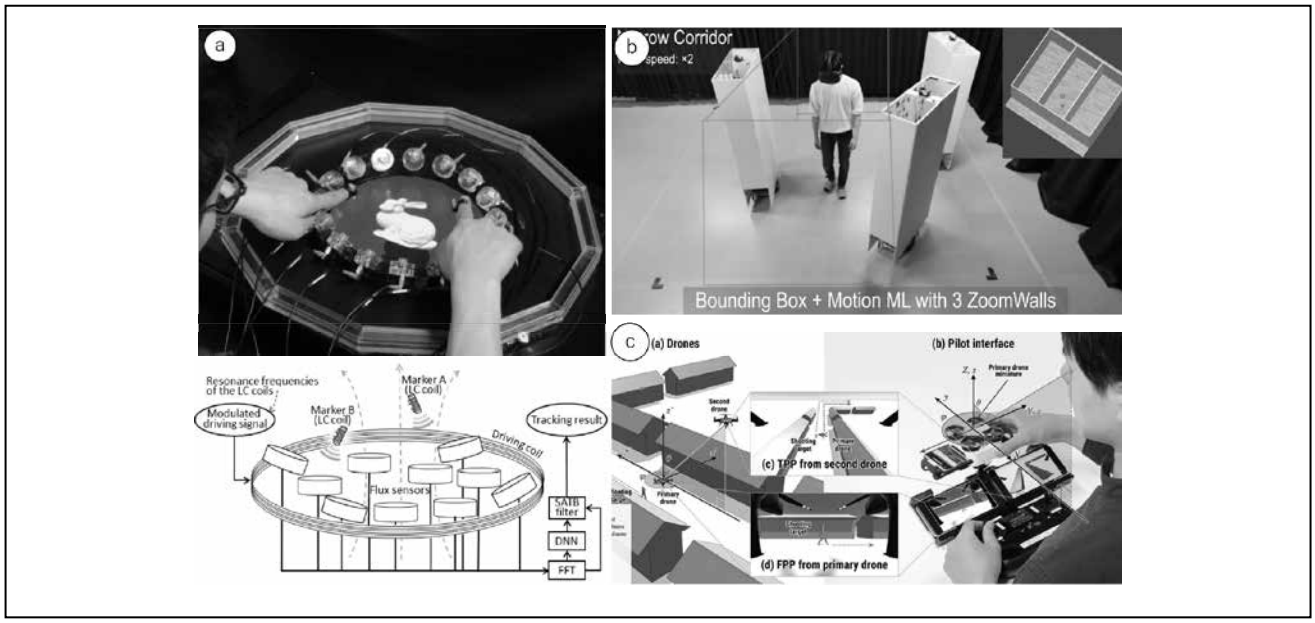
[4] Hsieh TT, Kuriki I, Chen IP, Muto Y, Tokunaga R, Shioiri S. Basic color categories in Mandarin Chinese revealed by cluster analysis. J Vis. 2020;20(12):6.

[5] Harasawa M, Sawahata Y, Komine K, Shioiri S. Effects of content and viewing distance on the preferred size of moving images. J Vis. 2020;20(3):6.

[6] Kaneko S., Kuriki I., Andersen S. Steady-state visual evoked potentials elicited from early visual cortex reflect both perceptual color space and cone-opponent mechanisms, Cerebral Cortex Communications, Volume 1, Issue 1, 2020

## 情報コンテンツ研究室

# インタラクティブコンテンツを実現する技術の研究開発




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

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2018 年度の主な成果＞

**１．　3 次元モーションキャプチャ**

人の手や身体等の動きを連続して滑らかに正確に計ることが可能な磁気式 3 次元モーションキャプチャーを深層学習と新提案のフィルタにより開発しました．磁気式マーカーは，小型・軽量（約 1g）で，電源供給の必要がなく，無線で複数のマーカーを区別して計測可能である[1]（図 a)．

**２．　ルームスケール VR における遭遇型触覚提示インタフェース**

部屋規模 VR における空間インフラの触覚を遭遇的に構築するための複数の自走式物理プロップインタフェースシステムを開発した[2]（図(b)）．提案手法では，VR ユーザの目標を事前に予測することで，遅延なく高範囲に触覚プロップを循環的に提供し，VR ユーザの高い臨場感体験を生み出すことに成功した.

**３．　拡張ドローン操縦インタフェース**

空間的に連動する 2 台のドローンを利用してドローン操縦を拡張するインタフェースを提案した[3]．主たるドローンに加えて，空間連携する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで，パイロットの空間把握と操縦を大幅に改善することができた（図(c)）.

### ４． モバイルデバイスインタフェース

限られたサイズのスクリーン上で広大な情報を効率よく操作するために，位置制御と速度制御をなめらかに切り替えることができる新たなタッチスクリーンデバイスおよびインタフェースを開発した[4].

## ＜職員名＞

教　授　北村　喜文
准教授　高嶋　和毅
助　教　藤田　和之　　池松　香

## ＜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，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／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，2020 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．日本バーチャルリアリティ学会フェロー．国際会議 ACM SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI，JVRC，ICAT，EGVE，EuroVR 等でいろいろな役割を務めてきた. 例えば SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair, CHI 2021 General Chair 等. IFIP TC-13 日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等で Chair を務める．日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている．

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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] Jiawei Huang, Ryo Sugawara, Kinfung Chu, Taku Komura, Yoshifumi Kitamura, Reconstruction of Dexterous 3D Motion Data from a Flexible Magnetic Sensor with Deep Learning and Structure-Aware Filtering, *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics* (Early Access), 2020.

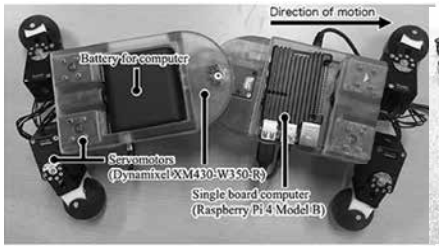
[2] Yan Yixian, Kazuki Takashima, Anthony Tang, Takayuki Tanno, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura. ZoomWalls: Dynamic Walls that Simulate Haptic Infrastructure for Room-scale VR Worlds, *In Proceedings of User Interface Software and Technology (UIST '20)*, 223-235, 2020

[3] 天間遼太郎，高嶋和毅，藤田和之，末田航，北村喜文．空間連動する 2 つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張．情報処理学会論文誌，Vol . 61, No. 8, pp. 1319 - 1332, 2020 年【推薦論文】

[4] 藤田和之，黄 梦婷，高嶋和毅，土田太一，真鍋宏幸，北村喜文．ShearSheet: 静電容量タッチパネルに装着可能な透明シートを用いた剪断入力インタフェース．情報処理学会論文誌，62 巻，2 号，pp. 641-653, 2021

**実世界コンピューティング研究室**

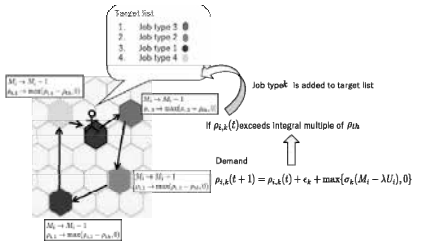
# 生き物のようにレジリアントな知能システムの創成




トカゲ様歩行から学ぶ胴体と脚の協調制御メカニズム



ヘビの多様な運動パターンに内在する自律分散制御則




COVID-19 流行と経済活動の相互作用に関する数理モデル

**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．

## ＜2020 年度の主な成果＞

### １．　トカゲ様歩行から学ぶ胴体の屈曲運動と足並みの協調制御メカニズム

両生類や爬虫類などの四脚動物は，四肢の運動のみならず胴体の横方向の屈曲伸展運動を動員することで，適応的な歩行運動を示す．こうした振る舞いを生み出す制御方策を理解するため，本研究では，これまでの動物の適応的な足並みを再現可能な分散制御メカニズムを脚と胴体との協調運動へと拡張し，ロボット実機実験によってその有用性を検証した．その結果，ロボットの脚や胴体に生じる力学的な負荷情報に基づいた運動調整則によって，動物のような胴体屈曲と足並みの柔軟な協調運動が創発されること，また身体の故障に対して高い頑健性を示すことを，ロボット実機実験の両方で示した．こうした成果は，動物の全身に及ぶ協調運動に内在する制御メカニズムの理解へとつながることが期待できる．

## ２． ヘビの多様な運動パターンに内在する自律分散制御則

ヘビは，紐状の単純な身体構造にもかかわらず，多種多様な運動パターンを有し，それらを環境に応じて巧みに使い分けることで様々な環境を踏破することができる．本研究では，数理モデルおよびロボットを用いた構成論的アプローチにより，ヘビが示す多芸多才な身のこなしに内在する自律分散制御則の解明に取り組んだ．動作と感覚情報の整合性を評価しフィードバックする提案制御則により，３次元的な運動パターンを含む多様な振る舞いの再現に成功した．本研究成果は，ヘビ型ロボットの環境適応性や振る舞いの多様性を飛躍的に高めうる制御原理の解明に資すると期待される．

## ３． COVID-19 流行と経済活動の相互作用に関する数理モデル

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行阻止のためには人と人との接触をできる限り少なくすることが必要であるが，その一方で活動自粛により膨大な経済損失が起きてしまうというジレンマが存在する．このジレンマを解消し，経済活動を維持しつつも流行を阻止するための方策を見出すことは，喫緊の課題である．この問題を議論するため，経済活動の要因を取り込んだ COVID-19 流行の数理モデルを提案した．本モデルは，上記ジレンマの解消についての政策議論をするためのプラットフォームになり得ると期待される．

## ＜職員名＞

| | | |
|---|---|---|
| 教　授 | 石黒　章夫 | （2011 年より） |
| 准教授 | 加納　剛史 | （2016 年より） |
| 助教 | 福原　洸 | （2018 年より） |
| 助教 | 安井　浩太郎 | （2020 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）。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

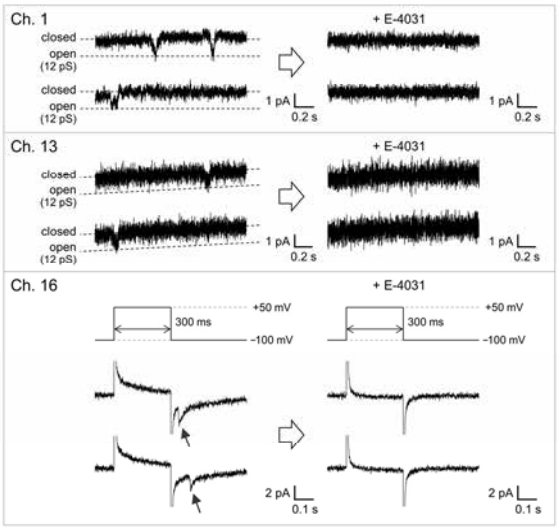
[1] S. Suzuki, T. Kano, A. J. Ijspeert, A. Ishiguro, “Sprawling Quadruped Robot Driven by Decentralized Control With Cross-Coupled Sensory Feedback Between Legs and Trunk”, Frontiers in Neurorobotics, 14, 607455 (2021), doi:10.3389/fnbot.2020.607455

[2] T. Kano, A. Ishiguro, “Decoding Decentralized Control Mechanism Underlying Adaptive and Versatile Locomotion of Snakes”, Integrative and Comparative Biology, 60, 1, 232-247 (2020), doi:10.1093/icb/icaa014

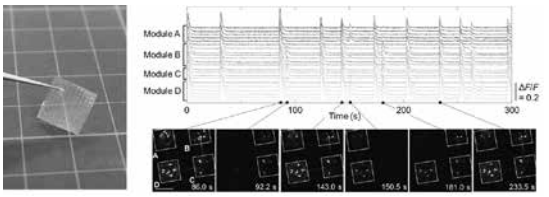
[3] T. Kano, K. Yasui, T. Mikami, M. Asally, A. Ishiguro, “An agent-based model of the interrelation between the COVID-19 outbreak and economic activities”, Proceedings of the Royal Society A, 477, 20200604 (2021), doi:10.1098/rspa.2020.0604

## ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室

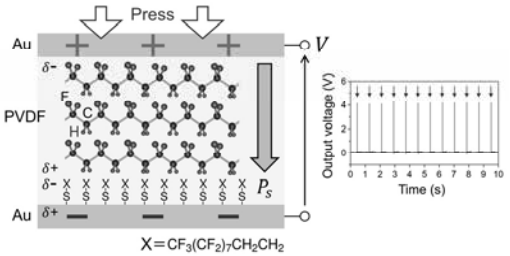
# ナノテクノロジーとバイオ材料との融合による新機能デバイスの創出




hERG チャネル活動の並列記録（Ch. 1，13：シングルチャネル電流，Ch. 16：アンサンブル電流を検出）




神経細胞パターニングのためのマイクロ流体デバイス




有機強誘電体（PVDF）膜に基づく圧力センサ

### 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．

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　人工細胞膜アレイに基づく hERG チャネル電流の並列記録

近年，創薬分野において，膜タンパク質のイオンチャネルに対する薬物作用を効率良く評価することの重要性が高まっている．特に，心筋の hERG チャネルは薬物副作用による不整脈の問題から注目を集めており，我々も以前から，Si チップを支持体とする人工細胞膜に基づいて hERG チャネル電流を測定する機能評価系を提案してきた．2020 年度は，この人工細胞膜を並列させたアレイ系を構築し，hERG チャネルに対する high-throughput 評価系への展開を試みた．その結果，複数の膜からの hERG チャネル電流の同時記録と，特異的阻害剤による阻害作用の評価に成功した．これらの結果は，本人工細胞膜アレイが hERG チャネル高効率スクリーニング系として有望であることを示唆しており，今後の展開が期待される．以上の成果を，国際誌 Micromachines や Chemistry Letters に発表した．

### ２． 神経細胞パターニングのためのマイクロ流体デバイスの開発

生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御することで，脳神経において進化的に保存されているモジュール構造を持った神経回路を構成するためのマイクロ流体デバイスを開発した．デバイス上で培養した神経細胞ネットワークの発火パターンを蛍光カルシウムイメージングによって計測し，モジュール間の相互作用を切断間際まで弱めた条件では，培養神経回路の発火パターンが生体条件に近づくことを明らかにした．以上の成果を国際誌 Jpn. J. Appl. Phys.などに発表した．

### ３． 有機強誘電体膜に基づく圧力センサ／$TiO_2$ ナノチューブを用いた高感度ガスセンサの開発

有機強誘電体であるポリフッ化ビニリデン（PVDF）膜に基づく圧力センサを開発した．我々が有する簡便な作製法（溶液法）と，下地 Au 電極の化学修飾表面とを併用することにより，センサの高感度化を実現した．これにより，一般的な電界による分極処理（ポーリング）を必要としない画期的なセンサ作製法を見出すことに成功した（以上の成果を国際誌 Sens. Act. A に発表した）．また，Si 基板上に形成した $TiO_2$ ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサを開発した．原子層堆積法を用いて，ナノチューブ薄膜表面だけでなく，チューブ内壁にも Pt 微粒子を触媒として担持することにより，従来型に比べ，感度および反応時間を一桁程度向上させることに成功した（以上の成果を国際誌 Sens. Act. B に発表した）．

## ＜職員名＞

教　授　平野 愛弓
助　教　但木 大介
助　教　小宮 麻希

## ＜プロフィール＞

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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] X. Feng, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, “Self-assembly of hybrid lipid membranes doped with hydrophobic organic molecules at the water/air interface”, J. Vis. Exp., **e60957**, 1–5 (2020).

[2] T. Ma, Y. Kimura, H. Yamamoto, X. Feng, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Characterization of bulk nanobubbles formed by using a porous alumina film with ordered nanopores”, J. Phys. Chem. B, **124**, 5067–5072 (2020).

[3] H. Abe, Y. Kimura, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Response characteristics of a highly sensitive gas sensor using a titanium oxide nanotube film decorated with platinum nanoparticles”, Sens. Act. B, **321**, 128525 (2020).

[4] M. Yamaguchi, H. Abe, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, H. Kanetaka, Y. Watanabe, M. Niwano “Bactericidal activity of $TiO_2$ nanotube thin films on Si by photocatalytic generation of active oxygen species”, Langmuir, **36**, 12668–12677 (2020).

[5] T. Takemuro, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of small-scale neuronal networks”, Jpn. J. Appl. Phys., **59**, 117001 (2020).

[6] K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, “Contribution of AMPA and NMDA receptors in the spontaneous firing patterns of single neurons in autaptic culture”, BioSystems, **198**, 104278 (2020).

[7] D. Tadaki, T. Ma, S. Yamamiya, S. Matsumoto, Y. Imai, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Piezoelectric PVDF-based sensors with high pressure sensitivity induced by chemical modification of electrode surfaces”, Sens. Act. A, **316**, 112424 (2020).

[8] R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Sato, M. Komiya, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Parallel recordings of transmembrane hERG channel currents based on solvent-free lipid bilayer microarray”, Micromachines, **12**, 98 (2021).

[9] T. Ma, M. Sato, M. Komiya, X. Feng, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, “Advances in artificial bilayer lipid membranes as a novel biosensing platform: from drug-screening to self-assembled devices”, Chem. Lett. **50**, 418–425 (2021).

# ３．４　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果

システム･ソフトウェア研究部門は「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかもリアルタイムでコミュニケーションできるユビキタス環境の構築を目的としている。本部門は、2016 年度の改組により、通信とコンピュータを融合した高度なシステム・ソフトウェア・コンテンツに関して高信頼・高機能ソフトウェアの研究を行うソフトウェア構成研究室、新しいソフトウェアの基礎理論の研究を行うコンピューティング情報理論研究室、共生コンピューティングの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究室、安全な情報通信システムの研究を行う環境調和型セキュア情報システム研究室、脳型コンピュータハードウェアの研究を行うソフトコンピューティング集積システム研究室、ポストバイナリコンピューティングの研究を行う新概念 VLSI システム研究室の 6 基幹研究室と情報社会構造研究室（客員）から構成される。以下、基幹研究室における 2020 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、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。基礎理論研究の主要な成果は､名目書き換えシステムに対する新たな合流条件等の提案である。名目書き換えシステムは束縛変数を伴う項を扱えるように第一階項書き換えシステムを拡張した体系であり、本研究では、アトム変数を用いる書き換え規則によって定義される名目書き換えシステムの合流性とその一般化である可換性の成立条件を提案した。プログラミング言語の実現手法の研究では、昨年に引き続き、軽量スレッドにスケールする並列かつ並行ゴミ集め方式の研究を継続し、プログラムスレッドと完全に並行に動作する並列 GC アルゴリズムを完成させた｡我々の行ったベンチマークテストの結果、この GC を実装した SML＃は大部分の並列平行言語を凌駕する性能を示し、その実用性と優位性が確認された。この成果は、SML#4.0.0 版に統合され世界に提供されている。

## （２）コンピューティング情報理論研究分野

ソフトウェアの動作を保証する理論的基盤となる形式言語理論に加え、データ同期やデータ共有に応用される双方向変換技術について研究を進めた。研究成果の一つは木トランスデューサのクラス同士の関係についてである。形式言語理論における木構造データ上の変換モデルである木トランスデューサは、記述仕様によってさまざまなクラスに分類されているが、それらのクラスは木構造データの表現方法によって木変換型とストリーム処理型の２種類に大別される。2020 年度の研究においては、異なる型のクラス間における表現力の同一性を証明することに成功し、従来の研究では明らかではなかったストリーム処理型の特定の変換クラスの等価性判定が決定可能であることを発見した。また、双方向変換とよばれるデータベース間の同期を行う技術については、その基盤となる対合関数に対する計算モデルを発見した。チューリング機械

に構文的な制約を付加したこの計算モデルは、対合となる計算可能関数を過不足なく網羅するもので、その万能性についての証明にも成功している。この計算モデルは双方向変換に特化したプログラミング言語の特徴づけにも応用が期待できる。

### （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情報ネットワークシステムとその応用に係る以下の研究を推進した。M2M/IoT 通信を収容するためのモバイルネットワーク設計に関する研究では､制御プレーンサーバの資源不足問題を解消するためのシグナリング制御技術や､モバイルトラヒック処理の適応的な分割技術、無線アクセス網とコア網の相互作用を考慮した性能解析などを行った。また、Beyond 5G ネットワークのためのネットワークアーキテクチャ関する研究では、細粒度かつ多様なネットワークスライシング環境を実現するためのサブスライスアーキテクチャ、スライスブローカ、ユーザ指向のスライス再構成などに関する研究を行った。さらに、エージェント型 IoT とその応用に関する研究では、IoT 機器を柔軟に連携させるためのオントロジと IoT サービス構成手法の提案や、IoT 機器向けの省データ型移動エージェントフレームワークの設計と試作を行った。また、孤立運用したサービスの複製を不整合なく統合する手法について、基礎的な検討を行った。

### （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 機器向けセキュリティコンピューティング技術として、国際標準暗号 AES（Advanced Encryption Standard）に基づく様々な暗号化モードを高効率に統合可能なハードウェアアーキテクチャを開発するとともに AES ハードウェアの更なる高性能化を達成した。また､低遅延暗号システムの新たな実装脆弱性の存在を明らかにするとともにその対策技術を考案し、実機を用いた実験によりその有効性を実証した。さらに、ハードウェアから抽出されて個体識別や秘密鍵生成などに利用される物理複製困難関数に基づくシステムを安定かつ世界最軽量で実現する新たな手法を開発し､その有効性を理論と実験の両面から示した。

### （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、１）カオスリザバーネットワークダイナミクスを、情報科学的指標と動力学的手法を用いて解析した。さらに、時系列予測と音声認識タスクを通して、指数関数的に減衰する内部状態の影響を詳細に検討した。これと同時に、サイクリック型のカオスニューラルネットワークを、TSV を用いた 3 次元積層 LSI に実装するためのプロトタイプチップを作製し、その特性を実験により確認した。２）スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプスデ様デバイスの数理・回路モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。３）高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、カオス同期を応用した鍵交換の方法について検討した。

## （６）新概念 VLSI システム研究室

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を拓く研究を行っている。本年度の主な成果は、まず、(a)スピントロニクス／半導体融合集積回路技術に基づく高性能不揮発メモリの実現に成功したことである。不揮発記憶性を有しつつ，高い耐久性ならびに高速なデータ読み書きを可能とする次世代メモリとして、3 端子型のスピントロニクス素子（SOT-MTJ 素子）を使用したメモリを、世界初となるデュアルポート構造で実現することにより、60MHz 書込みおよび 90MHz 読出し、並びにそれらの同時並行動作を実証した。(b)また、CMOS インバーティブルロジックに基づく省エネルギー学習ハードウェアの実現に成功した。従来型コンピューティングでは実現が困難な「双方向計算」を，CMOS 集積回路上で実現可能にする CMOS Invertible Logic(CIL)を活用し，ニューラルネットワーク学習への適用を行った。双方向計算を活用することで、浮動小数点演算が必須な従来の学習アルゴリズムである誤差逆伝播法を用いないハードウェアフレンドリーな学習アルゴリズムを考案し、小規模ニューラルネットワークを対象として FPGA および ASIC において学習ハードウェアを実現した。その結果、従来方式と比較して、同等の学習精度を保ちつつ３桁以上のエネルギー削減を達成した。上記を含めた本年度の研究成果は、最先端集積回路技術の最高峰国際会議の１つである IEEE Symposium on VLSI Circuits，回路・システム関連分野の最高峰の学術論文誌の一つである IEEE TCAS-I をはじめ、学術論文 10 編、査読付国際会議論文 6 編、招待講演 5 件（うち国際会議 1 件）にて報告した。

## ソフトウェア構成研究室

# 次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装

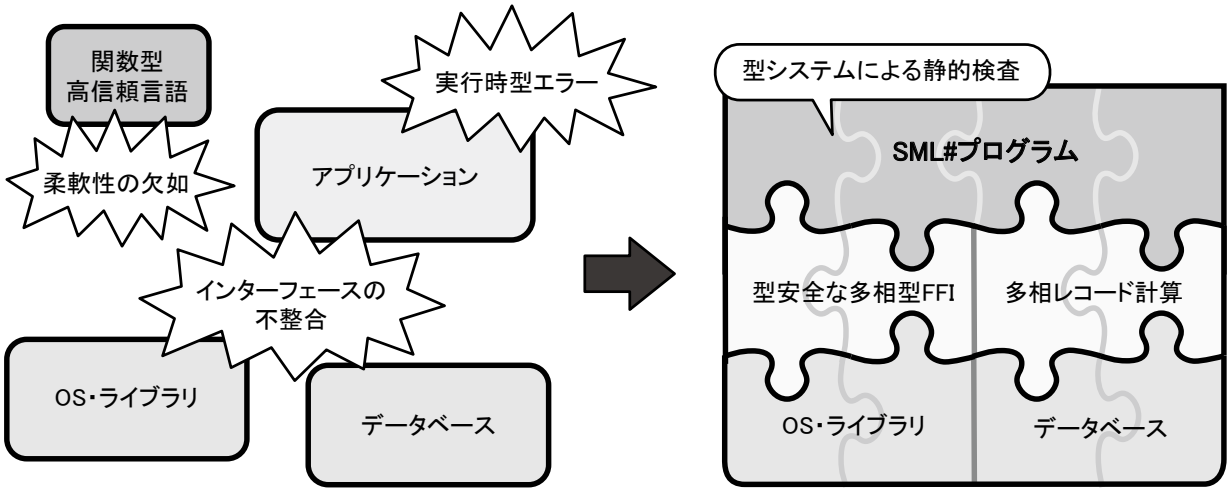



図１：SML#による高信頼言語と既存言語を統合した次世代プログラミング環境の実現

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

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．SML#コンパイラの開発

SML#は、当研究室で設計・開発している高信頼プログラミング言語であり、(1) 多相型レコード演算やランク１多相性等の先端機能を初めて実現、(2) C などの既存言語やデータベースなどのシステムとの高い相互運用性、(3)Standard ML と上位互換性、などを含む特徴を持つ。これらの特長および SML#コンパイラに含まれる諸機能は、我々の基礎研究成果によって可能となった最先端のものと評価されている。本年度は、on-the-fly 並行並列ゴミ集め方式に更なる改良を加えて完成度

を高め、SML#コンパイラ本体とともにその実装を世界に公開した。我々の行ったベンチマークテストの結果、このごみ集め方式を搭載した SML#は他の並行並列言語を凌駕する性能を示し、その実用性と優位性が確認された[3]。さらに、データベースとの統合機構の改良などを含む種々の OS 向けパッケージを揃えた SML#コンパイラ第 4.0.0 版を世界に向けてリリースした。

**２．束縛変数を伴う書き換えシステムの基礎理論**

項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り、関数型言語のプログラムのモデルとしても用いられる。従来の項書き換えシステムでは、プログラミング言語に備わっているような束縛変数の機構を扱うことができなかったが、束縛変数を伴う項を扱えるように項書き換えシステムを拡張した体系の一つとして名目書き換えシステムがある。本研究では、名目書き換えシステムに対して、プログラム検証のための基礎理論で用いられる合流性の成立条件等の提案を行った。具体的には、アトム変数を用いる書き換え規則によって定義される名目書き換えシステムの合流性とその一般化である可換性の成立条件を提案した[1]。

**３．関係代数を基礎とするプログラム解析システム**

大規模システムのコードを理解するための体系的手法の確立に向けて、コードの理解に必要な情報を網羅する関係データベースを構築することで、汎用性が高く、種々のニーズに展開可能なコード理解システムを提案した。提案手法を SML#に実装することでその有用性を確認した[2]。

## ＜職員名＞

教　授　大堀 淳（2005 年より）
准教授　上野 雄大（2016 年より）
助　教　菊池 健太郎（2018 年より）

## ＜プロフィール＞

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

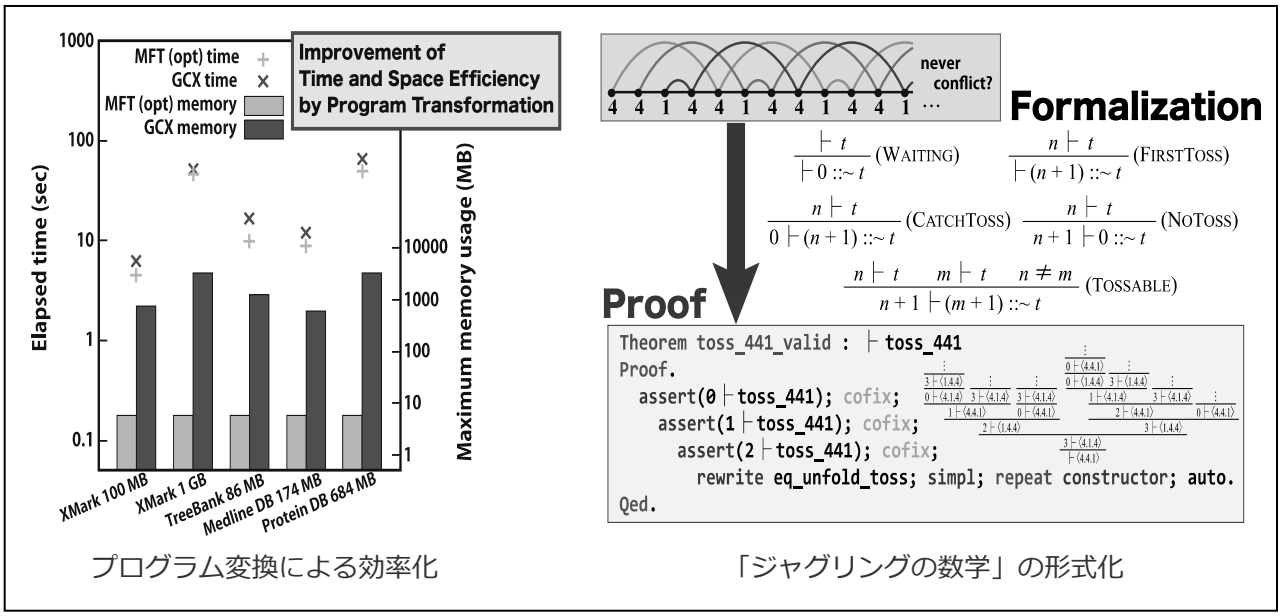
上野 雄大　１９８１年生．２００９年３月東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了．２００９年４月同大学電気通信研究所助教．２０１６年６月同准教授、現在に至る．プログラミング言語理論およびコンパイラ実装技術に関する研究に従事．日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞（２０１１年)、トーキン財団奨励賞受賞（２０１６年)．

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto: Confluence and Commutation for Nominal Rewriting Systems with Atom-Variables. In Proceedings of the International Symposium on Logic-based Program Synthesis and Transformation (LOPSTR'20), LNCS 12561, pp. 56-73, 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-68446-4_3.
[2] 大堀 淳，上野 雄大：関係代数を基礎とするプログラムに現れる名前解決システム、ソフトウェア科学会第 37 回大会論文集，5 ページ，2020 年 9 月．
[3] 上野 雄大，大堀 淳：SML#の並列処理機能とその性能、ソフトウェア科学会第 37 回大会論文集，5 ページ，2020 年 9 月．

## コンピューティング情報理論研究室

# ヒトとコンピュータのギャップを埋める




プログラム変換による効率化　　「ジャグリングの数学」の形式化

### コンピューティング情報理論研究分野　教　授　中野 圭介

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　形式木言語理論による木構造変換プログラムの等価性判定

形式木言語理論は木構造データの集合や変換を形式化したモデルを扱う理論であり、プログラム検証や効率化に応用できることが知られている。本年度は、特定の下降再帰型木変換のクラスとストリーム処理型木変換のクラスの表現力が一致することを証明し、従来の明らかにされていなかっ

たストリーム木トランスデューサとよばれる効率的な木構造変換の形式的モデルについて等価性が決定可能（有限時間で計算可能）であることを示した [1]。

### ２． 双方向変換言語の理論的基盤となる計算モデルの実現

異なる環境におけるデータベースの同期や保守を行うことを目的として、双方向変換理論の研究が盛んに行われている。双方向変換とは、異なるデータベース間の相互変換のことであるが、互いに情報量が異なる環境においてはその相互変換にある種の一貫性が必要となる。本年度は、この一貫性を保つに提案されたプログラミング言語が十分な表現力をもつか検証するための基盤として、計算可能な対合関数を過不足なく網羅する計算モデルを発見し、その万能性についても証明に成功した [2]。このモデルは双方向変換言語を特徴づけるモデルの一部となることが期待される。

### ３． 高階木文法の性質と高階モデル検査による高階プログラム検証

関数型プログラムの検証理論やその基盤となる高階木文法の研究を行っている．論文 [3] では ($n$+1)階木文法の生成する木の葉からなる語の言語と $n$ 階語文法の生成する語の言語とが一致することを新たな証明法で示し、これらの文法の変換の計算量を著しく改善させた。論文 [4] では高階モデル検査の計算量の平均計算量について研究をした。これまで $k$ 階モデル検査の最悪計算量が $k$-EXPTIME という莫大な計算量となることは知られていたが、平均計算量も $k$-EXPTIME となることを一定の条件のもとで示した。

## ＜職員名＞

教　授　中野 圭介（2018 年より）
助　教　浅田 和之

## ＜プロフィール＞

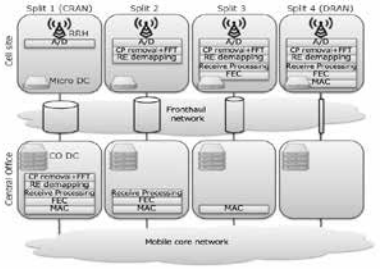
**中野 圭介**　1997 年東京大学理学部数学科中退。2003 年京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻数理解析系博士後期課程単位取得退学。東京大学大学院情報理工学系研究科産学官連携研究員、電気通信大学先端領域教育研究センター特任助教、同大大学院情報理工学研究科准教授を経て、2018 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。関数型プログラミング，形式言語理論，証明支援系に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会、ACM 各会員。博士（理学)。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

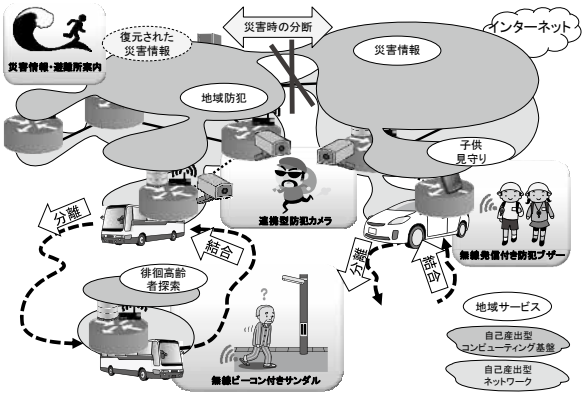
[1] Yuta Takahashi, Kazuyuki Asada, and Keisuke Nakano, "Streaming Ranked-Tree-to-String Transducers", Theoretical Computer Science, Volume 870, Jan 2021 (online first), Pages 165-187.
[2] Keisuke Nakano, "Involutory Turing Machines", Proc. 12th International Conference on Reversible Computation (RC 2020), Oslo (online), LNCS 12227, 2020, pp. 54-70.
[3] Kazuyuki Asada and Naoki Kobayashi, “Size-Preserving Translations from Order-(n+1) Word Grammars to Order-n Tree Grammars”, Proc. 5th International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2020), Paris (online), LIPIcs 167, 2020, pp. 22:1--22:22.
[4] Yoshiki Nakamura, Kazuyuki Asada, Naoki Kobayashi, Ryoma Sin'ya, and Takeshi Tsukada, “On Average-Case Hardness of Higher-Order Model Checking”, Proc. 5th International Conference on Formal Structures for Computation and Deduction (FSCD 2020), Paris (online), LIPIcs 167, 2020, pp. 21:1--21:23.

## コミュニケーションネットワーク研究室

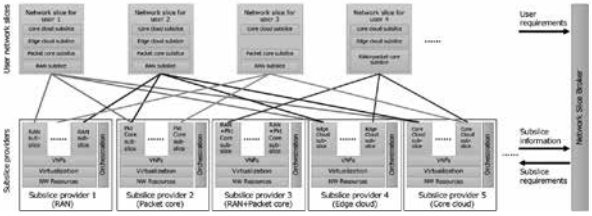
# IoT 社会を支える情報ネットワークアーキテクチャ




モバイルネットワークの柔軟な機能配置




自己産出型コンピューティングの活用イメージ




Beyond 5G ネットワークのためのネットワークアーキテクチャ

**情報ネットワークアーキテクチャ研究分野　教　授　長谷川 剛**
**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情報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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

1. M2M/IoT 通信収容のためのモバイルネットワーク設計に関する研究

5G ネットワークの主要課題の 1 つである、大量の IoT (Internet of Things) 端末を効率的に収容するための、制御プレーン負荷に着目したモバイルコアネットワーク性能評価、シグナリングパラメータの調整によるサーバ資源に対する需要の動的制御技術、及びモバイルトラヒックのベースバンド処理における効率的な機能分割戦略の導出に関する研究を行った（文献[1][2][3]）。

2. Beyond 5G ネットワークのためのネットワークアーキテクチャ関する研究

本研究では、User-Oriented Network slicing Architecture (UONA) と呼ぶ新しいネットワークアーキテクチャを提案した。その特徴は、サービス/アプリケーション毎ではなく、ユーザ毎にネットワークスライスを構築・提供することにより、多様な要求に応えること、ネットワークスライスを構

築するプロセスを、部分的なネットワークに対応するサブスライスの構築と、サブスライスを組み合わせてネットワークスライスを構築する 2 つに分割すること、及び、端末のモビリティ、要求品質の変化に応じて動的にスライスを再構成すること、にある。本研究では、UONA の全体アーキテクチャの詳細を提示し、その利点と実現にあたっての課題をまとめた。

### 3. 自己産出型コンピューティングに関する研究

自己産出型コンピューティングの基礎的技術として、IoT 機器の機能を現実空間へ及ぼす作用により表現することで、高い抽象度で IoT サービスを記述可能とする、Composite IoT Service Ontology (CISO)と呼ぶ新しいオントロジと、これを用いた IoT サービス構成手法を提案した（文献[4]）。また、マルチホップ型の LPWA 網のように、低速ながら広域をカバーできる無線通信網の活用を目指し、IoT 機器向けの省データ型移動エージェントフレームワークの設計と試作を行った（文献[5]）。さらに、災害時に孤立運用したサービスの複製を、災害復旧後に不整合なく統合する手法について、基礎的な検討を行った（文献[6]）。

## ＜職員名＞

教　授　長谷川 剛（2019 年より）
准教授　北形　　元（2012 年より）
事務補佐員　永島 亜未

## ＜プロフィール＞

長谷川 剛 1997 年 3 月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年 7 月大阪大学経済学部助手。2002 年 1 年同大サイバーメディアセンター助教授。2019 年より現職。博士(工学)（2000 年 5 月・大阪大学）。情報ネットワークアーキテクチャ、無線ネットワークなどの研究に従事。電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞(2008 年)、電子情報通信学会論文賞(2010 年)など受賞。

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。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] Go Hasegawa, Masayuki Murata, Yoshihiro Nakahira, Masayuki Kashima, and Shingo Ata, “Optimizing functional split of baseband processing on TWDM-PON based fronthaul network,” in Proceedings of The 16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (IEEE MSN 2020), December 2020.

[2] Shuya Abe, Go Hasegawa, and Masayuki Murata, “Performance analysis of periodic cellular-IoT communication with immediate release of radio resources,” in Proceedings of IEEE CQR 2020, May 2020. (Best Paper Award)

[3] 長谷川剛, 村田正幸, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, 阿多信吾, “TWDM-PON における遅延及びサーバ性能制約を考慮したベースバンド処理機能の配置最適化,” 電子情報通信学会技術研究報告(CQ2020-31), vol. 120, pp. 51‐56, July 2020.

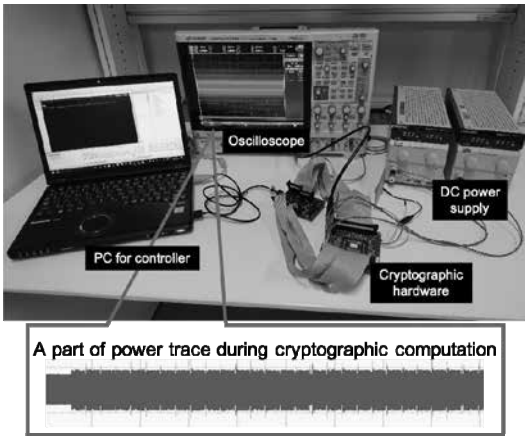
[4] 和室昂佑, 北形元, 長谷川剛, “オントロジを活用した多様な利用者環境に適用可能な IoT サービス構成手法,”情報処理学会研究報告, vol. 2021-DPS-186, no. 72, pp. 1-8, March 2021.

[5] 中屋悠資, 坂本和也, 北形元, 長谷川剛, “通信量を削減する小型 IoT 機器向け移動エージェントフレームワークの提案,”電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-7-23, p.116, March 2021.

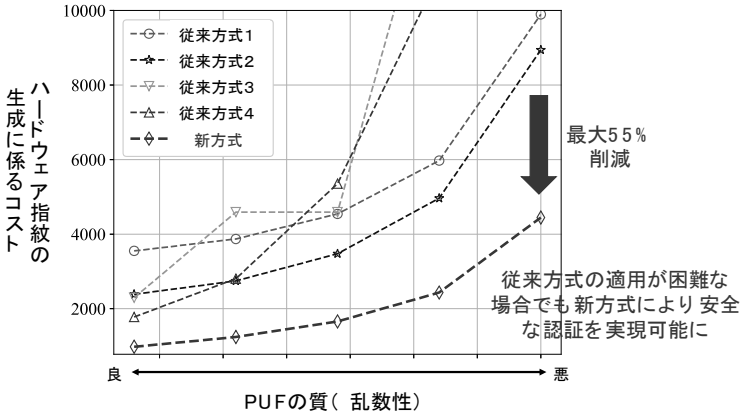
[6] 大坂優輝, 北形元, 長谷川剛, “長期的な孤立運用後にサービスを統合可能なデータ管理手法,”情報処理学会研究報告, vol. 2021-DPS-186, no. 71, pp. 1-8, March 2021.

## 環境調和型セキュア情報システム研究室

# 安心・安全な社会を支える情報セキュリティ技術の創出




セキュリティハードウェアの設計・検証
とその安全性評価実験の様子




物理複製困難関数を用いたハードウェア
認証システムの実装コストの比較

**環境調和型セキュア情報システム研究分野　教　授　本間 尚文**
**助　教　上野 嶺**
**特任助教　Ville Yli-Mäyry**

### ＜研究室の目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　セキュリティハードウェアの設計・検証手法の開発

物理攻撃への耐性を有するセキュリティハードウェアの設計手法およびその機能とセキュリティプロパティの検証手法を開発している。2020 年度は、世界で最も広く利用される国際標準ブロック暗号 AES の暗号化および復号を高効率に実行するハードウェアを設計するとともに、ブロック

暗号に基づく暗号利用モードを高効率に実現するためのハードウェアを設計した[1, 2, 3]。同 AES ハードウェアは既存手法の約半分の消費エネルギーで暗号化・復号を実行可能である[1]。さらに、AES を利用して複数ブロックの暗号化を実行する場合、求められる性能や安全性に応じて適切に暗号利用モードを利用する必要がある。本年度は、不揮発メモリ保護を目的として安全、低遅延かつ高効率な更新が可能な暗号利用モードおよびそのハードウェア構成を示した[2]。また、様々な暗号利用モードを効率的に利用可能なモード統合 AES ハードウェアの設計を行った[3]。

加えて、本年度は、暗号モジュールに対する新たな物理攻撃手法の報告を行った[4,5]。まず、低遅延暗号の主要な実装方式の一つであるアンロールド実装特有の情報漏えいがあることを発見するとともに，その対策方法を示した[4]。さらに、世界で最も用いられている暗号プロトコルである TLS にも採用されている認証方式 Poly1305 に対して初めての物理攻撃の報告とその効率的な対策の提案を行った[5]。

**２． 物理複製困難関数 (PUF) に基づく高効率ハードウェア認証方式の開発**

ハードウェアの指紋と称される PUF からの効率的な ID 抽出方法の開発を行った。2020 年度は、棄却サンプリングと呼ばれる手法を用いて ID 抽出を行うことで、従来手法と比べてハードウェア認証のコストを 55%削減した新方式を開発した[6]。さらに、同手法を多値化 PUF と呼ばれる方式に拡張することでさらなる効率の向上が可能なことを示した[7]。

## ＜職員名＞

教　授　本間 尚文（2016 年より）
助　教　上野 嶺（2018 年より）
特任助教　Ville Yli-Mäyry（2019 年より 2021 年 2 月まで）

## ＜プロフィール＞

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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] R. Ueno *et al*., “Highly Efficient AES Hardware Architectures Based on Datapath Compression,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 69, Issue 4, pp. 534—548, 2020.

[2] M. Oda *et al*., “PMAC++: Incremental MAC Scheme Adaptable to Lightweight Block Ciphers,” In *IEEE International Symposium on Circuit and Systems*, 2020.

[3] S. Sawataishi *et al*., “Unified Hardware for High-Throughput AES-Based Authenticated Encryptions,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular papers*, Vol. 67, Issue 9, pp. 1604—1608, 2020.

[4] Ville Yli-Mäyry *et al*., “Diffusional Side-channel Leakage from Unrolled Lightweight Block Ciphers: A Case Study of Power Analysis on PRINCE,” *IEEE Transactions on Forensics & Security*, 2020.

[5] Rei Ueno *et al*., “Single-Trace Side-Channel Analysis on Polynomial-based MAC Schemes,” In *International Workshop on Constructive Side-channel Analysis and Secure Design*, springer, 2020.

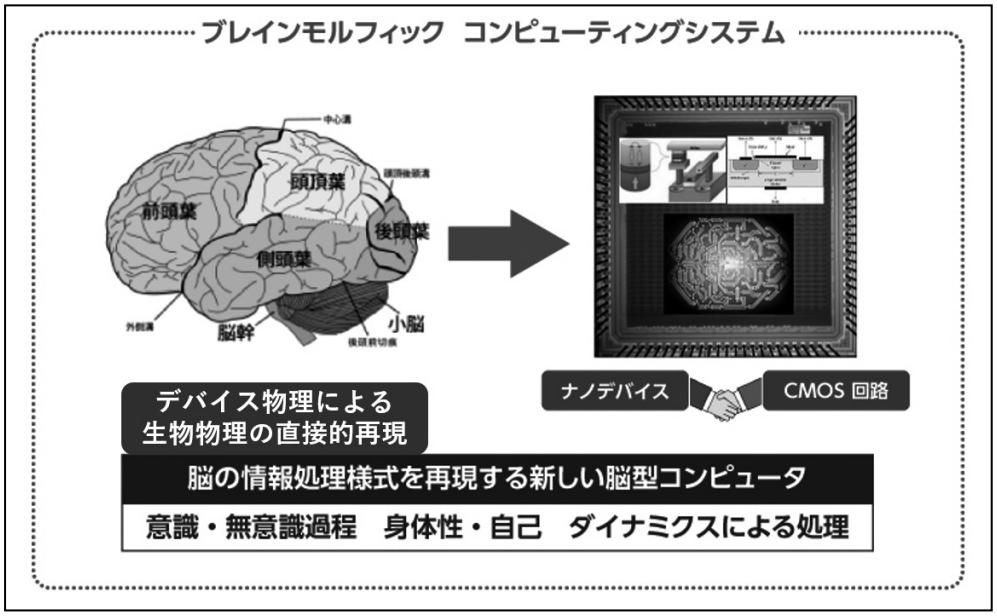
[6] R. Ueno *et al*., “A method for constructing sliding windows leak from noisy cache timing information,” Journal of Cryptographic Engineering,” *Journal of Cryptographic Engineering*, 2020.

[7] Rei Ueno *et al*., “Rejection Sampling Schemes for Extracting Uniform Distribution from Biased PUFs,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, Vol. 2020, Issue 4, pp. 86—128, 2020.

[8] K. Kazumori *et al*., “Debiasing Method for Efficient Ternary Fuzzy Extractors and Ternary Physically Unclonable Functions,” *IEEE 50th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, 2020.

## 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ニューロンや不揮発アナログシナプス回路など、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(Brainmorphic Computing Paradigm)」の創成を目標とする。さらに、ダイナミックに状態や機能的結合構造が変化する神経ネットワークや、身体性の導入などにより、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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

#### １．　カオスニューラルネットワークリザバーの研究

カオスニューラルネットワークリザバーの高次元複雑ダイナミクスを、リアプノフスペクトル、順列エントロピー、相互情報量、Kullback–Leibler divergence、Fisher 情報量、Complexity-entropy causality plane などの、情報理論および非線形動力学の指標を組み合わせて評価した。同時に、NARMA タスク、音声認識および時系列予測タスクにより、内部状態の指数的減衰が性能に影響することを明らかにした。さらに、カオスニューラルネットワークリザバーを、TSV を用いた３次元積層集積回路に実装するためのプロトタイプチップを作製し、実験によりその有効性を確認した。

### ２． スピントロニクスニューロンおよびシナプスデバイスの数理モデルの開発

スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプスデ様デバイスを用いて STDP スパイキングニューラルネットワークハードウェアを構築するため、これらのデバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。この際、デバイスプロトタイプ実験による測定値を用いて、モデルパラメータのチューニングを行った。

### ３． 高次元カオスストリーム暗号に関する研究

高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、カオス同期を用いた鍵交換の手法について検討した。

## ＜職員名＞

教　授　堀尾 喜彦（2016 年より）

## ＜プロフィール＞

**堀尾 喜彦**　1982 年 3 月 慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1987 年 3 月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。1987 年 4 月 東京電機大学工学部助手。1991 年 4 月 同講師。1993 年 10 月 同助教授。2000 年 4 月 同教授。2016 年 4 月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。非線形アナログ集積回路、ニューラルネットワーク集積回路、複雑工学システムの研究に従事。安藤博記念学術奨励賞受賞（1990 年）、IEEE Myril B. Reed Award 受賞（1991 年）、NCSP Best Paper Award 受賞（2005 年、2007 年、2008 年、2013 年、2020 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）、応用物理学会優秀論文賞受賞（2019 年）、NOLTA2020 Best Paper Award 受賞（2020 年）、東京電機大学 名誉教授（2020 年）。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] T. Orima and Y. Horio, "A design method for a passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea through parameter optimization techniques," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 11, no. 4, pp. 624-635, DOI: 10.1587/nolta.11.624, October 1, 2020.

[2] K. Miyauchi, Y. Horio, T. Miyano, K. Cho, "Design of the nonlinear look-up table in the chaotic pseudorandom number generator based on augmented Lorenz map," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 11, no. 4, pp. 571-579, DOI: 10.1587/nolta.11.571, October 1, 2020.

[3] A. Shinozaki, T. Miyano, and Y. Horio, "Chaotic time series prediction by noisy echo state network," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 11, no. 4, pp. 466-479, DOI: 10.1587/nolta.11.466, October 1, 2020.

[4] M. Inoue, K. Fukuda, and Y. Horio, "Switched-capacitor circuit implementation of the chaotic neural network reservoir," Journal of Signal Processing, vol. 24, no. 4, pp. 133-136, DOI: 10.2299/jsp.24.133, July 15, 2020.

[5] 堀尾喜彦，"高次元複雑物理ダイナミクスに基づく情報処理ハードウェアシステム," IEICE Fundamentals Review, vol. 14, no. 1, pp. 6-14, DOI: 10.1587/essfr.14.1_6, July 2020.

[6] D. Hoang and Y. Horio, "FPGA implementation of echo state network with time-switched multi-frame layer for discrete speech recognition," in Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 365-368, online, March 2-3, 2021.

[7] K. Fukuda, Y.o Horio, T. Orima, and K. Kiyoyama, "Cyclic reservoir neural network circuit for 3D IC implementation," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 81-84, online, Nov. 16-19, 2020.

[8] Y. Kikuchi, Y. Horio, A. Krenkov, and S. Fukami, "Mathematical modeling of neuron/synapse-like spintronics devices," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 77-80, online, Nov. 16-19, 2020.

## 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

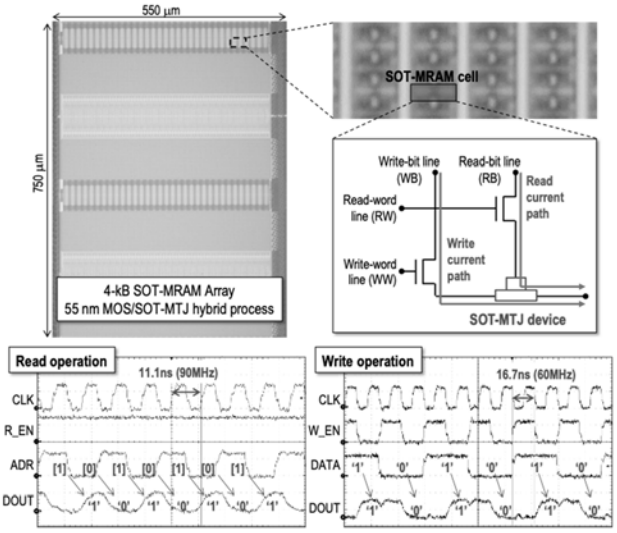



図1. 3端子型のスピントロニクス素子を用いたデュアルポート型不揮発メモリ（SOT-MRAM）を試作し，高速読み書きおよびその同時並行動作を実チップ上で実証

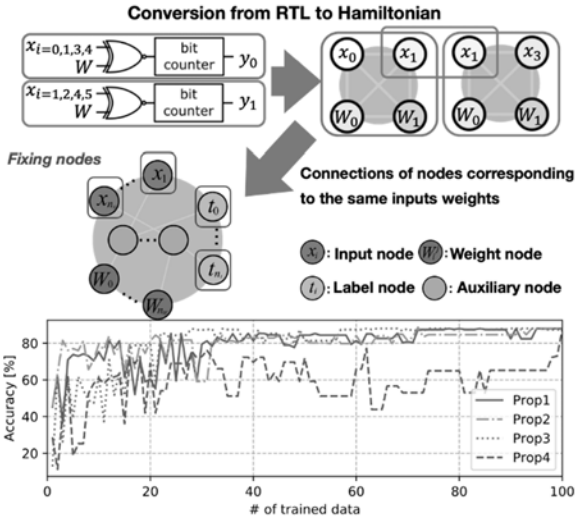



図2. 双方向演算が可能なCMOSインバーティブルロジックの活用により，従来手法と同等の学習精度を保ちつつ，約40倍の高速化と約1/130の消費電力を実現

**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**
**新概念 VLSI コンピューティング研究分野　准教授　鬼沢 直哉**

### ＜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．

### ＜2020 年度の主な成果＞

**１．スピントロニクス／半導体融合集積回路技術に基づく高性能不揮発メモリの実現（図 1）**

フラッシュメモリのような不揮発記憶性を有しつつ，高い耐久性ならびに高速なデータ読み書きを可能とする次世代メモリの試作に成功した．書込みと読出しの電流経路が異なる 3 端子型のスピントロニクス素子（SOT-MTJ 素子）の構造を活用し，スピントロニクス素子を使用したメモリとしては世界初となるデュアルポート構成で設計することにより，60MHz 書込みおよび 90MHz 読出し，ならびにそれらの同時並行動作を実証した．この研究成果は，集積回路技術分野における最高峰の国際会議の一つである IEEE Symposium on VLSI Circuits（June, 2020）に採録された．

**２．CMOS インバーティブルロジックに基づく省エネルギー学習ハードウェアの実現（図２）**

従来のコンピューティングでは実現が困難な「双方向計算」を，CMOS 集積回路上で実現可能にする CMOS Invertible Logic(CIL)を活用し，ニューラルネットワーク学習への適用を行った．双方向計算を活用することで，浮動小数点演算が必須な従来の学習アルゴリズムである誤差逆伝播法を用いないハードウェアフレンドリーな学習アルゴリズムを考案し，小規模ニューラルネットワークを対象として FPGA および ASIC において学習ハードウェアを実現した．その結果，従来方式と比較して，同等の学習精度を保ちつつ３桁以上のエネルギー削減を達成し，その研究成果は分野最高峰の論文誌の一つである IEEE TCAS-I や IEEE Access に採録された．

## ＜職員名＞

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）
准教授　鬼沢 直哉（2013 年 12 月より）

## ＜プロフィール＞

**羽生 貴弘**　1989 年 3 月東北大学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**　2005 年 3 月東北大学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)，同活動功労表彰（2021 年)，IEEE ISMVL K. C. Smith Award（2012 年)，石田實記念財団研究奨励賞（2020 年）などを受賞．IEEE Member.

**鬼泡 直哉**　2009 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了．2013 年 12 月同大学際科学フロンティア研究所助教．2018 年 10 月 JST さきがけ研究員，2020 年 11 月同学電気通信研究所准教授，2021 年 5 月同大ﾃﾞｨｽﾃｨﾝｸﾞｲｯｼｭﾄﾘｻｰﾁｬｰ，現在に至る．確率的演算とその応用に関する研究に従事. 令和２年度科学技術分野文部科学大臣表彰･若手科学者賞（2020 年)などを受賞. IEEE Member.

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Natsui, et al., "Dual-Port Field-Free SOT-MRAM Achieving 90-MHz Read and 60-MHz Write Operations under 55-nm CMOS Technology and 1.2-V Supply Voltage," 2020 Symp. VLSI Circuits 2 pages, June 2020.

[2] D. Shin, et al., "Training Hardware for Binarized Convolutional Neural Network Based on CMOS Invertible Logic," IEEE Access, vol.8, pp.188004-188014, Oct. 2020.

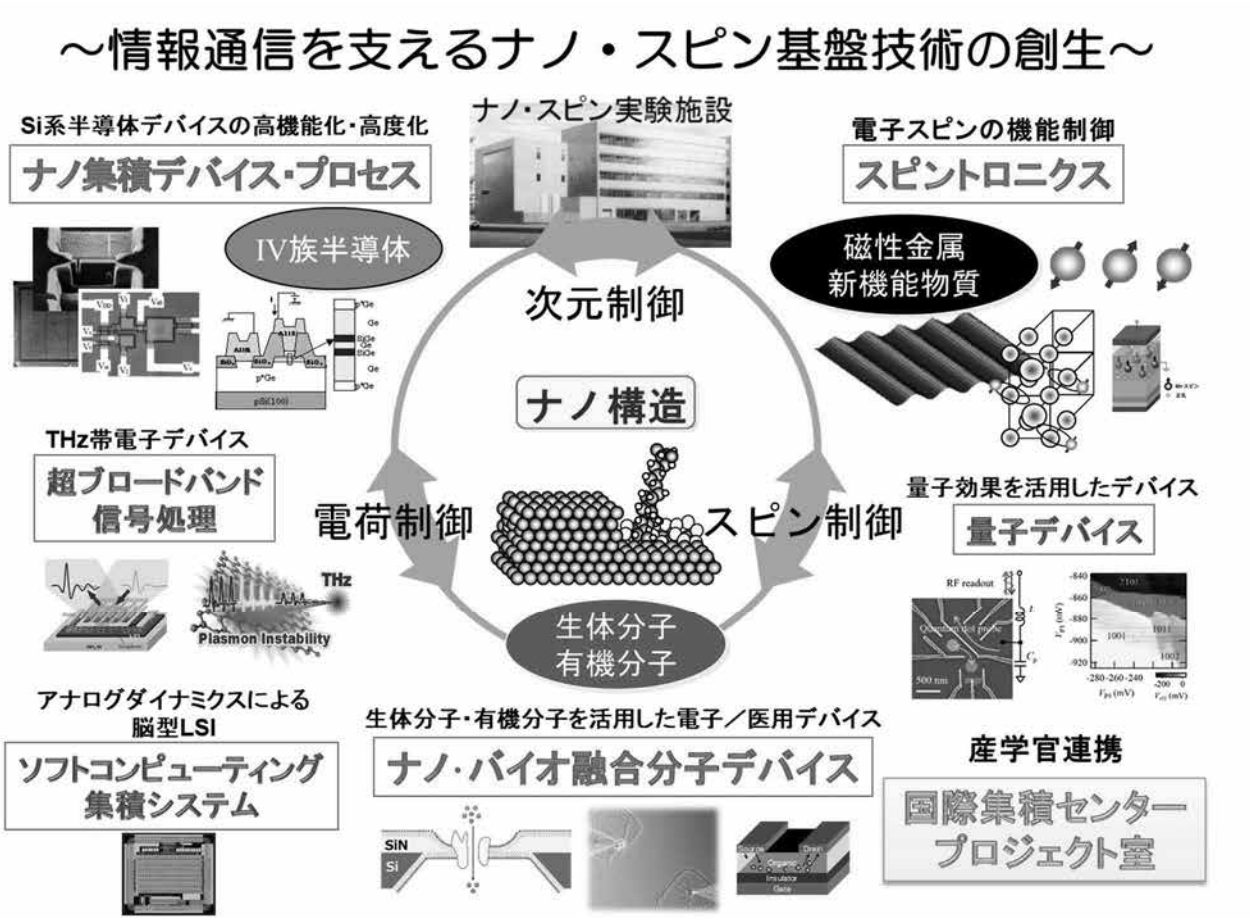
[3] R. Arakawa, et al., "Multi-Context TCAM-Based Selective Computing: Design Space Exploration for a Low-Power NN," IEEE Trans. Circuits and Systems I, vol.68, issue 1, pp.67-76, Jan. 2021.

[4] N. Onizawa, et al., "In-Hardware Training Chip Based on CMOS Invertible Logic for Machine Learning," IEEE Trans. Circuits and Systems I, vol. 67, no. 5, pp.1541-1550, May 2020.

**（他　学術論文 4 編，査読付国際学会論文等 6 編）**

# ３．５　ナノ・スピン実験施設

「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成 16 年 4 月 1 日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「IT プログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のセンターオブエクセレンス(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令和 2 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・山本英明）

(1) 脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し、極低電力で動作するスパイキングニューロン回路の開発を行った。弱反転領域を利用するアナログ MOS 回路の消費電力が 10 nW 以下となることを数値実験により確認した。
(2) ペンタシリセンへの Si 結晶構造転換の実現を目的として、5 nm 厚の極薄 Si 層を Ge 層で挟み込んだ Ge／極薄 Si／Ge ヘテロ構造中の Ge 層を選択的に除去する実験を行った。マイクロメータスケールの大きさの極薄 Si 層が単離できていることを確認し、独立した極薄 Si の架橋構造を形成できる見通しを得た。
(3) SiC ショットキーバリアダイオード製作において、Al 電極形成の影響について検討を行った。電子ビーム蒸着法では SiC 基板の結晶性・界面特性の劣化が生じる可能性がある一方、RF スパッタ法では逆方向電流が抑制されたダイオード製作が可能であることを確認した。
(4) 生物学的に妥当なニューラルネットワークの学習則として注目されている spike-timing dependent plasticity を再現するアナログ回路を設計した。低消費電力化が重要な課題となるエッジデバイスへの実装を想定して最適化を図ることにより、従来モデルに比べてトランジスタ数を 2 割削減することに成功した。
(5) 生物の脳神経系で進化的に保存されているモジュール構造、そして大脳皮質視覚野の情報処理に基づいて提案されたハフ変換を導入することにより、リザバーコンピューティングの画像認識タスクの計算効率および損傷耐性を向上できる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) カオスニューラルネットワークリザバーの高次元複雑ダイナミクスを、リアプノフスペクトル、順列エントロピー、相互情報量、Kullback–Leibler divergence、Fisher 情報量、Complexity-entropy causality plane などの、情報理論および非線形動力学の指標を組み合わせて評価した。同時に、NARMA タスク、音声認識および時系列予測タスクにより、内部状態の指数的減衰が性能に影響することを明らかにした。さらに、カオスニューラルネットワークリザバーを、TSV を用いた３次元積層集積回路に実装するためのプロトタイプチップを作製し、実験によりその有効性を確認した。
(2) スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプスデ様デバイスを用いて STDP スパイキングニューラルネットワークハードウェアを構築するため、これらのデバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。この際、デバイスプロトタイプ実験による測定値を用いて、モデルパラメータのチューニングを行った。
(3) 高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、カオス同期を用いた鍵交換の手法について検討した。また、提案手法を用いた暗号により長距離通信実験を行うため、立命館大学と共同で通信装置の準備を行った。

## スピントロニクス基盤技術関連

### ● スピントロニクス（深見俊輔）

固体中の電子の電荷とスピンの自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現を目的としてスピントロニクス物理、材料、素子に関する研究を行っている。令和 2 年度は主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) 3 次元自己組織化ナノ構造ジャイロイドを磁性体で形成することに成功し、かつ電子線ホログラフィーを用いてその磁気構造を解明した。(2) 金属積層膜の膜面内方向を流れる電流の分布をボルツマンの輸送方程式に基づいて解析的、数値的に求め、スピントロニクス諸現象を理解する基礎を構築した。(3) 反強磁性 PtMn と強磁性 CoFeB からなるヘテロ構造のスピン軌道トルクの PtMn 組成依存性を調べ、反強磁性体のスピ

ン軌道トルク発現機構に関する新しい知見を得た。(4) 人工ニューロン素子としての利用が期待されているスピンホール効果を用いた振動子の特性を電界で可逆的に変調することに成功した。(5) 半導体プロセスと互換性のある多結晶 PtMn のネールベクトルの電流制御に成功し、またその様子を X 線磁気線二色性光電子顕微鏡で可視化した。(6) フェリ磁性体/非磁性体/強磁性体からなる構造における強磁性層の全光学的磁化反転のメカニズムを解明し、効率的な磁化反転を実現できる新手法を考案、実証した。(7) 直径 2.3 ナノメートルまでの世界最小磁気トンネル接合素子を形成し、強磁性積層構造を導入することで一桁ナノメートル領域にて高い性能を実現することに成功した。(8) スピン移行トルクとスピン軌道トルクを同時に利用できる素子を開発し、あらゆるスピントロニクス素子で最速となる 200 ps での無磁場磁化反転に成功した。(9) 熱揺らぎを積極利用する確率動作スピントロニクス素子の高速化に向けた理論的な枠組みを構築し、世界最速となる 8 ナノ秒のランダムテレグラフノイズを実現した。

### ● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一･佐藤昭）

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

1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザーの創出

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。我々は、グラフェンを利得媒質とする新しい動作原理による電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイス・プロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得 9%のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した（2020. 07. プレスリリース；国際会議招待講演 3 件)。

2. 光無線融合ミキサの開発

将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ（InGaAs-HEMT）の光ダブルミキシング機能の研究を進めている。今年度は、InGaAs 系高電子移動度トランジスタに単一走行キャリア・フォトダイオード構造を導入した新素子の開発を進め、フォトダイオードのアクティブ領域面積を縮小することにより、1.5μm 帯光データ信号からミリ波データ信号へのキャリア周波数下方変換利得を 1 桁向上させることに成功した。

### ● 量子デバイス（大塚朋廣）

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

(1) 固体ナノ構造中の電子物性を解明するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるミクロな電気的センサを開発している。高周波を活用した高速電気測定や、データ科学手法の活用により、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定する手法について研究を行った。

(2) 高速ミクロセンサ等の精密測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。量子ドットデバイスにおける電荷・スピン状態や、新材料における電子物性についてその詳細を解明した。

(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態制御・観測技術を活用して、半導体量子ビットデバイス等の量子デバイスの研究を行った。量子ビット操作の研究とともに、量子系のスケールアップに向けた手法の研究を行った。

## ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連

### ● ナノ・バイオ融合分子デバイス（平野愛弓）

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

(1) 人工細胞膜アレイに基づく hERG チャネル電流の並列記録

近年、創薬分野において、膜タンパク質のイオンチャネルに対する薬物作用を効率良く評価することの重要性が高まっている。特に、心筋の hERG チャネルは薬物副作用による不整脈の問題から注目を集めており、我々も以前から、Si チップを支持体とする人工細胞膜に基づいて hERG チャネル電流を測定する機能評価系を提案してきた。2020 年度は、この人工細胞膜を並列させたアレイ系を構築し、hERG チャネルに対する high-throughput 評価系への展開を試みた。その結果、複数の膜からの hERG チャネル電流の同時記録と、特異的阻害剤による阻害作用の評価に成功した。これらの結果は、本人工細胞膜アレイが hERG チャネル高効率スクリーニング系として有望であることを示唆しており、今後の展開が期待される。

(2) 神経細胞パターニングのためのマイクロ流体デバイスの開発

生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御することで、脳神経において進化的に保存されているモジュール構造を持った神経回路を構成するためのマイクロ流体デバイスを開発した。デバイス上で培養した神経細胞ネットワークの発火パターンを蛍光カルシウムイメージングによって計測し、モジュール間の相互作用を切断間際まで弱めた条件では、培養神経回路の発火パターンが生体条件に近づくことを明らかにした。

(3) 有機強誘電体に基づくガスセンサ／$TiO_2$ナノチューブを用いた高感度ガスセンサの開発

有機強誘電体であるポリフッ化ビニリデン（PVDF）膜に基づく圧力センサを開発した。我々が有する簡便な作製法（溶液法）と、下地 Au 電極の化学修飾表面とを併用することにより、センサの高感度化を実現した。これにより、一般的な電界による分極処理（ポーリング）を必要としない画期的なセンサ作製法を見出すことに成功した。また、Si 基板上に形成した $TiO_2$ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサを開発した。原子層堆積法を用いて、ナノチューブ薄膜表面だけでなく、チューブ内壁にも Pt 微粒子を触媒として担持することにより、従来型に比べ、感度および反応時間を一桁程度向上させることに成功した。

# 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、ソフトコンピューティング集積システム研究室）、ブレインアーキテクチャ研究部の４研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。

**身体性を持つ動的・適応的ハードウェア**

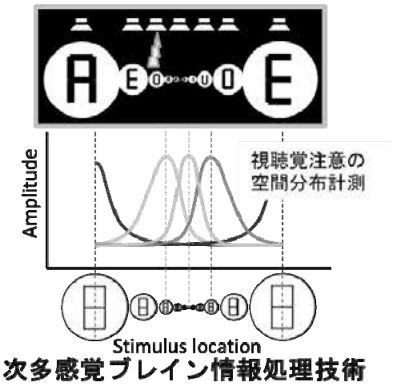


・実世界・動的知能構成技術
（実世界コンピューティグ）

・超現実空間構成技術
（ブレインアーキテクチャ）

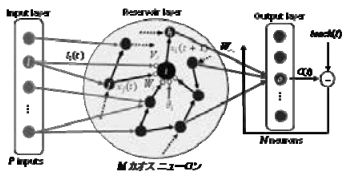



**実世界と電脳世界のシームレスな融合**
**マルチモーダルコンピューティング**

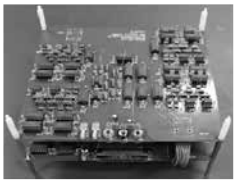



・高次多感覚ブレイン情報処理技術
（認識・学習システム）

**超並列ブレインLSIによるハードウェア**

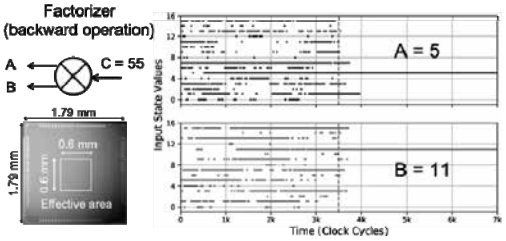



カオスニューラルネットワークリザバー



3D LSI 実装検証用基板

・アナログ高次元ダイナミクスによる脳型計算
（ソフトコンピューティング集積システム）




・脳型LSI実現へ向けた確率的双方向演算器
（新概念VLSIシステム）

## ＜施設の目標＞

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

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

その知的人工物システムへの実装方策の構築を目指す。

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

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

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

**＜2020 年度の主な成果＞**

ブレインウェア研究開発施設の目標である、電脳世界と実世界のシームレスな融合に向けて種々の研究成果を挙げた。特に、2020 年度の下記研究成果は、本目標に向けた重要な前進である：

・トカゲ様歩行における脚・胴体協調メカニズムを解明
（実世界コンピューティング研究室）
https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2020.607455/full

・東北大、読み書きが同時に可能なデュアルポート型 SOT-MRAM セルアレイの動作実証に成功
（新概念 VLSI システム研究室）
https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP535812_V10C20A6000000/
https://eetimes.jp/ee/articles/2006/18/news027.html

・聴覚の空間的注意の形状が課題に依存して変化することを報告
（認識・学習システム研究室）
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/42/1/42_E2002/_article/-char/ja/

・サイクリックに動作するカオスニューラルネットワークリザバー回路を TSV を用いた 3 次元積層 LSI として実装する基本技術を実証
（ソフトコンピューティング集積システム研究室）
https://www.ieice.org/publications/nolta/

なお、各研究室のより詳細な研究成果については以下の通りである：

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

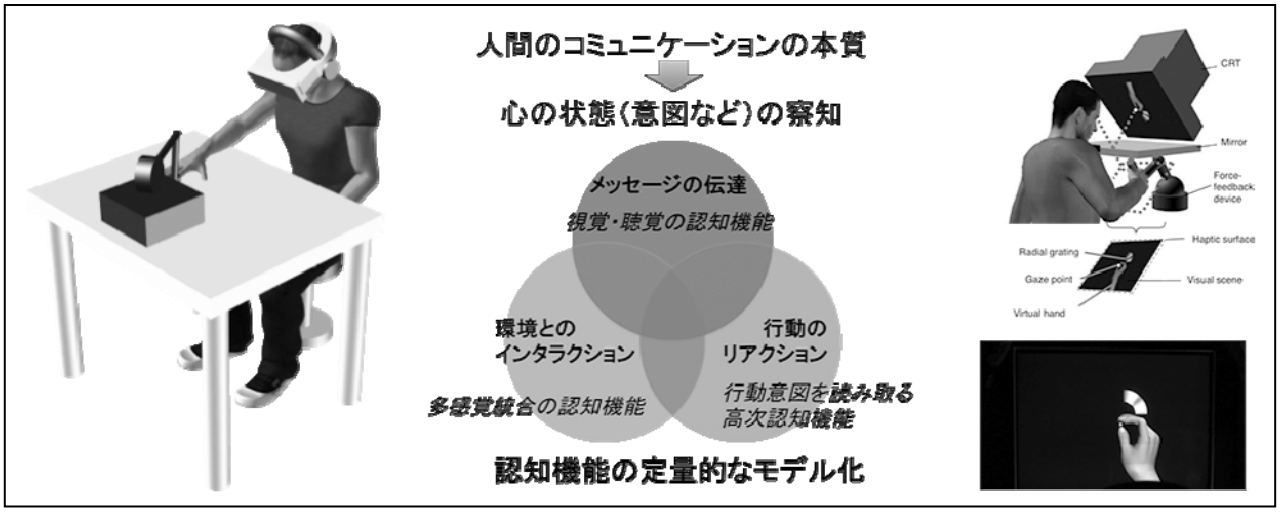
新概念 VLSI システム研究室：
（システム・ソフトウェア研究部門新概念 VLSI システム研究室を参照）

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

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

## 認識・学習システム研究室

# 人間の認識・学習機構の理解




**（高次視覚情報システム研究分野　教　授　塩入　諭）**
**（先端音情報システム研究分野　　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。

### ＜2020 年度の主な成果＞

１．大域運度知覚への遅い運動検出メカニズムの影響

視覚によって得られる運動情報は、外界や自身を理解する上で多岐にわたる役割を持っている。立体が運動するときの運動情報はその形状についての手掛かりをあたえるし、視野全体にわたる動きは自己運動の手掛かりとなる。本研究は、運動残効を用いた心理物理実験により、遅い運動信号が大域運動に顕著な貢献をすることを明らかにした。信号源が非常に低速な場合においても、立体認識や自己運動に有効な場合も想定されることから、多様な対象を処理するためには網膜上での遅い運動信号が大域運動の知覚に利用されることは適応的であると考えられる。

２．聴覚的注意の全方位空間特性

人間は周囲から到来するたくさんの音の中から聴きたい音を選択的に聴取することができる。これはカクテルパーティ効果と呼ばれ、これまで様々な研究者によってそのメカニズムの解明が進められてきたが、現在でも未解明な部分が多い。本研究では、このカクテルパーティ効果の生起要因の一つである聴覚的注意、特に、空間に関する聴覚的注意の特性の解明に取り組んでいる。2020年度は、聴覚の空間的注意によって形成される注意の空間窓の形状を実験により測定した。まず、空間特性の包囲依存性について検討を進め、空間窓の形状が注意を向けた方向を中心に±30 度程度の広がりを持つこと、さらにその形状は注意を向ける方向に依存せず、正面だけでなく後方についてもほぼ同様の広がりを有していることを明らかにした。また、その形状が聴取時のタスクに依存して変化するという結果も得られている。これらの知見は健聴者に対して得られたものであり、このような聴きたい音を選択的に聴取することが困難である聴覚情報処理障害の患者の聴覚特性と比較することで、聴覚情報処理障害の程度の定量化が期待される。実際に耳鼻科医との共同研究により聴覚情報処理障害の特性の新しい測定法の開発に関する研究も進めている。

## ＜職員名＞

教　授（兼）　塩入 諭（2005 年より）
教　授（兼）　坂本 修一（2019 年より）

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Shioiri, K. Matsumiya, and C. H. Tseng, “Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique,” *Scientific Reports,* vol. 11, no. 1, pp. 3995, 2021.

[2] T.J.T. Hsieh, I. Kuriki, I.P. Chen, Y. Muto, R. Tokunaga, S. Shioiri, "Basic color categories in Mandarin Chinese revealed by cluster analysis," *Journal of Vision*, 20 (12), 6-6, 2020.

[3] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, & S. Shioiri, "Effect of auditory spatial attention in rear side," *Proc. 179th Meeting of the Acoustical Society of America*, 3aPP8, 2619-2619, 2020.

[4] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, & S. Shioiri, "Effects of listening task characteristics on auditory spatial attention in multi-source environment," *Acoustical Science and Technology*, 42(1), 12-21, 2021.

# ３．７　２１世紀情報通信研究開発センター

## 産学官連携による実用化技術の研究開発

### ＜センターの目標＞

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

### ＜2020 年度の主な成果＞

産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部と，(A)全学的に認められたプログラムなど本学の複数部局の研究者で組織するものであって，将来の発展が期待できる学際的な研究プロジェクトに対応する学際連携研究部と，(B)将来の発展が期待でき，研究期間終了後に IT21 センターのミッションである産官学連携プロジェクトにつながる可能性が十分に期待できる萌芽的研究プロジェクトに対応する萌芽研究部の 3 部体制で運営した．現在，以下のプロジェクトを推進している．

(A)　2 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）

・スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの研究プロジェクト（代表者：羽生 貴弘 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）

なお，2018 年度に採択した(A)の 1 件のプロジェクトは，本年度で当初の研究期間の 3 年となるが，2021 年 2 月に開催された「研究成果報告会」の結果を踏まえて，最大 2 年間の延長を認められた．

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，2002 年度から 2006 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 2007 年度～2014 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」，2015 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 2012 年度から東日本大震災で明らかになったストレージの耐災害性の不備を向上させる「高機能高可用性情報ストレージ

基盤技術の開発」を実施してきた．2017 年度からは，総務省のプロジェクトとして，電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」を受託し，実施した．さらに，2019 年度からは，総務省のプロジェクトとして，電波資源拡大のための研究開発「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」を受託し，実施している．これらの概要と 2020 年度の成果を以下に示す．

**・周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発**

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

**・高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発**

Society5.0 や Industry4.0 では無線 Internet of Things (IoT) 技術の適用によるスマートファクトリーの実現が唱えられている．工場内では，可動する工作機械や無人搬送車(Automated Guided Vehicle, AGV)，移動する工作物（製品）との間での大量の通信が必要となる一方，無線 LAN をはじめとする工場で IoT に使われている無線通信システムの周波数資源は限られている．このため，指向性ビームの適用により，隣接する同種システム間干渉を抑圧し，空間利用効率を向上させることが有効だと考えられる．本年度は，5GHz 帯の無線 LAN に注目して，工作機械の基部に設置された複数アンテナ素子を備えるアクセスポイント(Access Point, AP)により，比較的高速に移動あるいは回転する工作機械の可動アーム自身あるいは，アームの先にとりつけられた物体のセンサノード(Sensor Node, SN)を，簡易的なビームフォーミングでトラッキングする無線 IoT 通信と，これを実現するための Wi-Fi 信号を用いたバックスキャッタシステムを提案し，測定器により実証実験を行った．

## ＜職員名＞

センター長（教授）末松　憲治

産官学研究開発部
ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト
代表・教授（兼）　末松　憲治
准教授（兼）　亀田　　卓
助教（兼）　本良　瑞樹
特任教授　芝　　隆司
客員教授（兼）　鈴木　恭宜
客員教授（兼）　丸橋　建一

学際連携研究部

情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト

代表・教授（兼）　塩入　　諭
教授（兼）　坂井　信之
助教（兼）　山本　浩輔

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの研究プロジェクト

代表・教授（兼）　羽生　貴弘
教授（兼）　遠藤　哲郎
助教（兼）　馬　　奕涛

萌芽研究部

ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発

代表・教授（兼）　北村　喜文

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

代表・准教授（兼）亀田　　卓
教授（兼）　末松　憲治
教授（兼）　羽生　貴弘
教授（兼）　石山　和志
教授（兼）　本間　尚文
教授（兼）　陳　　強
助教（兼）　本良　瑞樹

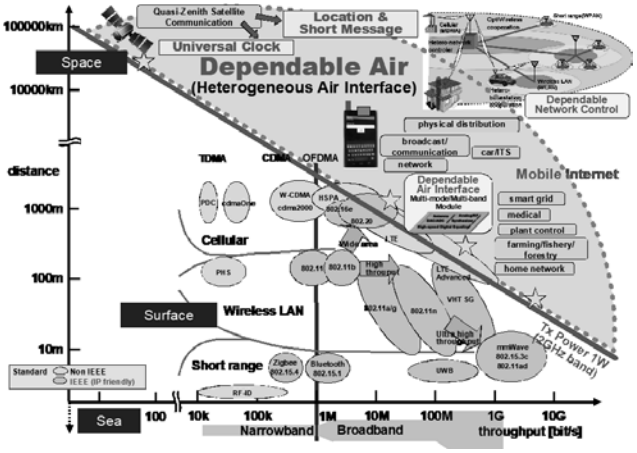
運営委員

| | | | |
|---|---|---|---|
| 本研究所教授 | 末松　憲治 | 工学研究科教授 | 齊藤　伸 |
| | 大堀　淳 | | 山田　博仁 |
| | 北村　喜文 | 情報科学研究科教授 | 田中　和之 |
| | 佐藤　茂雄 | 本研究所事務長 | 三上　洋一 |
| | 長　　康雄 | | |
| | 羽生　貴弘 | | |
| | 廣岡　俊彦 | | |
| 本研究所特任教授 | 芝　　隆司 | | |

## 産学官研究開発部
## ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト

# ディペンダブル・エアの実現へ向けて

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




**代表・教授（兼）　末松 憲治**
**准教授（兼）　亀田 卓**
**助教（兼）　本良 瑞樹**
**特任教授　芝 隆司**

### ＜研究室の目標＞

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

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

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

2017 年度からは、総務省・電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」のプロジェクトを実施しており、複数の無線システムが存在する際生じるシステム間干渉問題を解決するために必要となる広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の開発を行っている。

2019 年度からは、総務省・電波資源拡大のための研究開発「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」のプロジェクトを実施しており、稼動物体との高信頼無線通信技術の開発を行っている。

**＜2020 年度の主な成果＞**

**１．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、高速に周波数切り替え可能なクロック源を開発し、複数の周波数帯（920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 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周波数モニタリング装置の小型化に成功し、プロジェクトを終了した。

**２．稼動物体との高信頼無線通信技術の開発**

製造現場や医療現場等、異種の無線システムや産業機械等が共存する環境下においても、信頼性のある無線通信を可能とするため、稼働物体との高信頼無線通信技術の確立に向け、研究開発を行なっている。高速に移動、回転(例えば 1,000rpm)する産業機械可動部に取り付けたセンサやアクチュエータ等はダイナミックに位置が変化するため、固定して設置されている（産業機械の本体あるいは産業機械周辺に設置されている）アクセスポイントとの間の無線通信を行おうとすると、指向性の低いアンテナを使うため、通信距離に比べて送信電力を高めに設定する必要があった。また、工場などの産業機械が密集して設置されている環境においては、他の産業装置に取り付けた無線機器あるいは電磁ノイズを発生する産業装置との間の干渉も問題となり、通信効率の低下、リアルタイム性の劣化を引き起こすことになる。そこで、高速かつダイナミックに位置が変化するセンサ等とアクセスポイント間の電波の送受信を高効率化する技術を開発する。本年度は、アクセスポイントおよびセンサノードの簡易ビームフォーミング送受信機の部分試作を行った。さらに、ビームトラッキングに必要となる、高速移動、回転するセンサノードとの相対位置情報取得方法として、Wi-Fi バックスキャッタ通信を提案し、測定器を用いて実証実験を行った。

## ＜職員名＞

教授（兼）　末松 憲治
准教授（兼）　亀田 卓
助教（兼）　本良 瑞樹
特任教授　芝 隆司

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1] 町井 大輝, 枝松 航輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "小型アンテナモジュールを用いた 5 GHz 帯 Wi-Fi バックスキャッタシステムにおける回線設計と受信電力測定," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.120, no.90, pp. 13-17, SR2020-11, 2020 年 7 月.

[2] 芝 隆司, 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "異なるクロック周波数による同時アンダーサンプリング情報を用いた圧縮センシング型スペクトル再生の復調応用," 電子情報通信学会　ソサイエティ大会, B-17-11, 2020 年 9 月.

[3] 町井 大輝, 枝松 航輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "小型アンテナモジュールを用いた 5GHz 帯 Wi-Fi バックスキャッタシステムにおける回線設計と受信電力測定," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-2-40, 2020 年 9 月.

[4] 枝松 航輝, 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "5GHz 帯 Wi-Fi バックスキャッタシステムにおける複数センサノード識別実験," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-2-41, 2020 年 9 月.

[5] T. Machii, K. Edamatsu, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Link Design and Received Power Measurement of 5 GHz Band Wi-Fi Backscatter System Using a Miniaturized Antenna Module," 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 226-228, Sep. 2020.

[6] K. Edamatsu, T. Machii, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "5-GHz Band Wi-Fi Backscatter System for Multiple Sensor Nodes Identification," 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 112-114, Sep. 2020.

[7] 芝 隆司, 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "産業無線 IoT 用小型リアルタイムスペクトルモニタリング技術," Microwave Workshops & Exhibition 2020, FR3A-3, 2020 年 11 月.

[8] 芝 隆司, 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "無線 IoT 用小型リアルタイムモニタ," Microwave Workshops & Exhibition 2020, 2020 年 11 月.

[9] 芝 隆司, 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "無線 IoT 用周波数及びノードセンシング技術," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 120, no. 341, pp. 73-80, SR2020-59, 2021 年 1 月.

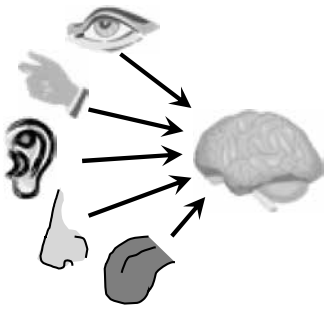
[10] 亀田 卓, 枝松 航輝, 本良 瑞樹, 芝 隆司, 末松 憲治, "Wi-Fi バックスキャッタを用いた 5 GHz 帯簡易ビームフォーミング無線 IoT 通信における多元接続方式の基礎検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 120, no. 405, pp. 29-34, SR2020-68, 2021 年 3 月.

[11] 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 芝 隆司, 末松 憲治, "ダイレクト RF アンダーサンプリング受信におけるマルチバンド周波数特定のためのサンプリング周波数セット設計アルゴリズム," 電子情報通信学会総合大会, A-1-16, 2021 年 3 月.

[12] J. Temga, K. Edamatsu, M. Motoyoshi, N. Suematsu, "A Compact 28GHz-Band 4x4 Butler Matrix Based Beamforming Antenna Module in Broadside Coupled Stripline," 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP2021), T02-A02-5, Mar. 2021.

**学際連携研究部**
**情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト**

視覚、聴覚、触覚、味覚、 五感情報処理研究
嗅覚情報処理の研究



文学研究科　電気通信研究所

人間判断　情報評価　情報通信

**味覚、嗅覚を含め五感全般に対する心理学・脳科学の研究を専門とする研究分野を立ち上げることで、情報通信の主流である視覚情報、聴覚情報、近年注目されている触覚情報に加え、全感覚情報を対象とする人間性豊かなコミュニケーションの実現に貢献する。**

**教　授　塩入　諭**
**教　授　坂井　信之**
**助　教　山本　浩輔**

**＜研究室の目標＞**

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

**＜2020 年度の主な成果＞**

2019 年度は、以下の成果を得た。

1）坂井がこれまで実験心理学的手法により行なってきた視覚と嗅覚や味覚との統合に関する研究を応用発展させるため、大正大学の長谷川教授と共同で、同じ食物を簡易パッケージに入れたときの味覚評定と適切な食器に盛り付けたときの味覚評定とを比較する実験を行った。その結果、適切な食器に盛り付けてある場合、サラダはより鮮やかに見え、スープはより暖かく感じられ、総合的なおいしさ判断はよりおいしいと評定されることが明らかとなった。

2）増大する情報量に対応するために、適切なデータの優先付をすることが重要である。この問題に対応するために、画像に対する人間の高次な質的評価を対象として、計算機よる予測システムについて検討を行った。お弁当画像および風景写真に対する好み評価実験を行い、画像特徴および評価時の顔表情特徴から好ましさ評価の推定を試みた。いずれの画像も同定度の精度予測できたが、両者には関与する顔表情に違いがあることも明らかになった。これは画像の種類により好み評価のメカニズムが異なることを示唆する結果といえる。

## ＜職員名＞

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

## ＜プロフィール＞

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

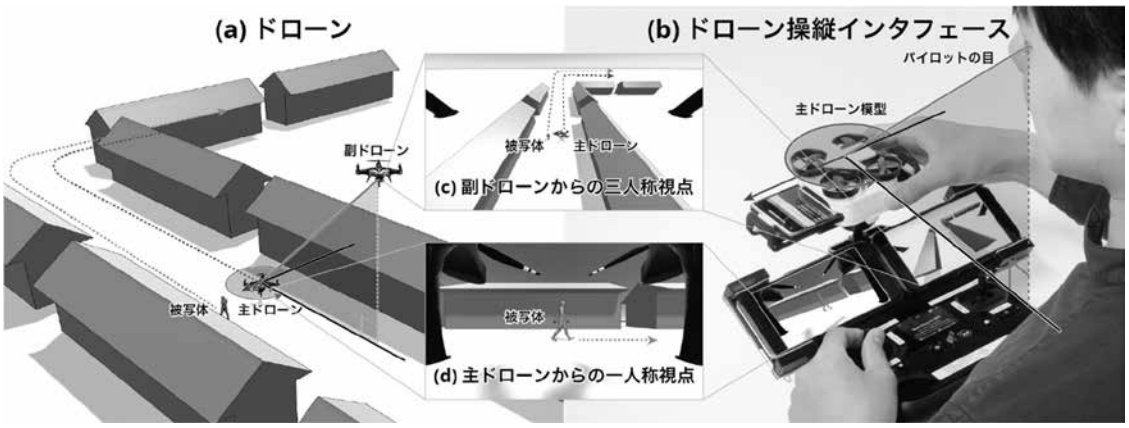
**坂井　信之**　1998 年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士（人間科学）。日本学術振興会特別研究員（広島修道大学）、科学技術振興事業団科学技術特別研究員（（独法）産業技術総合研究所）、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011 年 10 月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017 年 4 月同教授。2006 年におい・かおり環境協会学術賞、2009 年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013 年・2017 年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016 年・2018 年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014 年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016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

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞


[1]　佐藤好幸，松原和也，和田有史，坂井信之，塩入諭，"味に関する視覚的主観評価決定要因の機械学習モデルによる分析"，信学技法 vol. 120, no. 418, pp.58-62, 2021 年 3 月
[2]　塩入諭，佐藤好幸，"情報質インフォマティクスの構築と人間の判断推定"，信学技報, vol. 120, no. 351, pp. 31-35, 2021 年 1 月
[3]　佐藤好幸，松原和也，和田有史，塩入諭，"ヒトの主観評価決定要因の深層学習モデルを用いた分析"，信学技法 vol 120 no. 306, HIP2020-68, pp. 77-80, 2020 年 12 月
[4]　洞口勇太，佐藤好幸，塩入諭，"評価者の顔表情特徴量を利用した画像の好み推定に関する研究"，信学技法 vol 120 no. 306, HIP2020-67, pp. 71-76, 2020 年 12 月
[5]　坂井信之・大沼卓也・ラエフスキー　アレクサンドル：味覚の色イメージに関する探索的研究．日本味と匂学会誌　第 53 回大会プロシーディング集, S33-S36, 2020
[6]　姜毅男・藤井孝子・瀬野俊二・坂井信之：異なる世代における生理用ナプキンのパッケージ色が香りの印象に対 する影響の比較:fNIRS を用いた認知神経科学的研究．信学技報 IEICE Technical Report　HIP2020-61（2020−12 ）, 39-44
[7]　M Harasawa, Y Sawahata, K Komine, S Shioiri、Effects of content and viewing distance on the preferred size of moving images, Journal of vision 20 (3), 6-6
[8]　N. Sasaki and N. Sakai: Effect of valance, arousal, and modality on cortical activities evoked by emotions. Tohoku Psychologica Folia, 79, 12-25, 2021
[9]　原澤賢充，澤畠康仁，宮下山斗，小峯一晃，塩入諭，" 映像の表示画角の好みはどうきまるのか?" 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報 119 (367), 51-54, 2020
[10]　塩入諭、視覚認知における身体性、感覚代行シンポジウム 46, 13-16,2020，招待講演
[11]　坂井信之，"人における匂いの影響"，日本農芸化学会 2021 年度大会シンポジウム「揮発性物質がもたらす生態調節機能」(2021 年 3 月 29 日），招待講演

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

# 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




**空間連動する 2 つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの概要**

**代表・教授（兼）北村　喜文**

**＜研究室の目標＞**

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

**＜2020 年度の主な成果＞**

**１．　ドローン操縦用ユーザインタフェースの開発**

空間的に連動する 2 台のドローンを利用して従来のドローン操縦インタフェースを拡張するユーザインタフェースを提案した．主たる操縦対象のドローン（主ドローン）カメラによる一人称視点に加えて，主ドローンに空間連動する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで，パイロットのドローン周囲への理解（Situational Awareness）を高め，ドローンの操縦や飛行経路計画をより簡単にすることができた．この成果の論文は，情報処理学会論文誌に編集委員会の推薦論文として掲載された．

**２．　カラスとコミュニケーションするカラスドローンの開発**

今年度は，会津若松市，福井市，新潟市，八戸市，熊本市にて，各市などとの協力で，カラスの群れの行動誘導実験を行った．その中で，会津若松市では，会津若松駅周辺に多数のカラスが飛来し，糞害等の被害が生じていた．10 月から 12 月の間，会津若松市の協力を得て，カラスが飛来する市内の高校等にスピーカーを設置し，タイマー制御で行動制御の音声を再生し，追払いを実施した．その結果，会津若松市によると，設置後数日でカラスの飛来は無くなり，市内の別の場所へと移動した．また，一度追払いに成功した場所にはカラスの飛来はほぼ観察されなかった．これらの実証試験の成果は新聞やテレビ，ラジオ，WEB 等の多数のメディアに取り上げられた．

## ＜職員名＞

教　授　北村 喜文

## ＜プロフィール＞

**北村 喜文**　1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年キヤノン株式会社，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／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・2020 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008 年・2017 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．日本バーチャルリアリティ学会フェロー．国際会議 ACM CHI, SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI，JVRC，ICAT，EGVE，EuroVR 等でいろいろな役割を務めてきた．例えば SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair，CHI 2021 General Chair 等．IFIP TC-13 日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等で Chair を務める．日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている．

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] 天間遼太郎，高嶋和毅，藤田和之，末田航，北村喜文．空間連動する 2 つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの拡張．情報処理学会論文誌，Vol . 61, No. 8, pp. 1319 - 1332, 2020 年【推薦論文】

[2] 塚原直樹，カラスをだます，NHK 出版，2021 年 2 月．

**萌芽研究部**

**安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発**

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

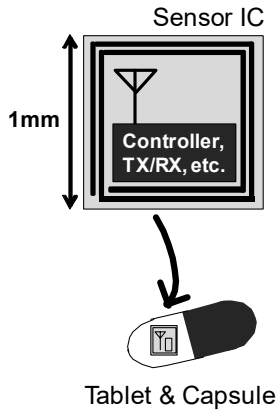



図 1: 錠剤貼り付け型センサ

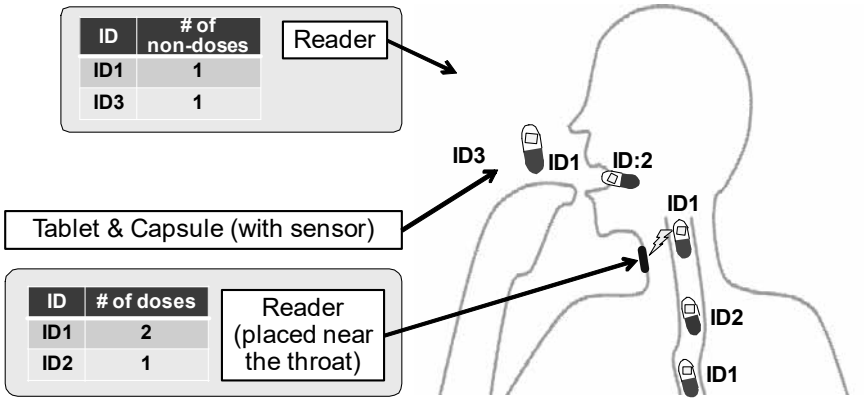



図 2: 投薬管理システム

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

**＜研究室の目標＞**

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

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

## ＜2020 年度の主な成果＞

- **錠剤貼り付け型センサ用低消費電力送信機の開発**

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

投薬管理システムにおいて重要となるのは上記の通りセンサ側回路であるが、特に通信の主体を考えると送信機と考えられる。これまでミリ波送信機の低消費電力化を目指し、コアとなるミリ波発振器について 60GHz 帯で 130μW での動作を実現した。また、従来の ASK 送信機は図 3(a)に示すとおり、常時動作している発振器にスイッチからなる ASK 変調器や，変調器・伝送線路の損失を補う増幅器、アンテナから構成される。そのため、回路規模が大きく消費電力も大きくなる。そこで、図 3(b)に示すとおり、発振器を直接オンオフすることで ASK 信号を生成し、かつ発振器の共振器をループアンテナとしても用いる送信機を提案し、ミリ波 ASK 送信機が消費電力 180μW、アンテナ込みで 300×650um$^2$ で実現し、チップから 15cm 距離での無線通信を確認した。

本年度は、より安定した無線通信を実現するため、提案しているオンチップアンテナ兼用共振器を用いた ASK 送信機について、オンチップアンテナの利得向上について検討した。シリコン集積回路上のアンテナでの最大の懸念事項はシリコン基板の損失である。比誘電率が 4.3 程度あり、かつアンテナから数μm 程度しか離れていないため、アンテナから放射する電力が基板に誘導され損失となる。そのためアンテナの利得が上がらない原因となる。この向上のため、基板損失の低減が期待できる高抵抗基板を用いた送信機について SOI プロセスを用いて設計した。また、アンテナ構造として従来のループアンテナ単体では無く、図 4 に示すアンテナ下に反射器を用いた構造について検討し、電磁界シミュレーションにより従来に比べ 5dB の利得向上を確認した。

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

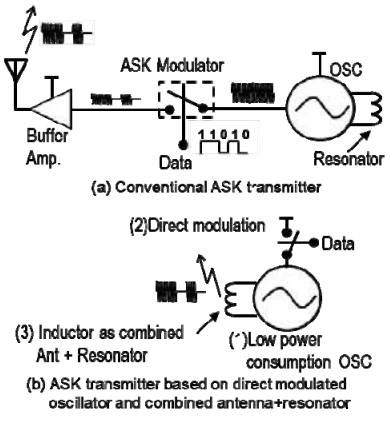



図 3: ミリ波送信機の構成

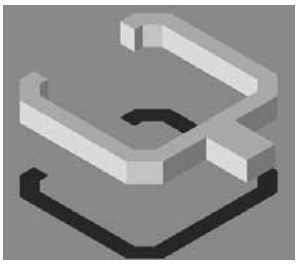


図 4: 反射器付アンテナ

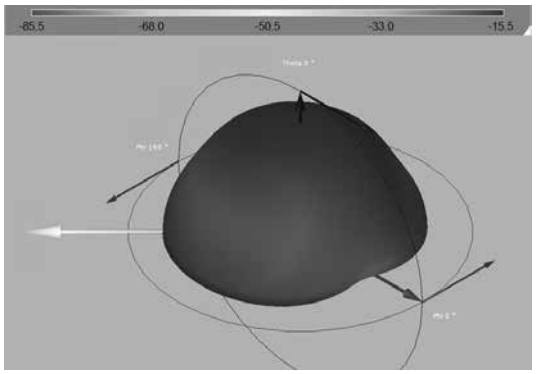



図 5: 電磁界シミュレーション結果

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Motoyoshi *et al.*, "Novel Dual-Band Wireless Communication System for Medical Usage", 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp.130-132, Sep. 2020.

# 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（Web 開催）




高圧ガス保安講習会（Web 開催）

**＜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

## ＜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 Web 開催（参加者 400 名）
○ 高圧ガス保安講習会の Web 開催（参加者 110 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
○ 危険物質総合管理システムの管理、支援
○ 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集
○ 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供
○ 学内の他部局や監督官庁との連絡調整
○ Ｗｅｂページによる関連情報の提供
○ 新型コロナウイルス感染防止対策の実施（消毒液の配布、Web ページによる情報提供など）

## ＜職員名＞

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

# ３．９　やわらかい情報システムセンター



図１　電気通信研究所サーバルームの様子




図２　システムログ分析および可視化

**＜やわらかい情報システムセンターの概要と役割＞**

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

**＜やわらかい情報システムセンターの活動内容＞**

電気通信研究所ネットワーク・情報システムの管理・運用

本センターでは、電気通信研究所（以下、通研）における学術・研究の基盤となる情報ネットワーク及びサーバシステムの管理・運用を行っている。

・サーバ機器、ネットワーク機器のメンテナンス、監視
・情報セキュリティインシデントへの対応
・各研究室からのネットワーク使用に関する相談対応
・「研究室ネットワーク担当者向け講習会」の開催

・情報システムのアカウント管理
・通研 Web サイトの構築・更新
・通研に関連するイベント・カンファレンスの動画コンテンツ作成と公開
・所外に持ち出すモバイル機器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

## ＜職員名＞

(1) 運営委員会

教授　大堀　淳
教授　白井　正文
教授　菅沼　拓夫
教授　八坂　洋
教授　石黒　章夫
教授　長谷川　剛

(2) 職員

センター長(教授)　大堀　淳
教授(兼)　菅沼　拓夫
准教授(兼)　北形　元
技術職員　佐藤 正彦
技術職員　太田 憲治
技術職員(兼) 丸山 由子
技術補佐員　首藤 睦
技術補佐員　大泉 璃歩

# ３．１０　研究基盤技術センター

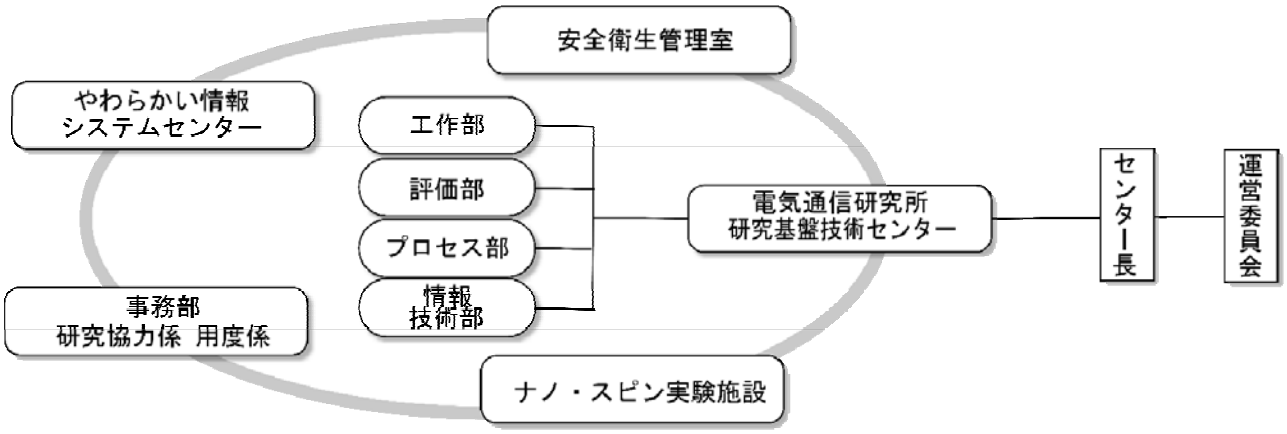



図 1　研究基盤技術センター　組織図

## ＜分野の目標＞

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

## ＜2020 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、97 件の依頼工作を提供した。この中で約 13％は研究所外のからの要求に応じたものである。図 2 は工作部所有の工作機械の一例である。



図 2　MAKINO 製 NC フライス

### 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。20 の研究室が共通利用計測機器を利用した（総使用時間は 3906 時間)。ガラス工作の依頼は 2 件であった。559 リッターの液体窒素を供給し、3 研究室での液体ヘリウム利用において技術的支援を行った。また、事務部並びに安全衛生管理室と連携して研究所の安全維持に携わった。

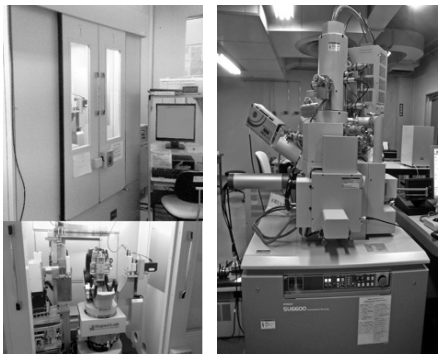


図 3　評価部保有の分析装置
（左：X 線回折装置、右：電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置）

## 3. プロセス部

プロセス部はナノ・スピン実験施設の共通部と協力して電子ビーム露光技術(図 4)とフォトマスク作製技術(図 5)を提供している。今年度は 224 件の電子ビーム露光サービスと、21 件のフォトマスク提供、および 8 件のイオンビーム加工解析サービスを実施した。関連して、ナノ・スピン実験施設の附帯設備およびクリーンルームの維持・管理を行っている。



図 4　電子ビーム露光装置



図 5　フォトマスク作製装置



図 6　イオンビーム加工解析装置

## 4. 情報技術部

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

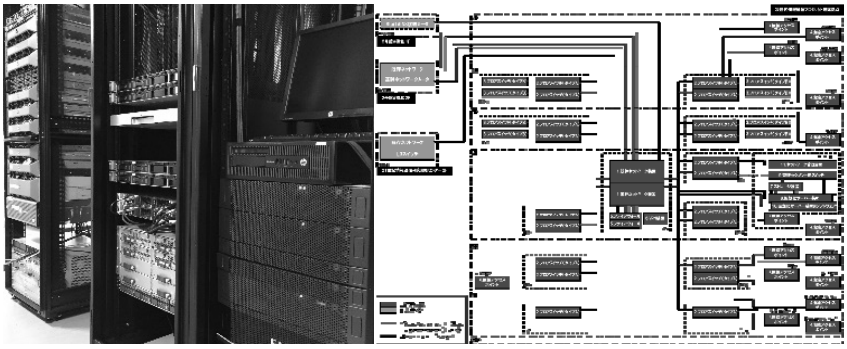


図 7　通研ネットワークシステム（左：システムの様子、右：構成図）

### ＜職員名＞

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

# ３．１１　機動的研究グループ

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

**＜多感覚注意研究グループ＞**

複雑で動的な世界で生きるためには、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。膨大な数の注意研究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。本研究グループは、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複合感覚（視聴覚）注意の計測に応用し、視覚注意過程の聴覚処理への影響を明らかにした。また、2019 年度に採択された科研費基盤研究(A)「自発的注意による視聴覚空間注意の制御」において、自発的注意の計測方法の検討を継続した。

**＜サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ＞**

IoT、M2M、CPS といった次世代情報通信基盤のため、ソフトウェア構成理論、システムセキュリティ、ハードウェアセキュリティ、回路アーキテクチャおよび次世代プロセッサなどを専門とする多様な研究者による垂直統合的なアプローチにより、膨大かつ多様な情報発生源（センサ端末などのデバイスハードウェア）のレベルからシステムの安全性・信頼性を担保する新しい情報セキュリティ技術の確立を目指す。2020 年度は、セミナー・勉強会を数回開催するとともに研究の方向性を検討・確認した。

**＜脳型ナノデバイス・回路研究グループ＞**

近年、脳型ハードウェアの研究が盛んであるが、未だ真の脳型には程遠く、大きなブレークスルーには至っていない。この研究グループは、脳の最新の生理学的知見に基づき、特に脳における生物物理やダイナミクスを、ナノデバイスや微細低消費電力集積回路の物理とダイナミクスを活用して再現する、新しい脳型情報処理アーキテクチャの開発とその集積回路による実装を目指している。本年度は、脳科学、スピントロニクスデバイス、アナログ及びデジタル集積回路、培養神経回路、非線形複雑ダイナミクスなどの幅広い観点から、ブレインモルフィックコンピューティングの研究を推進するため、JST CREST 佐藤プロジェクトへの支援、日本神経回路学会全国大会における脳型ハードウェアセッションの企画・運営と成果発表、さらには知のフォーラムにおける堀尾テーマプログラム Designing the Human-Centric IoT Society への支援と参加を行った。さらに、科研費学術変革領域研究への申請支援を行った。

**＜AI クローン研究開発グループ＞**

本研究グループは人工知能（AI）技術と仮想現実（AR）技術に認知科学的知見を取り入れることを目指す。多様な個人の認知／行動特性をモデル化した AI クローンを実現し、それを仮想現実技術に適用することで他者による追体験を可能となるシステム（AR インターフェース）の開発を検討する。AI クローン及び AR インターフェースにより、人が他者の視点を体験することで、両者のコミュニケーション／情報伝達／相互理解の高度化を実現する新たなコミュニケーション技術の開発を目指す。本年度は視覚障害者を対象とした研究を企画し、科研費に応募した。

# 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、令和２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

○令和２年度共同プロジェクト研究

令和２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１２５件（A：８１件，B：４２件，Ｓ：１件,S国際１件）が採択された。なお、区分 A は各々の研究課題について行う研究であり、８１件のうち６６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、４２件のうち３３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８件、区分 B の１７件である。

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

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

○　共同プロジェクト研究の公募，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。令和 2 年度公募より、1 月中旬に次年度の研究の公募要項を公開し、2 月末日が申請書の提案締切としている。採否の判定には共同プロジェクト選考委員会による書面審査を行い、その結果は、4 月中旬に申請者へ通知される。研究期間は、採択決定日から翌年 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することになっている。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

# 令和２年度共同プロジェクト研究採択一覧

| 採択番号 | 採択回数 | タイプ | 共同プロジェクト研究題目 | 共同研究経費 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 旅費 | 物件費 | 特別支援 |
| H30/A01 | 3 | 萌芽・先端 | オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究 | 200,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A02 | 3 | 国際 | 気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成 | 236,000 | 96,000 | 100,000 |
| H30/A05 | 3 | 先端 | 高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用 | 157,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A06 | 3 | 萌芽・若手 | 汎用型量子系制御技術に関する研究 | 146,000 | 96,000 | 50,000 |
| H30/A07 | 3 | 若手 | 光-スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究 | 148,000 | 96,000 | 50,000 |
| H30/A08 | 3 | 先端 | カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御 | 135,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A09 | 3 | 萌芽 | 量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究 | 128,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A11 | 3 | 先端・国際 | 移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究 | 327,000 | 96,000 | 100,000 |
| H30/A12 | 3 | 先端 | 広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究 | 190,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A13 | 3 | 先端 | 共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用 | 211,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A14 | 3 | 萌芽 | 高効率非接触給電のための損失解析 | 245,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A15 | 3 | 萌芽 | 選択によって感情体験を変容させる方法の研究 | 155,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A16 | 3 | 萌芽・先端 | 自己運動に伴う身体近傍空間の変容 | 201,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A17 | 3 | 先端・国際 | 単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究 | 307,000 | 96,000 | 100,000 |
| H30/A18 | 3 | 萌芽 | 繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電波環境対策に関する研究 | 0 | 96,000 | 0 |
| H30/A19 | 3 | 先端 | 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究 | 132,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A20 | 3 | 先端・国際 | 脳型計算ハードウェア基盤とその応用 | 340,000 | 96,000 | 100,000 |
| H30/A24 | 3 | 若手 | PVDF 薄膜を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究 | 184,000 | 96,000 | 50,000 |
| H30/A26 | 3 | 先端 | IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究 | 157,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A28 | 3 | 先端 | 薄膜デバイスを用いた脳型集積システム | 292,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A29 | 3 | 先端 | IoT 用ハードウェアセキュリティの研究 | 198,000 | 50,000 | 0 |
| H30/A30 | 3 | 先端 | インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究 | 340,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A32 | 3 | 萌芽・先端 | セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究 | 190,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A33 | 3 | 先端 | エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究 | 281,000 | 96,000 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H30/A34 | 3 | 先端 | Ge-on-Insulator 基板上でのメタル・ソース／ドレイン型 CMOS の実現 | 282,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A37 | 3 | 先端 | 超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究 | 173,000 | 96,000 | 0 |
| H30/A38 | 3 | 若手 | 多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究 | 231,000 | 96,000 | 50,000 |
| H31/A01 | 2 | 国際 | Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures | 284,000 | 96,000 | 100,000 |
| H31/A02 | 2 | 若手 | 原子層物質活用高性能量子デバイス開発 | 135,000 | 96,000 | 50,000 |
| H31/A04 | 2 | 先端 | Si-Ge 系量子ドットの規則配列と電子輸送制御に関する研究 | 277,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A05 | 2 | 萌芽・先端・国際 | Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures | 184,000 | 96,000 | 100,000 |
| H31/A06 | 2 | 萌芽 | 2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜の スピン輸送機構解明と高効率磁化反転素子の開発 | 140,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A07 | 2 | 先端 | 量子検出のための高 Q 値マイクロ波共振器に関する研究 | 294,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A09 | 2 | 国際 | 光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製 | 240,000 | 96,000 | 100,000 |
| H31/A10 | 2 | 萌芽・先端 | 直流励起マイクロ波発振素子に向けたスピン軌道トルクとスピン波媒介位相同期による強磁性ダイナミクス制御の検討 | 150,000 | 0 | 0 |
| H31/A11 | 2 | 萌芽 | 傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた光変調器駆動高速化の研究 | 155,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A12 | 2 | 萌芽 | 視覚モデル共有環境の構築 | 159,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A13 | 2 | 萌芽 | マルチモーダル感情誘発システムに関する研究 | 162,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A14 | 2 | 国際 | Pre-verbal infant learning: Infants’ preference and understanding from eye movements and pupil dilation | 301,000 | 96,000 | 100,000 |
| H31/A16 | 2 | 萌芽・先端 | 音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現 | 184,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A18 | 2 | 萌芽・先端 | 利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現 | 0 | 96,000 | 0 |
| H31/A19 | 2 | 萌芽・先端・若手・国際 | Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy | 243,000 | 96,000 | 150,000 |
| H31/A21 | 2 | 先端 | ラピッドプロトタイピングのためのソフトウェア無線機の同期性能の検討 | 197,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A22 | 2 | 萌芽・国際 | Interactive Content for Emergent Users | 155,000 | 96,000 | 100,000 |
| H31/A23 | 2 | 萌芽・国際 | 学習支援のための追体験システムの構築 | 224,000 | 96,000 | 100,000 |
| H31/A24 | 2 | 先端 | インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析 | 50,000 | 96,000 | 0 |
| H31/A26 | 2 | 国際 | Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications | 211,000 | 96,000 | 100,000 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H31/A28 | 2 | 若手 | 人体領域通信用無線伝搬路に関する研究 | 122,000 | 96,000 | 50,000 |
| R02/A01 | 1 | 国際 | Development of graphene based devices for terahertz applications | 294,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A02 | 1 | 国際 | 人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化 | 294,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A03 | 1 | 先端 | 二次元材料を用いた光電子デバイスの開発 | 0 | 96,000 | 0 |
| R02/A04 | 1 | 国際 | Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets. | 211,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A05 | 1 | 萌芽・先端・国際 | 新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究 | 340,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A06 | 1 | 先端 | 微小領域における圧電定数の分布計測装置の開発 | 116,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A07 | 1 | 萌芽 | スパッタリングプロセスを用いたβ-Ga203 薄膜とデバイス形成 | 200,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A08 | 1 | 萌芽・先端 | 負の透磁率を利用した移動体通信機器内の電磁クロストーク抑制に関する研究 | 102,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A09 | 1 | 萌芽 | 金属ナノ接合における量子伝導の制御と機能性素子への応用 | 0 | 96,000 | 0 |
| R02/A10 | 1 | 萌芽・先端 | high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明 | 210,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A11 | 1 | 萌芽・先端 | 単結晶グラフェン機能デバイス | 236,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A12 | 1 | 国際 | Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging | 294,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A13 | 1 | 先端 | 8K 高精細画像センシング向け超低遅延動画像符号化方式 | 92,000 | 90,000 | 0 |
| R02/A14 | 1 | 先端 | ワイヤレス Massive Connect IoT の研究 | 329,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A15 | 1 | 先端・国際 | 超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究 | 284,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A16 | 1 | 萌芽 | ３D プリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究 | 155,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A17 | 1 | 国際 | HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music | 184,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A18 | 1 | 国際 | Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition | 198,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A19 | 1 | 萌芽 | モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発とその応用 | 158,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A20 | 1 | 大型 | ミニマルブレインの理解と再構築 | 258,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A21 | 1 | 萌芽 | 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 | 122,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A22 | 1 | 萌芽・先端 | 新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究 | 87,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A23 | 1 | 若手 | Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices | 145,000 | 96,000 | 50,000 |
| R02/A24 | 1 | 国際 | Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system | 224,000 | 96,000 | 100,000 |

共同プロジェクト研究

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R02/A25 | 1 | 先端 | 人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤 | 270,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A26 | 1 | 国際 | Implicit non-verbal behaviors and brain communications | 311,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A27 | 1 | 国際 | 色名に関する文化差および個人差の多言語での研究 | 238,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A28 | 1 | 萌芽・先端 | 協調作業における視線情報の可視化 | 161,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A29 | 1 | 萌芽・国際 | Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes | 198,000 | 96,000 | 100,000 |
| R02/A30 | 1 | 萌芽・若手 | 循環調節を介した予測的な視触覚の感度調整に関する研究 | 105,000 | 96,000 | 50,000 |
| R02/A31 | 1 | 先端 | 非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開 | 340,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A32 | 1 | 先端 | 多感覚音空間知覚の規定因に関する研究 | 189,000 | 96,000 | 0 |
| R02/A33 | 1 | 先端・国際 | 脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ/メモリコンピューティング基盤の研究 | 340,000 | 96,000 | 100,000 |
| H30/B04 | 3 | 先端 | プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成 | 214,000 | 0 | 0 |
| H30/B06 | 3 | 先端 | 光の空間モードに関する研究開発 | 221,000 | 0 | 0 |
| H30/B07 | 3 | 国際 | 酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用 | 334,000 | 0 | 100,000 |
| H30/B08 | 3 | 萌芽 | 集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立 | 236,000 | 0 | 0 |
| H30/B12 | 3 | 先端 | 高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立 | 308,000 | 0 | 0 |
| H30/B13 | 3 | 大型 | 高次元ニューロダイナミクスとそのニューロハードウエア構築への展開 | 331,000 | 0 | 0 |
| H30/B14 | 3 | 産学 | 未来型オフィス空間とインタラクション | 193,000 | 0 | 0 |
| H30/B17 | 3 | 萌芽 | 非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究 | 318,000 | 0 | 0 |
| H30/B18 | 3 | 先端 | ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究 | 329,000 | 0 | 0 |
| H30/B20 | 3 | 国際 | 「こころ」を生み出す脳内機構の理解 | 329,000 | 0 | 100,000 |
| H31/B01 | 2 | 萌芽 | 物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現 | 234,000 | 0 | 0 |
| H31/B02 | 2 | 萌芽・先端・産学 | 固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓 | 292,000 | 0 | 0 |
| H31/B03 | 2 | 若手 | 次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究 | 282,000 | 0 | 50,000 |
| H31/B04 | 2 | 国際 | HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展 | 304,000 | 0 | 100,000 |
| H31/B05 | 2 | 国際 | アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化 | 340,000 | 0 | 100,000 |
| H31/B06 | 2 | 産学 | 質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究 | 240,000 | 0 | 0 |
| H31/B08 | 2 | 国際・産学 | 地域活性化のための UAV 利活用技術とその社会実装に関する研究会 | 339,000 | 0 | 100,000 |
| H31/B09 | 2 | 先端 | マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ実用化研究の新展開 | 251,000 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H31/B10 | 2 | 国際 | エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開 | 256,000 | 0 | 100,000 |
| H31/B11 | 2 | 萌芽・産学 | 動的言語の静的解析技術とその実用化に関する研究 | 141,000 | 0 | 0 |
| H31/B12 | 2 | 若手・国際 | 複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース | 148,000 | 0 | 150,000 |
| H31/B13 | 2 | 先端・大型 | 固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御 | 247,000 | 0 | 0 |
| H31/B15 | 2 | 萌芽・先端 | 多機能マルチメディア生成技術に関する研究 | 340,000 | 0 | 0 |
| H31/B16 | 2 | 若手 | 型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成 | 158,000 | 0 | 50,000 |
| H31/B17 | 2 | 国際 | PSDL2: Physical Security of Deep Learning 2 | 155,000 | 0 | 100,000 |
| H31/B18 | 2 | 先端 | モバイルエッジコンピューティングにおける動的サービス制御技術 | 161,000 | 0 | 0 |
| H31/B19 | 2 | 国際 | Securing IoT devices against EM Fault Injection | 173,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B01 | 1 | 萌芽 | 磁性材料の微細構造制御による次世代情報通信システムのための磁気デバイスの開発 | 306,000 | 0 | 0 |
| R02/B02 | 1 | 先端 | コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究 | 248,000 | 0 | 0 |
| R02/B03 | 1 | 萌芽・先端・産学 | 将来無線のレイヤレスデザインとその応用 | 340,000 | 0 | 0 |
| R02/B04 | 1 | 国際・産学 | Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索 | 340,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B05 | 1 | 国際・産学 | Attentive Search: Theory and Application | 258,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B06 | 1 | 若手・国際・産学 | 人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザインタフェース | 268,000 | 0 | 150,000 |
| R02/B07 | 1 | 先端 | 異種データ融合による人・社会センシング基盤 | 262,000 | 0 | 0 |
| R02/B08 | 1 | 萌芽 | ヒトと動きを協調するロボットの制御則 | 340,000 | 0 | 0 |
| R02/B09 | 1 | 萌芽・産学 | カラスとの共存・共生を実現するインタラクションに関する研究会 | 262,000 | 0 | 0 |
| R02/B10 | 1 | 萌芽 | 生物の即時適応機能に学ぶ人工物の設計論 | 340,000 | 0 | 0 |
| R02/B11 | 1 | 萌芽・国際・産学 | 音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発 | 245,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B12 | 1 | 萌芽・国際・産学 | 脳型 LSI とその関連技術国際共同研究 | 332,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B13 | 1 | 国際 | Cognition-Aware-Systems for Improving Human Performance | 277,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B14 | 1 | 国際 | 3 次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合 | 337,000 | 0 | 100,000 |
| R02/B15 | 1 | 萌芽 | 半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発 | 170,000 | 0 | 0 |
| R02/S1 | 1 | － | 先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用 | 1,000,000 | | |
| H30/SI1 | 3 | － | AI 研究と人間科学に関する研究 | 1,000,000 | | |
| R02/U01 | | － | オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討 | 155,000 | | |
| R02/U02 | | － | 豊かな対人コミュニケーション実現のための非言語情報 AI の検討 | 158,000 | | |

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/A01**

# オペランド時空間X線分光を用いた先端デバイス研究

［1］組織

研究代表者：

吹留　博一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

吹留　博一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

尾嶋　正治（東京大学）
川合　眞紀（分子科学研究所）
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
舘野　泰範（住友電工）
松田　巌　（東京大学）
原田　慈久（東京大学）
川原田　洋　（早稲田大学）
日比野　浩樹（関西学院大学）
水口　将輝（東北大学）
小嗣　真人（東京理科大学）
組頭　広志（高エネルギー加速器研究機構）
堀場　弘司（高エネルギー加速器研究機構）
永村　直佳（物質・材料研究機構）
大河内　拓雄（高輝度光科学研究センター）

延べ参加人数：４０人

［2］研究経過

**【本プロジェクト着想の経緯】**

① 代表者らは、グラフェンを電子輸送層とした超高速トランジスタ研究を行ってきた；
a）グラフェン反応の精密管理を行い、世界最高品質のグラフェン成長に成功した。膜の状態でのキャリア移動度は、室温で100,000 $cm^2/Vs$に達した。
b）世界最高の高周波特性を有するグラフェン・トランジスタの作製にも成功した。

② しかし、この高周波特性の実測値ですら、キャリア移動度から予測される理論値を下回る。この実験事実から、材料物性とデバイス特性の間のギャップに代表者は気付き、その原因が**表面・界面準位**にあると、代表者は推論した。

③ 表面・界面準位の働きの解明には、「動作しているデバイスの」「狙った箇所で」「化学結合選択的に」電子状態を調べることが必要である認識した。

以上の経緯から、私は、**デバイス動作下（＝オペランド）顕微X線分光を世界に先駆けて開拓**し、動作中のデバイスの表面の電子状態の元素選択的高空間分解能観察を実現した。GaNトランジスタの表面準位の電子捕獲による表面電位の空間的な変化の測定に成功した。更に、デバイス・シミュレーションを組み合わせて、表面準位に捕獲された電子密度の高精度な評価に成功した。

**【残された課題】**

但し、オペランド顕微X線分光は、時間分解能を有していない。しかし、実デバイスは、非DC電圧印加下で動作することが多い。

**【本プロジェクトの目的・概要】**

本研究では、前回の共同プロジェクト研究で開拓したオペランド（＝動作下）顕微X線分光に時間分解能を賦与した**オペランド「時空間」X線分光（o-STXS）**を開拓することを目的とする。o-STXSは、非DC電圧印加下でのデバイスに関し、化学結合状態で選別された表面・界面準位の電子状態の時空間変化の観測を可能にする（図1）。

さらに、o-STXSを用いた観測結果から、表面・界面準位の電子状態ダイナミクスとデバイス特性（例：信号増幅できる上限の周波数）の関係を解明する。この知見に基づいた先端デバイス開発（グラフェン、GaN、ダイアモンドをベースとした電子デバイス）を行い、社会の超スマート化に貢献する。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。前年度は、o-STXSの観測法の確立を中心として研究を展開した。本年度は、前年度の成果を踏まえながら、実際のデバイスへ研究を展開した。具体的には、GaN/AlGaN界面の二次元電子系をチャネルとした高速トランジスタ（GaN-HEMT）やグラフェン・電界効果トランジスタ（GFET）にo-STXS観測法を適用し、その表面界面物性とデバイス機能の関係の解明を目指した。これらの研究は、SPring-8、東京大学、物質・材料研究機構、情報通信研究機構、東京理科大学などと共同で行った。これらの研究に関する打ち合わせを4回行った。のべ参加人数は、30名程度であった。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，GaN-HEMT の o-STXS を用いた表面電子捕獲過程の研究を行った。その結果、

・電圧印加により，表面電子捕獲が GaN-HEMT 表面で起こることが明らかとなった([4]成果資料の論文リスト No.4)。その成果を Apppl. Phys. Lett. にて好評した ([4]成果資料の論文リスト No.3)。プレスリリースも行った。その結果が注目され、招待講演２件、招待解説記事２件、また、SPring-8 の産学連携研究事例として取り上げられた。

第２に，高品質ウエハースケール・グラフェンの成長技術を、信越化学とともに創出した（図 1)。

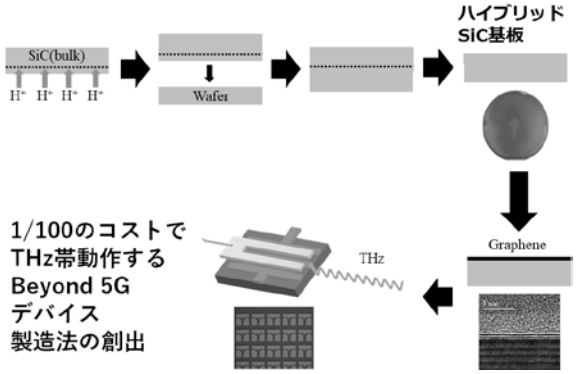



図 1 開発した新たなグラフェン成長法

・本技術では、SiC バルク基板から一種のスマートカット法を用いて SiC 薄膜をデバイス用基板（poly-SiC、Si，サファイアなど）に転写接合させたハイブリッド SiC 基板上を用いる。その上にグラフェンを成長させるという、新たなグラフェン製造法を開発しました(図 2)。ハイブリッド SiC 基板とは、バルク SiC 基板に水素イオン（$H^+$）を注入することで基板表面から１ ・m 程度の深さのところに切れ目を入れて、バルク SiC 基板から高品質 SiC 基板を剥離して、Si やサファイア基板などへ転写したものです。

このハイブリッド基板は、一つのバルク SiC 基板から 100 枚以上作製することが可能です。また、3 インチ以上の大面積化が可能です。これにより、従来に比してコストを 1/100 以下にすることが可能です。さらに、我々は得られたグラフェンが世界最高水準の品質・物性を有することを、放射光施設を駆使して明らかにしました。

さらに、我々は、このグラフェンを用いたトランジスタの開発に成功しました。このトランジスタは、従来のグラフェン・トランジスタとは異なり、大きな入力（電圧）― 出力（電圧）変調度($g_m$)と電流飽和を同時に実現しています。このようなトランジスタ特性の解析により、我々が開発したトランジスタは THz 帯で動作し得ること実証しました(図 2)。

以上、我々は、世界最高水準の品質を有するグラフェンの製造コストを 1/100 にし、さらに Beyond 5G に資する THz トランジスタの商用化を可能とする新

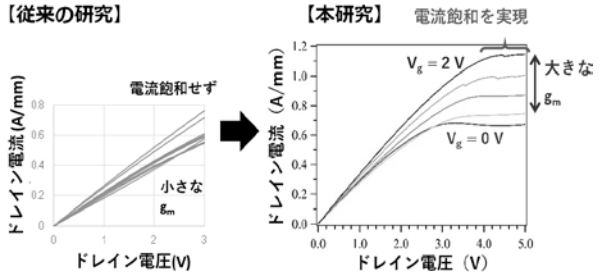



図 2 高性能グラフェン・トランジスタの創出

規な製造法を産官学連携で創出しました。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトから，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，下記五つのプロジェクトに発展した。

（１）

・Beyond 5G に向けたグラフェンを用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発

・戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE)、重点領域型研究開発 フェーズ II（継続提案）

・総務省

・平成 31 年度―令和元年度

本研究プロジェクトは、前年度の SCOPE フェーズ I 研究の中から R1 年度に選抜された SCOPE フェーズ II（選抜提案）として、渡邊一世博士（情報通信研究機構）および連携研究者として舘野泰範氏(住友電工)と R1 年度に共同研究した。その研究成果を評価され、R2 年度に継続提案として採択され、継続して研究を行った。

（２）

・二次元電子系素子の界面電子状態の時空間変化の機構解明と素子特性向上

・科学研究費補助金、基盤研究（B)

・文部科学省

・平成 31 年度―令和３年度

このプロジェクトで明らかになった o-STXS 研究を基にした科研費・基盤研究（B）が本年度新規に採択され、分担者である小嗣真人准教授（東京理科大学大学）と共同で推進している。

(3)

・ナノ表面界面物性とデイス機能を定量可視化して結び付けるデバ イス･インフォマティクスの

創成
・村田学術振興財団助成金
・村田学術振興財団
・令和２年度―令和３年度
共同プロジェクト研究の研究分担者であった小嗣准教授（東京理科大）と行った時空間オペランドX線分光のデータ解釈を基に、吹留が代表として申請し、採択されたものである。

(4)
・低環境負荷Beyond 5G材料・デバイスの創出
・信越化学
・交渉中
本共同プロジェクト研究において吹留が行った成果が信越化学社長の目に留まり、先方から直筆の感状をいただいた。このやり取りの中で、先方から研究資金提供を打診された。現在、研究室のマンパワーなどを熟慮しつつ、先方と内容などに関し交渉中。

(5)
・ERATO
・JST
・令和３年～令和８年度（予定）
・審査中（第一次予備審査を通過）
本共同プロジェクト研究における共同分担者が研究統括として、吹留がグループリーダーとして参画し、現在申請中。

［４］成果資料

(1) Electrical Transport Properties of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes
Japanese Journal of Applied Physics, 59 (2020) SIID03.
K. S. Kim, **H. Fukidome**, and M. Suemitsu
K. Shiga, T. Komiyama, Y. Fuse, H. Fukidome, A. Satou, T. Otsuji, and T. Uchino
インパクトファクター：1.471
被引用回数：0

(2) A graphene-based magnetoplasmonic metasurface for actively tunable transmission and polarization rotation at terahertz frequencies
Applied Physics Letters, 116 (2020), 221107.
P. Padmanabhan, S. Boubanga-Tombet, **H. Fukidome**, T. Otsuji, and R.P. Prasankumar
インパクトファクター：3.521
被引用回数：0

(3) Dynamics of Surface Electron Trapping of a GaN-based Transistors Revealed by Spatiotemporally-Resolved X-ray Spectroscopy
Applied Physics Letters, 117 (2020), 171605.
K. Omika, K. Takahashi, A. Yasui, T. Ohkochi, H. Osawa, T. Kouchi, Y. Tateno, M. Suemitsu, and **H. Fukidome**
インパクトファクター：3.521
被引用回数：0

(4) High-Quality Few-Layer Graphene on Single-Crystalline SiC thin Film Grown on Affordable Wafer for Device Applications”
N. Endoh, S. Akiyama, K. Tashima, K. Suwa, T. Kamogawa, R. Kohama, K. Funakubo, S. Konishi, H. Mogi, M. Kawahara, M. Kawai, Y. Kubota, T. Ohkochi, M. Kotsugi, K. Horiba, H. Kumigashira, Maki Suemitsu, I. Watanabe and **H. Fukidome**, , Nanomaterials, 11 (2021), 10392.
インパクトファクター：4.321
被引用回数：0
※Editor’s choice

**採択番号：H30/A02**

# 気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成

［1］組織

研究代表者

金子 俊郎（東北大学 大学院工学研究科）

通研対応教員

平野 愛弓（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者

Cheng-Che Hsu（National Taiwan University, Taiwan）
Michael Kong（Old Dominion University, USA）
Peter Bruggeman (The University of Minnesota, USA)
Yongfeng Li (China University of Petroleum, China)
Wonho Choe (Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea)
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）
佐々木 渉太（東北大学 大学院工学研究科）
平田 孝道（東京都市大学 大学院工学研究科）
堀 勝（名古屋大学 大学院工学研究科）
白谷 正治（九州大学 システム情報科学研究院）
浜口 智志（大阪大学 大学院工学研究科）
佐々木 浩一（北海道大学 大学院工学研究院）
佐藤 岳彦（東北大学 流体科学研究所）

延べ参加人数：100 人（オンライン参加含）

［2］研究経過

本プロジェクトでは，２１世紀の重点的研究分野と目されている環境・エネルギー，ナノテクノロジー・材料，ライフサイエンス，フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも学問的基盤として根幹的に関わっているプラズマ科学と，ナノバイオ科学，さらには医療・農業分野が融合する新領域に特化して，研究開発を行う．特に，気相中，液相中，気液界面プラズマ中の新規プラズマプロセスを駆使することにより，次世代ナノ情報電子・バイオ・医療デバイス創成に資する研究基盤を，日本国内のみならず海外のプラズマ理工学者と共同してナノバイオ・医療科学技術に関わる電子・磁気・光工学，材料工学，物理，化学，分子生物学，医学・生命科学者の英知を結集して確立する．特に，本プロジェクトでは気液界面プラズマを用いた医療・農業研究が活発に行われている，アメリカ，台湾，韓国，中国の研究機関との連携を深め，国際共同で研究を推進する．

（研究討論会等開催状況）

日時：令和３年３月 3-4 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 教育研究実験棟 306 講義室（オンライン会議 zoom とのハイブリッド開催）

1. 「Decomposition and oxidation of amino acids following irradiation with a plasma jet and applications for killing cancer cells」Giichiro Uchida (Faculty of Science and Technology, Meijo University)
2. 「Molecular clarification of atmospheric pressure plasma-induced biological effect based on comprehensive quantitative proteomics」Masanori Tachikawa (Graduate School of Biomedical Sciences, Tokushima University)
3. 「Damage to intracellular nucleic acids and cellular response induced by cold plasma irradiation」Hirofumi Kurita (Department of Applied Chemistry and Life Science, Toyohashi University of Technology)
4. 「Plasma-driven influence to cellular functions and molecular genetics」Yasukazu Daigaku (Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University)
5. 「Modelling the effects of plasma on cellular functions」Tomoyuki Murakami (Faculty of Science and Technology, Seikei University)
6. 「Development of Air Plasma Device for Selective Species Supply and Its Applications」Shota Sasaki (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
7. 「Plasma inactivates phytopathogenic fungi, bacteria and virus and modulates plant immune system」Hideki Takahashi (Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University)
8. 「Agricultural and Environmental Applications of Plasma Discharges over Water Surface Generated by Pulsed Power Generator」Katsuyuki Takahashi (Faculty of Science and Engineering, Iwate University, Agri-Innovation Center, Iwate University)
9. 「Simulation of plasma-induced liquid-phase reactions」Fumiyoshi Tochikubo (Graduate School of System design, Tokyo Metropolitan University)
10. 「Plasma-assisted nanomaterial development」Goo-Hwan Jeong (Department of Materials Science & Engineering, Kangwon National University, Korea)
11. 「Graphene powder: from basic research to commercial applications」Yongfeng Li (The China University of Petroleum, China)

12. 「Interfacial phonon engineering and the fabrication of high thermal conductivity composite materials by self-assembled monolayer」Bin Xu (Department of Mechanical Engineering, The University of Tokyo)
13. 「Growth of novel one-dimensional nanomaterials: graphene nanoribbon, carbon nanotube-hetero, transition metal dichalcogenides」Hiroo Suzuki (Graduate school of Natural Science and Technology, Okayama University)

本研究会では，オンライン参加を含めると，学内外を含め延べ100名以上の参加者があり，講演は「気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成」を主テーマに，バイオ応用プラズマプロセス，ナノスケール材料の量子特性，気液界面プラズマ反応場の数値計算や活性種計測等の立場から，専門分野を越えて活発な議論がなされた．

［3］成果

(3-1) 研究成果

**Ⅰ. 低温プラズマ照射によるアミノ酸改質**

近年，大気圧プラズマ(APP)を用いた革新的な治療効果（抗がん効果，創傷治療，遺伝子導入など）が数多く報告されている．メカニズム解明に向けた基礎研究として，プラズマ刺激（電流，電界，活性種など）が細胞や培地中の生体分子を介して細胞に間接的に作用するプロセスが注目されている．APP治療法の実用化には，この間接作用のメカニズム解明が必須であるが，特にAPPで生成された活性種と生体分子との化学反応については未解明な部分が多い．

本研究では，モデル生体分子として，多様な生理活性物質の由来であり，それらが細胞機能の調節において重要な役割を担うアミノ酸であるチロシン(Tyr)を選択した．プラズマ照射によって消費されるTyrと生成されるTyr派生物の定量を行った．

実験では，加湿ヘリウムを原料ガスとして，高電圧($V_{p\text{-}p}$ = 7 kV, f ≈ 9 kHz)を印加することで，APPを生成した．超純水に2 mMのTyrを溶解させ，プラズマを120 s照射した後，LC-PDA-MS測定・解析を行った．

図 1(a), (b)に示す通り，プラズマ照射によって，Tyrの大部分が消費され，様々なTyr派生物が生成されていることが分かる．このTyr消費量は，1810 μM/120sであり，おおよそ90%に相当する．プラズマ照射Tyr/DWのクロマトグラムにおいては，Tyr・Tyr 派生物由来と考えられる，5 つの特徴的なピークが検出された．これら5つのピークの内，Tyrを除いた4つをそれぞれa～dとした．このa～dのTyr派生物を同定することを目的として，各m/zのMSクロマトグラムを計測した [図1 (c)]．これにより，a: m/z = 214, b: m/z = 198, c: m/z = 198, d: m/z = 361でそれぞれ検出された．また，吸光度による

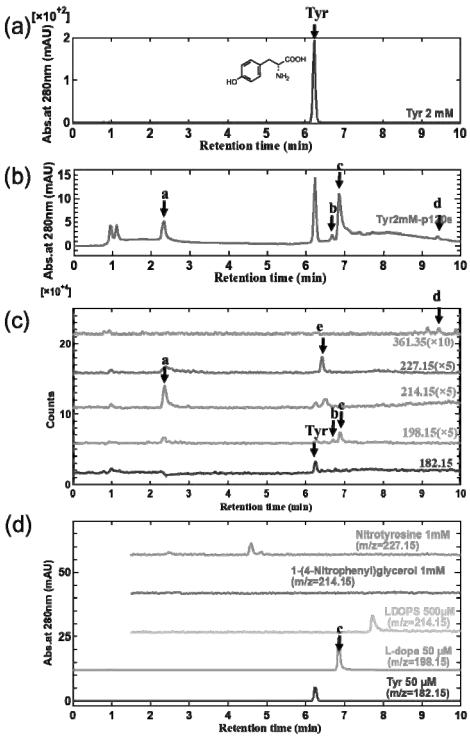



図 1. 2 mM Tyr/DWのプラズマ (a)照射前・(b)照射後のクロマトグラム. (c) プラズマ照射Tyr/DWのMSクロマトグラム. (d) Tyr派生物候補の標準試薬のクロマトグラム.

クロマトグラムで検出されなかったピーク e が m/z = 227.15で検出された．このm/zを手掛かりに，最も安定に存在すると思われるTyr派生物の試薬を購入し，比較を試みた [図1 (d)]．その結果，cの物質のみ一致し，この物質がL-dopaであることが明らかとなった．m/zから，aはTyr - 2OH, eはTyr - NO2と思われたが，代表的な試薬2,5-ジヒドロキシチロシン（LDOPS），ニトロチロシン（Nitrotyrosine）とは保持時間が一致しなかった．従って，プラズマ照射によって生成されるTyr派生物は，試薬販売されている主要な物質のみではなく，試薬販売されていないようなマイナーな物質も含まれることが明らかとなった．図1 (c), (d)を比較すると，保持時間が全く異なることも多く，特殊な修飾を受けていることが予想される．ピークdについては，そのm/zからチロシンの二量体だと考えられるが，試薬販売がないためその同定・定量は困難であった．L-dopaについては，標準試薬による検量線を用いて，定量可能であり，120 秒間の照射でおおよそ 84 μM 生成されていた．これは，Tyr消費量の1810 μMの5%に過ぎず，非常に多様なTyr派生物に分かれて生成されていることが示唆された．

このプラズマ照射アミノ酸の成分分離・定量・同定は，プラズマ治療実現に向けて重要な知見である．

## Ⅱ. プラズマ活性ガスによる電解質漏出

プラズマの農業応用研究は，空気と水のみからプラズマで生成される活性種が植物に与える影響の理解と制御が極めて重要となってきている．本研究では，空気プラズマ活性ガスを，10 ㎝下流に置いたシロイヌナズナ(*A. thaliana*)に30秒程度噴霧し，植物の障害を検討した．

図2に空気プラズマ活性ガス噴霧または対象実験として空気を30秒噴霧した翌日の様子を示している．プラズマ活性ガス30秒程度で葉が萎れる明確な障害が発生した．この時，白い点線で囲んだ比較的若い葉には障害がみられないことが反復実験において一貫して確認できたが，プラズマ活性ガスは一般に中心ほど濃度が高いため，活性ガス濃度以外にも植物体における差異が障害発生に関与していると考えられ，植物の応答が関与した障害である可能性がある．

萎れに関連する要因として電解質漏出を伴うことが凍害などで知られているため，シロイヌナズナ葉の電解質漏出の計測を行った．農学研究科高橋・安藤先生らの指導の下，噴霧直後に葉をサンプリングしソルビトール溶液に液浸させ，その後の電気伝導度計測を行い，葉に含まれる電解質の漏出率を実験的に観測した．図3に前述と同条件で処理した際の電解質漏出率を示す．プラズマ活性ガス噴霧において，対象実験に対し有意な電解質漏出率を観測し，さらに噴霧後 1 時間以内でも顕著であることが明らかとなった．

漏出した電解質をイオンクロマトグラフで分析したところ（図 4)，プラズマ活性ガス噴霧においては，特に$K^+$イオンの漏出が顕著である事が明らかとなった．さらにこの組成は熱や物理的処理による漏出と大きく異なることも明らかとなり，K+イオンの選択的漏出が空気プラズマ活性ガスにより誘導されたと考えられる．また，噴霧後短時間で観測されたことや，同条件で植物病害防御応答関連遺伝子の発現がみられることから，$K^+$イオン選択的流出は植物の応答の誘導に強い因果があると考えられる．

今回の国際共同研究推進型の特別支援分の研究費については，コロナ渦の影響で外国人研究者を招聘することができなかったため，研究活動で使用し，オンラインで開催された国際会議を活用して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．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

研究代表者が米国 Old Dominion 大学の Prof. Michael Kong 研究室を訪問し米国との国際共同研究を推進する予定であったが，コロナ渦の影響で訪問できなかったため，Old Dominion 大学において，大学院学生を対象としたオンラインセミナーを開催し，

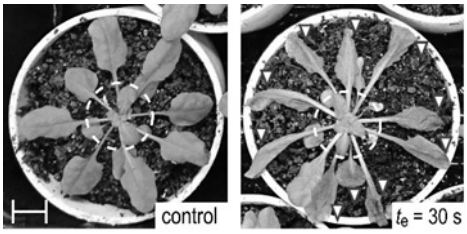



図2:空気プラズマ活性ガス噴霧によるシロイヌナズナの障害．図中 bar は 1cm．　逆△は萎れた葉を示す．

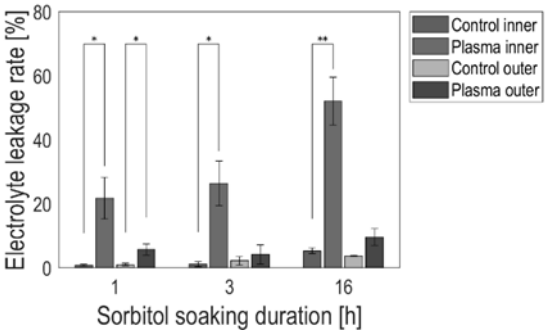



図3:空気プラズマ活性ガス噴霧によるシロイヌナズナ葉からの電解質漏出．

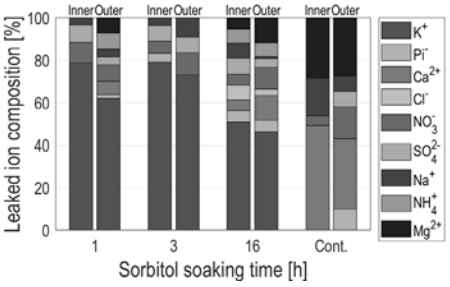



図4:漏出電解質の組成分析．

研究成果について情報交換を行った．本プロジェクトで明らかになった生体に対するプラズマ中の活性種の効果解明に関する成果は，プラズマのライフサイエンス（医療，農業）応用という新しい研究領域の開拓に結びつき，新しい医療機器や植物工場の開発等の今後の発展が期待されている．

［4］成果資料

(1) S. Sasaki, Y. Zheng, T. Mokudai, H. Kanetaka, M. Tachikawa, M. Kanzaki, and T. Kaneko, *Plasma Process. Polym.* **17** (2020) e1900257-1-10.

(2) M. Kawase, W. Chen, K. Kawaguchi, M. R. Nyasha, S. Sasaki, H. Hatakeyama, T. Kaneko, and M. Kanzaki, *Sci. Rep* **10** (2020) 9687-1-11.

(3) K. Takashima, Y. Hu, T. Goto, S. Sasaki, and T. Kaneko, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **53** (2020) 354004-1-10.

(4) S. Sasaki, K. Takashima, and T. Kaneko, *Ind. Eng. Chem. Res.* **60** (2021) 798-801.

(5) K. Takashima, A.S. bin Ahmad Nor, S. Ando, H. Takahashi, and T. Kaneko, *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) 010504-1-6.

**採択番号：H30/A05**

# 高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用

［1］組織
研究代表者：
稲岡　毅（琉球大学理学部）
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：
片野　諭（東北大学電気通信研究所）
研究協力者：
和田 将斗（東北大学大学院工学研究科電子工学専攻）
岩岡　瞬（東北大学大学院工学研究科電子工学専攻）

延べ参加人数：５人

［2］研究経過

近年、固体材料や分子（以下、材料等）の高速の状態変化を利用した高速スイッチング素子等が注目され、固体材料においてはナノスケール化による材料の機能化も推進されている。このような研究開発においては材料等の状態をリアルタイムで計測できることが求められる。材料等は固有の振動エネルギーを有する事から、「振動エネルギーの計測」、すなわち振動分光により、対象試料の同定や状態の判定が可能になる。ナノ材料に適用するためには相応の空間分解能が、またトランジェントな状態変化を追跡するためには相応の時間分解能が求められる。本研究では、実験の観点からは、サブナノメートル（原子レベル）の位置分解能とピコ秒の時間分解能を併せ持つ振動分光法として、高い空間分解能が得られる走査トンネル顕微鏡（STM）発光分光をベースとした振動分光法による研究を行ってきた。

Ni(110)表面にO原子を吸着させてできるNi(110)-(2×1)O表面からのSTM発光スペクトルには、ステップ構造としてO原子の面内振動が現れる。また、Ni(110)表面に解離吸着したH原子のSTM発光スペクトルには、振動エネルギーを周期とする振動構造が現れる。理論の観点からは、第一原理計算を用いて、これらの振動の発現機構を微視的レベルで解明する研究を行ってきた。振動が電子構造に及ぼす効果を調べる際、フォノン振動を断熱的に扱うことができる。図1のようなNi(110)-(2×1)O表面におけるO原子の面内振動について、昨年度、$y$方向におけるO原子と40番のNi原子の距離を縮めて固定し、構造最適化を行ったところ、O原子は、40番Ni原子に近付くと同時に、面直方向に持ち上がるような変位となった。しかし、調和近似の範囲で原子変位によるエネルギー変化を求め、$\bar{\Gamma}$点でのフォノンのエネルギー固有値と固有ベクトルを求めたところ、O原子と40番Ni原子が互いに近づいたり離れたりするNi-O-Ni原子鎖方向の光学フォノン型の振動であることが判明した。このような変位に対して電子状態を自己無撞着に求めることになるが、大規模スラブ系の収束解がなかなか得られない困難に遭遇した。結局、振動が電子構造に及ぼす影響についてはNi 11原子層スラブの両表面にO原子が吸着した構造を用い、振動による変位がバンド構造、各原子の軌道に射影した状態密度（Site- and orbital-projected density of states、以下pDOS）に及ぼす効果を明らかにした。さらに11原子層スラブでは、両表面間の相互作用が幾分残っているので、Ni 21原子層スラブの基底状態を計算し、バルクバンド端も考慮して、表面ブリルアン帯のどの線上でどのような表面状態が形成されるかを明確にした。

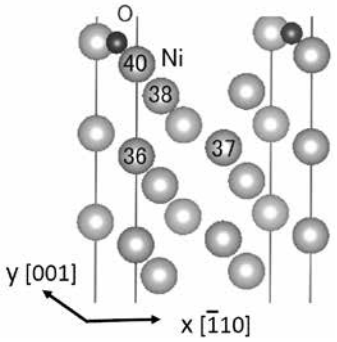


図1　Ni(110)-(2×1)O表面の構造

新型コロナの影響により、本プロジェクトの研究打合せは、メールにより行った。

令和3年2月18日の共同プロジェクト研究発表会では、「Electron-state analysis of adatom and nanoparticle vibrations observed in STM light emission spectroscopy」という表題で成果発表を行った。また、令和3年3月15日、日本物理学会第76回年次大会において、「第一原理大規模スラブ計算で見えるNi(110)-(2×1)O表面の電子構造」という表題で成果発表を行った。

［3］成果

（3-1）研究成果

(1) Ni(110)-(2×1)O 表面の電子構造

Ni(110)-(2×1)O 表面は、図１のように、*y* 方向([001]方向)に伸びる表面の Ni 原子鎖が一つおきに欠落して、*x* 方向([$\bar{1}$10]方向)に２倍周期をもち、残存した表面 Ni 原子鎖のブリッジサイトに O 原子が吸着した構造をとる。Ni の 21 原子層の両表面に O 原子が吸着した大規模スラブ系について構造最適化を行い、基底状態の電子構造を解析した。基板ｄバンドのすぐ下のエネルギー領域にあるO原子由来の電子状態については、Ni 7, 9 原子層スラブを用いた第一原理計算や光電子分光の実験により、すでによく調べられている。我々は、基板ｄバンドの上端付近のエネルギー領域にあるO原子由来の電子状態を詳細に調べ、表面状態が存在することを明確にした。電子密度分布の等値面で表面局在を、さらに表面状態のエネルギーが、スラブを拡大してできるバルクのバンド端より上側にあることを確認し、半無限系でも生き残る表面状態であると同定した。

表面ブリルアン帯の$\bar{\Gamma}$-$\bar{\mathrm{Y}}$ 線上では、O 原子の $p_x$ 軌道と表面Ni原子の $d_{xy}$ 軌道が結合した表面状態が、$\bar{\Gamma}$-$\bar{\mathrm{X}}$ 線上では、O 原子の $p_y$ 軌道と表面 Ni 原子の $d_{yz}$ 軌道が結合した表面状態ができる。これらの表面状態は、波数ベクトルが$\bar{\Gamma}$ 点から離れてエネルギーが基板 Ni バンド上端から浮かび上がったところで形成される。

図２は、$\bar{\Gamma}$-$\bar{\mathrm{Y}}$ 線上の表面状態における電子密度分布のスラブ上半分における表面局在を示し、O 原子の $p_x$ 軌道が主役を担っていることが分かる。

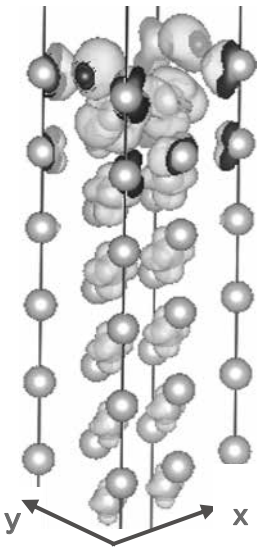



図２ $\bar{\Gamma}$-$\bar{\mathrm{Y}}$ 線上の表面状態における電子密度分布の等値面

(2) Ni(110)-(2×1)O 表面で振動が電子構造に及ぼす効果

上述のように、STM 発光スペクトルのステップ構造として現れる振動は、Ni--O-Ni 原子鎖方向（*y* 方向）の光学フォノン型の振動であることが分かった。このようなフォノン振動を断熱的に扱い、原子が変位した状態で電子状態を自己無撞着に決定した。フォノンのエネルギーの計算値は 97 meV となり、電子エネルギー損失分光で得られる$\bar{\Gamma}$ 点付近のエネルギー、あるいは STM 発光スペクトルのステップ構造から得られるエネルギー100 meV とよく一致する。図３は、O 原子の変位とともに、O 原子の $p_y$ 軌道に射影した majority spin の DOS がどのように変わっていくかを示す。

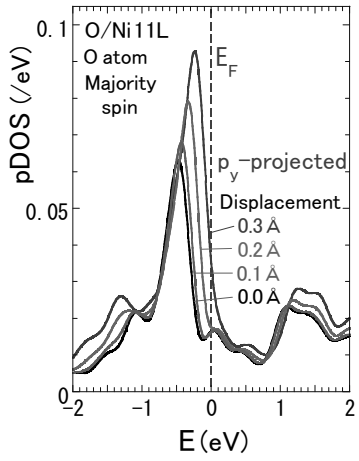



図３ O 原子の $p_y$ 軌道に射影した DOS。0.0～0.3 Åは、y 方向での O 原子の変位の大きさを示す。

O 原子の変位とともに、フェルミ準位付近にある pDOS のピークが高エネルギー側にシフトし大きくなることが分かる。

バンド分散と電子密度の空間分布を調べると、フォノン変位とともに、$\bar{\Gamma}$-$\bar{\mathrm{Y}}$ 線上および$\bar{\Gamma}$-$\bar{\mathrm{X}}$ 線上でフェルミ準位近傍にある準位が持ち上がり、表面状態の特徴を強めることが分かる。このようなフォノン変位による pDOS の変化が STM 発光に反映されると考えられる。

(3) Ni(110)-(2×1)2H 表面の電子構造

表面振動が電子構造に及ぼす効果を理解するための基礎として、Ni 11 原子層スラブの両表面にH原子が吸着した Ni(110)-(2×1)2H 表面（図４）の電子構造を解析した。構造最適化を行い、電子状態を自己無撞着に決定した。

この表面ではH原子の軌

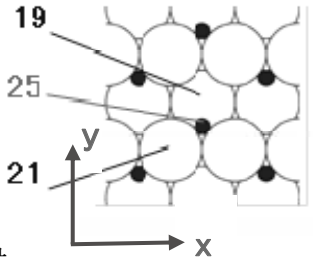



図４ Ni(110)-(2×1)2H 表面の構造

道を成分に含む状態が Ni 基板バンドの上端付近にできる。図5 (a), (b), (c)はそれぞれ、図4のH原子25、Ni原子21、Ni原子19 に対し、各軌道に射影したDOSを示す。

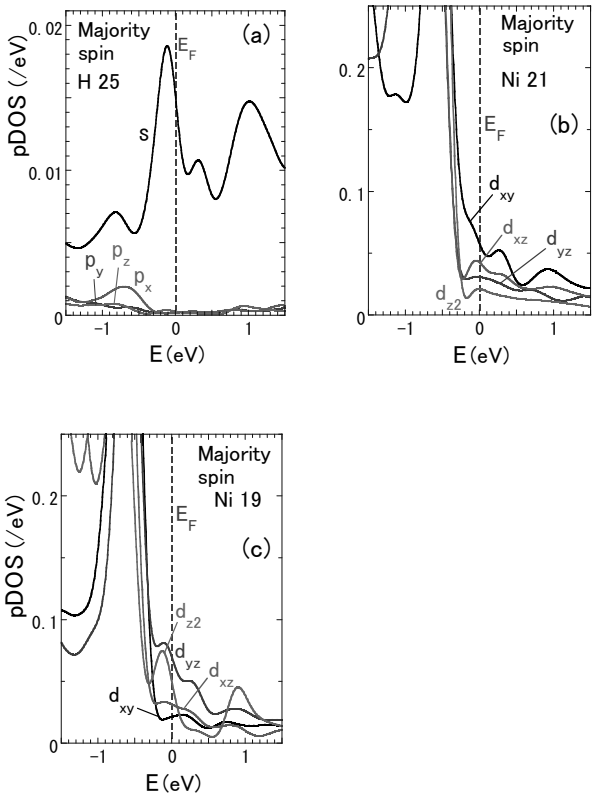



図5 各原子の軌道に射影したDOS。(a)25番のH原子、(b)21番のNi原子、(b)19番のNi原子。

H原子 25 のpDOSを見ると、–0.2〜–0.1eVにs軌道由来のピークがある。このことに留意して図5(b),(c)を見ると、H原子のs軌道が、表面第1層のNi原子 21 の$d_{xy}$軌道、および表面第2層Ni原子19 の$d_{yz}$、$d_{z2}$軌道と結合していることが分かる。しかし、H原子のs軌道のpDOSは、Ni原子のd軌道のpDOSよりもかなり小さいことが分かる。

結局、H 原子付近にある電子密度の多くは、隣接するNi原子から提供されたd軌道によるもの考えられる。ここでは majority spin について述べたが、minority spin についても同様である。振動の主体はH原子であるが、STM でH原子が探針下にあるとき、トンネル電子の行先となる軌道は、近隣のNi原子のd 軌道の成分を多く含む軌道ということになる。H原子が振動すると、その原子核の正電荷が動くので、その周りにある Ni 原子由来の電子雲もいっしょに動くであろう。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

従来の表面電子構造の第一原理計算では、計算機の性能の制約から、数原子層スラブを用いることが多かった。しかし近年の計算機の性能の飛躍的向上により、大規模スラブ計算が可能になってきた。本研究でも、厚いスラブの使用により、かなり広がった表面状態まで捉えることができた。Ni(110)-(2×1)O表面は、基板dバンドのすぐ下のエネルギー領域にあるO原子由来の電子状態は先行研究でよく調べられていたが、本研究では基板dバンドのすぐ上のエネルギー領域にあるO原子由来の電子状態に焦点を当てた。また、Ni(110)-(2×1)2H表面についても、基板dバンドのすぐ上のエネルギー領にあるH原子の軌道を成分に含む状態に注目した。基板dバンドのすぐ上にある吸着由来の表面状態は、表面振動に敏感であると考えられ、STM 発光による振動分光でも重要である。大規模スラブ計算での困難さにも遭遇し、計算が滞ることも多かった。振動が表面電子構造に及ぼす効果についての研究が完結するまで継続する所存である。

[4] 成果資料

(1) T. Inaoka and Y. Uehara, Identification of surface states formed above the substrate bands of Ni(110)-(2x1)O surface, to be submitted.

**採択番号：H30/A06**

# 汎用型量子系制御技術に関する研究

［1］組織
研究代表者：
福原　武
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
通研対応教員：
大塚　朋廣（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
山本　隆太
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
小沢　秀樹
（理化学研究所・創発物性科学研究センター）
兼村　厚範
（産業技術総合研究所・人間情報研究部門）

延べ参加人数：13 人

［2］研究経過

(2-1) 研究目的

近年、電子等の古典的な自由度だけでなく、量子的な自由度を利用した量子技術が、高度・多機能な情報処理や通信の実現に向けて注目を集めている。長期的な視点では大規模な量子系を用いた量子計算機のアプローチがあるが、これよりも先にまず小規模な量子系を用いた量子センサーや量子メモリ等の量子系技術が実用に近づいている。これらの小規模量子技術はその用途から、大量生産できることや可搬性、環境耐性などが求められ、また一度設置されるとメンテナンスを行いにくいことなどが想定される。これに対し現状では冷却原子系、半導体微細構造、超伝導回路等、様々な量子系において、それぞれ独自の制御・最適化技術を発展させているのが現状である。しかし、現実的なデバイスの実現に向けてそれぞれの量子系の長所を活かしつつ融合性を高めるため、それぞれの量子系に依らない汎用型の制御・最適化技術の開発が重要となる。

そこで本研究では、複数の量子系に適用可能な汎用型量子系制御技術に関する研究を行う。具体的には、いずれの量子系においても、量子センサーや量子メモリの実現に向けて現在の課題となっている量子システムの制御について、機械学習等を用いた自動制御、最適化技術の開発を行う。機械学習を用いた量子系の自動最適化制御が可能になればデバイスの自動キャリブレーション・自動メンテナンスが可能となり生産性、環境耐性、メンテナンス性の問題に対処することが可能となる。

(2-2) 研究概要

本課題は第 3 年度の実施であった。本年度も機械学習等を用いた自動制御、最適化についての研究を推進し、冷却原子や半導体量子ドット等の量子系について、自動制御、最適化技術の研究を実施した。

研究会については、
・2020 年 9 月 18 日
参加人数 10 人
・2021 年 2 月 5 日
参加人数 7 人
の日程で行った。量子技術の研究者と、機械学習技術の研究者という異分野の研究者が、本年度は新型コロナ感染症対策のためオンラインで集まり、最新の研究状況をもとに活発な意見交換がなされた。

［3］成果

(3-1) 研究成果

１．冷却原子系における最適化技術

現状の冷却原子、半導体量子ドット等の量子系について、量子センサーや量子メモリに向けた制御、調整はそのほとんどが人間によってなされている。この調整過程は実験家の勘に大きく依存するものがあり、実用化に際しては、生産性、環境耐性、メンテナンス性の面で問題がある。そこで昨年度に引き続き、制御、調整を機械学習により自動化して効率的に安定性を高める手法について研究を行った。

昨年度、光格子（光で生成した周期的な構造）中の単一原子観測に関するパラメータの自動調整について取り組み、スコアを工夫することで観測における「蛍光量」と原子の分布を維持するための「冷却」の両立が可能であることを報告した。今年度は、この最適化を更に推し進め、実用面での可能性を探った。

まずは、単一原子観測に寄与する 11 個のパラメー

タに関して、ベイズ最適化による自動最適化を行った。約 13 時間（1300 回程度の試行）の最適化により得られたパラメータを用いることで、三角型光格子中の単一原子観測を行うことができた（図 1）。特筆すべきことは、これが世界初となる成果であり、新しい実験手法の開発において機械学習による自動最適化が成果を収めた点である。また、得られたパラメータを用いた測定のフィデリティは 96%程度であり、高品質なイメージングが実現されていることが確認できた（成果資料（1）参照）。

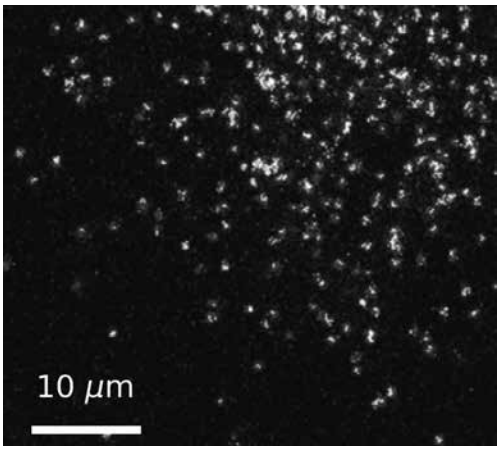



図 1：三角型光格子中の極低温原子気体を単一原子レベルで測定。

更に、最適化の実験から得られた結果を可視化・定量的に評価する方法にも取り組んだ。最適化スコアの高いデータに関して各パラメータの分布を表示することにより、個々のパラメータの重要度やパラメータに関する実験不備などをあぶりだすことができた。特に後者に関しては装置のメンテナンスにおける異常検出として使えると考えている。また、パラメータ間の相関から物理的な背景を調べることができると考えており、それについては今後取り組んでいく。

２．半導体量子ドット系における最適化技術

冷却原子系において実証されたベイズ最適化等の機械学習手法について、半導体量子ドット系への適用を推進した。半導体量子ドット系を用いて有用な量子システムを構成し自動化を推進するためには、半導体量子ドットの状態を効率的に推定する必要がある。この状態推定に機械学習手法を活用した。

半導体量子ドット系のシミュレータを活用することにより大量の学習データを用意し、このデータに対して機械学習を実施することにより半導体量子ドットの状態推定を行う学習器を構成した。この動作を評価したところ、シミュレーションデータや実験データについて、半導体量子ドット状態の推定ができることを確認した。さらに実験データに含まれるノイズが大きい場合にも対応することを目指し、手法の改良についても実施した。これらの結果は半導体量子ドット系の自動制御・最適化技術として有用となり、さらには他の量子系にも拡張できるものである。

また以上の研究においては特別支援分（若手）の研究費を活用することにより、効率的な研究推進および積極的な情報共有を行うことができた。

(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量子技術の研究者と、機械学習技術の研究者という異分野の研究者の間にネットワークを構成して拡充することができ、継続的な議論をすることができた。このおかげでそれぞれの研究分野での現状の課題、またこれに対する異分野からのアプローチのについて明らかになり、たいへん貴重な機会となった。これらの研究により汎用型量子系自動制御、最適化技術に貢献することができた。今後もこのネットワークを維持し、継続して共同研究を実施する。

[4] 成果資料

(1) “Single-site-resolved imaging of ultracold atoms in a triangular optical lattice”, Ryuta Yamamoto, Hideki Ozawa, David Can Nak, Ippei Nakamura, and Takeshi Fukuhara, New Journal of Physics Vol. 22, 123028 (2020). （査読付き論文）

(2) “Single-site-resolved imaging of rubidium atoms in a triangular lattice”, Takeshi Fukuhara, Atomic physics seminar at the University of Virginia、オンライン、2021 年 3 月 22 日（招待講演）

(3) “Automatic optimization of quantum science experiments”, Takeshi Fukuhara, RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects、オンライン、2021 年 2 月 18 日

(4)「機械学習を用いた冷却原子実験」、福原武、新学術領域「クラスター階層」第二回検出器ワークショップ、オンライン、2020 年 12 月 25 日（招待講演）

(5)「機械学習による量子ドットの電荷状態推定」、中曽拓、篠﨑基矢、相澤拓海、北田孝仁、武藤由依、中島峻、Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健、 野入亮人、伊藤匠、Arne Ludwig、Andreas D. Wieck、樽茶清悟、兼村厚範、大塚朋廣、日本物理学会、オンライン、2020 年 9 月 9 日

**採択番号：H30/A07**

# 光−スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究

［1］組織
研究代表者：
石原　淳（東京理科大学理学部第一部）
通研対応教員：
金井　駿（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
辻本　学（筑波大学数理物質系）
鈴木　拓也（東京理科大学理学研究科：M1）

延べ参加人数：6 人

［2］研究経過

現在、実用化を指向としたスピントロニクス分野の研究開発はスピンの性質が磁化として発現している強磁性金属をベースとした素子が中心となっている。一方で、定常的にはスピンの状態が表に出てこない非磁性半導体においても、スピンの自由度は大きな注目を集めている。半導体は光との相性が良く、スピンと光の偏光の相関を利用することで、光を使って容易に伝導電子スピンを生成することができる。他にも電界によるキャリアの変調や発光を利用できるため、スピンのインプット、コントロール、アウトプットのすべてを可能にする。例えば化合物半導体ではスピン軌道相互作用を利用することでスピン緩和を完全に抑制でき、スピンをより能動的に利用できる。また、欠陥中心や半導体量子ドットなどゼロ次元までスピンを閉じ込めると、量子力学的性質が顕著に表れ、スピンは量子情報の担体となる。このように半導体においてはスピンの活用方法は幅広く、強磁性金属単体では実現できない多様なスピン機能デバイス創生の可能性を持っている。そこで本プロジェクトでは、半導体と相性の良い光とスピンの相関に着目し、光−スピン変換を利用した半導体中におけるスピン状態の観測と制御を行うことで、デバイス応用に向けたスピン制御要素技術の獲得を目指して研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。研究体制は若手研究者で構成され、各研究者は光を使ったスピンダイナミクス測定、高周波磁場を使った電気的スピンダイナミクス制御/測定、酸化物単結晶成長といった各々が得意とする実験技術を有している。本年度は，スピンに働く有効磁場を簡便かつ高精度に測定するための方法について検討した。また、絶縁体中の欠陥中心材料の開発を達成するために、材料系の探索を中心に研究を展開した。

本年度は、新型コロナウイルスによる情勢を鑑み、東北大学電気通信研究所での実験及び打ち合わせは実施しなかった。実験は各々の施設にて実施した。一方でWeb 会議システムなどを用いて定期的に研究の進捗、内容に関して議論した。

2021 年 2 月 18 日には共同プロジェクト研究発表会にてオンラインでポスター発表を行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

第一に、高移動度二次元電スピンの時空間発展からスピン拡散速度とスピン軌道相互作用の大きさを

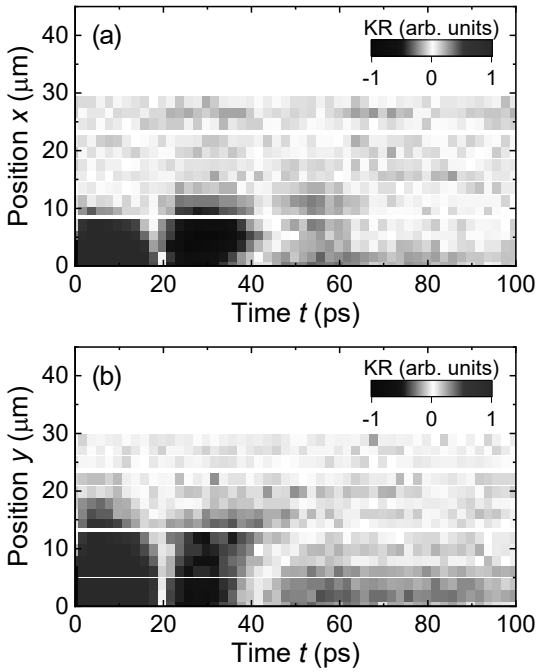



図 1　時間空間分解カー回転法によって測定した高移動度二次元電子スピンの時空間発展. (a) $x$ 方向走査、(b) $y$ 方向走査.

定量的に評価した。試料には変調ドープしたGaAs/AlGaAs 量子井戸構造における高移動度二次元電子系を用い、スポットサイズが8 μm程度の時間-空間分解カー回転測定系で光励起電子スピンの時空間分布を観察した。図1は測定したスピンの時空間発展の様子であり、図1(a)はx//[1-10]、図1(b)はy//[110]方向に位置を走査しながら測定した結果である。ここで正(赤色)はアップスピン、負(青色)はダウンスピンを示している。図1(a)よりバリスティック運動する電子系を反映したスピン集団での拡散の様子が観測できていることがわかる。また、試料に働く異方的なスピン有効磁場を反映して結晶方位によってスピン反転の描像が異なることがわかった。ここからスピン拡散速度 $v_s$ = 0.22 mm/ps、スピン歳差運動周波数Ω = 0.124 rad/ps、スピン軌道相互作用係数-α+β = 3.2 meVÅ と定量できた。

第二に、絶縁体YAG結晶中のCeカラーセンターからの発光を測定し、イオン注入量と発光量の関係性について調べた。図2(a)にCeをイオン注入したYAG結晶の発光スペクトルを示す。イオン注入していない試料と比べて Ce カラーセンターからの発光強度が増大しており、イオン注入によりY原子がCeに置換されカラーセンターが生成されていることが分かった。破線は市販されているCeが0.3原子%ドープされたYAG結晶の発光スペクトルであり、それと比較するとイオン注入試料では700 nm付近に発光帯が見られるが、これはCrイオンからの発光である。またイオン注入していないサンプルからも Ce カラーセンターの発光が観測されたため、発光強度の差分を取ってイオン注入によって生成されたカラーセンターからの発光のイオン注入ドーズ量依存性を評価した(図2(b))。その結果、発光強度はドーズ量に対してほぼ線形に変化する、つまりドーズ量に対してカラーセンターの生成量が比例することが分かった。今後はこれらの試料に対して偏光PL測定を行い、定常状態におけるスピン状態を評価していく必要がある。

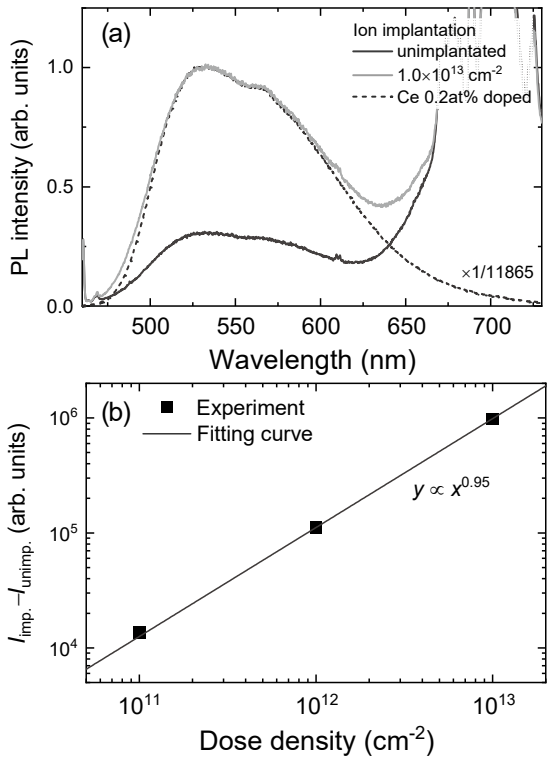



図2　(a)異なるイオン注入ドーズ量条件における YAG 中の $Ce^{3+}$発光スペクトル．(b)発光量のドーズ量依存性.

今年度は、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴う移動制限に対して若手研究者対象型プロジェクトへの特別支援も含めて予算の柔軟な運用を許可いただいたおかげで、各所属研究室において個々に実験を進めることができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度は外部での発表も多くは行えなかったが、本プロジェクトによって明らかになった高移動度二次元電子のスピン時空間ダイナミクスの測定結果は、高空間分解能や外部磁場を不要とするスピン軌道相互作用の評価方法として役立つほか、時空間領域でのスピンの利用に関する有意な知見となる。また、本プロジェクト研究と関連した内容の助成金の採択にもつながった。欠陥中心スピンに関しては、構築した光学系により、欠陥中心の光学検出と偏光状態の観測により周波磁場制御に適した材料が探索でき、欠陥中心スピンの研究の発展が期待される。

［4］成果資料

(1) 鈴木拓也，北澤豪，石原淳，大野裕三，大野英男，宮島顕祐，″ゼロ磁場歳差運動の空間依存性測定によるスピン軌道有効磁場の異方性の観測″，第31回光物性研究会，IA-20，オンライン開催，2020年12月11日,12日.

(2) 鈴木拓也，北澤豪，石原淳，大野裕三，大野英男，宮島顕祐，″GaAs/AlGaAs 量子井戸における高移動度二次元電子スピンの時空間発展″，第 68 回応用物理学会春季学術講演会，19a-Z19-7，オンライン開催，2021 年 3 月 16 日-19 日.

**採択番号：H30/A08**

# カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御

［1］組織
代表者：片野　諭
（東北大学電気通信研究所）
対応者：片野　諭
（東北大学電気通信研究所）
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）
Achmad Syarif Hidayat（芝浦工業大学理工学研究科）

延べ参加人数：5 人

［2］研究経過

(2-1) 研究目的

カーボンナノチューブやグラフェンなどに光を照射したり、電流を流すと、可視･紫外からテラヘルツにわたる光子エネルギー領域において発光が誘起される。このような光が関わるカーボンナノマテリアルの電子準位は、炭素骨格の構造によって決定される。つまりボトムアップに基づく物質設計によって、高いエネルギー精度と高い空間精度を兼ね備えた発光素子を実現することが可能である。しかしながら、これらカーボンナノマテリアルの発光効率がとても低いことが問題視されている。例えばカーボンナノチューブの場合、発光の量子効率は 1%程度と低い。そのためこれらカーボンナノマテリアルを実用化するにあたってその発光効率を大幅に上げることが望まれている。

最近、炭素壁面の一部を原子や分子で修飾すると、カーボンナノマテリアルの光電子特性が大きく変化するといった報告が相次いでなされている。ところが、このようなナノ特異点の導入によって発光が増強するといった報告がある一方、消光するといった真逆の結果を示す報告もなされている。つまり、カーボンナノマテリアルに導入されたナノ特異点が、どのように発光に関与し発光の増強や減弱をもたらすのか、その理解が未だなされていない。

本共同研究プロジェクトの目的は、カーボンナノマテリアルの局在した光電子物性を原子スケールの空間分解能を有する走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて明らかにすることである。我々が独自に発展させた STM 発光分光によって、カーボンナノマテリアルの発光を実空間で可視化する研究を行う。このような計測を通して、カーボンナノマテリアルの発光効率を決定する原子配列や化学状態を明らかにする。さらに、STM 探針を用いて人工的にナノ特異点を導入し、カーボンナノマテリアルの発光ダイナミクスを微視的に制御する研究を展開する。

(2-2) 研究概要

本課題は平成 30 年度に新規採択された研究課題である。初年度において、酸化グラフェン（GO）のナノ構造を STM で明らかにする研究と、GO の微視的な電子状態計測について成果があった。継続 2 年目において、GO の還元状態と GO シートの微視的構造制御、およびナノドメインに局在した GO の発光に関する研究について成果が得られた。しかしながら、新型コロナウイルス感染拡大の影響により、令和元年度に予定していた共同研究を十分に実施することができなかった。特に共同研究者の来所が厳しく制限されたことにより、令和元年度に予算配分された旅費に残額が生じた状態で終了せざるを得なかった。令和元年度の共同プロジェクト研究に残額が生じている本研究課題について、その残額を上限として令和 2 年度の継続課題に追加配分することが認められた。このような経緯に基づき、本報告では、令和 2 年度において予算の追加配分された本課題に関わる共同プロジェクト研究の成果について述べる。

［3］成果

(3-1) 研究成果

近年、GO を還元処理すると蛍光を示す例が報告さ

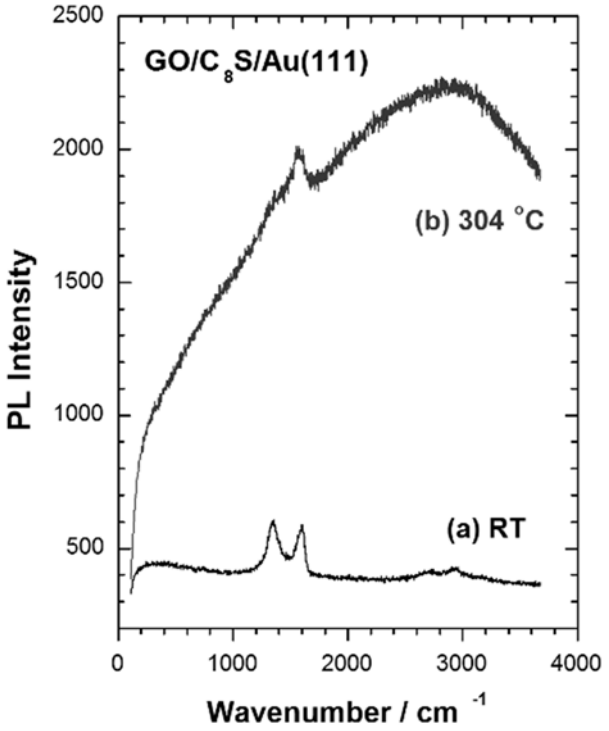



**図 1** : $C_8$S-SAM/Au(111) 上に吸着させた GO のラマンスペクトル。 (a) 室温の基板、(b) 304 ºC でアニール処理した基板。.

れ、その発見以降 GO をディスプレイやバイオセンサーなどに応用する研究が盛んになされている。GO は、グラフェン構造の保持された導電性の $sp^2$ ドメインと酸素官能基の接続された絶縁性の $sp^3$ ドメインで構成される。特に、光物性に強い影響を及ぼす $sp^2$ ドメインの大きさや形状は、還元処理によって大きく変化する [S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, R. Kasama, and Y. Uehara, Phys. Chem. Chem. Phys., 20, 17977 (2018)]。

本研究では、オクタンチオールの自己組織化単分子膜 ($C_8$S-SAM) 上に GO を吸着させて昇温すると GO が還元されて可視光領域で蛍光を示すことを見いだした。ここでは、温度を変えてアニール処理した GO の光電子物性を光ルミネッセンス (PL) 法、顕微ラマン分光法、STM を用いて調べた結果について記す。

Au(111)/mica 基板を 1 mM オクタンチオール-エタノール溶液に 24 時間浸漬させて $C_8$S-SAM を成膜した。超音波分散した GO-エタノール溶液を $C_8$S-SAM/Au(111)にスピンコートすると、清浄性を保った状態で GO を基板に吸着させることができた [S. Katano, T. Wei, T. Sasajima, and Y. Uehara, J. Vac. Soc. Jpn. **60** (2017) 495.]。PL とラマン分光では 532 nm を励起光として用い、大気中で計測を行った。STM 計測は、超高真空下(真空度 $5\times10^{-10}$ Torr)で行った。

室温で GO を $C_8$S-SAM/Au(111)基板に吸着させたときのラマンスペクトルを図 1(a)に示す。1348 $cm^{-1}$ と 1602 $cm^{-1}$ に強いラマンピークが観察され、これらは酸化したグラフェンに特徴的に出現する D バンドと G バンドに帰属される振動ピークである[2]。この基板を超高真空下で 304 ºC まで昇温した後に得られたラマンスペクトルを図 1(b)に示す。室温のスペクトルと比較して D バンドと G バンドの強度比 (D/G 比) が大きく減少した。アニール処理によって GO が部分的に還元され $sp^3$ ドメインが減少したと考えられる。また、ラマンスペクトルのバックグラウンド強度の上昇が認められるが、これは GO の PL に帰属される ($\lambda_{max}$=630 nm)。なお、上記のような D/G 比の大きな減少や蛍光は、Au(111)基板に直接吸着させた GO で観察されなかった。つまり、GO が蛍光を示すためには $C_8$S-SAM が重要な役割を果たしていると考えられる。本研究では、アニール温度に依存した GO の還元状態と蛍光特性の関係を明らかにすることができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

発光に関わるナノ特異点の同定により、カーボンナノマテリアルを用いたより高効率な光素子、例えば極小サイズの光通信光源や高感度光検出器等の実現や発展が期待される。さらに GO は、安価で大量合成が可能であり、さらに生体分子との融合性が高く応用研究への見通しがよい。GO 物性の微視的理解は、微量試料で多種の生体分子検出が要求される高感度バイオセンサーの実現にも必要不可欠である。本研究の波及効果は電子デバイス材料の基礎研究の枠に留まらず、今後の研究発展が期待される。

［4］成果資料

(1) 許彦, 笹嶋匠, 片野諭, and 上原洋一, "有機単分子膜を援用した Au(111)基板上における酸化グラフェンの吸着構造制御", 第 *75* 回応用物理学会東北支部学術講演会, オンライン, 12 月 4 日 (2020).

(2) S. Katano, and Y. Uehara, "In situ Observation of Atomic Scale Growth of NaCl Thin Crystal on Au(111) by Scanning Tunneling Microscopy", *J. Phys. Chem. C*, **124**, 20184–20192 (2020).

(3) S. Katano, T. Iwahori, R. Yamasaki, A. Mizuno, A. Ono, and Y. Uehara, "Localized surface plasmon-induced vibrational excitations in the surface-enhanced Raman scattering using two-dimensional array of silver nanocubes", *J. Appl. Phys.*, **127**, 185301_1-9 (2020).

**採択番号：H30/A09**

# 量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究

［1］組織

研究代表者：
志賀　元紀　（岐阜大学工学部）
通研対応教員：
大塚　朋廣　（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
野村　和矢
（岐阜大学大学院自然科学技術研究科）

延べ参加人数：５人

［2］研究経過

(2-1) 研究目的

近年、コンピュータ等の計算機能力の飛躍的向上により、大量で複雑なデータから新しい知識や、その意味を引き出す情報科学技術が大きく進展している。特に統計的機械学習のアプローチは様々な対象に対して適用可能なものであり、その新しい適用先の一つが半導体量子センサーや量子計算機といった半導体量子デバイスがあげられる。これまで半導体量子デバイスの研究においては従来型の単純な解析が一般的であったが、半導体量子デバイス中の局所電子状態を高エネルギー分解能でかつ高速に大量のデータを取得できる現状では機械学習等の情報科学アプローチの援用によるデータ処理の自動化が必要不可欠となってきた。

本研究では、情報科学のアプローチを半導体量子デバイス研究と融合させ、新しい知見の獲得や、新しい技術の開発を行う。具体的には、半導体微細材料を用いた量子デバイス中の局所電子状態ダイナミクスを測定する量子センサーの解析にベイズ推定等の手法を導入し、より短時間で高精度な情報を取得できるようにする。また、半導体量子ドットデバイスにおける多次元電荷状態データについて解析の自動化を行い、電荷状態の自動推定、量子ドットデバイスの自動操作を実現する。また、半導体量子デバイスにおける応用課題を取り組む中で、情報科学の新しい問題探求および新しい方法を開発する。

(2-2) 研究概要

本研究課題は本年度が３年目の実施となった。半導体量子デバイスにおける電荷状態データ解析のための手法の改良を推進した。具体的には、量子デバイス中の電化状態変化点をより少ない試行回数で探索するためのベイズ最適化アプローチ高度化の研究を実施した。また半導体量子センサーに対する情報科学アプローチの研究についても引き続き実施し、シミュレーション、解析による動作の検証を行った。

これらの研究を推進するにあたり、オンラインでの研究打ち合わせ（令和２年６月 16 日、９月 11 日、10 月９日に実施し、メンバー３人参加）を実施し、機械学習法の開発状況、計測データの取得状況に関して情報共有等を行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

１．ナノ量子デバイスにおける電荷状態データ解析のための手法の開発

図１に示されるナノ量子デバイス中の電荷状態の解析においては、電荷状態の計測値から、単一電荷の移動に伴う、離散的な状態変化を高感度に検出することが重要となる。このため、測定データにおける離散的な変化を、効率的に検出するための手法の開発を行った。まず、上記の問題を、デバイス制御する複数のパラメータの中から状態変化の発生するパラメータ境界平面を効率的に発見する問題として定式化した。そして、未探索パラメータ設定値付近における状態変化発生の事後確率分布に基づく評価関数を新たに考案し、新しいベイズ最適化法を開発した。この手法は、変化境界の同定を試みる動作と未探索領域の積極的な開拓のバランスを自動的にとることができ、少ない試行回数で状態変化点を発見できることが期待される。また、設定された目的関数を最適化する探索だけでなく、未探索領域も積極的に開拓するため、人間が設定して見落とす可能性がある領域も自動的に探索できるメリットがある。本年度は、２次元以上の高次元探索空間において、膨大な候補点を効率的に評価する手法を検討した。

開発手法の性能を検証するために予め注目領域を

計測した実データを用いて、パラメータ探索を模擬した数値実験を行った。探索すべきパラメータ探索空間の次元を２次元として、２つの離散的な状態を仮定した。

開発法の探索性能を評価した結果を図２に示す。評価指標としては、既に探索した地点と状態変化境界の最小距離とした。提案法（赤線）と比較した手法は、探索空間をランダムに探索する手法（青線）、従来のベイズ最適化の方法（緑線）の２つである。従来法は予めグリッド上に配置した候補点から最適探索点を選択するのに対して、開発法は未探索点の中央値を効率よく選択するために優れた探索性能になることが示されている。また、解析者の設定し難いハイパーパラメータの数を軽減しているのも提案法の一つの利点と考えている。今後は、より高次元の探索問題において性能評価することが重要な課題である。

これらの研究成果を東北大学電気通信研究所の共同研究プロジェクト発表会でポスター発表し、また、別途打合せを行い関係者と議論を行った。

本研究の今後の課題には、パラメータ数が多数の場合への手法の拡張や実際のナノ量子デバイスへの実装を考えている。

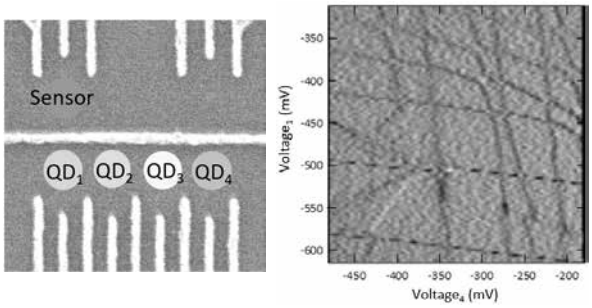



図１：半導体量子デバイスと状態計測

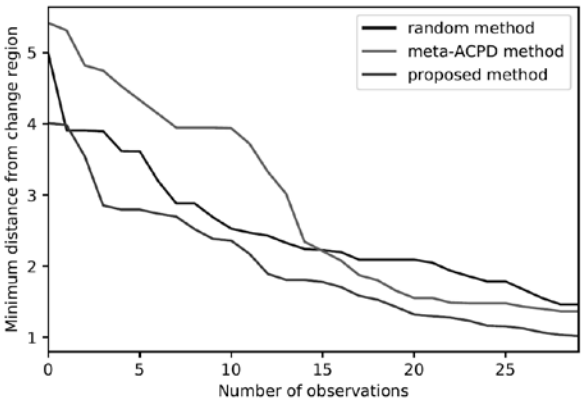



図２：開発法の状態変化境界の探索性能

2. 半導体量子センサーに対する情報科学アプローチ

基礎科学やデバイス応用において重要となっている固体微細材料中の局所電子状態について、半導体量子ドット等を用いて局所状態調べる量子センサーの開発が推進されている。測定技術の進歩により高エネルギー分解能で高速に大量のデータを取得することができるようになってきた。

本研究では半導体量子センサーからのデータ解析に対して、情報科学手法の適用を進めた。半導体量子センサーからのノイズの混入した測定データの解析について、ベイズ確率を取り入れた新しい解析手法を開発してきたが、この動作についてシミュレーションを活用しながらその詳細を調べた。この結果、新しい解析手法がより優れた動作を示すノイズ条件を調べることができ、またそのメカニズムについて解析的手法も交えて明らかにすることができた。これらの結果は、半導体量子センサーの高精度化、高速化に有用であり、今後これらを用いた固体微細材料の電子物性解明や、半導体量子ビットデバイス読み出しの高度化等に貢献できると考えている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の実施を通して、情報科学の研究者と、半導体ナノデバイスの研究者の協力、連携を継続的な形で深めることができた。本研究課題で実現された解析手法等は、今後、情報科学を用いた半導体量子センサーや量子計算機等の新しい半導体量子デバイスの創製等を通して、高精度な測定や、高性能の情報処理・通信の実現に貢献できると考えられる。また、今回取り組んだ手法は情報科学の分野としても未発展のものであり、応用分野だけでなく情報科学分野においても重要な成果となりうる。

量子技術と情報科学のそれぞれの研究分野の特色を活かして有意義な共同研究ができることを確認し、今後は理論に関わる研究者も加えて共同研究を継続していくことを決定した。

［4］成果資料

（1）“Informatics Approaches in Quantum Devices”, Kazuya Nomura, Motoki Shiga, Tomohiro Otsuka, RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects、オンライン開催、2021年2月18日

（2）「ベイズ手法による量子ドット電荷状態推定のノイズ依存性」、武藤由依、篠﨑基矢、北田孝仁、永安修也、中島峻、Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健太、野入亮人、Sen Li、伊藤匠、樽茶清悟、大塚朋廣、日本物理学会、オンライン開催、2020年9月9日

**採択番号：H30/A11**

# 移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究

［1］組織
研究代表者：
丸山　珠美（函館工業高等専門学校）
通研対応教員
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
陳　　強（東北大学大学院工学研究科）
佐藤 弘康（東北大学大学院工学研究科）
Andrea Massa　（Trento University, Italy）
大宮　学　（北海道大学）
大倉 義孝（株）エスイーシー
小板　侑司　（函館工業高等専門学校）
大野　寿紗　（函館工業高等専門学校）
延べ参加人数：11 人

［2］研究経過

(目的) 5G のサービス開始に伴い、28 GHz 帯など高い周波数体、および、IoT の電波環境の改善と電力の確保に関する課題解決に向け、メタサーフェスおよびワイヤレス電力伝送の研究はますます盛んになっている。本研究ではアクティブ素子の装荷によるメタサーフェスのビームコントロール、ワイヤレス電力伝送を用いたエネルギーハーベストによるアクティブ素子への電源供給の実現を目的として検討を行った。

（概要）本プロジェクトは，本年度が第 3 年度であった。初年度は，メタサーフェスを構成する各パッチ間に設置したダイオードの On と Off によりビームを左右にスイッチする手法を確立し、ワイヤレス電力伝送によりダイオードの On と Off を実現した。昨年度は、電子レンジや WiFi からわずかに漏れる電波を整流し電力に変えるエネルギーハーベストにおいて、従来は利得の高いアンテナを用いて電力伝送効率を上げていたのに対して、本研究では八木宇田アンテナの原理を応用し、無給電素子を用いて電波とともに電力を伝搬させることで電力伝送距離を大きくできることを明らかにした。また、メタサーフェスをダイポールなどオムニ指向性アンテナの近傍に設置することにより、ワイヤレス電力伝送効率を高くできることを明らかにした。本年度は、この八木宇田アンテナを用いたエネルギーハーベストに対して生じていた、形状に対する制約を解消する、誘電体埋め込み折り曲げダイポール型のレクテナを考案し形状に自由度を持たせることに成功し、WPT 研究会(1)および国際ワークショップ AWPT 2020 (2)でそれぞれ報告した。また、この八木宇田アンテナをマルチセクタ配置することにより、電力の伝搬する方向に自由度を持たせエリアを拡大することに成功し、国際会議 ISAP 2020 (3)、WPT 研究会(4)においてこれを報告した。また、従来のリフレクトアレーおよびメタサーフェスは反射位相を、方形を基本とするパッチの縦方向と横方向につけていたのに対して、多角形を基本とし位相を多角形の辺の方向につけることによって、制御可能な方向を増やす手法を考案した。本技術は外部投稿を準備中であるとともに、次年度の本プロジェクトの研究テーマとして申請をしている。本研究のワイヤレス電力伝送効率、リフレクトアレー、メタサーフェスの設計と解析は主に電磁界解析ソフト HFSS を用いて実施した。試作および測定について 11 月から 2 月にかけて、電子メールを用いて打ち合わせを行った。東北大学の電波暗室で測定を計画していたが、コロナウイルス感染者の増加を鑑みて実施しないこととなった。

［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。

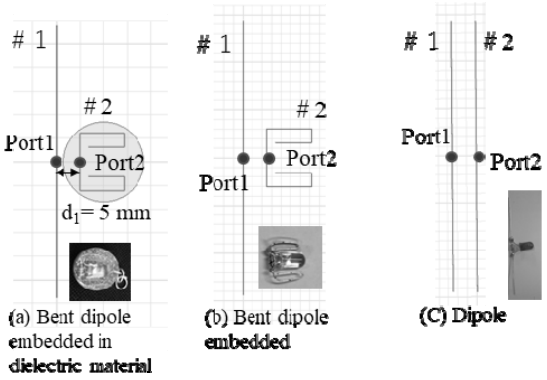



図 1　誘電体埋め込み折り曲げダイポールと比較用の折り曲げダイポール、ダイポールの解析モデル

まず第１に，受電素子の形状に自由度のあるレクテナとして誘電体埋め込み折り曲げダイポールを提案し、電子レンジからわずかに漏れる電波を電力に変えてLEDを点灯させることに成功した。誘電体埋め込み折り曲げダイポールと比較用の折り曲げダイポールおよび通常のダイポールの解析モデルを図１に示す。図１において#１は送電部、#２は受電部とし、電磁界解析の結果からワイヤレス電力伝送効率を求め、(1),(2)で報告した。図２は本レクテナを用いて電子レンジからわずかに漏れる電波を用いてLEDを点灯させた実験例である。




図２　誘電体埋め込み折り曲げダイポールレクテナを用いたLEDの点灯実験

今年度の成果の第２は、著者らが考案した八木宇田アンテナの原理を用いて電力を電波とともに伝搬させる手法において、素子をマルチセクタ配置することにより電力が伝搬する方向に自由度を与え、エリアを広げることに成功した。図３にマルチセクタ配置したアレーを示す。各素子は、整流ダイオードをはんだ付けしたLEDで構成されている。これら素子は、一つづつ電力を受け取ってLEDを点灯させるレクテナとして働くと同時に、前方の素子に電波を導波する素子としても動作し、全ての素子を点灯することができる。本レクテナを構成する各素子のワイヤレス電力伝送効率を電磁界解析の結果から求め、各アレーにおいて、波源からの距離が離れても効率が小さくならないことを明らかにし、その結果を(3),(4)で報告した。

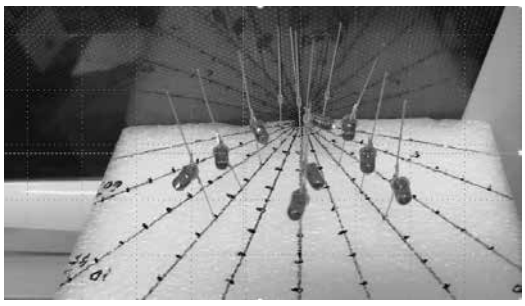


図３　マルチセクタ八木宇田アンテナ型のレクテナアレーの構造とLED点灯実験の様子

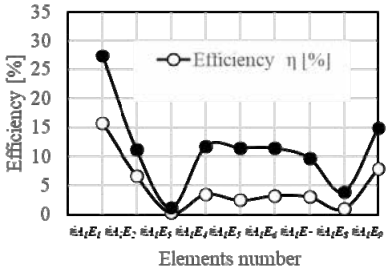



図４各素子毎の効率$\eta$、$\eta_{max}$の変化（中央のアレー）

（特別支援国際に係る研究成果）
本研究のメンバーであるイタリアのトレント大学教授であるA. Massa先生は、例年は毎年３月に来訪していたため、打合せをする機会があったが、今年度は新型コロナウイルスの流行の影響を受けて実現できなかった。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献
本研究を進めるにあたり、メタサーフェスおよびリフレクトアレーの新たな設計法を考案し、研究に着手することができた。これを踏まえて、次年度の東北大学研究所共同研究プロジェクトに申請を行った。また、ワイヤレス電力伝送へのメタサーフェスの応用について科研費基盤研究Cに申請した。

［4］成果資料
(1) 丸山珠美:“折り曲げダイポールによるLEDアクセサリのワイヤレス電力伝送効率解析”，信学技報，vol. 120, no. 7, WPT2020-8, pp. 41-43, 2020年４月.
(2) Tai Kimura, Tamami Maruyama and Masashi Nakatsugawa: “Novel bent dipole rectenna with transparent dielectric material for energy harvesting using WPT.,” 2020 Asian Wireless Power Transfer week, 2020 AWPT. Session D-1, pp. 1-4, Dec. 16-18, 2020, Taipei, Taiwan
(3) Tamami Maruyama, “Energy harvesting by applying Multi-Sector Yagi-Uda Rectenna,” 2020 International Symposium on antennas and propagation, ISAP 2020 proceedings of ISAP 2020, pp. 343-344, Jan. Osaka, Japan.
(4) 丸山珠美、木村　太、葛西俊太、中津川征士:“マルチセクタ八木宇田アンテナに基づくエネルギーハーベストに関する研究”，信学技報，vol. 120, no. 278, WPT2020-27, pp. 7-10, 2020年12月.

**採択番号：H30/A12**

# 広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究

［1］組織
研究代表者：
吉本　直人（公立千歳科学技術大学）
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（東北大学電気通信研究所）
北岡　駿一（公立千歳科学技術大学）
庄崎　史也（公立千歳科学技術大学
延べ参加人数：５人

［2］研究経過

人口知能（AI）技術を用いて多様なデータを活用する Society5.0 時代を見据え、低レイテンシーでかつリアルタイム性の高いネットワーク基盤の実現が期待されている。また、実サービスにおいても、拡張現実・仮想現実（AR/VR）を利用したサービスにおいて、ネットワークのリアルタイム性の要求が高まっている。そこで、本プロジェクトでは，低遅延・リアルタイム性を有した新しいアクセスネットワークの通信方式の実現に関する要素技術開発を行い、その有意性を世界に先駆けて実証することを目的として研究を行った。特に、将来 beyond-5G/6G 時代で新たなネットワーク領域として期待されている海中に着目し、検討を進めてきた。本プロジェクトは，本年度が第３年度であった。初年度では、地上の大気中を伝搬する無線アクセス通信と水中を伝搬する光無線アクセス通信が融合した新たなアクセスネットワーク構成を提案し、光リンクモデルを用いて光学系の設計を行った。前年度は、水中における遠隔映像モニタリングサービスを前提としたネットワークを構築し、水中における光無線アクセスネットワークにおける遅延特性の評価を行った。具体的なネットワークの構成は、水中部分は片方向（水中から水上方向）の光無線リンク、水上にある中継器を介して、地上部では公衆無線アクセス（LTE/3G）で商用クラウドサーバ（さくらクラウド）に接続するものとなっている。このモデルネットワークを用いて、遠隔よりスマートフォンなどから水中の映像情報を閲覧することが可能であることを確認した。しかしながら、水中区間が片方向リンクであったため、再送制御が機能せず、低遅延特性と映像品質の両立が困難であることが明らかとなった。

そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら、水中光無線リンクの双方向化に関する研究を進めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

・9 月 18 日

東北大学にて、尾辻教授、岩月教授と研究会合を実施。今年度の進捗状況と、今後の進め方に関する意見交換を行った。

・11 月 30 日

オンラインにより、尾辻教授、岩月教授と研究会合を実施。水中光無線伝送に関する実験状況を説明するとともに、今年度の成果見通しについて情報共有を行った。併せて、今後の新規検討テーマに関する意見交換も行った。

・2 月 18 日

オンラインにて行われた共同プロジェクト研究発表会にて、今年度の研究成果について、ポスター発表を行った。

［3］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、双方向の光リンク構成として「一心双方向構成」を選択した（図１）。伝搬光には、青色(450 nm)と緑色(520 nm)を用い、光合分波（WDM フィルタ）と帯域通過フィルタを組み合わせて上り下り方向の信号を合分岐した。この構成のメリットは、光源を含む光送受信装置が水中を浮遊する際、光軸に対して回転方向のズレを考慮する必要がなく光軸調心が簡便になること、光アクセス系で広く用いられている SFP などの既存の１心トランシーバモジュールを利用できることである。

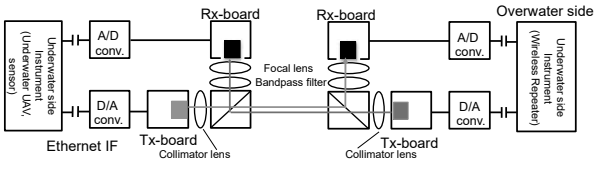



図１　１心双方向波長多重光無線伝送システム構成

第２に、上記構成のデメリットとして、上り下りチャネル間のクロストークが懸念される。そこで、近端反射などによるクロストークの影響と信号対雑音比との関係を数値解析した（図２）。通常の沿岸での生簀や水中構造物までの距離を想定し、伝送距離は 10 m と

した。その結果、ビーム拡がり角2度以内でかつ反射などによりクロストークを-20 dB 以内に抑えれば通信品質として満足できるSNR（25dB以上）を実現できる見通しを得た。

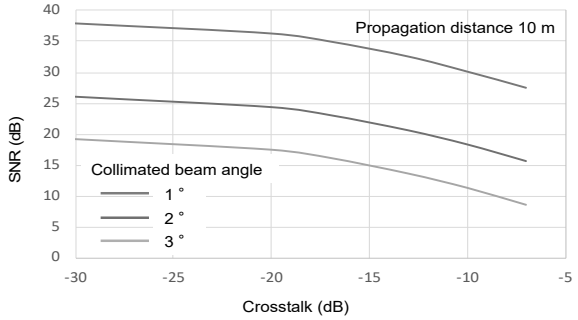



図２　反射等によるクロストークとSNRとの関係

第３に、水中光無線伝送実験を行った。図１で示した伝送系を構築し、長さ約2.5ｍの水槽に水道水を入れ、ミラーで往復させた（図３）。水中伝搬光の視認性を良くするため、半二重通信モードでデモを行った。その結果、双方向で信号を受信できることを確認した。



図３　上：受信電圧波形　左下：450 nm 水中伝搬光　右下：520 nm水中伝搬光

第４に、ビデオデータ信号（640 x 480 6fps）を水中光無線リンクにて伝送し、その遅延量を測定した。その結果、バースト的なFlame Loss以外は観察されず、かつ双方向で0.5μ秒以内が実現されていることが確認され、水中における光無線信号の送受信によって顕著な通信品質の劣化が無いことを確認した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、IoT時代におけるアクセスネットワークの最後の未提供領域である海中までのネットワーク化を扱っている。これは、これから本格化する次世代無線アクセス（5G）の適用領域を広げるという意義もある。また、そのネットワークの構成要素であるデバイスにおいても、可視光デバイスとマイクロ波・ミリ波帯電子デバイスとの融合・集積技術を必要とする。したがって、ネットワーク技術からデバイス技術まで、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、今後新しい研究領域（萌芽的研究の発見）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

これまでの成果を踏まえ、光通信系の国際会議への投稿について積極的に検討・準備を進める。また、東北大学の共同研究先である ITRI も水中通信の研究開発には力を入れているので、今後双方の成果を発表し議論するシンポジウムを企画することも検討している

■研究者ネットワークの拡大として、JEITA 共創プログラムであるAqua LAN（ALAN）コンソーシアムにおいて多くのエンジニアと交流を図ることができた。

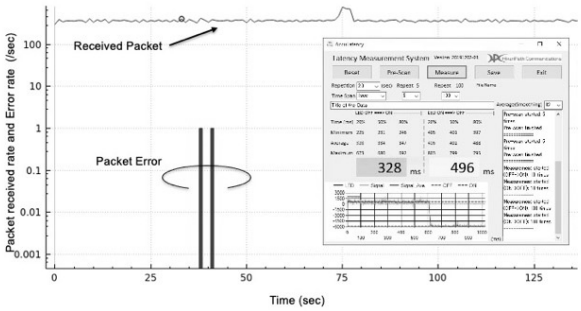



図４　受信したパケット数とパケットエラー数
図中右：遅延測定結果

［4］成果資料

(1) T. Shimada, N. Yoshimoto, and K. Suzuki, “Underwater Transmission and Precise Sensing Technologies Using Blue LD for Marine Industry,” LEDIA2020, 2-2, (2020)

(2) 奥澤 宏輝、高橋 成五、鈴木 謙一、吉本 直人、“水中光無線通信技術を用いた水中モニタリングシステム”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、BS-5-2 (2020)

(3) 島田 雄史、鈴木 謙一、吉本 直人、安達 文幸、“水中光無線技術に取り組むALANコンソーシアム”、電子情報通信学会 第３４回光通信システムシンポジウム、9-1 (2020)

(4) 山林 由明、吉本 直人、“光ファイバと無線による融合IoTネットワークが拓く非都市部サービスの可能性”、光アライアンス、第31巻第6号、pp. 34-38 (2020)

(5) 島田 雄史、鈴木 謙一、吉本 直人、安達 文幸、“水中光無線技術に取り組むALANコンソーシアム”、レーザ学会学術講演会第 41 回年次大会、S06-20a-VII-01, (2021)

**採択番号： H30/A13**

# 共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系のTHz 信号処理への応用

[1]組織
研究代表者:
前澤 宏一(富山大学大学院理工学研究部)
通研対応教員:
尾辻 泰一(東北大学電気通信研究所)
研究分担者:
安藤 浩哉(豊田高専情報工学科)
森 雅之(富山大学大学院理工学研究部)
加藤 篤明(富山大学大学院理工学研究部)
伊藤 多津生(富山大学大学院理工学研究部)
大寺 悠介(富山大学大学院理工学研究部)
相澤 一仙(富山大学大学院理工学研究部)
Umer Frooq(富山大学大学院理工学研究部)

延べ参加人数:9 人

[2]研究経過

最近、超高速通信など、THz 周波数帯への注目が集まるに連れて、共鳴トンネル素子(RTD)への期待も高まっている。RTD の微分負性抵抗特性は発振器の基盤であり、すでに 1.98THz という高い発振周波数が報告されている。一方、RTD は2端子素子であることから、バイアス不安定性という大きな問題を抱えている。つまり、RTD 発振回路のバイアスポイントにも発振ノードと同様に微分負性抵抗が存在し、バイアスラインの寄生インダクタ、容量により、容易にスプリアス発振が生じてしまう。これを防ぐためには、RTD と並列に小さな抵抗を設け、外部から負性抵抗を見えなくすることが行われている。しかし、これは、消費電力の著しい増大を招く。我々は、最近、これを解決するための新しい方法として、「硬い発振器」構成の応用を提案した。本研究の目的は、この「硬い発振器」による安定性の改善を実験的に検証するとともに、硬い発振器の特徴を利用した新しい THz 信号処理技術を開拓することにある。

本プロジェクトは、本年度が3年度である。本年度は硬い発振器の位相ノイズ特性評価と 2 段接続 RTD を用いた硬い発振器の実現を目的に研究を進めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1) 硬い発振器と柔らかい発振器の位相ノイズの比較

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。

ここでは昨年に引き続き、図 1 に示す結合容量型トリガを用いた硬い発振器について調べた。図 1 の発振器は直列抵抗 $R_b$ により負性抵抗がマスクされ、自励発振は生じない。$V_{Pulse}$ にパルス電圧を印加することで、相空間原点の安定点から外れて発振が開始される。この発振器では、バイアスラインの抵抗(30Ω)によりスプリアス発振を抑えることは可能であるが、発振の安定性についてはこれまで明らかではなかった。そこで、柔らかい発振器に対する硬い発振器の安定性の比較を行うために、同じパラメータを持つ柔らかい発振器を作製した。柔らかい発振器では直列抵抗の代わりに容量 $C_b$ に並列に5Ω の安定化抵抗を付加してある。なお、ここでは、作製と測定を容易にするために、どちらの回路も FR-4 プリント基板上に RTD をワイヤボンディングすることにより回路を作製した。また、ワイヤボンディングの影響を抑えるため、発振周波数も 1 GHz 程度に抑えて設計した。

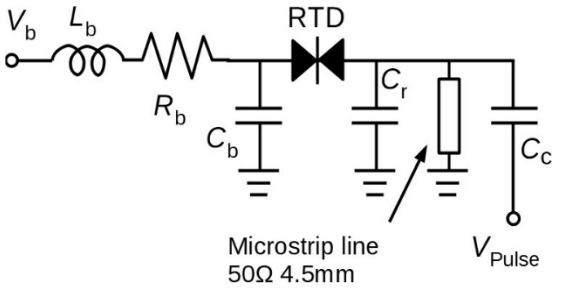



図1　容量結合型トリガを用いた RTD 硬い発振器

作製した回路は、どちらもほぼ同じ周波数で発振した。図 2 は、両者の発振周波数と、位相ノイズ特性をプロットしたものである。位相ノイズのオフセットは 100 kHz とした。

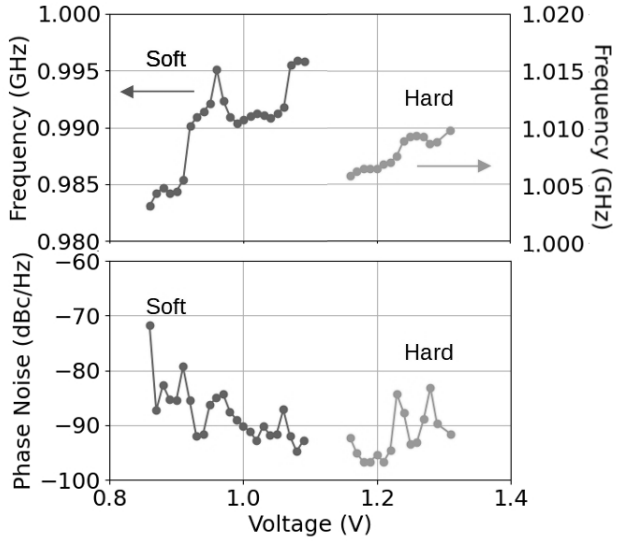



図2 硬い発振器と柔らかい発振器の発振周波数、および、位相ノイズのバイアス電圧依存性

どちらの発振器の周波数も比較的小さな電圧依存性を示し、調和振動型の発振であることを示している。また、発振器の位相ノイズもほぼ同程度の値であり、バイアス電圧に対する依存性も小さい。なお、柔らかい発振器でバイアス電圧の小さいところで、位相ノイズの劣化がみられるのは、このあたりで負性抵抗の絶対値が小さく、5Ωの安定化抵抗では負性抵抗をマスクしきれないためと思われる。より抵抗を小さくすることにより、この問題を抑制することはできるが、その場合、消費電力はより大きくなってしまう。いずれにせよ、硬い発振器構成による位相ノイズの劣化は観測されなかった。このことは、同程度の位相ノイズ特性が、1/20 以下の消費電力で得られることを示している。

2) 直列RTDを用いた硬い発振器の試作

通常、RTD を直列接続すると、相安定状態になってしまい、発振は生じない。しかし、この状態は一種の硬い発振器であって、トリガを印加することによって発振を引き起こすことは可能である。この場合、発振振幅の増大が可能となり、RTD 発振器の問題点である、出力パワーが小さい点を解決できる。そこで、図1のRTDを2個直列接続した RTD で置き換えた回路を作製し、その特性を調べた。

1)と同様な構成で実験を行ったが、これまでのところ、発振は得られていない。原因としては、トリガのパルス振幅が十分でないことが挙げられる。回路シミュレーションによれば、RTD を直列接続した場合、発振開始には発振振幅の増大に合わせて、ノード電圧の変化も増大させる必要がある。しかし、今回の回路では結合容量が小さく十分な振幅を与えられていないと考えている。今後、トリガ回路の再検討が必要である。

[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。

第1に、硬い発振器の安定性を調べ、柔らかい発振器と同程度であることを示した。

第2に、硬い発振器構成を用いることにより、柔らかい発振器と同程度の位相ノイズ特性が 1/20 以下の消費電力で得られることを明らかにした。

第3に、RTDを2個直列接続した硬い発振器におけるトリガ回路の問題点を明らかにした。

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

3-1で述べた結果は、THz通信を始め、最近関心が高まっているセンサへの応用が有望であり、今後 RTD 発振器の応用範囲を大きく拡大するものと考えられる。

[4]成果資料

(1) 伊藤多津生、森雅之、前澤宏一、「共鳴トンネルダイオードを用いたハードタイプ発振器の位相ノイズ特性評価」、令和2年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会 (11月8日、オンライン開催)

(2) Umer Farooq、森雅之、前澤宏一、″Resonant Tunneling Chaos Generator on a Printed Circuit Board (PCB) Employing Bonding Wires for High Quality Inductors″、令和2年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会 (11月8日、オンライン開催)

(3) Koichi Maezawa, Tatsuo Ito and Masayuki Mori, ″Delta-sigma modulation microphone sensors employing a resonant tunneling diode with a suspended microstrip resonator,″ Sensor Review, Vol.40, No.5, pp.535-542. https://doi.org/10.1108/SR-03-2020-0044.

**採択番号：H30/A14**

# 高効率非接触給電のための損失解析

［1］組織

研究代表者：
稲森　真美子（東海大学大学院工学研究科）
通研対応教員：
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
加藤　颯（東海大学大学院工学研究科）
髙田　泰成（東海大学大学院工学研究科）
岩松　迪拓（東海大学大学院工学研究科）
大澤　遼（東海大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：8 人

［2］研究経過

非接触給電の研究・開発は，近年ますますその重要性を増している．本研究では，非接触電力伝送として伝送距離が長くても電力効率が高く，これからの実用化が期待されている磁界共振方式に着目する．磁界共振方式は送信側と受信側のコイルを同じ周波数で共振させることにより高効率で電力の伝送を行うことができる．磁界共振方式では，コイルの位置ずれや伝送距離によって電力効率，電力及び磁束等が変化する．これまでの研究では周波数 85kHz での伝送距離 50mm での損失の要因について検討を行った．しかし，遠距離（伝送距離 100mm 以上）での効率低下要因が解明できていない．そこで本プロジェクトでは効率低下する遠距離に着目し，非接触電力伝送の電力効率を決める要因を明らかにする．

初年度は遠距離で電力効率が低下する要因を磁界解析により明らかにした．磁界解析は磁界解析ソフト JMAG を使用した．図 1 に伝送距離に対する送信側と受信側の磁束密度の最大値及び送受信コイル間の中央点（伝送距離の 1/2）の磁束密度を示す．送信側の磁束密度の最大値は伝送距離に応じて急激に増加する．一方，受信側の磁束密度の最大値は近距離では僅かに低下するが，遠距離では伝送距離に関わらずほぼ一定である．

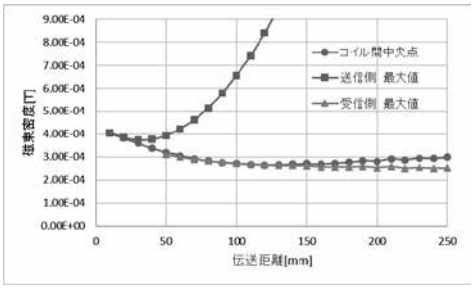



Figure 1. Variation of maximum value of the magnetic flux density of each region; the sending side, the receiving side and the center point (1/2 of transmission distance).

図 2 に送信側コイルの主磁束と漏れ磁束を示す．磁界共振方式における主磁束は電力伝送に有効な磁束で，漏れ磁束は電力伝送に無効な磁束を意味している．主磁束は近距離で僅かに低下するが，遠距離で伝送距離に関わらずほぼ一定である．一方，漏れ磁束は，伝送距離に応じて増加し，伝送距離 100mm 付近から急激に増加する．したがって，遠距離で主磁束は一定になるのに対し，漏れ磁束のみが急激に増加することが確認できた.これが電力効率低下の要因である．

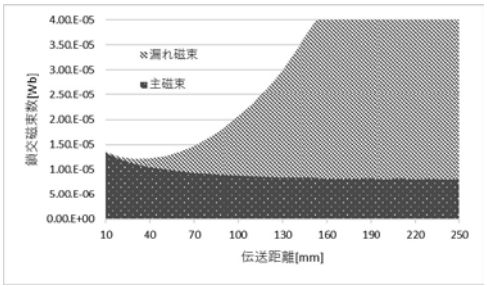



Figure 2. Main flux and leakage flux.

三年度目にあたる今年度は，遠距離での電力伝送性能について更なる考察を行った．初年度では遠距離で漏れ磁束が急激に増加することを明らかにした．遠距離でも主磁束は低下しないため，遠距離でも一定の電力を伝送できる可能性がある．今年度は，コイルに着目し，得られた結果を用いて考察を行った．

今年度，研究者が集まって行う研究打ち合わせは実施できなかったが，その代わりにメール等を用いてリモートでの進捗確認や議論を行った．また，以下の共同プロジェクト研究発表会において，ポスタ

一発表を行い, 参加者との議論を行うことができた.

［共同プロジェクト研究発表会］
日時：令和 3 年 2 月 18 日（木）
場所：オンライン
参加者：髙田

［3］成果
(3-1) 研究成果
三年度目である本年度は，以下に示す研究成果を得た.

本実験では 85kHz の高周波電流をコイルの導線に流しているため, 表皮効果による抵抗値が大きくなっていることが考えられる. そこで, 表皮効果による抵抗値を小さくするためにリッツ線コイルを採用する. 本実験では入力電圧の基本波実効値を一定にして測定を行った. Fig.3 にリッツ線コイルを使用したときの電力効率を示す. リッツ線コイルと単線コイルの電力伝送可能な距離はほぼ等しい. リッツ線コイルの電力効率は単線コイルと比べて高い. したがって, 交流抵抗の小さいリッツ線コイルを用いることにより, 電力効率は向上するが, 電力伝送可能な距離は変わらないことが明らかになった.

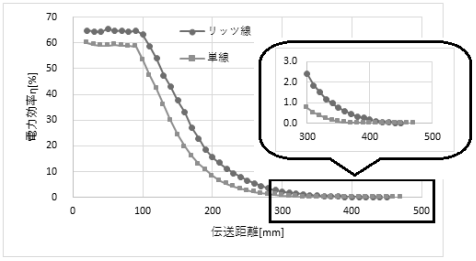


Figure 3. Power efficiency in experiments.

コイルのインダクタンスに着目し，インダクタンスの影響について述べる． これまでに使用した単線コイル(30 回巻) のインダクタンスは 140μH である. 本実験ではインダクタンスが 1. 5 倍の 210μH のコイル(39 回巻) を使用する. なお, インダクタンスを増加させるために巻き数を増加させたため, 交流抵抗は増加する. 本実験では, インダクタンスの影響を詳細に調べるために入力電流の実効値を一定にして測定を行った. Fig.4 に 39 回巻コイルを使用したときの電力効率を示す. 電力伝送可能な距離が 70㎜ 長くなる． 近距離で 39 回巻コイルの電力効率が 30 回巻コイルよりも低い. 近距離で電力効率が低い理由として, コイルのインダクタンスを増加させたことに伴い交流抵抗も増加したため, 損失が増加したためだと考える. しかし, 遠距離では交流抵抗の大きい 39 回巻コイルの方が高い. インダクタンスの大きいコイルを用いたことにより, 伝送距離が長くてもコイル間の共振状態を維持することができたため効率が高いと考える. すなわち, 近距離での電力効率低下の要因は交流抵抗の増加であり，遠距離での電力効率向上の要因はインダクタンスの増加であることがわかった.

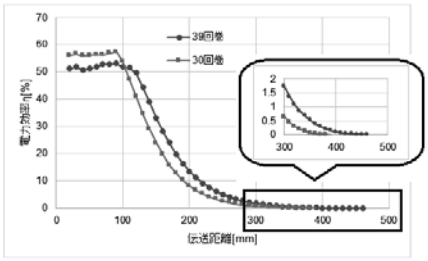


Figure 4. Power efficiency in experiments.

インダクタンスの影響をさらに詳しく考察するためシミュレーションを行う． コイルの交流抵抗を同じ値に設定し，インダクタンスのみを増加させたコイルを想定し, インダクタンスの影響のみを調べる. シミュレーションでは入力電圧の実効値を一定にしている． Fig.5 に電力効率を示す． 電力伝送可能な距離は 39 回巻コイルの方が長い． したがって, 電力伝送可能な距離はインダクタンスが大きいほど長いことがシミュレーションでも明らかになった.

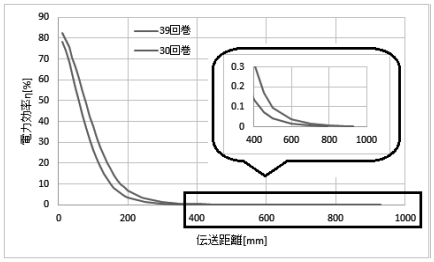


Figure 5. Power efficiency in simulation.

(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，遠距離での電力伝送性能について考察した． 実験において伝送距離 420mm まで電力を伝送することができた． 今年度はコイルに着目し検討を行い，インダクタンスが大きいほど伝送距離が長いことがわかった． 本プロジェクトで明らかになった遠距離での電力効率低下の要因は，大電力を送信する非接触給電システムの構築に結びつき，今後の発展が期待される.

［4］成果資料
(1) 岩松迪拓，島崎好広，稲森真美子，”海水中非接触電力伝送における近接効果の影響”，電子情報通信学会水中無線技術研究会，2020 年 11 月.

採択番号：H30/A15

# 選択によって感情体験を変容させる方法の研究

［1］組織
研究代表者：
大沼　卓也（近畿大学産業理工学部）
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：
坂井　信之（東北大学大学院文学研究科/東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：3 人

［2］研究経過

人々は日々，多くの情報や選択肢に囲まれながらも，その時において最良の商品やサービスを選択するように努めている。そのような日々の選択は，選択肢の良さに基づいて決まる（良いものだから選ぶ）と一般には考えられているが，それとは反対に，むしろ選択という行為によって選択肢の良さが決まる（選んだから良く感じる）という面もあることがわかってきている。

そこで本プロジェクトでは，商品やサービスを実際に消費・利用した際の感情体験が選択によって変容するかどうか，そしてそれは人間のどのような情報処理メカニズムに基づくのかを，食品や飲料のおいしさをモデルとして実証的に明らかにすることを目指す。

初年度の実験では，参加者が自分で選んだと思っている飲料は，実験者によって選ばれたと思っている飲料と比べて，（実際はそれら二つが全く同じ飲料であるにもかかわらず）よりおいしいと感じられることがわかった。すなわち，感情体験としての飲料のおいしさが，選択によって確かに変容することがわかった（選択によるブースト効果）。

ところがこの効果は，呈示された飲料の種類（選択肢の数）が 9 種類だった場合にのみみられ，3 種類あるいは 12 種類だった場合にはみられなかった。消費者にとって選択肢の数は，少なすぎるよりは多いほうが良いとは言われているものの，選択肢の数が短期記憶の処理容量である 7±2 チャンクを超えると，認知負荷が過剰となり，「自らがよく吟味して選んだ」という実感（自己決定感）が得られにくくなるため，選択によるブースト効果が生じなくなったと考えられる。

この結果をふまえ第 2 年度は，選択による感情体験のブースト効果の有無を調整する要因として，カテゴリー知覚の影響について検討を行った。物理的な選択肢の数が過多であっても，そこにいくつかのカテゴリーを知覚し，カテゴリー内で適当な数の選択肢を効率よく吟味できる場合は，そうでない場合に比べて認知負荷が減少するとともに，自ら吟味して選んだという実感が高まり，結果として選択によるブースト効果が生じるようになると予想した。

しかしながら，12 種類の紅茶を二つのカテゴリーに分けて呈示したとしても，選択によるブースト効果がみられるようになるわけではないことがわかった。この結果から，選択肢について機械的にカテゴリーを導入すれば良いのではなく，選択者の情報処理特性を考慮した適切なやり方で，選択に伴う負荷を軽減させるような工夫を行う必要があると考えられる。

そこで第 3 年度は，多数の選択肢を前にしたとき，人々はどのように選択肢を吟味し最終的な選択へと至るのかを明らかにすることを目的として，アイトラッカーによる視線計測を伴う実験を行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

参加者（38 名）には，PC モニタ上に呈示された 9 種類の食品画像を眺めながら，最も食べたいもの 1 つをキー押しによって選択してもらった（図 1）。なお，これら 9 種類の刺激それぞれが呈示される位置を入れ替えながら，一人につき合計 9 試行繰り返した。

刺激が呈示された位置ごとに，実験全体での合計選択数を算出したところ，上段あるいは下段よりも中段に呈示された刺激が多く選ばれる傾向にあることがわかった（図 2）。同様に，各位置に呈示された刺激に対する合計注視時間の平均値を算出したとこ

ろ，下段よりも中段に呈示された刺激はより長く見られやすく，かつ中央に呈示された刺激は他の位置に呈示された刺激よりも長く見られることがわかった（図3）。

また，各試行で最終的に選ばれた刺激（選択刺激）とそうでない刺激（非選択刺激）とで合計注視時間の平均値を算出したところ，選択刺激は非選択刺激よりも長く見られることがわかった(図 4)。この結果は，選択と視線の間に強い相関関係があることを示している。

以上の結果から，複数の選択肢を前にした視覚的選択においては，縦方向で中段にある選択肢が比較的長く見られやすくかつ選ばれやすいこと，そして中央にある選択肢は他のすべての位置に比べて長く見られやすいことがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本年度明らかにした選択者の情報処理特性をふまえながら，選択によるブースト効果を最大限に引き出せるような商品呈示アルゴリズムについて研究していくことが望まれる。たとえば，選択肢セットの中央にあるものが最も長く見られるのであれば，その場面において選択の基準となるような典型的な選択肢（例：ロングセラー商品等）を中央に呈示することで，選択肢間の比較・吟味がより一層行いやすくなる可能性がある。このような呈示方法によって選択者の認知負荷を軽減させることができれば，選択肢の数が過多であっても，選択によるブースト効果を引き出すことができるようになるかもしれない。

いずれにせよ，このような研究を今後も進めていくことにより，人間の認知的特性と真に調和したコミュニケーションの方法の開発につながっていくことが期待される。

［4］成果資料

本プロジェクトに関する研究成果について，現在論文投稿の準備を進めている。

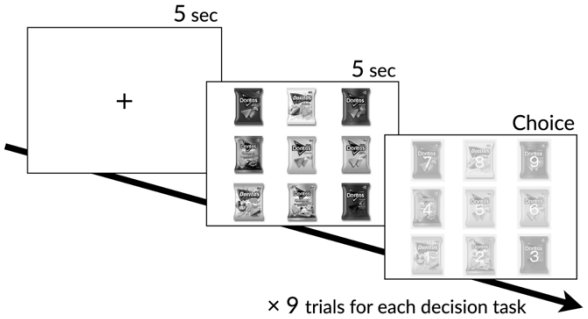



図1　各試行の流れ.

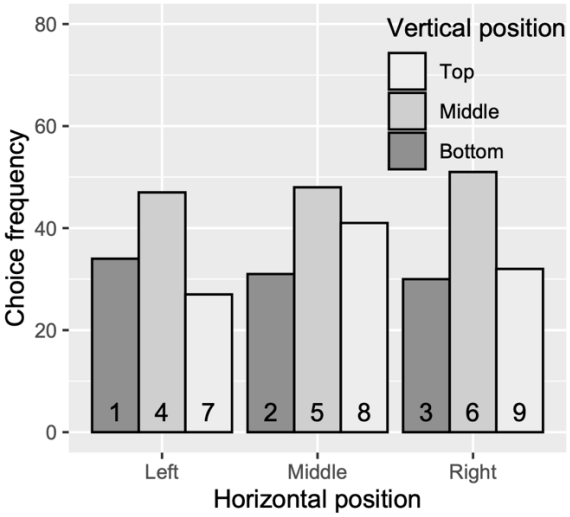



図2　各位置に呈示された刺激の合計選択数.

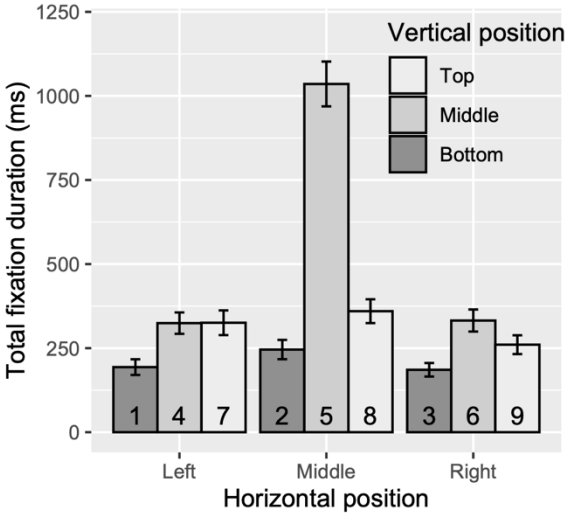



図 3　各位置に呈示された刺激に対する合計注視時間の平均値.

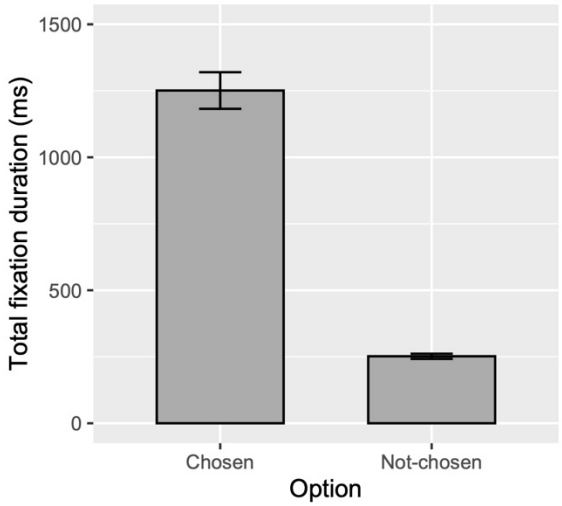



図 4　選択刺激と非選択刺激に対する合計注視時間の平均値.

**採択番号：H30/A16**

# 自己運動に伴う身体近傍空間の変容

［1］組織
研究代表者：
寺本　渉（熊本大学大学院人文社会科学研究部）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
黒田　尚輝（熊本大学大学院社会文化科学教育部）

延べ参加人数：45 人

［2］研究経過

情報通信システムにおいて，情報の発信と受容の担い手は人間であるため，人間の知覚認知特性を十分に考慮したシステムを設計する必要がある。通常，人間は眼や頭部，身体全体を動かしながら周囲の環境を認識している。しかし，従来のシステムの多くが情報提示の細部のリアリティのみを追求し，こうした情報の受け手の動きが提示情報の知覚や認知に与える影響を考慮してこなかった。近年では情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システムへの期待が高まっており，それを実現するためには，受け手の動きを十分に考慮した情報提示が必要不可欠である。そこで本研究では，自己身体運動によって，視覚や聴覚による空間知覚がどのように変容するかについて系統的に検討を行うことを目的とする。もし，受け手の動きを十分に考慮した情報提示が可能になれば，自然な人間の振る舞いにより近づくため，きわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システムを実現するための手法の提案へとつながることが期待できる。

本プロジェクトは，平成 24 年〜26 年度通研共同プロジェクト研究「前庭情報による音空間歪みに関する研究」，平成 27〜29 年度通研共同プロジェクト研究「自己身体情報が外部環境把握に与える影響に関する研究」の発展研究と位置づけられる。これまでのプロジェクトにおいては，直線加速度運動時には，真横に聞こえる音の位置がシフトすることのほか，自己運動の能動性／受動性は結果に大きな影響を及ぼさないことなどを明らかにした（花篭他，2015;崔他，2013; Sakamoto et al., 2015; Teramoto et al., 2012, 2014）。

本研究では身体から数センチから数十センチの範囲の空間である身体近傍空間（PPS: peripersonal space）に着目し，自己運動時の PPS の適応的変容について明らかにするものである。PPS は，外部対象に対する働きかけや危機回避行動を行ううえで重要な空間であり，脳内でも他とは異なる空間として表現されている。近年，実際の自己運動時や前庭刺激時には静止時と比べて PPS が進行方向側に拡がることが示されている（雨宮他，2016; Kuroda & Teramoto, 2020; Noel et al., 2015; Pfeiffer et al., 2018）。しかし，自己運動速度や接近／遠離運動する刺激速度による違い，身体部位選択性，異方性，能動・受動運動による違い等，自己運動時の PPS に関する脳情報処理特性を理解する上で必要不可欠な部分については未だ不明である。そこで本プロジェクトは，そうしたパラメータを系統的に変化させることによって，自己運動時の PPS を総合的に明らかにする。

第 1 回研究打ち合わせ（2020 年 8 月 3 日 オンライン）VR 環境での自転車による隙間通過実験のパラメータについて議論を行った。

第 2 回研究打ち合わせ（2021 年 2 月 18 日 オンライン）本年度得られた実験データを共有し，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

本年度は通過可能隙間幅知覚を指標にして，自己運動時の PPS における各感覚情報の役割について検討を行った。Warren & Whang (1987)は，静止時と比べて歩行時には通過可能隙間幅を広く見積もり，その幅は速度が速いほど広くなることを示している。しかし，どのような自己運動情報が通過可能幅知覚を変容させるのか直接的に検討した研究は未だみられない。自己運動情報には，視覚情報，前庭情報，能動運動に含まれる運動命令や自己受容情報などがあり，これらはいずれも自己運動知覚に重要な役割を果たしている。そこで本研究では，バーチャルリアリティ (VR) 環境下で，前進映像を呈示し (または呈示せず)，同時に自

転車を等速でこがせ (または自転車上で静止した状態で), 前方に呈示した狭い隙間を通過できるかを判断させることで，視覚的自己運動情報及び能動的自己運動情報が狭い隙間の通過可能判断に与える影響を明らかにすることを目的とした。自転車は，能動・受動運動を比較しやすい装置であり，また，等速運動をさせやすく，空間位置としても統制しやすい。これらの利点から，本研究では自転車を用いて能動運動をさせることとした。

＜方法＞

実験参加者：大学生 15 名 (うち女性 7 名, 21.6 ± 0.8 [SD] 歳) が実験に参加した。すべての参加者は健常な視覚・前庭感覚を有した。本研究は熊本大学大学院人文社会科学研究部倫理委員会の承認を得たものであり，参加者からは事前にインフォームドコンセントを得た。

装置と刺激：実験環境を Fig. 1 に示す。自転車 (ホイール: 27 インチ，ハンドル: オールラウンダー，silver leaf) は固定ローラー (Indoor Bicycle Training Cycle Trainer, WEIMALL) を用いて固定し，自転車のハンドル中央部には反応取得用のコントローラ (Logicool RumblePad 2) を設置した。自転車後輪には回転軸から 35 cm 離れた円周上に磁石を取り付け，マイコンボード (Arduino Uno R3, http://arduino.cc) に接続した磁気センサー (Grove - Magnetic Switch, Seeed Technology) を用いて 70 Hz で回転数を取得した。すべての実験装置は PC (NEXTGEAR-NOTE i5730SA1) 上で動作する Unity を用いて制御した。

視覚刺激は，ヘッドマウントディスプレイ (HMD, Oculus Rift CV, 視角: 110°，空間解像度: 1920 × 1080 pixel, リフレッシュレート: 60 Hz) に呈示した。VR 空間は床，壁，天井が白色ドット (直径 4.4 cm，ドット密度 15%, 黒色背景) で覆われたトンネル型空間 (11.8 m [横] × 10 m [高さ] × 21.0 m [奥行き]) であった。その中央かつ入口から 1 m 入った位置を視点位置とし，トンネルの中心に参加者自身がいる状況を作り出した。注視点は，直径 3 cm の赤色球体であった。通過幅を示すための視覚プローブ（以下プローブ）には，直径 5 cm の緑色球体ペアを用いた。

手続き：2 視覚情報 (あり／なし) × 2 非視覚情報 (あり／なし) の実験デザインを用いた。この 4 条件はブロック化し，実験順序は参加者間でカウンターバランスをとった。視覚情報あり条件ではランダムドットを 1.5 m/s の速度で運動させ，前進運動を模した。視覚情報なし条件では静止ランダムドットを呈示した。非視覚情報あり条件では，各ブロックの最初の 20 秒間に誘導音(440 Hz, 50 ms)に合わせて自転車をこがせることで 36 回転/分 (rpm) のペースを作らせた後，試行を開始した。非視覚情報なし条件では，自転車のサドルに座らせ，最初の 20 秒間に誘導音をきかせるのみで，ブロック内でペダルはこがせなかった。注視点およびプローブは，事前に計測した知覚上の肩の高さに提示した。通過幅は事前に測定した各参加者の主観的肩幅をベースライン (0 cm) として，6 水準 (-8 cm, 0 cm, 8 cm, 16 cm, 24 cm, 32 cm) とした。各通過幅は各ブロック内でランダムな順序で 10 回ずつ呈示した。自転車の作動音をマスクするためのマスキングノイズ（ホワイトノイズ, 70 dB) を実験中は絶えず呈示した。

各試行では，まず注視点を呈示した。参加者には注視点を凝視させ，準備が整い次第開始ボタンを押させた。ボタン押しとともに注視点を消失させ，その 1 秒後に前方 3.0 m の距離にプローブを 100 ms 呈示した。参加者の課題はプローブで示された通過幅をぶつかることなく通過できるかを判断することであった。参加者のボタン押しによる回答 1 秒後に次の試行へと移行した。実験中，参加者には自転車のハンドル中央部に取り付けられたコントローラを常に握らせ，参加者自身の肩幅が身体の最大幅となる姿勢を維持させた。ブロック間には十分な休憩を設け，疲労の影響をできるだけ取り除いた。

＜結果と考察＞

ペダルの回転数は映像ありとなしでそれぞれ 37.6 ± 2.1 rpm, 37.2 ± 1.9 rpm であった。One-sample $t$ 検定によって，映像の有無に関わらず有意にこぐ回数が基準 (36 rpm) よりも大きかったが ($t(14) > 2.30, p < .037, d > 0.59$), 映像の有無による差はみられなかった ($t(14) = 0.52, p = .611, d = 0.13$)。このことはペダル速度は自己運動条件間で統制されていたことを示している。

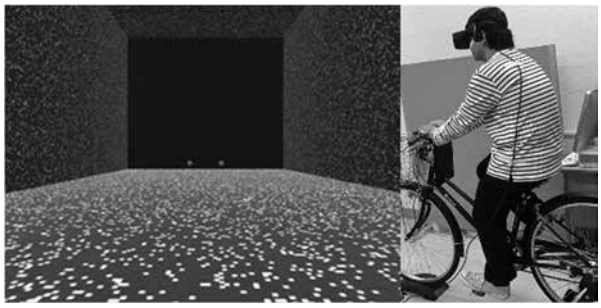


Fig.1 VR 環境上の刺激 (左) と実験環境 (右)

各自己運動条件の臨界通過幅を算出するために，各通過幅水準における通過可能判断率データに心理測定関数をフィッティングし，その変曲点を臨界通過幅と定義した。その値の全参加者の平均値を Fig. 2 に示す。2 映像（あり／なし）×2 非視覚情報（あり／なし）の 2 要因分散分析の結果，映像および非視覚情報の主効果が有意であり(映像: $F(1, 14) = 10.24, p = .006, \eta 2 = 0.13$; 非視覚情報: $F(1, 14) = 6.44, p = .024, \eta 2 =$

0.09)，交互作用はみられなかった ($F$ (1, 14) = 0.37, $p$ = .552, $\eta 2$ = 0.01)。すなわち，前進映像がない場合と比べてある場合，また，自転車をこがない場合と比べてこぐ場合には，有意に臨界通過幅が大きくなっていた。このことは，これらの自己運動情報が臨界通過幅知覚に寄与することを示唆する。

次に，追加実験として前進映像がプローブの見えの奥行きを変化させ，大きさの恒常性により見えのプローブ幅自体が変わってしまっている可能性を検討した。映像あり条件となし条件それぞれでプローブの見えの奥行きを調整法によって測定した。プローブの奥行きは本実験で用いた 3 m に設定した。注視点を凝視させた状態で前進映像または静止ドットを 5 秒間呈示後，各参加者の肩幅のプローブを 100 ms 間瞬間呈示した。その後運動残効を抑制するため，異なるランダムドットを 10Hz で 1 秒間呈示した。そして，見えの奥行きを示すための調整用プローブ（直径 5 cm）を呈示し，瞬間呈示した肩幅プローブの奥行きに位置を合わせさせた。回答終了後，2 秒間暗転し，次の試行へと移行した。前進映像の有無はブロック化し，奥行き距離はブロック内でランダムに呈示した。調整用プローブは，プローブ幅が奥行き判断手がかりになることを防ぐため，通過幅プローブペアの右または左に相当する位置に単独で呈示した。調整用プローブの初期位置は半数は 3 m よりも手前側，残り半数は 3 m より奥側として全部で 20 試行を実施した。得られた奥行き判断データに対して $t$ 検定を行ったところ，映像の有無による差はみられなかった ($t$ (14) = 0.62, $p$ = .545, $d$ = 0.16)。このことは本実験でみられた臨界通過幅知覚の変化は，映像がプローブの見えの奥行きを変化させたことによる効果ではないことを示唆する。

各自己運動情報による知覚的通過可能幅の拡大メカニズムとして，自己運動時には静止時と比べ安全マージンを広く取る可能性が考えられる。静止時と比べて環境との関わりがダイナミックに変化する自己運動時には，安全な自己運動を実現するためにそのような変化も含めた予測を行う必要がある。そのため，前方の隙間を認知的/知覚的に狭く見積もることで安全性を確保している可能性がある。これはこれまでの我々の PPS データとも一致するものである。

（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，これ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，平成 31 年度に応募した科学研究費補助金事業基盤研究(B)「人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立」（代表 : 坂本修一，分担 : 寺本渉，平成 31 年度〜令和 4 年度）「人と場の相互作用を考慮した知的感性活動を支える聴空間創出基盤技術の確立」につながっている。

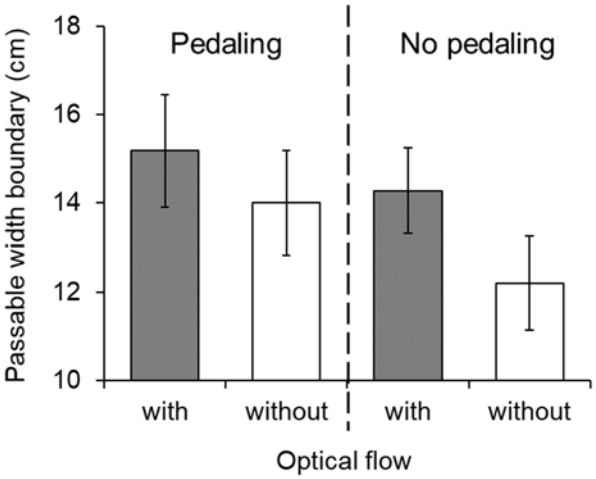



Fig. 2 各自己運動条件の臨界通過幅
誤差棒は標準誤差を示す。

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

・Kuroda, N. & Teramoto, W. (2021). Expansion of space for visuotactile interaction during visually-induced self-motion. Experimental Brain Research, 239, 257¬-265.【査読有】
・黒田尚輝，池田一裕，寺本渉 (2021). VR 環境下での自転車走行時の通過可能幅知覚. 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会技術報告, 120, HIP2020-84, 53-56.【査読無】
・黒田尚輝，寺本渉 (2020). 筋肉量が身体近傍空間で生じる視触覚相互作用に与える影響. 日本基礎心理学会第 39 回大会，オンライン.【査読無】

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/A17**

# 単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究

［1］組織

研究代表者：
森川　大輔（富山県立大学工学部知能ロボット工学科）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
平原　達也（富山県立大学工学部知能ロボット工学科）
William L. Martens（University of Sydney）

延べ参加人数：23 人

［2］研究経過

ヒトが音の到来方向の知覚に利用する主な情報は、両耳に到達する音の時間差 (Interaural time difference: ITD) や両耳に到達する音圧レベルの差 (Interaural level difference: ILD) 、そして、音源から耳までの音響伝達関数 (Head-related transfer function: HRTF) によって生じるスペクトル上のピークやノッチの特徴 (Spectral cue: SC)と言われている。特に水平方向の知覚には、両耳から得られる ITD と ILD が重要と言われているが、近年の研究から、ヒトは単耳のみしか使えない状況であっても水平面の方向知覚が可能であることがわかってきた。つまり、ITD、ILD、SC のうち単耳で利用可能な SC のみでも水平面の方向知覚が行える場合がある。

そして、我々のこれまでの研究によって、一側聾者の一部は、知覚している音のイメージが存在位置である音像と、音が実際に放射されている位置場所である音源を別々に知覚できることがわかった。また、両耳聴者が単耳受聴を行う場合両者の区別はできず、一側聾者の音像の定位と類似した知覚傾向を示していた。これらは、両耳聴では利用しない情報、ITD や ILD に比べ重みの低い情報、が作用して起きていると考えられ、単耳受聴者と両耳受聴者の音空間知覚メカニズムに大きな違いがあることを示している。

そこで本プロジェクトでは、両耳受聴者と単耳受聴者の音空間知覚の違いを明らかにすることを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第 3 年度であった。第 1 年度は、方向情報のうち両耳受聴者のみが利用できる両耳間差に着目し、単耳受聴者には 1 音に聴こえる条件で、両耳聴者が音像を分離する条件について調査を行い、両耳間音圧差によって音像が分離する条件が明らかになった。また、本プロジェクトの大目的である、両耳受聴者と単耳受聴者の音空間知覚の違いをより詳細に明らかにするためには、聴取者が知覚している音像の位置や大きさを正確に測定する必要があることが示唆された。前年度は、知覚した音像の位置や大きさを厳密に測定する方法に関する研究を進め、音像を系統的に測定することで、音空間知覚に関する新たな知見を得る準備を整えた。

そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、片耳遮音時の両耳聴者の音像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

○令和 2 年 5 月 20 日
オンラインで今後の研究について打ち合わせた。
○令和 2 年 8 月 5 日
オンラインで今後の研究について打ち合わせた。
○令和 2 年 9 月 11 日
オンラインで実験結果について議論した。
○令和 2 年 11 月 20 日
オンラインで実験結果について議論した。
○令和 2 年 12 月 16 日
オンラインで今後の研究について打ち合わせた。
○令和 3 年 2 月 18 日
共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表し、得られた結果や今後の展開について議論した。
○令和 3 年 2 月 26～27 日
オンラインで実験結果について議論し、今後の研究について打ち合わせた。
○令和 3 年 3 月 10～12 日
オンラインで今後の研究について打ち合わせた。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は、片耳遮音時の両耳聴者の音像の知覚のうち、頭部運動によって音像の知覚位置が動く現象について検討した。

実験装置をFig. 1に、刺激音の音圧レベル、閉塞耳、および頭部回転方向ごとの、頭部運動に伴って音像が動いた刺激音の呈示方位をFig. 2に示す。赤丸の大きさは音像の移動が生じた受聴者の数を示している。

音圧レベルが40 dBの刺激音では、頭部を開放耳側へ回転する条件では、閉塞耳半面から呈示した刺激音は頭部運動に伴って音像が動いた。一方、頭部を閉塞耳側へ回転する条件では、受聴者の前半面からの刺激音の音像は動いた。音圧レベルが50 dBの刺激音では、頭部を開放耳側へ回転する条件では、40 dBの条件に比べ、音像が大きく動いたと回答した受聴者数はわずかに減少した。音圧レベルが60 dBの刺激音では、頭部を開放耳側へ回転する条件では、閉塞耳真横と斜め後方で分離が生じた受聴者数が多かった。一方、頭部を閉塞耳側へ回転する条件では、閉塞耳の斜め後方で分離が生じた受聴者数が多かった。音圧レベルが70 dBの刺激音では、頭部回転方向によらず、音像が大きく動いたのは閉塞耳の斜め後方から呈示した刺激音のみであった。

刺激音の音圧レベルが低い場合、耳栓で遮音している耳には刺激音が入力されず、受聴者は単耳受聴状態となる。この場合、音像の方向は開放耳側のSCのみで決定され、頭部運動によるSCの変化によって音像が動くことがあると考えられる。一方、刺激音の音圧レベルが高い場合、耳栓で遮音している耳にも刺激音が入力され、受聴者は不完全な両耳受聴状態となる。この場合、音像は開放耳側のSCだけでなく、ITDも利用することによって、音像が動く角度が減少したと考えられる。

これらの現象の成因を明らかにするために、受聴者本人のHRTFと知覚の関係を明らかにすることは今後の課題である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトから得られた結果は、ヒトの聴知覚メカニズムの解明につながるものであり、来年度以降も研究を継続する予定である。

また、本プロジェクトは，東北大学電気通信研究所と富山県立大学による共同研究の継続に貢献するとともに、2大学の若手研究者の交流・育成にもつながっている。

さらに、本プロジェクトから得られた知見の一部は工学的にも役立つものであり、近年需要が拡大している補聴器等の設計指針への利用や、音源方向推定システムへの応用が期待される。

本プロジェクトの第1年度で得られた結果のうち、両耳聴者の音像の分離知覚については、下記のプロジェクトで来年度以降も研究を行う予定である。

- プロジェクト名
  両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響
- 資金制度、研究費名
  科学研究費補助金 若手研究
- 配分機関名
  日本学術振興会
- 研究期間
  2020年4月1日～2023年3月31日

［4］成果資料

(1) 高井沙綾 他 “刺激音の音圧レベルが片耳遮音時の音像定位に及ぼす影響,” 音学シンポジウム2020, オンライン, 2020. 06.

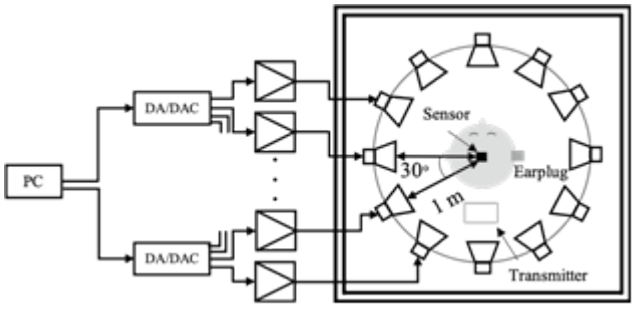



Fig. 1 音像定位実験装置(1)

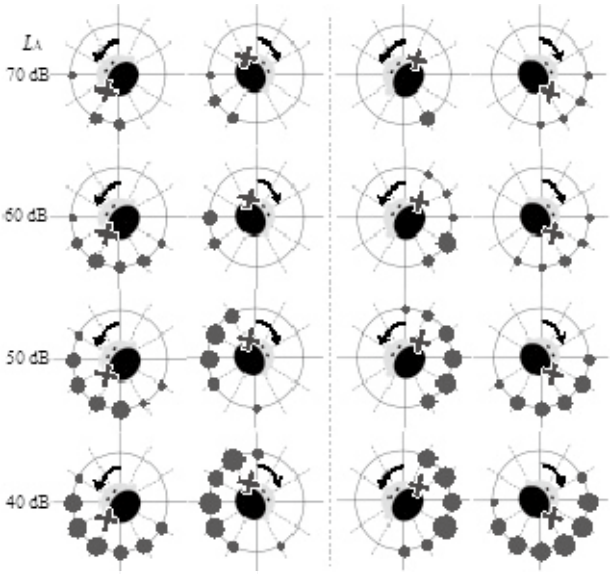



Fig. 2 刺激音の音圧レベル、閉塞耳、および頭部回転方向ごとの、頭部運動に伴って音像が動いた刺激音の呈示方位(1)

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/A18**

# 繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電波環境対策に関する研究

［1］組織

研究代表者
　鳥光　慶一（東北大学大学院工学研究科）
通研対応教員
　末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
　三浦　健（東北大学大学院工学研究科）
　本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
　枝松　航輝（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：５人

［2］研究経過

現在研究開発中の繊維電極は、繊維の持つ特徴を生かした高いフレキシブル性を有すだけでなく、医用電極と同様の電気特性を示す。生体適合性も高く、複雑な素材形態に対する適応性も良いことから、医療・健康分野における生体計測、特に災害時の避難所等におけるスマートテキスタイル型のバイタル計測に威力を発揮するものと期待される。一方で、本電極が電波遮蔽特性を持つことが明らかとなり、本研究を通して広範に渡る周波数特性を検討することで、電極の電磁波特性について検討してきた。

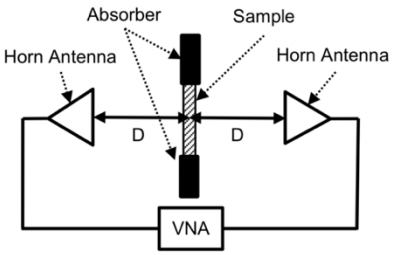
残念ながら COVID19 により研究活動が制限され、当初の計画通りに研究は進められなかったが、これまでの研究で、繊維電極の構造、特に網目構造における目の大きさや繊維構造により遮蔽効果に違いがあることが明らかになっており、遮蔽効果の構造依存性を示唆する結果が得られている。

この特性を活かすことで、ペースメーカー等医療機器の誤動作防止や電磁波環境対策への活用機期待しており、その可能性を検討することが研究の目標となっている。

［3］成果

(3-1) 研究成果

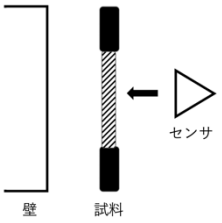
これまでに、網目構造を有する和紙繊維を基材とし、導電性高分子を重合することで導電性を付与した導電性繊維電極に対して 1GHz～60GHz までの周波数範囲における電波遮蔽性について検証してきた。測定概略図を下図に示す。




測定概略図

電波暗室における計測の結果、6-7dB の遮蔽効果が得られている。また、網目構造の目の大小に対して異なる遮蔽効果が認められ、小さい方が遮蔽効果が低いという結果が得られた。このことから、繊維構造に依存した遮蔽効果が予想され、異種繊維との複雑構造や配向性の異なる材料に対して研究を進めた。

電波暗室での正確な計測はできなかったものの、マイクロ波センサなどの簡易的評価（下図）により、繊維電極同様これらの材料に対する遮蔽性について確認することができた。




簡易評価系

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究を通して、1 – 60 GHz までの広い周波数範囲においてほぼフラットな一定の遮蔽効果が確認されるとともに、構造・形状に依存した特性があることが示唆された。現在、薄膜系での遮蔽効果も確認されており、微細構造体への適用や、スマートテキスタイル型の電波遮蔽材としての活用、災害時（避難所等）における医療を含めた機器の誤作動防止に向けた電波環境対策への活用展開が期待される。

COVID19 による研究遅延により進捗が遅れ、十分な対応ができなかったのは残念である。

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/A19**

# 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究

［1］組織

研究代表者：
新谷　昌人（東京大学地震研究所）
通研対応教員：
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
三ヶ田　均（京都大学大学院工学研究科）
荒木　英一郎（海洋研究開発機構）
三浦　哲（東北大学大学院理学研究科）
葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）
高森　昭光（東京大学地震研究所）
坪川　恒也（真英計測）
坂田　正治（元防災科学技術研究所）
延べ参加人数：９人

［2］研究経過

本研究では、これまでの共同プロジェクト研究の成果を活かし、光ファイバーネットワークを用いて絶対重力計を面的に観測網として展開し、火山におけるマグマ活動を重力変動として捉え監視するための計測技術に関する研究を行っている。本技術はこれまで困難であった高温の地下深部において直接観測するための光学式センサー（地震計、津波計、歪計など）についても適用可能である。

R2 年度までの研究で、地震研究所で開発した絶対重力計 TAG-1 に吉田研究室が所有する通信波長帯の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、月や太陽の引力によって生じる地表の重力加速度変動である地球潮汐を計測し、理論と整合していることが示されている。また、重力加速度の絶対値については、アセチレン安定化レーザー光源を使用したときの計測値、従来のヨウ素安定化 He-Ne レーザーを光源とした場合の計測値、および青葉山キャンパスの既知の重力基準点から測地学的に求められた測定点の絶対重力加速度値の３者を比較し、それらが整合していることが示されている。

同装置の野外実証のため、東北大学大学院理学研究科の蔵王観測所で重力観測を実施し、３年間の重力変動の観測結果を得た。その値と市販の絶対重力計および超伝導重力計との計測値を比較し、計測精度を検証した。また、小型絶対重力計による光ファイバーネットワークの構築を見据えて、通信波長帯光源で使用できる小型の絶対重力計用入射光学ユニットの設計・製作を行い、地面振動補正用の組み込み加速度計の振り子部分や基台部分も併せて小型化した。

［3］成果

（3-1）研究成果

火山活動に伴う地下深部のマグマなど流体の移動を重力変化によって検知するために、地震研究所で小型絶対重力計（TAG-1）が開発された。図 1 に TAG-1 の構造を示す。TAG-1 は自由落下式絶対重力計であり、その計測原理は真空容器中で自由落下させた落体（鏡）の位置をレーザー干渉計で正確に計測し、その加速度から重力の絶対値を 9〜10 桁の確度で計測する。計測誤差となる地面振動を補正するための組み込み加速度計や計測に使用する落体の回転を抑えるサイレントドロップ法が特徴となっている。TAG-1 は同等の市販品 FG5(Micro-g LaCoste 社) の約 70%のサイズとなっており（図 2）、火山地帯を含む複数の観測点で性能評価を行った結果、既存の絶対重力計と同等の 1μGal 以内の精度が確認されている。光源は波長 633nm 帯のヨウ素安定化 He-Ne レーザーが用いられるが、光ファイバーネットワークを構成する際に使用する通信波長帯で動作させる場合は、入射光学ユニット（optical unit）を波長に合わせて交換できるようになっている。

本年度は火山近傍における重力観測を継続し、TAG-1 を用いて蔵王観測所（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター、宮城県蔵王町、図 3）における観測を 2020 年 10 月 27〜29 日に実施した。TAG-1 を用いた蔵王観測所での絶対重力観測は 2017 年より同様に行っている。図 4 に TAG-1 によるこれまでの測定結果（茶）を示す。10μGal 程度の変動が認められる。FG5 による過去の観測結果

（青）と比較するとTAG-1との間に若干の系統誤差があるようにも見えるが、同じ重力計での観測でも変動が認められるため、器差のほか火山活動あるいは局所的な擾乱の影響等も含まれているとみられる。

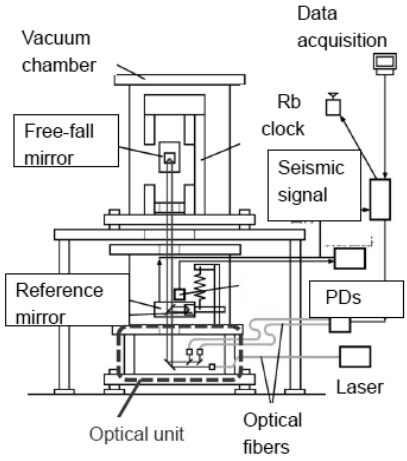



図1　TAG-1の構造。真空容器中で自由落下させた鏡（Free-fall mirror）の位置をレーザー干渉計で計測し、重力加速度の絶対値を測定する。使用するレーザー波長に応じて入射光学ユニット（Optical unit）を交換する。

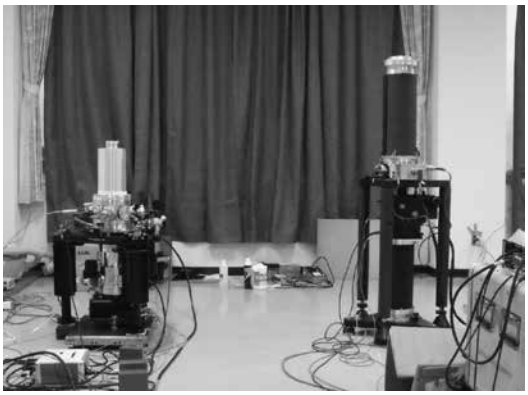


図2　TAG-1（左）および市販製品（FG5, Micro-g LaCoste社）。TAG-1はFG5の約2/3のサイズ。

重力変動については、このような長期的なもののほかに、気象等の影響による短期的なものも知られている。同観測所で2019年10月22～31日に実施した記録では、同じ観測基台上で並行観測を行なっていた超伝導重力計iGravの記録に、地球潮汐変動（図5）とともに、10μGal程度の重力上昇が観測された（図6）。台風の接近による降雨の影響で、地面の含水量や地下水の増加に伴う引力上昇によるものとみられる。TAG-1の記録はややばらつきが大きいが、iGravの記録と整合している。なお、iGravは相対重力計で短期的な重力変動を高精度に捉えることはできるが、年単位の長期的な値はドリフトするため、絶対重力計との定期的な並行観測が欠かせない。



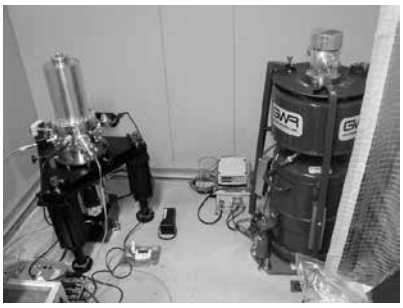


図3　蔵王観測所（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター）における観測。上：観測所外観。下：左が小型絶対重力計TAG-1、右が超伝導重力計iGrav（GWR Instruments社）。

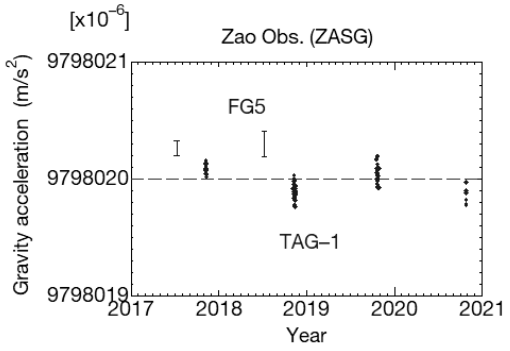



図4　蔵王観測所におけるTAG-1（茶）およびFG5（青）の過去の観測を含めた測定結果。10μGal程度の変動が認められる。両重力計で若干の系統誤差があるようにも見える。

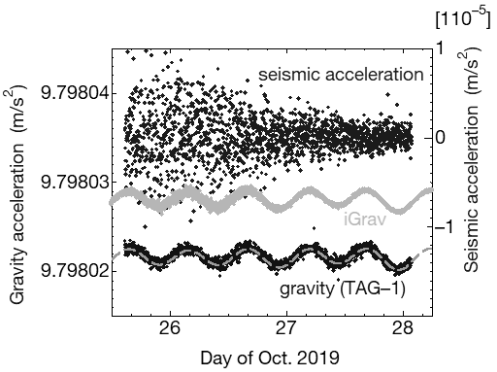



図5　2019年の観測で測定されたTAG-1の重力値（青、左軸）、およびiGravの相対重力値（緑、右軸）。両方とも理論地球潮汐波形（赤線）と整合している。

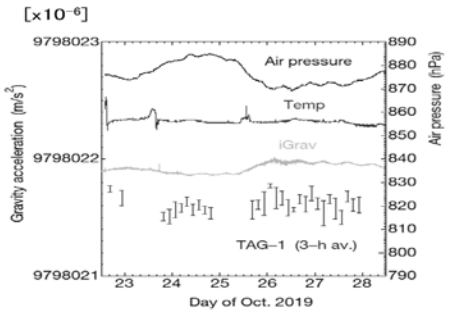



図 6　図 5 の記録に潮汐補正等を行なって得られた重力値。2019 年 10 月 25 日の重力上昇は台風接近による降雨の影響で、地面の含水量や地下水の増加に伴う引力上昇とみられる。

また、アクセス困難な火口近傍などの野外観測で使用できるように、本体の小型化や遠隔操作ができるように TAG-1 の改良を進めた。図 7 は地面振動補正用の組み込み加速度計の振り子部分で、従来の 7 割程度のサイズに小型化した。絶対重力計で使用するレーザー光は正確に鉛直方向に照射され、真空中で落下する鏡の位置が計測される。野外観測の温度変動により照射方向が影響されないように、レーザーを射出する基台の部分を熱膨張係数が極めて小さいスーパーインバー合金で製作し、さらに遠隔操作で基台の傾きを微調整できるようにモーターを組み込んだ(図8)。図1の入射光学ユニットについては、通信波長帯に置き換えるため一体化したものを製作し、従来の 25cm 程度のサイズから 10cm 程度に小型化した（図 9)。今後これらを組み合わせた小型重力計で性能評価を進めていく。

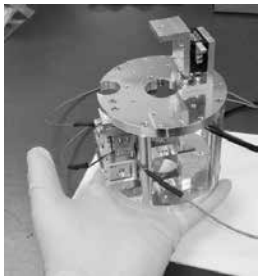


図 7 地面振動補正用の組み込み加速度計の振り子部分。従来の 7 割程度のサイズに小型化した。

(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地表付近に表れたこれらの複数の情報を組み合わせて推測している。重力は遠隔力でありこれを用いればマグマ活動に伴う密度変化の情報を直接計測できる。本年度の研究では、633nm 光源を用いて火山近傍の観測所において継続して重力観測を行い、TAG-1 の記録が市販重力計の記録と整合していることがわかった。同等の観測を 1.5μm 光源で行いネットワーク構成するために、TAG-1 の入射光学ユニット等の小型化を行なった。このように火山観測のための重力計観測網の構築や光源の長距離伝送の実現に向けた準備が進められた。今後は、長基線の光ファイバーで重力計をつなぎ、光源やデータ収集を一元化した観測網を構成する段階に向けて、多重化やその実証に進む予定である。地下深部のマグマの動きに伴う密度変化を重力計観測網で捉えることができれば、地球科学および防災・火山監視へ大きく貢献すると期待される。

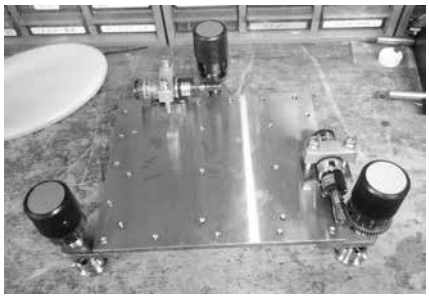


図 8　レーザーを射出する基台の部分。熱膨張係数が極めて小さいスーパーインバー合金で製作した。遠隔操作で基台の傾きを微調整できるようにモーターが組み込まれている。

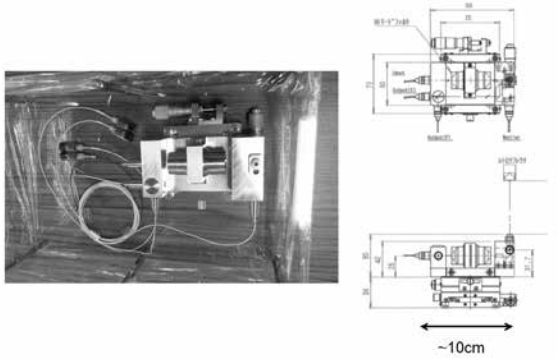



図 9 通信波長帯光源用に一体化・小型化された入射光学ユニット。

［4］成果資料

（1）新谷昌人, 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 26, 205-207, 2020.

（2）Araya, A., K. Kasai, M. Yoshida, M. Nakazawa, and T. Tsubokawa, Evaluation of systematic errors in the compact absolute gravimeter TAG-1 for network monitoring of volcanic activities, in IAG Symposia. Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/1345_2020_107

（3）新谷昌人, 重力加速度計測による地殻変動・火山活動観測技術, 電子情報通信学会誌, 103, 9, 938-944, 2020.

**採択番号：H30/A20**

# 脳型計算ハードウェア基盤とその応用

［1］組織

研究代表者

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
中尾　光之（東北大学大学院情報科学研究科）
片山　統裕（東北大学大学院情報科学研究科）
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）
小山内　実（大阪大学大学院医学系研究科）
早川　美徳（東北大学教育情報基盤センター）
丹野　航太（東北大学金属材料研究所）
矢内　浩文（茨城大学 工学部）
浅井　哲也（北海道大学大学院情報科学研究科）
原田　知親（山形大学大学院理工学研究科）
廣瀬　明　（東京大学大学院工学系研究科）
斉藤　利通（法政大学工学部）
八木　哲也（大阪大学大学院工学研究科）
土居　伸二（京都大学大学院工学研究科）
森江　隆　（九州工業大学大学院生命体工学研究科）
佐村　俊和（山口大学大学院医学系研究科（工学））
引原　隆士（京都大学大学院工学研究科）
上田　哲史（徳島大学情報センター）
西尾　芳文（徳島大学工学部）
石田　文彦（富山高等専門学校専攻科）
田中　敦　（山形大学大学院理工学研究科）
佐野　雅己（東京大学大学院理学系研究科）
菅原　研　（東北学院大学教養学部）
金城　光永（琉球大学工学部）
水柿　義直（電気通信大学大学院情報理工学研究科）
鳥飼　弘幸（法政大学理工学部）
田向　権　（九州工業大学大学院生命体工学研究科）
Jordi Madrenas（カタルーニャ工科大学電子工学科）

延べ参加人数：30 人

［2］研究経過

次世代の情報処理システムの実現を目的として、脳型計算機を構築するために必要なハードウェア基盤を確立することが本研究の目的である。これまでに得られた知見、すなわち膨大な神経配線の効率的な実装、スピントロニクス素子を用いた不揮発性メモリの構成、あるいは培養神経回路に発現する集団的神経ダイナミクス等をさらに発展させて、高効率かつ柔軟な脳型計算機の実現に必要なハードウェア基盤を構築すること、並びに、それら基盤技術の視覚情報処理への応用によりその有効性を明らかにすることを目指す。

本プロジェクトは，本年度が最終年度であった。本年度も，本プロジェクト研究と連動する形で、「第九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 2021 年 12 月 5 日にオンライン開催し、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（一般セッション口頭発表分）である。

(1) Towards holistic brain-like neural network approach to pattern recognition: unsupervised representation learning, P. Herman, N. B. Ravichandran, A. Lansner (KTH Royal Institute of Technology, Sweden)

(2) The error scaling of spike-timing/sequence codes, W. Nicola, C. Clopath (Univ. Calgary, Canada)

(3) Spiking neural signal processing with real-time hardware execution, J. Madrenas, M. Zapata, C. Bonfanti, A. Caruso, J. Á. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)

(4) CMOS analog neural circuit for edge computing, S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas (RIEC, Tohoku Univ., Japan)

(5) Physical reservoir computing in neural-network hardware history: Dynamics features of spin-wave and optical reservoirs, A. Hirose, R. Nakane, J. B. Héroux, T. Yamane, H.

Numata, D. Nakano, G. Tanaka (Univ. Tokyo, Japan)
(6) Reservoir computing based on pseudo-billiard dynamics in hypercube and its applications, Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
(7) A performance evaluation of deep neural networks training with noisy labels under the limit of the cost increases by group-teaching algorithm, T. Samura, K. Tadamura (Yamaguchi Univ., Japan)
(8) Dynamic tuning of axonal excitability in the hippocampus, H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
(9) Artificial cell membrane as a drug screening platform for ion channel proteins, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)
(10) Two-photon calcium imaging in the motor cortex of non-human primates during movement tasks, Y. Masamizu, T. Ebina, M. Matsuzaki (RIKEN, Japan)
(11) Tuning the richness of spontaneous activity patterns in neuronal cultures through engineering, M. Montalá, E. Estévez-Priego, S. Faci-Lázaro, J. Gómez-Gardeñes, A.-A. Ludl, J. Soriano-Fradera (Univ. Barcelona, Spain)
(12) Ultrasoft silicone gel as a biomimetic scaffold for culturing neuronal networks in vitro, H. Yamamoto, T. Sumi, A. Hirano-Iwata, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

［3］成果

(3-1) 研究成果

エッジコンピューティングにおいて低電力脳型処理を実現するために、専用ハードウェアの開発が急務な課題となっている。そこで、簡単な微分方程式で記述されるものの、多様な神経パルスを再現しうるIzhikevichモデルに着目し、これと同様のダイナミクスを有し、サブスレッショルド領域で動作するアナログスパイキングニューロン回路の設計を行い、10 nW以下の低消費電力で動作することを確認した。こうした成果を含め、脳型計算ハードウェア基盤の構築に有用な多数の成果を得た。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究で得られた成果などを基にした研究プロジェクト、「スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤」、CREST、JST、2019年10月1日～2025年3月が採択されている。

［4］成果資料

(1) Y. J. Yeoh, T. Morie, H. Tamukoh, “An Efficient Hardware-Oriented Dropout Algorithm,” Neurocomputing, 427, pp. 191-200, 2021.
(2) Y. Tanaka, T. Morie, H. Tamukoh, “An amygdala-inspired classical conditioning model on FPGA for home service robots,” IEEE Access, 8, pp. 212066-212078, 2020.
(3) M, Harada, M, Takahashi, S. Sakai, T. Morie, “A Time-domain Analog Weighted-sum Calculation Circuit Using Ferroelectric-gate Field-effect Transistors for Artificial Intelligence Processors,” Jpn. J. Appl. Phys., 59, pp. 040604-1-12, 2020.
(4) M. Yamaguchi, G. Iwamoto, Y. Nishimura, H. Tamukoh, T. Morie, “An Energy-efficient Time-domain Analog CMOS BinaryConnect Neural Network Processor Based on a Pulse-width Modulation Approach,” IEEE Access, 9, pp. 2644-2654, 2020.
(5) 羽生, ″不揮発性ロジックでひらくエッジAIハードウェアの展望,″ 電子情報通信学会, Fundamentals Review, 13, pp.269-276, 2020.
(6) S. Koyama and T. Saito, “Guaranteed storage and stabilization of desired binary periodic orbits in three-layer dynamic binary neural networks,” Neurocomputing, 416, pp. 12-18, 2020.
(7) T. Togawa and T. Saito, “Connection sparsification and orbit stabilization of dynamic binary neural networks based on multiobjective evolutionary algorithms,” Proc. IJCNN, N-20741 9206599, 2020.
(8) T. Orima and Y. Horio, ″A design method for a passive reflectionless transmission-line model based on the cochlea through parameter optimization techniques,″ Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 11, pp. 624-635, 2020.
(9) Y. Uwate, M. Schule, T. Ott, Y. Nishio, ″Echo State Network with Chaos Noise for Time Series Prediction,″ Proc. NOLTA 2020, pp. 274-277, 2020.
(10) Y. Uwate, M. Schule, T. Ott, Y. Nishio, ″Amplitude Death observed from Coupled Oscillators in Several Types of Polyhedron,″ Proc. NOLTA 2020, pp. 342-345, 2020.
(11) Y. Hirayama, T. Asai, M. Motomura, S. Takamaeda-Yamazaki, ″A hardware-efficient weight sampling circuit for Bayesian neural networks,″ International Journal of Networking and Computing, 10, pp. 84-93, 2020.
(12) H. Momose, T. Kaneko, T. Asai, ″Systems and circuits for AI chips and their trends,″ Jpn. J. Appl. Phys., 59, pp. 050502-1-15, 2020.

**採択番号：H30/A24**

# PVDF 薄膜を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究

［1］組織

研究代表者：
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
庭野　道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
今井　裕司（仙台高等専門学校総合工学科）
馬　騰　（東北大学材料科学高等研究所）
中澤　日出樹（弘前大学理工学研究科）
木村　康男（東京工科大学工学部）
廣瀬　文彦（山形大学理工学研究科）
鹿又　健作(山形大学有機材料システム研究科)

延べ参加人数：50 名

［2］研究経過

フレキシブル性を有する有機圧電ポリマーを用いた圧力センサは，生体情報の検出を低侵襲に行えることから，その開発研究が近年盛んに行われている。本プロジェクトは，我々が先に開発した，簡便な圧電ポリマー膜の形成を可能にする方法（溶液法）を用いて，様々な構造の圧力センサの開発に取り組むものである。

本プロジェクトは，今年度が最終年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

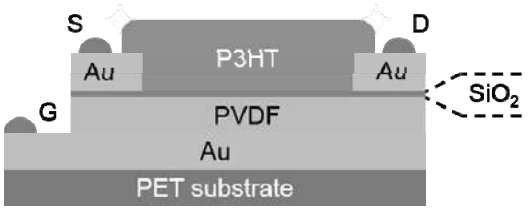
我々は，各種圧力センサの開発に当たり，有機圧電ポリマー材料としてポリフッ化ビニリデン（PVDF）を用いている。過去 2 年間での主な成果として，我々は *1H,1H,2H,2H*-Perfluorodecanethiol（PFDT）というチオール剤を用いた下地電極表面の化学修飾によって，直上の PVDF 膜中の分子を配向制御させるための新規分極処理（ケミカルポーリング）技術を新たに確立した。さらに，本技術と，我々が先に開発した簡便なポリマー膜形成法（溶液法）とを併用することにより，優れた出力特性を有する単一平面型の圧力センサを再現よく作製するとともに，単体センサを二次元系へと発展させた新規圧力マッピングセンサの開発にも成功した。

本年度では，新たに，アクティブ動作を可能にする圧力センシングデバイス（圧力入力→電流出力）の開発に取り組んだ。具体的には，有機電界効果トランジスタ（OFET）と PVDF センサ部とが一体となった新規構造のデバイスの作製を試みた。まず，電極となる金属（Au）や層間絶縁膜となる $SiO_2$ の蒸着工程について，当該分野に精通している弘前大学，東京工科大学，山形大学のグループと相互に連携を図りながら進めた。試作したセンサの測定に当たっては，仙台高等専門学校のグループより提供された測定専用治具を活用し，また，特性評価に当たっては，定量解析の経験が豊富な東北福祉大学のグループから助言を受けながら考察やディスカッションを行った。さらに，東北大学のグループが第 11 回ナノ構造・ナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ（2021 年 3 月 1～2 日，オンライン開催，参加人数 62 名）を主催し，各グループの研究者らが参加した。この際，本プロジェクトの成果について情報共有するとともに，外国からの招待講演者とも議論を行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，上述した通り，OFET と PVDF センサ（圧力検出）部とが一体となった新規構造を有するデバイス（図 1）の作製を試みた。プラスチック（PET）フィルムを基板とし，直上にそれぞれ，Au，PVDF，$SiO_2$，Au，有機半導体（P3HT）層の順で形成させることにより実現するものである。はじめに，作製工程を進める中で，PVDF 層と OFET 層とを隔てるための層間絶縁膜（$SiO_2$ 膜）が十分に成膜できない




（図 1．OFET–PVDF センサ一体型デバイスの断面構造模式図）

問題に直面した。そこで，研究代表者らが現有する電子ビーム（EB）蒸着装置を新たに立ち上げ，かつ最適な成膜条件を探索した結果，100 nm を超える厚さの $SiO_2$ 膜が再現よく形成可能となった。続いて，$SiO_2$ 膜を上下の Au 層で挟み込んだ構造のサンプルを試作し Au 電極間抵抗の測定を行ったところ，電流の大きなリークが見られた。原因調査の結果，直上からの（Au の）真空蒸着によって当該酸化膜が容易に絶縁破壊を引き起こすことによるものだと判明した。この結果を踏まえ，当初計画に基づく作製工程では，当該デバイス開発における最終段階への到達は困難であるとの結論に至った。このことから，本デバイスの開発に当たっては，サンプルへのダメージを極力抑制できる低温プロセスをベースとした作製法の確立が望ましいとの知見を得た。

（3-2）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトの全 3 年間を通じて，学外研究者（分担者）との交流が飛躍的に活性化した。特に，初年度・第 2 年度において，学外研究者の一人が代表を務める科研費（基盤研究（C）：17K06848）の分担者として，フレキシブル圧力センサの開発研究に携わるとともに，本研究内容に係わる科研費プロジェクト（若手研究：18K14110・代表）も並行して実施することができた。最終年度では，当初計画の全てを遂行するまでには至らなかったものの，当該デバイス開発のために克服すべき課題が明確になるとともに，デバイス開発のための重要な指針を得た。

以上，本プロジェクト研究では，フレキシブル生体センサの分野に資する複数の基盤技術の確立に成功した。具体的には，新規に見出された分極処理（ケミカルポーリング）技術と，それを用いた高感度圧力センサの作製，さらには二次元マッピングセンサの開発といった実用化を見据えた各種デバイスの開発に成功した。今後，当該圧力センサのさらなる高感度化を目指すため，チオール剤の選定やセンサ構造の最適化などに取り組んでいく方針である。

（国際会議・シンポジウムへの発展）

- シンポジウム名：第 11 回ナノ構造・ナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ
- 日時：2021 年 3 月 1 日～2 日
- 開催場所：オンライン開催
- 参加人数：62 名

［4］成果資料

（1）Xingyao Feng, Teng Ma, Daisuke Tadaki, and Ayumi Hirano-Iwata, Self-assembly of hybrid lipid membranes doped with hydrophobic organic molecules at the water/air interface. *J. Vis. Exp.*, **e60957**, 1–5 (2020).

（2）Masato Yamaguchi, Hiroyuki Abe, Teng Ma, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, Hiroyasu Kanetaka, Yoshihiko Watanabe, and Michio Niwano, Bactericidal activity of $TiO_2$ nanotube thin films on Si by photocatalytic generation of active oxygen species. *Langmuir*, **36**, 12668–12677 (2020).

（3）Hiroyuki Abe, Yasuo Kimura, Teng Ma, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, Response characteristics of a highly sensitive gas sensor using a titanium oxide nanotube film decorated with platinum nanoparticles. *Sens. Act. B*, **321**, 128525 (2020).

（4）Daisuke Tadaki, Teng Ma, Shin Yamamiya, Shintaro Matsumoto, Yuji Imai, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, Piezoelectric PVDF-based sensors with high pressure sensitivity induced by chemical modification of electrode surfaces. *Sens. Act. A*, **316**, 112424 (2020).

（5）Ryusuke Miyata, Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Shun Araki, Madoka Sato, Maki Komiya, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, Parallel recordings of transmembrane hERG channel currents based on solvent-free lipid bilayer microarray. *Micromachines*, **12**, 98 (2021).

（6）Teng Ma, Madoka Sato, Maki Komiya, Xingyao Feng, Daisuke Tadaki, and Ayumi Hirano-Iwata, Advances in artificial bilayer lipid membranes as a novel biosensing platform: from drug-screening to self-assembled devices. *Chem. Lett.*, **50**, 418–425 (2021).

採択番号：H30/A26

# IoTデバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究

［1］組織
研究代表者：
小俣　昌樹（山梨大学大学院総合研究部）
通研対応教員：
北形　元（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
菅沼　拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

延べ参加人数：12人

［2］研究経過

本研究プロジェクトの目的は，さまざまなIoT（Internet of Things）デバイスとのインタラクションにおいて優れたユーザエクスペリエンスを提供するために，どのような知覚インタフェースをどのように適用するとよいのかというガイドラインを確立することである。すなわち，IoTデバイス同士または人間とIoTデバイス，さらにはIoTを介した人間と人間との間において，誰が，どこに，どのように居て，何に気づき，何とインタラクションしようとしていて，デバイスからのどのような通知に対して，どのような反応を示し，どのような入力をして，どのような出力を得たのかなどを，情報として扱うための指針を示すことである。このためには，ユーザ体験を中心とするネットワークとインタラクションを総括的に扱うことのできる，新たな，送受信技術，情報分類・識別技術，およびユーザインタフェース技術が必要である。

本プロジェクトは，本年度が三年目であった。本年度は，IoTデバイスからユーザへのフィードバックの通知として，その情報の音節に基づいた振動パターンを設計し，その識別率を評価する実験を実施した。以下，研究活動状況の概要を記す。

(1) スマートフォンの通知における音節に基づく振動パターンの設計

本設計では，スマートフォンにおける連続した振動時間の違いとその回数の組み合わせによって，そのスマートフォンへの通知における緊急度・連絡ツール・送信元をユーザに伝達するモデルを構築した。

緊急度は，その通知の緊急度を2段階で表す．ノンバーバルな情報であるため，振動回数で表し，回数が多いほど緊急度が高いとする。振動の間隔時間は100 msである。

連絡ツールは，電話・メール・LINEなどの，その通知のもととなる連絡アプリケーションの種類を表す。本システムでは，総務省平成28年版情報通信白書から抜粋したユーザがよく利用する連絡ツールの5種類（電話・メール・LINE・Facebook・Twitter）と，それ以外を表す「その他」の，計6種類とする。これらを伝えるための振動パターンとして，音節を用いる。たとえば，LINE（らいん）であれば，短い振動を3回繰り返す。振動の間隔時間は100 msである。

送信元は，送信者の名前（姓）を表す。音節の組み合わせだけでは多くの名前を表現できないので，名前の子音に振動時間を，そして，母音に振動と振動との間の時間間隔を割り当てる。たとえば“さとう”の場合，“300(100)400(500)100(300)”（かっこの中が時間間隔）という振動パターンとなる。

提案システムの有用性を評価するため，スマートフォンの画面を見ずに振動パターンを識別できるかを実験で検証する。要因は，振動パターン（連絡ツール6種類）とスマートフォンの位置（手，かばん，ポケット），および参加者への本設計の事前説明の有無である。従属変数は，正答率と解答時間である。参加者は12人（大学生10人，大学院生2人）で，全員右利きであり，この内6人は振動パターンの設計方法を説明した上で実験を行い，残りの6人は説明せずに実験を行った。

つぎに，送信元の振動パターンの識別しやすさを検証する。要因は，振動パターン（送信元6種類（さとう，すずき，たなか，いとう，かとう，よしだ））とスマートフォンの位置（手，ポケット），および防音イヤーマフの装着の有無であり，従属変数は，正答率と解答時間である。参加者は5人（大学生）で，全員右利きである。

(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：2021 年 1 月 26 日（火）13:00～15:35
- 会場：オンライン（Teams）
- 発表内容
  - ➢ 東北大学 菅沼研究室
    - ✧ 投影品質向上のためのマルチプロジェクター連携システムの提案
      （三田 昌輝）
    - ✧ 空間音響を用いた視覚障害者のための屋内ナビゲーションの提案
      （玉渕 誠人）
  - ➢ 東北大学 長谷川・北形研究室
    - ✧ 抽象的な動作記述に基づく IoT サービス構成手法
      （和室 昂佑）
  - ➢ 山梨大学 小俣研究室
    - ✧ スマホ通知音応答時の眼電図と皮膚コンダクタンス
      （伊藤 慎吾）
    - ✧ スマホのうなずき操作によるオンライン授業中のオフタスク検証
      （三神 堯之）
    - ✧ オンライン授業受講者の活動把握に関する研究
      （小俣 昌樹）

［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。

まずひとつ目の実験における連絡ツールに関する振動パターンの正答率は，事前説明のない条件において平均 68.7%，事前説明のある条件において平均 73.1%であった。また，スマートフォンの位置の違いにおける正答率の違いに関して，ポケット条件の正答率は，他の条件に比べて有意に低いことがわかった（$p<0.05$）。解答時間について，事前説明なしの場合平均 4.8 秒，事前説明ありの場合平均 4.3 秒であった。また，解答時間においても，ポケット条件においては有意に時間が掛かることがわかった（$p<0.05$）。

ふたつ目の実験における送信元の振動パターンについての正答率は，全体の平均で 54.2%であった。個々の名前の正答率に関して，振動パターンに違いの少ない，さとう・いとう・かとうが低かった。解答時間について，4.47 秒であったが，かとう・たなか・さとうについては，5 秒以上掛かった。また，防音イヤーマフを装着していない方が，解答時間が有意に短くなることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の研究成果による期待される波及効果は，このシステムが，さまざまな IoT デバイスからユーザへのさまざまなフィードバックがある中で，視覚でも聴覚でもなく，振動覚によって，より詳細な情報を伝えることのできる可能性を示唆している点にあると考える。

［4］成果資料


（1）Masaki Omata and Misa Kuramoto, “Design of Syllabic Vibration Pattern for Incoming Notification on a Smartphone,” Proc. of the 4th International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications (CHIRA2020), CHIRA20-RP-8: Full Paper, Friday, November 6th 2020.

（2）和室 昂佑, 北形 元, 長谷川 剛, “抽象度の高いサービス記述に基づく IoT サービスの構成手法の検討,” 電子情報通信学会技術報告 (IN), vol. 120, no. 163, IN2020-28, pp. 37-42, 2020 年 9 月.

（3）和室 昂佑, 北形 元, 長谷川 剛, “オントロジを活用した多様な利用者環境に適用可能な IoT サービス構成手法の提案,” 情報処理学会研究報告, vol. 2021-DPS-186, no. 72, pp. 1-8, 2021 年 3 月.

（4）Luis Guillen, Hiroyuki Takahira, Satoru Izumi, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “On Designing a Resilient SDN C/M-Plane for Multi-Controller Failure in Disaster Situations,” IEEE Access, Vol.8, pp.141719-141732 (August 2020).

（5）Yuki Ito, Masayoshi Ueno, Hiromu Takahashi, Shinji Chiba, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “Implementation of a Behavioral Recognition Sensor for Understanding Interactive Communication Situation of the Elderly,” Proc. of the IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020), pp.437-438 (October 2020).

**採択番号：H30/A28**

# 薄膜デバイスを用いた脳型集積システム

［1］組織

研究代表者：

木村　睦（龍谷大学先端理工学部）

通研対応教員：

堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

松田　時宜（龍谷大学革新的材料・プロセス研究センター）

浦岡　行治（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

古田　守（高知工科大学環境理工学群）

Sung-Min Yoon（Kyung Hee University）

中島　康彦（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

張　任遠（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

荒井 礼子(産業技術総合研究所スピントロニクス研究センター)

柴山　友樹（龍谷大学理工学研究科）

橋本　快人（龍谷大学理工学研究科）

滝下　雄太（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

延べ参加人数：12 人

［2］研究経過

人工知能は、現在も様々な応用に用いられ、未来の社会において不可欠な技術である。しかしながら、従来は、超ハイスペックなノイマン型のハードウェアで実行される複雑で長大なソフトウェアであり、マシンサイズが巨大でエネルギ消費が膨大であるという課題があった。脳型集積システムは、ハードウェアレベルからの生体模倣システムで、生体の脳と同様にコンパクト・低エネルギ消費・頑強動作といった特長をもつ。一方、薄膜半導体デバイスは、大面積に三次元積層構造で作製することが可能である。本研究は、薄膜デバイスを用いた脳型集積システムに関するものである。薄膜デバイスを利用することで、脳型集積システムの特長をさらに高めることを目的とする。なお、本共同プロジェクト研究は3年目であり、1・2年目に得られた成果をもとに、さらなる研究の推進を図った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

- 研究代表者と通研対応教員の電子メールによる研究打ち合わせ（コロナ禍の特別対応）
- 研究代表者と研究分担者（奈良先端科学技術大学院）の1週間に1回程度の感染対策を伴う対面の研究打ち合わせ
- 研究代表者と研究分担者（龍谷大学）のほぼ毎日の感染対策を伴う対面の研究打ち合わせ

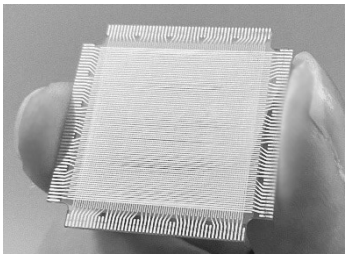
［3］成果

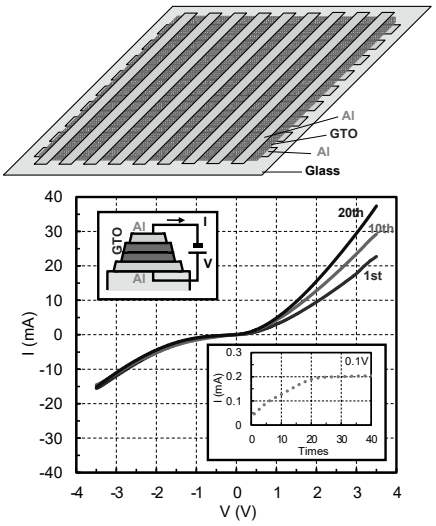
(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。論文の内容を概説する形式で紹介する。

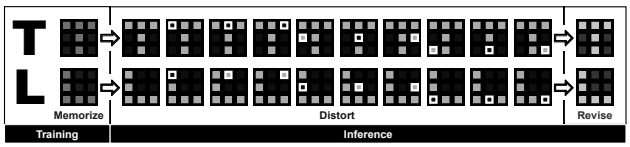
［学術論文（1）］

脳型集積システムの重要なファクタは、集積化できるプロセシングエレメントの数である。本論文では3つの決定的な決定的な技術を提案する。(1) アモルファス金属酸化物半導体薄膜：そのひとつであるGa-Sn-O（GTO）薄膜を活用する。GTO薄膜はレアメタルを含まず、室温で簡単なプロセスで堆積できる。ここでは、酸素プア層と酸素リッチ層を積み重ねる。GTO メモリスタは、クロスバー配列のクロスポイントに形成される。(2) アナログメモリスタ：連続した無限の情報を1つのデバイスに記憶できる。ここで、GTO メモリスタに電圧を印加すると、コンダクタンスは徐々に変化する。これは、酸素空孔(Vo)のドリフトと拡散の影響である。(3) 自律的なローカル学習：単一のデバイスがそれ自体の電気的特性を自律的に変更するため、追加の制御回路は必要ない。最後に、ニューロモーフィックシステムを上記の3つの技術を使用して組み立てる。文字認識の機能が確認され、これは典型的な人工知能アプリケーションである連想記憶と見なすことができる。





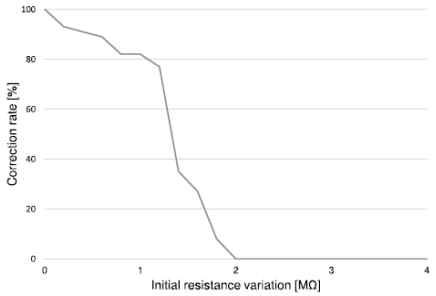

GTO メモリスタクロスバーアレイ



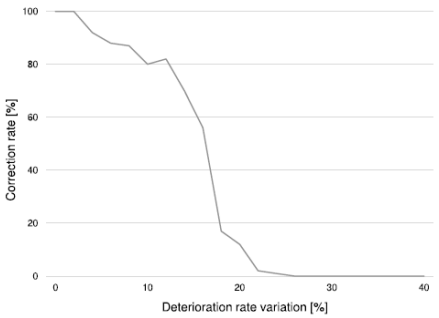

文字学習の結果

［学術論文（２）］

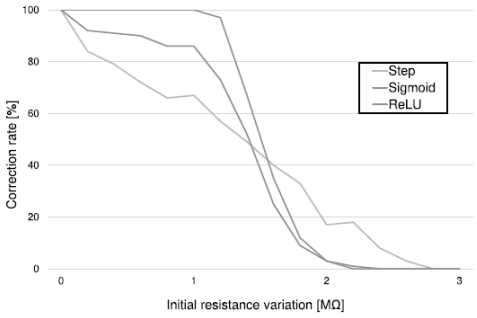
アモルファス In-Ga-Zn-O (a-IGZO) の酸化物半導体とセルラーニューラルネットワークを用いて、人間の脳のニューロンとシナプスを実現するニューロモーフィックハードウェアを実装・評価した。酸化物半導体の初期抵抗と特性変化率のバラツキがニューロモーフィックハードウェアの動作精度にどのように影響するかを確認した。さらに、ハードウェアの実装に適した活性化関数はReLU 関数であることを明確にした。




初期抵抗のバラツキと認識精度




特性変化率のバラツキと認識精度




活性化関数と認識精度

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で、薄膜デバイスを用いた脳型集積システムの基本的な構成や動作を確認することで、かなりの将来においては、大規模集積化や三次元積層構造により、コンパクト・低エネルギ消費・頑強動作という特長を活かすことにより、世界的なエネルギ危機を回避し、すべてのモノの人工知能 (AIoE) を実現する可能性が拓くと考えられる。たとえば、人間の脳に匹敵する $2\times10^{10}$ 個のニューロン素子と $2\times10^{14}$ 個のシナプス素子を想定すると、0.2ℓ のサイズと 20W の消費電力、すなわちこれも人間の脳と同等のものが実現できると予想される。

また、本プロジェクトは、財団ではあるが、人工知能研究振興財団「強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システムの研究開発」(2020～2022 年度) や KDDI 財団「キャパシタ素子での小型低電力脳型システム」(2021～2022 年度) などのプロジェクトにつながっている。

［4］成果資料

［学術論文（査読あり）］

(1) Mutsumi Kimura, Ryo Sumida, Ayata Kurasaki, Takahito Imai, Yuta Takishita, and Yasuhiko Nakashima, Amorphous Metal Oxide Semiconductor Thin Film, Analog Memristor, and Autonomous Local Learning for Neuromorphic Systems, Scientific Reports, Vol. 11, 580, Jan. 2021

(2) Hiroya Ikeda, Hiroki Yamane, Yuta Takishita, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima, Influence of Characteristic Variation of Oxide Semiconductor and Comparison of the Activation Function in Neuromorphic Hardware, NOLTA, IEICE, Vol. 11, No.2, pp. 232-252, Apr. 2020

［招待講演］

（3） Mutsumi Kimura, Yuta Takishita, Ryugo Okamoto, and Tokiyoshi Matsuda, GTO-TFT deposited using Mist-CVD, ICDT 2021, May 2021, to be presented

(4) Mutsumi Kimura, Tokiyoshi Matsuda, Sumio Sugisaki, Ayata Kurasaki, and Isao Horiuchi, GTO

TFT, Memristor, Thermoelectric Device, Neuromorphic System, etc., ICDT 2020, Oct. 2020
[学会発表（査読あり）]
11 件
[学会発表（査読なし）]
8 件

**採択番号：H30/A29**

# IoT 用ハードウェアセキュリティの研究

［1］組織
研究代表者： 小熊 博
（富山高等専門学校）
通研対応教員：本間 尚文
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
藤井 友哉（富山高等専門学校）
延べ参加人数：6 人

［2］研究経過

IoT はいわゆる組込みシステムとも考えられ, 利用シーンとして自動車, 医療系機器, ウェアラブル端末, 産業機器, 家電など多岐ににわたる。 さらに, 組み込み機器特有に求められる要件として, 「回路規模, 消費電力量, 低遅延」の 3 要素が挙げられる。この 3 要素を満たすため, ハードウェアセキュリティつまり IoT 用の暗号化回路の設計, 実装, 評価を行う必要がある。

これまで, 世界中で安全な共通鍵暗号として認識されている AES（Advanced Encryption Standard）を対象に研究を実施してきた。 AES は一定データ長ごとに繰り返し処理をして暗号化するため, ハードウェア実装のアーキテクチャには loop 型と unrolled 型がある。loop 型は繰り返し処理ごとにメモリにデータを保存し, unrolled 型は暗号化終了まで保存しない。暗号回路を, 通研対応教員より指導を仰ぎ, 富山高専の学生が Verilog-HDL 言語により Xilinx 社の FPGA（Field Programmable Gate Array）上に実装し評価している。

3 年目にあたる本年度はマイコンに展開し種々の暗号方式を実装した。

［3］成果

(3-1）研究成果

暗号方式として,認証暗号の１つである AES-GCM を目標とした。最初のステップとして AES をマイコン上に実装し, セカンドステップとして AES-GCM を実装した。以下に詳細を示す。

(3-1-1） AES のマイコンへの実装

AES は SubBytes, ShiftRows, MixColumns 及び AddRoundKey の 4 種のラウンド関数及び鍵スケジュール（ExpandKey）から成る共通鍵暗号であり, これらの関数を十分な回数平文に対して処理することによって暗号化される。鍵長は 128, 192, 256bits から選択可能であり,本研究では 128bits 鍵を対象として実装を行う。PC と Arduino を USB 接続し, シリアル通信を用いて暗号化及び復号を行う。具体的には, PC からシリアルモニタを用いて平文または暗号文を送信する。Arduino は平文または暗号文を受信すると, 暗号化または復号を行い, 処理後の結果を PC に送信する。PC は結果を受信すると, シリアルモニタに結果を整形して表示する。AES を実装するにあたり, C 言語で AES の各種機能をヘッダとして作成し, PC 上で AES の正常な動作を確認した。その後, 作成したヘッダを Arduino に include する形で Arduino へ AES 暗号を実装した。評価として, “Hello AES World!” という文字列を暗号化し現れた暗号文を復号した。暗号化には 6.5 ミリ秒, 復号には 9.5 秒かかった。

(3-1-2）AES-GCM のマイコンへの実装

AES-GCM は,暗号化部（GCTR）と認証用のタグ生成部から構成される認証暗号である。図 1 に暗号化部のブロック図を示す。$E_K$ は AES での暗号化を, CB はカウンタブロックを示す。暗号化部では平文ブロックを直接暗号化せず, カウンタを暗号化し, その結果と平文ブロックを XOR で加算することで暗号化を行う。カウンタの初期値は nonce である IV から生成される。図 2 にタグ生成部のブロック図を示す。タグ生成部では,認証のみを行うデータ A,暗号文 C,サブ鍵 H を GHASH 関数に入力して固定長の値を生成し, その結果を暗号化することでタグを生成する。

作成した C 言語用ヘッダ”AES.h”を構成要素としてヘッダ”GCM.h”を作成し Arduino に include した。以下に仕様を示す。

1. PC－Arduino 間で USB 接続（シリアル通信）
2. PC 上でシリアルモニタを用いて Arduino へ情報を送信, その情報に応じて Arduino 上で暗号化及び復号し結果を PC に送信

３．IV を 96bit, Key を 128bit と設定
IV を 96bit,Plaintext を 128bit,Additional Data を 128bit として暗号化および復号を行った。図 3 に実行結果を示す。暗号化,復号ともに約 65 ミリ秒を要した。また Plaintext が 96bit 以上となるとメモリ領域の不足により正常に暗号化されないことが確認できた。したがって、メモリサイズの大きなマイコンを使用する必要があることがわかった。

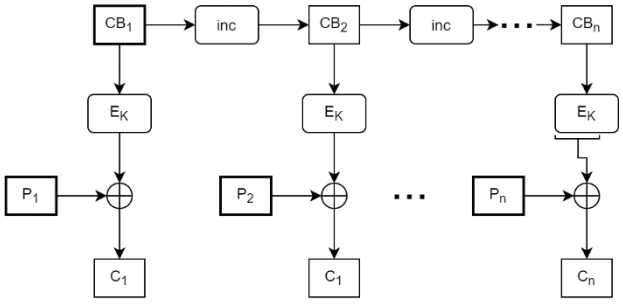


図 1　暗号化部（GCTR）のブロック図

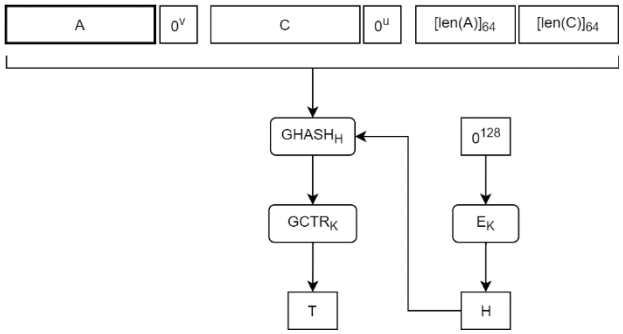


図 2　タグ生成部のブロック図

（3-2）波及効果と発展性, 研究分野への貢献など
本研究課題の成果としては，知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで，現状のコンピュータ資源が限定的な IoT セキュリティ領域への適用を推進することができる。さらに，本研究課題の成果を元に，各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い，産学連携により商用化を目指した，より大規模な研究開発へ発展させることも想定している。IoT のセキュリティは喫緊の重要な課題であり，今後は, 本プロジェクトの研究成果を積極的に活用し, 産学官連携による地元地域の拠点化に向けた取り組みへの大きな発展が期待できる。令和 2 年度はコロナ禍の影響を受けたため, 適応して研究に取り組む所存である。

［4］成果資料

○ 国内大会・研究会発表
（1）Tomoya Fujii, “Implementation of AES on the Arduino,”International Forum on Research Promotion 2020, Dec. 2020.
（2）小熊博, “Internet of Things: データ収集からセキュリティまで,” 富山大学次世代スーパーエンジニア養成コース電機システム工学特論（メカトロニクスと AI/IoT）, 2020 年 7 月.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/A30**

# インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究

［1］組織

研究代表者：

佐藤 文明(東邦大学理学部)

通研対応教員

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

岡田 謙一（慶応大学理工学部）
小花 貞夫（電気通信大学電気通信学部）
片岡 信弘（東海大学電子情報学部）
北上 眞二（福井工業大学経営情報学科）
小泉 寿男（M2M･IoT 研究会）
白鳥 則郎（中央大学研究開発機構）
高橋 修（はこだて未来大学ｼｽﾃﾑ情報科学部）
滝沢 誠（法政大学理工学部創生科学科）
塚本 昌彦（神戸大学工学部）
富樫 敦（宮城大学事業構想学部）
東野 輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科）
福田 晃（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
水野 忠則（愛知工業大学情報科学科）
宮西 洋太郎（㈱アイエスイーエム）
村山 優子（津田塾大学情報科学科）
宗森 純（和歌山大学ｼｽﾃﾑ工学部）
渡辺 尚（大阪大学情報科学研究科）

延べ参加人数：19 人

［2］研究経過

各種のセンサやデバイスがインターネットを通してクラウドサーバに接続され，情報交換しながらお互いに制御しあう IoT(Internet of Things)がいま世界的に注目されている。国内市場規模は 2024 年には 12 兆 6000 億円に拡大すると予測されており，自動車産業や製造業，ヘルスケアなどの領域にも影響を及ぼすとされている。IoT の構成要素として現在クラウドがその中心をなしているが，高い応答性能を必要とするアプリケーションではより制御対象に近いエッジと呼ばれる中間サーバが非常に重要な役割を果たすようになってきた。クラウドとエッジが役割分担や負荷分散をするエッジコンピューティングと呼ばれるアーキテクチャが提案されている。

本プロジェクトでは，エッジコンピューティングに必要なクラウドとエッジ間の負荷分散，またエッジ同士の連携において，アプリケーションの運用環境に対応した最適な処理の分担を過去の運用データから学習してエッジが自ら運用方針を制御するインテリジェントエッジアーキテクチャを実現することを目的として研究を行った。

本年度は，３年目である。前年度の成果であるエッジ最適化モデルに基づく IoT 基盤を使った二輪車の走行予測システムを開発した。また、クラウドとエッジ端末の連携によるコネクテッド AR によって、感染症対策で問題となる３密の管理や体温管理を AR/MR とクラウド DB で実現するための研究開発を行った。本年度の研究活動状況を以下に示す。

(2-1) 共同プロジェクト研究会

11 月に，他の共同プロジェクトと合同で共同プロジェクト研究会を開催した。本プロジェクトメンバから最新の研究成果 5 件について報告し，パネルディスカッションにより研究成果の社会への還元方法についての議論を行った。

【開催日時】2020 年 11 月 27 日～11 月 28 日
【開催場所】東北大学電気通信研究所６階大会議室
【参加者数】27 名
（本プロジェクトメンバ ９名および聴講者 18 名）
【報告内容】

(1) 佐藤 文明（東邦大）「車載端末の画像処理による二輪車の走行予測」

(2) 北上眞二（福井工大）「雨水活用のための低消費電力環境データ収集ネットワーク」

(3) 村山優子（津田塾大）「災害情報処理における新たな視点『状況把握』の紹介」

(4) 渡辺尚（大阪大）「無線ネットワーキングの今後の展開」

(5) 塚本昌彦（神戸大）「スマートウォッチを用いたスマートグラスの検討」

【パネルディスカッション】
司会　　白鳥則郎（中央大学）(*)
パネラ　東野輝夫（大阪大学）(*)、岡部寿男（京都大）、菅沼拓夫（東北大）、荒川豊（九州大）
((*)：本プロジェクトメンバ)

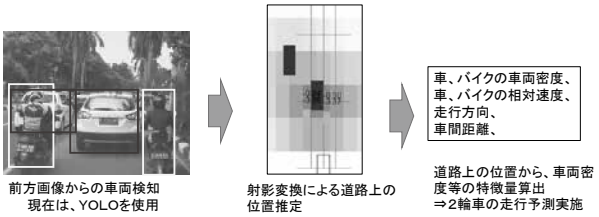
［3］成果

(3-1) 研究成果

ここでは，本年度に得られた成果として，IoT 基盤を交通流制御、コネクテッドARに適用した事例を紹介する。

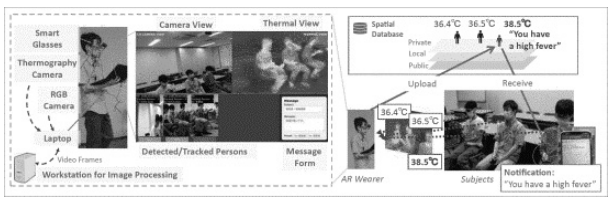
ⅰ）車載端末の画像処理による二輪車の走行予測

この研究では、車載端末で撮影した前方画像から４輪車と２輪車を検出し、２次元画像から３次元位置情報に変換し、道路上の車両密度、前方車両の相対速度の変化を測定する。その結果から、２輪車が前方の４輪車の隙間をすり抜けていく危険な走行を行う行動予測を行う研究である。前方画像からの車両検出は、深層学習による物体検知を使うことで、高い精度で実施するが、計算量が大きいことが問題となる。リアルタイム性と計算精度のトレードオフにより、クラウドとエッジ間の適切な選択をする必要があるが、車両密度の大きさによって、適切な選択が可能となる。この成果は、ＩＴＳWC2021に投稿されている。




ⅱ）コネクテッドＡＲによる感染症対策

新型インフルエンザに対処するために、周囲の人の密度や発熱状況等の目に見えない情報を、コネクテッドＡＲ（拡張現実）によって見える化するシステムの研究開発を行った。人と人の距離、発熱(高体温)、触れた物体などの情報は、プライバシーを考慮した安全なクラウドサーバ上の空間データベースに格納する。プライベートデータには、対象のユーザのみがアクセスできる。また、この情報を使って、発熱する人物の位置、人と人との距離、空間の混雑度などの状況がARグラスを使って見える化される。この成果は、成果資料（５）で報告している。




スマートグラスによる発熱状況の可視化

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

IoT 技術は現在もっとも発展が見込まれる領域であるが，それを更に発展させるためには，IoT 基盤のセキュアな運用管理技術と運用ポリシの分散管理技術が重要となる。本研究では，IoT 基盤のセキュア運用管理と分散管理のアーキテクチャについて検討を行い，成果は交通流制御，ヘルスケア，ウェアラブルデバイス管理などへの適用が期待できる。

また，本プロジェクトメンバが中核となる国際会議 IWIN2020 において，本研究の成果を発表した。

【国際会議名】

International Workshop on Informatics 2020 (IWIN2020)

【開催日時】2020 年 9 月 10 日～9 月 11 日

【開催場所】オンライン開催

【発表者人数】25 名(キーノート講演者 1 名を含む)

今後は，本プロジェクトで開発された要素技術をもとに，科研費やSCOPE 等の外部資金獲得へつなげていくとともに，若手の共同プロジェクトとの交流を深め，本研究分野における後継者育成に努める。

［4］成果資料（一部）

(1) 長沼慶弥, 佐藤文明, ”Wi-Fi RTT と機械学習を用いた位置推定の提案と評価”, 情報処理学会論文誌 Vol.62 No.2 465-474 (2021.2).

(2) Yu Abiko, Takato Saito, Daizo Ikeda, Ken Ohta, Tadanori Mizuno, Hiroshi Mineno: Flexible Resource Block Allocation to Multiple Slices for Radio Access Network Slicing Using Deep Reinforcement Learning, IEEE Access, vol.8, pp.68183 - 68198 (2020.4).

(3) 木村文昭, 木村剛維, 佐藤智洋, 佐藤冬樹, 北上眞二, ”省エネバリア”を超えるBEMS 連携型省エネサービスの提案, 電気学会論文誌C, (2020.11).

(4)Masahiro Hiji, Yuichi Hashi, Kazuhiko Kikuchi, Shigeru Fujita, Yotaro Miyanishi, Norio Shiratori, “Noble Inheritance Mechanism of Digital Content for “Digital-Ji-in”,” The Eighth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR2020), Nov.24-27 (2020).

(5)Tatsuya Amano, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Connected AR for Combating COVID-19. IEEE Internet Things Mag. 3(3): 46-51 (2020,3).

(6)Than Than Nu, Takuya Fujihashi, Takashi Watanabe, ″Soft Video Uploading for Low-Power Crowdsourced Multi-view Video Streaming,″ IEICE Transactions on Communications, E103-B, No.5, pp.524-536, (2020.5).

共同プロジェクト研究

採択番号：H30/A32

# セキュアなキャンパスBYODの実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究

［1］組織
研究代表者：
佐藤　彰洋（九州工業大学情報基盤センター）
通研対応教員：
北形　元（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
中村　豊（九州工業大学情報基盤センター）

延べ参加人数：5人

［2］研究経過

モバイルデバイスの普及に伴い，私物情報端末の業務利用，すなわちBYOD（Bring Your Own Device）を検討する動きが盛んになってきている．高等教育の現場も同様に，九州大学と広島大学が国立大学法人では先んじて学生個人の端末を必携とするBYOD体制に移行した．これに続き，今後多くの大学でBYODが検討・実施されるものと容易に想像できる．その一方，マルウェアに感染済みの端末をキャンパスネットワークに持ち込まれることが大きな課題となる．マルウェアに感染した端末は，C&C(Command-and-Control Server)を介して攻撃者の指令を受けることにより，ランサムウェアの配布，フィッシング詐欺，標的型攻撃への利用など，様々な犯罪活動を試みる．大学におけるBYODでは，学生の専攻や研究，または出身国により端末環境が多岐に渡るため，一般的な企業のようにMDM（Mobile Device Management)を適用することは困難である．故に，キャンパスネットワークで観測される通信のみからマルウェアを検出することが求められる．

従来のセキュリティ機器は，不審なファイルの動的解析や静的解析，シグネチャとの比較などによりマルウェアを検出してきた．これらの対策は，マルウェアに感染する過程の通信を観測できることを前提としているため，感染済みの端末がネットワークに持ち込まれた状況では意味を成さない．一方，ネットワーク内の端末の通信を監視するためには，ブラックリストを用いる方法が一般的である．しかしながら，ブラックリストによる検出を回避するため，マルウェアは通信先を頻繁に変更すること且つ通信先を巧みに隠蔽することが知られている．このように刻々変遷するマルウェアの通信に対するためには，ブラックリストの迅速・継続した更新が求められるが，その実現にはセキュリティ解析者の多大な労力が必要となる．キャンパスネットワークにおいて大規模感染が発生した場合，大学の業務に多大な影響を及ぼすため，この問題の解決は急務である．そこで本プロジェクトでは，ブラックリストの能動的な拡張を図ることで，キャンパスネットワークにおける膨大な数のDNS名前解決要求から，マルウェア感染端末を検出することを目的として研究を行なった．

［3］成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは，ブラックリストの能動的な拡張を図ることで，キャンパスネットワークにおける膨大な数のDNS名前解決要求から，マルウェア感染端末の検出を実現する．それに向けて，(a)マルウェア感染端末分類技術，(b)未知の悪性通信検出技術の確立を目指す．また，電気通信研究所の北形准教授の研究成果を応用することで，(c)マルチエージェントシステムを用いたネットワーク自動適応技術を実現する．

本研究課題は本年度で3年目を迎える．過去2年間に渡る共同プロジェクト研究の成果により，(a)マルウェア感染端末分類技術の実現可能性を示した．具体的には，(1)ブラックリストと一致した通信の前後には，その原因の推定を助ける通信が存在すること，(2)悪性通信の特徴はマルウェアの種類に依存することの2点に着目し，ブラックリストと一致した通信とその前後から悪性通信の特徴を導出する仕組

み，その特徴の類似性から感染端末を分類する仕組みを実現した．マルウェア感染端末分類技術の有用性を確認するため，九州工業大学のキャンパスネットワークにおいて実証実験を行った．その結果，従来手法と比較して高精度で感染端末を分類できることが明らかになった．この研究成果を取り纏めたものは既に論文誌に掲載されている．

本年度は先ず，(b)未知の悪性通信検出技術の実現に着手した．具体的には，分類済みのマルウェア感染端末群で，それに含まれる良性通信を除外し，共通する悪性通信をのみを抽出する仕組みを検討した．その理由は，感染端末に潜むマルウェアは数種類に渡ることが多いため，マルウェア感染端末はブラックリストと一致した通信に加え，未知の悪性通信を試みることが予想されるためである．本要素技術の実現にあたり，類似した悪性通信を発する端末群について，過去に遡り共通する通信の詳細を調査した．この調査により，NewGOZ や Rovnix に代表される一部のマルウェアは通信先を頻繁に変更すること且つ通信先を巧みに隠蔽する機能である DGA (Domain Generation Algorithm)有することが明らかになった．この DGA マルウェアによる悪性通信を検出するため，その DGA が生成する通信先の傾向を踏まえた 2 種類の手法を実現した．第一に，DGA が生成する通信先ドメインがランダムな文字列から成ることに着目して，文字列解析によりドメインのランダム性を判別する手法，第二に，DGA が特定の辞書から通信先ドメインを生成することに着目して，ドメインにおける単語間の結び付きを学習することで良性通信と悪性通信を判別する手法である．前者の成果は，既に IEEE のオープンアクセスジャーナルに掲載されており[成果資料(1)]，後者の成果は，共同プロジェクト研究の成果として発表した[成果資料(2)]．また，それを拡充したものを学術論文誌に投稿中である．加えて，本年度は(c)ネットワーク自動適応技術の実現に向けて，これまでの成果の適用に必要な情報をマルチエージェントシステムで扱うのが容易な形式にモデリングすることに成功した．しかしながら，その有効性や妥当性の検証は今後の課題となっている．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

既存の多くのセキュリティ機器は，マルウェアに感染する過程を観測できることを前提としているため，感染済みの端末が持ち込まれた状況では意味を成さない．幾つかの機器は，キャンパスネットワーク内の感染端末をその通信から検出する機能を有するが，端末環境の多様性が原因で大量の誤検出が発生する．加えて，機器自体が非常に高価であり，資金的な事情から大学での導入は難しい．キャンパスネットワークにおいて大規模感染が発生した場合，大学の信用失墜を招くだけでなく，その業務に多大な影響を及ぼすこととなる．今後多くの大学で BYOD が実施されることを踏まえると，導入が容易で安価なシステムが必須であり，その要件を満たす本研究成果はセキュアなキャンパスネットワークの実現に大きく資するものである．

本研究成果は高い汎用性を備えており，その適用範囲は DNS のみに限定されることはない．具体的には，異常検出や不正検出，ウェブプロキシなど，様々なシステムログへの応用が可能である．特に SIEM (Security Information and Event Management)の重要性が注目されている現在では，高い波及効果と発展性が期待できる．

[4] 成果資料

(1) Akihiro Satoh, Yutaka Fukuda, Toyohiro Hayashi, Gen Kitagata, “A Superficial Analysis Approach for Identifying Malicious Domain Names Generated by DGA Malware,” IEEE Open Journal of the Communications Society, Vol.1, pp.1837-1849, 2020.

(2) Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Gen Kitagata, “Identifying Malicious Domain Names Caused by Dictionary-based DGA Bots,” RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, 2021.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/A33**

# エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究

［1］組織
研究代表者：
打矢 隆弘（名古屋工業大学大学院工学研究科）
通研対応教員：
坂本 修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
木下 哲男
菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）
北形 元（東北大学電気通信研究所）
笹井 一人（茨城大学工学部）
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）
顧 優輝（目白大学メディア学部）
和泉 諭（仙台高等専門学校）
福谷 遼太（高知大学教育研究部）
延べ参加人数：15 人

［2］研究経過

人・社会・情報環境を総合的な協調系と捉え，これらが共生する世界である「共生社会」の実現に向けた研究開発（共生コンピューティングの実現）を進めてきた．共生コンピューティングの概念に基づくソフトウェアを構築するために，ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境を整備した．具体的には、知的エージェントの集合で構成されるソフトウェアをボトムアップ的に設計・開発・構築し，これらをエージェントリポジトリで保持・管理する方法論の策定と，インタラクティブな開発支援ツールの構築を行い，開発面での支援を実現した．また，セキュアなエージェント間通信を可能とするエージェント運用環境を開発し，運用面での支援も実現した．さらに，エージェントで構成される IoT(Internet of Things)デバイス連携にも成功し，環境に適応する種々のシステム開発を推進している．本研究では，これまでの取り組みを通し得た知見を基に，ユーザや環境の状態を考慮して適切に人々の生活を支援する IoT システムの設計/開発/運用支援の強化を目的とする．具体的には，過去の研究をさらに発展させ，エージェントフレームワークの開発・運用機能の充実と，エージェントシステムで構成される IoT ソフトウェアの構築・評価を行う．

現在エージェントの分野では，我々の研究グループで開発を進めているリポジトリ型マルチエージェントフレームワーク DASH やヨーロッパで多数利用されている JADE，LISP ベースの OMAS など様々なエージェントプラットフォーム(AP)が開発されている．日本国内においては，DASH が最先端の知的エージェントフレームワークとして広く認知され，複数の大学で演習教材に利用されるなど，利用機会が非常に増大している．我々はこの DASH を用いて過去に「高齢者の見守り支援システム」「ヘルスケアサポートシステム」など人・社会・環境と共生する情報システムの開発に成功しており，直近では「個人間分散バックアップシステム」「マイクログリッド型電力需給システム」「IoT(Internet of Things)デバイス連携」など，システムの対象分野を研究/教育，エネルギー，ライフサポートにまで拡大している．DASH の特長のひとつとして，エージェントの多様性を実現していることが挙げられる．具体的には，「自律性」「協調性」「即応性」「熟考性」「学習性」「移動性」などの性質をエージェントに付与することができる．このフレームワークに対し，各種機能拡張を行い，ソフトウェアの開発支援の充実，管理／運用支援のさらなる充実を図る．本年度はプロジェクト最終年度であり，主に開発・管理・運用支援の強化と，応用アプリケーションの開発に取り組んだ．

以下，研究活動状況(研究会)の概要を記す．
令和 3 年 3 月 4 日 14:00～，Zoom オンライン研究会
（参加者：打矢，木下，菅原，藤田，笹井，顧，真部，今野）

［3］成果

(3-1) 研究成果：主要研究とその成果を示す．

【擬人化エージェントを用いた MR 屋内ナビゲーションシステムの開発と評価】

近年スマートフォンやタブレット端末の機能である GPS を用いて位置情報を検出し，AR(Augmented

Reality）機能によって,ユーザに経路を提示するシステムが登場している．しかし，その多くは進行方向や標識を AR で示すだけにとどまり，人から見た親和性に欠けるほか,屋内では GPS が正確に測位できない地点が存在する．そこで本研究では，任意の屋内において，GPS に依存せずに自由にナビゲーションを設定でき，かつ直観的な経路提示が可能な身体性を付与された人型の CG キャラクタ（以後，擬人化エージェント）による MR(Mixed Reality）ナビゲーションシステムの開発を行った．

提案システム

本研究では，HMD(Head Mounted Display）をユーザが装着してシステムを利用する．ナビゲーションする屋内空間に対して，HMD に搭載されたセンサを用いて SLAM （Simultaneous Localization And Mapping）を行うと同時に,認識した床に対して周辺環境の特徴点と結び付けたノードとなるオブジェクトを自動的に等間隔で複数個配置する．その後，ノード間の距離を重みとする重み付きグラフを作成し,ダイクストラ法によって現在位置に最も近いノードから目的地のノードまでの最短経路を計算する．最後に計算した最短経路に従って，動的にノード間のナビゲーション経路を作成し，エージェントが経路上をたどる形でユーザを先導する．



図1

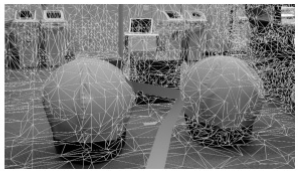


図2



図3



図4

エージェントによる先導

エージェントの歩行経路の作成には Unity のナビゲーションシステムを用いており，空間マッピングにより，認識した周辺環境の凹凸情報から経路を作成している（図 1).また静的な障害物に対しては障害物を考慮した経路の作成が可能になっており（図 2），その経路上を擬人化エージェントが移動することで被験者に対してナビゲーションを行う（図 3)．また，ユーザとエージェントが一定距離離れた場合，エージェントはユーザの接近を待つ待機動作に移行する（図 4)．

実験内容

提案システムの評価実験と考察を行う．本実験ではナビゲーションシステムとしての有用性を検証するために，名工大 2 号館 2 階において提案システムを使用し，ノードの設置ができているか，また最短経路が出力され，エージェントが実空間の環境に沿ってナビゲーションができるかどうか検証した．

実験結果

設置モードで実験環境の全域を周回し，その経路上に一定間隔でノードが設置できているか確認した．システムによって自動設置されたノードは 45 個になった．実験環境における隣接ノード間の平均距離が約 3.4m であることからシステムが意図した 3.5m 間隔のノード設置という条件を満たしていることがわかる．また，ノード数の増加による計算時間によって，システムの実行に支障をきたす事態は発生しなかった．次にナビゲーションモードに切り替え，自動で設置されたノードに対してダイクストラ法を適用し，最短経路が出力されるか，またエージェントがその最短経路に沿って先導できるか検証した．スタート地点からゴール地点に対して適切な最短経路を形成し，エージェントがその最短経路に従って移動できていることが確認できた．またエージェントの移動に関しては，壁や障害物を動的に避けて適切な移動をすることに成功していた．以上の結果から本システムのナビゲーションシステムとしての有用性を証明することに成功した．

まとめ

本研究では，屋内でのナビゲーションシステムの問題点を解決するために，GPS の位置情報に依存せずに自由にナビゲーションを設定でき，既存の AR による方向指示よりも，より直観的でわかりやすいナビゲーション手法として MR 空間における擬人化エージェントによる先導によってナビゲーションを実現した．また，検証実験を行い，先行研究と比較して，提案システムはリアルタイムにマッピングを行い，その場で歩行経路を作成することで擬人化エージェントがより正確に目的地までナビゲーションを行うことができることを確認した．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは複数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)～(２２)). 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) 藤田茂，白鳥則郎，滝雄太郎,“共生情報システム：自律・進化・持続可能な分散システムの提唱”,

情報処理学会，研究報告マルチメディア通信と分散処理（DPS）, 2020-DPS-184(11), pp.1-7, 2020.
（2）藤田茂，”ソフトウェアエージェントとデジタル寺院”， 知能と情報（日本知能情報ファジイ学会誌），pp.180-185, 2020.
（3）藤田茂，滝雄太郎，白鳥則郎，”持続可能なセキュア共生情報システムの提案とデジタル寺院・ネバーダイプロフェッサへの応用”, 情報処理学会，研究報告マルチメディア通信と分散処理（DPS），2020-DPS-186(70), pp.1-7, 2021.
（4）Masahiro Hiji, Yuichi Hashi, Kazuhiko Kikuchi, Shigeru Fujita, Yotaro Miyanishi, Norio Shiratori, “Noble Inheritance Mechanism of Digital Content for "Digital-Ji-in" toward Sustainable Society”, 2020 Eighth International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW), pp.254-259, 2020.
（5）Shigeru Fujita, Thierry Gidel, Yuki Kaeri, Andrea Tucker, Kenji Sugawara, Claude Moulin, “AI-based Automatic Activity Recognition of Single Persons and Groups During Brainstorming”, 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp.3782-3787, 2020.
（6）Kazuto Sasai, “Asynchronous time-space model for evolutionary market”, Biosystems, Vol. 198, pp.104272, 2020.
（7）笹井一人，“人間とエージェントの協働を円滑にする気づかいエージェントの開発”，知能と情報, Vol.32, No.6, pp.174-179, 2020.
（8）笹井一人，“経済的価値の外部を召喚する非同期的時空”，第２１回継続自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 2020.
（9）笹井一人，“価値の外部性を呼び込む時間・空間”，共創学会第４回年次大会講演論文集, pp.27-31, 2020.
（10）Thierry Gidel, Andrea Tucker, Shigeru Fujita, Claude Moulin, Kenji Sugawara, Takuo Suganuma, Yuki Kaeri, Norio Shiratori, “Interaction Model and Respect of Rules to Enhance Collaborative Brainstorming Results”, Vol.5, Iss.2, Page No 484-493, 2020.
（11）Yuki Kaeri, Kenji Sugawara, Claude Moulin, Thierry Gidel, “Agent-based management of support systems for distributed brainstorming”, Advanced Engineering Informatics, Vol.44, pp.1-13, 2020.
（12）顧優輝, 菅原研次, “MARS (Multi-Agent-based Resource Sharing)プラットフォームについて”，日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.32, No.6, pp.186-192, 2020.
（13）Shota Itagaki, Ryota Fukutani, Akinobu Ando, Tatsuya Horita, “A Proposal of E-Learning for Skills of Traditional Japanese Wood-Processing Including Evaluation of Condition of Cut Surface”, Proc. of EdMedia + Innovate Learning 2020 Online, pp.1116-1124, 2020.
（14）板垣翔大, 福谷遼太, 安藤明伸, 堀田龍也, “木材の切断面の評価を AI の画像認識により支援するシステムの評価”，日本産業技術教育学会第 63 回全国大会講演要旨集, p.78, 2020.
（15）福谷遼太, 佐藤充祥, 笹井一人, 木下哲男, “初級管理者の直感的なネットワーク状態把握を可能にする比喩型データ表現手法の提案”，高知大学教育学部研究報告, 2021.
（16）打矢隆弘, “マルチエージェント技術を用いた広域環境向け個人間分散バックアップシステムの開発”,.知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.32, No.6, pp.1‐8, 2020.
（17） Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “ Multi-Agent Based Container Microservices for Remote File Storage System”, Proc. of IEEE GCCE2020, 2020.
（18）Takahiro Uchiya, Ryota Shimizu, Ichi Takumi, “Proposal of Congestion Mitigation Method Using Guide Schedule in Theme Park”, Proc. of IEEE GCCE2020, 2020.
（19） Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Proposal of Container Management Mechanism on Multi-agent Framework”, Proc. of NBiS2020, 2020.
・Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Development of Indoor Evacuation Training System using VR HMD”, Proc. Of NBiS2020, 2020.
（20）Takahiro Uchiya, Kodai Shimano, Ichi Takumi, “Design of Education Tool for Reinforcement-Learning Agent Developers”, Proc. of BWCCA2020, pp.454-462, 2020.
（21）木下智也, 打矢隆弘, “遺伝的アルゴリズムによる児童の送迎スケジュール最適化”, WiNF2020 講演論文集, 2020.
（22）打矢隆弘, 木下智也, “協働学習のためのグループ分けシステムの提案”，WiNF2020 講演論文集, 2020.

**採択番号：H30/A34**

# Ge-on-Insulator 基板上での メタル・ソース／ドレイン型 CMOS の実現

［1］組織
研究代表者：
中島 寛（九州大学ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝｾﾝﾀｰ）
通研対応教員：
櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
室田 淳一
（東北大学ﾏｲｸﾛｼｽﾃﾑ融合研究開発ｾﾝﾀｰ）
佐道 泰造（九州大学ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
王 冬（九州大学総合理工学研究院）
山本 圭介（九州大学総合理工学研究院）
茂藤 健太（九州大学ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝｾﾝﾀｰ）
温 偉辰（九州大学総合理工学研究院）
鹿子木 嘉城（九州大学大学院総合理工学府）
清水 昇（九州大学大学院総合理工学府）
菅田 桂輔（九州大学大学院総合理工学府）
丹 優太（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学府）
劉 森（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学府）

延べ参加人数：13 人

［2］研究経過

次世代の高性能集積回路には、Si 物性を遙かに凌駕する新材料の導入や材料物性に適した新規プロセスの導入等により、その物性を極限まで引き出し、高移動度チャネルを実現することが不可欠となる。その材料として本研究では、Si に比べて電子・正孔移動度が共に高い Ge に着目し、高性能 Ge CMOS（相補型 MOS）をメタル・ソース/ドレイン(S/D)型の MOSFET（金属-酸化物-半導体 電界効果トランジスタ）で実現することを目的として研究を行った。

3 年目である本年度は、Ge ゲートスタック（特に n-MOS)の高品質化と、高品質 Ge-on-Insulator (GOI) 構造の新規形成手法の開拓に注力した。

本研究は、代表者である九大・ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝｾﾝﾀｰの中島教授グループと、東北大・通研対応教員で分担者でもある櫻庭准教授・室田名誉教授との連携体制を敷いている。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

A. n-Ge 上ゲートスタックの高品質化

Ge ゲートスタックは Si のそれとは異なり、絶縁膜/Ge 界面欠陥（界面準位: $D_{it}$）だけでなく絶縁膜中欠陥（ボーダートラップ: $N_{bt}$）も多数存在している。我々は前年度までに、p-MOS のゲートスタック($Al_2O_3/GeO_x/Ge$)に関して、$GeO_x$ 界面層の厚さを調節することで、MOSFET 動作時にキャリア散乱中心として働くボーダートラップ密度をコントロールすることに成功している。またこれを応用し、特に実用上で重要となる、チャネルに高電界が印加された状態における正孔移動度の改善に成功している。しかし n-MOS に関しては、p-MOS と同じ構造では電子移動度の改善が不可能であったため、n-MOS に適したゲートスタックおよびその形成プロセスの探索が課題であった。本年度はこの課題に対して、従来より着目していた熱酸化 Y および Sc をゲート絶縁膜とした MOS についてより詳細な調査を行った。試料作製手順は、Ge 上に金属 Y または金属 Sc をスパッタリングによって成膜した後、酸素雰囲気で熱酸化(500℃)を行って $Y_2O_3$ および $Sc_2O_3$ としている。図 1 は n-Ge 基板上に形成した熱酸化 Y および熱酸化 Sc の容量-電圧($C$-$V$)特性(ゲート電極には Au を使用)である。いずれも周波数分散が抑えられた良好な特性が得られている。また、熱酸化 Y ゲートの $D_{it}$ は $10^{11}cm^{-2}eV^{-1}$ 台前半、$N_{bt}$ は $10^{18}cm^{-3}$ 前後と、n-MOS として高水準にあることが示された。今後 n-MOSFET の電子移動度向上が期待できる。

B. 高品質 GOI 構造の新規形成手法の開拓

Ge を実用化に供するためには、薄膜 Ge 結晶が絶縁膜を介して支持基板上に形成された GOI 構造が必須である。我々はこれまでに Si-on-Insulator (SOI) で実用化されている「Smart-Cut 法」にて GOI を試

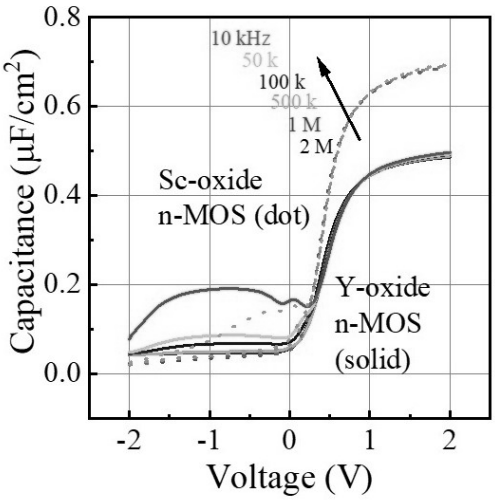



図 1. n-Ge 上の熱酸化 Y および熱酸化 Sc ゲート MOS キャパシタの *C-V* 特性.

作してきたが、その形成過程で導入される欠陥の除去が困難であった。そこで、新たなアプローチとして、SOI 研究開発の初期段階で検討されてきた、「基板貼り合わせとエッチングによる薄膜化（エッチバック）」による手法を新たに検討した（図 2(a)）。この手法を実現するためには、適切なエッチングレートを有し、GOI の表面平坦性を維持もしくは改善可能なエッチング方法を開拓しなければならない。検討の結果、フッ酸・過酸化水素・酢酸の混合溶液が必要な条件を満たしていることが分かった。この溶液を用いてエッチングした Ge 表面（非研磨面）は、市販の鏡面研磨 Ge 面と同等の平坦性を有している（図 2(b)）。実際に、Si 支持基板と Ge 基板を貼り合わせた後に、この溶液でエッチバックを行って作製した GOI 上に MOS トランジスタを試作したところ、良好な電気特性が得られている。今後、更なるプロセスの改善によって、様々な Ge 応用デバイスに供することができると考えている。

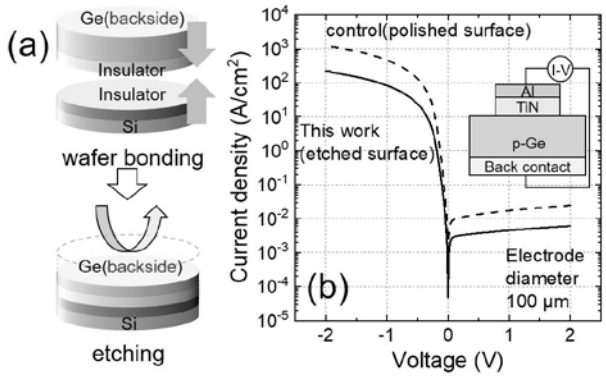



図 2. (a)貼り合わせとエッチバックによる GOI 作製の模式図. (b)エッチング面に形成した TiN/p-Ge ショットキーダイオードの *J-V* 特性.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

例年、本プロジェクトに関連した国際シンポジウムを開催しているが、今年度は新型コロナウイルス禍のため、例年のような会合を開くことが出来なかった。しかしながら、研究代表者と通研対応教員との間でメールベースの頻繁なやり取りは密に継続しており、すでに次年度以降の国際研究拠点形成に向けた申請や、共同研究実施に向けた取り組みをスタートさせている。

[4] 成果資料

(1) Wei-Chen Wen, Yuta Nagatomi, Hiroshi Akamine, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Interface trap and border trap characterization for $Al_2O_3/GeO_x$/Ge gate stacks and influence of these traps on mobility of Ge p-MOSFET, AIP Advances, 10 (2020), 065119.

(2) (Invited)Hiroshi Nakashima, Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Border-Trap Characterization for Ge Gate Stacks with Thin $GeO_X$ layer Using Deep-Level Transient Spectroscopy, ECS transactions, 98 (2020), No. 5, 395-404.

（3） Kenta Moto, Keisuke Yamamoto, Takashi Suemasu, Hiroshi Nakashima, Kaoru Toko, Sn Doping Effects in Solid-Phase Crystallized Ge Thin-Film Transistors, PRiME2020, D01-1353, 2020/10.

(4) Noboru Shimizu, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Isotropic Wet Etching and Improving Surface Flatness of Ge for Etchback Ge-on-Insulator Fabrication, PRiME2020, Late G-3772, 2020/10.

(5) H. Kanakogi, W.-C. Wen, K. Yamamoto, D. Wang, H. Nakashima, Thermally Oxidized Yttrium and Scandium Gate Dielectrics on Germanium with High Interfacial and Film Qualities, 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2020), 33-34, 2020/9/29.

(6) 清水 昇、山本 圭介、王 冬、中島 寛, エッチバック法を用いた Ge-on-Insulator 作製に向けたウェットエッチング法の検討, 2021 年第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 18p-Z24-4, 2021/3/18.

(7) (Invited)中島 寛、温 偉辰、山本 圭介、王 冬、DLTS 法による Ge ゲートスタック中のトラップ解析、第 26 回 電子デバイス界面テクノロジー研究会、2021/1/23.

**採択番号：H30/A37**

# 超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究

［1］組織

研究代表者：
金谷　晴一（九州大学大学院システム情報科学研究院）
通研対応教員：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
山下　慶樹（九州大学大学院システム情報科学府）
田﨑　航平（九州大学大学院システム情報科学府）
藤井　優貴（九州大学大学院システム情報科学府）

延べ参加人数：５人

［2］研究経過

通信トラフィックの増大に伴い、アクセスならびにインターフェースの高速無線化が喫緊の課題であり、国内外で「100Gbit/s 無線」に対するニーズが顕在化している。テラヘルツ波(THz, 300GHz～3THz)の利用は課題解決のための有力な解である。本研究テーマ「超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究」では、将来の大容量テラヘルツ通信を実現するため、アンテナ及び送受信回路を集積化するための基盤技術を確立することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった。前年度までに，末松　憲治 教授（東北大学電気通信研究所）、及び本良　瑞樹 助教（東北大学電気通信研究所）と共に、Global Foundries 社 45nm SOI (Silicon on Insulator)プロセスを用いて、集積回路基板上にテラヘルツ帯で動作する超広帯域平面アンテナの設計手法を確立し、1THz 帯で動作する平面アンテナの試作及び評価を行った。本年度は，前年度の成果を踏まえながら,45nm SOI プロセスにより、コプレーナ伝送線路の通過特性の試作・評価を行うとともに、平面アンテナのアレイ化を行い、試作・評価した。なお、高周波特性の評価には九州大学に現有する THz 帯プローブシステムを用いた。

以下，研究活動状況の概要を記す。

日時：令和２年 12 月 16 日（水）
場所：メール会議
参加者：末松　憲治、本良　瑞樹、金谷　晴一
打合せ内容：米国 Global Foundry 社に対する試作チップの評価状況に関する打合せ

日時：令和２年 12 月 21 日（月）
場所：メール会議
参加者：末松　憲治、本良　瑞樹、金谷　晴一
打合せ内容：45nm RF SOI-CMOS プロセスのテープアウト日程及び試作面積に関する打合せ

成果報告会：
日時：令和３年２月 18 日（木）
場所：東北大学電気通信研究所
参加者：末松　憲治、本良　瑞樹
発表内容：超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究発表（ポスター発表）

その他の打合せ：
電子メールによる打合せ（多数）
打合せ内容：
・試作レイアウトの提出、及びデザインルールチェックの実行に関する打合せ。
・試作チップのレイアウト配置に関する打合せ

［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，Global Foundries 社の 45nm SOI プロセスにおける、伝送線路の通過特性を検討した。後で説明する単方向スロットアンテナと整合性の高い構造とするために裏面メタル付きコプレーナ線路とした。設計には、九州大学が所有する三次元電磁界解析ツール(HFSS, ANSYS)を用いた。45nm SOI プロセスによる､デザインルールチェックは末松 憲治

教授､および本良 瑞樹 助教の協力により行われた。

伝送線路の測定においては、周波数逓倍器にT-Wave Probeを測定しオンウエハ測定を行う。アンテナの測定においては、周波数逓倍器にホーンアンテナを接続し送信機とした。

図１はコプレーナ線路のレイアウトと 45nm SOIプロセスにより試作した、コプレーナ伝送線路の写真である。図２は伝送線路の通過損失を示す。プローブの損失を差し引いた結果である。本測定系では840GHz～890GHz において発信器の出力が得られていないため、この部分は除外して考える。

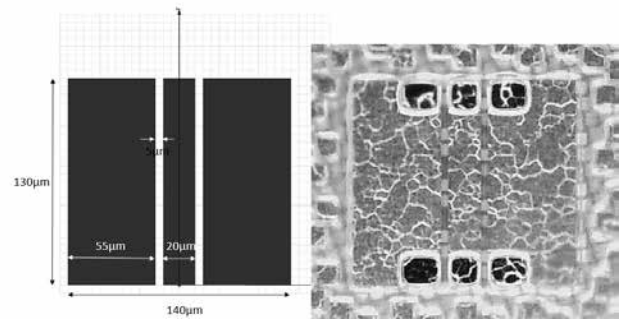



図１． 伝送線路のレイアウトとチップ写真

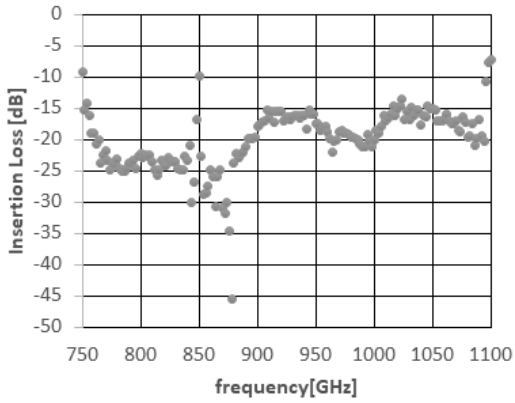



図２．CPW 伝送線路の通過特性の実測値

第２に広帯域平面型アレイアンテナの設計・評価である。図３にアレイアンテナの構造を示す。１素子のアンテナをｘ軸方向に２素子配列し、コプレーナ分岐線路で接続した。伝送線路をコプレーナ線路とすることで、トップメタルのみで分配線路が実現できるので､１次元のアレイ化が簡単に実現できる。また、アンテナの素子間距離を最適化することで、共振器のカップリング効果を利用して広帯域化を目指した。図４に受信電力を示す。アレイアンテナと１素子アンテナの両方で1THz 付近において電力を受信できていることが分かった。アレイアンテナでは1THz 付近で受信できている周波数帯域幅が約 40GHzであり､1THz 帯での動作するアレイアンテナが実現できた。

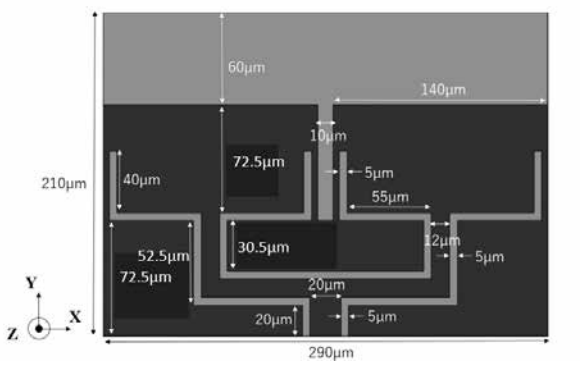



図3. 広帯域1x2アレイアンテナのレイアウト図

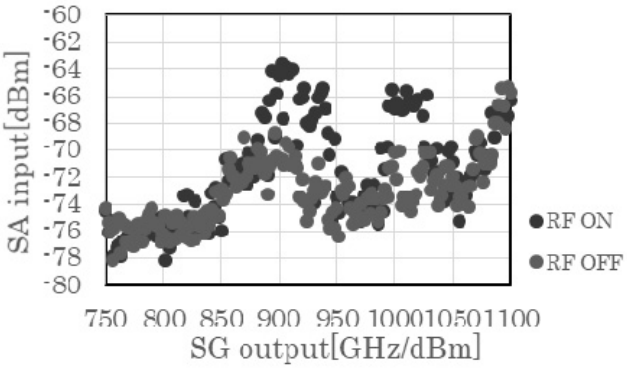



図4. 広帯域1x2アレイアンテナの受信電力特性

(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された Global Foundries社45nm SOIプロセスによる1THz単方向平面アレイアンテナの研究に関する成果は，下記の国際会議(2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology)、および国内学会にて発表した。特にプロセス分野やセンシング分野、および通信分野の研究者と活発な議論をすることができ、今後の異分野融合の研究分野への発展が期待できる。

[4] 成果資料

(1) (Invited) H. Kanaya, K. Tasaki, R. Takigawa, 1.0 THz One-Sided Directional Slot Antenna on 45 nm SOI CMOS, Proc. 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, 205-207, 2020.

(2) 田崎航平、多喜川 良、金谷晴一、テラヘルツ帯オンチップスロットアンテナの開発、２０２０年度(第７３回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会予稿集 p.238、2020.

(3) 田崎航平、多喜川良、金谷晴一、メージングデバイス用テラヘルツ帯オンチップスロットアンテナの開発、第 35 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2021.

**採択番号：H30/A38**

# 多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究

［1］組織
研究代表者：
吉田　賢史（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）
通研対応教員：
本良 瑞樹（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
石田　晃一郎(鹿児島大学大学院理工学研究科)
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
西川　健二郎（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：６人

［2］研究経過

5G と呼ばれる第 5 世代の移動通信システムについての研究開発が活発化してきている.5G においては，マッシブ MIMO (Multi Input Multi Output) や，キャリアアグリゲーション技術に加え，今までの 4G では使われていないミリ波帯通信についても検討されている. 5G 端末では，複数の無線通信システムを搭載し，適応的に切り替えるヘテロジーニアスネットワークの実現が期待されている．本提案では，従来のスマートフォンに，60 GHz 帯の通信システムを搭載した小型携帯端末の実現を見据え，60 GHz 帯のアンテナに着目する．端末の位置や向きによらず安定した通信を行うための 60 GHz 帯 3 次元指向性制御アンテナを提案し，試作および測定により 60GHz 帯における 3 次元指向性制御の実現性を示すことを目的とする.

本プロジェクトは，本年度が第３年度であり，最終年度であった。昨年度は，各サブアレイが２×２構成の場合に関する研究を行い，設計，測定に関する知見を得た．それらの成果を発展させ，今年度は大規模アレイアンテナへの発展を目論み，２方向のみであるが４×２アレイ構成へと発展させたアンテナ構造の実装及び測定を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

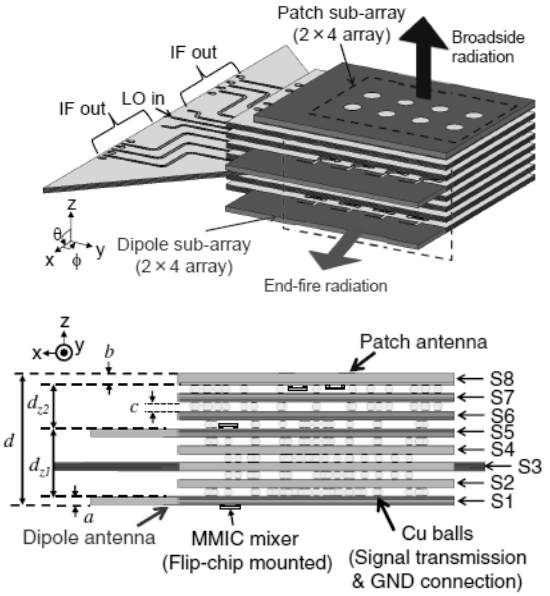



Fig. 1 The proposed antenna model having eight substrates.

［3］成果

**(3-1) 研究成果**

今年度は，４×２パッチアレイアンテナと，４×２ダイポールアレイアンテナ一体化したアレイアンテナ構成を新たに実装し，60 GHz における放射特性を測定により評価した.

図１は提案アンテナの全体構造を示す．最終目標のアレイアンテナ２つを実装した．最終目標達成には残り３つのサブアレイ実装が必要となるが，今後の課題とする．基板に対して水平及び垂直方向のメインビームを持つことで，図中の座標系に対してシータ方向のカバレッジエリア拡張が可能となる点が本アンテナ構造の新規性である.

図２は，試作した提案アンテナの写真である．多層基板８枚を，銅ボール接続技術により，高い歩留まりにて実装を成功させている．都合により１台分しか実装できなかったが，これまでの課題であった信号欠損は見られず完全動作を測定においてまず確認した．昨年度までの測定系を用いて，データ取得を行った.その後 MATLAB によりデータ処理を行って




Fig. 2 The fabricated antenna.

3 次元指向性パターンを得た．そのうちの６例を図３に示す．

図４は，各素子アンテナの給電位相差を 45 度刻みで全ての組み合わせの３次元指向性から，利得が 10 dBi 以上となる領域を塗りつぶした図である．この領域をカバレッジエリアと定義している．提案アンテナ設計時の３次元電磁界解析結果と測定結果を示している．多少の相違は見られるが，全体的な傾向は一致したことを確認できた．これらの成果は，[4]の（２）に採択された．

本報告書では２方向のみであるが，今後は昨年度同様５方向の指向性制御ができるアンテナ構造への発展を目指す．この構造が最終的な目標である．そのためには 56 ch の測定が必要であるが，これまで 28 ch や 32 ch までの測定実績しかない．実装歩留まりの影響も大きくなり，高い精度での実装作業が必要である．また１つの試作品を作るためにこれまでの２倍の IC が必要であることから，２倍の費用が必要となる．さらに測定のためには２倍のオシロスコープが必要となるなど，より資金面，技術面での高いハードルをクリアする必要がある．

**（特別支援（若手・国際・産学）に係る研究成果）**

本予算は，主に通研における実験を行うための出張旅費として活用した．本テーマの測定には，学会発表の出張に比べて多くの時間を要するため，宿泊費が多く必要となった．特別支援分の研究費（若手）により，1 週間程度の比較的長期の測定作業に対しても十分な旅費支給が可能となり，落ち着いてじっくりと実験に取り組むことができ，今回の成果創出につながった．

**(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など**

申請者は助教であり，比較的若手の研究者であるが，今年度新たに発足した若手研究者向けの JST の競争的資金公募である創発的研究支援事業に応募し，最終的に採択となった．本テーマとは直接的な関係はないが，本テーマで間接的に得られた知見やノウハウが生かされている．

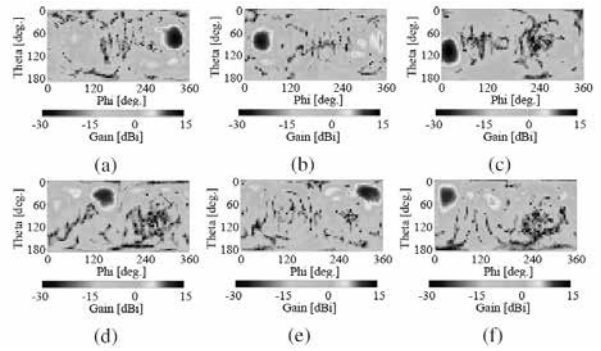



Fig. 3 Six examples of the measured 3D radiation patterns at 60 GHz.

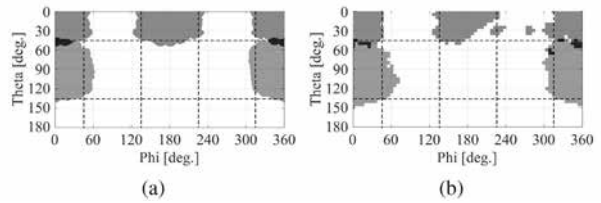



Fig. 4 Coverage area of the proposed antenna; (a) simulation and (b) measurement.

[4] 成果資料

(1) S. Yoshida, K. Nishikawa, and S. Kawasaki, “C-band frequency-tunable rectifier designed by HySIC concept utilizing GaAs MMIC and Si RFIC,” IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 30, no. 10, pp. 997-1000, Oct. 2020. doi: 10.1109/LMWC.2020.3020083.

(2) S. Yoshida. M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, and K. Nishikawa, “Expansion of the beamforming coverage area in an elevation plane for 60-GHz-band 3D beamforming,” IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. x, pp. xxx – xxx, March. 2021. (accepted) doi: 10.1109/LAWP.2021.3063098.

採択番号（Grant No.）：**H31/A01**

# Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures

［1］組織 (Research Organization)
University at Buffalo, SUNY, USA
研究代表者（Principal Investigator）：
Prof., Dr. MITIN, Vladimir
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Prof. OTSUJI Taiichi（RIEC, Tohoku Univ.）
研究分担者 (Project Member List)：
Assoc. Prof. SATOU Akira（RIEC, Tohoku Univ.）
延べ参加人数 (Total Number of Participants)：3 人

［2］研究経過 (Summary)

We have demonstrated [1-4] that heterostructures of graphene (G) with black phosphorous (b-P) and especially with an alloy of black phosphorous and arsenic (b-$P_xAs_{1-x}$) are efficient structures for super-luminescence, lasing and detection in THz and far infrared. Major results are highlighted below and more details can be found in four cited papers [1-4].

In addition, we published a book [5] that highlights and summarize results obtained during collaboration of the group led by Professor Otsuji Taiichi with different groups including the University at Buffalo (about 40% of the volume of the book). The book helps to promote results obtained on graphene-based terahertz electronics (THz) and plasmonics at RIEC.

［3］成果 (Results)

（3-1）研究成果 (Research Results)

The device models for the far-infrared and THz interband photodetectors (IPs) with the graphene-layer (GL) sensitive elements and the black Phosphorus (b-P) or black-Arsenic (b-As) barrier layers (BLs) was developed [1]. These GL/BL-based IPs (GBIPs) can operate at the photon energies smaller than the energy gap of the b-P or b-As or their compounds, namely, at the wavelength range 6 – 12 microns. The GBIP operation spectrum can be shifted to the terahertz range by increasing the bias voltage. The BLs made of the compounds b-$P_xAs_{1-x}$ with different $x$, enable the GBIPs with desirable spectral characteristics. Figure 1 shows the GBIP structure and band diagrams, Fig. 2 demonstrates responsivity and Fig. 3 shows control of the response frequency by applied voltage.

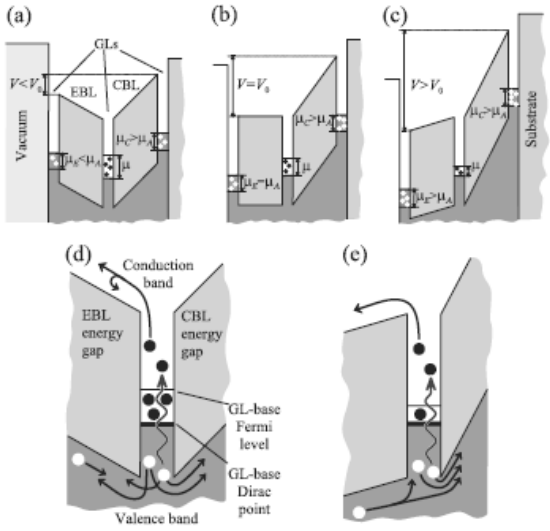



**Figure 1** The GBIP band diagrams (a) at relatively small ($V < V_0$), (b) $V = V_0$, and (c) high ($V > V_0$) bias voltages. Panels (d) and (e) show enlarged fragments of the device band diagrams demonstrating the processes of the holes (open circles) an electrons (black circles) transitions indicated by arrows. The wavy vertical arrow shows the electron transfer from the valence band in the GL to its conduction band due to the photon absorption

The GL doping level substantially affects the GBIP characteristics and is important for their optimization. A remarkable feature of the GBIPs is a substantial (over an order of magnitude) lowering of the dark current due to a partial suppression of the dark-current gain accompanied by a fairly high photoconductive gain.

Due to a large absorption coefficient and photoconductive gain, the GBIPs can exhibit large values of the internal responsivity.

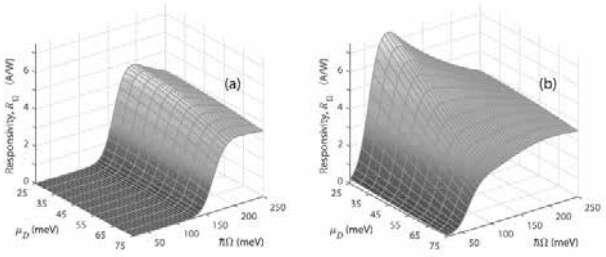



Figure 2 The GBIP responsivity versus the photon energy and Fermi energy (donor density in the GL-base) for (a) b-P BLs (Fermi energy $\mu_A = 100$ meV, tunneling voltage $dE_T = 3$ V, and applied voltage $V = 1$ V) and (b) b-As ($\mu_A = 50$ meV, $dE_T = 1$ V, and $V = 1$ V).}

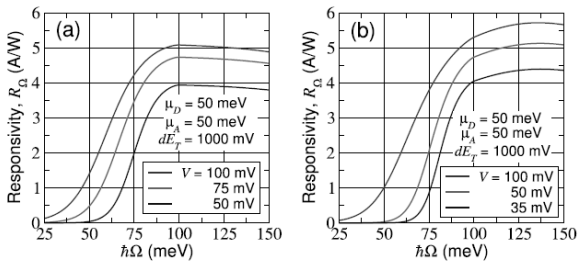



**Figure 3** Variation of the GBIP (with the b-As BLs) spectral characteristics with varying bias voltages V at (a) T= 300K and (b) T=200K.

Theory of terahertz superluminescent and laser diodes based on the injection pumping in the multiple graphene-layer (GL)/van der Waals barrier layers (BLs) heterostructures was developed [2]. The operation of such terahertz radiation sources is associated with the interband transitions in the gapless GLs under the population inversion leading to the GL negative dynamic conductivity. These devices use the lateral injection of holes and vertical injection of electrons. It is shown that such an injection have advantages over the lateral injection of the bipolar carriers. Due to relatively large conduction band offsets at the GL-BL interface, the population inversion at the vertical injection can be markedly hampered by the injection current heating of the two-dimensional electron-hole plasma in the GLs. We show that doping GLs and/or BLs can substantially diminish the carrier heating promoting the interband population. Numerical analysis assumed the BL material parameters of $MoS_2$ and $WSe_2$ and showed that the GL-based heterostructures with the BLs under consideration support sufficiently strong electron and hole injection and can be used in the THz superluminescent and laser diodes.

Figure 4 shows the device structure, band diagrams and electrons tunneling injection. Figure 5 demonstrates the spectral dependences of the ratio of the real part of the interband conductivity to the real part of the intraband conductivity for the GL–$MoS_2$ and GL-$WSe_2$ at 300 K for different value of the injection currents. It is clearly seen that there is a wide frequency range with a negative ratio where the interband radiative transitions from the GL conduction band to the valence band with the emission of photons (surface plasmons) surpass the intraband processes of the Drude absorption.

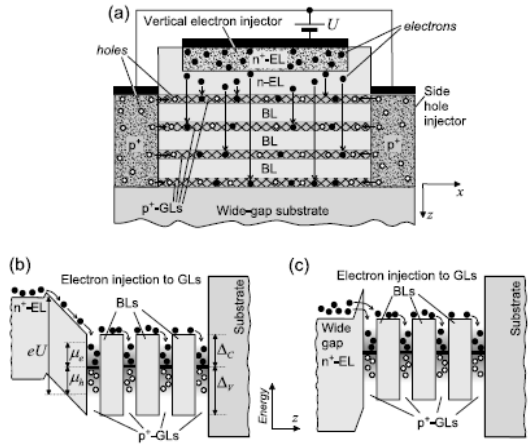



Figure 4. Schematic views of (a) the multiple-GL-based heterostructure with vertical injection of electrons and lateral injection of holes, (b) the energy band diagram of the heterostructures with the electron space-charge or electron scattering limited injection, and (c) with the electron tunneling injection.

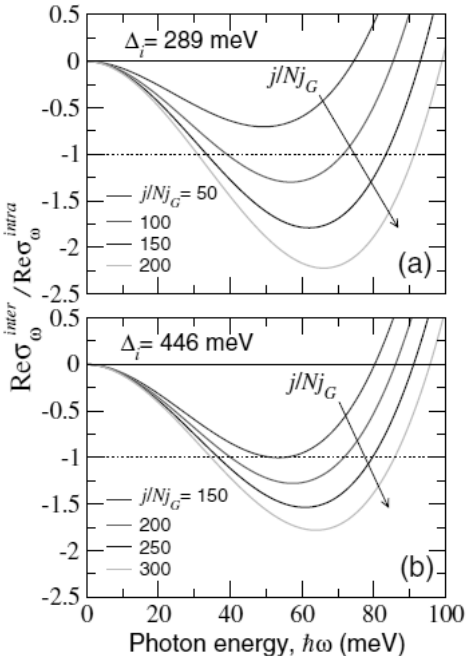



Figure 5. Spectral characteristics of the ratio of the real parts of the 2DEHP dynamic interband and intraband conductivities at different normalized injection currents for (a) GL-$MoS_2$ and (b) GL-$WSe_2$ heterostructures ($\mu_a$= 100 meV).

We propose the far-infrared and terahertz emitting diodes (FIR-EDs and THz-EDs) based on the graphene-layer/black phosphorus (GL/b-P) and graphene-layer/$MoS_2$ (GL/$MoS_2$) heterostructures with the lateral hole and vertical electron injection and develop their device models [3]. In these EDs, the GL serves as an active region emitting the FIR and THz photons. Depending on the material of the electron injector, the carriers in the GL can be either cooled or heated dictated by the interplay of the vertical electron injection and

optical phonon recombination.

We propose and developed theory of far-infrared photodetectors with the graphene nanoribbon (GNR) array as the photosensitive element and the black phosphorus (bP) base layer (BL) [4]. The operation of these GNR infrared photodetectors (GNR-IPs) is associated with the interband photogeneration of the electron–hole pairs in the GNR array followed by the tunneling injection of either electrons or holes into a wide gap bP BL. The GNR-IP operating principle is akin to that of the unitraveling-carrier photodiodes based on the standard semiconductors. Due to a narrow energy gap in the GNRs, the proposed GNR-IPs can operate in the far-, mid-, near-infrared and far-THz spectral ranges. The cut-off photon energy, which is specified by the GNR energy gap (i.e., is dictated by the GNR width), can be in the far-infrared range, being smaller that the energy gap of the bP BL of $\Delta_G \simeq 300$ meV. Using the developed device models of the GNR-IPs and the GNR-IP THz photomixers, we evaluate their characteristics and predict their potential performance. The speed of the GNR-IP response is determined by rather short times: the photocarrier try-to-escape time and the photocarrier transit time across the BL. Therefore, the GNR-IPs could operate as terahertz photomixers. The excitation of the plasma oscillations in the GNR array might result in a strong resonant photomixing.

Figure 6 shows examples of the modulation characteristics of responsivity $|R_\Omega^{\acute{\omega}}|$ normalized by $|R_\Omega|$ versus the modulation frequency $\omega/2\pi$. As seen from Fig. 6 the responsivity exhibit the maxima corresponding to the plasmonic resonance $\omega/\omega_p \sim 1$. The resonance effects are pronounced when the time $\tau$ is sufficiently long.

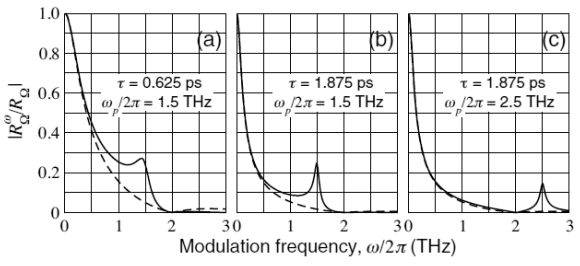



**Figure 6** The responsivity $|R_\Omega^{\acute{\omega}}|$ normalized by $|R_\Omega|$ versus themodulation frequency $\omega/2\pi$ for (a) $\omega_p/2\pi = 1.5$ THz and $\tau = 0.625$ ps, (b) $\omega_p/2\pi = 1.5$ THz and $\tau = 1.875$ ps, (c) $\omega_p/2\pi = 2.5$ THz and $\tau = 1.875$ ps. Dashed lines correspond to the modulation without the excitation of plasmonic oscillation.

（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)

In the collaboration the theory of new and efficient THz devices were developed. Also, just published by us book [5] highlights and summarize results obtained by the group led by Professor Otsuji Taiichi. This is an important contribution to terahertz devices in general and especially to plasmonic enhancement of device performance and it places the group of Prof. Taiichi Otsuji on the front line of world specialists in THz devices that operate at elevated temperatures. In our future research a special attention will be paid to enhancement of efficiency of graphene based devices and search for new operation principals

［4］成果資料 (Publications)

[1] "Far-infrared photodetectors based on graphene/black-AsP heterostructures," V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, Optics Express, Vol. 28, No. 2, p. 2480-2498, (2020) https://doi.org/10.1364/OE.376299.

[2] "Multiple graphene-layer-based heterostructures with van der Waals barrier layers for terahertz superluminescent and laser diodes with lateral/vertical current injection," V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V.E. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, and M.S. Shur, Semicond. Sci. Technol. Vol. 35, pp. 085023 (9pp) (2020), https://doi.org/10.1088/1361-6641/ab9398.

[3] "Far-infrared and terahertz emitting diodes based on graphene/black-P and graphene/MoS2 heterostructures," V. Ryzhii, M. Ryzhii, P.P. Maltsev, V. Karasik, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, Optics Express, Vol. 28, No. 16/3 (2020), pp. 24136-24151, https://doi.org/10.1364/OE.394662.

[4] "Far-infrared photodetection in graphene nanoribbon heterostructures with black-phosphorus base layers," M. Ryzhii, V. Ryzhii, P.P. Maltsev, D.S. Ponomarev, V.G. Leiman, V.E. Karasik, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, Optical Engineering, Vol. 60, No. 6 (2020), p. 082002, https://doi.org/10.1117/1.OE.60.8.082002.

[5] Book: "Graphene-based Terahertz Electronics and Plasmonics: Detectors and Emitter Concepts" editors V. Mitin, T. Otsuji and V. Ryzhii, Jenny Stanford Publishing, 2021, 995 pages, ISBN 978-981-4800-75-4 and 978-0-429-32839-8.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A02**

# 原子層物質活用高性能量子デバイス開発

［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

大塚 朋廣（東北大学　電気通信研究所）

研究分担者

澁田 靖（東京大学 大学院工学研究科）

小鍋 哲（法政大学 生命科学部）

宮内 雄平（京都大学 エネルギー理工学研究所）

延べ参加人数：70 人

［2］研究経過

原子オーダーの厚みを有する原子層物質は，優れた基礎物性を示すことから世界中で活発な研究が展開されている。特に，半導体的性質を有する原子層物質に関する研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは，これら原子オーダーの厚みをもつ半導体物質に関して，構造制御合成と新たな高性能量子デバイス応用を目的として研究を行った。

研究三ヶ年計画の二年度にあたる本年度は，半導体原子層材料であるグラフェンナノリボンに関して，量子デバイス化に向けで重要となる，量子特性制御と評価に特化した研究を行った。

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：令和３年３月 3-4 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 教育研究実験棟 306 講義室/オンライン

1. 「プラズマジェット照射によるアミノ酸分解・酸化とがん細胞殺傷応用研究」内田儀一郎[1], 竹中弘祐[2], 池田純一郎[3], 節原裕一[2]（[1]名城大学理工学部, [2]大阪大学接合科学研究所, [3]千葉大学大学院医学研究院）
2. 「網羅的定量プロテオミクスに基づくプラズマ生体作用の分子的解明」立川正憲（徳島大学 大学院医歯薬学研究部(薬学域)）
3. 「大気圧低温プラズマ照射が誘発する核酸損傷と細胞応答」栗田 弘史（豊橋技術科学大学 応用化学・生命工学系）
4. 「分子遺伝学的側面から見るプラズマによる細胞機能への影響」大学保一(東北大学 学際科学フロンティア研究所)
5. 「プラズマが細胞機能に与える影響のモデリング」村上 朝之（成蹊大学 理工学部）
6. 「活性種精密制御空気プラズマ源の開発とその応用」佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎（東北大学 大学院工学研究科）
7. 「プラズマ照射による植物病原菌・ウイルスの不活性化と植物免疫の調節」高橋英樹，安藤杉尋（東北大学 大学院農学研究科）
8. 「パルスパワーによる水面上プラズマの形成と環境浄化および農水分野への利用」高橋克幸（岩手大学理工学部，岩手大学次世代アグリイノベーションセンター）
9. 「プラズマから液相へ誘起される化学反応の数値解析」朽久保文嘉（東京都立大学 大学院システムデザイン研究科）
10. 「Plasma-assisted nanomaterial development」Goo-Hwan Jeong (Department of Materials Science & Engineering, Kangwon National University, Korea)
11. 「Graphene powder: from basic research to commercial applications」Yongfeng Li (The China University of Petroleum, China)
12. 「自己組織化単層膜を用いた界面フォノンエンジニアリングと高熱伝導率の複合材料の作製」許斌（東京大学 大学院工学系研究科）
13. 「新規1次元ナノ物質の創生: グラフェンナノリボン, カーボンナノチューブヘテロ，遷移金属ダイカルコゲナイド」鈴木 弘朗（岡山大学 大学院自然科学研究科）

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「原子層物質の合成と高性能量子デバイス応用」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，原子層物質の合

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半導体原子層材料であるグラフェンナノリボン(GNR)の量子デバイス応用を目的とし，研究を行った。その結果，以下に示す研究成果を得た。

I. 局所構造GNRの合成

グラフェンナノリボン(GNR)を量子デバイスとして活用するためには，GNR 中に量子構造を形成する必要がある。そこで，これまで我々が開発したプラズマCVDとニッケルナノバーを用いた独自のGNR合成手法を活用し，合成条件最適化によるGNRの精密構造制御合成を行った。その結果，GNR 成長に用いられるニッケルナノバーの長さを最適化することで，中心に極めて小さな局所構造をもつGNRが合成可能であることが明らかとなった。本研究で明らかにした最適ナノバー長は100〜200 nm であり，GNR 合成時のニッケルナノバー中に誘起されるプラトーレイリー(PR)不安定性の波長と同程度であることが判明した。つまり，ニッケルナノバー中における PR 不安定性波の“節”の部分からGNRが析出することで，GNR局所構造が形成されたと考えられる。

II. 局所構造GNRの量子物性評価

上記の手法で合成した局所構造を持つGNRの電気伝導特性を極低温下で測定した。なお，本測定は東北大学電気通信研究所の大塚研究室において行った。低温において，GNR 間を流れるソースードレイン電流($I_{ds}$)のソースードレイン電圧($V_{ds}$)，及びゲート電圧($V_{gs}$)依存性を測定した結果，特定の $V_{gs}$ と $V_{ds}$ の条件で $I_{ds}$ がオフになるクーロンブロッケード現象が観測された。さらに，そのオフ領域がダイヤモンド型を示すクーロンダイヤモンドが観測された。これは局所構造GNRが良好な量子ドットとして振舞っていることを示している。さらに驚くべきことに，クーロンダイヤモンドの外側に直線状の輝線が複数確認された。これは量子ドットにおける励起状態を反映した特性であることが知られている。また，この励起準位は20 K の高温状態でも安定に観測された。GNR において励起準位が観測されること自体も極めてまれな結果であり，さらに通常は数百mK程度の極低温でしか観測されない励起準位が20 Kもの高温で観測された本結果は，本手法で合成した局所構造をもつGNRが量子デバイス応用の実用化に大きな可能性を持つことを示した極めて重要な成果である。

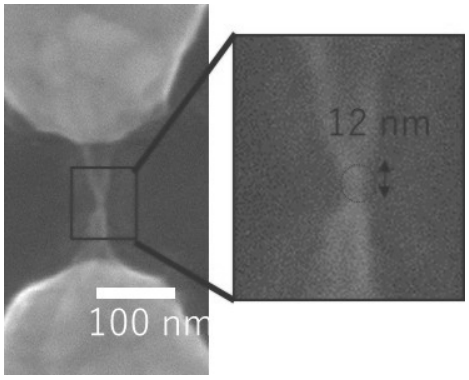



図1：局所構造GNRの走査型電子顕微鏡像。

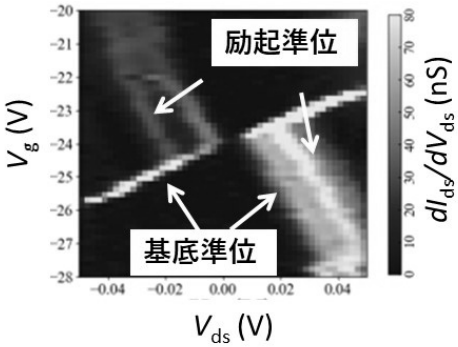



図2：局所構造 GNR で観測されたクーロンダイヤモンドと励起準位の特性。

（特別支援（若手）にかかる研究成果）

・タイプ：若手研究者対象型

特別支援分の研究費によりナノ材料科学とプラズマプロセス関連で活躍する研究者を集めた研究会を開催した。特にプラズマ材料プロセスを用いた最先端応用に関する意見交換を通じ，グラフェンやナノチューブ，原子層物質の合成と応用に関する重要な知見を得た。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究は，我々が独自の手法で合成したGNRにおいて，特筆すべき量子物性が発現することを明らかにした研究である。従来困難とされてきたGNR中励起準位の観測に成功し，さらにその励起準位が20 Kもの高温で安定に存在できることを示した本成果は，GNR を用いた量子デバイス応用の大きな可能性を示したものである。今後，本GNR量子デバイスを活用した量子演算の実証，および集積化を実現することで，GNR を活用した量子コンピューターの開発等への発展が期待される。

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A04**

# Si-Ge 系量子ドットの規則配列と電子輸送制御に関する研究

［1］組織

研究代表者：
宮﨑　誠一（名古屋大学大学院工学研究科）

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

延べ参加人数：8 人

［2］研究経過

従来理論検討に留まっているセル・オートマトンや量子コンピュータに代表される量子情報処理デバイスの開発は、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、少数電子系の量子物性が顕在化する Ge コア／Si シェル構造を持つシリコン-ゲルマニウム系半導体量子ドット（シリコン系スーパーアトム構造）の多重連結構造を形成する上で必須となる、ドットを一次元、二次元および三次元に高密度・近接規則配列するためのプロセス技術を開発する。これにより、ドット間距離と配置パターンを精密制御して形成したドット多重連結構造において、ドット間の結合状態（波動関数の重ね合わせ状態）やクーロン相互作用を反映した荷電状態や電子輸送現象を明らかにし、シリコンプラットホーム上での実現が期待されている量子情報処理デバイスへ展開する。

初年度の研究では、$SiO_2$ 膜表面の OH 結合終端領域に、Si 量子ドットを同一基板内の酸素終端領域に対して選択比~58 で選択成長させることができ、さらに~50nm 幅の OH 終端領域において、SiGe 量子ドットを一次元配列することに成功した。2 年度目は、Si 系量子ドットで生じる離散化した帯電状態の理解とその制御に向け、縦積み連結ドットを低密度形成し、個々の連結ドットにおける帯電状態および連結ドット内での電荷移動を AFM/ケルビンプローブモードにより評価した結果、縦積み連結ドットの上部ドットに単一電子注入した場合、一旦上部ドットにおいて保持された後、下部ドットに移動し、下部ドット内で安定保持されることを明らかにした。

また、2 年次目は、本共同プロジェクトを推進するために、Web 会議（５回）実施し、共同研究分担体制を築くと共に、本プロジェクト分担者の室田淳一名誉教授が中心的に組織・運営した"PRiME 2020 ECS Meeting (10 月 4 日-9 日、on-demand digital platform)での講演や意見・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

**自己整合一次元連結 Si 量子ドットの局所帯電評価**

熱 Si 酸化膜上に自己組織化形成した Si 量子ドット上に、$GeH_4$-LPCVD の反応初期過程を精密制御して Ge を選択成長させた後、同一チャンバ内で熱酸化・高温熱処理を施し、その後 $SiH_4$-LPCVD を行うことで、自己整合的に縦積連結した Si 量子ドットが形成できる。本研究では、低密度形成した縦積み連結ドットにおいて、電子注入後における帯電状態を AFM/KFM により定量評価した。

具体的には、p-Si(100)基板上に 1000°C、2%$O_2$ で膜厚~3.8nm の $SiO_2$ を形成後、$SiH_4$ ガスの LPCVD により Si 量子ドットを自己組織的に形成した。その後、$GeH_4$-LPCVD により Si 量子ドット上に Ge を選択成長した後、大気圧で Ge/Si 量子ドットを熱酸化した。引き続き、高温真空熱処理により、Si 量子ド

ットの核形成サイトとなるSi熱酸化膜表面のOH基の熱脱離およびGe酸化物の揮発特性を利用したGe酸化膜の薄膜化を行った後、再度$SiH_4$-LPCVDにより二層目のSi量子ドットを自己整合形成し、表面熱酸化を行うことにより、縦積み連結したSi量子ドットを形成した。最後に、裏面コンタクト電極を真空蒸着により形成した。比較として、同じ酸化膜上に$SiH_4$-LPCVDにより単一Si量子ドットも形成した。

導電性AFM探針にTipバイアス-1.5Vを印加して、孤立形成した連結ドット(200nm×200nm$^2$ の領域内)を表面走査した後の表面電位像には、Tip からドットへの電子注入に起因した負帯電(電位変化量：-150mV)が認められた。一方、単一Si量子ドットでは、同条件で表面電位を計測した場合、表面電位変化量は-40mV 程度であった。単一ドットにおいて、等価回路を用いて電位変化量から見積もった保持電子数は1個であることから、連結ドットにおける大幅な電位変化量の増大は、2 層目のドットへの単電子注入・保持を示唆する。電子注入後、表面電位像の経時変化を測定した結果(Fig. 1)、連結ドットにおける負帯電領域の表面電位は、25分程度までは安定に保持されるものの、30分後の測定では、-50mVに低減しており、その後80分以上安定であることが分かった。これに対し、単一Si量子ドットでは、電子注入後における初期表面電位変化量が安定に保持される。これらの結果から、連結ドットにおける表面電位の経時変化は、電圧印加直後に表面側の上層ドットへ注入された電子が一時的に保持されるものの、チャージングエネルギーがより低い基板側の下層ドットへ移動して安定化する結果として解釈できる。

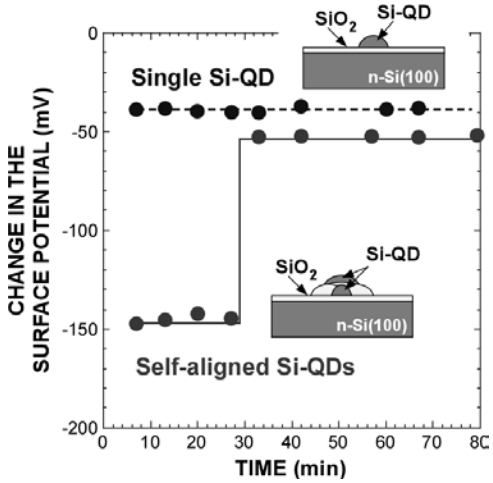



Fig. 1 Temporal changes in surface potential after electron injection into self-aligned Si-QDs and single Si-QD on ~3.8 nm-thick $SiO_2$/p-Si(100) after applying tip bias at -1.5 V.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで得られた成果は、電子相関を動作原理とした量子演算ユニットの開発に具体的な指針を与える。

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）新林 智文、竹本 竜也、牧原 克典、大田 晃生、池田 弥央、宮崎 誠一、「グラフェン上部電極を用いた Si 量子ドット多重集積構造からの電界電子放出 ―コレクタ電極電圧依存性評価」 2020 年 第81回応用物理学会秋季学術講演会, 9a-Z21-11, (オンライン開催 (Zoom), 2020年9月8日-11日)

（2） [招待講演] 牧原 克典、宮崎 誠一、「Si-Ge系ナノドットの高密度集積と光・電子物性制御」、阪大 CSRN 第二回異分野研究交流会 ~半導体ナノカーボン系~、オンライン、2020年8月28日

（3）T. Niibayashi, T. Takemoto, K. Makihara, A. Ohta, M. Ikeda, and S. Miyaaki, “Electron Field Emission from Multiply-Stacked Si Quantum Dots Structures with Graphene Top-Electrode,” PRiME 2020 (ECS, ECSJ, & KECS Joint Meeting), G03-1760 (on-demand digital platform, October 4-9, 2020)

共同プロジェクト研究

採択番号（Grant No.）：**H31/A05**

# Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures


［1］組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator)：

Prof. Oleg A. Tretiakov (UNSW, Sydney)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：

Prof. Shunsuke Fukami

研究分担者 (Project Member List)：

Samik DuttaGupta (CSIS, Tohoku Univ.)

Aleksandr Kurenkov (ETH Zürich)

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：4 人


［2］研究経過 (Summary)

➢ Motivation:

The future of electronics is focused on the realization of high-speed and low-power consuming intelligent computing architectures[1,2]. The absence of a net magnetic moment, intrinsic ultrafast dynamics, and ultra-high packing density entail promising characteristics useful for non-volatile antiferromagnet (AFM)-based memories[3-5], multi-level analog bit cell for neuromorphic applications[6], AFM/ferromagnet (FM)-based neuron and synapses[7] and skyrmion-based computing[8]. One of the pertinent questions for the realization of AFM spintronics concerns electrical control of antiferromagnetic moments without macroscopic magnetization.

➢ Purpose and scientific significance:

Mn-based binary metallic alloys (ex. PtMn, IrMn, etc.) correspond to a class of material, broadly utilized in spin-valve structures owing to its beneficial functionalities. We demonstrate electrical writing of information in polycrystalline AFM/non-magnet (NM) PtMn/Pt structures. Electrical measurements show a deterministic reversal of the antiferromagnetic Néel vector in the metallic AFM PtMn. A comparison of electrical measurements of AFM structures with/without NM layer along with the PtMn thickness ($t_{PtMn}$) dependence clarifies the underlying role played by spin-orbit torques (SOTs). The present experimental results demonstrate the prospect of metallic AFMs for antiferromagnetic spintronics.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

➢ Experimental details:

We utilize sub./Ta(3)/Pt(3)/MgO(2)/$Pt_{0.38}Mn_{0.62}$($t_{PtMn}$)/Pt(5)/Ru(1) structures (PtMn(10)/Pt, hereafter), deposited by magnetron sputtering on highly resistive Si substrates (numbers in parentheses denote the nominal thicknesses in nm). The results from PtMn($t_{PtMn}$)/Pt are compared to sub./Ta(3)/Pt(3)/MgO(2)/$Pt_{0.38}Mn_{0.62}$($t_{PtMn}$)/Ru(1) (PtMn(10)/Ru, hereafter) reference structures. The deposited films are patterned into star-shaped structures by photolithography and Ar-ion milling and subsequently annealed at 300 ° C for 2 hours. Figures 1(a), (b) show the schematics of writing procedure under the application of orthogonal write current pulses ($I_{1,2}$). We utilize spin-Hall magnetoresistance effect[9] and measure transverse voltage ($V_{DC}$) after each $I_{1,2}$ pulse, enabling us to detect changes in the Néel vector under the application of current (Fig. 1(c)).

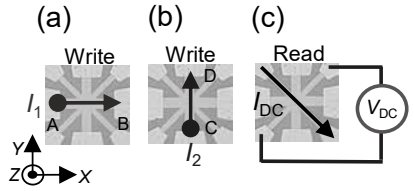



Fig. 1: (a), (b) Optical micrograph of the star-shaped device structure and schematic diagram of the measurement. Write currents $I_{1,2}$ is sourced along the paths from A(C) to B(D), respectively. (c) Reading is achieved by measuring transverse Hall voltage ($V_{DC}$) under the application of read current ($I_{DC}$).

➢ Results of electrical measurements:

Figure 2(a), (b) shows the experimental results of electrical writing of information in PtMn(10)/Pt and PtMn (30)/Pt structures for different current

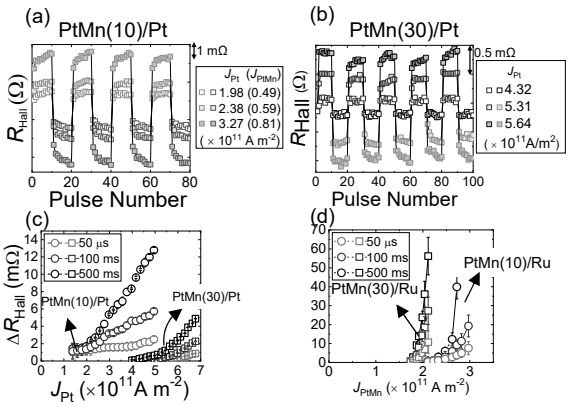



Fig 2: (a), (b) Experimental results of current-induced switching of PtMn(10)/Pt and PtMn (30)/Pt structures, respectively. (c), (d) Dependence of the change in Hall resistance ($\Delta R_{Hall}$) as a function of write current densities $J_{Pt}$ and $J_{PtMn}$ for PtMn(10 or 30)/Pt and PtMn(10 or 30)/Ru structures, respectively, for various pulse widths $\tau_P$ = 50 μs, 100 ms and 500 ms.

amplitudes at a constant pulse width of 500 ms. Application of $I_1$ pulse results in a high-resistive state while $I_2$ results in a low-resistive state. This bi-stable nature of $R_{Hall}$ persists over for different pulse amplitudes, demonstrating the intrinsic nature of the observed behavior. To capture the dynamics of current-induced switching, we summarize $J_{Pt}$ or $J_{PtMn}$ dependence of the change in Hall resistance ($\Delta R_{Hall}$) for PtMn($10 \leq t_{PtMn} \leq 30$)/Pt and PtMn($10 \leq t_{PtMn} \leq 30$)/Ru (Figures 2(c), (d), respectively). For both structures, an increase of write current density ($J_{Pt}$ or $J_{PtMn}$) or $\tau_P$ results in an increase of $\Delta R_{Hall}$ indicating an increased degree of antiferromagnetic Néel vector manipulation. An increase of $t_{PtMn}$ for PtMn/Pt results in a decrease of $\Delta R_{Hall}$ whereas showing an opposite behaviour for PtMn/Ru. The former trend is expected from switching of the antiferromagnetic Néel vector by SOTs from the HM layer while the latter is likely from several origins, magnetic or non-magnetic. Our experimental results demonstrate the possibility of current-induced switching of antiferromagnetic PtMn with relatively low current densities of ~ $10^{11}$ A $m^{-2}$ from dc to μs pulses, relevant for AFM-based future spintronic devices.

(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.)**

The utilization of AFMs as multifunctional components of spintronics is an attractive field of research owing to its prospect for non-volatile antiferromagnetic memories and neuromorphic computers, complementing current FM-based architectures. In this project, we have demonstrated reproducible electrical writing of information in a polycrystalline AFM metal/NM structure from dc to μs regime. Our experimental results also indicate the capability of long-term data retention owing to the large intrinsic thermal stability factor of this AFM metal. The obtained results offer the introduction of a new candidate material in the antiferromagnetic spintronics family. Experiments combined with theoretical calculations have identified new routes towards the maximization of switching efficiencies in these metallic structures. Moreover, experiments on current-induced switching in nanoscale polycrystalline PtMn/Pt structures will be crucial for the development of AFM-based spintronic devices. We believe that our results will initiate further research for the utilization of metallic AFMs for antiferromagnetic spintronics.

References:

1. S. Fukami, S. DuttaGupta *et al.*, Nature Mater. 15, 535 (2016).
2. V. Baltz *et al.*, Rev. Mod. Phys. 90, 015005 (2018).
3. P. Wadley *et al.*, Science 351, 587 (2016).
4. K. Olejník *et al.*, Nature Commun. 8, 15434 (2017).
5. S. DuttaGupta *et al.*, Appl. Phys. Lett. 111, 182412 (2017).
6. W. A. Borders *et al.*, Appl. Phys. Express 10, 013007 (2017).
7. A. Kurenkov, S. DuttaGupta *et al.*, Adv. Mater. 31, 1900636 (2019).
8. J. Barker and O. A. Tretiakov, Phys. Rev. Lett. 116, 147203 (2016).
9. S. DuttaGupta *et al.*, Appl. Phys. Lett. 113, 202404 (2018).

[4] 成果資料 **(Publications)**

1. S. DuttaGupta *et al.*, Spin-orbit torque switching of an antiferromagnetic metallic heterostructure, Nature Communications **11**, 5715 (2020).

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A06**

# 2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピン輸送機構解明と高効率磁化反転素子の開発

［1］組織

研究代表者：

磯上　慎二（物質・材料研究機構）

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：

浅野　秀文（名古屋大学 工学研究科）

末益　崇　（筑波大学 数理物質系）

角田　匡清（東北大学 工学研究科）

古門　聡士（静岡大学 工学部）

羽尻　哲矢（名古屋大学 工学研究科）

伊藤　啓太（東北大学 金属材料研究所）

延べ参加人数：18 人

［2］研究経過

磁気記録デバイスなどの高速化・省エネルギー化に関する研究は，近年ますますその重要度を増している。本プロジェクトでは，超高速・省エネルギー素子を実現するため，遷移金属磁性元素に窒素などの軽元素を添加した新しいスピントロニクス材料の創成，試作素子における磁化反転の実証，第一原理計算と理論モデルを併用した磁気輸送特性の微視的理解を目的として，研究を実施した。

本プロジェクトは，本年度が第 2 年度であった。前年度は，遷移金属窒化物薄膜の構造歪みと低温での異方性磁気抵抗の関連の解明，遷移金属窒化物を用いた素子における磁気構造の反転閾値電流密度の低減，遷移金属窒化物細線における高速磁壁移動の実証といった研究成果を得た。そこで本年度は，前年度の成果を踏まえて，軽元素を含む遷移金属化合物薄膜におけるスピン輸送特性と磁化ダイナミクス機構の解明に向けた研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。本年度は新型コロナウィルス感染症の拡大防止の観点から，対面で研究打合せ等を実施することができなかったため，本プロジェクトに参加している研究者が所属機関において研究を遂行した。なお，成果報告会を令和 3 年 3 月 5 日にオンラインで開催した(参加者 18 名)。

［3］成果

(3-1) 研究成果

マンガン窒化物による低飽和磁化・高熱電能の実現

近年、磁化を持たない反強磁性体における高い異常ネルンスト熱電能が報告されている。さらに熱流センサ等への応用を想定した場合、一軸異方性が高く、飽和磁化が小さい特性が望まれている。フェリ磁性体であるマンガン窒化物 $Mn_4N$ は垂直磁気異方性および一般の強磁性体より小さい飽和磁化を有することから有力な候補と考えられる。異常ネルンスト熱電能を評価したところ室温で 0.5 μV/K が得られた。これは同じくフェリ磁性体である Mn-Ga 系薄膜の約 5 倍である。また、低飽和磁化、高垂直磁気異方性材料系における比較的高い熱電能の観点では、従来に無い材料アプローチである。異常ホール伝導度、横熱電係数の第一原理計算、温度依存性の実験結果解析を詳細に行ったところ、$Mn_4N$ の異常ネルンスト熱電能は潜在的に約 10 倍の向上が見込まれることが判った。(磯上慎二)

フェリ磁性体 $Mn_4N$ 薄膜の超高速電流駆動磁壁移動

フェリ磁性体では，副格子を構成するスピン角運動量の総和が消失する補償点において，磁壁の移動速度が発散すると期待される。そこで前年度は $Mn_{4-x}Ni_xN$ 膜を取り上げて，X 線磁気円二色性(XMCD)測定により，$x$ = 0.1 と 0.25 の間で磁化補償が生じることを明らかにした。そこで本年度は，磁化補償点近傍で Ni 組成を変えた試料を作製し，電流駆動磁壁移動速度を測定した。その結果，磁壁の移動速度は最大 3,000 m/s に達した。これはスピン移行トルクのみによる磁壁移動速度として室温で最大の値である。また，磁化補償組成の前後で，磁壁の移動方向が反転することも明らかにした。磁化補償前後の Ni 組成で，Mn の磁気モーメントの方向が反転することを XMCD により確認している。第一原理計算によりフェルミ準位近傍では面心に位置する Mn(II)原子の寄与が大きいことが分かっており，Mn(II)原子の磁気モーメントの反転が，磁壁の移動方向の逆転の原因と考えている。(末益 崇)

FeNiNの脱窒素熱処理による$L1_0$-FeNi薄膜作製

分子線エピタキシー法により、$SrTiO_3$(001)基板上に膜面直方向に$a$軸配向したFeNiN薄膜を成長し、アニール炉内で$H_2$ガスを用いた脱窒素熱処理を行うことで、$L1_0$-FeNi薄膜を作製した。構造および磁気特性評価の結果、$L1_0$-FeNiは膜面直方向に$a$軸配向しているが、膜面内方向で$c$軸(磁化容易軸)が直交した2つのバリアントが存在する。成膜温度350℃の試料で、先行の報告を大幅に上回るFe-Ni長距離規則度 $S = 0.87$ と一軸磁気異方性エネルギー$K_u = 5.9\times10^5$ J/m$^3$を実現した。断面透過型電子顕微鏡により観察されたバリアントの大きさは数nmであり、$L1_0$-FeNiの交換結合長と同程度であることから、各バリアントが有する実際の$K_u$は実験値を上回ることが示唆された。(伊藤 啓太)

ノンコリニア反強磁性体$Mn_3GaN$薄膜の輸送特性

前年度は低磁場領域での非線形なホール効果の観測にとどまっていたが，本年度はノンコリニア反強磁性体 $Mn_3GaN$ 薄膜の輸送特性評価を高磁場まで行い，初めて異常ホール効果の観測に成功した。また，異常ホール効果が観測された $Mn_3GaN$ 薄膜と重金属の積層膜においてスピン軌道トルク測定を行った。磁気構造の反転電流密度の重金属依存性，パルス幅依存性，パルス電流印加後の減衰の評価を行って，パルス印加に伴うジュール熱の影響はあるものの，その影響は小さく，スピン軌道トルクが重要な役割を果たしていることを明らかにした。(羽尻 哲也，浅野 秀文)

スキルミオン候補物質$Fe_{2-x}Pd_xMo_3N$薄膜の輸送特性

反応性マグネトロンスパッタリングによりエピタキシャル成長した $Fe_{2-x}Pd_xMo_3N$ 薄膜の作製に成功した。トポロジカルホール効果の観測に加え，ローレンツ電子顕微鏡観察により，直径60 nmと小さなスキルミオンが室温で実現していること，温度誘起のスピン再配列による2種類のスキルミオンが存在することを実証した。(羽尻 哲也，浅野 秀文)

強磁性Ni-Fe合金薄膜の横異方性磁気抵抗効果

フォノン散乱による伝導電子の平均自由行程よりも薄い膜厚の強磁性単結晶薄膜を用い，膜面垂直通電(CPP)横異方性磁気抵抗(TAMR)効果によって，大きな磁気抵抗変化率を引き出す新たな強磁性薄膜材料を開発することを目的に，Ni-Fe 合金単結晶薄膜の各種結晶方位に関するTAMR効果の計測を5 K～300 Kの温度範囲にて行った。W. Döring の現象論的表式における TAMR 係数の温度依存性ならびに組成依存性を決定し，Ni-Co 合金単結晶の AMR 係数と比較した。また，これまでに構築した電子論に基づく理論モデルから，インバー組成におけるTAMR比の低下が，フェルミ準位におけるd軌道状態密度のスピン分極低下に対応すると考えられる。(角田 匡清)

結晶場を考慮した横異方性磁気抵抗の理論構築

本年度は，強磁性体の横異方性磁気抵抗(TAMR)比をs-d散乱過程を含む電子散乱理論を用いて調べた。d軌道の波動関数は，交換分裂エネルギー，スピン軌道相互作用及び結晶場エネルギーを持つd軌道ハミルトニアンに厳密対角化を適用して求めた。その結果，TAMR比は立方対称結晶場系では4回対称成分，正方対称結晶場系では4回対称と2回対称の成分からなった。また，$Fe_4N$では4回対称と2回対称の両成分が実験で観測されており，この実験結果は正方対称結晶場に対する計算結果とよく対応した。特に低温域での2回対称成分の増大は，正方歪みの増大によることが確認された。(古門 聡士)

(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，軽元素を含む遷移金属化合物薄膜において世界最高速の磁壁移動や低閾値電流密度でのノンコリニア磁気構造の反転を実証した。今後，添加された軽元素の役割を微視的に解明することにより学術的な知見の深化に貢献するとともに，超高速・省エネルギースピントロニクス素子の革新をもたらすと期待される。

[4] 成果資料

(1) S. Isogami, K. Masuda, Y. Miura, N. Rajamanickam, and Y. Sakuraba, Appl. Phys. Lett. **118**, 092407 (2021).
(2) H. Mitarai, T. Komori, T. Hirose, K. Ito, S. Ghosh, S. Honda, K. Toko, L. Vila, J-P Attane, K. Amemiya, and T. Suemasu, Phys. Rev. Mater. **4**, 094401 (2020).
(3) S. Ghosh, T. Komori, A. Hallal, J. Pena Garcia, T. Gushi, T. Hirose, H. Mitarai, H. Okuno, J. Vogel, M. Chshiev, J.P. Attane, L. Vila, T. Suemasu, and S. Pizzini, Nano Lett. **21**, 2580 (2021).
(4) K. Ito, M. Hayashida, H. Masuda, T. Nishio, S. Goto, H. Kura, T. Koganezawa, M. Mizuguchi, Y. Shimada, T. J. Konno, H. Yanagihara, and K. Takanashi, Appl. Phys. Lett. **116**, 242404 (2020).
(5) B. W. Qiang, N. Togashi, S. Momose, T. Wada, T. Hajiri, M. Kuwahara, and H. Asano, Appl. Phys. Lett. **117**, 142401 (2020).
(6) T. Hajiri, H. Goto, and H. Asano, Phys. Rev. B **102**, 014404 (2020).
(7) S. Kokado and M. Tsunoda, Mater. Today: Proc. **33**, 1864-1868 (2020).

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A07**

# 量子検出のための高Q値マイクロ波共振器に関する研究

［1］組織
研究代表者：
猪股 邦宏（産業技術総合研究所）
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：
神代 暁（産業技術総合研究所）
石野 宏和（岡山大学大学院自然科学研究科）
寺井 弘高（情報通信研究機構）
牧瀬 圭正（国立天文台）
日高 睦夫（産業技術総合研究所）
水柿 義直（電気通信大学）
美馬 覚（理化学研究所）
明連 広昭（埼玉大学）
吉川 信行（横浜国立大学）
藤巻 朗（名古屋大学）
野口 卓（国立天文台）

延べ参加人数：15 人

［2］研究経過

超伝導マイクロ波共振器の研究・開発は、近年、その重要性が増している。万能型量子コンピュータの本命として考えられている物理系は超伝導であり、特に、量子ビットの状態を読み出す回路には超伝導マイクロ波共振器が用いられている。一方、電波天文学、材料物性、医療などの分野においてあらゆる波長帯の電磁波を単一光子レベルで高精度に検出することが重要な課題となっているが、このような量子の検出にもやはり超伝導マイクロ波共振器は欠くことのできないデバイスとなっている。このように、超伝導マイクロ波共振器は「量子」を検出するための非常に高感度な検出器として利用されており、量子コンピュータを構成するための重要な要素としてだけではなく、X線天文学における衛星搭載用撮像素子やX線分析用エネルギー分光装置等の検出器にも組み込まれており、研究分野の垣根を越えて様々な用途に応用可能なデバイスとなっている。

このような超伝導マイクロ波共振器では共振器の内部Q値が重要な性能指数として議論される。この値は、共振器の内部損失を与えるパラメータである。超伝導であっても、共振器内部に蓄えられたマイクロ波パワーが有限の内部損失により消失することが知られてきたが、これまでの研究によってこの内部損失は誘電体損が主要因であることが突き止められている。一方、この内部Q値は超伝導体薄膜の質とも密接に関連していることが最近の研究から指摘されているものの、その関連性や各種パラメータとの相関は解明されておらず、超伝導マイクロ波共振器の内部Q値の更なる改善のためには、材料工学からのアプローチも急務となっている。超伝導マイクロ波共振器における内部Q値の改善は、量子ビットの寿命の改善や検出器における集積度の向上、SN 比の改善につながり、これらの研究分野の更なる発展をもたらす。本研究プロジェクトでは、超伝導エレクトロニクス、超伝導材料、超伝導量子物理の研究者を集め、様々な切り口、特に、材料学的な視点から超伝導マクロ波共振器における内部Q値の飛躍的な改善にアプローチし、この分野における更なる発展と新たな応用分野の開拓を目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が採択2年度目であった。前年度は、プロジェクトの始動にあたり国内各研究機関の研究者の英知を集めた技術討論を行うべく、2019年10月9、10日の二日間にわたって、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東北大学にて開催し、研究成果発表に対する活発な議論がなされた。今年度も昨年度に引き続き、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で通研共同プロジェクト会議研究会を開催したが、コロナ禍の影響でWebによるオンライン会議となった。会議では、招待講演2件の他、磁性ジョセフソン接合を含む超伝導量子ビット、超伝導体中残留準粒子の非線形伝導、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器、断熱量子パラメトロンに関する9件研究発表が2020年11月25、26日の二日間にわたり行われた。研究会には約30名の参加が有り、進歩著しい研究成果発表に対する活発で密度の高い意見交換がなされ、有意義な研究会となった。

［3］成果

(3-1) 研究成果

今年度開催された研究会のトピックスを以下に記述する。

横浜国立大学の弘中らは、超伝導 Josephson 論理回路に適合する大規模メモリを実現するため CMOS メモリを本論理回路と組み合わせて用いる Josephson-CMOS ハイブリッドメモリ開発を行った。試作した評価回路の測定において、$10^{-12}$ 未満のビットエラーレートが動作周波数 2 GHz において得られたことを報告した。

電気通信大学の曽明らは、超伝導 D/A 変換器の電圧増幅器に使用される超伝導電圧増倍回路 Double-Flux-Quantum Amplifier (DFQA)の最大動作周波数向上に関する報告を行った。20 倍の電圧増幅率が得られるよう 19 段接続の DFQ をレイアウトし、液体ヘリウム温度における評価の結果、正極性、負極性入力に対しそれぞれ 70.9 GHz、61.1 GHz の入力周波数まで 20 倍の利得を確認した。

岡山大学の石野らは、金属 In 標的を用いた電子ニュートリノ検出を目指す超伝導検出器に関する報告を行った。有感領域を持つ力学インダクタンス検出器 (KID) の作製に成功し、In バンプや In コーンの作製にも成功した。今後の課題は In コーンを KID に装着し、In-115 の自発的ベータ崩壊の測定や Cs-137 のガンマ線を用いて検出器の実証と性能評価を行うことである。

国立天文台の野口らは、極低温において超伝導体中に残留する準粒子の非線形伝導と超伝導伝送線路の特性に及ぼす影響について報告した。極低温における超伝導共振器の内部 Q 値や共振周波数が、残留準粒子に起因する抵抗成分に大きく依存することを明らかにした。

埼玉大学の栄元らは、中赤外光観測を目的とした集中定数力学インダクタンス検出器 (LEKID) の設計と NbN 薄膜を用いたデバイスの作製・評価について報告した。MgO 基板上にエピタキシャル成膜させた NbN 膜から LEKID を作製し、中赤外光を照射したところ、デバイスの温度が 0.6 → 1.7 K まで変化し、70 kHz の共振ピークシフトが確認され、単一光子検出が可能であると結論づけた。

情報通信研究機構の金らは、π位相シフターを持つ NbN ベース超伝導量子ビットの開発に関する報告を行った。π位相シフターを持つ窒化物超伝導磁束量子ビットの実現を目指し、強磁性体ジョセフソン接合を用いたπ位相シフトの実証を行った。

名古屋大学の杉本らは、PdNi 障壁層を用いた NbN ベース強磁性ジョセフソン接合の作製と評価に関する報告を行った。従来の強磁性ジョセフソン接合障壁層である CuNi よりも面内均一性が優れていると期待されている PdNi を接合障壁層として採用したところ、強磁性ジョセフソン接合における非線形な電流-電圧特性の観測に成功し、常伝導抵抗や臨界電流密度に対し、概ね良好な均一性が得られた。

情報通信研究機構の知名らは、断熱量子磁束パラメトロン (AQFP) 比較器による超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (SSPD) の高感度読み出しに関する報告を行った。SSPD の信号出力数と AQFP インターフェースの信号出力数を比較することで AQFP インターフェースの読み出し確率を評価したところ、AQFP インターフェースにより信号3.5 μA の SSPD 信号を読み出し誤差 1 %以下で検出可能となることを確認した。

情報通信研究機構の三木らは、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SSPD)の応答速度向上を目的とし、16 エレメント SSPD システムの構築および特性評価を行った。全 16 エレメントにおいて光子応答を観測し、波長 1550 nm におけるトータルのシステム検出効率として 75.9 %を確認した。さらに、SSPD の高速応答特性評価を行ったところ、1 nsec の時間間隔で入射された光子を時間的に分離して検出可能であることを確認し、SSPD の不感時間よりも十分に短時間での高速応答を実証した。

(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では、超伝導量子物理系、宇宙素粒子物理実験系、超伝導エレクトロニクス工学系の研究者の交流が促進されるに至り、各研究分野共通の実験ツールとして使用されている超伝導マイクロ波共振器の性能向上に関する議論、意見交換が活発になされ、異分野研究者の交流の場となっている。このように、本研究プロジェクトでは、異分野融合・横断の架け橋を担い、これまで無縁であった研究者間の交流を活性化し、新しい境界領域での研究領域開拓が可能となった。今後、大型外部予算獲得や、更なる異分野交流を促進することにより、各研究分野の発展や新奇研究分野の開拓が期待される。

［4］成果資料 (抜粋)

(1) T. Noguchi, S. Mima, and C. Otani, "Contribution of residual quasiparticles to the characteristics of superconducting thin-film resonators, IEEE Trans. Appl. Supercond., 2021, DOI:10.1109/TASC.2021.3058075.

他 20 件

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A09**

# 光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製

［1］組織

研究代表者：

坂井 穣（株式会社豊島製作所）

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：

沖村 邦雄（東海大学工学部電気電子工学科）

桑原 正史（産業技術総合研究所）

片野 諭（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：７人

［2］研究経過

本課題は、１枚の $VO_2$ 薄膜の半導体 – 金属相転移温度 ($T_{tr}$) をその場で不揮発的かつ可逆的に変調することを目的とする。

$VO_2$ は相転移に伴い電気伝導特性が半導体的から金属的に変化するのみならず、反射率等の光学特性も顕著に変化するため、光エレクトロニクスにおけるスイッチング素子等への利用が期待される。$VO_2$ の $T_{tr}$ は結晶格子歪みに依存することが知られている。$VO_2$ 薄膜に歪みを与えて $T_{tr}$ を変調させる試みは、エピタキシャル膜における基板との格子ミスマッチやピエゾ材料等を用いて行われてきた。しかし前者の手法は既にある膜の歪みをその場で変化させるのには適さず、後者は歪みを維持するために電気エネルギーを付与し続ける必要がある。我々はその場で不揮発的かつ可逆的に膜を歪ませる戦略として、$Ge_2Sb_2Te_5$ (GST) のアモルファス – 金属転移に伴う体積変化を歪み発生源として用いることを着想した。

新規課題として採択された前年度には、$VO_2$ / GST の２層膜試料を作成し、GST がアモルファス相である堆積後の段階と、アニール処理によって GST を結晶化した段階とで、$VO_2$ の $T_{tr}$ を比較した。その結果、GST の結晶化に伴い $VO_2$ 層の収縮が起き、かつ $T_{tr}$ が低下した。期待通り $VO_2$ の格子歪みによる $T_{tr}$ 変調効果が実現した可能性がある。しかしながら、アニール処理により層間原子拡散が起こり、組成変化が $T_{tr}$ 変調を引き起こした可能性も排除できない。

そこで２年目の本年度は GST と $VO_2$ の間にバッファ層を挿入した試料で、上記原理を実証する実験を継続した。バッファ層材料に絶縁体を選択することで、拡散防止層と電気絶縁層の２役を兼ねさせた。これにより、従来光学的手法に限られていた $T_{tr}$ 評価を、電気的手法によって行うことも可能となった。

【研究打ち合わせ】本年度は covid-19 流行の影響により通研への集合は叶わず、オンラインでの研究打ち合わせを下記の日程で行った。

第１回：6 月 10 日（坂井、桑原、上原）

第２回：8 月 5 日（坂井、桑原、上原）

第３回：1 月 6 日（坂井、桑原）

［3］成果

(3-1) 研究成果

以下に示す研究成果を得た。

a. 様々な膜厚をもつ $VO_2$ 薄膜の作成条件の確立

幅広い厚さの $VO_2$ 層を得るため、従来の PLD 法に代えて、今年度よりスパッタ法にて $VO_2$ 薄膜を作成することとした。東海大に設置されているスパッタ成膜装置にて、サファイヤ c 面基板上に $VO_2$ 薄膜を様々な成膜時間で形成した。同装置では成膜ターゲットと別に基板ホルダーにも高周波電力を供給することで、薄膜の単相化、単一配向化が促進される。

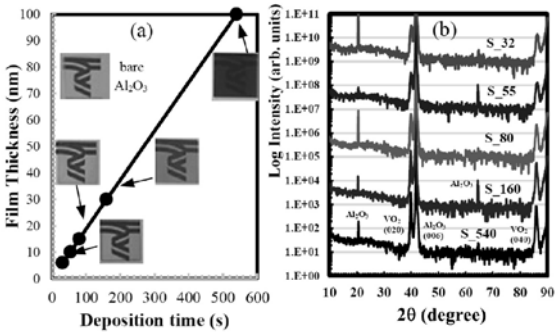



Fig. 1 (a) Thickness of $VO_2$ films as a function of deposition time. Photographs of films are also shown. (b) XRD $2\theta$–$\omega$ profiles of $VO_2$ films deposited for 32, 55, 80, 160, and 540 s from top to bottom.

同装置での厚さ 50 nm 以下の薄膜の作成は実績がなかったが、本課題に必要な極薄膜の形成を狙った結果、6 nm から ＞100 nm まで成膜時間によって膜厚を制御できた（図 1a）。成膜条件を最適化することで、6 nm の極薄膜においても明瞭な $(020)_{M1}$ X 線回折ピークを示す単一配向かつ単相の $VO_2$ 膜を成長させることができた（図 1b）。

b. バッファ層を挿入した GST / $VO_2$ 積層膜における

$T_{tr}$変化の観測

GST / $SiN_x$ / $VO_2$の３層からなる積層膜試料を作成した。$VO_2$は東海大で、$SiN_x$と GST は産総研で、いずれもスパッタ法により堆積された。GST、$SiN_x$層の膜厚はそれぞれ 200 nm、10 nm に固定し、$VO_2$の膜厚は 100 nm（試料A）と 6 nm（試料B）の２通りを作成した。試料の堆積後の段階とアニール後の段階とで、$VO_2$層の抵抗値の温度依存性 (*R*–*T*) を２端子法で測定した。

いずれの試料でも、堆積後とアニール後の両方の段階で、*R*–*T* は高温側が低抵抗となる明確な転移を示した。また *d*(log *R*)/*dT* – *T* 曲線の谷の中央温度を $T_{tr}$と定義すると、両方の試料でアニール後の $T_{tr}$は堆積後に比べて低下した。低下幅は試料 A では 2 ℃、試料 B では 6 ℃であり、$VO_2$膜厚が薄いほど $T_{tr}$変化幅が顕著となった。こうして、バッファ層により層間拡散を防止した試料においても、GST の結晶化に伴い $VO_2$の $T_{tr}$が低下する現象を確認できた。

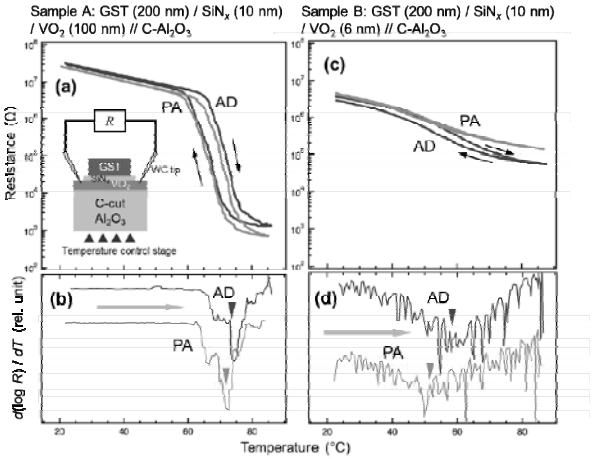



Fig. 2 *R* – *T* (a,c) and *d*(log *R*)/*dT* – *T* (b,d) for Sample A (a,b) and Sample B (c,d) at as-deposited (AD) and post-annealed (PA) steps. Inset of (a) schematically shows the measurement configuration. The triangle symbols indicate the valley position.

c. 火花放電を用いた GST のアモルファス化の試み

GST の結晶–アモルファス転移を誘起するには GST を融点以上にまで加熱するのみならず、加熱後に極めて急速に冷却する必要があり、そのために加熱を極めて小さい空間的及び時間的スケール内に収めねばならない。今回はパルスレーザーやパルス電源等の複雑な装置を必要としない、大気中放電による加熱方法を試みた。

シリコン基板上に堆積し結晶化した GST 膜（厚さ 100 nm）に、帯電した鋼鉄製ピンを近づけて放電を起こした。このときの電荷は容量 *C* のコンデンサに電圧 *V* を印加し蓄積させた（図 3a）。*C* = 2 mF、*V* = 32 V で起こした火花放電の結果、試料表面の直径 0.3 mm の領域で色相に変化があり、中央の 0.1 mm 領域には溶融が起きたことを示す隆起が観測された（図 3b）。単純な装置での放電により、GST 膜を局所的に融点以上にまで加熱することが可能であることを確認した。ただし中央部では明らかに GST のみならず Si 基板までが溶融し、放電後のピンの先端もコーン状から球状に変形していた（図 3c）。今回の温度上昇は可逆性デバイスに用いるには過剰であり、今後 *C* と *V* を最適化する必要がある。

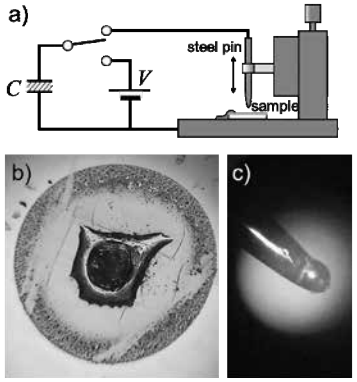



Fig. 3 (a) Setup of the spark-discharge system. (b) Optical microscope image of GST surface after local spark discharge. (c) Optical microscope image of the pin after discharge.

【特別支援(国際)に係る研究成果】 Covid-19 のため、代表者がスペインにて勤務していた期間も含めて、旅費を用いて通研に来所する機会はなかった。本年度の特例として旅費を物品費に振り替えることが可能となり、その資金で上記成果 c の実験系に用いる部品・消耗品を揃えることができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

GST の結晶–アモルファス転移を誘起することは逆の転移に比べはるかに難しく、これまで特殊な装置を必要としていた。放電によるアモルファス化に道筋がつけば、試料位置を *X*–*Y* ステージで制御しつつ１次元もしくは２次元領域をアモルファス化することが理論上は可能となり、本原理を電子デバイスに応用する際に有用な技術となる可能性がある。

［4］成果資料

1) J. Sakai, M. Kuwahara, K. Okimura, and Y. Uehara, “Stress-induced in situ modification of transition temperature in $VO_2$ films capped by chalcogenide”, Materials **13**, 5541, 1 – 11 (2020).

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A10**

# 直流励起マイクロ波発振素子に向けたスピン軌道トルクとスピン波媒介位相同期による強磁性ダイナミクス制御の検討

［1］組織

研究代表者：
神田　哲典（大島商船高等専門学校）
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：
遠藤　恭（東北大学大学院工学研究科）
室賀　翔（秋田大学大学院理工学研究科）

延べ参加人数：４人

［2］研究経過

【概要】Pt や Ta に代表されるスピン軌道相互作用の大きな非磁性金属に電流を流すと、非磁性体中の伝導電子にはたらくスピン軌道相互作用によって、電流と垂直方向にスピン角運動量の流れ、すなわち、スピン流が生成する。スピン軌道相互作用の大きな非磁性金属と強磁性金属を積層させると、非磁性層に形成されたスピン流は強磁性層に流れ込むためにスピン軌道トルクとよばれる強磁性層の磁化に対してトルクを与える効果が生じ、磁気抵抗メモリ（MRAM）における磁化方向制御手法として近年注目されている。スピン流の大きさは非磁性体中の電流量で制御可能であることから、外部磁場と反対方向に磁化が反転する方向にトルクを与えると、磁化の歳差運動が誘起される。

強磁性体に局所的に磁化の歳差運動を誘起すると、歳差運動が双極子相互作用や交換結合を通じて周囲に伝搬し、スピン波と呼ばれる。我々のグループではスピン波の波長と同程度の間隔で高周波磁場を印加する局所歳差運動励起源を設けると、それぞれの励起源から発生するスピン波と励起源の磁気的な相互作用に起因する位相同期によって磁化歳差運動を増幅させることができることを見出した。

本プロジェクトでは，スピン軌道トルクとスピン波を経由した局所磁化歳差運動同士の位相同期現象を利用することで、直流電流励起による磁化歳差運動を共鳴増幅させることを試みる。磁化歳差運動は局所的な磁場変動を生じるので磁化歳差運動に伴ってマイクロ波が発生する。

【目的】以上のような理由より、本共同プロジェクト研究では、上述の非線形増幅効果を制御することで直流電流励起によるマイクロ波発振器の創生を検討する。また、この最終目標を通じて磁化ダイナミクス制御のさらなる学理構築を目指す。

本年度が第２年度にあたる。本研究ではスピン軌道トルクによる磁化歳差運動とスピン波の相互作用の制御が重要となる。そこで、ST-FMR 測定を用いてその相互作用を系統的に構造を変化させた素子により評価する。

強磁性層として磁気ダンピング定数が著しく小さくスピン波伝搬距離が mm オーダーと非常に長いことが知られているイットリウム鉄ガーネット（YIG）単結晶薄膜を用いる。非磁性層として、スピン軌道相互作用が大きく耐食性にも優れる Pt を選択し、YIG/Pt 積層膜を用いて実験を行う。積層膜から後述する高周波伝送路の信号線の一部を Pt/YIG 積層膜とする試料素子を作製し、面内磁場印加型の高周波プローバを利用して評価する。強磁性体の磁化歳差運動が誘起されると素子の抵抗が変化するために直流電圧が発生する。この電流電圧を測定することで素子内の磁化ダイナミクスの情報と、スピン軌道トルクの大きさを評価することができる。尚、今年度は新型コロナウィルスの影響で、測定は研究分担者によって実施された。

［3］成果

(3-1) 研究成果

強磁性層として膜厚 10μm の（100）配向した単結晶イットリウム鉄ガーネット（YIG）薄膜を用いた。YIG 薄膜上に膜厚 8nm の Pt を非磁性層として超高真空スパッタ装置を用いて成長させた YIG/Pt 複合膜を作製した。この複合膜から、フォトリソグラフィ

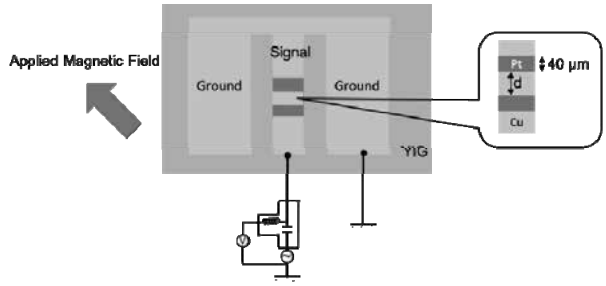



Fig.1 Schematic view of measurement set up for ST-FMR measurement. A part of the signal line consists of Pt layer for inducing the spin orbit torque.

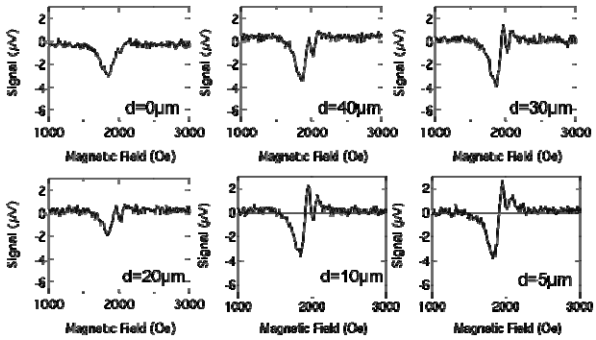



Fig.2 Pt areas' gap dependence of the ST-FMR signal measured at 7.0 GHz.

法とArミリング、スパッタ法を組み合わせてST-FMRを測定するためのコプレナー高周波線路を作製した。素子構造を図１に示す。コプレナー高周波線路の信号線の一部がPt膜で構成されている。Pt領域の間隔が異なる素子を同一YIG薄膜上に作製した。本研究で用いるYIG薄膜は絶縁体であるため、Ptからスピン軌道トルクによって生じる磁化歳差運動に伴うスピンホール磁気抵抗効果の変化が検出される。

この試料において線路長手方向から面内に45度傾けた方向に直流磁場を印加・掃引しながら交流電力を高周波線路に入力し反射された交流電力を検出する。入力パワーは0dBmとした。本測定法では磁化ダイナミクスが励起されると素子間に直流電圧信号が発生するため反射電力からバイアスティーによって直流電圧成分を分離、検出した。

図２にST-FMR信号の素子間隔依存性を示す。入力周波数は7.0GHzである。複数のピークが確認されることがわかる。ST-FMR測定で現れる共鳴ピークは対称性ローレンツ関数と反対称ローレンツ関数の２つの成分からなる。対称性はField Likeトルク、反対称性はDamping Likeトルクの大きさを反映し、それぞれ、歳差運動を増幅させる・減衰させる方向にトルクが働く。本測定結果から、素子間隔によって各ピークの対称性・非対称性の割合が変化していることがわかる。従来のST-FMR測定では高周波伝送路近傍で発生する高周波磁界とPt/磁性層界面で生じるスピン軌道トルクが磁化歳差運動を励起する因子である。本研究の素子ではこれらに加えて、Pt領域から発生するスピン波とスピン波の相互作用によって歳差運動が増幅・減衰する。この効果が測定結果に反映される。図２からは素子ごとにピークの対称性・非対称性が変化しており、上述の相互作用が磁化歳差運動に関与していると考えられる。

本測定結果のフィッティングを実施した。２つのピークが存在するように確認されるが、実際にフィッティングを行うと、２つのピークを仮定した場合よりも３つのピークを仮定する方が、フィッティング精度が高いことがわかった。この要因は不明であるため、さらに異なる素子を作製して究明する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同研究プロジェクトは，スピン波を介在させた磁化ダイナミクスの位相同期現象を基軸として、スピン軌道トルクを組み合わせることでスピントロニクス素子の新たな展開として、新規マイクロ波発振の創生を目指す基礎検討である。ST-FMR測定を活用することで、磁化ダイナミクスにおけるスピン起動トルクの寄与を定量評価できることがわかった。この結果はスピントロニクスの学術的に意義深く、今後の発展が期待される。

［４］成果資料

（１）“Evaluation of interaction between local magnetization dynamics and spin waves measured by ST-FMR ” T. Koda, S. Muroga, S. Hashi and Y. Endo, 2021 Intermag2021 , April 26-30, 2021

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A11**

# 傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた光変調器駆動高速化の研究

［1］組織

研究代表者：楳田　洋太郎
（東京理科大学理工学部）
通研対応教員：佐藤　昭
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：末光　哲也
（東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター）
谷口　慶伍
(東京理科大学大学院理工学研究科)
延べ参加人数：4 人

［2］研究経過

（1）目的

InGaAs 系 HEMT は常温で最も高速なトランジスタであり、電流利得遮断周波数 fT は 700GHz を超え、最大発振周波数 fmax は 1.5THz と極めて高い値が報告されている[1]。しかし、InGaAs HEMT は一般に耐圧が 5V 程度以下と低く、4V 程度の電圧振幅で駆動する必要のあるニオブ酸リチウム(LN: Lithium Niobate)変調器の駆動回路を作製するには不十分である。これに対し、近年、傾斜型フィールドプレートを用いることにより耐圧を大幅に向上させた InGaAs HEMT が報告されている[2]。しかし、この傾斜型フィールドプレート付 HEMT を用いて LN 変調器を駆動可能な大振幅駆動回路を実現した例はない。本研究は、傾斜型フィールドプレートを用いた InGaAs HEMT を用いて、従来にない高速な LN 変調器駆動回路を実現することを目的とする。

（2）概要

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。傾斜型フィールドプレートを有する InGaAs HEMT を用いて、LN 光変調器駆動回路を作製することにより、従来にない高速な光変調器駆動を実現する。具体的な研究内容として、2019 年度は、東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター（平成２９年７月まで電気通信研究所所属）末光哲也教授が考案・開発を行ない、東北大学電気通信研究所佐藤昭准教授とともに性能向上の研究を進めている、傾斜型フィールドプレートを有する InGaAs HEMT のマイクロ波・ミリ波特性を測定した。この際、実動作状態と同じゲートバイアスを印加したときの HEMT の寄生抵抗をマイクロ波帯で評価する手法を提案し、実測により寄生抵抗を評価した。2020 年度は、新たにチャンネルの寄生容量を考慮するとともに、ミリ波までの全測定周波数を用いて寄生抵抗を抽出する高精度寄生抵抗評価法を提案し、従来方法と比較して精度が改善されることを示した[3]。2021 年度は提案する寄生抵抗抽出法を適用して InGaAs HEMT の回路モデルを作成し、測定した S パラメータに対するモデルの精度を検証するとともに、傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT の回路パラメータの通常の InGaAs HEMT との違いを明らかにする。さらに、作成した回路モデルを用いて光変調器駆動回路を設計することにより、高速性と耐圧に優れた傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた場合、従来よりも大幅に高い電圧・帯域幅積を実現できる見通しを明らかにする。

（3）打合せの開催状況

今年度は、新型コロナウィルス感染症の拡大のため出張を伴う打合せは自粛し、文面によるやりとりにより実質的な情報の交換を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

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

一般に、電界効果トランジスタ（FET）の等価回路をフィッティングにより作成する場合、等価回路パラメータの数が多いため収束性が悪く、精度のよい等価回路モデルを作成することが難しい。

このため、あらかじめ、ドレインーソース間電圧（$V_{ds}$）をゼロ（Cold FET）、ゲートーソース間電圧（$V_{gs}$）をピンチオフ電圧以下とすることにより等価回路を簡単化し、ゲート、ドレイン、ソースの寄生

抵抗（$R_g$、$R_d$、$R_s$）を求め、これを用いて、通常のノンゼロの$V_{ds}$、および動作状態の$V_{gs}$のとしたときの等価回路を求める方法[4]が Daembrine らにより提案されている。さらに、Alt らはこの Cold-FET 法を改良し、$V_{gs}$をピンチオフ電圧以下の電圧とせず、通常動作時に使用する電圧とすることにより、動作時に近い寄生抵抗を抽出する方法[5]が提案した。しかし、この方法では、寄生抵抗の評価に低周波における１周波数のみを用いているため、ミリ波帯におけるフィッティングの精度が低下する問題があった。

本成果では、ミリ波までの全測定周波数を用いて寄生抵抗を抽出することにより寄生抵抗抽出の精度を高める方法を提案し、実際に測定した傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT のＳパラメータを用いて、Alt らの方法と比較して精度が改善されることを示した[3]。S パラメータの測定結果をもとに、提案する評価法を用いて S パラメータのフィッティング精度を求めたところ、従来方法の平均誤差率 7.25%に比べて、提案方法では 6.13%となり 1.13%の改善（改善率 6.13%）がみられた。

本成果により、動作状態における傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT のマイクロ波帯における寄生抵抗抽出の精度を改善することができた。これを用いて InGaAs HEMT 回路モデルを作成することにより、回路モデルの決定精度が向上する。その結果、より精度の高い回路設計が可能となり、よい高い利得・周波数帯域積をもつ高速駆動の可能な光変調器駆動回路の設計に寄与すると期待される。

参考文献：

[1] X. B. Mei, W. Yoshida, Z. Zhou, M. Lange, J. Lee, P. H. Liu, K. Leong, R. Lai, and W. R. Deal, “25nm InP HEMT TMIC Process with 1 THz Amplifier Circuit Gain,” 2015 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM2015), pp. 1034-1035, Sep. 2015.

[2] T. Hosotani, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Achievement of balanced high frequency and high breakdown by InGaAs-based high-electron-mobility transistors with slant field plates," Appl. Phys. Express, vol. 9, p. 114101 (3pp), 2016.

[3] 谷口慶伍, 細谷友崇, 楳田洋太郎, 高野恭弥, 末光哲也, 佐藤　昭, “InGaAs HEMT 寄生抵抗抽出高精度化の検討,” 信学技報, vol. 120, no. 354, MW2020-88, pp. 38-43, 2021 年１月.

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

[5] Andreas R. Alt, Diego Marti, C.R. Bolognesi, “Transistor modeling: a robust small signal equivalent circuit extraction in various HEMT technologies,” IEEE Microwave Magazine, vol. 14, no. 4, pp. 83-101, 2013.

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

傾斜型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、従来よりも大幅に高い利得・周波数帯域積をもつ高速駆動の可能な光変調器駆動回路を実現できると予想される。これにより、光ファイバ通信における伝送容量を拡大し、将来の通信需要の増大に対応できることが期待される。

［４］成果資料

（１）谷口慶伍, 細谷友崇, 楳田洋太郎, 高野恭弥, 末光哲也, 佐藤　昭, “InGaAs HEMT 寄生抵抗抽出高精度化の検討,” 信学技報, vol. 120, no. 354, MW2020-88, pp. 38-43, 2021 年１月.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A12**

# 視覚モデル共有環境の構築

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（山梨大学）
河原純一郎（北海道大学）
西田眞也　（京都大学）
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（尚絅大学）
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（立命館大学）
他東北大研究員，学生　10 名
筑波大学学生１名
延べ参加人数：27 人

［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を進めた。視覚のモデルとしては，色覚，時空間特性，運動視特性，立体視特性など初期視覚処理についての定量的なものが提案されており，注意や物体表象などの高次処理については多くの抽象的なものが提案されている。それらは一般に共通の環境を使用しないため，相互関連を検討することには困難が伴う。本研究では，共通環境実質化をめざして研究を行った。

今年度は，多様なユーザを想定したプラットフォーム，低次から高次までの皮質に対応したモデルを必要とする自発的注意機能について議論した。2021年3月29日には，オンラインで一堂に会して，環境を実現するプラットフォームの具体案と，搭載する共有視覚モデルについて広範囲な議論を行った。

［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１A)、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。

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。彼らはまず、このような構成で、奥行運動に関する多くの心理物理実験の結果を説明できることを示した。彼らはさらに、これは心理物理実験の結果 (Beverly and Regan, 1973）に対応するモデルとして、異なる奥行運動方向に感度を持つ４つのチャンネルを仮定した。これによって、運動方向の違いを検出するためのモデルを構築する事ができる。

図１B は、異なる刺激条件における運動方向弁別感度の結果を比較する。バー刺激では、山となる難度が、先行研究と類似した３つの方向で観察された（それぞれ、左眼に、右眼にあるいは左右眼中央

に向かう運動)。それに対してガボール刺激を用いるとピークは左右眼中央方向の一カ所となることがわかる。

第２に，V4 における特徴統合モデルを検討した。個々の特徴への選択性がどのように物体認識処理に寄与するのかを複合的に解析し，解明に迫った研究は少ない。ここでは，我々を取り巻く自然光景がテクスチャを含む面の数々で構成されているという特性を踏まえて，形状とテクスチャ(輝度)の関係について検討した。

形状とテクスチャは，V4 細胞によって共同でコーディングされている可能性が示唆されている。そこで本研究では，自然画像を用いて，テクスチャと形状に対する細胞応答に着目した解析を行った。物体領域のテクスチャおよび物体領域を囲む輪郭形状と、背景領域のそれらとの差に着目して，物体の特徴としてのテクスチャと輪郭の関係を解析した。この結果，自然画像に対しては輝度と形状を混合するが，シルエット画像では輝度を加味しないという適応的な神経戦略が明らかになった(図２)。

(3-2) 波及効果と発展性

本プロジェクトでは，基礎と実用化の交流が活性化できた。また，異なる機能に共通の問題を発見・議論することによって，萌芽的であるが本質的な問題を提起する効果があった。

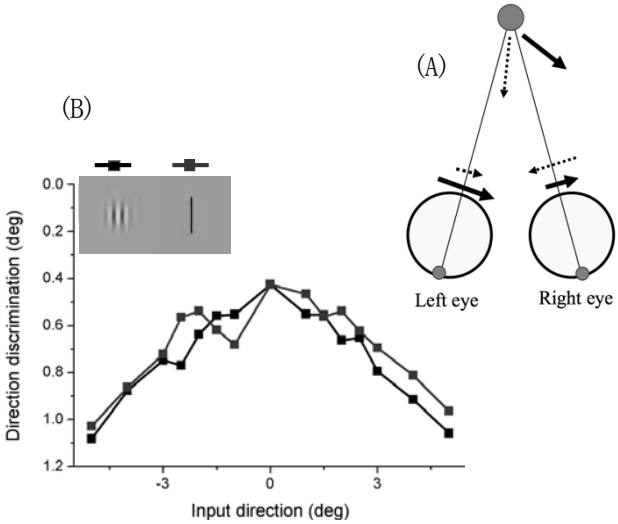



図１ (A) 奥行き運動と左右眼の運動情報．(B) ガボール刺激(黒) とバー刺激(赤) の運動弁別感度．

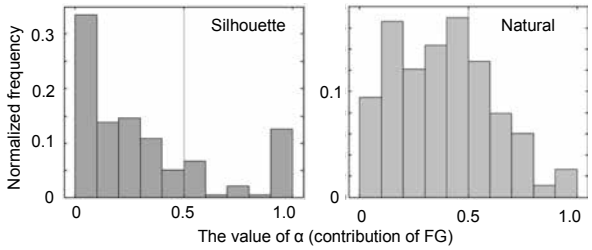



図２ 自然画像(右) とそのシルエット画像(左) に対する神経応答における形状の寄与．

［4］成果資料

S Shioiri, K Matsumiya, C Tseng, Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Scientific Reports* 11 (1), 1-17, 2021

K. Sakai, Y. Sakata and K. Kurematsu, Interaction of surface pattern and contour shape in the tilt after effects evoked by symmetry. *Scientific Reports*, in press

Y. Yamane, A. Kodama, M. Shishikura, K. Kimura, H. Tamura and K. Sakai, Population coding of figure and ground in natural image patches by V4 neurons. *PLoS ONE*, 15(6):e0235128, 1-28, 2020

N. Wagatsuma, M. Urabe and K. Sakai, Distinct saccades during figure-ground segregation and border-ownership discrimination. *IEICE*, Trans. Inf. & Syst., Vol.E103-D, No.5, 1126-1134 2020

R Teraoka, S Sakamoto, Z Cui, Y Suzuki, S Shioiri, Effects of listening task characteristics on auditory spatial attention in multi-source environment. *Acoustical Science and Technology,* 41(1) 12-21, 2021

W. Wu, Y. Hatori, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Different combinations of motion-in-depth channels for motion-in-depth direction. *Vision*, 32(4), p.148, 2020

S. Shioiri, Z. Li, T. Miura, W. Wu, I. Kuriki, C.H. Tseng, Y. Hatori, Measuring attentional facilitation related to hand movement goal independently of the top-down visual attention, *Vision*, 32(4), p.149, 2020

M. Shishikura, K. Kimura and K. Sakai, Figure-ground consistency across natural image patches in monkey V4. *Asia-Pacific Computational and Cognitive Neuroscience Conference (AP-CCN) 2020,* Taiwan, Sep. 26-27, 2020

佐藤好幸, 松原和也, 和田有史, 塩入諭, 食べ物画像に対する主観評価の機械学習による予測, Vision 32(4), p148, 2020

洞口勇太, 佐藤好幸, 塩入諭, 表情と画像の特徴量分析による画像の好み推定に関する研究, Vision 32(4), p151, 2020

佐藤好幸, 松原和也, 和田有史, 塩入諭, ヒトの主観評価決定要因の深層学習モデルを用いた分析, 信学技法 HIP2020-68, pp. 77-80 , 2020

洞口勇太, 佐藤好幸, 塩入諭, 評価者の顔表情特徴量を利用した画像の好み推定に関する研究, 信学技法 HIP2020-67, pp. 71-76, 2020

Matheus Boger and Ko Sakai, Voluntariness based separation of attentional mechanisms in a visual search task－A possible indication for a new paradigm. 映像情報メディア学会技報,Vol.45, No.7, HI2020-5, pp.17-27, 2020

町田 樹, 樹神 篤, 酒井 宏, V4 における表面と形状の同時表現，信学技報，Vol.120, No.403, NC2020-42, pp.7-10, 2021

宍倉基文, 山根ゆか子, 田村 弘, 酒井 宏, サル V4 野 FG 選好性細胞の応答とヒト図地知覚の一貫性の相関解析 JNNS 2020, C050, Dec. 3, 2020

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A13**

# マルチモーダル感情誘発システムに関する研究

［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

［2］研究経過

人間の五感情報を送受信する通信システムにおいて，情報の発信と受信の担い手は人間であり，人間の知覚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重要性が非常に高まってきている．こうしたシステムを実現する上では，単に感情や感性情報を送受信するのみならず，ユーザに感情を誘発することも重要であると考えられる．しかし，どのような情報を呈示すれば感情を効果的に誘発できるのかは明らかでない．また，誘発された感情がどのように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，マルチモーダル情報からユーザに感情を誘発するシステムを構築するための基礎的検討として，マルチモーダル刺激を用いて，人間を対象とした心理実験を実施し，システムの設計指針を検討することを目的とする．

本プロジェクトは，平成28～30年度に共同プロジェクトとして採択された「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」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，A)音の緊急性が認知・行動に及ぼす影響，B)機械の発信した音声の情動情報が認知・行動に及ぼす影響について検討した．

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が認知および行動に及ぼす影響のみならず，音声を含むマルチモーダル情報がユーザの感情そのものに及ぼす影響を検討することで，マルチモーダル情報からユーザに感情を誘発する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，動画刺激を用いて A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響，B) マルチモーダル刺激から誘発された感情が認知・行動に及ぼす影響の検討を進めた．コロナ禍で研究代表者の本務校では出張が禁止されていたことから，本年度は主としてメールで随時打ち合わせおよび議論をおこなった．共同プロジェクト研究発表会では 1 件ポスター発表をおこない，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，マルチモーダル刺激を用いてユーザに感情を誘発するシステムの構築に向けて，人間の心理特性について，A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響，B) マルチモーダル刺激から誘発された感情が認知・行動に及ぼす影響を中心に検討を進める．令和 2 年度は動画刺激を用いて(A)および(B)を推進した．

A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響

オンライン実験において動画視聴で感情を喚起させうるかを検討するため，動画を呈示して自己の感情を評定させる実験を実施した。本年度はまず，知覚・認知にさまざまな影響を及ぼすことが知られている恐怖感情を喚起させることを目標とした。実験では最初に，Gross and Levenson (1995) や Sato, Noguchi, and Yoshikawa (2007) で用いられていた映画「羊たちの沈黙」の 1 シーンを含む 9 分間の抜粋シーンを動画刺激として視聴させた。続いて，参加者の感情を測定する尺度として，Brief Mood Introspection Scale (以下，BMIS とする ； Mayer & Gaschke, 1988) の日本語版 (金子・尾崎, 2017) を使用した。BMIS の質問項目のうち，恐怖感情と関連性が高い「興奮した気持ち」と「おびえた気持ち」の 2 項目において，感情が喚起されたと判定された参加者 (post 条件から pre 条件を引いた差分値が正の値をとる参加者) は 45 名中 31 名であった。

B) マルチモーダル刺激から誘発された感情が認知・行動に及ぼす影響

オンライン実験において動画視聴で喚起された感情が知覚・認知に及ぼす影響を検討するため，本年

度は時間知覚課題を用いた実験を実施した。

実験は全てオンライン上で行った。時間知覚を調べる課題として，間隔二等分課題を実施した。各試行では，注視点が500ms呈示された後，視覚刺激（楕円）が7種類のいずれかの時間（400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 ms）で呈示された。刺激の呈示時間が，弁別訓練で呈示された2種類の刺激のうち，短い刺激（400 ms）と長い刺激（1600 ms）のどちらに近いと感じたか，キー押しで回答するよう求めた。上記の時間知覚課題を感情喚起前と喚起後に実施した。感情喚起は上記項目(A)で検証した手法を用いた。

感情喚起前後の各呈示時間条件において刺激の呈示時間が長いと反応した割合（Long 反応）を算出し，PSE（Long反応が0.5となる点）を推定した（図1）。対応のあるt検定を行った結果，喚起前（M = 983.75, SD = 147.61）と喚起後（M = 926.70, SD = 152.10）には有意差が認められた（t(30) = 2.16, p < .05, d = 0.39）。したがって，オンライン実験においても，恐怖感情が喚起された場合には刺激の呈示時間が長く知覚されることが明らかとなった。

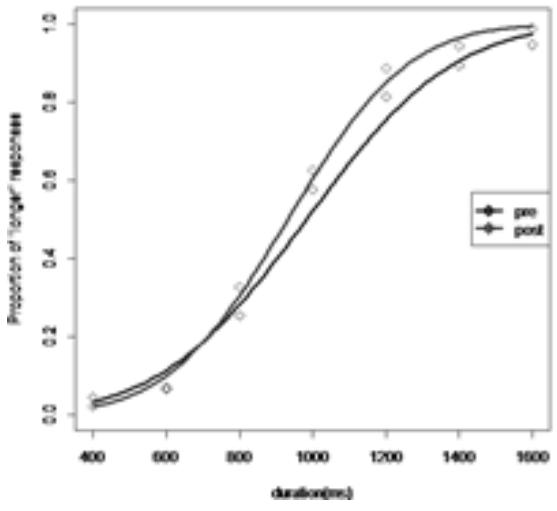



図1　恐怖感情喚起前後での時間知覚の変化

喚起前後の時間知覚の変化が単に同一課題を2度実施したことによる効果ではないことを確認するために，恐怖感情の代わりに中立感情を喚起させる（つまり特定の感情を喚起させない）統制実験を実施した結果，喚起前後の差は有意ではなく（t(25) = 0.73, n.s., d = 0.15），前述の実験結果は，恐怖感情によって引き起こされたことが示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

人間がマルチモーダル情報から感情を誘発する仕組みと，誘発された感情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，マルチモーダル情報によって人間の感情・認知・行動を制御でき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，日本人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，感性情報処理に文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される．

［4］成果資料

（1）Yamamoto, H. W., Kawahara, M., Kret, M. E., & Tanaka, A. (2020). ″Cultural Differences in Emoticon Perception: Japanese See the Eyes and Dutch the Mouth of Emoticons.″. Letters on Evolutionary Behavioral Science, in press

（2）Yamamoto, H.W., Kawahara, M., Tanaka, A. (2020). ″Audiovisual emotion perception develops differently from audiovisual phoneme perception during childhood.″. PLoS ONE, 15(6): e0234553.

（3）大寺輝，田中章浩（2020）．″懐かしさが時間知覚に与える影響″．日本基礎心理学会第39回大会（2020年11月）

（4）大寺輝，田中章浩（2020）．″感情が時間知覚に与える影響″．電子情報通信学会技術研究報告，第120巻169号，HIP2020-27，pp. 19-24.

（5）Oya, R., & Tanaka, A. (2020). ″Universality and cultural specificity in the emotion perception from touch.″. PsyArXiv, https://doi.org/10.31234/osf.io/pg8fy

採択番号（Grant No.）：H31/A14

# Pre-verbal infant learning: Infants' preference and understanding from eye movements and pupil dilation

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
Esther Lau (The Education University of Hong Kong)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
研究分担者 (Project Member List)：
Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)
Doris Chow (University of British Columbia, Canada)
David Lewkowicz (Northwestern University, USA)
Meingold Chan (Univerity of British Columbia, Canada)
Hugo Chan (The Education University of Hong Kong)

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：9 人

［2］研究経過 (Summary)

Our research group hopes to develop new research measurements to capture the early cognitive and emotional developments in young infant populations. We synergize the strength of the research members and focus on eye movements and pupil dilation to reveal infants' attention, learning, and emotional preferences.

In the past yare, we tried to continue the research collaboration via online platforms (email, video-conferencing, etc). We prepared the stimuli presentation results and developed analysis tool for eye tracking and pupillometry data. We also purchased the sleep measurement watches for the proposed study and will enter pilot stage when it is safe to do so.

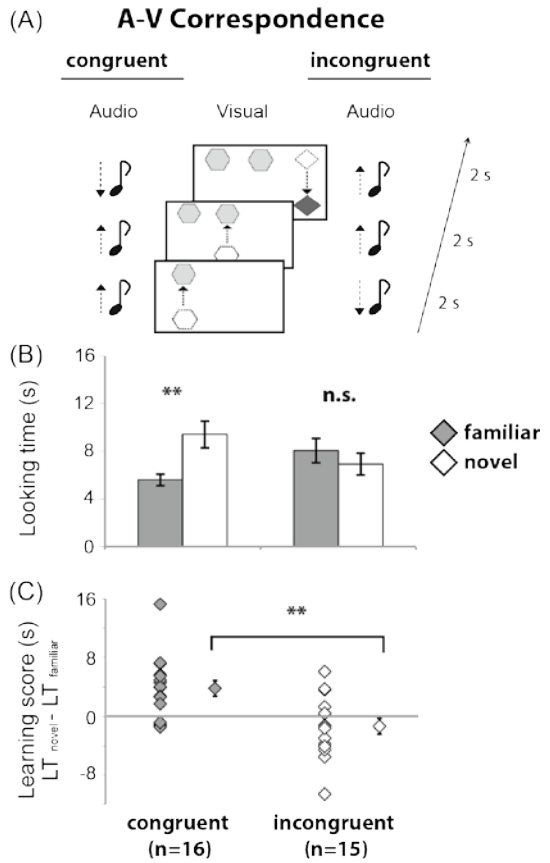
［3］成果 (Results)

（3-1）研究成果 (Research Results)

The ability to generalize learned materials across context is integral to all forms of learning, such as later linguistic acquisition and analogical reasoning. This makes the study of limiting factors of infant invariant rule learning significant in both theoretical and application contexts. Recent studies (e.g. Tsui, Ma, Ho, Chow, and Tseng, 2016; Tseng, Chow, Ma, and Ding, 2018) have reported cross-modal semantic matching (e.g., happy face with happy voice) as one of the limiting factors for infant rule extraction. It implies that preverbal infants build categorical understanding of abstract concept such as object file, scene category, or emotional classifications, from multiple senses prior to learning, similar to the way adults do. However, one caveat is that all stimuli adopted in these studies were all socially significant (e.g. emotional faces) or communicative to infants (e.g. human voice syllables), which might not be a general ability to non-social, non-communicative stimuli.

To test that, we design a set of visual-audio (V-A) stimuli that does not contain any social significance or communicative signals for infants, and yet have a clear congruent or incongruent pairing for preverbal infants. We create dynamic stimuli based on pitch-height crossmodal correspondence, the arbitrary relationship between visual spatial height (e.g., top; upward moving pattern) and auditory pitch (e.g., high frequency tune; ascending sound in pitch), robustly reported in adults, in 3- to 4-month-olds (Dolscheid, Hunnis, Casasanto & Majid, 2014; Walker et al., 2010; but see Lewkowicz and Minar, 2014), as well as in newborns (Walker et al., 2018). Pitch-height correspondence is a perfect tool for the purpose of this study as these studies use non-social geometric shapes and computer-generated mechanic sounds, suggesting infants' ability to discern crossmodal relationship based on pitch-height crossmodal correspondence is not contingent upon social/communicative stimuli. We use them to examine whether infants' success in temporal sequence rule acquisition is bounded by naturally-occurring correspondence between V-A sensory information. If infants succeed only with congruent V-A stimuli, but not

incongruent ones, it suggests that infants' learning benefit from semantically congruent cross-modal stimuli is generalizable to non-social/ non-communicative stimuli; categorical formation from multiple senses inputs might occur before invariant rule extraction, a fundamental component of language acquisition.




The looking time duration results are summarized in Figure 1B. Infants were successfully habituated during the habituating stage as revealed by significant drop of average looking time, $F(1,15) = 104.5$, $p < 0.001$, $\eta_P^2 = 0.875$, $\eta_G^2 = 0.281$.We performed a 2 (test rule type [novel, familiar]) x 2 (novel rule type [ABA, ABB]) on infants' looking time at test stage and found infants looked significantly longer at the novel rule (mean = 8.579, 95% CI [7.285, 9.874]) than familiar rule (mean = 5.567, 95% CI = [4.408, 6.726]) when the geometric shapes moved congruently with the pitch change of the sound (main effect of rule type, $F(1,15) = 17.47$, $p < .001$, $\eta_P^2 = 0.538$, $\eta_G^2 = 0.170$). When A-V is incongruent, infants did not differentiate the novel (mean = 6.685, 95% CI [4.853, 8.517]) and familiar test rule (mean = 7.734, 95% CI [6.223, 9.246]), $F(1,14) = 1.1361$, $p = .263$, $\eta_P^2 = 0.089$, $\eta_G^2 = 0.014$) (Figure 1B). A further between-experiment comparison was performed to compare the learning scores across the two experiments. We found that learning score when A-V stimuli was congruent (mean = 3.173s, 95% CI = [1.646, 4.700]) was significantly higher than that when A-V stimuli was incongruent (mean = -1.219s, 95% CI = [-2.811, .711]), $F(1, 29) = 12.56$, $p = .001$, $\eta_P^2 = 0.302$, $\eta_G^2 = 0.188$.

We extended previous findings and showed that infant learning selectivity based on semantic congruency is not exclusive in socially-significant (e.g. emotional faces) or communicative stimuli (e.g. human voice) only, but exhibits also in stimuli free of these components such as the visual moving shape paired with ascending or descending sounds in this study. Semantic contents across visual-audio (V-A) domains integrate at an early stage for later invariant rule extraction.

（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)

We show that infants at the age of 8-10 months old use semantic congruence to govern their sensory integration. This multisensory binding process promotes infants' ability to extract a rule hidden in repetitive presentation (e.g. A-A-B structure in this series of study), which scaffolds a lot of development challenges later in life, e.g. social etiquette observation, language acquisition, and grammar learning. Current report illustrates that similar to adults, infants also utilize the semantic information between A-V to gate their learning information. What's more, it is most plausible that 8-10 month old infants use a general selection not limited to social and communicative stimuli to form categorical understanding. Our current study imposes a working hypothesis for future studies to test on.

［4］成果資料　(Publications)

(submitted, under review) Pre-verbal infants learn an abstract rule with a general machinery to detect cross-modal congruency.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A16**

# 音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現

［1］組織

研究代表者：
山高　正烈（愛知工科大学）
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：28 人

［2］研究経過

屋外拡声システムによる情報の伝達には，システム自体の最適化のみならず，そこで使用するコンテンツ（音声）の最適化も極めて重要である．本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，研究と検討を重ねた結果，音声構造再構築による情報提示に当たっては，特に聞き手の意識を変えることが重要であることが明らかとなった．聞き手の意識で最も重要なことは，災害情報の入手と同時に迅速な避難行動を取ることであるが，地震や津波，豪雨による土砂災害等の自然災害に直面しても，事態を楽観的に判断し，逃げなかったり逃げ遅れたりして被害が拡大したという事実が数多く報告されている．これには，「事態の切迫度を知覚せずに楽観的な情報のみを受け入れ，危険を警告する情報を拒否する」という人間の心理的特性（正常性バイアス，イメージ図を図１に示す）が一要因として考えられている．そこで前年度は，この問題を解決すべく検討を進めた．




**図１　正常性バイアスのイメージ**

前年度において，種々の特性を持つ背景音を用いてそれらを緊急避難音声に重ねて提示させる聴取実験を行った結果，サイン音やブザー音等のイメージ音を背景音として用いることで，より危険性が強調されることが明らかとなった．その効果は，既存の緊急避難音声のピッチと話速が，ノーマル若しくは低い場合に特に顕著に表れた．これらの結果から，ピッチや話速を変えなくても適切な背景音を付加するだけで高い緊迫感が得られることが明らかとなった．この結果は，イメージ音が音声に重畳された場合の相乗効果が得られたことを意味する．

しかし，緊迫感の向上が避難意思の促進に繋がったかどうかは別問題であると考えられる．また，同じ音声でも個人のイメージによりそれが意図したものとは別の印象の受け取り方をしてしまい，危険性の認知の差が出てしまう可能性も考えられる．このような問題点を踏まえ，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，緊迫感を与えるだけでなく実際の行動意思を促進させるべきとの観点に立脚し，背景として画像に注目し，背景として画像を付加した場合の避難喚起音声の効果について検討した．

具体的には，今や誰もが身に着けている携帯端末（日本国内の普及率 133.8%）やテレビ・ラジオ等からの情報提示を想定し，「聞くたびに動きたくなる」新しい避難勧告音声技術の構築を目指した．そのために，避難喚起音声を前景に，付加するイメージを背景として捉え，両者をスマートフォンから提示した場合の効果を調べた．

以下，研究活動状況の概要を記す。

①　研究打ち合わせ・研究討論会

本研究の特性上，被験者による聴取実験環境の構築が急務であり，Android Studio ver4.0 を用いて任意のタイミングで音声と画像の再生が可能なアプリを作成し，それを用いて実験を行った．具体的には，6/18～20 日，7/22～24 日，8/6～8/8 日，9/16～18 日，11/19～21 日と計 5 回（参加者数述べ 28 人）研究打ち合わせを行った．研究打ち合わせを通して，聴取実験プログラムのテスト，聴取実験環境構築，実験パラメータの調整と被験者実験を実施することができた．実験刺激の選定についても議論が行われ，音声刺激は，地震・津波・土砂災害時に避難勧告を促すアナウンス音声３つと，背景画像は，

危険・行動・災害の3つのカテゴリーに分けて計36種類に絞ることとした.

［3］成果

(3-1) 研究成果

本研究では，差し迫った心理状況を直感的に抱かせる手段として，様々な背景画像の付加効果に着目する.即ち,既存の避難勧告音声を前景として捉え,そこに人間の深層心理に直接働きかけるイメージを背景として付加することにより，心理学における「図」と「地」のコラボレーションによる相乗効果を目指す.

実験刺激の提示はスマートフォンを使用した. Android Studio ver4.0 を用いて任意のタイミングで音声と画像の再生が可能なアプリを作成した. 被験者は20～24歳の大学生18名であり，1人ずつ視聴覚刺激を視聴し，SD法（Semantic Differential）を用いて印象評価を実施した. 実験刺激は，地震・津波・土砂災害時に使用する避難勧告音声3つと，危険・行動・災害の3つのカテゴリーに分けた背景画像12種類であった.これら音声と画像の組み合わせ36種類をランダムに流すアプリを作成し,スマートフォンにて提示した.

34種類の形容詞に対して因子分析を行い，4つの因子を抽出した.それぞれ,第1因子は「危険因子」,第2因子は「行動喚起因子」,第3因子は「美的因子」,第4因子は「動揺因子」と命名した. 図2～4に,津波・土砂災害・地震の順に「行動喚起因子」の因子得点を示す. 実験結果，音声内容と一致する背景画像を付加することで音声と画像の相乗効果が表れ,切迫感が向上された. これは，音声に対して背景画像を視覚的に示しているため，危険性と情景をダイレクトに認知できたためであると考えられる.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究では，今や誰もが身に着けている携帯端末（日本国内の普及率 133.8%）やテレビ・ラジオ等からの情報提示を想定し，「聞くたびに動きたくなる」新しい避難勧告音声技術の構築を目指した. そのために，避難勧告音声を前景に，付加するイメージを背景として捉え，両者の相乗効果を狙った. 本研究の成果により，今後前景音と背景画像の最適な組合せが明らかとなり，日本各地で頻発する大型台風や大雨・洪水などの緊急避難呼びかけアナウンス音声システムへの応用に大きく貢献できるものと信じている.

なお，本プロジェクトの進行は地域産学連携プロジェクトに結びつき，R3年度「東三河地域防災協議会助成金」に採択される等今後の発展が期待される.

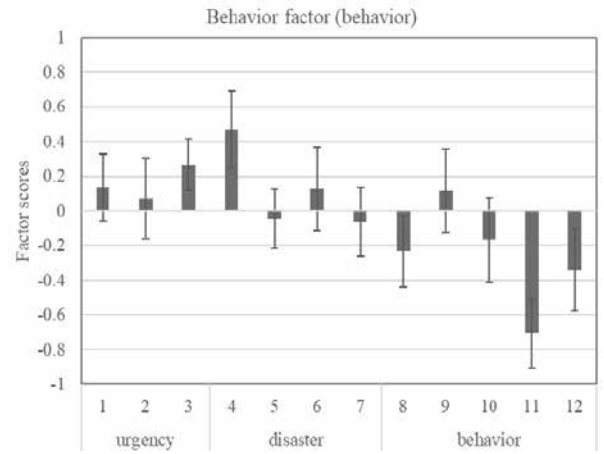



図2「行動喚起因子」の因子得点（津波）

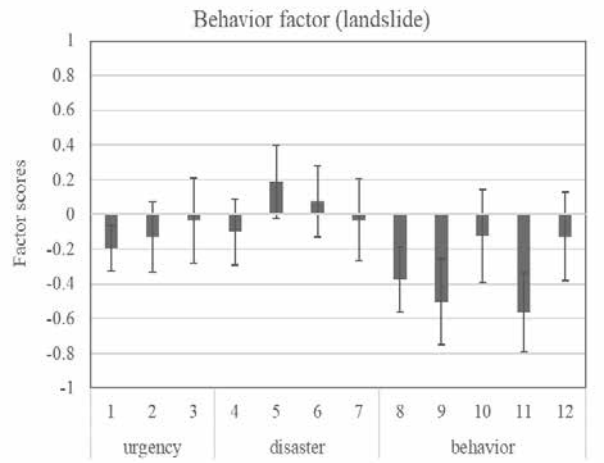



図3「行動喚起因子」の因子得点（土砂災害）

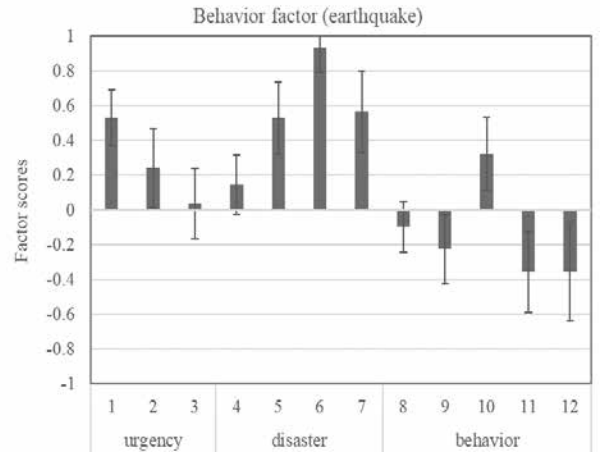



図4「行動喚起因子」の因子得点（地震）

［4］成果資料

[1] R3年度「東三河地域防災協議会助成金」採択

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/A18**

# 利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現

［1］組織

研究代表者：

松田　信幸（東北大学大学院工学研究科）

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：

なし

延べ参加人数：４人

［2］研究経過

近年，量子計算や量子暗号通信といった，光の量子性を駆使した情報通信技術の研究が活発化している。特に，現代計算機を凌駕する高速演算が可能な量子計算は大きく注目されている。量子計算の数ある実現方法のうち，光子を用いる方式は，数十個という比較的少ない数の光子を用いた場合にも高速な計算が可能な点が優位である。光量子計算の実現のためには，量子干渉性の高い単一光子を発生する量子光源を複数用意することが必要となる。そのためには，個々の光源のサイズを可能な限り小型化する必要がある。

小型量子光源として，シリコン微小リング共振器が知られている。これは，シリコン導波路によって構成された半径 20 μm 程度の円形の共振器である。共振効果により，単一光子発生のための非線形光学効果である自発四光波混合がシリコン導波路中で効率的に誘起されるため，超小型ながらも高効率な量子光源として用いることができる。しかし実際には，リング共振器に加え，別の励起パルス光源が必要となる。さらに，光子の高い干渉性のためには，時間幅 10 ps 以下の励起光パルスを用いる必要がある。そのような光パルスを得るためには，共振器長の長い固体レーザーが必要であり，このことが量子光源システム全体の小型化を困難にしていた。

そこで本プロジェクトでは，固体レーザーを短パルス発生可能な小型半導体レーザーに置き換えることで，従来よりもサイズが大幅に縮小された量子光源システムを実現することを目的とした研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が２年目であった。昨年度は光源やデバイス特性の評価を行い，発生する単一光子の特性を見積もるとともに，実験系の立ち上げを行った。また理論検討により，より干渉性の高い単一光子を発生させるデバイスの励起手法を見出した。本年度は微小リング共振器の試料を試作し，実験を行った結果，単一光子を発生させることに成功した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，微小リング共振器の設計を行った。数値シミュレーションによる解析を行い，導波路幅 440 nm，高さ 220 nm のシリコン細線導波路に，半径 20 μm の微小リング共振器を距離 250 nm で結合させる構造

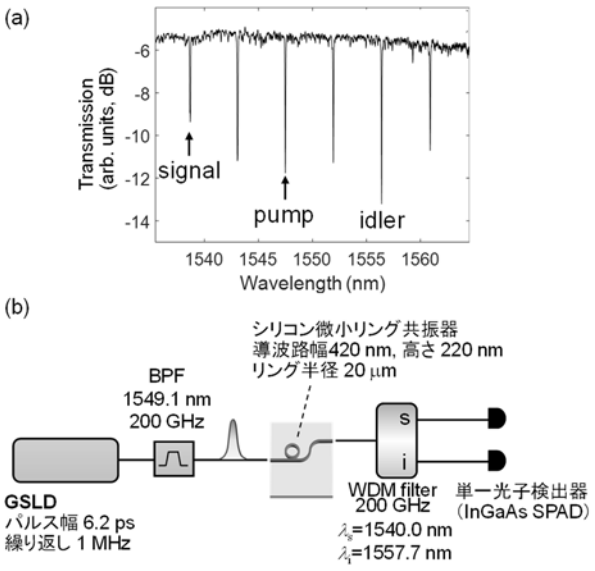



図１　(a) リング共振器の透過スペクトル。(b) 実験系の模式図。

を採用した。設計に基づき，素子のフォトマスクを作成し，試作を行った。試作回路の透過スペクトルを測定したところ，図 1(a)に示す良好な共振特性が得られた。共振線幅から見積もった共振 $Q$ 値は $4.0\times10^4$ であった。

第２に，試作素子に半導体レーザーパルスを入力し，単一光子を発生した。実験系の模式図を図 1(b)に示す。半導体パルス光源として，短パルスの発生が可能な利得スイッチレーザーダイオード（GSLD）を用いた。GSLD から発生した時間幅約 6　ps，繰り返し周波数 1 MHz の光パルスを，素子の動作偏波である TE モードで光導波路に入力した。一般に，微小リング共振器から量子干渉性の高い光子を得るためには，励起光パルスのスペクトル幅がリング共振器の共振線幅よりも十分広いことが必要である。本実験条件はその要請を満たしている。リング共振器において，自発四光波混合を経て，2 つの波長（シグナル波長及びアイドラ波長）の間で光子数が強く相関した 2 光子状態が発生する。それぞれの波長成分を波長多重（WDM）フィルタで別々の経路へと分離し，各チャネルの出力光子を単一光子検出器で検出した。光子対のうち片方の光子の検出信号を伝令として用いることで，もう一方の光子を（伝令付き）単一光子として用いることができる。

時間相関測定の結果，明瞭な時間相関を有する光子対の発生を確認することができた（図 2(a)）。また，光子対同時計数は励起光強度の 2 乗に比例した（図 2(b)）。このことは自発四光波混合の理論と一致する。

実験では，リング共振器の他に，共振器に光を入力するためのバス導波路からも光子対が発生する。その寄与を調べるため，リング共振器に非共鳴な光パルスを入力して同様の測定を行った。結果より，リング共振器からの光子対は全検出信号の約 6 割を占めることが分かった。自発四光波混合における光子対発生効率は導波路長の 2 乗に比例する。バス導波路の長さ 7 mm に比べ，リング共振器の周長は 126 μm と極めて短い。それにも関わらずバス導波路と同程度の光子対がリング共振器から得られていることから，共振器による光学非線形性の増強を確認することができた。

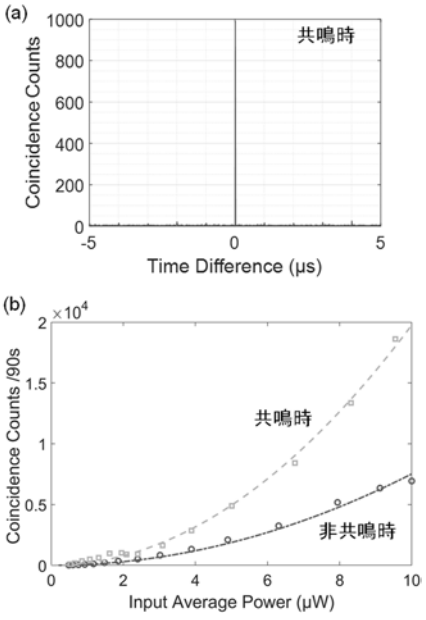



図 2　(a)光子対の時間相関ヒストグラム。(b)光子対同時計数率の励起光強度依存性。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの遂行により，量子光源システムのサイズが大幅に小型化され，光量子計算機のスケールアップにつながることが期待される。今後，出力光子の量子干渉性の解析を行う。

［４］成果資料

（１）松田信幸，〝ボゾンサンプリングと線形光学回路,〞レーザー研究　**48**，481（2020）.

（２）高磊，石澤淳，松田信幸，山田浩治，〝Si 集積プラットフォームの非線形光学応用開拓,〞 レーザー研究　**48**，530（2020）.

（３）松田信幸，山田博仁，枝松圭一，三浦義隆，福田大治，〝量子集積フォトニクスの展望,〞月間オプトロニクス 10 月号，111（2020）.

（４）松田信幸，〝光導波路を用いた量子情報処理デバイス,〞光学 **50**，29（2021）.

（５）N. Matsuda, “On-chip photonic devices for quantum information processing,” IEEE Photonics Conference, ThA1.1, Online, Oct. 1, 2020. (Invited)

（６）松田信幸，〝光集積回路を用いた量子情報処理,〞 第 19 回フォトニクスイノベーションセミナー，オンライン，2020 年 10 月 12 日．（招待講演）

（７）松田信幸，〝量子情報処理のための光導波路回路技術,〞 フォトニックデバイス・応用技術研究会 第 29 回ワークショップ, オンライン, 2020 年 11 月 25 日．（招待講演）

（８）F. Yang, M. Fukunaga, K. Edamatsu, H. Yokoyama, H. Yamada, N. Matsuda “Generation of Correlated Photon Pairs from a Silicon Micro-ring Resonator with a

Gain-Switched Laser Diode," The 3rd IFQMS, C-4, Online, Dec. 17, 2020.

（9）菊地涼、石川巧、土師康平、山田博仁、松田信幸, ″自己相似導波路アレイにおける光局在の実現,″ 2021 年電子情報通信学会総合大会, オンライン, 2021 年 3 月 11 日（招待講演（受賞記念講演））.

（１０）F. Yang, M. Fukunaga, K. Edamatsu, H. Yokoyama, H. Yamada, N. Matsuda, "Generation of Correlated Photon Pairs from a Silicon Micro-ring Resonator Using a Gain-Switched Laser Diode,″ 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-Z03-5, オンライン, 2021 年 3 月 19 日.

採択番号（Grant No.）：H31/A19

# Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy

［1］組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：Eli Christopher Inocencio Enobio (Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：Shunsuke Fukami（東北大学電気通信研究所）

研究分担者 (Project Member List)：Charisse Kim A. Lamberte (Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：3 人

［2］研究経過 (Summary)

We established a method to characterize ultrathin CoFeB-MgO magnetic tunnel junction (MTJ) structure with perpendicular easy axis by spin rectification enabled by anomalous Hall Effect [APL 105, 262404, (2014)]. Stack samples are deposited by dc/rf magnetron sputtering on $Si/SiO_2$ substrate. From the substrate side, the stack structure is Ta(5)/CoFeB(1)/MgO/CoFeB(1.8)/Ta(5)/Ru(5). Numbers in parentheses are nominal thicknesses in nanometers. The samples are annealed at 300 ℃ for 1 hour.

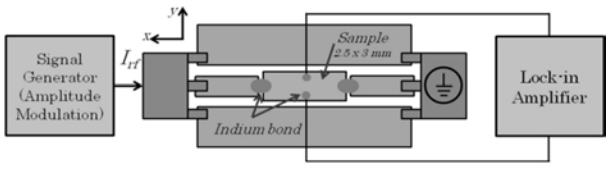



*Fig. 1. Schematic of electrical detection of magnetization dynamics.*

The blanket film is cut into 2.5 x 3 mm stripe. Microwave rf signal ($P$ = 20 dBm) with amplitude modulation (1 KHz, 90% depth) is sent directly into the stripe through coplanar waveguide and Indium bonding. Schematic of the measurement setup is shown in Fig. 1. For each applied rf current $I_{rf}$ (1.5 GHz to 10 GHz), the magnitude of external DC magnetic field $H_{ext}$ directed along horizontal ($x$) axis is varied. The resonant Hall voltage $V_y$ along the transverse ($y$) direction is measured using lock-in amplifier. Resonance peaks are fitted by combination of symmetric and antisymmetric Lorentzian [PRB 84, 054423, (2011)]. Resonance magnetic field $H_R$ is plotted versus applied microwave frequency $f$. Also resonance linewidth $\Delta H$ is plotted as a function of microwave frequency $f$. Effective perpendicular anisotropy field $H_K^{eff}$ and damping parameter $\alpha$ are determined from resonance conditions derived from LLG equation

$$f \cong \frac{\gamma\mu_0}{2\pi}\sqrt{\begin{pmatrix}H_R\cos(\theta_M-\theta_H)+H_K^{eff}\cos 2\theta_M\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}H_R\cos(\theta_M-\theta_H)+H_K^{eff}\cos^2\theta_M\end{pmatrix}}$$

$$\mu_0\Delta H \cong \left\{\left(\frac{2\pi\alpha}{\gamma}f\right)_{intrinsic}+\left(\left|\frac{d(\omega/\gamma)}{dH_K^{eff}}\right|\Delta H_K^{eff}\right)_{anisotropy}+\Delta H_{TMS}\right\}$$

where $\gamma$ is gyromagnetic ratio, $\mu_0$ is Bohr magneton, $\theta_M$ is magnetization direction, $\theta_H$ is external magnetic field $H_{ext}$ direction, $\Delta H_{TMS}$ is two-magnon scattering linewidth.

For comparison of magnetic properties using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance (VNA-FMR) measurement, blanket film sample with dimension of 2 mm x 2 mm used. Measurement and analysis is already established from our previous work [IEEE Magn. Lett. 6, 5700303 (2015)]

［3］成果 (Results)

(3-1a) 研究成果 (Research Results)

Result of resonant Hall voltage $V_y$ versus applied external field is shown in Fig. 2. Only transverse resonance voltage is detected

suggesting spin rectification from anomalous Hall Effect [APL 109, 182406, (2016)]. We observed that FMR signal strength is primarily dependent on rf power $P$ thus optimizing the coplanar waveguide design is vital in order to reduce microwave loss when directly injecting rf current on sample by simple wire bonding.

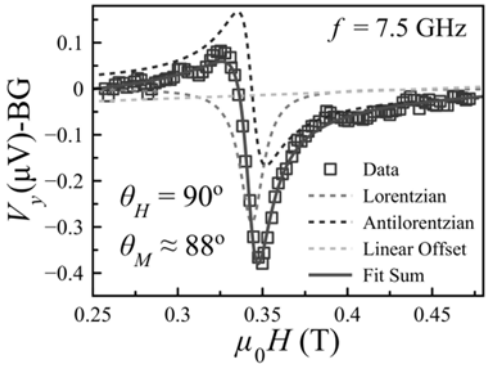



*Figure. 2. External magnetic field dependence of spin-rectified anomalous Hall voltage (minus background BG ) with $I_{rf}$ frequency of 7.5 GHz.*

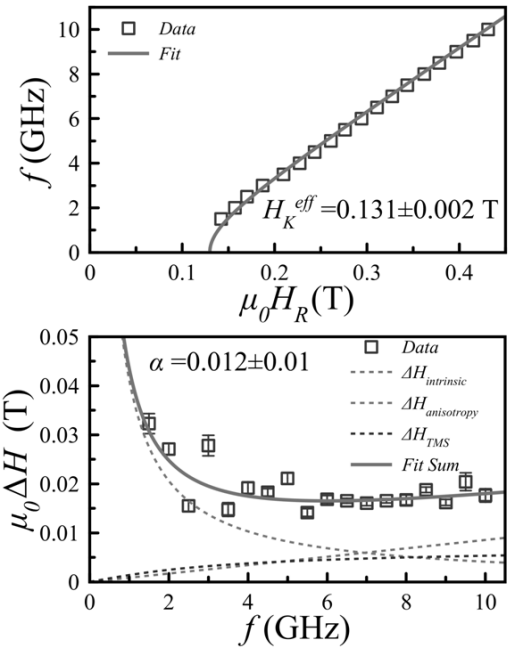



*Figure. 3. Frequency dependence of resonant field $H_R$ and linewidth $\Delta H$. Fitted $H_K^{eff}$ and damping constant α is shown.*

Figure 3 show the (a) frequency dependence of resonance field $H_R$ and (b) linewidth $\Delta H$. From the fitting using resonance condition derived from LLG equation, we are able to determine the effective anisotropy field $H_K^{eff}$ and damping of top CoFeB recording layer which is consistent with values determined by VNA-FMR.

(3-1b)Achievement from a view point of international collaboration

This collaborative work enhances knowledge and capability exchange between the Physics Department of Mindanao State University-Iligan Institute of Technology, Philippines, and the Laboratory of Nanoelectronics and Spintronics, Tohoku University, Japan. The Mindanao State University-Iligan Institute of Technology is pursuing to become a research university, and the exposure of its faculty and students to international cooperative researches is valuable for the development of its research capabilities.

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)

The result established an electrical method to characterize damping constant of magnetic tunnel junctions structure with perpendicular easy axis. As film thickness is reduced, characterization of magnetic properties utilizing inductive method such as VNA-FMR is becoming a challenge due degradation of signal-to-noise ratio. From our previous work, when signal-to-noise ratio is a concern, future VNA-FMR research may consider employing reduced CPW sizes.

By employing electrical method to characterize dynamic magnetic properties, the technique has no dependence on sample thickness thus offer superior capabilities in comparison to inductive method such as VNA-FMR. However, sample size dependence of electrical technique is not yet established and will be studied on our next work which includes optimization of coplanar waveguide used in the direct wire bonding.

［4］成果資料 (Publications)

None

**採択番号：H31/A21**

# ラピッドプロトタイピングのための ソフトウェア無線機の同期性能の検討

［1］組織
研究代表者：
山田　洋士（石川高専電子情報工学科）
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：
中浜　智也（石川高専専攻科・学生）
小熊　博　（富山高専電子情報工学科）
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）
延べ参加人数：６人

［2］研究経過

パソコンと無線信号用インタフェースの組み合わせからなる汎用ソフトウェア無線装置は，無線システムのプロトタイピングや無線信号計測などへの利用が期待されている．

しかし，汎用性の高さと引き換えに，無線信号計測への利用においては時間・位相同期の確立に課題が存在し，この解決が求められている．本テーマは実施2年目であり，前年度は2台のソフトウェア無線機USRPで同期受信を行う際に，ソフトウェア的な手法により時間・位相同期を確立する手法を提案した．

この結果を踏まえながら，研究代表者と通研担当教員がメール等で連絡を維持して検討を進め，10月に研究代表者および研究分担者と通研対応教員(計3名)が，同期性能の定量的な評価と同期手法の一般化について研究打ち合わせを実施した．また，USRPを用いて室内の無線伝播路のチャネルインパル応答（CIR）測定を行う手法を提案し，定量的な制度評価を実施した．

2月および3月にも，研究代表者および研究分担者と通研所属の学生および通研対応教員(計 4 名)が2 回の研究打ち合わを遠隔実施しながら，ソフトウェア手法による同期確立に関する研究を展開した．

これらの結果は，電子情報通信学会スマート無線研究会で報告（2 件）するとともに，電子情報通信学会論文誌の論文1編として報告した．

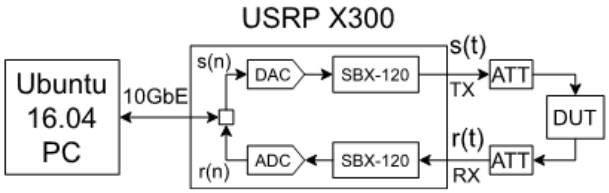



図1　920MHz 帯での CIR 測定のブロック図

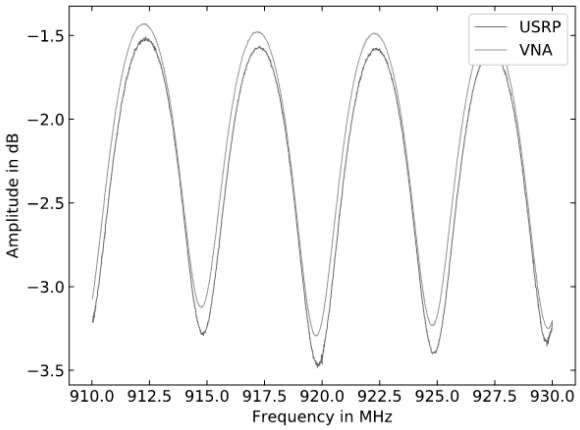



図2　20m 同軸 open stub の振幅特性の測定結果

［3］成果

(3-1）研究成果

本年度は，前年度に提案した UHD Timed Commands と呼ばれる種類の命令を用いた時間・位相同期手法を2台の USRP で送信・受信を行う場合に適用し，USRP の実使用状態における無線伝播路の高精度なチャネルインパルス応答測定を可能とした．

キャリア周波数 Fc=920MHz, サンプリング周波数 Fsb=20MHz の条件下で，図1の構成により 20m 同軸ケーブルからなる open stub の CIR を測定し，CIR から算出した振幅特性および位相特性をベクトルネットワークアナライザ（VNA）の測定値と比較した結果を図2および図3にそれぞれに示す（成果資料(1)より抜粋）．VNA の測定値を真値と仮定すると，20 回の測定の試行における絶対値が最も大きい振幅／位相誤差は，−0.263dB/−2.01 度であった．

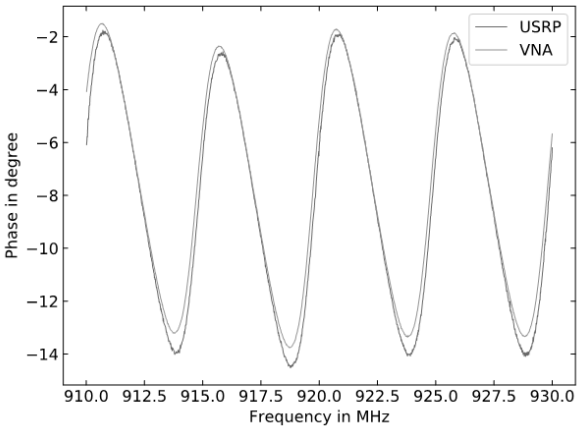



図3　20m 同軸 open stub の位相特性の測定結果

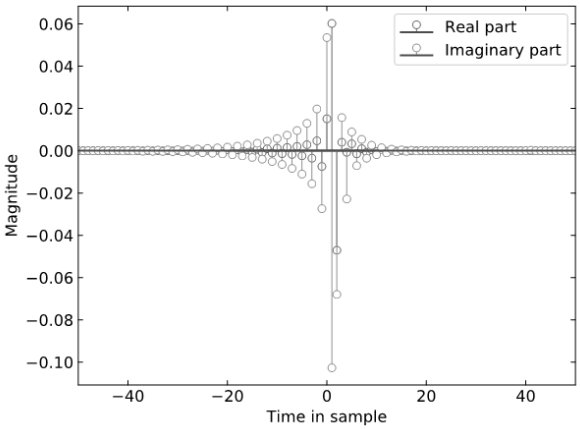



図4　室内での CIR の測定結果

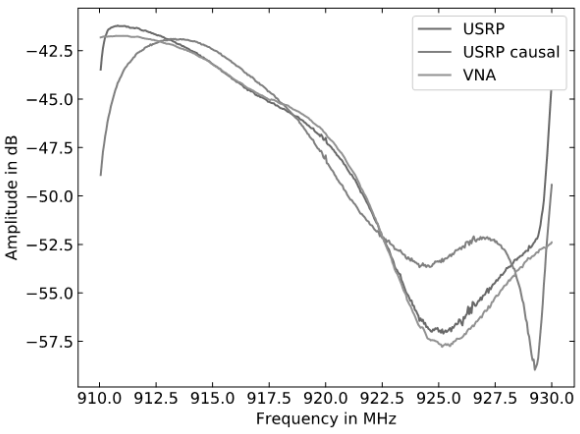



図 5　CIR から算出した振幅特性（因果的成分を含む場合・無視した場合）と VNA 測定値との比較

図 4 は，床面積約 100m$^2$・天井高さ 3m の鉄筋コンクリート造の実験室内で，送受信アンテナ間距離 2.88m として 920MHz 帯の CIR を離散的なインパルス応答として測定した結果である．見通し伝播路（LOS）において 1 サンプル未満の線形位相性遅延成分が存在する条件下であるため，離散インパルス応答として求めた CIR には，見かけ上の非因果的成分が存在する．

図 5 は，図 4 の CIR から算出した振幅特性を VNA 測定値と比較した結果である．「USRP causal」と凡例で示した緑色のプロットは，CIR の非因果的成分を 0 として算出した振幅特性である．非因果的成分を含めて算出した青色のプロットが VNA 測定値により近いことから，LOS 成分を含む近距離伝播路の CIR を離散インパルス応答として推定する場合には，見かけ上の非因果的成分を考慮したほうが推定精度を向上できると考えられる．

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの実施を通じて高専の専攻科学生および教員が通研対応教員とディスカッションする機会が実現し，USRP を用いた無線信号計測の実現に関する本プロジェクト参加学生および研究代表者の知見が飛躍的に向上した。

本プロジェクトで明らかになったコード実装法の成果は，前述のように電子情報通信学会スマート無線研究会および電子情報通信学会論文誌で報告した．

2021 年 5 月にスマート無線研究会の依頼講演において，本プロジェクトで対象としたソフトウェア無線機 USRP の時間・位相同期に関する Webinar を実施予定である．これにより，本プロジェクトで得られた成果を，高専・大学等の教育研究機関等に波及させる効果が期待される。

［4］成果資料

[論文]

（1）中浜智也, 山田洋士, 亀田 卓, 本良瑞樹, 末松憲治, "ソフトウェア無線機 USRP X300 を用いた非因果的成分を考慮したチャネルインパルス応答測定," 電子情報通信学会論文誌，vol.J104-B，no.3, pp.199-209, Mar. 2021.

[口頭発表]

（2）中浜智也, 山田洋士, 亀田 卓, "GNU Radio を用いた USRP およびドータボードでの位相同期の実装例," 電子情報通信学会技術研究報告 スマート無線 SR2020-34, vol.120, no.238, pp.74-81, Nov. 2020.

（3）中浜智也, 山田洋士, 亀田 卓, 本良瑞樹, 末松憲治, "ソフトウェア無線機 USRP X300 を用いた非因果的成分を考慮したチャネルインパルス応答測定の実現," 電子情報通信学会技術研究報告 スマート無線 SR2020-1, vol. 120, no. 53, pp. 1-8, Jun. 2020.

[公開ソフトウェア]

（4）USRP N200 および X300 シリーズ用の同期を確立するための付加コード（サンプル実装例）
https://dsp-lab.net/release/（プロジェクト Web ページ）

**採択番号: H31/A22**

# Interactive Content for Emergent Users

[1] 組織(Research Organization)

研究代表者:
Anirudha Joshi, IIT Bombay, Mumbai

通研対応教員(Research Collaborator of RIEC):
Yoshifumi Kitamuara, Tohoku University

研究分担者(Project Member List):
Rohan Jhunja, IDC School of Design, IIT Bombay, Mumbai

延べ参加人数(Total Number of Participants): 3人
This project included three investigators, as well as one graduate student (Bu Hongyu, Tohoku University).

[2] 研究経過 (Summary)

Many emergent users find it difficult to navigate hierarchies of information systems or use text-based-search. This becomes a challenge particularly when the emergent users need to choose options from a large database, such as selecting a movie in an OTT platform because usually these systems rely on text-based-search. The goal of this project was to explore the possibilities of the interaction techniques developed in the RIEC project D-Flip to enable navigation of such interactive content by emergent users.

Between December 2019 and March 2020, researchers in RIEC and IDC collaborated to produce three interfaces (two benchmarks and one using D-Flip technology) to navigate a database that included 500 popular Indian movies. An evaluation with emergent users was designed and pilot tested. Unfortunately, just when we were about to begin the final study, the university went into Covid-related lockdown in March 2020. Since then, the university has been working remotely, and it has not been possible to do any in-person user studies. While it is possible to do remote user studies with some users, the need for special hardware, and the challenges faced by emergent users to interact in a remote user study rule out this possibility for this project. Hence there has been no progress during this period. Reproduced below is the report till March 2020 for easy reference.

---

This study examines the effect of three navigation mechanisms on the navigation success and time. The mechanisms are List, Menu and D-Flip. We are particularly interested in emergent users who are unable to perform searches because they are unable to formulate queries or are limited by their text-input abilities. The User Usage Model categorizes this population as Basic Users and Navigators [Devanuj, & Joshi, A. (2013)]. Basic Users can use ICT devices with buttons (elevators and voting machines), but lack abstraction. This may explain why they can use lists but not menu hierarchy. Navigators can navigate hierarchies because they have the ability to do abstract thinking. This might enable them to navigate hierarchies. However, they are not able to input text, thus eliminating tasks of search. This limits them to relatively smaller data sets. Our hypothesis is that D-Flip will perform better (in terms of task success and time taken) than List and Hierarchy as it is designed to handle larger databases, by visualizing items across 4 dimensions and providing interactions to explore relations between items. This report describes the design of the experiment and interfaces designed for it.

Previous research on navigation by less-literate subjects and emergent users in India has focused on specific search tasks on small databases (~45 items)[Padhi, D. R. et al.,(2018)] [Shrivastava et al., 2014:] [Medhi et al., 2013::]. For this experiment, a larger database of 500 Bollywood films was created. Top 13 revenue-earning films of each of 5 most common genres- Action, Drama, Romance, Comedy and Social were selected. Effort was taken to collect a database that was balanced across all genres and provided the same number of items across three interfaces, accounting for overlapping items. The design of the three interfaces has been described in Table 1. These were implemented on a large touchscreen.

The participant size was set at 72. Initial recruitment was from among cleaning and canteen staff on campus. Participants were selected after a set of screening tasks to determine their ICT-usage abilities and familiarity with Bollywood films.

*Table 1: Design of interfaces*

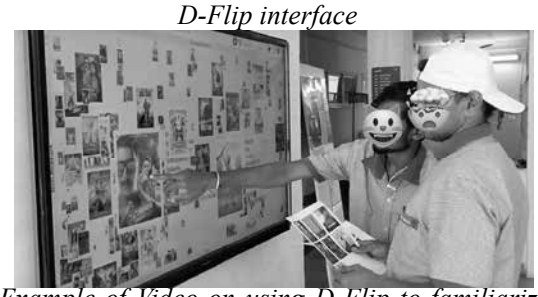
| List | Menu | D-Flip |
|---|---|---|
| ~30 items at a time distributed across 20 screens | ~5-25 items at a time in a 3-step hierarchy | ~500 items at a time |
| Top-to-bottom: Recent to older films, | Upper-to-low er levels: 5 Genres > 5 | x-axis: older to recent films |
| ordered by revenue within each year | Bi-yearly groups | y-axis: High revenue to low revenue Size: Revenue |
| Items are displayed with 7 to a line | Categories are visualized by the top-4 films | All items mapped by x, y axes and size |
| Up and down arrow buttons to navigate list | Clicking on category, Back to return | Selecting films with the same actors |




*Menu interface*



*D-Flip interface*



*Example of Video on using D-Flip to familiarize participants with the interface.*

The scenario presented to participants will be of a public device installed at a railway station on which one can browse and download films to a personal device. Participants will be shown a video of each interface in a shared use scenario. Two tasks will be given: an open-ended task and a specific search task. First, the users will be invited to use the three interfaces for 5 minutes each to explore the films. Their interaction will be recorded for qualitative analysis and questions on usage patterns will be asked after each interaction. Following that, participants will be given a specific target of a film title and poster presented on a separate device. Participants will be asked to navigate to the film to play it's trailer in the given interface. 4 target films will be randomly selected from the database, one from each of four quadrants (Popular-new films, Popular-old films, Niche-new films and Niche-old films), for one of three interfaces. A total of 12 targets will be provided to each participant. 6 sets of 12 targets will be used. The order of interfaces was counterbalanced across the participants for both tasks. If a participant is unable to navigate to the interface in a reasonable time (calculated for each quadrant in each interface based on times from the pilot) then they will be provided with a choice of any one hint (either actor, year or genre). Task success in these cases will be marked as 'Hinted' and task-times will be calculated from the time the hint was given. Following the use of each interface, participants will be asked to answer an orally-delivered questionnaire based on SUS to collect data on perceived usability.

[3] 成果(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

Pilot studies were performed to test the system and the study. However, the final studies could not be started because the institute was locked down due to Covid19.

Through the final experiment we aim to evaluate:

1. Time taken for items across the database (4 quadrants).
2. Time taken against task success without hints and after hints
3. Perceived usability of each interface
4. Qualitative observations on the usage patterns shown by emergent users

(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)

To our knowledge, empirical research on navigation of visual interfaces by emergent users has been limited to specific searches on smaller databases [Padhi, D. R. et al.,(2018)]. Interfaces such as D-Flip that support a user in exploring a database with ease, may allow complex search tasks like finding content or products of choice.

**References:**

Padhi D R, Joshi A, Shrivastava A, Tulaskar R. 2018. Hierarchy or list? comparing menu navigation by emergent users. Proc. of the Indian Conference on Human Computer Interaction (IndiaHCI), 29-34. DOI: https://doi.org/10.1145/3297121.3297125

Medhi, I., Lakshmanan, M., Toyama, K., & Cutrell, E. 2013. Some evidence for the impact of limited education on hierarchical user interface navigation. Proc. of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2813-2822, ACM.

Shrivastava, A., & Joshi, A. 2014. Effects of visuals, menu depths, and menu positions on IVR usage by non-tech savvy users. Proc. of India HCI Conference on Human Computer Interaction, p. 35, ACM.

[4] 成果資料(Publications)

N/A

**採択番号：H31/A23**

# 学習支援のための追体験システムの構築

［1］組織
研究代表者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：YUEH, Hsiu-Ping
（国立台湾大学）
Weijane Lin
（国立台湾大学）
満上　育久
（広島市立大学）
他，東北大研究員，学生5名
国立台湾大学教員1名
延べ参加人数：8人

［2］研究経過

本研究では、特定の課題の学習時の学習者の認知・行動特性を計測し、学習行動の AI クローンを構築することを目的とする。学習内容として分担者 Yueh らの開発した自己学習教材を利用し、対象とする認知特性・行動特性としては、計測結果に基づく無意識的判断も含めた多様な分析を計画した。2019 年度は、具体的な研究の実施ために、代表者の国立台湾大学訪問（2019 年 6 月 20 日）、国立台湾大学／東北大学共催シンポジウム（When AI meets human sciences, 2020 年 2 月 20 日）などにおいて、研究計画における連携のための議論を進めた。それに引き続き今年度は、分担者 Yueh らが進める、大学生グループの課題遂行へのロボット支援に関する研究についての共同研究計画を進めた。この研究の課題は、少数民族言語分析に関するものであり、解答には何段階かの推測段階が必要とされる。ロボット（実際には裏で実験者が語る）がそれぞれに関連したヒントが与えることで支援するが、内容に関する支援、および感情的支援の影響を調査する研究である。彼らは、ロボット感情表現が学習支援としては有効にはたらないことを示唆する結果をえている。共同研究においては、代表者らが進める、顔表情と学習効果に関する分析を適用することで、学習行動のモデル化を進め、有効な学習支援の実現に向けた計画を進めた。

［3］成果

(3-1) 研究成果

分担者 Yueh ら研究は、学術論文として国際学術誌に投稿した。その後高校生を対象とした実験を開始した。代表者らは、学習者の認知行動予測のための基礎研究を目的に、学習時の顔表情の計測、解析手法の検討を行った。昨年度検討したビデオ映像からの顔表情分析（OpenFace 利用）を利用し、問題解決時を対象とした顔表情分析を進めた。顔映像から顔の特徴やその組合せによる表情予測が可能であることを確認し（図1）、検出された特徴と課題遂行との関連を検討した。




図1　OpenFace による顔特徴の解析。小さな赤四角は、眼、眉、鼻、口、顔輪郭などに関連する特徴点（赤で表現）。直方体（青で表現）によって推定された頭部方向を表す。黒眼付近の短い線（緑で表現）は推定された視線方向を示す。




図2　被験者に与えた課題。画面上に呈示された 3 桁あるいは 4 桁の加減算であり、暗算で答えを出し、キーボードから入力する。

課題は画面上に呈示された 3 桁あるいは 4 桁の加減算であり、暗算で答えることであった (図 2)。12 名の被験者を対象とし、各被験者は 300 問の問題を続けて解答した。解答までの時間を計測し、それに基づき各試行の問題の難易を推定した。その結果、繰り上がり、繰り下がりのある 4 桁の問題を難問として、それ以外を易問として分類した。顔表情に関連する顔特徴を利用し、機械学習(LightGBM)によるこの難易の推定を行った。その予測について、ROC(Receiver Operating Characteristic) 曲線で評価した。ROC 曲線は、横軸に偽陽性率、縦軸に真陽性率をとり結んだものであり、ROC 曲線が左上にいくほど推定精度が高いことを意味する。一般にその曲線の下の面積、AUC(Area Under the Curve) で評価される。1.0 が完全な予測であり、0.5 がランダムな予測である。問題の難易の LightGBM に関する推定は、AUC の値は 0.77 であることから(図 3)、問題解決に対する心的負荷の大小が顔表情に現れることが示された。今後、この評価手法を、ロボットによる学習支援への展開を予定している。

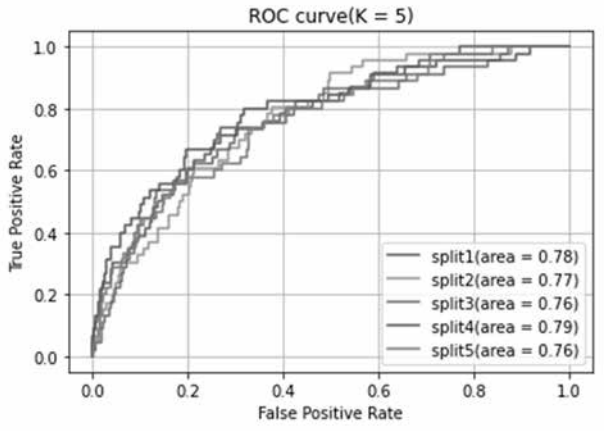



図3　問題難易評価に関する ROC 曲線。Split 1〜5 は、実験データを 5 分割し、そのうち 4 群を学習にして、残りでテストを行ったため、各群をテストに使ったため 5 回の評価があり、それぞれが Split の番号で示されている。

［4］成果資料

1) 洞口勇太,佐藤好幸,塩入諭, 評価者の顔表情特徴量を利用した画像の好み推定に関する研究, 信学技法 HIP2020-67, pp. 71-76
2) W. Wu, Y. Hatori, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Different combinations of motion-in-depth channels for motion-in-depth direction Vision, 32(4), p.148, 2020
3) S. Shioiri, Z. Li, T. Miura, W. Wu, I. Kuriki, C.H. Tseng, Y. Hatori, Measuring attentional facilitation related to hand movement goal independently of the top-down visual attention, Vision, 32(4), p.149, 2020
4) 佐藤好幸, 松原和也, 和田有史, 塩入諭, ヒトの主観評価決定要因の深層学習モデルを用いた分析, 信学技法 HIP2020-68, pp. 77-80 , 2020
5) Hsu, C.-Y., Lin, W.*, & Yueh, H.-P. (2020, July). Designing and Developing a Sandbox-style Tangible AR for Geoscience Learning, Lecture Notes in Computer Science 12193: Cross-Cultural Design: Methods, tools and user experience, 1-10.
6) Yueh, H.-P., Lin, W.*, Wang, S.-C., Fu, L.-C. (2020, September). Reading with robot and human companions in library literacy activities: A comparison study, British Journal of Educational Technology, 51(5), 1884-1900.
7) Lai, T.L., Lin, Y.S., Chou, C.Y., & Yueh, H-P. (2021). Evaluation of an inquiry-based virtual lab for junior high school science classes. Journal of Educational Computing Research.
8) 松浦拓, 大倉史生, 槇原靖, 周成菊, 青木工太, 満上育久, 八木康史、デュアルタスク歩行解析に基づく高齢者の認知機能スコア推定 (ヒューマンコミュニケーション基礎)、電子情報通信学会技術研究報告= IEICE technical report: 信学技報 119 (447), 83-88
9) Liao, R., Makihara, Y., Muramatsu, D., Mitsugami, I., Yagi, Y., Yoshiyama, K., A video‐based gait disturbance assessment tool for diagnosing idiopathic normal pressure hydrocephalus IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering 15 (3), 433-441
10) 山添大丈, 満上育久, 小川拓也, 八木康史、バランスとキネマティクスに着目した左膝関節固定時の歩行分析、看護理工学会誌 7, 33-42
11) JY Wang, W Lin, HP Yueh, Developing a Serious Game for Information Ethics Literacy iSchools, 2021
12) Yueh, HP , Lin, W ., Wang, SC , Fu, LC, Reading with robot and human companions in library literacy activities: A comparison study, British Journal of Educational Technology 51 (5), 1884-1900, 2020
13) Hsu, CY, Yueh, HP, Lin, W .,Designing and Developing a Sandbox-Style Tangible AR for Geoscience Learning, International Conference on Human-Computer Interaction, 281-290, 2020

**採択番号：H31/A24**

# インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析

［1］組織

研究代表者：

内海 哲史（福島大学共生システム理工学類）

通研対応教員：

長谷川 剛 教授　（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：2 人

［2］研究経過

2016 年 9 月 Neal Cardwell（Google）らによって、BBR(Bottleneck Bandwidth and RTT)[参考文献 1]が発表された。BBR はスループットを最大化し、バッファリング遅延を最小化する新しいインターネット輻輳制御機構である。BBR は、インターネットのボトルネックリンクにおいてバッファリング遅延が継続的に大きくなるバッファブロートを解決する輻輳制御として期待されている。しかし、BBR がこれまで広く普及しているCUBIC TCP[参考文献2]などの従来型のロスに基づく輻輳制御機構と競合するとき、BBR はロスに基づく輻輳制御機構とスループットが不公平になるという問題がある。内海（研究代表者）は、これまでの研究で、BBR のアルゴリズムやパラメータを変更することによって、スループット公平性の改善に取り組んできた。本研究では、スループットを最大化し、バッファリング遅延を最小化する輻輳制御である遅延に基づく輻輳制御について、CUBIC TCP などのロスに基づく輻輳制御と競合するときの数理モデルを明らかにすることによって、スループットが不公平になる問題を根本的に解決することを目的とする。また、その数理モデルに基づく新しい遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムを提案・性能評価することも目的となる。

［参考文献 1］Neal Cardwell, Yuchung Cheng, C. Stephen Gunn, Soheil Hassas Yeganeh, Van Jacobson, “BBR Congestion-Based Congestion Control,” ACM Queue, September-October 2016, pp. 20-53.

［参考文献 2］Sangtae Ha, Injong Rhee, Lisong Xu, “CUBIC: A New TCP-Friedly High-Speed TCP Variant,” ACM SIGOPS Operating System Review 42(5), July 2008, pp. 64-74.

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。前年度は、BBR フローと CUBIC TCP フローがボトルネックリンクで競合するときのスループットをネットワークシミュレーションによって評価し、BBR フローと CUBIC TCP フローでスループット公平性が達成されないことを明らかにした。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、BBR などの遅延に基づく輻輳委制御機構のフローと CUBIC TCP フローのスループット公平性を達成するため、CUBIC TCP フローの平均輻輳ウィンドウサイズおよび平均スループットに関する数理モデルを示した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) 電子情報通信学会 NS/RCS 研究会

場所：オンライン開催

日時：2020 年 12 月 17 日

題目：異種の輻輳制御機構間の公平性の改善を目的とした CUBIC TCP の解析モデルの提案

発表者：内海 哲史

（福島大学理工学群共生システム理工学類）

(2) 2020 年度東北大学電気通信研究所 -情報通信共同研究拠点- 共同プロジェクト研究発表会（共同研究プロジェクト成果報告・口頭発表）

場所：オンライン開催

日時：2021 年 2 月 18 日

題目：Performance Analysis of Heterogeneous Environment of Internet Congestion Control

発表者：

内海 哲史（福島大学共生システム理工学類）

参加者：

長谷川 剛（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、他フローにより、CUBIC TCP フローの平均ウィンドウサイズおよび平均スループットを

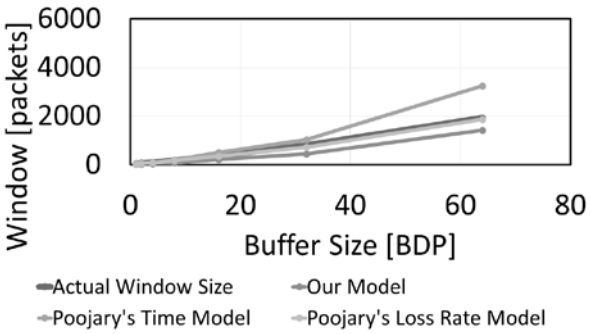



図1: CUBIC TCP フロー自身による CUBIC TCP フローのウィンドウサイズの推定

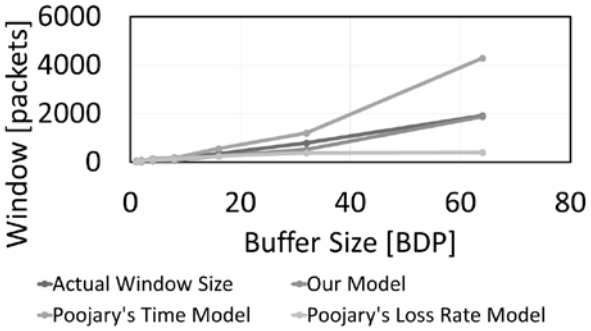



図2: BBR フローによる CUBIC TCP フローのウィンドウサイズの推定

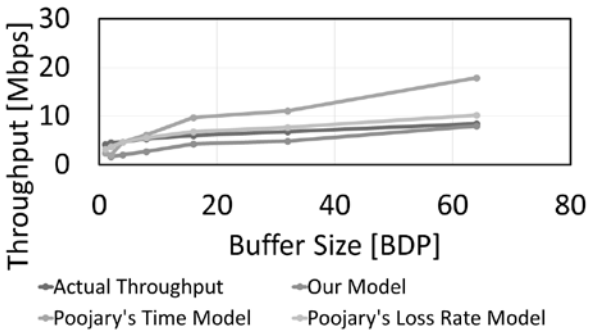



図3: CUBIC TCP フロー自身による CUBIC TCP フローのスループットの推定

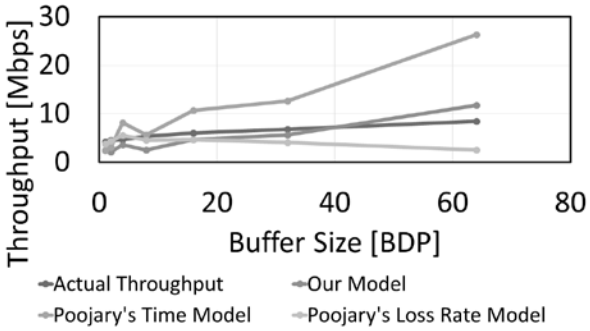



図4: BBR フローによる CUBIC TCP フローのスループットの推定

正確に推定できる数理モデルを提案した。

第２に、エミュレーション実験による評価によって、数理モデルの検証を行った。検証結果は、図 1-4 の通りである。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

従来の TCP Vegas、BBR、Copa などのバッファリング遅延を最小化する遅延に基づく輻輳制御機構は、現在広く用いられている CUBIC TCP などのロスに基づく輻輳制御機構と競合するとき、一般的にスループットが不公平になるという問題がある。本研究の波及効果と発展性、研究分野への貢献として、以下のことが挙げられる。

- CUBIC TCP などのロスに基づく輻輳制御機構のフローの平均スループットをより正確に示す数理モデルの構築
- CUBIC TCP フローとスループットが公平となる BBR の実現
- （より一般的に）ロスに基づく輻輳制御機構のフローとスループットが公平となる遅延に基づく輻輳制御機構の実現
- ロスに基づく輻輳制御機構との公平性実現による BBR などの遅延に基づく輻輳制御機構の普及
- インターネットにおけるバッファブロート問題の解消

[4] 成果資料

(1) 内海 哲史、長谷川 剛、”異種の輻輳制御機構間の公平性の改善を目的とした CUBIC TCP の解析モデルの提案,”電子情報通信学会研究会、NS/RCS 研究会、2020 年 12 月.

(2) Satoshi Utsumi, “Performance Analysis of Heterogeneous Environment of Internet Congestion Control,” Center for Nation-Wide Cooperative Research on ICT FY 2020 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects “Compass for Next-Gen ICT” Program, Cooperative Research Project I, Feb. 2021.

採択番号（Grant No.）：**H31A26**

# Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
Dr. Amine El Moutaouakil (UAE University)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Prof. Taiichi Otsuji (RIEC, Tohoku Univ.)
研究分担者 (Project Member List)：
Asst. Prof. Takayuki Watanabe (RIEC, Tohoku Univ.)
延べ参加人数 (Total Number of Participants)： 3 人

［2］研究経過 (Summary)

During the first two years of this collaborative project, PI Dr. Amine El Moutaouakil planned to visit the group of Research Collaborator Prof. Taiichi Otsuji to attend the RIEC technical meeting, and to conduct the experimental part of the project at RIEC facilities. Unfortunately, and due to the COVID19 pandemic and the travel restrictions imposed on air travels, the work has to be conducted online.

During the first year of this research, a theoretical study based on the plasmon dispersion model was used to understand the plasmon frequency dependency of both Graphene and $MoS_2$ nanoribbon patterns on the angle between the plasmon wave vector and Graphene or $MoS_2$ nanoribbons. During the second year, theoretical modeling of plasmon dispersion and decay phenomena in ungated Graphene ribbons, as well as the experimental investigation of these plasmons in the Terahertz range using the Attenuated Total Reflection measurement setup were conducted.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

In this first year, a theoretical investigation based on the plasmon dispersion model was used to understand the plasmon frequency dependency of both Graphene and $MoS_2$ nanoribbon patterns on the angle between the plasmon wave vector and Graphene or $MoS_2$ nanoribbons.

In the second year, this model has been used to study the plasmon dispersion and decay phenomena in ungated Graphene ribbons, as well as the experimental investigation of these plasmons in the Terahertz range using the Attenuated Total Reflection (ATR) measurement setup: The ribbons were considered as a homogenous 2D plane with anisotropic sheet conductivity. Based on this model, a simulation was conducted by fixing the electron momentum relaxation rate v in the Graphene ribbons array, the plasmon wave vector q, the effective mass m* and the sheet electron density N2D. The plasmon dispersion frequency for ungated Graphene showed a dependency on the angle of the incident electric field, with a maximum of 7.5 THz at $q = 10^5$ $m^{-1}$ for an angle of $\theta = 0^o$ as shown in Figure 1. The plasmon frequency was found to decrease with the increase in θ, as it was also the case previously for other devices experimentally based on III-V compound semiconductors, and theoretically based on other 2D nanomaterials such as $MoS_2$. This result demonstrates the angular coupling between the polarity of the electric field and the direction of the ribbons. It is worth mentioning that in this simulation, each ribbon is assumed to have a much larger length compared to its width, giving a clear image of the direction of the ribbons.

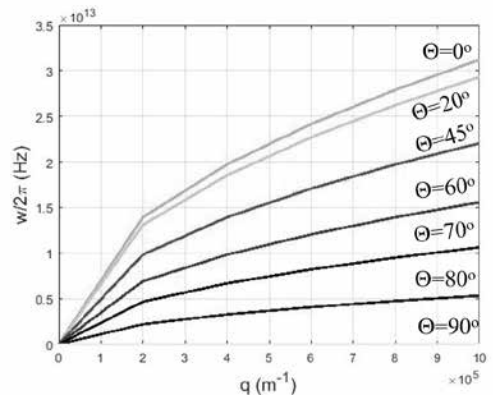



**Figure 1**. Plasmon dispersion w/2π for ungated Graphene nanoribbons as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ and $v = 1.32\times10^{13}$ $s^{-1}$.

On the experimental side, we patterned an array of graphene ribbons using photolithography as shown in Figure 2. The graphene material was epitaxially formed on the surface of a 3C-SiC (110) layer, which is grown on a

Si (110)-oriented substrate. The thickness of the SiC layer was typically 80 nm and the sample was annealed in vacuum at 1200 ºC for 30 min to form graphene on the surface of the SiC layer. After the photolithography process, the obtained ribbons have a size of 12.6 µm x 7 µm and a spacing of 8.4 to 8.6 µm between ribbons as shown in the scanning electron microscope (SEM) image in Figure 2.

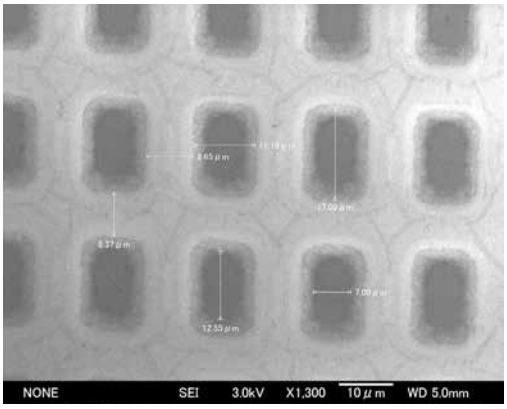



**Figure 2**. SEM image of the fabricated Graphene ribbons showing a ribbon size of 12.6 µm x 7 µm and a spacing of 8.5 µm.

The investigation of these ribbons was conducted using the ATR technique. The Graphene ribbons showed an ATR peak at 1.5 THz indicating a plasmon dispersion at that frequency, as shown in Figure 3. It is worth mentioning that the larger peaks registered at lower frequencies (less than 0.5 THz), and higher frequencies (more than 1.8 THz) are considered artifacts due to the measurable range around the central frequency (around 1 THz) of the ATR system. Shifting the central frequency in the experimental setup to higher frequencies didn't confirm the existence of those peaks.

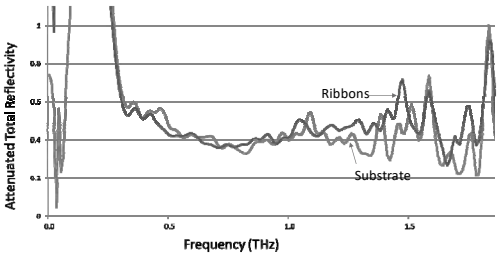



**Figure 3**. ATR response of Graphene ribbons (brown) and the reference substrate (blue).

The reason behind the low frequency of obtained plasmon dispersion (1.5 THz) compared to the simulation resides in the large width and short length of the ribbons; increasing the length of the ribbons while maintaining the width within the nanometer scale using advanced lithography processes such as E-beam lithography, will increase the plasmon dispersion frequency further toward the simulation values. Moreover, the fabricated ribbons were found to have 5-to-10 multilayer of Graphene, which limited the carrier mobility properties, and the use of mono-/bi-layer Graphene can improve the obtained frequency. Besides, the lack of enhancement gating also can be a reason for the low frequency signature of the plasmon dispersion.

（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)

Despite the fact that the simulated structures are expected from a theory point-of-view to show high electronic and optical properties, which will improve the sensitivity for THz detection, the experimental results show few limitations related to the degradation of the plasmon frequency due to the dimensions of the ribbon, and the degraded mobility values. Solving these issues, will promote these structures as THz devices, and can lead to a new era of low-cost and compact terahertz imaging systems and to develop ultra-high-speed THz wireless communication.

［4］成果資料　(Publications)

**One presentation at an international conference:**

1- "Investigation of Terahertz properties in Graphene ribbons," A. El Moutaouakil, H. Fukidome, T. Otsuji, 2020 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, France.

**採択番号：H31/A28**

# 人体領域通信用無線伝搬路に関する研究

［1］組織
研究代表者：
秋元　浩平
（秋田県立大学システム科学技術学部
知能メカトロニクス学科）
通研対応教員：
本良　瑞樹
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
なし
延べ参加人数：2 人

［2］研究経過

人体領域通信(WBAN: wireless body area network)は 人体上の複数のデバイス間で通信を行うネットワークであり，個人を単位として基本的に独立して構築されるネットワークである．本プロジェクトでは，WBAN ア プリケーションの高度化・多様化に伴う高スループット化の要求を満たす新しい WBAN のための人体領域の電波伝搬特性を実測により明らかにすることを目的として研究を行った．

本プロジェクトは，本年度で２年度目であった．そこで本年度は実験データの解析を主軸として研究を進めた．

以下，研究活動状況の概要を示す．

(2-1) 研究会など

令和 3 年 2 月 18 日（木）に本共同プロジェクト研究発表会ポスターセッションに参加し，研究進捗の報告を行った．

(2-2) 共同実験および研究打ち合わせ

令和 2 年 7 月 16 日（木），9 月 10 日（木），11 月 17 日（火），令和 3 年 1 月 5 日（火）の計 4 回，オンラインにて研究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．

(a) 画像処理による人体の１次元座標抽出

ミリ波を用いた移動通信システムは高速・大容量・低遅延といった技術的特徴によってこれからの産業や社会を支える基盤技術として期待されている．ミリ波帯の移動通信システムでは基地局と端末の間に人が入り込む可能性があり，人体のブロッキングによる電波減衰が無視できないため通信が不安定になる．人体によるブロッキングが分かれば別の端末への通信にリソースを費やせるため周波数利用効率を上げることができる．人体の位置座標が分かればブロッキングが起きるか判断が可能である．人体の座標情報は画像処理を用いて抽出できるため本研究では画像情報から人体の一次元座標を抽出し，人体ブロッキングによる電波伝搬特性の推定を行う．

図１に提案手法を示す．人体にマーカーを付けてカメラの正面で人体が移動する様子を撮影する．画像処理プログラムに撮影した動画ファイルを読み込むと１フレーム毎の画像に変換し２値化画像に変換する．このとき閾値を用いて２値化処理を行うことでマーカーのみを白と表示させ，画像の白ピクセルを検出することで１次元座標を抽出する．実験による一次元座標抽出手法の検証を行った．人体を等速直線運動させることで人体座標を設定した，台車を押す人が一定のテンポで歩くことで等速直線運動で人体を移動させる．

以上より，アンテナの位置と人体の１次元座標情報からモデル化を行い，人体がアンテナ間を移動した時の電波伝搬特性の推定を可能とした．

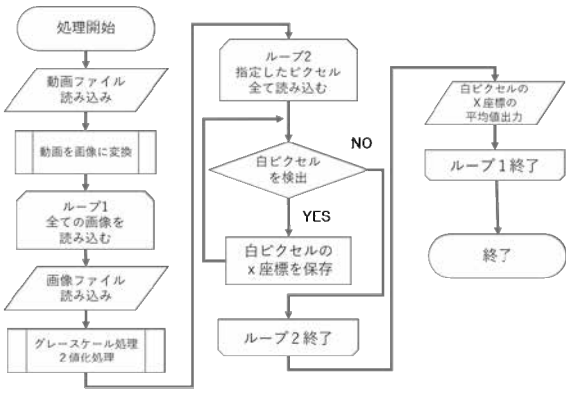



**図 1　画像処理による人体の１次元座標抽出**

(b) ミリ波帯人体領域通信用角度プロファイル

WBAN(wireless body area network)は医療／エンタテインメントなど幅広いアプリケーションを人体領域通信でサポートするシステムである．ミリ波帯 WBAN は WBAN 間干渉に強いが人体によりブロッキングの影響が大きいため，指向性アンテナが必要となり，受信電力の到来角特性(角度プロファイル)が重要になる．本研究では，20GHz 帯における角度プロファイルの測定を行い，その精度の向上手法を提案する．

送受信アンテナを対向させ，アンテナ二点間に並行となるように反射物を置き，直接波と反射波のある環境で，受信アンテナを 10° 毎に回転させ測定を行なった．図 2 にその測定結果を示す．直接波と反射波を判断できる結果となった．10°，20° では，アンテナ特性により、高い値が取れた．さらに受信アンテナの特性による角度プロファイルへの影響を低減させる手法を提案する．受信アンテナの各角度によるアンテナ特性の影響を取り除くことで精度向上を図った．図 3 にその結果を示す．アンテナ特性を行列演算と仮定し，逆行列計算を行った．10°、30° 方向からの電力値は同様に高い値を示している．対して，10°，20° 方向からの電力値はおよそ 10dB 値が下がり，角度プロファイル精度は向上された．

以上より，20GHz において、WBAN での角度プロファイルの測定、及び精度向上手法による角度分解能の向上を可能にした。

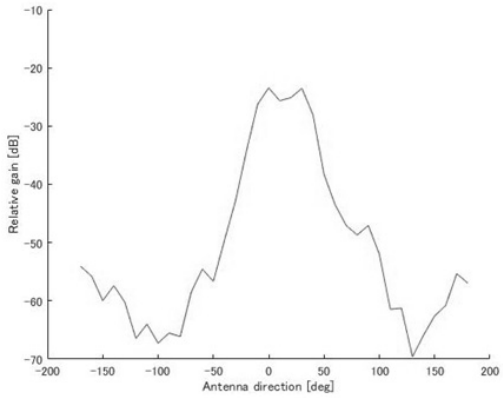



**図 2　アンテナのみの角度プロファイル**

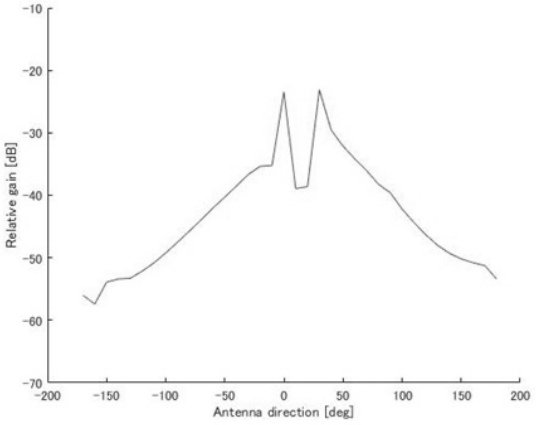



**図 3　提案手法を用いた角度プロファイル**

なお本成果は若手研究者対象型の特別支援を受けたものである．特別支援分の研究費による共同実験を行い，電気通信研究所の設備を使用した高度な実験が可能となった．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで明らかになった人体領域の電波伝搬特性およびその測定手法は，単一の人体領域で完結する WBAN のみならず，人体間通信 (Body-to-body network) の分野に発展することが期待できる．Body-to-body network は，次世代移動通信システム (5G) のリレー中継手法や，スポーツ・医療などの個人間での情報の伝送に非常に有効な無線通信システムであり，本プロジェクトで得られる電波伝搬特性はそのシステムを構築する上での基礎となる．

［4］成果資料

（1）細井祐介，秋元浩平，戸花照雄，礒田陽次，“レイトレーシング法による部屋間干渉を考慮した 60 GHz 帯屋内伝搬路特性の評価，” IEEE EMCS 仙台 Chapter 学生研究発表会 ・ 東北大学 工学研究会 EMC 仙台ゼミナール，No.5，2021 年 2 月．

採択番号（Grant No.）：**R02/A01**

# Development of graphene based devices for terahertz applications

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
Prof. MEZIANI Yahya Moubarak（サラマンカ大学応用物理学専攻）
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Prof. OTSUJI Taiichi（東北大学電気通信研究所）
研究分担者 (Project Member List)：
Prof. VELAZQUEZ J.E.（サラマンカ大学）
Mr. DELGADO J.A.（サラマンカ大学）
Mr. CLERICO V.（サラマンカ大学）
Assist. Prof. WATANABE T.（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：6　人

［2］研究経過 (Summary)

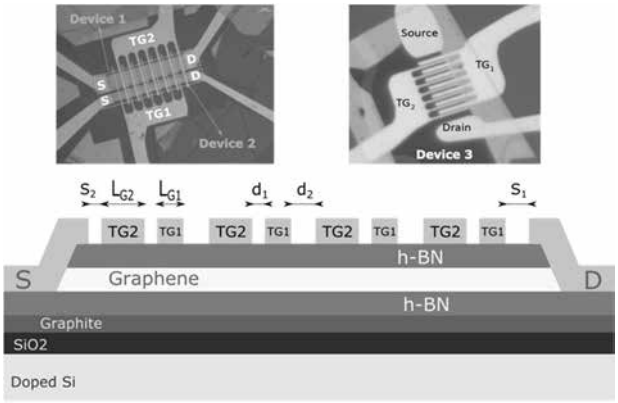
The aim of this project is to investigate the detection and emission of terahertz radiation by using new graphene-based devices with dual grating gates. The device were fabricated and characterized under terahertz excitation of 0.15 and 0.30 THz. The measurements were performed at different temperatures in the range of 4 to 300K. 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 vertical double heterostructures (h-BN/Gr/h-BN) were deposited on a doped silicon substrate with a $SiO_2$ top layer (Si/$SiO_2$). New graphene-based FETs were fabricated in Salamanca and subsequently characterized in RIEC seeking to develop a new generation of terahertz detectors. Due to pandemic situation, it was not possible to fulfill the exchange of students as intended and, eventually, the planned measurements were eventually performed at Salamanca University.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

① Asymmetric Dual Grating Gates Graphene based FET (ADGG-GFET).

A new system of fabrication has been transferred and installed from USAL in the clean room facility of the RIEC. Both installations were used to fabricate new ADGG-GFET devices. In general, the exfoliated graphene was sandwiched between two h-BN layers. The hot pick-up technique was used for the fabrication of the double heterostructure (h-BN/Gr/h-BN) and Raman spectroscopy was used to ensure the presence of the graphene layers as well as the h-BN layers. Asymmetric grating gates were deposited on the h-BN top layer as shown in Fig. 1. Recently, we have introduced a graphite layer on the top of the $SiO_2$ one that was used as a back gate. This significantly enhances the control of the carriers in the channel. Different devices were fabricated with different geometries and number of fingers for each top gate (TG) - Fig. 1.




| Devices 1 & 2 | | | | | unit: μm |
|---|---|---|---|---|---|
| $L_{G1}$ | $L_{G2}$ | $d_1$ | $d_2$ | $s_1$ | $s_2$ |
| 0.5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0.5 |

| Device 3 | | | | | unit: μm |
|---|---|---|---|---|---|
| $L_{G1}$ | $L_{G2}$ | $d_1$ | $d_2$ | $s_1$ | $s_2$ |
| 0.75 | 1.5 | 0.5 | 1 | 1 | 0.5 |

**Fig. 1.** Microscope photos of the new ADGG-GFETs schematic description of the structure, and the geometrical parameters of the fabricated devices.

② Detection of terahertz radiation using the ADGG-GFET.

The fabricated devices were characterized electrically at different temperatures to extract the carrier's mobility of the devices. The measurements were performed as a function of the different gates biases (top gate 1 &2 and back gate) as shown in Figure 2 for the device 1 of Figure 1.

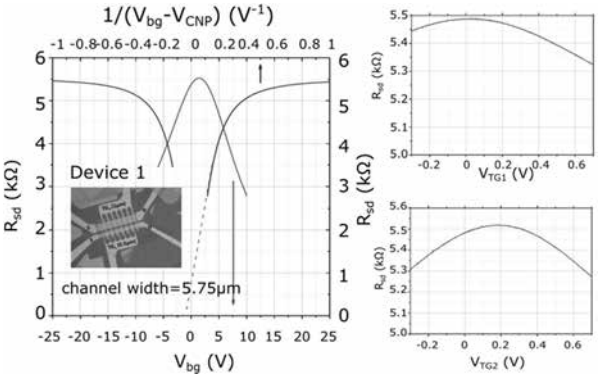



**Figure 2:** IV characteristics of the device (ADGG-GFET 3.1) versus back gate (left) and the bias applied to both top gates (right)

The device was subsequently excited by terahertz electromagnetic radiation at a frequency of 0.3 THz from 4K up to room temperature. The ADGG-GFET FETs were placed inside an optical cryostat and then excited using an electronic source at 0.3 THz. The photoresponse was measured using the lock-in technique with a chopping frequency around 298Hz. No DC bias current was applied to the device. Figure 3 shows the measured photoresponse versus the TG2 bias while the TG1 bias was fixed at 0 V and for different values of the back gate bias ( -1 to 1 V). It was found a clear enhancement of the photoresponse at specific values of the back gate bias that reach 4mV for $V_{bg}$=-1V.

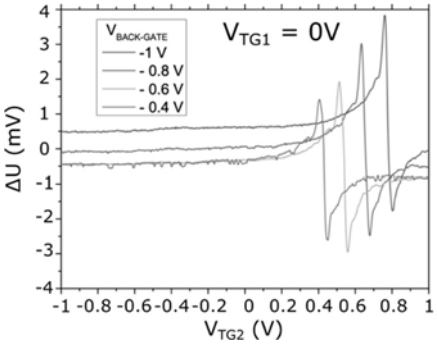



Figure 3: Photoresponse versus the TG2 at VTG1=0V and for different values of the back gate.

To understand the effect behind this enhancement and to enlighten how the top gates influence the detection of the terahertz signal, a systematical study was performed as function of both top gates biases for a fixed back gate bias at the Charge Neutrality Point. Figure 4 shows the obtained mapping of photoresponse versus both top gates measured at 77K (left) and 200K (right).

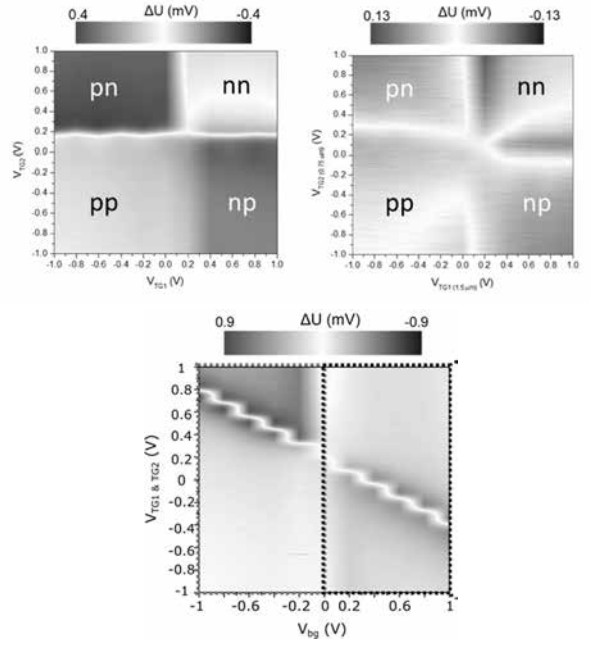



Figure 4: Photoresponse measurements obtained using the device 3 versus both top gates biases at 77K (left) and 200K (right) and versus the back gate and top gates biases (bottom).

First, a maximum of the detected signal was obtained when a different bias was applied to both regions under the top gates. As an example, when $V_{TG1}$~-0.6 (n region) and $V_{TG2}$~0.6 (p region) a maximum of the photoresponse is observed. In figure 4, the four different regions are highlighted as np (or pn), nn, and pp regions and a maximum of the signal is clearly observed for the pn (or np) regions. When increasing the temperature up to 200 K, the same observation can be made but with lower intensity of the measured signal. This reduction is related to the decrease of the mobility at higher temperature and thus the CNP shape is broader than at lower temperature. Those results are a clear evidence of the fact that the measured photoresponse is related to the oscillations of the plasmons in the regions under the top gates. More experiments on other devices and for different back gate conditions are needed to confirm the obtained results so far. In collaboration with other groups, we plan to conduct simulations of the plasmons under the grating gates to explain/describe the observed behaviour.

（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)

- Both groups are gaining strategic experience in the processing and the fabrication of graphene based devices as well in their characterization.
- New devices were fabricated in RIEC, Japan and also in Salamanca. There are only a few groups in the world that can fabricate this type of devices. The group of Manchester University leaded by the Nobel laureate A. Geim is one of them.
- Investigation of plasma oscillations using novel devices based on new 2d material like graphene is of great importance for the fundamental physics as well as for the development of real applications like terahertz detectors/emitters.

［4］成果資料 (Publications)

［1］ J. A. Delgado Notario, V. Clericò, E. Diez, J. E. Velázquez-Pérez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, and Y. M. Meziani, “Asymmetric dual-grating gates graphene FET for detection of terahertz radiations,” APL Photon. 5, 066102 (2020); doi: 10.1063/5.0007249

[2] J. A. Delgado-Notario, V. Clericò, E. Diez, J. E. Velázquez-Pérez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, and Y. M. Meziani, ¨ Development of high mobility Graphene based Field effect transistor for terahertz detection¨ oral at CMD2020GEFES, Aug 31-Sept 04, Madrid, Spain (online due to COVID19), organizer: Action Committee on Conferences of the European Physical Society

**採択番号：R02/A02**

# 人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化

［1］組織

研究代表者：
谷井　孝至（早稲田大学理工学術院）
通研対応教員：
山本　英明（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所・材料科学高等研究所）
久保田　繁（山形大学・大学院理工学研究科）
Jordi Soriano（University of Barcelona, Institute of Complex Systems）
香取　勇一（公立はこだて未来大学複雑系知能学科）
藤原　直哉（東北大学大学院情報科学研究科）
服部　晃平（早稲田大学理工学術院）
守谷　哲（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：17 人

［2］研究経過

複数の神経細胞の活動を同時記録する技術が進歩したことで、神経間の結びつきを in vivo で詳細に調べることが可能になった。その結果、神経同士の解剖学的な結びつきを表す構造的結合関係と、発火相関から導かれる機能的結合関係とは必ずしも一致しないことが明らかとなった。構造的結合は、学習や発達による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オーダーで調整されるのに対し、機能的結合は、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、数百ミリ秒という速い時間スケールで切り替わる。シナプス回路の構造的変化は、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じて、回路構造に再びフィードバックされるため、脳の構造と機能の関係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。

早大メンバーは集束イオンビームおよびリソグラフィを用いたガラス基板表面のマイクロパターニング技術（細胞接着領域と非接着領域の作り分けを開発してきており、これまでに単一細胞の極性制御、興奮性・抑制性神経細胞の非標識判別、少数個の神経細胞間の接続制御といった独自技術を構築してきた。

一方、東北大メンバーは、ダイナミックパッチクランプ法や発火パターンのリアルタイムイメージングに代表される神経細胞回路の活動制御および計測技術で世界をリードしている。本申請グループのメンバーは、そのようにして接続構造を制御した実神経細胞回路の発火パターン計測結果を、Barcelona 大および山形大メンバーが持つ数値解析法と融合することにより、シナプス接続強度とその時間発展といった、実験では直接的に露わにすることが難しい神経回路の状態との突合も行ってきた実績を有する。これらは、構造と機能との両面から構成論的に少数個の神経細胞回路から始めて徐々に回路規模を拡大させ)、神経回路網の持つ特異な情報処理様式にアプローチできる方法論を具体化できていることを意味する。

本申請研究では、単一または少数個の実神経細胞回路のガラス基板上の再構成と発火パターンの解析、および、その数理モデル化を通して、回路が創出する局所的な活動表現と大域的な活動表現との関係を、実験と理論の双方から検討することを目的とし、脳の複雑ネットワーク構造と機能との相関を、体系的に理解するための新しい理論的枠組みを構築することも目指して進められた。初年度となる 2020 年度には、新型コロナウィルスの感染拡大防止の観点から、国や県を横断しての移動を自粛した。そのため、各機関においてシミュレーションを中心とした研究を推進し、その結果を、個別のオンラインミーティングを通して共有すると同時に、学会発表や論文発表を進めることとした。特に、オンラインミーティングには、本研究組織のメンバーにより行われた日本神経回路学会（JNNS2020）、第 8 回 脳機能と脳型計算機に関する RIEC 国際シンポジウム（BFBC2020）でのオンラインディスカッションを効果的に活用した。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本研究代表者と通研対応教員をメインとして２通の論文を Electrochemistry 誌および Biosystems 誌に発表した（成果資料(1)および(2)）。

Electrochemistry 誌に発表した論文では、マイク

ロパターン上でオータプス培養した単一神経細胞に選択的かつ非侵襲な仕方で電気刺激を印加できる方法論を提案した。シミュレーションにより、オータプス培養した単一神経細胞だけでなく、分散培養系における神経細胞ネットワークの中で、それを構成する単一の神経細胞のみを標的して電気刺激を印加できることも示した。

Biosystems 誌には、マイクロパターン上でオータプス培養した単一神経細胞の発火パターンが主に３種類に分類できること、さらに、それらが AMPA 受容体と NMDA 受容体のコンダクタンスの比によって説明できることを、実験とシミュレーションの両面から明らかにした。本研究は本申請研究を開始する前から、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構と東北大学電気通信研究所間の組織連携としての共同プロジェクト研究Ｓの枠組みで進められてきたものであり、実験結果についてはその研究段階において得られていたが、本申請研究においてシミュレーションによる数理モデル化を推し進め、Regular Paper として発表するに至った。

さらに、マイクロパターン上でオータプス培養した単一神経細胞の数理モデルにスパイクタイミング依存性可塑性を組み込んだ数理モデルを構築し、伝搬遅延によってオータプスが時間発展的に選別されるという新しい現象が起きることを見出し、本研究代表者と通研対応教員をメインとして日本神経回路学会で発表した。この発表（波及効果(5)）において、筆頭著者が大会奨励賞を受賞した。

また神経回路網の階層においても、数理モデル（波及効果(6)、成果資料(3)）と実験（成果資料(4)の両面から研究を進め、複数のメンバーを含む共著論文などとして成果を発表した。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

下記の学会発表・RIEC 研究会等を通して、当該研究分野への貢献を試みている。

(1) K. Hattori, M. Ishida, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii: Extracellular Stimulation of a Target Neuron in a Micropatterned Neuronal Circuit Using a Pair of Needle Electrodes, The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Online, December, (2020).

(2) K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, Extracellular Stimulation of a Target Neuron in Micro-Patterned Neuronal Circuits Using a Pair of Needle Electrodes, ECS PRiME 2020, Online, October, (2020).

(3) K. Hattori, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii: An experimental study on the spontaneous firing of single isolated neurons in autaptic culture using micropatterned substrates,The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Sendai, February, (2020).

(4) 小熊奏一郎, 服部晃平, 鞍掛碧流, 今井絢子, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至, マイクロパターン上の神経細胞回路中の標的ニューロンへの二本針電極を用いた選択的刺激, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, オンライン, 2021 年 3 月.

(5) 石田実穂子, 中西彬, 服部晃平, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至, オータプス伝搬遅延による STDP シナプスの淘汰: 孤立した単一神経細胞に関する数理モデル化, 第30回日本神経回路学会全国大会, オンライン, 2020 年 12 月.

(6) 守谷 哲, 山本英明, 平野愛弓, 久保田 繁, 佐藤茂雄, モジュール構造型神経ネットワークにおける時空間ダイナミクスの時系列情報処理応用, 第 30 回日本神経回路学会全国大会, オンライン, 2020 年 12 月.

［4］成果資料

(1) K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii: Selective Stimulation of a Target Neuron in Micropatterned Neuronal Circuits Using a Pair of Needle Electrodes, Electrochemistry (2021) accepted for publication.

(2) K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii: Contribution of AMPA and NMDA receptors in the spontaneous firing patterns of single neurons in autaptic culture, Biosystems 198 (2020) 104278.

(3) Y. Dai, H. Yamamoto, M. Sakuraba, S. Sato: Computational Efficiency of a Modular Reservoir Network for Image Recognition, Frontiers in Computational Neuroscience 15 (2021) 594337.

(4) T. Takemuro, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata, Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of small-scale neuronal networks, Japanese Journal of Applied Physics 59 (2021) 117001.

(5) R. Hasani, G. Ferrari, H. Yamamoto, T. Tanii, E. Prati: Role of Noise in Spontaneous Activity of Networks of Neurons on Patterned Silicon Emulated by Noise--activated CMOS Neural Nanoelectronic Circuits, Nano Express (2021) accepted for publication.

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/A03**

# 二次元材料を用いた光電子デバイスの開発

［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

佐藤　昭（東北大学電気通信研究所）

吹留　博一（東北大学電気通信研究所）

菅原　大樹（東北大学電気通信研究所）

荻浦　大地（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　98,000 円

［2］研究経過

グラフェンなどの二次元材料は、安価で持続可能なクリーンエネルギーを実現する次世代電子材料として、近年ますますその重要性が増している。

本プロジェクトは、二次元材料を用いて高効率太陽光発電が期待される光レクテナや局在表面プラズモン増強効果を利用した光電子デバイスを開発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。研究代表者は、これまでに高機能光電子デバイスを開発するために低損失材料やメタマテリアルの研究を行ってきた。メタマテリアルは5G 対応アンテナ、太陽電池、センサーなどを高性能化できることから、近年その重要性が増している。しかし、メタマテリアルは光エネルギーの大部分をプラズモニック材料表面で損失する。従って、実用化の鍵はいかに効率よく表面プラズモンを光エネルギーで励起できるかにかかっている。そこで、光学的 Q 値が高い Ag や Au の単結晶薄膜を作製し、表面粗さや粒界の影響を低減した結果、ガラス基板上の Au 薄膜で作製したメタマテリアルと比べて 20 倍以上の高効率を示すことがわかった。本年度は，これまでの成果を踏まえながら、メタマテリアルとしてナノホール構造を持つ Ag 単結晶薄膜を用い、量子ドットの代わりにグラフェンを集積化した表面増強ラマン散乱基板を作製した（図 1）。表面増強ラマン散乱は、金属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 $10^{11}$ 倍以上にも増強する現象で、単一分子を高感度、簡便、迅速に検出できることから医療用分析、食品検査、水質検査への応用が期待されている。

Ag 単結晶薄膜は、マイカ基板上に超高真空スパッタを用いて 500℃の高温で堆積することにより、ファンデルワールス・エピタキシーで成膜した。図 3 に示すように直径120 nm程度のナノホールが自己整合的に形成された。次に、Ag 薄膜上に市販の CVD グラフェンを転写し、染料のローダミン 6G 水溶液（$10^{-6}$ モル）を被検物質として用いて、表面増強ラマン散乱を評価した。




**図1 マイカ基板上に作製したフレキシブルAg単結晶表面増強ラマン散乱（SERS）基板**

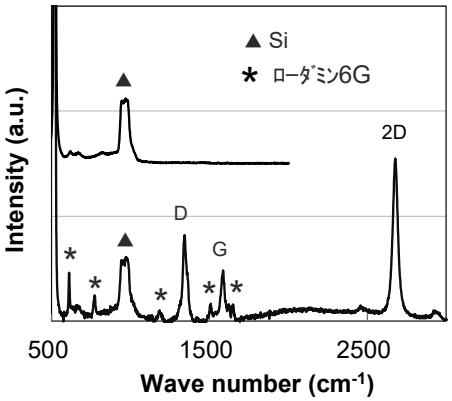



**図2 ローダミン6G（$10^{-6}$ モル）のSi（上段）および単層グラフェン（下段）基板からのSERS信号**

［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、単層グラフェンのSERS効果を調べた結果、予想以上の増強散乱が観測された（図2)。グラフェンの誘電関数から導出されるQ値はAuやAgと比べると約2桁小さいので、増強因子は$10^4$倍になると予想される。しかし、実験結果ではAuナノ粒子と同等の$10^6$倍以上になった。

第２に、ナノホール構造を持つAg単結晶薄膜上にグラフェンを転写した基板の表面増強ラマン散乱を評価した結果、グラフェン起因のピーク（G, 2D）の他にローダミン 6G 起因の複数のピークを高感度に観測することに成功した（図4)。

近年、グラフェンの他にh-BN、$MoS_2$などの二次元材料においても特異なSERS効果が報告されている。SERS効果のメカニズムとして、プラズモンによる電磁気学的効果や電荷移動による化学的効果が提唱されている。化学的効果による増強因子は$10^2$倍程度であり、これもグラフェンの特異な増強効果を説明することができない。他に、リップル構造と呼ばれる表面のうねりによるSERS効果が示唆されているが、このメカニズムも実験結果を定量的に説明することができない。二次元材料におけるSERS効果のメカニズムを明らかにすることができれば、プラズモニック・デバイスの高性能化へと繋がり、二次元材料の新たな応用展開が期待できると考える。

来年度以降は、二次元材料におけるSERS効果のメカニズムを明らかにするために、SERS効果と支持基板の関係やSERS基板表面との関係を研究する。そして、金属膜と二次元材料のヘテロ接合によりSERS基板の高性能化を図る。ヘテロ構造では、二次元材料が金属膜の保護膜になり、化学反応による金属の劣化防止や生体適合性の改善が期待できる。

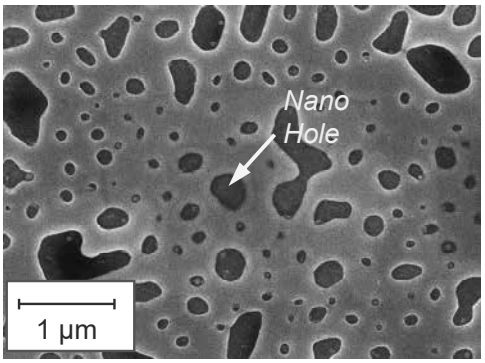



**図3 マイカ基板上に成長したナノサイズのホールを持つAg単結晶薄膜のSEM写真**

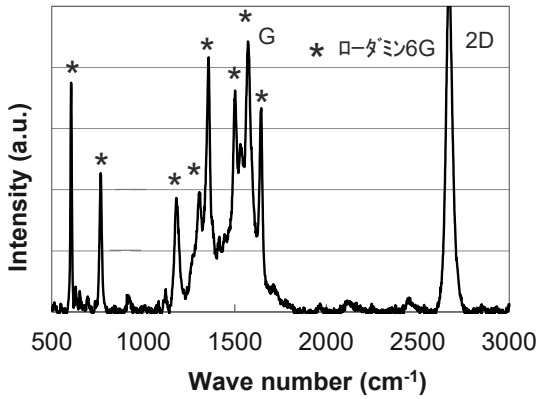



**図4 Ag単結晶上にグラフェンを積層した表面増強ラマン散乱（SERS）基板からのローダミン6G($10^{-6}$ モル)のSERS信号**

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで得られた知見により、表面増強ラマン散乱を利用したバイオケミカルセンサーチップの開発へと発展する可能性がある。高感度なバイオケミカルセンサーチップは、医療機関、検査機関、研究所などで分子レベルの分析に利用できる。表面増強ラマン散乱は、一般的に検査に利用されているフォトルミネッセンスと比べて数 10 倍以上の高感度を持つことが知られている。表面増強ラマン散乱によって感度が10倍になると仮定すると、検査時間を従来の 10 分の１に短縮することができると同時に信頼性の向上が期待できる。また、本研究で開発可能なバイオケミカルセンサーチップは製造工程が容易なため、製造コストを従来の10分の１にすることができる。

本プロジェクトで得られた研究結果をもとに実用化を目的として、地元企業と共同で以下のプロジェクトを開始した。

- プロジェクト名；表面増強ラマン散乱を利用した超高感度バイオケミカルセンサーチップの開発
- 資金制度、研究費名；A-STEP トライアウト
- 配分機関名；JST
- 研究期間；2020年11月2日 - 2021年10月29日

［4］成果資料

(1) K. Shiga, T. Komiyama, Y. Fuse, H. Fukidome, A. Sato, T. Otsuji, and T. Uchino, “Electrical Transport Properties of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes”, Jpn. J. Appl. Phys. 59 (2020) SIID03.

(2) T. Uchino, K. Shiga, K. Imai, M. Kusano, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, “Improved Sensitivity of Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) Substrates Using Monolayer Graphene”, Proceeding of 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference MNC2020 (Online, 2020) 2020-21-13.

採択番号（Grant No.）：**R02/A04**

# Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者 (Principal Investigator)：
Prof. R. P. Singh (IISERB, India)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Prof. Shunsuke Fukami
研究分担者 (Project Member List)：
Dr. Rajeswari Roy Chowdhury (IISERB)
Dr. Samik DuttaGupta (CSIS)
延べ参加人数 (Total Number of Participants)：4 人

［2］研究経過 (Summary)

➢ Motivation:

Two-dimensional (2D) van der Waals (vdW) materials have drawn considerable attention owing to their prospect for 2D magnetism, spintronic and magneto-optical applications[1,2]. The stabilization of a long-range ferromagnetic and/or antiferromagnetic order down to the atomic limit and its seamless flexibility with various elements and structures provide an exciting opportunity for exploring new physical properties and realization of novel electronic devices down to the 2D limit. An understanding of the underlying physics determining the origin of the correlated electronic and magnetotransport properties is essential for the development of 2D vdW-based spintronic devices.

➢ Purpose and scientific significance:

Quasi-2D metallic $Fe_3GeTe_2$ is a promising candidate owing to its relatively high Curie temperature, large anomalous Hall effect (AHE), and significant uniaxial magnetic anisotropy, down to the atomic limit. The competition between magnetic exchange and dipole-dipole interaction, relativistic band structure effects, and magnetic frustration originating from inequivalent Fe atoms manifest in topological nodal line-driven large anomalous Hall angle, and formation of various domain structures and hexagonal lattice of skyrmion bubbles[3,4]. Besides, an unconventional Hall effect anomaly has been reported whose origin is heavily debated and attributed to a multitude of factors, including the formation of in-plane skyrmions, non co-planar spin configurations, or multi to single-domain transformations under applied magnetic field. We investigate chemical substitution of the magnetic (Fe) site by a different element (Co), which is expected to modify the underlying interactions and enable understanding of the factors contributing to the unconventional magnetotransport behavior.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

➢ Experimental details:

Single crystalline $(Co_xFe_{1-x})_3GeTe_2$ ($Co_x$FGT, hereafter) samples and a reference sample of $Fe_3GeTe_2$ (FGT, hereafter) were grown by chemical vapor transport (CVT) method. The various doping levels of 0, 0.05, 0.45, and 0.55 utilized in this study refer to the Co concentrations ($x$) determined using the atomic percentage ratios obtained from scanning electron microscope (SEM) energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy measurements. Magnetic properties were characterized using a superconducting quantum interference device within the temperature range 5-300 K. Electrical and magnetotransport measurements were performed by a physical property measurement system using a conventional four-probe technique.

➢ Results of electrical measurements:

Figure 1a shows the schematic diagram of the measurement geometry utilized in this work. An applied dc $I$ ($\perp$ $c$-axis) of magnitude 10 mA was passed through the single-crystals along the $x$-direction (i.e., along crystal $ab$ plane). The resulting change in $\rho_{xy}$ under simultaneous application of external $H$ and $I$ was obtained by

measuring voltage drop along the *y*-direction. For applied $H_Z$ (|| *c*-axis), we have observed a sizable

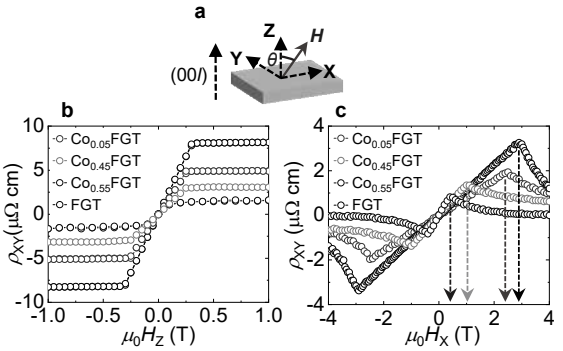



Figure 1: (a) Schematic representation of the measurement configuration utilized in this work. The angle ($\theta$) is defined as the angle subtended by the applied magnetic field ($H$) with respect to *c*-axis (out-of-plane) of the single-crystalline samples. Applied current ($I$) for measurement is along *X*-direction. (b) Hall resistivity ($\rho_{XY}$) versus $H$ (|| *c*-axis) for $Co_{0.05}$FGT, FGT at 100K and $Co_{0.45}$FGT, $Co_{0.55}$FGT at 10 K. (c) $\rho_{XY}$ versus $H$ ($\perp$ *c* || $I$) for $Co_{0.05}$FGT, FGT at 100K and $Co_{0.45}$FGT, $Co_{0.55}$FGT at 10 K.

Hall resistance, attributed to AHE, possibly originating from topological nodal lines in the band structure with the magnetization pointing along the easy axis11 (Fig. 1b). For the applied field along *x*-direction ($H_X$ || I $\perp$ *c*-axis), we have observed a reduction of $\rho_{XY}$ magnitude along with the emergence of a prominent cusp-like feature (Fig. 1c). The position of the cusp-like feature is independent of the in-plane field direction and shifts towards lower field values with increasing Co-concentration. Fitting of the experimental data with a model comprising ordinary Hall effect, AHE unveils a large unconventional contribution to the observed $\rho_{XY}$. Complementary magneto-optic Kerr effect measurements reveal a complicated spontaneous magnetic domain pattern consisting of bubble-like features which was converted into an unconventional ring-like structure with applied $H$ perpendicular to the easy directions. We attribute these ring-like structures to an aggregate of connected topological skyrmion bubble-like or lattice structures and magnetic domain walls along with possible existence of trivial circular and/or stripe domains. Under this scenario, assuming that the ring-like patterns are composed of sub-micrometer sized bubble-like structures, the position of the cusp-like feature in our magnetotransport measurements corresponds to the emergent field from the underlying spin textures, attributed to the total flux quantum contained in these structures. The substitution of Fe by Co results in a modification of magnetic exchange and anisotropy, along with the introduction of symmetry-breaking interactions in the bulk, leading to a modification of the spin configurations and associated flux quanta manifesting in significant depreciation of the internal emergent magnetic field.

(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.)**

The emerging field of vdW spintronics bears a multidisciplinary character and is expected to be attractive for data storage, magnetic sensing and non-volatile computation. The experimental results obtained from bulk and heterostructure vdW magnets would enhance the limited knowledge available on the properties of these FM and AFMs, and enables clarification of relevant physics (strength of inter-layer and intra-layer interactions, anisotropy, ordering temperature, etc.). Our results offer a route towards the realization of new-concept spin textures in vdW FMs, promising for non-collinear spin texture based physics and spintronic devices.

References:

1. Burch, K. S., Mandrus, D. & Park, J.-G. Nature **563**, 47 (2018).
2. Mak, K. F., Shan, J. & Ralph, D. C. Nature Reviews Physics **1**, 646 (2019).
3. Kim K. et al. Nature Mater. **17**, 794 (2018).
4. Ding, B. et al. Nano Lett. **20**, 868 (2020).

[4] 成果資料 **(Publications)**

1. R. Roy Chowdhury, S. DuttaGupta *et al.*, Unconventional Hall effect and its modification with Co-doping in uniaxial van der Waals $Fe_3GeTe_2$ (**under review**) (2021).

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/A05**

# 新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究


［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）

鷲尾　勝由　（東北大学大学院工学研究科）

財満　鎭明　（名古屋大学大学院工学研究科）

中塚　　理　（名古屋大学大学院工学研究科）

宮崎　誠一　（名古屋大学大学院工学研究科）

高木　信一　（東京大学大学院工学研究科）

鳥海　　明　（東京大学大学院工学研究科）

奥村　次徳　（首都大学東京理工学系）

伊藤　利道　（大阪大学大学院工学研究科）

酒井　　朗　（大阪大学大学院基礎工学研究科）

野崎　眞次　（電気通信大学電子工学科）

田部　道晴　（静岡大学電子工学研究所）

佐道　泰造
（九州大学大学院システム情報科学研究院）

須田　良幸
（東京農工大学総合メディアセンター）

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　（KOKUSAI ELECTRIC CORP.）

Bernd Tillack　（ドイツ・IHP）

Matty Caymax　（ベルギー・IMEC）

Roger Loo　（ベルギー・IMEC）

James Sturm　（米国・プリンストン大学）

Eugene Fitzgerald
（米国・マサチューセッツ工科大学）

Joerg Schulze
（ドイツ・シュトゥットガルト大学）

Vinh Le Thanh　（フランス・マルセイユ大学）

Stefano Chiussi　（スペイン・ビゴ大学）

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）

Chee Wee Liu
（国立台湾大学（中国）・フォトニクス＆オプトエレクトロニクス研究所）


延べ参加人数：30 人

［2］研究経過

［目的］従来の Si 半導体デバイスや大規模集積回路の高性能化・新機能化を推し進めるために、Si とは異なる多様な元素を含む新 IV 族半導体材料やそのナノ構造、並びに、デバイス応用の研究開発が進められている。特に、Si 結晶と親和性の高い Ge や Sn などの新しい異種元素を導入した新 IV 族半導体材料の薄膜形成、ドーピング制御、ナノ構造形成、デバイス製作技術の開発が進められつつある。その中で、新 IV 族半導体材料における拡散・偏析現象を制御し、ナノメートル・原子オーダでの界面構造や局所的な不純物導入の精密制御を実現すること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 族半導体材料やそのナノ構造における異種原子の拡散・偏析現象を系統的に明らかにするとともに、新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスの開発を目標とする。そして、界面制御による半導体デバイス高性能化の観点から、新しい半導体デバイスプロセスの基盤技術構築に貢献するものである。

［概要］本年度は、急峻界面を有する Ge／極薄 Si／Ge ヘテロ構造から、Ge 選択エッチングによりマイクロメータスケールの大きさの極薄 Si 層の単離が可能であることを実験的に明らかにし、ペンタシリセンへの結晶構造転換のための重要な基盤技術となりうることを見いだした。その他にも、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造を適用した高性能・新機能デバイスの高集積化のための重要な基盤技術となりうる知見を得た。

［研究集会等の開催状況］本研究プロジェクトメンバーが中心となり、以下のオンライン国際会議を開催するとともに発表論文の Proceedings 特集

号を発刊して、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造に関する新たな知見を共有する場と今後の国際共同研究への発展に資する機会を提供した。

- 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 9),
  Pacific Rim Meeting (PRiME 2020) on Electrochem. and Solid-State Sci.,
  Hawaii, USA, Oct. 4-9, 2020,
  オンライン開催,
  シンポジウムオーガナイザー：室田淳一,
  エピタキシー部門委員：櫻庭政夫,
  発表 75 件（Plenary 2 件, Invited 35 件, Oral 29 件, Poster 9 件）,
  ( http://www.sigesymposium.org/ ):
  Proceedings 特集号, ECS Transaction Vol.98, No.5 (2020), Editors: Q. Liu, J. M. Hartmann, J. R. Holt, X. Gong, V. Jain, G. Niu, G. Masini, A. Ogura, S. Miyazaki, M. Östling, W. Bi, A. Schulze, A. Mai,
  論文数 56 件（Plenary 2 件, Invited 22 件, Oral 25 件, Poster 7 件）
  ( https://iopscience.iop.org/issue/1938-5862/98/5 ).

［3］成果

⑶-1）研究成果

新たな Si ベースの二次元材料として注目されているペンタシリセンに関する研究成果について主に報告する。ペンタシリセンは、五角形型の結合からなる二次元構造を有し、従来の Si 薄膜とも異なる新たな性質が予測され、正方形の格子状で並んだ四配位 Si 原子と表裏面の三配位 Si 原子のダイマーから形成されることから、Si(100)面を有する３原子層 Si の表裏面にダイマー形成を引き起こすことによって形成する手法が提案されている。本年度は、このようなペンタシリセンへの結晶構造転換の鍵となる極薄 Si 層の表裏面でダイマー形成を可能とするために、ペンタシリセンへの結晶構造転換を狙ったプロセスの各要素の検討を実験的に行った。その結果、以下に示す研究成果を得た。

まず第１に、まず 5 nm 厚の極薄 Si 層を Ge 層で挟み込んだ Ge／極薄 Si／Ge ヘテロ構造を基板非加熱プラズマ CVD 技術によりエピタキシャル成長させ、Ge 層を除去するためのエッチング開口部や極薄 Si 層を基板表面と固定する橋脚を形成した後に Ge 層を除去することで極薄 Si 層で架橋された立体構造を形成する実験を行った。そして、メッシュ型マスクパターンを用いたドライエッチングにより、ヘテロ構造に開口部を形成し、続いてストライプ型マスクパターンを用いて、キャップ Ge 層を除去した上に橋脚を形成した。そして、このサンプルを過酸化水素水に浸漬して Ge エッチングを行ったところ、極薄 Si 層下の Ge 層除去が進行する様子が光学顕微鏡により確認された。二次電子顕微鏡で観察したところ、マイクロメータスケールの大きさの極薄 Si 層が単離できていることが確認でき、Ge／極薄 Si／Ge ヘテロ構造から独立した極薄 Si 層の架橋構造を形成できる見通しを得た。しかしながら、極薄 Si 層は完全な架橋構造を保つことができず、垂れ下がりや亀裂に加えて、Si 層がロールしたチューブ状のものが多数生じることがわかった。これらは、毛細管力やこれまでのプロセスで Si 層に蓄積された歪などが原因と考えられ、今後、架橋の強度を十分に保てるパターンの形状と寸法やプロセスの最適化が必要である。

第２に、低エネルギーAr プラズマ照射による Si 表面でのダイマー形成制御の可能性についても調査し、Si(100)基板のフッ酸処理によりダイハイドライド構造が支配的となっている表面にプラズマを照射するとモノハイドライド構造へ変化することがわかった。このことから、低エネルギーAr プラズマ照射のペンタシリセン実現における有用性を示した。

本研究プロジェクトは国際共同研究推進型であり、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造に関連した研究・開発分野での国際共同研究への発展を促進することを目的とし、本年度は前述のオンライン国際会議を開催するとともに発表論文の Proceedings 特集号を発刊した。例年、本プロジェクトに関連した国際シンポジウム等を複数開催しているが、今年度は新型コロナウイルス禍のため、例年のような対面での会合を開くことが出来なかった。しかしながら、それぞれの拠点での研究に取り組むとともに、制約がある中でも研究者間でのメールベースなどで今後の国際共同研究への展開について協議を進めている。

⑶-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の活性化によって先端的・萌芽的な研究成果を得て、本分野の研究推進により新 IV 族半導体材料の薄膜・ナノ構造における物理現象に関わる学問分野の発展を目指すものであり、新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス分野の新領域開拓にもつながると期待される。2021 年度以降には以下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、あるいは、計画されている。

・ 半導体プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. G02: Semiconductor Process Integration 12, 240th Meeting of the Electrochem., Orland, FL, USA, Soc., Oct. 10-14, 2021, シンポジウムオーガナイザー：室田淳一, https://www.electrochem.org/240/ )

・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 (14th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 開催時期調整中, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一)

・ 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 (3rd Joint Conf. of 11th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) & 13th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI), 開催時期調整中, 国際諮問委員：室田淳一)

［4］成果資料

(1) J. Murota and H. Ishii, "Langmuir-Type Mechanism for In-Situ Doping in CVD Si and $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxial Growth". ECS J. Solid State Sci. Technol., Vol. 10 (2021) pp. 024005 (7 pages).

(2) Y. Yamamoto, C. Corley, M. A. Schubert, M. Zöllner and B. Tillack, "Threading Dislocation Reduction of Ge by Introducing a SiGe/Ge Superlattice", ECS Trans. Vol. 98, No. 5, (2020) pp. 185-194: 2021 ECS J. Solid State Sci. Technol. Vol. 10 (2021) pp.034005 (5 pages).

(3) T. G. Le, L. Michez and V. Le Thanh, "Gaining insights into the formation of high temperature GeMn nanocolumns: the effect of substrate crystalline orientation on their structural and magnetic properties", Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol. Vol.11 (2020) p.035011 (6 pages).

(4) H. Gao and T. Sadoh, "Layer-exchange crystallization for low-temperature (450 ºC) formation of n-type tensile-strained Ge on insulator", Appl. Phys. Lett., Vol.117 (2020) p.172102 (5 pages).

(5) O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Kurosawa and M. Sakashita, "Heteroepitaxy and Strain Engineering of Germanium-Silicon-Tin Ternary Alloy Semiconductor Thin Films for Energy Band Design (**Invited**)", ECS Trans., Vol.98, No.5 (2020) pp. 149-156.

(6) 半澤和也, 修士学位論文「ヘテロ構造立体加工による薄膜 Si デバイスプロセスに関する研究」, 2020 年度（2021 年 3 月修了）, 東北大学大学院工学研究科, 指導教員 佐藤茂雄, 研究指導教員 櫻庭政夫.

**採択番号：R02/A06**

# 微小領域における圧電定数の分布計測装置の開発

［1］組織
研究代表者：
小田川　裕之
（熊本高等専門学校地域共同プロジェクトGr）

通研対応教員：
長　康雄（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：2人

［2］研究経過

圧電デバイスは、微小信号のフィルタから大電力の超音波モータまで幅広く実用化されており、デバイスの高性能化のために、より高い圧電定数を有する材料の開発が求められている。圧電材料（特に薄膜）の評価には、X線回折による結晶性の測定が一般的に利用されているが、結晶性が良好であっても必ずしも圧電性が高いわけではないため、別途圧電性の評価を行う必要がある。圧電定数の測定には、応力印加時の分極電荷を測定するd33メータが使用されているが、ある程度大きな面積（例えば数mm角）が必要で、測定領域の平均的な値しかわからない。本プロジェクトでは、走査型非線形誘電率顕微法(SNDM)を応用し、試料面内の微小領域（原理的にはナノ領域）の圧電定数を分布計測する措置のプロトタイプを開発するものである。

本年度は、探針と試料表面の距離を制御して、プローブの発振周波数を測定する装置と制御プログラムの作製を行い、基礎実験を行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は、図1に示す装置と制御プログラムを作製した。d33メータでは、応力印加時の発生電荷を測定する（正圧電効果）が、本装置では電圧印加時の偏位（逆圧電効果）を用いており、測定試料の微小な変位を、SNDMを用いて計測するものである。

動作確認のため、作製した装置を用いて探針−試料間の距離を変化させた時の発振周波数、および、出力電圧を測定した。その結果を図2に示す。試料にはd33がおよそ200pC/NのPZTセラミックスを用い、PZTに印加する電圧を0.1$V_{p\text{-}p}$とした。この場合の逆圧電効果によるPZTの変位は10pmとなる。探針と試料表面の距離が近づくに従って発振器の周波数が低下するとともに、出力電圧が急激に増大しているのが分かる。このように、探針が試料表面に近づいた状態では、pmオーダーの微小変位の検出が可能であることが確認できる。このことは、変位がpm程度の圧電振動も検出可能であることを表しており、本研究で開発する、微小領域における圧電定数の分布計測装置の基本動作が確認できた。

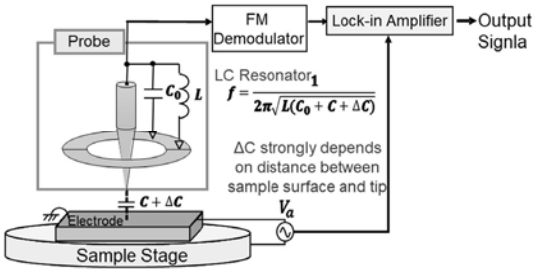



図1. 開発する装置の概要

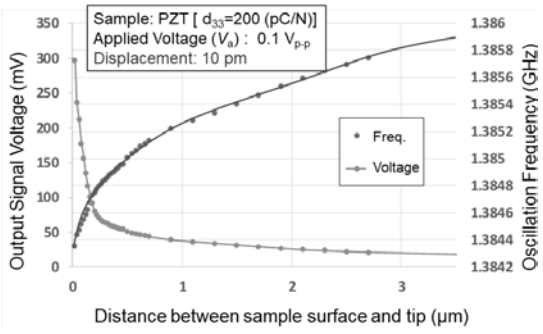



図2. 探針−試料間距離と発振周波数および出力電圧の関係

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

従来のd33メータによる圧電性の評価では、mmオーダーの領域の平均値でしか圧電性を評価できないが、本研究の装置のように、微小領域の圧電定数の分布計測ができれば、グレイン間での特性の違いやグレイン境界の特性の影響など、局所的な議論することができるようになる。また、5Gなどの移動体通信で用いられる高周波フィルタには、金属をドープしたAlNなどの薄膜の利用が進められており、このような圧電薄膜の開発にも有益な情報を提供できる装置になると考えている。

［4］成果資料

投稿準備中

共同プロジェクト研究

採択番号：**R02/A07**

# スパッタリングプロセスを用いたβ−$Ga_2O_3$薄膜とデバイス形成

［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）
仲田　陸人（小山工業高等専門学校機械工学科）
伊藤　雄平（小山工業高等専門学校機械工学科）
五十嵐　大夢（小山工業高等専門学校機械工学科）
長尾　健史（小山工業高等専門学校機械工学科）
久田　和輝（小山工業高等専門学校機械工学科）

延べ参加人数：10 人

［2］研究経過

現在、世界的な課題として革新的な省電力技術の開発が求められている。このような社会事情から、現状のシリコン(Si) よりも更に高耐圧・低損失なパワーデバイスの実現が期待できる SiC、GaN といったワイドギャップ半導体材料が注目され、日本はもとより米国、欧州といった諸外国においても活発に研究開発が進められている。表 1 に示すように、$Ga_2O_3$は、SiC、GaN よりも更に大きなバンドギャップ (4.9eV) をもつ材料である。その物性から、パワーデバイスに応用した場合、より一層の高耐圧・低損失なデバイス特性が期待できる。また近年では、携帯電話基地局の高出力送信機向けトランジスタや、高周波 RF 電源への応用が期待されており、IoT モジュール向けの無線通信・デバイスの社会実装を強く意識した研究開発が求められている。

また、$Ga_2O_3$はバルク材料としての研究は多くされているが、バルクに比べ薄膜の物性やデバイスの研究は少ないのが現状であり、特にスパッタリングを用いた成膜技術や、ドーパントに関する研究が少ない。本研究では、$Ga_2O_3$の薄膜での成膜に関する問題点を明らかにし、プロセス技術を改善させ $Ga_2O_3$ の高品質化とデバイスの作製、電気的評価を目的とする。

| | **β−$Ga_2O_3$** | GaN | 4H−SiC |
|---|---|---|---|
| バンドギャップ $E_g$(eV) | **4.9** | 3.4 | 3.3 |
| 臨界電界強度 $E_c$(MV/cm) | **〜8（推定）** | 〜3.5 | 2.8 |
| 電子飽和速度 v(cm/s) | **$1.8〜2\times10^7$** | $2.7\times10^7$ | $2.2\times10^7$ |
| 電子移動度 $\mu_e$($cm^2$/Vs) | **300** | 〜1000 | 1000 |
| 結晶形成 | ◎ | ○ | △ |

表1. パワーデバイス用半導体の物性の比較

本研究では、13.56MHｚの RF スパッタリング装置を用いて、サファイア基板、Si 基板上の$SiO_2$や$Al_2O_3$または Si 基板上にバッファ層として Pt/Ti/$TiO_2$を成膜し、さらにバッファ層上に$Ga_2O_3$を成膜する。$Ga_2O_3$の結晶性を向上させるためには、最適なバッファ層が必要である。バッファ層の選定についても本研究で行う。これまで Pt、Ti が使われている研究が多くあるが、膜剥がれ等の問題を考えると、酸化物のバッファ層には同じ酸化物であるサファイア基板や$SiO_2$、$Al_2O_3$、$TiO_2$を用いることで、良い接合が得られると考えられる。また、熱工程においてバッファ層に酸素が拡散されてしまい $Ga_2O_3$ 内部での酸素欠損が起きることが考えられる。そのため、$SiO_2$、$Al_2O_3$、$TiO_2$ をバッファ層として使用し、酸素の拡散を抑制でき、これらのバッファ層はデバイス作製後のリーク電流の抑制にも効果があると考えられる。

さらに、申請者がこれまで開発してきたマイクロ励起高密度プラズマ装置を用いて、スパッタリングプロセスの後処理で、$Ga_2O_3$に酸素ラジカルを照射し、酸素欠損の回復を行う。酸素欠損の回復により、薄膜の改質が実現できると考える。

令和２年度は、スパッタリング装置の改良を行いこれまで申請者が行ってきた強誘電体薄膜を成膜しスパッタの基本的な形成条件を得ることができた。特に、スパッタリングプロセスとマイクロ波励起プラズマ装置を用いて、圧電材料・デバイスの研究を行ってき

た。特に酸素欠損の存在する薄膜材料に対し、プラズマ中の酸素ラジカルを照射することにより、欠陥密度を減少させ鉛が含まれていない圧電材料である $BiFeO_3$ を 350 度の低温で Pt 上に成膜することに成功した。また、新しい材料である $DyScO_3$ 基板上にも $BiFeO_3$ を成膜することに成功させ、材料の基本的な配向性や組成についての評価・分析し、成果をまとめて学会発表を行った。

スパッタリングについての成膜条件を得ることができたので、次にターゲットを交換し、$Ga_2O_3$ の成膜を行った。$Ga_2O_3$ は $SiO_2$ 薄膜上に成膜し、600 度と 1050 度でアニールした後の配向性について、XRD を用いて評価を行った。図 2 に最終的なデバイス構造であるトップゲート型の $Ga_2O_3$ デバイスを示す。$Ga_2O_3$ 表面を表面処理技術で改質し、その上に絶縁膜である $SiO_2$、$Al_2O_3$、$TiO_2$ を成膜する予定であるがトップゲート型にこだわらず、先に絶縁膜を形成してから $Ga_2O_3$ を成膜するバックゲート型も考えられる。今年度は、最初のステップとしてバックゲート型に応用する $SiO_2$ 上への $Ga_2O_3$ 薄膜の成膜を行った。

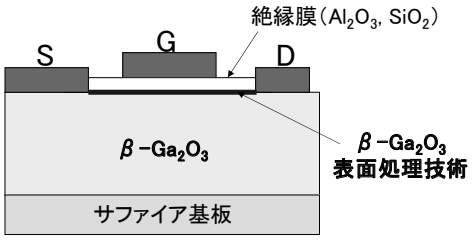



図 1 Al203, Si02,Ti02 をゲート絶縁膜に用いた Ga203 デバイス概念図

［3］成果

(3-1) 研究成果

XRD で測定した $Ga_2O_3$ 薄膜の欠課を図 2 に示す。600 度のアニールでは、$Ga_2O_3$ に起因するピークは見られなかったが、1050 度までアニール温度を上昇することで、$\beta$-$Ga_2O_3$ の(400)、(002)のピークが検出されて、$Ga_2O_3$ に配向性が揃っていることがわかる。アモルファスである $SiO_2$ 上でも、熱処理の温度を上昇させることで、$Ga_2O_3$ の結晶性が進むことが分かった。来年度以降は、$TiO_2$ や $Al_2O_3$ 上への成膜とサファイア基板上への $Ga_2O_3$ の成膜を行い、デバイスを形成する予定である。

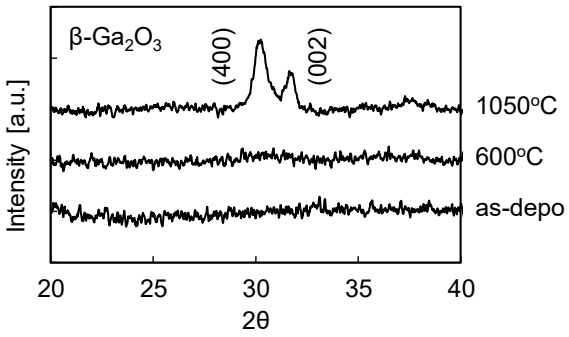



図 2　アニール温度の違いによる $Ga_2O_3$ 薄膜の XRD 測定結果

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

$Ga_2O_3$ はバンドギャップが 4.9eV と大きいワイドバンドギャップで材料であるため、現在使用されている SiC や GaN デバイスの材料の置き換えとして考えられる。この非常に大きなバンドギャップに代表される物性から、$Ga_2O_3$ デバイスは高耐圧、高出力、低損失（高効率）といったパワーデバイス特性に優れた材料になると考える。同時に、高温や強い放射線といった過酷な環境下においても優れたデバイス特性および安定動作が期待できると考えられる。また、本研究により $Ga_2O_3$ の成膜するスパッタリングプロセスを確立し、デバイスへの応用への指針とすることが期待される成果である。

［4］成果資料

(1) 仲田陸人, 今泉文伸,「$BiFeO_3$ 薄膜を用いた電子デバイスの研究 」, 第 26 回高専シンポジウムオンライン, MAC-20, 2021 年 1 月
(2) 今泉文伸,「スパッタリングにより形成された DyScO3 基板上の BiFeO3 薄膜の表面解析 」, 第 30 回日本 MRS 年次大会, P-P10-008, 2020 年 12 月
(3) 今泉文伸, 仲田陸人,「$DyScO_3$ 基板上に形成された BiFeO3 薄膜の組成分析」, 日本機械学会第 11 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 27A2-MN1-6, 2020 年 10 月
(4) 今泉文伸, 仲田陸人,「強誘電体薄膜 $BiFeO_3$ の格子整合と X 線構造分析」, 電子情報通信学会技術研究報告 シリコン材料・デバイス, 120(205), 30 - 33, 2020 年 10 月
(5) 久田和輝, 今泉文伸,「$BiFeO_3$ 薄膜形成と MEMS への応用」, 日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会, 2020 年 10 月
(6) 今泉文伸, 仲田陸人,「$DyScO_3$ 基板上へのスパッタリングによる強誘電体薄膜の形成」, 第 37 回強誘電体会議, 29am-04, 2020 年 5 月

**採択番号：R02/A08**

# 負の透磁率を利用した移動体通信機器内の電磁クロストーク抑制に関する研究

［1］組織

研究代表者：
室賀　翔（秋田大学大学院理工学研究科）
通研対応教員：
杤　修一郎（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
遠藤　恭（東北大学大学院工学研究科）
直江　正幸（電磁材料研究所）
田中　元志（秋田大学大学院理工学研究科）
三上　貴大（秋田大学大学院理工学研究科）
小林　拓真（秋田大学理工学部）
延べ参加人数：8 人

［2］研究経過

電子機器の小型薄型化，多機能化，高速化が進展する一方で，機器内の狭い領域での電磁界制御は限界に達しつつある。機器の高密度実装化と動作周波数の高周波化に伴い，素子や配線間が磁気的に結合しやすくなり，クロストークの問題が深刻化している。一般的に，誘導結合は配線間距離の増加や配線の平行部分を減らすことにより対策されているが，これらの手法には，回路レイアウト変更や部品を追加するための追加のフットプリントが必要である。これに対して，我々のグループではレイアウト変更やフットプリントの増加を伴わずにクロストークを低減する，磁性膜を用いた手法を提案した。先行研究においては，その実証実験として，平行 2 導体マイクロストリップ線路(Microstrip Line, MSL)上に異なる磁性膜を配置し，MSL 間の伝送特性を評価した。その結果，MSL の寸法や構造の変更を伴わず，磁性膜を配置することによって強磁性共鳴(Ferromagnetic resonance, FMR)周波数以上の周波数帯域において，クロストークが抑制可能であることを示した。本手法の実用化に向けて，磁性膜の電気・磁気特性が配線の伝送特性に与える影響を定量化し，信号を劣化させることなく，必要な周波数で十分なクロストーク抑制効果を得るための設計指針を確立する必要がある。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。

本年度は，新型感染症対策のため，実験的なアプローチではなく，主に解析的なアプローチによる研究遂行を試みた。具体的には，先行研究で得られたクロストーク抑制効果の機構解析を目的として，磁気回路解析を利用して磁性膜の透磁率が MSL 間の磁気結合の抑制効果に与える影響を定量的に検討した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

活動活動状況：

研究打ち合わせ

| | |
|---|---|
| 4 月 17 日 | 対面（参加人数 3 名） |
| 9 月 18 日 | 対面（参加人数 4 名） |
| 1 月 6 日 | メール，電話（参加人数 7 名） |
| 2 月 18 日 | オンライン会議（参加人数 4 名） |
| 3 月 12 日 | メール，電話（参加人数 7 名） |

研究会への参加

| | |
|---|---|
| 4 月 17 日 | 電子情報通信学会 EMCJ 研究会 |
| 2 月 18 日 | 共同プロジェクト研究発表会 |

［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，クロストーク抑制のために磁性膜を配置した平行 2 導体 MSL 断面の磁気回路を構築し，解析することにより，磁性膜の負の透磁率が線路間の誘導結合を抑制する機構を明らかにするとともに，その抑制量を定量化した。まず，先行研究において通研 石山・杤研究室で製膜していた磁性膜の電気および磁気特性を測定した。次に，図 1 に示す通り，実験と同様の構造のモデルを用いて電磁界解析を実施した。電磁界解析より算出した MSL 断面の磁束密度分布に基づいて，図 2 に示す通り磁路を直方体とした単純な構造の磁気回路を構築し，1 本の MSL の自己インダクタンスおよび MSL 間の相互インダクタンスを推定した。図 3 にその結果を示す。線路間の相互インダクタンスが，先行研究でクロストーク抑制効果が得られた 2.8 GHz 程度でおおよそ 0 となることが確かめられた。以上により，磁性膜の負の透磁率が，線路間の誘導結合を低減する機構を明らかにした。本成果は，電子情報通信

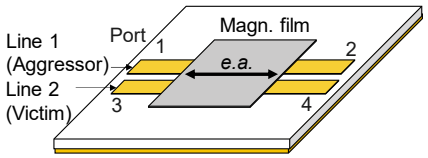



Fig. 1. Geometry of experimental model.

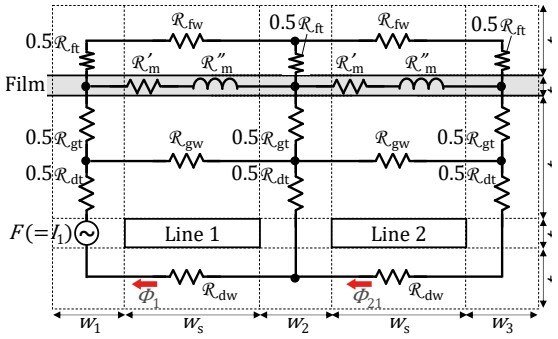



Fig. 2. Equivalent magnetic circuit model.

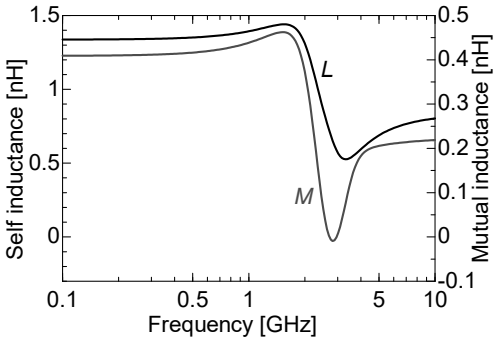



Fig. 3. Calculated self and mutual inductance.

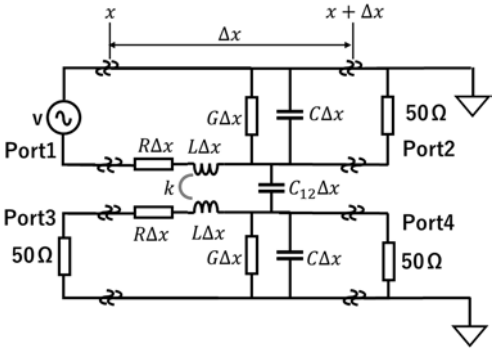



Fig. 4. Electrical equivalent circuit model

学会環境電磁工学研究会（EMCJ）にて口頭で発表した（**室賀他, 信学技法, EMCJ2020-1, Apr. 2020**）。さらに，電気学会論文誌 A に投稿し，次年度出版される予定である（**室賀他, 電気学会論文誌 A, Vol. 141-5, 2021**）。

第２に，磁性膜の寸法や材料パラメータとクロストーク抑制効果の関係を明確化し設計指針を構築するため，磁性膜を配置した平行２導体 MSL の電気等価回路の構築を試みた。磁気回路解析より求めた自己インダクタンスと相互インダクタンスの商より磁束の結合係数を推定し，図４の通り構築した電気等価回路の結合係数 $k$ に反映させた。回路解析の結果は先行研究の実験値とおおむね一致し，相互インダクタンスが減衰する周波数において，線間クロストークが抑制可能であることを示した。さらに，構築した電気等価回路が，クロストーク抑制を目的とした磁性膜設計のために有用であることを示した。本成果は，次年度開催の電子情報通信学会 EMCJ にて口頭で発表予定である（**小林他, 信学技法, EMCJ2021-1, Apr. 2021（次年度）**）。また，本研究で構築した等価回路を，磁性膜を配置した 1 本の MSL に適用し，その寸法材料パラメータと伝送特性の関係を定量化した。その成果を電気学会論文誌 A（**三上他, 電気学会論文誌 A, Vol. 140-12, p. 595, 2020**）および信学会 Trans. Commun. に投稿した（**S. Muroga et al., IEICE Trans. Commun., Vol. E103B-9, p. 899, 2020**）。さらに，次年度開催される IEEE INTERMAG 2021 Conference にて発表予定である（**Mikami et al., IEEE Intermag 2021, ER-03, 2021（次年度）**）。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

磁性膜の負の透磁率を利用して配線間クロストーク抑制効果を行う手法は，これまで対策が困難であった次世代通信用機器内の狭い空間内での高周波磁気結合を制御することを可能とする，革新的なアイデアである。本技術の実現により，回路設計の自由度を向上させることが可能であり，電子機器の更なる小型・高密度，高周波化の進展に寄与する。また，本技術は，磁性膜の Snoek 限界を超える周波数で利用可能である。さらに，磁性材料のみではなく，メタマテリアルにも適用可能であると考えられる。よって，現在利用される磁気デバイスよりも高い周波数帯域で動作する素子への応用が期待でき，次世代通信で用いる準ミリ波，ミリ波，テラヘルツ帯用デバイス開発に寄与する。

［４］成果資料

学術論文：

（１） Sho Muroga, Motoshi Tanaka, Takefumi Yoshikawa and Yasushi Endo, ″Effect of Complex Permeability on Circuit Parameters of CPW with Magnetic Noise Suppression Sheet,″ IEICE Transactions on Communications, Vol. 103.B-9, pp. 899-902 (2020).

（２）三上 貴大, 室賀 翔, 田中 元志, ″異なる寸法の電磁ノイズ抑制体を配置したマイクロストリップ線路の回路定数の推定,″ 電気学会論文誌A, 140 巻, 12 号, pp. 595-596 (2020).

口頭発表：

（３）室賀 翔, 眞壁政希, 田中元志, ″Co-Zr-Nb 膜を配置した平行２線 MSL 間の相互インダクタンスの推定,″ 信学技報, EMCJ2020-1 (2020)

**採択番号：R02/A09**

# 金属ナノ接合における量子伝導の制御と機能性素子への応用

［1］組織
研究代表者：
柴田憲治（東北工業大学工学部電気電子工学科）
通研対応教員：
大塚朋廣（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：5 人

［2］研究経過

伝導チャネル幅が電子の波長程度に括れた構造を有する量子ポイントコンタクト（QPC）は、超高感度の電荷検出が可能であり、これまで極低温環境のみで動作する半導体 QPC がナノ構造の量子状態の読み取りに用いられてきた。一方で、金属材料を用いた金属 QPC においては、室温でも伝導度の量子化が明瞭に観測されることから、室温動作可能な電荷検出器への応用が期待される。しかし、金属 QPC は伝導度の電界変調が困難であり、これまでデバイス応用は進んでいなかった。本研究では、金属 QPC の作製とその伝導度の電界変調を実現する実験をおこない、これを室温動作が可能な超高感度・高空間分解能電荷検出器へと応用する研究を推進した。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。まずは、「原子スケール微細加工による金属 QPC の作製」に取り組んだ。幅 100 nm、厚さ 10 nm 程度の金属ナノ接合を電子線リソグラフィーにより作製し、これを微細化することで、金属 QPC を作製した（図 1 を参照）。金属ナノ接合の微細化には、一般によく用いられているフィードバック通電断線手法や、イオン液体を用いた電気化学エッチング手法を用いて、ソース-ドレイン電極間が金属原子 1〜3 個程度で繋がる金属 QPC 素子を高い歩留まりで作製する手法を確立した。この際、特に素子作製の歩留まりを高めるために、２種類の微細化手法をどのように用いるのが最適なのかを詳細に調べた。次に、作製した金属 QPC について、「金属 QPC の伝導度の電界変調技術の確立」に取り組んだ。金属チャネルを電界のスクリーニング長（〜1 nm）以下まで微細化することで、チャネル全体に電界が届くようにして伝導度を電界変調することを試みた。ゲート電界の印加方法としては、一般的に用いられている酸化膜でできたゲート絶縁膜を用いる固体ゲート手法の他、電解液やイオン液体などの液体をゲート絶縁膜として用いる電気二重層ゲートによる電界変調も用いて実験をおこなった。

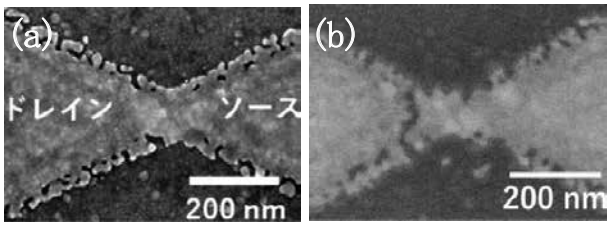



図１：(a)電子線リソグラフィーによって形成された金属ナノ接合の電子顕微鏡（SEM）像。(b) (a)の素子に対してフィードバック通電断線法と電気化学エッチングを併用して作製された金属 QPC 試料

［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。

まず第一に、チャネルサイズが金属原子 1〜3 個程度からなる金属 QPC を再現性良く作製するためのノウハウを確立した。フィードバック通電断線による金属ナノ接合の微細化では、特に金ナノ接合のサイズが 10 原子程度まで微細化されたあたりから金属チャネルの微細化速度の制御が困難となり、金属 QPC 作製の歩留まりが低くなることが分かった。よって、温度や電圧により微細化速度の制御が容易な電気化学エッチングを用いた微細化を主として最適な微細化手法を探した。その結果、はじめに通電断線による大まかな微細化を行った後に電気化学エッチングを行うことで、金ナノ接合を 1〜3 原子程度の金 QPC にまで高い歩留まりで微細化できることがわかった。図 2 に本研究で採用した金属ナノ接合の

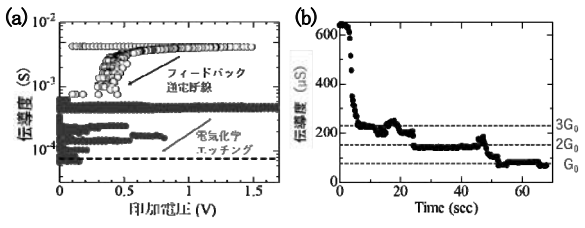



図２：(a) 2 種の微細化手法による伝導度の変化。(b) 電気化学エッチングによる微細化。時間とともに 1 原子ずつ原子が溶けて量子化伝導度 $G_0$ の整数倍で伝導度が変化した。

微細化の過程を示す。まず最初にフィードバック通電断線を用いてソース・ドレイン間が 10 原子程度で繋がった伝導度（〜1 mS）になるまで微細化を進め（図 2(a)白丸）、それ以降は制御性の良い電気化学エッチング手法を用いて数原子分の微細化を行うことで（図 2(a)赤丸）、１原子ずつエッチングを進めて、最終的に１原子で繋がった金属 QPC を再現性良く高い歩留まりで作製することが可能となった（図 2(b)）。

次に、作製した金属 QPC について、その伝導度の電界変調技術の確立に関する実験をおこなった。まずは、極限まで微細化を施した単一原子で繋がった金 QPC に対して、半導体基板をゲートとして用いるバックゲートから電界を印加し、伝導度のゲート変調が可能かどうかを調べた。その結果、図 3(a)に示すように、現状では１原子まで金属 QPC を微細化しても、それだけでは伝導度のゲート変調はできないことが分かった。その理由としては、原子スケールまでの狭窄化により、ゲート電界が金属チャネル全体に届くようになる一方で、QPC に形成される量子準位間隔が広がるため、素子の伝導度の電界変調がより難しくなっていることが考えられる。QPC 活性層のサイズを 3〜5 原子にすることで量子準位間隔を狭くした素子の方が伝導度の電界変調に適している可能性が考えられる。また、これまでは作製が容易であることもあり、もっとも括れた場所で 100 nm 程度の幅を有する金属ナノ接合（図 1 (a)）を出発点として、これを微細化することで金属 QPC を作製していた。しかし、これを微細化して QPC を作製すると、図 1 (b)に示すように接合部にひびが入ったように金属の切断（微細化）が進むことが多く、QPC がそのひび割れの中央に形成された場合、側面からの電界が QPC 部に届き難くなることが考えられる。金属 QPC の周辺をできるだけ細く細線化することで、横方向からの電界が QPC 活性層に集中し易くなることが期待される。よって、今後は可能な限り QPC 周辺部の細線化を行った上で、3~5 原子で繋がった金属 QPC に対して電界変調の実験を行う必要があると考えている。

最後に、表面から別の電界を補助的に印加することで、バックゲートからの伝導度の電界変調を実現できる可能性について検証した。このため、素子表面にイオン液体を塗布し、分極したイオン液体からの電界の下で、伝導度の電界変調が観測できるかを調べた。図 3(b)は、表面のイオン液体が凍結する前後の温度で、ゲート電圧を掃引した際の伝導度の変化を示す。表面のイオン液体が凍結して動かない状態（190K）では、ゲート電圧を掃引しても表面のイオン液体は分極せず、図 3(a)と同様に伝導度は変化しないのに対して、温度を上昇させてイオン液体が動ける状態にすると（200K, 205K）、ゲート掃引に対応してイオン液体が分極し、その電界の助けを借りて伝導度がステップ状に変化する様子が観測された。この結果は、表面から金属 QPC 付近に適切な電界がかかるようにすることで、固体ゲートでも金属 QPC の伝導度の電界変調が可能となる可能性を示唆する。現時点では、表面からの補助的な電界のソースとして、電解液中で参照電極に電圧をかけることで形成される電気二重層や、極性を持った自己組織化単分子膜などを表面に塗布することなどで、表面電界の調節ができるのではないかと考えている。

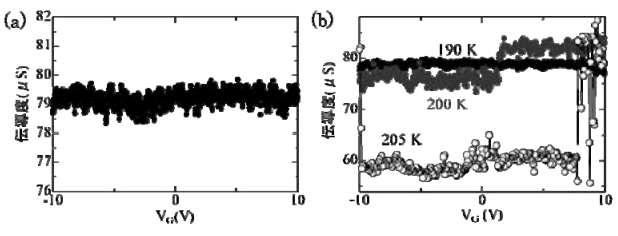



図 3：(a) 1 原子で繋がった金属 QPC の伝導度のゲート電圧依存性。(b) 表面のイオン液体からの電界がある中での伝導度のゲート電圧依存性。

（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、主に素子の電荷検出器への応用に注力した研究を行うが、本研究で取り組む金属チャネルの構造制御の応用範囲は電荷検出器のみに限定されず、超伝導金属や強磁性金属を用いることで、3 端子超伝導素子やメモリ素子へと展開できることも考えられ、多方面へと発展する潜在性を有する研究である。単一電子やイオンの動きの制御により量子ビットを操作する量子コンピューターの実現が期待されているが、これらの系における量子状態の読み取りが可能で、より高性能な素子を新たに提供できる可能性がある。また、走査プローブ顕微鏡の走査機構の先端に本素子を取り付けるなどすることで、ナノ構造の他、電解液中の生きた生体細胞、極性を有する分子などにおいて、電荷の分布や動きの超高空間分解能計測も可能となると考えられ、化学、バイオ分野へも貢献することが期待される。

［4］成果資料

本年度分の論文発表はなかった。

学会発表：

(1) 柴田憲治、佐々木尚人、斉藤大我、大塚 朋廣、平川 一彦 「電荷検出器への応用に向けた金属ナノ接合の微細化と伝導特性制御」 第 68 回応用物理学会春季学術講演会 2021 年 3 月 16 日 (16p-P09-2).

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/A10**

# high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明

［1］組織
研究代表者：
王谷　洋平（公立諏訪東京理科大学工学部）
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：
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）
岡本　浩（弘前大学大学院理工学研究科）
小林　康之（弘前大学大学院理工学研究科）
小野　俊郎（弘前大学大学院理工学研究科）
延べ参加人数：9 人

［2］研究経過

コンピュータ機器や携帯機器の心臓部である Si-CMOS デバイスによる VLSI が集積度の限界に差しかかっており、high-k 絶縁膜や立体構造が導入さ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-CMOS 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つとされている。しかしながら Ge-MOS 構造は従来の $SiO_2$/Si-MOS 構造に対し，良好な界面や高品質な絶縁膜を得ることが難しいという問題がある。近年，適切な条件下で形成された $GeO_2$ や $GeN_x$ 中間層を導入することにより最も重要な課題であった MOS(MIS)構造における界面準位密度（$D_{it}$）の低減が進んでおり，提案者らのグループも ECR (Electron Cyclotron Resonance)プラズマ法やリモートプラズマ源による酸素ラジカルを用いた ALD 法（REALD 法）による絶縁膜形成により，低い界面準位密度を有する Ge-MIS 構造を実現している。しかしながらその絶縁膜や界面の物理に関しては未だ不明な点が多々残されている。例えば課題の一つとして成膜後や電極形成後におけるアニールによる特性向上に関するメカニズムの解明が求められている。

本プロジェクトは開始初年度となるが，前回までのプロジェクト研究（H20/A03「ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御」，H23/A03「原子層レベルで制御された Si 並びに Ge-MIS 構造の作製技術とその界面評価技術の開発」，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」，及び 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」）の成果である，低密度界面準位 Ge-MIS 構造の作製と界面準位密度の高精度な評価手法，界面近傍の絶縁膜中や半導体中に存在するトラップの評価技術を引き継ぐものである。メンバー間の通常の打合せは主として e メールによる紙上会議にて実行し，東北大学電気通信研究所にてオンライン開催された報告会にて成果報告を行った。

今年度は，前々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，これまでに検討してきた基板加熱を伴う ALD 法などの手法に換えて基板加熱を必要としない RF マグネトロンスパッタ法で $HfO_2$/Ge 構造を形成して，そのアニール効果を調べるという試みを行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

これまでのプロジェクト研究において、酸化膜系及び窒化膜系による各種の high-k/Ge-MIS 構造を複数のプロセス手法によって形成し，評価を行ってきた。そのうち以下に酸化物系絶縁膜を用いた Ge-MOS 構造の例を示す。

i) $Al_2O_3$/$GeO_2$/Ge 構造
プロセス手法：(ECR プラズマ酸化+ECR スパッタ)[1]並びに(酸素ラジカル酸化+REALD)[2]

ii) $Al_2O_3$/Al ジャーマネイト/Ge 構造
プロセス手法：REALD 法による自発形成[3,4]

iii) $HfO_2$/Hf ジャーマネイト/Ge 構造
プロセス手法：REALD による自発形成[5]

iv) $HfO_2$/Al ジャーマネイト/Ge 構造
プロセス手法：(REALD による自発形成+REALD)[5]，(ALD+酸素ラジカル照射+ALD)[6]

今年度は $HfO_2$/Ge 構造を RF マグネトロンスパッタ法により基板加熱なしで形成し，その電気特性の評価を行うとともに，その後の熱処理による影響について評価を行った。図 1-3 に $HfO_2$ 膜厚 17.8nm の試料の熱処理前，電極形成後アニール(PMA)後ならびに電極形成前

アニール(PDA)後における,室温コンダクタンス法により算出した界面準位密度($D_{it}$)と印加電圧の関係をそれぞれ示す。熱処理前の試料において,300℃程度の基板加熱温度で形成したこれまでの試料と比較して、1桁程度$D_{it}$が大きくなることが明らかとなった。PMA, PDA に依らず熱処理後には, これまでの300℃程度の基板加熱温度で形成した試料と同様に1桁程度の$D_{it}$の低減が確認できた。今後、300℃程度の基板加熱温度にて RF マグネトロンスパッタ法で形成した$HfO_2$/Ge 構造の形成ならびにその電気特性の評価を進めるとともに, 現象の解明を目指すべく機器分析的手法を用いて解析を行う予定である。

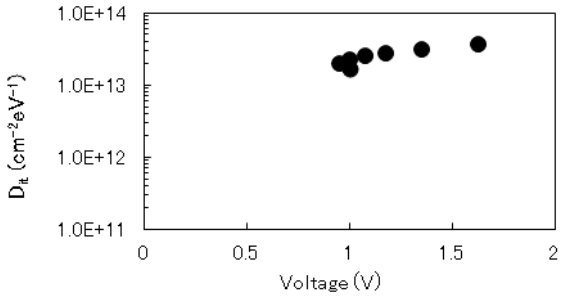



図1　熱処理前の$HfO_2$/Ge 構造の$D_{it}$-V 特性

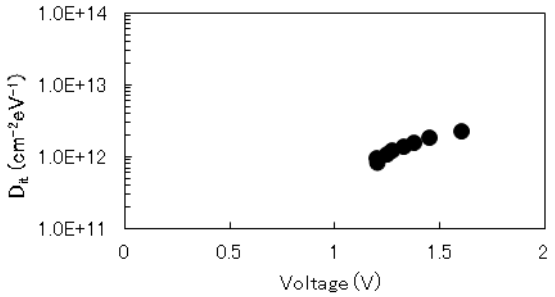



図2　PMA 後の$HfO_2$/Ge 構造の$D_{it}$-V 特性

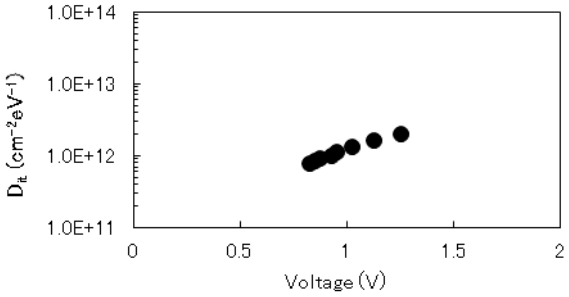



図3　PDA 後の$HfO_2$/Ge 構造の$D_{it}$-V 特性

(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。さらに次年度には極低温での極薄膜形成に明るい研究分担者が加わる予定もあり, 次世代の高性能 CMOS デバイスの実現に向け, 作製・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）山本, 山田, 王谷, 岡本, 「スパッタ法を用いて作製した $HfO_2$/Ge 構造に対する RTA の効果(1) 」, 令和2年度応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会, B-01(オンライン口頭発表), 2020 年 11 月 28 日.

（2）山田, 山本, 王谷, 岡本, 「RF マグネトロンスパッタリング法を用いた Ge 基板上への $HfO_2$ の堆積」, 令和2年度応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会, B-06(オンライン口頭発表), 2020 年 11 月 28 日.

（3）山本, 山田, 王谷, 岡本, 「スパッタ法を用いて作製した $HfO_2$/Ge 構造に対する PDA の効果 」, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-P12-3(オンラインポスター発表), 2021 年 3 月 16-19 日.

謝辞

特性評価に協力頂いた公立諏訪東京理科大学大学院生の山田大地氏並びに山本裕介氏に感謝致します。

[参考文献]

[1] Y. Fukuda, Y. Yazaki, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, and T. Ono, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 57, No. 1, pp. 282-287 (2010).

[2] Y. Fukuda, D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, and, H. Okamoto, ALD 2016, 0199 (2016)

[3] Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita, Appl. Phys. Lett. 102, 132904 (2013).

[4] Y. Fukuda, D. Yamada, T. Yokohira, K. Yanachi, C. Yamamoto, B. Yoo, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, and H. Okamoto, J. Vac. Sci. Technol. A 34(2), 02D101 (2016).

[5] D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, H. Okamoto, Y. Fukuda, The 6th Int. Symp. Organic and Inorganic Electron. Mat. and Rel. Nanotechnologies (EM-NANO 2017), PA4-1-2, (Fukui, Japan, 2017).

[6] 山田大地, 王谷洋平, 山本千綾, 山中淳二, 佐藤哲也, 岡本浩, 福田幸夫, 応用物理学会 北陸・信越支部 第3回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム, (石川県政記念しいのき迎賓館, 2016)

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/A11**

# 単結晶グラフェン機能デバイス

［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

［2］研究経過

ナノカーボン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用いて各種の新機能デバイスを創出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１年度であった。本年度はSiC上エピタキシャルグラフェンを用いた電子デバイスを作製しその赤外放射特性に関する検討を中心に研究をすすめた。

以下，研究活動状況の概要を記す。

平面型、接合型二種類の黒体輻射デバイスを作製し、その赤外放射特性を赤外フーリエ変換装置（FT-IR）にて取得した。結果、両タイプとも波長10 μm程度の遠赤外線領域にピークを持つ黒体輻射様の放射特性が得られた。また、今後、東北大学にて放射スペクトル測定を行うための準備の打合せを行った。残念ながらコロナ禍の影響で仙台での実験には至らなかった。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，２種類の赤外放射デバイスに関しての検討を行った。

まず１つめは平面タイプのデバイスで、10㎜ 角のSiC 基板上にエピタキシャル成長させた単結晶グラフェン試料に金電極を直接接触させて電圧を印加した。（図１(a)）電極とグラフェンのコンタクトはオーミックであり大きな電力を投入可能である。図１のデバイスは100V印加時に12.4 mAの電流を流すことが出来た。四端子抵抗から見積もったグラフェンへの投入電力は80 mWである。この時、サーモグラフィカメラによる試料の温度上昇は約4 Kであった。FI-IRを用いて放射スペクトルを取得した結果を図１(a)に示す。波長10 μm付近にピークを持つ遠赤外線領域の放射を確認した。300 Kの黒体輻射（プランクの式）の計算スペクトルも図中に示してある。概ね、黒体輻射様の放射スペクトルである。測定を大気中で行っているため水（5-7 μm、及び、18 μm以上）や二酸化炭素（12-14 μm）の吸収が見られる。このスペクトルの特徴的な点は10-12 μm付近の大きな吸収であり、これは基板のSiCの光学特性に由来していると思われる。グラフェンからの遠赤外線放射場が基板と強く相互作用している-と推測することが出来る。即ち、本スペクトルはSiC上グラフェン特有の放射スペクトルである。サーモグラフィで測定された温度上昇量が小さいため、温度上昇に伴うスペクトルの青方変位は観測できな

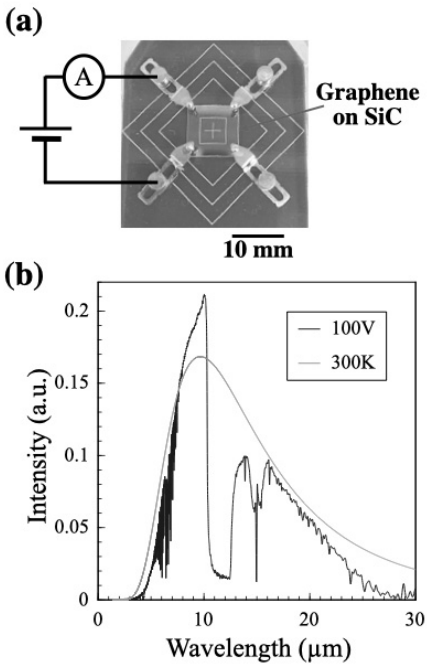



図１(a)平面型グラフェンデバイスの概略図
(b)赤外放射スペクトル

かった。

次に、接合型のデバイスの特性の評価を行った。２枚のSiC上グラフェン試料を対向させて直接接合させることにより積層接合を形成した。(図２(a)) ２枚の試料はアクリル製の治具で固定した。コンタクトピンで試料にコンタクトを取った。図ではコンタクトピンは各試料に１本づつであるが、実際には各試料に４本づつコンタクトピンがあり、四端子測定により接合電圧の計測が可能である。積層接合デバイスの電気特性は低電圧領域ではオーミックであるが、接合電圧が１V以上になると非線形特性が現れ、接合抵抗が低下する。この非線形特性はグラフェンのバンド分散に由来している可能性がある。このデバイスについて赤外放射特性の取得を行った。結果を図２(b)に示す。平面型のデバイスと比較するとより黒体輻射スペクトルに類似している。このデバイスではサーモグラフィで測定した接合温度上昇量は、平面型デバイスの温度上昇量に比べて大きく、図２(b)に示した80 V印加時では80 K近くに達している。しかしながら、予測されるスペクトルの青方変位は観測されたない。観測されるピーク波長は印加電圧（電力）には依存せず10.2 μmという一定の値を取る。つまり、このデバイスからの遠赤外放射は熱的な黒体輻射に由来しない。接合電圧が高く（約5V@80Vbias）ホットエレクトロンがグラフェンに注入された状態になっている。高電界下ではグラフェンのフォノンからの放射が理論的に予測されているが、波長10.2 μmはエネルギーに換算すると122 meVとなり、グラフェンの光学フォノン(198 meV@Γ)

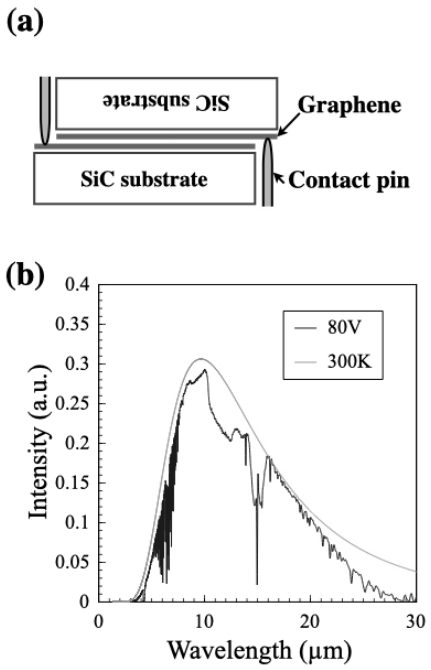



図２(a)グラフェン積層接合の概略図
(b)赤外放射スペクトル

や音響フォノン(66 meV@K) とは一致しない。SiCの表面フォノンであるFuches-Kliewer(F-K)フォノンのエネルギーは117 meVで、波長に換算すると10.6 μmであり、測定されたスペクトルのピーク波長に近い。グラフェン積層接合から放射される遠赤外線はF-Kフォノンに由来することが推定される。いずれにしろ投入電力に依存せず一定のピーク波長を持つことから、積層接合型の遠赤外線LEDが実現された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

平面型、及び、接合型のSiC上グラフェンへの電流注入による遠赤外放射デバイスを実現した。特に、積層接合デバイスでは導入電力に依存しない放射スペクトルを持つデバイスが実現された。基板のフォノンをホットエレクトロンにより励起している可能性があり、新たなタイプの遠赤外線放射デバイスが実現された。今後、理論的に予測されているグラフェンのフォノンの励起も可能となればテラヘルツ領域の放射も期待され、実現されればその波及効果は大きい。また、積層接合に於ける接合電圧は5V以上となり、グラフェンのπプラズモンを直接励起できる可能性もあり電子デバイスとしても興味深い特性が得られる可能性もある。

［４］成果資料

（１） Blackbody-Like Infrared Radiation in Stacked Graphene P-N Junction Diode:
N. Murakami, Y. Sugiyama, Y. Ohno and M. Nagase, 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2020), No.2020-21-14, Online, Nov. 2020.

（２） Blackbody-Like Infrared Radiation in Stacked Graphene P-N Junction Diode:
N. Murakami, Y. Sugiyama, Y. Ohno and M. Nagase, Jpn. J. Appl. Phys. **60** (2021) SCCD01

採択番号（Grant No.）：**R02/A12**

# Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging

［1］組織 (Research Organization) Institute of ultra-high frequency semiconductor electronics of the Russian Academy of Sciences (IUHFSE RAS, Moscow, Russia)
研究代表者（Principal Investigator）：
Prof. PONOMAREV Dmitry (IUHFSE RAS)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC, Tohoku Univ.)
研究分担者 (Project Member List)：
Dr. WATANABE Takayuki (RIEC, Tohoku Univ.)
延べ参加人数 (Total Number of Participants)：4

［2］研究経過 (Summary)

We have developed and fabricated two types of photoconductive antenna (PCA)-detectors that utilize different physical mechanisms. The first detector is based on a strain-induced InAlAs/InGaAs superlattice (SL) featuring ultra-short photocarrier lifetimes ~ 1.7 ps and moderate mobility. The detector could be easily integrated with fiber fs-lasers operating at 1.03−1.56 μm and exhibits a very low noise current and the increased signal-to-noise ratio when the optical power of the probe beam exceeds 5 mW, and could be used for a single-pixel THz detection. The second PCA-detector is fabricated using low-temperature grown GaAs (LT-GaAs, for a 780 nm fs-laser) and comprises the 8×8 array dipole *H*-type PCAs featuring a 100 μm photoconductive gap. The PCA array has correspondingly 8 channels with 64 pixels and could be used for multichannel detection with an increased acquisition rate for pulse and real-time (CW) THz imaging applications.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

**1. Strain-induced PCA-detector (single detector)**

The strain-induced SL-based PCA-detector was fabricated in two steps. At the first instance, we fabricated the SLs via molecular-beam epitaxy (MBE) using a semi-insulating GaAs (100) substrate. The 30-period strain-induced SL (SID, see figure 1) comprised the alternating layers InGaAs/InAlAs with the decreased indium content in the InAlAs barrier layers resulted in the appearance of residual elastic strain in the layers. The lattice-matched SL (LMD, see figure 1) had the same design with the exception that the barrier layers were lattice-matched to the photoconductive layers. The thicknesses of the InGaAs photoconductive layers and the InAlAs barrier layers were 12 nm and 4 nm, respectively, to provide a reasonable overlapping of the electron wave functions in quantum wells with trap states in barriers. Then, we developed the PCA-detectors that utilized a 60° bow-tie electrodes topology with the photoconductive gap of 10 μm. The 50/450-nm-thick Ti/Au metallization was deposited on the SLs surface using thermal evaporation. The PCA were used as a THz detector in a time-domain spectroscopy setup [A1, B1-B3].

Figure 1 demonstrates the recorded THz spectra for the both PCAs probed with optical power of 10 mW. We demonstrated that SID shows a quadratic dependence of the signal-to-noise ratio on the probe power while the LMD starts saturating at ~ 5 mW. Moreover, the noise floor in SID is almost independent on a probe power while the noise floor for LMD demonstrates a rapid growth with an increase of the probe power [A1, B5].

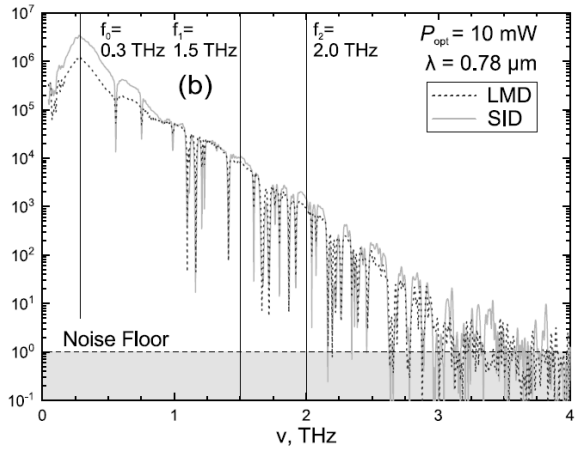


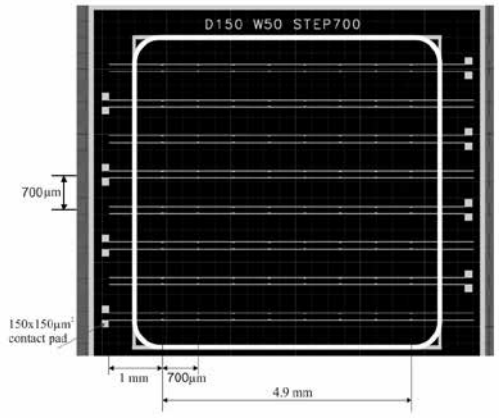

Figure 1. Normalized detected THz power spectra recorded by LMD (dotted red curve) and SID (solid green curve). The PCAs are probed with the optical power of 10 mW [A1].

**2. PCA array detector (large-area detector)**

The PCA array was fabricated as follows [A2]. It was designed to operate with a 780 nm fs-laser compared to the above mentioned SL-based detector. We started with the preparation of LT-GaAs that was used as a photoconductor. The 0.5 μm thick LT-GaAs was grown

via MBE using Riber 32P system at 220°C on a semi-insulating GaAs (001) substrate. To improve the LT-GaAs characteristics and isolate the photoconductor from the wafer, a 50 nm thick AlAs layer was sandwiched between the LT-GaAs and the wafer. The LT-GaAs was then annealed at 600°C within 20 min in the growth chamber. The array was fabricated using an electron-beam lithographic setup Raith 150-TWO. The 50 nm/450 nm thick Ti/Au metallization was deposited on the surface of LT-GaAs via resistive thermal evaporation. Then, the array was mounted on a PCB board with a window for THz access on its backside. The distance between two neighboring bias lines is 150 μm, the area of contact pads is 150×150 $\mu m^2$. Figure 2 illustrates the schematic layout of the developed PCA array-detector with its geometrical parameters [B4, B5].

**(a)**




**(b)**

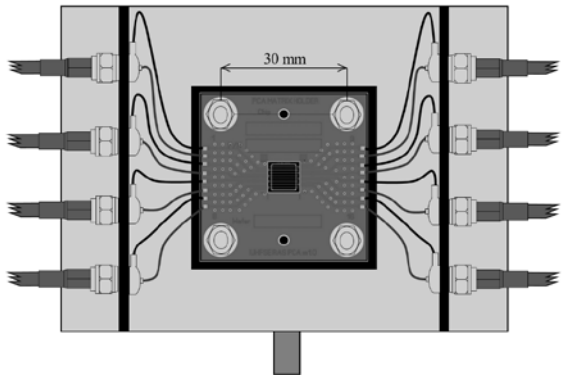



Figure 2. Schematic layout of the PCA array-detector with its geometrical parameters (a) and the PCB with holder assembly for the PCA array (b) [A2].

（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)

The both PCA-detectors have been successfully developed and fabricated using the technological routine proposed within the mutual efforts from the Russian and Japanese sides. Earlier, together with Prof. T. Otsuji's group, we designed and fabricated the graphene-based IR photodetector [A3] and high-efficient plasmonic PCA-based THz emitter [A4,A5] which gave rise to a new technological routine of the PCA fabrication with the very low dark current in a PCA. By using this routine, we have developed the low-noise PCA-detectors with the significantly increased signal-to-noise ratio. During the next project, the above-mentioned detectors will be used for a single-channel and multichannel THz detection to provide THz imaging of different objects. In particular, we believe that the proposed 2D PCA array design is flexible and has a huge potential for accelerated THz spectral image acquisition (i.e. for real-time THz imaging, for instance, in biomedical, nano-optics and photonics applications).

［4］成果資料 (Publications)

**Peer-reviewed journals:**

[A1] Denis V. Lavrukhin, Alexander E. Yachmenev, Yurii G. Goncharov, Kirill I. Zaytsev, Rustam A. Khabibullin, Arseniy M. Buryakov, Elena D. Mishina, and Dmitry S. Ponomarev, "Strain-Induced InGaAs-Based Photoconductive Terahertz Antenna-Detector," IEEE Trans. THz Sci. Technolog., under review (2021).

[A2] Henri R., Nallappan K, Ponomarev D.S., Lavrukhin D.V., Yachmenev A.E., Khabibullin R.A., Skorobogatiy M., "Fabrication and Characterization of an 8x8 Terahertz Photoconductive Antenna Array for Spatially Resolved Time Domain Spectroscopy and Imaging Applications," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, under review (2021).

[A3] Maxim Ryzhii, Victor Ryzhii, Petr P. Maltsev, Dmitry S. Ponomarev, Vladimir G. Leiman, Valery E. Karasik, Vladimir Mitin, Michael S. Shur, Taiichi Otsuji, "Far-infrared photodetection in graphene nanoribbon heterostructures with black-phosphorus base layers," Optical Engineering, 60(8), 082002 (2020) https://doi.org/10.1117/1.OE.60.8.082002

[A4] A.E. Yachmenev, D.V. Lavrukhin, I.A. Glinskiy, N.V. Zenchenko, Yu.G. Goncharov, I.E. Spektor, R.A. Khabibullin, T. Otsuji, D.S. Ponomarev, "Metallic and dielectric metasurfaces in photoconductive terahertz devices: a review," Optical Engineering, 59(6), 061608 (2019) https://doi.org/10.1117/1.OE.59.6.061608

[A5] D. V. Lavrukhin, A. E. Yachmenev, I. A. Glinskiy, R. A. Khabibullin, Y. G. Goncharov, M. Ryzhii, T. Otsuji, I. E. Spector, M. Shur, M. Skorobogatiy, K. I. Zaytsev, and D. S. Ponomarev, "Terahertz photoconductive emitter with dielectric-embedded high-aspect-ratio plasmonic grating for operation with low-power optical pumps," AIP

Advances, 9(1), 015112 (2019) https://doi.org/10.1063/1.5081119

**Invited talks on International conferences:**

[B1] D.S. Ponomarev, "Photoconductive THz emitters with high-aspect-ratio plasmonic gratings," International Symposium on Optics and Biophotonics Saratov Fall Meeting 2020, Saratov State University 29 September - 02 October, 2020.

[B2] D.S. Ponomarev, "High-efficient plasmon-assisted THz photoconductive device," 4-th International Conference Terahertz and Microwave Radiation: Generation, Detection and Applications, 24-26 August, Tomsk, 2020.

[B3] D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenev, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, Yu.G. Goncharov, I.E. Spektor, K.I. Zaytsev and D.S. Ponomarev, "Terahertz antennas featuring a high-aspect ratio metal grating," 2nd SPb Photonic, Optoelectronic, & Electronic Materials SPb-POEM, Saint-Petersburgh, 27-30 April, 2020.

[B4] D.V. Lavrukhin, I.A. Glinskiy, N.V. Zenchenko, R.A. Khabibullin, I.V. Minin, O.V. Minin, K.I. Zaytsev, D.S. Ponomarev, "Terahertz antennas featuring plasmonic and dielectric structures for biomedical applications," 19th International Conference Laser Optics ICLO 2020, 2-6 November, Saint-Petersburgh, 2020.

[B5] D.S. Ponomarev, "Photoconductive semiconductor-based devices for generation and detection of THz radiation," XXV International Symposium «Nanophysics & Nanoelectronics», Nyzhnii Novgorod, 9-12 March, 2021.

**採択番号：R02/A13**

# 8K 高精細画像センシング向け超低遅延動画像符号化方式

［1］組織
研究代表者：
松村　哲哉（日本大学工学部）
通研対応教員：
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：2 人

［2］研究経過

近年,車両の自動制御や IoT（Internet of Things）装置のための仮想現実/混合現実（VR/MR）が盛んに研究開発されている．しかし，これらを実現し世の中に普及させるためにはシステムを構成するデバイス間での動画像転送において伝送遅延という観点で課題がある.例えば,自動運転や車両やロボットは,カメラで撮像した画像を基に車両の位置や姿勢を判定し，車体を制御していく．今後は 4K や 8K レベルの超高精細動画像を，カメラ，制御デバイス，表示デバイス間で転送しなければならない．しかし，超高精細動画像の転送にはこれまで以上に広帯域な伝送帯が必要となり，高コスト化の要因になってしまう．この問題を解決すべく動画像圧縮技術が利用されるが,MPEG-2 や H.264 など従来の圧縮方式は矩形領域単位での圧縮を行うため,ms オーダの遅延が発生する．そのため，自動運転など低遅延での実時間処理が求められる機器に対しては対応できないという問題がある．また，4K/8K 高精細動画像に対応した符号化方式H.265 が標準化されている．しかし，動画像符号化技術の標準化の動向として，スマートフォンをはじめとするエッジデバイスでの高精細画像利用向けに符号化効率の改善が優先されている．そこで我々は，μs オーダの遅延で処理可能な超低遅延動画像符号化方式を提案し，Full-HD（2K）対応の低遅延かつ小規模回路を実現するハードウェア実装について検討してきた．しかし，冗長性の高い超高精細動画像を処理するアルゴリズムには改善点があり，ハードウェア上での処理を考慮すると符号化器の更なる小規模化が必要不可欠である．また，今後は 4K,8K といった超高精細動画像を処理するシステムを提案・実装していく必要がある.

本プロジェクトは，本年度から開始する新規プロジェクトである．本年度は高精細動画像処理の際の圧縮率向上を目標に，画素相関の強さに着目したアルゴリズムを提案し検証した後，ハードウェア上への実装を行った．アルゴリズムやアーキテクチャの最適化により回路規模の最小化を実施し，その有用性を定量的に検証した.

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す 2 つの研究成果を得た[1].

まず第 1 に，高精細画像向けにアルゴリズムを改善した．高精細画像には空間冗長性が高いという特徴がある．実装の際の回路規模削減を考慮し画像予測アルゴリズムに対し最適化を施した．また，本符号化方式には符号化時の圧縮効率を向上させる可変ブロック処理を提案した.

超低遅延動画像の画像予測処理である隣接画素予測と参照予測に対し，複数の予測モードの画質および圧縮率の寄与度を考慮しハードウェア実装時の回路規模削減を目的とした予測手法の最適化を実施した．隣接予測の最適化前では垂直，水平，平均，斜めという 4 つの予測モードで予測を行っていた．しかし，垂直は参照予測に内包されている点や，平均や斜めはロジック規模増大に繋がる除算が含まれている点を考慮し，水平と斜めの 2 種類のみで予測を行うよう最適化した．また，参照予測では，探索範囲を大幅に削減し，-4~+3 画素に探索範囲を設定すると同時に少数精度での予測についても適用しないこととした.

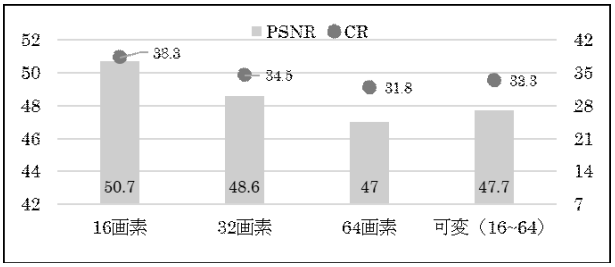



図１　可変ブロックアルゴリズムの評価結果

可変ブロック処理とは，本符号化方式の基本処理単位である１ライン×16 画素の CB について，画像の冗長性の高い部分は大きい処理単位，冗長性の低い部分は小さな処理単位で処理を行う方式である．これにより，ビットストリームで情報を送る際のオーバーヘッド部を削減することで，圧縮率の向上を図る．今回の可変ブロックサイズ決定手法には，16 画素単位で平均値を用いた．本アルゴリズムでは 16 画素，32 画素，64 画素の３種の可変とした．シミュレータによる評価結果を図１に示す．16 画素固定の結果と比較し，処理サイズを大きくする毎に画質が劣化し・圧縮率が向上する．しかし，処理単位を可変にすることで，64 画素固定と比較して画質劣化 0.7dB 抑えつつ，32 画素固定と比較して圧縮率を 1.2pt 向上させることに成功している．16 画素固定と比較すると，PSNR の劣化を 3.0dB に抑えつつ，CR を 5.0pt 向上させる結果が得られた．

第 2 に，上記改善アルゴリズムをベースに Full-HD の超低遅延符号化器のアーキテクチャ設計を行い（図 2），高位合成を用いてハードウェア規模を求めた（表 1）．本研究では実験的実装として Xilinx Zynq-7020 をターゲットボードとして使用した．目標動作周波数は 100MHz，遅延量は可変処理の入力値の最大値である 64 画素に合わせ 4.0μs 未満，処理性能は Full-HD 30-fps，回路規模はスケーラビリティを考慮し 800KGate 未満を目標とする．本研究では高精細画像向けの可変ブロック処理を適用したハードウェア設計として Full-HD 対応符号化器の規模最小化を実施した．図 2 に提案符号化器のアーキテクチャ構成を示す．この最適化アーキテクチャをベースに高位合成を用いてハードウェアを生成した。表 1 に最適化前後の回路実装結果を示す．この表では，動作周波数 100MHz における処理部の動作クロック数及びロジック規模を表している．表１において，16 固定，64 固定，可変にはそれぞれ先述したアルゴリズムとアーキテクチャの最適化を施しており，回路規模や処理クロック数の差は処理サイズの変更や可変処理の追加による影響のみとなっている． 64 固定処理は可変処理との比較のため記載している．16 画素固定から 16～64 画素まで対応できるアーキテクチャとすることで，処理クロック数が約 1.9 倍で 141cock，回路規模については約 3.7 倍で 734KGate となった．64 固定と比較して，回路規模は約 16KGate 増加，処理クロック数は 2clock 増加に留めており，ブロック可変処理を実現による回路規模の影響は極めて少ない状況で実装できることが判明した．

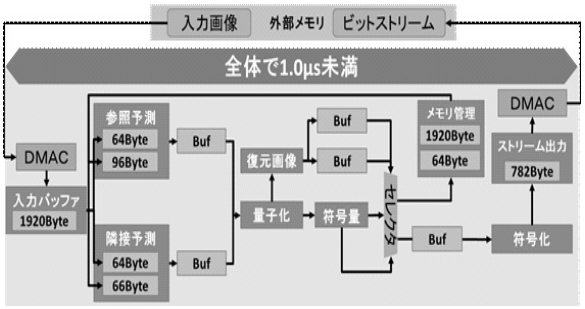



図２　超低遅延符号化器の構成

表１　超低遅延符号化器のハードウェア規模

| 処理部 | 16 固定 | | 64 固定 | | 可変 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | clock | 規模 [KGate] | clock | 規模 [KGate] | clock | 規模 [KGate] |
| 隣接 | 19 | 12.2 | 19 | 36.9 | 20 | 38.9 |
| 参照 | 19 | 48.9 | 19 | 365.1 | 23 | 376.6 |
| 量子化 | 8 | 28.6 | 8 | 88.8 | 8 | 88.8 |
| 復元画像生成 | 8 | 32.8 | 8 | 32.8 | 8 | 32.8 |
| 符号量計算 | 2 | 15.6 | 3 | 46.2 | 3 | 50.7 |
| 符号化 | 17 | 48.5 | 17 | 132.7 | 19 | 132.7 |
| メモリ | 1 | 13.2 | 1 | 13.2 | 1 | 13.2 |
| 全体 | 73 | 200 | 139 | 716 | 141 | 734 |

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいては，８K クラスの高精細画像における超低遅延符号化器の低コストでの実装の可能性を十分に裏付ける結果が得られた。今後は，更なる高画質化アルゴリズム[2]の検証と圧縮率向上の施策を盛り込み，高精細符号化器の実現に向けたアーキテクチャ設計と回路実装を行う．

［４］成果資料

（１）深谷洸輔，今村幸祐，望月誠二，松村哲哉，“高精細画像センシング向け超低遅延動画像符号化システムの一検討”，情報処理学会東北支部研究報告，Vol. 2020-Ⅰ No3-4，2021 年３月

（２）池野将誉，今村幸祐，望月誠二，松村哲哉，“超低遅延動画像符号化方式におけるフレーム間予測の省メモリ実装に関する一検討”，情報処理学会東北支部研究報告，Vol. 2020-Ⅰ No3-5，2021 年３月

**採択番号：R02/A14**

# ワイヤレス 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）
秋元　浩平（秋田県立大学）
延べ参加人数：16 人

［2］研究経過

情報通信ネットワークは膨大な数のノードから得られた多種多様なビックデータの解析により新たな価値を生み出す “Massive Connect IoT” へ進化する。その中で無線通信システムは各ノードからアクセスポイント（AP）へ情報を送る上り回線の超過密化に適応するためにアクセス制御技術の簡素化や高効率化がより高い水準で求められる。本研究では，同期捕捉などのオーバヘッドを極限まで削減する試みとしてゼロオーバヘッド同期無線全二重通信（フルデュプレクス）アーキテクチャを提案する。各ノードは無線全二重通信を用いて AP から下り回線で送信される時刻・周波数基準信号や測距信号を基に時刻同期や位置推定を行い，その結果を基に上り回線における送信タイミングの制御を行う。各ノードが送信した上り回線信号は AP 受信時点においてすでに同期捕捉が実現されているため，同期のためのオーバヘッド削減による高効率化が期待できる。 本研究の目的は，これまで提案してきた同期 CDMA 無線通信システムのさらなる高効率化を目指し，ゼロオーバヘッド同期無線全二重通信アーキテクチャを実証することである。 本プロジェクトは，本年度が初年度であった。令和 2 年度は、コロナ禍への対応として Massive Connect IoT に関する研究議論を Zoom よる遠隔会議システムを用いて実施した。

［3］成果

(3-1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

Massive Connect IoT の応用例の 1 つである QZSS ロケーション・ショートメッセージ通信システム用の衛星測位信号による同期 SS-CDMA 方式を対象に，QZSS/GPS に BeiDou を加えた衛星信号受信誤差について評価を行った。提案システム全体の誤差である衛星到達タイミング誤差は，衛星信号を受信した際に発生する伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差および信号送信時に発生する送信タイミング制御誤差から構成される。伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差誤差の和を衛星信号受信誤差と定義し算出する。ユーザ間の信号の衛星到達タイミング誤差が約 50 ns 以内であれば，拡散符号長に対して 100 %に近いユーザ収容が可能となる。本研究では GPS/QZSS/BeiDou 受信機から得られる測位・時刻データをもとに全体のデータから平均座標と平均時刻を求め，各データとその平均値との差を伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差誤差として CDF を算出し評価した。GPS/QZSS/BeiDou 受信機として，3 台の GNSS モジュール GT-902PMGG を用いる。各受信機から位置情報を含むログデータを取得すると同時に，オシロスコープ DSO9254A（10 GSa/s）を用いて各受信機の PPS を測定することにより，伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差の同時評価を行う。また，従来方式との比較として GPS/QZSS で評価を行う。GPS/QZSS での評価結果を図 1 に，GPS/QZSS/BeiDou での評価結果を図 2 にそれぞれ示す。GPS/QZSS/BeiDou は GPS/QZSS と比較し衛星信号受信誤差の精度が非常

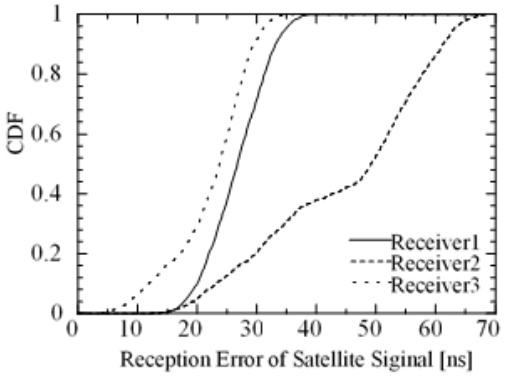



図 1　衛星信号受信誤差（GPS/QZSS）

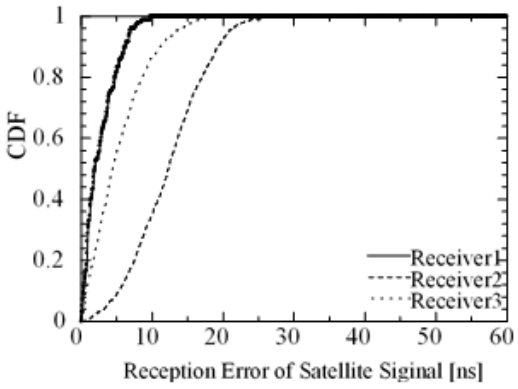



図2　衛星信号受信誤差（GPS/QZSS/BeiDou）

に良いことがわかる。また，各受信機の衛星信号受信誤差の差が小さくなっているため各受信機の個体差についても改善していると考えられる。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の成果としては，まずMassive Connect IoT の具現化が挙げられる。つまり，種々の異種無線通信システムを効率的・適応的に活用し，いかなる状況においてもネットワークへの接続性を維持し，かつ，その品質を保証できる次世代の無線通信ネットワークを実現できる。また，その途中段階においても，知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで，現状の無線通信ネットワークへの適用を推進することができる。さらに，本研究課題の成果を元に，各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い，産学連携により商用化を目指した，より大規模な研究開発へ発展させることも想定している。また，無線通信ネットワークにおいて，高精度な位置情報を活用して同期通信を行う先行研究例は見当たらず，本研究の独創性は非常に高いと考える。さらに，高精度時刻・位置情報そのものが無線通信のみならず幅広い分野に活用可能である．本研究を通じて時刻･位置情報の活用可能性を実証することで，今後の新たな学問分野の開拓のきっかけになる可能性を秘めており，通研が当該分野の研究者コミュニティーの中核になり得ると考える．コロナ禍のため苦しい 1 年であったが，着実に研究を進めていきたい。

［4］成果資料

○ 学術論文・国際会議発表（査読有）

（1）H. Oguma, R. Kawai, T. Asai, S. Kameda, M. Motoyoshi, N. Suematsu, "System Implementation of Synchronized SS-CDMA for QZSS Safely Confirmation System," ICTC2020, Oct. 2020.

○ 国内大会・研究会発表

（1）島田拓海, 小熊博, "QZSS ロケーション・ショートメッセージ SS-CDMA 通信システム －BeiDou を用いた衛星信号受信誤差の評価－," 2020 年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会, 2020 年 9 月.

（2）山形文啓, 小熊博, 亀田卓, 末松憲治, "釧路地域における 2 周波数測位による測位精度," 電子情報通信学会総合大会, 2021 年 3 月.

（3）小熊博, 篠崎蓮, 亀田卓, 末松憲治, "低天空率環境下における GNSS の位置捕捉精度の実験的解析," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2020 年 9 月.

（4）山形文啓, 小熊博, 亀田卓, 末松憲治, "釧路地域における自設置基準局によるKinematic測位精度," 電子情報通信学会総合大会, 2021 年 3 月.

（5）中村公紀, 小熊博, "Wi-Fi アクセスポイントのセル設計支援システムの検討," 電子情報通信学会総合大会, 2021 年 3 月.

**採択番号：R02/A15**

# 超100GHz帯光ファイバ給電<br>ダイレクトディジタルRF送受信機の研究

［1］組織

研究代表者：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
太郎丸　眞（福岡大学）
谷藤　正一（沖縄工業高等専門学校）
丸橋　建一（NEC/(兼)NICT）
Lucyszyn　Stepan
（Imperial College London, U.K.）

延べ参加人数：11人

［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。本プロジェクトでは，光ファイバ給電ダイレクトディジタルRF送受信機の実現性検討を行い，実験的な検証を行う。また，100GHz超のミリ波への適用についても検討を行う。

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。

(i) 光ファイバ給電ダイレクトディジタルRF

主に，末松，亀田，本良，太郎丸，丸橋と研究室学生(2名)により，研究を行った。研究グループ内での技術報告会は，おおよそ月に1回のペースで行い，今年度はコロナ禍のため，出張が難しい学外の太郎丸は，主に，リモート会議/メールでの参加となった。

(ii)100GHz超のミリ波への適用

主に，末松，本良，谷藤，丸橋，Lucyszyn Stepanと研究室学生(2名)により，研究を行った。研究グループ内での技術報告会は，おおよそ月に1回のペースで行い，今年度はコロナ禍のため，出張が難しい学外の研究者は，主に，リモート会議/メールでの参加となったが，Lucyszyn Stepanは2021年2月～3月の約1か月間，客員教授として来所し，実際にオンサイトでの打ち合わせと，設計などの共同作業を行った。

［3］成果

(3-1) 研究成果

(i) 光ファイバ給電ダイレクトディジタルRF

本年度は，10GHz程度のクロックにより生成した1-bitバンドパスΔΣ変調器において，10GbE光通信用SFP+モジュールとファイバを用いた光ファイバ給電ダイレクトディジタルRF送信機を試作し，動作検証実験を行った。試作した送信機および測定系を図1に示す。2.5GHz帯のRF信号伝送時にO/E側のSFP+モジュール出力に含まれる，7.5GHzのイメージ信号を取り出し，ダイレクトディジタルRF送信機としての動作を確認した。さらに，クロックデータリカバリー(CDR)回路を内蔵したO/Eモジュールを使うことで，モジュール出力の1-bitパルス信号のジッタ低減および矩形波化が可能となり，図2に示すように，7.5GHz帯のイメージ信号のSNRを大幅に改善できることを明らかにした。本成果を，マイクロ波関連の世界3大国際会議であるEuropean Microwave Conference(EuMC)にて，発表した。(成果資料(1))

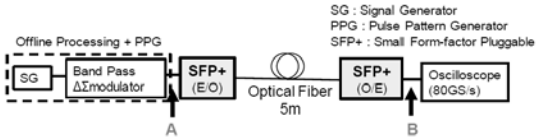



図1 測定系

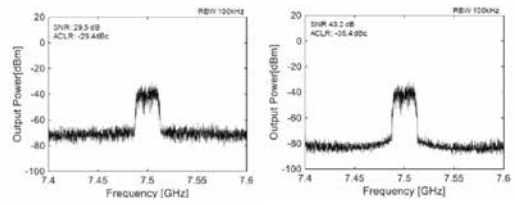



図2 7.5GHz 帯イメージ信号のスペクトラム
左:CDR なし，右：CDR あり

(ii)100GHz 超のミリ波への適用

まず第1に，超 100GHz 帯の CMOS 増幅器を Global Foundry 社が無償提供してくれた 0.45nm RF-SOI CMOS プロセスを用いて試作した。整合回路の低損失化のため，ショートスタブ回路を工夫することで，130GHz 帯の増幅器において，2dB 以上の利得改善が実現できた。図3に試作した IC の写真と利得特性を示す。本成果を，マイクロ波関連の世界3大国際会議である Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)にて，発表した。(成果資料(2))

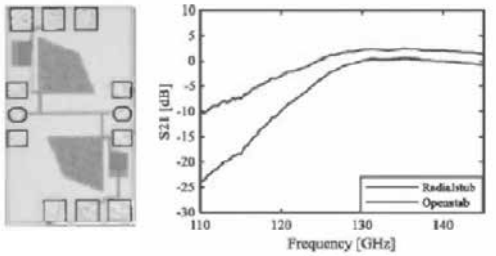



図3　130GHz 帯 CMOS 増幅器 IC のチップ写真と利得の周波数特性(測定結果，赤：提案回路構成，青：従来回路構成)

第2に，前述の 130GHz 帯 IC と，さらに高周波化した 170GHz 帯 IC の両方について，3-D プリンタで製造する導波管系に実装する新たなパッケージング技術の研究を開始した。まずは，web での打ち合わせを中心にして，超 100GHz 帯のパッケージングに関する検討を行い，その結果を，Lucyszyn Stepan 教授と連名で，IEEE 主催の国際学会にて招待講演として発表した(成果資料(3)，図4参照)。

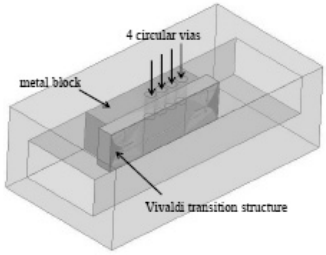



図4 3-D プリンタを用いた超 100GHz 帯 IC 実装パッケージの構造案

本研究は，国際共同研究推進型として進めているものであり，Lucyszyn Stepan 教授には 2021 年2月～3月の約1か月間，客員教授として来所して頂き，実際にオンサイトでの打ち合わせと，設計などの共同作業を実施した。この期間において，(ii)の超 100GHz 帯増幅器の試作結果のレビューと，3-D プリンタによるパッケージへの実装方法および IC チップのポストプロセス(IC チップのダイシング，裏面研磨による薄厚化工作)の実施，次回試作 IC の基本設計のレビューなどを実施し，2021 年度の研究遂行の準備も行った。また，2021 年度はコロナ禍の状況にもよるが，東北大側から英国 Imperial College London に出向き，パッケージングを中心にした打ち合わせの実施の要請があった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，NICT が公募する Beyond 5G 研究開発促進事業への提案活動につながった。提案内容が認められると，NICT から R3 年度にプロジェクト公募が行われる見込みである。

［4］成果資料

(1) R. Tamura, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “Output Signal Characteristics of Optical Fiber Feed Direct Digital RF Transmitter Using SFP+ Module,” 50th European Microwave Conference (EuMC 2020), pp.276-279, 2020.
(2)T. Machii, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “Gain improvement of a 130 GHz CMOS amplifier by using radial stub as AC ground,” Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)2020, pp.770-772, 2020. DOI: 10.1109/APMC47863.2020.9331462
(3) S. Lucyszyn, L. Zhu, T. Machii, M. Motoyoshi, N. Suematsu, “Towards 3-D Printed (Sub-)THz Active Device Packaging and Multi-chip Modules,” IEEE RFIT2020, p.57, 2020. (Invited)
(4) 町井，本良，亀田，末松，“ラジアルスタブを AC グランドとして用いた 130 GHz 帯 CMOS 増幅器の高利得化，”信学技報，vol.120, no.240, MW2020-68, pp.18-22, 2020.
(5) 末松，本良，亀田，“ディジタル RF 送受信機技術の進化と展望，” 信学技報，vol.120, no.405, SR2020-82, pp.70-74, 2021. (招待講演)

**採択番号：R02/A16**

# ３Ｄプリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究

［1］組織

研究代表者：
伊藤　桂一（秋田工業高等専門学校）
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）
松田　英昭（秋田工業高等専門学校）
船木　誠哉（秋田工業高等専門学校）
戸賀瀬　駿（秋田工業高等専門学校）
鈴木　裕野（秋田工業高等専門学校）

延べ参加人数：１０人

［2］研究経過

３Ｄプリンタを利用したマイクロ波・ミリ波デバイスの試作に関する研究・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，３Ｄプリンタフィラメントのミリ波帯における性能を明らかにし，低コストかつ高性能なアンテナ開発手法を提案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り，メッキ条件を変えて試作と伝送特性の測定を行い，最適な試作条件に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

１２月４日に東北大学電気通信研究所内にて研究打ち合わせを行い，研究紹介および施設見学と今後の研究方針およびケジュールについて議論した。秋田高専からは伊藤，松田，船木の３名が参加した。

２月１８日に令和２年度共同プロジェクト研究発表会においてポスター発表を行った。

３月１１日に東北大学電気通信研究所内にて研究打ち合わせを行い，来年度の研究内容について議論し，秋田高専で試作を行い，電気通信研究所内で測定を行うことにした。秋田高専からは伊藤，松田の２名が参加した。

［3］成果

(3-1) 研究成果

ミリ波アンテナは小型のため高精度加工が要求され，工作機械の導入も含めて製作には多大なコストを要する。故に，ほとんどの研究室では外注による製作が主流となる。この対策の一つとして，近年，高精度化，低価格化が進んでいる３Ｄプリンタを用いて造形し，メッキ処理して高周波デバイスを試作する方法がある。本研究では研究室レベルで汎用の装置を用いたミリ波アンテナおよびデバイスの試作方法の開発を目的としている。

これまでＰＬＡ（ポリ乳酸）とカーボンが入った導電性ＰＬＡ，銅粉入りＰＬＡの各フィラメントを用いてミリ波導波路を試作し，秋田高専内（以下，校内）で比較的簡単な装置で無電解ニッケルメッキを施したが伝搬特性に課題が残った。本研究ではより伝導性に優れ，校内でもメッキ可能な銀に着目し，銀メッキ導波路のメッキ加工とミリ波伝搬特性について検討した。

本研究ではＤＵＴとなる曲がり導波路を製作して出力電圧を測定し，その伝達効率を金属材料（アルミニウム）の場合を基準にして比較し，３Ｄプリンタ製曲がり導波路の性能を評価することにした。今回製作した導波路を Fig.1 に示す。20 ㎜の立方体の中心部に半径 10 ㎜の溝を設けて構成した。３Ｄプリンタで試作したままでは導波路の精度にばらつきが出ることがあるため，大きめに印刷して工作機械で切削加工を行い，加工精度をそろえた。故に，３Ｄプリンタ特有の表面のザラザラ感はほぼ見られず，表面粗さが測定結果に与える影響は少ないと考えられ，各フィラメントの素材の違いによる比較を行った。

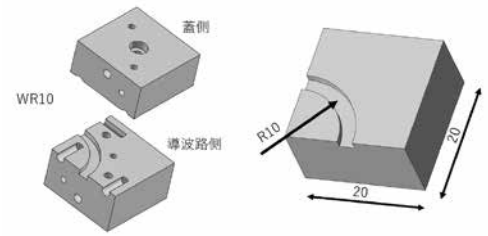



Fig.1　設計した導波路

最初に無電解ニッケルメッキで1番伝達効率が良かった銅粉入りＰＬＡとＰＬＡについて無電解銀メッキを施して測定した。メッキ処理の工程は，最初に試験片を洗浄し，塩化スズ（Ⅱ）を吸着させる。水洗い後，塩化パラジウム溶液に浸し，還元作用により金属パラジウムを表面に析出させる。さらに水洗い後にグルコースを還元剤とした銀メッキ溶液に浸した。完成した導波路をFig. 2 に示す

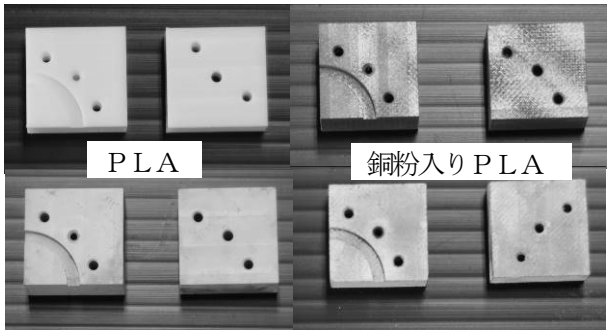



Fig.2 製作した導波路
（どちらも上がメッキ前，下が銀メッキ後）

発振器(78 GHz)からアッテネータで減衰させ，試作した曲がり導波路を導波管で接続，検出器で検出した値をマルチメータで計測した。前述のとおり金属製曲がり導波路の測定値を 100 %として各試作品の正規化伝送効率を算出した。どちらのフィラメントでも銀メッキをかけた場合は 7 %程度の伝送効率しかなく，銅粉入りＰＬＡにニッケルメッキをかけた場合（約 27 %）よりも低い値となった。しかも，銅粉入りＰＬＡは重量が他のフィラメントよりも重く，軽量化の観点から好ましくないと考えられるため，本研究の目的，用途には適切ではないという結論に達した。

最終的には重量と伝送性能を考慮して，当初予定していた３つの中では導電性ＰＬＡに着目することにした。銅粉入りフィラメントよりも軽量であり，過去の測定結果よりＰＬＡよりも伝送性能が高いことが理由である。また，前述のように直接銀メッキをかけてもニッケルメッキと比較しても伝送効率は上がらないため，ニッケルメッキを下地にして銀メッキをかける方法を採用することにした。予備的な検討でもこの組み合わせでメッキ処理した場合の伝送特性は良好になることも分かった。

メッキ時間が長いほどメッキ厚は厚くなり，性能は向上するはずである。その一方で時間が長いほど加工時間も長くなり，メッキ反応の鈍くなる。最適なメッキ時間について試作と測定を繰り返して検証した。最終的にはニッケルメッキを 90 分かけた後で銀メッキを 120 分かけることで伝送特性を 75 %まで改善できることが分かった。今後はメッキ時間とメッキ厚さの関係，メッキ厚さと導電率の関係について明らかにする予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の特徴および成果は，３Ｄプリンタおよびフィラメント材料は汎用品であり，メッキもラボレベルで行える簡素な装置で行っているため，誰でも高価なミリ波デバイスを試作する方法を開発していることが挙げられる。特にメッキ時間に言及した研究はこれまで少なく，貴重な参考資料として本研究の意義は大きいと考えている。

また，最適なメッキ条件や３Ｄプリンタ特有の表面粗さが伝送特性に与える影響はよくわかっておらず，今後の研究成果によってはまだまだ改善が期待される研究テーマであると考えている。将来的にはトポロジー最適化などの形状設計法と組み合わせることにより，今までにない高性能かつ軽量な高周波デバイスの開発が可能になることが期待される。

［4］成果資料

（1）松田英昭，野坂肇，田中将樹，伊藤桂一，” 3Dプリンタ製導波路のミリ波伝搬特性”, 令和２年度電気･情報関係学会北海道支部連合大会, 95, p. 139(2020-11)

採択番号（Grant No.）：**R02/A17**

# HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：
Yoshifumi Kitamura

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC):
Yoshifumi Kitamura

研究分担者 (Project Member List):
Maria Mannone
Jiawei Huang,
Ryo Sugawara
Eri Kitamura
Pascal Chiu

延べ参加人数 (Total Number of Participants):
6 人

[2] 研究経過 (Summary)

Since Pythagoras's time, mathematics and music have been mutually inspiring. At the crossing between combinatorics of the Rubik's cube with musical chords, the CubeHarmonic, already a tangible musical device, has now been enhanced to the 4-th dimension, becoming the HyperCubeHarmonic. The ability to switch between eight cubes, the 3-d development of the hypercube, through a mobile app, makes this instrument an augmented tool which can dialogue remotely with other musical instruments, and uses hyper-geometry to grasp musical complexity, with its multiple dimensions.

The development of CubeHarmonic was conducted in the framework of RIEC cooperative research project (H29/A36), exploiting a Rubik's cube with embedded sensors and the motion tracking system IM3D. Thus, HyperCubeHarmonic will allow musicians to hear the "sound of multiple dimensions", by extending a customizable physical cube into additional dimensions in VR. This user interface has renders complex abstract objects tangible by manipulating their parameters interactively.

[3] 成果 (Results)

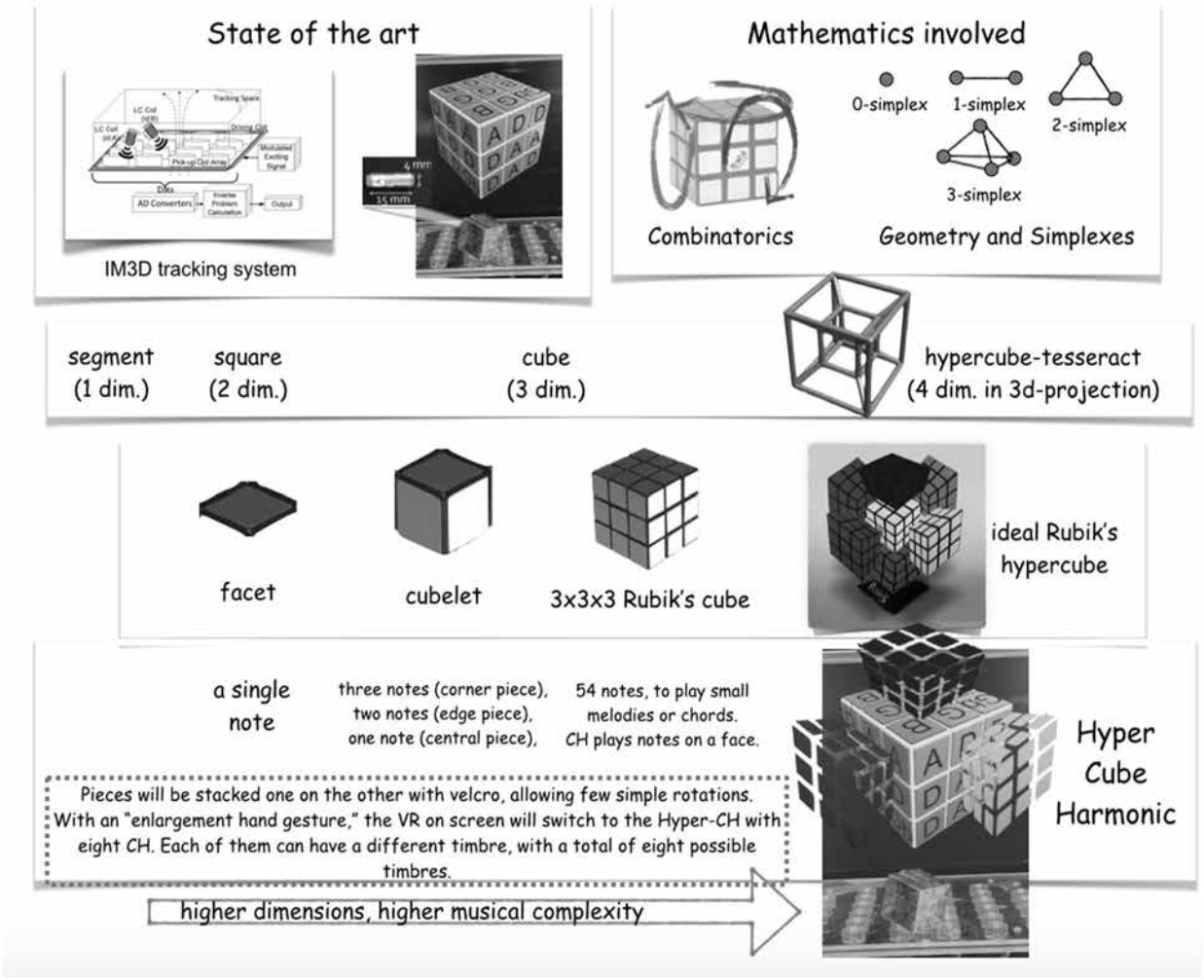
(3-1) 研究成果 (Research Results)

We added the "Go Cube!" technology to the CubeHarmonic concept, allowing a mobile to detect rotations in a Rubik's cube with embedded sensors, making the CubeHarmonic portable. If sensors are embedded also in the corners of the cube, position and rotations can be also detected by magnetic motion tracking system (IM3D+), adding more degrees of freedom which can be associated with different musical parameters. Starting from sketches by Maria Mannone, Pascal Chiu created a new app, called "HyperCubeHarmonic," to map the rotations of "Go Cube!" into sound. The "HyperCubeHarmonic" app change sounds in correspondence to the rotations on the physical cube, and it also allows the user/performer to navigate through different cubes on the screen, corresponding to different timbres and pitch-ranges.In fact, the hypercube can be developed into eight 3-dimensional cubes.

The success obtained presenting CubeHarmonic at specialized venues such as NIME and SIGGRAPH, encouraged us to move forward the project, adding layers of complexity. Maria Mannone contributed to this project in her spare time and for free (since September, she's under contract as a postdoctoral researcher at the Ca' Foscari University of Venice).

We are currently preparing a new submission, the workshop paper "HyperCubeHarmonic" to be submitted to the IWIS 2021. This workshop is organized jointly with the Audio Mostly Conference (ACM), to be held virtually in September 2021.

This is one of the most recent developments of our cooperative research project "Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic" (H29/A36) started in 2017. Our research was thus the continuation of a 3-year project joining music, mathematics, and technology and developed a CubeHarmonic prototype. It involves a creative and artistic application of the IM6D and IM3D+ technologies for motion tracking [1,2], developed at the Tohoku University by the ICD lab. The CubeHarmonic is a musical application of the Rubik's Cube thought by Maria Mannone, starting from concepts of mathematical music theory, and in particular, from combinatorics and music [3]. One of its prototypes was presented at NIME conference [4], at SIGGRAPH conference [5], and it has been contextualized in a broader framework of mathematics and music interactions [5]. Our research, thus, led to the publications of three papers [4, 5, 6], and it has been cited within articles about pedagogy of mathematical music theory [7, 8].




(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)

The potential of development includes in-presence and also remote musical performances, which in Covid times became a more and more frequent setup. The potential includes also in-presence and remote teaching. In fact, the HyperCubeHarmonic makes tangible the abstract ideas of 4-dimensions, relating them with multi-dimensionality of music, such as melodic contour, harmony, orchestration, time, and loudness.

[4] 成果資料 (Publications)


1. Jiawei Huang, Mori Tsuyoshi, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi, Yoshifumi Kitamura: IM6D: Magnetic Tracking System with 6-DOF Passive Markers for Dexterous 3D Interaction and Motion, ACM Transactions on Graphics (TOG), Volume 34, Issue 6 (Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia), pp. 217:1-217:10, 2015. https://doi.org/10.1145/2816795.2818135
2. Jiawei Huang, Ryo Sugawara, Kinfung Chu, Taku Komura, and Yoshifumi Kitamura, Reconstruction of Dexterous 3D Motion Data from a Flexible Magnetic Sensor with Deep Learning and Structure-Aware Filtering, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2020. https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3031632
3. Guerino Mazzola, Maria Mannone, Yan Pang Clark: Cool Math for Hot Music - A First Introduction to Mathematics for Music Theorists, Computational Music Science, Springer, ISBN 978-3-319-42935-9, 2016.
4. Mannone Maria, Eri Kitamura, Jiawei Huang, Ryo Sugawara and Yoshifumi Kitamura, Cubeharmonic: A New Interface from a Magnetic 3D Motion Tracking System to Music Performance, Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression, pp. 350-351, June 2018.
5. Maria Mannone, Eri Kitamura, Jiawei Huang, Ryo Sugawara, Pascal Chiu, and Yoshifumi Kitamura: CubeHarmonic: A New Musical Instrument Based on Rubik's Cube with Embedded Motion Sensor, ACM SIGGRAPH 2019 Poster, Los Angeles, California, USA, pages 53:1-53:2, 2019. http://doi.acm.org/10.1145/3306214.3338572.
6. Maria Mannone, Eri Kitamura, Jiawei Huang, Ryo Sugawara, and Yoshifumi Kitamura: Musical Combinatorics, Tonnetz, and the CubeHarmonic, Journal of Collected papers of Academy of Arts, Sixth Issue, pp. 104-116, Zbornik, Serbia, 2018, https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2334-8666/2018/2334-86661806104M.pdf.
7. Maria Mannone: *Have Fun with Math and Music!*, Mathematics and Computation in Music Conference, Madrid. M. Montiel, F. Gómez, and O. Agustín-Aquino (editors), Lecture Notes in Computer Science, Springer, pages 379-382, 2019.
8. Maria Mannone: Can Mathematical Music Theory be Easily Learnt and also be Fun?, In: Theoretical and Practical Pedagogy of Mathematical Music Theory: Music for Mathematics and Mathematics for Music, From School to Postgraduate Levels, eds. M. Montiel and F. Gómez, 281-298, World Scientific, 2018.

採択番号（Grant No.）：**R02/A18**

# Modeling the Japanese – Taiwanese racial effect in facial expression recognition

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
Chien-Chung Chen (National Taiwan University)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
研究分担者 (Project Member List)：
Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)
Pei-Yin Che (National Taiwan University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants)： 4 人

［2］研究経過 (Summary)

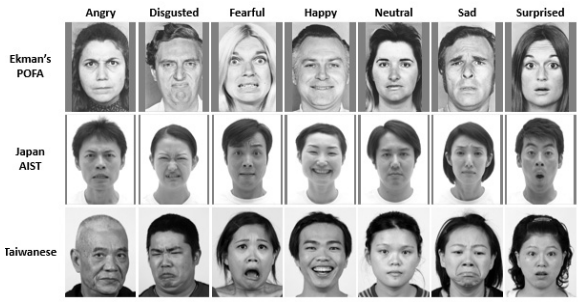
All the collaboration work this year was conducted via tele-communication because international travel was restricted because of the Pandemic. Dr. Chien-Chung Chen and Dr. Pei-Yin Chen had multiple online meetings to facilitate the project progress, and we also utilized email communication in the past year.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

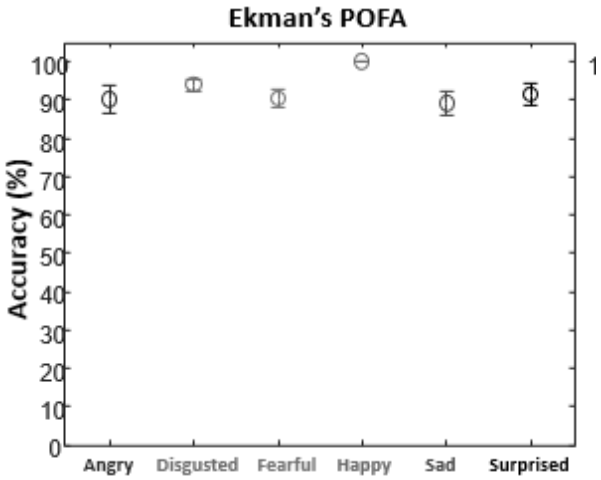
Communication of emotion is an essential part of human social interaction. Facial expressions, which are combinations of movements and states and of facial muscles, are perhaps the most efficient ways to communicate emotion. The importance of facial expression recognition is even more important nowadays with the popularity of video call and video conferencing in which facial expression may be the only available cue for emotion communication. Facial expression recognition, however, showed a strong cross-racial effect, as it is more difficult or easier to recognize certain expressions on an individual of a race different from the observer (Biehl et al., 1997, J. Nonverb. Behav.). This may have a negative effect on international communication. Most studies of racial effect in Asia compared Asians and Caucasians, few studied the difference between different Asian nations. The purposes of this research are (1) to identify the racial effect in facial expression recognition between Japanese and Taiwanese and (2) to develop a computational model to characterize such effect.

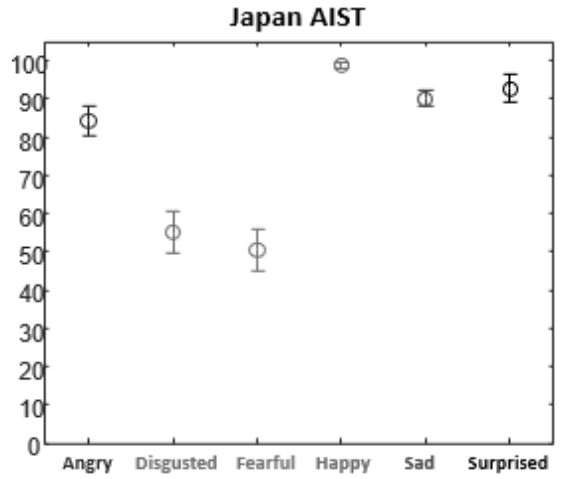
To this end, we surveyed three face data bases suitable for our cross-cultural comparison studies: (1) Caucasian: Ekman's POFA Database (Ekman & Friesen, 1976) (2) Japanese: AIST Database (Fujimura & Umemura, 2018) (3)Taiwanese: Taiwanese Affective Stimuli Corpus (Chen et al., 2009). For each data base, we selected 7 basic facial expressions (Ekman, 1992): Angry, Disgusted, Fearful, Happy, Neutral, Sad, and Surprised. For each database, we selected 4 male and 4 models that has the highest facial expression recognition accuracy or highest expression intensity/arousal for each database. Thus, there were 168 selected images (3 databases x 8 models x 7 expressions) in total.

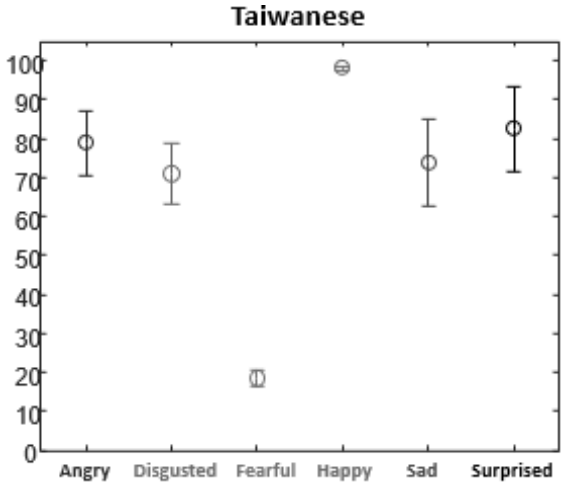



We cross-compared the data bases by analyzing the recognition accuracy across cultural groups. Caucasian (Ekman's POFA database) had similar recognition accuracies across expressions. Japanese and Taiwanese showed poorer recognition accuracy for Fearful and Disgusted expression. In terms of the expression intensity rating (TW) and arousal rating, The overall intensity or arousal rating was lower for Taiwanese than for Japanese. Sad expression received the lowest arousal rating in Japan AIST database, while Fearful expression received the lowest intensity rating in Taiwanese database. The main effect of database ($F(1, 84) = 11.65$, $p < 0.001$) and the main effect of expression ($F(5, 84) = 149.71$, $p < 0.001$) were both significant, and the interaction between

database and expression was also significant ($F(5, 84) = 10.01, p < 0.001$).

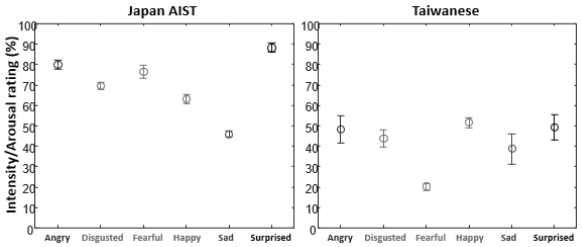


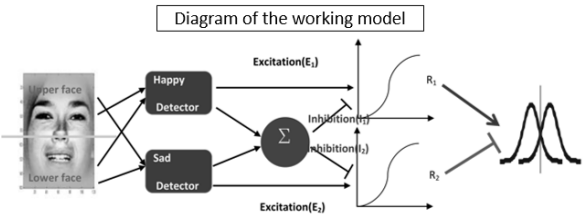




（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

Our results so far suggest that the three databases showed some fundamental cultural differences: (1) Both Taiwanese and Japanese had difficulties in identifying fearful faces. (2) Japanese also had difficulty in identifying in disguised faces. Yet, it is unclear whether these differences are due to the weakness of expression making or difficulty in expression perception.




We hope to propose a face model to account for cultural effects on emotional expressions. In this model, there are a band of detectors for various types of expression. The response of a detectors is a nonlinear function of the morphing level divided by the inhibition from other filters. The visual system sums the response in each detector across the face then compute the likelihood of each expression type based the summed responses. The probability of a decision is a cumulative Gaussian function of the likelihood. The racial difference will be determined by the difference in the model parameter values.




［4］成果資料 (Publications)

1. Tseng, C.H., Kiyama, S., Ng, E., Koizumi, M. Shioiri, S. (2020) Infants' visual preferences depend on image categories: novelty preference for natural scene, but not for human faces. International Congress of Infant Studies, Glasgow, Scotland (online).

**採択番号：R02/A19**

# モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発とその応用

［1］組織

研究代表者：
真鍋　宏幸（芝浦工業大学情報工学科）
通研対応教員：
高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
高田　崚介（筑波大学）
山本　景子（京都工芸繊維大学）
藤田　和之（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：5 人

［2］研究経過

モノや道具を操る際の人の動きを正確に計測することは，運動の発達度，道具の操作性，作業中の心理状態など，様々な事柄を知るためにも必要不可欠である．しかし，様々な現場に簡単に導入可能で，長時間の正確な行動計測が可能なセンサや計測方法はこれまで確立されていない．一般的なモーションキャプチャ装置の利用も考えられるが，実験室のような理想環境でない限り，カメラの設置を工夫しても作業中には隠れが発生してしまい，安定した継続計測は難しい．日常生活の行動計測に限れば，ウエアラブルデバイスも長期間の行動データ取得に使えるが，人と道具とのインタラクションを厳密に計測しているわけではない．

そこで本研究では，モノや道具そのものをセンサ化することで，人とモノや道具との間のインタラクションの様々な行動的特長を，正確に長時間に渡って計測する新たな行動計測方法を確立する．スタンドアローンで動作する小型センサモジュールを開発し，3D プリンタを活用してそれを様々な日用品に埋め込む仕組みを検討する．そのモノのセンサ化の効果を様々な応用を通して検証する．まず，通研担当者の高嶋らがこれまで進めて来た積木を用いた幼児の発達度を検証する臨床的研究へ応用し，その後，提案する計測方法を様々な日用品や道具に適用して実践的応用可能性（導入コスト，利点，新たな価値等）を検証する．

本年度は，一回のオンライン研究会を開催することができたので，その概要と成果を報告する．

研究会の概要
日時： 令和 2 年 1 月 14 日
場所： オンライン
参加者：
真鍋　宏幸（芝浦工業大学情報工学科）
高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）
高田　崚介（筑波大学）
山本　景子（京都工芸繊維大学）
藤田　和之（東北大学電気通信研究所）

内容と議論：

今年度は，感染防止のため，通研現地で研究会開催をせずにオンラインで情報交換をした．プログラムおよび議論の内容は次の通りである．それぞれの参加者が当該研究プロジェクトに関わる最新の研究成果を発表し，研究業界の動向や，さらなる共同研究の推進など，数時間に渡って深く議論した．

・高嶋の報告
「ブロックを使った幼児の心理状態の推定技術について」
・藤田の報告
「姿勢センシングと姿勢誘導が可能な動的座面制御に関する研究」
・真鍋の報告
「3D プリンタと転写箔を用いた電子回路基板の製作」
・山本の報告
「センサ内蔵玩具を用いた幼児の発達段階推定支援システム」
・高田の報告
「ハンドインタフェースのためのセンサの多用途化に関する研究」

上記の発表演題からわかるように，モノのセンサ化を多様な観点から深堀りして議論を進めることが

できた．また，共同での科研費申請の可能性等も議論することができ，総じて有意義な研究会であった．

［3］成果

（3－1）研究成果

本共同プロジェクトは今年が一年目である．今年は残念ながらモノのセンサ化の研究を具体的に通研にて進めることができなかった．研究代表者は回路のプロトタイピングの専門家であり，また分担者はボールにセンサを埋め込む経験を有している．これらについて実際にプロトタイプを試行することはできなかったが，来年度に実装するための材料を一通り調達することができた．本プロジェクトは来年も継続するために本年度の準備を大きく活かすことができると考えられる．

上記で報告したオンライン研究会では，様々な観点で知見を共有することができた．具体的には，モノをセンサ化するための回路技術，センサで計測できうるインタラクション種類の分類・整理について，更には，実際にモノをセンサ化してフィールド実験をする際の課題や実験結果など，一人の研究者では揃えられない貴重な情報を一度に共有することができた．いずれも実際にセンサデバイスを構築する際に考慮すべき事柄であり，これらの議論の蓄積は来年度にむけた大きな成果であると考える．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

大規模災害の直後は社会が様々に変動するため，様々な世代の人々の心理的な負担が大きくなる傾向にある．我々はその中でも社会からの影響を受けやすく，その後の精神的成長に課題が残りやすい幼児や小学生低学年の心理的健康を支える研究を進めている．大規模災害は，震災だけではなく，2021 年現在進行している COVID-19 のパンデミックにも当てはまる．幼児は，遊びによって社会とのつながりを構築し，肉体や精神的な発達を育むが，今現在，それらの機会が外出制限等や部活動の禁止等の処置によって大幅に減っている．ただ，幼児らの心理的課題や振る舞いの変化を機敏に読み取ることは保護者であっても難しい．本研究プロジェクトは，モノのセンサ化を大きな目標に掲げているが，その中でも玩具のモーションセンサ化に着目しており，幼児の行動変化を見守るツールとして発展することを目指す．研究成果は，ヒューマンインタフェースの分野に限らず，発達臨床教育学等などの関連分野に強く貢献できるものと考えている．

［4］成果資料

なし

**採択番号：R02/A20**

# 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

庭野　道夫　（東北福祉大学感性福祉研究所）
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）
桂林　秀太郎（福岡大学薬学部）
香取　勇一　（公立はこだて未来大学複雑系知能学科）
山本　英明　（東北大学電気通信研究所）
大友　康平　（自然科学研究機構生命創成探求センター）

延べ参加人数：60 人

［2］研究経過

ナノテクノロジーとバイオマテリアル、そしてエレクトロニクスの融合は 21 世紀の重要な科学技術分野の一つである。その発展のためには、現在の半導体微細加工技術とバイオマテリアルの融合に基づく、バイオ技術・計測の高度化や新機能の創成が必要である。特に、その多様な機能が次々と解明されつつある生体膜における情報伝達系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題であると考えられる。

本プロジェクト研究では、脳機能の基本単位、すなわちミニマルブレインの動作原理について構成論的に理解し、最先端の工学とバイオの融合的アプローチを用いてミニマルブレインの機能を人工的に再構築することを目的とする。実際の神経細胞を培地基板上で自在につなぎ合わせることによって人工神経回路網を構築する。さらに、この系を活かした解析的研究により、局所的な神経ネットワークの時空間ダイナミクスを数理モデルにより追及する。これらの成果に基づいて、脳型コンピュータの基礎となる並列・分散的な情報処理回路の実現のためや、脳神経回路の誤動作・異常と捉えられる精神疾患などの脳機能障害の解明のための学術的基盤を確立する。再構成系神経回路の構築とその機能解析を通して、脳の情報伝達の時空間ダイナミクスを新たな視点から学際的に探究し、理工学分野と医学・生物系分野の融合研究を進展させる。基盤となる研究分野は、再構成神経回路の形成と計測分析を専門とする表面・界面工学、細胞工学の研究分野、実際の神経細胞の神経回路を専門とする神経生理・電気生理の研究分野、神経回路のハードウェアやニューラルネットワーク理論が研究対象のエレクトロニクス分野である。研究グループは、培養神経細胞を用いて実際の脳に近い神経回路網の形成を行い、その神経ネットワークにおける情報伝達機構を分析的・微視的な立場から計測・解析するグループと、電気生理計測技術を駆使して、再構成人工神経回路網の情報伝達ダイナミクスを明らかにするグループよりなる。

本年度は、生体の神経回路網における機能素子である神経細胞（ニューロン）の新規培養法の開発を進展させ、培養神経回路において観察される非生理的な活動を抑制する材料科学的なアプローチを提案した。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、令和 2 年 12 月 5 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第 30 回 日本神経回路学会 全国大会(JNNS2020)のサテライトとして Web 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 9th 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：令和 2 年 12 月 5 日（土）

Web 開催

第 30 回 日本神経回路学会 全国大会

（JNNS2020）のサテライトとして開催

12 月 5 日（土）

「Towards holistic brain-like neural network approach to pattern recognition: unsupervised representation learning」P. Herman, N. B. Ravichandran, A. Lansner (KTH Royal Institute of

Technology, Sweden)

「The error scaling of spike-timing/sequence codes」 W. Nicola, C. Clopath (Univ. Calgary, Canada)

「Spiking neural signal processing with real-time hardware execution」 J. Madrenas, M. Zapata, C. Bonfanti, A. Caruso, J. Á. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)

「CMOS analog neural circuit for edge computing」 S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas (RIEC, Tohoku Univ., Japan)

「Physical reservoir computing in neural-network hardware history: Dynamics features of spin-wave and optical reservoirs」 A. Hirose, R. Nakane, J. B. Héroux, T. Yamane, H. Numata, D. Nakano, G. Tanaka (Univ. Tokyo, Japan)

「Reservoir computing based on pseudo-billiard dynamics in hypercube and its applications」 Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)

「A performance evaluation of deep neural networks training with noisy labels under the limit of the cost increases by group-teaching algorithm」 T. Samura, K. Tadamura (Yamaguchi Univ., Japan)

「Dynamic tuning of axonal excitability in the hippocampus」 H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

「Artificial cell membrane as a drug screening platform for ion channel proteins」 A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Two-photon calcium imaging in the motor cortex of non-human primates during movement tasks」 Y. Masamizu, T. Ebina, M. Matsuzaki (RIKEN, Japan)

「Tuning the richness of spontaneous activity patterns in neuronal cultures through engineering」 M. Montalá, E. Estévez-Priego, S. Faci-Lázaro, J. Gómez-Gardeñes, A.-A. Ludl, J. Soriano-Fradera (Univ. Barcelona, Spain)

「Ultrasoft silicone gel as a biomimetic scaffold for culturing neuronal networks in vitro」 H. Yamamoto, T. Sumi, A. Hirano-Iwata, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

"The 2nd International Symposium on Designing the Human-Centric IoT Society"

「Introduction」 Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)

「Incorporating cognitive process into computational motor control models---Towards an understanding of cognitive factors in executing motor skills ---」 Y. Sakaguchi (Univ. Electro-Commun., Japan)

「Nanoelectronics technology for the sustainable planet」 M. Yamaguchi (Tokyo Electron Ltd., Japan)

「Design-centered AI governance」 Y.-H. Weng (Tohoku Univ., Japan)

「Externalism of mind: integrated system of human and machine」 Y. Murakami (Rikkyo Univ., Japan)

「Brain-like unsupervised feature pooling using spatially jitterred samples」 T. Shinozaki (NICT, Japan)

「Digital implement of 3-layered neural networks with stochastic activation, shunting inhibition, and a dual-rail backpropagation」 Y. Sasaki, K. Nishida, M. Akai-Kasaya, T. Asai (Hokkaido Univ., Japan)

「Application analysis to a reservoir computing scheme by assisting nonlinear response with simple external control」 S. Kan, K. Nakajima, T. Asai, M. Akai-Kasaya (Hokkaido Univ., Japan)

「Reservoir computing properties in spiking neural network models with modular topology」 T. Sumi, H. Yamamoto, S. Moriya, T. Takemuro, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Estimation of neural dynamics with particle Markov chain Monte Carlo」 H. Inoue, K. Hukushima, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

「Influence of extracellular electric fields on network model of neocortical neural circuits」 N. Matsumoto, T. Omori (Kobe Univ., Japan)

「Extracellular stimulation of a target neuron in a micropatterned neuronal circuit using a pair of needle electrodes」 K. Hattori, M. Ishida, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii (Waseda Univ., Japan)

「Microcontact printing of extracellular matrix proteins for neuronal patterning on high-density multielectrode arrays」 Y. Sato, H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Beyond the division~to reach our new steps」 Y. Kikuchi, T. Takemuro, M. Ono, G. Takamim, S. Otomo, Z. Ni (Tohoku Univ., Japan)

「The state of the design of a human-centered information terminal」 D. Oguchi, Y. Kanke, M. Chiba, A. Saita, K. Kudou, Y. Sakamoto (Tohoku Univ., Japan)

「Proposals for new AI and human concepts」 A. Fujimoto, D. Choi, M. Inoue, R. Takahashi, S. Moribe, Y. Asakawa (Tohoku Univ., Japan)

「A new normal lifestyle with mobile housing」 T. Nara, S. Tanaka, S. Kumagai, Y. Sato, K. Fukuda (Tohoku Univ., Japan)

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究では、培養神経細胞系における脳機能発現を目指し、培養の下地となる基板表面のパターニングにより神経細胞の配置と極性制御を行い、脳内神経細胞回路網の基板上への構築を行うことにより、最小機能単位ミニマルブレインの抽出を目指している。今年度は、イオンチャンネル再構成のための人工細胞膜システムに関する総説論文を発表し、また 100 細胞程度の小規模神経細胞ネットワークの構造を基板上で制御

するためのマイクロ流体デバイスの開発に関してプロジェクト参画メンバーらとの共著論文などとして発表した。さらに、神経細胞軸索における微視的な生理現象に関わる最先端研究を集めた特集号をFrontiers in Neuroscience 誌上で企画し、Frontiers Media より電子書籍を刊行した。また年度内には、本プロジェクト研究メンバーをコアメンバーとした大型科研費への申請に向けた打ち合わせを行った他、12月5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、令和 3 年度科研費の共同申請へと発展している。

［4］成果資料

(1) M. Komiya, M. Kato, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, R. Tero, Y. Tozawa, M. Niwano, A. Hirano-Iwata: “Advances in Artificial Cell Membrane Systems as a Platform for Reconstituting Ion Channels,” *Chem. Rec.*, 20, 730-742 (2020)

(2) T. Takemuro, H. Yamamoto, S. Sato, A. Hirano-Iwata: “Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of small-scale neuronal networks”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 59, 117001 (2020).

(3) H. Kamiya, D. Debanne: “Axon neurobiology: fine-scale dynamics of microstructure and function.” pp.1-270, *Frontiers Media SA*, Lausanne (2020).

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/A21**

# 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（東北工業大学大学院工学研究科）
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：
佐藤　直行(はこだて未来大学複雑系知能学科)
延べ参加人数：4 人（学生 1 名）

［2］研究経過

音の空間的な知覚には、両耳に到達する音の時間差や音圧差だけでなく、頭部で生じる反射や回折による音響伝達特性の変化が重要な手がかりとなっている。この響伝達特性の変化には、頭部形状の中でも特に耳介が主要な役割を果たすことが知られているが、耳介の形状は個人差が大きく、耳輪、対耳輪、耳垂、耳甲介、三角窩、舟状窩、耳珠、珠間切痕など耳介を構成する各部位が音響特性に及ぼす影響は明らかになっていない。

本研究では、耳介の形状が音の空間的な知覚に及ぼす影響を詳細に調べるために、通常の頭部伝達関数ではなく耳介単体の音響伝達特性(Pinna-Related Transfer Function: PRTF)に注目する。即ち、被験者の耳介の形状模型や、形状の一部を変更した模型を製作し、ダミーヘッドに装着して音響特性を計測する。この様にして得られる PRTF は、音源を畳み込んでも空間的な知覚を完全に再現することはできないが、耳介各部の形状が音響特性に及ぼす影響を直接的に調べることができるという利点がある。また耳介模型を装着するダミーヘッドを回転させて計測することで、任意の音源方向に対する伝達特性を効率的に計測できると期待できる。本研究の目的は、この様な回転式ダミーヘッドを用いた PRTF 測定系を確立し、耳介の形状が音響特性に及ぼす影響を明らかにすることである。

この目的を達成するために、被験者の耳介形状の精密計測を行い、3 次元形状モデルを製作して回転式ダミーヘッドによる PRTF を計測した(図 1)。2019 年度の研究では、耳介模型の元となった被験者の HRTF(Head-Related Transfer Function)と計測した PRTF を比較し、特に音源が頭部正面にある場合に両者の差が大きくなることが明らかになった(図 2)。そこで 2020 年度の研究では、この差を生み出す要因を調べるために、回転式ダミーヘッドに頭部パーツを追加した場合の PRTF について評価した。

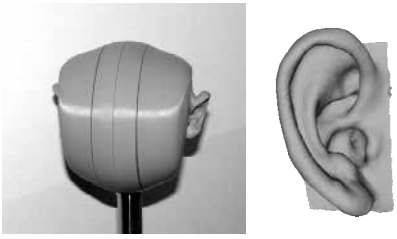


図 1. 回転式ダミーヘッドと耳介形状データ

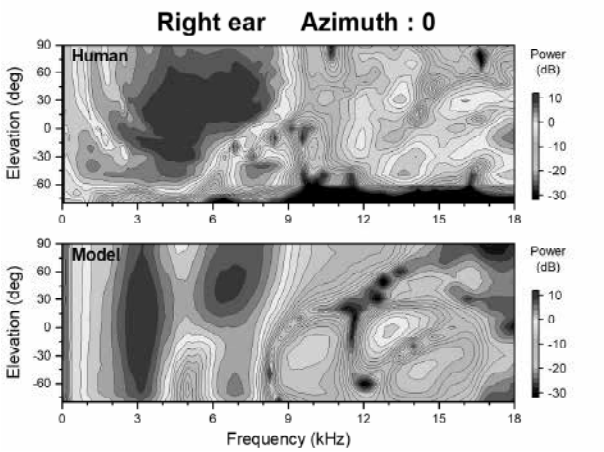



図 2. HRTF と PRTF の例（水平角 0 度の場合）

［3］成果

(3-1) 研究成果

同一の被験者の HRTF と PRTF は、音源が頭部の側面や背面にある場合には概ね一致するが、正面方向においては大きな差が見られた(図 2)。これは回転式ダミーヘッドと実際の人間の頭部形状の違いに起因する可能性がある。回転式ダミーヘッドの中心部の形状は、耳軸（左右の耳孔を結ぶ軸）に対して軸対称となる回転楕円体としているが、人間の頭部正

面には鼻や顎など音響的に無視できない複雑な構造が存在するからである。

この様な頭部部位の形状が PRTF に及ぼす影響を調べるために、鼻や顎などを模した部位パーツを製作し、回転式ダミーヘッドを用いて音響特性を計測した(図 3)。なお部位パーツのサイズは成人男性の身体各部位を計測した先行研究の値を用いた。

図 4 に音源が頭部正面にある場合の、何もつけないダミーヘッドと鼻(NOSE)、顎(CHIN)、両方(NOSE+CHIN)を付けた状態のダミーヘッドで得られた PRTF の RMS 誤差を示す。図から空間音響で重要となる 5〜20 kHz の周波数において、最大 11 dB の違いが生じていることが分かる。なお最も影響が大きいのは鼻パーツだけを追加した場合であった。

この結果は、形状を簡単化したごく小さい部位を追加するだけでも、正面方向の PRTF は大きく変化することを意味している。また人間の頭部部位の形状は個人差が大きいため、回転式ダミーヘッドに部位パーツを追加する方法では、任意の被験者に立体的な知覚を再現できる PRTF を得ることは困難であると予測される。むしろ、頭部全周の音源に対する PRTF を効率的に計測できるという回転式ダミーヘッドの利点を活かし、様々な耳介形状に対する音響特性の変化を調べることが有望であると考えられる。



図 3. 追加した頭部部位パーツの例

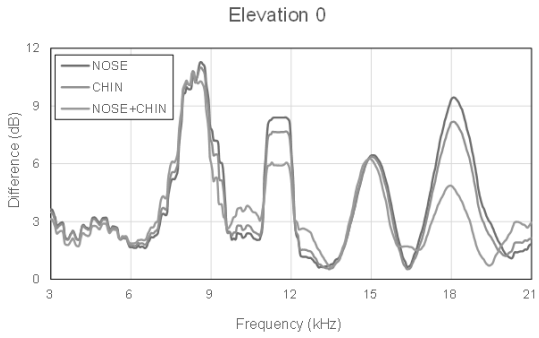



図 4. 部位パーツによる PRTF の変化

また本年度の研究では、耳介形状の分析や操作を統一的に進めるためのツールとして、3 次元 CAD データ処理の C++ライブラリの開発を行った。実装した主な機能は、耳介形状データから先行研究で提案されている解剖学的な特徴点の自動抽出、耳介各部位の切り出しとモデル化、耳介構造の回転とサイズ変更などである。本年度は新型コロナウィルスによる影響で、これを用いた耳介の 3 次元模型の製作や PRTF 計測が実現できなかったため、次年度以降の研究ではこの点を重点的に進める予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で用いた回転式ダミーヘッドは，被験者の頭部周辺に多数のスピーカーを配置した計測や，逆に耳孔に設置した小型スピーカーから出力された音を周囲に配置した多数のマイクロホンで計測する相反法と比べて，安価で単純な装置で実現できる点に特徴がある．一方で，この計測には耳介の形状模型が必要となること，また計測した PRTF は例えばそのままドライソースの音源に畳み込んでも，HRTF ほどの臨場感が得られないことが課題である．

本研究の計測システムが HRTF に基づく空間音響の研究分野に最も大きく貢献できるのは，一部の形状を変調した耳介模型を計測することにあると考えられる．これが実現できれば，例えば耳甲介の深さや長さが音響伝達関数のノッチ周波数と関係するといった仮説を，実際にこれらのパラメータを変えた模型を作成して計測することにより直接評価することができるからである．

また複雑で個人差が大きい耳介形状の中で，空間音響的に本質的な役割を果たす部位が特定できれば，従来の耳介形状と HRTF の評価法を大幅に改善できると期待できる．さらに，ひとりの被験者の HRTF から多様な相手の HRTF への変換，カメラ画像など限られた情報だけから，これに対応する HRTF を推定する手法など幅広い応用技術を開発できる可能性もある．

［4］成果資料

(1) 萱場英斗 “ダミーヘッドの部位形状が音響伝達特性に及ぼす影響”，東北工業大学 2020 年度卒業論文

共同プロジェクト研究

**採択番号（Grant No.）：R02/A22**

# 新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究

1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
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）

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
北形　元（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：２人

［2］研究経過 (Summary)

We have been working on devising a novel user participation oriented IoT platform that does not require specialized knowledge while deploying and encourages contribution from different entities at different phases of IoT development. We name this platform as KIBAN. 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 are now working on realizing KIBAN 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 faster response time compared with that in a cloud based system.

In the COVID-19 affected year of the research project, we continued developing different elements of the KIBAN platform, prepare different components of different levels of DHEA as well focus on some application in real life scenario where some levels of the DHEA hierarchy implement different layers of KIBAN platform. Since collection of data and learning from it is at the core of IoT, we emphasize on learning from data (Knowledge and Intelligence Layer of KIBAN platform in Fig. 1). In current day IoT, data is collected from various sensors, devices and input from users on different platforms over the Internet.

Two researchers, the principal investigator, and Associate Professor Dr. G. Kitagata participated in this research. Most research discussions were in the form of exchange of opinions over e-mail. Also, the researchers had online meetings on the topic as well where the principal investigator and RIEC counterpart prof. Kitagata participated.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

① Realization of components of KIBAN IoT platform

In the earlier part of the research, we proposed the concept of a new generation IoT platform, KIBAN, toward a 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)

So far, we defined functionalities of different layers of KIBAN platform. We emphasized implementing different elements of several of the layers, particularly the data acquisition and storage layer and the knowledge and intelligence layer. We also emphasized on proposing the functionality of the security and privacy layer (SPL) and made proposals for multi-factor authentication for accessing IoT devices, gateways and services. We now focus on leveraging on the data collected from the platform and utilizing that for machine learning. We emphasize particularly on web data.

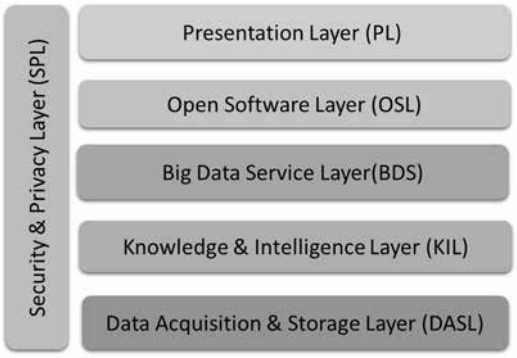



Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

② Implementation of components for the Knowledge and Intelligence Layer (KIL)

In the KIBAN platform, the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) is designed for learning from collected multimodal data and provide intelligence to the IoT platform. Toward this goal, we focus on huge data that is available in the web like the social networking services (SNS), comments or expressions in blogs, reviews in online shopping sites. Here, we report the outcome of our research on learning about the positive or negative impressions or sentiment expressed by people in Japanese about some product over online shopping platforms. Because of high penetration of the Internet, Japan has a high number of Internet users many of whom make comments on SNS or write reviews of product in the online marketplace since Japanese e-commerce

market is quite big. Analysis of sentiment of Tweets in Japanese language was previously attempted in some research using Sentiment Polarity Dictionary. However, with polarity dictionary, it was found that the detection accuracy of flaming Tweets was only 30% which is far from being accurate. In our research, we use Long Short Term Memory (LSTM) to detect sentiment of Japanese language product reviews from online shopping sites.

### *A. The Characteristics of Japanese Language*

Japanese language has two characteristics that make it difficult for machine learning AI (Artificial Intelligence) techniques to analyze the sentiment expressed in a sentence or expression correctly. These are, (i) Most languages like English, have space or some other delimiters to separate adjacent words from one another. However, in Japanese, such separators do not exist. As such, while analyzing a sentence or expression, the exact alignment of characters to form a word is not obvious. Also, (ii), the same word can be used in both a positive as well as a negative sense. For example, let us consider the sentences, a. "ホテルの窓が小さい" (the windows of the hotel are small) and b. "パソコンが小さい" (the computer is small). In 'a', the word "小さい" (small) is used in a negative sense while in case of 'b', it is used in a positive sense. Such occurrences make the machine learning process difficult.

### *B. Separation of words in Japanese sentences*

The first task of sentiment analysis is separation of words so as to find out the words driving the sentiment to positive or negative. We use a tool call MeCab that was developed in a project conducted jointly by Kyoto University and NTT.

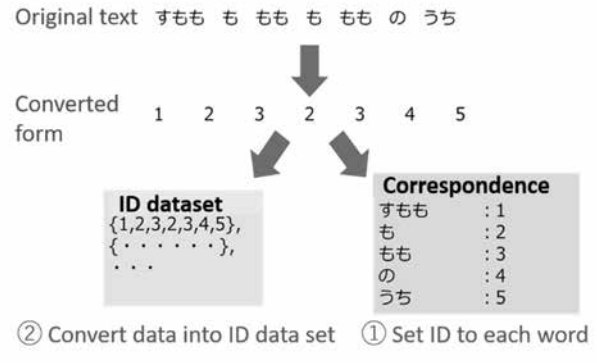



Fig. 2: Pre-processing of data to form ID data set

As shown in Fig. 2, the input data is first divided into different words and are organized into a data set based on their order in the sentence(s).

### *C. Machine Learning using LSTM*

Once the data set is organized, we conduct analysis of the data set. Then the data is fed into an LSTM model to learn about positive or negative sentiments from training data set. LSTM is an extension of Recurrent Neural Network (RNN) in which, feedback of connections is also accommodated and is suitable for learning about sequence of data. We use Python based program for learning.

### *D. Collection of data and design of experiments*

We gathered data from Yahoo! site using shopping API. Since Yahoo! allows collection of data into different categories or genre, we organized our training and validation data set into different categories. For example, data was collected in fashion, electric appliance and game categories. In our first experiment, we train our system using system data from a particular category, say fashion. Then test the accuracy of positive/negative sentiment detection using validation data from the same category. In the next phase, we try to test the accuracy of sentiments analysis using validation data from a different category. For example, the system is trained using data from fashion category. Then accuracy test of sentiment analysis is conducted using validation data from electric appliance category.

### *E. Results*

Fig. 4, shows the outcome of our experiments for testing accuracy of the sentiment analysis. In this case, the training data set is based on fashion data only. As can be observed that accuracy of sentiment analysis using test data from fashion genre in case of positive sentiment is high whereas with the change in the genre, the accuracy decreases. The accuracy suffers severely for negative reviews even for the test data of the same genre. It has been observed that some reviews with negative sentiment led to be detected as positive even though there was no positive element.

| | | Test with fashion related review | Test with home appliance related review | Test with game etc. related review |
|---|---|---|---|---|
| 5 star | Positive | 28 | 24 | 13 |
| | Negative | 2 | 6 | 17 |
| | Accuracy(%) | 93.3 | 80 | 43.3 |
| 1 star | Positive | 17 | 26 | 13 |
| | Negative | 13 | 4 | 17 |
| | Accuracy(%) | 43.3 | 13.3 | 56.7 |

Fig. 3: Validation of sentiment analysis using data from different categories

## （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.)

Analysis of web data for understanding the sentiment expressed in the expressions is expected to lead better machine understanding of the human world.

## ［4］成果資料 (Publications)

[1] Monburionon, N., Zabir, S.M.S., Vechprasit, N., Utsumi, S., Shiratori, N., A Novel Hierarchical Edge Computing Solution Based on Deep Learning for Distributed Image Recognition in IoT System, in proceedings of InCIT2019, Bangkok, Thailand, 2019.

共同プロジェクト研究

採択番号（Grant No.）：**R02/A23**

# Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices


［1］組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：
Sayan Sarcar (Tsukuba University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Kazuyuki Fujita

研究分担者 (Project Member List)：
Parinya Punpongsanon (Osaka University)
Taichi Tsuchida (Tohoku University)


延べ参加人数 (Total Number of Participants)：4 人

［2］研究経過 (Summary)

Touch has become the main input modality for most interactive electronic devices, providing intuitive user experience of direct manipulation of content. However, touch interaction is still limited to fewer input modalities. This often becomes a problem when task scenarios involved switching between multiple modes of operation, such as navigating in a map, drawing on a canvas, or playing a game.

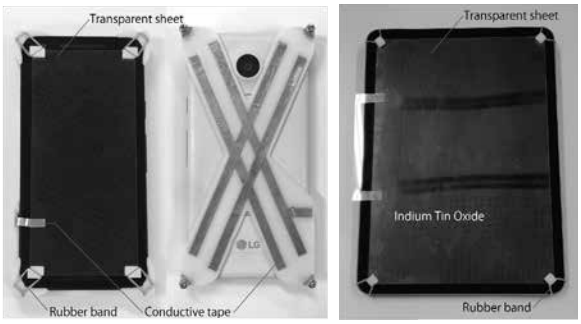
In this cooperative research project, our goal is to explore low-cost and power-free interfaces that expand input vocabulary of touch devices thereby enriching user interaction with touch devices with less fatigue. More specifically, we plan to (i) understand the user interaction with the sheet on a smartphone, (ii) design novel interaction techniques utilizing physical sheet on a smartphone, and (iii) explore back-of-device interfaces as another approach to extending input vocabulary.

In this year, we have discussed how to proceed the above plan via online, due to COVID-19 pandemic. The detailed information about the meetings is as follows.

Date: June 8th, 2020
Member: Sayan Sarcar, Kazuyuki Fujita, Parinya Punpongsanon
Topic: Ideation of our project

Date: July 9th, 14th, and 21st, 2020
Member: Sayan Sarcar, Kazuyuki Fujita
Topic: Ideation and sharing related works

Date: Sep 30th, Oct 8th, Nov 9th, Dec 4th, and Dec 21th 2020, and Jan 7th, Jan 21st, and Feb 4th 2021
Member: Sayan Sarcar, Kazuyuki Fujita, Taichi Tsuchida
Topic: Progress report on hardware and software implementation




**(a)** **(b)**

Fig. 1 Overview of ShearSheet.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

As a consequence of our efforts, we have establish our proposal concept as extending input vocabulary of touch devices with low-cost and power-free interfaces that provide physical feedback, thereby enriching user interaction with touch devices with less fatigue.

The first approach is to explore front-of-device interface. We have previously proposed ShearSheet (Fig. 1), a simple interface that enables shear force input (tangential force input to the surface) by physically moving a transparent sheet located on the device. In this year we additionally developed several application examples: map viewer, pointing, etc.

The second approach is to explore back-of-device interface. We developed an early prototype of smartphone-ring-shaped device that enable shear force input and touch pressure input by moving the ring device. The advantage of this can be additional input modalities offered by the device do not disturb normal touch input.

We plan to further proceed implementation and evaluation of our interfaces from these two perspectives and publish them as a international conference paper.

（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)

This work will offer end-users an extensive and easier-to-use touch interaction norm. As the device is low-cost and power-free, it has quite a high potential to be a common add-on interface that can be easily installed on any touch-based smart devices. In addition, our result will also provide new guidelines to UI designers and developers regarding touch interaction.

［4］成果資料　(Publications)

None

共同プロジェクト研究

採択番号(Grant No.)：**R02/A24**

# Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system


[1]組織(Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：

Thippaya Chintakovid, Ph.D. (Assistant Professor at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

通研対応教員(Research Collaborator of RIEC)：

Yoshifumi Kitamura

研究分担者(Project Member List)：

Siranee Nuchitprasitchai, Ph.D. (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)


延べ参加人数(Total Number of Participants)： 3 人

[2]研究経過(Summary)

Due to the COVID-19 pandemic, the initial objective which was to investigate cultural differences between Thai and Japanese elderly users could not be achieved. It was necessary to change the project's goal to investigate differences between two age groups, i.e., the elderly group with the age of 55 years old and over and the group with the age of 45-55 years old. The project was a qualitative study and recruited 11 participants to try out the D-FLIP system.

Considering computer experiences, the 45-55-year-old group was more familiar with using the desktop computer than the elderly group. It is not surprising that when interacting with desktop-based objects such as file explorer windows, the elderly group had more questions than the 45-55-year-old group. Nevertheless, the 45-55-year-old group had more experiences managing photos on mobile phones than on the desktop computers.

Some of usability issues found were similar between the elderly group and the 45-55-year-old group, for example, difficulty in figuring out how to use the multitouch function. In addition, the 45-55-year-old group offered several interesting ideas to improve the design of the D-FLIP system.

[3]成果(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

- Unlike the elderly group, the 45-55-year-old participants were familiar with using desktop computers. They did not show any confusion when interacting with desktop-based objects, e.g., the file explorer window as shown in Figure 1.

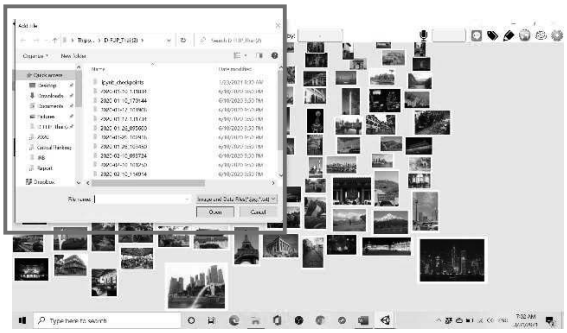


Figure 1. File explorer window

- Although the 45-55-year-old group had experiences using a desktop computer, they were more used to manage photos on a mobile device. They had a mental model of selecting photos before creating a photo album. The mental model was different from the task flow designed in the D-FLIP system as shown in Figure 2 and Figure 3.

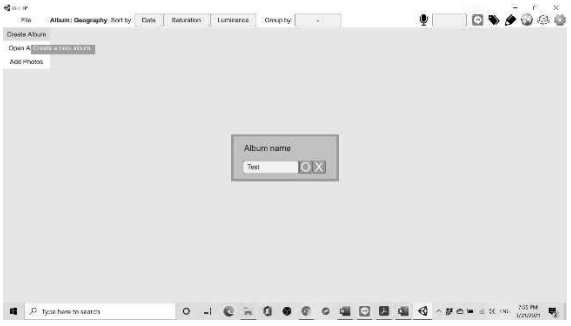



Figure 2. The system asks to enter an album name to create a new photo album

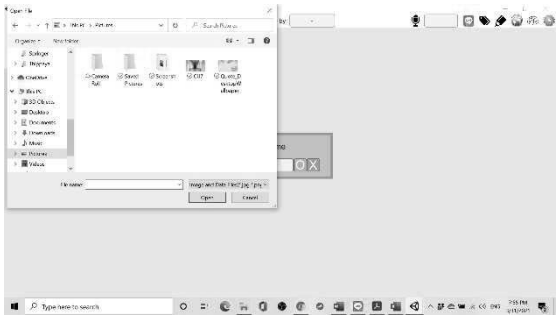


Figure 3. Users have to select photos to be added into the photo album

- Both groups did not like to see the photos jiggling when being displayed on the screen as illustrated in Figure 4. Some of the elderly stated that they felt disturbed by seeing them. For the 45-55-year-old group, some participants mentioned that they thought that the system was still processing data.



Figure 4. Photos displayed after opening a photo album

- It was not easy for participants from both groups to figure out how to use a multitouch function because no signifiers indicated that users had to select desired photos. A multitouch function is activated for the menu 'group by.' Users can use multiple fingers to select and group similar photos according to the options, i.e., color, shot place, people, and event. Figure 5 shows the multitouch function.



Figure 5. Multitouch function

（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)

Ideas to improve the D-FLIP system design taken from the study's participants are as follows.

- For the menu 'group by color,' it would be better if the system shows a selection of colors to let users know the set of colors they can classify the photos into.
- Each menu should have both texts and icons. Iconic menus may help users to understand the function without reading the texts. In addition, the users who do not know English could learn the function by just looking at the icons.
- When displaying all photos on a world map, details about country and city where the photos were taken should be shown on the screen. Users can also select a photo of interest and zoom in to see details of the selected photo. Users should also be able to zoom in or zoom out of the world map itself.
- After grouping photos by people, it would be more convenient for users if the system could create a new album for the grouped photos. An example of a usage scenario was that a participant's daughter would like to search for the photos of herself, either portrait or group ones. She would use this collection for her school's project. This idea can also be used for the menu 'group by event' and even a new menu 'group by shape.'
- It would be more useful if the system could create a photo album for the photos selected by using the drawing function, represented by the 'pencil' icon. This function asks users to draw a circle to mark an area for displaying photo search results and then enter a keyword to search for photos.

Figure 6 shows a photo taken during one of the data collection sessions.



Figure 6: A snapshot during the experiment

参考文献(References)

N/A

[4] 成果資料 (Publications)

A workshop paper titled "Touch Interaction for Elderly Technology Late-Adopters in Thailand" is accepted to be presented at the CHI 2021 Workshop on Designing Interactions for the Ageing Populations - Addressing Global Challenges.

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/A25**

# 人間の能力を拡張する<br>次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤

［1］組織

研究代表者：

峰野　博史（静岡大学情報学部）

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：

重野　寛（慶應義塾大学理工学部）

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）

原　隆浩（大阪大学大学院情報科学研究科）

山口　弘純（大阪大学大学院情報科学研究科）

内藤　克浩（愛知工業大学情報科学部）

延べ参加人数：21 人

［2］研究経過

本プロジェクトは，センサーや人間，ロボットだけでなく，様々なサービスから絶え間なく生成される多彩なマルチモーダルデータの活用プロセス（IoT，通信，ビッグデータ，AI，ロボット）を，シームレスに循環させ人間の能力を拡張するために利活用させるマルチモーダルデータ流通処理基盤を研究開発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，環境条件の定量化，物理空間のスキャン，人の動きの検知，モノや素材の検知といった技術を駆使することで，マルチモーダルデータを収集・分析し仮説検証するための基盤技術に関する基礎検討を進めた。また，経時的なマルチモーダルデータを活用することで，環境変化にロバストな自律的行動や複雑な文脈の意味理解を飛躍させ，人間の能力を拡張する知的支援技術の枠組みを検討する研究に注力した。

本プロジェクト遂行に関連し，2020 年 11 月 27 日～11 月 28 日に東北大学通信研究所においてハイブリッド型での共同プロジェクト研究会を開催し，本分野の有識者 30 人弱で研究成果の発表やそれぞれの関係するプロジェクトの方向性について深いディスカッションを実施した。

［3］成果

（3-1）研究成果

多種多様な IoT 機器が増加し，複数のデータソースから収集されるマルチモーダルデータを適切に処理し，リアルタイムでのインタラクションを実現できるデバイス連携処理基盤が重要となる。そのためには，データソースならびに前処理済データを実世界にフィードバックするアクチュエータまでのデータストリーム処理に関し，処理時間の短縮や遅延時間の抑制，ならびに様々なサービスレベルへの柔軟な対応がカギを握る。

一方，限りあるネットワーク資源を有効活用しながら，様々なサービスに適したネットワークの提供を実現するために，深層強化学習の一種である Ape-X を用いて，ネットワークスライス数に依存しないネットワーク資源の割り当て手法の研究を進めた。Ape-X 内の一つのモデルを一つのスライスにネットワーク資源を割り当てるよう設計することで，スライス数の変化の影響を受けずに柔軟なネットワーク資源の割り当てが可能となる。ネットワークシミュレーション評価によって約 77%の使用効率でネットワーク資源をスライスへ割り当てられ，スライス要件の満足度は約 97%という高い値を得られることを確認し，スライス数に対する拡張性も高いことを明らかとした。

様々なインタフェースを介して人間の能力をさらに拡張し強化していくためには，今後ますます社会システムの主要プレーヤーとなっていく人間を理解するための高度・高次センシングや知識活用が重要となっていく。社会を構成する多様な年齢層や生活環境の人々に対し，真に有用な情報を提示するシステムや技術が不可欠となるが，これまでの技術中心のアプローチにおいてはこれらが十分に実現されているとは言い難い。人間と機械が協働し，社会を豊かにする真の情報活用基盤を実現するためには，従来のセンサー計測値や位置情報といった構造化されたプリミティブなコンテキスト情報に加え，経時的かつ様々な要因で変化していくマルチモーダルデータの高度な相互連携処理が必要不可欠と考える。

特にスマートシティやスマートビルディング等で

は、人の位置や状態に加えて、その環境の設備や空間内のモノの相対関係や状況といったコンテキストを理解し，人間の社会活動や生活を支援することが重要となる。例えば，天気予報情報や現地の温湿度情報を組み合わせることで，熱中症警告アプリが構築できるだけでなく，時刻表と車両速度から適切なバス運行情報提供アプリといったものも柔軟に構築できる。このような高度なマルチモーダルデータの相互連携処理のためのデータ共有プロトコルの検討を進めただけでなく，プロトタイプシステムを研究開発することで，専門知識の少ない人でも IoT サービスを容易に利活用できる仕組みも研究開発した。これにより，IoT デバイスの機能とソフトウェアコンポーネントに関するオントロジを設計・導入し，センサーやアクチュエータが現実世界に与える効果や場所を抽象的に表現できるようになる。家電や家具，日用品の位置や属性といった情報までシステム側で把握できるようになれば，人の能力を拡張するような行動認識や健康生活支援，見守りといった知的 IoT サービスが実現できる。オフィスや観光地，農場や工場といった場面での作業計画や業務最適化まで期待できる。引き続き人間の能力を拡張し強化する高度な協働を実現するマルチモーダルデータ流通処理基盤を構築するための技術ならびに社会システムについて議論し，その基本概念の確立を目指す。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

プロジェクトの成果を広く共有し議論を深めるため，下記の国際ワークショップ３件を開催した。

1. CDS 2020 (8th IEEE International Workshop on Consumer Devices & Systems 2020)
   2020 年 7 月 20 日，スペインマドリッド（感染症拡大の影響でオンライン実施），IEEE COMPSAC の併設ワークショップとして開催。連携者の京都大学岡部教授らにより組織され，次回 CDS2021 は，代表者らも加わりさらなる活性化を図っていく。
2. PerFlow 2021 (International Workshop on Pervasive Flow of Things 2021)
   2021 年 3 月 26 日，独カッセル（感染症拡大の影響でオンライン実施），IEEE PerCom の併設ワークショップとして開催。分担者の大阪大学山口准教授，連携者の NAIST 安本教授，マンハイム大のベッカー教授による国際協力により組織。通研教員および分担者ら，関連分野の第一線で活躍する国際的研究者によるプログラム委員会を構成。
3. PerVehicle 2021 (International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems)
   2021 年 3 月 22 日，独カッセル（感染症拡大の影響でオンライン実施），IEEE PerCom の併設ワークショップとして開催。分担者の慶応大重野教授，大阪大学山口准教授らにより組織。車両活用に関しアクティブに活動する第一線の研究者を招へいしてプログラム委員会を構成。車両など移動体からのデータストリーム処理を含むパーベイシブ処理に関し議論。

以上のように本プロジェクトを通じ，研究者間の交流が飛躍的に活性化するとともに，上記のようなプロジェクトならびにワークショップにつながっている。引き続き形成したコミュニティのさらなる拡大と連携強化を行いながら，その利益を享受するスキームを構築し，個人の能力を高めるだけでなく組織としての機能強化にもつながる社会基盤の創出を目指す。

［４］成果資料

(1) Y. Abiko, T. Saito, D. Ikeda, K. Ohta, T. Mizuno, H. Mineno, “Flexible Resource Block Allocation to Multiple Slices for Radio Access Network Slicing Using Deep Reinforcement Learning,” IEEE Access, Vol.8, pp.68183-18198 (2020).
(2) T. Yoshikawa, S. Isomura, H. Komura, S. Kubota, C. Nishiwaki and K. Naito, “Performance Evaluation of Shared Library Supporting Multi-Platform for Overlay Network Protocol,” IEEE GCCE (2020).
(3) S. Isomura, T. Yoshikawa, H. Komura, S. Kubota, C. Nishiwaki and K. Naito, “Prototyping evaluation of CYPHONIC: Overlay network technology for Cyber-Physical communication,” IEEE CCNC (2021).
(4) H. Rizk, H. Yamaguchi, M. Youssef and T. Higashino, “Gain Without Pain: Enabling Fingerprinting-based Indoor Localization using Tracking Scanners,” ACM SIGSPATIAL (2020).
(5) H. Rizk, H. Yamaguchi, T. Higashino and M. Youssef, “A Ubiquitous and Accurate Floor Estimation System Using Deep Representational Learning, ACM SIGSPATIAL (2020).

採択番号（Grant No.）：**R02/A26**

# Implicit non-verbal behaviors and brain communications

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）
研究分担者 (Project Member List)：
Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France)
Chico Katsube (Aoyama Gakuin University)
Hsin-Ni Ho (NTT Communication Science Lab)
Shinsuke Shimojo (Division of Biology, California Institute of Technology)
Mohammad Shehata (Toyohashi University of Technology)
Shoko Kashima (Aoyama Gakuin University)
Miao Cheng (NTT Communication Science Lab)
I-Lien Ho (National Sun Yat-Sen University)
Yating Wang (Fu-Guan University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：12 人

［2］研究経過 (Summary)

Because international travel was restricted because of the pandemic, all the collaboration works this year was conducted via tele-communication. All the team members held multiple online meetings and frequent discussions.

［3］成果 (Results)

（3-1）研究成果 (Research Results)

Social communication, which resembles a core difference between machine and human interaction, remains a challenging topic for engineers and neuroscientists. A complete grasp of its presentation in both behavioral and neuro-scientific senses is a critical step for industrial application and scientific development. In an ageing society like Japan, this research is particularly critical for assisted living machinery design as the research results will guide future implementation with social (or interpersonal) value.

In this collaboration, we examine how non-verbal communication facilitates social functions. In particular, we investigate motor coordination (e.g. walking, joint action) and creative activities (e.g. improvisation, performing arts). Our goal is to look for scientific methods to define and describe this commonly experienced benefits in social setting and further understand how human beings convey and understand important social information from each other.

Two experienced Japanese dancers were invited to communicate via their body/dance movements spontaneously in a 3.5 x 3 m space installed with a motion capture system (OptiTrack Flex3). Both dancers wore full-body suits which included 19 sensors placed at pre-determined body parts. Ten optical cameras installed at the top of the room picked up the optical signals from the sensors which could later be transformed into time-series data for analysis. The improvisation score (or instruction) was to ‘dance with MA’, though we left it to the individual dancers to interpret the instruction in their own way (without verbally elaborating upon it with the other dancer).





In a first follow-up study (Tseng et al, accepted), we invited Japanese and non-Japanese non-dancers to watch the video recorded dance performances and had them report their perceived moments of MA. We observed agreement within each cultural group regarding moments of MA, suggesting that individuals shared similar perception and understanding of the abstract concept. We also asked participants, in a separate run, to report the moments when they felt the two dancers were dancing “together.” Interestingly, this “togetherness” did not mean physical proximity but a psychological feeling that the two performers are dancing as “one unit” (one-ness, i.e.,

ittaikan, in Japanese), instead of two separate dancers. We discovered a significantly higher correlation between the moments of "togetherness" and "MA" in Japanese participants compared to non-Japanese participants.

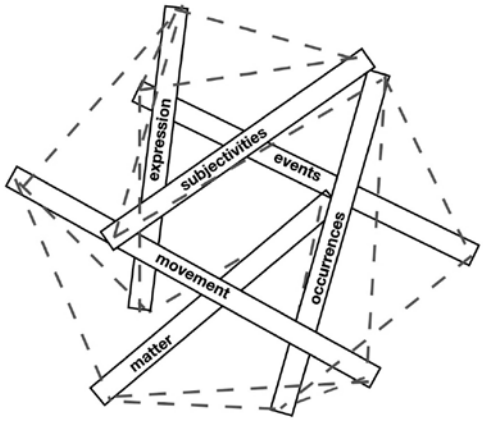
This correlation between "MA" and togetherness and the observed cultural difference motivated us to conduct the current study with expert participants. Given the habitual understanding (in non-Japanese circles) of MA as a spatial or temporal quality, we were surprised by the fact that for Japanese spectators (unlike non-Japanese) the two concepts/feelings were related. In the study reported here we were interested to understand the relationship between the experience of "MA" and of "togetherness" through the narratives of dancers and spectators regarding their experience of joint improvisation.

（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)

Kinesthetic communication in dance, similarly to the sonic communication in sound arts and (co-)verbal communication in psychotherapy and team formation in corporations, requires reciprocal attention once the performers and spectators step out of the familiar zone and enter a shared space of uncertainty. That is, instead of a passive viewer and an active doer, the viewer becomes more participatory and the doer takes on a posture of 'listening'. The audience and performers come together through a shared anticipatory a-tension, a shared MA.

MA as an inter-personal aesthetical/ethical construct appears in joint dance improvisation, contemporary musical performance, Japanese wrestling (sumo), movement therapy, psychotherapy, and creative management. These profound similarities at the level of the relational connection, despite the contextual diversities are noteworthy. MA offers a view of relationship different from an individualistic preconception of a subject and an object or two pre-existing individuals. It acknowledges the transformative and healing power of the invisible connection and interpersonal communication through the a-tension to silence, stillness, emptiness and nothingness.

In light of our results and our reading of the literature, we have come to think of MA in term of tensegrity. Tensegrity (tensional integrity) is an architectural or structural arrangement, proposed by Buckminster Fuller in the 1960s. A tensegrity structure is composed of isolated components under compression (the black bars in the Figure 2) inside a network of continuous tension (usually cables or tendons, the red dotted lines in Figure 2). The compression bars do not touch each other, and are each oriented in a different direction, while the tensioned members delineate the system spatially. The combined structure maintains its configuration integrity when the pushes (tension) and pulls (compression) reach a balanc




In our model the compression bars embody different ontological or phenomenological categories such as subjectivities, events, moments in time or locations in space. While in the model each of the different categories is represented by a single bar (for simplicity of viewing) we invite the reader to imagine multiple bars standing for multiple instances of each category. MA is embodied as the tension network (red dotted lines) which holds the bars at the same time together and apart. The different orientations of the bars stand for the difference or contrast between the different moments, events etc. The tensegrity model highlights the 'role' of MA in creating a holistic experience (the entire structure) from the holding together of differences.

［4］成果資料 (Publications)

Tseng, C.H., Cheng, M., Matout, H., Fujita, K., Kitamura, Y., Shioiri, S., Bachrach, A. (2021) Perceived "togetherness" and "MA" between two dancers in joint improvisation: a cross-cultural study, Vision Science Society (online).

Tseng, C.H., Cheng, M., Matout, H., Fujita, K., Kitamura, Y., Shioiri, S., Bachrach, A. (2021), MA and togetherness (ittaikan) in the narratives of dancers and spectators: sharing an uncertain space, *Japanese Psychological Research. https://doi.org/10.1111/jpr.12330.*

Tseng, C.H., Wang, Y.T., Shioiri, S. (2020). Interpersonal Communication on the Japanese Concept "MA". Acoustic Sciences and Technology, 4,1,1-5.

Cheng, M., Kato, M., Saunders, J., Tseng, C.H. (2020). Paired walkers with better first impression synchronize better, PLOS One, 15(2), e0227880

**採択番号：R02/A27**

# 色名に関する文化差および個人差の多言語での研究

［1］組織
研究代表者：
徳永　留美（千葉大学大学院国際学術研究院）
通研対応教員：
栗木　一郎（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
羽鳥　康裕（東北大学電気通信研究所）
内川　惠二（神奈川工科大学）
福田　一帆（工学院大学情報学部）
塩入　諭（東北大学電気通信研究所）
Delwin T. Lindsey（米国・オハイオ州立大学）
Angela M. 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）
Tusei-Ju Hsieh(台湾・中国文化大学)
Youngshin Kwak（韓国・蔚山科学技術大学校）

他・学生１名（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校）
延べ参加人数：15 人

［2］研究経過

私たちが日常で使用する色は，言語の壁を越えた人類共通のコミュニケーション手段として利用可能な概念である。特に色名と対応した色の知覚であるカテゴリ色は，Berlin & Kay (1969) の研究によって示されたように，使用する言語によらずに共通のグループ化がなされる。そのグループは基本色と呼ばれ，白，黒，灰，赤，緑，青，黄，紫，オレンジ，茶，桃の 11 色がある。利用する色名の数は言語が異なっても基本カテゴリの分類から外れないため，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。一方，先行するプロジェクト (H26/A16) において，日本語の水色のように基本カテゴリに近い特性を持つ色名の存在が，また先行プロジェクト (H29/A16) においても，タイ語の”Fa(空色)”が基本カテゴリに近い特性をもつ可能性が示された。

Lindsey & Brown (2006, 2009) らは，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ことを示した。言語差（文化差）と個人差を共通のモデルで説明することができれば，カテゴリ色の利用の最適化など情報通信分野における応用も期待できる。そこで，本研究では，文化差および個人差に関して言語間の比較を検討することを目的としている。

本プロジェクトは，先行プロジェクトである米国，日本の言語を対象とした色カテゴリ研究 (H29/A16) を拡張し，タイ語 (H29/A16) と韓国語へ応用しようとする研究である。タイ語の研究結果の分析を分析しておりきた。また，新たに韓国語の実験実施について着手した。以下，研究活動状況の概要を記す。

（2－1）打合せの詳細

1) 2020 年 5 月～2020 年 11 月
【参加者】Tusei-Ju Hsieh，栗木一郎，I-Ping Chen，武藤ゆみ子，徳永留美，塩入諭
【内容】投稿論文の査読対応に関する検討（メールにて 177 通）

2) 2021 年 2 月 1-2 日
【参加者】Nischanade Panitanang，Chanprapha Phuangsuwan，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），徳永留美
【内容】タイ語のカラーネーミングデータ解析におけるデータ処理について（メールにて）

3) 2021 年 3 月 11-12 日
【参加者】Youngshin Kwak，徳永留美
【内容】韓国語のカラーネーミングの実験についての打合せ（メールにて）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の成果の一つは，先行プロジェクト (H29/A16) で取得した台湾の中国語の色カテゴリについての論文が Journal of Vision に掲載されたことである。中国語の色カテゴリ数の研究については，1969 年から 2018 年にかけて 7 本の論文がある。アメリカに移民し

ている中国人を対象としたBerlin & Kay(1969)の結果によると，基本色名数が 6 色であった。また，Lu(1997)や Lin et al.(2001a, 2001b)，Hsieh & Chen(2011)は 11 色，Wu(2011)は 8 色,Gao & Sutrop(2014)は9色，Sun & Chen(2018)は8色となり，実験により基本色名の数が異なっている。本研究結果のクラスター解析の結果は11色となり,Lu(1997)ら3つの論文の結果と一致したことが示された。このように，色カテゴリの実験は，実験や解析手法などにより結果が異なる可能性がある。したがって，実験や解析手法を統一して結果を解釈することは，文化的相違に着目した「文化差」や「個人差」を検討していく上では，重要な点となる。

本論文においては，中国語の色カテゴリ実験結果に加え，アメリカ英語（Lindsey & Brown, 2014)と日本語（Kuriki et al.,2017）の3カ国語の結果比較も実施された。表1にGap統計量によるクラスタリング分析の結果を示す。この比較で使用したデータの被験者は中国語が41名，日本語が57名，アメリカ英語は51名であった。これらの比較は，実験実施条件，結果の解析手法が統一であるからこそ実現できた比較である。日本語の基本色名である緑，青，赤，黄，橙，紫，ピンク，茶の8つに対しては，3つの言語に基本色名がある。茶色に関しては，英語がBrownで，中国語では対応する色名は見られなかった。このような比較により異なる文化における共通点や相違点を発見でき，文化差や個人差を検討することが可能となる。本年度の取組みの一つは，解析手法の検討である。上述したとおり，統一した実験手法と解析手法による多言語間の比較は，本プロジェクトの目的である。そこで，先行研究（H26/A25）で使用していたGap統計量による一連の解析を,Matlabの既存の関数に置き換えて分析することが可能かについて検討を試みている。使用する Matlab の関数は，k-mean clustering の“evalClusters”であり,Tibshirani et al.,（2001）に基づいた関数である。この解析が可能となれば、他国の研究者などとの共同の解析も実施し易く、扱う言語の数を増やすことが可能となる。また，以前の解析手法では，無彩色である白と灰，黒のデータを除いて分析する必要があったが，本手法では無彩色も含めて解析することができる。

**表 1 日本語、アメリカ英語、台湾中国語の Gap 統計量によるクラスタリング分析の結果**

| | 日本語 | 英語 | 中国語 |
|---|---|---|---|
| 基本色名 | 緑 | Green | Lù |
| | 青 | Blue | Lán |
| | 赤 | Red | Hóng |
| | 黄 | Yellow | Huán |
| | 橙 | Orange | Jú |
| | 紫 | Purple | Zǐ |
| | ピンク | Pink | Fěnhóng |
| | 茶 | Brown | Kāfēi |
| | 肌 | Peach | ― |
| | 黄土 | Olive | ― |
| | エンジ | Maroon | ― |
| | ふじ | Lavender | ― |
| | クリーム | Beige | ― |
| | 水 | Sky | ― |
| | エメラルド | Teal | ― |
| | ― | Magenta | ― |

は珈琲であった。その他，日本語の肌色は英語ではピーチに対応し，中国語では該当がなかった。同様に，黄土色はオリーブ，エンジ色はマロン，藤色はラベンダー，クリーム色はベージュ，水色は空，エメラルド色はティールに対応し，それらに対応する中国語はなかった。さらに，英語のマジェンダは，日本語と中国

この取組みを実施する為の対象データは，先行プロジェクト(H29/A16)におけるタイ語の色カテゴリの結果である。これは、タイ王国の 4 地方（Central, North, Northeast, South）の合計161人に対して実施した色カテゴリの実験結果である。被験者はNorthエリアが42名,Northeastエリアが38名,Centralエリアが50名，Southエリアが31名であった。タイ王国は近接する隣国からの移民により，多民族から構成されているために方言が強く，色名にも地域差に特徴があると予測している。これまでの分析から，4 エリアで使用した色名数においては，有意な差がみられていない。そこで，クラスター解析により，エリアの差があるのかについて，以前の解析手法と本手法とで比較することを試みた。

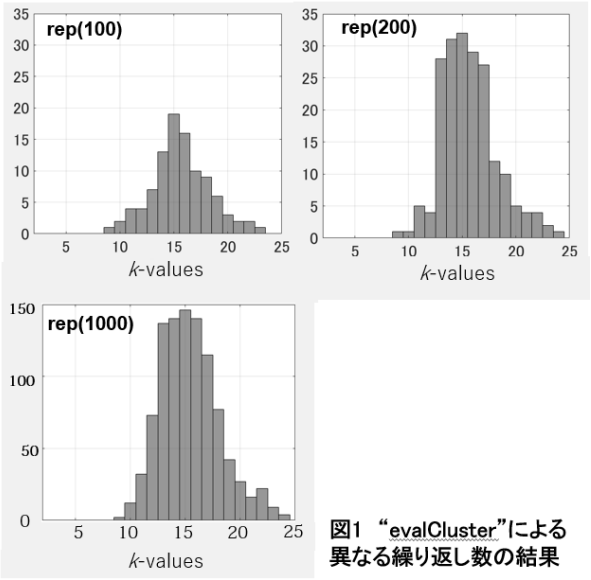



**図1 “evalCluster”による異なる繰り返し数の結果**

図1に本手法を用いて解析したNorthエリアの実験結果を，繰り返し数ごとに示す。分布の形は変化する

が，3つともに $k$=15 となった。

**表2 タイ語の4地域ごとの繰り返しごとのkの値**

| | the optimal *k* | | | |
|---|---|---|---|---|
| Repetitions | North | NorthEast | Central | South |
| 10 | 10 | 14 | 17 | 12 |
| 30 | 14 | 14 | 16 | 12 |
| 50 | 15 | 15 | 17 | 12 |
| 100 | 15 | 14 | 16 | 14 |
| 200 | 15 | 16 | 12 | 12 |
| 1000 | 15 | 15 | 14 | 13 |

表2にタイの4つの地域に対して，繰り返し数が異なる場合の $k$ の値を示す。結果から，4 つのエリアで $k$ の値が異なる可能性がある。以前の解析手法では繰り返し数が1万回であったことから今後は繰り返し回数を増やした検討を実施する予定である。以前の解析手法においては，$k$ の値を定める為に Constancy index を求める必要があり，現在，解析に取り組んでいる。

両手法の解析結果による一致が確認できれば，本手法によってクラスター数の定義が可能となる。そして，タイ語の4つのエリアのクラスター数が判明し，エリアごとの色カテゴリ数が決定される。これらの比較については、引き続き解析を実施していく。

(特別支援（若手・国際・産学）に係る研究成果)

タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンターの博士前期課程の学生，韓国のウルサン科学技術大学校の Kwak 准教授を招聘予定であったが，新型コロナウィルスの流行により招聘ができなかった。その為，e-メールなどでのやり取りとなった。

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトは，色名に関する文化的相違に着目したもので，複数の言語における色名の利用について，「文化差」と「個人差」を検討していくものである。本プロジェクトの特色は，各言語の結果を直接的に比較でき，これまでとは異なった視点から言語，文化差や個人差について，共通の概念を導き出すことが可能となることである。現在検討している解析手法が可能な手法となれば，より多くの国での実験実施が可能となり，言語間の比較が実現する。そして，色カテゴリについての世界的なデータベースの構築，データの比較検証へ発展させることが可能である。先行プロジェクト (H26/A16) において日本語の「水色」で明らかになった基本色カテゴリ境界にまたがるカテゴリについても，研究対象言語数の増加が，言語と色覚の相互作用を理解する為の手掛かりとなり，色名の研究分野へ貢献できると期待できる。

［4］成果資料

1) Tracy Hsieh, Ichiro Kuriki (corresponding author), I-Ping Chen, Yumiko Muto, Rumi Tokunaga, Satoshi Shioiri. (2020) Basic Color Categories in Mandarin Chinese Revealed by Cluster Analysis. Journal of Vision, 20(12):6, 1-17. doi: 10.1167/jov.20.12.6.

**採択番号： R02/A28**

# 協調作業における視線情報の可視化

［1］組織

研究代表者
清川　清（奈良先端科学技術大学院大学）

通研対応教員
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
磯山　直也（奈良先端科学技術大学院大学）
酒田　信親（奈良先端科学技術大学院大学）
高嶋　和毅（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：5 人

［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3年目であり,前年度の資産を利用しながらもより今日的で代表者および分担者の知見が活かせる HMD(Head-mounted Display)を用いた協調作業における視線可視化の研究テーマに取り組んだ．特に，HMD 装着者の視線を周囲の人が把握できるようにするための新たなHMD の試作に取り組んだ．なお,近年のコロナ渦においてVR を使ったオフィスや会議室の重要性は高まっており，HMD を装着する時間が長くなることが予想される．そのような場面において,HMD 装着者の視線をどのように誘導するか,どのように他者に伝えるか，についてはHMD 装着者とその他の人々と円滑に共存するために重要なことである．

本年度は，計２回のオンラインミーティングを経て研究を進めた．また，共同プロジェクト発表会においても，本成果をポスター発表した．代表者と通研対応教員や分担者は,学会等でも会う機会は多く,その都度作業の進捗などを報告相談した．

［3］成果

(3-1) 研究成果

図 1，図 2 に HMD 装着者の視線を外部に向けることができる新たなHMD の試作機の一例を示す．メインとなる VR ヘッドマウントディスプレイの周囲に３つのモジュールを取り付け，それを着脱することによって,HMD 装着者は,HMD を脱がずに外部の情報を把握することができ，また，特に側面のモジュールを取り外した際には，外部の人もHMD 装着者の表情や視線を獲得することができる．この研究の初期の成果は，ヒューマンインタフェース関連の最大の国際会議ACM SHIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems の Late-breaking work に採択された（採択率 39.0%）．また，国内最大の査読付き会議である情報処理学会シンポジウムインタラクションのインタラクティブ発表にもプレミア枠で採択された．このデモはプログラム委員の推薦によるインタラクティブ発表賞にも選ばれるなど，初期の研究成果として十分な感触を得た．本共同プロジェクトは今年度で終了となるが，この成果をもとにして来年度のプロジェクトも申請済みである．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など




図 1. 頭部搭載型ディスプレイを変形型とし，HMD 装着者の視線を外界へ取り出す例




図 2. 改造した頭部搭載型ディスプレイの内側．広視野映像が閲覧できる他，それぞれのモジュール（図中ではレンズとして表示されている）を取り外して外界へ視線をむけることができる．

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，HMD を装着者した人を含む複数人でそれらの視線情報を共有することはとても難しい上に，それを解決する研究はほとんどなされていない．また，視線追跡装置を内蔵するヘッドマウントディスプレイが市販されつつあるが，仮想空間内での協調作業の支援についてもまだまだ検討が進んでいない．本研究は，本来覆われている HMD 装着者の視線を外界に直接開示することができるため，視線情報の共有が簡単であり，ソーシャルインタラクションの質を大幅に高めることができると期待できる．HMD の広視野化を研究する研究者は多いが，HMD 装着者が他者（HMD 非装着者）と協調して働く環境を設計する研究者は少ない．次年度は，対人社会心理学者など，周辺分野の研究者らに声をかけ，研究者ネットワークの拡大や分野横断型の研究に発展させていきたい．

［4］成果資料（謝辞あり）


- ✓ 遠藤 勇，高嶋 和毅，井上 理哲人，清川 清，藤田 和之，北村 喜文，周辺とのアドホックなインタラクションを実現する再構成可能な VR HMD，情報処理学会シンポジウムインタラクション予稿集【審査によりプレミアム発表枠】【インタラクティブ発表賞（プログラム委員推薦）】
- ✓ Isamu Endo, Kazuki Takashima, Makiato Inoue, Kiyoshi Kiyokawa, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, A Reconfigurable Mobile Head-Mounted Display Supporting Real World Interactions, Extended Abstracts of CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21) to appear.

採択番号 (Grant No.)：R02/A29

# Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）
Sungyoung Kim (Rochester Institute of Technology)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者 (Project Member List)：
大谷　真（京都大学大学院工学研究科）

延べ参加人数 (Total Number of Participants)　3 人

［2］研究経過 (Summary)

Due to the unprecedented pandemic, the PI could not visit RIEC and conduct scheduled research activities. The main goal of proposed research activities is to test feasibility of a portable electroencephalography (EEG) device, OpenBCI Ultracortex Mk IV EEG system to measure listeners' brain-related signal changes, associated with auditory spatial attention. The planned research activities were conducted in Rochester Institute of Technology (RIT) where the principal investigator (PI), Dr. Sungyoung Kim, belongs to. In addition, the PI researched a research method to observe a bottom-up attention through both behavioral and EEG measurements. For the behavioral experiment, the PI designed a modified Coordinate Response Measure (CRM) [Bolia et al., 2000] (as adapted for relevant studies [LeClair, 2017]). For the EEG experiment, the PI designed a modified auditory Odd-Ball game. Both experiments adapt a multi-layer loudspeaker array for spatial auditory attention.

［3］成果 (Results)

（3－1）研究成果 (Research Results)

The PI conducted a pilot study to collect a listener's brain responses using a portable EEG device, OpenBCI. The conduced experiment is an auditory Odd-Ball game that requests a participant to count an odd sound object (distinctively different in sonic structure both in timbre and time). Figure 1 is the collected data of a participant.

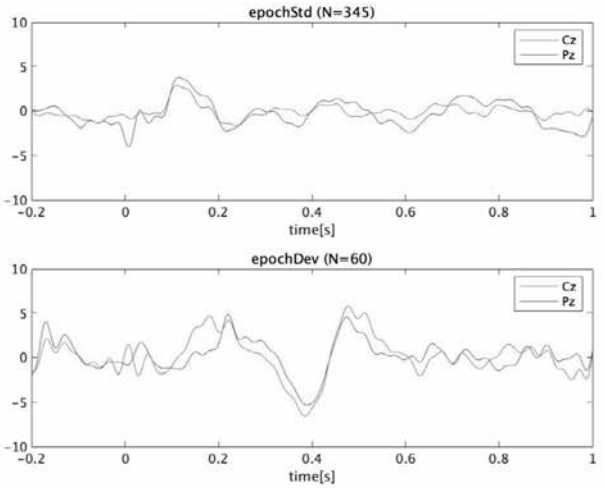



*Figure 1. Evoked Response Potential (ERP) measured with OpenBCI (a portable EEG measurement device). The top figure shows the ERP of the standard (Std) auditory signal; The bottom shows the odd, deviant (Dev) signal.*

The top figure shows the measured ERP associated with a standard (not attended) signal while the bottom shows the attended, deviant signal. The deviant (Dev) ERP amplitude is distinctively different from the standard one, in particular at the P300 region. Considering the previous studies on attention and P300, the pilot study provided a promising result of utilizing the OpenBCI for an auditory attention study. The PI hopes to conduct a similar experiment at RIEC in the next fiscal year when the trip to Japan becomes possible.

The PI also designed two experiments, one for a behavioral and the other for the EEG measurement for a cross-cultural comparison on listeners' bottom-up attention.

First, a behavioral experiment was designed; the experiment was based on the Coordinate Response Measure (CRM) [Bolia et al., 2000] (as adapted for relevant studies [LeClair, 2017]). In a typical plot, a CRM experiment uses a single loudspeaker to playback the 'focal' and 'background' sound streams and checks a listener's correct answers for targeted streams. For example, "Ready Charlie" is a preface to the target stream and participants should focus on words followed by this preamble. In the meantime, the masker or background stream plays simultaneously with a different

preface such as “Ready John”. In the modified experiment, the background audio stream will be reproduced from spatially separated speaker to evoke ‘spatial release’ of the masker. The research hypothesis is that Eastern Asians (mostly inter-dependent self-construals) will more sensitive to spatially separated background stream, relatively more than North Americans (independent self-construals). LeClair’s study [2017] showed that auditory selective attention performance was not differentiated specifically by a participant’s cultural background, but rather by one’s self-construal, regardless of background. We also hypothesize that self-construal can be influenced by cultural immersion: LeClair’s participants, college students in the U.S., were likely unconsciously “primed” to think independently due to their experience of living and studying in the U.S. Nisbett [2003] likewise emphasized contextual influence on self construals in his discussion of an experimental case study that revealed how it is “easy to bring one or another orientation (of a self-construal) to the fore” [p. 67], further proposing that “the cues that surround them would make people living in interdependent societies behave in generally interdependent ways, and those living in independent societies behave in independent ways” [p. 68]. LeClair’s East Asian American participants might not have self-construed as “interdependent” and “holistic” because of their experience living in the U.S. Therefore, conducting experiment in Japan with local participants is extremely important. Following these precedents, the experiment will test the auditory selective attention of pre-screened participants who are not immersed in a cultural context that contrasts that of their background (low immersion in lived cross-cultural experiences), and collect their individual self-construal measures.

Second, a new experiment to collect listeners’ EEG responses that are expected to differentiate two culture and geological background groups. The experiment will playback collocate Odd-Balls and spatially separated Odd-Balls and measure corresponding ERPs. A participant will be asked to focus and count the Odd-Balls from the center loudspeaker and ignore the Odd-Balls from other locations. It is hypothesized that the Eastern Asian group with interdependent personality will show stronger ERPs than the other group for the Odd-Balls from non-center locations.

（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.)

Currently, little experimental data exist to support or refute the significance of cultural influences on telecommunication interactions. The increasing prevalence of videoconferencing across all sectors—from business to education, and with extensive personal uses—demonstrates the necessity for innovative research on auditory selective attention and its role in audio-visual communications. In addition, global telecommunication applications create the impression that these technologies provide a “borderless” common communication space, yet cross-cultural differences in perception and cognition create invisible boundaries and unforeseen miscommunications. If such shared virtual interaction environments are understood and experienced differently based on cultural frameworks, communication affordances and user satisfaction with these virtual experiences vary accordingly. This proposed cross-cultural cognition research evaluates crossmodal attentional performance in videoconferencing to contribute actionable knowledge towards the improvement of virtual communication interfaces and interaction paradigms.

［４］成果資料　(Publications)

Currently there is no publication, associated with the proposed research project.

［5］References

Bolia, R. S., Nelson, W. T., Ericson, M. A., & Simpson, B. D. (2000). A speech corpus for multitalker communications research. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *107*(2), 1065–1066.

LeClair, J. (2017). *Listening Broadly: Comparing Cultural Differences in Holistic and Analytic Auditory Attention*, Ph.D. dissertation, U.C. Santa Barbara.

Nisbett, R. E. (2003). *The Geography of Thought: How Asians and Westerners Think Differently and Why*. Free Press, New York, NY.

**採択番号：R02/A30**

# 循環調節を介した予測的な視触覚の感度調整に関する研究

［1］組織
研究代表者：
石井　圭　（産業技術研究所）
通研対応教員：
羽鳥　康裕（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：２人

［2］研究経過

バーチャル・リアリティ（VR）技術に代表されるように，リアリティのある情報呈示に対するニーズが高まりつつある．そのような情報呈示技術の開発には，生体の感覚情報処理メカニズムを理解することが重要である．生体に入力される感覚刺激は常に同様に処理される訳ではなく，状況に応じた感度調整が行われている．例えば，凹凸のある板を手で触る際に上肢の血流が減少する．凹凸のない板ではそのような変化が低減することから，循環調整が触覚刺激に対する感度の上昇に関与していると考えられている．

感覚刺激の入力後に感度調整が働くと仮定すると，感度調整が行われている間に次の感覚刺激が入力される．感覚情報に基づく繊細な動作（微細加工など）が必要とされる場面において，重大なエラーを引き起こす可能性がある．そのため，感度を高めるべき感覚刺激を予測し，感覚入力と感度調整の遅延を小さくするようなメカニズムが生体に備わっていると考えられる．今回のプロジェクトでは，予測に基づく身体制御の脳内メカニズムを明らかにするための第一ステップとして，視覚から予測される触覚と実際の触覚の誤差が循環調節にどのような影響を与えるかを検討する．

本プロジェクトは本年度開始したため，実験環境の構築とその検証を目指した．具体的には，視触覚情報が一致しない刺激呈示方法を検討した．新型コロナウィルスの感染拡大を踏まえ，オンラインでの打ち合わせを中心に研究活動を行い，実験環境の確認は研究代表者の石井が電気通信研究所に来所し，オフラインで実施した（2020年9月）．

［3］成果

(3-1) 研究成果

視触覚情報が異なる刺激をヒトに呈示するための方法として，ヘッドマウントディスプレイ（HMD）と触覚呈示デバイスが活用できるかどうかについて検討した．なぜなら，触覚デバイスにより任意の触覚刺激を，HMD により任意の視覚情報を呈示できるため，物理的な刺激を使う場合よりも簡便，かつ，様々なパターンの視触覚刺激を呈示できるためである．

本年度は，触覚呈示デバイスにペン型の 3D Systems Touch を，HMD に HTC Vive を用いた（図１）．これらの機材を用いて，見えないが触れる刺激や見た目から予想される触感と実際の触感が異なる刺激呈示（図２）ができることを確認した．



図 １ 実験環境．実験参加者は HMD を装着し，触覚呈示デバイスを保持する．

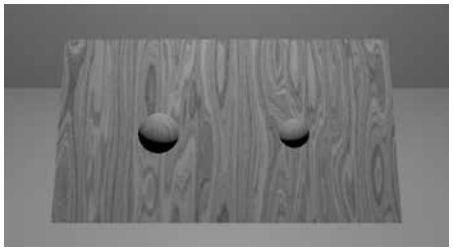


図２ 実験に用いた刺激．実験参加者は触覚情報から凸形状（実験中は不可視）のサイズ判断を行う．

本プロジェクトの目的を達成するためには，触覚感度の変化を計測する必要がある．そこで、予備実験として触覚情報から凸状の大きさの弁別感度を計測した（図３）．今回用いた実験機器によって，触覚刺激に対する感度が計測できることが分かった．今後，実験参加者の人数を増やすことを予定している．この結果を基に，視覚情報に基づく予測情報が，触覚刺激に対する感度調整に与える影響や，循環調整による感度調整メカニズムを検討する．

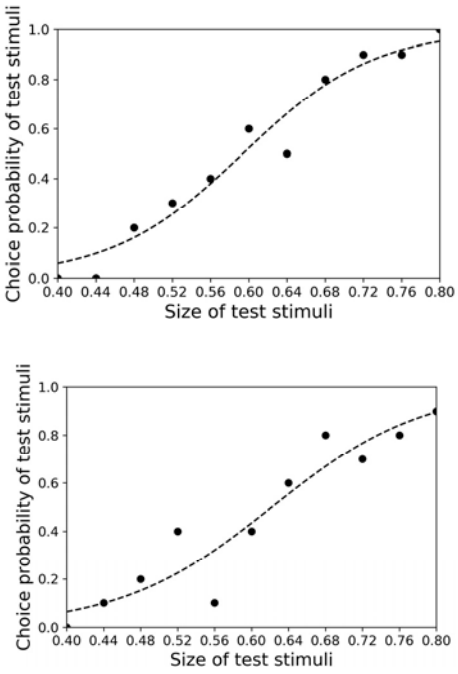



図 3 触覚情報に基づく凸形状の大きさの弁別感度．二名分の結果．

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本研究の結果はVR技術への応用が見込める．予測的な感度調整メカニズムが明らかになれば，あるタイミングで人間が何を予想・期待しているかを推測できる．その予測に合わせて情報呈示を行うことができれば，臨場感を高めることにつなげられる可能性がある．VR技術に対するニーズは今度ますます高まっていくと考えられるため，本プロジェクトの成果を産業や社会に還元できる．

［４］成果資料

（１）Ishii K, Asahara R, Komine H, Liang N, Matsukawa K. Contribution of the ventral tegmental area to spontaneous coactivation of the motor and cardiovascular systems in decerebrate rats. The FASEB J 34 Issue S1, 2020.

（２）Asahara R, Ishii K, Izaki T, Iwaki S, Komine H. Internal carotid artery blood flow response to cognitive task is similar between young and older adults. The FASEB J 34 Issue S1, 2020.

（３）Matsukawa K, Asahara R, Ishii K, Kunishi M, Yamashita Y, Hashiguchi Y, Liang N, Smith SA. Increased prefrontal oxygenation prior to and at the onset of over-ground locomotion in humans. J Appl Physiol 129: 1161-1172, 2020. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00392.2020

（４）石井圭．不整脈中の循環応答から考えるリスク評価．BIO Clinica vol. 35 (2020年8月臨時増刊号　プレシジョン・メディシンを目指した不整脈研究)：838-842, 2020.

**採択番号：R02/A31**

# 非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開

［1］組織

研究代表者
堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
安達 雅春（東京電機大学大学院工学研究科）
池口 徹, 長谷川 幹雄, リ アオハン, 後藤田 浩,
伊藤 拓海（東京理科大学工学部）
松本 朋子（東京理科大学理学部）
黒田 佳織（東洋大学情報連携学部）
藤原 寛太郎（東京大学国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構）
島田 裕（埼玉大学工学部）
神野 健哉（東京都市大学情報工学部）
木村 貴幸, 進藤 卓也（日本工業大学工学部）
松浦 隆文（日本工業大学先進工学部）
関屋 大雄（千葉大学大学院融合理工学府）
引原 隆士（京都大学大学院工学研究科）
安東 弘泰（筑波大学システム情報系）
黒川 弘章（東京工科大学工学部）
加藤 秀行（大分大学理工学部）
高橋 亮（京都先端科学大学工学部）
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（埼玉大学大学院理工学研究科）
橘 俊宏（湘南工科大学工学部）
保坂 亮介（福岡大学理学部）
伊藤 佳卓（北海道科学大学工学部）

延べ参加人数：81 人

［2］研究経過

実在あるいは将来の非線形・複雑工学システムに対し、最新の非線形系科学、複雑系科学、ネットワーク科学の知見を応用することにより、効率的で高性能、かつ、安全で安心な工学システムを実現する技術を開発することを目的として研究を行った。同時に、これらの実工学システムから得られた知見を、基盤となる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も本プロジェクトの大きな目的である。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。昨年度までの【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」の成果を活用・拡張すべく、非線形複雑システムの構成論的研究を推進した。

以下，研究活動状況の概要を記す。本年度はCOVID-19 の影響で、スムーズな研究会開催等ができなかったが、関連の深い 2 つの共同プロジェクト研究、【H30/B12】「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」と【H30/B17】「非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究」及び 12 大学合同「非線形ワークショップ」との合同で下記に示す 2 回の研究会を開催した。

《 第 1 回　非線形系・複雑系理論応用研究会 》
令和 2 年 12 月 13 日；東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟 A402 室及び Zoom によるオンラインとのハイブリッド開催；参加者数：39 名；
口頭発表者及びタイトル；
三浦英（東京理科大学）「発火間隔時系列を用いたニューロンへの共通入力の再構成」、土佐真義（東京理科大学）「TSP の枝候補に含まれる枝の長さの分布」、ジョ ロエン（東京理科大学）「コンタクトの特徴が情報拡散に与える影響の解析」、関屋大雄（千葉大学）「負荷非依存特性を出発点としたパワエレ諸研究」、對馬帆南（東京理科大学）「自転車再配置問題の実データに対する解法の性能調査」、藤原寛太郎（東京大学）「シナプス刈り込みの数理」、宮 南風（東京理科大学）「数理モデルを用いたニューロン比率不均衡による脳機能障害の原因解明」、大里辰希（千葉大学）「負荷非依存 E 級整流器」、金丸志生（東京理科大学）「リカレンスプロット密度の変化による非線形時系列の特性抽出」、朱　聞起（千葉大学）「進化的アルゴリズムを用いた E 級共振型コンバータの最適化設計手法」、山仲芳和（宇都宮大学）「運動特性に基づくヒトの性格推定に向けて」、池口徹（東京理科大学）「動画像処理に対する新手法の提案」、毛 福佳（東京理科大学）「マーク付点過程をネットワークに変換する手法の検討と楽曲構造解析への応用」、安東弘泰

（筑波大学）「ミニチュア交通模型における自律走行実験及び最適速度モデルとの比較」、黒川弘章（東京工科大学）「並列化PSOの評価」、澤田和弥（東京理科大学）「マーク付点過程に対する因果性解析手法の検討」、ASIYA（千葉大学）「Analysis and design of class $E^2$ capacitive power transfer system」、眞岸祈平（東京理科大学）「文書の特徴が言語ネットワークの構造的特徴に与える影響」、織間健守（東北大学）「蝸牛に基づく無反射伝送線路モデルを用いた音声認識の性能評価」、澤田幸輝（東京理科大学）「有向グラフとスペクトルグラフ距離」。

《 第2回　非線形系・複雑系理論応用研究会 》

令和3年2月27日；Zoom（口頭発表）とLINC Biz（ポスター発表）による完全オンライン開催；参加者数：73名；口頭発表者及びタイトル；

山仲 芳和（宇都宮大学）「多点探索型最適化手法の定常的な探索分布による性能変化について」、布川大知（東京都市大学）「音声スペクトラルにおける包絡と微細構造の特性に着目した雑音除去手法の提案」、大里 辰希（千葉大学）「負荷非依存$E^2$級DC-DCコンバータの設計」、加藤 秀行（大分大学）「非線形性を有するSTPモデルの提案と応答特性の解析」、齋藤　吏（東京都市大学）「ヒステリシスリザバーコンピューティングの基礎特性」、関屋 大雄（千葉大学）「分岐解析アルゴリズムを使ったパワエレ回路設計の具体例」、源河 拓巳（東京都市大学）「ジョブスケジューリング問題の解法について」、藤田 実沙（中京大学）「カオスニューロダイナミクスを用いたグラフ的シュタイナー木問題の解法の解探索時系列の解析」、朱　聞起（千葉大学）「ヒューリスティックアルゴリズムを用いた負荷非依存E級WPTシステムの最適設計」、堀尾 喜彦（東北大学）「Brainmorphic Hardware Paradigmについて」。

上記に加え、ポスター発表20件があった。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。まず第1に，高次元ダイナミクスを活用するカオスニューラルネットワークリザバーについて、そのダイナミクスの解析と性能の評価、さらには、3次元LSI実装のためのプロトタイプチップ作成及び実験による評価を行った。第2に，非線形理論を活用した電力変換回路については、特にE級コンバータの高周波化・小型化を達成した。第3に、非線形最適化については、PSOやカオスサーチ法などの様々な実問題への応用に成功した。第4に、脳の数理モデルに関して、シナプス刈込やSTDPによる神経回路について新たな知見を得た。その他、非線形時系列処理についても、マーク付き点過程の新たな解析手法の提案や、ネットワーク理論の動画像等への応用を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトには、多様な分野の研究者が参加しているが、COVID-19にもかかわらず複雑系・非線形系をキーワードとして、これら異分野間の交流が本研究を通して活発かつ円滑に行われた。本研究の学術分野への貢献として、電子情報通信学会・非線形問題研究会および複雑コミュニケーション科学研究会に大きな影響を与えると共に、NOLTA国際シンポジウムに対しても多大な貢献ができた。

［4］成果資料


1. T. Orima and Y. Horio, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 11(4), 624-635, 2020.
2. K. Miyauchi, Y. Horio, T. Miyano, K. Cho, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 11(4), 571-579, 2020.
3. H. Matsushita, W. Kinoshita, H. Kurokawa and T. Kousaka, Applied Soft Computing, 95, 106319, 2020.
4. Y. Shimada, K. Yamamoto and T. Ikeguchi, Chaos, 31(1), 013122, 2021.
5. A. Yoshida, Y. Shimada, and T. Kimura, Physica A, 566, 125597, 2021.
6. H. Mushiake, T. Ohshiro, S. Osawa, R. Hosaka 他, Optogenetics, 1293, 501–509, 2021.
7. T. Hachijo, H. Gotoda, T. Nishizawa, and J. Kazawa, Physical Review Applied, 14, 014093, 2020.
8. C. Aoki, H. Gotoda, S. Yoshida, and S. Tachibana, Journal of Applied Physics, 127, 224903, 2020.
9. T. Tokami, T. Hachijo, T. Miyano, and H. Gotoda, Physical Review E, 101, 042214, 2020.
10. N. Okada, M. Hasegawa, N.s Chauvet, A. Li, M. Naruse, Complexity, 8877660, 2021
11. N. Narisawa, N. Chauvet, M. Hasegawa, M. Naruse, Scientific Reports, 11, 4459, 2021
12. A. Shinozaki, T. Miyano, and Y. Horio, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 11(4), 466-479, 2020.
13. M. Inoue, K. Fukuda, and Y. Horio, Journal of Signal Processing, 24(4), 133-136, 2020.
14. 東 俊一, 高橋 亮, 計測と制御, 60(1), 39–46, 2021.
15. H. Matsushita, H. Kurokawa and T. Kousaka, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 11(4), 391–408, 2020.
16. T. Kanematsu, Y. Wan, K. Sanada, Z. Li 他, IEEE Open Joural of the Communications Society, 1, 1295–1305, 2020.

採択番号：**R02/A32**

# 多感覚音空間知覚の規定因に関する研究

［1］組織

研究代表者：
本多　明生（静岡理工科大学情報学部）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：3 人

［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，平成 26 年度から平成 28 年度に，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），平成 29 年度から平成 31 年度（令和元年度）に，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）「多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究」（採択番号：H29/A22）の助成を受けて，共同研究を行ってきた。その結果，頭部回転運動中は，音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること，その現象は能動的な運動だけではなく，受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えば Honda et al.，2020）。この知見は，頭部運動中は，聴取者には，高精細な動的な手掛かりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており，アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行う際に応用することが可能である。したがって，これまでの共同研究からは，多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解し，それをシステムに適切に反映させるうえで重要な研究成果を得ている。

本共同研究プロジェクト（先端的研究支援型）「多感覚音空間知覚の規定因に関する研究」（採択番号：R02/A32）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一層発展させること，具体的には，多感覚音空間知覚の規定因に関する研究結果をまとめ，音空間知覚の情報処理モデルの作成を行い，モデル検証のための聴取実験を行うことを目的とする。聴取実験では，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使用した心理実験を行う予定である。

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。

(1)　2020 年 10 月 14 日：Zoom を利用して研究打ち合わせを行った。
(2)　2020 年 12 月 15 日：Zoom を利用して研究打ち合わせを行った。
(3)　2021 年 2 月 17 日：Zoom を利用して研究打ち合わせを行った。
(4)　2021 年 3 月 29 日：Zoom を利用して研究打ち合わせを行う予定である。

［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した（Honda et al.，2016）。その後の研究によって，頭部回転運動中は，音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること，その現象は能動的な運動だけではなく，受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えばHonda et al.，2020）。

本年度は，Springer International Publishingから刊行された書籍「The Technology of Binaural Understanding」に，これまでの研究展開を包括的にまとめた論文を発表した。さらに日本音響学会誌に「頭部運動と音像定位」というレビュー論文を発表した。したがって，本年度予定していた「多感覚音空間知覚の規定因に関する研究結果をまとめる」という計画は高い水準で達成することができた。

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献など

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した（Honda et al.，2016）。その後の研究によって，頭部回転運動中は，音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること，その現象は能動的な運動だけではなく，受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えばHonda et al.，2020）。

この知見は，頭部運動中は，聴取者には，高精細な動的な手掛かりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており，アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行う際に応用することが可能である。例えば，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。以上のように，これまでの共同研究からは，多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解し，それをシステムに適切に反映させるうえで重要な研究成果を得ている。

［4］成果資料

(1) 本多明生・坂本修一・岩谷幸雄・鈴木陽一 (2020). 頭部運動と音像定位. 日本音響学会誌, Vol. 76 (1), 61-67.

(2) Suzuki, Y., Honda, A., Iwaya, Y., Ohuchi, M., & Sakamoto, S. (2020). Toward Cognitive Usage of Binaural Displays. In Blauert, J., & Braasch, J. (Eds),The Technology of Binaural Understanding (pp. 665-695). Springer International Publishing.

(3) Honda, A., Tsunokake, S., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2021). Determinants of Multisensory Auditory Space Perception. 東北大学電気通信研究所令和2年度共同プロジェクト研究発表会, 2021年2月18日, Web会議場 (Zoom).

採択番号（Grant No.）：R02/A33

# 脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ /メモリ コンピューティング基盤の研究

# In-Storage/Memory Computing Platform for Brain Neuro Science

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者 (Principal Investigator)：
Yoichiro Tanaka (RIEC)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Yoichiro Tanaka (RIEC)
研究分担者 (Project Member List)：
Yosuke Bando, MIT
Ed Boyden, MIT
Yoshihiko Horio, RIEC
Takahiro Hanyu, RIEC
Simon Greaves, RIEC

延べ参加人数 (Total Number of Participants)： 6人

［2］研究経過 (Summary)

The purpose was set to establish the PB-class high performance in-storage/memory computing system at the edge of data-heavy neuro-science analytics application and to contribute data-driven life science research.

Followings are the research status of this project;

(1) Magnetic Storage Pools;
In order to construct in-storage/memory computation testbed, four GPU/CPU-based computer nodes and three magnetic storage-based storage nodes have been installed in operation in Tanaka Lab, RIEC.

(2) All-Flash Storage Pools;
An all-flash NVMe-over-Fabric storage node was installed and attached to the system by May, 2020 to enhance the data access throughout to the testbed up to 100Gbps. An additional all-flash SATA/SAS storage node was also installed. Both all-flash storage nodes are able to communicate on 100Gbps ethernet for quick data read and write.

(3) Neuron Structure Visualization;
A 3D visualization software “BrainTour” has been developed in collaborative project by MIT Media Lab, Prof. Tanaka (RIEC), and Kioxia. The visualization software has been installed in operation in Tanaka lab under license.

(4) Research collaboration;
Collaborative actions on computation for neuroscience between Prof. Tanaka and Prof. Ed Boyden’s Synthetic Neurobiology team, Media Lab, MIT has been conducted in fiscal year 2020 as a continuation part of six-year collaboration. Brain neural structure data of Drosophila and Mouse were supplied to Tanaka Lab. by MIT for 3D-visualization analytics.

［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

The international collaboration between MIT Media Lab and RIEC, Tohoku Univ., on the research of the new in-storage/memory computing platform for brain neuro-science strongly enhances the inter-discipline academic approach to unveil the microscopic and multi-scale neuron topological analytics as well as the functions with intelligent in-storage/memory computation scheme. The collaboration also establishes the important academic foundation between MIT Media Lab and RIEC as opportunities of future joint research projects such as in-situ expansion sequencing computation or whole brain neuromorphic computation.

**Building In-Storage/Memory Computing Platform:**

In the research project, close unification of computation and storage functions was structured in the test-bed as shown in Fig.1 enclosing;

- Multiple GPU-based computing nodes with multi 100GBs memory space for neuro imaging

- PB-class capacity PMR-HDD storage pools with Xeon CPUs
- NVMe over Fabric high performance flash storage (Sub-PB capacity) with 100Gb/s connection to compute

The data access performance to PB-class magnetic storage pool was benchmarked to indicate that 20-drive striping achieved about 19kIOPS random write performance as well as 5GB/s read throughput.

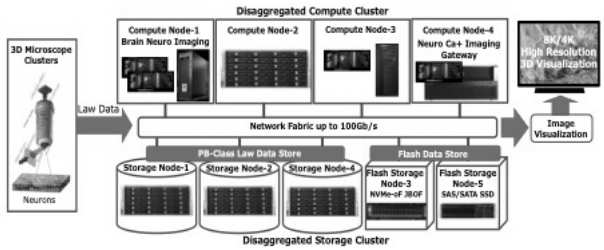



Fig. 1 Diagram of constructed in-storage computing platform (test-bed)

### 3D-Neuron Dataset Access Performance Evaluation:

By using a network protocol analyzer, the data loading time to 3D-visualization software tool "BrainTour" for Drosophila neuron microscope images (Fig. 2) was characterized. The neuron data was supplied by MIT Media Lab. The tested system enclosed up to 20 PMR disk drives with the maximum capacity 14TB each for striping.

The striping in RAID0 on disaggregated storage pools effectively accelerated the access speed and suppressed the latency tailing by about 150 msec as shown in Fig. 3.

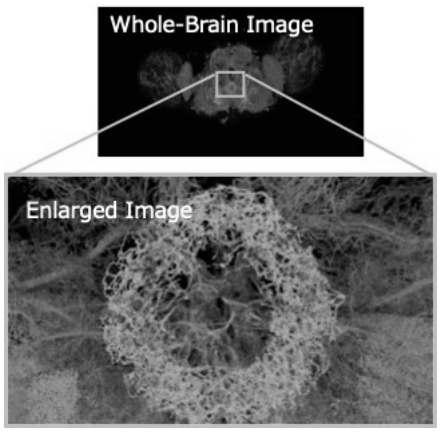



Fig. 2 3D-images from Drosophila whole brain neuron structure observed by Ex-LLSM.

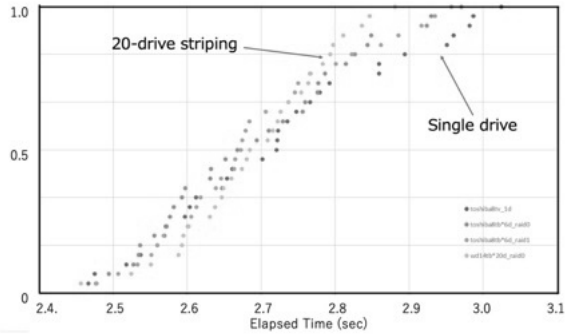



Fig. 3 Cumulative probability distribution of access latency for Drosophila neuron data from disaggregated storage pool

### (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)

As the first step of the cooperative research program, the in-storage/memory computing testbed has been structured and tested with big neuron structure microscope data supplied by Media Lab., MIT. The testbed becomes the foundation of extended research supported by Grant-in-Aid for Scientific Research (B) 20H02194, and Yotta Informatics research project.

The next step will be construction of an extended memory space connected to NVMe over Fabric flash storage area for object-based KVS data handling of larger datasets to enhance the cooperative research project.

The constructed in-storage/memory computing platform will be applied to "The Greenest Are Project" at the edges of computational storage network.

### [4] 成果資料 (Publications)

① Investigation of selective dual-layer recording only using spin torque oscillator, Trans. Mag. Soc. Jpn. 4, p1-4, 2020

② Related publication (collaborators in MIT): Expansion sequencing: Spatially precise in situ transcriptomics in intact biological systems, Science 371, eaax2656 (2021) 29 January 2021

**採択番号：H30/B04**

# プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成

［1］組織

研究代表者：

安藤　晃（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

石山　和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

高橋　和貴（東北大学大学院工学研究科）
船木　一幸（宇宙航空研究開発機構）
篠原　俊二郎（東京農工大学）
佐藤　浩之助（九州大学総合理工学研究院）
小紫　公也（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
高木　浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）
吉村　信次（核融合科学研究所）
永岡　賢一(核融合科学研究所)
上杉　喜彦(金沢大学理工研究域電子情報学系)
津守　克嘉（核融合科学研究所）
鷹尾　祥典(横浜国立大学大学院工学研究院)
服部　邦彦（日本工業大学共通教育系）

延べ参加人数：50 人

［2］研究経過

プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場は，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 1mW から 1MW 級へと広範な領域へと拡張が進んでおり，動作時間もフェムト秒から定常状態と種々の生成制御方式の開発が進んでいる．上記の研究進展過程において，超高エネルギー密度状態であるプラズマの圧力勾配，外部電磁場や固体壁などの境界条件との相互作用に起因して発生するプラズマの流れ場がその生成・制御技術を確立する上で重要な役割を担っていることが明らかになってきた．またそのプラズマ流中には，時空間領域において微細構造から巨視的構造に至るマルチスケール構造形成が起こることが近年の研究により示唆され，これらの構造形成・制御技術を積極的に制御することで，ナノデバイス分野から核融合プラズマ，宇宙開発に至る広範な分野で新たな応用研究が開始されている．

本研究では，次世代のナノ情報デバイス創製をはじめ，宇宙技術，エネルギー技術等の他の産業応用に関連した学際的な研究交流を積極的に推進し，プラズマ流中の時空間構造形成を活用した新規反応場を開拓することを目的としている．この実現のためには，時空間構造形成の学理の理解と独創的なアイディアを研究へと盛り込むことが必要であり，プラズマ流中の構造形成の基礎と応用に関する研究会を開催する．広範な分野で活躍する研究者との交流を深めることで，プラズマ流生成制御，各種応用，ナノバイオから核融合，宇宙開発に至る研究分野間で情報交換を行い，種々の研究を展開することを目的とする．

令和 2 年度の研究活動状況として，COVID-19 の影響もあり当初予定していた対面形式での研究会が実施出来なかったが，令和 2 年 10 月 22 日に誘電体バリア放電を用いたプラズマアクチュエータに関する国内セミナーを，また 11 月 5 日に最新のプラズマ関連研究成果に関する国内セミナーを開催した．

［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．まず第 1 に，高速処理が可能なミニマルシリコンエッチング装置の開発に関する研究である．現在の半導体生産において少品種大量生産方式として採用されているメガファブシステムに対し，近年の多種多様化するニーズへの対応にむけたミニマルファブシステムという多品種少量生産型の生産方式が提案されている．

この方式に対応し小型装置において高速で処理を行う技術として高周波プラズマを用いたシリコンエッチング装置の開発を行った.Si 基板を垂直に削る手法の 1 つとしてボッシュプロセスがあるが,基板エッチングに用いるプラズマを高速で ON/OFF 可能とすることで,デバイスに悪影響を及ぼすとされる側壁の凹凸(スキャロップ)の形成を抑えることに成功した．高周波プラズマの高速スイッチングを実現するには高周波マッチング回路の調整が難しくこれまで困難な技術であったが，周波数チューニング技術を開発することでこれを実現している．この成果は半導体生産の効率向上に向けた技術開発として高く評価されるものである．

第２に，デバイス形成に用いられるマグネトロンスパッタ装置を活用して小型で軽量化可能な人工衛星用の推進装置の開発を行った．イオンエンジンのような中和器を用いたり，燃料ガス用のボンベを搭載することなく，スパッタ源で放出したプラズマ及びスパッタされた金属イオンの反作用により推力を得る装置であり，近年注目を集めている小型衛星用の推進装置としても期待されている技術である．この推進装置では，異なる金属を用いた際のスパッタ効果と，直流電源及びパルス電源を用いることで異なった動作モードでの特性評価がなされた．銅スパッタを用いた際の推力増加が大きい点や高電圧動作可能なパルス電源を用いた際にセルフスパッタ効果による推力低下なども観測された.

第３に，微小な領域でのプラズマ放電による物体周辺の流れ場を制御する研究である．風力タービンや航空機は，翼部分周辺の気流状態が機械の性能に密接に影響する．特に流れの剥離と呼ばれる現象が起こるとこれらの機械の性能を著しく低下させる．本研究では，誘電体バリア放電を用いて気流制御を行うプラズマアクチュエータ(DBDPA)について実験的にその特性を評価した．特に，印加する電圧波形による特性変化について，物体周辺の流れ場や密度変化，翼が受ける抗力や揚力を調べている．kHz 領域の交流放電だけでなく，ナノ秒の高電圧パルス放電も用いて，短時間のプラズマ放電による発生した微小な擾乱が周囲の流れ場に大きな影響を及ぼす効果について詳細に調査し，擾乱による密度変化と渦形成が重要である点を明らかにしている.

第４に，核融合発電のために不可欠な中性粒子入射装置の高効率化を目指し，加速されたイオンビームを中性粒子へと変換させる中性化セルに関する研究である．ITER（国際核融合実験装置）など大型の核融合装置では入射粒子のエネルギーは 1MeV を越えるため,水素/重水素の正イオンを加速しても中性化効率が低く実用化が困難である．そのため，イオン源部で水素/重水素の負イオンを生成し,それを加速し，中性化する必要がある．荷電ビームは自身の空間電荷のためお互いに反発し，徐々に発散をしてしまうが，中性化セル内での同種ガス印加によってビームプラズマが発生しこの空間電荷効果を打ち消すことが出来る．この効果についてシミュレーションを行い，実際に可能であることや最適な中性化効率とビーム収束を同時に実現するガス密度分布を求めることが出来ることを明らかにした．また，この中性化効率を飛躍的に高める光中性化セル開発に向けた研究も進めた.

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献など

多岐にわたる産業応用が期待されるプラズマ流を用いた研究成果が報告され，討論が行われた．デバイス製造に関する研究から，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．本研究会では，プラズマ流の形成に関連して複雑な挙動を示すイオンや電子の生成・加速・加熱・計測手法などについて議論や情報交換を行い，その理解を進めることが出来た．今後さらにプラズマ流構造形成に関与する新規反応場の基礎研究および応用分野が発展・理解につながることが期待される.

［４］成果資料


1. R.Imai, K.Takahashi, "Demonstrating a magnetic steering of the thrust imparted by the magnetic nozzle radiofrequency plasma thruster", Appl. Phys. Letters **118**, 264102.(2021).
2. K.Takahashi, H.Miura, "Direct measurement of thrust induced by a magnetron sputtering source", Appl. Phys. Letters **118**, 154101(2021).
3. K.Hanaoka, K.Takahashi, "Vertical silicon etching by using an automatically and fast-controlled frequency tunable rf plasma source" , AIP Advances 11025013 (2021).
4. K.Mitsuhashi, A.Komuro, K.Suzuki, C.Natsume, A.Ando, "Spatiotemporal variations of the electrical potential on surface dielectric barrier discharges", Plasma Sources Sci. Technol. **30**, 04LT02 (2021).
5. K.Suzuki, A.Komuro, S.Sato, M.Sakurai, K.Mitsuhashi, N.Sekiya, Y.Watanabe, K.Kanagawa, A. Ando, “Development of small high-voltage AC power supply for a dielectric barrier discharge plasma actuator”, Rev. Sci. Instruments **92**, 024707 (2021).

**採択番号：H30/B06**

# 光の空間モードに関する研究開発

［1］組織

研究代表者：

浜本　貴一(九州大学大学院総合理工学研究院)

通研対応教員：

吉田　真人（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

姜　海松（九州大学大学院総合理工学研究院）

Mahmoud Nasef（九州大学大学院総合理工学府）

肖　何（九州大学大学院総合理工学府）

陳　賛輝（九州大学大学院総合理工学府）

韓 瑜（九州大学大学院総合理工学府）

岩崎　圭佑（九州大学大学院総合理工学府）

張　瑾（九州大学大学院総合理工学府）

曲　英磊（九州大学大学院総合理工学府）

宮地　郁孝（九州大学大学院総合理工学府）

延べ参加人数：１１人

［2］研究経過

本共同研究は、光の最後の情報資源と言われる空間モードに関する東北大学の光通信システムに関わる研究成果と九州大学のデバイスに関わる研究成果について討議を進め、将来の“空間モード学”ともいうべき新しい学術領域を切り開くことを目的とし、本共同研究の進展に基づき、科研費「新学術領域」への応募を目指すものである。

本プロジェクトは，本年度が第三年度で、以下のような成果報告会を行った。

会期　3月4日（木）

場所　ZOOMによるオンライン開催

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，上記日程にて令和元年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会を開催した。

テーマ名は以下の通りである。

「超高帯域通信のための次世代システムの創生に関する研究　ー光の空間モードに関する研究開発ー」

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、東北大電気通信研究所で行われている高速通信システムに関する研究開発状況、並びに九州大学総合理工学研究院にて行われているモード多重光デバイス、更には高速変調技術に関する研究内容についての理解が深まり、また、意見交換を進めることができた。将来の共同研究発展へむけ、今後検討を進めていきたい。

［4］成果資料

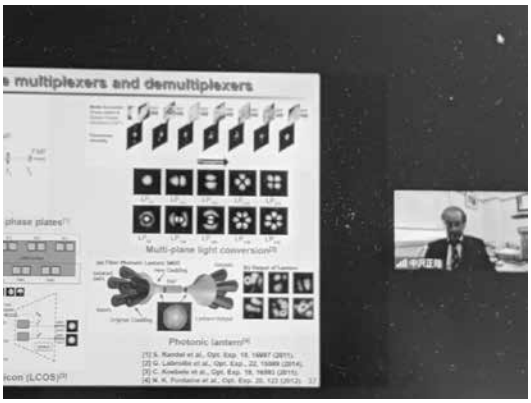
【研究会プログラム】

今年度は以下のプログラムにて研究会を実施した。

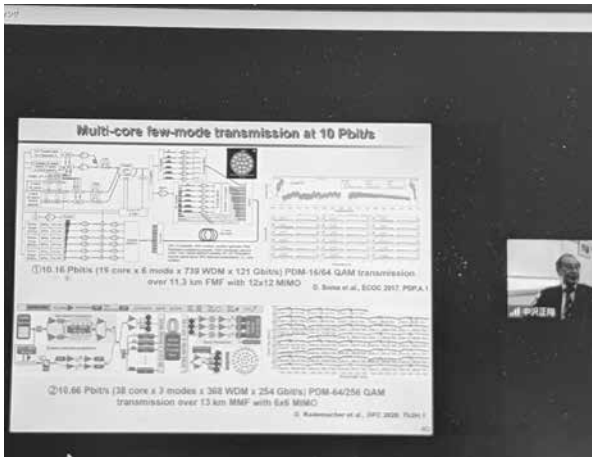
- (招待講演) 広帯域化に向けたメンブレンレーザの取り組み　松尾 慎治（NTT）
- アクティブ MMI レーザを用いたフォトン・フォトン共振制御理論　肖　何（九州大学）
- (招待講演) 共振器内部損失変調を併用した混合変調レーザの広帯域動作　八坂　洋、内山 香、横田 信英（東北大学）
- 注入同期法を用いた広帯域・高精度 WDM チャネル間相互位相変調雑音補償　管　貴志、佐藤 耕造、吉田 真人、葛西 恵介、廣岡 俊彦、中沢 正隆（東北大学）
- (招待講演)光通信における 3M の最新動向　中沢 正隆（東北大学）
- 61 GHz 帯 8 Gbaud, 256 QAM 光・無線融合フルコヒーレント伝送　　葛西 恵介、廣岡 俊彦、吉田 真人、中沢 正隆（東北大学）
- 12.8 Tbit/s(1.28 Tbit/s/ch x 10)-1500 km OTDM-WDM 偏波多重 DQPSK 光ナイキストパルス伝送　渡邊　碧、吉田 真人、廣岡 俊彦、中沢 正隆（東北大学）
- (招待講演) Space-Division Multiplexing: Recent achievements, prospects and limitations　Dr. Georg Rademacher　(NICT)
- ナノピクセルデバイスとモード制御の可能性　姜　海松（九州大学）

・ マルチコアファイバ中の GAWBS 雑音特性
吉田 真人、廣岡 俊彦、葛西 恵介、中沢 正隆
（東北大学）

今回は特に、モードの対象を縦モードに拡げ、最近話題になっているフォトン・フォトン共振についてのセッションを設け、活発な議論を行った。また、オンライン開催での初めての実施となり、結果として多くの方にご参加頂くことができた。今後、当該分野を含めた共同研究を検討していきたい。




研究会当日の様子 1




研究会当日の様子 2



研究会当日の様子 3

**採択番号：H30/B07**

# 酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用

［1］組織

研究代表者：
廣瀬　文彦（山形大学大学院理工学研究科）
通研対応教員：
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
Patrik Schmuki（University of Erlangen -Nuremberg）
Richard Rosenberg（アルゴンヌ国立研）
庭野　道夫　（東北福祉大学感性科学研）
水柿　義直　（電気通信大学情報理工学研究科）
守屋　雅隆　（電気通信大学情報理工学研究科）
手老　龍吾　（豊橋技科大学環境・生命工学系）
戸澤　譲　　（埼玉大学理工学研究科）
木村　康男（東京工科大学コンピュータサイエンス学部）
立間　徹　（東京大学生産技術研究所）
益田　秀樹（首都大学東京大学院都市環境科学研究科）
安田　哲二（産業技術総合研究所）
鹿又　建作　（山形大学大学院有機システム研究科）
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
馬　騰（東北大学・材料科学高等研究所）

延べ参加人数：60 人

［2］研究経過

金属酸化物は、薄膜トランジスタのみならず、光触媒、絶縁膜、センサー、太陽電池、水素製造、フレキシブルエレクトロニクスに活用される。また、近年では分子の吸着による酸化物薄膜の導電率変調を利用した医療用バイオセンサとしての研究も進められている。

これらを実現するために，酸化物をナノレベルで形状を制御する必要がある。ここでは、薄膜形成、自己組織化によるナノ周期構造形成、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、第 11 回 International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics を 2021 年 3 月 1-2 に日に開催した。その概要を以下に記す。

11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

2021 年 3 月 1 日

1.Virus detection using graphene FET
Kazuhiko Matsumoto
(Osaka University,　Japan)

2.　RT atomic layer deposition of aluminum silicate and its application to ion sorption, Fumihiko Hirose
(Yamagata University,　Japan)

3.Composition of supported lipid bilayers including ionic lipids on charged substrates,　Ryugo Tero, Natsumi Kobayashi, Yuu Nakagawa
(Toyohashi University of Technology, Japan)

4.Electrolyte stabilization of aperture-suspended bilayers for nanopore sensing,　Maurits de Planque
(University of Southampton, United Kingdom)

5.Reconstituting photosynthetic model thylakoid membrane in the polymerizedlipid bilayer scaffold
Takuro Yoneda1, Yuka Kusunoki1, Daisuke Takagi[1,2], Sophie A. Meredith[3], Ashley M. Hancock[3], Stephen D. Evans[3], Peter G. Adams[3], Kenichi Morigaki[1,4]
([1]Kobe University, Japan, [2]Tohoku University, Japan, [3]University of Leeds, [4]Kobe University)

6. Observation of cell-free synthesized Human ether-a-go-go related gene channels in artificial lipid bilayer
Mervin Wei Shern Goh[1], Haruka Inoue[2], Yuzuru Tozawa[2], Ryugo Tero[1] ([1]Toyohashi University of Technology,　Japan, [2]

Saitama University, Japan)

2021年3月2日
7. Perfect hexagonal anodizing: (Titania)Nanotubes and Porous Alumina Patrik Schmuki
(University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

8. Electromagnetic properties and structures of molecular nanocoils composed of organic charge transfer complexes
Yoko Tatewaki[1], Sadafumi Nishihara[2], Tomoyuki Akutagawa[3], Takayoshi Nakamura[4]
([1]Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan, [2]Hiroshima University, Japan, [3]Tohoku University, Japan, [4]Hokkaido University, Japan)

9. Artificial cell membrane as a novel platform for biosensing, Ayumi Hirano-Iwata
(Tohoku University, Sendai, Japan)

10. Nanopore dynamic chemistry for single-molecule sensing, Yi-lun Ying, Xinyi Li, Mengying Li, Yi-Tao Long
(Nanjing University, Nanjing, China)

11. AC impedance of a free-standing bilayer lipid membrane formed over an aperture in a nanofabricated silicon chip
Yasutaka Tomioka[1], Haruka Hirata[1], Shogo Takashima[1], Masataka Moriya[1], Hiroshi Shimada[1], Ayumi Hirano-Iwata[2], Fumihiko Hirose[3], Yoshinao Mizugaki[1]
([1]The University of Electro-Communications, Japan, [2]Tohoku University, Japan, [3]Yamagata University, Japan,)

12. Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel currents
Daisuke Tadaki[1], Ryusuke Miyata[1], Daichi Yamaura[1], Shun Araki[1], Madoka Sato[1], Maki Komiya[1], Teng Ma[2], Hideaki Yamamoto[1], Michio Niwano[3], Ayumi Hirano-Iwata[1,2]
([1]Tohoku University, Japan, [2]Tohoku University, Japan, [3]Tohoku Fukushi University, Japan)

この研究会の参加者数であるが、
1日目： 24人（うち外国人参加者 4人）
2日目： 38人（うち外国人参加者 18人）
であった。2日間のべ62人（うち外国人参加者 22人）であった。
同分野の若手研究者への働きかけを加速するために、電子情報通信学会電子部品材料研究会主催の若手ミーティングをオンラインで2021年3月3日に本プロジェクトとの共催の形で実施した。

電子情報通信学会電子部品材料研究会
2021年 3月3日(水)

(1)色素増感太陽電池の光電極でのジンク-チタニア多層コーティング効果
○鈴木拓馬・吉田一樹・鹿又健作・三浦正範・有馬ボシールアハンマド・久保田 繁・廣瀬文彦（山形大）

(2) P3HT:PCBM有機太陽電池のホール輸送層製造条件の検討
○斉藤 惇・吉田一樹・齋藤健太郎・鹿又健作・三浦正範・有馬ボシールアハンマド・久保田 繁・廣瀬文彦（山形大）

(3)$Sb_2S_3$/MgZnO太陽電池の作製及びポストアニールによる太陽電池特性の向上
○真部靖之・高野 泰（静岡大）

(4)金属ドープ型ビスマスフェライトの磁性に関する研究
○吉川雄貴・久保田直人・久保田 繁・廣瀬文彦・有馬ボシールアハンマド（山形大）

(5)磁気ホログラムメモリ用Bi置換希土類鉄ガーネットのFeサイト置換が特性に及ぼす影響
○是川真吾・中村雄一・井上光輝・林 攀梅・内田裕久・後藤太一（豊橋技科大）

(6)Effect of annealing temperature on magnetic properties of $LaFeO_3$ perovskite
○アリフ ビッラ（山形大）・Al Imran Hossain（Jagannath Univ.）・M. K. Roly（AEC）・有馬ボシールアハンマド（山形大）

(7)高濃度ビスマス置換磁性ガーネットスパッタリング膜の磁区構造と乱数生成器への応用
○中村出海・吉田秋太郎・水戸慎一郎（東京高専）

(8)乱数生成器に向けたLPEガーネット膜の探索
○山田海衆・水戸慎一郎（東京高専）

(9)磁気光学効果を用いた小型高速乱数生成器の開発
○吉田秋太郎・中村出海・山田海衆・水戸慎一郎（東京高専）

(10)化学溶液析出法による ZnO ナノロッド/CuO および ZnO/$Cu_2O$ ヘテロ接合の作製
○大本拓馬・寺迫智昭（愛媛大）・矢木正和（香川高専）

(11)スピンコート法を利用したフレキシブル基板上への磁性ガーネット粒子の成膜と特性調査

○舩木佑也・橋本良介・板谷年也・加藤寛喜（鈴鹿高専)・水戸慎一郎（東京高専)・内田裕久（豊橋技科大）

(12)窒化亜鉛表面でのジメチル亜鉛の吸着と窒化過程の評価
○田﨑太一・齋藤健太郎・吉田一樹・鹿又健作・三浦正範・有馬ボシールアハマンド・久保田　繁・廣瀬文彦（山形大）

(13)Low-temperature $TiO_2$ chemical vapor deposition using an atmospheric remote plasma system
○Nazir MD Shajed・Kazuki Yoshida・Kentaro Saito・Bashir Ahmmad・Shigeru Kubota・Fumihiko Hirose（Yamagata Univ）

(14)有機分子/CdS ナノコンポジットの合成及び水の光分解による水素製造評価
○大野優弥・東條郁也・久保田　繁・廣瀬文彦・有馬ボシールアハンマド（山形大）

(15)薄いCuOx膜を用いたZr/$ZrO_2$/Pt構造の電気的特性
○川合祐貴・山本和輝・大塚　祐・佐藤　勝・武山真弓（北見工大）

(16)オンチップ電磁石を利用して作製したCoナノ粒子配列からなる強磁性単一電子素子
○藤倉健太・浦江哲也・関根一真・守屋雅隆・島田　宏（電通大)・平野愛弓（東北大)・廣瀬文彦（山形大)・水柿義直（電通大）

(17)CNTを混合した脂質二分子膜越しに流れる電流変動量の印加電圧依存性
○平松大樹・佐藤　陸・平田はるか・守屋雅隆（電通大)・廣瀬文彦（山形大)・平野愛弓（東北大)・水柿義直（電通大）

(18)個別化医療のための hERG チャネル薬物副作用センサの構築
○渡辺恭也・横田澪央・加藤美生・佐藤まどか・但木大介・小宮麻希・山本英明（東北大)・庭野道夫（東北福祉大)・平野愛弓（東北大）

(19)膜内電界制御を可能とする人工脂質二分子膜に基づく新規イオンチャネル解析系の構築
○佐藤まどか・小宮麻希（東北大)・鹿又健作（山形大)・渡辺恭也・横田澪央・安藤大貴・影山弘典・馬　騰・但木大介・山本英明（東北大)・廣瀬文彦（山形大)・平野愛弓（東北大）

(20)脂質二分子膜の膜容量評価
○石川大修・八巻友祐・吉田一樹・齋藤健太郎・鹿又健作・三浦正範・有馬ボシールアハンマド・久保田　繁（山形大)・平野愛弓（東北大)・廣瀬文彦（山形大）

(21)Raspberry Piを用いた圃場の害獣対策の検討
○古川唯吹・平林智宏・佐藤　勝・武山真弓（北見工大）

(22)原子層堆積法による酸化亜鉛薄膜作製と薄膜トランジスタの試作
○鬼澤尚也・曽貝彗斗・吉田一樹・齋藤健太郎・鹿又健作・三浦正範・有馬ボシールアハンマド・久保田繁・廣瀬文彦（山形大）

(23)0.18μm 多端子 MOSFET 型センサの磁界検出動作の評価
○鈴木慎弥・及川康太・原田知親（山形大）

この研究会の参加者数であるが、35 人（うち外国人 2 人）であった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは、酸化物表面の機能修飾だけにとどまらず、細胞膜デバイスなどのバイオエレクトロニクスまで含む広範なテーマで討論が行われた。

酸化物機能表面の研究としては、山形大学で進められている室温原子層堆積技術を活用し、超格子酸化物薄膜を実現し、アルカリ金属イオン吸着機能を用いて、原子炉汚染で排出される Cs 汚染水の浄化の可能性が示され、高機能酸化膜の実用化が進んだことが確認された。

脂質二分子膜のデバイス応用では、東北大学を中心として山形大学、豊橋技術科学大学、埼玉大学、電気通信大学が連携し研究が進められ、脂質二分子膜に平行な電界を加えたときに細胞膜電位への影響について、実験的な評価が進み、イオンチャネル評価技術としての展開が示される結果となった。これら成果をもとに大型の国際研究プロジェクトにつなげていくことが期待される。

（3－2）波及効果と発展性

本年度は、コロナ禍の中、研究者の直接の往来が困難であったが、オンラインでの討論は活発に行われた。その成果として、横電界印加による脂質二分子膜チャネルの活性化機構に関する研究で、複数大学間の共同

による大型プロジェクト申請につながる可能性がある。また、機能性酸化物については、膜の超格子化による新機能探求の可能性は多岐にわたり、引き続き同研究分野の研究者との討論を展開し、大型チームプロジェクトへの展開を目指したい。

［4］成果資料

ジャーナル論文

1) Y. Mori, K. Yoshida, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose, “Room Temperature Atomic Layer Deposition of Aluminum Silicate and its Application to Na- and K-Ion Sorption”, Journal of The Electrochemical Society, Vol.167, 137502 (2020).

2) Kazuki Yoshida, Kentaro Saito, Keito Sogai, Masanori Miura, Kensaku Kanomata, Bashir Ahmmad, Shigeru Kubota, Fumihiko Hirose, ”Room temperature atomic layer deposition of nano crystallized ZnO and its application for flexible electronics”, IEICE transaction on Electronics, Vol. E104-C, No.7, 2021 掲載予定.

採択番号：**H30/B08**

# 集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立

［1］組織

研究代表者：
伊藤　雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）
通研対応教員：
高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
藤原　健　（大阪経済大学人間科学部）
坂本　大介（北海道大学大学院情報科学研究科）
吉田　成朗（東京大学大学院情報理工学系研究科 ）
杉浦　裕太（慶應義塾大学理工学部）

延べ参加人数：6 人

［2］研究経過

本研究では，新たなコンテンツやイノベーション創出において，集団で議論することの重要性が広く認識されるようになってきている昨今，その生産性向上のための，生産性取得に対する情報工学的アプローチと，社会心理学的検証手法の確立について議論する．具体的には，センサやカメラ，3 次元トラッキング技術や新たなデバイス実装といった情報工学知見を駆使して集団のコミュニケーション特徴を取得し，評価することで，知的生産性モデルを確立し，実際の社会心理額実験を通じたモデルの検証およびその利用を目指す．そのための要素としては，議論の深化・活性化を表す集合的なコミュニケーション特徴の議論と，これをコミュニケーションに影響を与えることなく環境に応じてセンシングする手法を開発，さらに，社会心理学実験の実施手法の確立と，実験を通じ得られたコミュニケーション特徴量と集団の知的生産性の関連についての議論，得られた手法のモデル化の実施と，実際のコミュニケーション場への適用に関する議論などが挙げられる．特に，本研究は，社会心理学と情報科学との連携を密接に図る必要がある．本研究では，関連分野で活躍する若手による研究会を開催し，それぞれの分野の強みや課題，さらにはこれら分野を超え，ロボット工学や人文学，デザイン学といった多種多様な分野を俯瞰して束ね，新たな知見を得ること，さらには要素技術を体系化することで今後の研究構想を練ることとする．

プロジェクトは，本年度は，二回の研究会を開催した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

１．一回目研究会

日時： 令和2 年 11 月 24 日～25 日

参加者：
伊藤　雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）
高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）
他，情報コンテンツ研究室の学生ら

内容と議論：

本研究の目標である集団の知的生産性の向上のために，知的生産性の取得という側面と，それを踏まえた知的生産性向上手法の確立の２つが重要である．そこで本研究会では，まず，実際の企業の知的生産場における課題を明らかにするために，企業における事例や知的生産性の現場について，報告をしてもらい，各々が持つ本研究課題に関連するハードウェア実装技術，ソフトウェア実装技術並びに最新の研究動向などがどのように適用可能か議論した．その後，その議論を元に，未来のオフィス空間に求められる計測技術，ロボット技術，映像投影技術，物理インタフェース技術などについて有意義な意見交換をすることができた．2 日目も継続して議論を実施した．その後，オンライン MTG を数回開催し，共同研究や共同での予算申請等の計画をまとめた．

［3］成果

（3－1）研究成果

上記研究会開催はいずれも充実したものであり，メンバー間の研究に対するビジョン，スキルなどを

共有するとともに「知的生産性の取得・評価と工場主法の確立」に向けた必要な要素やユーザインタフェース研究に求められる技術など確認することができた．また，分野横断的な視点についても充実した知識の共有ができた．特に，社会心理学の分野においては，情報技術の導入はまだまだ遅れており，心理実験においても実験開始から終了までの全体を通したアンケート評価や，参加者の状態取得がほとんどで，情報科学のメンバーが得意とするセンサによるリアルタイム状況解析や，様々なディスプレイデバイスによる被験者への情報提示やその行動変容などで，大きく貢献できる可能性があることが示唆された．これは我々のチームが分野横断型のアプローチを採っているからに他ならず，大きな強みと言えることを確認でき，大きな成果と言える．また，ここでの議論は間接的に，代表者の科研費獲得にもつながっており，別途の科研費も申請済みである．科研費以外でも各種財団の助成事業等へ準備を進めており，これらのアクティビティも本共同プロジェクトの成果と言える．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

(3-1)でも述べた通り,本プロジェクトは社会心理学と情報科学という二つの分野において，分野横断的アプローチを採り，人の知的生産性をどのように評価し，どのように向上できるかという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつけようとするものである．また，参加者はHCI業界における若手トップランナーであり，このメンバーによって共同研究プロジェクトを実際に立ち上げ，本邦の発展に寄与することを検討している．本プロジェクトそのものは今年で終了だが，来年度はその発展型の興津プロジェクトを開始する予定である．

［４］成果資料

・伊藤 雄一, 石原 好貴, 白井 僚, 藤田 和之, 高嶋 和毅, 尾上 孝雄, StickyTouch：局所的粘着性を制御可能なタッチディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2020, 25 巻, 4 号, p. 384-393, 公開日 2020/12/25, Online ISSN 2423-9593, Print ISSN 1344-011X, https://doi.org/10.18974/tvrsj.25.4_384, https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/25/4/25_384/_article/-char/ja,

・Y. Ishihara, Y. Itoh, R. Shirai, K. Fujita, K. Takashima and T. Onoye, "StickyTouch: A Tactile Display with Changeable Adhesive Distribution," 2020 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS), Crystal City, VA, USA, 2020, pp. 842-847, doi: 10.1109/HAPTICS45997.2020.ras.HAP20.4.b5d4a51b.

**採択番号：H30/B12**

# 高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立

［1］組織

研究代表者：
関屋　大雄（千葉大学大学院工学研究院）
通研対応教員：
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
魏　秀欽（千葉工業大学工学部）
高坂　拓司（中京大学理工学部）
引原　隆士（京都大学大学院工学研究科）
麻原　寛之（岡山理科大学工学部）
黒川　弘章（東京工科大学工学部）
菅野 瞭子（千葉大学大学院融合理工学府）
大里 辰希（千葉大学大学院融合理工学府）
ASIYA（千葉大学大学院融合理工学府）

延べ参加人数：55 人

［2］研究経過

無線電力伝送は最後の「有線」である電力伝送の無線化を目指すものであり、通信の無線化と同様のインパクトを社会に与え得る技術として大きな注目が集まっている。実際に iPhone では「置くだけ充電」が標準装備され、一方、EV 充電用として85kHz帯が割当てられるなど実用化に向けた研究開発が加速している。一方で、周波数が高くなるほど送電距離が延伸され、さらにシステムの小型化が実現できることから、MHz 帯 ISM バンド(6.78 MHz, 13.56 MHz)における無線電力伝送システムの開発に対しても高い期待が寄せられている。

高周波数動作を志向すると、送電、受電に関わる電力変換回路のスイッチング損失が増加するという問題がある。したがって、定格状態においてコイルからなる無線結合部、電力変換回路を一体化した最適設計が求められる。一方で、負荷に安定した電力を送ることも重要であり、負荷変動、送電コイルと受電コイルの位置ずれに対して頑強な制御手法を確立する必要がある。しかしながら、高周波無線電力伝送システムにおいては、定格状態において最適設計を達成したとしても、負荷変動、位置ずれが発生すると最適状態から外れてしまい、効率が急激に劣化するという欠点を持つ。これまで様々な方式が検討されてきたが、理論的に電力伝送効率を最大化させ、最適動作を可能とするシステム設計論は確立されていない。

本プロジェクトでは学際領域研究分野である無線電力伝送システムに関する研究開発について、各分野の専門家が一堂に会して議論する場を準備する。本提案では MHz 帯磁界共鳴型無線電力伝送システムにおける最適設計および負荷変動、位置ずれに対する高効率制御手法について議論することを目的として研究を進めている。

本プロジェクトは本年度が三年目であった。本年度は昨年に引き続き、高周波磁界共鳴型無線電力伝送システムにおいて

１．負荷変動、位置ずれに対して頑強な特性を有する回路トポロジ

２．物理的システムサイズの制約下での定格状態における最適設計手法

３．高効率特性を保証する制御方式

について検討した。

本研究テーマはパワーエレクトロニクス、マグネティクス、非線形最適化等複数分野からなる学際領域研究である。また、高周波動作を達成するためには、理論的なアプローチとともに GaN や SiC の次世代パワー半導体、さらに、コンデンサ、コイル等受動素子に対する実践的検討も重要である。以下に研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトは研究代表者の関屋が中心となり、電気エネルギーシステム（引原）、アナログ回路設計（堀尾）、高周波増幅器（魏）、非線形システム解析（高坂、麻原）、非線形最適化（黒川）、など多分野にまたがる専門家から構成される。これらメンバの多くが、電子情報通信学会会員であり、NOLTA ソサイエティ、通信ソサイエティ等の研究会の場で議論を進めた。さらに、１２月１３日に東北大学で、２月２７日にオンラインで「非線形系・複雑系の実在非線形･複雑工学システムへの応用に関する研究」および「非線形力学理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究」と合同でワークシ

ョップを開催した。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

高周波無線電力伝送において、システムの高周波化における受動素子の極小化、およびそれによる寄生成分の顕在化が問題となる。まず第１に、負荷非依存E級インバータにおいて、スイッチ素子の非線形性の影響を数理的に解明した。さらにその解析の妥当性を実験により確認し、非線形特性が回路動作に悪影響を及ぼすことを明らかにした(1)。

(2)では高周波無線電力伝送システムの受電部に用いられるE級整流器について、これまで調べられてきたパラメータ空間の外側について調査した。解析の結果、整流器のインピーダンスを自由にコントロールすることができるようになり、負荷変動、位置連れに頑強な高周波無線電力伝送システムの実現可能性が示唆された。

(3)では E 級インバータの高電圧ストレスの問題を解決するE/F 級整流器に対し、はじめて解析表現を与えることに成功した。（2）の成果を積極的に適用することにより、Φ級と呼ばれる特別な動作モードを実現させるための設計理論も確立した。この解析表現は、E/F 級の高調波共振周波数に依らない一般的な形であり、この式によりE/F 級およびΦ級の統一的設計表現を確立した。

(4)では、負荷変動、位置ずれに対して頑強な特性を有する回路として、それらが生じても出力電圧が変動しない「負荷非依存モード」を実現する整流器を提案し、その設計法を示した。負荷非依存モードの達成には(2)で開発した手法でインピーダンスをコントロールし、リアクタンス成分を零とするとともに、共振周波数をある特別な条件に満足させることが必要であることを示した。回路実験の結果は解析による予測と非常によく一致しており、解析式の妥当性および、提案整流器の有効性を示すことに成功している。

(5)では送電側について研究を行い、はじめて並列共振の負荷非依存インバータの設計・実現に成功した。提案回路は(1)で検討した負荷非依存E級インバータの双対回路とみることもでき、ふたつの共振構造を回路内に持たせ、その共振周波数を調整することで、負荷非依存モードを実現できることが明らかとなった。スイッチの時比率がどの値をとっても設計できるような一般化解析を行っており、並列共振インバータを用いた高周波無線電力伝送システム設計への道を開いたことは意義深い成果となる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、前述した複数の大学の研究者による交流により、議論が活性化され、無線電力伝送システムの設計にあらたな可能性を示すに至った。本プロジェクトメンバの多くを含め、電子情報通信学会NOLTA ソサイエティのメンバで科研費新学術領域など、大型予算の獲得へ向けて活動を進めている。本年度はコロナ禍の影響もあり、国際会議等でのセッション提案などはできなかったが、過去２年は企画してきており、次年度以降積極的に提案していきたい。

今後カーボンニュートラルの達成に向けた研究開発の中でワイヤレス給電システムを含む電源回路開発の重要性はますます高まってくる。３年間の交流、研究成果をきっかけに、パワエレ領域にあらたな視点を与えており、今後の発展が期待される。

［4］成果資料

（1）W. Luo, Y. Ogi, F. Ebihara, X. Wei, and H. Sekiya, ″Design of load-independent class-E inverter with MOSFET gate-to-drain and drain-to-source parasitic capacitances,″ Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, pp.267-277, Apr. 2020.

（2）Asiya, T. Osato, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, ″Analysis and design of generalized class-E rectifier,″ Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.11, no.2, pp.206-223, Apr. 2020.

（3）Asiya, X. Wei, J. Ma, T. Osato, W. Zhu, K. Nguyen, and H. Sekiya, ″Generalized Analysis and performance investigation of the class-E/Fn rectifiers,″ IEEE Access, vol.8, pp.124145-124157, June 2020.

（4）大里 辰希, アスヤ, 魏秀欽, 朱 閏起, グエンキエン, 関屋大雄, ″負荷非依存E級同期整流器の解析と設計,″ 電子情報通信学会, vol.J104-B, no.2, pp.83-92, Feb. 2021.

（5）A. Komanaka, W. Zhu, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, ″Generalized Analysis of Load-Independent ZCS Parallel-Resonant Inverter,″ IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2021.（採録決定）

**採択番号：H30/B13**

# 高次元ニューロダイナミクスと そのニューロハードウエア構築への展開

［1］組織

研究代表者
廣瀬　明　（東京大学大学院工学系研究科）
通研対応教員
佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
黒江　康明（京都工芸繊維大学
教育研究ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄｾﾝﾀｰ）
合原　一幸（東京大学生産技術研究所）
田中　剛平（東京大学生産技術研究所）
古橋　武　（名古屋大学大学院工学研究科）
橘　完太　（工学院大学情報学部）
Eckhard Hitzer（国際基督教大学教養学部）
松井　伸之（兵庫県立大学大学院工学研究科）
礒川　悌次郎(兵庫県立大学大学院工学研究科)
西村　治彦（兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科）
金城　光永（琉球大学工学部）
村瀬　一之（福井大学工学部）
西川　郁子（立命館大学情報理工学部）
新田　徹　（産業技術総合研究所）
小林　正樹（山梨大学工学部）
西森　康則（産業技術総合研究所）
澁谷　長史（筑波大学大学院
システム情報工学研究科）
山根　敏志（日本アイ・ビー・エム）
中野　大樹（日本アイ・ビー・エム）
山田　功　（東京工業大学大学院工学院）
中川　八穂子（日立製作所）
伊丹　哲郎（兵庫県立大学
人工知能研究教育センター）
延べ参加人数：２５人

［2］研究経過

人間と環境を調和させるには，要求される情報処理を効率的かつ迅速に行うことが必要不可欠であり，そのためには、アナログ情報，デジタル情報，時間情報，位相情報などを適材適所で利用し、最適化された情報表現を実現することが肝要である。さらに、実時間動作・低消費電力でニューロ処理を行うためには、すべての入力情報を通信でクラウドサーバに集めて処理して結果を配信するのではなく、入力端での処理すなわちエッジコンピューティングで前処理を行って通信量を削減することも重要技術になる。そこで本プロジェクトでは，豊かな表現能力を有する高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を最大限に引き出すための、最適な情報表現を見出すとともに、効率的かつ／または高速なハードウェア実現のため波動に基づく物理現象そのもの利用したニューラル高効率ハードウェア実現のための基礎技術を確立することを目的として研究を行った。

最終年度にあたる本年度は，３月２日にオンラインで研究会を開催し，各メンバーが関連する研究の進捗状況について報告し，今後の課題について議論した．以下に研究会のプログラムを示す．

1）Yicheng SONG, Akira Hirose（東大）
「フェーザ四元数自己組織化マップ(PQSOM)による適応的な地中埋設物可視化」
2）本郷嵩人、礒川悌次郎、松井伸之(兵庫県立大学)
「四元数畳み込みニューラルネットワークの構築と性能評価」
3）手操卓也、礒川悌次郎、松井伸之(兵庫県立大学)
「四元数量子ビットニューラルネットワークを用いた時系列予測」
4）新田徹（産総研／立教大大学院)、Hui Hu GAN（マレーシア日本国際工科院）
「直交変数可換四元数ニューロンの基本構造」
5）伊丹　哲郎（兵庫県立大）
「重ね合わせ原理は量子コンピューティングの必要条件か？」
6）黒江　康明（関西大）
「ニューラルネットワークの学習による分岐現象の実現法」
7）山田　功（東工大）
“A pair of fixed point strategies with proximal splitting operators for certain inverse problems in data science”
8）Eckhard Hitzer（ICU）
“Airborne laserscanning data adjustment with conformal geometric algebra”

［3］成果

(3-1) 研究成果

複素ニューラルネットワークや四元数ニューラルネットワーク、さらにそれらを一般化した高次元ニューラルネットワークの研究は，ニューロの考え方を生かした理論構築やその電気電子デバイスやシステムとしての工学利用を指向している．エレクトロニクスの分野では，複素ニューロは複素振幅を扱うニューロであると言え，また四元数ニューロは偏波を表すポアンカレ球空間などに相当する3次元空間での情報を扱うニューロであると言える．特にそのコヒーレントな情報空間での学習の高い汎化能力が特長である．本年度は，複素ニューロと四元数ニューロを融合したフェーザ四元数ニューラルネットワークによる地中レーダに関する議論などを進めた．マイクロ波によって地中を観測する際，偏波と位相がターゲットに依存した形で相関をもって変化することを実験によって見出すとともに，その性質を抽出し判断に利用するフェーザ四元数ニューラルネットワークの理論を構築して実験でその有効性を示すことに成功した．このような発表を含む研究会を開催し最新状況を共有し議論することによって，ニューロハードウエアやシステムの展望を行った．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト遂行により以下について有用な知見が得られた．

・複素ニューラルネットワークにおける情報表現方法と情報処理性能に関する知見

・量子波動等の波動物理に基づくニューラルネットワークダイナミクスに関する知見

・最適な情報表現と効果的な波動物理とを融合したハードウェアの構成方法

［4］成果資料

(1) T. Ding, A. Hirose, “Online Regularization of Complex-Valued Neural Networks for Structure Optimization in Wireless-Communication Channel Prediction,” IEEE Access, 8, pp. 143706-143722, 2020.

(2) Y. Otsuka, T. Shimada, R. Natsuaki, A. Hirose, “Consideration on Singular-Point Generating Mechanisms by Analyzing the Effect of Phase-and-Polarization Optimization in PolInSAR,” IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 13, pp. 1625-1638, 2020.

(3) S. Shimomura, A. Hirose, “Adaptive Subsurface 3D Imaging Based on Peak Phase-Retrieval and Complex-Valued Self-Organizing Map,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 17, pp. 52-56, 2020.

(4) T. Nitta, H. H. Gan, “Fundamental Structure of Orthogonal Variable Commutative Quaternion Neurons,” Proc. 2020 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS), pp. 434-436, 2020.

(5) Y. El Haoui, E. Hitzer, S. Fahlaoui, “Heisenberg’s and Hardy’s Uncertainty Principles for Special Relativistic Space-Time Fourier Transformation,” Adv. Appl. Clifford Algebras 30, 69, 29 pages, 2020.

(6) E. Hitzer, “Exponential factorization of multivectors in Cl(p,q), p+q<3,” Math. Meth. Appl. Sci., 2020. DOI: 10.1002/mma.6629

(7) S. J. Sangwine, E. Hitzer, “Polar Decomposition of Complexified Quaternions and Octonions,” Adv. Appl. Clifford Algebras, 30, 23 2020.

(8) T. Itami, N. Matsui, T. Isokawa, N. Kouda and T. Hashimoto, “Measuring weighting factor of eigenstates in quantum superposition by classical mechanical ‘quantum’ computer,” 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), pp. 445-450, 2020.

(9) T. Itami, N. Matsui and T. Isokawa, “Quantum Computation by Classical Mechanical Apparatuses,” 2020 4th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR), pp. 112-115, 2020.

(10) M. Tsuji, T. Isokawa, M. Kobayashi, N. Matsui, and N. Kamiura,” A Projection Rule for Complex - Valued Associative Memory with Partial Connections, IEEJ Trans. Elec. Electron. Eng., 15, pp. 1327-1336, 2020.

(11) S. Hongo, T. Isokawa, N. Matsui, H. Nishimura, N. Kamiura, “Constructing Convolutional Neural Networks Based on Quaterion,” Proc. 2020 Int. Conf. Neural Networks (IJCNN2020-WCCI2020), 978-1-7281-6926-2/20, 2020.

(12) T. Teguri, T. Isokawa, N. Matsui, H. Nishimura, N. Kamiura, “Time Series Prediction by Quaternionic Qubit Neural Network,” Proc. 2020 Int. Conf. Neural Networks (IJCNN2020-WCCI2020), 978-1-7281-6926-2/20, 2020,

**採択番号：H30/B14**

# 未来型オフィス空間とインタラクション

Future Office Space and Interaction

［1］組織

研究代表者：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
通研対応教員：
藤田 和之（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）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）
伊藤 雄一（大阪大学 クリエイティブユニット）
市野 順子（東京都市大学 メディア情報学部）
中原 和洋（日本ユニシス㈱）
小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）
松島 咲季子（Learning Design Lab.）

延べ参加人数：8 人

［2］研究経過

本プロジェクトの目的は，オフィスにおけるワーカーのインタラクションや働く環境そのものの質的な改善を目指し，動的・適応型オフィス家具・空間の構築に関する知見を集め，研究コミュニティを構築し，前述の研究者の知見をさらに融合させることである．空間内での人の活動を計測し，理解するための知見，空間構築・デザインや什器に関する知見，空間・什器をダイナミックに動作させる要素技術の知見，さらには市場としてのニーズも取り入れながら，社会的意義の高いテーマ創出を目指している．

本プロジェクトに関わる研究会は，以前の共同プロジェクト「人と空間と情報技術」から引き続き 10 年目である．本年度は，ヒューマン・コンピュータ・インタラクション，空間デザイン，社会心理学等の多様な分野を専門とする産学の研究者・実務家らを招いて研究会を実施した（新型コロナウイルス感染防止のため，オンライン形式であった）．

以下に，研究会の詳細を示す．

・研究会名：未来型オフィス空間とインタラクション
日程：2021 年 2 月 26 日 14－18 時
場所：オンライン
回数：第 3 回
参加人数：8 名
参加者：
北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
大西 悠貴（東北大学 電気通信研究所）
丹野 隆幸（東北大学 電気通信研究所）
市野 順子（東京都市大学 メディア情報学部）
松島 咲季子（Learning Design Lab.）
小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）
中原 和洋（日本ユニシス㈱）
ほか

［3］成果

(3-1) 研究成果

各研究者・実務家による研究内容・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．発表順とタイトルを下に示す（敬称略）．

- 藤田：Adaptive Workspaces とその取り組み
- 中原:創造活動支援システムー誰もが安定して創造性を発揮できる空間ー
- 松島:最近の活動と考えていること・学びの空間のパタンランゲージ
- 北村: サイバー&リアルハイブリッドスペースにおける豊かなコミュニケーション
- 市野先生: VR×社会的交流の場の創生―バーチャル空間で人との心の距離を縮める―
- 小林：（タイトル非公開）
- 大西: 自走式壁面型ディスプレイの応用
- 丹野：ルームスケール VR における自走型プロップを用いた触覚提示・タッチインタラクション手法

発表の多くは，新型コロナウイルスの影響による社会の大きな変化を意識したものであった．一つの空間に集まって対面で仕事をするというこれまでの

オフィスのあり方を存続することが難しくなっている昨今において，コミュニケーションの難しさや作業の効率低下をいかに解決するか，ヒューマン・コンピュータ・インタラクション，空間デザイン，社会心理学等の多岐にわたる観点から取り組んだ内容が共有された．特に，テレワークが一般的になっている現在では，これまでのオフィス空間のような作業に最適化された空間でない環境で，いかにパフォーマンスを発揮できるかについては，活発な議論がなされ，今後の研究テーマとして発展性が見込まれた．

また，各発表者からの取り組み紹介を終えた後，「アフターコロナ時代のオフィス空間とは？」という題目で，議論が行われた．議論の中では潜在的な研究テーマが多数挙がり，大きく分けると「オンサイト・リモートワーカが共存するための技術」「モバイルワークを快適化するための技術」「室内での感染予防技術」の３つに集約された．

（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，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，学外研究者や実務家との交流が活性化し，本テーマに関わるネットワークが拡大され，共同研究の可能性が向上している．今後も本テーマに関して産学の幅広い分野からの研究者・実務家が集まり，市場のニーズを取り入れた研究テーマ創出，および社会への実装が期待される．

［４］成果資料

本テーマに関わる成果として，以下の発表が挙げられ，2021 年５月に発表予定である．

Kazuyuki Fujita, Aoi Suzuki, Kazuki Takashima, Kaori Ikematsu, Yoshifumi Kitamura. TiltChair: Manipulative Posture Guidance by Actively Inclining the Seat of an Office Chair, *Proc. of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)*, to appear.

**採択番号：H30/B17**

# 非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究

［1］組織

研究代表者：
神野　健哉（東京都市大学情報工学部）
通研対応教員：
堀尾　喜彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
坪根　正（長岡技術科学大学電気電子情報工学専攻）
中野　秀洋（東京都市大学情報工学部）
松下　春奈（香川大学創造工学部）
進藤　卓也（日本工業大学工学部）
山仲　芳和（宇都宮大学大学院工学研究科）
佐々木　智志（湘南工科大学工学部）

延べ参加人数：20 人

［2］研究経過

群知能最適化に関する研究・開発は，近年注目を集めている。本プロジェクトでは，このような群知能最適化の動作を非線形力学系理論に基づき解析を行い、その応用事例を開発することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第 3 年度であった。前年度までは，群知能最適化法での探索手法に関して解析を行い，群知能最適化が有する大域探索能力と局所探索能力のそれぞれに起因する機構を明らかにし，所望の大域探索能力および局所探索能力を有する群知能最適化の合成に関する研究を行なった。本年度はこれまでの研究も行いつつ、これまでの研究成果を基に応用に関する研究へ展開した。以下，研究活動状況の概要を記す。

連続最適化問題の解法には勾配法を基にした局所探索法が主に用いられるが、局所探索法は、局所解に陥り易く、解探索に時間を要する場合も多く、目的関数が多峰性関数の形状である場合、最適解を探索することは容易ではない。一般的には評価関数の勾配情報に基づいた探索が用いられるが、評価関数値のみが与えられ、評価関数式が陽に与えられない Black-box 最適化問題の最適解探索では勾配情報を必要としない直接探索法が望ましい。近年，群知能最適化と呼ばれる直接探索法が注目されており，これらは複数の探索個体が解空間で互いに発見した解情報の交換を行う確率要素を内包した確率的システムで最適値を探索する直接探索法である。このような確率的群知能最適化手法から確率的要素を排除した決定論的群知能最適化手法を対象に動作解析をした結果がこれまでに公表されているが、それらは主に群知能最適化に含まれる制御パラメータの値を決定するためのものであり、その動作の解析は統計力学に依っていることが多い。これに対し、本研究課題では群知能最適化の最適解探索に関与する本質的な動作を明らかにした上で、非線形力学系理論に基づき解探索に適した力学系を有する新たな探索個体で構成される群知能最適化法のアルゴリズムの構築を目指している。前年度に群知能最適化が有する大域探索能力および局所探索能力に起因する機構を明らかにした。これを元にそれぞれの機構の能力を最大限に発揮すべく、非線形写像を応用した探索システムの構築を行った。このような目的の下、非線形力学系および最適化アルゴリズムに関する造詣が深い研究者が参集し、各自の研究結果を発表・議論することで今後の展開を模索することを目的として研究を行った。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。本共同研究プロジェクトでは2020 年 12 月 13 日(日)に東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401、およびオンラインを併用し、共同プロジェクト・非線形ワークショップの合同研究会を開催した。合同研究会は本共同プロジェクト(H30/B17『非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究』)と R02/A31『非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開』、H30/B17『高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立』および非線形ワークショップとの合同で開催したものである。参加者は 26 名で各共同プロジェクトの成果をオーラル、およびポスターで発表し、その内容に関して活発な

討議を行った。

2021 年 2 月 27 日(土)にもオンラインで共同プロジェクト・非線形ワークショップの合同研究会を開催した。また 2020 年 11 月 16 日(月)から 11 月 19 日(木)にオンラインで開催された電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ主催の国際会議『2020 非線形理論とその応用に関する国際会議』においては”Optimization Algorithms with Nonlinear Dynamics”という Special Session を開催し約 30 名の参加者らと討論した。

さらに 2021 年 3 月 1 日(月)、3 月 2 日(火)にオンラインで開催された信号処理学会主催の国際会議『2021 非線形回路、通信、信号処理に関する国際会議』においては” Optimization Based on Dynamical Systems” という Special Session を開催し約 30 名の参加者らと討論した。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

群知能最適化手法には様々な方法が提案されているが、本研究では主に粒子群最適化法に着目した。これは多くの群知能最適化手法が粒子群最適化法に帰着できるためである。この粒子群最適化法の解探索時の本質的な動作を明らかにするため、系から確率的要素を取り除き、系を決定論的システムとすることで解探索の動作を非線形力学系理論に基づいて解析した。その結果、系を構成する各粒子の固有値が動作に大きく影響していることを明らかにし、解探索に有効な固有値を明らかにした。複素固有値の場合、各粒子は相平面上で回転運動を呈し、その射影が大域的な解探索に有効であることを明らかにし、複素固有値の実部が正値である場合と負値である場合に関して研究を進めた。

正値である場合、不安定化し、軌道は発散するが、しきい値を設け、値を引き戻す機構を導入することでカオスが発生するようにし、これを探索に効果的に用いることを検討した。カオス軌道を用いることで、これまでにない大域探索能力を有したシステムを構築することが出来た。しかしながら、このシステムでは局所探索能力が低下することを解明した。

複素固有値の実部が負値の場合は探索途中での収束が解探索性能に悪影響を与えることを明らかにし、実部がゼロすなわち、固有値が虚数の場合のシステムを提案した。このシステムは動作がこれまでのシステム以上に簡素になるものの、探索点分布が望ましくないことに起因して、やはり解の局所探索能力が低下することも明らかにした。これらの問題点を克服することを目指し、非線形写像のダイナミクスを積極的に利用した非線形写像最適化(NMO)を提案した。解探索時の各粒子のダイナミクスに着目し、解探索能力を向上させる試みはあまり行われておらず、本研究内容は非常に注目されている。この結果を元に宇都宮大学山仲が非線形力学系に基づく複数解探索アルゴリズムを、長岡技術科学大学坪根が離散時間力学系を利用した多点探索型最適化を開発、提案した。これらは機械システムの最適化、ディジタルフィルタの最適化などへの応用も提案した。

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでの研究成果は電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティが主催し、沖縄で開催予定であったがコロナ禍の影響により完全オンラインで 2020 年 11 月 16 日から 11 月 19 日に開催された『2020 年非線形理論とその応用に関する国際会議』(2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications; NOLTA 2020) において、Special Session, “Optimization Algorithm with Nonlinear Dynamics”を企画し、プロジェクトメンバーを中心として研究発表が行われた。この Special Session は発表件数 5 件で非常に活発な質疑応答が行われた。

また 2021 年 3 月 1 日(月)、3 月 2 日(火)にオンラインで開催された信号処理学会主催の国際会議『2021 非線形回路、通信、信号処理に関する国際会議』(RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2021; NCSP2021) において “Optimization Based on Dynamical Systems” という Special Session がプロジェクトメンバーを中心に企画された。この Special Session は発表件数 6 件で非常に活発な質疑応答ならびに情報交換が行われた。

［4］成果資料

（1） Haruna MATSUSHITA, Wataru KINOSHITA, Hiroaki KUROKAWA, Takuji KOUSAKA, “Particle swarm optimization-based strategy for detecting border-collision bifurcation points in piecewise smooth maps”, Applied Soft Computing, vol. 95, pp. 106319-1-11, 2020.

（2） Haruna MATSUSHITA, Hiroaki KUROKAWA,

Takuji KOUSAKA, “Bifurcation Analysis by Particle Swarm Optimization”, IEICE NOLTA, vol. 11, no. 4, pp. 391-408, 2020.

（3） Yoshikazu Yamanaka, Katsutoshi Yoshida, “Simple gravitational particle swarm algorithm for multimodal optimization problems”, PLoS ONE 16(3), e0248470, March 18, 2021.

（4） Kenya Jin’no, “Analysis of Particle Swarm Optimization by Dynamical Systems Theory”, IEICE NOLTA, vol. 12, no. 2, 2021 (Accepted)

（5） Atsuhiro Uchiyama, Kenya Jin’no, “Evaluation of Clustering with DBSCAN”, Proc. of International Conference on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 159 - 162, 2020.

（6） Fu Asano, Kenya Jin’no, “Evaluation of Super-Resolution Image by Deep Neural Networks”, Proc. of International Conference on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 163 - 166, 2020.

（7） Takumi Genka, Kenya Jin’no, “Constraint Satisfaction Problems Solver by Hysteresis Neural Networks”, Proc. of International Conference on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 167 - 170, 2020.

（8） Haruna MATSUSHITA, Hiroaki KUROKAWA, Takuji KOUSAKA, “Improved Nested-Layer Particle Swarm Optimization for Bifurcation Point Detection on Discrete Dynamic Systems”, Proc. of International Conference on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 397 - 400, 2020.

（9） Yoshikazu Yamanaka, Takeshi Igarashi, Katsutoshi Yoshida, “A parameter study of gravitational particle search algorithm for path planning, Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 401-404, 2020.

（１０） Tomoyuki Sasaki, Hidehiro Nakano, “A Spiking-Oscillator-Based Particle Swarm Optimization, Proc. of International Conference on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 172 - 175, 2020.

（１１） Yoshikazu Yamanaka, “Basic investigation of steady and transient searching behavior in particle swarm optimization”, Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 170-173, 2021.

（１２） Taichi Fukawa, Kenya Jin’no, “A Proposal for a Noise Reduction Method Focusing on Spectral Envelopment and Fine Structure of Speech”, Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 246-249, 2021.

（１３） Tsukasa Saito, Kenya Jin’no, ″A Fundamental Property of Hysteresis Reservoir Computing”, Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 81-84, 2021.

（１４） Masanao Yasumuro, Kenya Jin’no, “Japanese Sign Language Recognition from RGB image”, Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 333-336, 2021.

（１５） Haruka Oka, Kenya Jin’no, “Interpolation of OpenPose Data using SVR”, Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 329-332, 2021 .

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/B18**

# ユビキタスコンピューティングの インフラストラクチャ化に向けた実証的研究

［1］組織

研究代表者：
村尾　和哉（立命館大学情報理工学部）
通研対応教員：
北形　元　（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
荒川　豊　（九州大学大学院システム情報科学研究院）
内山　彰　（大阪大学大学院情報科学研究科）
猿渡　俊介（大阪大学大学院情報科学研究科）
中村　嘉隆（公立はこだて未来大学システム情報科学部）
木谷　友哉（静岡大学大学院総合科学技術研究科）
鈴木　秀和（名城大学理工学部）
神崎　映光（島根大学大学院総合理工学研究科）
米澤　拓郎（名古屋大学工学研究科）
川原　圭博（東京大学大学院工学系研究科）
岩井　将行（東京電機大学未来科学部）
梶　克彦　（愛知工業大学情報科学部）
荒瀬　由紀（大阪大学大学院情報科学研究科）
廣井　慧　（名古屋大学未来社会創造機構）
石田　繁巳（九州大学大学院システム情報科学研究院）
松井加奈絵（東京電機大学理工学部）
高橋　秀幸（東北大学電気通信研究所）
西尾　理志（京都大学大学院情報学研究科）
渡邉　拓貴（北海道大学情報科学研究院）
大西　鮎美（神戸大学大学院工学研究科）
神山　剛（長崎大学情報データ科学部）
延べ参加人数：22 人

［2］研究経過

本プロジェクトでは，ユビキタスシステムの基盤となる，センサ・ネットワーク・サービスという 3 つの研究領域を融合することと，実世界へのユビキタスシステムの導入した際の課題を明らかにすることを目的として，1 年間研究してきた．本プロジェクトは，本年度が第 3 年度であった．本報告書では，本プロジェクトの成果として，1)セキュリティ，2)都市，3)健康，4)災害，5)人間情報学の領域での研究成果を報告する．

なお、研究活動状況としては，2020 年 11 月 27 日～28 日に東北大学電気通信研究所およびオンラインにおいて研究会を開催した．研究会には，本研究グループからの 10 名に加えて，関連する別の研究グループからも 15 名が参加し，計 25 件の最先端研究が発表された．

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第 1 の研究成果として，生体情報計測の**セキュリティに関する研究成果**を報告する．研究代表者である立命館大・村尾は，身体に圧迫などの刺激を加えることで脈波から計測される心拍数を任意の値に制御する手法[4-1]を提案した．

第 2 の研究成果として，**都市の分類に関する研究成果**を報告する．名古屋大・米澤は，大量のセンサデータから都市が多様性（ダイバーシティ）を有するかを分析する手法を提案した．大阪大・内山は，市販の Wi-Fi 基地局と小型アンテナを用いた人の移動検出手法[4-2]を提案した．

第 3 の研究成果として，**コロナウィルスへの感染拡大防止に関する研究成果**を報告する．東京大・川原は，建物内に設置したビーコンと人がもつスマートフォンを利用した人の接触追跡アプリ MOCHA[4-3]を開発した．

第 4 の研究成果として，**災害シミュレーションに関する研究成果**を報告する．名古屋大（現京都大）・廣井は，水害被害をリアルタイムに予測する減災オープンプラットフォーム ARIA[4-4]を開発した．長崎大・神山はツイート解析と統計的異常検知による通信障害検出システム[4-10]を提案した．

第 5 の研究成果として，**人間の能力認識・拡張に関する研究成果**を報告する．北海道大・渡邉は周波数操作を行うことで本来聞こえない音を聞こえるようにする聴力自在化技術[4-8]を提案した．大阪大学・内山は車いすバスケットボールにおける操作や

回転の分類手法[4-9]を提案した.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

大阪大・猿渡は，本プロジェクトを通じて議論してきた電波空間APIに関する研究がJST戦略的創造研究推進事業さきがけ研究領域「IoT が拓く未来」に採択された.

- プロジェクト名　物理空間と電脳空間を統合するための電波空間APIの実現
- 資金制度，研究費名　JST さきがけ
- 配分機関名　科学技術振興機構
- 研究期間　R2年10月からR6年3月まで

京都大（現東工大）・西尾は，本プロジェクトを通じて議論してきたIoT通信ネットワーク基盤に関する研究がJST戦略的創造研究推進事業さきがけ研究領域「IoTが拓く未来」に採択された.

- プロジェクト名　IoT 連携基盤による先端防災ITの実現
- 資金制度，研究費名　JST さきがけ
- 配分機関名　科学技術振興機構

研究期間　R2年10月からR6年3月まで

名古屋大（現京都大）・廣井は，本プロジェクトを通じて議論してきた先端防災ITに関する研究がJST戦略的創造研究推進事業さきがけ研究領域「IoT が拓く未来」に採択された.

- プロジェクト名　通信・電磁情報と行動認識に基づくIoT機器に対するトラストの実現
- 資金制度，研究費名　JST さきがけ
- 配分機関名　科学技術振興機構
- 研究期間　R2年10月からR6年3月まで

2020年9月に国際会議ACM UbiComp/ISWC2020において立命館大・村尾，名古屋大・廣井は，人間行動認識を対象としたワークショップHASCA2020を開催した.

- 会議，シンポジウム名　HASCA2020
- 日時　2019年9月12日
- 開催場所　オンライン
- 参加人数　266人

［4］成果資料

（1）澤野亮太，岡本雅弘，土田修平，寺田努，“村尾和哉: 脈波計測値を改変するための腕締め付けデバイスの設計と実装,” 情報処理学会インタラクション2021，デモ，pp. 232-233，Mar. 2021.

（2）庄子和之，廣井 慧，米澤拓郎，酒田理人，河口信夫，“滞在に関する時系列情報を用いたエリア毎の分散表現,” 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOMO2020シンポジウム，pp. 1008-1013，June 2020.

（3）https://mocha.t.u-tokyo.ac.jp/

（4）廣井 慧，井上朋哉，明石邦夫，湯村 翼，廣中 颯，菅野洋信，宮地利幸，篠田陽一，“ARIA: シミュレーション・エミュレーション連携基盤を利用したインタラクティブな都市型水害の被害予測システム,” 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. 10, No. 2, pp. 11-25, May 2020.

（5）梶 克彦，磯村 奎介，高井 飛翔，“気圧センサを用いたステップ認識手法,” 情報処理学会論文誌，Vol.62，No.1，pp.235-245，2021.

（6）雨坂宇宙，渡邉拓貴，杉本雅則，“外耳道伝達関数による頭部状態認識手法,” 情報処理学会論文誌，Vol. 61 No. 8，pp. 1333-1342，Aug. 2020.

（7）三嶽寛人，渡邉拓貴，杉本雅則，“足音と慣性データに基づく路面状況認識手法,” 情報処理学会論文誌，Vol. 61，No. 10，pp. 1578-1590 Oct. 2020.

（8）渡邉拓貴，寺田 努，“ウェアラブルコンピューティングにおける周波数操作による聴力自在化技術の提案,” 情報処理学会論文誌，Vol. 62，No. 2，2021.

（9）Ryosuke Hasegawa，Akira Uchiyama，Takuya Magome，Juri Tatsumi，Teruo Higashino，“Maneuver and Turn Classification in Wheelchair Basketball Using Inertial Sensors，Journal of Information Processing,” Vol. 62，No. 1，pp. 70-80，Jan. 2021.

（１０）山田尚志，落合桂一，横井靖弘，神山剛，鳥居大祐，“機械学習を用いたツイート解析と統計的異常検知による通信障害検出システム,” 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. 10，No. 2，pp. 1-10 May. 2020.

（１１）大西杏菜，川崎仁嗣，神山剛，伊藤駿，深澤佑介，“生活圏を考慮した施設情報検索システム,” 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. 10，No. 3，pp. 35-44，Oct. 2020.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H30/B20**

# 「こころ」を生み出す脳内機構の理解

研究代表者：
筒井 健一郎（東北大学生命科学研究科）
通研対応教員：
塩入 諭（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
下條 信輔（カリフォルニア工科大学生物工学）
酒井 宏（筑波大学情報学群）
西田 眞也（京都大学情報学研究科）
村上 郁也（東京大学社会学系研究科）
宇賀 貴紀（山梨大学医学部）
河原 純一郎（北海道大学文学研究科）
田中 真樹（北海道大学医学研究科）
一川 誠（千葉大学文学部）
吉田 正俊（生理学研究所）
冨田 浩史（岩手大学理工学部）
金子 寛彦（東京工業大学工学院）
齋木 潤（京都大学人間環境学研究科）
小川 正（京都大学次世代研究創生ユニット）
渡邊 克己（早稲田大学基幹理工学部）
七五三木 聡（大阪大学医学系研究科）
佐藤 暢哉（関西学院大学文学部）
鮫島 和行（玉川大学脳科学研究所）
栗木 一郎（東北大学電気通信研究所）
松宮 一道（東北大学情報科学研究科）
岡谷 貴之（東北大学情報科学研究科）
天野 薫（情報通信研究機構）
林 拓也（理化学研究所）
坂本 一寛（東北医科薬科大学）
Sven Bestmann（UCL）
Peter Janssen（KU Leuven）
延べ参加人数：50 人

［2］研究経過

脳内の情報処理において，外的な刺激が処理されていかに主観的な知覚や認知が生るのか，また，それに基づいていかに行動が発現するのかを知ることは，こころの仕組みの理解につながるとともに，人の特性に適合した，使いやすくエラーが起こりにくい情報通信の技術やシステムを開発する上での重要な基盤知識となる。本研究においては，脳内情報処理に伴う神経現象や行動を対象として研究を展開している神経科学，および，認知・情報科学，計算論などの領域の研究者が一同に会し，それぞれの研究において取得された最新のデータを持ち寄り，議論することによって，神経・行動データに基づいた心の仕組みの理解を目指すことを目的とした。

コロナ感染症の流行によって，対面形式での研究会の開催は，本年度も見送らざるを得なくなった。一方で，新しい試みとして，オンラインで研究会を実施することとし，「参加しやすい」というオンラインメディアの強みを活かし，研究会の参加者（オンライン視聴者）について，これまでの研究分担者およびその研究室員から，研究分担者と研究上のつながりがある方，というように範囲を拡大することとした。

以下，研究会の概要を記す。

**研究会 「こころ」を生み出す脳内機構の理解**
**Understanding the brain mechanisms of "mind"**
**2021 年 2 月 26・27 日 開催，オンライン形式（zoom），参加人数 70 名**

中村 元昭
（昭和大学発達障害医療研究所 ・副所長（准教授））
「患者目線から考える精神疾患とコロナ禍」

今日，症候学，さらには，統計学的な診断基準やバイオマーカーに基づいた，「客観的」な精神医学が主流をなしているが，そこには，患者からこの世界がどのように見えているかという視点が欠けている。本講演では，自閉スペクトラム症やうつ病の患者が，この社会をどのように認識するのか，どのようなところに「生きづらさ」を感じているのか，について，議論が展開された。これらの患者は，感覚・知覚，注意，認知，感情，さらには、身体症状に，健常者と異なる傾向をもっており，健常者の論理を中心に成立している社会において，適応の困難を感じている。それらの問題を，われわれがどう理解し，これらの患者を受け入れるための社会基盤をどのように作っていくのか，という点が，これらの患者を「治療」することに加えて重要となってくる。

笠原 俊一
（ソニーコンピュータサイエンス研究所（Sony CSL）・

リサーチャー)
「Superception：人間と機械の融合、テクノロジーを用いた感覚への介入」
コンピュータ・インタフェースは，ヒトがコンピュータを道具として使うためにある。しかし、今日の技術革新によって，コンピュータがヒトの道具であることを超え，自律的な判断や行動能力を獲得しつつある。ヒトがそのようなコンピュータを使って，ヒト本来の能力を超える能力を獲得したり，本来とは異なる身体を獲得したりするとき，「自分」はどこまで「自分」であるのか，という問いかけをもって，さまざまなインタフェースデバイスを使ったときの知覚・認知・判断を研究する講演者の取り組みを紹介した。頭部に乗せた視野角360度のカメラの映像を，ヘッドマウント・ディスプレイによって他人に見せる，4名のプレイヤーすべてが，それぞれの視点のカメラ映像を共有しながら「鬼ごっこ」をする，など。このような試みを行うと，ヒトは新たなインタフェースデバイスを使いこなすようになり，従来の感覚・認知の限界を超える能力を獲得できるようである。その際には，「自分」のありようも変化しているようである。

上川内 あづさ
（名古屋大学大学院理学研究科／東北大学大学院生命科学研究科・教授)
「ショウジョウバエと蚊の求愛インタラクション」
ショウジョウバエや蚊は，われわれヒトよりもはるかに小さな神経系をもって生活しているが，非常に複雑な「社会行動」を示す。講演者は，ショウジョウバエや蚊の配偶行動に着目し，そこにおける羽音を介したコミュニケーションが，フェロモンなどの化学物質を介した情報伝達とともに，動物種や雌雄の区別に重要な役割を果たしていることを明らかにした。羽音を発生させるオスの運動機能と，羽音を聞き分ける聴覚器の機能が，動物種ごとに特異的に調節されており，さらには，温度などの環境の変化にも，柔軟に適応できるようになっているようである。

下條 信輔
（カリフォルニア工科大学・教授)
「潜在認知の現代～情報テクノロジーと認知バイアス」
情報テクノロジーによって現代社会は変わった。時間軸上では健忘症化(過去)・近視眼化(未来)が進む。また情報の軸上では情報実体化と、その裏返しのブラックボックス化が進む。そうした流れの中で、ヒトの認知バイアスに働きかけるポピュリズム・情動政治やオルタファクト・フェイクなどがはびこる。この講演の前半では，原発事故や原発経済を巡る諸事象，また米大統領選や直近のワシントン国会議事堂襲撃事件などを，分析した。後半では「認知のバイアス」に的を絞り，コロナ禍の統計を巡る数字のイリュージョンや反直感性などを例に掘り下げた。さらに最近話題の『反共感論』にからめて，注意のスポットライト性と遷移性が情報実体化・ブラックボックス化に貢献していることを指摘した。このように，矛盾に満ちた現代社会において，これらの諸相の裏側について知っている，われわれ情報・認知・神経科学者の啓蒙的な役割は，非常に大きいのではないか。

［3］成果

（３－１）研究成果
本年度は，カリフォルニア工科大学 下條信輔 教授をはじめとして，こころの研究にかかわるさまざまな領域（認知科学，神経科学，精神医学，コンピュータ・インタフェース開発など）を専門とする研究者に講演をいただき，こころを生み出す脳内機構，すなわち，外的な刺激が処理されていかに主観的な知覚や認知が生るのか，また，それに基づいていかに行動が発現するのかについての最先端の情報を共有し、議論することができた。
研究会では，従来よりも多くの参加者があったが，研究会は常に，独特の「熱気」に包まれた雰囲気で，講演に続くディスカッションは，問題を深掘りするような，非常に充実した内容となった。これは，オンラインという実施形式の予期しないメリットであった。一方で，対面式の開催方法で，休憩時間や懇親会にて行われてきた，同時並行的に多数の話題が平行して議論されるようなことはなく，研究会の場において新たな共同研究のアイデアが生まれるといったことは，起こりにくかったと考えられる。オンライン形式による研究会実施は，コロナ状況に対応するためのものであったが，そのために，オンラインメディアの発展性と限界が明らかになった。今後，コロナの感染状況が収束したあとでも，オンラインコミュニケーションの利点を活かし，対面式とオンラインのハイブリッド方式とするなど，効果的な実施方法を模索していきたい。

特別支援（国際）に係る研究成果
今年度は、コロナ禍にありオンラインによる研究会としたため、海外研究者の招聘は行わず特別支援予算は利用しなかった。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
とくに，下條教授，代表者の筒井，通研対応教員の塩入の三者の間で，「こころを生み出す脳内機構」

にかかわる国際共同研究の詳細について，打ち合わせを重ねた。早々に研究に着手する予定である。また，研究会のその他参加者なども，この3者を中心とした共同研究の枠組に参画して役割を分担をし，領域横断的な研究を推進していく予定である。

［4］成果資料

Honda Y, Nakamura S, Ogawa K, Yoshino R, Tobler PN, Nishimura Y, Tsutsui KI (2021) Changes in beta and high-gamma power in resting-state electrocorticogram induced by repetitive transcranial magnetic stimulation of primary motor cortex in unanesthetized macaque monkeys. Neurosci Res, in press

Hung SM, Wu DA, Shimojo S. (2020) Task-induced attention load guides and gates unconscious semantic interference. Nat Commun. 11: 2088

K Kobayashi, S Ono, Y Hatori, C Tseng, I Kuriki, S Shioiri (2020), Attempt on the measurement of voluntary attention measurement by EEG, IEICE Technical Report; IEICE Tech. Rep. 120 (306), 29-34

Y Horaguchi, Y Sato, S Shioiri (2020), Estimation of preferences to images by facial expression analysis, IEICE Tech. Rep. 120 (306), 71-76

Y Sato, K Matsubara, Y Wada, S Shioiri (2020), Analysis of human subjective evaluation using deep neural networks, EICE Tech. Rep. 120 (306), 77-80

TJT Hsieh, I Kuriki, IP Chen, Y Muto, R Tokunaga, S Shioiri (2020), Basic color categories in Mandarin Chinese revealed by cluster analysis, Journal of vision 20 (12), 6-6

R Teraoka, S Sakamoto, Z Cui, Y Suzuki, S Shioiri (2020), Effect of auditory spatial attention in rear side, The Journal of the Acoustical Society of America 148 (4), 2619-2619

**採択番号：H31/B01**

# 物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現

［1］組織

研究代表者：
古閑　一憲
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
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：
酒井　道
（滋賀県立大学工学研究科）
内田　儀一郎
（名城大学理工学部）
白谷　正治
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
林　康明
（大和大学理工学部）
三重野　哲
（静岡大学理学部）
金子　俊郎
（東北大学工学研究科）
布村　正太
（産業技術総合研究所電子光技術研究部門）
真銅　雅子
（大阪工業大学工学部）
鎌滝　晋礼
（九州大学大学院システム情報科学研究院）

延べ参加人数：３１人

［2］研究経過

【本研究の目的・概要】

本研究の目的は、反応性プラズマとインフォマティクスの協働による新規半導体プロセスの創成である。プラズマプロセスは、ULSI など半導体デバイス作製において重要な役割を果たすものであり、従来の微細化による高性能化のみならず、近年の 3 次元構造デバイスの作製においても必須の技術である。プラズマプロセスでは、プラズマ中に材料分子を導入し、室温程度のガス温度で高い化学的活性を実現している。作製構造物へのイオン照射などの物理的作用と化学的作用の重畳効果により、1㎚ 程度の寸法精度を 300 ㎜のウエハ上に実現するに至っている。

しかしながら、近年の構造物の微細化や複雑構造化によりプラズマと構造物のナノスケールでの相互作用（プラズマ・ナノ界面相互作用）とそのゆらぎが構造物の特性を決定づけており、物理的作用と化学的作用が混在する系におけるナノメートルよりも短いスケールでの相互作用の理解が今後のプラズマプロセスの成功の可否を握る鍵となる。この課題に対して、研究代表者は、プラズマ中で発生・成長する微粒子を構造物のモデルとして、微粒子の振る舞いからプラズマ・ナノ界面相互作用ゆらぎを明らかにするなど、微粒子プラズマ研究が課題解決の有効なアプローチとなりうることを明らかにしている。

近年のプラズマプロセスでは、プロセスパラメーターの増大とともに、パラメーター間の相互作用やこの時間発展を考慮した巨大なパラメータネットワークの動的解析を必要としている。この解決のため、インフォマティクスを利用したアプローチによる重要パラメーターの選定などが検討され成果を上げている。

本研究では、物理的作用と化学的作用が混在するナノスケールの反応系における、反応機構をインフォマティクスを援用して理解・制御し、この反応系が発現する機能を情報通信デバイスへと活用するコンセプトを確立する。

２年目である本年度は、「プラズマによる分子就職は量子コンピューティングに応用可能か」という問いを中心議題として、以下のテーマについて検討した。

１：分子スピン量子コンピューティングの基礎
２：プラズマを用いた分子の修飾・活性化
３：低温プラズマの制御・解析
４：プラズマを用いた知的活動

【研究会の開催状況】

研究会タイトル：
令和２年度　東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究会　兼　応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会　第３５回新領域研究会
物理　化学混成系プラズマにおける情報系機能発現
～プラズマによる分子修飾は量子コンピューティングに応用可能か～

日程：２０２１年3月５日
会場：オンライン
プログラム：※講演は全て招待講演
開催の挨拶と趣旨説明
九州大学　古閑一憲
分子スピン量子コンピュータ　ーパルスESR技術と量子状態制御ー
大阪市立大学　佐藤和信
プラズマによる有機物質へのラジカル生成
名古屋大学　石川健治
Effects of plasma irradiation to protein in co-solvents
九州大学 Pankaj Attri
低温プラズマ化学解析のネットワーク理論的アプローチ
成蹊大学　村上朝之
メタマテリアル中でのプラズマ生成を利用した動的電磁波制御
長岡技術科学大学　玉山 泰宏
大気圧プラズマにおける活性種選択生成
東北大学　佐々木渉太
プラズマで実現する知的活動
滋賀県立大学　酒井道
クロージング
九州大学　古閑一憲

［3］成果
(3-1) 研究成果
本年度は、研究会開催により、以下に示す研究成果を得た。
まず、大阪市立大学佐藤教授を特別講師としてお呼びし、分子スピン量子コンピューティングに関する基礎学理から現況について講演いただいた。講演では、量子コンピューティングの基礎から、電子―核スピン計の量子状態制御から分子スピン技術開発からプン氏スピン量子コンピュータへの道筋について議論された。これらの議論は、プラズマによる生体分子の量子コンピューティング応用の可能性を検討する上で重要な情報となった。
次に、名古屋大学石川教授と九州大学Attri准教授をお呼びし、プラズマを用いた分子の修飾・活性化について議論した。石川教授の講演では、プラズマにより誘起される活性種の生成と有機分子との反応についての議論を行った。Attri 准教授の講演では、タンパク質に対するプラズマ照射効果について、溶媒の効果を検討した。これらの有機分子はプラズマにより電子状態や構造に変化を起こすことが明らかになりつつあり、これらの分子の量子コンピューティングへの展開はプラズマ応用の一つであると考えられる。
第３部として、成蹊大村上教授、長岡技科大玉山准教授、東北大佐々木助教を招き、低温プラズマの制御・解析について議論した。村上教授によるネットワーク科学的反応論の検討はプラズマ反応における制御法を検討する上で重要な知見を与えるものである。玉山准教授のメタマテリアルを用いた新しい放電法についての検討では、超低消費電力でのプラズマ生成への道筋をつけるものとして大変期待できるものであった。佐々木助教の化学反応の精密制御による活性種の選択生成法は将来的なプラズマ制御法の一つとして期待できるものであった。
第４部として、滋賀県立大酒井教授を招き、プラズマの物性を用いた問題解決を検討するものであり、コンピューティングデバイスの製作道具としてのプラズマからプラズマそのものがコンピューティングデバイスとなる新規性を持つものであった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本プロジェクトにより、プラズマ科学における新規コンピューティング創成について既存の枠組みを超えた異分野間の研究者と交流が活性化し、新しい研究領域の開拓として、プラズマをコンピューティングに展開する契機となった。今後の進展がさらに期待される。

(国際会議への発展)
本プロジェクトに関連して、2 つの国際会議が開催された。
令和３年３月８日―１１日、オンラインで、ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 が開催された。本会議では、講師の一人である石川教授をモデレータとして、研究代表者である古閑を含めプラズマ科学関係者が参加し、プラズマ照射による分子の機能化を窒素を対象に議論した。世界から多数の参加があり、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
（1）P. Attri, K. Ishikawa, T. Okumura, K.Koga, M. Shiratani, and V.Mildaziene, “Impact of seed color and storage time on the radish seed germination and sprout growth in plasma agriculture”, Sci. Rep. 11 (2021) p. 1.
他

採択番号：H31/B02

# 固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓

［1］組織

研究代表者
小林　研介（東京大学・大学院理学系研究科 / 大阪大学・大学院理学研究科）
通研対応教員
深見　俊輔（東北大学・電気通信研究所）
研究分担者
野村　晋太郎（筑波大学・数理物質系）
佐々木　進（新潟大学・工学部）
三沢　和彦（東京農工大学・大学院工学研究院）
長谷川　修司（東京大学・大学院理学系研究科）
山口　浩司（NTT 物性科学基礎研究所）
中山　隆史（千葉大学・大学院理学研究院）
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）
松野　丈夫（大阪大学・大学院理学研究科）
越野　幹人（大阪大学・大学院理学研究科）
新見　康洋（大阪大学・大学院理学研究科）
大兼　幹彦（東北大学・大学院工学研究科 ）
林　将光（東京大学・大学院理学系研究科）
橋坂　昌幸（NTT 物性科学基礎研究所）

延べ参加人数：17 人

［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物性科学・材料科学の長年の蓄積である。特に、トランジスタに代表されるように、キャリアの非平衡ダイナミクスを理解し制御することは本質的に重要であり、それに成功したことが現代エレクトロニクスの基盤となっている。一方、近年、強相関電子系・冷却原子ガス・スピントロニクス等、物理学における様々な分野において、非平衡挙動に注目した研究が活発に行われるようになってきた。例えば、電子のもつスピン自由度を積極的に利用しようとする新しいエレクトロニクスであるスピントロニクスにおいては、スピントランスファートルクと呼ばれる非平衡現象が要となっている。本研究「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」は、固体素子における非平衡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する。

本プロジェクトでは、非平衡ダイナミクスの精密な制御を目指した数々の研究、例えば、電流による磁化構造制御、コヒーレント反転連続パルス照射、超低ノイズ非平衡電流測定、グラフェン・トポロジカル物質の機能、ベクトル波形整形パルス、近接場スピン局所分光等、について議論を深め、学理の構築を行う。このような方向性は、まさに、非平衡ダイナミクスを利用した精密物性科学の構築と呼ぶべきものである。

本プロジェクトは、本年度が 2 年目であった。ただし、その母体はそれ以前の活動実績からの継続である。すなわち、2016 年度に採択いただき、2017 年度、2018 年度と 3 年間にわたってご支援いただいた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」の実績に基づいている。我々は、年に一度、秋に 1 泊 2 日で研究会を開催してきた。これまでの討論を経て、非平衡挙動に注目することの重要性が明らかとなった。これを受けて、今後の新たな展開を図るべく「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」についての研究会を開催することが次世代の新原理ナノデバイスを提案する上で必要不可欠であるという認識を得て、昨年度と本年度の研究活動となった。

初年度にあたる 2019 年度の活動実績としては 2019 年 11 月 1 日-2 日の日程で令和元年度 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」を開催した。参加者の満足度も高く、非常に有

意義な研究会となった。

2年目にあたる2020年度も、2019年度にならって開催する予定で準備を進めていたが、コロナ禍のため、残念ながら中止とせざるを得なかった。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度の代表的な成果として、これまでの研究会での交流をきっかけとして得られた「高精度ゆらぎ測定用増幅器の開発」について、以下に紹介する（[4]成果資料[1]）。

固体素子を流れる電流に含まれる「ゆらぎ（電流雑音）」から様々な情報が得られる。これまでに、微細加工で作られた極小の素子（メゾスコピック系）における雑音測定によって、量子ホール状態における分数電荷、超伝導におけるクーパー対、近藤状態における電子の散乱など、微視的な電子伝導メカニズムに関する様々な研究が行われてきた。このような測定に必須となるのは、高精度に雑音を測定する技術である。市販の測定装置を用いた通常の電流測定・電圧測定とは異なり、電流雑音測定には市販の測定装置がないため、種々の工夫が必要になる。

今回、橋坂と小林(本プロジェクトの参加者)は、自作のGaAs高電子移動度トランジスタ(HEMT)を用いた極低温増幅器を自作した。熱雑音（ジョンソンナイキスト雑音）を用いた測定を行い、作製した増幅器が希釈冷凍機温度（0.1 K 以下）でのメゾスコピック素子の電流雑音測定に適していることを示した。得られた増幅器は、これまで用いられてきた市販の HEMT を使用して作られた増幅器よりも、高精度・高効率な電流雑音測定を可能とするものである。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

2020 年度は残念ながら研究会を開催できなかったが、それ以前の研究会での蓄積は極めて大きいものがある。実際、上に記載した成果以外にも、本プロジェクトを契機として、研究者間の交流が活性化し、光集積回路を用いた量子情報処理、ダイヤモンドNVセンター広視野量子センシング、導電性酸化物積層構造の開拓、Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定、磁性体に現れるマヨラナ粒子についての議論が進んでいる。

［4］成果資料

以下に代表的な成果6件を記載する。すべて、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究への謝辞が記載されている。


[1] S. Lee, M. Hashisaka, T. Akiho, K. Kobayashi, K. Muraki, "Cryogenic GaAs high electron mobility transistor amplifier for current noise measurements", *Review of Scientific Instruments* **92,** 023910 (2021).

[2] S. Sasaki, T. Miura, K. Ikeda, M. Sakai, T. Sekikawa, M. Saito, T. Yuge, Y. Hirayama, "$1/f^2$ spectra of decoherence noise on $^{75}$As nuclear spins in bulk GaAs" *Scientific Reports* **10,** 10674 (2020).

[3] F. Ando, Y. Miyasaka, T. Li, J. Ishizuka, T. Arakawa, Y. Shiota, T. Moriyama, Y. Yanase, and T. Ono, "Observation of superconducting diode effect", *Nature* **584,** 373 (2020).

[4] M. Yokoi, S. Fujiwara, T. Kawamura, T. Arakawa, K. Aoyama, H. Fukuyama, K. Kobayashi, and Y. Niimi, "Negative resistance state in superconducting $NbSe_2$ induced by surface acoustic waves", *Science Advances* **6,** eaba1377 (2020).

[5] K. Ueda, N. Moriuchi, K. Fukushima, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno, "Spin-orbit torque generation in NiFe/$IrO_2$ bilayers", *Phys. Rev.* B **102,** 134432 (2020).

[6] S. Iwakiri, S. Sugimoto, Y. Niimi, K. Kobayashi, Y. Kozuka, Y. K. Takahashi, and S. Kasai, "Generation of multipeak spectrum of spin torque oscillator in non-linear regime", *Appl. Phys. Lett.* **117,** 022406 (2020).

**採択番号：H31/B03**

# 次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究

［1］組織

研究代表者：
今野　佳祐（東北大学大学院工学研究科）
通研対応教員：
本良　瑞樹（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
羽賀　望（群馬大学）
吉田　賢史（鹿児島大学）
袁　巧微（東北工大）
チャカロタイ　ジェドヴィスノプ(NICT)

延べ参加人数：6 人

［2］研究経過

次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究は、近年ますますその重要性を増している．例えば，以下のような要素技術が重要である．

・高機能アンテナの設計/評価法

次世代無線通信システム用のアンテナとして，数十～数百もの素子から成る高利得のアレーアンテナが想定されている．このようなアンテナは波長に対して大規模であるのみならず，高周波における損失を避けるための新たな高機能材料(例えば低損失なガラスなど)も用いられるなど,複雑な構造となる．また，送受信アンテナ間の電波伝播メカニズムが従来の周波数帯と異なるので，そのメカニズムを踏まえたアンテナ設計が求められる．したがって，このようなアンテナの設計には，波長に対して大規模な問題(ラージスケール問題)，異材料が混在する問題(マルチマテリアル問題)，波長に対して全く異なる規模の大きさの散乱体が混在する問題(マルチスケール問題)を解く電磁界数値シミュレーション技術が必要となる．

・小型デバイスの無線充電法

次世代無線通信システムの応用の一つとして，小型センサや小型デバイスなどの同時接続および制御が挙げられる．このような小型のデバイスにはケーブルを接続するのが困難であり，有線での充電が難しい．また，電池を搭載すると電池交換などのメンテナンスにコストがかかる．したがって，次世代無線通信システム用小型デバイスの充電は無線によって行う他ないと考えられるが，そのような方法は確立されておらず，新たに構築する必要がある．

本プロジェクト研究では，超広帯域通信のための次世代システムの創成を目指し，以上の課題を克服するための技術の構築を目的として研究を行う．

本プロジェクトは，本年度が 2 年目であった．1 年目は，メンバーの研究活動内容の共有と，次世代無線通信システム実現のための要素技術の共同研究への展開を目的として 2 回の研究集会を開催した.2 年目も引き続き 2 回の研究集会を開催し，本テーマを拡張した上での競争的資金への応募や，学術論文の発表などについて議論を行った．COVID-19 の感染状況を鑑み，研究集会は全てオンラインで実施し，必要に応じてメールベースで議論を行う形とした．研究活動状況の概要を記す．

【研究会】

第三回　通研共同プロジェクト研究会 -次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究-
日時　　：9 月 2 日（水）09:00-12:00
会場　　：Google hangouts meet による WEB 会議
議題　　：研究内容の共有，進捗報告等
出席者　：5 名

第四回　通研共同プロジェクト研究会 -次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究-
日時　　：12 月 21 日（月）09:00-12:00
会場　　：Google hangouts meet による WEB 会議
議題　　：共同研究の進捗報告等
出席者　：5 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，複雑あるいは形状が未知のアンテナに対し，その近傍界から電流分布を推定する手法を構築した．数値シミュレーションと実験を行い，誘

電体基板上のパッチアンテナなどのマルチマテリアルのアンテナに対してその有効性を明らかにした.

第2に，ラージスケール問題の高速な数値解析法を構築したことが挙げられる．大規模なアンテナに可変の負荷を複数装荷し，それらを切り替えたときの特性を高速に数値解析する手法を構築し，実用的なアンテナについてその有効性を明らかにした.

第3に，無線電力伝送用結合素子の回路モデリング手法であるインピーダンス展開法を，結合素子に近接する導体による散乱波の影響を含められるように拡張した．そして，得られた回路モデルと全波動解析による電力伝送特性の計算結果を比較し，拡張手法の妥当性を確認した.

第4に，誘電体基板上プリントダイポールアンテナの給電モデルに関して，モーメント法における正確な定式化法を明らかにした．そして，有限差分時間領域(FDTD)法による計算結果と比較することで，提案法の妥当性を確認した.

(特別支援（若手）に係る研究成果)

次世代無線通信システムにおいては，新たな周波数帯，特に従来に比べて高い周波数帯を使うことにより，より広い周波数帯域を利用可能とすることで高速通信を実現している．そのような通信システムの端末実現にあたり，高周波増幅器に着目した．一般的に高周波ハードウェアは，利用可能な周波数帯域が限定されており，次世代無線通信のように高い周波数帯かつ広帯域において高効率な増幅を行うためには，周波数可変型が望ましい．そのような背景からKu帯における周波数可変増幅器を，SiとGaAsの異種半導体を適材適所で用いる新しいコンセプトを提案し，実験的に実現可能性を示した（5）.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の成果の1つであるアンテナの電流分布推定法は,修士課程の学生との共同研究の成果である.成果資料(1)に記載の発表の内容が認められ,当該学生はアンテナ・伝播研究会において、学生奨励賞を受賞した.また,当該学生は2021年1月に開催された ISAP2020 Student Design Contest に参加しBest Presentation Awardを受賞した.このように,本プロジェクトにより，若手研究者が育成され，その成果は関連研究分野の学会において高く評価されている.

また，競争的資金の公募に関してもいくつか応募し，次世代無線通信システム用携帯端末の電源問題を解決するワイヤレス給電と無線通信システムの両立可能とする新たな手法に関する提案が，JST の創発的研究支援事業に採択された.

このような取り組みを通して，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，更なる共同研究プロジェクトへの発展が期待されている.

［4］成果資料

（1）持木　和人，今野　佳祐，陳　強，``仮想波源の固有モード電流を用いた波源分布推定法の高精度化,'' 信学技報, vol. 120, no. 171, AP2020-56, pp. 100-105, 2020年9月.

（2）K. Konno, Q. Yuan, Q. Chen, K. Yokokawa, J. Goto, and T. Fukawasa, ``Efficient Method of Moments for Numerical Analysis of Antennas with Variable Load Impedance,'' IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, no. 12, pp. 8233-8237, Dec. 2020.

（3）N. Haga J. Chakarothai K. Konno, ``Circuit Modeling of Wireless Power Transfer System in the Vicinity of Perfectly Conducting Scatterer'', IEICE Trans. Commun., Vol.E103-B, No.12, pp.1411-1420, Dec. 2020.

（4）N. Haga, K. Konno, ando J. Chakarothai, ``Notes on EFIE-PMCHWT formulation for feeding gaps on printed conductors'', IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 19, no. 12, pp. 2028-2032, Dec. 2020.

（5）S. Yoshida, K. Nishikawa, and S. Kawasaki, ``Initial verification of a bandwidth tunable Ku-band power amplifier designed by the HySIC concept,'' IEICE Commun. Express, vol.9, no.12, pp. 599-604, Dec. 2020.

（6）K. Konno, Q. Yuan, Q. Chen, K. Yokokawa, J. Goto and T. Fukasawa, ``Application of An Efficient Method of Moments to Numerical Analysis of 1-bit Transmitarrays,'' Proc. ISAP2020, Jan. 2021.

（7）羽賀　望，チャカロタイ ジェドヴィスノプ，今野　佳祐,``完全導体からの散乱を考慮した無線電力伝送システムの回路モデリング,'' 信学技報, vol. 120, no. 85, WPT2020-15, pp. 1-6, 2020年7月.

**採択番号：H31/B04**

# HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展

［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院)
通研対応教員：
北村　喜文（東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
矢谷　浩司（東京大学大学院工学系研究科)
山下　直美（NTTコミュニケーション科学基礎研究所)
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)
松村　耕平（立命館大学情報理工学部)
阪口　紗季（東京大学大学院情報学環)
尾形　正泰（産業技術総合研究所)
加藤　邦拓（東京大学大学院情報理工学系研究科)
池松　香　（ヤフー株式会社)
平木　剛史（大阪大学基礎工学研究科)
松藤　彰宏（首都大学東京大学院システムデザイン研究科)
Kotaro Hara（Singapore Management University)

延べ参加人数：15人

［2］研究経過

Human-Computer Interaction（HCI）分野は1980年頃に誕生し、これまでに40年程度の歴史しか持たない比較的若い学術研究領域である。HCIは計算機科学と社会心理学を中心として、人と計算機との関わり合いの中で発生する事象を理解することを目的とした学問分野である。これはすなわち、理工学と人文科学の総合的な研究領域であり、真に学際的（Interdisciplinary)かつ特定の学術領域に囚われない（Discipline-free）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。

本プロジェクトは平成28年度から4年間をかけてRIEC共同プロジェクト研究会の枠組みで活動を行ってきた。これまで4年間については研究コミュニティ立ち上げに注力し、初年度より世界各国のHCI研究の重要研究者を招いて国際シンポジウムを4年間毎年開催してきた。この結果、多くの研究者の交流の機会が生まれ、新しい研究コミュニティの方向性が見え始めてきている。特に、幅広い研究領域の研究者が一堂に会する機会の創出は堅牢な研究コミュニティ構築の必須条件であると言えるところまでの知見が得られている。

一方で、本プロジェクトのようなコミュニティ立ち上げに関する試みは4年程度の議論や試行では大きな結論を得ることはできない。今後はこのようなコミュニティにおいてはどのような交流が可能なのか、また運営コストを下げつつも堅牢なコミュニティを維持するためにはどのようなことが可能なのか、さらに既存の学術団体との関わり合いの中で社会にどのような貢献が可能なのかについての検討が必要である。特に多様性（Diversity）だけではなく包括性（Inclusiveness）を体現する堅牢かつ柔軟な学術コミュニティの実現はHCIのような特に新しい学術研究領域こそスピード感を持って構築・発展が可能であると考えている。本プロジェクト研究会ではこれらの議論を通して既存の学術団体の枠組みを超えた次世代型学術コミュニティの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。

［3］成果

(3-1) 研究成果

2021年1月24日（日）にInternational Symposium on Human-Computer Interaction 2021が東北大学電気通信研究所の北村 喜文 教授をチェアとして開催された。本年度は新型コロナウイルス感染症の影響によりオンラインで開催した。本シンポジウムは、大規模重要国際会議CHI2021の日本初開催を念頭に、

アジア各国の主要なHCI研究者にお集まりいただきご講演頂いた。加えて、国内を中心に若手の研究者の皆さんにもお集まりいただき、シンポジウムのオンライン懇親会において日本メンバーおよび各国からの招へい研究者を交えて活発な意見交換を行った。シンポジウムの詳細は以下の通りである。

Sunday, January 24

**14:00 Welcome**
Yoshifumi Kitamura

**14:05-15:15 Japan ACM SIGCHI Chapter Award Ceremony and Award Talks**

- **Award Talk: Kumiyo Nakakoji**
  Professor at Future University Hakodate
  Recipient of Lifetime Community Contribution Award
- **Award Talk: Daisuke Sakamoto**
  Associate Professor at Hokkaido University
  Recipient of Distinguished Young Researcher Award
- **Award Talk: Koji Yatani**
  Associate Professor at The University of Tokyo
  Recipient of Distinguished Young Researcher Award

**15:15 - 15:30 Coffee/Tea Break**

**15:30-16:15 Global and Asian HCI for the Future**

- **Fostering Global Solidarity @SIGCHI**
  Neha Kumar (Assistant Professor at Georgia Tech, USA )
  Chair, ACM Future of Computing Academy
  SIGCHI Vice-President at Large
- **Asian CHI Symposium: The Making of Global Asian HCI Community**
  Adi Tedjasaputra (Director and Co-Founder, Customer Experience Insight Pty Ltd)
  SIGCHI Asian Development Committee member

**16:15-17:00 Red-hot Information on CHI 2021**

- **CHI as an online virtual conference, global challenges and opportunities for the HCI community**
  Aaron Quigley (Professor and Head of School in Computer Science and Engineering at the University of New South Wales (UNSW), Australia)
  CHI 2021 General Chair
  ACM Distinguished Member and Distinguished Speaker
- **CHI 2021 Conference Program Overview**
  Takeo Igarashi (Professor at Department of Computer Science, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, Japan)
  CHI 2021 Technical Program Chair

**Closing**




（特別支援（国際）に係る研究成果）

本プロジェクトは国際共同研究推進型で採択された課題であった。今年度は Georgia Tech の Neha Kumar 氏をはじめ外国から複数の有名な研究者を招へいし、ご講演頂き、オンラインではあるが実りある議論ができた。この結果シンポジウムを盛大かつ効率的に開催することができた。

（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４年間で本プロジェクトは、プロジェクト関係者以外にも国内外から多数の参加者を集めたシンポジウムに発展した。本プロジェクトがきっかけとなり、日本で初めての ACM SIGCHI Chapter が誕生し、日本だけではなくアジア諸地域に影響力のある組織となった。この結果として学術研究だけではなく、産業界も巻き込み、HCI の重要性を訴えかけて行く組織として今後の大きな発展が期待されている。

今年度のシンポジウムでは「Human-Computer Interaction」をテーマとして開催した。世界的な HCI 研究の潮流の中で、アジア、特に日本においてはその理工学的な意味や理工学的な成果に注目が集まりがちである。学際的学術領域である HCI においては、理工学だけの知識で実施できるものではなく、より広い視点を持つ必要がある。本シンポジウムで

は日本的な工学に注目したHCIだけではなく、デザインやヘルスケア、多言語理解や人間の知覚など幅広いトピックを使うことよって日本のHCIコミュニティの変容していく姿をアジアに示すことができたのではないかと考えている。

日本のHCIコミュニティは古くから活動しているが、組織としての活動が周知されていなかったり、学会以外に大学や企業の研究者が交流する機会が少なかったりした。近年ではJapan ACM SIGCHI Chapterが主催するCHI勉強会など、企業研究者やエンジニアも巻き込んだイベントが開催されている。CHI勉強会においては、2020年度はオンライン開催となってしまったが、YouTube Liveの合計視聴者数が報告書執筆時点で3,000人を超えている。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。

これまでの4年間で本RIEC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きた。今年度2020年より我々の手を離れ、これまで交流を深めてきたアジア各国の代表メンバーが中心となってAsian CHI Symposiumとして開催し、各国のHCI研究の現状について議論するための準備を進めている。次回も新型コロナウイルス（COVID-19）の影響によりCHI Conference自体がオンラインでの開催となってことにより、Asian CHI Symposiumもオンラインでの開催を予定している。

**Asian CHI Symposium 2021**

- 日時：2021年5月7日〜8日
- 開催場所：オンライン
- https://asian-chi.github.io/2021/

［4］成果資料

[1] Briane Paul V. Samson, Suleman Shahid, Akihiro Matsufuji, Chat Wacharamanotham, Toni-Jan Keith P. Monserrat, Keyur Sorathia, Masitah Ghazali, Shio Miyafuji, Nova Ahmed, Kazuyuki Fujita, A. B. M. Alim Al Islam, Eunice Sari, Murni Mahmud, Adi Tedjasaputra, Juho Kim, Uichin Lee, Thippaya Chintakovid, Sheng-Ming Wang, Zhengjie Liu, Xiangmin Fan, Ellen Yi-Luen Do, Yoshifumi Kitamura, Simon Tangi Perrault, and Bing-Yu Chen. 2020. Asian CHI Symposium: HCI Research from Asia and on Asian Contexts and Cultures. Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1-6.
DOI:https://doi.org/10.1145/3334480.3375068

採択番号：H31/B05

# アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化
# HCI Research Community Development 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：
Juho Kim (KAIST, Korea)
Eunice Sari (UX Indonesia)
Manjiri G. Joshi
(Indian Institute of Technology, Bombay, India)
Zhengjie Liu (Dalian Maritime University, China)
Nova Ahmed (North South University, Bangladesh)
Bing-Yu Chen (National Taiwan University)
Uichin Lee (KAIST, Korea)
Suleman Shahid
(Lahore University of Management Sciences)
Keyur Sorathia
(Indian Institute of Technology, Guwahati)
Josh (Adi) Tedjasaputra (UX Indonesia)
Chat Wacharamanotham (University of Zurich)

延べ参加人数：15 人

［2］研究経過

情報技術に囲まれた高度情報社会に生きる人々のクオリティオブライフを保証していく上で，人と情報システムの関係を様々な角度から検討することはますます重要になってきている．人と情報システムの相互作用について，情報科学，認知科学，心理学，デザイン学等，多岐に渡る分野にまたがる学際的な研究分野が Human-Computer Interaction （HCI）である．

これまで H28/B11 「アジアにおける HCI 研究の活性化」で議論した結果，この分野で最大かつ最高権威の国際会議を 2021 年にアジアの日本に誘致することに結びついた．さらに H31/B05「アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化」では平成 31 年度（令和元年度）から，それまでに議論してきた内容を踏まえて，アジアにおける HCI 研究をさらに活性化するため，そしてその国際会議をアジア諸国の協力で成功させるため，各国の若手リーダーに集まってもらい，個々の共同研究を模索するとともに，各国の研究コミュニティの相互理解と横連携を深め，各国の研究コミュニティを繋ぐ役割を担うシンポジウムを開催し，強力なコミュニティ連携構築を模索し始めた．これまでの活動でアジアにおける我々の存在感も高まってきていることから，ここで参加メンバを増員することが提案され，議論の結果，本年から 10 か国・地域からの代表 12 人の体制で進めることとなった．

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．そのために，国連ユネスコに起源する IFIP (International Federation for Information Processing)の TC-13 (Technical Committee on Human-Computer Interaction)や，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，シンポジウム開催を計画したが，コロナ禍のため，メンバ間のオンラインの小規模のシンポジウムを 2021 年 1 月 23 日に開催した．また，翌 1 月 24 日には，通研国際シンポジウムとして，ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する通研国際シンポジウム 2021 を，H31/B04「HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展」と共同でオンラインで開催した．

［3］成果

（3-1）研究成果

2021 年 1 月 23 日（土）に本研究の代表者と分担者が集まる小規模の会議をオンラインで開催した．

- 日時　2021 年 1 月 23 日（土）
  午後 2 時〜6 時（日本時刻）
- 会場　Zoom meeting
- 参加人数　12 名

各メンバからの話題提供とそれにかかわる議論を行った．話題提供のプログラムは次の通りである．

Yoshifumi Kitamura: Greetings
Chat Wacharamanotham: Local barrier for authors to submit their work to SIGCHI conferences
Manjiri Joshi: Upcoming and future events
Uichin Lee & Juho Kim: K-CHI Activities & HCI@KAIST Updates
Zhengjie Liu: Updates from Chinese HCI communities
Josh (Adi) Tedjasaputra: Lessons Learned from Indonesia,

Malaysia and Singapore HCI and UX Communities in 2020
Nova Ahmed: Covid,Reality and HCI in Bangladesh
Eunice Sari: The 5- Year ADC Journey: Pre, During and Post Covid
Suleman Shahid: some updates



また，2021 年 1 月 24 日（日）に RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction 2021 をオンラインで開催した.

- 日時　2021 年 1 月 24 日（日）
  午後 2 時〜6 時（日本時刻）
- 会場　Zoom webinar
- 参加人数　73 名

本シンポジウムは、大規模重要国際会議 CHI2021 の日本初開催を念頭に，アジア各国の主要な HCI 研究者に集まってもらい，講演してもらった．加えて，国内を中心に若手の研究者の皆さんにも集まってもらい，日本メンバーおよび各国からの招へい研究者を交えて活発な意見交換を行った．プログラムの概要は次の通りである.

14:00 Welcome : Yoshifumi Kitamura

14:05-15:15 Japan ACM SIGCHI Chapter Award Ceremony and Award Talks
Award Talk: Kumiyo Nakakoji (Professor at Future University Hakodate, Recipient of Lifetime Community Contribution Award)
Award Talk: Daisuke Sakamoto (Associate Professor at Hokkaido University, Recipient of Distinguished Young Researcher Award)
Award Talk: Koji Yatani (Associate Professor at The University of Tokyo, Recipient of Distinguished Young Researcher Award)

15:15 - 15:30 Coffee/Tea Break

15:30-16:15 Global and Asian HCI for the Future
Fostering Global Solidarity @SIGCHI
Neha Kumar (Assistant Professor at Georgia Tech, USA, Chair, ACM Future of Computing Academy, SIGCHI Vice-President at Large
Asian CHI Symposium: The Making of Global Asian HCI Community
Adi Tedjasaputra (Director and Co-Founder, Customer Experience Insight Pty Ltd, SIGCHI Asian Development Committee member)

16:15-17:00 Red-hot Information on CHI 2021
CHI as an online virtual conference, global challenges and opportunities for the HCI community
Aaron Quigley (Professor and Head of School in Computer Science and Engineering at the University of New South Wales (UNSW), Australia, CHI 2021 General Chair, ACM Distinguished Member and Distinguished Speaker)
CHI 2021 Conference Program Overview
Takeo Igarashi (Professor at Department of Computer Science, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, Japan, CHI 2021 Technical Program Chair)




（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまでの活動で，プロジェクト関係者以外の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.

SIGCHI の Asian Development Committee は 2015 年にアジア 5 か国・地域の 5 名で活動を開始し，2019 年に 10 か国・地域の 12 名に増強された．このことからも，本分野でアジア地域の今後の着実な発展が世界的に見ても期待されている．なお，本 Committee の Chair を日本代表の北村が務めている.

さらに，Japan ACM SIGCHI Chapter のメンバを主体的な運営メンバとして毎年国際会議 CHI の会場で国際シンポジウム Asian CHI Symposium を開催してきた．2020 年は，日本のメンバではなく，本プロジェクトやシンポジウム参加者であるアジア各国の代表メンバが中心となって開催し，各国の HCI 研究の現状について議論するための準備を進めていた．しかし，新型コロナウイルス（COVID-19）の感染拡大の影響により国際会議 CHI 自体の現地開催が中止となったため，オンラインで開催した.

参考資料

1. RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction 2021
https://sites.google.com/view/riec-hci-symposium-2021

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/B06**

# 質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究

［1］組織

研究代表者：岡嶋　克典（横浜国立大学）
通研対応教員：栗木　一郎（東北大学）
研究分担者（５０音順）：

内川　惠二（神奈川工科大学）
金子　沙永（東北大学）
河邉　隆寛（NTT-CS 研）
北岡　明佳（立命館大学）
鯉田　孝和（豊橋技術科学大学）
郷田　直一（自然科学研究機構生理学研究所）
小松　英彦（玉川大学）
坂田　勝亮（女子美術大学）
佐藤　智治（一関高専）
澤山　正貴（NTT-CS 研）
篠森　敬三（高知工科大学）
須長　正治（九州大学）
辻村　誠一（名古屋市立大学）
徳永　留美（千葉大学）
永井　岳大（東京工業大学）
中内　茂樹（豊橋技術科学大学）
仲泊　聡　（理化学研究所）
西田　眞也（京都大学）
日高　杏子（芝浦工業大学）
平松　千尋（九州大学）
福田　一帆（工学院大学）
溝上　陽子（千葉大学）
本吉　勇　（東京大学）
矢口　博久（千葉大学）
山内　泰樹（山形大学）
楊　　嘉楽（中央大学）
和田　有史（立命館大学）

延べ参加人数：47 人

研究費：旅費　　240,000 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, H28/B04）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．平均で年２回開催され，通算で 24 回が開催された．その研究会を通して構築された研究者ネットワークは，2015 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／多元質感知：H.27-R.1）の領域代表者・計画研究代表者など多くのコアメンバーを多く輩出した．

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．

本年度は新型コロナウィルスの感染拡大の影響もあり，例年とは異なり Zoom を用いた遠隔での発表・受聴も行った．本年度１回目は対面と遠隔のハイブリッド形式，２回目は首都圏を含む広範囲の緊急事態宣言の時期にかかっていたこともあり，遠隔のみでの開催となった．

第１回研究会

日時：12/14（月）13:00-18:00, 12/15（火）9:30-12:30
場所：東北大学 電気通信研究所 本館１階オープンセミナー室

プログラム：

1) 何 元元，三上大河，田中豪，溝上陽子（千葉大）
「顔の明るさ知覚に対する色相の影響：国際比較」
2) 浅野倫子（立教大）
【招聘】「色字共感覚：色刺激入力を伴わない色の経験」

3) 伊藤巧人，田代知範，山内泰樹（山形大）
「HMD を用いた拡張現実刺激の色，輝度知覚」
4) 栗木一郎，金子沙永，大友沙紀（東北大）
「SSVEP の色相選択性：マスキングによる研究」
5) 川端裕人
【招聘】「色覚研究者に知っておいてほしい歴史と、新しい色覚観」
6) 根岸一平・宮本民生（金沢工大）
「生地の光沢感に対する触覚情報の影響」
7) 寺嶋優太，今田佑生也，田代知範，山内泰樹（山形大）
「異なる色域における一貫した色再現の評価法の検討」
8) 今田佑生也，寺嶋優太，田代知範，山内泰樹（山形大）
「異なる色域で呈示される画像群の一貫性評価法の検討」

第２回研究会
日時：2021/2/26(金)，13:00-17:00 (Zoom)
プログラム：
1) 「#TheDress 状の Web 上画像に対する色彩語表現」
日髙杏子・最上翔太（芝浦工大）
2) 「色残効の測定時輝度依存性」鯉田孝和（豊橋技科大）
3) 「ヒトと人工ニューラルネットワークの時刻推定における視覚的特徴量の類似性と相違」
尾田凌祐・平松千尋（九州大学）
4) 「低輝度拡張操作の光沢感知覚への寄与」栗木一郎・渡邉 岳（東北大学）

［3］成果
(3-1) 研究成果
本年度の研究会では，以下のような成果を得た．

何・溝上は，顔画像の色が与える「明るさ感」の，色による違いについて日本人・中国人の観察者による主観報告を調べた結果を報告した．日本人と中国人の観察者で赤みに対して得られる結果が異なったが，これが文化差による要因なのか，顔の「明るさ感」とは何を意味するかの定義などについての議論が行われた．

浅野（招聘）は文字に色がついて知覚する色字共感覚に関する最近の研究成果について報告した．共感覚の定義や２つのタイプの違いなどについて紹介があった．新奇文字の学習に色はつかないが，既知の文字と対応づけをさせて学習させると，10 分ほどで共感覚色が生じることから，共感覚色が文字の弁別に役立つ時にのみ生じることが示唆される．既知文字の共感覚色が異なる（多様な）場合には新奇文字の学習に効果があるという仮説が紹介された．

伊藤らは，シースルー型 HMD において実在する物体に色を重ねる場合の知覚について，また目的とした色を知覚させる方法について研究紹介を行なった．心理物理的にシースルー型 HMD に投影した映像が背景の画像に加算的に知覚されるのかを調べた．この方式ではどういう色が知覚されることが正解なのか，奥行きとして同じ位置に知覚されることの効果，などについて活発な議論がおこなわれた．

栗木らは，定常視覚誘発脳波（SSVEP）を用いて，初期視覚野における神経細胞の色に対する選択性をマスキングにより調べた研究について報告を行なった．２つの錐体反対色メカニズムを横軸・縦軸とする平面において 45°のマスク色の呈示を行いつつ，この平面における色相環に沿ったテスト色を呈示し，色相に対する SSVEP 振幅の変化がマスク色に受ける影響を評価した．結果は，錐体反対色メカニズムのみから予想される SSVEP 振幅の変化とは異なる特徴を示した．SSVEP 振幅が具体的に何のメカニズムに起因するか，個人差の要因について議論が行われた．

川端（招聘）は，自身の著作「色のふしぎと不思議な社会」において記された，最新科学による色覚の多様性のエビデンスとその社会の中での扱いについて紹介した．色覚異常と呼ばれ正常と線引きが行われているが，最近の研究結果によると色の弁別能力に明確な区分があるわけではなく「正常」と「異常」の間では色弁別の能力が連続的に分布すること，従来の色覚検査およびその再開は，その連続的な分布に線を引く行為であり，科学的エビデンスに基づいた再設計の必要性を提唱した．

根岸らは，服の素材による印象の違いについて，９種類の生地を見ただけの時と生地に触れる機会がある時の質感の評価の違いについて，SD 法によって調べた結果を報告した．触覚のみの実験を行なう必要性や生地の物理的な特性に基づいた刺激の統制の必要性について，助言が行われた．

寺嶋および今田は，画像表示媒体による色の見え方の一貫性について，単色あるいは画像の形で主観的等色によって調べた結果を報告した．広告などでは企業のブランドイメージが保持されることは重要であり，色の見え方が印刷やディスプレイなどの表示媒体によって色の見えが異なる現象が生じるのは好ましいとは言えない．色の見え方を保つ（一貫性）ためには，表示媒体のもつ色域が定められた場合に色をどのように制御すべきかを知る必要がある．この研究では，一貫性が感じられる色の軌跡が調査された．調査に用いられる代表色をどのように定めるべきか，クラウドソーシングによる調査の可能性，

などについて活発な議論が行われた.

日高・最上は, #TheDress のように複数の見え方の個人差を生じる画像において, 色の呼称がどのように選択されているか, インターネットによるクラウドソーシングによる調査を行なった. 特に, 色名呼称がどのように絞り込まれるかに関する仮説, その変異が Berlin & Kay (1969)の提案した基本色名の変遷と対応する仮説について検証を試みた実験が紹介された. クラウドソーシングにおける実験手法や刺激の統制について様々な議論が行われた.

鯉田らは色残効のテスト輝度依存性について, Lyrac chaser 錯視を利用した巧妙な測定方法とその結果について報告した. テスト領域の輝度に伴って残効を打ち消す色の彩度の変化はHelson-Judd 効果に類似した傾向を示した. 順応色に用いた４色のうち黄色だけが特異な結果を示した事や, マッチングでなく色名呼称による実験方法の提案などについて意見交換が行われた.

尾田・平松は, 機械が「ヒトらしさ」を獲得するための研究として, 画像の色味から知覚される１日の時間の感覚について, 機械学習を用いてどの程度実現できるかを調べた成果について報告した. 得られた機械学習アルゴリズムが, 画像中の何を手掛かりにして時間帯を推定しているかについて, 活発な議論が主に行われた.

栗木・渡邉は, 輝度ダイナミックレンジが質感知覚に与える影響を調べるため, 通常のダイナミックレンジ (SDR) の画像の低輝度部分と高輝度部分のヒストグラムを拡張した時の質感知覚の変化を, 広ダイナミックレンジ(HDR)画像, SDR 画像と比較した結果を報告した. 輝度ヒストグラムの拡張画像は, いずれも SDR 画像よりも高い光沢感が報告された. 低い輝度を拡張したことによる光沢感の増大は, 有機 EL ディスプレイのように低輝度側の輝度レンジの拡張が質感の増大に有用であることを示している. 視覚刺激に映り込む画像（ライトフィールド）に依存する結果について議論が行われた.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の第１回研究会で招聘した川端の著書は, 科学的な手段による色覚の多様性の捕捉および多様性の背後にあるメカニズムの理解が, 社会において重要な役割を持つことを指摘している. 同じく第１回研究会に招聘した浅野の色字共感覚に関する報告も, 脳内の多様な情報処理の一端を現した例である. いずれも少なからぬ人数の社会生活に影響を及ぼす現象であり, 色覚メカニズムのさらなる基礎研究の重要性を示唆していると考えられる.

本プロジェクトのメンバー（平松, 溝上, 須長, 辻村, 岡嶋, 栗木）が中心となり, 色覚多様性の学際的研究による理解を主題として, 令和３年度の科研費・学術変革領域Ｂに応募した. このように本プロジェクトは, 学外研究者との研究交流の活性化に貢献し, 新たな学術分野を切り拓く試みに貢献している. 今後も引き続き学際的な研究交流の場を提供し, 色覚・質感研究分野の発展を促進したい.

［４］成果資料

以下に研究会と関連した成果発表について報告する.


1) 何 元元, 三上 大河, 田中 豪, 溝上 陽子「肌色の違いによる肌の明るさ知覚の日中比較」日本色彩学会第 51 回全国大会 カラーポッド
2) 浅野倫子, 横澤一彦「共感覚」勁草書房, 2020.
3) 川端裕人「色のふしぎと不思議な社会」筑摩書房, 2020.
4) 伊藤巧人, 田代知範, 山内泰樹「HMD を用いた拡張現実刺激の色・輝度知覚」日本視覚学会 2021 年冬季大会
5) 今田佑生也, 寺嶋優太, 田代知範, 山内泰樹「異なる色再現域で呈示される画像群の一貫性評価法の検討」日本視覚学会 2021 年冬季大会
6) 大友沙紀, 金子沙永, 羽鳥康裕, 塩入 諭, 栗木一郎「定常視覚誘発電位を用いたマスキング実験による色情報機序の考察」日本視覚学会 2021 年冬季大会
7) 最上翔太, 関 天嘉, 溝上陽子, ながなわ久子, 片山一郎, 大住雅之, 篠田博之, 日髙杏子「#TheDress 状の Web 上画像に対する色彩語表現と閲覧環境の調査」日本色彩学会 令和 2 年度研究会大会
8) 渡邉裕汰, 鯉田孝和「色残効のテスト輝度依存性は黄色で顕著」日本視覚学会 2021 年冬季大会
9) 渡邉 岳, 栗木一郎, 羽鳥康裕, 曾 加蕙, 塩入 諭「広輝度帯域視環境における光沢感知覚」日本視覚学会 2021 年冬季大会

**採択番号：H31/B08**

# 地域活性化のためのUAV利活用技術とその社会実装に関する研究会

［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：
山崎　敦子（芝浦工業大学）
野村　誠（日本航空大学校）
坂本　正之（日本航空大学校）
加藤　靖啓（日本航空大学校）
塚原　直樹（株式会社Crowlab）
藤堂　高直（チュラロンコン大学）

延べ参加人数：８人

［2］研究経過

空撮や環境センシング、監視、空輸などの自動化や低コスト化を実現するUAV(ドローン)関連技術を活用した、設備管理や農林業・医療などの支援に期待が寄せられている。ドローンを活用したこれらの取り組みは、とりわけインフラの整わない僻地や途上国、人手不足が深刻化する過疎化地域での活用が期待されている。しかし一方で、これらの新しい技術の適用が地域産業の活性化に必ずしも直結せず、結果としてデジタルディバイドなどの格差を助長するなど課題もある。本研究会では、２０１９年度から「域学連携」の取り組みなどを参考にしつつ、**ドローン関連技術を活用した地域との協働形態を模索している。本年度は、地域活性化に寄与する共同研究開発・社会実装計画立案を実現する外部資金等の獲得のための準備活動の一環として研究会を開催し「宇宙航空科学技術推進委託費」を含む、助成金申請に向けた実務作業、及びその根拠となる研究活動についての学会発表等を行った。** 本研究会は2020年の４月と６月の２回を予定していたが、COVID19による往来制限や研究会の前提となる地域での活動が展開できていないため、計画の一部において遅滞があった。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本研究会では、ドローンの関連技術や関連産業の裾野拡大のための活動の一環として、オープンソースのドローンをSTEAM教育プログラムの教材として用いることで、ドローンに関する専門知識を持たない、学生や一般のユーザが簡単で安価にカスタムドローンを製作できるようになるためのイベントやプログラムについての議論を継続的に行ってきた。

本年度は、2019年度末に日本航空学校の所在する石川県能登地域の教育委員会等と協力し、小中学生向けのドローンワークショップを開催、その結果からSTEAM教育としてのドローン研究開発プログラムのアセスメント基準やその手法について、本研究会で議論をする予定であった（その結果から教育プログラムの効果についての仮説を立て「宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空人材育成助成」に応募をする予定であった)。しかしCOVID19の世界的な蔓延によって、研究代表者を含む日本国外参画者の日本国出入国が制限下にあることや、国内の往来自粛により協力機関からの延期要請があったため、2021年３月時点で電気通信研究所での研究会の開催はできていない。




**図 1 the 2nd ICEEL 2020 でベストプレゼンテーション賞を受賞**

一方、主に昨年度までの活動成果とその考察を取りまとめたものを、2020 2nd International Conference on Engineering Education and Innovation (ICEEI2020), ISEC-STEM Conference 2020などの国際会議で発表を行った。これらの発表は、様々なケーススタディを通して、具体的実践的な活動が評価を経て、Best Presentation Award(ICEEI2020)を受賞する

などの成果を経た。またこれらの国際会議は全てオンラインで開催、発表が行われた。




**図 2 オープンソース UAV を用いた STEAM 教育の取り組みのオンライン発表資料(於 ICEEL2020)**

（特別支援（若手・国際・産学）に係る研究成果）
Covid-19 の世界的な蔓延により、本研究会の国内外の参画者らは電気通信研究所での研究会を開催できていないが本活動の成果の一部は国際会議での発表及び受賞につながった（前項及び「成果資料」に記載）

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本研究会の本年度における Covid-19 蔓延の影響を受け、実態としての研究会を開催できていない。しかし一方で、研究会メンバー間の遠隔でのコミュニケーションや、共同作業を行うことで、学会発表などの対外成果を上げることができた。

また、遠隔会議ツールをミーティングに用いる過程で、屋外や実習、共同作業を遠隔で行う様々な実践やアイデア出しが行われている。例えば、研究代表者と日本航空大学校とのやり取りでは、実作業を円滑に行うために、手や頭に Zoom 接続されたスマートフォンを装着して、よりリアルタイムかつ対話的に遠隔作業をする試みを行っている。そしてこれらの取り組みから、ニューノーマル時代の遠隔的、及び国際的な実作業を伴う教育研究活動の支援環境についての議論を始めている。来年度は、これらのアイデアも踏まえた上で、VR/AR や CSCW 環境を効果的に取り入れた STEAM 教育プログラムの検討と実践に向けて、研究活動を継続する。また、2021 年度に国境往来の制限が緩和され次第直ちに研究会を開催したい。

［4］成果資料

1. Koh Sueda, Atsuko K. Yamazaki, Makoto Nomura, Masayuki Sakamoto, Yasuhiro Kato, Masanori Hosaka Open Source-based UAVs As Educational Materials For STEAM Programs : Some Examples in the Proceedings of ICEEI 2020 2020/6
2. K. Sueda, A. Yamazaki Enhancing STEAM Education Through Developing Open Source-Based UAVs ISEC-STEM Conference 2020 Singapore 2020/3

**採択番号：H31B09**

# マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ実用化研究の新展開

［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（元宇宙航空研究開発機構）
犬竹正明（元東北大学電気通信研究所）
佐藤源之（東北大学東北アジア研究センター）
中沢正隆（東北大学電気通信研究機構）
伊藤直樹　（宇部工業高等専門学校）
際本泰士（元京都大学）
山鹿光紀（国土交通省/オブザーバー参加）
徳田伸二（高度情報科学技術研究機構）
酒井文則（サクラテック（株））
鈴木昭広（個人事業主）
岩月勝美（東北大学電気通信研究機構）
吉本直人（千歳科学技術大学電子光工学科）
小川裕之（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：１８人

［2］研究経過

本研究は、電波（マイクロ波）あるいは光（赤外レーザ）を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムを様々な分野へ適用し、これまでにないリモートセンシング情報を得ること、及びその原理実証を行うことを目的としている。具体的には、

ⅰ）X、Ku、K、W バンドと様々な帯域で合成開口レーダのハードウェアおよびその解析方法を研究開発し、これまでに計測できなかった物理量をリモートで測定する実機検証を進めること、

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高速化と 100m 程度までのターゲット検出を目的とする実機検証、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、近年発展が目覚しいドローンなどのレーダプラットフォームの検討も目的としている。

本プロジェクトは本年度が 2 年度目であり，以下研究活動状況の概要を記す。

I) 2020 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会：令和 3 年 3 月 9 日　（ZOOM）、参加者 10 名　今年度もコロナウィルス予防措置のため、テレビ会議に変更した。

［3］成果

（3－1）研究成果

共同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。

1) LiveSAR のスプリットビーム化改修による移動体検出　福岡工大　近木祐一郎

移動体を合成開口レーダ（SAR）で検出するには、通常の SAR では難しい。そこで、本研究グループで開発された Ku バンド合成開口レーダ LiveSAR を移動体検出可能なようにスプリットビーム化改修を行った。地上試験を福岡市で行ったところ、スイッチングシステムで新たに加わった減衰量により画像の取得ができないことが判明した。そのため、一辺 450mm のコーナキューブリフレクタを製作し、ビームの照射エリアに移動装置とともに持ち込み地上試験を行った。結果、コーナーキューブは検出が可能であり、移動速度に応じた画像上の位置のシフトが予想通りあることが分かった。ただしクラッタキャンセル処理の有効性が示せなかった。これは来年度の課題となった。

2) GB-SAR の開発について　東北大学　佐藤源之

Ku 帯（17GHz）の地表設置型合成開口レーダ（GB-SAR）の開発と現状を紹介した。

東北大学では宮城県荒砥沢、熊本県南阿蘇村立野で長期間の地表設置型合成開口レーダ（GB-SAR）による地滑りモニタリングを行ってきた。電波計測のデータは大気状態により不安定化するため、大気補正法の開発を行うことで精度を向上させること、また計測データの有効利用をめざしている。設置した GB-SAR がとらえた 1 か月間の変位は大気補正をし

ないと大きな変位が現れるが大気補正が正しく行われることでこの誤差を取り除くことができ、本GB-SARによる観測では、mmオーダーの変化を捉えられることが分かった。

多偏波計測ではデータ間の相関性を利用したアルファ・エントリピ解析がよく知られている。GB-SARでは連続した時系列データを利用することから時間相関データをアルファ・エントリピ解析に利用できる。アルファ・エントリピ解析を現場で発生した小規模な土砂滑りに適用したところ、表面状態の変化から土砂滑りの兆候と思われる現象をとらえることに成功した。

3) LiveSAR1の開発経費まとめ　犬竹正明

LiveSARの1号機の研究開発の目的、開発分担、開発にかかった費用についてのまとめの報告があった。

4) LiveSAR 2

池地弘行

LiveSAR1号機の技術的内容の総括がなされ、それを発展させるLiveSAR2の仕様の提案が以下のようになされた。

1. 低価格。いつでも、だれでも使える。 2. Gimbalが要らない。 3. 現在、市販されているdroneを使うには、全体を5kg以下にする必要。 4. Rangeは１ｋｍ以下。＞マイクロ波出力<10mW、high pulse rate 5. 軽量材料を使ったantennaの開発。一材料test - 近木 6. liveSAR 1の経験を活かした小型軽量の回路設計 7. Cell またはWiFiを利用したtabletによるcontrol. 8. 航空機搭載を可能にする、高出力antenna追加が出来る設計 9. 位置方位測定の改良が必要。

基本設計および予備調査を始めることが提案された。

5) マイクロ波・ミリ波レーダの応用例について

九州大学　間瀬　淳

マイクロ波反射計（レーダ）開発と応用の一端について紹介があった。

1) リモートセンシング：超広帯域（1-18 GHz）マイクロ波変調レーザを用いたイメージングの実験検証を行ってきた。空間分解は、レンジ方向、アジマス方向とも 約 2 mm であった。現在入射光学系を修正、ビームを直径10 cm 以上に広げ合成開口処理に適するものとすること、変調に高速掃引のVCO を使用し、FM-CW方式にすることにより、データ取得を高速化すること、逆合成開口イメージングへの展開を図りつつあることが紹介された。

2) 生体センシング:マイクロ波反射計を用いたバイタル信号測定の高度化を図ってきた。システムの改良および信号処理アルゴリズムの開発を進め、非静止状態の被験者に対しても、瞬時心拍値および心拍変動指標の測定を実時間で導出することに成功したことが報告された。

3) 非破壊検査:マイクロ波反射計の建築物壁面検査への応用について紹介された。周波数30-50 GHzのミリ波を用い、外壁タイルなどの裏面の剥離検査に適用され、5 mm の分解でその検査が行われ、画像表示が可能なことが検証された。

6) miRadar®128(バーチャル・アレイ 128 エレメント)　サクラテック 酒井 文則

これまでの24GHz 帯MIMO FMCW レーダーは、２次元走査であったが、検出範囲を仰角方向に広げたいとの要求があり3次元方式について検討した。従来のレーダーは、送信2ch,受信4chのMIMO方式でバーチャル・アレー数8chにより水平面を走査してきたが、今回、送信8ch、受信16chに増やしバーチャル・アレーエレメント数では従来の 16 倍となる128chを水平面に12ch、垂直面に12ch配置することにより3次元走査可能な構成とした。信号処理は高速化のため、MIMO 配列へのデータ配列処理、距離のFFTおよび方位のFFTをFPGA内部でおこなった。試作した本レーダーは、３次元的に目標を検出可能であり、今後、ドーローン搭載の障害物検出レーダーおよび建機の周辺監視レーダー用とし検証していく予定である。

７）76GHz 帯レーダによる人体の検知

福岡工大　近木祐一郎

本研究では最近自動車レーダの普及とともに非常に安価に購入できるようになったW帯のレーダをバイタル信号の検出に使ってみた結果が報告された。実験は室内で人体に対して適用され、人体とレーダ間の距離が1m～7mにおいて、人体の移動、呼吸、心拍が検出できることが報告された。レーダは77-80GHzのFMパルス運転で、PRFが1000Hzでデータが取得された。MTI と呼ばれる手法でデータ解析され、その結果レンジ方向と移動速度を分解できることが報告された。また、レーダの運転方法はLiveSAR と近く、ドローン利用の合成開口レーダとして検討可能なことが報告された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

様々な帯域のマイクロ波レーダのみならずレーザを利用した共通する解析処理技術で遠方のターゲットを高精度かつ高時間空間分解で画像取得し、また移動体検出など特徴ある情報をアピールできれば、災害監視のための応用ソフト開発の弾みがつき、防災対策などの関係部署への導入も見えてくるであろう。移動体検出のためのLiveSARシステムの改修に関して以下の資金を獲得している。

資金制度：科研費（基盤研究C）
研究費名：「災害時情報収集のための合成開口レーダによる移動体検出の研究」
配分機関名：福岡工業大学
配分期間：H30より4年間

［4］成果資料

(1) I. Gondo, Y Kogi, A. Mase, H. Ikezi, M. Inutake, “Development of the calibration method for the multi-channel sea-tide measurement radar”, Published in: 2020 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)
(2) N. Kimura, Y. Kogi, A. Mawse, H. Ikezi, M. Inutake, “Throughput improvement and evaluation of a laser radar with a high-speed sweep oscillator”, Published in: 2020 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)

共同プロジェクト研究

採択番号：H31/B10

# エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開

［1］組織

研究代表者：
柏崎 礼生（国立情報学研究所・サイバーセキュリティ研究開発センター）
通研対応教員：
北形 元（東北大学・電気通信研究所）
研究分担者：
北口 善明（金沢大学・総合メディア基盤センター）
近堂 徹（広島大学・情報メディア教育研究センター）
市川 昊平（奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科）
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）
延べ参加人数：7 人

［2］研究経過

目的・概要

データの発生源との距離が近い場所に配置された計算機群、すなわちエッジコンピューティング環境が注目されている。エッジコンピューティング環境はデータの発生源に近くなければならないため、広範に遍在していることが求められ、ゆえに需要が十分に大きな地域でなければ設備投資への資本投下は効率化されず、経済原理に従ってエッジコンピューティング環境を構成する基盤の運用品質は低下する可能性がある。具体的にはインターネットへの接続性を提供する回線の冗長性や仮想計算機の可用性が十分に提供されないといったことに現れる。

大規模な資本投下が行われているクラウドコンピューティング環境においてはDevOpsやあSite Reliability Engineering (SRE)と呼ばれる手法により運用品質の向上を実現できるが、これを支えるオーケストレータと呼ばれるソフトウェアは大規模向けで機能が複雑化しており、小規模利用ではオーバヘッドが大きい。一方で小規模な環境においても利用者は高い運用品質を求める可能性があるが、しかし構築者にとっては運用品質を向上させる動機づけがそもそも希薄であるという需給の齟齬も問題点として挙げられる。

本研究提案では小規模な中小規模のエッジコンピューティング環境を対象としたオーケストレータの設計と実装を行う。フルスクラッチで設計するのではなく、既存のオーケストレータの設計を流用しシンプルな実装を実現する。また、運用品質に応じた報酬を提供する課金モジュールの設計と実装を行う。これにより構築者は、高い運用品質を維持することにより、その構築者本人がより多くの利用を行うことができるというインセンティブが与えられることが期待できる。また複数のエッジコンピューティング環境を広域に接続し合う実証実験も行う。

本提案では 3 つのステイクホルダーについて考える。1 つは各拠点でエッジコンピューティング環境を構築する「構築者」、1 つはこの環境の上でサービスを構築し運用する「サービス提供者」、最後は運用されたサービスを利用する「利用者」である。各々のステイクホルダーがそれぞれの立場から提案手法で構築された環境、あるいはサービスを「観測」することにより評価を行い、本研究提案が提供する環境が構築者やサービス提供者だけでなく、環境の運用品質の向上が利用者が体感することのできる数値に波及するかどうかを検証する。

本研究提案者らはこれまで各組織が計算機資源とネットワーク資源を提供することにより構築される広域分散プラットフォーム「Distcloud」を設計・運用してきた。この計算機資源とネットワーク資源をエッジコンピューティング環境として利用する。この環境の上で低遅延や広帯域が特性となるサービスを動作させ、各組織内ネットワークに接続する利用者に対してこのサービスを提供する。サービス利用者には品質計測を行うためのアプリケーションをインストールさせ、計測されたデータを収集することにより統計的な解析を行う。

この取り組みを国内 6 拠点、海外 3 拠点で実現することを目標とする。海外拠点の展開についてはAsia Pacific Advanced Network (APAN)などで研究成果について発表することにより協力拠点を増大させる。またエッジコンピューティング環境における機械学習とそのユーザ体感品質の向上に関する実績のある海外の研究者を共同研究者に含めている。10〜12 月に東北大学でワークショップを開催し、招待講演を含めた 5 件以上の発表、50 名程度の参加者を集客できることを想定している。

［3］成果

(3-1) 研究成果

2020 年は 3 月にカトマンズで開催が予定されていた APAN の開催が中止となり、次いで 2021 年 7 月の香港、2021 年 2 月のイスラマバードでの開催も完全オンライン開催となってしまい、また Distcloud 拡張のための機材をセットアップするための国際渡航も厳しく制限されたため、海外への拠点拡大が困難となった。同様の理由により海外の研究者を講師として招聘してのワークショップの開催が困難となり、今年度は国内でのオンラインワークショップを複数回開催することでその代替とした。

その一方で、JHPCN 共同研究課題としての採択を受け、北海道大学、東京大学、大阪大学(2 台目)、九州大学の 4 拠点が加わった。また東京工業大学に実働の機器が配備され、JAIST は拠点として参加することとなった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

NTT コミュニケーションズが研究開発している Network Function Virtualization (NFV)の実装である「Kamuee」における Segmented Routing IPv6 (SRv6)の共同実証実験契約を、本共同研究の参加組織である東京工業大学、NII、京都大学、NAIST、大阪大学、広島大学との間で締結した。また、NII の国際高等セミナーハウス(長野県)を利用した若手研究者向けの研究合宿を 2020 年 6 月と 11 月に開催した。これは 1 人あたり 60 分程度の比較的長い時間の発表と議論を行うことで、研究開発の発展を狙ったものである。またオンサイトでおこなわれたこの研究合宿のほかに、毎週月曜日の 17 時からオンラインでの研究開発会合、通称「SRv6 もくもく会」を開催している。また、エッジコンピューティング環境の実証的な実験環境を実現するべく、情報・システム研究機構の未来投資プロジェクトに研究開発提案を行い、採択された。これは非電化地域に IP 網を延伸するため、自律移動可能なロボット型の AP を利用するもので、これを使うと非電化地域はもとより LTE の電波が届かない場所まで安価に IP 接続性を提供することができる。2020 年度はフィジビリティ・スタディを行い、2021 年度から 2 年間の研究開発ステージへと進むことができるか現在審査中である。

［4］成果資料

1) Hiroki Kashiwazaki; Hiroki Takakura; Shinji Shimojo, "A Quantitative Evaluation of a Wide-Area Distributed System with SDN-FIT, 2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), pp.607--612 (2020)

2) Hiroki Kashiwazaki; Hiroki Takakura; Shinji Shimojo: "A Proposal of Stochastic Quantitative Resilience Index Based on SLAs for Communication Lines, 2021 International Conference on Information Networking (ICOIN), pp.143-148 (2021)

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/B11**

# 動的言語の静的解析技術とその実用化に関する研究

［1］組織

研究代表者：
松本　行弘
（一般財団法人 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（クックパッド株式会社）
遠藤　侑介（クックパッド株式会社）
松本　宗太郎（Square 株式会社）
田中　哲（産業技術総合研究所）
住井　英二郎
（東北大学大学院情報科学研究科）

延べ参加人数：7 人

［2］研究経過

プロシージャの定義、名前の解決、型の整合性など、一般に実行前に定まると考えられるプログラムの構造や性質を、実行時に操作として行うプログラミング言語を動的言語と呼ぶ。動的言語は、コンパイルが不要となることで手軽に実行できることに加え、言語やライブラリの動的な拡張を含む高い自由度をプログラマに与え、短く簡潔なプログラムの記述を可能とする。この性質から動的言語は高い生産性を発揮し、産業的ソフトウェア生産の現場で頻繁に用いられている。今日一般に普及している Web アプリケーションや、スマートフォンのアプリのバックエンドの実体は、動的言語で記述されたプログラムであることが多い。動的言語は、今日の産業的ソフトウェア開発を支える基盤技術であると言える。その一方で、動的言語の動的な性質が、ソフトウェア開発の生産性や信頼性を阻害する要因としても認識されつつある。動的言語の特徴を失うことなく動的言語のプログラムの品質を高めることは、ソフトウェアの生産性と信頼性を高めるための重要な課題のひとつである。

この課題を解決するひとつの可能性は、動的言語のプログラムの静的解析技術にある。この技術はコンパイラの最適化技術などの基礎研究として古くから行われているものの、それらの技術を産業利用されているフルスケールの動的言語に適用する可能性や、その工学的な応用は、十分な検討がなされているとは言えない。実用規模な動的言語の静的開発技術の開発は挑戦的な課題と言える。

本共同プロジェクト研究の目的は、動的言語の静的解析技術の確立を目指して日々活動する動的言語の開発チーム、ソフトウェアエンジニア、およびプログラミング言語の研究者が一堂に会する機会を作ることで、産業および学術の両面からこの研究課題に取り組み、動的言語で書かれたプログラムの品質を向上させる可能性について議論することである。これにより、動的言語の記述力や高い生産性を阻害することなく、動的言語を静的解析しソフトウェアの品質向上に有用な情報を抽出する方式を、理論および実践の両面から探求する。

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。第 1 年度は、Ruby 3 のリリースに向けての静的解析技術の実現に向けた技術開発の状況報告と更なる発展に関する議論を行った。本年度は、前年度からの議論の流れを引き継ぎ、Ruby の静的解析機能を実現するための主要開発項目である、Ruby プログラムが定義するクラスやメソッドに関する型情報をその Ruby プログラムとは独立のファイルで記述するための型定義フォーマット、その型定義フォーマットで書かれたシグネチャを Ruby プログラムから自動生成することを支援する型プロファイラ、および型定義フォーマットを利用して Ruby プログラムの整合性を検査する型検査器の 3 点について、開発状況を確認し、今後の展開に向けての議論を行った。

本年度は 2021 年 2 月 17 日にオンライン（Zoom）で研究集会を行った。本研究集会には、研究代表者、通研対応教員、および分担者 5 名の合計 7 名の参加があった。研究集会では、動的言語 Ruby の静的解析に関する技術開発において中心的な役割を担う遠藤侑介氏および松本宗太郎氏から、開発の最新状況について発表があり、その技術的内容の詳細について参加者間で議論を行った。以下、研究集会における発表および議論の概要を述べる。

遠藤氏からは、抽象解釈により Ruby プログラムの型情報を抽出する型プロファイラ TypeProf に関する最新の動向および現時点で直面している課題についての報告があった。本年度は Ruby 3 への同梱を目指して TypeProf の開発に大きな進展があった。なかでも、リ

テラル値の導入、配列やハッシュなどコンテナに対するサポート、インスタンス変数の特別な追跡、ブロックのサポート、例外の簡単なサポート、抽象解釈によって到達できなかったメソッドやブロックを解析するスタブ実行、流れ依存の解析などについて報告が行われた。本報告を受けて、研究集会では、例外の取り扱いの改善、TypeProf の推定結果からの原因追求、仕様記述のためのテストケース、手書きの型情報との協調などの可能性について議論がなされた。また、今後の目標として、Rails のサポート、偽陽性の削減、パフォーマンスの改善などが論じられた。

松本氏からは、Ruby の型記述言語 RBS および型検査器 Steep についての現状と今後について報告があった。型記述言語 RBS は Ruby 3 とともにリリースされ、すでにいくつかの IDE や Web サイトでサポートされている。RBS の今後の拡張として、サブクラス制約付きの型変数の導入、汎用型エイリアス、メソッド引数並びの記述を容易にする言語機能の導入、無名のインターフェース型、現実でのブロックの使われ方を反映したブロック型の記述方式などを検討していることが示された。Steep に関しては、パフォーマンスの改善、IDE との統合、社内での Steep の活用状況について報告がなされた。なかでも、型検査を行うドメイン特化埋め込み言語である Sorbet の使用を断念し Steep に移行した事例が報告され、他の型検査ツールに対する有用性が確認された。これらの報告を受けて、研究集会では、再帰型の導入、委譲の取り扱いに関する可能性、型のログを取るツールの開発、行の途中への型コメントの挿入の是非などについて議論が行われた。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本共同プロジェクト研究の目的は、実用動的言語の静的解析技術の確立に向けて、技術者および研究者が一堂に会する機会を作ることで、産業および学術の両面から研究開発に取り組む環境を構築することであった。Ruby の静的解析技術の開発は、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技術である。本年度は、研究代表者、通研対応教員、研究分担者のメンバーで、Ruby と型についての話題を中心に、次期 Ruby に向けての研究課題やその周辺領域についての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、技術者および研究者の双方が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。本研究打ち合わせによって、本プロジェクトが目指す動的言語の静的解析技術の確立に向けた確かな一歩を進めることができたと言える。

本プロジェクトは産学共同研究推進型の共同プロジェクトである。本年度はコロナ禍のためオンラインでの開催となり、研究分担者以外の技術者や研究者の招聘を行っていない。次年度以降、社会が研究会を開催できる状況にあるならば、産業および学術の両分野から多様性に富む人材を招聘したいと考えている。本年度の参加者の所属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、Square 株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所、東北大学（順不同）。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究会としての本プロジェクトの一般的な発展性は、立場や専門が異なる技術者や研究者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ることにある。本プロジェクトは、その構成上、学外と学内、産業と学問、技術者と研究者、各参加者の中心的な興味の技術的にも型付き言語と型無し言語、オブジェクト指向型言語と関数型言語など、相対する多くの要素を含んでいる。それらの違いを超えて互いが連携することにより、各自の活動や研究に良い相乗効果が与えられ、動的言語の静的解析という萌芽的な領域への展開が行われた。このような機会が得られたことは、プログラミング言語研究分野をさらに発展させること、ならびに研究成果を迅速かつ円滑に社会還元するということの両面において、きわめて有意義であったと確信している。

［4］成果資料

2020 年 12 月 25 日に Ruby 3.0.0 がリリースされ、本プロジェクトが開発を支援してきた静的解析機構の一部が Ruby に同梱される形で公開された。本プロジェクトで開催した研究集会で議論した内容は、このように、世界で広く使用されている著名なソフトウェアの一部に反映されており、社会還元されている。

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/B12**

# 複雑なグラフコンテンツの探索・編集のための ユーザインタフェース

［1］組織

研究代表者：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
通研対応教員：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
研究分担者：
原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）
北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

延べ参加人数：4 人

［2］研究経過

本プロジェクトは，複雑なノード・リンクからなるグラフ構造のコンテンツにおいて，グラフ要素同士の密集によるオクルージョンの問題を解消し，目的とするオブジェクトの獲得や，グラフ内のエラーの発見を効率的に行うためのインタラクション手法を確立させることを目指すものである．本プロジェクトによって確立される技術は，今後ますます需要が拡大すると見込まれる屋内地図情報のデータ整備や，これを利用したナビゲーションや検索等の多くのアプリケーションの発展に寄与すると期待される．

本年度はまず，昨年度までの検討をまとめた内容の論文が国際会議CHI2020のLate-Breaking Workとして採択されていたため，その発表に関する打ち合わせ（オンライン）を2020年4月に1度実施した．国際会議後には，今後の方向性について定期的なオンラインミーティングで議論を進めた．ミーティングでは，主に本手法のアイデアをさらに推し進めるオクルージョンの可視化手法に関する点や，インタフェースを評価するためのユーザスタディの実験計画について議論した．さらに，本年度は，実際の屋内地図情報データを用いたアプリケーションを作成し，これを用いたユーザスタディを想定しており，そのための方策を練っていたが，新型コロナウイルスの影響により，このユーザスタディの計画が滞っている．

日時や参加者は以下の通りである．

□日時：2020年4月27日
場所：オンライン
参加者：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）
内容：学会での発表内容検討．

□日時：2020年5月11日，5月25日，6月8日
場所：オンライン
参加者：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）
内容：可視化手法の今後の方向性検討，ユーザスタディの実験計画検討等．

□日時：2020年6月25日
場所：オンライン
参加者：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）
内容：屋内地図へ本手法を適用するための実装方法検討．

□日時：2020年8月25日，9月6日
場所：オンライン
参加者：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）
原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）
内容：論文執筆内容に関する検討．

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度の本研究プロジェクト取り組みでは，国際的に活躍する研究者と連携して研究を遂行することができた．この成果として，昨年度から進めているグラフ要素のオクルージョン解決インタフェースについて国際会議にて発表することができた．

提案インタフェースでは，視覚効果にバネのメタファを取り入れ，ユーザのインタラクションに応じた一時的なレイアウトの変更を行う 2 つの手法を設計した．まず 1 つ目の Repel Signification は，ユーザのドラッグ・ズーム操作時にオクルージョンが生じている箇所を振動するように表示させることで，誤りを含む可能性が高い領域を強調させる手法である．また，2 つ目の Repel Expansion は，オクルージョンの含まれるグラフ要素をユーザがクリック可能にするため，カーソルを要素に近づけると，その付近に遮蔽されていた要素と，他階層と接続されている要素を出現させる手法である．これら 2 つを組み合わせることで，ユーザは通常のインタラクションや地図操作を継続するだけで，地図が持つトポロジー情報と各要素の位置情報を破壊することなく，それらのエラー箇所が発見しやすくなり，より効率的なグラフデータの編集が可能になることを示した．

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果は，ヒューマン・コンピュータ・インタラクション分野のトップカンファレンスである The 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2020)の Late-Breaking Work（ポスター，査読あり，採択率 41.8%）に採択され，2020 年 4 月に論文が公開された（発表は新型コロナウイルスの影響により中止となった）．今後，ユーザスタディの内容も含めたさらなる論文投稿を予定しているほか，本成果を受けたさらなる共同研究の発展も期待される．

［4］成果資料

（1）Kazuyuki Fujita, Daigo Hayashi, Kotaro Hara, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura. Techniques to Visualize Occluded Graph Elements for 2.5D Map Editing. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, Apr. 2020.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/B13**

# 固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御

［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：
千葉　大地（東京大学工学系研究科）
眞田　治樹（NTT 物性科学基礎研究所）
深見　俊輔（東北大学電気通信研究所）
森田　健　（千葉大学工学研究科）
石原　淳（東京理科大学理学部）
家田　淳一（日本原子力研究開発機構）
大江　純一郎（東邦大学物理学科）
国橋　要司（NTT 物性科学基礎研究所）
鈴木　義茂（大阪大学基礎工学研究科）
相馬　清吾（東北大学 CSRN）
高梨　弘毅（東北大学金属材料研究所）
多々良　源（理化学研究所）
仲谷　栄伸（電気通信大学情報理工学部）
新田　淳作（東北大学工学研究科）
林　将光（東京大学理学系研究科）
水上　成美（東北大学材料科学高等研究所）
守谷　頼（東京大学生産技術研究所）
松倉　文礼（東北大学 CIES）
国橋　要司（NTT 物性科学基礎研究所）

延べ参加人数：21 人

［2］研究経過

スピン自由度を活用するスピントロニクスデバイスおよびスピン物性において、近年スピン軌道相互作用が重要となっている。これは半導体や金属などの材料を問わずに、固体全般においてスピン軌道相互作用の有効磁場を活用した新規物性や新機能が生み出されているからであり、スピン軌道結合やスピン・磁化ダイナミクスまでを材料で分類せずに俯瞰して議論する場が、統一的な理解の上で極めて重要となる。しかしながら国内の研究会では金属と半導体スピントロニクス双方を同時に、しっかりと議論する場が少なく、互いの領域に隔たりがあることは否めない。本研究プロジェクトの目的は、この隔たりを埋めることで、スピン軌道相互作用の重要性を理解すると共に、新たに生まれる融合分野や新奇現象をいち早く共有し、国内のスピントロニクス研究を活性化させることにある。そこで、第一線で活躍する半導体および金属スピントロニクスの研究者を集めてスピントロニクスの進展を広く深く議論する研究会を 2021 年 2 月 22 日にオンライン会議として開催した。11 名の研究者を招いて本分野の最先端研究について成果発表が行われた。

［3］成果

以下に研究会の発表概要を記す。Y. C. Lau 氏(東北大)は Cobalt Shandaite 薄膜におけるスピン軌道トルクに関して室温での結果を報告した。Cobalt Shandaite は Tc が室温以下であるため室温では常磁性であり Tc 以下では強磁性を示すワイル半金属である。今回は室温でのハーモニック測定からスピン流生成に起因するスピン軌道トルクの結果を報告した。後藤穣氏(阪大)は熱による磁気異方性変調に基づいた新たなトルクについて直流及び交流電流を MTJ に印加した際のスピントルク発振から詳細に検討を行い、熱トルクによる高効率スピン制御を実証した。家田淳一氏(日本原研)はカイラル磁性が生み出す創発インダクタに関して、ラシュバスピン軌道相互作用と $\beta$ 項を取り入れた際の影響を理論的に明らかにした。創発インダクタは断面積が小さくなるほどその効果が大きくなることから高周波フィルタとしての実応用が期待されている。今回スピン軌道相互作用を取り入れることでこの効果が増強されることを理論的に導いた。船木博志氏(理研)は金属中で拡散運動する電子系をカイラル流体として考えた場合の角運動量生成に関して理論的に考察を行った。特にスピン軌道相互作用を取り込むことで異常速度に起因した新たな角運動量の生成を見出した。西沢望氏(東工大)は強磁性体/アルミナバリア/半導体構造を用いてほぼ 100％の偏光率が得られるスピン LED の結果と円偏光光源を用いたがん組織の光学検出に関してデモンストレーションを示した。特に肥大化するがん細胞を円偏光度の違いとして検出できることを示し、スピン LED と組み合わせることで小型高感度化が可能であることを提案した。守谷頼氏(東大)はグラフェンと hBN の積層構造で生まれるモワレ超格子に起因するセカンドDirac coneにおいて磁気輸送測定および磁気熱測定を組み合わせることでファンホーベ特異点における軌道角運動量の分裂が磁場下で生じることを実験的に初めて見出し、有効的な g 因子で 130 と極めて大きな値であることを

示した。また3層$WSe_2$/hBN/p+-$MoS_2$構造を用いた膜面直方向のトンネル分光を行うことで3層$WSe_2$内の量子化準位を検出することに成功した。単層ではなく多層構造内で半導体量子井戸同じように量子化準位ができていることを示した。金井駿氏(東北大)は位相緩和という観点から強磁性体を用いた確率的ビットにおいて面内及び面直方向時磁化容易軸を有した構造における確率ビットの位相緩和時間の短時間化に成功し、その物理的起源を明らかにすることに成功した。面内磁化容易軸では磁気異方性に加え反磁界成分が磁化反転の高速化に寄与していることを示した。またダイヤモンドNVセンターのような孤立電子スピン系においてその位相緩和の一般式を12000種類の物質系について導いた。これによりSiCよりも位相緩和長の長くなる物質系が700以上存在することを示した。国橋要司氏(NTT)は半導体量子構造における永久スピン旋回状態の電気的制御とそれに基づく長距離スピン輸送について実証し、さらにCubic ドレッセルハウススピン軌道相互作用をドリフト速度で制御することでも永久スピン旋回状態が実現できることを明らかにした。またGaAs半導体2次元電子ガスにおいて光励起によるポテンシャル閉じ込めを実現しそれに基づきスピン緩和時間が極めて長くなることを実験的に示した。小山知弘氏(阪大)はPt/Cu/Co構造を用いることで一方向性スピンホール磁気抵抗効果が増大することを実験的に示した。特に一方向性スピンホール磁気抵抗の起源の中でも界面のスピン依存散乱に起因する起源に着目し、GMRと同様の起源であることからGMR比が高いCu/Co界面を導入することでPt/Co構造よりも一方向性スピンホール磁気抵抗が増大することを示した。日比野有岐氏(理研)は強磁性体中で生じるス新たなスピン流生成効果に着目し、スピンホール効果により生じるスピン流が局在磁化により歳差運動して生じるスピン流と局在磁化方向に安定した電子スピン偏極が強磁性非磁性界面におけるスピン軌道相互作用により歳差運動して生じるスピン流の2種類を分離して評価することに成功した。同時に、相反現象であるスピンポンピングによりスピン流を注入することでこの2種類の起源に基づく電流生成を明らかにした。飯浜賢志氏(東北大)はCoFe/Ptなどの構造において円偏光を照射することで偏光依存のスピントルクが生じることを明らかにし強磁性層や非磁性層の膜厚を変化させた詳細な解析により生じるトルクが強磁性/非磁性界面によって生じる光学的なラシュバーエデルシュタイン効果であることを明らかにした。

今回はコロナ禍の影響もありすべてオンラインでの開催となったが質疑応答も活発に行われ、様々な新材料や震源に基づくスピン機能の創発や制御が明らかにされた。

［4］成果資料


[1] T. Nishimura, K. Yoshizumi, T. Saito, D. Iizasa, J. Nitta, and M. Kohda, “Full spin–orbit coefficient in III–V semiconductor wires based on weak localization anisotropy under in-plane magnetic field”, ***Physical Review*** **B 103**, 094412-1-094412-10 (2021).

[2] Y. Du, R. Thompson, M. Kohda, and J. Nitta, “Origin of spin–orbit torque in single-layer CoFeB investigated via in-plane harmonic Hall measurements”, ***AIP Advances*** **11**, 0250033-1-0250033-4 (2021). [3] R. Thompson, J - C. Ryu, G. Choi, S. Karube, M. Kohda, J. Nitta, and B - G. Park, “Anisotropic Spin-Orbit Torque through Crystal-Orientation Engineering in Epitaxial Pt”, ***Physical Review Applied*** **15**, 014055-1-014055-10 (2021).

[4] D. Iizasa, A. Aoki, T. Saito, J. Nitta, G. Salis, and M. Kohda, “Control of spin relaxation anisotropy by spin-orbit-coupled diffusive spin motion”, ***Physical Review*** **B 103**, 024427-1-024427-6 (2021).

[5] Y. Du, S. Arai, S. Kaneta-Takada, L. D. Anh, S. Karube, M. Kohda, S. Ohya and J. Nitta, “Room-temperature perpendicular magnetic anisotropy of Pt/Co/AlOx trilayers on SrTiO3 (001)”, ***AIP Advances*** **10**, 105010-1-105010-6 (2020).

[6] T. Arakawa, J. Shiogai, M. Maeda, M. Ciorga, M. Utz, D. Schuh, Y. Niimi, M. Kohda, J. Nitta, D. Bougeard, D. Weiss, and K. Kobayashi, “Tunneling mechanism in a (Ga,Mn)As/GaAs based spin Esaki diode investigated by bias-dependent shot noise measurements”, ***Physical Review*** **B 102**, 045308-1-045308-7 (2020).

[7] D. Iizasa, M. Kohda, U. Zülicke, J. Nitta, and M. Kammermeier, “Enhanced longevity of the spin helix in low-symmetry quantum wells”, ***Physical Review*** **B 101**, 245417-1-245417-13 (2020).

[8] R. Thompson, J - C. Ryu, Y. Du, S. Karube, M. Kohda, and J. Nitta, “Current direction dependent spin Hall magnetoresistance in epitaxial Pt/Co bilayers on MgO (110)”, ***Physical Review*** **B 101**, 214415-1-214415-9 (2020).

[9] Y. Du, H. Gamou, S. Takahashi, S. Karube, M. Kohda, and J. Nitta, “Disentanglement of Spin-Orbit Torques in Pt/Co Bilayers with the Presence of Spin Hall Effect and Rashba-Edelstein Effect”, ***Physical Review Applied*** **13**, 054014-1-054014-11 (2020).

[10] S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, "Theory of relaxation time of stochastic nanomagnets," ***Physical Review B*** **103**, 094423 (2021).

[11] K. Hayakawa, S. Kanai, T. Funatsu, J. Igarashi, B. Jinnai, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, "Nanosecond Random Telegraph Noise in In-Plane Magnetic Tunnel Junctions," ***Physical Review Letters*** **126**, 117202 (2021).

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/B15**

# 多機能マルチメディア生成技術に関する研究

［1］組織

研究代表者：
蔦田　光太郎（長崎大学情報データ科学部）
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：
（以下，研究分担者）
青木 直史(北海道大学･大学院情報科学研究科)
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)
河口 英二(九州工業大学)
川村 正樹(山口大学・大学院創成科学研究科)
貴家 仁志(東京都立大学 システムデザイン学部)
栗林 稔(岡山大学・大学院自然科学研究科)
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)
秋山 寛子(足利大学・工学部)
西村 明(東京情報大学・総合情報学部)
長谷川 まどか(宇都宮大学・工学部)
日置 尋久(京都大学・大学院人間・環境学研究科)
藤吉 正明(東京都立大学 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・サイバーセキュリティ研究所)
山田 隆亮(大阪工業大学・情報科学部)
今泉 祥子(千葉大学・大学院工学研究院)
高嶋 洋一(新潟総合学院開志専門職大学・情報学部)
延べ参加人数：20 人

［2］研究経過

マルチメディアコンテンツの流通において，マルチメディアの多機能化（単一メディアへのコンテンツの多重化やメディアからのコンテンツマイニング等）の研究・開発が，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，この多機能マルチメディア生成技術に関する，最新技術の動向，セキュリティ保護，知覚特性の発見を共有，討議することを目的として研究を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。
・研究集会，1 回開催，2021 年 1 月 28 日（オンライン開催，20 名参加）
・研究発表会，6 回開催，（5 月，7 月，9 月，11 月，1 月，3 月，各参加者 20 名程度）

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，主に以下に示す研究成果が得られた。

まず第１に，新しい埋め込み手法の提案．音響信号，映像信号の多機能化において，いかに主コンテンツの官能品質を劣化させずに多量の副コンテンツを埋め込み，頑健に副コンテンツの復元ができるかが研究となる．SVD を用いた特異値スペクトラム領域への音響信号用電子透かし埋め込み法，線形予測残差領域への音声信号用電子透かし埋め込み法に関して研究報告がなされた．

第２に，コンテンツマイニング．副コンテンツの検出をより頑健にする手法，および適用先の開拓，または陽に埋め込んでいない副コンテンツを掘り起こす研究が行われた．聴覚・視覚的な劣化を許すことで副コンテンツを効率的に埋め込み・検出することが可能となる．音声特徴量である X ベクターの匿名化手法，暗号化画像への可逆情報埋込などが研究提案された．

第３に，人工生成メディアの識別．メディア生成技術の発展により，人工生成メディアとの共存が重要となる．QR コード真贋判定の研究報告がなされた．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した．

こうした，研究分野の発展を受け，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小特集号``Enriched Multimedia-Multimedia Security and Forensics''を企画した．2021 年 3 月投稿締め切り，2022 年 1 月号に掲載される．

［4］成果資料

[1] ガラジット カソーン, カルンジャナ ジェサダ, 鵜木 祐史, “Audio Information Hiding in Sub-signals by deploying Singular Spectrum Analysis and Psychoacoustic Model,” 信学技報, vol. 120, no. 351, EMM2020-61, pp. 1-6, 2021年1月.
[2] マワリム キャンディ オリフィア, ガラジット カソーン, カルンジャナ ジェサダ, 鵜木 祐史, “X-vector anonymization using regression modeling with statistical and singular value,” 信学技報, vol. 120, no. 351, EMM2020-62, pp. 7-12, 2021年1月.
[3] 鵜木 祐史, ウィン ラ ピャエ, “線形予測残差を用いたスペクトル拡散型音声情報ハイディング法の検討,” 信学技報, vol. 120, no. 351, EMM2020-63, pp. 13-18, 2021年1月.
[4] 白井 航平, 金田 北洋, 岩村 惠市, “QRコード真贋判定アルゴリズムにおける色抽出処理を用いた手法の提案,” 信学技報, vol. 120, no. 351, EMM2020-64, pp. 19-24, 2021年1月.
[5] 平澤 凌一, 今泉 祥子, 貴家 仁志, “暗号化画像に対するMSB予測型可逆情報埋込み法の拡張,” 信学技報, vol. 120, no. 351, EMM2020-65, pp. 25-30, 2021年1月.
[6] 塩入 諭, 佐藤 好幸, “情報質インフォマティクスの構築と人間の判断推定 (Invited Talk),” 信学技報, vol. 120, no. 351, EMM2020-66, pp. 31-35, 2021年1月.

共同プロジェクト研究

**採択番号：H31/B16**

# 型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成

［1］組織

研究代表者：
森畑　明昌（東京大学大学院総合文化研究科）
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：
大堀　淳（東北大学電気通信研究所）
加藤　和彦
（筑波大学大学院システム情報工学研究科）
田浦　健次朗
（東京大学大学院情報理工学系研究科）
阿部　洋丈
（筑波大学大学院システム情報工学研究科）
長谷部　浩二
（筑波大学大学院システム情報工学研究科）
佐藤　重幸
（東京大学大学院情報理工学系研究科）
Ryan Nathanael Soenjoto Widodo
（筑波大学大学院システム情報工学研究科）
椎名 峻平
（東京大学大学院情報理工学系研究科）
延べ参加人数：10 人

［2］研究経過

型主導コンパイルはコンパイラが型情報をもとにコード生成を行う技法である。型主導コンパイルは多相レコード計算のための手法として Ohori（ACM TOPLAS’95）により発明されたが，現在では多くの応用があると判明しつつある。型主導コンパイルでは，プログラムを取り巻く文脈，具体的にはアプリケーションや計算機環境等，に依存しうる部分を多相型で表し，カインドによってその文脈が満たすべき制約を記述する。これら型・カインドの制約はコンパイラにより確認され，実行時エラーを自動的に排除できる。さらに，型推論によってアプリケーション等で必要となる情報を自動的に補完することすら可能である。そのため，アプリケーションや計算機環境等に依存する部分を信頼性・生産性高く記述できる。これまで型主導コンパイルは，プログラミング言語とデータベースのシームレスな接続をはじめとして，複数のプログラミング言語間のシームレスな接続，プログラムの効率化，プログラムの領域特化などに応用されている。

本共同研究プロジェクトの目的は，型主導コンパイルに詳しいプログラミング言語分野の研究者と，型主導コンパイルの潜在的な応用先であるシステムソフトウェア・高性能ソフトウェア基盤の研究者が一堂に会し，型主導コンパイルの可能性について議論することにある。これにより，現時点では手作業に近い形でアドホックに解決せざるをえない，システムソフトウェア・高性能ソフトウェア作成上の困難に対し，型主導コンパイルを用いた系統的・自動的な解決が見いだされることを期待している。

2020 年度は 2021 年 3 月 29 日にオンラインで研究集会を行った。研究集会には，東北大学・東京大学・筑波大学から合計 10 名が参加し，7 件の研究発表が行われた。昨年度は直接議論を交わす形での研究集会が実施できなかった。そのこともあり，第 2 年度である本年度は昨年度の話題も振り返りつつ議論を深めた。以下，この研究集会の概要を記す。

森畑は二村射影に基づくコンパイラの作成の試みと，それによって明らかになった，コンパイラの意義の変遷について論じた。これに対し，データ処理や機械学習の需要の高まりによりプログラミング言語の利用方法が変化しつつあること，それに対応するために型主導コンパイルが活用できうることが議論された。

Widodo は分散計算における通信量やストレージ使用量の削減を目的とし，分散ファイルシステムレベルでのデータの自動圧縮をする手法を提案し，その効果についての実験結果を紹介した。この手法は分散計算の基盤システムの改善に繋がるだけでなく，そのようなシステムの上での効率の良いアプリケーション開発のためのプログラミング手法の議論にも繋がりうる。

上野は，大堀研を中心に開発されているプログラミング言語 SML#の近年の発展について報告した。特に主要なものは，関係データベースや JSON ファイルとの自然な利用を可能にする機能と，並列計算をサポートするための実行時システムの改善である。これに関して，近年のデータサイエンスでの需要の観点から，それら機能の意義や今後の方向性について議論がなされた。

加藤は，ソフトウェア開発の文脈で重要なシステムログについて，それをデータ生成モデルに基づき生成する方法，そのようなモデルを推測する手法，そしてログに対してそのようなアプローチを採ることの実用上の可能性を論じた。一見ソフトウェア工学的な話題であるが，脳機能の推測のような自然科学的話題との類似性があることが，発表後の議論で指摘された。

佐藤は，SIMD (single instruction multiple data) 命令の挿入による効率改善が簡単になるための高水準プログラミング言語の設計について論じた。この言語は，関数型言語でよく知られているパラメトリック多相性を効率改善のための手がかりとして用いる。発表後にはこの手法の優位性やあり得るインパクトなどについて議論が行われた。

長谷部は，分散システムの中で故障した計算機を検出する一般的な手法を与えるための一歩として，特にビザンティン将軍問題と呼ばれる問題についてのケーススタディを報告した。提案手法は認識論理という数学的に確かな基盤を実用システムにつなげる研究である点が特徴である。より実用的な応用に向けての可能性などについても議論がなされた。

椎名は，メニーコア計算機のように階層的なキャッシュメモリをもつ環境で，より高い並列性能向上を得られるような軽量スケジューラの実装手法について報告した。これは，簡単で高性能な並列計算を行うための基盤となるソフトウェアのための手法であり，プログラミング言語からの適切な接続が期待される。

［3］成果

(3-1) 研究成果

前述の通り，本年度の研究集会では，高水準プログラミング言語に関する話題から，並列分散計算における性能改善，そしてそれらに対する数学的な分析まで，各参加者がそれぞれの専門性に基づく話題を提供し，お互いの研究の関連性や発展の可能性についての多くの議論が行われた。その結果，各人の話題の間の緩やかな関連が確認された。例えば，森畑のコンパイラ作成手法は加藤のログ分析のような応用に有益である可能性があり，Widodo や佐藤，椎名の手法はその効率を高める基盤となる可能性がある。SML#はそれらの手法をつなぐ実装基盤となり得るもので，特に型主導コンパイルはそのための中核的な技法となり得る。さらに長谷部の手法はそれらを統合し開発されたソフトウェアの分析に有用である。

以上から分かるとおり，広範な分野での問題意識が，SML#と型主導コンパイルを中心として繋がりうることが確認された。これが本年度の主要な成果である。

本共同研究プロジェクトは若手研究者対象型である。これに伴う特別支援費が利用可能であったが，今年度はオンライン開催となったため，この予算は使わなかった。対面開催が可能であれば，Widodo や椎名などの学生の旅費に充てる予定であった。学生や若手研究者にとっては，自分の研究分野や研究テーマを客観視するために，また人脈を広げるためにも，他分野の研究者と交流するのは特に重要だが，そのような機会は得がたい。本研究会のような機会に安心して参加できるような予算の裏付けがあることは，非常にありがたいことである。

(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，本共同研究プロジェクトでは，異なる大学の，異なる分野の研究者が集まり，お互いの研究の関連について認識する貴重な機会となった。現時点ではこれが直ちに大きな研究プロジェクト等に繋がったわけではない。しかし，特にデータサイエンスや機械学習技術を前提としたプログラミングに対して，高性能・高信頼のソフトウェアを作成するための基盤技術が本研究集会で集約されたとの手応えは得られており，「次回大型予算を目指す際にはこのようなテーマで行くのはどうか」というような議論も実際に行われた。このような基盤技術が確立した暁には，現時点で広く使われているソフトウェア構成方法を刷新する可能性があり，発展性・波及効果は非常に大きい。

また，Widodo や椎名などの学生にとっては，他分野の研究者と交流する貴重な機会となった。自分野では当然と思われがちな前提について疑問を投げかけるような質問もあり，自分の研究を客観視する貴重な機会となった。

［4］成果資料

本研究集会は萌芽的なアイデアを見いだすことを目的にしていることもあり，現時点で明確な成果はない。とはいえ，研究代表者の森畑が分担者として 2018 年度の研究集会で発表した内容は，研究集会での議論を活かすことで，プログラミング言語分野で最も権威ある国際会議の 1 つである ACM PLDI 2021 に採択されている。このように，時間はかかるかもしれないが，将来的には本研究集会の成果が世に現れると確信している。

共同プロジェクト研究

採択番号（Grant No.）：H31/B17

# PSDL2: Physical Security of Deep Learning 2

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者 (Principal Investigator)：
Shivam Bhasin, Nanyang Technological University, Singapore
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Naofumi Homma
研究分担者 (Project Member List)：
Dirmanto Jap, Nanyang Technological University, Singapore
Ville Yli-Mäyry, RIEC
Akira Ito, RIEC
Rei Ueno, RIEC

延べ参加人数 (Total Number of Participants)： 5

［2］研究経過 (Summary)

Security of machine learning (ML) has been shown as a matter of concern when considering side-channel attacks (SCA). Such attacks which enable theft of ML intellectual property have only be shown for complex ML algorithms like multilayer perceptron (MLP) or convolutional neural network (CNN). However, security of other widely used algorithms for resource constrained platforms is highly unexplored.

In this joint collaboration, we assess the practical attack on different algorithms implemented on different target platforms against electromagnetic (EM) SCA. We investigated the security of decision tree-based algorithm, which is widely used in industrial environment especially on Industrial internet of things (IIoT). We also investigated the security of Binarized Neural Networks (BNN), implemented on FPGA. With practical validation, we demonstrate the successful recovery of the parameters and architectures of the target models.

［3］成果 (Results)

For the first investigation, we target Bonsai, a publicly available library for tree-based ML algorithms which can be fitted into low-end IIoT devices. The reverse engineering is based on EM side-channels. For the following experiments we use Arduino due with ARM Cortex M3 as the target IoT device. We trained a shallow decision trees on Bonsai with USPS handwritten digit dataset. The model is trained on this dataset, and then downloaded to ARM Cortex-M3. The adversary can then employ different side-channel attack methods to recover each of the secret parameters.

For next target, we target BNN hardware, generated and synthesized using open-source and commercial high-level synthesis tools GUINNESS and Xilinx SDSoC, respectively. With the hardware implemented on an up-to-date ZYNQ FPGA chip, we demonstrate how the layers can be identified from a single EM trace measured during the network evaluation, and we also demonstrate how an attacker may use side-channel attacks to recover secret weights used in the network.

(3-1) 研究成果 (Research Results)

In this section, we briefly describe recovery process for attack. For the attack on Bonsai, the aim is to recover each sensitive parameter individually in divide-and-conquer method, which finally leads to a full attack. The main attack targets can be categorized into 1) sparse projection parameters and node predictors (recovered using standard correlation power analysis), 2) sparse projection index parameters (recovered using template attacks) and 3) branching function (recovered using timing attacks). For the sparse projection parameters and node predictors, to recover single weight value, by introducing bias in the data, the

adversary could recover the value with 100,000 measurements. For sparse projection index parameters, the adversary might not recover the exact index with high probability, however, the correct index value might be recovered within top-5 prediction. Lastly, for branching function, the timing for different branch can be clearly distinguished (3.36ns and 3.41ns). In summary, using divide-and-conquer method, each of the secret parameter could be recovered, which lead to full reconstruction of the model.

For the attack on BNN, we conduct EM side- channel analysis to recover the layer structure and parameters of practical Binarized Neural Network (BNN) hardware generated with GUINNESS and synthesized with commercial high-level synthesis tool Vivado HLS tool. The hardware is implemented on a Xilinx Zynq chip mounted on Digilent Zedboard. We showed how the layers can be identified from a single EM trace measured during the network's evaluation, and we demonstrate how an attacker may use side-channel attacks to recover the weights used in the layers.

【Seminar/Discussion dates】

- 15-16 October, 2019: Discussion at RIEC (# of participants: 5)
- Teleconferencing Calls:
  - ➢ 21 November, 2019, 17 December 2019, 23 January, 2020, 2 March, 2020
- Due to COVID-19, the later discussions were conducted through email exchanges

(1) Dirmanto Jap, Ville Yli-Mäyry, Akira Ito, Rei Ueno, Shivam Bhasin and Naofumi Homma. ″Practical Side-Channel Based Model Extraction Attack on Tree-Based Machine Learning Algorithm.″ ACNS Workshop (2020)

(2) Francesco Regazzoni, Shivam Bhasin, Amir Alipour, Ihab Alshaer, Furkan Aydin, Aydin Aysu, Vincent Beroulle, Giorgio Di Natale, Paul Franzon, David Hély, Naofumi Homma, Akira Ito, Dirmanto Jap, Priyank Kashyap, Ilia Polian, Seetal Potluri, Rei Ueno, Elena Ioana Vatajelu, and Ville Yli-Mäyry. ″Machine Learning and Hardware security: Challenges and Opportunities -Invited Talk-. ″ ICCAD (2020)

(3) Ville Yli-Mäyry, Akira Ito, Shivam Bhasin, Dirmanto Jap, and Naofumi Homma. ″Extraction of Binarized Neural Network Architecture and Secret Parameters Using Side-Channel Information.″ To appear: ISCAS (2021)

(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)

The target operations exploited in the experiments are also present or commonly used and implemented in other learning algorithms, which make the proposed approach generic and applicable to different family of machine learning. The investigations have also been conducted on different target platforms, mainly on ARM microcontroller and ZYNQ FPGA, which indicate that the attack methodology can be adopted across platforms, exploiting similar vulnerabilities. The investigation on potential countermeasure and mitigation for the attacks can be considered interesting research direction.

［4］成果資料 (Publications)

共同プロジェクト研究

採択番号：H31/B18

# モバイルエッジコンピューティングにおける動的サービス制御技術

［1］組織

研究代表者

Shao Xun（北見工業大学情報通信系）

通研対応教員

長谷川 剛（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

なし

延べ参加人数：200 人

［2］研究経過

エッジコンピューティングに関する研究・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，大規模かつ汎用的なエッジコンピューティングにおけるオーケストレーションアルゴリズムの研究開発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，サーベイや早期研究を行い，大規模かつ汎用的なエッジコンピューティングにおけるオーケストレーションアルゴリズムの必要性やそれに求められている特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，オンラインアルゴリズムを用いたオーケストレーションシステムに関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

1）研究打ち合わせ

今年度はコロナウィルスによるパンデミックによって，出張ができなかったため，メールやＳＮＳを使って，研究交流を行っていた。

2）研究代表者による国際会議の開催

会議名：EAI MONAMI 2020

日時：2020 年 11 月 10 日 - 12 日

開催場所：オンライン

参加人数：200

3）研究代表者による論文誌特集号の企画

論文誌名：Springer Mobile Network and Applications (MONET)

特集号名：Exploring the Opportunities and Challenges of Heterogenous Mobile Edge Computing

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

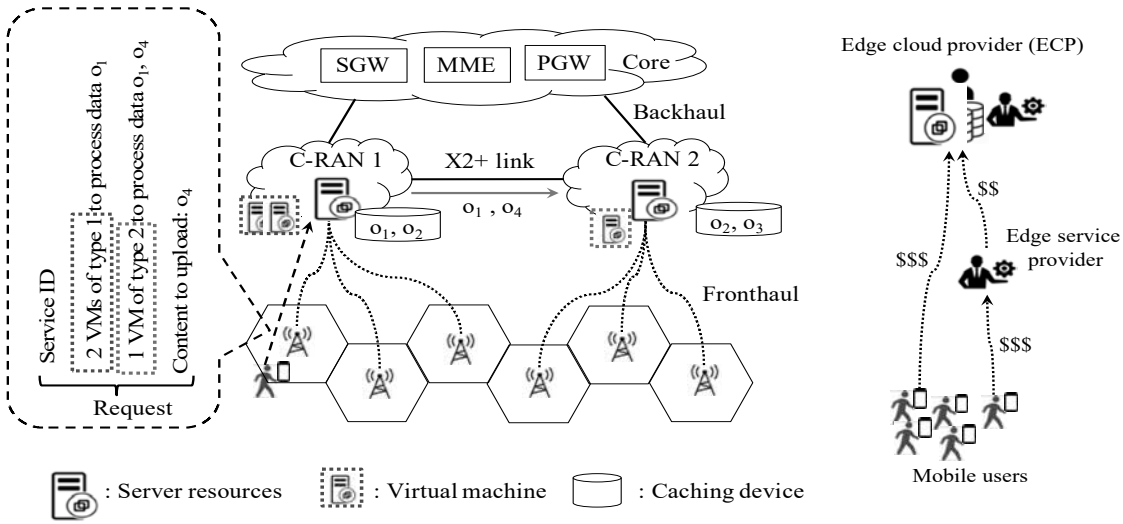



図1. 汎用エッジコンピューティングシステムのビジョン

まず第１に，汎用的かつ大規模エッジコンピューティングのビジョンを提案した。これまでの研究とは違い，汎用的かつ大規模なエッジコンピューティングでは多様なIoTリクエストに対応するため，計算用サーバー資源のみならず，データキャッシュ設備もエッジクラウドプロバイダー(ECPの局舎（C-RANなど）に配置しています。また，エッジクラウド間はX2+のような高速ネットワークでつながっています。このようなアーキテクチャでは，多様なリクエストに対して柔軟な対応が可能です。例えば，図１で示しているリクエストでは，「インターネット上にあるデータ $o_1$ を二つのタイプ１のVMで処理すると同時に，自分の設備からデータ $o_4$ をエッジサーバーにアップロードし，$o_1$ と一緒に一つのタイプ２のVMで処理する」というような高度にカスタマイズされたリクエストにも対応できます。また，本研究では，技術面のみならず，図１の右に示すような，ビジネス展開のシナリオに関しても議論しています。具体的には，ECPの他に，エッジサービスプロバイダー(ESP)の出現を想定し，ESPがECPにエッジクラウド利用料を支払いながら，モバイルユーザーに付加価値のある多様なサービスを提供することが期待できます。

第２に，汎用的かつ大規模エッジコンピューティングにおけるオーケストレーションアルゴリズムの開発に成功した。　本アルゴリズムでは，接続している複数のエッジサーバーによるエッジコンピューティングネットワークを運営するプロバイダの長期的な収入を最大化することを目的としています。その目的関数の変数は個々のIoTリクエストに対する資源の割当ポリシーや分散されたデータをキャッシュするポリシーです。申込者は，この問題の数学的モデリングを構築し，その数学構造の特徴を分析した上で，Lyapunov アルゴリズムと双対アルゴリズムを融合することによって，新たなオンラインオーケストレーションアルゴリズムを提案しました。厳密な理論分析や膨大なシミュレーションを行った結果，提案したアルゴリズムは，ダイナミックな環境においても，多様なIoTリクエストに効率よく対応できることを明らかにしました。

第３に，IoTのリクエストを予測するアルゴリズムの開発を完成した。

IoT アプリケーションには多種多様なものがあるため，そのリクエストを予測することが難しく，予測精度を検証するためのデータセットも存在しません。そのため，申込者はIoTアプリケーションのリクエスト発生パターンに近く，かつ検証データもある自転車シェアリングのリクエストの予測アルゴリズムに着手しました。

具体的に，本研究では pseudo-double hidden layer feed forward neural networks(PDLFNs)を提案しました。PDLFNsでは，従来のback propagation学習アルゴリズムの弱点を克服するため，extreme learning machine と particle swarm 最適化アルゴリズムを融合することによって，精度の高いリクエスト予測ができます。申込者は米国 Chicago 市にある Streeter Dr bike-sharing station が一般提供するデータセットを用いて，膨大なシミュレーションを行い，提案方式の有効性を証明しました。

（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し，以下のプロジェクトに発展した：

１）IoTの多様なニーズに応えるためのエッジクラウドオーケストレーションに関する研究

研究費名：電気通信普及財団調査研究助成金

研究期間：2020年4月 - 2021年3月

２）Research on Relay-Assisted Task Offloading Optimization Scheme for MEC-enabled Internet of Vehicles

研究費名：NII公募型共同研究

研究期間：2020年4月 - 2021年3月

また，本プロジェクトは以下の国際会議の開催につながっている：

１）EAI MONAMI 2020

主催：研究代表者

日時：2020年11月10日 - 12日

開催地：オンライン

参加人数：200

２）EAI MONAMI 2021

主催：研究代表者

日時：2021年9月28日 - 30日

開催地：千葉

参加人数：200（予想）

［４］成果資料

１） F. Wu, S. Hong, W. Zhao, X. Wang, X. Shao*, X. Wang, and X. Zheng, “Neural Networks with Improved Extreme Learning Machine for Demand Prediction of Bike-sharing”, Mar 2021, DOI: 10.1007/s11036-021-01737-1

２） Xun Shao, et al., “Editorial: Recent Advances on Intelligent Mobility and Edge Computing”, Mar 2021, DOI: 10.1007/s11036-021-01740-6

共同プロジェクト研究

採択番号（Grant No.）：H31/B19

# Securing IoT devices against EM Fault Injection

［1］組織 (Research Organization)
研究代表者（Principal Investigator）：
Ingrid Verbauwhede, KU Leuven, Belgium
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Naofumi Homma, RIEC
研究分担者 (Project Member List)：
Benedikt Gierlichs, KU Leuven, Belgium
Arthur Beckers, KU Leuven, Belgium

延べ参加人数 (Total Number of Participants)：24

［2］研究経過 (Summary)

The Internet of Things (IoT) is becoming essential in peoples lives. The IOT devices need protection against so-called electronic side-channel and fault-attacks. In this collaboration project, we mainly investigate mitigation strategies suitable for IoT devices against the threat of electro-magnetic (EM) fault injection.

【Seminar/Discussion dates】

Due to covid-19 restriction, Prof. Verbauwhede and Prof. Homma organized an online workshop, to discuss the results of the research of both research groups. This online seminar and discussion was held on 26, March 2021: # of participants: 24




［3］成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

This project brings together the expertise on side-channel and fault attacks of the KU Leuven partner with the expertise of the RIEC partner. KU Leuven has a large electronics evaluation lab. RIEC has extensive experience with EM.

A new Spark Gap based EM Pulse Injection Setup [A] was designed by the Japanese partners. It is used at the lab facilities in Leuven to perform high voltage pulse injection, as shown in Figure 1. The second research collaboration focuses on the effects of EM attacks on Ring Oscillators. Ring Oscillators are form an important class of True Random Number Generators. The first results of this collaboration are published in [B] and research is continuing on this topic.

In figure 1, the experimental set-up of the work presented in [A] is shown. In this paper, different parameters that effect EM Pulse fault injection based on a spark gap trigger are investigated.

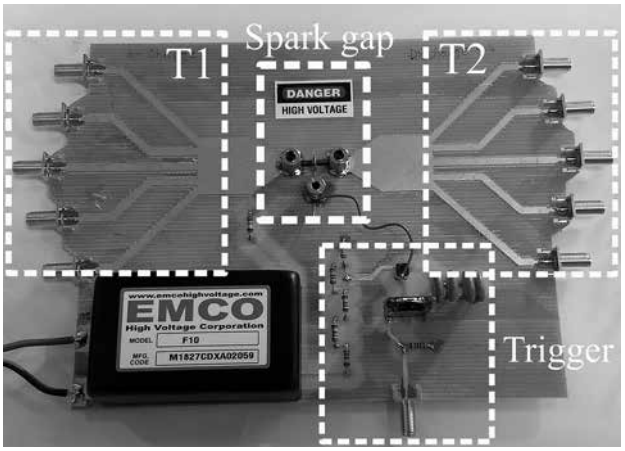



Figure 1: Experimental set-up EM Pulse generator [A].

In figure 2, the measurement set-up based on a microstripline is illustrated.

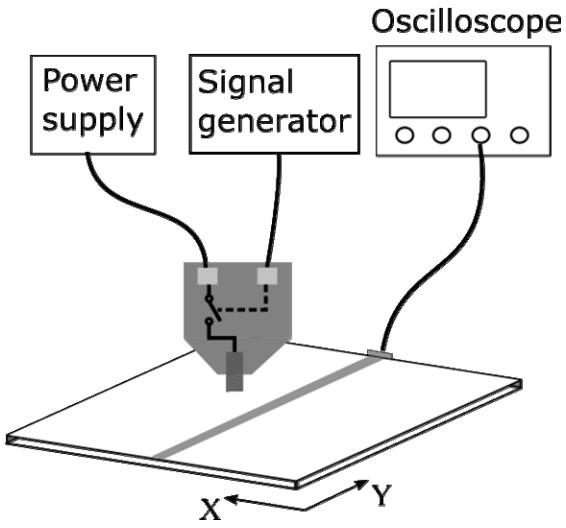



Figure 2: Measurement set-up based on microstripline [A].

(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)

Both Prof. Naofumi Homma and Prof. Ingrid Verbauwhede had talks at the online joint seminar, and discussed their recent research results related to side-channel attacks and EM fault injection together. Prof. Ingrid Verbauwhede will also give a keynote presentation at the IEEE ETS conference (European Test Symposium) [C] and the IEW International Electrostatic discharge workshop [D]. Her presentation will cover fault attacks, EM fault attacks, fault attacks set-up and fault attack exploitation. She will include the research results of the collaboration into the presentation. [C] and [D] are important multiplied effects.

[4] 成果資料 (Publications)

A. A. Beckers, M. Kinugawa, J. Balasch, Y. Hayashi, and I. Verbauwhede, "Design and Evaluation of a Spark Gap Based EM-fault Injection Setup," In 2020 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity , ieee, 4 pages, 2020.

B. S. Osuka, D. Fujimoto, Y. Hayashi, N. Homma, A. Beckers, J. Balasch, B. Gierlichs, and I. Verbauwhede, " EM Information Security Threats Against RO-Based TRNGs: The Frequency Injection Attack Based on IEMI and EM Information Leakage," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 61(4), pp. 1122-1128, 2019.

C. I. Verbauwhede, "Secure hardware design: starting from the roots of trust", Keynote 4 - https://ets2021.eu/program

D. I. Verbauwhede, "EM induced fault attacks and their security exploitation," Keynote at the IEW International Electrostatic Discharge Workship (IEW), May 17-20, 2021, Virtual event, https://www.esda.org/events/international-electrostatic-discharge-workshop-iew

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/B01**

# 磁性材料の微細構造制御による次世代情報通信システムのための磁気デバイスの開発

［1］組織

研究代表者：
池田 愼治
（公立小松大学生産システム科学部）
通研対応教員：
石山 和志（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
栃 修一郎（東北大学電気通信研究所）
薮上 信（東北大学大学院医工学研究科）
遠藤　恭（東北大学大学院工学研究科）
小澤 哲也（東北学院大学工学部）
直江 正幸（電磁材料研究所）
室賀　翔（秋田大学大学院理工学研究科）
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（国立高等専門学校機構）
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）
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：21 人

［2］研究経過

本プロジェクト研究会では，近年の自動車を代表とするモビリティのインテリジェント化や，IoT のような分散型の情報入出力などの要求に対して，磁気デバイス開発を通して貢献することを目的としている。すなわちアクチュエータ，磁気センサ，各種電磁エネルギー変換素子といった磁気デバイスが対象であり，磁気工学を基礎とした各種技術分野の知見が求められる。そのために，次に示す磁気分野の幅広い研究者によ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．磁性材料のマルチスケールな構造制御
3．各種磁気デバイス開発

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は感染症流行の影響が大きかったため，研究分野を跨いで多くの研究者が集まり，議論する形での研究会開催は断念した。磁気分野の研究者が比較的多く集まる学術的催しとしては、日本磁気学会の学術講演会や，電気学会のマグネティックス研究会など複数あるが，それらも軒並みオンラインでの開催となる状況であった。それらの学術研究発表の場で，各研究者により専門性の高い研究成果発表が行われていることに対し，本プロジェクト研究会は，さらに隣接する広範囲の研究分野の研究者が敷居を下げて議論できる場であることが特徴である。従って，社会情勢を注視しながら，今後も研究会の開催を通じて研究分野のために貢献してゆきたい。

**採択番号：R02/B02**

# コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究

［1］組織

研究代表者：
井上　崇（産業技術総合研究所）
通研対応教員：
廣岡　俊彦（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
森　雅彦（産業技術総合研究所）
並木　周（産業技術総合研究所）
土田　英実（産業技術総合研究所）
黒須　隆行（産業技術総合研究所）
鍬塚　治彦（産業技術総合研究所）
松本　怜典（産業技術総合研究所）
吉富　大（産業技術総合研究所）
石川　浩（株式会社光パスコミュニケーションズ）
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）
柏木　謙（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（東邦大学）
浅原　彰文（電気通信大学）
延べ参加人数：１６人

［2］研究経過

クラウド・ビッグデータ社会の基盤として従来用いられている情報通信システムでは、ワイヤレスネットワークと、これを収容する大容量光ネットワークが、それぞれ独立に構築ならびに運用されている。将来に向けてより安全・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必須である。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ワイヤレスと光のネットワークを、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たうえで、両者の違いを意識せずに利用できる仮想化ネットワーク技術が要求される。

一方、計測標準分野においては、マイクロ波領域の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。光波領域で規定される時間標準を通信やセンシングに利用するためには、光波の高純度なコヒーレンスを保持したまま、周波数をマイクロ波帯に変換する必要がある。

本プロジェクトでは、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所の研究者の間で、コヒーレンスを保持して光波とマイクロ波を相互変換し、システムとして両者を融合したコヒーレント通信・計測技術に関する研究討論を行った。

本プロジェクトは，今年度が採択１年目に当たり、令和３年２月２日にオンラインで、東北大学、産業技術総合研究所、ＮＩＣＴ、広島大学、三菱電機、横浜国立大学、電気通信大学などの研究者が参加して研究会を開催し、10 件の発表を行った。光電融合ネットワークに向けたデバイス技術やデジタル信号処理技術、コヒーレント光伝送技術、光センシング技術、テラヘルツ無線通信技術、シリコンフォトニクスおよび量子関連技術、光周波数コムを用いた分光技術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（〇は発表者を示す）。

２０２１年2月2日（火）

１．開会挨拶　　廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
２．光電波融合ネットワークを形作るためのデバイス基盤技術：〇山本直克（NICT）
３．61GHz 帯 8Gbaud, 256QAM 光・無線融合フルコヒーレント伝送：〇葛西恵介・廣岡俊彦・吉田真人・中沢正隆（東北大）
４．コヒーレンスの限界を打破する差動型 FMCW-LiDAR：〇土田英実（産総研）
５．シリコン CMOS 集積回路を用いた 300GHz 帯無線技術とその未来：〇藤島実（広島大）
６．Beyond5G/6G 光・無線融合システムに向けたデジタル信号処理技術：〇斧原聖史（三菱電機）
７．CFBG と LCoS を用いた低非線形分散マネージ伝送路とその超高速コヒーレントナイキストパルス伝送への応用：〇岩屋太郎、木村光佑、吉田真人、葛西恵介、廣岡俊彦、中沢正隆（東北大）
８．GAWBS 雑音の波長分散依存性に関する考察：〇佐藤耕造・管貴志・吉田真人・葛西恵介・廣岡俊彦・

中沢正隆（東北大）
9．10Tbit/s 160km QAM 量子雑音ストリーム暗号伝送：○吉田真人・管貴志・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
10. 大規模シリコン光スイッチ上での単一光子量子ウォークの実験：○鴻池遼太郎・吉澤明男・並木周・池田和浩（産総研）
11. 液体窒素冷却トラップによるアセチレンのデュアルコム分光：○加藤英毅・杉山陽平（横浜国大）・大久保章・稲場肇（産総研）・洪鋒雷（横浜国大）
12. 閉会挨拶　土田英実（産総研）

［3］成果

(3-1) 研究成果

① アナログ RoF による無線信号の光ファイバ伝送を実現するうえで、光電変換およびアンテナ部として必須となる様々なデバイス技術の開発を行った。さらに、RF 帯で 100Gb/s を上回るサブキャリア IQ 変調を行う手法を開発した。
② 注入同期型キャリア周波数変換回路を提案し、8Gbaud で最大 256QAM までの信号を 6m 空間伝送する光・無線融合型フルコヒーレント RoF 伝送実験に成功した。
③ Frequency Modulated Continuous Wave 型の LiDAR に関する開発を実施し、コヒーレンスの問題として光周波数雑音を除去する手法を提案し、コヒーレンス長（100m 以下）を大幅に超える 1km 以上の距離での測定を実現した。
④ シリコン CMOS 技術による 300GHz 帯無線用 1 チップトランシーバの開発を行い、265.68GHz 帯で 20Gbaud 16QAM（80Gbps）信号を送受信することに成功した。
⑤ Beyond5G/6G 向けのアクセス収容技術として、マルチチャネル ADC 方式を開発して FPGA に実装し、帯域 13GHz のサブキャリア変調信号の AD 変換特性を評価した。
⑥ コヒーレント Nyquist OTDM 伝送において、非線形性が大きくペナルティ増大の原因となる逆分散ファイバの代わりに、チャープト FBG と LCOS を組み合わせて高精度分散マネージメント伝送路を構成し、15.3Tb/s 160km 伝送実験に成功した。
⑦ パイロットトーンを用いた GAWBS 雑音に起因する位相雑音補償効果に関して、パイロットトーンとの周波数差が大きくなると、補償効果が小さくなるとの測定結果と、数値解析の結果によって、ファイバの波長分散が与える影響について検討を行った。
⑧ 多値 QAM 量子雑音ストリーム暗号方式のリアルタイム送受信機を構成して安全性を検討したうえで、10Tbit/s 128QAM 信号の 160km 暗号伝送実験を実施した。
⑨ 32x32 シリフォトスイッチを使って、単一光子に対する量子ウォーク観測について、スイッチの調整方法を開発し、光子分布の測定を実施した。
⑩ 低繰り返しデュアルコム分光によりアセチレンの分光を実施する際に、液体窒素冷却トラップによるスペクトル規格化の有用性について検討し、$^{12}C_2H_2$ の P,R ブランチの透過率スペクトルを観測した。

(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コヒーレンスを保持して相互変換し、システムとして両者を融合したコヒーレント通信・計測技術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。超高速光伝送技術とコヒーレント光伝送に関して世界最高レベルの実績と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）Pham Tien Dat et al., “High-Speed Radio-on-Free-Space Optical Mobile Fronthaul System for Ultra-Dense Radio Access Network,” OFC2020, W2A.37.
（2）K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “64 Gbit/s, 256 QAM Coherently-Linked Optical and Wireless Transmission in 61 GHz Band Using Novel Injection-Locked Carrier Frequency Converter,” ECOC2020, Th1G-7.
（3）H. Tsuchida, "Differential FMCW-LiDAR for breaking the limit of laser coherence", Electron. Lett., vol. 56, no. 12, pp. 614-616 (2020). https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/el.2020.0186
（4）M. Fujishima, “Future of 300-GHz-band wireless communications and their enabler, CMOS transceiver technologies,” Jpn. J. Appl. Phys. 60 SB0803, 2021. https://iopscience.iop.org/article/10.35848/1347-4065/abdf24
（5）K. Onohara, J. Nishioka, T. Yoshida, and N. Suzuki, “A study of multi-channel analog-to-digital

conversion for beyond-5G mobile fronthaul," OECC2020, T1-1.3.
（6）T. Iwaya, K. Kimura, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Low-Nonlinearity, Dispersion-Compensated Transmission Line with a Chirped Fiber Bragg Grating and Its Application to Ultrahigh-Speed Coherent Nyquist Pulse Transmission," OECC2020, T2-2.4
（7）K. Sato, T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Chromatic Dispersion Dependence of GAWBS Noise," OECC2020, T2-1.2
（8）M. Yoshida et al., "10 Tbit/s QAM Quantum Noise Stream Cipher Coherent Transmission over 160 km," OFC2020, T3D2.
（9）R. Konoike et al., "Demonstration of 8-Step Single-Photon Quantum Walk using 32 × 32 Reconfigurable Silicon Photonics Switch," CLEO2020, FM3C.1.
（10）H. Kato, Y. Sugiyama, K. Yoshii, and F.-L. Hong, "Spectral normalization in dual-comb spectroscopy of acetylene using a liquid nitrogen trap," J. Opt. Soc. Am. B 38, 1024-1030 (2021).

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/B03**

# 将来無線のレイヤレスデザインとその応用

［1］組織

研究代表者：石橋　功至
（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：
秋元　浩平（秋田県立大学）
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）
石川　直樹（横浜国立大学）
伊藤　孝弘（広島市立大学）
稲毛　契（東京都立産業技術高専）
衣斐　信介（同志社大学）
岩田　大輝（東京農工大学）
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）
大和田　泰伯（情報通信研究機構）
金子　めぐみ（国立情報学研究所）
木下　雅之（千葉工業大学）
小澤　佑介（茨城大学）
佐藤　光哉（東京理科大学）
須藤　克弥（電気通信大学）
田久　修（信州大学）
田谷　昭仁（青山学院大学）
タンザカン（東京工業大学）
天間　克宏（情報通信研究機構）
中村　聡（神奈川大学）
成枝　秀介（三重大学）
西尾　理志（東京工業大学）
橋浦　康一郎（秋田県立大学）
藤井　威生（電気通信大学）
三宅　裕士（三菱電機）
山本　高至（京都大学）
延べ参加人数：32 人

［2］研究経過

今後ますますの進展が予測される Massive IoT を核とする無線通信ネットワークにおいては，超多接続や極低遅延など多種多様な要求条件で通信を行うことが求められ，加えて将来の新しいアプリケーションで求められる条件にも対応していく必要がある。このような大変革期の無線通信ネットワークやその周辺技術においては，これまでの設計技術で主流だったレイヤ構造によるシステム設計では限界がある。今後はレイヤレスプラットフォーム設計や異なるレイヤ間（クロスレイヤ）の連携技術が必要不可欠であり，研究者コミュニティーにおいて研究開発の方向性を長期的視野で議論を行うことが求められる。

本研究課題では，未知である将来の新しいアプリケーションの要求にも柔軟に答えられる無線通信プラットフォームを，ハードウェアから信号処理・情報理論に至るまでを統合的に設計するアイデアについて，各研究分野の新進気鋭の若手・中堅研究者を中心としたコミュニティーで活発に議論することを目的とした。

［3］成果

（3-1）研究成果

2021 年 2 月 22 日（月）に今年度第 1 回の研究会をオンラインにて開催した。今後の無線通信システムのレイヤレスデザインとその応用分野に関連する以下の講演を行い，全員で議論した。

(1) 光の可視光帯域を用いた海中無線通信のご紹介（小澤 佑介・茨城大学）

近年，海中／海底観測には電池駆動式の海底着座式観測装置が広く用いられている。収集した観測データは装置内部に蓄積し，装置を引き上げることで回収する仕組みであるが，この方法は回収・再投入にコストがかかり，頻繁なデータ回収が難しい。そこで，無線通信でデータのみ回収したいが，現在の海中無線通信の主流である音響通信は，速度が低く動画などの多量なデータ送信に対して実用的でない。そこで，より高速な無線通信を用いた高効率なデータ回収手法として，光の可視光帯域を用いた海中可視光通信が着目されている。とくに，より高速な通信手法として送信機に可視光レーザダイオード（LD），受信機にフォトダイオード等を用いた高速海中可視光通信と，安定的な通信手法として送信機に可視光 LED，受信機にイメージセンサを用いたイメージセンサ型海中可視光通信が検討されている。

一方で，海中通信路では植物プランクトン濃度等の変化による水の濁りが可視光の伝搬特性に大きな影響を与え，最も低減衰となる可視光帯域が変化する。この水質変化に適用し，安定的な通信路を確立するためには送信機として単色だけでなく複数色のLD/LED を用いることが期待される。本講演では，海中可視光通信で重要となる海中光学特性について紹介するとともに，水の濁りに応じた最適な波長帯域及び，現在実験的に運用されている海中可視光通信の実例について紹介を行った。

(2) 3 次元地図から電波マップを構築する深層生成モデル技術（須藤 克弥・電気通信大学）

超多元接続や極低遅延など多種多様な要求の高まりを背景として，LPWA やローカル 5G など自営無線システムの普及が加速している。この自営無線システムでは，空間的な受信電力分布（電波マップ）を推定もしくは観測することにより，通信品質を保証するカバレッジや他システムとの共用を実現するカバレッジを設計する。電波伝搬予測手法として拡張秦モデルやレイトレーシング法が利用されているが，複雑に構造物群が存在する都市部の推定精度が限定的，設定に事前知識が必要で計算時間が膨大といった問題がある。これに対し発表者は，実観測情報から構築された電波マップが構造物によってどのように回折・反射してできたのか，その生成過程をモデル化する手法である深層生成モデルに着目し，3 次元地図を入力するだけで高速かつ容易に電波マップを構築する手法を提案している。

本発表では，ニューラルネットワーク（機械学習）が電波伝搬を回帰できる原理から議論を始め，近年検討が進められている畳み込みニューラルネットワーク（深層学習）による環境分類を用いた電波伝搬予測手法の特徴を示しつつ，我々が提案する深層生成モデル技術を活用した電波伝搬予測手法を紹介した。最後に，これまでの電波伝搬予測に関する研究成果を踏まえ，レイヤレスデザインへの応用に関する方向性について議論した。

(3) 無線環境における分散機械学習のための通信設計とその物理層学習への応用
（佐藤 光哉・東京理科大学）

Federated Learning (FL)を中心に，複数の移動端末がローカル学習と学習パラメータの共有を繰り返す分散機械学習の研究が盛んに行われている。端末中の生データを外部へ開示しないことから，データの機密性や通信効率面の課題をクリアした上でのビッグデータ解析の実現が期待されている。集中制御サーバを介さずメッシュネットワーク上で分散学習を実施することも可能であり，これにより，車車間通信やスマートファクトリーのような自在かつ即応的なデータ解析が要求されるシステムへの応用が期待される。

本発表では，無線メッシュネットワーク上で分散機械学習を行う際の，実行時間特性を改善する送信レート適応化手法を紹介した。高送信レートで学習パラメータを共有することで通信遅延を改善できる一方，ネットワークトポロジが疎になることから学習回数ごとの学習効率は低下する。逆も同様であり，送信レートと学習精度の間にはトレードオフの関係がある。提案手法ではこの点を踏まえ，ネットワークトポロジの密度を制約条件とした通信時間最小化を目指す。レイリーフェージング環境における通信アウテージを考慮した定式化により凸最適化問題に帰着しており，高速な送信レート設計が可能である。また，本手法の応用例として，変調方式識別を紹介する。RadioML2016.10b データセットを用いたベンチマークにより，分散環境においてもシングルスレッドでの深層学習に近い識別精度が得られることを確認した。本発表を通して，分散機械学習の無線リソース高効率利用への応用可能性についても議論した。最後に，今後の課題を述べ，将来無線の設計と応用について整理した。

（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は，国内外の研究者のコミュニティーのすそ野を広げ，今後の無線通信技術の研究開発の方向性を活発に議論することに寄与している。特に，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議論を行うことで，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。

［4］成果資料

（1）阪田，岡本，ディミタル，小澤，“[特集] 無線通信技術の動向「水中可視光通信の現状と展望」，”月刊電気計算，vol.88, no.5, pp.46-52, May 2020.

（2）唐沢，藤井，電波システム工学，コロナ社，Sept. 2020.

（3）K. Shimoda, D. Diefenbach, K. Singh, A. Taya, Y. Tobe, and P. Maret, “RW-QAnswer: an assisting system for intelligent environments using semantic technology,” Journal of Reliable Intelligent Environments, vol.6, no.4, pp.215-231, Oct. 2020.

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/B04**

# Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索

［1］組織

研究代表者：
九鬼　孝夫（国士舘大学・理工学部）
通研対応教員：
末松　憲治（東北大学・電気通信研究所）
研究分担者：
石崎　俊雄（龍谷大学・大学院理工学研究科）
伊藤　信之（岡山県立大学・情報工学部）
大久保　賢祐（岡山県立大学・情報工学部）
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・情報技術総合研究所）
楢橋　祥一（摂南大学・理工学部）
西川　健二郎（鹿児島大学・大学院理工学域）
西野　有　（(株) BaSAI）
檜枝　護重（菱電湘南エレクトロニクス）
平野　拓一（東京都市大学・知識工学部）
藤島　実　（広島大学・大学院）
藤本　竜一（キオクシア・メモリ技術研究所）
丸橋　建一（日本電気・IoT 基板開発本部）
本良　瑞樹（東北大学・電気通信研究所）
吉田　賢史（鹿児島大学・大学院理工学域）
Dmitry V. Kholodnyak（St. Petersburg Electrotechnical University）

延べ参加人数：26 人

［2］研究経過

日本の第５世代移動通信システム（5G）の本格的商用サービスが 2020 年 3 月に開始された。このような移動通信システムは，これまで 10 年単位で進化が続いており，現時点では 2030 年頃に開始されるであろう次世代の移動通信システム「Beyond-5G」の研究開発を考えなければならない。その技術仕様は概ね，伝送容量 100Gbps（5G の 10 倍），接続密度 $10^7$ 台/$km^2$（5G の 10 倍），最大遅延時間ほぼゼロ（5G は 1msec）という値が示され，ハードルの高い技術的課題が提案されている。そこで本研究会は，5G の次の世代の移動通信システム（Beyond- 5G）の研究開発を推進するにあたり，どのような高周波技術が必要になり何が課題となるかを明らかにする。Beyond-5G 実現に対して何が高周波キー技術となるのかを検討するとともに，それら技術の現状把握と課題の明確化，課題解決のための方法論を議論することにより，これからの高周波技術の研究開発の方向性を示すことを目的とする。

このような背景から，2020 年度は本プロジェクト研究会の初年度として，「Beyond-5G システムの概要と要素技術研究」をサブテーマとして活動を計画した。当初の計画では，年度内に 2 回（7 月および 2 月）の研究会を対面形式で行い，議論を深めることとしていた。しかし，新型コロナウィルス感染拡大の影響により，対面形式による研究会開催が実現できず，オンライン形式による研究会を 1 回開催するのみとなった。

以下，研究活動状況の概要を記す。

（2020 年度研究会開催実績）
第 1 回共同プロジェクト研究会

日時：2021 年 1 月 28 日 (木) 15:00～17:00
場所：オンライン開催

参加者：
石崎俊雄，河合正，楢橋祥一，大久保賢祐，伊藤信之，西川健二郎，平野拓一，岡崎浩司，藤本竜一，吉田賢史，丸橋建一，檜枝護重，末松憲治，九鬼孝夫（14 名）

内容：
15:00　研究代表者挨拶
15:05　講演 1「現在の 5G の導入状況と今後の B5G の展望」岡崎浩司（NTT ドコモ）
15:55　講演 2「鹿児島大において私が担当する教育・研究の概要とその実情」吉田賢史（鹿児島大学）
17:00　閉会

［3］成果

(3-1) 研究成果

Beyond-5G システムの実現にはどのような高周波技術の研究開発が必要かを検討するため，はじめに現在の移動通信システム（5G）の例を振り返る。5G では, 伝送容量の増加に対してはキャリアアグリゲーションやミリ波帯活用技術，接続密度の増加に対しては Massive MIMO によるビームフォーミングといった高周波キー技術の研究開発が，システムの実現に大きく寄与した。そこで第 1 回研究会では，はじめに，NTT ドコモの岡崎浩司氏に 5G システムの技術解説と今後の展開についてご講演をいただき，Beyond-5G システムの技術開発の議論に向けて，参加者の共通理解を深めた。講演では，5G システムの概要として，5G のスペックは，ITU-R M.2083-0 で定義された要求条件の最大値とし，高速大容量 20Gbps，遅延時間 1mS 以下，同時接続 $10^6$ 台/$km^2$ 以上であることが紹介され，日本における 5G 用の周波数割り当て状況やミリ波サービスについての説明もなされた。続いて，NTT ドコモの「5G Evolution and 6G」（移動通信システムの進化の方向性）について，さらなる高周波数帯の開拓と超広帯域化、空・海・宇宙の通信エリア化に向けた検討などの新たな技術展開が紹介され，このような無線通信システムを実現するためにはどのような高周波要素技術が必要なのかの議論を行った。

つぎに，鹿児島大学の吉田賢史助教より，鹿児島大学で推進している次世代移動通信システム端末用ミリ波アンテナシステムや無線電力伝送システムの研究についてご講演をいただいた。ミリ波３次元指向性制御アンテナシステム実現に活用できる 3 次元実装技術，宇宙ロケット用ワイヤレスセンサネットワークシステムの電力供給とワイヤハーネスの無線化技術，および異種半導体を混載したハイブリッド半導体集積回路（HySIC）による高周波回路技術についての紹介と解説がなされ，これらの技術が Beyond-5G システムの実現に寄与できることが議論された。

以上の議論から，本年度は以下に示す研究成果を得た。

第一に，Beyond-5G システムには，これまで言われているように, 伝送容量 100Gbps, 接続密度 $10^7$ 台/$km^2$，最大遅延時間ほぼゼロの技術課題が考えられており，ハードルの高い高周波技術が要求されていることが確認できた。

第二には，Beyond-5G システム端末の高周波回路を実現するためのひとつとして，先端的な回路実装技術のさらなる高度化が必要となると考えられた。

（特別支援（国際）に係る研究成果）

Beyond-5G に必要となる受動回路技術で世界的に活躍しているロシア・サンクトペテルブルグ電気工科大学の Dmitry V. Kholodnyak 教授に参加いただくことにより，新しい高周波技術を探索する国際共同研究推進型の研究会を計画していた。しかし，新型コロナウィルス感染拡大の影響により海外からの渡航も困難となり，当初に期待していた国際共同推進の成果を得るには至っていない。次年度以降の課題としたい。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度の研究会で主に討議された内容は, 主に 5G システムの現状と今後の展開，および高周波回路実装技術の進展である。現在の 5G システムは，まだサービスが開始されたばかりであり，さまざまな場面においてさらなる進展が予想される。このため，Beyond-5G システムのための高周波技術を考えるには，より広い範囲にわたる技術動向の調査を展開・発展していくことが重要であると考えられる。

［4］成果資料

(1) 平野拓一, ”有限要素法による電磁界シミュレーション　マイクロ波回路・アンテナ設計・EMC 対策”，近代科学社，2020 年 9 月.
(2) T. Kawai, R. Nakai, and A. Enokihara, "Experimental Study of Compact Uniplanar 90-/180-Degree Hybrids," IEEJ Technical Meeting on Communications, CMN-21-020, March 2021.

共同プロジェクト研究

採択番号 (Grant No.)：R02/B05

# Attentive Search: Theory and Application

［1］組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）

Chia-huei Tseng(東北大学電気通信研究所)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

研究分担者 (Project Member List)

Su-ling Yeh (National Taiwan University)

Hsin-I Liao (NTT CS Laboratories)

Phan Uyen (Industrial University of Ho Chi Min City, Vietnam)

Masahiko Terao (Yamaguchi University)

Yaffa Yeshurun (University of Hairfa, Israel)

Yung-Hao Yang (NTT CS Laboratories)

Jingling Li (China Medical Univeristy)

Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 23　人

［2］研究経過 (Summary)

Our interest group is interested in search behavior which is now a dynamic research field at the intersection of perception, attention, memory and decision making. We have organized several seminars talks this year to bring together group members to exchange research progress and brainstorm the solutions for future applications on search challenges in human behavior, computational optimization, and industrial applications.

Most of these seminar talks took place online this year. The team members gathered as mini groups in this year and fully utilized the opportunities to further develop each other's study plan.

［3］成果 (Results)

（3-1）研究成果 (Research Results)

We have achieved:

(1) Testing the possible mechanisms under the visual search collinear impairment by removing "contrast effects" and "eye-moving effects" as potential factors. This narrows down the possible reasons to induce such behavioral reduction in accuracy and response time.

(2) Create a supportive environment to exchange research progress and ideas

(3) Assist members to formulate and conceptualize research reports for final publication.

Seminar talks:

Oct 2, 2020
Uyen Thuy Xuan Phan
Institute of Biotechnology and Food Technology
Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam
Overview of Sensory Evaluation and Consumer Research: Past, Present and Future
Dr. Phan gave an introductory lecture on how to design human sensory studies for coffee tasting.

March 12, 2021
Po-Jang Hsieh
The scientific study of human consciousness
National Taiwan University
Dr. Hsieh introduced how he used scientific tools including brain imaging to study human consciousness.

March 12, 2021
Ryo Teraoka
Is the spatial shape of auditory selective attention constant in the horizontal plane?
Kyushu University, Japan

March 13, 2021
Kazuyuki Fujita
Adaptive Workspaces: Physically Interacting with Spatial Surfaces
Tohoku University, Japan

March 13, 2021
Ruey-Feng Chang
Breast Ultrasound Computer Aided Diagnosis Using Deep Learning
National Taiwan University

March 13, 2021
Yoshiyuki Ueda
Experience and Environmental Matters in Human Visual Cognition
Kyoto University, Japan

March 13, 2021
Ching-Mei Chu
Building Emotion-centered AI: How Humanistic Sociologists Can Help Break the Bottleneck of AI's "Emotional Intelligence"
National Taiwan University
Dr. Chu introduced a database she created together with other scientists on actors to express emotions.

Pin-Hao Chen
Towards a Neurometric-based Construct Validity of Trust
National Taiwan University

（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)

The diversity of this research interest group has enabled us to develop new collaboration opportunities between RIEC and its partners. The group members are also in the process to look for funding opportunities to crystalize the meeting discussions into research initiatives to increase our research impact.

［4］成果資料　(Publications)

Huang, T. R., Liu, Y. W., Hsu, S. M., Goh, J. O. S., Chang, Y. L., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2020). Asynchronously Embedding Psychological Test Questions into Human–Robot Conversations for User Profiling. International Journal of Social Robotics, 1-10.

Chen, J. H., Kuo, T. Y., Yu, H. L., Wu, C., Yeh, S. L., Chiou, J. M., Cheng, T. F., Chen, Y. C. (2020). Long-term exposure to air pollutants and cognitive function in Taiwanese community-dwelling older adults: A four-year cohort study. Journal of Alzheimer's Disease, (Preprint), 1-15.

Chien, S. E., Chu, L., Lee, H. H., Yang, C. C., Lin, F. H., Yang, P. L., Wang, T. M., & Yeh, S. L. (2019). Age difference in perceived ease of use, curiosity, and implicit negative attitude toward robots. ACM Transactions on Human-Robot Interaction, 8(2), 9.

Chen, Y. C., Yeh, S. L., & Tang, P. F. (2021). Age-related changes in audiovisual simultaneity perception and their relationship with working memory. Journal of Gerontology: Series B, 76(6), 1095-1103.

Lee, H. H., & Yeh, S. L. (2021). Blue-light effects on saccadic eye movements and attentional disengagement. Attention, Perception, & Psychophysics, 83, 1713-1728.

Hsiao, J. H., Chan, A. B., An, J., Yeh, S. L., & Jingling, L. (2021). Understanding the collinear masking effect in visual search through eye tracking. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1-11.

Wu, W., Hatori, Y., Tseng, C.H., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S. (2020) A motion-in-depth model based on inter-ocular velocity to estimate direction in depth, Vision Research, 172, 11-26.

Takano, S. Matsumiya, K., Tseng, C.H., Kuriki, I., Deubel, H., Shioiri, S. (2020) Displacement detection is suppressed by the post-saccadic stimulus, Scientific Reports, 10(1), 1-11

Shioiri, S., Matsumiya, K., Tseng, C.H. (2021) Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique, Scientific Reports, 11(1), 1-17.

Tseng, C. H., Chow, H. M., Liang, J., Shioiri, S., & Chen, C. C. (2021). Collinear search impairment is luminance contrast invariant. *Scientific Reports*, *11*(1), 1-8.

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/B06**

# 人の行動理解・解析に基づく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

小倉 加奈代（岩手県立大学）
磯山 直也（奈良先端科学技術大学院大学）
三武 裕玄（東京工業大学）
池田 聖（大阪大学）
藤本 雄一郎（奈良先端科学技術大学院大学）
酒田信親(奈良先端科学技術大学院大学)
真鍋 宏幸（芝浦工大）
Sabah Boustila（University of Toronto）
武富 貴史 （株式会社サイバーエージェント）

延べ参加人数：10 人

［2］研究経過

本研究では，空間における人々の様々な活動を支援し，そして強化するための空間型ユーザインタフェースについて議論する.関連する要素技術として，三次元空間内での人の行動解析技術，意図理解・推定，コミュニケーション技術，ロボット型のディスプレイ(e.g. ドローン等)，バーチャルリアリティ，人を引きつけるためのエンタテインメント技術やインタラクティブインスタレーション等がある．これらは全て近年極めて活発に研究が進められているものである一方で，それぞれの分野における技術課題が依然として多いためにお互いが十分に接続されていないことかが多い．本プロジェクトでは，関連分野で活躍する若手による研究会を開催し，これらの分野の強みや課題，そしてそれぞれの接続を十分に議論することで，将来の空間型ユーザインタフェースの設計や実装について議論を深め，今後の共同研究の構想を練ることを目的とした.

本プロジェクトは，前進となる共同プロジェクトを発展させたもので，本年度が１年目である．昨年度は，感染対策のため，研究会を開催しなかった．その予算の繰越，および本年度の予算は旅費だけではなく物件費にあてることができたため，それらの予算にて，バーチャルリアリティのヘッドマウントディスプレイのセットを参加者人数分調達し，バーチャルミーティングを実施した．若手，国際特別支援分は，このヘッドセットを人数分調達する際に有効に活用させていただいた.

１．研究会

日時： 令和２年３月２日～3 日

参加者者：

山本 豪志朗（京都大学）
高嶋 和毅（東北大学）
小倉 加奈代（岩手県立大学）
三武 裕玄（東京工業大学）
池田 聖（大阪大学）
藤本 雄一郎（奈良先端科学技術大学院大学）
酒田信親(奈良先端科学技術大学院大学)
藤田和之（東北大学）

参加者それぞれに空間インタフェースに関するそれぞれの最新の研究成果を報告いただいた．其のプログラムを以下に示す.

山本 豪志朗「医用空間解析の試み（手術室，リハビリテーション室)」

高嶋 和毅「モバイル AR を使った位置制御型ドローン操作インタフェース」

小倉 加奈代「人間拡張を視野に入れた農業機械操縦のインタラクション分析」

三武 裕玄「VR アバター生成とインタラクション編集技術」

池田 聖「HMD 搭載視線検出器の自動校正法，Web 会議システムにおけるプレゼン傾聴度判定」

藤本 雄一郎「組み立て作業支援のための AR システムの設計ガイドライン，VR/AR によるソーシャルスキルトレーニング，イベントカメラによる３次元形状計測と顔部位出」

酒田信親(ノイズキャンセリングヘッドマウントディスプレイの研究)

藤田和之（セルフアクチュエートチェアの設計と評価)

［3］成果

（3－1）研究成果

まず，Spatial ソフトウエアを用いた遠隔 VR ミーティングをスムーズに実現できたことが大きな成果だった．全員が VR の研究者であるが，本格的に VR ミーティングを運用するのは初であった．また，其の経験から，VR ミーティングの利点や課題等をそれぞれの専門の視点から議論できた．この点も空間ユーザインタフェースを扱う本共同プロジェクトを推進する上で有意義であった．また，それぞれの研究報告は多岐に渡り，バーチャルリアリティや空間インタフェースを構築する技術やインタラクションデザインに関して深く情報交換することができた．昨年度開催できなかったため，内容はより濃いものとなり，コロナ渦における研究の進め方や実験方法などについてもお互いに意見交換が進んだ．また，来年度の共同プロジェクトを申請することや継続して研究会を開催することに合意した．下図は，VR ミーティングの様子を写したものである．



（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，身体の三次元的な計測とそのユーザインタフェース応用を専門とする研究者と密な交流を実現し，具体的な共同研究テーマを模索することが目的である．一回の研究会を経て，お互いの交流は大きく発展した．今年度は空間メディア情報学を中心に議論したが，今後は，より具体的な成果や関連業界への波及が見込めると考える．例えば，医療やスポーツ等についても同様の観点で深い議論が可能と考える．そのため，本プロジェクトを来年度も継続し，近い分野ではあるがお互い強い交流を持たない研究者同士でノウ・ハウや研究動向を整理して，成果をまとめて公開するなどして，身体的動作計測を中心とした研究領域に貢献していきたい．

［4］成果資料

なし

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/B07**

# 異種データ融合による人・社会センシング基盤

［1］組織

研究代表者：

岡部　寿男（京都大学学術情報メディアセンター）

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：

荒川　豊（九州大学大学院システム情報科学研究院）

安本　慶一（奈良先端科学技術大学院大学先端科学研究科）

菅沼　拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

白石　陽（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

吉廣　卓哉（和歌山大学システム工学部）

乃村　能成（岡山大学大学院自然科学研究科）

延べ参加人数：１７人

［2］研究経過

Society 5.0に向けて、IoT（Internet of Things）と呼ばれるあらゆるものにセンサと通信機能が搭載され、絶え間なく情報が送られるようになってきている。そのような異種データを融合し、人と社会をセンシングする基盤の実現することを目的として研究を行った。

本プロジェクトの初年度となる令和2年度は、異種データを融合し、人と社会をセンシングする基盤の実現に向けて、(1) スマートホームにおける通信・電力情報に基づく行動認識、(2) (1)におけるプライバシおよび機器に対するトラスト実現技術、(3) スマートシティにおける人・車・電力データ融合データ処理技術に関する検討を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度は、新型コロナウイルス感染症拡大防止対策のため、年度前期は対面での研究会や研究打ち合わせが開催できず、テレビ会議を利用したオンラインでの非公式な打ち合わせやメーリングリストでの議論が中心であったが、後期になり、以下の３プロジェクトと合同で、東北大学電気通信研究所において、対面とオンラインを併用するハイブリッド形式の研究会を2日間かけて開催した。

日時：2020年11月27日（金）10時～19時
28日（土）9時～12時
場所：東北大学電気通信研究所　本館６階大会議室（M601）およびオンライン（WebEX）
共催：

- H30/A30「インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究」（研究代表者：佐藤文明・東邦大学理学部教授）
- R02/A25「人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤」（研究代表者：峰野博史・静岡大学情報学部教授）
- H30/B18「ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究」（研究代表者：村尾和哉・立命館大学情報理工学部教授）

本プロジェクトからは27日の午後に4件（現地3件、オンライン1件）の発表を行ったほか、白鳥則郎・東北大学電気通信研究所名誉教授をチェアに迎えたパネルセッションに研究代表者・岡部と研究分担者の菅沼、荒川の計3名が登壇し、関連する活動をささえる「学会の未来に向けて」を主題として討論を行った。

また翌週には、研究分担者・安本の呼びかけで、研究代表者・岡部と研究分担者・吉廣のほか、プロジェクト外の産学の研究者9名を招き、以下の研究ワークショップを、国立情報学研究所との連携によりオンラインにて開催した。

日時：2020年12月4日（金）13:00-17:30
場所：Zoomミーティングによるオンライン会議
テーマ：「分散型IoT・AI基盤と安全・安心なデータ・モデル流通機構」

ここでは、エッジコンピューティングに基づく分散型IoT・AIシステムにおいて、安全・安心なデータ・知識（学習済みモデル）の流通・処理を行う仕組みにフォーカスし、研究会での議論をさらに深めた。

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度の研究成果として、11月の研究会では以下に示す4件が発表された。

第1は、岡部らによる「ゼロトラスト認証認可連携におけるユーザ同意付きコンテキスト共有」である。ネットワーク上のリソースのアクセス制御モデルとしてゼロトラストネットワーク(ZTN)が提案されている。 ZTNでは、コンテキストと呼ばれるユーザやデバイスに関する様々な情報を用いてアクセス要求者を認証しアクセス要求を認可することでアクセス制御を行うが、Identity Federationにより様々な組織が提供する多くのサービスを利用している場合には、コンテキストは組織のシステムに分散され管理されてしまうことが多い。 そこで本研究では、Identity Federation下でZTNの概念を適用するゼロトラスト認証認可連携 (Zero Trust Federation; ZTF)という考え方を提唱し、組織を超えてコンテキストを共有する手法について提案する。 加えて、ユーザのプライバシ情報を多く含むコンテキストの共有をユーザの制御下におけるような仕組み、ユーザの同意を伴う仕組みを提案するとともに、ZTF のプロトタイプを実装し、その動作確認を行った。

第2は、安本らによる「フェデレーションラーニングとDTNを用いたユーザ参加型オブジェクト認識モデルの構築」である。本研究では、観光客が持つ端末間での直接的な通信を活用した Federated Learning に基づくモデル構築の手法を検討している。端末間でのパラメタ交換回数が制限されている条件において、モデルの認識精度を最大化するパラメタ交換方法を求める問題を定義し、観光エリア間を移動するデバイスユーザのモデル共有シナリオに対して3 つのヒューリスティック手法を導入し、有効性を評価した。

第3は、吉廣らによる「運転者の負荷を抑えて渋滞を緩和する自動車の経路誘導手法」である。本研究では、把握されている現在の交通量を基に、各車両の宛先到着までの平均走行時間を最小化することを目指した経路誘導法を提案する。具体的には，各車両は宛先までの最短路を走行していると仮定した上で，渋滞道路に流入する車両のうち，到着時刻の遅延ができるだけ小さい迂回路がある車両を優先して経路誘導を行う．交通流シミュレーションにより評価を行った結果，提案手法は既存研究と比較して車両の平均到着遅延の平均を最も抑えて渋滞解消できることを示した.

第4は、荒川らによる「混雑度センシングと行動変容 ～with コロナ時代に向けて～」である。九州大学では、コロナ禍の三密回避支援を目的として、混雑度可視化システムを開発し、最寄り駅のバス停、バス車内 (バス50台)、伊都キャンパス内のバス停(9箇所)、食堂(9箇所)の混雑度をリアルタイムに計測，可視化することに成功した.

2020年2月18日に開催された共同プロジェクト研究発表会においては、これらの研究を紹介するポスター発表を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでの議論の一部は、2020年6月24日・29日に開催されたJST研究開発戦略センター・科学技術未来戦略ワークショップ「Society 5.0 システムソフトウェア」において共有され、同センターの戦略プロポーザル「Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術」(CRDS-FY2020-SP-06) にも反映された。

また、19th IEEE International Conference on Pervasive Computing (PerCom 2021)の併設国際会議として、研究分担者の安本を中心に以下を開催した。

- 会議名：The 2021 International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow'21)
- 日時：2021年3月26日
- 開催場所：オンライン
- 参加人数：23名

［4］成果資料

(1) Koudai Hatakeyama, Daisuke Kotani and Yasuo Okabe, Zero Trust Federation, “Sharing Context under User Control towards Zero Trust in Identity Federation,” The 2021 International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow 2021), pp. 514-519, March 2021.

(2) Yugo Nakamura, Jose Paolo Talusan, Teruhiro Mizumoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Hirozumi Yamaguchi, Keiichi Yasumoto, “ProceThings: Data Processing Platform with In-situ IoT Devices for Smart Community Services,” Adjunct Proceedings of the 2021 International Conference on Distributed Computing and Networking, pp. 116-121, Online, Jan. 2021.

(3) Jose Paolo Talusan, Michael Wilbur, Abhishek Dubey, Keiichi Yasumoto, “Route Planning through Distributed Computing by Road Side Units,” IEEE Access, Vol. 8, pp. 176134 - 176148, 2020.
DOI:10.1109/ACCESS.2020.3026677

(4) Yusuke Matsui, Takuya Yoshihiro, “A route guidance method for vehicles to reduce

traffic congestion considering increase in destination arrival time," International Workshop on Informatics (IWIN2020), 2020年9月.

(5) Ryo Takahashi, Kenta Hayashi, Yudai Mitsukude, Masanori Futamata, Shunei Inoue, Shuta Matsuo, Shigemi Ishida, Yutaka Arakawa, Shigeru Takano, "Itocon - A System for Visualizing the Congestion of Bus Stops around Ito Campus in Real-time," The 18th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2020), 2020.

(6) 戸嶋丈士, 高橋晶子, 阿部亨, 菅沼拓夫, "情報流通においてデータ提供への対価を決定する第三者エージェントを用いた自動交渉," 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.2, pp.508-517 (February 2021).

**採択番号：R02/B08**

# ヒトと動きを協調するロボットの制御則

［1］組織

研究代表者：山本 裕二
（名古屋大学総合保険体育科学センター）
通研対応教員：加納　剛史
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
木島 章文
（山梨大学大学院総合研究部）
奥村 基生
（東京学芸大学教育学部）
小林 亮
（広島大学大学院統合生命科学研究科）
横山 慶子
（名古屋大学総合保険体育科学センター）
奥村 文浩
（名古屋大学大学院教育発達科学研究科）
高御堂 良太
（名古屋大学大学院教育発達科学研究科）
碓氷 典諒
（山梨大学大学院医工農学総合教育部）
三澤 孝康
（山梨大学大学院医工農学総合教育部）
船木 菜々
（東京学芸大学大学院教育研究科）
高野 綺海
（東京学芸大学大学院教育研究科）

延べ参加人数12人

［2］研究経過

本プロジェクトは，スポーツにおける対人技能の制御・学習則の知見から数理モデルを構築し，制御・学習則の本質を理解することによって，ヒトと動きを協調するロボットへの実装を行うことを目的に行った．本年度から始まったプロジェクトであったが，コロナ禍のため，当初の研究計画を変更して，実施可能な研究を行った．

以下，研究活動状況の概要を記す．

4月6日に第1回「人と動きを協調するロボット」研究会をオンライン会議で行った．そして，2020年度の研究実施計画をコロナ禍という状況を勘案して再考した．当初は，行動実験，数理科学，ロボティクスの3つのアプローチをする予定であったが，行動実験の実施が難しいことから，数理科学とロボティクスの観点から研究を進めることを確認した．

8月3日に，第2回「人と動きを協調するロボット」研究会をオンライン会議で行った．対人技能の数理モデルについて意見交換を行い，二者間に働く物理的な力の相互作用をモデル化することで，二体のロボットがワルツのような動きを実現するダンスロボットの開発を目指すこととした．

12月14日に，第3回「人と動きを協調するロボット」をオンライン会議で行った．力覚情報と視覚情報による二者の相互作用機序について議論し，今後の行動実験の計画を立案した．福原から運動リズム協調制御則と運動方向協調制御則の数理モデルが提案され，この数理モデルによって三拍子のリズム生成と回転・並進運動の生成をロボットに実装していることが報告された．

2021年2月15日に，FY2020 RIEC Annual Meetingのための打合せを，山本，加納，石黒，福原，小林の5名で行い，発表内容の最終確認を行った．

3月14日には，自律分散システム・シンポジウムで，「ロボットよ，ワルツを踊れ：社交ダンスに学ぶロボット間リズム協調制御メカニズム」のタイトルで，今年度開発した二体のダンスロボットの成果を福原，加納，小林，石黒の連名で発表を行った．

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は以下の研究成果を得た．

まず第1に，二体のロボット間の力学的相互作用から，量や運動の方向を協調させるために図1のようなモデルを構築した．ここでは，以下の2つの式で表される，運動リズム協調制御則と運動方向協調制御則が考慮されている．

$$\dot{\phi}_i = \omega - \sigma F_i^y \cos\phi_i \quad (1)$$

$$\dot{\psi}_i = \omega_{dir} + \sigma_{dir} (\tanh F_i^y) F_i^x \sin\psi_i \quad (2)$$

運動リズム制御側では，二体がホールドに感じる前後方向の力 $F_i^y$ によって移動のリズムに関する位相振動子の位相が決まる．運動方向協調制御則では，ホ

ールドに感じる前後方向の力 $(\tanh F_i^y)$ とホールドに感じる横方向の力 $F_i^x \sin\psi_i$によって，移動方向に関する位相振動子の位相 $\dot{\psi}_i$ が決まる．これは，二体のロボットが回転時には，二体が離れる方向に力が働き，並進時には二体が結合する方向に力が働くことを表している．

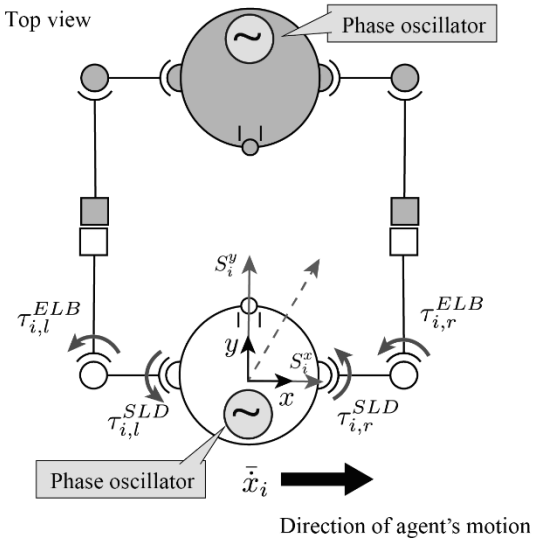



図1　二体のロボットモデル

第2に，この数理モデルを図2に示すようにロボット実機として開発し，リズム協調制御と方向協調制御に関する検証実験を行った．その結果，3 拍子のリズムの生成，また回転運動と並進運動の自己組織的切替が観察された．ロボット間のリズム同期には物理的な相互作用が生じる腕の角度が重要となること，また現在の状況が回転運動か並進運動かという文脈をロボット間の相互作用から抽出することによって，文脈に依存した多様なパターンの創発が生じた．

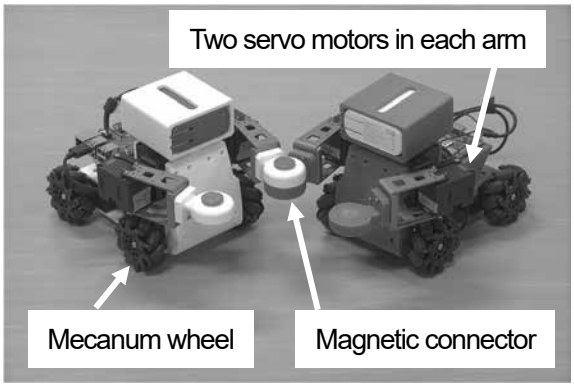



図2　開発したWaltzBots

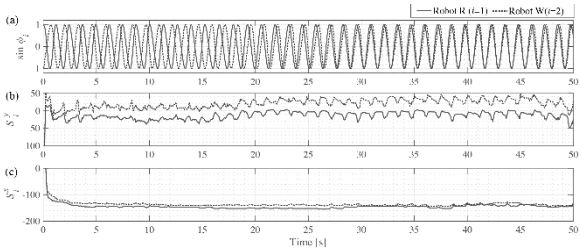



図3　回転運動での協調例．上から位相，前後方向の力，横方向の力

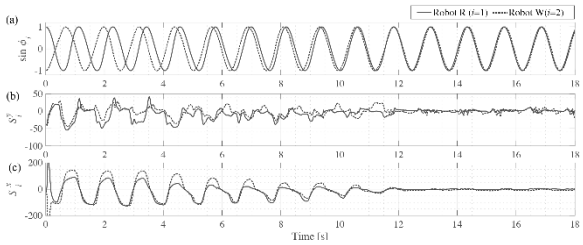



図4　並進運動での協調例．上から位相，前後方向の力，横方向の力

(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，スポーツ科学者・数理学者・ロボット工学者にまたがる異分野交流が飛躍的に活性化した。また，本プロジェクトの成果は，複数のロボット間の協調，さらには人間とロボットの協調を実現するための新しい設計論を提案するものであり，今後新しい研究会の設立や大型プロジェクトへの発展が期待される．

また，以下の国際会議への発表を準備中である．

- AMAM2021: The 9.5th international symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines
- June 22-25, 2021
- Virtual platform

［4］成果資料

（1）福原洸，加納剛史，小林亮，山本裕二，石黒章夫，第33回自律分散システム・シンポジウム概要集，1A2-2，2021.

採択番号：**R02/B09**

# カラスとの共存・共生を実現するインタラクションに関する研究会

## [1] 組織

研究代表者：
末田　航（デジタルハリウッド大学）
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：
松木　貴晃（一般社団法人Pine Tree）
今井　修（一般社団法人Pine Tree）
塚原　直樹（株式会社Crowlab）
永田　健（株式会社Crowlab）
栗本　育三郎（木更津工業高等専門学校）

延べ参加人数：７人

## [2] 研究経過

本研究会では、代表研究者らがこれまでに研究開発を行ってきた、ドローンやロボットやそれらに適用されたテレイグジスタンス技術などを利用して、クラウドソーシングによる遠隔作業、すなわちCSCW(computer-supported cooperative work)環境を構築するための調査、また想定ユーザーがストレスなく操作でき、シリアスゲームとして成立するためのUI/UX実現のための協議を行う。また、クラウドソーシングプラットフォームには、申請者の協力者たちが進める「高専ワイヤレスIoT技術実証: Telexistence Cybernetics Crow カラス被害の抑制 」事業とも連動し、5G回線による高品質なゲーミフィケーション環境の検討も行った。

Covid-19の影響

本研究会では当初、具体的な時期については2020年度の６月と２月（2021年）を予定し、初回は既存の鳥獣ゲームのデモとディスカッションを行い、２月の発表会に向けて成果をまとめる予定であったが、Covid-19の世界的な蔓延によって、2021年３月時点で電気通信研究所での研究会は開催できていない。また、本研究会の活動場所であり、カラスとの対話や共生へ興味を持ち協力を得られる石川県能登地域などの国内各地では、特に県外から訪問に対して自粛要請を継続していることもあり、本研究会に関連する様々な議論やフィールドワークが軒並み中止や延期となっている。そこで電気通信研究所での研究会が開催できる状況になるまでの暫定措置として、研究会のトピックを「木更津高専春学期授業「問題解決技法」での課題提供とディスカッション」「(一社)Pine Treeとのクラウドソーシングを活用したカラス対策」ワークグループとして分け、研究代表者がグループごとに議論や共同作業の機会を設けた。事項ではこれらの機会を経て得られた成果や今後の展望について報告する。

## [3] 成果

(3-1) 研究成果

**「木更津高専春学期授業「問題解決技法」での課題提供とディスカッション」**

本研究会の活動の一環として、木更津高専の栗本教授と共同して、2016年度から同学の授業「問題解決技法」のテーマ課題として「カラスと対話するプロジェクト」に関する課題を履修生徒に対して与えている。本年度の春学期はCovid-19による緊急事態宣言のため、学内での授業は原則的に実施されなかったので、議論や相談はオンラインで、またフィールドテストはKavalをした上で木更津高専のキャンパス内で１回限りで行った。

本年度はカラスを知り、カラスと共生をするために「カラスになり切る」をテーマとした。カラス視点でのカラスと対話をするインタラクションについての諸課題の抽出と、それらを解決し対話を実現するためのインタラクションについて、学生のグループがプロトタイピングする形で実施した。本テーマ成立は学生たちとの議論の中で、ゴフマンの提唱した「ドラマツルギー」を参照[1]し、カラス演じ、カラスになり切ることによってカラス視点でカラスを理解し、社会との調和を目指すという方向性による。

「カラスと対話するプロジェクト」では、2018年ごろから、音声AIプラットフォームを活用して、カラスの音声を自動検出する機能の研究開発を重ねてきたが、人間の側から円滑にカラスに対して対話を仕掛ける機能がないことから、学生グループはGoogle AIY[3]の自動翻訳機能を用いて、挨拶などの日本語をカラスのコンタクトコールなどに変換をする機能の実装を試みた。最終発表時には日本語の入力を４種類のカラスのコールに自動変換・再生する機能の実装と、フィールドワークによる簡単な機能チェックを行なった。

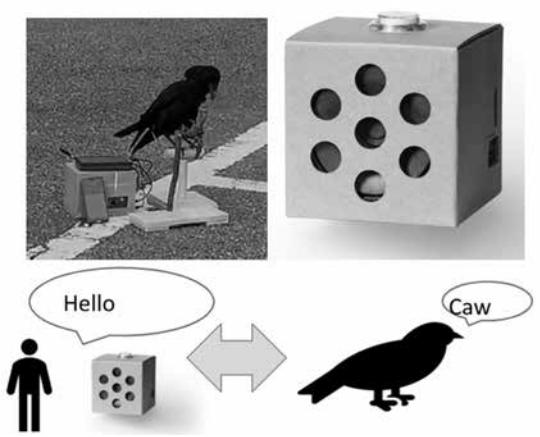



図 1 Google AIY を用いた日本語カラス語変換機能のイメージ

### 「(一社)Pine Tree とのクラウドソーシングを活用したカラス対策」キックオフミーティング

本ワークグループでは、農村部の過疎化や農耕地の放棄、都市部の環境など、人間の社会活動を起因にした、野生動物による被害[2]を、ICT 技術とりわけクラウドソーシングなどを活用して、人々の行動変容も含む総合的な緩和策についての議論を行うことを目的している。本年度は往来自粛要請等により協力自治体や地域への事前サーベイやフィールドワークが実施できず、これらの結果を前提にした議論はできなかったが、2021 年 1 月に(一社)Pinetree の松木、今井両氏と「カラスと対話するプロジェクト」などを通して得られた成果から展開できるアイデアや方向性についてのオンラインでキックオフミーティングを行なった。

本ワークグループでは、すでに実績を重ねてきた都市部でのカラス対策を対象に、クラウドソーシングを活用した人力による環境モニタリングと、センサーネットワークを活用した都市部全域での包括的なモニタリングを組み合わせて、野生動物との持続的な共存を目指すコンセプトについての議論を行なった。その議論では、クラウドソーシングによる環境モニタリングは、個々の地域コミュニティの活動(例えば町内会単位)だけでは有効ではなく、街全体の保全活動として展開する必要性など指摘があった。例えば、街全体の不適正なゴミ捨てを監視し、カラスの集まりを可視化することで、個々のコミュニティが全体のパフォーマンスを共有するなどの方法が想定される。また、施策のパフォーマンスを最大化するために、ゲーミフィケーションの概念をシステムに適用（一般市民の参加を促すため）することも検討したが、一方でゲーミフィケーションによって人々のカラスへの理解や行動変容を促すアクティブモニタリングが、コミュニティの（特に日本人社会の）性質上、人々を不和に導くのではないかという懸念が示された。

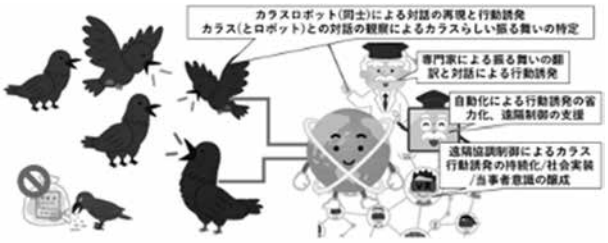



図 2 クラウドソーシングによるコンピュータと人間相互補完型のカラス対話システムのイメージ.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

### 次のステップ

前述の通り、本年度は電気通信研究所での研究会のほかに本研究会に関連する様々な活動が実質上困難な状況が続いているため、活動が限定された状況ではあるが今年度実施した取り組みの今後の課題を以下にまとめる。

- カラスロボット（Animal Human interaction technology）によるカラスとのインタラクションが、人とカラスのコミュニケーションを促進し、行動を変化させる効果を検証する。
- 複数のカラスロボットの広域展開やクラウドソーシングによる運用について検討する。
- 都市環境を保全するために、クラウドソースによる都市モニタリング手法（ゲーミフィケーション、ビジュアライゼーション、リターンなどを動機としたもの）を使用することによるコミュニティへのマイナス/プラスの影響を議論する。

加えて、Covid-19 下で遠隔コミュニケーションやテレワークへの認識と浸透度が激変する兆候がみられ、本テーマもふくむクラウドソーシングによる社会活動への一般の認識が大きく変わることが予測される。これらを機会にコンピュータと人間、動物とが共生をする社会像のイメージがより明確になれば、より多くの組織や地域からの協力も得られやすくなる可能性がある。

### [4] 成果資料

ワークグループでの成果

「問題解決技法」最終プレゼン資料

### 参考文献

1. Goffman, E. and others. The presentation of self in everyday life. Harmondsworth London, 1978.
2. 農林水産省. 平成 24 年度 食料・農業・農村白書 (3) 鳥獣被害の現状と対策：農林水産省. 2012. https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h24_h/trend/part1/chap4/c4_1_03.html.
3. AIY Projects. https://aiyprojects.withgoogle.com/.

**採択番号：R02/B10**

# 生物の即時適応機能に学ぶ人工物の設計論

［1］組織

研究代表者：
石川　将人（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：
大須賀　公一（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）
末岡　裕一郎（大阪大学大学院工学研究科）
南　裕樹（大阪大学大学院工学研究科）
増田　容一（大阪大学大学院工学研究科）
小林　亮(広島大学大学院統合生命科学研究科)
李　聖林(広島大学大学院統合生命科学研究科)
青沼　仁志（北海道大学・電子科学研究所）
佐藤　たまき（東京学芸大学・教育学部）
郡司　芽久（筑波大学）

延べ参加人数：２０人（参加した招へい研究者・学生も含む）

［2］研究経過

ロボットに代表される人工物の日々の進展にはめざましいものがあるが，いまだに多くの面で動物には遠く及んでいない．その最たるものが，環境からのあらゆる刺激（力，光，音，化学刺激など）をとらえて「即座」に反応し，環境に寄り添った行動へとつなげる即時適応能力である．本プロジェクトでは，動物のもつ卓越した即時適応能力を深く理解し，それを人工物の設計へと反映する工学的知見として昇華させることを目的とする．本課題の研究活動状況について，以下に概要を記す。

【研究打ち合わせ開催】
①「生物の筋骨格・脳神経系の構造と運動制御の関係について」
令和２年４月１７日，５月１日，５月１５日（オンライン，計３回）
参加人数：８名

②「生物の制御原理の数理モデル化について」
令和２年７月７日（一部オンライン）
参加人数：５名

③「四脚歩行生物の運動計測について」
令和２年１１月,令和３年３月２２日(オンライン,計２回)
参加人数：７名

④「生物と古生物の運動制御原理の解明について」
令和３年３月１９日（オンライン）
参加人数：８名

その他，メンバー間での少人数でのオンライン研究討論を随時行った．

［3］成果

(3-1) 研究成果

本年度は，アギトアリの防御行動における神経活性機序の解明，歩行中のコオロギの画像計測データをもとに運動パターンを推定する数理的解析手法の開発から，ネコに代表される四脚生物の反射回路をプログラムしたロボットによる構成論的研究など，分野と所属機関を超えたメンバー間の活発な意見交換により，広範囲にわたる成果を得た．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは，COVID-19 による往来制限下にも関わらず，通研所属研究者と学外研究者との交流が活発に行われた．たとえば通研所属の福原氏(工学)，筑波大学の郡司氏（生物学），大阪大学の増田氏（工学）の３名の若手研究者が立ち上げた「多義的メカニクス研究会」は分野内外から大きな注目を集め，日本ロボット学会学術講演会で開催したオーガナイズドセッションには多数の参加者が出席した．秋にはメンバー間で構成したチームによる科学研究費補助金への申請も複数行われたほか，下記に示す大型プロジェクトの採択にもつながった．またメンバー間での人的交流も大きく進み，学位を取得した学生がグループ内の研究室に日本学術振興会特別研究員 PD として移籍する，などの事例もあった．

・プロジェクト名「筋肉・受容器・神経デバイスの

超分散化で切り拓く Brainless Robotics」（代表：増田容一）

・資金制度、研究費名　JST 創発的研究支援事業
・配分機関名　大阪大学
・研究期間　令和３年度～５年度（最大７年間）

［4］成果資料

（1） Aonuma H. (2020) Serotonergic control in initiating defensive responses to unexpected tactile stimuli in the trap-jaw ant *Odontomachus kuroiwae*, *Journal of Experimental Biology* 223: jeb228874. doi: 10.1242/jeb.228874

（2） Naniwa K., Sugimoto Y., Osuka K. and Aonuma H. (2020) Novel method for analyzing flexible locomotion patterns of animals by using polar histogram, *Journal of Robotics and Mechatronics* 32(4) 812-821. doi: 10.20965/jrm.2020.p0812

（3） Saito K., Pérez-de la Fuente R., Arimoto K., Seong YA., Aonuma H., Niiyama N and You Z. (2020) Earwig fan designing: biomimetic and evolutionary biology applications. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 117(30): 17622-17626. doi: 10.1073/pnas.2005769117

（4） Tanikawa T., Masuda Y. and Ishikawa M. (2021) A Reciprocal Excitatory Reflex Between Extensors Reproduces the Prolongation of Stance Phase in Walking Cats: Analysis on a Robotic Platform, Frontiers in Neurorobotics. doi: 10.3389/fnbot.2021.636864

**採択番号：R02/B11**

# 音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発

［1］組織
研究代表者
塚原　直樹（株式会社CrowLab）
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）

延べ参加人数：4人

［2］研究経過

カラスによる農作物被害は約 13 億円に達している（農林水産省　令和元年度）。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。カラスの被害を軽減するため、カラスを追い払うなどの技術が必要であり、民間企業等が様々な製品を販売しているものの、それらはカラスの生理・生態を無視したものが多く、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、カラスは鳴き声によるコミュニケーションが発達しており、鳴き声をスピーカーから再生することでカラスの行動をコントロールすることできることがわかってきた。申請者はその技術をもとに株式会社CrowLabを立ち上げ、事業を展開している。しかしながら、それらの手法は申請者の感覚に頼る部分が大きく、この技術を様々な被害現場で広く活用するためには、自動化などの省力化が必須である。そこで本研究では、鳴き声に対するカラスの反応のデータを蓄積するとともに、機械学習等を用いることでカラスの行動制御手法の自動化が可能かどうか、研究会を通じて検討する。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。新型コロナウイルスの影響もあり、電気通信研究所を訪問しての対面での研究打ち合わせはできなかったが、9月1日、1月6日、2月18日の3回ウェブ会議を実施した。全てのウェブ会議には、プロジェクトの全メンバーの4人が参加した。

研究会の他、実質的な研究活動として、会津若松市、福井市、新潟市、八戸市、熊本市にてカラスの行動制御のための実証試験を、伊勢市にて次年度に向けた生態調査を実施した。

［3］成果

(3-1) 研究成果

1 回目のウェブ会議では、本プロジェクトの概要の確認と実現可能性を議論し、具体的なアクションプランを立てた。2 回目は、研究の進捗と成果について議論した。3 回目は、今年度の総括と次年度の方向性について議論した。

実証試験では、以下の成果を得た。

会津若松市では、会津若松駅周辺に多数のカラスが飛来し、糞害等の被害が生じている。10月から12月の間、会津若松市の協力を得て、カラスが飛来する市内の高校等にスピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。その結果、会津若松市によると、設置後数日でカラスの飛来はなくなり、市内の別の場所へと移動した。また、一度追払いに成功した場所にはカラスの飛来はほぼ観察されなかった。

福井市では、市内の主要道路に多数のカラスが飛来し、糞害等の被害が生じている。10月から3月の間、福井市の協力を得て、週に1度糞害が発生する現場にて、福井市職員が手持ちでスピーカーから行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。その結果、主要道路のカラスの飛来は減り、市内の別の場所へと移動した。本取り組みは福井新聞等に掲載された。

新潟市では、冬場の中心市街地に多数のカラスが飛来し、夜間から朝まで電線等に滞在し、道路の糞害が問題となっている。11 月と 12 月に万代シテイ商店街の協力のもと、糞害が顕著な道路周辺の建物にスピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。万代シテイ商店街によると、12 月中旬の時点でカラスの飛来はみられなくなった。

八戸市では、冬場の中心市街地に多数のカラスが飛来し、夜間から朝まで電線等に滞在し、道路の糞害が問題となっている。11月から3月の間、糞害を軽減するため、八戸市の協力のもと、糞害が顕著な道路周辺の建物にスピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。八戸市によると、3 月中旬の時点で中心市街地のカラスは滞在しているものの、スピーカーを設置した周辺の糞害は開始直後から長期的に軽減された。本

取り組みは河北新報等に掲載された。

熊本市には、中国などから越冬のために飛来するミヤマガラスが多数飛来し、中心市街地にねぐらを形成する事で、糞害が問題となっている。これまで行った行動誘導試験は、渡りをしないハシブトガラスおよびハシボソガラスであるが、これまでとは異なる種のミヤマガラスに対し、行動誘導が可能かどうか実験を行った。12月と1月に熊本市、佐賀大学の協力のもと、ミヤマガラスの主要のねぐらである花畑公園にスピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。熊本市および佐賀大学によると、1 月中旬の時点で中心市街地のカラスは激減し、郊外の山林にねぐらを移した。本取り組みは朝日新聞等に掲載された。

【特別支援（産学）に係る研究成果】

それぞれの研究会及び研究打ち合わせ、実証試験の実施に伴い、株式会社CrowLabの永田氏を招聘した。株式会社CrowLabでは、カラス被害対策の製品開発やサービスの提供を行っている。本年度は各試験を実施し、カラスの行動制御手法の自動化に向けた議論を行った。

【特別支援（国際）に係る研究成果】

それぞれのウェブ会議にシンガポール国立大学の末田氏を招聘した。末田氏はヒューマンコンピュータインタラクションの専門家であり、本プロジェクトではその専門性を活かし、カラスとのコミュニケーションを試みるアニマルコンピュータインタラクションへと挑戦する。会議では、カラスの行動制御手法の自動化に向けた議論を行った。

(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。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うといった新たな切り口の社会課題の解決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

【著書】

(1) 塚原直樹、カラスをだます、NHK 出版、2021 年 2 月
(2) 塚原直樹、カラス被害対策最前線（特集　カラスの知られざる世界)、BIRDER2 月号、文一総合出版、2021 年 1 月
(3) 塚原直樹、カラスの生理・生態を踏まえた畜産農場での効果的な対策、臨床獣医、緑書房、2020 年 8 月

【記事執筆】

(1) 2021 年 3 月 1 日 農家の友 2021 年 3 月号

【招待講演等】

(1) 青森県板柳町「カラスの生態と対策」、2021 年 3 月
(2) 青森県カラス被害防止対策研修会「カラスの生態を踏まえた農作物被害対策」、2021 年 2 月
(3) 福井県カラス対策講習会「カラスの生態と対策」、2021 年 1 月
(4) 飯田市鳥獣被害対策協議会「カラスの生態と被害対策」、2021 年 1 月
(5) 福井県あわら市「カラスの生態を知り、対策に活かす」2020 年 12 月

【メディア出演等】

(1) 2021 年 3 月 24 日 熊日新聞
(2) 2021 年 3 月 18 日 下野新聞
(3) 2021 年 3 月 13 日 朝日新聞
(4) 2021 年 3 月 12 日 日テレ NEWS24
(5) 2021 年 3 月 11 日 NHK 熊本 NEWSWEB
(6) 2021 年 3 月 11 日 熊本朝日放送
(7) 2021 年 3 月 11 日 RKK 熊本放送
(8) 2021 年 2 月 28 日 NHK E テレ「サイエンスＺＥＲＯ」
(9) 2021 年 2 月 25 日 テレビ朝日「ABEMA Prime」
(10) 2021 年 2 月 19 日 河北新報
(11) 2021 年 2 月 15 日 産学官連携ジャーナル
(12) 2021 年 2 月 6 日 毎日新聞
(13) 2021 年 2 月 1 日 RKK 熊本放送
(14) 2021 年 1 月 29 日 テレビ朝日
(15) 2021 年 1 月 28 日 熊本朝日放送
(16) 2021 年 1 月 24 日 読売新聞
(17) 2020 年 12 月 30 日 共同通信
(18) 2020 年 12 月 28 日 熊本日日新聞
(19) 2020 年 12 月 22 日 西日本新聞

(20)2020年12月17日 熊本朝日放送
(21)2020年12月15日 朝日新聞
(22)2020年12月14日 熊本放送「ゲツキン」
(23)2020年11月24日 河北新報
(24)2020年11月23日 デーリー東北
(25)2020年11月18日 ABA青森朝日放送
(26)2020年10月25日 NHK Eテレ「サイエンスZ ＥＲＯ」
(27)2020年10月6日 Yahoo!ニュース
(28)2020年10月6日 福井新聞
(29)2020年7月20日 日本農業新聞
(30)2020年6月18日 テレビ朝日「くりぃむしちゅーのハナタカ！優越館」
(31)2020年6月15日 テレビ朝日「ABEMA Prime」
(32)2020年6月11日 テレビ朝日「ワイドスクランブル」
(33)2020年6月7日 三陸新報
(34)2020年5月29日 Yahoo!ニュース
(35)2020年4月23日 河北新報
(36)2020年4月17日 アグリジャーナル
(37)2020年4月12日 ウェザーニュース

共同プロジェクト研究

**採択番号：R02/B12**

# 脳型 LSI とその関連技術国際共同研究

［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・マギル大学）

Vincent C. Gaudet（カナダ・ｳｫｰﾀｰﾙｰ大学）

松岡　浩（一般社団法人 日本海事協会）

夏井　雅典（東北大学電気通信研究所）

鬼沢　直哉（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：50 人

［2］研究経過

令和２年度は新型コロナ禍のため，当初計画していた研究会・国際会議等の大半が開催中止となってしまった．ただ，脳型 LSI 関連の国際シンポジウムだけは，R2 年度内に開催する目途が立ち，以下の要領での開催を計画している：

・日時：令和 3 年 3 月 31 日（水）10:30～18:15

・場所：完全オンラインによる開催

本国際シンポジウムは，コロナ禍が継続している状況を鑑み，「完全オンライン」形式による開催としています．海外からの招待講演者は５名（米国，カナダ，英国，カザフスタン，ペルーの各国），国内招待講演者は３名である．本国際シンポジウムでは，視覚の注意や聴覚の脳内モデル化，生物の運動メカニズム等の生理学的知見から，脳型コンピューティング・アルゴリズムやアナログ・ニューラルネットワーク回路技術等のハードウェア技術に至る，幅広い研究分野をターゲットとして，その最新の知見を発表する予定である．

なお，このようなオンライン化などのディジタルトランスフォーメーション（digital transformation；略して DX）技術を駆使した取組を通じて，新型コロナ禍で制限されていた研究者コミュニティとの情報交換を，令和３年度は，再度活性化して推進する所存である．

［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，脳型 LSI 技術に関する国際シンポジウムの企画&開催（2021 年 3 月 31 日に開催）である．新型コロナ禍により大学等へ立入も自粛される形で今年度はスタートしたが，今年度は例年開催されている国際会議がオンライン形態を駆使して開催に漕ぎ着けるなど，会議開催へ向けたさまざまな工夫を学ぶ良い機会でもあった．このような知見をベースに，脳型 LSI に関する国際シンポジウムについても，関係各位との意見交換を通じて，R2 年度内（2021 年 3 月 31 日）に完全オンラインにて開催する運びとなった．この知見を活かし，R3 年度も新型コロナ禍は続くものの，国際シンポジウムやその他の研究会等は，DX 技術を駆使して積極的かつ（感染拡大等の心配の無い）安全な形で開催していく予定である．

第２に，著名な国際シンポジウム等での special session 企画（proposal）である．脳型 LSI のハードウェア技術として，回路とシステムに関する世界最大級の国際シンポジウム「International Symposium on Circuits and Systems（ISCAS）2021」にて，special session「Next-Generation Edge AI Computing: from Device-, Circuit-, and Architecture-levels to Application level based on Data Science（yotta-scaled data management）」という企画提案を行った結果，無事採択された．ISCAS2021 は 2021 年 5 月に開催予定であり，この special session を通じて，本所関係者の研究成果を世界へ発信するとともに，session での意見交換を通じて，研究者コミュニティのさらなる拡大を図る予定である．

(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，本（R2）年度新たにスタートしたものであり，かつ新型コロナ禍のため，学外研究者との交流が実質的にできない状況であった．ただ，R2 年度後半より，学会等もオンラインで実施する方法が次第に定着しつつある．このような新しい DX（digital transformation）技術を積極的に活用し，新たな形態での研究交流を展開していく所存である．

［4］成果資料

(査読付学術論文誌)

(1) D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Binarized Convolutional Neural Network Accelerator Using a Nonvolatile Field-Programmable Gate Array with Only-Once-Write Shifting", Japanese Journal of Applied Physics, 2021 (in press).

(2) M. NATSUI, G. Yamagishi, and T. Hanyu, "Design of a Highly Reliable Nonvolatile Flip-Flop Incorporating a Common-Mode Write Error Detection Capability," JJAP, 2021 (in press).

(3) 夏井, 羽生, "不揮発記憶機能が拓く新概念ロジック LSI 設計技術とその将来展望," 信学論C, vol. J104-C, no.06, Jun. 2021 (in press).

(4) M. Natsui, A. Tamakoshi, H. Honjo, T. Watanabe, T. Nasuno, C. Zhang, T. Tanigawa, H. Inoue, M. Niwa, T. Yoshiduka, Y. Noguchi, M. Yasuhira, Y. Ma, H. Shen, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, T. Hanyu, "Dual-Port SOT- MRAM Achieving 90-MHz Read and 60-MHz Write Operations under Field-Assistance -Free Condition" IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2021 (in press).

(5) D. Shin, N. Onizawa, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Training Hardware for Binarized Convolutional Neural Network Based on CMOS Invertible Logic," IEEE Access, 2021 (in press).

(6) N. Onizawa, K. Nishino, S. C. Smithson, B. H. Meyer, W. J. Gross, H. Yamagata, H. Fujita, and T. Hanyu, "A Design Framework for Invertible Logic," IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 40, Issue 4, pp. 655-665, April 2021.

(7) R. Arakawa, N. Onizawa, J. Philippe, and T. Hanyu, "Multi-Context TCAM-Based Selective Computing: Design Space Exploration for a Low-Power NN," IEEE Trans. on Circuits and Systems I, vol.68, issue 1, pp.67-76, Jan. 2021.

(8) K. A. Ali, M. Rizk, A. Baghdadi, J.-P. Diguet, J. Jomaah, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Memristive Computational Memory Using Memristor Overwrite Logic (MOL)", IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, Vol. 28, Issue 11, pp. 2370-2382, Nov. 2020.

(9) N. Onizawa, S. Mukaida, A. Tamakoshi, H. Yamagata, H. Fujita, and T. Hanyu, "High-Throughput/Low-Energy MTJ-Based True Random Number Generator Using a Multi-Voltage/Current Converter," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, Vol. 28, Issue 10, pp. 2171-2181, Oct. 2020.

(10) N. Onizawa, S. Smithson, W. Gross, B. Meyer, and T. Hanyu, "In-Hardware Training Chip Based on CMOS Invertible Logic for Machine Learning," IEEE Trans. Circuits and Systems I, vol. 67, no. 5, pp.1541-1550, May 2020.

(11) 羽生, "不揮発性ロジックでひらくエッジ AI ハード ウェアの展望," 電子情報通信学会, Fundamentals Review, Vol.13, No.4, pp.269-276, April 2020.

(12) M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "Impact of MTJ-Based Nonvolatile Circuit Techniques for Energy-Efficient Binary Neural Network Hardware," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), STAP article, vol.59, pp.050602-1~7, April 2020.

(13) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a Cost-Efficient Controller for Realizing a Data-Shift-Minimized Nonvolatile Field-Programmable Gate Array," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 59, no. SG, pp. SGGB13-1~SGGB13-7, April 2020.

(査読付国際会議論文誌)

(1) T. Oka, D. Suzuki, and T. Hanyu, "Challenge of Energy-Efficient Edge-AI Hardware Using Spintronics-Based Nonvolatile Logic," 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2020), pp.85-88, Nov. 2020.

(2) G. Yamagishi, M. Natsui and T. Hanyu, "Design of a Magnetic-Tunnel-Junction-Based Nonvolatile Flip-Flop with Common-Mode Write Error Detection," Extended Abstract of 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020), pp.87-88, Sept. 2020.

(3) D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Binarized Convolutional Neural Network Accelerator Using a

Nonvolatile FPGA with Only-Once-Write Shifting," Extended Abstract of 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020), pp. 91-92, Sept. 2020.

(4) Y. Takako, D. Suzuki, M. Natsui and T. Hanyu, "Systematic Design Flow for Realizing MTJ-Based Nonvolatile FPGAs," Extended Abstract of 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020), pp. 93-94, Sept. 2020.

(5) A. Tamakoshi, N. Onizawa, H. Yamagata, H. Fujita, and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient True Random Number Generator Based on Triple Read-Write Data-Stream Multiplexing of MTJ Devices," Proc. 18th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), pp. 283-286, June 2020.

(6) M. Natsui, A. Tamakoshi, H. Honjo, T. Watanabe, T. Nasuno, C. Zhang, T. Tanigawa, H. Inoue, M. Niwa, T. Yoshiduka, Y. Noguchi, M. Yasuhira, Y. Ma, H. Shen, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "Dual-Port Field-Free SOT-MRAM Achieving 90-MHz Read and 60-MHz Write Operations under 55-nm CMOS Technology and 1.2-V Supply Voltage," 2020 Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers, 2 pages, June 2020.

(7) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design and Evaluation of a Synthesizable Standard-Cell-Based Nonvolatile FPGA," Proceedings of the 50th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL), pp. 194-199, May 2020.

(招待講演等)

(1) T. Hanyu, "Impact of a nonvolatile multiple-valued circuit technique for energy-efficient binarized neural-network hardware", 6th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment (ENGE2020), Nov. 1-4, 2020.

(2) 羽生, "不揮発性ロジックが拓く脳型コンピューティングの挑戦", 第7回電子デバイスフォーラム京都, 2020年10月30日.

(3) T. Hanyu, "Challenge of Nonvolatile Logic LSI for Edge AI Applications", University of Aizu: Research Cluster Forum, Oct. 24, 2020.

採択番号 (Grant No.)：R02/B13

# Cognition-Aware-Systems for Improving Human Performance

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：
Dr. Benjamin Tag

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Prof. Yoshifumi Kitamura

研究分担者 (Project Member List)：
Prof. Vassilis Kostakos
Assoc. Prof. Chia-Huei Tseng
Assoc. Prof. Kazuki Takashima
Assist. Prof. Andrew Vargo
Assist. Prof. Kazuyuki Fujita

延べ参加人数 (Total Number of Participants)： 7 人

[2] 研究経過 (Summary)

**Notes**: This project aimed at starting a collaboration between Prof. Yoshifumi Kitamura's lab at the Research Institute of Electrical Communication of Tohoku University, and Dr. Benjamin Tag of the HCI Group at the University of Melbourne. The goal of this project was to organize two study meetings to develop a collaborative research agenda. Due to the COVID 19 pandemic, international travel was not possible. Therefore, none of the allocated funds have been used in FY 2020. As in-person studies were also not possible in the whole of 2020 and early 2021, we focused our research efforts on developing sensing systems that can be used in future collaborations with Prof. Kitamura.

**Project Summary**: When we acquire new skills or knowledge, information first fills up our working memory before being processed and transformed into long term memory. Processing new information creates a load on our working memory system, which is called "cognitive load". Cognitive load is a quantitative indicator of the human brain's activity level during working and learning. Traditionally, cognitive load was measured using self-reports, where the reporting itself creates different levels of additional cognitive load. Recent objective measuring systems have relied on military-grade infrared cameras, and medical-grade brain sensing systems (e.g., fNIRS). However, these systems are costly, require high technical skills, and are not available to the general public.

To overcome these limitations, we have developed two systems that rely on consumer-grade hardware and enable tracking of cognitive workload in everyday life. We first worked on an infrared camera system that automatically detects the user's face and tracks the regions of interest (ROI) on the face that are crucial for inferring changes in cognitive load levels by analysing the temperature changes. We developed a new approach using Haar features to detect ROIs on the face, such as nose and eyebrows (see Figure 1).

The second system we have developed uses is based on the phenomenon of changing pupil size in response to increased cognitive workload. We use a regular RGB camera, pre-installed in a laptop computer, and the Python OpenCV library to detect changes in pupil-diameter during increased cognitive demand. As pupils can be of different colour, we have developed a grayscale image-based approach (see Figure 2) to enable the accurate detection of pupils surrounded by dark and light iris colours.

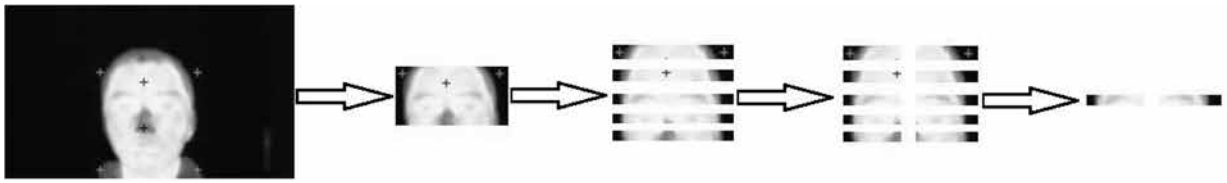


**Figure 1: Using Haar features to search for eyebrows in the face region**

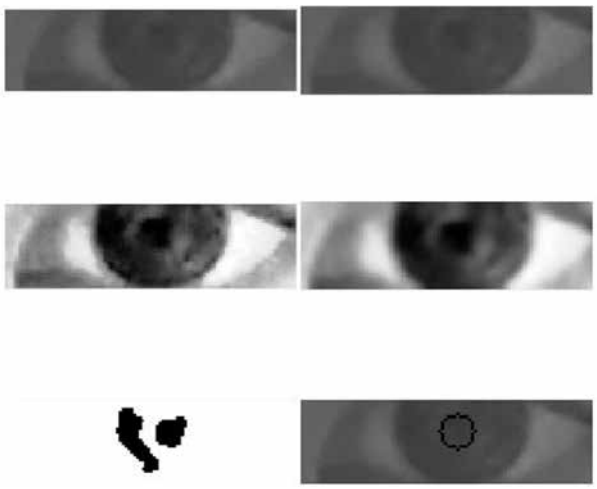


**Figure 2: Pupil detection in dark-colour iris**

[3] 成果 (Results)

（3-1）研究成果 (Research Results)

Due to the restrictions on in-person studies, we were not able to test and validate our systems. We, however, ran remote pilot studies that enabled us to identify weaknesses in our systems which we are currently fixing. For one, the pupil detection system showed non-robust performance for different lighting conditions. For this reason, we are currently changing our detection algorithm based on brightness values of each section of the eye. For this, we are cutting each image of an eye into columns and rows to create clearly identifiable quadrants. For each column we are detecting a brightness value and assess the pupil radius using brightness histograms.

The current system is ready to be tested for its robustness and accuracy in a pilot study. We are currently validating its measures using a Tobii Pro Nano eye tracker for ground truth.

Similarly, we are ready to test the thermal imaging system and validate the accuracy in a laboratory pilot study.

（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)

Cognition-aware systems – systems that automatically respond to changing cognitive states of their users – are part of the ubiquitous computing domain. While different sensing approaches have shown to be reliable input modalities, such as fNIRS and EEG, these systems are usually expensive, create high computational demand, and require high technical skills to be used and controlled.

Our approach to cognition-aware systems builds on findings made with those high-spec devices but uses consumer-grade hardware that is available outside medical laboratories.

Therefore, while not reaching the accuracy of medical devices, our systems make research into cognition-aware available to a larger audience and different research domains (e.g., cognitive science, psychology, pedagogy) and enable the development of applications for everyday use.

As consumer-grade hardware, such as mobile phone infrared cameras, and high resolution RGB cameras are becoming more ubiquitous (e.g., in smartphones, computers, tablets), our research significantly contributes to the development of such systems.

[4] 成果資料 (Publications)

none

**採択番号：R02/B14**

# 3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合

［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：

坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

行場　次朗（尚絅学院大学）

Hiroshi Ono（York 大学心理学部）

Laurence R. Harris（York 大学心理学部）

蘆田　宏（京都大学文学研究科）

一川　誠（千葉大学文学部）

岡嶋　克典（横浜国立大学環境情報研究院）

北崎　充晃（豊橋技術科学大学工学研究科）

佐藤　雅之（北九州市立大学国際環境工学部）

中村　信次（日本福祉大学子ども発達学部）

金子　寛彦（東京工業大学総合理工学研究科）

古賀　一男（京都ノートルダム女子大学心理学部）

白井　述（新潟大学人文学部）

妹尾　武治（九州大学高等研究院）

寺本　渉（熊本大学文学部）

Philip M. Grove（Queensland 大学 心理学）

松宮　一道（東北大学大学院情報科学研究科）

栗木　一郎（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：20人

［2］研究経過

コロナの感染拡大によりリモートワークが社会活動の手段として大きな比重を占めるようになると，画面越しのコミュニケーションがリアルな対話とは質的に異なる体験であることが再認識されるようになった。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。この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り，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1年目の今年度は，感染拡大防止のため，オンラインまたはメールで下記3件の研究打ち合わせを実施した。

1件目:2020年10月8日:参加者(分担者):Hiroshi Ono，一川誠，櫻井，(外部からの参加者) 下野孝一，木原健，Zoomミーティングを実施。

2件目：2020年6月1日～7月11日：昨年度に前プロジェクトで招聘した自己運動知覚の研究者であるJuno Kim准教授（New South Wales大学，オーストラリア）とメールによる打ち合わせを実施。

3件目：2021年3月20日：古賀，蘆田，佐藤，金子，妹尾，中村，坂本，櫻井：Zoomミーティングを実施。

［3］成果

(3-1) 研究成果

Zoomによるミーティングでは，4点について参加者に報告をしてもらい，コロナ禍で利用されている環境の臨場感やツールの使いやすさについて議論した。そこで得られた知見を以下にまとめておく。

1) これまでオンライン形式で参加された学会や研究会の様子を教えてください。

・昨年3月以降，対面での会合は皆無。

・具体的には，視覚学会，VR学会，日本心理学会，基礎心理学会，がオンラインに移行。

・その他，多くの定例的な研究会，関連講演会もオンライン化された。

・当初は不慣れだったが次第に効率的に運用されるようになった。その分，安易に急な会議や打ち合わせを入れる（入れられる）機会も増えた。

・Vison Sciences Societyはオンデマンドとオンタイムの2本だてだったが，対面ならではのテンションがない。一方オンタイムだと著名な研究者が食事をしながら参加しているなど，時差の様子がわかって興味深かった。

2) バーチャルな環境を実現するためのツールとして使われていたものを教えてください。

・Zoom, Microsoft の Teams, Cisco の Webex, Google meeting, Remo, Ovice, Webinar, Skype, Line（グループビデオ通話), Messenger ビデオ。
・Remo と Ovice（https://ovice.in/ja/）は懇親会でも使用されていた。

3) どのツールや使い方がリアリティや臨場感の点で良かったのかについて教えてください。

・メニューのわかりやすさや操作性，臨場感に関しては，Zoom，Teams，Webex，Google meeting の間では Zoom が一番使い勝手がいい。Webex は少々面倒。
・特にステレオの音を出せるので，3D オーディオを扱う学会や研究会は zoom 一択の状況。
・Zoom はブレイクアウトルームでポスターの議論をある程度カバーできる。
・Remo は学会のポスターセッションで使ったが，会場内で迷い，ほとんど発表が聞けなかった。
・Remo はセッション終了と同時にポスターのほとんどが見られなくなるので，終了後もしばらくは閲覧時間が欲しい。
・Zoom より Remo の方が臨場感があるが，平板なアバターでノンバーバルのサインがなく，会話のグループに入りにくい場合があった。
・VR 学会では論文賞，学会発表賞の式典を VR で行った。使用した cluster は臨場感を伝える点でよかった。ただし，cluster の VR 空間の中にスクリーンを出すため，他の参加者のアバターでスクリーンが隠れることがあったり，講演者がパワーポイントファイルを事前に提出する必要があること，M1Mac ではまだ動かない等の問題があった。
・Remo と Ovice では Ovice の方がよかった。

4) 指定された環境の使いにくさを，どのような方法で改善したのかを教えてください。

・Zoom では基本的に座った状態での参加であり，広がりのある空間を共有しているという印象が希薄である。
・タブレットやスマホで参加してカメラと一緒に部屋の中を歩き回っていると，その様子が伝わって臨場感がある。話者追尾型カメラや 360 度カメラを使うと良いかもしれない。
・Remo と Zoom（ブレイクアウトルーム）では単独のログインでは足りなくなったので，タブレット等で別にログインして PC と両方で対応した。自分のポスター発表は PC で，他の発表者のポスターにはタブレットで参加という具合。
・色彩学会を運営した際，実行委員側で強制ミュートをした李，ログイン名を工夫(頭に 00 を付ける等)することで委員の表示が先頭にくるようにした。
・聴覚に問題あるとオンラインは聞きにくい。
・システム上発言者の音声のみが選ばれて伝達されるため，皆で自由に発言するのは難しい。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究分担者には学会の中心的メンバーが多いことから，今回得られた知見は 2021 年のオンライン学会に反映され，臨場感の向上とツールの使い勝手の向上に寄与すると考えられる。

［4］成果資料

（１） K. Fujimoto, H. Ashida (2020) Different Head-Sway Responses to Optic Flow in Sitting and Standing With a Head-Mounted Display. Front. Psychol. 11:577305.
10.3389/fpsyg.2020.577305
（２） K. Fujimoto, H. Ashida (2020) Roles of the Retinotopic and Environmental Frames of Reference on Vection. Front. Virtual Real. 1:581920.
0.3389/frvir.2020.581920
（3）渡久山遼, 久方瑠美, 金子寛彦 (2020) 能動的自己回転運動に伴う視覚運動速度が身体制御に与える影響 日本バーチャルリアリティ学会論文誌
（4）青木卓也, 妹尾 武治, 中村信次, 藤井芳孝, 石井達郎, 脇山真治 (2020) 娯楽コンテンツとしてのベクションの歴史研究 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 25(3)
（5）H. Sato, Y. Morimoto, G. B. Remijn, T. Seno (2020) Differences in three vection indices (latency, duration and magnitude) induced by “camera-moving” and “object-moving” in a virtual Computer Graphics world, in spite of similarity in the retinal images. i-Perception
10.1177/2041669520958430
（６） W. Suzuki, A. Hiyama, N. Ichinohe, W. Yamashita, T. Seno, H. Takeichi (2020) Visualization by P-Flow: Gradient based Optical Flow and Vector Fields extracted from Image Analysis. The Journal of the Optical Society of America, Vol. 37, Issue 12, pp. 1958-1964, 2020
10.1364/JOSAA.398677
（７） R. Yahata, W. Takeya, T. Seno, Y. Tamada (2021) Hot wind to the body can facilitate vection only when participants walk through a fire corridor virtually. Perception, in press.
10.1177/0301006620987087
（8）櫻井研三 (分担執筆) 現代心理学辞典 (2020) 有斐閣

**採択番号：R02/B15**

# 半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発

［1］組織

研究代表者
手老　龍吾
（豊橋技術科学大学環境・生命工学系）
通研対応教員
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
井出　徹（岡山大学自然科学研究科）
森垣　憲一（神戸大学バイオシグナル総合研究センター）

延べ参加人数：62 人

［2］研究経過

半導体加工技術とバイオテクノロジーと融合することにより，ナノバイオエレクトロニクス・ナノバイオロテクノロジーへの展開が進められている。本研究では，生体高分子の中でも，特に創薬ターゲットや薬物副作用の観点から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，高感度・高精度センシングデバイスの開発，および脂質二分子膜系の全く新しい計測･制御技術の開発を目指している。

イオンチャネルは様々な疾患に関わる創薬の主要ターゲットタンパク質である。例えば，医薬品による催不整脈作用の問題から開発薬物に対する安全性薬理試験として心筋の hERG チャネルへの作用評価が必須となるなど，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。今年度はチャネル電流計測を高い信頼性で行うシリコンチップの開発，多点チャネル電流計測システムの開発，およびチャネル計測実験のボトルネックとなっている膜融合過程の解明と改善方法の開発に取り組んだ。

2021 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オンラインで開催した。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。

11th 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

日時：2021 年 3 月 1 日(月) ー 2 日(火)
場所：オンライン開催 (Zoom)

3 月 1 日 (月)
参加者：24 人（うち外国人参加者 4 人）

“Virus detection using graphene FET”,
Kazuhiko Matsumoto (Osaka University, Japan)

“RT atomic layer deposition of aluminum silicate and its application to ion sorption”
Fumihiko Hirose (Yamagata University, Japan)

“Composition of supported lipid bilayers including ionic lipids on charged substrates”
Ryugo Tero (Toyohashi University of Technology, Japan)

“Electrolyte stabilization of aperture-suspended bilayers for nanopore sensing”
Maurits de Planque (University of Southampton, Southampton, United Kingdom)

“Reconstituting photosynthetic model thylakoid membrane in the polymerized lipid bilayer scaffold”
Takuro Yoneda[1], Yuka Kusunoki[1], Daisuke Takagi[1,2], Sophie A. Meredith[3], Ashley M. Hancock[3], Stephen D. Evans[3], Peter G. Adams[3], and Kenichi Morigaki[1] ([1]Kobe University, Japan, [2]Tohoku University, Japan, [3]University of Leeds, UK)

“Observation of cell-free synthesized Human ether-a-go-go related gene channels in artificial lipid bilayer”
Mervin Wei Shern Goh[1], Haruka Inoue[2], Yuzuru Tozawa[2], and Ryugo Tero[1] ([1]Toyohashi University of Technology,

Japan, [2]Saitama University, Japan)

3 月 2 日 (火)
参加者 : 38 人（うち外国人参加者 18 人）

“Perfect hexagonal anodizing: (Titania)Nanotubes and Porous Alumina”
Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“Electromagnetic properties and structures of molecular nanocoils composed of organic charge transfer complexes”
Yoko Tatewaki[1], Sadafumi Nishihara[2], Tomoyuki Akutagawa[3], Takayoshi Nakamura[4] ([1]Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan, [2]Hiroshima University, Japan, [3]Tohoku University, Japan, [4]Hokkaido University, Japan)

“Artificial cell membrane as a novel platform for biosensing”
Ayumi Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan)

“Nanopore dynamic chemistry for single-molecule sensing”
Yi-lun Ying, Xinyi Li, Mengying Li, Yi-Tao Long (Nanjing University, China)

“AC impedance of a free-standing bilayer lipid membrane formed over an aperture in a nanofabricated silicon chip”
Yasutaka Tomioka[1], Haruka Hirata[1], Shogo Takashima[1], Masataka Moriya[1], Hiroshi Shimada[1], Ayumi Hirano-Iwata[2], Fumihiko Hirose[3], Yoshinao Mizugaki[1]
([1]The University of Electro-Communications, Japan, [2]Tohoku University, Japan, [3]Yamagata University, Japan,)

“Development of solvent-free lipid bilayer microarray for parallel recordings of transmembrane hERG channel currents”
Daisuke Tadaki[1], Ryusuke Miyata[1], Daichi Yamaura[1], Shun Araki[1], Madoka Sato[1], Maki Komiya[1], Teng Ma[1], Hideaki Yamamoto[1], Michio Niwano[2], Ayumi Hirano-Iwata[1] ([1]Tohoku University, Japan, [2]Tohoku Fukushi University, 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。我々はこれまでに支持脂質二重膜系を用いて，イオンチャネル計測に用いられる phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), cholesterol (Chol) から成る脂質二分子膜内に, PL 融合サイトとして働く微小ドメインが存在しており，多価不飽和 PE がその形成を誘起していることを見出した。本年度は不飽和度の異なる PE を用いて微小ドメイン形成の不飽和度依存性を詳細に調べ, PE の 2 本のアシル鎖の不飽和度と 2 重結合数の配分によってドメイン形成能が大きく変化することを明らかにした。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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。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。

2020 年度は国内外の学会や研究会の開催に大きな制約があったが，今年度開催した前述の国際シンポジウムでの交流で得られたネットワークを活用して，シンポジウムの申請を検討する。

［4］成果資料

(1) R. Tero and J. Sato, "Stimulations inducing tethered lipid bilayer formation on protein-modified substrate", Electronics and Communications in Japan, 140, 447-451 (2020), DOI: 10.1002/ecj.12262.
(2) M. Komiya, M. Kato, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, R. Tero, Y. Tozawa, M. Niwano and A. Hirano-Iwata, "Advances in Artificial Cell Membrane Systems as a Platform for Reconstituting Ion Channels", The Chemical Record, 20, 730-742 (2020), DOI: 10.1002/tcr.201900094.

**採択番号(Grant No.):R02/S1**

# 先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用

［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）
小野　行徳（静岡大学電子工学研究所）
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）
坂本　修一（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）
吉田　真人（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　　48 人

［2］研究経過

コヒーレント波デバイス開発とコヒーレント波の制御・システムに関する研究、及び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。コロナ禍の中、令和2年12月15日、冬季研究会(web)を開催し、7 件の口頭発表を行い、参加者は当プロジェクトメンバー以外の学内参加も含め、計24名の参加の下、研究交流を持つことができた。そして、令和 3 年 2 月 18 日、"FY2020 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects"が web 開催され、「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、電研小野行徳教授が「Electron aspirator using electron–electron scattering in nanoscale silicon」と題して、電子流体効果を利用した新原理シリコンデバイスについて発表し、将来の超低消費電力デバイスへの可能性を示した。各研究室が、以下の達成を目標として研究を行った。

【静岡大学電子工学研究所】
三村・根尾研究室:「表面プラズモン増幅現象の解明に関する研究」
青木・伊藤研究室:「X 線領域の高次情報抽出イメージャーに関する研究」
川人研究室:「近赤外レーザ光を利用して Time-of-Flight 法による長距離画像計測を実現するための時間分解イメージングデバイスに関する研究」
原・小南研究室:「深紫外コヒーレント光源の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:「ToF 計測と近赤外分光計測による生体組織性状計測法に関する研究」
小野篤史研究室:「金属ナノ構造上の表面プラズモン共鳴振動の共鳴波長制御と可視化」
佐々木研究室:「電波と物質のコヒーレント相互作用に関する研究」
小野行徳研究室「テラヘルツ、および赤外光とシリコン MOS 電子系との相互作用の研究」
【東北大学電気通信研究所】
八坂・吉田研究室:「小型コヒーレント光源の開発とその応用分野の探索」
上原・片野研究室:「ナノ構造体の光物性制御とコヒーレント波への展開」
坂本研究室「コヒーレント音波を用いた音響技術の高度化」
【東北大学大学院工学研究科】
藤掛・石鍋研究室:「微小構造高分子を分散した液晶の配向特性に関する研究」

［3］成果

(3−1) 研究成果

【静岡大学・三村・根尾研究室】

高屈折ガラス(N-SF11)/Metal(Ag)/Insulator(ローダミン 6G 添加 PMMA)/大気の構造を ATR カップリングさせ、Insulator 層を光ポンピングした場合、プラズモンからの再放射は微弱であった。これはプラズモンが損失の大きい短距離伝搬型である事と Insulator 層の導波路モードとプラズモン

がエネルギー空間で一致しない事が原因であった。この為、ω-k 分散関係が一致させるため Metal(Ag)/MgF2/R6G@PMMA 構造を用いた。PMMA 膜厚・表面状態制御を確立し、所望の構造を作製可能となった。MgF2 の膜厚を制御する事で結合状態を透明化からラビ分裂まで実現した。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】

X 線画像を絶対値精度で計測することを目標にフォトン・電荷カウンティング型の X 線イメージャーの研究を進めた。あらたに高エネルギーX 線やγ線に高い感度を持つ臭化タリウム(東北大学大学院工学研究科と共同研究) を取り入れ光電変換素子としての材料物性および電荷移動特性の解明と読み出し信号処理の研究を進めた。イオン導電性を持つ臭化タリウムでの分極現象について観察し、現状で詳細な原因は解明できていないが試作イメージャーにおいてバイアスの定期的な反転で長時間運転が可能であることはわかった。X 線の減弱が大きいことから薄膜センサーの可能性を持ち、今後分極現象と併せて研究を進める。

【静岡大学・川人研究室】

近赤外光に対する量子効率向上策、直接法間接法ハイブリッド型画素駆動方式、光電子輸送の高速化を図る新光電荷変調構造を組み込んだマルチタップデバイスを試作し、高パワー高速近赤外 VCSEL 光源と組み合わせて距離測定を実施し、中距離での距離測定に成功した。

【静岡大学・原・小南研究室】

これまで使用してきたグラファイトヒーターを用いるホットウォール型 CVD 装置を、局所基板加熱型に改造した。これにより、h-BN 薄膜中の無配向グレインが減少すると共に、不純物／欠陥発光に対する励起子発光の相対強度が大幅に増大した。このような膜質の改善は、期待通り原料ガス間の気相反応、および膜中への炭素混入が抑制されたためと考えられる。

【静岡大学・猪川研究室】

表面プラズモンアンテナ付き SOI フォトダイオードの受光感度入射角依存性を 2 次元空間パターンとして計測し、単眼の 3 次元イメージングやレンズレス・イメージングに有望であることを示した。SOI MOSFET などを利用した単一電荷を計数するタイプのフォトン検出器の複雑な出力信号を実時間で処理するシステムを構築し、単位時間に入射するフォトン数がポアソン統計に従うことを確認した。

【静岡大学・庭山研究室】

近赤外分光法 (NIRS)の誤差要因の一つとして、生体組織の散乱係数の個人差が挙げられる。そこで、令和２年度は測距回路による TOF 及び時間分解波形計測を空間分解式 NIRS に組み合わせたシステムを構築し、生体模擬試料や動物の腸組織を対象として実験を行った。その結果、TOF 計測と時間分解波形と空間分解波形を同時に取得し、散乱に関する特性値を推定できることが確認された。本システムにより、生体の個体差に対応した高精度な血液動態計測への展開が期待できる。

【静岡大学・小野篤史研究室】

コヒーレント光を時間的、空間的に制御するプラズモニックデバイスの開発を目的とし、銀ナノキューブ単層集積膜の作製技術を確立した。上原・片野研究室との連携により、銀ナノキューブ単層集積膜を金マイカ基板上に作製し、銀ナノキューブを被覆しているポリビニルピロリドンのラマン信号特異的増強の観測に成功した。

【静岡大学・佐々木研究室】

連続波ＤＦＢレーザ２波を励起レーザとし、光伝導アンテナを用いて単色コヒーレントテラヘルツ波を発生させ、1 THz 以下の低波数帯域において高周波数分解能テラヘルツ分光スペクトル測定装置を構築した。アライメント精度向上が技術的に困難であることと、励起光が半導体部に吸収されてインコヒーレントで高強度な熱による遠赤外線の効果が大きいことを確認した。次年度はこの課題を解決する予定である。

【静岡大学・小野行徳研究室】

MOS２次元電子系のプラズモンとコヒーレント光の相互作用による電子系の多体状態の観測手法を確立することを目的に、これらの観測手法の基礎となる MOS トランジスタの２次元電子系の伝導特性の極低温計測を行った。その結果、コンダクタンスの特異なゼロバイアス異常を観測し、これが金属絶縁体転移によるものであることを示唆する結果を得た。

【東北大学・八坂・吉田研究室】

光通信や高精度光計測などの様々な応用に向けた光負帰還狭線幅半導体レーザの FM ノイズ特性を明らかにするため、広帯域 FM ノイズ測定系を構築した。本測定系を用いた実験及び解析から、半導体レーザの応答帯域幅を拡大することで広帯域な FM ノイズ低減が実現できることを確認した。今後は光負帰還狭線幅半導体レーザを LiDAR 用の光源に適用するための検討を進める。

【東北大学・上原･片野研究室】

当該構成員である静岡大学小野研究室と共同研究を進めている金属ナノキューブのナノスケール構造解析と表面増強ラマン現象解明の課題について大きな進展があり、それらの成果を論文として

発表することができた。また、金属ナノキューブの熱形状変化とプラズモン増強場の関係を明らかにし、これらの成果を論文にまとめ、現在投稿中である。今後静岡大学との研究連携を継続し、金属ナノ微粒子構造体を用いたプラズモン光電場の微視的理解と精密制御に関する研究を進める。

【東北大学・坂本研究室】

複数のマイクロホンアレイを用いて収音した音場情報から、アレイ群を含む空間における音場情報を広領域に取得する技術の開発を進めた。具体的には,再現したい点の周囲に仮想的な境界面(仮想球）を仮定し、複数のアレイ群で収音された音場情報から仮想球表面の音圧を求め，高次アンビソニックス（higher-order ambisonics：HOA）のHOA エンコードを適用して聴取点における音場情報を算出する方法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を確認した。

【東北大学・藤掛・石鍋研究室】

液晶の配向自由度を拡げるため、自己組織化高分子（デンドリマー）の添加を検討した。微量のデンドリマー添加であっても、液晶配向の秩序性が失われて粘度が増加した。デンドリマーが繊維状に凝集して分子ネットワークを構成するとともに、極性の大きな多数の液晶分子を水素結合で引き付けてクラスターを形成している可能性がある。また、高分子配向膜で液晶を配向させた液晶デバイスに、外部から圧力を印加して液晶を流動させると、透明電極間の電気容量が大きく変化した。この配向効果は、高感度な圧力センシングに応用可能と思われる。

(3－2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

コヒーレント波光源の開発においては、光負帰還狭線幅半導体レーザを LiDAR 用の光源に適用を視野に、そのFM ノイズ低減が実現できた。コヒーレント波の時間的、空間的制御に関しては、電研と通研の研究室での研究連携が進み、金属ナノキューブのナノスケール構造解析と表面増強ラマン現象解明の課題について、それらの成果を論文として発表することができた点は、大きな進展であった。音場制御分野では、マイクロホンアレイを用いた音場情報から,アレイ群を含む空間における音場情報を広領域に取得する技術の開発を進めた。近赤外レーザの制御分野では、Time-of-Flight 距離イメージセンサに、新光電荷変調構造を組み込むことで、高パワー高速近赤外 VCSEL 光源と組み合わせた、中距離での距離測定に成功した。また、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では、受光感度入射角依存性を 2 次元空間パターンとして計測し、単眼の 3 次元イメージングやレンズレス・イメージングに有望であることを示した。そして、フォトン・電荷カウンティング型のX線イメージャーの研究においては、X線画像を絶対値精度で、計測することを目標に、新規に臭化タリウムを取り入れ、光電変換素子としての材料物性および電荷移動特性の研究を進めた。近赤外分光法（NIRS）においては、TOF 及び時間分解波形計測を空間分解式NIRS に組み合わせたシステムを構築し、生体の個体差に対応した高精度な血液動態計測への展開が期待できる。以上、各研究課題の進展に加え、研究所間の共同研究、連携が進み論文投稿等の顕著な進展が見られ、更なる波及効果が期待される。

［4］成果資料

(1) Y. Neo, M. Nakata, Y. Kameda, Y. Hatanaka and H. Mimura, "High-Temperature Operation Method for Image Pickup Tube," in IEEE Electron Device Letters, vol. 42, no. 2, pp. 256-259. (2020)

(2) K. Kimura, Y. Imura, K. Takagi, T. Aoki,” Data traffic compression in spectral photon-counting CT imaging based on human visual characteristics Journal of Instrumentation 16/ P02007- (2021)”

(3) S. Takagi, R. Kime, T. Midorikawa, M. Niwayama, S. Sakamoto, T. Katsumura,” Differences in muscle O2 dynamics during treadmill exercise between aerobic capacity-matched overweight and normal-weight adults, Advances in Experimental Medicine and Biology, 1232, 223-229” (2020)

(4) Y. Ono. ”Electron-electron scattering in silicon and its impact on future emerging devices”6th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Feb. 3rd, 2021, Online (invited)

(5) C. Cao, J-K. Dutta, M. Hakamata, K. Yasutomi, K. Kagawa, S. Aoyama, N. Tsumura, S. Kawahito, “A Dual NIR-Band Lock-In Pixel CMOS Image Sensor with Device Optimizations for Remote Physiological Monitoring”, IEEE Transactions on Electron Devices, 2021.2.12.

(6) N. Yokota, H. Kiuchi, and H. Yasaka, "Role of modulation bandwidth in narrow spectral linewidth semiconductor lasers under optical negative feedback," Jpn. J. Appl. Phys. 59, 102001 (2020).

(7) S. Katano, T. Iwahori, R. Yamasaki, A. Mizuno, A. Ono, and Y. Uehara, "Localized surface plasmon-induced vibrational excitations in the surface-enhanced Raman scattering using two-dimensional array of silver nanocubes", J. Appl. Phys., 127, 185301_1-9 (2020).

(8) 片田晃輔，坂本修一，「仮想球モデルに基づく分散マイクロホンアレイを用いた音場収音法に関する一検討」，電子情報通信学会技術研究報告，EA2020-23 (2020)，9-14

共同プロジェクト研究

**採択番号 (**Grant No.**) : H30/SI1**

# AI 研究と人間科学に関する研究

# AI and Human Studies


［1］組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）

Su-Ling Yeh (National Taiwan University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)

Satoshi Shioiri（RIEC, Tohoku University）

研究分担者 (Project Member List)

Li-Chen Fu (National Taiwan University)

Hsiu-Ping Yueh (National Taiwan University)

Tsung-Ren Huang (National Taiwan University)

Shu-Kai Hsieh (National Taiwan University)

Yung-Jen Hsu (National Taiwan University)

Jong-Tsun Huang (National Taiwan University)

Keng-Chen Liang (National Taiwan University)

Tai-Li Chou (National Taiwan University)

Joshua Goh (National Taiwan University)

Yoshifumi Kitamura（RIEC, Tohoku University）

Yoshihiko Horio（RIEC, Tohoku University）

Takahiro Hanyu（RIEC, Tohoku University）

Chia-huei Tseng（RIEC, Tohoku University）


延べ参加人数 (Total Number of Participants) 94 人

［2］研究経過 (Summary)

AI application in industry, business, medical treatment and human science is the most remarkable and forward-looking research area. The proposed study area, AI in Human Studies will create synergy based on the strength of the two research institutes. The AI and advanced robotic center at NTU consists of a strong team from human studies: education, psychology, medicine, humanities, and etc. RIEC at Tohoku includes experts in Advanced Acoustic Information Systems, Visual Cognition and Systems, Interactive Content Design, Soft Computing Integrated System, New Paradigm VLSI System.

The two research institutes have co-organized a symposium (The First NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies) on December 23, 2017 in Taipei, Taiwan. It was a public event which attracted more than 100 attendants from academic fields and the public. From the initial preparation and execution, the two teams have established several possible collaboration research lines as well as joint research plan. The second Tohoku-NTU symposium was held on November 24 and 25, 2018 at RIEC in Sendai and the third one was held on NTU, On November 24, 2019

In this year, we had the fifth symposium on line due to the COVID 19 pandemic. On March 12 and 13, two keynote talks, 20 talks, and a special session were scheduled. The special session was cooperation session with Case Western Reserve University about AI and data sciences. We also invited researchers in the field of human sciences from Kyoto University to expand the collaborations outside the NTU and Tohoku U. Since the purpose of the symposium was not just to exchange the information but also to discuss the future collaborations, we had discussion session after talk session, where participants had change to discuss in small groups with speakers.

Talks Speakers and Title

Keynote Speech 1:
Masayuki Ohzeki
Quantum annealing and its application to real industry

Keynote Speech 2:
Wendy Cho
Human-centered redistricting automation in the age of AI

Takumi Ito
Langsmith: An Interactive Academic Text Revision System

Tai-Li Chou
Neural substrates of communication deficits in autism

Sachiko Kiyama
How poems bring joy? Some neural changes to the Japanese fixed verses

Hsiu-Ping Yueh
Reshaping learning experience with robot

Po-Jang Hsieh
The scientific study of human consciousness

Sae Kaneko
Temporal factor of spatial context for visual perception

Ryo Teraoka
Is the spatial shape of auditory selective attention constant in the horizontal plane?

Seiji Kumagai
Using Traditional Wisdom with AI (Buddhabot) to Establish a "Psyche Navigation System"

Shih-Fang Chen
Intelligent tea management: What AI Can Help

Satoshi Moriya
Modeling of Cultured Neuronal Networks for Analog Hardware Implementation

Shang-Tse Chen
Robust Physical Adversarial Attack on Object Detectors

Yinghui Wu
Knowledge-based Event Analysis in Cyber-Physical Data Streams

Mehmet Koyutürk
Robust Inference of Kinase Activity Using Functional Networks

Roger H. French
Spatiotemporal Graph Neural Network for Performance Prediction of Photovoltaic Power Systems

Masayoshi Adachi
Crystal growth of AlN from Ni-Al solution

Samy B. Mohammad
Pedagogical Methods of Online Practical-based Learning in Data Science

Nei Kato
Ten Challenges in Advancing Machine Learning Technologies towards 6G

Fu-Cheng Wang
Recognition of Stroke Gaits by Deep Neural Networks

Kazuyuki Fujita
Adaptive Workspaces: Physically Interacting with Spatial Surfaces

Ruey-Feng Chang
Breast Ultrasound Computer Aided Diagnosis Using Deep Learning

Yoshiyuki Ueda
Experience and Environmental Matters in Human Visual Cognition

Hirokazu Hatta
Implicit attitudes toward dishonesty as a predictor of self-serving dishonesty

Ching-Mei Chu
Building Emotion-centered AI: How Humanistic Sociologists Can Help Break the Bottleneck of AI's "Emotional Intelligence"

Pin-Hao Chen
Towards a Neurometric-based Construct Validity of Trust

Yueh-Hsuan Weng
When ELSI meets Design: On Design-centered AI Governance

[3]成果 (Results)

(3-1)研究成果 (Research Results)

The two teams have discussed the topics listed below for joint research, following identification in previous years.

(1) AI & Social Robotics: We are entering a robot-human co-existing society. The major challenge for robot design nowadays is to develop its social nature so that it could provide a customized experience at institutes (e.g. senior home, hospitals) and households. The design of socially-functional robotics is the next generation manufacture goal. In this year, we presented a paper of robotic walls which are controlled by an AI based prediction of human movement in ACM UIST.

(2) AI & Education:
Many educational theory and application developments with AI technology are made possible with the progression of hardware and software. The next step is to build on available infrastructure and explore creative and innovative educational approaches for future students and learners. The research group started to collaborate the data collection of learners' biological data during studying to compare the

learners' performance, which include face and body movement.

(3) AI & Robots for the Aging Society:
Both Taiwan and Japan are entering a super-aging society. Together with the change of demographic profiles, the support and care system developments for ageing society is never more urgent than ever. Our two teams include experts from all fields to further investigate this endeavor.

(4) Speech and Natural Language Processing:
The AI together with big data and cloud provide an opportunity for us to advance our understanding of how human auditory system and language/dialogue system. New insights are made available by utilising the strength of human study power and engineering talents from the two sides.

(5) Ethics and Law in AI:
The heavy leverage of robotics and AI will accompany new responsibility and challenges from the users, designers, and law-makers. We will form an interest group to discuss the setup of policy and regulations to harness a safe and ethical society with AI and advanced robotics.

(6) AI & Human Mental Functions
Use of machine learning (e.g. DNN) to understand human response-based data set is the possible collaboration direction. The applications in computational neuroscience applications (E.g. fMRI data analysis) will be worth developing.

(7) Yotta Informatics and AI:
Information overloading is a general challenge faced by many communities. We propose new solutions to recruit AI to most effectively and efficiently help systems and individuals to re-structure and re-interpret the information for smart use.
The core members inside each research group are identified for further discussion.

(8) AI & Medical Imagine;
The correlations between brain imaging and behavioral results is a combination of the strength and research of two sides.

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The project aims to progress the research in the fields of AI and human sciences through the collaboration of the two organizations. We expect a variety of novel applications of information and robotics technologies with the development and use of AI technologies. It is crucial to understand human in the use many of these applications and without development of AI without human sciences may cause troubles in the society. The project explores the futures for hearty developments of AI technology and the two organizations are expected to be the centers of the research field not only in Japan and Taiwan, but also in the world. The special session of the symposium this year is one of such activities.

[4]成果資料 (Publications)

(1) Chu, L., Chen, H. W., Cheng, P. Y., Ho, P., Weng, I. T., Yang, P. L., Chien, S. E., Tu, Y. C., Yang, C. C., Wang, T. M., Fung , H. H., & Yeh, S. L. (2019). Identifying features that enhance older adults' acceptance of robots: A mixed methods study. Gerontology.

Chien, S, E., Chu, L., Lee, S. H., Wang, T. M., Yeh, S. L. (2019). Age difference in users' attitudes toward robots. Transactions on Human-Robot Interaction.

(2) Chen, H. W., & Yeh, S. L. (2019). Effects of Blue Light on Dynamic Vision. Frontiers in psychology, 10, 497.

(3) Wu, Yi-Luen, Edwinn Gamborino, and Li-Chen Fu, "Interactive Question-Posing System for Robot-Assisted Reminiscence from Personal Photos," DOI: 10.1109/TCDS.2019. 2917030, IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, (SCI) 2019.

(4) Gamborino, Edwinn, Hsiu-Ping Yueh, Su-Ling Yeh, and Li-Chen Fu, "Mood Estimation as a Social Profile Predictor in an Autonomous, Multi-Session, Emotional Support Robot for Children," Proc. of 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2019), New Delhi, India, Oct. 14-18, 2019.

(5) Yang, Chun-Tang, Tianshi Zhang, Li-Chen Fu, "Socially-Aware Navigation of Omnidirectional Mobile Robot with Extended Social Force Model in Multi-Human Environment," Proc. of 2019 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Bari, Italy, Oct. 6-9, 2019.

(6)
Shioiri, S. Differences in Attention Modulations Measured by Steady-State Visual-Evoked Potentials and by Behaviors. I-Perception 10, 24-24 (2019).

(7) Emoto, M., Fang, Y. & Shioiri, S. Viewers' Susceptibility to Image Blurs in Watching Ultra-high-definition TV Correlates with Their Dynamic Visual Acuity. Ite Trans Media Tech 7, 103-110, (2019).

(8) T. Hagiwara, K. Takashima, M. Fjeld, Y. Kitamura: CamCutter: Impromptu Vision-Based Cross-Device Application Sharing, Interacting with Computers, iwz035, December 2019

(9) P. Chiu, K. Takashima, K. Fujita, Y. Kitamura: Pursuit Sensing: Extending Hand Tracking Space in Mobile VR Applications, ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI), Article No. 1, pp. 1-5, October 2019.

(10) D. Hayashi, K. Fujita, K. Takashima, R. W. Lindeman and Y. Kitamura, Redirected Jumping: Imperceptibly Manipulating Jump Motions in Virtual Reality, Proceeding of IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, March 2019.

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

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

(13) Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in Understanding Complex Systems, V. In,P. Longhini. A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, March 16, 2019.

(14) S. Hu, C. Salvador, J. Trevino, S. Sakamoto and Y. Suzuki, Modeling head-related transfer functions with spherical wavelets, Applied Acoustics, 146, 81-88 (2019).

(15) 日吉啓，鈴木陽一，坂本修一，MOORE Brian、頭部伝達関数に含まれるノッチによる音色の変化と聴覚興奮パターンの関係、電子情報通信学会技術研究報告，HIP2018-75（2018），13-16

(16) R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki and Satoshi Shioiri、Influence of auditory selective attention on word intelligibility, Proc. 65th Open Seminar on Acoustics, 307-310 (2018).

(17) N. Onizawa, S. Koshita, S. Sakamoto, M. Kawamata, and T. Hanyu, "An Area/Power-Aware 32-Channel Compressive Gammachirp Filterbank Chip Based on Hybrid Stochastic/Binary Computation, "Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), vol. E9-N, no. 4, pp. 423-435, Oct. 2018.

M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Ternary Logic Gate for Quantized Convolutional Neural Networks," IEEE SOI-3D-SUBTHRESHOLD MICROELECTRONICS TECHNOLOGY UNIFIED CONFERENCE (S3S), 2pages, Oct. 2018.

N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, T. Hanyu, "An Accuracy/Energy-Flexible Configurable Gabor-Filter Chip Based on Stochastic Computation with Dynamic Voltage-Frequency-Length Scaling," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), Vol.8, Issue 3, pp. 444-453, Sep. 2018.

(18) 洞口勇太,佐藤好幸,塩入諭, 評価者の顔表情特徴量を利用した画像の好み推定に関する研究, 信学技法 HIP2020-67, pp. 71-76

(19) W. Wu, Y. Hatori, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Different combinations of motion-in-depth channels for motion-in-depth direction Vision, 32(4), p.148, 2020

(20) S. Shioiri, Z. Li, T. Miura, W. Wu, I. Kuriki, C.H. Tseng, Y. Hatori, Measuring attentional facilitation related to hand movement goal independently of the top-down visual attention, Vision, 32(4), p.149, 2020

(21) 佐藤好幸,松原和也,和田有史,塩入諭, ヒトの主観評価決定要因の深層学習モデルを用いた分析, 信学技法 HIP2020-68, pp. 77-80

(22) Yueh, H.-P., Lu, M.-H.*, & Lin, W. (2016, June). Employees' Acceptance of Mobile Technology to Achieving High Performance in a workplace: An Empirical Study Using SEM and fsQCA, Journal of Business Research, 69(6), 2318-2324.

(23) Lin, W. & Yueh, H.-P. (2017, July). Effects of Guided Reading Design on Comprehension for Visual and Verbal style learners, Paper accepted for Poster Presentation at the 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2017), 17-21 July 2017, Los Angeles, USA.

(24) Lin, W., Lo, W.-T., & Yueh, H.-P. (2019, March). How the Multimodal Media in Augmented Reality Affects Museum Learning Experience, paper presentation at the 12th Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2019), 28-29 March, 2019, Nara, Japan.

(25) Gamborino, E., Yueh, H. P., Lin, W., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2019, October). Mood Estimation as a Social Profile Predictor in an Autonomous, Multi-Session, Emotional Support Robot for Children. In 2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) (pp. 1-6). IEEE.

(26) Wang, J.-Y., Lin, W.*, & Yueh, H.-P. (2019, August). Collaborate or Compete? How Will Multiplayers' Interaction Affect Their Learning Performance in Serious Games, Lecture Notes in Computer Science 11576: Cross-Cultural Design: Methods, tools and user experience, 482-491.

**採択番号：R02/U01**

# オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討

［1］組織

研究代表者：
塩入　諭（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員：
塩入　諭（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
和田　有史（立命館大学）
澤谷　由里子（名古屋商科大学）
満上　育久（広島市立大学）
伊藤　彰則（東北大学工学研究科）
渡部　信一（東北大学教育学研究科）
中島　平（東北大学教育学研究科）
佐藤　宇樹（東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター）
佐藤　好幸（東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター）
山本　浩輔（東北大学電気通信研究所）
羽鳥　康裕（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：15 人

［2］研究経過

ポストコロナ、ニューノーマル時代においては、情報インフラを利用した遠隔、オンラインコミュニケーションの重要性が増大することは間違いない。すでに新型コロナ感染症防止対策のために、会議や打ち合わせ、授業などの多くはオンラインで実施され、日常化されている。感染症対策は永遠に続く訳ではないが、開始された遠隔コミュニケーションの利用は将来にわたって継続されることが見込まれる。利用拡大に伴い、対面コミュニケーションとオンラインコミュニケーションとの違いやその解消などに関する研究が注目される。オンラインコミュニケーションに関する研究を考えると、オンラインコミュニケーションの限界に関する興味がある一方、これまでのない新しいコミュニケーションの可能性にも注目される。オンラインのコミュニケーションにおいては、顔表情を中心とした非言語情報や生体情報の蓄積やその処理など従来考えられなかった情報の利活用が可能となる。本研究では、そのような情報を利用することで、対象者の心的過程を評価する技術開発に向けた基礎研究を行い、より豊かなコミュニケーションの将来的可能性について検討を行う。特にオンラインによる学習に注目し、学習者の顔表情、体勢、体動、手足の運動などを利用して、学習者の注意状態を推定することを目的とする（図１）。なお、対象は健常者に限らず、障害者とのコミュニケーションも想定し、オンラインコミュニケーションであることを利用した、支援も研究対象とする。




図１　オンライン授業では得られない、対面授業でやり取りされる情報、オンライン授業であることで実現できる情報交換の調査により、ニューノーマルにおける教育効果の向上を目指す。

本プロジェクトは，本年度が初年度であり、遠隔の授業環境において、学習者の心的過程の理解が特に重要となる状況を選び、その状況で可能な心的過程の推定方法について検討する。そのために、遠隔講義などの現状について、学習者に関する生体情報取得方法、利用可能な手段、対面授業との差異、授業における問題点などを調査する。一方、研究室で対応可能な計測について実施しているプロジェクト（「学習支援のための追体験システムの構築」）との連携も行う。「学習支援のための追体験システムの構築」では、制御された環境において学習者の視野映像、視線、瞳孔、頭部回転、身体移動を計測し、学習者の応答などとの関連を検討するため、本研究で検討する課題に対して必要な基礎的知見について情報交換を行う。

以下，研究活動状況の概要を記す。
各参画者のオンライン教育に関する体験、それぞれの研究分野との関連および研究課題の可能性について情報交換を目的とし、合計 6 回の研究会を開催し関連研究者も含めて 10 名程度の参加者により情報交換、意見交換を行った。

2020年　8月6日
プロジェクト概要説明
　　塩入　諭（東北大学電気通信研究所）
2020年　9月7日
対話における注意・興味と非言語情報
　　伊藤　彰則（東北大学工学研究科）
コンピュータビジョン・VRを活用した注視行動分析
　　満上　育久(広島大学情報科学研究科)

2020年　10月8日
教育のサービス化
　澤谷　由里子（名古屋商科大学）
リアルタイムオンライン授業を活性化する半匿名化コミュニケーションツール
　中島　平（東北大学教育学研究科）

2020年　12月10日
「職人の技を可視化する」
　大西　詠子（東北大学大学院麻酔科学）
「空間」を快適にする
　北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

2021年　1月13日
「オンラインは何が違うのか：脳からの考察」
　杉浦　元亮（東北大学加齢医学研究所）
「空間マルチレベルモデルによる主観的幸福度の計量分析」
　佐藤　宇樹（東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター）

2021年　3月18日
遠隔への味嗅覚印象伝達の試みと遠隔リスクコミュニケーション教材の開発
　　和田　有史(立命館大学)：
ヒトの主観評価の決定要因に関する深層学習モデルを用いた分析
　　佐藤　好幸（東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター）
受講生の身体姿勢に基づく授業場面の類型化の試み
　　羽鳥　康裕（東北大学電気通信研究所）

［3］成果
(3-1) 研究成果
　多岐の分野にまたがる参画者の研究紹介に基づく意見交換からオンライン教育をはじめとする遠隔コミュニケーションの現状認識から、情報通信に関する共同利用共同研究拠点の活動として、取り扱うべき課題を明らかにすることができた。課題は大きく2点に分けられる。ひとつは遠隔コミュニケーションでは欠落する情報に関するもので、各種の非言語情報などである。対面によるコミュニケーション。において実際にどのような情報が有効に利用されているかは、遠隔コミュニケーションの経験を積むことで見えてくると考えられる。もう一点は遠隔コミュニケーションにおける各種の利点である。特にPCを利用することで将来的にコミュニケーションに利用可能となる情報などに関して課題を設定することができると考える。
　２つの課題は以下にまとめることができる。
　１．遠隔コミュニケーションでは欠落する情報
　-周囲の参加者の様子
　-カメラフレーム外の画像情報
　-マイクに拾われない音情報
　-受講者の反応が得にくい
　-非言語情報によるコミュニケーション
　（視線を合わせたときのうなづき、視線そらし、
　-教室全体を見渡すことができない
　-対話におけるリズム
　-顔をみないコミュニケーションになりうる
　-実習、実験に多くの制約
　-共通な環境との相互作用がない

　２．遠隔コミュニケーションの利点
　-個人の情報を分析できる
　（PCを利用した顔分析、音声分析など）
　-内容と視線位置や表情の関連の分析も可能
　-オンライン会議に加えて、他の情報交換アプリを併用できる。
　-匿名の発言を許容することが可能となる
　-アバター利用のコミュニケーションが可能(顔も声も)
　-仮想人格による支援が利用可能
　-オンデマンドの場合個人に合わせた視聴が可能
　-呼吸、脈拍などの計測も考えられる。
　-受講環境に自由度がある（姿勢、画面の位置、向き）

　３.その他
　-受講者の情報収集にはプライバシーの問題が生じる
　-遠隔授業による質の向上／低下の評価が必要
　-質問しやすい環境を作れるか
　-注視、顔表情から機械学習で抽出できる情報の可能性と限界
　-実習、実験における技能習得は遠隔では大きな制約となるが、作業手順や問題が生じたときの判断など遠隔でも可能な要素も多い。
　また、本研究に関連して以下の研究発表、外部資金獲得があった。

1) 洞口勇太,佐藤好幸,塩入諭, 評価者の顔表情特徴量を利用した画像の好み推定に関する研究, 信学技法 HIP2020-67, pp. 71-76
2) W. Wu, Y. Hatori, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Different combinations of motion-in-depth channels for motion-in-depth direction Vision, 32(4), p.148, 2020
3) S. Shioiri, Z. Li, T. Miura, W. Wu, I. Kuriki, C.H. Tseng, Y. Hatori, Measuring attentional facilitation related to hand movement goal independently of the top-down visual attention, Vision, 32(4), p.149, 2020
4) 佐藤好幸, 松原和也, 和田有史, 塩入諭, ヒトの主観評価決定要因の深層学習モデルを用いた分析, 信学技法 HIP2020-68, pp. 77-80 , 2020
5) 科研費基盤研究B (一般)「オンライン授業支援のためのバーチャル・クラスメートの開発」採択

共同プロジェクト研究

**採択番号:R02/U02**

# 豊かな対人コミュニケーション実現のための非言語情報 AI の検討

［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:
藤原 健（台湾・国立中正大学）
幸村 琢（英国・エジンバラ大学／香港大学）
北田 能士（株式会社冬寂
／株式会社フレイム
／デジタルハリウッド大学院大学
Chia-huei Tseng（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）
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

延べ参加人数: 10 人

［2］研究経過

コロナ禍で一気に普及したオンライン会議等を利用したテレワークの形態は，SDGs（持続可能な開発目標）の実現のための移動に伴う環境負荷削減や人々の平等性等の観点から，コロナ禍後もさらに推進されると思われる．しかし一方で，その悪影響も明らかになりつつある．オンライン会議ではコミュニケーションがうまくとれないために，参加者間で分かり合えないことや，仕事の効率が落ちる等の報告が増えている．またその結果として，鬱の症状が見られたり，自殺に繋がったりする例も報告されている．

この問題を引き起こす重要な原因の1つは，非言語情報が従来のオンライン会議では伝わりにくいことであると指摘されている．非言語情報は，言語的な情報（話し言葉や書き言葉）以外の情報の全般を指す．コミュニケーションの中で表面的にやりとりされているのは発話の内容である言語情報であるが，それ以外にも顔の表情や身体動作，視線，服装，空間行動，対人距離など，多岐にわたる非言語情報の交換があり，感情を伝えるコミュニケーションでは，93%の情報が言葉ではなく非言語情報によって伝達されるなど，非言語行動がコミュニケーションにおいて大きな役割を担うことが知られている．そこで，この情報が伝わらないことによるダメージは非常に大きいと考えられる．

そのような考えに基づき，豊かな対人コミュニケーション実現のための非言語情報AIを検討するオンラインの打ち合わせを実施した．

［3］成果

(3-1) 研究成果

多岐に及ぶ非言語情報のうち，顔表情はカメラ映像などによって従来のオンライン会議などでも比較的伝達され易く，また，心理学の分野を中心に顔表情に関する感情理解などの研究例も多い．これに対して人の身体動作は，多くの重要な潜在的情報を含むにも関わらず，カメラだけでは必ずしも全てを捉えられず，表現される重要な情報が相手側に届きにくい．また顔表情に比べて研究も十分に進んでいるとは言えず，学術的にも挑戦的な課題である．今後，オンライン会議やVR空間を利用したコミュニケーションで，非言語情報の機微を適切に（または場合によっては増強して）伝送することによって，豊かなコミュニケーションを実現する環境を構築することが期待されるが，その鍵を握るのが人の身体動作である．

そこで，効果が期待できかつ学問的にもチャレンジングな人の身体動作に注目して，社会心理学に基づく対人コミュニケーション研究によって「動作ユニット」を定義し，これに基づいて人の感情や意図などを推定するAIを作成するのがよいのではないかとの方向性を得た．またこの推定結果に基づいてキャラクタの感情豊かな動きを自動生成して伝送したり，または言語情報等として相手方に伝えたりして，豊かな遠隔コミュニケーションができる環境構築に応用することができる． さらに，動作ユニットAIの推定結果に基づくキャラクタの感情豊かな動き自動生成技術を用いて，最近市場ニーズが特に高まって来ているオンラインライブなど遠隔エンタテインメントへの応用も図ることができる．

対人コミュニケーションは我々の社会生活の基盤となっている. その中でも大きな役割を担うことが知られている非言語情報は, 情報科学分野だけでなく社会心理学などの社会科学分野においても, これまで活発に研究されてきた. しかし, 多岐に及ぶ非言語情報の中で, 大半の研究はデータを取得しやすい顔表情にのみ注目しており, 理論的・実務的な限界が多い. 例えば日本人は感情をそのまま表情に表すことは少なく, また, コロナ禍を経験している現代社会では人は対面する際にマスクで顔を隠してコミュニケーションせざるを得ない. 表情にのみ特化してコミュニケーションを理解するだけではこうした情報の欠損から逃れられず, 結果として豊かなコミュニケーションの実現も難しくしてしまう.

そこで我々は, これまでの研究で明らかになっていない身体動作の役割を重視することにする. そのためにまず, 表情研究がその分析単位として特定の顔部位の動きを「アクションユニット(action unit)」と定義したことで客観的な検証が可能になったことに倣い, 身体動作の分析単位として「動作ユニット(motion unit)」を定義するところから着手する. 動作ユニットに基づくAIがあれば, 感情伝達の機微を理解できることに加えて, 制限を受けた対人コミュニケーションの場面でも不足する情報を補って伝送するなどの手段を講じることができ, コミュニケーションを豊かにするだけでなく, 対人間に生じる葛藤を解消して精神的健康を維持し, 円滑な意思疎通を基盤とした豊かな社会を実現することに寄与できる.

動作ユニットを定義するとは, それぞれの身体動作を(i)どの身体部位が, (ii)どの方向に, (iii)どの速度で動くのか, に分解したうえで, 合理的な水準で次元縮約して理解することを意味する. これを実現するために, データ駆動型アプローチを採用する必要がある.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

東北大学では, 新型コロナウイルス対応特別研究プロジェクト「ポストコロナ社会構築研究スタートアップ支援～Starting Grants for Research toward Resilient Society (SGRRS)～」が2020年6月に創設され, 学内公募の結果32件の応募課題の中から10課題が採択された[1]. 本研究の代表者が代表として提案した「サイバー&リアル・ハイブリッド会議室による豊かなコミュニケーションの実現」の研究課題も, 学際的な研究体制によるポストコロナ社会構築に資する重要な研究課題であり, 本学独自財源による研究費の支援により新たな価値創造および持続可能でレジリエントな社会の実現に向けた研究により社会に貢献が期待されるとして採択された.

また本研究に関連して, 東北大学 電気情報 産学官フォーラムが2020年11月12日にオンラインで『「新たな日常」を豊かにする電気情報技術』をテーマとして開催され[2], 240名を超える参加があった. 本研究の代表である北村が本フォーラムの実行委員長と当日の総合司会を務め, 議論を深めることができた.

さらに, 本研究で議論した内容を国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の「人工知能活用による革新的リモート技術開発」事業[3]に「動作ユニットAIによる人の感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築」として, 本研究の代表を代表として応募したところ採択された. 今後, 2024年度末まで, 本研究の分担者を中心として研究を実施する予定である.

［4］成果資料

(1) https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/10/press20201001-02-sgrrs.html

(2) https://sites.google.com/view/tueiiag-forum2020

(3) https://www.nedo.go.jp/koubo/CD2_100258.html

# 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

## 第９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 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

開 催 日：令和２年 12 月５日（土曜日）
開催方式：オンライン開催
参加人数：64 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。今回が九回目であり、令和２年 12 月５日にオンライン会議の形で開催された。スペイン、スウェーデン、カナダから４名の海外招待講演者を迎え、16 件の口頭発表と 12 件のポスター発表が行われた。前回のシンポジウムに引き続き、今回も東北大学知のフォーラムとの共催で開催し、神経科学、数理モデル、ハードウェア等の理系研究者だけでなく、哲学の文系研究者、さらには企業の方にもご講演をいただき、IoT 社会や人工知能のあり方についても総合的に議論した。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。



国際シンポジウム

# ヒューマン・コンピュータ・インタラクション に関する通研国際シンポジウム

## RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction

開 催 日： 2021 年 1 月 24 日（日）
開催方式： オンライン（Zoom Webinar）
参加人数： 73 名




RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction と題したシンポジウムを，Japan ACM SIGCHI Chapter との共催で，オンラインで開催した．ヒューマン・コンピュータ・インタラクションまたは人と情報システムの相互作用と呼ばれる分野で最大かつ最も権威があるトップコンファレンスとして，ACM SIGCHI が主催する国際会議 CHI がある．この会議は 2021 年 5 月には初めて日本で開催される予定で準備が進められて来たが，コロナ禍でフル・オンラインでの開催になった．また，Japan ACM SIGCHI Chapter では，この分野の学問・技術分野の発展を図る目的で，今年度から，功績賞（Lifetime Community Contribution Award）と優秀若手研究者賞（Distinguished Young Researcher Award）の 2 つの賞が創設された．

本シンポジウムでは，SIGCHI や CHI 2021 の委員を務めるキーメンバーから，最新情報を紹介してもらい，また，第 1 回の Japan ACM SIGCHI Chapter Award の授賞式と受賞講演会が開催された．国内を中心に若手の研究者が多く集まり，日本メンバーおよび各国からの研究者を交えて活発な意見交換を行った．シンポジウムのプログラムは次の通りである[1].

14:00 Welcome: Yoshifumi Kitamura

14:05-15:15 Japan ACM SIGCHI Chapter Award Ceremony and Award Talks

Award Talk: Kumiyo Nakakoji
(Professor at Future University Hakodate, Recipient of Lifetime Community Contribution Award)

Award Talk: Daisuke Sakamoto
(Associate Professor at Hokkaido University, Recipient of Distinguished Young Researcher Award)

Award Talk: Koji Yatani
(Associate Professor at The University of Tokyo, Recipient of Distinguished Young Researcher Award)

15:15 - 15:30 Coffee/Tea Break

15:30-16:15 Global and Asian HCI for the Future

Fostering Global Solidarity @SIGCHI
Neha Kumar (Assistant Professor at Georgia Tech, USA, Chair, ACM Future of Computing Academy, SIGCHI Vice-President at Large)

Asian CHI Symposium: The Making of Global Asian HCI Community
Adi Tedjasaputra (Director and Co-Founder, Customer Experience Insight Pty Ltd, SIGCHI Asian Development Committee member)

16:15-17:00 Red-hot Information on CHI 2021

CHI as an online virtual conference, global challenges and opportunities for the HCI community
Aaron Quigley (Professor and Head of School in Computer Science and Engineering at the University of New South Wales (UNSW), Australia, CHI 2021 General Chair, ACM Distinguished Member and Distinguished Speaker)

CHI 2021 Conference Program Overview
Takeo Igarashi (Professor at Department of Computer Science, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, Japan, CHI 2021 Technical Program Chair)

[1] https://sites.google.com/view/riec-hci-symposium-2021

# 第１１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 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

開 催 日：令和３年３月１日（月）～２日（火）（２日間）
開催方式：オンライン開催
参加人数：６２名（うち外国人参加者人数２２人）

第１１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令和３年３月１日（月）～２日（火）の２日間にわたり、オンラインにて開催された。イギリス、ドイツ、中国、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６２名を数えた。初のオンライン形式での開催となったが、ナノ・バイオ融合分野の発展を目指すため、電子工学、表面科学、生物科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、グラフェンFETを用いたウィルス検出法の開発、ナノポアシーケンサーにおける安定な人工膜系の構築、光化学電池や光触媒への応用を志向した酸化チタンナノチューブアレイの開発、分子性電磁ナノコイルの作製と評価、ナノ加工技術と脂質二分子膜との融合から成るバイオセンシングプラットフォームの創成、金属ナノ微粒子を用いた単電子デバイスの創成、高効率薬物スクリーニング系構築のための人工細胞膜アレイの開発、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、本ワークショップに係る研究者間での交流も日頃より活発に行われており、ナノ・バイオ融合分野の今後益々の発展が期待される。



国際シンポジウム

# 第 4 回 AI と人間に関する学際研究分野での東北大学国立台湾大学連携シンポジウム

## The 4th Tohoku - NTU Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies

開催日：令和 3 年 3 月 12 日,13 日
開催方式：オンライン
参加人数：128 名（うち外国人参加者人数 30 名）

本シンポジウムは、AI およびそれに関連する人間科学の分野において、国立台湾大学 AI センター（The AI and advanced robotic center）と電気通信研究所および東北大の関連研究者との連携を進めるために企画されたもので、2017 年に国立台湾大学で開催した第 1 回に続き、2018 年にでき通信研究所において、第 4 回を開催した。

今回は、京都大学の関連研究者の参加を得て、3 大学からの参加による人工知能と人間科学に関する講演を企画するとともに、Case Western Reserve 大学と東北大学の連携に関する Special Session も併催した。2 件の基調講演と Special Session を加えて 27 件の講演があり、言語や文学、自閉症、知覚認識、意識、注意、行動、知恵や不正、信頼、それらに関連するロボティクスや AI 技術の支援などに亘る内容について、情報交換、連携企画の進展を得ることができた。なお、本シンポジウムは、2018 年度に採択された通研共同プロジェクト研究 S 国際の活動でもあり、その推進のために通研と台湾大学 AI センターとの部局間連携も結ばれている。



# 2021年ヨッタスケールデータ研究プラットフォームに関する国際シンポジウム

## Symposium of Yotta Informatics Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021

開催日：令和３年３月 23 日,24 日
開催方式：オンライン
参加人数：延べ８０名（うち外国人参加者人数 延べ５名）

本シンポジウムは、ヨッタインフォマティクス関連分野で世界的に活躍する国内外研究者を招待してオンラインで開催した。欧州の参加者への配慮し、午後3時あるいは2時半から午後8時までのプログラムを組んだ。ヨッタインフォマティクス研究センターのメンバーをはじめとして様々な研究分野専門分野の研究者が集い，意見交換を実施し、今後のヨッタインフォマティクス研究の方向性についての有益な議論も行われた。

今回は、5 名の研究者の招待講演とヨッタインフォマティクス研究センターの研究プロジェクトの年次報告 9 件の講演を企画した。招待講演は、AI 技術に関連した、文字認識、嗅覚、知財利用、情報の真偽（real & fake）,言語と動物学に関する最新の研究成果を中心とした話題であり、個別の研究成果に加え、広範な分野におけるデータ科学の関連を知る上でも有効な機会となった。センターのプロジェクトに関しては、本センターの設置予定期間終了の 2022 年度に向けて、さらなる推進のための意思表明の機会であり、多くの助言を得る機会となり、今後の活動に活かされることが期待される。



国際シンポジウム

# 脳型LSIに関する国際シンポジウム
## The 7th RIEC International Symposium on Brainware LSI

開 催 日：令和3年3月31日（水曜日）
開催方式：オンライン(Zoom)
参加人数：32名（うち外国人参加者人数5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、2019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、令和2年2月28-29日の2日間に渡って開催予定であったが，COVID-‘19により開催を1年延期し，令和3年3月31日にオンラインで開催された。

ハードウェアアルゴリズム分野で著名なカナダMcGill大学・Warren Gross氏、アナログ回路分野で著名な米国UC Santa Barbala・Luke Theogarajan氏、音声認識モデルで著名なペルーPerception R&D・César D. Salvador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、視覚的注意モデルに関して著名な英国・University of Aberdeen・Søren K. Andersen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。

# ５．２　国際会議等の開催状況

## 第 15 回関数型および論理型プログラミングに関する国際シンポジウム
## 15th International Symposium on Functional and Logic Programming

開 催 日：令和 2 年 9 月 14 日（月曜日）～16 日（水曜日）(3 日間)
開催場所：東北大学通信研究所（オンライン開催）
参加人数：176 名（うち外国人参加者人数：89 人）

関数型および論理型プログラミングに関する国際シンポジウム（FLOPS）は 1995 年に初めて開催されて以降、関数型プログラミングおよび論理型プログラミングの分野において日本国内で定期的に開催されている唯一の国際会議である。 第 15 回となる今回は、2020 年 9 月 14 日から 16 日にかけてオンライン（Zoom）で開催した。2019 年 11 月 29 日を締切りとして投稿を募り、概要投稿のあった 31 件のうち 25 件の論文投稿があり、ダブルブラインド方式による 1 件あたり 4 名以上の専門家による査読とプログラム委員による綿密な議論の結果、11 件の論文と 1 件のショートペーパーが採択された。プログラムはこれら採択論文の著者による研究発表で構成される。さらに、プログラムには 2 件の招待講演が含まれる。プログラムの詳細は別添のプログラムを参照されたい。講演論文集は Springer から発行された。論文投稿とは別に、2020 年 8 月 31 日から 9 月 8 日にかけて参加登録を受け付け、発表者および採択論文著者を含めて、世界中から 176 名の参加登録があった。各セッションの実際の参加人数は、セッションごとに多少のばらつきがあったものの、およそ 60～70 名程度であった。

会議では、12 件の研究発表および 2 件の招待講演について活発な議論が行われた。議論は Zoom による研究発表および質疑応答に加え、Slack を活用し、研究発表後も議論を継続できるようにした。質疑応答時間よりも Slack での議論が活発になる例もしばしば見受けられた。また、セッション間の休憩時間には Gather (https://gather.town/)を用いて国際交流する機会を設けた。総じて、オフラインでの国際学術会議と遜色ない議論および交流の機会を参加者に与えることができ、FLOPS が対象とするプログラミング言語研究分野の国際的な発展に寄与することができた。

# 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 | 西山　大樹　教授 | 西山　大樹　教授 |
| 2 | 音響工学研究会 | 伊藤　彰則　教授 | 能勢　隆　准教授<br>坂本　修一　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 | 石山　和志　教授 | 遠藤　恭　准教授<br>ﾄﾝ ﾀｯﾄ ﾛｲ　助教 |
| 9 | ニューパラダイムコンピューティング研究会 | 張山　昌論　教授 | 夏井　雅典　准教授 |
| 10 | 超音波エレクトロニクス研究会 | 金井　浩　教授 | 荒川　元孝　准教授 |
| 11 | ブレインウェア工学研究会 | 石黒　章夫　教授 | 加納　剛史　准教授 |
| 12 | 情報・数物研究会 | 田中　和之　教授 | 大関　真之　准教授<br>奥山　真佳　助教 |
| 13 | 生体・生命工学研究会 | 塩入　諭　教授 | 大林　武　准教授<br>羽鳥　康裕　助教 |
| 14 | ナノ・スピン工学研究会 | 佐藤　茂雄　教授 | 深見　俊輔　教授 |

# 伝送工学研究会

主査・幹事　西山　大樹

【会の目的】

電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的とする。

【活動概要】

研究会開催

第616回

日時：　2020年11月17日（火）　15:00～17:30

場所：　オンライン開催

一般講演

616-1　自己相似光導波路アレイにおける光局在の実現
○菊地涼，石川巧，土師康平，山田博仁，松田信幸
（東北大学大学院工学研究科）

616-2　自由空間型ユニタリ変換光回路のオンチップ集積化の検討
○石川巧，菊地涼，土師康平，山田博仁，松田信幸
（東北大学大学院工学研究科）

616-3　仮想波源の固有モード電流を用いた波源分布推定法の高精度化に関する研究
○持木和人，今野佳祐，陳強
（東北大学大学院工学研究科）

616-4　素子間相互結合を考慮したトランスミットアレーの高速な設計法に関する研究
○内田和宏，今野佳祐，陳強
（東北大学大学院工学研究科）

616-5　マイクロチップレーザを用いたレーザ誘起ブレイクダウン分光法によるヒト毛髪の成分分析
○中川誠，松浦祐司
（東北大学大学院医工学研究科）

参加人数　51名

第617回

日時：　2020年12月15日（火）　15:00～17:30

場所：　オンライン開催

一般講演

617-1　Researches on Antennas and Radio Propagation in Seawater
○Xu Shuangyue, Hiroyasu Sato, Qiang Chen
（東北大学大学院工学研究科）

617-2　Initial Centroid Setting of K-means in Cluster-wise Distributed MU-MIMO
○Sijie Xia, Chang Ge, Qiang Chen, Fumiyuki Adachi
（東北大学大学院工学研究科）

617-3　水素アニールによるシリコン光導波路の表面平滑化
○土師康平 1，石川巧 1，菊地涼 1，金森義明 1，枝松圭一 2，
山田博仁 1，松田信幸 1
（1 東北大学大学院工学研究科，2 東北大学電気通信研究所）
617-4　中空光ファイバガスセルを用いた真空紫外吸収分光法による呼気成分分析
○工藤祐大，松浦祐司
（東北大学大学院医工学研究科）
617-5　Channel-drop Filter by Using a Slab Ring-resonator
○Peng Cai, Hirohito Yamada
（東北大学大学院工学研究科）
参加人数　57名
第618回
日時：　2021年1月19日（火）　15:00～16:30
場所：　オンライン開催
一般講演
618-1　電磁石を用いたリコンフィギュラブリフレクトアレーの研究
○小林頌，今野佳祐，陳強
（東北大学大学院工学研究科）
618-2　矩形中空導波路内の多モード干渉を利用した中赤外光用分岐素子
○生田目浩至 1，平原靖大 2，松浦祐司 1
（1 東北大学大学院工学研究科，2 名古屋大学環境学研究科）
618-3　リフレクトアレーの数値解析のための高速モーメント法の研究
○煤賀司，今野佳祐，陳強
（東北大学大学院工学研究科）
参加人数　50名
第619回
日時：　2021年2月16日（火）　15:00～17:00
場所：　オンライン開催
一般講演
619-1　液晶を用いたリフレクトアレーアンテナの設計に関する基礎検討
○竹村大幹，佐藤弘康，陳強
（東北大学大学院工学研究科）
619-2　インコヒーレント照射を用いたイメージングに関する研究
○前田淳朗，佐藤弘康，西村陸，陳強
（東北大学大学院工学研究科）
619-3　中赤外生体分光測定のための粘膜光学ファントムの作成
○伊達政滋 1，Ine Larsen Jernelv 2，木野彩子 3，松浦祐司 1,3
（1 東北大学大学院工学研究科，2 The Arctic University of Norway，
3 東北大学大学院医工学研究科）
619-4　自己相似一次元フォトニック結晶における光伝搬特性の解析
○和田拓也，菊地涼，山田博仁，松田信幸
（東北大学大学院工学研究科）
参加人数　48名

以上

# 音響工学研究会

主査　伊藤　彰則、　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。

2020 年度は，主査伊藤彰則教授，幹事能勢隆准教授，坂本修一教授のもとで，研究会 3 回（第 381 回，第 382 回，第 383 回）が開催された。会場は，第 381 回がオンライン，第 382 回が電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室（青葉山）およびオンライン（ハイブリッド開催)，第 383 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およびオンライン（ハイブリッド開催）であった。なお，第 381 回は電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会，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，東北大学電気通信研究所音響工学研究会，東北大学ヨッタインフォマティクス研究センターとの共催で，第 382 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 381 回は 2020 年 12 月 22 日（火）および 23 日（水）に開催され，研究発表 19 件，参加者は 117 名であった。第 382 回は 2021 年 1 月 8 日（金）に開催され，研究発表 5 件，参加者は 72 名であった。第 383 回は 2021 年 3 月 22 日（月）に開催され，研究発表 7 件，参加者は 28 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。

令和 2 年度は、COVID-19 対応のため対面での研究会やセミナーの開催が困難な状況もあったが、年度後期以降、感染状況が落ち着いた時期に対面と遠隔の両面で活動を行った。大学院生によるパルス高電圧を利用したプラズマアクチュエータ研究やプラズマ基礎および応用研究に関する最新の研究発表会を 2 回開催した。また、国内，国外研究者による気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成に関する研究会を 1 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 50 名前後であった。

工学研究会

# 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。

令和２年度に本研究会の開催は２回あり，いずれも新型コロナウィルス感染拡大防止のためオンライン開催とした。第211回（12月10日）の共催講演会で石上忍氏（東北学院大学）と鍛治 秀伍氏（奈良先端大）による講演，第212回（2月18日）の学生研究発表会で9件（東北学院大，秋田県立大，東北大，奈良先端大）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。2020 年度は第 180 回講演会の 1 回の講演会を開催し、海野広志氏（筑波大学）が「制約解消によるプログラム検証・合成」というタイトルで講演を行った（2021 年 2 月 22 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 107 回

1）東北大学 助教　沓澤 京 氏
　演題：ニューラルネットワークを用いた動作特徴量の学習とロボットへの応用

2）東北大学 助教　市地 慶 氏
　演題：リアルタイム適応放射線治療に向けた体内腫瘍位置の計測・予測

3）弘前大学 助教　長井 力 氏
　演題：歩行補助パワーアシスト装置の協調動作

4）山形大学 准教授　多田隈 理一郎 氏
　演題：全方向駆動歯車に基づくロボットシステムの研究開発

# 情報バイオトロニクス研究会

主査　平野　愛弓、　幹事　宮本　浩一郎

電子工学技術と多種多様な機能を有する生命科学反応系とを融合したナノ・バイオエレクトロニクス分野は、異分野融合による科学技術のさらなる発展において今後ますます重要と考えられている分野の一つである。しかし、半導体素子と生体分子とのインターフェイスの設計においては、生体分子の配向制御や活性の保持等における困難さなど、解決すべき課題が数多く存在する。本研究会では、電子工学や半導体工学のみならず、表面科学、生理学、数理工学など幅広い分野に携わる研究者達が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的としている。本年度は、以下に示す通り、国際シンポジウムを2件、いずれもオンライン形式にて開催した。

The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
令和2年12月5日開催 P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden), W. Nicola (Univ. Calgary), J. Madrenas (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain), J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain), H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan), Y. Horio (Tohoku Univ., Japan) 他

The 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
令和3年3月1–2日開催 K. Matsumoto (Osaka Univ., Japan), M. de Planque (Univ. Southampton, United Kingdom), P. Schmuki (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany), A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan), Y. Ying (Nanjing Univ., China) 他

工学研究会

# スピニクス研究会

**主査　石山　和志、　幹事　遠藤　恭、トン タット ロイ**

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との共催・協賛による計2回の研究会をオンラインにより開催した。

第1回は、2020年のIEEE Magnetics Society Distinguished Lecturer (DL)である京都大学 白石 誠司 教授とJohannes Gutenberg-University Mainz、Mathias Kläui教授による講演会を開催した。第2回は、横浜国立大学 竹村 泰司 教授、信州大学 田代 晋久 准教授および、東北大学 石山 和志 教授の３名による講演会を開催した。

本年度の運営は、主査：石山 和志 教授（通研）、幹事：遠藤 恭 准教授（電子）、トン タット ロイ 助教（電気）、企画幹事：薮上 信 教授（電気）、Simon Greaves 准教授（通研）、小川 智之 准教授（電子）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，2020年度は以下の1回を開催した。

第112回　2020年11月28日（土）オンライン開催

研究発表2件

演題：モバＨＯ！の思い出

講演者：菊池 英男（東芝インフラシステムズ株式会社）

演題：ディジタル信号処理の研究と教育を振り返って
－ 雑音は友達、誤差は先生 －

講演者：川又 政征（東北職業能力開発大学校）

# 超音波エレクトロニクス研究会

主査　金井　浩、　幹事　荒川　元孝

本研究会は、医用超音波、超音波計測、音波物性、超音波デバイス、誘電体・圧電体の物性とその応用に関する研究発表・討論を行うことを目的とする。2020 年度は、以下の 4 回の研究会を開催した。

第99回　2020年9月23日（水）　オンライン開催
共催：先端生体超音波シンポジウム実行委員会
発表件数：21件、参加者数：55名

第100回　2020年9月28日（月）　オンライン開催
共催：電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会、日本超音波医学会光超音波画像研究会、レーザー学会光音響イメージング技術専門委員会
発表件数：16件、参加者数：64名

第101回　2020年11月12日（水）　ハイブリッド開催（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、オンライン）
発表件数：2件、参加者数：37名

第102回　2021年1月7日（木）　ハイブリッド開催（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、オンライン）
共催：東北大学電気通信研究所 音響工学研究会
発表件数：5件、参加者数：72名

# 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。

本年度は新型コロナウィルス感染症の流行拡大の影響を考慮して第一回及び第二回を開催中止とし、第三回を令和2年12月16日に開催した。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）。第三回：「ムカデの適応的運動知能の理解に向けて」安井浩太郎（東北大学）、「蝸牛に基づく無反射伝送線路モデルを用いた音声認識」織間健守（東北大学）、「不揮発記憶機能が拓く新概念ロジックLSI設計技術とその将来展望」夏井雅典（東北大学）。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、奥山　真佳

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2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。：奥川亮氏（東北大学大学院情報科学研究科）“対称性に保護された非エルミート系のトポロジカル物性”、押山広樹氏（東北大学大学院情報科学研究科）“量子多体系の数値シミュレーションにおける行列積状態の方法”。

# 生体・生命工学研究会

主査　塩入　諭、　幹事　大林　武、羽鳥　康裕

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成１２年９月に発足した。以下に令和２年の活動概要を示す。

第３５回は令和２年１２月７日（月）９：３０から１５：３５まで、オンラインにて、情報処理学会　第６４回バイオ情報学研究会との共催で開催され、理化学研究所の露崎弘毅先生の「行列・テンソル分解を用いた異種バイオデータ統合解析の数理」と題し、生体分子・現象のデータ解析手法に関する特別講演が行われた。参加者は４５名だった。

第３６回は、令和２年１２月７日（月）１５：５０から１７：１５まで、オンラインにて開催され、一般講演３件と参加者交流時間を設け活発な討論が行われた。参加者は１９名であった。第３５回、第３６回と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。令和２年度は、新型コロナウィルス感染症の感染拡大の影響を鑑みて計５回の研究会の開催が中止となり、以下１回の研究会のみが実施された。

第 112 回　令和 2 年 12 月 11 日　13:30 -15:00 「ナノ磁気構造に創発するスピン起電力とその応用」 家田 淳一（日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター 研究主幹）

通研講演会

# 制約量子アニーリングにおける局在現象

お茶の水女子大学 基幹研究院　工藤　和恵 氏

開 催 日：令和２年１０月２３日（金）１７：００～１８：３０
開催方式：オンライン開催
参加人数：２５名

令和2年10月23日に標記講演会を開催した。量子アニーリングの過程では、量子ゆらぎが小さくなるにつれて、アンダーソン局在に類似した現象が起こる場合がある。制約量子アニーリングでは、解きたい問題に課される制約条件が自然に満たされるように、量子ゆらぎの項を設定する。これをグラフ彩色問題に適用すると、モデルは実効的な局所磁場下の1次元アンダーソン模型とみなせる。この視点からみると、量子アニーリングの過程で一般的に起こりうる局在現象とは異なる捉え方ができる。本講演では、小規模な系の基底状態を数値的に求めることで、局在現象の捉え方が議論され、局在現象を捉える指標としてconcurrenceを用い、その実効磁場のゆらぎへの依存性と、通常の1次元アンダーソン模型における局在現象との比較、性質の違いなどが紹介され、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。

# 行列・テンソル分解を用いた<br>異種バイオデータ統合解析の数理

理化学研究所　研究員　露崎　弘毅 氏

開 催 日：令和２年１２月７日（月）１４：３５～１５：３５
開催方式：オンライン開催
参加人数：４５名

本講演では、生命科学研究で頻発する、特定の生体分子・現象のみに限定して網羅的に計測されたパッチワーク上のデータ集合（異種バイオデータ」）に対するデータ解析について述べる。特に、行列・テンソル分解によって、紹介する問題は統一的に扱えることを示し、行列・テンソル分解計算の共通フレームワーク化や、データ解析の自動化の構想についても述べる。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、生物学系の広範な分野からご来聴を頂き、活発な議論がなされた。

# トヨタ自動車の挑戦
# ～モビリティカンパニーへの変革～

トヨタ自動車（株）第１パワートレーン先行開発部　森　俊博 氏

開 催 日：２０２１年２月１８日（木）１０：３０～１１：３０
開催方式：オンライン開催
参加人数：２５名

自動車業界は、電動化、ＩＴ化、脱炭素化により、100 年に 1 度と言われる転換期を迎えている。本講演では、ＥＶ、自動運転、排気ガスの浄化のための新材料開発における高性能計算の活用など、現在そして近い未来に自動車業界が求めている電気・情報系の技術が紹介された。
講演後は同分野の今後の課題や具体的応用事例などについて、活発な質疑がなされた。

# 線形回帰にもとづくネットワーク推定

東京大学 大学院理学系研究科　樺島　祥介 氏

開 催 日：令和３年２月１８日（木）１５：２０～１６：３０
開催方式：オンライン開催
参加者数：２８名

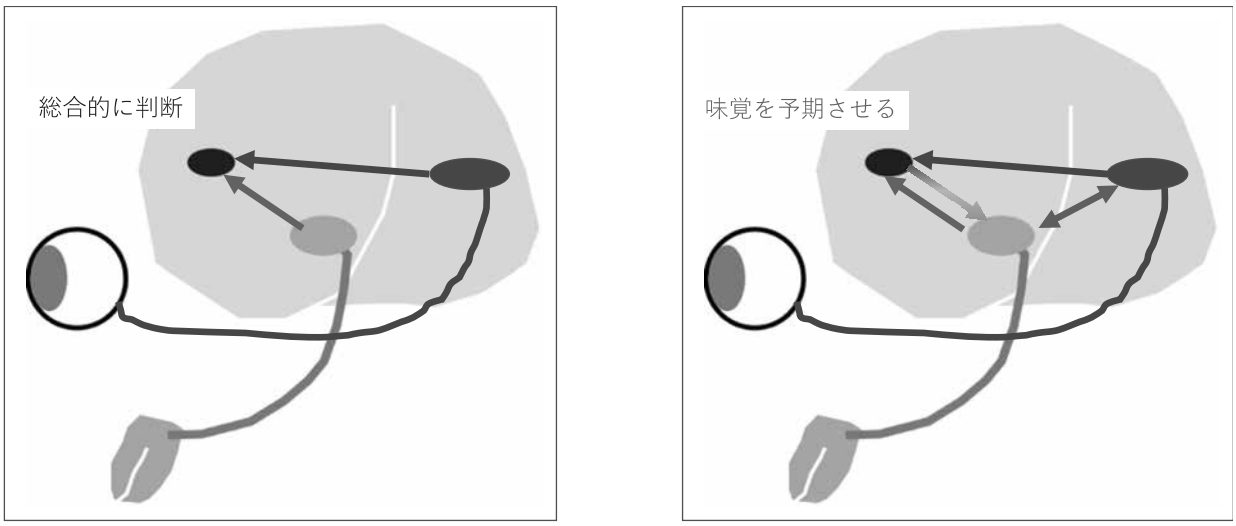
令和2年10月23日に標記講演会を開催した。イジングモデルから生成される複数のスナップショットデータにもとづいて、スピン間相互作用を求める問題はボルツマンマシン学習あるいはイジング逆問題と呼ばれる。最尤推定にしたがう限りこの問題は計算量的に困難であり、長らく実用的なデータ解析法とはみなされてこなかった。しかしながら、近年、相互作用の対称性を無視し､相互作用係数の推定を回帰問題に帰着させるPseudo-Likelihood法が導入されたことにより、タンパク質相互作用や遺伝子発現などかなり大規模な問題にまで利用されるようになってきた。本講演では、Pseudo-Likelihood法により素に結合したイジングモデルのネットワーク形状が推定できるか、という問題が考察された．スパースなランダムネットワークに対して統計力学的な解析から、ネットワークの形状についての性能が紹介され、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。

# 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等

**高等研究機構　新領域創成部**
**多感覚情報統合認知システム研究室**

## 食物認知を例に多感覚統合のメカニズムを探る




従来考えられてきたボトムアップ的判断　　本研究で採用するトップダウン的判断

食物認知における感覚情報処理とトップダウン判断の関係を示した模式図

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

**＜研究室の目標＞**

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

**＜2020 年度の主な成果＞**

2020 年度は、以下の成果を得た。

１.味嗅覚と視覚の相互作用

嗅覚刺激の認知において視覚情報が大きな役割を果たしていることを多く報告してきた。今年度は嗅覚刺激の認知（強度・快不快）において、視覚情報の形と色の役割を比較し、後者の役割がより強いことを示した。合わせて味覚と視覚（色情報）の関連性に関する国際比較研究を実施した。また、今年度は嗅覚情報が視覚情報の検出及び視線の誘導に及ぼす影響についての研究を始めた。

２．人間の行動と感覚情報の相互作用性

聴覚が両眼視野闘争に及ぼす効果や視聴覚間での注意機能の違いの検証、聴覚と体性感覚の相互作用、視聴覚間での感情・覚醒に及ぼす影響の比較などの研究を開始した。その結果、聴覚と自己運動における時間情報の認知過程について、オーケストラにおけるアンサンブル演奏に着目した検討を行なった。インタビュー調査の結果, 奏者が 50 ミリ秒という僅かな時差を検知していること, さらにその補正に視覚情報を用いている可能性を示した。

３．顔の印象形成に関する認知・知識の影響

歯学系研究者と共同で、歯科医学的知識の有無によって顔の印象形成に違いが生じるか否かについて実験的研究を実施した。また、その時の脳活動について NIRS や fMRI などを用いた実験を行った。

**＜職員名＞**

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

**＜プロフィール＞**

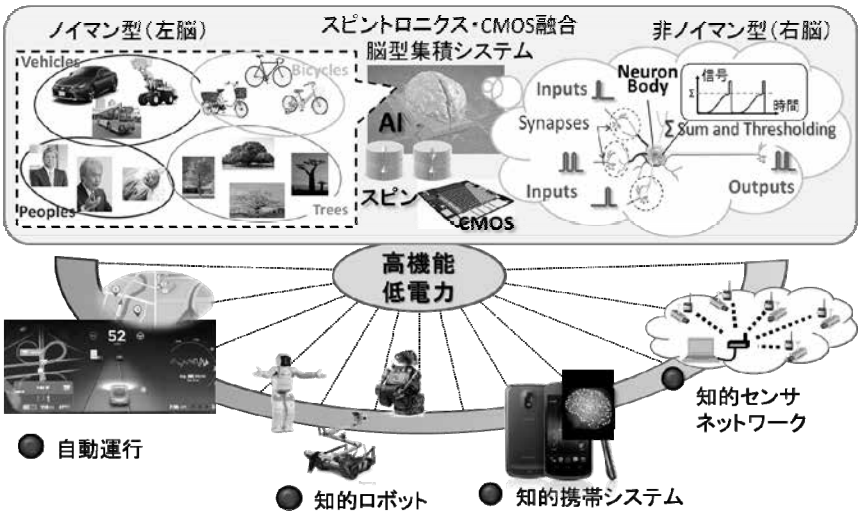
**坂井　信之**　1998 年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士（人間科学）。日本学術振興会特別研究員（広島修道大学）、科学技術振興事業団科学技術特別研究員（(独法）産業技術総合研究所）、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011 年 10 月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017 年 4 月同教授。2006 年におい・かおり環境協会学術賞、2009 年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013 年・2017 年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016 年・2018 年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014 年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016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

**＜2020 年度の主な発表論文等＞**

[1] F. Nakamura , N. Sakai , N. Sako , W. Tome & N. Kitai: Influence of dental education on the perception of overjet. *Orthodontic Waves*, 79,89-94, 2020
[2] 勝野麻衣・藤井千聖・中村文彦・留和香子・大沼卓也・坂井信之・硲哲崇・北井則行：歯科医学教育と心理特性が側貌の審美性認識に及ぼす影響．Orthodontic Waves - Japanese Edition, 79(2), 65-71, 2020
[3] C. Fujii, T. Onuma, F. Nakamura , N. Sakai , N. Sako , W. Tome & N. Kitai: Influence of dental education on eye gaze distribution when observing facial profiles with varying degrees of lip protrusion. *Journal of Dental Education*, 85, 476-482, 2020
[4] 坂井信之・大沼卓也・ラエフスキー　アレクサンドル：味覚の色イメージに関する探索的研究．日本味と匂学会誌　第 53 回大会プロシーディング集, S33-S36, 2020
[5] 姜毅男・藤井孝子・瀬野俊二・坂井信之：異なる世代における生理用ナプキンのパッケージ色が香りの印象に対 する影響の比較:fNIRS を用いた認知神経科学的研究．信学技報 IEICE Technical Report HIP2020-61（2020−12 ）, 39-44
[6] 佐々木尚之・坂井信之：視聴覚刺激に対する大脳皮質応答における情動価・覚醒度・感覚様式の影響．信学技報 IEICE Technical Report　HIP2020-69（2020−12 ）, 81-85
[7] 前川修太・佐々木尚之・坂本修一・坂井信之：機能的近赤外分光法(NIRS)を用いた frisson 経験時の脳機能計測．信学技報 IEICE Technical Report　HIP2020-709（2020−12 ）, 86-89
[8] N. Sasaki and N. Sakai: Effect of valance, arousal, and modality on cortical activities evoked by emotions. *Tohoku Psychologica Folia*, 79, 12-25, 2021
[9] 坂井信之：心理学からのコメントー「好き」の心理学ー．エモーション・スタディーズ, 6, 48-51, 2021
[10] 樋田浩一・山本浩輔・齋藤五大・坂本修一，インタビュー調査に基づくオーケストラにおける演奏音の同期方略の検討，日本認知科学会第 37 回大会，P-124，オンライン開催，2020

**高等研究機構　新領域創成部**
**スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室**

# MRAM を用いた高機能・超低電力不揮発脳型集積システムの実現




スピントロニクス・CMOS 融合集積回路の新たな体系による高機能且つ超低電力の不揮発脳型集積システムの実現

**スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究分野　教授　遠藤　哲郎**
**スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究分野　助教　馬　奕涛**

**＜研究室の目標＞**

本研究分野は、スピントロニクス工学、CMOS 半導体集積回路工学及び脳科学を融合し、デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアまでにわたる新しい工学技術分野を構築し、人間のように高度な情報処理・判断を高効率且つ低電力で実行できる新しい脳型コンピューティングシステムの実現を目的として研究を進めている。具体的には、研究全体を「ノイマン型」と「非ノイマン型」の２つの**アプローチ**に分けて研究を展開し、スピントロニクス・CMOS 融合デバイスに関する理解、スピントロニクス・CMOS 融合に基づく回路・アーキテクチャ設計論、脳型 CMOS 集積回路、及び AI(Artificial Intelligence)コンピューティング実現のための学理を結集し発展させることによって、自動運行や知的ロボットなどの応用に着目した高機能且つ超低電力の不揮発脳型視覚認識システムの実現を目指す。

**＜2020 年度の主な成果＞**

**１．　スピントロニクス工学、CMOS 融合不揮発脳型集積回路の設計環境の整備**

本研究分野では、前年度まで完成した高精度の回路シミュレーション設計検証の研究開発基盤に加えて、2020 年度は 300mm-wafer とパッケージの両方に対応できる CMOS/MTJ 混載 VLSI の実測評価環境のち上げを完了した。この評価システムでは、高速かつ高精度のフルオートロジックテスターや、多ピン/複数チップ同時測定対応可能な VLSI ウェハ測定プローブカードや、高速な VLSI パッケージ測定ソケットボード等を備えており、本研究室で提案・設計・開発したスピントロニクス・CMOS 融合脳型 VLSI チップを高効率・高精度・広温度範囲で測定・評価・解析することが可能となる。

**２．　「ノイマン型」アプローチでの不揮発適応型 K-means 教師無学習プロセッサ、及び、不揮発 FCNN 物体検出認識プロセッサの設計**

不揮発適応型 K-means 教師無学習プロセッサにおいて、学習精度と学習速度を大幅に改善する SRAM ベースの高速適応型 K-means 学習プロセッサ、及び、自律的な部分パワーゲーティング技術を提案・導入した STT-MRAM ベースの低電力不揮発適応型 K-means 教師無学習プロセッサの試作チップの設計を完成した。従来の学習方式では対応不能なアンバランスなデータに対して、提案試作した適応型 K-means 教師無学習アーキテクチャの精度向上、及び、88.9%以上の計算コスト削減を検証できた。その上に、不揮発フル畳み込みニューラルネットワーク（FCNN）物体検出認識プロセッサの設計においては、全 FCNN 荷重データを On-chip 保存する STT-MRAM 独創の回路アーキテクチャを開発した。

**３．　「非ノイマン型」アプローチでの不揮発** SNN 画像パターン認識プロセッサの設計

パルス信号の時系列処理を実行するスパイキングニューラルネットワーク（SNN）にフォーカスして、マルチコアの超低電力不揮発 SNN 画像パターン認識プロセッサの設計を完了した。

## ＜職員名＞

教　授（兼）　遠藤 哲郎（2008 年より）
助　教　　馬　奕涛　（2019 年より）

## ＜プロフィール＞

**遠藤　哲郎**　1987 年 3 月　東京大学物理学卒業。1995 年 3 月　東北大学電気工学専攻博士後期課程修了。1987 年より、東芝 R&D センターの VLSI 研究ラボにて NAND フラッシュメモリと３D 先端 CMOS デバイス設計に関する研究開発に従事。1995 年より東北大学電気通信研究所講師。1995 年より同准教授。2008 年より同教授。2008 年 5 月より同大学際フロンティア研究所教授。2012 年より同大工学研究科教授、及び、同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター・センター長、同大先端スピントロニクス研究開発センター・副センター長（世界トップレベル拠点）現在に至る。東北大学にて、最先端 CMOS デバイス設計、クリーンルーム技術、低電力・高速回路技術、次世代メモリ技術、スピン・CMOS 融合型ナノ LSI、GaN パワーデバイス、及び集積パワーエレクトロニクスの研究に関する研究開発に従事。JSAP フェロー、LSI IP Design Award 受賞(2001)、JJAP Paper Award 受賞(2009)、JSAP 6th Fellow Award 受賞(2012)、SSDM Paper Award 受賞(2012)、2020 VLSI Test of Time Award 受賞（2021)、第 14 回産学連携功労者賞・内閣総理大臣賞（2017 年)、全国発明賞（2018 年)。

**馬　奕涛**　2006 年 3 月　大阪大学電気情報エネルギー工学科卒業。2011 年 3 月　東京大学工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2011 年 6 月　東北大学国際フロンティア研究所研究員。2014 年 4 月同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター産学官連携研究員。2018 年 4 月同大工学研究科助教。2019 年 9 月同大電気通信研究所助教。

## ＜2020 年度の主な発表論文等＞

[1] Tetsuo Endoh, et al., IEEE Symposium on VLSI Technology, Honolulu, HI, USA, 16-19 June 2020.
[2] Tao Li, Yitao Ma and Tetsuo Endoh, IEEE Access, Vol. 8, pp. 142931 - 142955, August 2020.
[3] Hui Shen, Yitao Ma and Tetsuo Endoh, SSDM2020, (Virtual), September 2020.
[4] Tetsuo Endoh, IEDM2020, (Virtual), December 12-18 2020.
[5] Hui Shen, Yitao Ma and Tetsuo Endoh, JJAP, Vol. 60, No. SB, pp. SBBL02, February 2021.
[6] Hui Shen, Yitao Ma and Tetsuo Endoh, Symposium for The Core Research Clusters for Spintronics, (Virtual), February 2021.
[7] Hui Shen, Yitao Ma and Tetsuo Endoh, Symposium for The Core Research Clusters for Spintronics, (Virtual), February 2021.

# 先端スピントロニクス研究開発センター（CSIS）

## ＜施設の概要＞

設　　置：平成 30 年 1 月 30 日設置
（スピントロニクス世界トップレベル研究拠点が高等研究機構に設置された日付）

組　　織：センター長：平山祥郎（理学研究科・教授）
教員数：44 名（理学研究科・工学研究科・金属材料研究所・電気通信研究所・多元物質科学研究所・材料科学高等研究所・学際科学フロンティア研究所・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・スピントロニクス学術連携研究教育センターから兼務）

目　　標：基礎から応用にわたる幅広い分野の卓越した研究者を海外有力大学との共同研究を通じて戦略的に結集し、Spin-Centered Science というべき領域を世界に先駆けて切り拓く世界トップレベル拠点を形成することを目的とする。

研究内容：スピンを基軸とする基礎科学、先進スピントロニクス材料、スピントロニクスデバイスおよびその集積技術の四つに区分される。

## ＜2020 年度の主な成果＞

**・世界を先導するスピントロニクス研究の推進**

学内の部局を超えた共同研究で高い国際性を有する質の高い提案 11 件を共同研究プロジェクトとして採択した。このうち特に優れた取組み 5 件には、追加予算を配分して共同研究を促進した。

**・優秀な若手研究者の育成**

部局を超えた共同研究を推進するため、専任教員・研究員として若手外国人 6 名を雇用した。

**・国際頭脳循環の推進**

海外有力大学との学術交流ネットワークを構築するため、海外有力大学と国際ワークショップを開催してきたが、本年度は新型コロナウィルス感染症の影響のため多くが中止または延期された。世界トップレベル研究拠点(スピントロニクス)の第 4 回 国際シンポジウムを 2021 年 2 月にオンラインで開催し、約 230 名の参加登録者があった。また、ロレーヌ大学との第 2 回スピントロニクスワークショップを 2021 年 3 月にオンラインで開催した。

# 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：79 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、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、これまで CIES で研究開発してきた世界最先端技術であるスピントロニクス技術から AI ハードウェア技術とパワーエレクトロニクス技術に拡充し、3 つのコア技術の研究開発を推進すると共に、超低消費電力が要求される IoT/AI システムへの展開を目指している。

## ＜2020 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・プロセス・デバイス・回路・システムなど多様な国内外の企業、そして地方公共団体と連携して、産学共同研究、大型国家プロジェクト（内閣府 SIP 第 2 期、JST-OPERA、JST NexTEP、JSPS Core-to-Core、NEDO 助成事業、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ、東北経済産業局サポイン事業)、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。研究開発分野をスピントロニクスから、AI ハードウェア、パワーエレクトロニクスに拡充し、産学共同研究も 7 課題から 18 課題に大幅に拡大して、集積エレクトロニクス技術に係るコア技術の開発を推進している。コンソーシアム参画企業には、「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。

スピントロニクス集積回路対応としては世界唯一、大学が運営するワールドクラスの企業と互換性のある 300mm プロセス試作評価ラインを活用して、世界最高性能となる多様な革新的技術の開発に成功し、超低消費電力が要求される IoT/AI システムへの展開が進展した。具体的には、STT-MRAM の車載応用を可能にする高速かつ高信頼な微細磁気トンネル接合(MTJ)素子の実証動作に成功し、IoT/AI 分野から車載分野までの STT-MRAM の応用領域拡大に道を拓いた。加えて、世界初となる 400℃熱耐性と 10 年データ保持特性を有する無磁場高速(350 ピコ秒)書き換えスピン軌道トルク(SOT)素子の開発、CMOS 技術との集積化により SOT-MRAM セルの動作実証、SOT-MRAM チップの動作実証に成功し、スピン軌道トルク素子を適用した高速不揮発性磁気メモリの実用化に向け大きく前進した。パワーエレクトロニクスでは、GaN on Si パワーデバイスの低損失で高周波動作が可能な特長を活かし、モータ駆動用インバータ、DC-DC コンバータの高機能化、小型・軽量化を進めた。これにより自動車の電動化、再生可能エネルギーの主電源化に繋げ、脱炭素化に大きく貢献する予定である。

加えて、革新的集積エレクトロニクス事業展開と、本学における更なる産学連携高度化に資することを目指して、遠藤哲郎教授が創業した東北大学発ベンチャー「パワースピン株式会社」が 3 年目を迎え、中小・ベンチャー企業を対象とした国家プロジェクトの助成を受け、本センターの技術やノウハウをベースとして実用化開発を進めている。更に、2020 年度、経済産業省事業「地域オープンイノベーション拠点選抜制度」に、本センターが第 1 号の地域オープンイノベーション拠点（国際展開型：代表者 遠藤 哲郎教授）に選抜された。今後、経済産業省による伴走支援を受けながら、宮城県・岩手県の施策と呼応して我が国の重要産業領域の発展に貢献する。

引き続き、世界を先導する集積エレクトロニクス･AI ハードウェア研究開発拠点を目指し、革新的コア技術の創出、及び実用化による産業界への貢献と我が国の国際的競争力強化、そして地域連携による「東北復興・日本新生の先導」に寄与する。

関連組織等

# 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　：山田　博仁（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。

## ＜2020 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、「第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発」、「周波数有効利用のための IoT ワイヤレス高効率広域ネットワークスキャン技術の研究開発」、「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 OPERA 事業共創プラットフォームの形成として、「電力と情報通信のネットワーク基盤融合に関する研究開発」を推進した。さらに、レジリエンス ICT 研究開発の成果として、耐災害 ICT 研究シンポジウムにて、OPERA の取り組み関する講演を実施した。

(2) 情報発信：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。

## ＜2020 年度の主な発表論文＞

[1] Fumiyuki Adachi, “Wireless Challenge for Beyond 5G”, 16th EAI International conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (EAI Collaborate Com 2020)
[2] T. Furuichi, Y. Gui, M. Motoyoshi, S. Kameda, T Shiba, N. Suematsu, “A Filter Design Method of Direct RF Undersampling On-Board Receiver for Ka-Band HTS,” IEICE Trans. Commun., vol. E103-B, no.10, pp.1078-1085, Oct. 2020.
[3] T. Otsuji, K. Iwatsuki, H. Yamada, and M. Yashima, ″Concept of resilitent electric power and information communication technology (R-EICT) converged network systems based on overall optimization of autonomous decintralized cooperative control of DC microgrids,″ ISGT-NA: IEEE PES (Power & Energy Society) Innovative Smart Grid Technologies Conference North America, Washington D.C., USA, online web, Feb. 15-18, 2021. DOI: 10.1109/ISGT49243.2021.9372169.

# スピントロニクス学術連携研究教育センター（CSRN）

## ＜施設の概要＞

設　　置：平成 28 年 4 月 1 日設置

組　　織：センター長：高梨弘毅（金属材料研究所・教授）
教員数：64 名（専任教員：2 名、兼務教員：62 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。

## ＜2020 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 64 件に予算配分した。共同研究先は国内 41 機関、国外 32 機関(13 ヶ国)に上る。各プロジェクトの研究内容と成果については、下記ホームページを参照のこと。

※東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター URL: http://www.csrn.tohoku.ac.jp/

**・実験施設・設備の供用**

供用可能な実験施設・設備（購入価格 1,000 万円以上）23 件のリストをホームページに公開し、学内外のスピントロニクス研究者の共同利用に供した。

**・国際会議・研究会・スクール等の開催**

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 2 件、国内研究会 5 件、セミナー・スクール 3 件を共催した。新型コロナウィルス感染症の影響により多くの学術的会合が中止・延期された中で、2020 年 6 月に若手研究者に発表の機会を提供するためオンライン研究会を開催し、260 名を超える参加登録者があり、約 60 件の口頭発表があった。

関連組織等

# ヨッタインフォマティクス研究センター

## ＜施設の概要＞

設　　置：平成 30 年 4 月設置
平成 26 年東北大学学際研究重点プログラムに採択され、その後の活動により、平成 30 年に文科省・国立大学法人機能強化促進補助金の予算措置を受けて設置された。

組　　織：センター長　：塩入諭（電気通信研究所所長・教授）
センター参加学内教員数：37 名（電気通信研究所・工学研究科・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・文学研究科・情報科学研究科・経済学研究科・医工学研究科・教育学研究科・生命科学研究科）

目　　標：超巨大情報量の量と質を扱うための新情報サイエンスとそれに基づく ICT 情報処理技術と新たな自分社会科学を文理連携体制によって構築する

研究内容：人類が作り出すデータ量は日々増加して 2030 年にはヨッタバイト（10 の 24 乗バイト）を超えると推定される。従来の ICT 技術の延長ではこれほど巨大な情報量を適切に取り扱うことができない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」と「質」をも扱う科学技術基盤の創出を目指す。本センターでは、情報の質と価値を扱う学術領域の研究のために人文社会科学の研究者と連携した文理連携により部局を超えた研究者集団を構成し、ヨッタバイト級の巨大情報「量」に加えて、情報の「質」と「価値」を判断する基盤技術を確立し、巨大なビヨンドビッグデータ情報が持つ大きな価値を最大限活用する科学技術プラットフォームの構築を目指す。

## ＜2020 年度の主な成果＞

1. 情報の「質」から「価値」を判断し、一定の規範を見出して適切に情報を取捨選択できる情報学を先導するための 9 つの文理連携プロジェクトを、公募を通して発足、もしくは継続遂行させた。論文発表 87 編、発表・講演 67 件（うち招待講演 26 件）、外部資金によるプロジェクト 56 件。
2. 国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021 を主催した。また、国際シンポジウム Tohoku U - NTU Symposium: "When AI Meets Human Science"および日中韓の国際シンポジウム（International Workshop on Emerging ICT）を共催し、電子情報通信学会 EMM 研究会、同 HIP 研究会との共催研究会を実施した。
3. 共同利用・共同研究拠点の共同プロジェクト研究 U が新たに採択され、国際共同研究推進型による海外研究機関との連携も継続した。情報質インフォマティクス研究のオープンイノベーションプラットフォームの構築のために、高等研究機構新領域創成部と連携し、21 世紀情報通信研究開発センター学際連携プロジェクトを推進した。

# ６．　２　参画する事業・プログラム

## 博士課程教育リーディングプログラム
## 「マルチディメンジョン物質理工学リーダー養成プログラム」

**＜概　要＞**

設　　置：平成 25 年 10 月設置
日本学術振興会博士課程教育リーディングプログラム複合領域型（物質）として採択されたことを受けて設置された。（補助事業は令和元年度終了）

組　　織：プログラム責任者：山口昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））
プログラムコーディネーター：長坂徹也（工学研究科・教授）
プログラム担当者：59 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。

**＜2020 年度の主な成果＞**

2020 年度から新たに 1 名が本プログラムに加わり、プログラム学生は 30 名となった。本年度は新型コロナウィルス感染症の影響により、定例のインターンシップ報告会、オーバービュー審査や最終審査などの活動がすべてオンラインで実施された。そのような状況の中で、2020 年 8 月 6 日にプログラム学生同士の交流を目的としてオンラインお茶会が開催された。担当教員を含め 12 名の参加者の間で近況報告や今後の活動に関する情報交換が行われた。

2021 年 1 月 28 日に本プログラム学生 1 名が第 11 回日本学術振興会育志賞を受賞した。

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。

## ＜2020 年度の主な成果＞

センサ、通信、情報処理などの分野で幅広くプロジェクトに貢献している。通信に関しては、飲み込みが可能な mm サイズの超小型電波センサ／タグを用いた投薬管理システムを提案し、このためのミリ波省電力デバイスの試作を行なった。さらに、地元企業と連携して行った部分義歯管理システム用の cm サイズのパッシブタイプの RFID タグおよび RFID タグシステムの研究開発においては、リーダーライターのプロトタイプ機の特定実験試験局免許を取得し、これを用いて、部分義歯に貼り付け可能な RFID タグのプロトタイプ試作品との通信実験に成功した。

# スピントロニクス国際共同大学院プログラム

## ＜概　要＞

設　　置：平成 27 年 4 月設置

組　　織：国際共同大学院プログラム部門長：山口昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））
スピントロニクス国際共同大学院プログラム長：平山祥郎（理学研究科・教授）
プログラム担当者：学内教員２１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)、レーゲンスブルク大学（独)、カイザースラウテルン工科大学（独)、ミュンヘン工科大学（独)、ロレーヌ大学（仏)、シカゴ大学（米)、デルフト工科大学（蘭)、フローニンゲン大学（蘭)、ヨーク大学（英)、リーズ大学（英)、ポーランド科学アカデミー（ポーランド)、清華大学（中）

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の育成

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。

## ＜2020 年度の主な成果＞

2020 年度は、新型コロナウィルス感染症の影響により多くの講演会・セミナーが中止または延期となった。そのような状況の中、令和 2 年 9 月 29 日～30 日に東北大学・理化学研究所連携ワークショップ「Math meets Quantum Materials」がオンラインで開催され、本プログラムの助教が招待講演を行った。また、令和 3 年 2 月 24 日～25 日に第 4 回スピントロニクス拠点国際シンポジウムが開催され、本プログラムにより企画されたセッションにおいて、本プログラムの助教・学生 5 名が口頭発表を行った。さらに、令和 3 年 3 月に Thomas Schäpers 教授（ユーリッヒ研究所、ドイツ）を講師として「Spin-based Qauntum Bits」と題する連続 4 回のセミナーをオンライン開催した。

関連組織等

# 文部科学省　卓越大学院プログラム
# 人工知能エレクトロニクス（AIE）卓越大学院

## ＜施設の概要＞

設　　置：平成 30 年 10 月採択

平成 30 年度からの新規事業である「卓越大学院プログラム」(WISE Program (Doctoral Program for World-leading Innovative & Smart Education)) に採択された.

組　　織：全体責任者：大野英男（東北大学総長）

プログラム責任者　：山口　昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））

プログラムコーディネーター　：金子　俊郎（工学研究科・教授）

プログラム担当者：約 60 名（責任者・コーディネーターを含む）

目　　標: 本卓越大学院プログラムでは，産学連携・社会連携を意識して「社会課題の解決」と「新たな価値の創出」を実現する『実践力』と，Society 5.0 における現実空間とサイバー空間およびそれらを繋ぐあらゆる空間を見通せる『俯瞰力』を習得することで，異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成することを目的とする。Society 5.0 の実現にあたっては，ソフトウェア層単独でなく，良質なデータ創生の基盤となるハードウェア層との融合を図る必要がある。本プログラムでは,『人工知能エレクトロニクス』ともいうべき，現実空間からサイバー空間に渡って重要な基盤技術である「人工知能スピンデバイス（ハードウェア層)」と「人工知能データ科学（ソフトウェア層)」，さらにハードウェア・ソフトウェアを考慮した革新技術である「人工知能プロセッサ（アーキテクチャ層)」のあらゆる空間・技術層を見通せる『俯瞰力』を持ち，異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成する。

## ＜2020 年度の主な成果＞

卓越大学院の独自科目である PBL(Project Based Learning)科目を開始した．この科目は協賛企業 12 社と大学教員が共同で構築・実施するもので産学連携教育の中核を成す．修了後に学修成果シンポジウムを開催し，各受講生は，この科目の学修成果について発表した．コロナ禍でのインターンシップの新しい取り組みとして，現地実習とオンラインを組合せることにより，プログラム学生を海外および国内企業インターンシップに参画させた．また，AIE 講演会を 6 回，国際シンポジウムを 2 回開催し，人工知能エレクトロニクスの基本的な技術から応用，社会実践における課題など多岐に渡る内容について，国内外の著名な先生方に講演頂いた．この他，第 3 期生の募集と選抜を行い，新規プログラム生 20 名（新Ｍ１　3 名，新Ｍ２　11 名，新Ｄ１　6 名）を決定した．

# 第　7　章　　評価と分析

# 東北大学電気通信研究所第３６回運営協議会

日　　時：令和２年１２月１８日（金）午後１時３０分～１７時
場　　所：ＷＥＢ開催
出 席 者：
岸本　光弘（国立研究開発法人　産業技術総合研究所　デジタルアーキテクチャ推進センター長）
大谷　義近（東京大学物性研究所　教授）
田中　弘美（立命館大学　情報理工学部　特命教授）
富田　二三彦（国立研究開発法人　情報通信研究機構　Ｒ＆Ｄアドバイザー）
中村　祐一（日本電気株式会社　研究・開発ユニット　主席技術主幹）
金丸　正剛（国立研究開発法人　産業技術総合研究所　副理事長）
三谷　公二（日本放送協会　放送技術研究所　所長）
山口　浩司（日本電信電話株式会社　ＮＴＴ物性科学基礎研究所上席特別研究員）
関野　　徹（大阪大学産業科学研究所　所長）
斉藤　　健（株式会社東芝 研究開発センター　情報通信プラットフォーム研究所所長）
玉田　　薫（九州大学　副学長／先導物質科学研究所　主幹教授）
小林　直樹（東京大学大学院情報理工学系研究科　教授）
丸山　　宏（株式会社 Preferred Networks　PFN フェロー）
前田　裕二（ＮＴＴ宇宙環境エネルギー研究所　所長）
中村　　孝（大阪大学大学院　工学研究科　特任教授）
佐々木　直樹（キャノンメディカルシステムズ株式会社　上席常務）
小松　直子（宮城県　環境生活部　次長）
江村　克己（日本電気株式会社　ＮＥＣフェロー）
寺田　眞浩（東北大学　大学院理学研究科長）
長坂　徹也（東北大学　大学院工学研究科長）
尾畑　伸明（東北大学　大学院情報科学研究科長）
古原　　忠（東北大学　金属材料研究所長）
福山　博之（東北大学　多元物質科学研究所長 副所長（寺内 正己 所長の代理））
菅沼　拓夫（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）

通研出席者：塩入 諭 所長、石山 和志 副所長、北村 喜文 副所長、羽生 貴弘 教育研究評議員他各教授、各准教授

開　　会

事務長から、東北大学電気通信研究所第３６回運営協議会の開会が宣言され、引き続

き会議日程の説明と配付資料の確認があった。
　続いて、塩入所長から開会にあたり挨拶があった。

委員紹介
　出席委員から順に自己紹介があった。

委員長選出
　委員の互選により、江村委員を委員長に選出した。

議　　事
　塩入所長、北村副所長、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）研究と教育について
　引き続き、電気通信研究所の各教員及び学生から研究紹介があり、その後、次のような質疑応答があった。

★　　ありがとうございました。
　それでは、ここで少し質疑の時間を取りたいのですが、全体の議論がしっかりできるように、後ろの時間をきっちり確保して、１０分ぐらい質疑をしたいと思います。
　それで、このタイミングでは、今までご説明のあったことに対する確認事項、それからせっかく今５件の研究紹介をいただいたので、それに対する質問でもいいんですけれども、コメントとかアドバイスとかがあればいただければと思います。
　それで、発言を希望される方は手を挙げていただければと思います。
　それから、富田さんがチャットで質問していただいて、深見先生と結構しっかりやり取りをしていただいていまして、この件でもし追加でご質問があれば富田さん、手を挙げてください。皆さんへのお願いは、確認事項等についてはなるべくチャットを使っていただいて、今後も先生方にも答えていただいて、有意義な議論ができるようにしていければと思います。
　どなたからでも結構ですけど、富田さん、いかがですか。

☆　　いえ、私は専門外ですし、伺ったことに対してはちゃんと分かるように説明していただいたと思いますので、これはこれで済みでよいと思います。ありがとうございます。

★　　東芝の斉藤さんはコメント入れてらっしゃいますけど、いかがでしょうか。

☆　　東芝の斉藤でございます。興味深く聞かせていただきました。ありがとうございました。
　コメントにも書いたんですけれども、コロナの対策のお話であるとか、あるいは

研究の中でニューノーマル、あるいはニューノーマル社会というようなキーワードをいくつか挙げられていたと思うんですけれども、やはりコロナのこの状況というのは、医学とかを除くとコミュニケーションの可能性の大きさといったところにものすごい我々の可能性を示してくれているというふうに感じるわけですけれども、コミュニケーションというものを真ん中に立てている通研さんとして、コロナをきっかけにコミュニケーションのありようというもので新たにどういったことを大きく新たなテーマとして課題に感じている、もしくは立ち上げつつあるとか、そういったコロナによる新しい方向性みたいなものがありましたら、そういった取り組み、オンラインで開催とか今回の資料でよく分かったんですけれども、研究の全体の方向性に与えている影響というものがありましたら教えていただきたいと思うんですけれども、いかがでしょうか。

★　お願いします。

☆　関連する研究は何件か立ち上げつつあるという状況です。この後の拠点活動の中でもお話ししますし、東北大学の学内のプロジェクトを走らせているということもあります。具体的にはそのときにお話しするのがいいかと思います。

☆　分かりました。どうもありがとうございます。

★　山口さんから、クロスアポイントメントがどのぐらい導入されているかという質問が出ていますけど、お答えいただけますでしょうか。

☆　現状では１件です。将来的にはもう少し増えると思っています。

☆　基本的には人件費削減ができるようにも見えるんですが、実は全然解決になっていないように僕思うんですけれども、そのあたりは今後取り組んでいこうという方向なのか、そのあたりは特にお考えはありますでしょうか。

☆　クロスアポイントメントを所として考えている一番の理由は、全学的に女性教員あるいは外国人の比率を増やしたいということへの協力という位置づけであります。実際にクロスアポイントそのものが人件費減云々には関わらないと思うんですけれども、関連の企業なり大学との連携という意味では、より深い連携ができるのかなというふうには思っています。

☆　そうですね。産学連携なんかとあわせて取り組まれると非常にいいんじゃないかなというふうに思いますので、はい、どうもありがとうございました。

★　ありがとうございます。
産総研の岸本さん、何か、コメント入れていただいていますけど、ここでお話に

なることはありますか。

☆　田中先生のお話、非常に興味深く伺いました。非常に大きなデータを扱えるように、広域でというのは非常に大切だと思います。ただ、スマートシティ等でやっていくときに、そういうデジタル面だけではなくて、どうやって住民の方、もしくは教員、学生の方に参加してもらえるかとか、どの辺の規則、法規を変えていくかというところも大事なポイントだと思いますので、そういったところも考慮しながら進めていただくのがいいのではと思いました。

★　田中先生、何かお答えありますか。

☆　ありがとうございます。まさに岸本委員のおっしゃるとおりで、今仙台市のスマートシティ戦略と連携を取って、データそのものは住民がオーナーシップを持つと、そういう考え方で、社会貢献につながることを理解していただくような戦略で進めようとしています。

★　ありがとうございます。
佐々木委員からスピンエッジコンピューティングに大変期待していますということですけれども、何か追加であればお願いします。

☆　羽生です。今チャットで回答したんですけれども、ぜひ、スピンをこちらではつくれる技術がありますので、社会実装できるように精一杯頑張りたいと思います。よろしくお願いいたします。

★　佐々木さん、いかがですか。

☆　羽生先生、ありがとうございます。
前に先生とは弊社、共同研究をやらせていただいていまして、今いろいろ研究の成果を出していただいているところで、大変うれしく思っております。
同時に、先生の発表の中にありましたＧＰＵの関係ですね、これは今ＣＴなんかの画像再構成でＧＰ、ＧＰＵというのを使っておりますけれども、非常に高価で、消費電力も大きいと。したがって、ＣＴ１台に１つＧＰを持つということをやると、どうしてもシステムの値段が高くなる。５、６台いっぺんにまとめて一つのＧＰＵを持ちたいとかそういうことになるわけですけれども、それにしても消費電力なり、どこかにサーバーを置かなきゃいけないということになりまして、なかなかその、医療の開発途上国等への展開も難しいところもある。ですから、これは低消費電力で高速なハードウェアで演算処理をやるということについては、将来本当に期待しております。以上です。

★　ありがとうございます。

私も、アナログということも含めて、パラダイムを変えるという議論されはじめて、社会のニーズと研究テーマのスペックみたいなものをどうやって結んでいくのかが重要になっていると感じています。後でも結構なんですけど、時間があれば少し議論させていただきたいなと思っています。

それから、ちょっと時間の関係でまとめてお答えいただいたほうがいいかなと思うんですけど、玉田先生から附置研究所の位置づけがあまり変わっていないんじゃないかということで、それに対するいろんな議論はなかったのかというようなことと、それから関野先生から人員減に対する施策はありますかというような、ちょっと制度的なところの質問をいただいていまして、簡単にお答えいただけますか。

☆　人件費については、後で考えていることを申し上げます。

それから、研究所の位置づけについては、私が聞くところによると沢田所長の時代というのは、ちょっと何年前かすぐに分かりませんけど、いろんな議論があって、それ以来続けてきているということで、変わっていないかどうかと言われると、議論を続けているということかなとは思います。

ただ、現状、大野総長からも研究所の位置づけ、大野先生が所長だった時代からもうそういう話が出ていて、研究科と何が違うかというところで、研究所はそれぞれの分野に特化した領域を持っています。我々は情報通信ということです。その情報通信の研究を通して、学生を教育するというのが一つ。それから、通研の強みというのは大型プロジェクトを推進してきているということなので、学内の様々な部局あるいは先生方と協力して、大型プロジェクト等々進めていく、その牽引役というのは研究所の役割なのかなというふうに思っています。思っていますというのは、現状そういう位置づけなんだというふうに理解しているということです。それが十分かどうかという議論になると、もう少し考えなければいけないのかもしれません。

★　ありがとうございます。

何か皆さん積極的にチャットにどんどん入れていただいていて、ある意味でこのままやっていると終わらないので、一旦ここで区切らせていただきたいと思います。チャットの中でお返事いただける分はしていただいていて、オンラインでやっているので逆に随分効率的に議論ができているのかなと思います。本当に全体の運営の話のところの時間をしっかり確保したいので、当初の予定ではもう休憩の時間に入っていますから、一旦ここで休憩にさせていただくのがいいかなと思いますけど、いいですか。

はい。そうすると、１５分休憩という予定になっているので、半からでよろしいでしょうか。

引き続き議論はよろしければチャットで継続していただいて、では１５分後の３時半から再開したいと思います。

**（休憩）**

引き続き、石山副所長、北村副所長、塩入所長から、次のことについて説明があった。
（３）各種評価について
（４）共同利用・共同研究拠点の活動について
（５）課題と取り組みについて
以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

★　ありがとうございました。
それでは、ここから議論に入りたいと思います。５０分ぐらい時間があるかなと思います。
特にアイテムを区切って議論する予定はなくて、皆様の興味がどこにあるかというのも一つの重要な情報ですので、ご自由にご発言いただきたいのと、通研から出たことに対するお答えもあると思うんですが、非常にダイバーシティに富んだ委員の方が参加されていますので、ここに出ていない観点でもご意見いただければと思います。先ほど申し上げましたように、手挙げをしていただければと思います。それから、多くの方が参加されていますので、できるだけ発言は手短にお願いできればと思います。
では、富田さん手が挙がっていますので、お願いします。

☆　ありがとうございます。
チャットには記述しましたが、私昨年度も聞かせていただいて、昨年度の議論の中で、研究所の経営というのは必ずしも全部右肩上がりにはいかないものだという話があって、けれども徐々に徐々に毎年毎年下がっていくのはよろしくないという議論をした記憶があります。
それに対して、今年、数字を見せていただくと、例えば２５ページとか２６ページとか２７ページとか２０ページとかいくつかのページで、一応昨年度底を打って、少し右肩上がりの部分が見えてきたという傾向が見えるのですが、これについては何か特に努力をされたのか、あるいは自然に教員たち、学生たちの発表論文が増えて、あるいは科研費の応募数が増えてこうなったのか、教えていただけますか。

☆　特別な理由ということはないと思っていますけれども、通研運営に対する危機感がかなり共有できた結果なんではないかと。特に外部資金については、多くの先生方が努力されていて、底を打っていると今信じているところです。
科研費云々については、必ずしも数字はうまく上がっていないので、今後かなと思います。

☆　ありがとうございます。

★　よろしいですか。
ほかに手を挙げていらっしゃる先生はいらっしゃらないと思いますが、それでは指名させていただくことになりますけど、玉田先生いろいろ書き込んでいただいて

いるので、ちょっと発言いただけるといいかなと思いますけど。

☆　聞きたいことをチャットに書いて、所長にお答えいただいていました。

☆　女性教員の活躍しやすい環境というのは何かというのをちょっとお答えが、いただいているのかもしれないですけれども、特別どうすればいいんでしょうかね。

☆　一番いいのは本人に聞くということらしいです。例えば私に聞いたら私の意見ですが、通研の女性であれば通研の女性に直接聞くというのがいいと思います。それをすると客観性が失われる気がして、特に人数が少ないとちょっと外れて別なところの意見を聞く傾向があると思いますが、それよりは、むしろ自分たちが採用した人を伸ばすやり方を整えていくと、組織全体がよくなる、今もいいし将来もいいみたいな、そういう形になるらしいですので、よろしくお願いいたします。

☆　よく分かりました。採った後にその人の環境をよくすればいいんだと。

☆　採用した人の意見を聞くということですね。まめに聞いて、意見を吸い上げる場をつくってあげるということ。

★　ダイバーシティという観点で、関連して、小松さんですか。お願いします。

☆　私は所管の分野が共同参画社会推進というところもありまして、ダイバーシティに取り組んでおります。今回、いろんな評価でも女性の教員の数が少ないということ、これはやっぱり学部の学生さんの数が少ないので、やむを得ないのはそのとおりだと思います。なので、やはりすぐどこかよそから持ってくるという短期的なところと、あと少しやっぱり高校生にアピールしたほうがいいんじゃないかなと思います。私は宮城、仙台に住んでいますので、この辺の事情は分かりますけれども、宮城県は男子校、女子校の歴史があって、今はもう共学になりましたけれども、女子校から共学になった学校って女子の割合がすごく高くて、優秀な女子がたくさんいますので、ぜひ宮城一高とか二華高校とかに通研の先生方が直接行って、出前講座をして、ぜひ研究のおもしろさとか、何かその辺を少しアピールされると、学生の数が増えることにつながると思いますし、５年後、１０年後の通研を支えていただく若い人材を採れるかもしれませんので、ぜひそういう活動をされたらいかがでしょうか。私は地元の自治体なので、高校とつないだりとかそういうことができますというのが一つ。

あとは、本当に高校生だけじゃなくて中学生とかから、いろんなリーダー養成の場なんかもいくつか持っていますので、そういうところにもし本当に先生方がいろいろ出前してもいいというお時間を取っていただけるのであれば、ご協力をさせていただければなというふうに思います。

以上でございます。

☆　ありがとうございます。
我々、途中でも出てきたように、工学研究科の電気・情報系というところと一緒にいろんなことをやっていて、その枠組みで高校への出前授業等もやっていますし、宮城一高の生徒さんに指導もどきをしたこともあるんですけれども、そういう仕事をどのくらいやらなきゃいけないんだというのはなかなか研究所として難しい判断になったりするんですよね。やっぱり学部を持っているところで判断してもらって、手伝うという位置づけになってしまうので、その辺にこだわる必要はないということかもしれませんけれども、どうなんでしょうね、伊藤先生とかが気にしないんだったら、通研として中学でも高校でも行って出前授業をやりますというのはあるかなと思いますけれども。

★　伊藤先生、お願いします。

☆　ありがとうございます。
先ほどご説明しましたように、特に教育関係については工学部の電気・情報、物理工学科、あるいはその上の工学研究科と通研とで一緒にいろいろなことをやっております。なので、学科のほうで出前授業だとか、あるいは見学だとか、そういうことを受け付けることは結構あって、そういうときに場合によって通研のほうにお願いをするということもあります。ですけれども、今お話があったように、通研が独自にやっちゃダメということはないので、特に通研のほうは例えば片平まつりだとか通研公開のように独自の企画もやっていますので、そういう機会を捉えて例えば女子にアピールするような企画をやっていただくみたいなことというのはやっていただいてよいのではないかなというふうに思います。以上です。

☆　ありがとうございます。確かに通研公開をもうちょっと、通研公開に来られる地元の方は小学生低学年以下の子供が多くて、それはそれでいいんですけれども、中高生がもっと来てくれるといいなというふうにいつも思っていますので、その辺について何かお願いできることがあればぜひご協力いただけるとありがたいなというふうに思いました。

☆　分かりました。ＰＲなどご協力できるところは協力したいと思います。

★　ありがとうございます。
次、大谷先生に行くんですけど、今のダイバーシティ関係で発言がある方がいれば、直接声を出していただければと思うんですけれども、どなたかいらっしゃいますか。

☆　田中ですけれども、よろしいですか。

★　はい。では、ちょっと大谷先生お待ちいただいて。お願いします。

☆　立命館大学の田中ですが、ダイバーシティに対しては大学の意思決定、ですからそちらでは組織の意思決定に女性を入れていくということが大変重要なことだと思うんですよね。だから、若い先生が増えているということは、将来的にそういうことの可能性が出るということですけれども、やはり例えば１０年先の通研の姿をつくるということに対しても、そういういろんな多様性を入れる、女性の意見も、またマイノリティーの意見も入れるということで、やはり早急にトップクラスに意思決定に関わる女性を入れるということが大変大事だということを認識していただきたいなというのが一つ。

それと、多様性ということでは、そちらで准教授の方が通研出身の方が４分の３を占めているということですね。それは少しちょっとどういうふうに関わるかなということが懸念されたんですけれども、最終的に教授が３分の１ぐらいになるというのはそれは健康的なことで、すごくバランスが取れていいと思うんですけれども、准教授の時代というのはやっぱりいろんな人といろんな意見とか姿勢で、インタラクションを持って自分自身の研究を見つけて育てる時期かと思うときに、同じ組織の中でずっと価値観を共有する中で競わされているというような苦しさがないのかなと、ちょっとそういうふうに思って、やはりもうちょっと意思決定にというか、全体としてもっと開かれた、いろんな意見が入る、いろんな方向性の可能性があるということに持っていくのが、やっぱり将来的に組織の力がついていくんじゃないかなというふうに思うんです。

それと、女子学生を増やすという観点からだと、我々いろんな大学の試みを聞いていると、女子高生のためのとか女子中高生のためのオープンキャンパスとか、そういう冠を付けただけで、結構たくさんの女子学生とかお母さんとかが出てきてくれるらしいんですよね。それくらい女性というのは非常に自分を抑えつけているというか、そういうところがあるんですよ。ですから、東京大学なんかでも夏休みの間に女子高生のためのという冠のが３～４回ある、それでもなかなか難しいということをおっしゃっていますけどね、でもいろんな大学では女子高生のためのというのはいろんな入試政策でも大変効果が出ているというふうに聞いていますので、東北大学はサイエンスエンジェルですか、あの辺のお姉さんというか院生の方たちに、もっと若手に対して学問のおもしろさとかそれを伝えるように担ってもらったら、もっと活性化していくんじゃないかというふうに、そういうふうに思います。

以上です。

☆　ありがとうございます。

女子高生のためのとかいうのは、工学部のキャンパスでもやっていたりはしたのかなと思いますけれども、通研公開ではやったことがないので、それはあり得るかなとか思いました。

それから、准教授については、ご指摘の点、そのとおりかと思いますが、現状を准教授の皆さんがどういうふうに考えているかというのはもちろんそれぞれだと

思うんですけれども、何か問題があるかどうかというのを考えていなかったので、検討させていただければと思います。

それから、最初のポイントは女性教授を増やすというところから始まるんだろうとは思いますが、全体に人件費が厳しくなる中で、ちょっとどう対応すべきかというところは悩ましい気はしていますが、ご指摘承りました。

★　ありがとうございました。

アファーマティブ・アクションみたいなのもやりながら、この運営協議会にも女性の先生がそこに座っている時代が早く来ることを期待しています。

すみません、大谷先生、お待たせしました。お願いします。

☆　一言ダイバーシティに関して私の意見を言わせていただきますと、これは物性研も全く同じ問題を抱えておりまして、現在、森所長が唯一女性で、あと５年で定年を迎える。そうしますと、ゼロになってしまうんですね。だから、非常に女性という観点で見ますと、東大も苦労していると思います。それはこれから解決していかなきゃならない問題だと思うんですが、私自身はこれは男性の意識改革、もしくは家庭での教育というのがあると思うんですね。女性が男と同じぐらい高学歴を持つ。ただ、例えば皆さんが奥様に対して同じように働いていてほしいかと自分に対して自問自答したときに、私はそれを喜んで受け入れますという男性が例えば皆さんの職場で何％いるのか。それが半分以上いなければ、絶対にこれは改善しないのではないかと僕は思っております。

あともう１点、ダイバーシティという観点で言いますと、国際化というのもございますよね。それについては、通研では例えば国際外部評価とかそういうものも取り組んでおられるんでしょうか。

あともう１点、すみません、追加で聞きたいのは、成果を報告するときに、論文数が例えば物性研なんかでも２０１９年度で一所員当たり１０本ありましたと、そういうことを言うんですが、振れ幅がどのぐらいなのかというのがちょっと知りたいです。中には全くアクティビティが年を取って下がってしまって、ほとんど論文がゼロだったけど、アクティビティの高い人が１０本も２０本も書くと、それでなめされて、見かけ上そこそこやっているように見えてしまうという問題があると思うんですが、そこら辺のところはいかがでしょうか。皆さん非常にアクティビティ高く保っておられるのでしょうか。

以上です。

☆　一番最初のポイント、家庭教育とか男性一般の考え方について通研がどうこうはないなと思いますけれども。

☆　ダイバーシティ問題は、ただ私の私見を述べたまでです。

☆　国際的な評価ということについては、昨年外部評価をやったんですけれども、そ

れぞれの研究室で３人の評価員を決めていただいて、評価してもらうと。その中の１名は海外の方というふうに指定していると。そういう意味では、国際的な評価も実施しているということになります。ただ、所全体の評価に対して外国人の評価員にお願いしたことはありません。今後必要かもしれないと思います。

最後の話は、個人個人の問題と別に、分野によって論文数というのはかなり違って、我々の研究所、材料、デバイスからシステム、ソフトウェアまでというところで、そういう意味でのばらつきはもともとあります。その上で、個人によっても違うというのは当然違うんですけど、そこもなかなか、所内での個人評価というのは一応やっていて、分野の違いはあるにしてもいろいろな論文数とか被引用とかそういう数字も含めて評価はしています。

今の話でむしろ心配なのは、何らかの事情でメンタルの問題を抱えてしまうようなケースもないこともないと。そういうことがないようにというのは気をつけなければいけないなというふうに思います。

一般的に個人差があるというのはしようがなくて、どちらかというと採用するときに長く、若手の研究者であれば通研で活躍して、よりよいところに行く、あるいは通研の教授になって大きなプロジェクトを推進していただくということを選んでいくべきだと。それをもうちょっと、今までは研究室単位で、ほぼ教授の判断で任用していたりしますけれども、そこは将来的にはもう少し考えなきゃいけないんじゃないかなというふうには感じています。

☆　どうもありがとうございました。

★　ありがとうございます。
ほかにご意見ある方、いらっしゃいますか。
それでは、山口さん、お願いします。

☆　ちょっと話は変わりますけれども、長期的視点の研究力強化という話で、サバティカルの制度があるんだけど全く誰も使わないというようなお話が先ほどありました。今、我々の研究所でもサバティカル制度を導入していまして、例えば３か月であるとか１年であるとかそういう期間、海外の研究所に行って、新しいことを学んでくる。全く新しい研究を始める上で、この経験というのはものすごく大事なので、そういうのがぜひきっかけになってほしいというふうに思うんですけれども、大学の先生にお聞きすると、今大学の先生は皆さんものすごくお忙しくて、例えば３か月にしても行く時間をなかなか取れないと。例えば授業をどうやってほかの先生にお願いするかとかというところで、非常に個人ベースである程度調整をしているようなところがどうもある、間違っているかもしれませんが、あるという話で、そのあたりも含めて全体として少し、ここにも書いていますが業務をマネジメントして、ある程度例えば負担がなくなる、その３か月はやらなくて済むようなマネジメントみたいなものが本当は導入できるといいかと。

それともう一つは、帰ってきてからやっぱりスタートアップするわけですから、

新しい研究をスタートアップするためのサポートみたいなのがあると、非常に新しい研究の流れをつくるようなことができるのではないかというふうには思います。そのあたり、恐らくこれは今アンケートを取って調べられているというお話ですけれども、ぜひご検討いただければというふうには思います。

☆　ありがとうございます。

授業、講義等については、先ほど来出ているように一体運営の中でということで、通研だけで調整するのはなかなか難しい面もあって、そこは工学部、工学研究科、情報科学、医工学、関連の先生方と一緒に考えていければなというふうにも思っているところです。でも、最近は外部資金でバイアウトとかで講義負担のための、代替のための予算を取れるということなので、その辺は将来的には研究費を取って、自分は海外に行くというのは可能になってくるんじゃないのかなと思います。

所としては、３か月あるいは半年、いろいろな管理運営業務に関わらなくていいということはいくらでも言えるんですけれども、でもその辺は先ほど申し上げたようにあんまり所内の先生方に負担をかけているつもりもないので、そこは問題になっているとは思っていませんが、その辺はもうちょっと考える可能性はあります。

その後のスタートアップについては、資金的な援助については所としては何も言っていません。だから、それは一つ問題なんですが、そこまでしなくても皆さん自分でお金を取って行けるんだろうなというのが前提です。

☆　分かりました。ありがとうございます。

★　ありがとうございます。

たぶん今ご指摘になったことって、サバティカルを何のためにやるのっていうことなんだと思うんですね。それで、私たちのところでもそうなんですけれども、戻った後心配だみたいなのでなかなかそういう制度を使わないと。出かけたことがプラスになるという、そっち側の後押しとかその拡充というのをやっぱり考えないと、やっぱり安心して行けないという問題に結局なっちゃってるのかなというところがあるので、結構重要なご指摘じゃないかなと私自身はちょっと横からですけど感じました。

それでは、三谷さん、お願いします。

☆　ちょっと私から研究者の方の評価についてお聞きしたいんですけれども、研究成果の社会還元という意味で、例えば最近はオープンソースソフトウェアとかそういうコミュニティでの活躍とか、そういうことも非常に重要な技術の発展に役立つ活動ではないかなとか思ったりするのが一つ。

それからもう一つは、これは例えば次世代の通信規格、６Ｇ、Beyond５Ｇとかという話ももう動き始めているんだけれども、そういう中で標準化への関わり方とかというのは大学の先生ってどんな形で評価されるのか、またはそういう活動を今後していくのかどうかというところをちょっとお聞きしたいと思います。よろしくお

願いします。

☆　ありがとうございます。

先ほど申し上げた個人評価については、それぞれの先生方が自分で何をしたかという指標も含めて提出しているので、オープンソースでこれだけダウンロードしたというようなことをご自身の成果だと思えばそういうふうに書いていただけていると思います。ただ、現状でそういうものはそれほど多くないかなと。時々見かけるという程度です。評価するかしないかはもちろんそのソフトウェアのダウンロード数が、ちょっといくつだったら多いのか分からないですけれども、１万とか１０万とか１００万とかいうレベルだったら評価するなと、評価する立場になると評価するということになります。もちろんそれが論文何本分とかそういうのはよく分からないんですけれども、どういう意義があるかということも含めて個人評価で記述してもらえれば、それなりに評価できるんだろうというふうには思います。それは積極的に所としてどうこうということにはなってはいません。

標準化も同じだと思います。ご自身でこれだけ重要だということを言っていただければ、評価するほうとしては評価すると。先生方がどう考えているかというのは、それぞれの先生がどういう意識かというのは、ちょっと私はすぐには分かりませんけれども、もし今ご参加されている先生方で何かあればご発言いただければと思いますが、私自身はこれまでそういう話を聞いたときに、標準化はとても大変な話で、重要なんだけれども、大学での研究成果という意味ではあまり評価されないというようなコメントをしている先生の話は何度か聞いたことがあります。

☆　やはり今後世界的にも戦っていくためには、そういう基礎的な研究が標準化にはバックグラウンドとしては非常に重要になってくると思いますので、ぜひ積極的にというのはなかなか難しいかもしれないんですけれども、そういう標準化への寄与に関しても前向きに捉えていただければなというふうに私は思います。

私からは以上です。ありがとうございました。

☆　ありがとうございました。

★　ありがとうございました。

ちょっと私からも関連して、その評価の部分を、そういうところも評価しているというのをやっぱり外に出していただくことが重要かなと思います。何を言っているかというと、大学と産業界の人材の流動性が低いですね。ですから、今みたいなところに接点を太くしていくポイントがあるんじゃないかというふうに思うんですね。産業界の人は、大学に移ったときに「論文書かなきゃ」っていうのが敷居の高さになっている可能性があると。でも、今世の中でいえば先ほど出たようにオープンソースなんかがすごく重要になっていますし、だから大学の中での評価尺度も変わっているんだよねというようなところがやっぱり見えてほしいなというのが、私は個人的には今の発言に関連して言わせていただきたいと思います。

☆　ぜひ頭に入れておきたいと思います。
一方で、大学に対する国の評価とか、大学が部局を評価するときに、先ほどから出ているように論文指標とかにむしろ流れているというところもあるので、我々としてもそれに対応するということを、期待をしつつということかもしれませんけれども。

★　だとすると、産業界はそういう評価尺度をもっと変えなきゃいけないですよねというのを、産業界側から国に働きかけるというのは私たちの役割かもしれないですね。そういう意味ではね。

☆　そうですね。

★　ありがとうございます。
それでは、すみません、発言された方は手を挙げているのを下ろしていただけると助かります。
金丸さん、お願いします。

☆　どうもありがとうございます。
私からは、先ほど課題を３つほど出されたんですが、私は国立研究機関のほうに所属しておりますので、同じ悩みを持って運営されているんだなと思いました。
その中で、塩入先生が一番最初におっしゃった外部資金の件なんですけれども、私名前が金丸なのでお金の話をさせていただきますが、外部資金の獲得も増えて、頑張られているということなんですが、その増えているのは科研費とかＣＲＥＳＴとかそういったものであって、実は産業界の見返資金のところでも増えてはいますが、よくよく見ると年間１件当たり２００万円ぐらいということでずっと推移しているようです。
一方、国はオープンイノベーションを進めようということで、日本の研究開発費は１４兆円ぐらいありますけれども、そのうち公的研究機関にはたった０．７％しか行っていなくて、１，０００億円ぐらい。ほかの国と比べると、ドイツがたしか５～６％、中国でも３～４％ぐらいで、日本は極めて公的研究機関を産業界があまり使っていないというか、我々公的研究機関からするとたぶん魅力を感じていないんだろうなと。先ほどの議論にあった標準化なんていうのも一つ、そういう産業界から見た魅力のなさが出ているのかなと思っているんですが。
その中で、やはり産業界と組んでやっていく、産業界からお金を引き出していく、今の国の事情を考えると科研費、あるいはそういった公的な研究費が増えるということは当然もう期待できないですから、そうしますとやはり産業界からお金をいただいて一緒にやっていくという、こういうビジネスモデルを一つ考えなくてはならない。これは大学も我々も同じなんですけれども、そういうときに、ただ待っているだけではたぶん産業界からは来ていただけない。何か魅力を見せなければいけな

いということで、やっぱり産業界のニーズというか、それに取り組むような仕組みを研究所の中にも入れなくてはいけないんじゃないかと思います。

我々そういう問題意識を持って、５年前から取り組み始めて、研究者はやはり研究をやるのが本来の仕事ですから、そういった社会ニーズ、あるいは産業界のニーズに取り組むための人を増やして、研究者を支援するような、そういう体制を取り始めました。

たぶん東北大でもほかの部署で取り組みをされているんだと思います。私、東北大のＮＩＣＨｅのプロジェクトの評価委員もさせていただいて、そこでは外部資金で研究を進めるという、実用化を進めるためにやっていて、そこでは非常に厚い支援が得られているようなんですね。こういうものを同じ学内でやられているので、そういったノウハウとか支援を広げるとかそういう取り組みをされると、研究所としての運営も改善をしていかないのかなと思って、お伺いしていたんです。この辺いかがでしょうか。

☆　ありがとうございます。

まず、通研がこれまでどういうふうに民間との共同研究をしてきたかという話をすると、国プロを持ってきて企業と一緒に研究する、それが産学連携の主要な位置づけだったというのがここ最近までと。それはいつまでも続けられない環境にもあるし、それじゃいけないということで、産業界からの別の、数字上のというか、共同研究を進めなきゃいけないというのはそのとおりだと理解しています。

そのために我々何をしてきたかというと、一つは先ほど支援者としてＵＲＡ特任教授を任用してきました。ただ、なかなか成果につながらないというのは、どこが問題かも含めてちょっと整理できていない状況です。ＮＩＣＨｅがうまくいっているのも、特殊な組織なんだろうなということです。ＮＩＣＨｅの今のセンター長の長谷川先生と話すときには、そういうノウハウをほかの部局にも移すように、例えば何年か通研の先生がＮＩＣＨｅに所属して戻ってくるみたいな、そういうルートもあるのではないかというような話はしているところです。そういうことも可能性として考えていると。ただ、人件費減とか、将来の人口とかというところで、人の動きをあんまり考えられない状況というのは、ちょっと別の要因として難しさがあるというところです。

☆　一つご参考までに、我々も研究者が企業の研究者と共同研究をやるときの共同研究資金を議論するときに、やはり研究者ってそこら辺の交渉能力はないんですね。そうすると、自分の研究を評価していただいたということで、安売りになってしまう。これ言い方がちょっと下世話ですけど、２００万ですとほとんど企業側も本気度をあまり出してこないと。本当に社会実装していこうというときには企業側にも本気度を出させる。その分責任と期待が高まりますから、大変なんですけれども、そういったときの交渉術を持っている人が例えば１人いれば、それでもかなり変わってくるんじゃないかなと。我々はそういう人を内部で研究者からキャリアチェンジをさせてやったりとか、外部からそういった長けた人を入れてロールモデルにし

たりとかしていますので、大学と産総研では状況も違うかと思いますが、ご参考になればということで。

☆　ありがとうございます。参考にさせていただきたいと思います。
通研だけじゃなくて、学内にいろんな組織があるので、そういうところとも情報共有していけば、今おっしゃられたような方をうまく使っていけるかなとは思います。

☆　国際集積センターの遠藤先生はその能力が高い先生なので。

☆　遠藤先生はもういっぱいいっぱい、これ以上仕事頼めないって。

☆　遠藤先生のあのスキルはすごいと思います。

★　ありがとうございます。
たぶん私たちがやっている感じで言うと、課題設定とかビジョンの共有のレベルをどこまで高められるかという問題だと思うんですね。そこをしっかりやるということだと思います。企業側がどれだけ真剣になるかというのはそこで決まってくるというふうに思っているので、ぜひその観点でお考えいただくのが重要かなと思います。
それでは、次に中村祐一さんのほう、お願いします。

☆　金丸さんのおっしゃったことにちょっと関連するんですけど、去年もたぶん喜連川先生のときに同じことを申し上げたと思うんですが、いわゆる先生方が競争で資金を獲得するための時間がかなり取られていて、実際問題として研究にかなり時間が割けていないというのを私いろいろ見てきているんですね。東北大の中で特に。夜中の３時ぐらいにメールが来たりとか何とかするような状況で、もっとやっぱり研究に注力していただくためには、ＵＲＡのところの機能を強化しないといけないみたいな話をたぶん去年も差し上げたと思うんですね。今、先生方が退任されていて、新しい方を採用しなきゃいけないとかそういう議論をされているときに、先生方をそこで採用するのか、それともそういう競争的獲得資金をもっと良質のものをたくさん取ろうという前提の下に、ＵＲＡの方をもうちょっと増やすとかという人材のポートフォリオ、先生ばっかり増やすんじゃなくて、そちら側を少し強化しようみたいな、そういう考え方は持たれていますでしょうか。ＵＲＡはプレゼンではうまくいったけど、先ほどのご発言だとあんまりＵＲＡうまくいってないみたいなこともあったので、もしかしたらそこを増やしてもダメだっていうふうに考えられているのか、それともももうちょっとここで人材ポートフォリオを、研究者を少し減らしてでも何かやったほうがいいと思われているか、どっちなんですかね。

☆　産学連携についてということで、ＵＲＡ活動一般については大変うまくいってい

るということで、ちょっと曖昧な言い方で申し訳ありませんでした。

人件費をどう使うかというところについては、教員人件費をそういうところに使うというふうには私自身は考えたことがありませんでした。それはある意味で所掌する研究分野を減らす、既に減らさざるを得ない環境で、さらに減らしていくという判断はなかなかできないと思っています。大学のミッションで、お金を取るためにその研究分野を減らすというふうにも聞こえてしまうので、ちょっと考えにくいと。ただ、生き残るため、あるいはよりいい研究環境をつくるために必要だという視点に立てば、当然あり得る道かなというふうには思います。

☆　今たくさん先生が退職されている中で、いいチャンスだと思うのでぜひご検討いただければと思います。

☆　ありがとうございます。

★　ありがとうございます。

さっきと同じことを言うことになるんですけど、先生がお金を取りにいくという議論にしちゃいけないんだと思うんです。研究テーマを設定しに行かれる、その中でお金がついてくるという発想にならない限り、問題は解けないんじゃないかなと思っていまして、前半のチャットのところでやっぱり社会課題と大学の役割、産業界の役割というのは少しやり取りされてましたけど、その辺のところの在り方というのをしっかり考えていただくというのが重要かなと思います。

それでは、中村孝先生、お願いします。

☆　今日はいろいろ勉強させていただいて、私大阪大学といっても日が浅いので、大学分野のことはよく分からないんですけれども、やはりどちらかというと企業側、共同研究をやってきた企業側からいろいろ見て意見をさせていただきたいんですけれども、やっぱり企業は外的資金のところで、どうしても受託研究費とか給付金はすごく減っているなという印象が。私どもはずっと半導体の仕事をしてきたときに、やっぱり昔から半導体は西澤先生をはじめすごく東北大学というのは強烈に半導体の世界をリードしていたと。東北大学というのは非常に特殊な大学だというところで産業界からみんな見ていて、もう大手はこぞって東北回りをしているような状況でした。そういうようなところというのは、やっぱり東北の気質なのかなと思っていたんですけれども、やはり最近ちょっと減ってきているというのは寂しいなと思います。

先ほどからちょっと話があるように、科研費だとか配付型のお金というのは、それは一気に大きくなることはないと思いますので、やはり産業界からいかに金を取ってくるかというのが重要かと思うんですけれども、先ほどおっしゃったようにそれは研究者の先生が考えることではないのかなというふうに思います。やはり企業でもそうなんですけれども、先ほど人件費を減らすとかいう話、我慢しなきゃいけないときは我慢する、それは企業でもそうなんですけれども、我慢して縮こまった

ときに、次にじゃあどういうふうにジャンプアップするかというのを仕込んでおく時期でもあると思うんですよね。ですから、やっぱりお金という意味で、研究の内容というよりお金という意味で、十分な研究をするためにはやっぱり産業界から取ってくる。そのためには、産業界から求められるようなことを、先ほど言ったテーマ設定ですとか、今の研究を伸ばすとか、そういうようなところのマーケティングというのが非常に重要なのかなと。それを先生方にしてもらうというよりかは、何かそういうような組織があると、非常にそういう企業からお金を取ってくることもできるのかなと。ですから、先ほど言った遠藤先生とか非常にそういう素質があるのかなと。やっぱりある程度声が大きくて、エンターテインメント性があるほうがいいのかもしれないですけれども、たぶん桁でちょっと少ないと思うんですね。各企業が出す。本当にお付き合い程度、２００～３００万円って正直お付き合い程度だと思うんですよ。だから、本当にこれやりたいなと思ったら１桁上だと思います。ですから、そういうようなことを、かといってじゃあどうやったらいいのかという具体的な意見があるわけじゃないんですけれども、通研ってやっぱりすごくネームバリューが非常に高いので、先ほどちょっとチャットにも書いたんですけれども、情報通信というのは変革の時期にあって、日本をリードするような技術というのは通研の中にたくさんあると思うんですね。そういうのを掘り出して、産業界から金を、ちょっと言い方悪いですけど金を取ってくるような仕組みづくりをというのは、通研だったらできるのかなと思いますので、強烈なリーダーシップというのをやっぱり僕は東北大学の通研には期待したいなと思っております。

以上です。

☆　ありがとうございました。

★　よろしいですか。

声の大きさっていうのはたぶんビジョンということをおっしゃっているんだと思います。

では、関野先生、お願いします。

☆　先ほど来ＵＲＡのお話が出ておりましたが、恐らく東北大本体にも産学連携共創とかＵＲＡセクションってあると思うんですが、その本部系の機構とか組織とのこういう外部資金獲得の実質的な連携というのはどの程度進まれているんでしょうか。我々のところもやっぱり所内にもそういうセクション、ＵＲＡ的なところを持ちまして、本部にもあって、いろんなフェーズを分けて、探すところ、それから具体的にアクションを起こすところと、ある程度役割分けをしようとしているんですけれども、通研ではいかがでしょうか。

☆　通研ではというか、東北大学全体としてそういう組織化が進んでいるところで、実際に連携が進んでいます。本部経由で回ってきた案件で、共同研究が進んでいるという例もあります。ただ、むしろこれからもっとそこは進む、大学本部としても

進めたいという状況かと思います。

☆　ありがとうございました。
それからすみません、もう１点だけよろしいですか。

★　はい、どうぞ。チャットにすごい重要なことが書かれていました。

☆　そうなんです。実は今の産学連携にも関連するんですが、我々の大学も国際化というのを言われていまして、特に今アジア、留学生も含めて受け入れ等を強化しているんですけれども、一方で最近国際競争力とか、特に出口側だとやはり安全保障上の懸念というのがすごく今国でも言われ始めていまして、それが大学にもどんどん、我々のところにも下りてきている状態です。具体的に言うと、留学生を受け入れるときにかなり縛り付けが強くなったり、特に通研ですと情報関係、国際競争が非常に激しい場所で、恐らく基礎学術研究というフェーズであれば、そこはもう我々、学会、学術という観点ではそういう世界との競争というのはないと思っているんですけれども、一方で出口側を見たときに、そこは非常に大きな問題かなと思っているんですが、研究所ではそういうこと、将来構想とか対応というのは何かお考えになっていますでしょうか。

☆　現状については石山先生のほうが詳しいので。

☆　私通研の人間ではありますが、全学の、東北大学全体の安全保障輸出管理委員会の委員長を仰せつかっておりまして、東北大学の安全保障関係は一応私が責任者ということになっております。
ご存知かとは思いますけれども、東北大では１０年ほど前にちょっとしたちょんぼが、ちょんぼという言い方は変なんですが、ございまして、最終的に法律違反ではなかったんですけれども、国外に核開発に関する技術が留学生経由で漏れたのではないかという懸念が新聞記事になりまして、最終的に外為法違反は何一つなかったというのは確認できたんですけれども、それ以降、東北大は安全保障輸出管理に関しましては全国に先駆けて体制を整備しておりまして、ここはきちんと整備しております。
ただ、先ほどお話にあったような留学生が入ってくるときに縛り付けるという、そういった意味のことはできるだけ避けるように、東北大の国際競争力は下げないように、国際共同研究はより活発になるように、ただしこういう事実や物が国境を超えてしまうことは避けましょうという、そのフィルターだけをかけさせていただくという形で、これは経産省や外務省とも密接に連絡を取りながら進めているという状況でございます。
以上です。

☆　どうもありがとうございました。非常に参考になりました。

★　ありがとうございます。
だいぶ時間が迫ってきたんですが、あと前田さんと小林先生の手が挙がっているので、このお二人には発言をいただこうと思います。
では、前田さんお願いします。

☆　チャットにも書いたんですけど、時間切れになりそうだったので、ぜひお考えをお聞かせいただきたいと思います。
２４ページと２８ページを見ていると、企業との共同研究がどんどん増えているにもかかわらず、特許の出願数がどんどん減っているような傾向なんですけど、この理由は何か分析されていますでしょうか。もしくは我々産業界の体たらくというか責任なんでしょうか。ちょっとそのあたり、もしご見解があれば教えてください。

☆　特許関係については、これまでもこの運営協議会、あるいは昨年の外部評価委員会でも話題になって、大学が特許を持つ意味というのがあまりメリットがないように見えていると。どうすればいいのか分からない状況で、この件数を増やそうというモチベーションは今現状で持っていない、それがそれぞれの先生方の判断につながっているのかなというふうに思います。

☆　なるほど。一方、産業界、我々は特に対ＧＡＦＡ、対中国も含めて、知財戦略をどんどんどんどん強化すべきだということで、弊社もそうなんですけどどんどん強化しているところなので、ちょっとこのあたりは先生方とも連携しつつ、増やす方向でいかないと、たぶん国力が下がっていくと思いますので、ぜひそのあたりはもう一度考えを改めるような何か施策等をやっていただければいいかなと思いますので、ぜひよろしくお願いします。

☆　はい。そこは大学にとってどういうメリットがあるかというのをもう少し、どういう形の知財がメリットがあるかということなんだろうなというふうには思っているんですけれども、申請あるいは維持するだけでもそれなりの資金が必要で、それによって大学に入ってくるお金というのは、全国的に見てもそんなにうまくいっているケースというのは本当に稀だというところが一番の問題だというふうに認識しています。その辺が何か分かりやすいモデルがあるといいんだなと思うんですけれども。

☆　分かりました。ちょっと我々も悩んでみます。

☆　ぜひよろしくお願いします。

★　たぶん先ほどの産学連携の在り方の問題と、産学の連携がもうちょっと大きな形になっていったときに、知財を誰が持つのかという問題も含めて、ちょっとそのデ

ータの取り方ももう少し工夫しながら、本当にまさにおっしゃった競争力という観点で十分かというのがきっちり議論できるような形に、これは産業界と一緒に、諮り方も含めて少し議論させていただくというのが結構これから重要なことかなというふうに思います。

☆　はい。ぜひよろしくお願いします。

★　よろしくお願いします。
では、小林先生お願いします。

☆　チャットにも書いたんですけど、やはり私が一番気になったのは教員数が１０ぐらいここ数年で減っているということなんですけど、ぜひこれ以上減らないように死守していただきたいなと思ったんですけど、やはり教員数が減ると研究の人員だけの問題だけじゃなくて、教育や管理業務の一教員当たりの負荷が増えるので、ボディブローのように研究力の低下になっていくと思いますので、何とかしていただきたいということですね。
東大だと、今、部局で財源さえ出せばポストを買ってきたりとか、あと毎年１％拠出したりというのはあるんですけど、現状だとそれに見合う分だけの再配分のポストというのが、これはちょっと部局間の競争になるんですけど、獲得できるというふうになっていて、総数でいうとたぶん今ここ２～３年は減少が東大ではストップしている状態だと思うんですけど、そういった同様の制度は東北大ではあるんですかね。

☆　東北大は、人件費については部局に渡し切りになっているので。

☆　その渡し切りの人件費が減っていって、ほかの財源は使えないという状態。

☆　ほかの財源もあれば使えますけれども、大学に来る人件費自体が減っていて、研究力強化云々というのは使い道が決まっていて、必ずしも人件費に全部回るわけではないので、運営費はトータルで減ってませんというような言い方を国で言ったりするんですけれども、人件費に回すことができるお金はいずれにしても減っているんだと思います。だから、本部である程度支えができたとしても、それで何とかなるという話ではないので、ちょっと東大がどうやっているのか。

☆　今各部局では少し止まってきている状態で、まだちょっと東大も模索している状況なんですけれども。とにかく教員数を確保するというのがやはり重要かなというふうに思っております。

☆　現状では外部資金、物件費も使ってということで、維持するという方向しかないと思っています。

★　よろしいですか。
もう少し時間をいただいて、斉藤さん、お願いします。

☆　後半に産学連携についての議論がいろいろ出てきておりまして、非常に勉強させていただいております。ありがとうございます。
ここではやはり大学ということで、論文数であるとか、特許であるとか、そういうようなところが議論対象になってくる、そこは非常に分かりました。私個人としては、やはり底力というものが論文の数とか質に影響するというふうにも思うので、これは指標としてはこのとおりなんだろうなというふうに思う一方で、日本の国力とか産業力といったものをきちんと上げていくためには、海外との競争も含めてどうしたらいいんだろうというのをトータルに考えると、先ほど議論に出ている国際標準化というのをどういうふうに捉えるのかとか、あるいは大学での研究成果を産業の側がきちんと実装して、量産して、世に送り出すというような仕組みづくりというようなところ、この辺は指標にしづらいわけですけれども、こういうようなところというのをいかに企業、あるいは国とかもそうなんですかね、連携して進めていくために、新しい、今の時代はどういうような形で工夫をしていければいいんだろうかというようなところの議論がとても重要だなというふうに感じました。そこでちょっと意識されているところがあればお伺いしたいのと、あと今の話はコメントというか、そういうようなところを感じましたというところでございます。以上です。

☆　ありがとうございます。
外部資金獲得、産学連携は重要で、何とか共同研究を増やしたいともちろん思っていて、例えばＵＲＡの活動があったり、全学の組織、ＵＲＡ活動との連携ということもありますが、ちょっと今のお話でそれ以上どうすればいいのかというのが、あるいはそういうディスカッションをする場が大学と企業の間にほとんどないということなのかもしれないと思いつつ話を伺っていたんですが、先ほどもちょっと話が出てきた卓越大学院で企業の方に来ていただいて授業をやってもらうというのを電気・情報系でやっていて、そういう場での交流からもしかしたらそんなディスカッションが始まって、うまくいくといいなとか思ったりはしました。ちょっとそれ以上は、どうすればいいのか、どういうことが起こり得るのかということも含めて、今特に思い当たらないんですけれども。

☆　いろいろありがとうございます。
ここはやはり個々の分野であるとか、そこに関してどうしましょうかというようなところの話はそれぞれだと思うので、具体なところまで突っ込んだお話も含めて連携の密度をちょっと、こういう形になるんだろうなというふうに思うんですけれども、例えば先ほどのこの中の議論の例で言うと、例えば論文のソースに際しても、オープンソースを出さない、オープンソースを公開して、それが論文を通すための

登竜門になっているとかですね、これは結構ＡＩの分野で言えるところなのかなと思うんですけれども、やはり周りの状況の変化みたいなところもあって、我々も悩みながら、ちょっと仕組みをこういうふうに変えてみようかみたいなところをいろいろやっているところなんですけれども、個々、こういう動きに関して、今後もテーマに応じて議論を深めていきたいなというふうに思います。どうもありがとうございます。

☆　ぜひよろしくお願いします。

★　ありがとうございます。
ちょっと時間過ぎてるんですが、チャット等では発言いただいてるんですが、まだお声を聞いていないかなと思うので、丸山さんと岸本さんに一言ずついただいて終わりにしようかなと思います。
丸山さん、どうぞ。

☆　ありがとうございます。
２点、感じたことを。通研の中だとできるという話じゃないですけど、小林先生がおっしゃったように人件費が毎年マイナス１．６％が続いていくというのは、僕はやっぱり異常な話だと思います。これは何らかの形で声を上げないといけないかなと思います。
それから２点目として、これは江村さんがおっしゃっていたように、やはり産学の間の人材のローテーションというのは圧倒的に足りなくて、特にアカデミアにいらっしゃる方が、一度アカデミアに入るとそこである意味袋小路になって、アカデミアから出てこれないということが日本では起きがちのような気がします。もっとアカデミアでちょっと研究やって、次に企業へ行って研究をして、またアカデミアに戻ってくるというようなパスがもっと常態化するといいかなというふうに思いました。
以上でございます。

★　ありがとうございます。
丸山さんから知財の扱いの提案もいただいているので後で見ていただいて、これは産業界も含めて考えないといけないことかなと思います。
では、岸本さんお願いできますか。

☆　知財の扱い、特許の話と標準化の話に関わってくるんですけれども、今大きなシステムになってきているので、競争領域と協調領域をしっかり分けて考える、いわゆるオープンクローズの戦略というのが非常に大切になってきています。そうすると、もともとの研究成果も大事なんですけれども、やはりどこのところで産業を強化していくのかというのが必要になってきて、そこのところは産業界もしくはその橋渡しをしている国立研究所がやらなければいけないところだと思っています。大

学の先生にそれをお願いするのは、かなりいろいろ無理があるんじゃないかなと思いました。

★　ありがとうございます。では、産総研と通研の連携もぜひ具体的にやっていただけたらいいかなと。

☆　マッチングファンド等々ではお世話になっているところでございますけれども。

★　ああ、そうですか。

すみません、ちょっと司会の不手際で少し延びましたけれども、以上で議論を終わりたいと思いますけれども、何か発言しておきたい方、いらっしゃいますでしょうか。

よろしいですか。

では、運営協議会の議論の場はこれで終わりたいと思います。

皆さん本当にいろんな意見をいただいて、ありがとうございました。

それでは、マイクをお戻しします。

閉　会

－事務長－

それでは、最後に所長より御礼のご挨拶を申し上げます。

－塩入所長－

先生方、長い時間、活発なご議論ありがとうございました。いろいろ参考になるご意見をいただいて、毎年いただいていて、対応できることを考えて対応しているんですけれども、なかなか、伺っただけで何もできないでいるものもあって、今回もちょっと心苦しいなと思った面もあります。

今回の話でいうと、やっぱり企業との連携をどうするかというのはいろんな問題があって、大学の教員の考え方としては、教員によって違うにしても基本的に自分の研究をやりたいということになるので、その辺の中で、もしそれが社会実装につながれば、つなげたいと強く思っている先生方もいるし、そうでもない先生方もいると。それはある意味大学のいいところなんだろうというふうには思っていますけれども、大学の組織あるいは我々の研究所が自由な発想に基づく研究というのを続けられる場になる、それを確保、維持していくためにも、やっぱり何らかの形で資金をしっかり獲得していくというのが重要なので、ぜひ産学連携も進めていく必要があるんだろうなというふうに今日強くまた感じたところです。

最後に丸山様からお話があった企業との流動性云々という話は、大学から見ると例えばドクターの学生はあまり企業に就職できていないというところから始まってもいるのかなという気もします。その辺も含めて、将来的には産学連携の在り方ももう少し現状と違う方向に行って、大学ももう少し教員が、あ、こんなこと言っちゃいけない、生き生きしてと言おうと思ったけど今あんまり生き生きしてないみ

たいな話になると申し訳ないというか、申し訳ないというのは教員の皆さんに申し訳ないんですけれども、でもそういう面もあると思うので、大学がいいところだと、本当にいいところなんですけれども、ドクターへの進学率もあまり上がらない、下がっていたりしていることを考えると、魅力的な職場にするためにも今日ご議論いただいたことをちゃんとしっかり受け止めて、次のステップに続けていかなきゃいけないなというふうには思っているところです。

ということで、以上御礼の言葉ということで、閉会にしたいと思います。

ちなみに、この後我々しばらくここにいて、録画とかもしない状態で、もし皆様方まだ何か言い足りないことがあったらお伺いしようと思っています。本来でしたら懇親会があって、その場でインフォーマルな意見交換もできるということなんですけれども、オンラインだとなかなか難しいというかできないので、一応しばらくこのＷＥＢ会議を続けるということにしたいと思います。

今日はどうもありがとうございました。またよろしくお願いします。

－事務長－

ありがとうございました。

江村委員長はじめ委員の先生方から貴重なご意見をたくさんいただきまして、ありがとうございました。

運営協議会はこれで閉じさせていただきます。大変ありがとうございました。

# 資　料　編

# 第１　人　事

## １．教員

（人）

| 年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 教授 | 25(0)【1】 | 24(0)【1】 | 21(0)【1】 | 23(0)【1】 | 23(0)【1】 |
| 准教授 | 22(3)【1】 | 22(3)【1】 | 22(3)【1】 | 21(2)【1】 | 23(2)【1】 |
| 講師 | 0(0)【0】 | 0(0)【0】 | 0(0)【0】 | 0(0)【0】 | 0(0)【0】 |
| 助教 | 20(4)【0】 | 18(2)【0】 | 24(3)【2】 | 21(3)【3】 | 20(3)【4】 |
| 特任教授 | 1(0)【0】 | 1(0)【0】 | 1(0)【0】 | 2(0)【0】 | 2(0)【0】 |
| 特任助教 | 1(0)【0】 | 2(1)【0】 | 1(1)【0】 | 3(3)【0】 | 1(1)【0】 |

※（　）は外国人、【　】は女性で内数

## ２．客員外国人教員

（人）

| 年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 客員教授 | 7【0】 | 7【1】 | 6【2】 | 8【0】 | 0【0】 |
| 客員准教授 | 1【0】 | 5【0】 | 3【0】 | 2【1】 | 0【0】 |
| 計 | 8【0】 | 12【1】 | 9【2】 | 10【1】 | 0【0】 |

※【　】は女性で内数

## ３．客員教員

（人）

| 年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 客員教授 | 15(8)【0】 | 17(7)【1】 | 13(6)【2】 | 13(8)【0】 | 6(1)【0】 |
| 客員准教授 | 2(1)【0】 | 6(5)【0】 | 4(3)【0】 | 3(3)【1】 | 2(0)【0】 |
| 計 | 17(9)【0】 | 23(12)【1】 | 17(9)【2】 | 16(11)【1】 | 8(1)【0】 |

※上記2の客員外国人教員を含む（　）は外国人・【　】は女性で内数

## ４．非常勤研究員

（人）

| 年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | | 令和元年度 | | 令和２年度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 教育研究支援者 | 6(0)【1】 | 5(1)【0】 | 学術研究員 | 11(3)【1】 | 学術研究員 | 11(5)【0】 | 学術研究員 | 8(3)【1】 |
| 産学官連携研究員 | 6(0)【0】 | 1(0)【0】 | | | | | | |
| 研究支援者 | 4(2)【0】 | 3(1)【0】 | | | | | | |
| 計 | 16(2)【1】 | 9(2)【0】 | 11(3)【1】 | | 11(5)【0】 | | 8(3)【1】 | |

※雇用契約による研究員、（　）は外国人、【　】は女性で内数、

教育研究支援者（大学運営費・寄附金）、産学官連携研究員(共同研究費・受託研究費)

研究支援者（科学研究費補助金）

※教育研究支援者、産学官連携研究員、研究支援者は平成３０年度から学術研究員に名称が変更された。

## ５．各種研究員

（人）

| 年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2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 | 8 (0)【0】 | 3 (0)【0】 | 6 (1)【0】 | 4 (2)【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 | 2 (0)【0】 | 7 (0)【0】 | 11 (0)【0】 | 10 (0)【0】 | 10 (0)【0】 |
| 日本学術振興会特別研究員 | 10 (1)【1】 | 9 (3)【2】 | 10 (4)【1】 | 10 (3)【0】 | 10 (2)【1】 |
| 内訳　PD | 2 (0)【1】 | 3 (1)【1】 | 2 (2)【1】 | 0 (0)【0】 | 0 (0)【0】 |
| 内訳　DC | 8 (1)【0】 | 6 (2)【1】 | 8 (2)【0】 | 10 (3)【0】 | 10 (2)【1】 |
| 日本学術振興会外国人特別研究員 | 1 (1)【0】 | 2 (2)【1】 | 0 (0)【0】 | 1 (1)【0】 | 2 (2)【0】 |
| 日本学術振興会外国人招へい研究者 | 1 (1)【0】 | 1 (1)【0】 | 0 (0)【0】 | 0 (0)【0】 | 0 (0)【0】 |
| 計 | 23 (3)【1】 | 23 (6)【3】 | 28 (5)【1】 | 26 (6)【0】 | 26 (6)【1】 |

※雇用契約のない研究員、（　）は外国人、【　】は女性で内数

## ６．客員外国人教員（外国人研究員）　※令和２年度は実績なし

## ７．学術研究員　※令和２年度実績

| 氏　名 | 任用期間 | 研究内容 |
|---|---|---|
| 荒井　薫 | R2.4.1～<br>R2.6.30<br><br><br>R2.11.1～<br>R3.1.31 | ・共同研究「微小金属異物の検出」<br>・科学研究費助成事業 挑戦的研究（萌芽）<br>「配列化したサブミクロンアモルファル金属磁性微粒子における静的・動的磁気挙動の解明」<br><br>・共同研究「DCから50kHzまで高感度計測可能な逆磁歪型振動センサの研究」 |
| 井上　順一郎 | R2.4.1～<br>R3.3.31 | 戦略的創造研究推進事業（CREST）<br>「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」 |
| WU WEI | R2.4.1～<br>R3.3.31 | 科学研究費助成事業 基盤研究（A）<br>「自発的注意による視聴覚空間注意の制御」 |
| 佐々木　文憲 | R2.4.1～<br>R3.3.31 | 総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）<br>「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」 |
| 竹内　祐太朗 | R2.4.1～<br>R3.3.31 | 科学研究費助成事業 基盤研究（S）<br>「ノンコリニアスピントロニクス」 |
| 玉越　晃 | R2.4.1～<br>R3.3.31 | ・共同研究「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」<br>・戦略的創造研究推進事業（CREST）「スピンエッジコンピューティング向け革新的アーキテクチャ」 |
| 土肥　昂尭 | R2.4.1～<br>R2.8.31 | 科学研究費助成事業 基盤研究（S）<br>「ノンコリニアスピントロニクス」 |
| 守谷　哲 | R2.4.1～<br>R3.3.31 | 戦略的創造研究推進事業（CREST）<br>「スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤」 |
| ROY TUFAN | R2.4.1～<br>R3.3.31 | 戦略的創造研究推進事業（CREST）<br>「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」 |
| TEMGA JEAN | R2.9.1～<br>R2.10.14 | 総務省 電波資源拡大のための研究開発<br>「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」 |
| 王　怡昕 | R2.10.1～<br>R3.3.31 | 光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）<br>「光子数識別量子ナノフォトニクスの創成」 |

## 8. 学振特別研究員

| 氏　名 | 期　間 | 研究内容 |
|---|---|---|
| 細谷 友崇 | H30.4.1～<br>R3.3.31 | 巨大利得を有する光無線融合アクティブプラズモニックフォトミキシングデバイスの創出 |
| ＢＯＲＤＥＲＳ<br>Ｗｉｌｌｉａｍ | H31.4.1～<br>R3.3.31 | スピントロニクスシナプス・ニューロンの実現による人工神経回路網のフロンティア開拓 |
| 管 貴志 | H31.4.1～<br>R3.3.31 | 注入同期技術を用いたペタビット／秒級超多値・超大容量光伝送の実現 |
| 五十嵐 純太 | H31.4.1～<br>R3.3.31 | 微細磁気トンネル接合の直接的かつ多角的評価によるスピントルク磁化反転の統一的理解 |
| 大西　悠貴 | R2.4.1～<br>R5.3.31 | 知的生産作業の支援を促す動的壁面型デバイスによる視覚・聴覚情報伝達制御手法の探索 |
| 鈴木　朱羅 | R2.4.1～<br>R4.3.31 | 特異なロコモーション様式を発現するワニから切り拓く全身自由度の統御原理 |
| 伊東　燦 | R2.4.1～<br>R4.3.31 | トロイフリー暗号ハードウェアの高水準設計・検証手法の開拓 |
| 木村　光佑 | R2.4.1～<br>R4.3.31 | ディジタル信号処理を用いたコヒーレントナイキストパルス伝送の高度化に関する研究 |
| 篠崎　基矢 | R2.4.1～<br>R4.3.31 | 磁性体スピントロニクスに基づく色中心エンジニアリング |
| WANG XIYUE | R2.4.1～<br>R4.3.31 | 積み木型センサデバイスを用いた長期的な幼児の心理状態推定システム |

## ９．教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

（人）

| 転出先 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和２年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 企業 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 通研・教員 | 2 | 1 | 2 | 4 | 0 |
| 他部局・教員 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 他部局・産学官連携研究員、COEフェロー（令和元年度～：他部局・学術研究員） | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 他大学・高専教員 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 他大学ポスドク | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 国外大学・企業 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 帰国 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| その他 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 |
| 転出者計 | 5 | 5 | 7 | 7 | 5 |
| 在職者数 | 9 | 4 | 4 | 4 | 9 |

※　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 | | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 専任職員 | 技術職員 | 13【2】 | 13【3】 | 16【6】 | 15【5】 | 14【5】 |
| | 事務職員 | 14【3】 | 14【3】 | 26【16】 | 27【19】 | 28【20】 |
| | 再雇用職員 | 2【0】 | 1【0】 | 1【0】 | 2【1】 | 2【1】 |
| | 計 | 29【5】 | 28【6】 | 43【22】 | 44【25】 | 44【26】 |
| 非常勤職員 | 技術職員 | 12【8】 | 13【10】 | 14【10】 | 17【10】 | 18【12】 |
| | 事務職員 | 33【30】 | 33【31】 | 20【18】 | 25【22】 | 26【22】 |
| | 計 | 45【38】 | 46【41】 | 34【28】 | 42【32】 | 44【34】 |

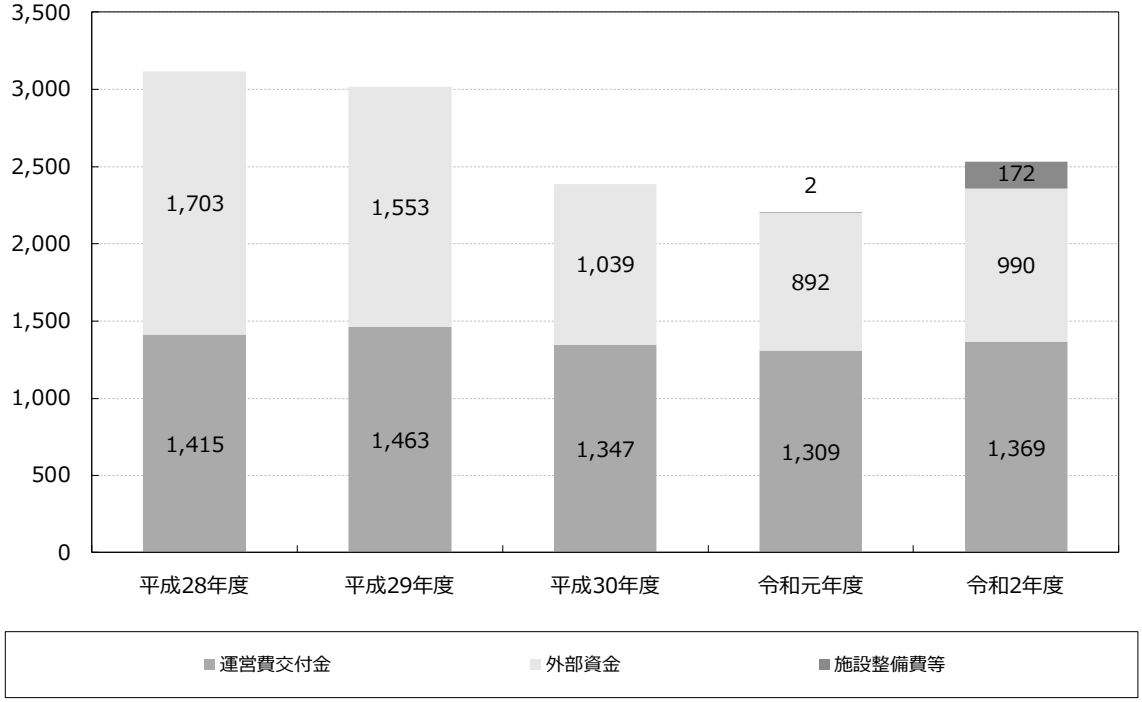
※【　】は女性で内数

※平成30年度より採用された限定正職員は「専任職員」に含む。

# 第2　予　　算

電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円



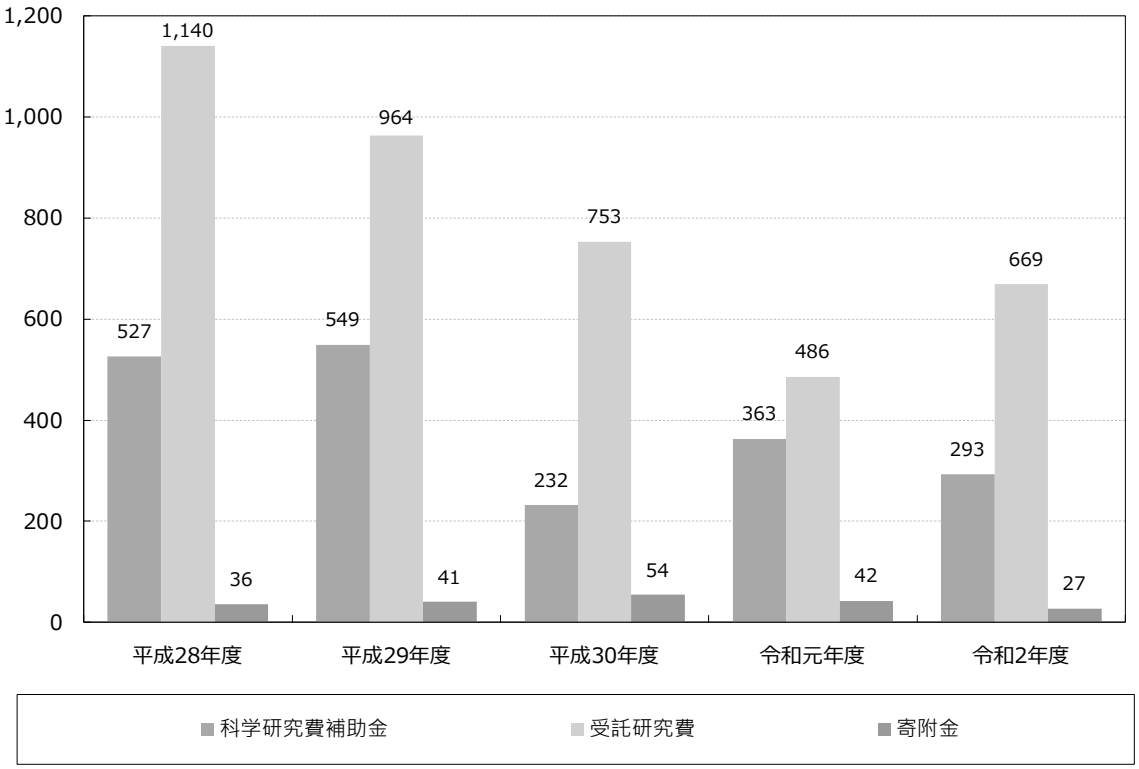

予算額内訳

単位：千円

| 事　項 | | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 運営費交付金 | 人件費 | 808,066 | 835,904 | 790,118 | 742,128 | 801,695 |
| | 物件費 | 606,599 | 626,824 | 556,937 | 566,533 | 567,249 |
| | 運営費交付金　計 | 1,414,665 | 1,462,728 | 1,347,055 | 1,308,661 | 1,368,944 |
| 外部資金 | 科学研究費補助金 | 526,718 | 549,034 | 231,643 | 363,325 | 293,404 |
| | 受託研究費 | 1,140,386 | 963,585 | 753,391 | 486,053 | 669,454 |
| | 寄附金 | 36,190 | 40,541 | 54,344 | 42,436 | 27,200 |
| | （再掲）間接経費 | 244,413 | 220,733 | 134,311 | 155,852 | 172,874 |
| | 外部資金 計 | 1,703,294 | 1,553,160 | 1,039,378 | 891,814 | 990,058 |
| 災害復旧経費 | | 0 | 0 | 0 | 1,936 | 172,477 |
| 移転事業経費 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 施設整備費 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 施設整備費等　計 | 0 | 0 | 0 | 1,936 | 172,477 |
| | 合　計 | 3,117,959 | 3,015,888 | 2,386,433 | 2,202,411 | 2,531,479 |

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28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 科学研究費補助金 | 526,718 | 549,034 | 231,643 | 363,325 | 293,404 |
| 受託研究費 | 1,140,386 | 963,585 | 753,391 | 486,053 | 669,454 |
| 寄附金 | 36,190 | 40,541 | 54,344 | 42,436 | 27,200 |
| 合計 | 1,703,294 | 1,553,160 | 1,039,378 | 891,814 | 990,058 |

# 第3　教　育

## １．学部学生・大学院生

（人）

| 区分 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| **学部（4年）** | 51（ 0）【 2】 | 57（ 0）【 3】 | 57（ 3）【 7】 | 49（ 1）【 5】 | 53（ 1）【 6】 |
| **大学院前期課程** | 137（15）【14】 | 141（19）【 9】 | 132（17）【 8】 | 132（16）【 7】 | 141（17）【 9】 |
| 工学研究科 | 90（ 9）【 4】 | 85（ 8）【 1】 | 73（ 6）【 0】 | 85（ 8）【 1】 | 92（11）【 4】 |
| 医工学研究科 | 5（ 0）【 0】 | 2（ 0）【 0】 | 8（ 0）【 1】 | 5（ 0）【 1】 | 9（ 0）【 1】 |
| 情報科学研究科 | 42（ 6）【10】 | 54（11）【 8】 | 51（11）【 7】 | 42（ 8）【 5】 | 40（ 6）【 4】 |
| **大学院後期課程** | 39（12）【 2】 | 39（15）【 3】 | 32（11）【 1】 | 30（ 8）【 1】 | 29（10）【 2】 |
| 工学研究科 | 28（ 8）【 0】 | 25（ 8）【 2】 | 21（ 6）【 1】 | 19（ 4）【 0】 | 17（ 6）【 0】 |
| 医工学研究科 | 1（ 0）【 1】 | 0（ 0）【 0】 | 1（ 0）【 0】 | 1（ 0）【 0】 | 2（ 0）【 0】 |
| 情報科学研究科 | 10（ 4）【 1】 | 14（ 7）【 1】 | 10（ 5）【 0】 | 10（ 4）【 1】 | 10（ 4）【 2】 |
| 計 | 227（27）【18】 | 237（34）【15】 | 221（31）【16】 | 211(25)【13】 | 223(28)【17】 |

※（ ）は外国人、【 】は女子学生で内数

## ２．留学生

（人）

| 区分 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 学部４年 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 |
| 大学院前期 | 15 | 19 | 17 | 16 | 17 |
| 大学院後期 | 12 | 15 | 11 | 8 | 10 |
| 計 | 27 | 34 | 31 | 25 | 28 |
| 地域別内訳 | | | | | |
| ①アジア | 20 | 28 | 27 | 21 | 22 |
| ②北米 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ③中南米 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| ④ヨーロッパ | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| ⑤オセアニア | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ⑥中東 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ⑦アフリカ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## ３．研究所等研究生・特別訪問研修生

（人）

| 区分 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 研究所等研究生 | 6(5) | 6(6) | 6(5) | 9(8) | 7(6) |
| 特別訪問研修生 | 2(2) | 2(2) | 6(6) | 5(5) | 0(0) |
| 計 | 8(7) | 8(8) | 12(11) | 14(13) | 7(6) |

## 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 | 伝送線路中の高周波電流可視化に関する研究 | 石田　竜太 | 石山　和志 |
| | ペンギンに学ぶ翼と頭部を活用した遊泳メカニズムに関する研究 | 小川　久介 | 石黒　章夫 |
| | 磁気を用いた新たなワイヤレス触覚提示手法の実現 | 佐野　友輝 | 石山　和志 |
| | MTJ/CMOSハイブリッドGPU向け高帯域幅・低消費電力なメモリシステムに関する研究 | 鈴木　智也 | 遠藤　哲郎 |
| | 低電力な動作認識モバイルシステム向けRNNとその量子化技術に関する研究 | 宋　一鳴 | 遠藤　哲郎 |
| | ムカデの不整地歩行に内在する自律分散制御則に関する研究 | 高野　俊輔 | 石黒　章夫 |
| | STT-MRAMのための高処理速度と高訂正能力な ECC アルゴリズムとその回路設計に関する研究 | 張　　力 | 遠藤　哲郎 |
| | 大容量STT-MRAMのRead Disturb特性を向上させるセルアレイ動作方式とセンスアンプ回路に関する研究 | 山田　洸平 | 遠藤　哲郎 |
| | GaN on Si パワーデバイスを用いたDCDCコンバータの高周波動作化・小型化に関する研究 | 山寺　和友 | 遠藤　哲郎 |
| 通信工学専攻 | 省電力・高精度NNに向けた不揮発メモリベースプロセッサの構成に関する研究 | 荒川　怜 | 羽生　貴弘 |
| | 光ナイキストパルス伝送における非線形光学効果の低減に関する研究 | 岩屋　太郎 | 廣岡　俊彦 |
| | 無線IoTセンサノード検出用5GHz帯Wi-Fiバックスキャッタシステムの研究 | 枝松　航輝 | 末松　憲治 |
| | キャッシュタイミング情報を用いた耐タンパー化公開鍵暗号ソフトウェアの安全性評価に関する研究 | 大澤　創紀 | 本間　尚文 |
| | テラヘルツ発振・検出デバイス実現に向けたグラフェンプラズモニックトランジスタデバイス・プロセス技術の研究 | 荻浦　大地 | 尾辻　泰一 |
| | 低遅延メモリセキュリティスキームとそのハードウェアに関する研究 | 小田　麻矢 | 本間　尚文 |
| | スピントルク発振素子を使った二層磁気記録に関する研究 | 斎藤　若 | 田中　陽一郎 |
| | CMOSインバーティブルロジックに基づくエッジ向けBCNN学習ハードウェアに関する研究 | シン　トッキュ | 羽生　貴弘 |
| | ゲート制御グラフェン二重層ナノ構造のデバイスプロセスとそのテラヘルツ機能応用に関する研究 | 菅原　大樹 | 尾辻　泰一 |
| | テラヘルツトランジスタレーザー実現に向けた高品質エピタキシャルグラフェン材料・プロセス技術の研究 | 諏訪　健斗 | 尾辻　泰一 |
| | DBF用光ファイバ給電ダイレクトディジタルRF送信機に関する研究 | 田村　涼 | 末松　憲治 |
| | 人体内外両用RFIDシステム用無線タグに関する研究 | 党　博文 | 末松　憲治 |
| | 車載向けセキュア通信プロトコルに対するサイドチャネル解析に関する研究 | 永戸　謙成 | 本間　尚文 |

| 専攻 | 論文題目 | 学生氏名 | 指導教員名 |
|---|---|---|---|
| 通信工学専攻 | InP系光電子融合ダブルミキサトランジスタ高性能化に向けたデバイス・プロセス技術に関する研究 | 西村　和樹 | 尾辻　泰一 |
| | 耐ソフトエラー性を有する数値表現に関する研究 | 藤井　大輝 | 本間　尚文 |
| | 即時に故障検知可能な暗号ハードウェアに関する研究 | 栁生　佑介 | 本間　尚文 |
| | 非相補時動作を保証した不揮発フリップフロップ回路とその応用に関する研究 | 山岸　源征 | 羽生　貴弘 |
| | チャネル推定と同期の不完全性を考慮したWiFi上り回線NOMAの研究 | 吉田　圭 | 末松　憲治 |
| 電子工学専攻 | ノンコリニア反強磁性Mn-Sn薄膜の作製と結晶構造・輸送特性の評価 | ユン　ジュヨン | 深見　俊輔 |
| | Study on Modular Reservoir Network with Spike-Timing Dependent Synaptic Plasticity for Pattern Recognition<br>（スパイクタイミング依存シナプス可塑性を実装したパターン認識向けモジュール型リザーバネットワークに関する研究） | 戴　一凡 | 佐藤　茂雄 |
| | 太陽電池パッシベーション膜・界面の品質評価に関する研究 | 柿川　賢斗 | 長　康雄 |
| | 光負帰還狭線幅半導体レーザ用Siリングフィルタ構造最適化の研究 | 相澤　元太 | 八坂　洋 |
| | 探針形状が強誘電ナノドメインドット形成に及ぼす影響に関する基礎的研究 | 石田　知嵩 | 長　康雄 |
| | 走査型トンネル顕微鏡発光スペクトル中の振動誘起構造の電磁気学的解析 | 岩岡　瞬 | 上原　洋一 |
| | 銀ナノキューブプラズモン増強場におけるナノスケール光物性に関する研究 | 岩堀　健 | 上原　洋一 |
| | 高精度周波数無相関光子対源およびその評価方法の開発 | 及川　憧 | 枝松　圭一 |
| | ニューロン間の局所相互作用に基づくリザーバ計算用教師なし学習モデルとそのアナログ回路実装に関する研究 | 加藤　達暉 | 佐藤　茂雄 |
| | 高精度電気光学スイッチングとその量子メモリへの応用の研究 | 金井　天馬 | 枝松　圭一 |
| | GaAs中の不純物中心に局在する励起子の過渡的光学応答 | 地主　将規 | 枝松　圭一 |
| | SNDM用絶縁膜付き探針の開発と層状構造化合物のキャリア分布評価に関する研究 | 高野　幸喜 | 長　康雄 |
| | L1O-MnAlを用いたヘテロ構造における界面ジャロシンスキー・守谷相互作用とスピン軌道トルクの評価 | 高松　将成 | 深見　俊輔 |
| | 機械学習を用いた強磁性半導体のキュリー温度予測に関する研究 | 田中　悠一朗 | 白井　正文 |
| | Material engineering toward efficient analog spin-orbit torque switching device<br>（高効率アナログスピン軌道トルク磁化反転素子の実現に向けた材料開発に関する研究） | DE ZOYSA KARUNATHILAKA VIHANGA | 深見　俊輔 |
| | ヘテロ構造立体加工による薄膜Siデバイスプロセスに関する研究 | 半澤　和也 | 佐藤　茂雄 |

| 専攻 | 論文題目 | 学生氏名 | 指導教員名 |
|---|---|---|---|
| 電子工学専攻 | 機械学習を用いたホイスラー合金／酸化物界面の物性予測に関する研究 | 山吉　諒 | 白井　正文 |
| | 走査トンネル顕微鏡発光スペクトル中の周期的微細構造に関する研究 | 和田　将斗 | 上原　洋一 |
| 情報基礎科学専攻 | 制御構造の正確な復元を目標とする逆コンパイル手法 | 今津　徹大 | 中野　圭介 |
| | 障害時に複製したサービスにおける復旧後のデータ統合に関する研究 | 大坂　優輝 | 長谷川　剛 |
| | 多様な利用者環境に適用するための抽象的な動作記述に基づくIoTサービス構成手法 | 和室　昂佑 | 長谷川　剛 |
| システム情報科学専攻 | 型付き関数型言語におけるより柔軟な外部データとの連携方式の研究 | 髙城　光平 | 大堀　淳 |
| | Investigating the size change of visual attention with steady state visual evoked potential<br>（定常的視覚誘発電位による注意の広さの研究） | CHEN GUANGYU | 塩入　諭 |
| | 手の周りの身体性注意に与える手の動作の影響 | 岩井　喬祐 | 塩入　諭 |
| | A Study of Reconfigurable VR HMD Enabling Ad-hoc Interaction with the Real World<br>（外界とのアドホックなインタラクションを実現する再構成可能なVR HMDに関する研究） | 遠藤　勇 | 北村　喜文 |
| | 音韻修復を指標とした方向性マスキングの空間依存性に関する研究 | 及川　隼平 | 坂本　修一 |
| | Designing a Dead-Angle-Free Magnetic 3D Motion Tracking System with Passive Markers using Multiple LC Coils with the Same Resonance Frequency<br>（同一の共振周波数を持つ複数のLCコイルを用いた死角のない磁気式3Dモーショントラッキングシステムの設計） | 大坂　侑平 | 北村　喜文 |
| | 分散マイクロホンアレイによる広領域音場収音技術に関する基礎的研究 | 片田　晃輔 | 坂本　修一 |
| | Control and Recognition Techniques for Designing Innovative High-dimensional User Interfaces<br>（革新的な高自由度ユーザインタフェースのための制御・認識技術） | CHIU PASCAL YIA<br>（キュウ パスカール イア フイ） | 北村　喜文 |
| | 脳波を用いた自発的注意計測 | 小林　司弥 | 塩入　諭 |
| | A Study on Posture Guidance by Actively Inclining the Seat of an Office Chair<br>（オフィスチェア座面の前傾角度変化を用いた姿勢誘導に関する研究） | 鈴木　蒼生 | 北村　喜文 |
| | A Study on Dynamic and Interactive Visualization for Performance Analysis of Multiclass Image Classifiers<br>（マルチクラス画像分類器の性能分析のための動的でインタラクティブな可視化に関する研究） | 卜　宏宇<br>（ボク　コウウ） | 北村　喜文 |
| | 評価者の顔表情特徴量を利用した画像の好み推定に関する研究 | 洞口　勇太 | 塩入　諭 |
| | 広輝度帯域視環境における質感知覚 | 渡邉　岳 | 塩入　諭 |

| 専攻 | 論文題目 | 学生氏名 | 指導教員名 |
|---|---|---|---|
| 応用情報科学専攻 | Secure and Stable Wireless LAN Roaming System for In-Flight Services | 郭　昊辰<br>(グオ ハオチェン) | 菅沼　拓夫 |
| | 日本語・中国語混在文書の高速・高精度文字認識に関する研究 | 小泉　惇平 | 菅沼　拓夫 |
| | 対話型コミュニケーション検出のための装着型センサに関する研究 | 伊藤　優樹 | 菅沼　拓夫 |
| | 発話情報を用いた対面型コミュニケーション検出手法に関する研究 | 上野　正義 | 菅沼　拓夫 |
| | 屋内での物体との関係に基づく映像による幼児の見守り手法 | 大貫　拓弥 | 菅沼　拓夫 |
| | OpenFlow環境におけるPacket-Inメッセージの特性に基づくポートスキャン検出手法に関する研究 | 小野　大地 | 菅沼　拓夫 |
| | 視認性の高い文字を呈示する投影型ARシステムに関する研究 | 数田　直之 | 菅沼　拓夫 |
| | ARにおける現実空間を考慮した仮想オブジェクト表示の高度化に関する研究 | 佐藤　充祥 | 菅沼　拓夫 |
| | 情報流通においてデータ提供への対価を決定する第三者エージェントを用いた自動交渉に関する研究 | 戸嶋　丈士 | 菅沼　拓夫 |
| | カオスニューラルネットワークリザバーのダイナミクス解析および3次元集積回路実装の検討 | 福田　佳祐 | 堀尾　喜彦 |
| 医工学専攻 | 光を用いた局所強磁性共鳴計測による磁気異方性の不均一性評価 | 齊藤　悠一 | 石山　和志 |
| | 超軟シリコーン樹脂を用いた神経細胞の生体模倣培養技術に関する研究 | 住　拓磨 | 平野　愛弓 |
| | 膜内電界制御に基づく人工脂質二分子膜イオンチャネル解析系に関する研究 | 佐藤　まどか | 平野　愛弓 |

(博士論文)

| 専攻 | 論文題目 | 学生氏名 | 指導教員名 |
|---|---|---|---|
| 電気エネルギーシステム専攻 | MTJ/CMOSハイブリッド技術によるGSLD妥当性評価指標を用いた高精度・低消費電力なアダプティブ画像クラスタリングプロセッサに関する研究 | 沈　　暉 | 遠藤　哲郎 |
| | Study on Body-limb Coordination Mechanism underlying Sprawling Locomotion (トカゲ様歩行に内在する全身自由度の統御原理に関する研究) | 鈴木　朱羅 | 石黒　章夫 |
| 通信工学専攻 | 大容量デジタルコヒーレント波長多重伝送の高度化に関する研究 | 管　貴志 | 廣岡　俊彦 |
| | 光無線融合アクティブプラズモニックフォトミキシングデバイスに関する研究 | 細谷　友崇 | 尾辻　泰一 |
| 電子工学専攻 | Development of Functional Bio-Hybrid Membranes Based on Lipid Bilayer Structure (脂質二重層構造に基づく機能性バイオハイブリッド膜の開発) | FENG XINGYAO | 平野　愛弓 |
| | Nonlocal Variable-strength Measurements of Qubits and Their Optical Implementation (量子ビットの非局所強度可変測定とその光学的実装) | VIDIL PIERRE | 枝松　圭一 |
| | 形状磁気異方性を用いた極微細磁気トンネル接合の磁化反転制御に関する研究 | 五十嵐　純太 | 深見　俊輔 |
| | Design and Fabrication of Stochastic Magnetic Tunnel Junctions for Probabilistic Computing (確率論的演算のための超常磁性磁気トンネル接合の設計と実現) | BORDERS WILLIAM ANDREW | 深見　俊輔 |
| | Ultra-low Dissipation Pendulum for Macroscopic Quantum Optomechanics (巨視的量子オプトメカニクスのための超低損失振子の研究) | CATANO LOPEZ, SETH BENJAMIN | 枝松　圭一 |
| | Development of a Composite Single Photon Source Using a Quantum-dot-Gold-nanorod Coupled System on an Optical Nanofiber (ナノ光ファイバ上の量子ドット一金ナノロッド系を用いた複合単一光子源の開発) | 菅原　大和 | 枝松　圭一 |
| 応用情報科学専攻 | 機械学習に基づく資源適応型映像配信サービスの高度化に関する研究 | 生出　真人 | 菅沼　拓夫 |

# 第４　研　究

## １．研究成果の掲載・公表状況

| 区　分 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| トピックス<br>（新聞記事等） | 69 | 55 | 65 | 48 | 33 |

## ２．トピックス一覧

| | 記　事　名 | 掲載年月日 | 出典 | 関係教員 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 仙台発祥の世界的発明品 | 2020/4/6 | 電波新聞 | 故　西澤　潤一<br>（名誉教授） |
| 2 | 若手研究者11人表彰　東北文化奨励賞を受賞 | 2020/6/10 | 河北新報 | 大塚　朋廣<br>（准教授） |
| 3 | 東北大、SOT-MTJ素子を用いた不揮発メモリチップの試作・実証に成功 | 2020/6/15 | 日経新聞電子版 | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授）<br>遠藤　哲郎<br>（CIES） |
| 4 | SOT-MRAM チップの動作実証に初めて成功<br>～読み書き同時処理機能の実装により、実用化に向け大きく前進～ | 2020/6/16 | 日本の研究.com | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授） |
| 5 | バーチャル開催のVLSIシンポジウム、自宅や仕事場で最先端の技術情報を入手 | 2020/6/16 | PC Watch | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授） |
| 6 | 東北大，スピンを用いたメモリチップを試作 | 2020/6/16 | OPTRONICS ONLINE | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授） |
| 7 | テレワークの課題、先端技術で解決 | 2020/6/17 | 日刊工業新聞 | 中沢　正隆<br>（電気通信研究機構） |
| 8 | 「世界初」SOT-MRAMチップの動作実証に成功、東北大 | 2020/6/18 | EETimes | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授） |
| 9 | 東北大、読み書きが同時に可能なデュアルポート型SOT-MRAMセルアレイの動作実証に成功 | 2020/6/18 | Impress PC Watch | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授） |
| 10 | 量子制御可能な巨視的振り子「エネルギー散逸が最小」東北大など開発 | 2020/6/19 | 科学新聞 | 枝松　圭一<br>松本　伸之<br>（FRIS・助教） |
| 11 | IEEE Events Reveal Future Memory And Storage | 2020/6/21 | Forbes | 羽生　貴弘<br>夏井　雅典<br>（准教授） |
| 12 | 電子スピン使い記録用チップ | 2020/7/14 | 日経産業 | 羽生　貴弘<br>遠藤　哲郎<br>（CIES） |
| 13 | 毎秒10テラ・高秘匿性　光通信ｼｽﾃﾑ 市販素子で暗号化 | 2020/7/15 | 日刊工業新聞 | 吉田　真人<br>（准教授）<br>中沢　正隆<br>（電気通信研究機構） |
| 14 | 室温で電池駆動によるテラヘルツ電磁波を増幅 | 2020/7/16 | 電波新聞 | 尾辻　泰一 |
| 15 | 『Yamagata 幸せデジタル化』有識者会議参加 | 2020/9/15 | 読売新聞 | 田中　陽一郎 |

| | 記　事　名 | 掲載年月日 | 出典 | 関係教員 |
|---|---|---|---|---|
| 16 | 東工大・産総研・東北大、高い強誘電性を有する窒化物強誘電体の薄膜化に成功 | 2020/9/19 | 日本経済新聞 | 長　康雄 |
| 17 | 東北大、シンプルな窒化ガリウム素子における量子ドットを観測 | 2020/9/24 | 日経新聞電子版 | 大塚　朋廣<br>（准教授） |
| 18 | 人工ニューロン素子、ゲート電圧で省エネ制御　東北大 | 2020/10/6 | 日刊工業新聞 | 深見　俊輔<br>金井　駿<br>（助教）<br>大野　英男<br>（総長） |
| 19 | 東北大など、窒化ガリウム素子内の量子ドット形成を観測 | 2020/10/8 | 日刊工業新聞 | 大塚　朋廣<br>（准教授） |
| 20 | 東北大、光を用いた超高速・低エネルギーでの薄膜磁石の制御手法を開発 | 2020/10/15 | 日経ニュースアーカイブ | 深見　俊輔<br>五十嵐　純太<br>（学振特別研究員）<br>大野　英男<br>（総長） |
| 21 | ニューノーマル社会を支える情報ストレージプラットフォーム | 2020/10/18 | ビジネス＋IT通信 | 田中　陽一郎 |
| 22 | 東北大、ハードウエア指紋認証の新方式開発　高効率・実装コスト半減 | 2020/10/27 | 日刊工業新聞 | 本間　尚文<br>上野　嶺<br>（助教） |
| 23 | 秋の叙勲　瑞宝中綬章 | 2020/11/3 | 河北新聞 | 水野　皓司<br>（名誉教授） |
| 24 | 秋の叙勲　瑞宝双光章 | 2020/11/3 | 河北新聞 | 荒井　完<br>（元 事務部長） |
| 25 | 大容量メモリー新素子実証 | 2020/12/8 | 河北新報 | 深見　俊輔<br>陣内　佛霖<br>（AIMR・助教） |
| 26 | 反強磁性材を電気制御 | 2020/12/24 | 日刊工業新聞 | 深見　俊輔<br>大野　英男<br>（総長） |
| 27 | 仙台フォトニックラティス | 2021/1/29 | 河北新報 | 川上　彰二郎<br>（名誉教授） |
| 28 | 製造コストを削減できるグラフェン製造法を開発 | 2021/2/8 | EE Times Japan | 吹留　博一<br>（准教授） |
| 29 | 極限時刻同期システム構築目指す | 2021/2/8 | 電波新聞 | 亀田　卓<br>（准教授） |
| 30 | 6Gに不可欠なTHzトランジスタの商用化を可能に | 2021/2/10 | 電波タイムズ | 吹留　博一<br>（准教授）<br>末光　眞希<br>（名誉教授） |
| 31 | Beyond５Gに不可欠なグラフェンの製造コストを100分の1以下に | 2021/2/18 | 電波新聞 | 吹留　博一<br>（准教授）<br>末光　眞希<br>（名誉教授） |
| 32 | パワー半導体米を日本追走 | 2021/3/1 | 日経産業新聞 | 遠藤　哲郎<br>（CIES） |
| 33 | 量子版インダクター　磁束変化の抵抗増幅 | 2021/3/5 | 日刊工業新聞 | 山根　結太<br>（FRIS・助教） |

３．科学研究費助成事業採択一覧（令和２年度研究代表者）

| 研究種目 | 氏名 | R2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 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基盤研究(S) | 羽生　貴弘 | 6,700 | 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 | H28 | R2 |
| | 長　康雄 | 16,200 | 151,200 | 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 | H28 | R2 |
| | 尾辻　泰一 | 22,700 | 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 | H28 | R2 |
| | 深見　俊輔 | 30,600 | 155,500 | ノンコリニアスピントロニクス | R1 | R5 |
| 基盤研究(A) | 本間　尚文 | 7,800 | 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 | H29 | R2 |
| | 北村　喜文 | 9,900 | 34,300 | 磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用 | H30 | R2 |
| | 塩入　諭 | 6,600 | 35,900 | 自発的注意による視聴覚空間注意の制御 | R1 | R3 |
| | 堀尾　喜彦 | 7,500 | 34,300 | 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基盤の構築 | R2 | R6 |
| | 栗木　一郎 | 9,000 | 34,500 | 色情報の脳内処理過程と知覚との対応 | R2 | R5 |
| 基盤研究(B) | 杤　修一郎 | 3,700 | 13,100 | 磁場を用いたワイヤレスハプティックインタフェースの開発とその応用 | H30 | R2 |
| | 山本　英明 | 2,700 | 13,400 | 人工神経細胞回路の複雑ダイナミクスに基づく時系列情報処理とそのモデル化 | H30 | R3 |
| | 八坂　洋 | 1,900 | 13,800 | 広帯域低位相雑音半導体レーザ光源実現への挑戦 | R1 | R3 |
| | 横田　信英 | 2,200 | 13,900 | 面発光レーザのスピン偏極電子密度制御に基づくベクトル変調技術の開発 | R1 | R3 |
| | 吹留　博一 | 2,600 | 13,800 | 二次元電子系素子の界面電子状態の時空間変化の機構解明と素子特性向上 | R1 | R3 |
| | 坂本　修一 | 4,400 | 13,200 | 人と場の相互作用を考慮した知的感性活動を支える聴空間創出基盤技術の確立 | R1 | R4 |
| | 三森　康義 | 10,300 | 14,100 | 半導体中の局在電子分極の局所電場効果を利用する不可識別光子発生 | R2 | R4 |
| | 金井　駿 | 5,100 | 13,700 | 強磁性体ナノウィンドウによる色中心スピン対のもつれ制御 | R2 | R4 |
| | 田中　陽一郎 | 4,000 | 13,200 | 大規模神経構造可視化を実現するコンピュテーショナル・ストレージ技術の研究開発 | R2 | R5 |
| | 山末　耕平 | 5,600 | 13,500 | 走査型非線形誘電率顕微鏡による原子層材料・デバイスのナノ・原子スケール物性評価 | R2 | R5 |
| 基盤研究(C) | 中野　圭介 | 800 | 3,400 | 定式化された形式木言語理論に基づくソフトウェア基盤技術の開発 | H29 | R2 |
| | 佐藤　昭 | 800 | 3,400 | 二次元周期回折構造を有するプラズモニックTHzディテクタの研究 | H30 | R2 |
| | 平永　良臣 | 900 | 3,400 | SNDMを用いた誘電率ナノイメージング手法の開発と材料・デバイス評価への展開 | H30 | R2 |
| | 大堀　淳 | 700 | 3,300 | 超並列技術をML系高信頼言語SML#に統合した超並列関数型言語の実現と最適化 | H30 | R3 |
| | 浅田　和之 | 700 | 2,200 | プログラミング言語の普遍的モデルとプログラム推論 | H30 | R2 |
| | 菊池　健太郎 | 500 | 2,800 | 先進的な高階書き換え理論に基づく遅延評価関数型プログラムの検証 | R1 | R4 |
| | 上野　雄大 | 500 | 3,300 | マルチコア並列計算に対応した関数型言語処理系の実現 | R1 | R4 |
| | 長谷川　剛 | 1,300 | 3,300 | Beyond 5Gのためのモバイルコアネットワークアーキテクチャの確立 | R1 | R3 |
| | 馬　奕涛 | 400 | 2,800 | p-MTJに基づく超低電力不揮発ニューロモーフィックアーキテクチャの確立 | R1 | R3 |

| 研究種目 | 氏名 | R2年度交付額（千円） | 補助金総額（千円） | 研究課題名 | 採択年度 | 終了年度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 挑戦的研究（開拓） | 尾辻　泰一 | 5,400 | 19,800 | グラフェンディラックフェルミオンのプラズモン異常不安定性とそのテラヘルツ機能応用 | H30 | R3 |
| 挑戦的研究（萌芽） | 三森　康義 | 1,600 | 4,900 | ヘテロダイン検波を利用するスピンイメージングシステムの開発 | R1 | R2 |
| | 片野　諭 | 2,300 | 4,900 | 多元STMスペクトロスコピーで解き明かされる酸化グラフェンのナノ光電子物性 | R2 | R4 |
| | 高嶋　和毅 | 1,800 | 4,900 | 視聴覚情報の伝搬を制御可能な動的ワークプレイス構築基盤 | R2 | R4 |
| 若手研究 | 福原　洸 | 1,800 | 3,300 | 現存生物に内在する自律分散制御則から切り拓く古生物の運動様式の革新的再現手法 | R1 | R2 |
| | 羽鳥　康裕 | 1,300 | 3,200 | 光景が持つ時空間構造の脳内表現が知覚に与える影響 | R1 | R3 |
| | 但木　大介 | 1,500 | 2,400 | 高効率薬物スクリーニング系構築のためのアレイ型シリコンチップの開発 | R2 | R3 |
| | 上野　嶺 | 400 | 2,300 | 物理複製困難ハードウェアIDに基づく高安全・高信頼な認証システムの開発 | R2 | R5 |
| 研究活動スタート支援 | ＹＬＩＭＡＥＹＲＹ　ＶＩＬＬＥ | 1,100 | 2,200 | Development of Tamper-resistant Post-Quantum Cryptographic Hardware | R1 | R2 |
| | 竹内　祐太朗 | 1,100 | 2,200 | ノンコリニア反強磁性体のスピントルク誘起ダイナミクスの解明とその応用 | R2 | R3 |
| 国際共同研究強化(B) | 加納　剛史 | 5,000 | 14,100 | バクテリアのバイオフィルム形成現象から切り拓く超サバイバルシステムの革新的設計論 | R1 | R4 |
| | 金井　駿 | 5,900 | 14,100 | 磁気トンネル接合への色中心の導入と量子状態の電気的制御 | R1 | R3 |
| | 藤田　和之 | 4,200 | 14,100 | 適応的な触覚提示によるVR体験の没入感向上と動作範囲の削減 | R1 | R4 |

※基金分については2020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28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 民間等との共同研究 | 件数 | 34 | 39 | 43 | 41 | 46 |
| | 金額 | 32 | 74 | 88 | 80 | 185 |
| 受託研究 | 件数 | 24 | 16 | 19 | 24 | 21 |
| | 金額 | 429 | 180 | 187 | 218 | 274 |
| 奨学寄付金 | 件数 | 36 | 30 | 36 | 19 | 16 |
| | 金額 | 36 | 41 | 54 | 42 | 27 |

## ５．受賞・表彰件数

| 区　　分 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 叙勲・受賞・表彰 | 50 | 52 | 50 | 49 | 43 |

## 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・<br>令和2年度科学技術分野の<br>文部科学大臣表彰<br>「科学技術賞（研究部門）」 | 枝松　圭一 | 量子光情報工学 | 業績名：<br>「光子を用いた量子もつれ量子計測不確定性関係の研究」 | 令和2年4月7日 |
| 文部科学省・<br>令和2年度科学技術分野の<br>文部科学大臣表彰<br>「若手科学者賞」 | 鬼沢　直哉 | 新概念VLSIシステム | 業績名：<br>「確率的コンピューティングに基づく脳型情報処理システム研究」 | 令和2年4月7日 |
| 公益社団法人<br>船井情報科学振興財団・<br>2019年度船井研究奨励賞 | 上野　嶺 | 環境調和型<br>セキュア情報システム | 業績名：<br>「ガロア体算術アルゴリズムの形式的設計手法の開発とその暗号ハードウェア設計への応用」 | 令和2年4月8日 |
| 【団体名】<br>Sensors and Materials Journal<br>【賞名】<br>S&M Young Researcher Paper Award 2020 | 金　觀洙 | 固体電子工学 | 論文題目：<br>「Direct Formation of Solution-based Al2O3 on Epitaxial Graphene Surface for Sensor Applications」<br>著者：<br>金觀洙、吹留博一、末光眞希 | 令和2年4月10日 |
| 公益財団法人インテリジェント・<br>コスモス学術振興財団・<br>第19回インテリジェント・<br>コスモス奨励賞 | 大塚　朋廣 | 量子デバイス | 「半導体ナノ構造中電子状態の解明と量子デバイスへの応用」 | 令和2年5月11日 |
| 総務省・<br>第70回「電波の日」総務大臣表彰 | 中沢　正隆 | （電気通信研究機構<br>(ROEC)） | 光通信技術の研究開発に長年にわたり取り組み、光通信の高度化に尽力し、情報通信の発展に寄与するとともに、東日本大震災の教訓を踏まえた災害に強い情報通信ネットワークや光・無線融合ネットワークの研究開発を推進するなど、電波利用の推進に多大な貢献をした。 | 令和2年6月1日 |
| 東北大学工学部電気情報物理工学科 Step-QIスクール・<br>2019年度アドバンス創造工学研修<br>「2019 Best Poster Award」 | 武藤　由依 | 量子デバイス | 研究テーマ：<br>「津軽方言音声認識のためのWebからの方言資源獲得」 | 令和2年6月4日 |
| 一般社団法人<br>電子情報通信学会・<br>非線形問題研究会<br>2019年度奨励賞 | 織間　健守 | ソフトコンピューティング集積システム | 受賞論文：<br>「蝸牛に基づく能動的無反射伝送線路モデルのパラメータ値の決定手法」 | 令和2年6月6日 |
| 日本ソフトウェア科学会・<br>第36回大会高橋奨励賞(2019) | 大堀　淳 | ソフトウェア構成 | 「SML#の動的型付け機構」 | 令和2年9月10日 |
| 日本ソフトウェア科学会・<br>第24回研究論文賞（2019年度） | 上野　雄大<br>大堀　淳 | ソフトウェア構成 | 「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」<br>逢坂 美冬, 上野 雄大, 大堀 淳, Vol. 35, No. 3 (2018) | 令和2年9月10日 |
| 電子情報通信学会・<br>ELEX Best Paper Award | 平田　綾也<br>廣岡　俊彦<br>吉田　真人<br>中沢　正隆 | 超高速光通信<br>（電気通信研究機構<br>(ROEC)） | 「Wavelength-tunable sub-picosecond optical switch over entire C-band using nonlinear optical loop mirror」 | 令和2年9月15日 |
| 日本バーチャルリアリティ学会・<br>論文賞 | 林　大悟<br>藤田　和之<br>高嶋　和毅<br>北村　喜文 | 情報コンテンツ | 林大悟, 藤田和之, 高嶋和毅, Robert W. Lindeman, 北村喜文. Redirected Jumping: VRにおける跳躍動作時の移動量操作手法. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, Nol. 4, pp. 341-350, 2019年12月. | 令和2年9月17日 |

研　究

| 団体名・賞名 | 氏名 | 所属 | 業　績 | 受賞日 |
|---|---|---|---|---|
| 2020年応用物理学会・<br>秋季学術講演会<br>第14回英語講演奨励賞 | 五十嵐　純太 | スピントロニクス | ″Energy barrier of X/1X-nm shape-anisotropy magnetic tunnel junctions at high temperature″ | 令和2年10月29日 |
| 電気学会・<br>令和2年電気学会全国大会<br>優秀論文発表賞 | 佐野　友輝 | 生体電磁情報 | 論文発表：<br>「3次元磁場ベクトルと永久磁石を用いたワイヤレス触覚提示手法に関する検討」 | 令和2年10月30日 |
| 一般社団法人日本物理学会・<br>第15回（2021年）日本物理学会<br>若手奨励賞 | 金田　文寛 | （学際フロンティア研究所(FRIS)） | 対象研究：<br>「高効率単一光子発生、量子もつれ、不確定性関係の研究」 | 令和2年11月1日 |
| OECC 2020・<br>Best Student Paper Award | 渡邊　碧 | 超高速光通信 | 受賞論文：<br>″12.8 Tbit/s (10 ch, 1.28 Tbit/s) OTDM-WDM Transmission of 320 Gbaud PDM-DQPSK Optical Nyquist Pulses over 1500 km″<br>(A. Watanabe, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa) | 令和2年11月5日 |
| 公益社団法人応用物理学会・<br>第49回（2020年秋季）<br>応用物理学会<br>講演奨励賞 | 五十嵐　純太 | スピントロニクス | 講演題目：<br>″Energy barrier of X/1X-nm shape-anisotropy magnetic tunnel junctions at high temperature″ | 令和2年11月12日 |
| 一般財団法人石田實記念財団・<br>2020年度研究奨励賞 | 夏井　雅典 | 新概念VLSIシステム | 研究テーマ：<br>「スピントロニクスベース省エネルギー・高性能・高信頼LSI設計技術に関する研究」 | 令和2年11月13日 |
| 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications・<br>Student Paper Award | 福田　佳祐 | ソフトコンピューティング集積システム | 受賞論文：<br>″Cyclic Reservoir Neural Network Circuit for 3D IC Implementation″ | 令和2年11月19日 |
| 日本比較生理生化学会・<br>第42回大会発表論文賞<br>会長賞 | 安井　浩太郎<br>加納　剛史<br>石黒　章夫 | （学際フロンティア研究所(FRIS)）<br>実世界コンピューティング | 受賞発表タイトル：<br>″Towards understanding adaptive motor control mechanisms underlying walking and swimming in centipedes″<br>本賞は日本比較生理生化学会の年次大会において、最も優れた研究発表を行った者に対して与えられるものです。 | 令和2年11月23日 |
| ICETC 2020・<br>Best Paper Award | 木村　光佑<br>岩屋　太郎<br>吉田　真人<br>葛西　恵介<br>廣岡　俊彦<br>中沢　正隆 | 超高速光通信<br>（電気通信研究機構(ROEC)） | 受賞論文：<br>″BER performance improvement of ultrahigh-speed coherent Nyquist pulse transmission using low-nonlinearity, dispersion-compensated transmission line with chirped FBG and LCoS″ | 令和2年12月4日 |
| 東北管区警察局・<br>インテリジェント・<br>第一回セキュリティ<br>フォレンジックワークショップ<br>セキュリティ技術<br>コンテスト第三位 | 篠﨑　基矢<br>武藤　由依 | 量子デバイス | 東北管区警察局の主催する第一回セキュリティフォレンジックワークショップでの、ウェブセキュリティやフォレンジクス、ログ解析の技術を競うセキュリティ技術コンテストにおいて、第三位入賞しました。 | 令和2年12月19日 |
| 一般社団法人電子情報通信学会・<br>2020 年電気関係学会<br>東北支部連合大会<br>電子情報通信学会<br>東北支部学生優秀論文賞 | 加藤　諒 | 新概念VLSIシステム | 受賞論文：<br>「大規模インバーティブルロジック回路実現へ向けた設計自動化手法」 | 令和2年12月23日 |
| 第27回International Display Workshop（IDW ‘20）・<br>IDW ’20 Best Paper Award | 原澤　賢充<br>塩入　諭 | 高次視覚情報システム | 受賞論文：<br>「A study on preference of physical size of motion pictures by methods of experimental psychology」<br>（著者：原澤賢充，澤畠康仁，宮下山斗，小峯一晃，塩入諭） | 令和2年12月25日 |

| 団体名・賞名 | 氏名 | 所属 | 業　績 | 受賞日 |
|---|---|---|---|---|
| 多値論理研究会・<br>貢献賞 | 本間　尚文 | 環境調和型<br>セキュア情報システム | 本賞は、多値論理研究において顕著な貢献をした個人に贈呈されるものです。 | 令和3年1月9日 |
| 一般社団法人電子情報通信学会・<br>電子情報通信学会<br>情報セキュリティ研究会<br>暗号と情報セキュリティ<br>シンポジウム 2021<br>情報セキュリティ研究奨励賞 | 大澤　創紀 | 環境調和型<br>セキュア情報システム | 受賞研究内容：<br>「指数ブラインディングされたSliding Window法を用いたCRT-RSAに対するサイドチャネル攻撃に関する検討」 | 令和3年1月19日 |
| 日本視覚学会・<br>2021年冬季大会<br>ベストプレゼンテーション賞 | 小林　司弥 | 高次視覚情報システム | ポスター発表：<br>「脳波を用いた自発的注意変化測定の検討」 | 令和3年1月22日 |
| 山梨県中央市・<br>市民栄誉賞 | 中沢　正隆 | （電気通信研究機構<br>(ROEC)） | 光通信技術の研究開発を長年にわたり取り組み、 光通信の高度化に尽力し、情報通信の発展に寄与するとともに、東日本大震災の教訓を踏まえた災害に 強い情報通信ネットワークや光・無線融合ネット ワークの研究開発を推進するなど、電波利用の推進に多大な貢献をされた。 | 令和3年2月21日 |
| 公益財団法人丸文財団・<br>第24回（令和2年度）<br>丸文研究奨励賞 | 深見　俊輔 | スピントロニクス | 受賞論文：<br>「トンネル磁気抵抗素子を用いた確率論的コンピューターの原理実証」 | 令和3年3月3日 |
| 電子情報通信学会<br>エレクトロニクスソサイエティ・<br>活動功労表彰 | 夏井　雅典 | 新概念VLSIシステム | 業績：<br>「集積回路研究専門委員会幹事としての貢献」<br>本賞は、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティにおける事業企画または参画により、本ソサイエティの活性化に多大な貢献をされた功労者に贈呈されました。 | 令和3年3月9日 |
| 一般社団法人電子情報通信学会・<br>2020年度電子情報通信学会<br>学術奨励賞 | 木村　光佑 | 超高速光通信 | 受賞論文：<br>「単一チャネル15.3 Tbit/s-150 km, 64 QAM コヒーレントナイキストパルス伝送」（木村光佑・吉田真人・岩屋太郎・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆）<br>世界で初めて単一チャネル15 Tbit/sの伝送速度で150 kmに及ぶ超高速伝送を高い周波数利用効率で達成した結果が評価されました。 | 令和3年3月11日 |
| 一般社団法人電子情報通信学会・<br>2020年度電子情報通信学会<br>学術奨励賞 | 町井　大輝 | 先端ワイヤレス通信技術 | 2019年度電子情報通信学会<br>総合大会での論文発表：<br>「小型アンテナモジュールを用いた5 GHz帯Wi-Fiバックスキャッタ通信における受信電力の測定」<br>2020年度ソサイエティ大会での論文発表：<br>「小型アンテナモジュールを用いた5GHz帯Wi-Fiバックスキャッタシステムにおける回線設計と受信電力測定」 | 令和3年3月11日 |
| 一般社団法人電子情報通信学会・<br>フェロー | 末松　憲治 | 先端ワイヤレス通信技術 | 「小形端末用Si-RFIC技術の開発とその先駆的無線システムへの応用」の貢献により、電子情報通信学会からフェロー称号を授与されました。 | 令和3年3月11日 |
| 一般社団法人日本音響学会・<br>第8回（2020年度）日本音響学会<br>学会活動貢献賞 | 坂本　修一 | 先端音情報システム | この学会活動貢献賞は、本学会の学会活動の活性化に多大な貢献があった若手の正会員又は学生会員に贈呈されます。 | 令和3年3月11日 |
| 一般社団法人情報処理学会・<br>第 25 回一般社団法人情報処理学会<br>シンポジウム<br>「インタラクション 2021」<br>インタラクティブ発表賞<br>(PC 推薦) | 遠藤　勇<br>高嶋　和毅<br>井上　理哲人<br>藤田　和之<br>北村　喜文 | 情報コンテンツ | 遠藤 勇, 高嶋 和毅, 井上 理哲人, 清川 清, 藤田 和之, 北村 喜文. 「周辺とのアドホックなインタラクションを実現する再構成可能なVR HMD」, インタラクション2021論文集, pp 271-273, 2021年3月 | 令和3年3月12日 |
| 電子情報通信学会・<br>電子情報通信学会東北支部<br>優秀学生賞 | 小林　奎斗 | スピントロニクス | 電子情報通信学会東北支部が所管する大学及び高専等に所属し、電子工学及び情報通信の将来を担いうる優秀な学生に授与される。 | 令和3年3月18日 |

研　究

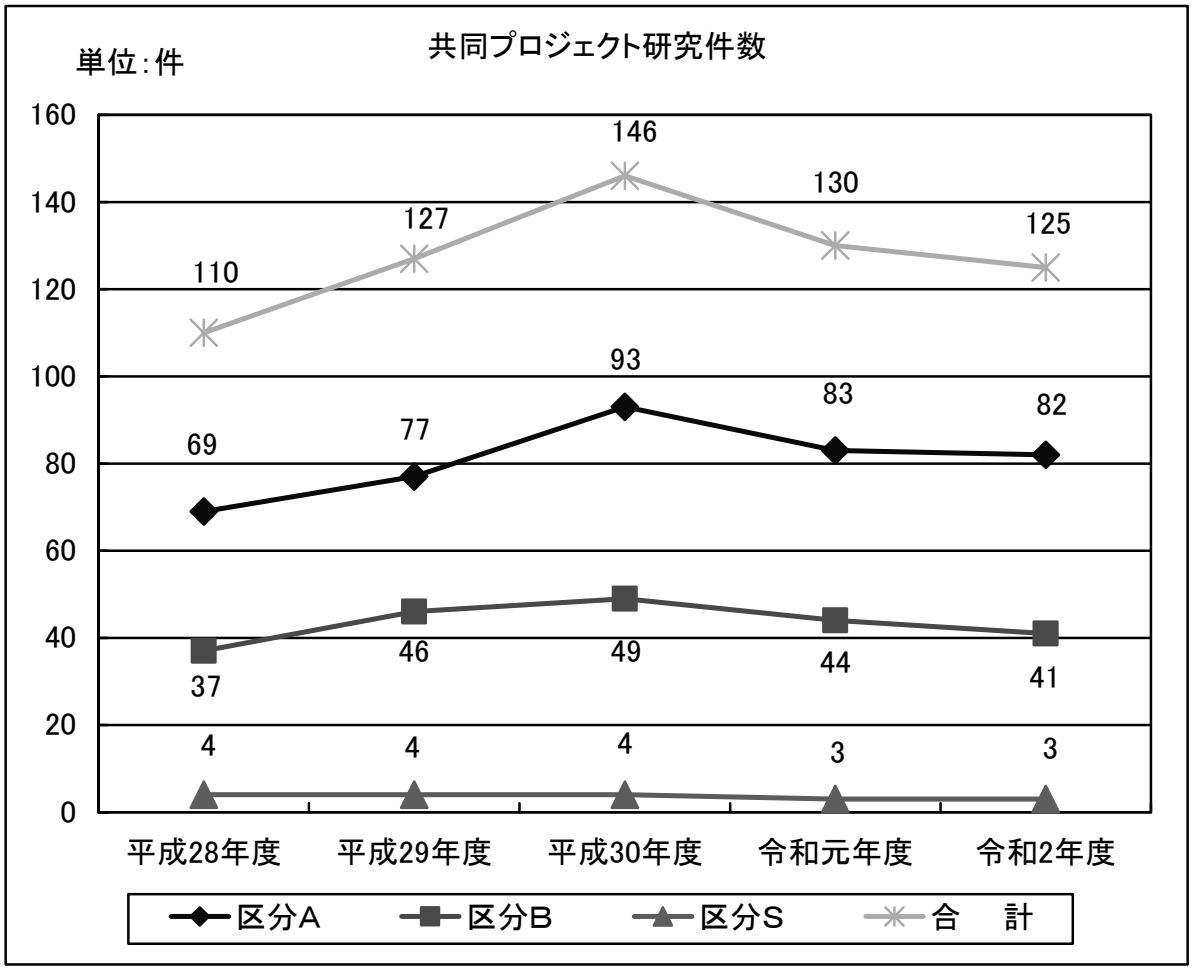
| 団体名・賞名 | 氏名 | 所属 | 業　績 | 受賞日 |
|---|---|---|---|---|
| 日本放送協会・<br>第72回（2020（令和2）年度）<br>日本放送協会放送文化賞 | 鈴木　陽一 | （名誉教授） | この賞は、放送事業の発展に寄与し、放送文化の向上に貢献があった人々に対して日本放送協会より贈られるものです。<br>音響研究の第一人者として、人間の聴覚特性の研究や、高臨場感音響システムの研究開発を続けてきました。人が感じる音の大きさの特性「ラウドネス」は国際規格としてまとめられ、放送の音の大きさを揃えるためのメーターの基礎となりました。ＮＨＫ放送技術研究所の研究アドバイザーや放送に関わる国の審議会の委員も務め、また防災行政無線の聞こえ方の研究など、災害大国・日本の安全にも貢献しています。 | 令和3年3月19日 |
| 東北大学工学研究科・<br>令和2年度東北大学工学研究科長賞 | 管　貴志 | 超高速光通信 | 令和2年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。 | 令和3年3月19日 |
| 東北大学工学研究科・<br>令和2年度東北大学工学研究科長賞 | ボーダーズ　ウィリアム<br>BORDERS A. William | スピントロニクス | 令和2年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。 | 令和3年3月19日 |
| The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics・<br>Best Poster Award | 五十嵐　純太 | スピントロニクス | 発表題目：<br>″Ultra-Small Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions: Physics and Device Engineering″ | 令和3年3月22日 |
| 東北大学・<br>令和2年度東北大学総長賞 | 五十嵐　純太 | スピントロニクス | 令和2年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。 | 令和3年3月25日 |
| 東北大学・<br>令和2年度東北大学総長賞 | 武元　航 | 先端音情報システム | 令和2年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。 | 令和3年3月25日 |
| 電気通信普及財団・<br>第36回電気通信普及財団賞<br>（テレコムシステム技術賞） | 中沢　正隆<br>吉田　真人<br>葛西　恵介 | （電気通信研究機構(ROEC)）<br>超高速光通信 | 研究論文：<br>「10.16-Peta-B/s Dense SDM/WDM Transmission Over 6-Mode 19-Core Fiber Across the C+L Band」<br>（中沢正隆,吉田真人,葛西恵介,KDDI総合研究所との共著論文） | 令和3年3月26日 |

## ７．発表論文数

| 区　分 | | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 査読付学術論文 | 英文 | 151 | 147 | 112 | 129 | 157 |
| | 和文 | 8 | 7 | 12 | 5 | 17 |
| | 計 | 159 | 154 | 124 | 134 | 174 |
| 査読付国際会議 | | 277 | 255 | 255 | 267 | 136 |
| 解説・総説 | | 12 | 17 | 12 | 16 | 15 |
| 査読付国内会議、査読なし国内研究会・講演会 | | 386 | 356 | 327 | 314 | 298 |

# 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



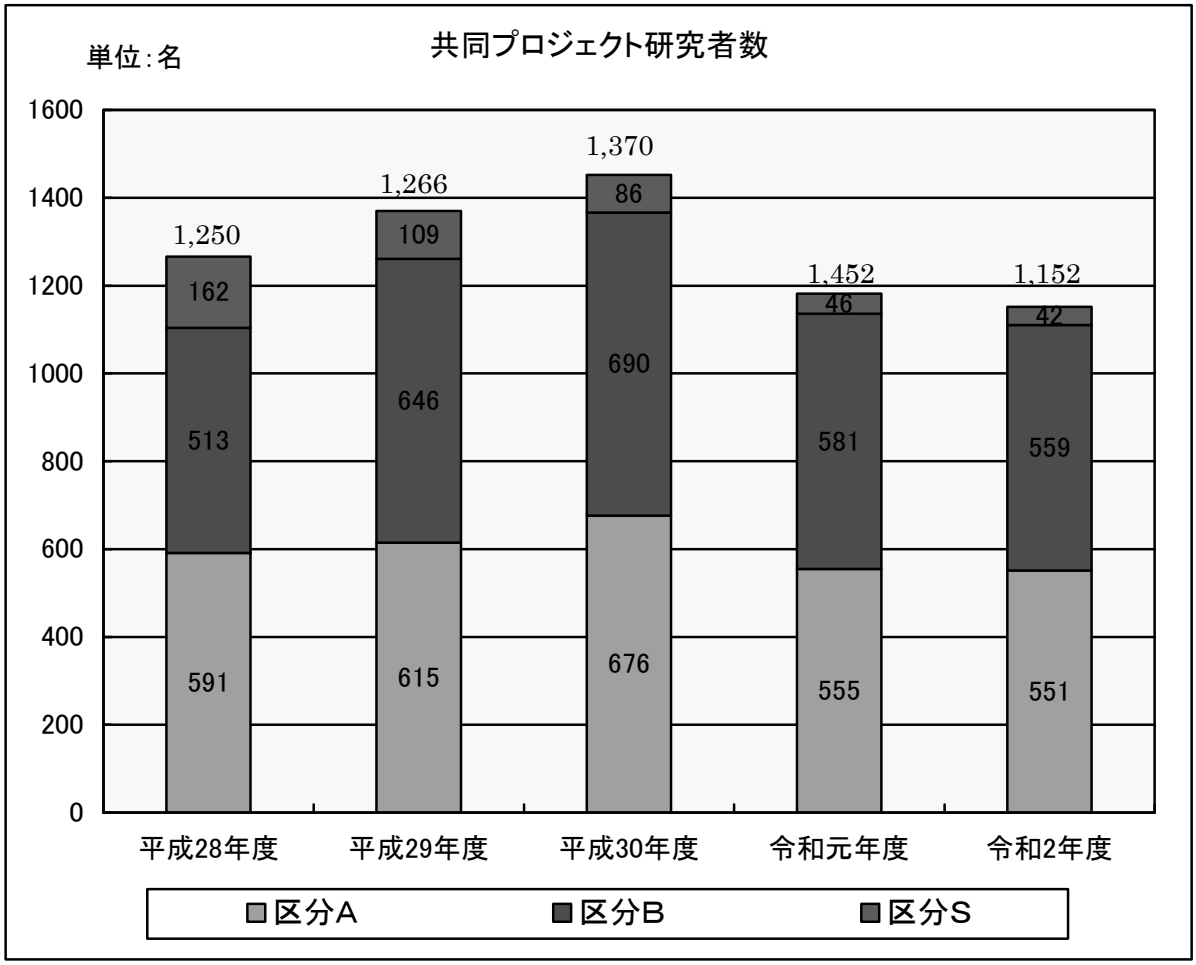

（単位：件）

| 区　分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 区分Ａ | 69 | 77 | 93 | 83 | 82 |
| 区分Ｂ | 37 | 46 | 49 | 44 | 41 |
| 区分Ｓ | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| 合　計 | 110 | 127 | 146 | 130 | 125 |

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。
【令和 2 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：3 件
・萌芽的研究支援型：46 件
・国際共同研究推進型：41 件
・その他：0 件
・若手研究者対象型：13 件
・先端的研究推進型：54 件
・産学共同研究推進型：11 件

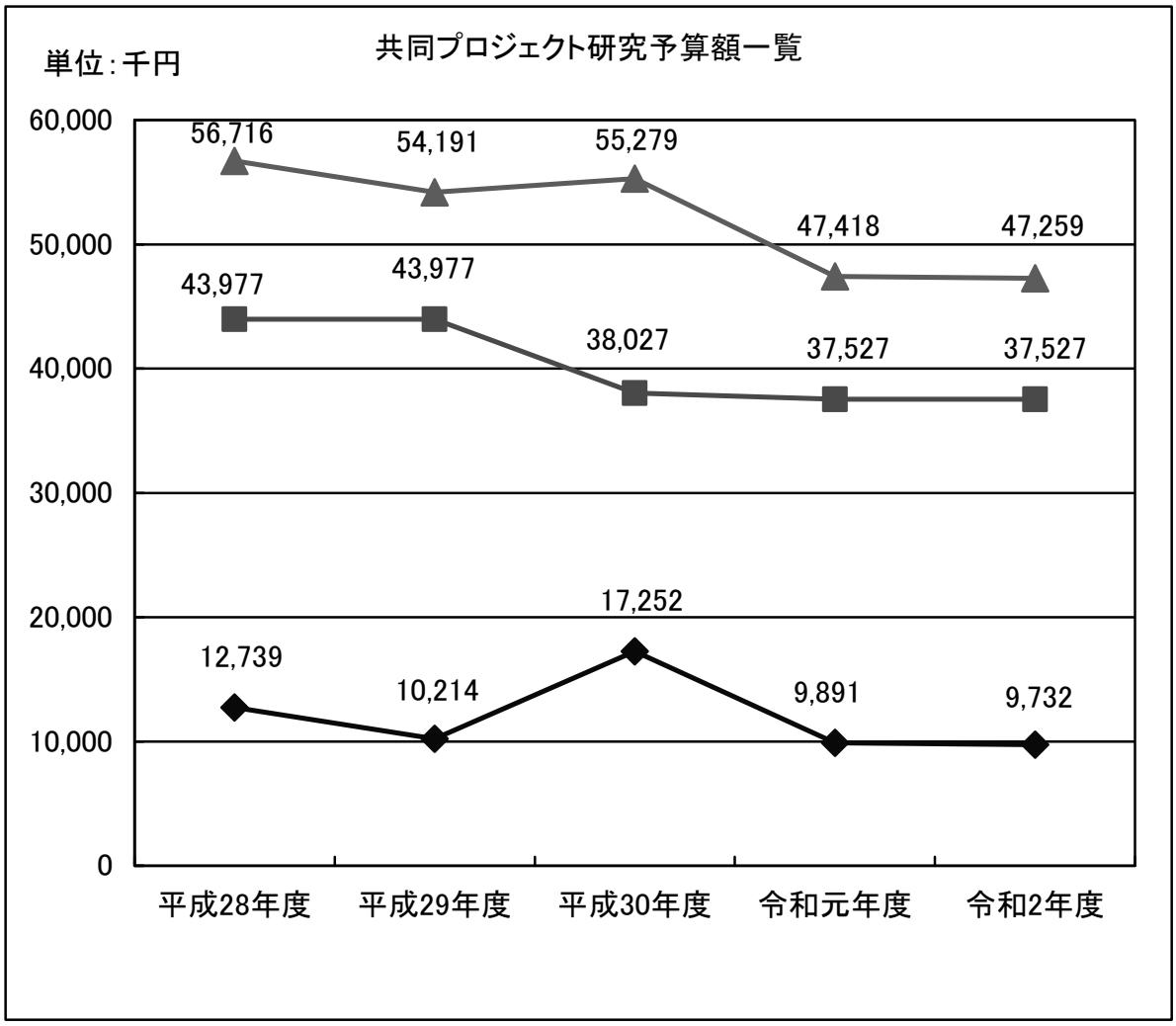
## ２．共同プロジェクト研究者数




（単位：名）

| | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 区分Ａ | 591 | 615 | 676 | 555 | 551 |
| ：うち民間 | 26 | 27 | 29 | 13 | 11 |
| 区分Ｂ | 513 | 646 | 690 | 581 | 559 |
| ：うち民間 | 46 | 60 | 43 | 47 | 43 |
| 区分Ｓ | 162 | 109 | 86 | 46 | 42 |
| ：うち民間 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 計 | 1, 266 | 1, 370 | 1, 452 | 1, 182 | 1, 152 |

3．共同プロジェクト研究予算額




（単位：千円）

| 区　　分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 所内予算 | 12, 739 | 10, 214 | 17, 252 | 9, 891 | 9, 732 |
| 拠点経費 | 43, 977 | 43, 977 | 38, 027 | 37, 527 | 37, 527 |
| 合　　計 | 56, 716 | 54, 191 | 55, 279 | 47, 418 | 47, 259 |

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 |
|---|---|---|---|
| 1.二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）（予算総額 1億8,798万円） | H28-R2年度<br>尾辻　泰一（代表）<br>佐藤　昭（分担）<br>渡辺　隆之（分担）<br>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） |
| 2.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-R3年度<br>大須賀　公一(大阪大学)<br>小林　亮(広島大学)<br>石黒　章夫(東北大学) | 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) |
| 3.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 | 文部科学省　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-R2年度<br>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） |
| 4.Beyond 5Gに向けたグラフェン/BN原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発 | 総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）フェーズII(総額7,800千円) | R1-R2年度<br>吹留　博一准教授<br>渡邊　一世主任研究員（NICT） | Society 5.0等が目指す超スマート社会は、マイクロ秒オーダーの超低遅延性をもつ次々世代無線通信システム（Beyond 5G）を必要とする。本研究開発は、Beyond 5Gに資する「実用的ゲート長（Lg)100 nmで遮断周波数（ft）100 GHzを突破する」性能をもつ低環境負荷なグラフェン・トランジスタ（GFET）を実現する（H30/A01） |
| 5.ヨッタインフォマティクス研究センター設置 | 国立大学法人機能強化促進費（H30-R2年度予算 9,000万円） | H30年度-R4年度予定<br>塩入　諭教授<br>坂井　信之教授<br>（文学研究科）<br>大町　真一郎教授<br>（工学研究科）他。） | 共同プロジェクト研究「情報の質と価値を扱う科学技術の創造」（H28-H30）で進めた、情報の質と価値を取り扱うための研究組織「ヨッタインフォマティクス研究センター」を設置し、そのための文理融合プロジェクトを推進する。（H28/B14） |
| 6.高安全・高信頼な情報通信のためのトロイフリーLSIシステム設計・検証技術の開発 | 公益財団法人セコム科学技術振興財団（総額予算 5,000万円） | H30-R4年度<br>本間　尚文教授<br>上野　嶺助教<br>参加機関<br>東北大学<br>神戸大学<br>奈良先端科学技術大学院大学 | 本研究開発では、LSIシステムに挿入する悪意のあるハードウェア（ハードウェアトロイ）の検知手法を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究」（H29-30年度）および「電磁情報セキュリティに関する研究」（H29-30年度）から発展した。（H29/B16,H29/B19） |
| 7.エッジ型学習用ハードウェア実現に向けたインバーティブルロジックの創成 | JSTさきがけ（革新的コンピューティング技術の開拓）(R2年度 8,190千円) | H30-R3年度<br>鬼沢 直哉助教 | 本研究開発では、インバーティブル論理に基づく学習処理アルゴリズムの考案とそのハードウェア実現手法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究H29/B23から発展した。 |
| 8.磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用 | 科学研究費助成事業　基盤研究（A）（総額予算 3,430万円） | H30-R2年度<br>代表：北村　喜文教授<br>片山統　裕准教授<br>（情報科学研究科）<br>高嶋　和毅准教授<br>杤　修一郎准教授 | 本研究開発では、従来は計測できなかった対象の3次元の動きを幅広く計測できる新しい磁気式モーションセンサシステムを実現し、いくつかの分野で未解決であった重要な実問題への応用を図る。本研究は、共同プロジェクト研究「深層学習を用いた３次元動作解析、生成の研究、およびHCIへの応用」（H29/A14)、「Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic」(H29/A36)から発展した。 |
| 9.Robotics-inspired biology: decoding flexibility of motor control by studying amphibious locomotion | Human Frontier Science Program（予算総額：33万USD) | H29-R2年度<br>A. J. Ijspeert (EPFL)<br>E. Standen (University of Ottawa)<br>石黒　章夫教授 | 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） |
| 10.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 H29-R2年度（H29-R2年度 合計 1億901万円） | H29-R2年度<br>末松　憲治教授<br>亀田　卓准教授<br>本良　瑞樹助教 | 本研究開発は、工場などの狭空間における複数通信の衝突・干渉を防ぐ技術の開発のために小形な周波数プロファイリング装置の実現を目指す。（H29/A13） |

| 課題名 | 財　源 | 研究期間、代表者等 | 概　　要 |
|---|---|---|---|
| 11.光子数識別量子ナノフォトニクスの創成 | 文部科学省・国家課題対応型研究開発推進事業（Q-LEAP）（H30-R2年度予算2,970万円） | H31-R9年度<br>枝松　圭一教授<br>福田　大治<br>（産業技術総合研究所） | 光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測を高度化。（H27/A05） |
| 12.時空間スペクトルにおける特異点に着目した音源分離手法の開発 | 科研費基盤研究（C）（総額予算320万円） | R1-R3年度<br>研究代表者：小澤 賢司教授<br>（山梨大学）<br>研究分担者：坂本 修一教授 | H25/A08「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）」の際に着想した時空間スペクトルによる音場表現とそれに基づく音源抽出技術をより発展させ，音源分離性能を向上させるプロジェクトである。 |
| 13.マイクロホンネットワークと高品質音声合成による「よく聴こえる」拡声システム | 科研費 若手研究（総額予算　416万円） | R1-R2年度<br>小林 洋介助教<br>（室蘭工業大学） | 拡声システムに存在する『「元の音声が明瞭な発話であっても」聴き取りにくくなること』，『不明瞭な発話がなかなか改善されない』という問題を，聴取地点に設置されたマイクロホンネットワークで品質予測した結果を音声放送の改善に利用することで改善し，誰もが聴き取りやすい拡声システムの実現を目指す。（H29/A18） |
| 14 耐量子計算機性秘匿計算に基づくセキュア情報処理基盤 | JST-CREST（戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究等（総額予算　3億円） | R1-R6年度<br>本間 尚文教授<br>上野 嶺助教<br>参加機関<br>東北大学<br>奈良先端科学技術大学院大学<br>大阪大学 | 本研究開発では，サイバー攻撃・物理攻撃・量子計算機に耐性をもつ安全な情報処理基盤技術を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究」から発展した。（H29/B18） |
| 15.超低消費電力MTJ/CMOS Hybrid IoTデバイス基盤技術の研究開発 | SIP<br>第二期<br>戦略的イノベーション創造プログラム<br>（総額13億円） | H30-R4年度<br>代表：遠藤 哲郎教授 | 本提案では、スピントロニクス素子である磁気トンネル接合（MTJ）とCMOS技術を融合させたMTJ/CMOS Hybrid技術を用いて、あらゆるIoTデバイスに演算処理機能に加えて不揮発機能を融合させることで従来の消費電力と演算処理性能のジレンマを解消し、フィジカル空間に求められる飛躍的な低消費電力性能を有するIoTデバイスの基盤技術を構築する。本プロジェクトの内容は、H29年度の共同研究プロジェクト(「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」及び「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」)における議論を通して提案されたものである。<br>（H29/B03、H29/B05） |
| 16.【世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出:研究開発テーマ4-1】高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立 | OPERA:産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（<2019年度金額>646万円） | H29-R2年度<br>代表：遠藤 哲郎教授<br>参加者：馬 奕涛助教<br>張山 昌論教授<br>（情報科学研究科） | 本プログラムでは、知財等の制度改革を行い、エネルギー・労働力問題の社会的要請を受けて、非競争領域の「不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立」の研究開発テーマをたて、その革新的技術群の創出と人材育成を担う産学共創プラットフォームの形成を目指して研究を進めている。本プロジェクトの内容は、H29年度の共同研究プロジェクト(「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」及び「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」)における議論を通して提案されたものである。（H29/B03、H29/B05） |
| 17.p-MTJに基づく超低電力不揮発ニューロモーフィックアーキテクチャの確立 | 科学研究費助成事業 基盤研究（C）（総額予算 412万円） | H31-R3年度<br>馬 奕涛助教 | 本プロジェクトは、スパイキング・ニューラルネットワーク(SNN)を専用回路アーキテクチャで実現したニューロモーフィックチップ(NC)システムに着目して、共同研究のもとで東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES）の設計環境と評価分析環境を活用し、p-MTJに基づく不揮発NCのモデルの確立から実際の回路設計までの領域横断の手法を用いて、高速・コンパクト・低消費電力のメモリタイプ不揮発NC回路アーキテクチャの研究を進めている。本プロジェクトの内容は、H29年度の共同研究プロジェクト(「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」及び「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」)における議論を通して提案されたものである。（H29/B03、H29/B05） |
| 18.無線パルスによる電力/データ伝送と位置情報非利用型データ処理による環境情報認識 | 科研費基盤B（総額1,700万円） | R1-R3年度<br>関屋 大雄教授<br>参加機関<br>千葉大学 | 本研究開発では、無線パルスによる給電システムを構築し、その設計法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」から発展した。（H30/B12） |
| 19.ミリ波帯におけるロボット等のワイヤフリー化に向けた無線制御技術の研究開発 | 総務省令和元年度における電波資源拡大のための研究開発及び異システム間の周波数共用技術の高度化に関する研究開発（総額 1億円） | R1-R3年度<br>関屋 大雄教授<br>参加機関<br>㈱国際電気通信基礎技術研究所<br>千葉大学<br>埼玉大学 | 本研究開発では、ロボット等ワイヤフリー化に向けた無線通信およびワイヤレス給電システムを構築し、その設計法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」(H30年度)から発展した。 |

共同プロジェクト研究

| 課題名 | 財　源 | 研究期間、代表者等 | 概　　要 |
|---|---|---|---|
| 20.単一アナログデバイスと局所的学習則を用いるリアルニューロモーフィックシステム | 科学研究費補助金<br>基盤研究（C） | H31-R3年度<br>木村 睦教授<br>中島 康彦教授<br>張 任遠教授<br>羽賀 健一助教<br>参加機関<br>奈良先端科学技術大学<br>北陸先端科学技術大学 | 本研究では、「単一アナログデバイスと局所的学習則を用いるリアルニューロモーフィックシステム」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」から発展したものである。（H30/A28） |
| 21.アモルファス酸化物半導体の電子構造解析と新規応用提案 | 東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所共同利用研究 | H31-R2年度<br>木村 睦教授<br>神谷 利夫教授<br>参加機関<br>龍谷大学<br>東京工業大学 | 本研究では、「アモルファス酸化物半導体の電子構造解析と新規応用提案」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システムから発展したものである。（H30/A28） |
| 22.スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤 | JST-CREST（戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究等（総額予算　3億円） | R1～R6年度<br>佐藤 茂雄教授<br>羽生 貴弘教授<br>深見 俊輔教授<br>参加機関<br>東北大学<br>弘前大学<br>会津大学<br>群馬大学<br>国立情報学研究所 | Society5.0の実現に向けて、エッジコンピューティングシステムに求められる低消費電力性や常時学習機能などの要件を満たすために、不揮発アナログ記憶機能や豊富なダイナミクスを有するスピントロニクスデバイスと、それらを最大限に活用しうるアナ・デジCMOS集積回路や最適化アーキテクチャを追究し、それらの原理実証により、社会実装に向けた道筋を明らかにします。（H30/A20、H29/B17） |
| 23.カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御 | 科学研究費助成事業<br>挑戦的研究(萌芽)<br>（総額予算<br>6,370千円 ） | R2-R4年度<br>片野 諭准教授<br>参加機関<br>NIMS<br>芝浦工業大学 | 本課題では、原子分解能を有する走査トンネル顕微鏡をベースとしたスペクトロスコピー技術を駆使して、これまで未開拓であった酸化グラフェンのナノ光電子物性を解明する研究に取り組む。本研究は、共同プロジェクト研究「カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御」(H30-R2年度)から発展した。（H30/A08） |
| 24.バイオニック情報処理システムの人工再構成 | JST-さきがけ（戦略的創造研究推進事業（総額予算　45,750千円） | H30～R3年度<br>山本 英明准教授 | 次世代コンピューティング技術の基盤となる情報処理システムとしての神経細胞ネットワークの機能解析とモデリングに関する課題である．本研究は，共同プロジェクト研究「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-R1)および「ミニマルブレインの理解と再構築」(H29-R1)から発展した．（H29/A34,H29/A35） |
| 25.フラッシュ呈示で誘導される円図形変形錯視の生起機序の解明 | 科研費<br>基盤研究（C） | H29～R2年度<br>櫻井研三（東北学院大学） | 図形変形錯視の新たな生起条件とそのメカニズムを実験的に検討する。<br>(R02/B14) |
| 26.インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術 | JST-CREST（戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究等（総<br>額予算　299,100千円） | R2.12～R8.3<br>越前 功教授（NII）<br>馬場口 登教授（大阪大学） | 本研究は，AIにより生成されたフェイクメディアがもたらす潜在的な脅威に適切に対処すると同時に，多様なコミュニケーションと意思決定を支援するソーシャル情報基盤技術を確立することを目的とする。<br>本研究は、共同プロジェクト研究「多機能マルチメディア生成技術に関する研究」（H31～R2）から発展した。<br>(H31/B15) |
| 27.可視聴型情報ハイディングを応用したメディアアートに基づく新世代情報伝送技術の開発 | 科研費<br>基盤研究C<br>（総額予算4,420千円） | H30～R2年度<br>小嶋 徹也教授<br>（東京工業高等専門学校）<br>姜 玄浩准教授<br>（東京工業高等専門学校）<br>青木 直史助教<br>（北海道大学） | 映像や音楽の一要素を秘密のメッセージで構成し，情報伝送を実現するため，音楽や映像の構成要素となり得る情報の新しい埋め込み方式の提案を目的とする。<br>本研究は、共同プロジェクト研究「多機能マルチメディア生成技術に関する研究」（H31～R2）から発展した。<br>(H31/B15) |
| 28.頭部伝達関数の縮小型高速計測システムの開発 | 公益信託飴久晴富山県内大学等研究助成基金(総額予讃 200万円) | H31(R1)～R2年度<br>平原 達也教授<br>モクタリ パーハム准教授<br>（富山県立大学） | 本研究開発では，縮小模型を用いて頭部伝達関数の簡易・高速計測システムの構築について検討した。本研究は，共同プロジェクト研究「単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究」(H30年度)から発展した。<br>（H30/A17） |
| 29.両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響 | 科研費<br>若手研究<br>(総額予讃 416万円) | R2～R4年度<br>森川 大輔講師<br>（富山県立大学） | 本研究では，両耳間差による音の分離に視覚情報が与える影響を明らかにする。本研究は，共同プロジェクト研究「単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究」(H30-R1年度)から発展した。（H30/A17） |
| 30.ネットワーク運用自動化に向けたネットワーク障害情報共有知の研究 | 科学研究費助成事業<br>基盤研究（B） | R1-R4年度<br>北口 善明准教授<br>（東京工業大学） | ネットワークが複雑化するほどに障害を特定することが困難となる。エッジコンピューティング環境が広範に普及するほどにその度合いは顕著となる。本研究開発は障害特定に要する運用自動化を目的とした共有知の働きに着目した研究開発である。本研究は共同プロジェクト研究「エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開」(H31-R2年度)から発展した。（H31/B10） |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 31.運用品質に因るインセンティブを導入した広域分散エッジコンピューティング環境の研究 | 科学研究費助成事業<br>若手研究 | R1-R3年度<br>柏崎 礼生特任准教授<br>（国立情報学研究所） | エッジコンピューティングにおいては運用品質の向上にインセンティブがなければ高いSLAは実現できない。そこで運用品質に基づくインセンティブをエッジコンピューティング環境に導入し、行動変容の評価を行う研究である。本研究は共同プロジェクト研究「Dissipative Infrastructureの設計と国際展開」(H28-29年度)から発展した。 (H28/A14) |
| 32.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基盤の構築 | 科研費　基盤研究(A)(総額予算3430万円) | R2-R6年度<br>堀尾 喜彦教授<br>池口 徹教授<br>藤原 寛太郎准教授<br>島田 裕助教<br>加藤 秀行助教<br>（参加機関）<br>東北大学<br>東京理科大学<br>東京大学<br>埼玉大学<br>大分大学 | 新たな計算の枠組みとしてブレインモルフィックコンピューティングを創生し、これを高効率・高性能なハードウェアとして実現するための基盤を構築する。このため、脳の生物物理を、デバイス物理とダイナミクスを直接利用することによりボトムアップ的に再構成する。この際、脳の基本的な構造である階層的フィードバックを伴う双方向入れ子構造を脳型アーキテクチャとして構築し、脳に特異的な情報処理様式・機能を創発させる。さらに、ハードウェア試作により提案基盤の検証・解析を行い、新たな計算原理の探求に挑戦する。 (H29/A21) |
| 33.制御レス高周波無線給電システムの実現に向けた研究開発 | 科研費基盤B（総額1,700万円） | R2-R4年度<br>関屋 大雄教授<br>（参加機関）<br>千葉大学<br>千葉工業大学<br>東京理科大学<br>福岡大学 | 本研究開発では、高周波ワイヤレス給電において、フィードバック制御を不要とする定電圧レギュレータを設計することを目的としている。本研究は、共同プロジェクト研究「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」(H30年度)から発展した。 (H30/B12) |
| 34.強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システムの研究開発 | 人工知能研究振興財団研究助成 | R2-R4年度<br>中島 康彦教授<br>松田 時宜客員研究員<br>（参加機関）<br>奈良先端科学技術大学<br>龍谷大学 | 本研究では、「強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システム」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」(H30年度)から発展したものである。 (H30/A28) |
| 35.CMOSインバーティブル論理に基づく逆問題解法ハードウェアに関する基礎研究 | 民間（キヤノンメディカルシステムズ）<br>（総額予算 5,000万円） | R2.4-R4.3<br>羽生 貴弘教授<br>鬼沢 直哉准教授 | 本研究開発では、CMOSインバーティブル論理を活用して，逆問題解法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。 |

# 第6　国際活動

## 1．電気通信研究所国際シンポジウム

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 高温超伝導単結晶の固有ジョセフソン効果と THz 帯プラズマ振動 | 平成 9 年 2 月 23-25 日 |
| 2 | 脳の情報原理に基づくブレインアーキテクチャの設計・制作 | 平成 10 年 3 月 16-18 日 |
| 3 | ミリ波革新技術とその応用 | 平成 10 年 12 月 14-16 日 |
| 4 | Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議 | 平成 11 年 9 月 13-17 日 |
| 5 | フォトニック結晶構造国際会議 | 平成 12 年 3 月 8-10 日 |
| 6 | 半導体スピン物性の基礎と応用 | 平成 12 年 9 月 13-15 日 |
| 7 | 証明と計算における書き換え技法 | 平成 13 年 10 月 25-27 日 |
| 8 | 非線形理論とその応用 | 平成 13 年 10 月 28 日 -11 月 1 日 |
| 9 | ニューパラダイム VLSI コンピューティング | 平成 14 年 12 月 12-14 日 |
| 10 | 超高密度スピニックストレージシステム | 平成 15 年 10 月 23-24 日 |
| 11 | 第 3 回 SiGeC 国際ワークショップ | 平成 16 年 10 月 12-13 日 |
| 12 | 第 3 回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ | 平成 17 年 4 月 11-12 日 |
| 13 | 第 4 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議（ICSI-4） | 平成 17 年 5 月 23-26 日 |
| 14 | 第 1 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ | 平成 17 年 5 月 27-28 日 |
| 15 | 東北大学情報科学研究科国際シンポジウム　新時代の情報科学：脳、心および社会 | 平成 17 年 9 月 26-27 日 |
| 16 | 第 1 回スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 18 年 2 月 8-9 日 |
| 17 | 第 4 回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ | 平成 18 年 5 月 8 日 |
| 18 | 第 4 回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議 | 平成 18 年 8 月 15-18 日 |
| 19 | 第 2 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ | 平成 18 年 10 月 2-3 日 |
| 20 | 第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 19 年 2 月 15-16 日 |
| 21 | 日中音響学会議 2007 | 平成 19 年 6 月 4-6 日 |
| 22 | アルゴリズム論的学習理論および発見科学に関する合同国際会議 | 平成 19 年 10 月 1-4 日 |
| 23 | 第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 19 年 10 月 31 日 -11 月 1 日 |
| 24 | 第 3 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ | 平成 19 年 11 月 8-9 日 |
| 25 | 第 1 回ナノ構造＆ナノエレクトロニクス国際ワークショップ | 平成 19 年 11 月 21-22 日 |
| 26 | 第 18 回アルゴリズムと計算に関する国際会議 | 平成 19 年 12 月 17-19 日 |
| 27 | 気相－液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム | 平成 20 年 9 月 5-6 日 |
| 28 | 第 4 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ | 平成 20 年 9 月 25-27 日 |
| 29 | 第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 20 年 10 月 9-10 日 |
| 30 | ミリ波シンポジウム | 平成 21 年 4 月 20-22 日 |
| 31 | マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ | 平成 21 年 4 月 24-25 日 |
| 32 | 第 4 回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム | 平成 21 年 8 月 4-5 日 |
| 33 | 第 20 回パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム | 平成 21 年 9 月 13-16 日 |
| 34 | 第2回RIEC-CNSIナノエレクトロニクス･スピントロニクス･フォトニクスに関する国際ワークショップ(第5回スピントロニクス国際ワークショップ) | 平成 21 年 10 月 22-23 日 |
| 35 | 空間音響の原理と応用に関する国際シンポジウム | 平成 21 年 11 月 11-13 日 |
| 36 | 第 5 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ | 平成 22 年 1 月 29-30 日 |
| 37 | 第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 22 年 2 月 5-6 日 |
| 38 | 第 2 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成 22 年 3 月 11-12 日 |
| 39 | グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム | 平成 22 年 10 月 27-29 日 |
| 40 | 第 9 回日韓表面ナノ構造シンポジウム | 平成 22 年 11 月 15-16 日 |
| 41 | 第 7 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 23 年 2 月 3-4 日 |
| 42 | 第 12 回国際多感覚研究フォーラム | 平成 23 年 10 月 17-20 日 |
| 43 | 第 8 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 24 年 2 月 2-3 日 |
| 44 | 第 6 回国際シンポジウム　メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス | 平成 24 年 3 月 8 日 |
| 45 | 第 3 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成 24 年 3 月 21-22 日 |
| 46 | 第 9 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 24 年 5 月 31 日 -6 月 2 日 |
| 47 | 第 1 回スマートテクノロジ国際ワークショップ | 平成 24 年 10 月 18-19 日 |
| 48 | TU Dresden and Tohoku University Symposium 2012 | 平成 24 年 11 月 2 日 |
| 49 | 第 1 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム | 平成 24 年 11 月 15-16 日 |
| 50 | 東北大学－ハーバード大学ジョイントワークショップ | 平成 25 年 1 月 15-16 日 |
| 51 | 第 11 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ | 平成 25 年 1 月 31 日 -2 月 1 日 |
| 52 | メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス第 7 回国際シンポジウム | 平成 25 年 3 月 7 日 |
| 53 | 第 6 回ミリ波シンポジウム | 平成 25 年 4 月 22-23 日 |
| 54 | 第 2 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム | 平成 26 年 2 月 21-22 日 |
| 55 | メディカル・バイオ・エレクトロニクス第 8 回国際シンポジウム | 平成 26 年 3 月 6-7 日 |
| 56 | 第 5 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成 26 年 3 月 6-7 日 |

| | |
|---|---|
| 57 第12回RIECスピントロニクス国際ワークショップ | 平成26年6月25-27日 |
| 58 電子レンジマグネティック2014に関するIEEE国際会議 | 平成26年6月29日-7月2日 |
| 59 RIEC国際シンポジウム　知覚とコミュニケーション | 平成26年7月24日 |
| 60 2014アジア太平洋マイクロ波会議 | 平成26年11月4-7日 |
| 61 脳機能と脳コンピュータに関する第3回RIEC国際シンポジウム | 平成27年2月18-19日 |
| 62 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム | 平成27年3月2-3日 |
| 63 第9回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム | 平成27年3月2-4日 |
| 64 第6回ナノ構造とエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成27年3月2-4日 |
| 65 RIEC国際シンポジウム　ビジョンと認知 | 平成27年3月20日 |
| 66 国際色覚学会 第23回シンポジウム | 平成27年7月3-7日 |
| 67 コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開 | 平成27年9月26-27日 |
| 68 第13回RIECスピントロニクス国際ワークショップ | 平成27年11月18-20日 |
| 69 脳機能と脳コンピュータに関する第4回RIEC国際シンポジウム | 平成28年2月23-24日 |
| 70 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム | 平成28年2月26-27日 |
| 71 第10回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム | 平成28年3月1-3日 |
| 72 第7回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成28年3月1-3日 |
| 73 超臨場感音響相互通信に関する国際シンポジウム | 平成28年5月20-21日 |
| 74 第5回テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するロシア－日本－USA－ヨーロッパシンポジウム（テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するRIEC国際シンポジウム） | 平成28年10月31-11月4日 |
| 75 ディペンダブルワイヤレスワークショップ2016 | 平成28年11月9-10日 |
| 76 第14回RIECスピントロニクス国際ワークショップ | 平成28年11月17-19日 |
| 77 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム | 平成29年2月24-25日 |
| 78 第5回脳機能と脳コンピュータに関するRIEC国際シンポジウム | 平成29年2月27-28日 |
| 79 RIEC医用光工学国際ワークショップ2017 | 平成29年3月6日 |
| 80 第8回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成29年3月6-7日 |
| 81 2017年RIECロシア－日本合同マイクロ波国際ワークショップ | 平成29年10月19-20日 |
| 82 フォトニクスと光通信に関する国際シンポジウム | 平成29年10月25-26日 |
| 83 エクスペアレンスデザインと認知科学に関する通研国際シンポジウム | 平成29年11月18-19日 |
| 84 第15回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ | 平成29年12月13-14日 |
| 85 第6回脳機能と脳コンピュータに関するRIEC国際シンポジウム | 平成30年2月1-2日 |
| 86 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム | 平成30年2月23-24日 |
| 87 第9回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成30年3月1-2日 |
| 88 磁性材料と磁気デバイスに関する日韓シンポジウム | 平成30年8月24日 |
| 89 ユニバーサル音コミュニケーション国際シンポジウム2018 | 平成30年10月22-24日 |
| 90 2018アジアワイヤレス電力伝送ワークショップ（AWPT2018） | 平成30年11月2-4日 |
| 91 第3回グラフェンと関連する二次元材料に関する日欧フラッグシップワークショップ | 平成30年11月19-21日 |
| 92 第2回東北大学／国立台湾大学連携シンポジウム －人工知能と人間科学の学際的研究－ | 平成30年11月24日 |
| 93 第14回知的情報ハイディングとマルチメディア信号処理に関する国際会議 | 平成30年11月26-28日 |
| 94 ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム | 平成30年12月12-13日 |
| 95 第16回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ | 平成31年1月9-10日 |
| 96 第7回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム | 平成31年2月22-23日 |
| 97 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム | 平成31年3月1-2日 |
| 98 第10回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ | 平成31年3月6-7日 |
| 99 第12回ミリ波グローバルシンポジウム | 令和元年5月22-24日 |
| 100 第16回最新情報通信技術に関する国際ワークショップ | 令和元年10月31日-11月2日 |
| 101 第17回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ | 令和元年12月3-6日 |
| 102 ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム | 令和2年1月24-25日 |
| 103 第8回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム | 令和2年2月13-15日 |
| 104 第9回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム | 令和2年12月5日 |
| 105 ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する通研国際シンポジウム | 令和3年1月24日 |
| 106 第11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 | 令和3年3月1-2日 |
| 107 第4回AIと人間に関する学際研究分野での東北大学国立台湾大学連携シンポジウム | 令和3年3月12-13日 |
| 108 2021年ヨッタスケールデータ研究プラットフォームに関する国際シンポジウム | 令和3年3月23-24日 |
| 109 脳型LSIに関する国際シンポジウム | 令和3年3月31日 |

## ２．本研究所教員が編集委員をしている国際ジャーナル

1. Applied Physics Express
2. Auditory Perception and Cognition
3. Bioinspiration & Biomimetics
4. Computer Animation and Virtual Worlds
5. Frontiers in Neuroscience
6. IEEE Transactions on Circuits and Systems I
7. Japanese Journal of Applied Physics
8. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
9. Scientific Reports
10. 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. 10th 2021 IEEE International Conference on Communications, Network, and Satellite (IEEE Comnetsat 2021)
2. 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-11)
3. 15th International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2020)
4. 17th EuroVR International Conference (EuroVR 2020)
5. 2020 IEEE International Symposium on Radio- Frequency Integration Technology (RFIT 2020)
6. 2020 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2020)
7. 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020)
8. 26th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2021)
9. 29th International Workshop on Post Binary ULSI Systems
10. 39th ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2021)
11. 50th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2020)
12. 7th International Workshop on Rewriting Techniques for Program Transformations and Evaluation (WPTE 2020)
13. IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2021 (APWiMob 2021)
14. IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD 2021)
15. IEEE The International Magnetics Conference (INTERMAG 2020)
16. IEEE The International Magnetics Conference (INTERMAG 2021)
17. IEEE The Magnetic Recording Conference (TMRC 2020)
18. IEEE The Magnetic Recording Conference (TMRC 2021)
19. IEEE/ACM International Symposium on Quality of Service 2021 (IwQoS 2021)
20. International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines 2021, Program committee
21. INTERNATIONAL TELETRAFFIC CONGRESS ITC 32
22. The 11th International Conference on ICT Convergence (ICTC 2020)
23. The 2020 IEEE 5G World Forum (5GWF'20)
24. The 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2021)
25. The 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2021)
26. The 2021 International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow'21)
27. The 2nd International Sympoisum on Designing Human-Centric IoT Society
28. The 35th International Conference on Information Networking (ICOIN 2021)
29. The 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020)
30. The 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT 2020)
31. The 9th RIEC International Symposium on Brain Fucntions and Brain Computer (9th BFBC)
32. The Eighth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'20)
33. The IEEE International Conference on Communications (ICC 2021)
34. The Symposium on Emerging Topics in Computing and Communications (SETCAC'20)

４．国際学会における招待講演数

| 区分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 招待講演数 | 73 | 97 | 80 | 96 | 42 |

５．国際共同研究の実施状況

| | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 実施状況(件数) | 84 | 106 | 101 | 118 | 98 |

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 |
|---|---|---|---|---|
| スペイン | カタルーニャ・ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究所 | 光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製 | R1.4～ | 上原研 |
| デンマーク | デンマーク工科大学 | ブラックシリコンのキャリア分布評価に向けた非線形誘電率顕微鏡法の適用可能性の検討 | H29.11～ | 長仲 |
| 英国 | The University of York | 計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出 | H29.10～ | 白井研 |
| ドイツ | Ruhr-University Bochum | 半導体微細デバイスに関する研究 | H30.4～ | 大塚研 |
| 米国 | Purdue University | 原子層物質と微細構造のスピン物性の研究 | R1.10～ | 大塚研 |
| ポーランド | Polisha Academy of Sciences | 機能性磁性材料の電子構造と物性に関する研究 | H11.4～ | 深見研 |
| スウェーデン | University of Gothenburg | スピントロニクス素子の発振現象に関する研究 | H28.11～ | 深見研 |
| スイス | ETH Zurich | X線顕微鏡を用いたスピン軌道トルク磁化反転の観察 | H28.11～ | 深見研 |
| フランス | Université Paris-Sud | スピン軌道トルク磁化反転の時間分解測定 | H28.9～ | 深見研 |
| ポーランド | University of Bialystok | 極薄垂直磁化容易薄膜の磁区構造観察 | H29.12～ | 深見研 |
| シンガポール | National University of Singapore | スピントルクダイオードを用いたエナジーハーベスティングの検討 | H29.9～ | 深見研 |
| 米国 | University of Chicago | 酸化物材料の量子情報応用 | H30.3～ | 深見研 |
| 米国 | Purdue University | 低熱安定性磁気トンネル接合を用いた新概念情報処理に関する研究 | H30.2～ | 深見研 |
| フランス | Spintec | 磁気トンネル接合における発振現象に関する研究 | H30.1～ | 深見研 |

国際活動

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| ドイツ | ミュンヘン工科大学 | 磁気光学効果を用いたスピン軌道トルク磁化反転の時間分解観測 | H30.10～ | 深見研 |
| ドイツ | マインツ大学 | 反強磁性体の共鳴現象に関する研究 | H30.11～ | 深見研 |
| フランス | ジーンラムール研究所 | 高速及び高効率エネルギー情報技術のための超高速スピンエレクトロニクス | H31.4～<br>R3.3 | 深見研 |
| オーストラリア | University of New South Wales | Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures | H31.4～ | 深見研 |
| フィリピン | ミンダナオ州立大学 | Exploration of  a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO  magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy | R1.9～ | 深見研 |
| 米国 | University of Chicago | 磁気トンネル接合への色中心の導入と量子状態の電気的制御 | R1.10～<br>R4.3 | 深見研 |
| インド | Indian Institute of Science Education and Research Bhopal | Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets. | R2.4～ | 深見研 |
| ドイツ | Johannes Gutenberg University Mainz | 絶縁体スピンオービトロニクス | R2.4～<br>R4.3 | 深見研 |
| スペイン | カタルーニャ工科大学 | 脳型計算ハードウェア基盤とその応用 | H30.4～ | 佐藤(茂)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(茂)研 |
| スペイン | バルセロナ大学 | 人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化 | H29.2～ | 佐藤(茂)研 |

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| ドイツ<br>ベルギー<br>米国<br>フランス<br>スペイン<br>台湾 | Innovations for High Performance Microelectronics (IHP), Tech. Univ. Berlin), imec, Princeton Univ., (MIT),Univ. Stuttgart, Aix-Marseille Univ., Univ. Vigo, Forschungszentrum Juelich, National Taiwan University | 新IV族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究 | R2.4～ | 佐藤(茂)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 | R2.11～ | 廣岡研 |
| イタリア | Trent University | 移動体IoT探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究 | H30.4～<br>R3.3 | 末松研 |
| 米国 | Rutgers, The State University of New Jersey | Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証（国際共同研究強化） | H30.9～<br>R3.3 | 末松研 |
| 英国 | Imperial College London | 超100GHz帯光ファイバ給電ダイレクトディジタルRF送受信機の研究 | R2.4～ | 末松研 |
| ロシア | St.Petersburg Electrotechnical University | Beyond-5Gの実現に向けた高周波技術の探索 | R2.4～ | 末松研 |
| 米国 | Massachusetts Institute of Technology(MIT) | 脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ/メモリ コンピューティング基盤の研究 | R2.4～ | 田中研 |
| シンガポール | Nanyang Technological University | 脳型コンピューティング：物理、アーキテクチャ、材料、アプリケーション | R2.12～ | 田中研 |
| 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～<br>R3.3 | 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～<br>R3.3 | 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～<br>R3.3 | 尾辻研 |

国際活動

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| ロシア | 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～R3.3 | 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～R3.3 | 尾辻研 |
| フランス | CNRS-Montpellier Univ. | テラヘルツ帯プラズモニック・ナノＩＣＴデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究 | H26.4～R3.3 | 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～R3.3 | 尾辻研 |
| フランス | University of Savoy | テラヘルツ帯プラズモニック・ナノＩＣＴデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究 | H26.4～R3.3 | 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～R3.3 | 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～R3.3 | 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～R3.3 | 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～R3.3 | 尾辻研 |
| スペイン | サマランカ大学 | Development of graphene based devices for terahertz applications | H29.4～R3.3 | 尾辻研 |
| 米国 | University at Buffalo, SUNY, Dept Electrical Engineering | Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures | H31.4～ | 尾辻研 |
| ＵＡＥ | United Arab Emirates University | Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications | H31.4～ | 尾辻研 |

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| スペイン | サラマンカ大学 | Development of graphene based devices for terahertz applications | R2.4～ | 尾辻研 |
| ロシア | Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of Russian academy of sciences | Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging | R2.4～ | 尾辻研 |
| ロシア | Institute for Physics of Microstructures, Russian Academy of Sciences | テラヘルツ放射利得・検出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 | R2.4～<br>R4.3 | 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 |
| インド | Bose Institute | 量子計測過程に関する共同研究 | H30.5～ | 枝松研 |
| オーストラリア | University of Sydney | 単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究 | H30.4～ | 坂本研 |
| 英国 | University College London | 聴覚の空間的注意に関する研究 | R1.6～<br>R3.3 | 坂本研 |
| 米国 | Rochester Institute of Technology | Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes | R2.4～ | 坂本研 |
| オーストラリア | University of Sydney | 3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合 | R2.4～ | 坂本研 |
| 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 |
| 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 |
| 台湾 | National Taiwan University | AI研究と人間科学に関する研究 | H30.4～ | 塩入研 |

国際活動

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| 米国 | カリフォルニア工科大学 | 「こころ」を生み出す脳内機構の理解 | H30.9～ | 塩入研 |
| 英国 | NorthwesternUniversity | Pre-verbal infant learning: Infants' preference and understanding from eye movements and pupil dilation | H31.4～ | 塩入研 |
| 台湾 | 国立台湾大学 | 学習支援のための追体験システムの構築 | H31.4～ | 塩入研 |
| 台湾 | 国立台湾大学 | Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition | R2.4～ | 塩入研 |
| フランス<br>台湾 | Paris 8 CNRS, Dr. Sun Yat-sen University | Implicit non-verbal behaviors and brain communications | R2.4～ | 塩入研 |
| タイ | Rajamangala University of Technology Thanyaburi | 色名に関する文化差および個人差の多言語での研究 | R2.4～ | 塩入研 |
| 台湾 | 国立台湾大学, China Medical University | Attentive Search: Theory and Application | R2.4～ | 塩入研 |
| カナダ | Universityof Tront | 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～<br>R3.3 | 北村研 |
| インド | IIT Bombay | Interactive Content for Emergent Users | H31.4～ | 北村研 |
| 米国 | マサチューセッツ工科大学 | HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展 | H31.4～ | 北村研 |
| 韓国 | Yonsei University | アジアにおける HCI研究コミュニティの活性化 | H31.4～ | 北村研 |
| シンガポール | 国立シンガポール大学 | 地域活性化のためのUAV利活用技術とその社会実装に関する研究会 | H31.4～ | 北村研 |
| シンガポール | School of InformationSystems, SingaporeManagement University | 複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース | H31.4～ | 北村研 |

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| ニュージーランド | カンタベリー大学 | 適応的な触覚提示によるVR体験の没入感向上と動作範囲の削減 | R1.10～<br>R5.3 | 北村研 |
| イタリア | Palermo University | HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music | R2.4～ | 北村研 |
| タイ | Chulalongkorn University | Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system | R2.4～ | 北村研 |
| カナダ | University of Tronto | 人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザインタフェース | R2.4～ | 北村研 |
| シンガポール | 国立シンガポール大学 | 音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発 | R2.4～ | 北村研 |
| オーストラリア | The University of Melbourne | Cognition-Aware-Systems for Improving Human Performance | R2.4～ | 北村研 |
| スイス | Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL) | 生物ロコモーションの制御原理の解明とロボット応用 | H27.4～ | 石黒研 |
| 英国 | The University of Manchester | 古生物のロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究 | H29.4～ | 石黒研 |
| スイス<br>カナダ | スイス連邦工科大学ローザンヌ校，オタワ大学 | 水陸両用ロコモーションの発現機序解明に関する研究 | H29.9～ | 石黒研 |
| 英国 | The University of Warwick | バクテリアのバイオフィルム形成現象から切り拓く超サバイバルシステムの革新的設計論 | R1.10～<br>R5.3 | 石黒研 |
| 米国 | University of Minnesota | 気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成 | H30.4～ | 平野研 |
| ドイツ | University of Erlangen-Nuremberg | 酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用 | H30.4～ | 平野研 |
| 米国 | マサチューセッツ工科大学 | 組合せ論理の特性に関する研究 | H29.10～ | 中野研 |

国際活動

| 相手国 | 研究機関名 | 研究課題名 | 期　間 | 研究室 |
|---|---|---|---|---|
| 米国 | University of Virginia | エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開 | H31.4～ | 長谷川研 |
| シンガポール | Nanyang Technological University | PSDL: Physical Security of Deep Learning | R1.9～ | 本間研 |
| ベルギー | KU Leuven | Securing IoT devices against EM Fault Injection | R1.9～ | 本間研 |
| ベトナム | Renesas Design Vietnam Co., Ltd. | Brain-inspired edge computing system for automotive application | R1.10～<br>R3.3 | 堀尾研 |
| カナダ | McGill大学 | 脳型LSIとその応用 国際共同研究 | H29.4～<br>R3.3 | 羽生研 |
| フランス | STICC研究所 | 脳型LSIとその応用 国際共同研究 | H29.4～<br>R3.3 | 羽生研 |
| カナダ | トロント大学 | 脳型LSIとその応用 国際共同研究 | H29.4～<br>R3.3 | 羽生研 |
| 英国<br>フランス | University of Cambridge<br>University of Paris Sud | 半導体デバイス向け二次元電子・スピン材料拠点 | H28.4～<br>R3.3 | 遠藤研 |
| カナダ | McGill大学 | 脳型LSIとその関連技術国際共同研究 | R2.4～ | 羽生研 |
| フランス | MT Atlantique | スピンエッジコンピューティング向け革新的アーキテクチャ | R3.3～ | 羽生研 |
| カナダ | トロント大学 | 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 | H30.9～<br>R3.3 | 羽生研 |

## ７．外国人研究者の招へい状況

| 区分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 文部科学省事業 | 0 | 4 | 67 | 63 | 6 |
| 日本学術振興会事業 | 17 | 9 | 10 | 9 | 4 |
| 当該法人による事業 | 60 | 82 | 84 | 26 | 11 |
| その他 | 72 | 71 | 69 | 109 | 16 |
| 計 | 149 | 166 | 230 | 207 | 37 |
| 地域別内訳 | | | | | |
| ①アジア | 47 | 56 | 74 | 82 | 23 |
| ②北米 | 28 | 42 | 34 | 22 | 4 |
| ③中南米 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| ④ヨーロッパ | 67 | 62 | 110 | 97 | 9 |
| ⑤オセアニア | 4 | 3 | 7 | 3 | 0 |
| ⑥中東 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| ⑦アフリカ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 計 | 149 | 166 | 230 | 207 | 37 |
| 滞在期間別内訳 | | | | | |
| １月以上滞在 | 27 | 33 | 36 | 41 | 34 |
| １週間以上１月未満 | 34 | 42 | 48 | 41 | 2 |
| １週間未満 | 88 | 91 | 146 | 125 | 1 |
| 計 | 149 | 166 | 230 | 207 | 37 |

## ８．研究者の海外派遣状況

| 区分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 文部科学省事業 | 33 | 25 | 9 | 37 | 0 |
| 日本学術振興会事業 | 105 | 112 | 126 | 105 | 0 |
| 当該法人による事業 | 38 | 27 | 23 | 49 | 0 |
| その他 | 62 | 102 | 126 | 86 | 0 |
| 計 | 238 | 266 | 284 | 277 | 0 |
| 地域別内訳 | | | | | |
| ①アジア | 39 | 56 | 65 | 49 | 0 |
| ②北米 | 80 | 75 | 76 | 91 | 0 |
| ③中南米 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| ④ヨーロッパ | 110 | 120 | 136 | 121 | 0 |
| ⑤オセアニア | 4 | 11 | 3 | 13 | 0 |
| ⑥中東 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| ⑦アフリカ | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 計 | 238 | 266 | 284 | 277 | 0 |

## ９．国際学術交流協定一覧

１．部局間協定

| 締結時代表者 | 協定校 | | 協定締結年月日 | 研究課題/目標 | 協定締結のねらい | | | | | 更新状況 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 国名 | 研究機関名 | | | 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<br>津屋　昇 | ポーランド | ポーランド<br>科学アカデミー<br>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<br>室田淳一 | ドイツ | アイエイチピー<br>（IHP） | 2001.1.22 | 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<br>室田淳一 | フランス | 国立科学研究所<br>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<br>大野英男 | 中国 | 中国科学院<br>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<br>加藤修三 | アメリカ | ラトガース大学<br>ワイヤレスネットワーク研究所<br>（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<br>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<br>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<br>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<br><br>※2015.1.9～2020.1.8<br>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<br>・大学院生および若手 | ○ | ○ | | | | 更新手続き中 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 研究者を中心とした相互訪問による人的交流の活性化 | | | | | | |
| 教授<br>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<br>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 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| 教授<br>尾辻泰一 | ロシア | モスクワ国立大学物理学部 | 2018.6.8 | 共同研究の推進と高度人材育成 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| 教授<br>塩入諭 | 台湾 | 国立台湾大学人工知能・先端ロボットセンター | 2018.7.31 | 共同研究の推進と高度人材育成 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| 教授<br>尾辻泰一 | ロシア | ロシア科学アカデミー超高周波半導体電子工学研究所およびロシア科学アカデミー総合物理学研究所 | 2020.9.25 | テラヘルツ光電子工学、半導体プラズモニクス、テラヘルツイメージング工学、テラヘルツ無線通信工学などの理工学分野における国際共同研究の推進 | ○ | ○ | | | | 新規 |

２．大学間協定

| 国　名 | 協　定　校 | 協定締結<br>年 月 日 | 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 | |
| アメリカ | カリフォルニア大学　サンタバーバラ校 | 1990.3.15 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| イギリス | ヨーク大学 | 2004.6.7 | ○ | ○ | ○ | | | 継続 |
| ドイツ | ドレスデン工科大学 | 2006.6.26 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| ドイツ | ベルリン工科大学 | 2009.8.26 | ○ | ○ | ○ | | | 継続 |
| 台湾 | 国立清華大学 | 2009.12.2 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| アメリカ | ハーバード大学 | 2010.7.22 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| ドイツ | カイザースラウテルン工科大学 | 2012.2.1 | ○ | ○ | | | | 継続 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ドイツ | ヨハネスグーテンベルグ大学マインツ | 2012.2.6 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| ドイツ | ケムニッツ工科大学 | 2013.10.31 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| ドイツ | レーゲンスブルク大学 | 2017.3.16 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| ドイツ | オルデンブルク大学 | 2017.7.13 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| アメリカ | パーデュー大学 | 1997.9.23<br>通研は 2017 年より参画 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| スペイン | サラマンカ大学 | 2018.5.20 | ○ | ○ | | | | 継続 |
| ロシア | サンクトペテルブルク電気工科大学 | 2019.11.22 | ○ | | | ○ | ○ | 継続 |
| アメリカ | カリフォルニア大学（10 校） | 1990.3.15<br>サンタバーバラ校以外について 2020 年より参画 | ○ | ○ | | | | 新規 |
| ドイツ | ミュンヘン工科大学 | 2010.8.3<br>通研は 2020 年より参画 | ○ | ○ | | | | 新規 |
| 台湾 | 国立台湾大学 | 2000.11.18<br>通研は 2020 年より参画 | ○ | ○ | | | | 新規 |
| 台湾 | 国立交通大学 | 2005.12.15<br>通研は 2020 年より参画 | ○ | ○ | | | | 新規 |
| スイス | スイス連邦工科大学ローザンヌ校 | 2000.11.20<br>通研は 2020 年より参画 | ○ | ○ | | | | 新規 |

# 第７　社会貢献

## １．東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台フォーラム参加者数

（人）

| 年度 | 平成 28 年度<br>仙台 | 平成 29 年度<br>東京 | 平成 30 年度<br>仙台 | 令和元年度<br>東京 | 令和 2 年度<br>（オンライン開催） |
|---|---|---|---|---|---|
| 技術セミナー | ― | 266 | ― | ― | ― |
| 講演会 | 187 | 266 | 161 | 194 | 242 |
| 〈外部〉 | 117 | 150 | 105 | 121 | 150 |
| 〈内部〉 | 70 | 116 | 56 | 73 | 92 |
| 来場者数 | 187 | 266 | 161 | 194 | 242 |

## ２．通研一般公開参加者数

（人）

| 参加者数 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2,616 | 2,137 | 2,883 | （開催中止） | ※3 オンライン開催 |

※1 27・29 年度は片平まつりと同時開催

※2 令和元年度は片平まつりと同時開催予定であったが、令和元年東日本台風（台風１９号）接近に伴う悪天候が予想されたため中止した。

※3 令和 2 年度はオンライン開催

通研公開 2020 特設サイトのアクセス数：約 6,300 回

研究紹介、公開実験、工作教室のビデオ視聴回数：約 1,600 回

工作キットの送付数：約 730 セット

## ３．学会名誉会員及びフェローの状況

（人）

| 区　　分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 国際学会<br>フェロー | 8 | 9 | 4 | 2 | 2 |
| 国内学会<br>フェロー | 9 | 9 | 6 | 6 | 8 |
| 計 | 17 | 18 | 10 | 8 | 10 |

## ４．学会名誉会員及びフェローー覧

### 国際学会

| 学　　会　　名 | 氏　　名 |
|---|---|
| IEEE | 尾　辻　泰　一 |
| OSA | 尾　辻　泰　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 | 堀　尾　喜　彦 |
| 電子情報通信学会 | 末　松　憲　治 |
| 応用物理学会 | 尾　辻　泰　一 |
| 応用物理学会 | 平　野　愛　弓 |
| 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 | 北　村　喜　文 |
| 日本磁気学会 | 田　中　陽一郎 |
| 日本表面真空学会 | 平　野　愛　弓 |

## ５．学会役員の状況

| 区　　分 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 国際学会役員 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 国内学会役員 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 |
| 計 | 16 | 14 | 13 | 13 | 13 |

※会長、理事、評議員等

## ６．学会役員一覧

### 国際学会（2020）

| 学　会　名 | 役　職　名 | 任　期 | 氏　名 |
|---|---|---|---|
| IEEE | Chapter Operations Committee Vice Chair | 2019～現在 | 末松　憲治 |

### 国内学会（2020）

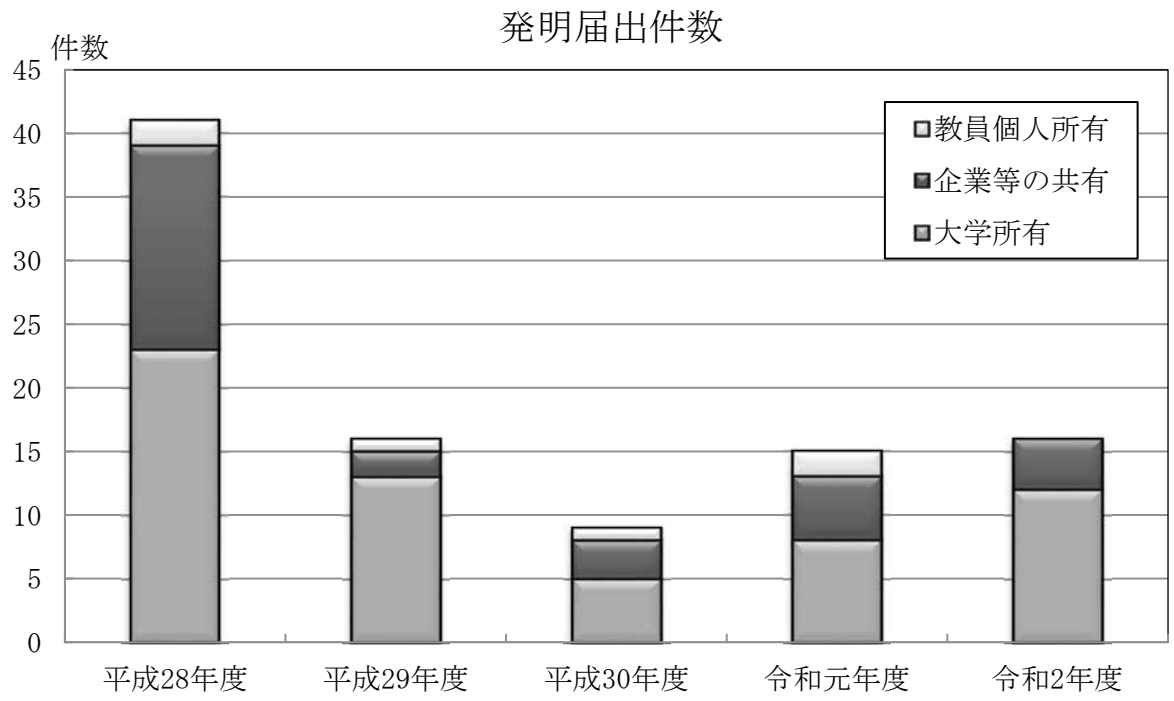
| 学　会　名 | 役　職　名 | 任　期 | 氏　名 |
|---|---|---|---|
| 日本神経回路学会 | 理事 | 2017～現在 | 堀尾　喜彦 |
| 日本磁気学会 | 理事 | 2017～現在 | 石山　和志 |
| 日本磁気学会 | 理事 | 2017～現在 | サイモン グリーブス |
| 日本誘電体学会 | 理事・副会長 | 2019～現在 | 長　康雄 |
| 日本視覚学会 | 幹事 | 2010～現在 | 塩入　論 |
| 日本視覚学会 | 幹事 | 2011～現在 | 栗木　一郎 |
| ヒューマンインタフェース学会 | 評議員 | 2007～現在 | 北村　喜文 |
| ヒューマンインタフェース学会 | 評議員 | 2019～現在 | 高嶋　和毅 |
| 日本ソフトウェア科学会 | 評議員 | 2015～現在 | 大堀　　淳 |
| 日本バーチャルリアリティ学会 | 評議員 | 2016～現在 | 北村　喜文 |
| 日本ナノメディシン交流協会 | 理事 | 2017～現在 | 山本　英明 |
| 日本表面真空学会 | 理事 | 2020～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 | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 文部科学省関連 | 5 | 13 | 0 | 2 | 3 |
| 他省庁 | 22 | 24 | 15 | 13 | 14 |
| 地方公共団体 | 3 | 6 | 2 | 4 | 6 |
| 財団、学会 | 34 | 34 | 30 | 29 | 25 |
| その他 | 94 | 66 | 86 | 106 | 80 |
| 計 | 158 | 143 | 133 | 154 | 128 |

# 第８　産学官連携

## １．発明届出件数、特許出願数、特許登録数




| 区　　分 | | 平成 28 年度 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 令和元年度 | 令和 2 年度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 発明届出件数 | | 41 | 16 | 9 | 15 | 16 |
| | 教員個人所有 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| | 企業等の共有 | 16 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| | 大学所有 | 23 | 13 | 5 | 8 | 12 |
| 国内出願数 | | 51 | 22 | 18 | 14 | 16 |
| 国内登録数 | | 18 | 29 | 20 | 17 | 24 |
| 外国出願数<br>（含む PCT 出願数） | | 34 | 22 | 23 | 14 | 11 |
| 外国登録数 | | 8 | 7 | 9 | 12 | 19 |

## 2. 電気通信研究所における技術的相談、指導

| 区　分 | 平成28年度 | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 技術的相談、指導 | 95 | 65 | 46 | 88 | 86 |

# 第９　広報活動と情報公開

## 開催行事

| |
|---|
| 1. 第 9 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム<br>The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer<br>2020 年 12 月 5 日(土) |
| 2. ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する通研国際シンポジウム<br>RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction<br>2021 年 1 月 24 日(日) |
| 3. 第 11 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<br>The 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics<br>2021 年 3 月 1 日(月)～3 月 2 日(火) |
| 4. 第 4 回 AI と人間に関する学際研究分野での東北大学国立台湾大学連携シンポジウム<br>The 4th Tohoku - NTU Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies<br>2021 年 3 月 12 日(金)～3 月 13 日(土) |
| 5. 2021 年ヨッタスケールデータ研究プラットフォームに関する国際シンポジウム<br>Symposium of Yotta Informatics Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021<br>2021 年 3 月 23 日(火)～3 月 24 日(水) |
| 6. 脳型 LSI に関する国際シンポジウム<br>The 7th International Symposium on Brainware LSI<br>2021 年 3 月 31 日(水) |
| 7. 電気通信研究所 工学研究会　随時 |
| 8. 電気通信研究所 一般公開　2020 年 10 月 10 日(土) ～10 月 11 日(日)【オンライン開催】 |
| 9. 東北大学 電気・情報 産学官フォーラム　2020 年 11 月 12 日(木)【オンライン開催】 |
| 10. 電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会　2021 年 2 月 18 日(木)【オンライン開催】 |

## 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（和文版･英文版） | 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） | 1 回発行（令和 2 年度） |

## 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 |
| 3. RIEC Newsweb | 公開中 |

# 職　　員

（令和２年５月１日）

| | | | |
|---|---|---|---|
| 所長（併）／教授 | Director, Professor | 塩　入　　諭 | Satoshi Shioiri |

## 研究部門　Research Divisions

### 情報デバイス研究部門　Information Devices Division

■　ナノフォトエレクトロニクス研究室　Nano-photoelectronics

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 上　原　洋　一 | Yoichi Uehara |
| 教　授（兼） | Professor* | 藤　掛　英　夫 | Hideo Fujikake |
| 准教授 | Associate Professor | 片　野　　諭 | Satoshi Katano |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 石　鍋　隆　宏 | Takahiro Ishinabe |

■　固体電子工学研究室　Solid State Electronics

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | （佐　藤　茂　雄） | (Shigeo Sato) |
| 教　授（兼） | Professor* | 遠　藤　哲　郎 | Tetsuo Endoh |
| 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* | 岡　田　　健 | Takeru Okada |
| 助　教 | Assistant Professor | 馬　　奕　涛 | Yitao Ma |
| 学術研究員 | Research Fellow | 佐々木　文　憲 | Fuminori Sasaki |

■　誘電ナノデバイス研究室　Dielectric Nano-Devices

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 長　　康　雄 | Yasuo Cho |
| 教　授（兼） | Professor* | 小　玉　哲　也 | Tetsuya Kodama |
| 准教授 | Associate Professor | 山　末　耕　平 | Kohei Yamasue |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 吉　澤　　晋 | Shin Yoshizawa |
| 助　教 | Assistant Professor | 平　永　良　臣 | Yoshiomi Hiranaga |

■　物性機能設計研究室　Materials Functionality Design

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 白　井　正　文 | Masafumi Shirai |
| 教　授（兼） | Professor* | 田　中　和　之 | Kazuyuki Tanaka |
| 教　授（兼） | Professor* | 安　藤　　晃 | Akira Ando |
| 准教授 | Associate Professor | 阿　部　和多加 | Kazutaka Abe |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 大　関　真　之 | Masayuki Ohzeki |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 高　橋　和　貴 | Kazunori Takahashi |
| 助　教 | Assistant Professor | 辻　川　雅　人 | Masahito Tsujikawa |
| 助　教 | Assistant Professor | 新　屋　ひかり | Hikari Shinya |
| 学術研究員 | Research Fellow | Tufan Roy | Tufan Roy |
| 学術研究員 | Research Fellow | 井　上　順一郎 | Jun-ichiro Inoue |

■　スピントロニクス研究室　Spintronics

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 深　見　俊　輔 | Shunsuke Fukami |
| 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（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* | 小　川　智　之 | Tomoyuki Ogawa |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 梅　谷　和　弘 | Kazuhiro Umetani |
| 助　教 | Assistant Professor | 金　井　　駿 | Shun Kanai |
| 助　教 | Assistant Professor | Justin Llandro | Justin Llandro |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 張　　超　亮 | Chaoliang Zhang |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 山　根　結　太 | Yuta Yamane |
| 学術研究員 | Research Fellow | 竹　内　祐太朗 | Yutaro Takeuchi |
| 学術研究員 | Research Fellow | 土　肥　昴　尭 | Takaaki Dohi |

■　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 | Associate Professor | 山　本　英　明 | Hideaki Yamamoto |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 黒　田　理　人 | Rihito Kuroda |
| 助　教 | Assistant Professor | 佐　藤　信　之 | Nobuyuki Sato |
| 特任助教 | Specially Appointed Assistant Professor | 金　　觀　洙 | Kwansoo Kim |
| 学術研究員 | Research Fellow | 守　谷　　哲 | Satoshi Moriya |

## 職　員

■ 量子デバイス研究室 Quantum Devices

| | | | |
|---|---|---|---|
| 准教授 | Associate Professor | 大　塚　朋　廣 | Tomohiro Otsuka |

■ 磁性デバイス研究室（客員） Magnetic Devices (Visitor Section)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 客員教授 | Visiting Professor | 家　田　淳　一 | Junichi Ieda |

### ブロードバンド工学研究部門 Broadband Engineering Division

■ 超高速光通信研究室 Ultrahigh-speed Optical Communication

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 廣　岡　俊　彦 | Toshihiko Hirooka |
| 教　授（兼） | Professor* | 山　田　博　仁 | Hirohito Yamada |
| 教　授（兼） | Professor* | 松　浦　祐　司 | Yuji Matsuura |
| 准教授 | Associate Professor | 葛　西　恵　介 | Keisuke Kasai |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 松　田　信　幸 | Nobuyuki Matsuda |

■ 応用量子光学研究室 Applied Quantum Optics

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 八　坂　　洋 | Hiroshi Yasaka |
| 准教授 | Associate Professor | 吉　田　真　人 | Masato Yoshida |
| 助　教 | Assistant Professor | 横　田　信　英 | Nobuhide Yokota |

■ 先端ワイヤレス通信技術研究室 Advanced Wireless Information Technology

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 末　松　憲　治 | Noriharu Suematsu |
| 教　授（兼） | Professor* | 陳　　強 | Qiang Chen |
| 特任教授 | Specially Appointed Professor | 芝　　隆　司 | Takashi Shiba |
| 准教授 | Associate Professor | 亀　田　　卓 | Suguru Kameda |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 今　野　佳　祐 | Keisuke Konno |
| 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 | 田　中　陽一郎 | Yoichiro Tanaka |
| 教　授（兼） | Professor* | 周　　暁 | Xiao Zhou |
| 教　授（兼） | Professor* | 伊　藤　健　洋 | Takehiro Ito |
| 准教授 | Associate Professor | Simon John Greaves | Simon J. Greaves |

■ 超ブロードバンド信号処理研究室 Ultra-Broadband Signal Processing

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 尾　辻　泰　一 | Taiichi Otsuji |
| 教　授（兼） | Professor* | 西　山　大　樹 | Hiroki Nishiyama |
| 教　授（兼） | Professor* | 末　光　哲　也 | Tetsuya Suemitsu |
| 准教授 | Associate Professor | 佐　藤　　昭 | Akira Satou |
| 助　教 | Assistant Professor | 渡　辺　隆　之 | Takayuki Watanabe |
| 学術研究員 | Research Fellow | Victor Ryzhii | Victor Ryzhii |

■ 量子光情報工学研究室 Quantum-Optical Information Technology

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 枝　松　圭　一 | Keiichi Edamatsu |
| 教　授（兼） | Professor* | 中　尾　光　之 | Mitsuyuki Nakao |
| 准教授 | Associate Professor | 三　森　康　義 | Yasuyoshi Mitsumori |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 片　山　統　裕 | Norihiro Katayama |
| 助　教 | Assistant Professor | Soyoung Baek | Soyoung Baek |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 松　本　伸　之 | Nobuyuki Matsumoto |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 金　田　文　寛 | Fumihiro Kaneda |

### 人間情報システム研究部門 Human Information Systems Division

■ 生体電磁情報研究室 Electromagnetic Bioinformation Engineering

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 石　山　和　志 | Kazushi Ishiyama |
| 教　授（兼） | Professor* | 山　口　正　洋 | Masahiro Yamaguchi |
| 教　授（兼） | Professor* | 津　田　　理 | Makoto Tsuda |
| 教　授（兼） | Professor* | 渡　邉　高　志 | Takashi Watanabe |
| 教　授（兼） | Professor* | 中　村　健　二 | Kenji Nakamura |
| 教　授（兼） | Professor* | 薮　上　　信 | Shin Yabukami |
| 准教授 | Associate Professor | 柵　　修一郎 | Shuichiro Hashi |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 遠　藤　　恭 | Yasushi Endo |
| 学術研究員 | 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 | 坂　本　修　一 | Shuichi Sakamoto |
| 教　授（兼） | Professor* | 金　井　　浩 | Hiroshi Kanai |
| 教　授（兼） | Professor* | 伊　藤　彰　則 | Akinori Ito |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 能　勢　　隆 | Takashi Nose |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 荒　川　元　孝 | Mototaka Arakawa |

■ 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 |
| 准教授 | Associate Professor | 栗　木　一　郎 | Ichiro Kuriki |
| 准教授 | Associate Professor | 曽　　加　薫 | Chia-Huei Tseng |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 杉　田　典　大 | Norihiro Sugita |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 阿　部　正　英 | Masahide Abe |
| 助　教 | Assistant Professor | 羽　鳥　康　裕 | Yasuhiro Hatori |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 金　子　沙　永 | Sae Kaneko |
| 特任助教 | Specially Appointed Assistant Professor | Guillen Barja Luis Alberto | Guillen Barja Luis Alberto |
| 特任助教 | Specially Appointed Assistant Professor | Alfian Amrizal Muhammad | Alfian Amrizal Muhammad |
| 学術研究員 | Research Fellow | Wu Wei | Wu Wei |

■ 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 | Associate Professor | 髙　嶋　和　毅 | Kazuki Takashima |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 阿　部　　亨 | Toru Abe |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 川　本　雄　一 | Yuichi Kawamoto |
| 助　教 | Assistant Professor | 藤　田　和　之 | Kazuyuki Fujita |
| 助　教 | Assistant Professor | 池　松　　香 | Kaori Ikematsu |

■ 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 | 福　原　　洸 | Akira Fukuhara |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 安　井　浩太郎 | Kotaro Yasui |

■ 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* | 西　　羽　美 | Hafumi Nishi |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 加　藤　俊　顕 | Toshiaki Kato |
| 助　教 | Assistant Professor | 但　木　大　介 | Daisuke Tadaki |
| 助　教 | Assistant Professor | 小　宮　麻　希 | Maki Komiya |

■ 多感覚情報統合認知システム研究室 Multimodal cognitive system

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授（兼） | Professor* | 坂　井　信　之 | Nobuyuki Sakai |
| 助　教 | Assistant Professor | 山　本　浩　輔 | Kosuke Yamamoto |

■ マルチモーダルコンピューティング研究室（客員） Multimodal Computing (Visitor Section)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 客員教授 | Visiting Professor | 下　條　信　輔 | Shinsuke Shimojoh |
| 客員准教授 | Visiting Associate Professor | 小　山　翔　一 | Shoichi Koyama |

## システム・ソフトウェア研究部門 Systems & Software Division

■ ソフトウェア構成研究室 Software Construction

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 大　堀　　淳 | Atsushi Ohori |
| 教　授（兼） | Professor* | 篠　原　　歩 | Ayumi Shinohara |
| 教　授（兼） | Professor* | 住　井　英二郎 | Eijiro Sumii |
| 准教授 | Associate Professor | 上　野　雄　大 | Katsuhiro Ueno |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 松　田　一　孝 | Kazutaka Matsuda |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 吉　仲　　亮 | Ryo Yoshinaka |
| 助　教 | Assistant Professor | 菊　池　健太郎 | Kentaro Kikuchi |

■ コンピューティング情報理論研究室 Computing Information Theory

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 中　野　圭　介 | Keisuke Nakano |
| 教　授（兼） | Professor* | 静　谷　啓　樹 | Hiroki Shizuya |
| 教　授（兼） | Professor* | 大　町　真一郎 | Shinichiro Omachi |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 酒　井　正　夫 | Masao Sakai |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 磯　邉　秀　司 | Shuji Isobe |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 菅　谷　至　寛 | Yoshihiro Sugaya |
| 助　教 | Assistant Professor | 浅　田　和　之 | Kazuyuki Asada |

## 職　員

### ■ コミュニケーションネットワーク研究室　Communication Network Systems

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 長谷川　剛 | Go Hasegawa |
| 教　授（兼） | Professor* | 斎　藤　浩　海 | Hiroumi Saito |
| 教　授（兼） | Professor* | 曽　根　秀　昭 | Hideaki Sone |
| 教　授（兼） | Professor* | 乾　健太郎 | Kentaro Inui |
| 准教授 | Associate Professor | 北　形　元 | Gen Kitagata |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 後　藤　英　昭 | Hideaki Goto |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 鈴　木　潤 | Jun Suzuki |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 水　木　敬　明 | Takaaki Mizuki |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 飯　岡　大　輔 | Daisuke Ioka |

### ■ 環境調和型セキュア情報システム研究室　Environmentally Conscious Secure Information System

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 本　間　尚　文 | Naofumi Homma |
| 助　教 | Assistant Professor | 上　野　嶺 | Rei Ueno |
| 特任助教 | Specially Appointed Assistant Professor | Ville Oskari Yli-Mäyry | Ville Oskari Yli-Mäyry |

### ■ 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 |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 伊　藤　康　一 | Koichi Ito |
| 助　教 | Assistant Professor | 鬼　沢　直　哉 | Naoya Onizawa |
| 学術研究員 | 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 | 松　岡　浩 | Hiroshi Matsuoka |

## 附属研究施設　Research Facilities

### 附属ナノ・スピン実験施設　Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

| | | | |
|---|---|---|---|
| 施設長（併）／教授 | Director, Professor | 上　原　洋　一 | Yoichi Uehara |

### ■ 共通部　Cooperation Section

| | | | |
|---|---|---|---|
| 技術専門職員（兼） | Technical Staff* | 森　田　伊　織 | Iori Morita |
| 技術一般職員（兼） | Technical Staff* | 小　野　力　摩 | Rikima Ono |
| 技術一般職員（兼） | Technical Staff* | 武　者　倫　正 | Michimasa Musha |

### ■ スピントロニクス研究室　Spintronics

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 深　見　俊　輔 | Shunsuke Fukami |
| 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（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* | 小　川　智　之 | Tomoyuki Ogawa |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 梅　谷　和　弘 | Kazuhiro Umetani |
| 助　教 | Assistant Professor | 金　井　駿 | Shun Kanai |
| 助　教 | Assistant Professor | Justin Llandro | Justin Llandro |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 張　超　亮 | Chaoliang Zhang |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 山　根　結　太 | Yuta Yamane |

■　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* | 西　　羽　美 | Hafumi Nishi |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 加　藤　俊　顕 | Toshiaki Kato |
| 助　教 | Assistant Professor | 但　木　大　介 | Daisuke Tadaki |
| 助　教 | Assistant Professor | 小　宮　麻　希 | Maki Komiya |

■　ナノ集積デバイス・プロセス研究室　Nano-Integration Devices and Processing

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 佐　藤　茂　雄 | Shigeo Sato |
| 教　授（兼） | Professor* | 須　川　成　利 | Shigetoshi Sugawa |
| 教　授（兼） | Professor* | 張　山　昌　論 | Masanori Hariyama |
| 准教授 | Associate Professor | 櫻　庭　政　夫 | Masao Sakuraba |
| 准教授 | Associate Professor | 山　本　英　明 | Hideaki Yamamoto |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 黒　田　理　人 | Rihito Kuroda |
| 助　教 | Assistant Professor | 佐　藤　信　之 | Nobuyuki Sato |
| 特任助教 | Specially Appointed Assistant Professor | 金　　觀　洙 | Kwansoo Kim |

## 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 |
| 教　授 | Professor | 坂　本　修　一 | Shuichi Sakamoto |

■　ソフトコンピューティング集積システム研究室　Soft Computing Integrated System

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 堀　尾　喜　彦 | Yoshihiko Horio |

■　新概念 VLSI システム研究室　New Paradigm VLSI System

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授 | Professor | 羽　生　貴　弘 | Takahiro Hanyu |
| 教　授（兼） | Professor* | 青　木　孝　文 | Takafumi Aoki |
| 准教授 | Associate Professor | 夏　井　雅　典 | Masanori Natsui |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 伊　藤　康　一 | Koichi Ito |
| 助　教 | Assistant Professor | 鬼　沢　直　哉 | Naoya Onizawa |

■　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 | 福　原　　洸 | Akira Fukuhara |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 安　井　浩太郎 | Kotaro Yasui |

## 附属21世紀情報通信研究開発センター　Research Center for 21st Century Information Technology

| | | | |
|---|---|---|---|
| センター長（併）／教授 | Director, Professor | 末　松　憲　治 | Noriharu Suematsu |

■　産学官研究開発部　Industry-Academia-Government-Collaboration Research and Development Division

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授（兼） | Professor* | 末　松　憲　治 | Noriharu Suematsu |
| 客員教授 | Visiting Professor | 鈴　木　恭　宜 | Yasunori Suzuki |
| 客員教授 | Visiting Professor | 丸　橋　建　一 | Kenichi Maruhashi |

■　学際連携研究部　Interdisciplinary Collaboration Research Division

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授（兼） | Professor* | 塩　入　　諭 | Satoshi Shioiri |
| 教　授（兼） | Professor* | 羽　生　貴　弘 | Takahiro Hanyu |

■　萌芽研究部　Exploratory Research Division

| | | | |
|---|---|---|---|
| 教　授（兼） | Professor* | 北　村　喜　文 | Yoshifumi Kitamura |
| 准教授（兼） | Associate Professor* | 亀　田　　卓 | Suguru Kameda |

## 職　員

| 高等研究機構新領域創成部 | | | Division for the Establishment of Frontier Sciences |
|---|---|---|---|
| ■　多感覚情報統合認知システム研究室 | | | Multimodal cognitive system |
| 教　授（兼） | Professor* | 坂　井　信　之 | Nobuyuki Sakai |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 山　本　浩　輔 | Kosuke Yamamoto |

| ■　スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室 | | | Spintronics/CMOS Hybrid Brain-Inspired Integrated Systems |
|---|---|---|---|
| 教　授（兼） | Professor* | 遠　藤　哲　郎 | Tetsuo Endoh |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 馬　　奕　涛 | Yitao Ma |

| 安全衛生管理室 | | | Management Office for Safety and Health |
|---|---|---|---|
| 室　長（兼）／教授 | Manager, Professor* | 石　山　和　志 | Kazushi Ishiyama |
| 副室長（兼）／教授 | Deputy Manager, Professor* | 上　原　洋　一 | Yoichi Uehara |
| 助　教（兼） | Assistant Professor* | 佐　藤　信　之 | Nobuyuki Sato |

## 共通研究施設　Common Research Facilities

| やわらかい情報システムセンター | | | Flexible Information System Center |
|---|---|---|---|
| センター長（兼）／教授 | Director, Professor* | 大　堀　　淳 | Atsushi Ohori |

| 研究基盤技術センター | | | Fundamental Technology Center |
|---|---|---|---|
| センター長（兼）／教授 | Director, Professor* | 佐　藤　茂　雄 | Shigeo Sato |
| 技術専門員（技術長） | Technical Staff | 末　永　　保 | Tamotsu Suenaga |

| ■　工作部 | | | Machine Shop Division |
|---|---|---|---|
| 技術一般職員（グループ長） | Technical Staff | 阿　部　健　人 | Kento Abe |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 前　田　泰　明 | Yasuaki Maeda |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 関　谷　佳　奈 | Kana Sekiya |

| ■　評価部 | | | Evaluation Division |
|---|---|---|---|
| 技術専門職員（グループ長） | Technical Staff | 阿　部　真　帆 | Maho Abe |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 丹　野　健　徳 | Takenori Tanno |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 柳　生　寛　幸 | Hiroyuki Yagyu |
| 再雇用職員 | Technical Staff | 庄　子　康　一 | Koichi Shoji |

| ■　プロセス部 | | | Process Division |
|---|---|---|---|
| 技術専門職員（グループ長） | Technical Staff | 森　田　伊　織 | Iori Morita |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 小　野　力　摩 | Rikima Ono |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 武　者　倫　正 | Michimasa Musha |

| ■　情報技術部 | | | Information Technology Division |
|---|---|---|---|
| 技術専門職員 | Technical Staff | 丸　山　由　子 | Yuko Maruyama |
| 技術一般職員（グループ長） | Technical Staff | 佐　藤　正　彦 | Masahiko Sato |
| 技術一般職員 | Technical Staff | 太　田　憲　治 | Kenji Ota |

| 国際化推進室 | | | Office for the Promotion of International Relations |
|---|---|---|---|
| 特任教授 | Specially Appointed Professor | 小　川　裕　之 | Ogawa Hiroyuki |

| 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 | 三　上　洋　一 | Yoichi Mikami |
| 事務長補佐 | Deputy-General Manager | 村　上　亜矢子 | Ayako Murakami |
| 総務係長 | Chief of General Affairs Section | 富　川　浩　行 | Hiroyuki Tomikawa |
| 研究協力係長 | Chief of Research Cooperation Section | 柴　田　圭　一 | Keiichi Shibata |
| 図書係長 | Chief of Library Section | 内ヶ崎　洋　一 | Yoichi Uchigasaki |
| 経理係長 | Chief of Accounting Section | 山　口　教　光 | Norimitsu Yamaguchi |
| 用度係長 | Chief of Purchasing Section | 佐　藤　寛　之 | Hiroyuki Sato |

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第27号

2021年 12月発行

発　行　者　　塩　入　　論

編　集　者　　東北大学電気通信研究所総務委員会
　　〒980-8577　仙台市青葉区片平二丁目１番１号

Ｔ　Ｅ　Ｌ　　022-217-5422

Ｆ　Ａ　Ｘ　　022-217-5426

Ｕ　Ｒ　Ｌ　　http://www.riec.tohoku.ac.jp/

印　刷　所　　有限会社　明倫社
　　〒983-0842　仙台市宮城野区五輪2-9-5　五輪ビル
　　TEL 022-295-8211 FAX 022-295-8213



東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication Tohoku University

〒980-8577　仙台市青葉区片平二丁目1-1
TEL：022-217-5420　FAX：022-217-5426
http://www.riec.tohoku.ac.jp