東北大学

電気通信研究所

研究活動報告

第30号（2023年度）

Annual Report 2023

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 …… 7
２．運営協議会委員名簿 …… 8
３．共同研究組織 …… 9
４．教育組織 …… 10

第３章　研究活動

１．計算システム基盤研究部門の目標と成果 …… 13
(1) 固体電子工学研究室 …… 14
(2) 誘電ナノデバイス研究室 …… 16
(3) 物性機能設計研究室 …… 18
(4) スピントロニクス研究室 …… 20
(5) ナノ集積デバイス・システム研究室 …… 22
(6) 量子デバイス研究室 …… 24
(7) 革新的スピントロニクスデバイス研究室 …… 26
(8) コンピューティング情報理論研究室 …… 28
(9) 新概念ＶＬＳＩシステム研究室 …… 30
２．情報通信基盤研究部門の目標と成果 …… 32
(1) 超高速光通信研究室 …… 35
(2) 応用量子光学研究室 …… 37
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室 …… 39
(4) 情報ストレージシステム研究室 …… 41
(5) 超ブロードバンド信号処理研究室 …… 43
(6) 量子光情報工学研究室 …… 45
(7) ネットワークアーキテクチャ研究室 …… 47
(8) 環境調和型セキュア情報システム研究室 …… 49
３．人間・生体情報システム研究部門の目標と成果 …… 51
(1) 生体電磁情報研究室 …… 54
(2) 先端音情報システム研究室 …… 56
(3) 高次視覚情報システム研究室 …… 58
(4) 実世界コンピューティング研究室 …… 60
(5) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室 …… 62
(6) インタラクティブコンテンツ研究室 …… 64
(7) ソフトコンピューティング集積システム研究室 …… 66
４．ナノ・スピン実験施設 …… 68
５．ブレインウェア研究開発施設 …… 72
(1) 認識・学習システム研究室 …… 74

６．21 世紀情報通信研究開発センター …… 76
(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　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 …… 81
(3) 萌芽研究部　注意推定による教育支援システムの実現 …… 84
(4) 萌芽研究部　共生社会を実現するドローン利活用技術の研究 …… 86
(5) 萌芽研究部　スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発 …… 88
７．サイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター …… 90
８．共創研究所 …… 92
９．安全衛生管理室 …… 93
10．やわらかい情報システムセンター …… 95
11．研究基盤技術センター …… 97
12．機動的研究グループ …… 99
(1) サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ …… 99
(2) 脳型ナノデバイス・回路研究グループ …… 99

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 …… 103
２．令和５年度共同プロジェクト研究採択一覧 …… 105
３．令和５年度共同プロジェクト研究成果報告 …… 109

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 …… 441
(1) The 20th International Workshop on Emerging ICT …… 441
(2) 20th RIEC International Workshop on Spintronics …… 442
(3) RIEC International Symposium on Enriching Telecommunication and Nonverbal Information …… 443
(4) The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer …… 444
(5) The 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics …… 445
２．国際会議等 …… 446
(1) 14th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics …… 446

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等 …… 449
(1) 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 …… 449
(2) 先端スピントロニクス研究開発センター（CSIS） …… 451
(3) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES） …… 452
(4) ヨッタインフォマティクス研究センター …… 454
２．参画する事業・プログラム …… 455
(1) スピントロニクス国際共同大学院プログラム …… 455
(2) 卓越大学院プログラム …… 456

第７章　評価と分析

運営協議会報告（議事録） …… 459

【資料編】

第 1　人事 …… 489
①教員　②客員外国人教員　③客員教員　④特任研究員・学術研究員　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 …… 494
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 …… 496
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 …… 502
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 5 年度研究代表者）
④外部資金の受入状況　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 …… 512
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 …… 520
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本研究所教員が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 …… 535
①東東北大学 電気・情報 産学官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 …… 539
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 …… 540

付　録　職員…… 541

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です。そのためには、基盤技術となるサイバーセキュリティ、次世代情報通信（Beyond 5G)、量子コンピューティング、AI（人工知能)、スピントロニクスなどの新機能デバイスをさらに推進＆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、令和 5 年度(2023 年度)から計算システム基盤、情報通信基盤、人間・生体情報システムの 3 つの研究部門（2023 年 4 月より）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とサイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター（2023 年 4 月より）の 2 つの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。加えて、産学連携を推進する共創研究所の第１号が令和５年４月から設置（３年間)、文科省概算要求の採択を受け、令和６年度から

「総合知インフォマティクス研究センター」が本所構成員を中心に新設されました。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、2022 年度より第 3 期の活動を継続しています。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。

コロナ禍を乗り越えて情報通信の重要性がより一層注目されている現在、より高速・大容量でセキュアな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６年

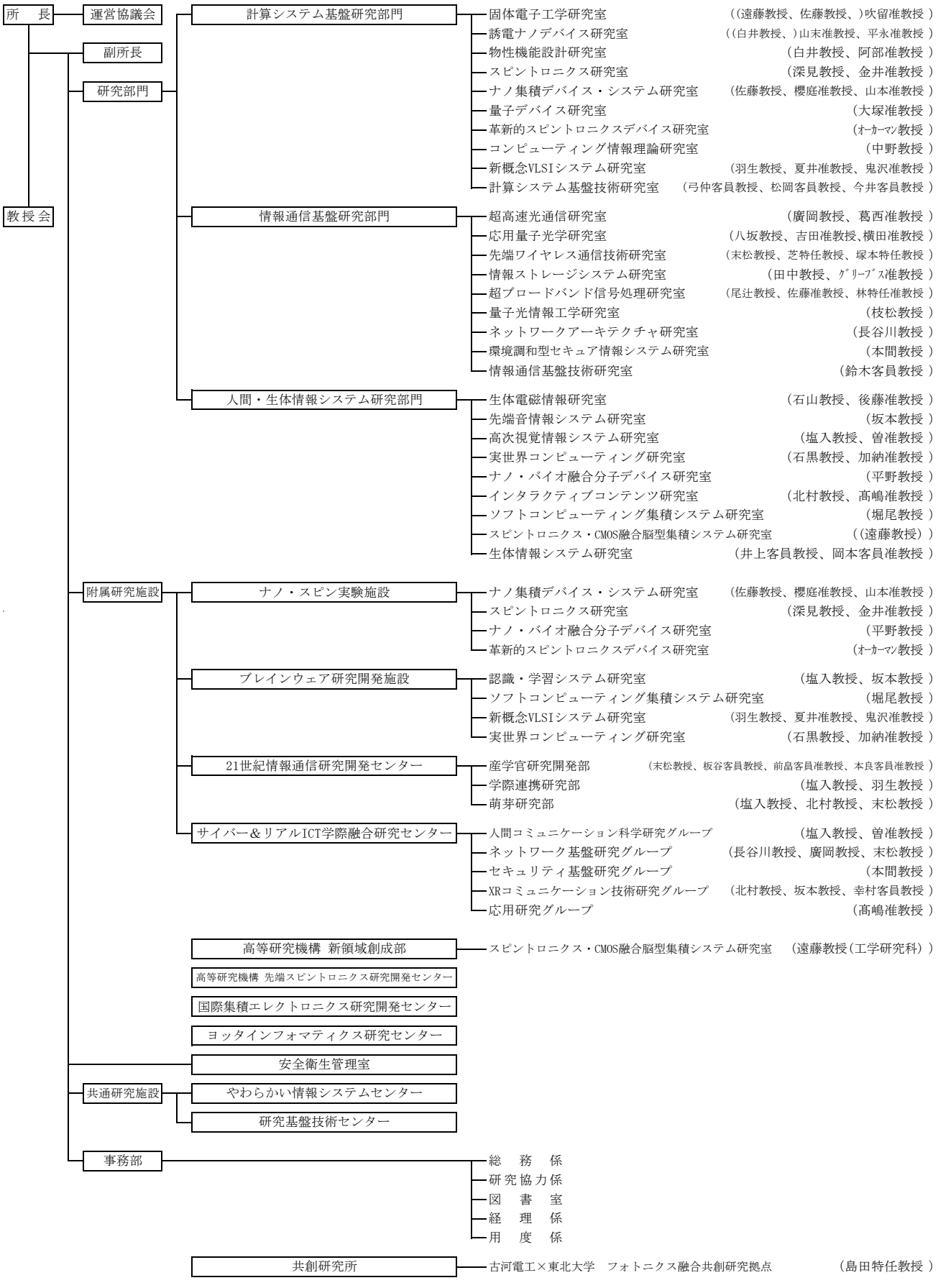
電気通信研究所 所長

羽　生　貴　弘

第 2 章　組織･運営

2.1 組 織 図

R6.3.31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。

村　山　宣　光（委員）	国立研究開発法人 産業技術総合研究所　副理事長
今　井　　亨（　〃　）	日本放送協会 放送技術研究所　所長
田　畑　　仁（　〃　）	東京大学大学院工学研究科　教授
山　口　浩　司（　〃　）	日本電信電話株式会社　ＮＴＴ物性科学基礎研究所 フロンティア機能物性研究部　フェロー
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
川　越　　開（　〃　）	宮城県企画部デジタル政策推進監兼副部長
玉　田　　薫（　〃　）	九州大学　副学長／先導物質化学研究所　教授
森　島　繁　生（　〃　）	早稲田大学先進理工学部　教授
福　永　博　俊（　〃　）	長崎大学　学長補佐
小　林　直　樹（　〃　）	東京大学大学院情報理工学系研究科　教授
松　下　雅　仁（　〃　）	三菱電機情報技術総合研究所　所長
丸　山　　宏（　〃　）	株式会社 Preferred Networks　非常勤取締役
前　田　裕　二（　〃　）	日本電信電話株式会社 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　招聘教授
橋　本　隆　子（　〃　）	千葉商科大学　副学長
阿　野　茂　浩（　〃　）	公益財団法人　ＫＤＤＩ財団　理事長
江　村　克　己（委員長）	福島国際研究教育機構　理事
都　築　暢　夫（委員）	東北大学大学院 理学研究科長
伊　藤　彰　則（　〃　）	東北大学大学院 工学研究科長
加　藤　　寧（　〃　）	東北大学大学院 情報科学研究科長
佐々木　孝　彦（　〃　）	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
松　浦　祐　司（　〃　）	東北大学大学院 工学研究科　教授

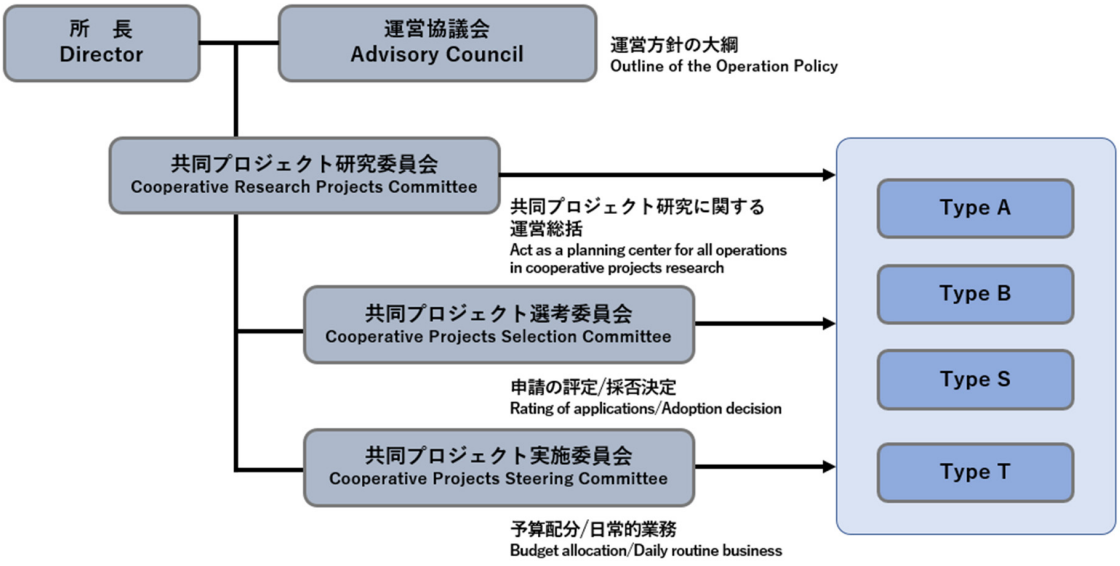
2.3 共同研究組織

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。



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。

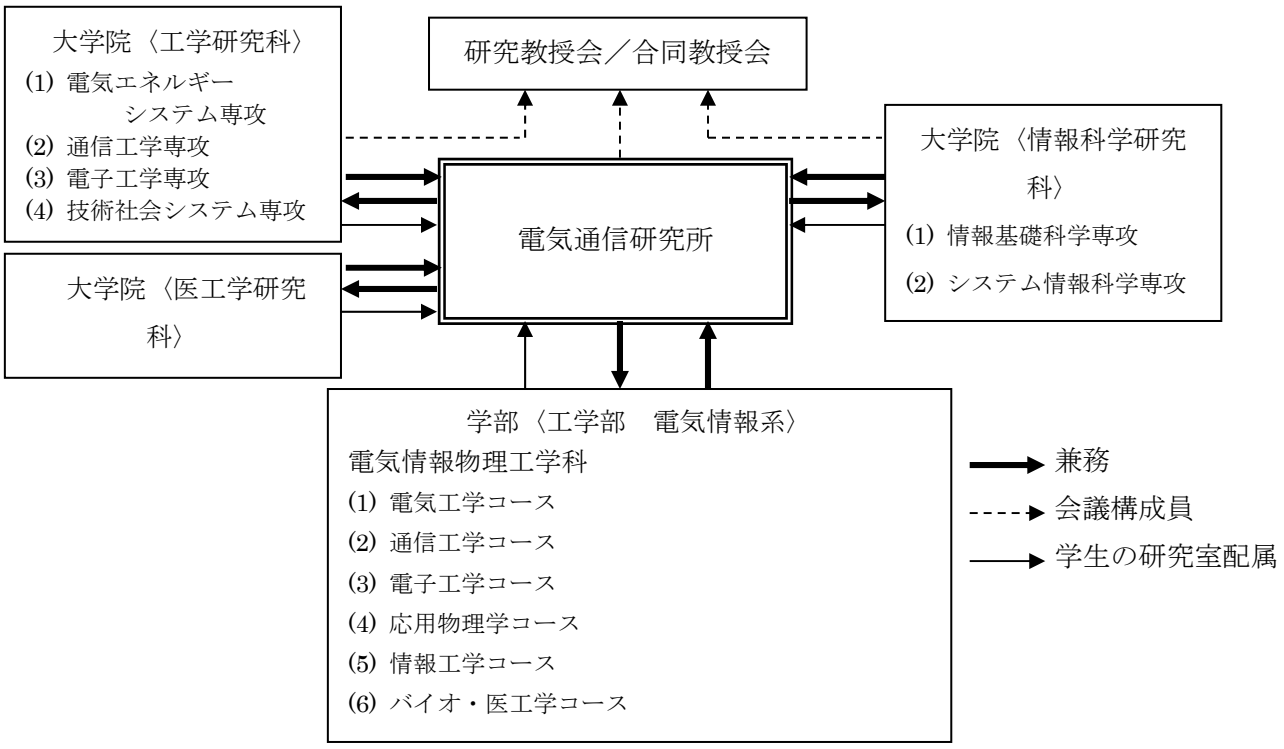
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。2012 年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015 年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2023 年度には通研の 24 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、3 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 181 名、学部生は 59 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 計算システム基盤研究部門の目標と成果

本部門は 2021 年にまとめた「通研将来像」において，通研が今後取り組むべき重要 3 課題の一つである「超計算力の獲得」という大きな目標を念頭に，物性・材料から，デバイス，プロセス，回路，システム，ソフトウェアに亘る研究領域を垂直統合して研究を実施している．本部門で展開している研究は，現行のコンピュータで効率的に処理することが困難な高度な問題を高速かつ省エネルギーで処理する技術の構築に繋がるものである．その実現に向け次世代情報処理通信の基盤となるデバイス，回路，ソフトウェア設計の基礎理論と革新的情報デバイス・システム技術を構築すること目的としている．新材料やナノ構造で発現される新機能を活用した半導体・誘電体・量子・スピンデバイス，新たな設計原理やデバイスを適用した新概念半導体回路，高信頼プログラミング言語などを実現することを目標とする．

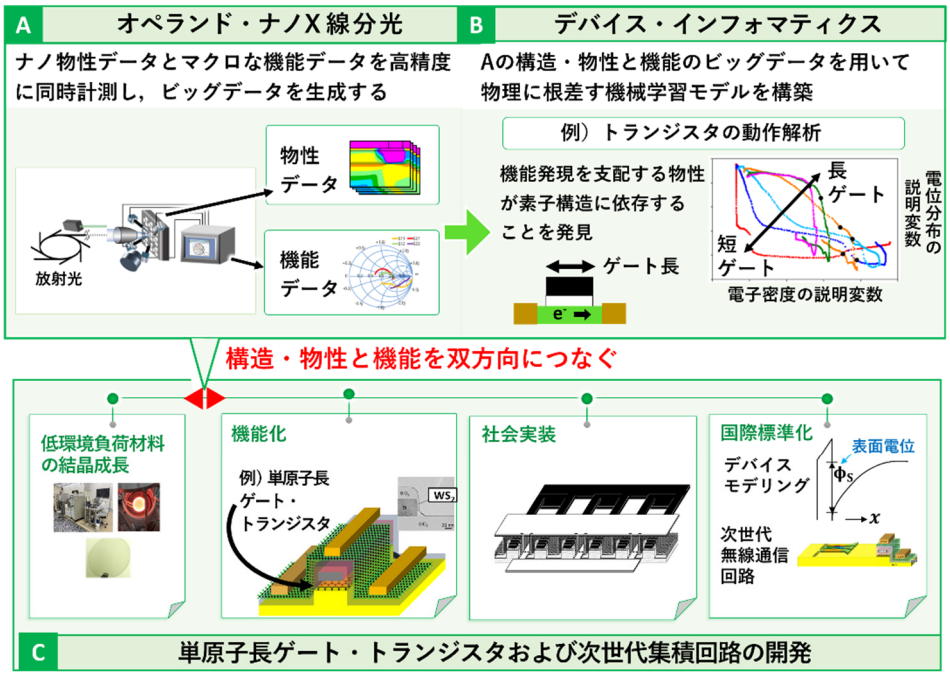
目標に到達するために，下記の 11 研究室が研究開発を行っている．

1. 固体電子工学研究室
2. 誘電ナノデバイス研究室
3. 物性機能設計研究室
4. スピントロニクス研究室
5. ナノ集積デバイス・システム研究室
6. 量子デバイス研究室
7. 革新的スピントロニクスデバイス研究室
8. コンピューティング情報理論研究室
9. 新概念 VLSI システム研究室
10. ソフトウェア構成研究室
11. 計算システム基盤技術研究室 (客員研究室)

各分野の目標ならびに 2023 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．

固体電子工学研究室

究極のトランジスタの創出および次世代集積回路開発



Supported by
Beyond 5G研究開発事業
JST未来社会創造事業
JST-CREST

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、単原子一個分まで短縮したゲートを有する究極のトランジスタの創出および次世代集積回路への展開に取り組んでいる。これらの研究開発においては、複雑な動作機構を詳らかにする必要がある。そのために，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。本法により得られる計測ビッグデータを用いて、データ駆動的に構造・物性と機能発現を双方向に接続する学理「デバイス・インフォマティクスの創成にも取り組んでいる。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　単原子長トランジスタの開発

次世代半導体集積回路の実現には、チャネル厚およびゲート長を単原子レベルまでのダウンサイジングが必要である。本年度、二次元半導体とグラフェンを直交させながらエピ成長させることで、チャネル厚およびゲート長を単原子レベルまでのダウンサイジングさせることに世界で初めて成功した。この技術を用いた単原子トランジスタおよび集積回路の製造に関する特許を出願した。

２．　デバイス・インフォマティクスの創成

機能発現の物理モデルを機械学習に組み込み、SPring-8 やナノテラスをはじめとする放射光施設を用いた X 線オペランド計測で得られる構造・物性および機能のビッグデータを用いて、データ駆動的にデバイス動作機構を得る物理に根差した機械学習モデルに取り組んでいる。今年度は、拡張型自由エネルギーを用いて、トランジスタの増幅機構の過程を可視化することに初めて成功した。

＜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
技術補佐員　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）。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] **吹留博一**, 渡邊一世, 川原実, 飛坂優二, 秋山昌次, 川合信, “トランジスタ，集積回路，およびトランジスタの製造方法”, 特願2023-095711，2023年6月9日.
[2] **吹留博一**, 末光哲也, 渡邊一世, 川原実, 飛坂優二, 秋山昌次, 川合信, “トランジスタの集積回路およびその製造方法”, 特願 2023-095712，2023 年 6 月 9 日.

誘電ナノデバイス（(白井)・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

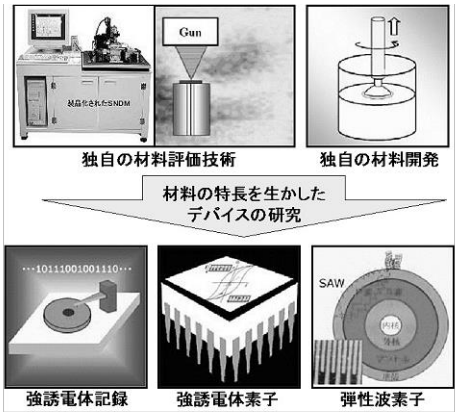


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

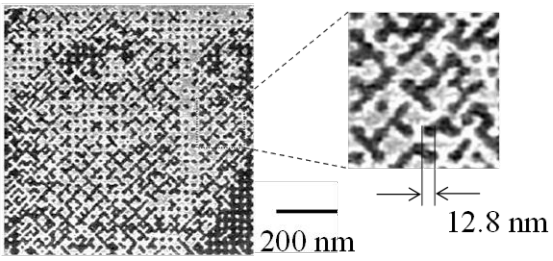


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

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。

＜2023 年度の主な成果＞

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: 酸化ハフニウム基強誘電体薄膜において局所 C-V マッピング法によって得られた分極反転挙動のマッピングデータと表面形状像から抽出したグレイン境界パターンを実空間で直接比較することを通じて、グレイン境界が分極反転挙動に与える影響を定量的に評価した。次に 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) 昨年度までに実現された時間分解 SNDM に基づく局所 CV 特性測定を用いて、次世代パワーMOSFET 向けワイドバンドギャップ半導体ウェハのナノスケール評価を実現（GaN ウェハは富士電機、ダイヤモンドウェハは金沢大学との共同研究） (2) 同測定法で実測された界面電荷の空間ゆらぎがパワーMOSFET の電気特性に及ぼす影響評価を可能にするデバイスシミュレーション環境を開発 (3)原子層半導体材料の界面欠陥密度分布評価やその積層構造の局所

CV 特性測定の研究等を推進。その他、通研共同プロジェクト研究(S)（R05/S01:先端的コヒーレント波技術の応用研究）への参画を開始し、当研究室と所内ならびに静岡大学電子工学研究所との連携を開始した。

＜職員名＞

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＞

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。原子分解能を有する非接触走査型非線形誘電率顕微鏡／ポテンショメトリの開発および多機能・時間分解プローブ顕微分光システムの開発と次世代電子材料・デバイス評価への応用に関する研究等に従事。石田實記念財団研究奨励賞（2021 年）。

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。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Yamasue, Y. Ogata, T. Matsumoto, N. Tokuda, and Y. Cho, Nanoscale fluctuation analysis on capacitance-voltage profiles of Al_2O_3/diamond by time-resolved scanning nonlinear dielectric microscopy, The 43th Annual NANO Testing Symposium (NANOTS2023), pp. 26-30, Senri Life-Science Center, Toyonaka, Japan, Nov. 7-9 (2023).

[2] 山末 耕平, 時間分解 SNDM を用いた次世代半導体材料のナノスケール電荷状態観察，次世代ナノプローブ技術委員会，第 2 回研究会，Shimadzu Tokyo Innovation Plaza，川崎市，March 12 (2024).[招待講演]

[3] 山末 耕平, 走査型非線形誘電率顕微鏡の次世代パワーエレクトロニクス材料評価への応用，名古屋大学 VBL シンポジウム「GaN パワーデバイスの社会実装に向けた評価と技術」，名古屋大学, Nov. 30 (2023). [招待講演]

[4] K. Yamasue, K. Ueno, T. Kondo, R. Tanaka, S. Takashima, and Y. Cho, Microscopic evaluation of SiO_2/GaN interface for power device applications by scanning nonlinear dielectric microscopy, 14th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-14), ThP-CH-22, Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, Japan, Nov. 12-17 (2023).

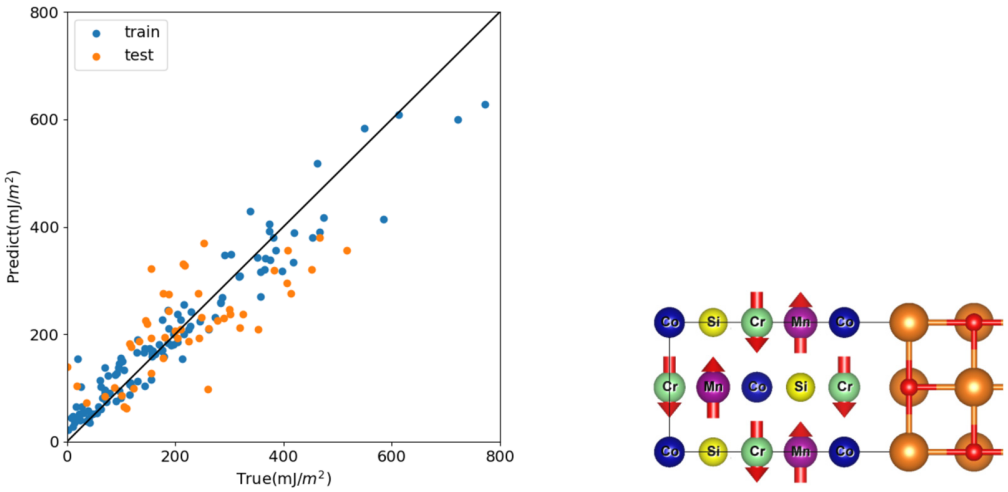
[5] A. Sumiyoshi, K. Yamasue, Y. Cho, and J. Nakamura, A simulation for the in-plane distribution of the surface dipole moment using DFT calculations, 31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31), S7-2, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, Dec. 7-8 (2023).

[6] 平永良臣, 長康雄, “局所 C-V マッピング法を用いた強誘電体メモリ材料のナノスケールドメイン挙動分析”, 映情学技報, vol. 47, no. 17, MMS2023-36, pp. 9-15, 2023 年 6 月［招待講演］

[7] Yoshiomi Hiranaga, “Visualization of Nanoscale Ferroelectric Domain Dynamics Based on Local Capacitance Measurements”, JAIST International symposium of Nano-Materials for Novel Devices, 2024 年 1 月［招待講演］

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



四元ホイスラー合金／MgO 接合界面における交換スティッフネスの機械学習予測値（縦軸）と第一原理計算値（横軸）の相関図（左）と接合界面の結晶構造の模式図（右）

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データ駆動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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　機械学習を援用した磁気トンネル接合の理論設計

不揮発性磁気抵抗ランダムアクセスメモリの要素素子である磁気トンネル接合における室温での磁気抵抗比を改善するために、接合界面における磁気モーメントの熱揺らぎ耐性に優れた磁気トンネル接合を、第一原理計算と機械学習を用いて理論設計した。電極材料として四元ホイスラー合金に着目し、バルクにおけるキュリー温度などの物性量に加えて、ホイスラー合金／酸化マグネシウム(MgO)界面における磁気特性を計算した。その結果を収録したデータベースを構築し、ホイスラー合金バルクのキュリー温度とヘテロ接合界面における交換スティッフネスを高精度に予測する機械学習手法を開発することに成功した。この設計手法を用いて、CoCrMnZ (Z = Al, Ga, Si, Ge)と Fe_2CoZ (Z = Al, Ga, In)が MgO 障壁磁気トンネル接合における有望な電極候補材料であることを見出した[3, 4]。さらに、CoCrMnZ/MgO/CoCrMnZ 接合におけるスピン依存伝導特性を第一原理計算することにより、CoCrMnAl および CoCrMnG が電極材料としての優れていることを理論的に検証した[5-7]。

２． 水素の超高圧原子相の第一原理構造探索

水素の分子解離圧力を第一原理計算で探る場合、交換相関エネルギー密度汎関数に対する近似として、通常の一般化勾配近似（GGA）では不十分であるとされる。ただ汎関数型の選択の影響が、さらに高圧の領域でどれほど大きいかはよく分っていなかった。本研究では GGA および van der Waals 密度汎関数 （vdW-DF）の二つを用い、テラパスカル領域における水素の構造を調べた。陽子の非調和零点エネルギーの影響は、self-consistent harmonic 近似を用いて解析している。GGA と vdW-DF の結果を比較すると、現れる構造自体に大きな違いはないが、ただ転移圧力に明確な違いがみられた。GGA では 3.5TPa で等方的構造へと転移するが、vdW-DF ではその転移圧は 4.6TPa まで上昇する。また等方的構造が力学的に安定化される圧力も、GGA と比較し、vdW-DF では高圧側に 1〜2TPa 程度シフトする傾向があった。本結果は、テラパスカル領域においても、汎関数の選択が水素の相図予測に大きく影響することを示唆している。

＜職員名＞

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

＜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）。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Pakhira, A. K. Kundu, F. Islam, M. A. Tanatar, T. Roy, T. Heitmann, T. Yilmaz, E. Vescovo, M. Tsujikawa, M. Shirai, R. Prozorov, D. Vaknin and D. C. Johnston, “Anisotropic magnetism and electronic structure of trigonal $EuAl_2Ge_2$ single crystals,” Phys. Rev. B, Vol. 107, pp. 134439/1-16, 2023

[2] J. Inoue, M. Tsujikawa and M. Shirai, “Orbital current and torque at the interface of magnetic tunnel junctions,” Phys. Rev. B, Vol. 108, pp. 014431/1-8, 2023

[3] R. Okabe, M. Li, Y. Iwasaki, N. Refnault, C. Felser, M. Shirai, A. Kovacs, T. Schrefl and A. Hirohata, “Materials informatics for the development and discovery of future magnetic materials,” IEEE Magn. Lett., Vol. 14, pp. 2500305/1-5, 2023

[4] M. Shirai, T. Roy and M. Tsujikawa, “Robust exchange stiffness at interface of magnetic tunnel junctions,” International Magnetics Conference (Intermag 2023), Sendai, Japan, May 15-19, 2023

[5] T. Roy, M. Tsujikawa and M. Shirai, “Ballistic spin-transport properties of magnetic tunnel junctions with MnCr-based ferromagnetic quaternary Heusler alloys,” Phys. Rev. Mater., Vol. 7, pp. 104410/1-11, 2023

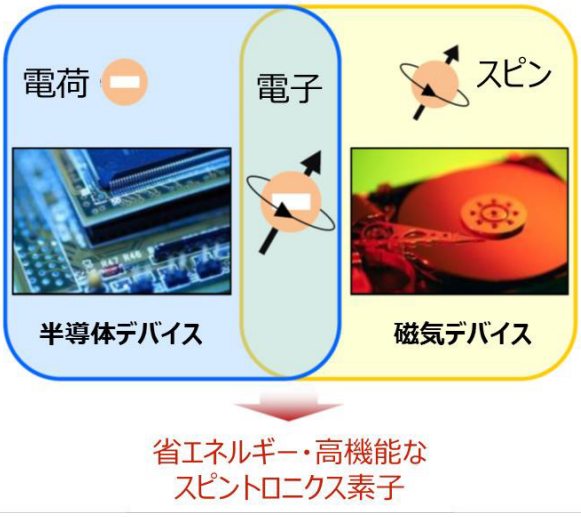
[6] T. Roy, M. Tsujikawa, and M. Shirai, “CoCrMnZ (Z = Al, Ga, Si, Ge) Heusler alloys: Potential electrode materials for MgO-based magnetic tunnel junctions,” International Magnetics Conference (Intermag 2023), Sendai, Japan, May 15-19, 2023

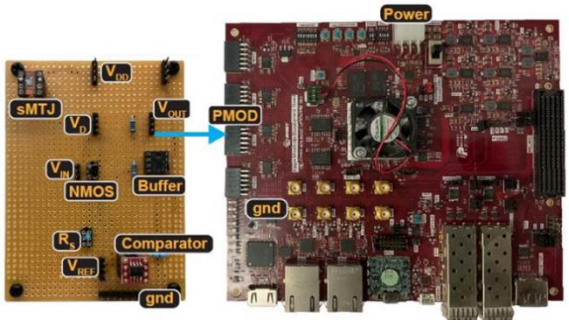
[7] T. Roy, M. Tsujikawa, and M. Shirai, “Stability analysis of promising ferrimagnetic quaternary Heusler alloys CoCrMnZ (Z = Al, Ga, Si, Ge): An *ab-initio* study,” Advanced Materials Research Grand Meeting; 3rd Mateirlas Research Meeting and 24th IUMRS-International Conference in Asia, Kyoto, Japan, December 11-16, 2023

[8] S. Sakamoto, M. Tsujikawa, M. Shirai, K. Amemiya and S. Miwa, “Orbital polarization enhanced by electron correlation at the Fe/MgO interface: A depth-resolved x-ray magnetic circular dichroism study,” International Magnetics Conference (Intermag 2023), Sendai, Japan, May 15-19, 2023

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





確率動作スピン素子とプログラマブル半導体回路からなる製造容易性に優れた確率論的コンピューター（文献[7]）

ナノスピン材料デバイス研究分野　教授　深見 俊輔
ナノスピン機能デバイス研究分野　准教授　金井　駿

＜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、固体中でのスピン関連現象、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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　磁気多極子のスピン制御における磁気双極子との違いを解明

ノンコリニア反強磁性体のカイラルスピン構造を電子スピンで制御する際、その状態を対称性の観点で記述する磁気八極子は、強磁性体の磁気双極子と逆方向に応答することを解明。（文献[2]）

２．　省エネ半導体の切り札 STT-MRAM の素子の極限微細化技術を確立

省エネ半導体実現の切り札として実用化が進んでいる STT-MRAM が将来の 1 桁ナノメートル領域にて様々な要求性能を満たすための材料・素子技術に関する理解を確立し、動作実証。（文献[5]）

３．　製造容易性に優れた半導体・スピン融合確率論的コンピューターを実証

人工知能で多く用いられる確率的なアルゴリズムの実行に適し、かつ現行の半導体集積技術と少数のスピントロニクスの組み合わせで実現できる確率論的コンピューターを提案・実証。（文献[7]）

＜職員名＞

教授　深見 俊輔（2020 年より）
准教授　金井 駿（2022 年より）

＜プロフィール＞

深見 俊輔　2005 年名古屋大学大学院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 年同大学准教授、2020 年同大学教授。2012 年応用物理学会論文賞、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、2017 年青葉工学振興会賞、2018 年 Asian Union of Magnetics Societies, Young Researchers Award、2018 年日本磁気学会優秀研究賞、2019 年応用物理学会優秀論文賞、2021 年丸文研究奨励賞、2022 年日本磁気学会業績賞、2023 年日本学術振興会賞ほか受賞。2022 年から稲盛科学研究機構（InaRIS）フェロー、2023 年から日本磁気学会フェロー。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。

金井 駿　2014 年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期 3 年の課程修了。博士(工学)。2014 年東北大学助教、2022 年同大学准教授。2010 年東北大学総長賞、2014 年応用物理学会講演奨励賞、2014 年応用物理学会英語講演奨励賞、2014 年エヌエフ基金研究開発奨励賞、2014 年 RIEC Award 東北大学学生賞、2015 年青葉工学研究奨励賞、2016 年船井研究奨励賞、2016 年原田研究奨励賞、2017 年井上研究奨励賞、2017 年安藤博記念学術奨励賞、2023 年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2023 年本多記念研究奨励賞ほか受賞。応用物理学会、日本物理学会、American Physical Society、IEEE 会員。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] A-S. Koshikawa, J. Llandro, M. Ohzeki, S. Fukami, H. Ohno, and N. Leo, "Magnetic order in nanoscale gyroid networks," Physical Review B 108, 024414 (1)-(10) (2023). doi:10.1103/PhysRevB.108.024414

[2] J.-Y. Yoon, P. Zhang, C.-T. Chou, Y. Takeuchi, T. Uchimura, J. T. Hou, J. Han, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and L. Liu, "Handedness anomaly in a non-collinear antiferromagnet under spin–orbit torque," Nature Materials 22, 1106–1113 (2023). doi:10.1038/s41563-023-01620-2

[3] B. Chen, M. Zeng, K. H. Khoo, D. Das, X. Fong, S. Fukami, S. Li, W. Zhao, S. S.P. Parkin, S.N. Piramanayagam, and S. T. Lim, "Spintronic devices for high-density memory and neuromorphic computing – A review," Materials Today 70, 193-217 (2023). doi:10.1016/j.mattod.2023.10.004

[4] D. Abdelrahman, R. Iseli, M. Musya, B. Jinnai, S. Fukami, T. Yuasa, H. Sai, U. B. Wiesner, M. Saba, B. D. Wilts, U. Steiner, J. Llandro, and I. Gunkel, "Directed Self-Assembly of Diamond Networks in Triblock Terpolymer Films on Patterned Substrates," ACS Applied Materials and Interfaces 15, 57981−57991 (2023). doi:10.1021/acsami.3c10619

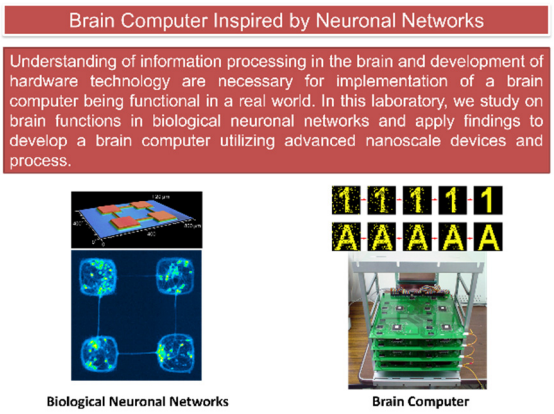
[5] J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, T. Shinoda, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Single-nanometer CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with high-retention and high-speed capabilities," npj Spintronics 2, 1(1)-(9) (2024). doi:10.1038/s44306-023-00003-2

[6] T. Shinoda, J. Igarashi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, "Pitch Scaling Prospect of Ultra-Small Magnetic Tunnel Junctions for High-Density STT-MRAM: Effects of Magnetostatic Interference from Neighboring Bits," IEEE Electron Device Letters 45, 184-187 (2024). doi:10.1109/LED.2023.3345743

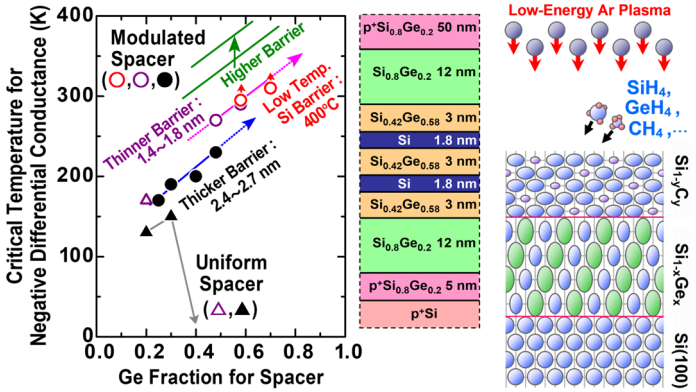
[7] N. S. Singh, K. Kobayashi, Q. Cao, K. Selcuk, T. Hu, S. Niazi, N. A. Aadit, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "CMOS plus stochastic nanomagnets enabling heterogeneous computers for probabilistic inference and learning," Nature Communications 15, 2685(1)-(9) (2024). doi:10.1038/s41467-024-46645-6

ナノ集積デバイス・システム研究室

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。

＜2023 年度の主な成果＞

1. ナノ集積デバイス

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ラルネットワーク LSI を用いてリザバー計算システムを構成した。音声や手書き文字などのデータを、低電力で正しく分類できることを電気測定により確認した。

2. **量子ヘテロ構造高集積化プロセス**

負性抵抗エサキダイオードの開発を目指し、ECR プラズマ CVD を用いてキャリア濃度が $2x10^{20}$ cm^{-3} に達する高濃度 P ドープ Si 薄膜形成を実現した。さらに、高濃度 P ドープ Si のウェットエッチングによる pn 接合ダイオード製作プロセスの構築を進め、良好な整流特性を確認した。

3. **ナノ集積神経情報システム**

哺乳類大脳皮質に見られるネットワーク構造と神経活動パターンとの相互関係を検証するために、微細加工基板上で神経細胞を培養し、その刺激応答をリアルタイムに計測する新たな実験系を構築した。リザバーコンピューティングの枠組みを用いて神経活動パターンをデコーディングし、モジュール性が高いネットワークではパターン分類性能が上昇することなどを明らかにした。

＜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）
特任助教　守谷 哲　（2022 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。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）。RIEC Award 本賞受賞（2023 年）。

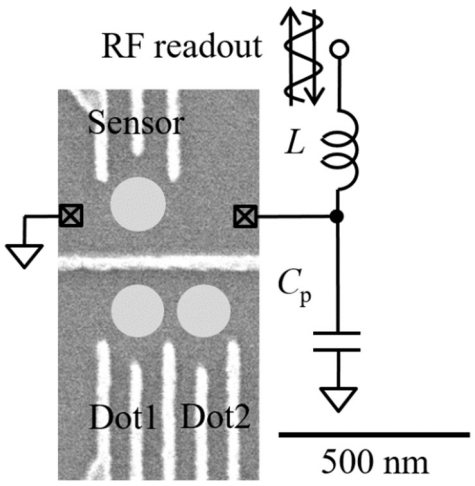
＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] J. Madrenas, B. Vallejo-Mancero, J. À. Oltra-Oltra, M. Zapata, J. Cosp-Vilella, R. Calatayud, S. Moriya, S. Sato, “Real-time adaptive physical sensor processing with SNN hardware,” 2023 International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN), pp 423–434, 2023.

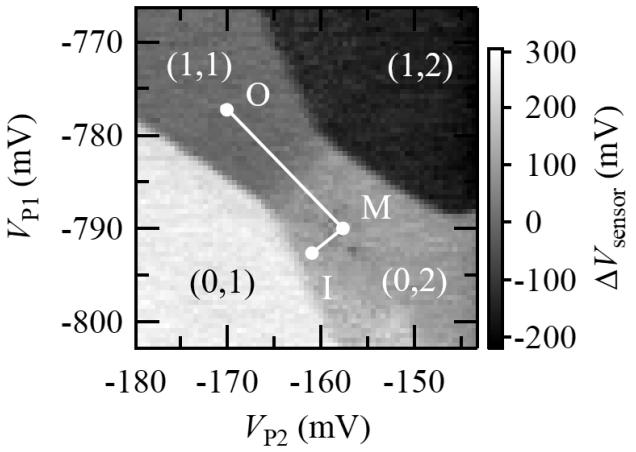
[2] T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing,” Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A., 120, e2217008120, 2023.

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測定・制御

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測定、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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　固体ナノ構造中局所電子状態の精密高速測定、制御手法の研究

固体ナノ構造中の局所電子状態を解明し活用するためには、局所的な電子状態に直接的にアクセスできる測定、制御手法が重要となる。そこで我々は半導体量子ドット等を用いたミクロなセンサや高周波を活用した精密高速電気測定、制御技術を開発している。測定感度やダイナミックレンジの改良等、局所電子状態の測定、制御技術の改良を進めるとともに、原子層材料等の新しい材料においても技術開発を行った[1]。

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。我々は電気的精密高速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。半導体量子ドットやナノ粒子等の微細構造、新材料における電子状態等について測定、解明を行った[2, 4]。

３． 固体ナノ構造を用いた量子デバイス、システムの研究

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の精密高速測定・制御技術を活用して、半導体量子ビット等の量子デバイス、システムの研究を行った。半導体量子デバイスの状態測定、制御の研究とともに、新材料の活用や、集積化に向けた技術開発を行った[3, 5]。

＜職員名＞

准教授　大塚　朋廣（2018 年より）
技術補佐員　熊坂　武志、佐藤　彰一、佐藤　仁美、多田　亜希子
事務補佐員　善積　利佳子

＜プロフィール＞

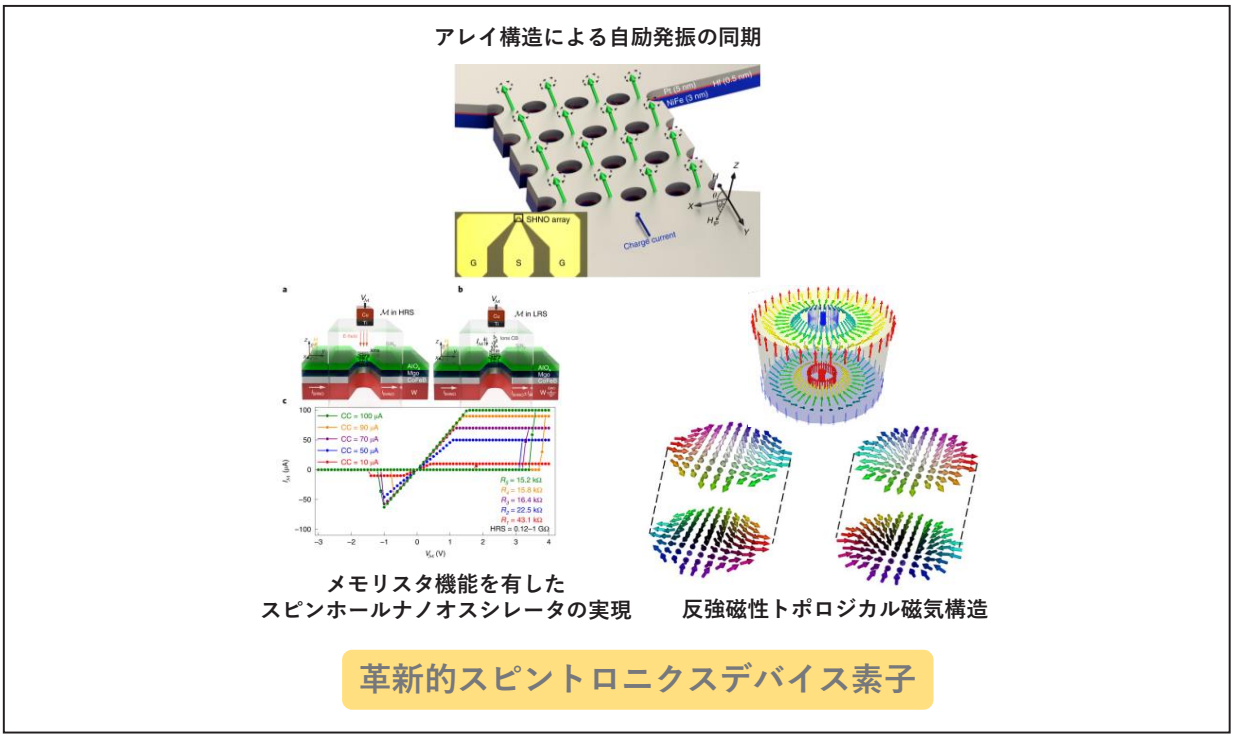
大塚　朋廣　2005 年 3 月　東京大学理学部物理学科卒業。2010 年 3 月　同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。2010 年 4 月　同工学系研究科特任研究員。2013 年 4 月　理化学研究所創発物性科学研究センター特別研究員。2016 年 1 月　同研究員。2018 年 2 月　東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。人工固体ナノ構造における物性解明とデバイス応用の研究に従事。東京大学理学系研究科研究奨励賞（2010 年）、日本物理学会若手奨励賞（2017 年）、理化学研究所研究奨励賞（2017 年）、矢崎科学技術振興記念財団学術奨励賞（2018 年）、文部科学大臣表彰若手科学者賞（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, 2023 年）。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] “Wide dynamic range charge sensor operation by high-speed feedback control of radio-frequency reflectometry”, Y. Fujiwara, M. Shinozaki, K. Matsumura, K. Noro, R. Tataka, S. Sato, T. Kumasaka, and T. Otsuka, Applied Physics Letters 123, 213502 (2023).
[2] “Single PbS colloidal quantum dot transistors”, K. Shibata, M. Yoshida, K. Hirakawa, T. Otsuka, S. Z. Bisri, and Y. Iwasa, Nature Communications 14, 7486 (2023).
[3] “Radio-frequency reflectometry in bilayer graphene devices utilizing micro graphite back-gates”, T. Johmen, M. Shinozaki, Y. Fujiwara, T. Aizawa, and T. Otsuka, Physical Review Applied 20, 014035 (2023).
[4] “Channel length dependence of the formation of quantum dots in GaN/AlGaN FETs”, K. Matsumura, T. Abe, T. Kitada, T. Kumasaka, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, Applied Physics Express 16, 075003 (2023),
[5] “Semiconductor spin qubits and new materials”, T. Otsuka, Workshop: Emerging Platforms for Quantum Computing, Sendai, Apr. 11, 2023.

革新的スピントロニクスデバイス研究室

磁化ダイナミクスによる革新的スピントロニクスデバイスの創製



計算システム基盤研究部門　教授　Johan Åkerman
先端スピントロニクス研究開発センター（CSIS）　准教授　Ahmad Awad

＜研究室の目標＞

スピントロニクス素子において、電子スピンを介した磁化と電流の相互作用を明らかにし、脳型コンピュータ、イジングマシンなどの新原理コンピュータに応用することを目指した研究を進めています。スピンホール効果を介した DC 入力に対する磁化の発振とそれに伴う RF 信号の出力、RF 入力に対する磁化の共鳴とそれに伴う DC 信号の出力を利用するスピンホールナノ振動子の高性能化・高機能化、未開拓反強磁性トポロジカル磁気構造の実現とその高速・高効率な電流駆動ダイナミクスなどに取り組んでいます。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　超低消費電力 10 nm スピンホールナノオスシレータの実現

一般的に用いられてきた Si 基板の代わりに、熱伝導率の良い Al_2O_3 を SiN 基板上に成膜したシード層を用いることでわずか 30 μA で自励発振が生じる極微細 10 nm スピンホールナノオスシレータを実現しました。（文献[2]）

２．　ナノメートルスケールの磁気渦「スキルミオン」の新たな特性を発見し制御技術を確立

磁気スキルミオンでは、コロイドのような一般的な粒子とは質的に異なるブラウン運を示すことを観測しました。磁気渦の捩れ（トポロジー）が拡散性に強く影響することを明らかにし、かつそれを制御する方法を確立しました。（文献[3]）

３． 様々なトポロジカル磁気構造の作り分けに成功 ―超低消費電力電子素子の実現に一歩―

反強磁性的に結合したメロン、アンチメロン、バイメロンと呼ばれる新奇なトポロジカル磁気構造を実現し、制御する方法を確立しました。反強磁性トポロジカル磁気構造を用いた革新的情報デバイスの実現に向け、重要な知見となる成果です。（文献[4]）

＜職員名＞

教授　Johan Åkerman（2023 年より）
准教授（兼）Ahmad Awad（2023 年より）
助教　土肥　昂尭　（2022 年より）

＜プロフィール＞

Johan Åkerman received the Ing. Phys. Dipl. degree from EPFL, Zurich, Switzerland, in 1994, the M.Sc. degree in physics from Lund University, Lund, Sweden, in 1996, and the Ph.D. degree in materials physics from KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, in 2000. In 2008, he was appointed Full Professor at the University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden, and is a Guest Professor at the KTH Royal Institute of Technology. Also, he was appointed to a post at Tohoku University and - following an extensive nomination and review process - been named its first "Professor, University Research Lead" as of January 1, 2023. He is also the Founder of NanOsc AB and NanOsc Instruments AB, Kista, Sweden.

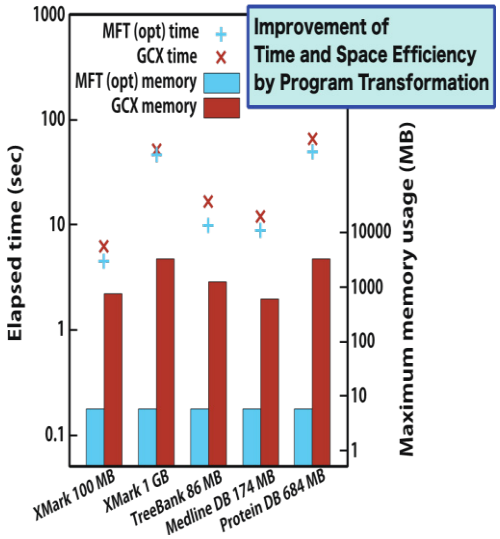
Ahmad A. Awad (Member, IEEE) received the Ph.D. degree in physics on high-frequency magnetization and vortex dynamics in both magnetic and superconducting nanostructures from the Autonomous University of Madrid, Madrid, Spain, in 2012., Since 2014, he has been a Postdoctoral Research Fellow at the University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden. His research interests include the characterization of magnetic nanostructures and spintronic devices with a focus on spin-torque-induced magnetization dynamics. In 2023, he was appointed associate Professor at Tohoku University.

＜2023 年度の主な発表論文等＞

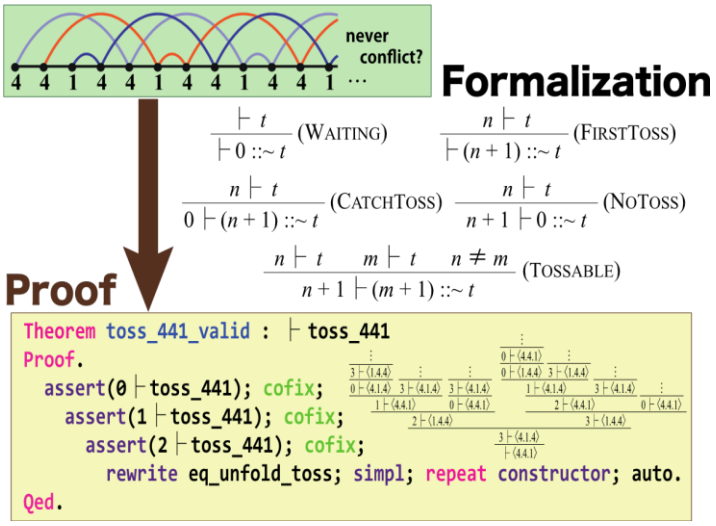
[1] Akash Kumar, Himanshu Fulara, Roman Khymyn, Mohammad Zahedinejad, Mona Rajabali, Xiaotian Zhao, Nilamani Behera, Afshin Houshang, Ahmad A Awad, and Johan Åkerman, "Robust mutual synchronization in long spin Hall nano-oscillator chains," Nano Letters 23, 6720-6726 (2023). doi.org/10.1021/acs.nanolett.3c02036
[2] Nilamani Behera, Avinash Kumar Chaurasiya, Victor H González, Artem Litvinenko, Lakhan Bainsla, Akash Kumar, Roman Khymyn, Ahmad A Awad, Himanshu Fulara, and Johan Åkerman, "Ultra-Low Current 10 nm Spin Hall Nano-Oscillators," Advanced Materials 36, 2305002(1)–(9) (2024). doi/10.1002/adma.202305002
[3] Takaaki Dohi, Markus Weißenhofer, Nico Kerber, Fabian Kammerbauer, Yuqing Ge, Klaus Raab, Jakub Zázvorka, Maria-Andromachi Syskaki, Aga Shahee, Moritz Ruhwedel, Tobias Böttcher, Philipp Pirro, Gerhard Jakob, Ulrich Nowak, and Mathias Kläui, " Enhanced thermally-activated skyrmion diffusion with tunable effective gyrotropic force," Nature Communications 14, 5424(1)-(10) (2023). doi.org/10.1038/s41467-023-40720-0
[4] Mona Bhukta, Takaaki Dohi, Venkata Krishna Bharadwaj, Ricardo Zarzuela, Maria-Andromachi Syskaki, Michael Foerster, Miguel Angel Niño, Jairo Sinova, Robert Frömter, and Mathias Kläui, "Homochiral antiferromagnetic merons, antimerons and bimerons realized in synthetic antiferromagnets," Nature Communications 15, 1641(1)−(10) (2024). doi.org/10.1038/s41467-024-45375-z

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。

＜2023 年度の主な成果＞

1．双方向変換言語の計算モデル設計に向けた一貫性の理論的特徴づけ

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、この一貫性を満たすために必要な条件について精査を行った。具体的には、従来知られていた条件では双方向変換が全域関数として与えられている場合に限定されていたのに対し、部分関数で与えられた場合の条件の特定に成功した［1］。多くの汎用プログラミング言語によるプログラムがそうであるように、計算可能な双方向変換プログラムは必ずしも全域関数になるとは限らない。今回の特定された条件は、一貫性をもつ双方向変換を過不足なく表現できる計算モデルの重要なヒントになることが期待できる。

２．再帰型を持つ量子計算プログラミング言語の完全抽象モデル
量子計算を汎用の高級言語に融合するために、量子計算プログラミング言語に高階関数型・不動点演算子・再帰型・多相型・抽象データ型などの構造を組み込んだ言語のモデルを与えることを目標として研究を進めている。これまで既存研究では高階関数型・不動点演算子にのみ対応できていたが、今回世界で初めて再帰型に対応したモデルを与えることができた[2]。本モデルは完全抽象性という非常に良い性質を備えており、プログラム検証への応用が期待される。本モデルの構築手法は強力で、今後多相型や抽象データ型にも対応できることが期待でき、研究を進めている。

３．形式検証へのプログラミング言語意味論の応用
高階モデル検査で培われた技術を応用することで、強化学習のモデルであるマルコフ決定過程（MDP）を解くための合成的アルゴリズムを与えた[3]。実験により最先端ソルバを凌ぐ高いスケーラビリティが示された。

４．項書き換えシステムの局所十分完全性判定手続きの実装
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。停止性を持たない項書き換えシステムに対する十分完全性や局所十分完全性の判定手続きの実装は、既存研究では与えられていない。本研究では、導出システムの推論規則を効率よく適用する順序等を考慮した判定手続きを、関数型プログラミング言語を用いて実装し、具体例に対して適切に動作することを確認した。さらに、有限のデータを表すソートとそうではないソートの間に順序を導入することでソート付き項の概念を拡張し、既存研究では判定の対象とされていなかった項も扱えるように手続きを改良した。これにより、局所十分完全性を判定できる項の範囲が著しく拡大した。また、上述の実装を変更することにより、この改良された手続きに対する実装を与えた。

＜職員名＞

教　授　中野　圭介（2018 年より）
助　教　浅田　和之、菊池　健太郎

＜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）

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Keishi Hashiba, Keisuke Nakano, Kazuyuki Asada, and Kentaro Kikuchi. In Proc. the 26th Workshop on Programming and Programming Languages (PPL 2024).
[2] Takeshi Tsukada and Kazuyuki Asada.
Enriched Presheaf Model of Quantum FPC,
Proc. ACM Program. Lang., January 2024, Volume 8, Issue POPL, Article No. 13, pp. 362-392.
[3] Kazuki Watanabe, Clovis Eberhart, Kazuyuki Asada, and Ichiro Hasuo.
Compositional Probabilistic Model Checking with String Diagrams of MDPs,
In Proc. the 35th International Conference on Computer Aided Verification (CAV 2023),
LNCS 13966, pp. 40-61.

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

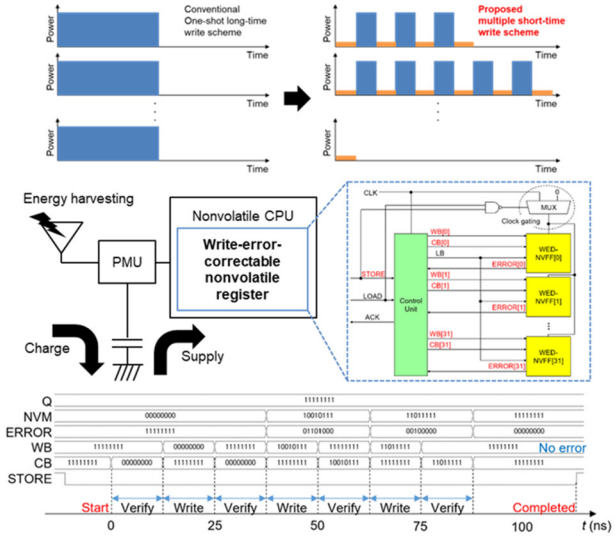


図1. 新たなデータ書込み方式に基づく不揮発レジスタを設計し，間欠的コンピューティングにおけるデータ退避に要するエネルギーを従来の半分以下に抑制

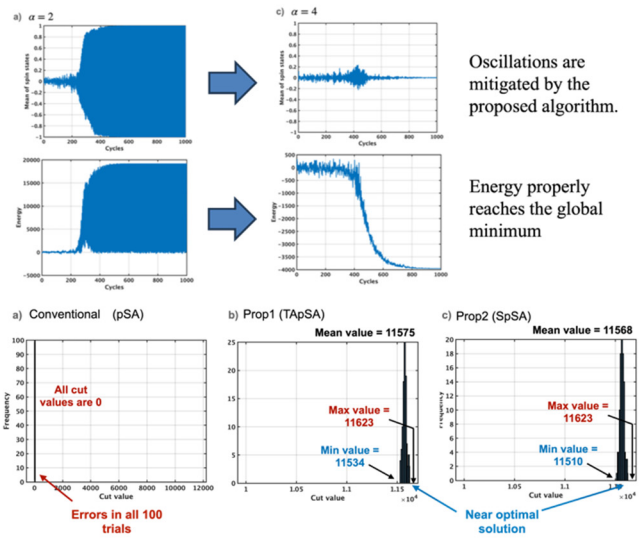


図2. 確率ビット(pビット)同士の干渉を防ぐ並列処理アルゴリズムを開発することで，確率的コンピュータにおいて安定して最適解を得ることに成功

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．

＜2023 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不揮発性ロジック LSI（図 1）

MTJ 素子の確率的特性を活用した新たなデータ書込み方式に基づく不揮発レジスタを設計した．本レジスタは，レジスタに内蔵された MTJ 素子による不揮発的なデータ保持機能に加え，MTJ 素子への書込みが正しく行われたかどうかを検証するエラーチェック機能を有している．55nm CMOS/MTJ ハイブリッドプロセス技術による設計および性能評価を通し，不揮発部へのデータ退避に要するエネルギーを 65%削減するとともに，本レジスタを用いて構築した RISC-V CPU による間欠的コンピューティングの処理効率を 200%以上改善可能であることを確認した．この研究成果は，集積回路技術に関する歴史ある国際学会である MWSCAS2023 で報告された．

２．正しい並列処理をこなす確率的アルゴリズムを開発（図２）

確率ビット(p ビット)によるコンピュータは，現在のトランジスタを用いた決定論的計算を行うコンピュータと比較して大幅な省エネルギー化が期待されている一方で，計算アルゴリズムを並列処理させると正答率が大幅に低下する問題があった．本研究では p ビット同士の相互干渉が問題であることを特定し，さらに p ビットを部分的に働かせなくすることで，相互干渉を効率的に防ぐアルゴリズムを開発した．その結果，従来アルゴリズムと比較して計算エラーが 99.2%から 1.6%まで低減され，安定的に最適解に近い解が得られることを実証した．本研究成果は英国 Springer Nature の科学誌「Scientific Reports」に採録され，機械学習などの分野で新たな展開をもたらし得るものと期待される．

＜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．

鬼沢 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．IEEE ASYNC’14 Best Paper Finalist（2014 年），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），第 16 回青葉工学振興会賞(2022 年)などを受賞．IEEE Member．

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Onizawa and T. Hanyu, “Enhanced Convergence in p-bit Based Simulated Annealing for Large Scale Combinatorial Optimization Problems,” Scientific Reports, vol. 14, p. 1339, 2024.　DOI: 10.1038/s41598-024-51639-x
[2] N. Onizawa, K. Kuroki, D. Shin, and T. Hanyu, “Local Energy Distribution Based Hyperparameter Determination for Stochastic Simulated Annealing,” IEEE Open Journal of Signal Processing, vol. 4, pp. 452-461, 2023. DOI: 10.1109/OJSP.2023.3329756
[3] K. Sakai, M. Natsui, and T. Hanyu, "Design of an Error-Tolerant Nonvolatile Register for Energy-Aware Intermittent Computing," The 66th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS2023), pp.269-273, August 2023. DOI: 10.1109/MWSCAS57524.2023.10405935
[4] D. Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Nonvolatile Lookup Table Circuit Using Active-Load-Localized Circuitry with Self-Terminated Writing/Reading," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), 2023 (in press). DOI: 10.35848/1347-4065/acbd5a

3．2 情報通信基盤研究部門の目標と成果

情報通信基盤研究部門は、持続可能なスマート社会を支える次世代通信システムを創出するための超高速・高機能・超低消費電力な光・高周波デバイス、ならびにセキュア・レジリエント・グリーンなブロードバンド ICT インフラの構築に向けて、ネットワークの物理レイヤから上位レイヤまでを網羅する研究開発を垂直統合的に推進している。以下、基幹研究室における本年度の研究活動成果の概要を述べる。

(1)超高速光通信研究室
(目標)超短光パルス伝送技術、デジタルコヒーレント光伝送技術、ならびにそれらを融合した超高速・高効率光伝送技術の研究開発を通じて、高速・大容量光通信システムの構築、限られた周波数帯域を有効に活用するための周波数利用効率の高い光伝送方式の実現、ならびに光通信と無線通信とを同じ電磁波として融合する新領域の開発を目指している。
(成果) コヒーレント光ナイキストパルスによる 1 Tbit/s/λ伝送の長距離化に取り組み、確率整形(Probabilistic Shaping: PS)した QAM 変調を用いて 1 Tbit/s/λ ×23 ch, PS-32 QAM 信号の 1,600 km 伝送に成功した。また、5G で運用が開始されている 28 GHz 帯において、16 Gbit/s 256 QAM 信号の光ファイバ 10 km、無線 20 m フルコヒーレント光・無線融合伝送に成功した。

(2)応用量子光学研究室
(目標)高性能・高機能な半導体光デバイス実現へ向け、超高速、超低雑音動作可能な半導体光源、高機能半導体光変調器の研究を進めている。また新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、高機能半導体光デバイス及び新機能半導体光集積回路の研究を進めている。
(成果)提案した混合変調半導体レーザ光源の周波数チャープ抑制特性を明らかにした。これにより、本光源によって生成した高速信号光は光ファイバ伝送時の分散耐力を向上できることを明らかにした。また、素子寄生容量等を増加することなく光子共鳴効果による変調感度増強周波数の制御を可能とするパッシブ光導波路を本レーザ光源へ集積することで、負荷抵抗が 50Ωの系において CR 時定数の制限を受けても周波数応答帯域を 200GHz 以上にまで拡大できることを数値解析で明らかにした。

(3)先端ワイヤレス通信技術研究室
(目標)Society5.0 や Industry4.0 に示されている本格的な無線 IoT 社会と B5G/6G 時代の非地上系(NTN)ネットワーク実現を目指し、先端ワイヤレス通信技術に関する研究を、デバイス・回路・実装・ディジタル信号処理技術から送受信機・サブシステムに至るまで、一貫して研究・開発を行っている。
(成果) わが国独自の低軌道(LEO)衛星コンステレーションとして、新しい周波数帯である Q/V 帯(40/50GHz 帯)を用いた通信システムを開発している。急激なトラフィックの変動に対応するため、よりフレキシブルなビーム形成が可能な衛星搭載用ディジタルビームフォーミングアンテナを提案し、小型な LEO 衛星にも搭載可能な、スケーラブル構成の DBF アンテナ送受信機構成を考案した。

(4)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) 複数記録層を持つ記録媒体に選択的に多重記録可能な 3 次元熱アシスト記録技術を開発し、上下 2 層構造の記録各層のキュリー温度 Tc を最適化制御することにより多重記録による記録密度向上を検証した。スピントルク発振素子(STO)の磁気的なカップリングによる発振周波数の同期現象を用いたニューロモルフィック記録構造を研究した。STO 列の 2 次元配置によるデータ伝送が可能であること、STO 素子形状の制御により選択的なデータ伝送が出来ることをシミュレーションで検証し高速不揮発性磁性ストレージの可能性を確認した。コンピュテーション機能を近接化した 2PB 級の分散オブジェクト Ceph コンピュテーショナル・ストレージシステムを完成し、脳神経構造可視化解析処理に関する大規模データ伝送とデータアクセスの性能向上を検証した。

(5)超ブロードバンド信号処理研究室
(目標)いまだ開拓途上にあるミリ波・テラヘルツ波帯を次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として, 化合物半導体ヘテロ構造やグラフェンをはじめとする二次元材料を用いて新しい集積型の光電子プラズモニックデバイスの創出と,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) 第一に、グラフェン Dirac プラズモンの Coulomb ドラッグ効果およびグラフェン Dirac フェルミオンの Zener-Klein トンネル効果に由来する新たな 2 つの不安定性機構を理論発見し，それらの類い稀な巨大テラヘルツ利得帯域特性を明らかにした。第二に、InGaAs 系高電子移動度トランジスタのチャネル内における二次元プラズモンを活用した、独自の金属回折格子構造を有するテラヘルツ・プラズモニック検出素子において、ゲート・チャネル間のダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された三次元整流効果を正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来より一桁向上させることに成功した（2023.11. プレスリリース)。

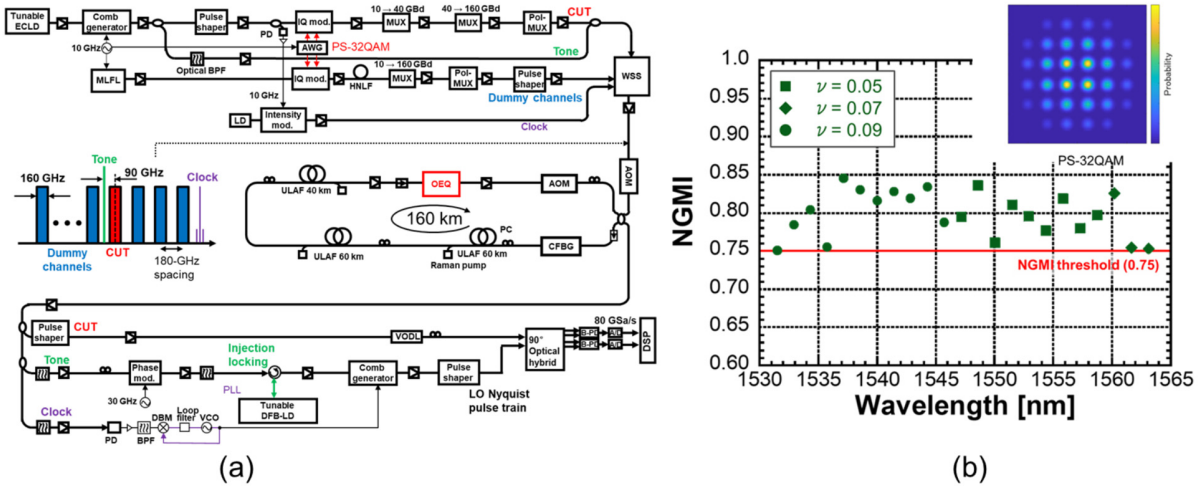
(6)量子光情報工学研究室
(目標)電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し,未来の量子情報通信の中核となるべき極限技術の開発に挑戦する。
(成果) (1) ナノ光ファイバ上のプラズモン増強単一光子源の開発と評価，(2) ナノ光ファイバ上のナノ粒子の光捕捉と輸送の計測，(3) 超低損失偏光保存光子スイッチの開発，(4) 制御された擬似位相整合構造による超高純度伝令付単一光子源の開発，(5) 小規模量子コンピュータにおける量子ビット系の量子計測と誤差・擾乱の不確定性関係の検証。

(7)ネットワークアーキテクチャ研究室
(目標) 人々の多様な活動を支える高度な情報ネットワークシステムの実現を目指し、アプリケーション層からデータリンク層にわたる広範なネットワーキング技術に関する研究開発を推進している。
(成果) (1) 従来概念を根本から覆すネットワーク内輻輳制御アーキテクチャを提唱し、性能解析によりその潜在的なパフォーマンスを明確化。(2) インターネットにおける輻輳制御アルゴリズムの混在という回避できない状況でも公平性を維持する改良手法を開発 (3) LPWA ネットワークを用いたネットワーク機器の遠隔管理のためのトラヒック圧縮技術を開発。(4) エッジコンピューティング技術の導入と無線ネットワーク資源利用効率の改善との関係を明らかにし、機械学習に基づくエッジ利用判断手法を確立。

(8)環境調和型セキュア情報システム研究室
(目標)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に関する研究開発に取り組んでいる。
(成果)次世代暗号として注目を集める耐量子計算機暗号に対する世界最高効率の物理安全性評価技術の開発に成功した。同技術は、米国標準技術研究所が 2023 年度に策定した標準方式にも適用可能である。また、暗号の物理安全性を飛躍的に向上させる新概念の鍵交換技術を開発した。同技術は，今後の暗号搭載製品の長期的な安全性と性能の向上に大きく貢献することが期待される。

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



1 Tbit/s/λ PS-32 QAM コヒーレントナイキストパルス信号の 1,600 km 伝送
(a)伝送実験系 (b)伝送結果

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/6G、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。

＜2023 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。2023 年度は、コヒーレント光ナイキストパルスによる 1 Tbit/s/λ伝送の長距離化に取り組み、確率整形(Probabilistic Shaping: PS)した QAM 変調をコヒーレント光ナイキストパルスに適用することにより、1 Tbit/s/λ×23 ch, PS-32 QAM 信号の 1,600 km 伝送に成功した。その結果、1 Tbit/s/λ信号を用いた大容量（> 10 Tbit/s）かつ陸上系伝送システムに適用可能な長距離（> 1,000 km）伝送を初めて実現した。

２．　光・無線融合フルコヒーレント伝送技術に関する研究

本研究室では、5G、Advanced 5G、Beyond 5G/6G 等の無線アクセスネットワークにおいて、光と無線をシームレスにつなぐモバイルフロントホールとしてフルコヒーレントと呼ばれる光・無線融合伝送方式の実現を目指している。2023 年度は、本方式を 5G で運用が

開始されている 28 GHz 帯へ適用し、19.5 dBi 小型マイクロストリップアンテナおよび我々が開発した注入同期ヘテロダイン型光・マイクロ波周波数変換回路を用いて、16 Gbit/s 256 QAM 信号の光ファイバ 10 km、無線 20 m フルコヒーレント伝送に成功した。また、従来のセルフヘテロダイン方式との性能比較を行い、本方式が 9 dB 高いロスバジェットを有していることを明らかにした。

＜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。

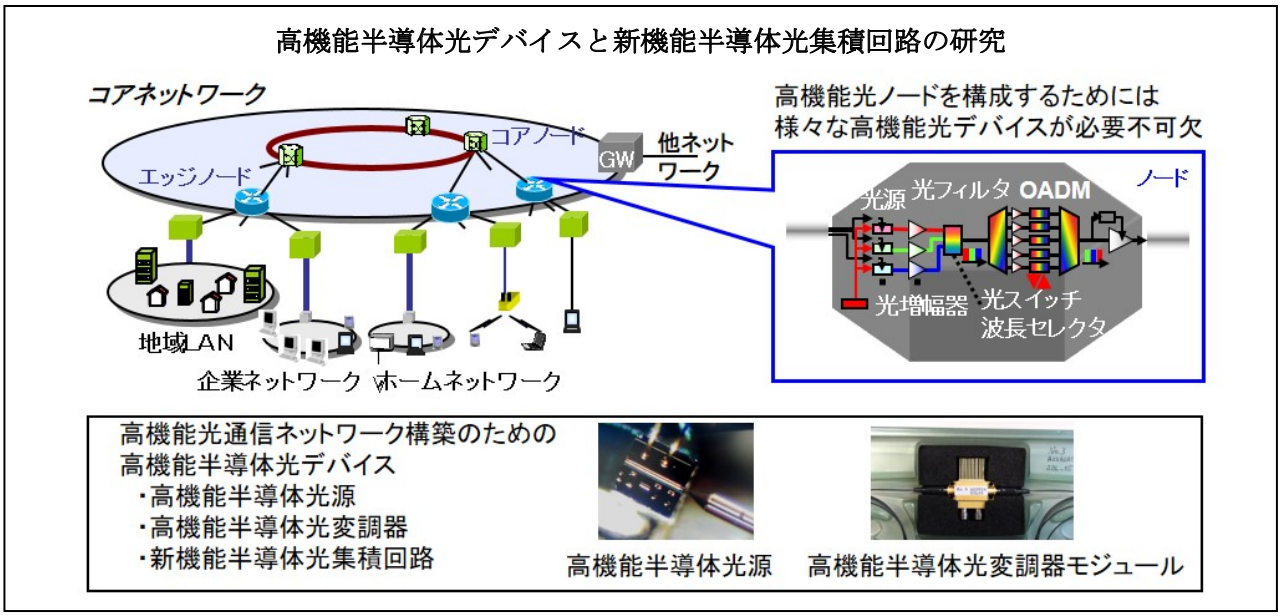
葛西 恵介　2008 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2009 年 4 月日本学術振興会特別研究員（PD）。2012 年 11 月東北大電気通信研究所助教。2019 年 8 月同准教授、現在に至る。光波位相制御技術、デジタルコヒーレント光通信の研究開発に従事。電子情報通信学会 ELEX Best Paper Prize（2008 年）、電子情報通信学会論文賞（2012 年）など受賞。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Nakazawa and T. Hirooka, “Theory of Higher-Order Hermite-Gaussian Pulse Generation From an FM Mode-Locked Laser,” IEEE J. Quantum Electron., vol. 59, no. 2, 1600325, Apr. (2023).
[2] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, “GAWBS Noise in Digital Coherent Transmission,” J. Lightwave Technol., vol. 41, no. 11, pp. 3358-3371, June (2023).
[3] M. Yoshida, K. Kimura, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Demodulation performance comparison of high-speed coherent Nyquist pulse signal with analog and digital demultiplexing schemes,” IEICE Trans. Commun. vol. E106-B, no. 11, pp. 1059-1064, November (2023).
[4] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, “Experiments on the Generation of Higher-Order Hermite-Gaussian Pulses From an FM Mode-Locked Laser,” IEEE J. Quantum Electron., vol. 59, no. 6, 1300216, December (2023).
[5] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Eigen-function division multiplexed coherent optical transmission in time domain by using higher-order Hermite-Gaussian pulses," Opt. Express, vol. 32, no. 7, pp. 12682-12707, March (2024).
[6] K. Kasai, K. Shirahata, T. Sato, M. Yoshida, T. Hirooka, M. Nakazawa, T. Kobayashi, and U. Azuma, “Coherently-Linked Optical and Wireless Transmission with Microstrip Array Antenna at 28 GHz,” EXAT 2023, P-3.
[7] M. Yoshida, T. Hirai, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “GAWBS Noise in Few-mode Fiber,” EXAT 2023, P-5.
[8] K. Shirahata, K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, M. Nakazawa, U. Azuma, and T. Kobayashi, “16 Gbit/s, 256 QAM optical and wireless fully coherent transmission at 28 GHz using small microstrip antenna,” ECOC 2023, Tu.B.4.1, October (2023).
[9] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, “Mode Division Multiplexed Coherent Optical Transmission in Time Domain by Using Higher-order Hermite-Gaussian Pulses,” OFC 2024, W2B.19, March (2024).
[10] M. Yoshida, T. Hirai, S. Beppu, K. Kasai, T. Hirooka, M. Nakazawa, Y. Wakayama, and N. Yoshikane, “New GAWBS Noise Interacting with Longitudinally Propagating Acoustic Waves in Few-mode Fibers,” OFC 2024, W2B.22, March (2024).

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
新原理半導体光源研究分野　准教授　横田　信英

＜研究室の目標＞

新世代光通信ネットワークや次世代光測距システム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、超低位相雑音半導体レーザ、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およ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や超高精度光測距システムの実現を目指している。

＜2023 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、半導体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半導体レーザの研究を進め、本光源の周波数チャープ抑制特性を明らかにした。これにより、生成した高速信号光の光ファイバ伝送時の分散耐力を向上できることを明らかにした。また、素子寄生容量等を増加することなく光子共鳴効果による変調感度増強周波数の制御を可能とするパッシブ光導波路を本レーザ光源へ集積することで CR 時定数の制限を受けても周波数応答帯域を 200GHz 以上にまで拡大できることを数値解析で明らかにした。

２． 小型狭線幅半導体レーザ光源

近年注目されている FMCW LiDAR 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。本光負帰還半導体レーザ光源の周波数掃引幅拡大へ向け、周波数弁別器として用いる光フィルタの共振周波数を半導体レーザの発振周波数に同期して掃印する光源システムを構築し、線幅を 1.4MHz に低減した光負帰還半導体レーザ光源の周波数掃引幅を 10GHz にまで拡大できることを検証実験を通して明らかにした。

＜職員名＞

教　授　八坂　洋　　（2008 年より）
准教授　吉田　真人　（2018 年より）
准教授　横田　信英　（2022 年 10 月より）

＜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。

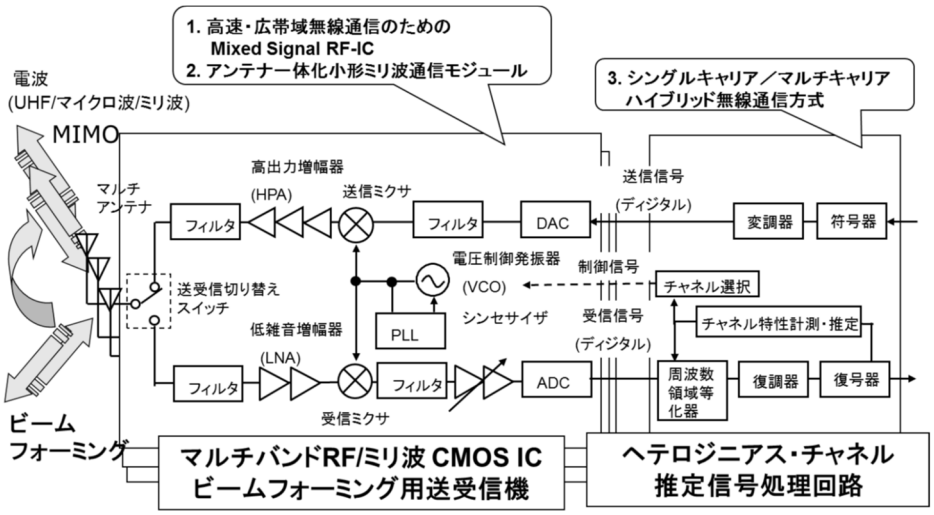
横田　信英　2009 年 3 月　高知工業高等専門学校専攻科機械・電気工学専攻卒業。2011 年 3 月　奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科博士前期課程修了。2014 年 3 月　同博士後期課程修了。2014 年 4 月　東北大学電気通信研究所助教。2022 年 10 月　同准教授、現在に至る。新原理半導体光源の研究開発に従事。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Yokota, T. Nohara and H. Yasaka, "Wide-bandwidth and high-sensitivity measurement technique of intrinsic modulation response of semiconductor lasers," IEEE Photonics Journal, vol. 15, No. 4, p. 5800106 (pp. 1-6), 2023.
[2] S. Asami, N. Yokota, W. Kobayashi, T. Shindo, and H. Yasaka, "Numerical analysis of negative chirp operation in hybrid modulation semiconductor laser," IEICE Electronics Express, vol. 20, No. 17, pp. 20230268 1-5, 2023.
[3] 浅見昇輝、横田信英、八坂洋、"25Gbit/s 混合変調半導体レーザのファイバ分散耐力の数値解析"、2023 年電子情報通信学会総合大会、C-3/4-53、2023.
[4] 長久保峻介、吉田真人、横田信英、八坂洋、"光負帰還レーザの光フィルタ同期制御による周波数掃引範囲拡大"、2023 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-3/4-54、2023.
[5] 横田信英、野原友治、八坂洋、"光変調および光スペクトル測定による半導体レーザの広帯域・高感度周波数応答評価"、電子情報通信学会技術研究報告、vol. 123、no. 222、pp. 28-31、2023.
[6] H. Yasaka, N. Yokota, T. Shindo, and W. Kobayashi, "Improvement in bandwidth of an electro-absorption modulator by optical pre-emphasis utilizing photon-photon resonance," IEICE Electronics Express, vol. 21, No. 2, pp. 20230594 1-4, 2024.
[7] 八坂洋、横田信英、進藤隆彦、小林亘、"光子共鳴効果による多重共振を用いた混合変調半導体レーザの広帯域化"、2024 年電子情報通信学会総合大会、C-3/4-39、2024.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信デバイス・システムの実現へ向けて



次世代ワイヤレス通信用 超多素子アンテナ･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 技術を用いた高周波(RF)帯パワーアンプ・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、ディジタルビームフォーミング用信号処理の開発を行っている。さらに、RF 信号をディジタル信号から直接生成、あるいは、RF 信号をディジタル信号に直接変換するダイレクトディジタル RF 送受信機の研究・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

＜研究室の目標＞

将来目指すべき高度情報化社会である Society5.0 や Industry4.0 に示されている本格的な無線 Internet of Thing (IoT)社会の実現においては、大量かつ様々なモノをリアルタイムかつブロードバンドでインターネット網に接続する必要があり、無線通信技術はますます重要となっている。この無線通信技術の中でも、特に物理層である送受信機ハードウェア技術は、目標とするシステム実現を支える重要な基盤技術である。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、デバイス・回路・実装・ディジタル信号処理技術から送受信機・サブシステムに至るまで一貫して研究・開発を行っている。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　ミリ波(40GHz)帯ダイレクトディジタル RF 送信機の新たな構成の提案

Beyond5G で注目され始めているミリ波(40 GHz)帯の RF 信号を直接ディジタル信号から生成するミリ波ダイレクトディジタル RF 送信機では、1-bit DAC 出力から高次イメージ信号を取り出し、送信出力としている。高次イメージ信号の S/N を改善するには、この 1-bit DAC 出力を矩形波化する方法がとられてきたが、今回、新たに、マンチェスター符号化を行ったのち、3 逓倍することで、

高次イメージ信号の S/N を改善できることを示し、実験により実証した。この新しいダイレクトディジタル RF 送信機構成の提案および動作実証結果は、IEEE Access に採択、掲載された。

２．サブ THz 帯アンテナー体化 CMOS RFIC の開発

サブ THz 帯の送受信機では、送受信機を構成する RFIC とアンテナとの接続部の実現が難しく、アンテナを RFIC の半導体チップ上に集積するオンチップアンテナの研究開発が進められている。当研究室では、100GHz 帯のオンチップアンテナの開発を行うとともに、130GHz 帯 CMOS 増幅器の開発を行った。

＜職員名＞

教　授　末松 憲治
助　教　古市　朋之
研究員　Ahmad Abdalrazik
　　張　俊皓
技術補佐員　富澤 幸恵　　塗師 香織

＜プロフィール＞

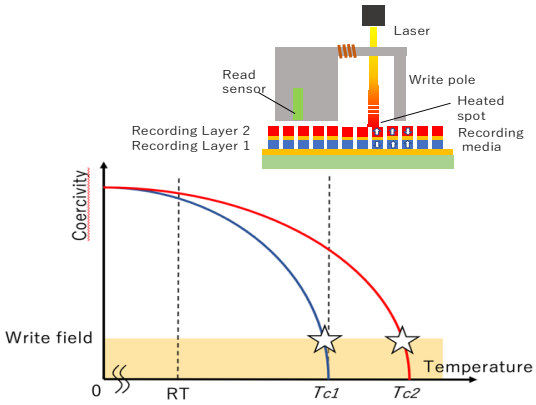
末松 憲治　1987 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。博士 (工学) (2000 年)。1987 年 4 月三菱電機 (株) 入社。1992 年 9 月～1993 年 9 月英国リーズ大学客員研究員。2008 年 4 月～2010 年 3 月東北大学電気通信研究所客員教授。2010 年 4 月教授。1997 年、2006 年、2009 年関東地方発明表彰発明奨励賞、2002 年第 50 回電気科学技術奨励賞 (オーム技術賞)、2009 年文部科学大臣表彰科学技術賞 (開発部門) 、2012 年電子情報通信学会エレクトロニクス賞各受賞。電子情報通信学会フェロー、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

＜2023 年度の主な発表論文等＞

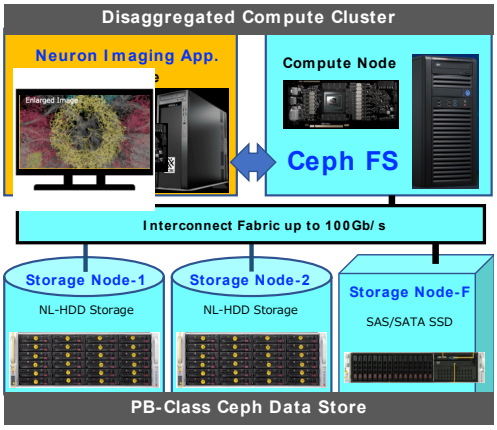
[1] Junhao Zhang, Noriharu Suematsu, “Image Enhancement Technique Using Manchester Coding and RF Tripler for 1-bit Bandpass Delta Sigma Direct Digital RF Transmitter,” IEEE Access, pp. 73359 - 73369, Nov. 2023.
[2] Jean Temga, Mizuki Motoyoshi, Noriharu Suematsu, “Sub-Terahertz-Band On-Chip 2×2 Beam-Forming Array Antenna Using a Compact 2-D BFN On 45nm SOI CMOS,” 2023 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 63-66, Aug. 2023.
[3] Fumito Karasawa, Taiki Machii, Mizuki Motoyoshi, Tomoyuki Furuichi, Noriharu Suematsu, “130 GHz Band CMOS Amplifier with Miniaturized Interstage Circuit by Stacked Radial Stubs,” 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.769-771, Dec. 2023.
[4] Ahmad Abdalrazik, Noriharu Suematsu, "Wideband Half-Cross Shaped Slotted Patch Antenna For 5G Applications, " 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.688-690, Dec. 2023.

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 媒体の記録機構概念図



分散コンピュテーショナルストレージ テストベッドのシステム構成図

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。

＜2023 年度の主な成果＞

複数記録層を持つ記録媒体に選択的に多重記録可能な 3 次元熱アシスト記録技術を開発し、上下２層構造の記録各層のキュリー温度 Tc を最適化制御することにより多重記録による記録密度向上を検証した[1][2]。スピントルク発振素子（STO）の磁気的なカップリングによる発振周波数の同期現象を用いたニューロモルフィック記録構造を研究した。STO 列の２次元配置によるデータ伝送が可能であること、STO 素子形状の制御により分岐での選択的なデータ伝送が出来ることをシミュレーションで検証し高速不揮発性磁性ストレージの可能性を確認した[3]。

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、コンピュテーション機能を近接化した 2PB 級の分散オブジェクト Ceph コンピュテーショナル・ストレージシステムを完成し、脳神経構造可視化解析処理に関する大規模データ伝送とデータアクセスの性能向上を検証した[4]。本研究に対し、2020 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、2024 年 3 月退職。2024 年 4 月東北大学特任教授・総長特別補佐、現職。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。IEEE Magnetic Society Distinguished Lecturer for 2023、IEEE フェロー。日本磁気学会フェロー。

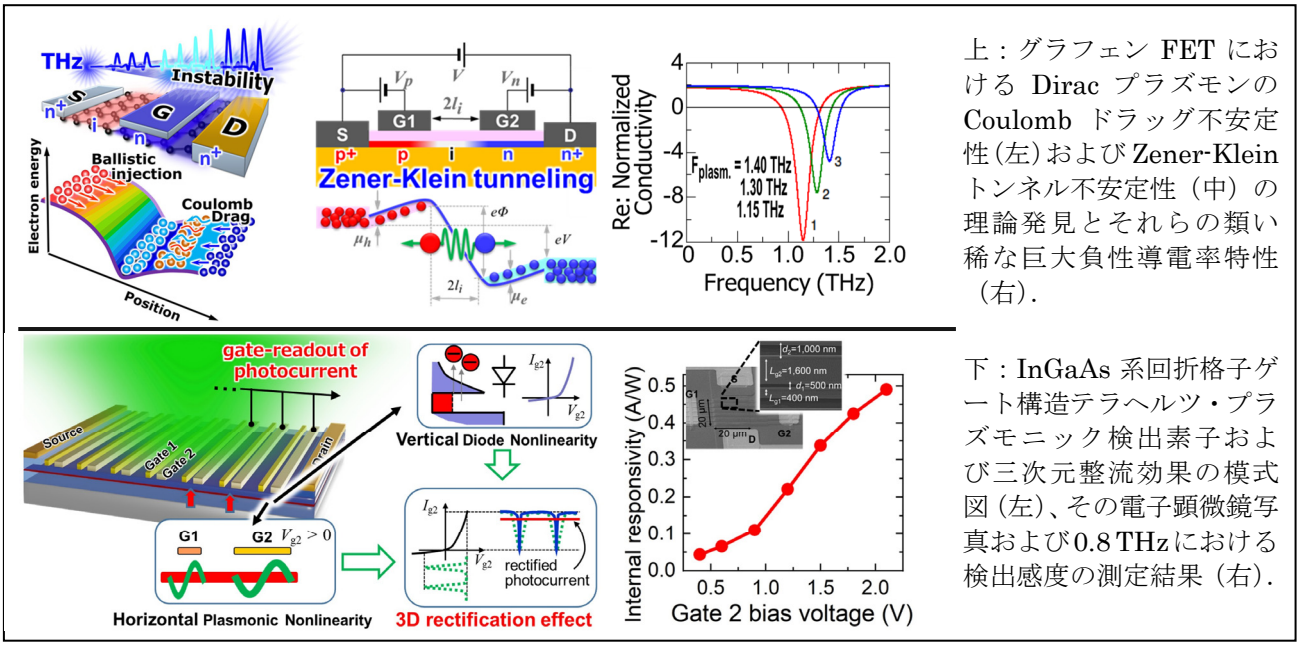
サイモン グリーブス　1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Greaves Simon John, Tatsuno Keita, Kanai Yasushi, Write Head Design for Control of Transition Curvature in Heat-Assisted Magnetic Recording, IEEE Trans. Magn., 10.1109/TMAG.2023.3319459 (2023)
[2] Greaves Simon, Three-dimensional magnetic recording, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 10.1016/j.jmmm.2023.171343 (2023)
[3] Ise Tsubasa, Greaves Simon John, Tanaka Yoichiro, Controlling Information Flow in Arrays of Spin-Torque Oscillators, IEEE Trans. Magn., 10.1109/tmag.2023.3294515 (2023)
[4] Tanaka Yoichiro, Magnetic data storage technology: from perpendicular magnetic recording to the computational storage integration, Spintronics XVI, 0.1117/12.2673322 (2023)

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：グラフェン FET における Dirac プラズモンの Coulomb ドラッグ不安定性(左)および Zener-Klein トンネル不安定性（中）の理論発見とそれらの類い稀な巨大負性導電率特性（右）.

下：InGaAs 系回折格子ゲート構造テラヘルツ・プラズモニック検出素子および三次元整流効果の模式図(左)、その電子顕微鏡写真および 0.8 THz における検出感度の測定結果（右）.

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。

＜2023 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

我々は、電子・正孔が相対論的 Dirac 粒子として振る舞うグラフェンの電荷振動量子 : Dirac プラズモンの物性を応用した新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタを開発し、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ている。今回、Dirac プラズモンの Coulomb ドラッグおよび Zener-Klein トンネル効果に由来する新たな不安定性機構を理論発見し, そのテラヘルツ利得帯域特性を明らかにした。(国際学術論文 3 編;国際会議招待講演 10 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、InGaAs 系高電子移動度トランジスタのチャネル内における二次元プラズモンを活用した、独自の金属回折格子構造を有するテラヘルツ・プラズモニック検出素子において、ゲート・チャネル間のダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された三次元整流効果を正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来よりも一桁向上させることに成功した (2023.11. プレスリリース)。

＜職員名＞

教　授　尾辻　泰一　　（2005 年より）
准教授　佐藤　昭　　（2017 年より）
特任准教授　林　宗澤　　（2022 年より）
助　教　渡辺　隆之　　（2017 年より）；　唐　超　（2023 年より）
学術研究員　RYZHII Victor　　秘　書　菅野　穂

＜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），IEICE 業績賞(2021 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。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Satou, T. Negoro, K. Narita, T. Hosotani, K. Tamura, C. Tang, T.-T. Lin, P.-E. Retaux, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, and T. Otsuji, “Gate-readout and a 3D rectification effect for giant responsivity enhancement of asymmetric dual-grating-gate plasmonic terahertz detectors,” Nanophotonics, vol. 12, iss. 23, pp. 4283-4295, Nov. 2023. DOI: 10.1515/nanoph-2023-0256

[2] V. Ryzhii, C. Tang, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, “Resonant plasmonic detection of terahertz radiation in field-effect transistors with the graphene channel and the black-AsxP1−x gate layer,” Sci. Rep., vol. 13, pp. 9665-1-10, June 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-36802-0

[3] V. Ryzhii, C. Tang, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M. S. Shur, "Effect of electron thermal conductivity on resonant plasmonic detection in terahertz hot-electron bolometers based on metal/black-AsP/graphene FETs," Phys. Rev. Appl., vol. 19, pp. 064033-1-10, June 2023. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.19.064033

[4] T.-T. Lin, M. Watanabe, D. Nakajima, K. Kasai, M. Yoshida, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, “Efficient Optical-to-sub-THz Carrier Frequency Down-Conversion by UTC-PD-Integrated HEMT,” IEEE MWP 2023: 2023 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics, Nanjing, China, Oct. 15-18, 2023. DOI: 10.1109/MWP58203.2023.10416637

[5] T.-T. Lin, D. Nakajima, K. Nishimura, M. Watanabe, K. Kasai, M. Yoshida, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, “Utilizing High-Intensity Optical Subcarrier Signal for Conversion Gain Enhancement Of A UTC-PD-Integrated HEMT Photonic Double-Mixer,” IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023. (date 17, Mo-PM1-5-1) DOI: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10299383

[6] K. Tamura, S. Uchigasaki, H. Seki, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji and A. Satou, “Fast THz Detection by an Asymmetric-Dual-Grating-Gate Gra-phene-Channel FET Based on Plasmonic and Photothermoelectric Effects,” IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023. (date 20, We-PM1-1-2) DOI: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10299381

[7] K. Narita, T. Negoro, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, “Introduction of Inverted-HEMT Structure in a Grating-Gate Plasmonic THz Detector for Drastic Improvement of the Pulse Response,” IRMMW-THz: the 48th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2023, Montreal, Canada, Sept. 17-22, 2023. (date 21, Th-P1-03) DOI: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10299025

[8] K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, “Fast and Sensitive THz Detection by an Asymmetric-Dual-Grating-Gate Epitaxial-Graphene-Channel FET Due to Plasmonic and Photothermoelectric Rectification Effects,” CLEO: Conference on Lasers and Electro-Optics 2023, SF1I.3, San Jose McEnery Convention Center, San Jose, CA, USA, May 7-12, 2023. DOI: 10.1364/CLEO_SI.2023.SF1I.3

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

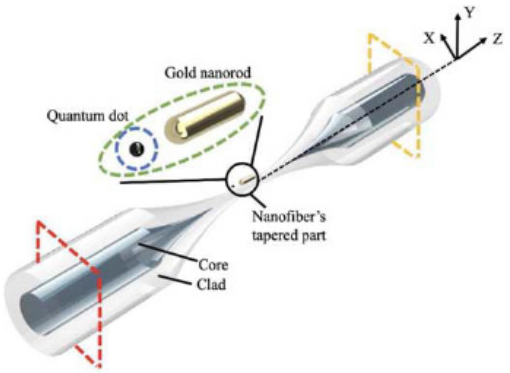


図 1. ナノ光ファイバ上のプラズモン増強単一光子源の概念図。

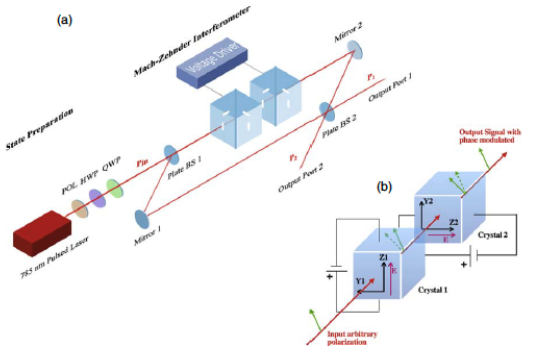


図 2. 超低損失偏光保存光子スイッチの概念図。

量子光情報システム研究分野　　教　　授　　枝松　圭一
量子光情報デバイス研究分野　　教授（兼）　金田　文寛

＜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およびシステムの実用化を目指し，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。

＜2023 年度の主な成果＞

(1) ナノ光ファイバ上のプラズモン増強単一光子源の開発と評価

ナノ光ファイバ上の金ナノ粒子・半導体量子ドット複合体によるプラズモン増強単一光子源を開発し，電磁界数値シミュレーションによってその性能を評価した。(図 1)。

(2) ナノ光ファイバ上のナノ粒子の光捕捉と輸送の計測

液中のナノ光ファイバ近傍のナノ粒子の光捕捉と輸送現象を光学顕微鏡を用いて計測し，電磁界数値シミュレーションによってその特性を評価した。

(3) 超低損失偏光保存光子スイッチの開発

量子情報通信用単一光子ルータや光子メモリに用いるための，超低損失偏光保存光子スイッチを開発し，その性能を評価した。

(4) 制御された擬似位相整合構造による超高純度伝令付単一光子源の開発

疑似位相整合周期を空間制御した光子対光源を用いて，超高純度伝令付単一光子源を開発した。

(5) 小規模量子コンピュータにおける量子ビット系の量子計測

小規模量子コンピュータにおける超伝導量子ビット系の一般化量子計測を行う量子回路を構築し，誤差・擾乱の不確定性関係を検証した。

＜職員名＞

教　　授　　枝松圭一（2003 年より）
教授（兼）　金田文寛（2023 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

金田　文寛　2012 年東北大学大学院工学研究科博士課程修了，東北大学電気通信研究所教育研究支援者，イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校物理学科博士研究員，東北大学学際科学フロンティア研究所助教，東北大学電気通信研究所准教授，2023 年 4 月より東北大学理学研究科教授（兼）電気通信研究所

＜2023 年度の主な発表論文等＞

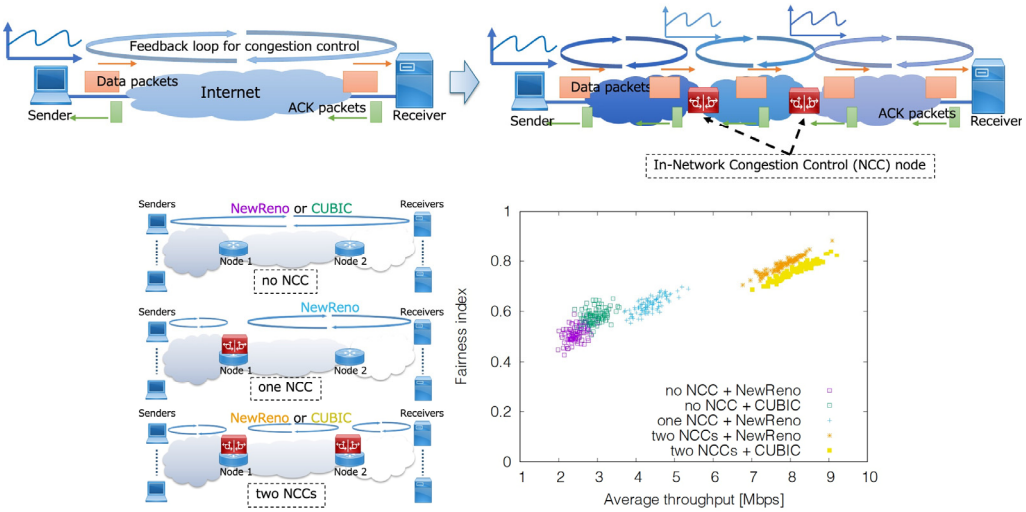
[1] A. Syouji, R. Shimizu, S. Nagano, K. Suizu, and K. Edamatsu, “Short interference fringe and high event rate of two-photon interference using up-converted photon pairs”, Jpn. J. Appl. Phys. **62**, 022003/1-4 (2023) doi: 10.35848/1347-4065/acb874

[2] Y. Xuan, R. Sun, S.-Y. Baek. M. Sadgrove, and K. Edamatsu, “Numerical investigation of plasmon-enhanced emission from a nanofiber coupled single photon emitter”, Appl. Phys. Exp. **17**, 012003/1-6 (2024) doi: 10.35848/1882-0786/ad1318

[3] P. Wang, S.-Y. Baek, K. Edamatsu, and F. Kaneda, “Low-loss polarization-maintaining optical router for photonic quantum information processing”, Jpn. J. Appl. Phys. **63**, 040901/1-5 (2024) doi: 10.35848/1347-4065/ad3533

ネットワークアーキテクチャ研究室

IoT/AI 社会を支える次世代ネットワークアーキテクチャ



ネットワーク内輻輳制御アーキテクチャ NCC (in-Network Congestion Control)

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

＜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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　ネットワーク内輻輳制御アーキテクチャ (文献[6][9])

本研究では、今後ますます多様化するインターネットのための、新たな輻輳制御アーキテクチャを提案している。具体的には、既存のインターネット輻輳制御が依りどころとしているエンドツーエンド原則から脱却し、送受信端末間ネットワークを複数のサブネットワークに分割し、各サブネットワークにおいて、その特性に応じた輻輳制御アルゴリズムを個別に適用する。これにより、これまで長年に渡って培われてきたインターネット輻輳制御技術の利点を最大限に活かしながら、エンド間ネットワークの複雑化・大規模化・多様化などに対してその性能が低下しない、理想的な輻輳制御を実現する。

２．　機械学習に基づくネットワーク状態推定とその応用

競合フローの輻輳制御アルゴリズムを推定し，推定結果に基づいて自身の輻輳制御アルゴリズムを変更することにより、フロー間の公平性を改善することを提案している。具体的には，送信端末によるネットワークやフローの状態の観測結果に基づき，機械学習アルゴリズムを用いて競合フローの輻輳制御アルゴリズムを推定し，推定結果に応じて自フローの輻輳制御機構を変更する．評価の結果，推定手法による競合フローのアルゴリズムの推定精度は最大で 70%であり、推定結果に基づくアルゴリズムの切り替えにより、フロー間の公平性を最大で 78%改善できることを明らかにした。

さらに、ネットワークボトルネックで自フローと帯域を競合している他のフロー数を、自フローが観測できる情報のみを用いて推定する技術に関する研究を行っている。仮想ネットワークを用いた実験により、提案する推定手法により、競合フロー数を役 25%の誤差で

推定できることがわかった。フォント：MS 明朝、サイズ：11 ポイント。アルファベット・数字は半角で入力してください。ギリシャ文字など特殊文字は、Symbol フォントを利用してください。数式は、MS ワード標準の数式エディタを利用してください。サブタイトルは、MS ゴシックです。

３． ネットワーク機器管理のためのトラヒック圧縮技術 (文献[1][4]

ネットワーク機器の管理において，ネットワーク管理者は機器が具備する対話型操作機能を用いて 障害解決や設定の変更を行う. 障害発生時においても確実にネットワーク経由で機器を遠隔操作するため には，専用の管理用ネットワークを構築する必要があるが，設備コストが課題となる．ここで，長距離通 信が可能な LPWA を用いることで安価に管理ネットワークを構築できれば, その利点は大きい. しかし，LPWA の通信速度は遅いため，対話型操作に使用することは難しい．そこで本研究では，ネットワーク機器 のアウトオブバンド管理における通信量を削減するために，対話型操作コマンドに含まれる単語の出現確 率に基づくコマンド系列の符号化手法を提案している。提案手法を用いて圧縮を行うプログラムを試作し，これを用いた実験の結果、ネットワーク機器管理のための通信量を最大で 96%削減できることを明らかにした。

＜職員名＞

教　授　長谷川 剛（2019 年より）

＜プロフィール＞

長谷川 剛　1984 年 3 月　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。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] 坂本和也, 北形元, 長谷川剛, ‘‘LPWA を用いた小規模 IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの提案,’’ 情報処理学会論文誌, vol. 64, No. 5, pp. 1031-1040, May 2023.

[2] Hideyuki Shimonishi, Masayuki Murata, Go Hasegawa, Nattaon Techasarntikul, “Energy Optimization of Distributed Video Processing System using Genetic Algorithm with Bayesian Attractor Model,” in Proceedings of IEEE Netsoft 2023, June 2023.

[3] Satoshi Utsumi and Go Hasegawa, “A New Congestion-Based Congestion Control for Low Latency and Low Packet Drop Rate,” in Proceedings of IEEE ICUFN 2023, July 2023.

[4] Kodai Tanabe, Go Hasegawa, and Gen Kitagata, “Adaptive compression of operational commands for remote network management over LPWA,” in Proceedings of IEEE ITNAC 2023, November-December 2023.

[5] Liwei Peng, Fan He, Go Hasegawa, Yanfen Cheng, Xun Shao, “Distributed Smart Multihome Energy Management Based on Federated Deep Reinforcement Learning,” in Proceedings of IEEE ICPADS 2023, December 2023.

[6] Mitsihiro Watanabe and Go Hasegawa, “In-Network Congestion Control Toward Enhanced Network Resource Utilization,” in Proceedings of IEEE ICOIN 2024, January 2024.

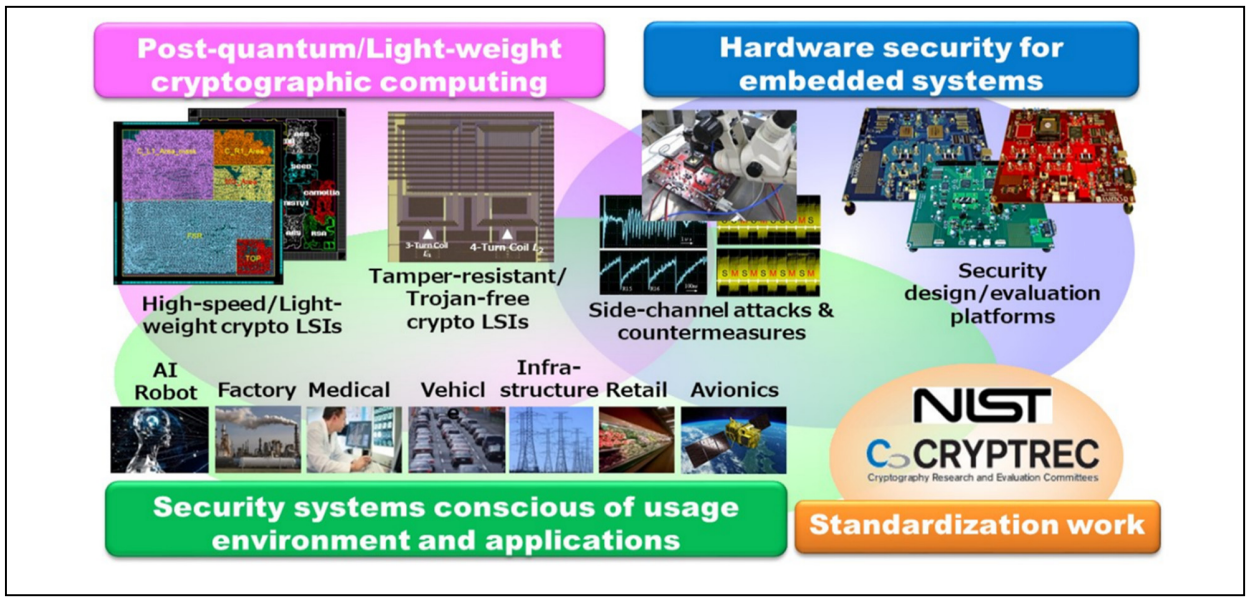
[7] 長谷川操, 長谷川剛, ‘‘エッジ-クラウドアプリケーションにおける端末の無線ネットワーク資源占有時間評価,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 123, no. 2, NS2023-7, pp. 32-37, 2023 年 4 月.

[8] 長谷川剛, ‘‘[招待講演] Beyond 5G/6G アプリケーションのためのエッジ・クラウドコンピューティングに基づく制御技術に関する研究,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 123, no. 249, SR2023-60, pp. 67-67, 2023 年 11 月. Link

[9] 渡邉光裕, 長谷川剛, ‘‘ネットワーク内輻輳制御アーキテクチャの大規模ネットワークを想定した性能評価,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 123, no. 317, IN2023-40, pp. 1-6, 2023 年 12 月.

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



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

＜研究室の目標＞

モノのインターネットに代表される次世代情報通信技術は、豊かな社会をもたらすと期待される一方、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・極低電力に行う 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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　長期安全性を担保する暗号実装方式に関する研究：

近年セキュリティに係るコストは増加の一途をたどっており、効率的な暗号実装技術が強く求められている。本年度は、新しい概念の「暗号鍵変換」により暗号化した情報を物理的な攻撃から守る手法を開発した[1]。今回開発した技術は、暗号鍵の再生成および切り替えを行う「リキーイング（鍵変換）」と呼ばれる技術の新手法で、攻撃に対して 100%安全な構成要素が無い状況であっても、安全のかなめである暗号鍵を適切に交換すれば現実的に十分な安全性を有する暗号モジュールを実現できることを明らかにした。これまで攻撃への対策は特殊な回路技術を付加するなど非常に大きなコスト（速度低下や消費電力増加）を伴うものが大半だった。これに対して開発技術は、軽量な対策を施した暗号モジュールであっても攻撃への耐用期間を現実的な条件・環境下で指数関数的に延長できるため、性能と物理安全性の両立をこれまでより数万倍以上効率的に実現する可能性を有する。

２．　耐量子計算機暗号の実装安全性に関する研究：

近年量子計算機でも解読されない耐量子計算機暗号の研究開発が活発化している。現在アルゴリズムの評価に加えて、実装した際の物理的な攻撃に対する安全性（実装安全性）も重要な要件とされている。現在国際標準化候補となっている耐量子計算機暗号の実装安全性に関する探求が世界的にすすめられているが、特に NIST 標準方式に選定された CRYSTALS-Kyber を中心とした格子暗号方式の実装安全性に高い関心が集まっている。本年度は、CRYSTALS-Kyber の全鍵を世界最高効率で全復元できる攻撃を発見した[4]。また、同攻撃に対して安全な実装方式を合わせて提案・実証した。

３．　次世代暗号の設計に関する研究：

Contention 型キャッシュサイドチャネル攻撃は、2018 年 1 月にその最初の攻撃である Meltdown と Spectre が発表されて以降、CPU システム・ユーザの秘密情報に対する極めて現実的かつ重大な脅威とされ、関連報告が加速度的に増大している。これらの攻撃は現代のほぼ全ての CPU が採用しているキャッシュ構造や投機実行などのハードウェアレベルの脆弱性を悪用する攻撃であり、個々のアプリケーションソフトウェア開発者が対策を講じることは極めて難しいため、これらの攻撃に対して安全な CPU アーキテクチャの設計が急務となっていた。Cache-Randomization はそのような対策技術の一つとして期待されていたが、Cache-Randomization を具体的に実装するためにどのような関数が必要なのかは明らかになっていなかった。本成果では，Cache-Randomization に必要な安全性要件・機能要件を定式化し、それに特化した超低遅延調整値付きブロック暗号 SCARF を設計し、そのハードウェアおよびアーキテクチャレベル評価を行った[3]。

＜職員名＞

教　授　本間 尚文（2016 年より）
助　教　上野 嶺
秘　書　服部 美紀子

＜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)、ドコモ・モバイル・サイエンス賞（2022 年）など受賞。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Rei Ueno, Naofumi Homma, Akiko Inoue, and Kazuhiko Minematsu, “Fallen Sanctuary: A Higher-Order and Leakage-Resilient Rekeying Scheme,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2024(1), pp. 264-308, 2023.

[2] Katsumi Ebina, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “Side-Channel AnalysisAgainst SecOC-Compliant AES-CMAC,” IEEE Transactions on Circuits andSystems II: Express Briefs vol. 70, No. 10, pp. 3772-3776, October 2023.

[3] Federico Canale, Tim Güneysu, Gregor Leander, Jan Philipp Thoma, Yosuke Todo, and Rei Ueno, “SCARF---A Low-Latency Block Cipher for Secure Cache-Randomization,” USENIX Security Synposium '23, pp.1937–1954, Anaheim, CA, USA, August 2023.

[4] Yutaro Tanaka, Rei Ueno, Keita Xagawa, Akira Ito, Junko Takahashi, and Naofumi Homma, “Multiple-Valued Plaintext-Checking Side-Channel Attacks on Post-Quantum KEMs,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2023(3), pp.473–503, 2023.

[5] Rei Ueno, Yusuke Yagyu, and Naofumi Homma, “Efficient DFA-Resistant AES Hardware Based on Concurrent Fault Detection Scheme,” 2023 IEEE 53rd International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL), pp.196–201, Matsue, Japan, May 2023.

3.3 人間･生体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) 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，(5) 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，(6) インタラクティブコンテンツ研究分野，(7) 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分野．

2023 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） 我々は，パルスレーザーと磁性ガーネットを利用した高周波磁界計測システムを開発している．このシステムを，市販されているアナログ高周波回路（周波数シンセサイザ）に適用したところ，IC チップの中央付近で最も強い漏洩磁場が確認された．これは，本手法を使用しなければ，分からなかったことである．今後は，市販の電子機器を含め，幅広い電子回路の磁界計測が可能であることを示す．さらに，より高精度な高周波磁界計測システムの実現，および新しい磁気光学デバイス開発を目指し，磁性ガーネット材料の新しい作製方法を開発した．レーザーを用いることで磁性ガーネットを局所的に加熱し，結晶化することに成功した．これにより，半導体回路基板や光回路基板上に，磁気光学材料を部分的に作製することが可能になった．これを踏まえ，システムの性能向上，および新しい磁気光学デバイス開発を進めている．

(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） 聴覚情報・多感覚情報処理過程に関する研究では，聴覚オブジェクトの知覚様相を明らかにする研究を行い，音圧，周波数，空間特性の各属性が，聴覚オブジェクトの統合，分離知覚にどのように寄与するのかを明らかにした．さらにアファンタジアと呼ばれる視覚イメージの形成が困難な特質がどの程度存在するかについても研究を進めた．3 次元音空間収音・提示技術に関する研究では，複数の球状マイクロホンアレイを用いた音空間収音技術の開発を進め，これまでの方法に比べより広い領域での音空間を精度高く収音出来る技術の提案を行った．

(3) 高次視覚情報システム研究分野

（目標）人間の視覚に関する脳内の情報処理機構を解明する事により，人間に適した視環境･情報環境の設計や,情報機器の評価などの応用的展開を目標として研究を行っている.

（成果）2023 年度の主な成果は以下の 2 件である．1）視覚処理の促進効果である注意に関して、行動との関連を検討した。指さし課題と同時に視覚刺激の認識課題を与えると、指差し課題のゴール位置が視覚刺激処理に影響することを実験的に確認した。指差しのゴール位置とトップダウンの注意位置では、空間的広がりが異なり、それぞれの特性が脳波から分離できることから、指先しのゴール位置には、トップダウン注意と独立の注意効果が生じていると考えられる。２）顔表情を利用して学習時の集中度を推定する手法について、個人差の影響を検討した．学習への集中度が高いほど，学習と無関係な刺激（課題非関連刺激）の検出に時間がかかることから，顔表情による課題非関連刺激に対する応答時間予測が集中度の評価に利用できる．機械学習によって応答時間予測が可能であるが、学習に用いたデータを取得した被験者以外のデータの予測の精度は非常に低くなることを明らかにした。それを踏まえて個人やグループへのカスタマイズについても検討した。

(4) 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）2023 年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1) イトミミズの群れが織りなす不整地走破メカニズムを明らかにした． (2)形態の異なる動物のように重心位置に応じた旋回歩行を四脚ロボットによって実現した．(3) 解剖学的知見に基づく柔軟な身体を有する四脚ロボットを設計した.

(5) 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）2023 度の主たる成果は以下の通りである:(1) 膜タンパク質の一種イオンチャネルの機能を示す時系列データであるチャネル電流を,チャネルの開閉状態に対応する 2 つのレベルに分類する自動解析システムを開発した.(2) マイクロ流体デバイスを用いて,モジュール構造と呼ばれる人工神経細胞回路を実現し，神経回路の自発活動パターンに及ぼす炎症性サイトカインの影響を評価した.(3)電気化学発光イメージングを用いて，再生医療や創薬分野での活用が期待されるスフェロイドを対象に，呼吸活性および代謝変化を追跡可能な測定系を構築した.

(6) インタラクティブ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）本年度の主な成果は次の 4 つである．(1) 無限に広がるバーチャル空間を狭い部屋で歩き回れる新技術として，連続的なドアの開扉動作によるリダイレクション法の提案，(2) 水流を観測データから深層強化学習で再現する流体シミュレーション法を提案，(3) 三人称視点と AR を用いて遠隔地を飛行するドローンの周囲状況を分かりやすく提示することで、ドローンの安全な操縦を実現するユーザインタフェースを提案，(4) VR 空間内の音ではなく，リアル／フィジカル空間から発せられる音が知覚に与える影響について実験した結果，実空間内のある位置に固定された音源を提示した場合に，リダイレクテッドウォーキングの視覚操作がその音源に対する定位精度を低下させ，結果としてその効果を向上させる可能性を示した.

(7) ソフトコンピューティング集積システム研究分野

（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・開発を目指している。

（成果）2023 年度は、予測的なダイナミクスを導入したニューロンモデルを提案し、これをリザバーニューラルネットワークへ応用し、時系列予測性能が向上すること、及び、記憶容量の時間遅れに対する指数的減衰特性が性能向上に寄与することを明らかにした。また、時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークモデルをイベント駆動スパイキングニューラルネットワーク学習回路システムとして実装するため、連続値・時間時間の微差分方程式として記述し、プロトタイプ回路により有効性を実証した。

生体電磁情報研究室

生体との良好なコミュニケーションを目指して

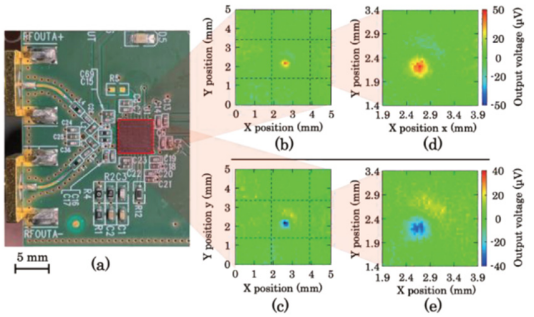


図 1 市販のアナログ高周波回路（周波数シンセサイザ）から発生している漏洩磁界分布を測定した様子。本手法により、チップの中央部分に大きな漏洩磁界があることが分かった。

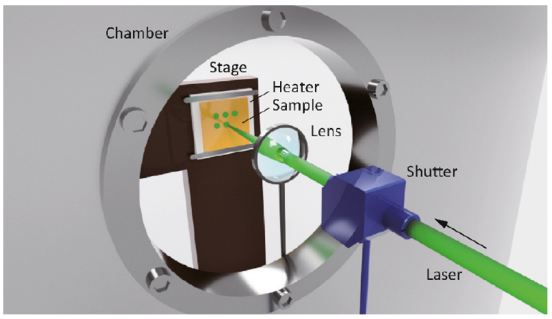


図 2 磁気センサや光通信に使われる磁気光学材料をレーザー局所加熱で作製した。これにより磁気光学材料を半導体回路や光回路と融合することが可能になった。

生体電磁情報研究分野　教　授　石山　和志
生体電磁情報材料分野　准教授　後藤　太一

＜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進める。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や生体に対して働きかけを行う技術の確立を目指す。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　高周波磁界計測に関する研究

我々は、パルスレーザーと磁性ガーネットを利用した高周波磁界計測システムを開発している。今回、このシステムを市販されているアナログ高周波回路（周波数シンセサイザ）に適用したところ、IC チップの中央付近で最も強い漏洩磁場が確認された（図 1）。これは、本手法を使用しなければ分からなかったことである。今後は、市販の電子機器をふくめ、幅広い電子回路の磁界計測が可能であることを示す。

２．　新たな磁気光学材料の研究

より高性能な高周波磁界計測システムの実現および、新しい磁気光学デバイス開発を目指し、磁性ガーネット材料の新しい作製方法を開発した。従来磁性ガーネットは、電気炉を使って、基板全体を 700 度近くに高温にすることで、結晶化し、作製していた。この手法は、簡便で、高い磁気光学効果が得られる一方で、基板全体が高温に晒されるため、異種材料あるいは異種デバイスとの融合を難しくしていた。そこで、図 2 のようなレーザーを用いた局所加熱装置を開発した。これにより、半導体回路基板や光回路の上に、磁気光学材料を部分的に作製することが可能になった。本手法を用いることで、計測システムの性能向上、および新しいデバイス開発が進展することを期待している。

＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）
准教授　後藤 太一（2022 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）。

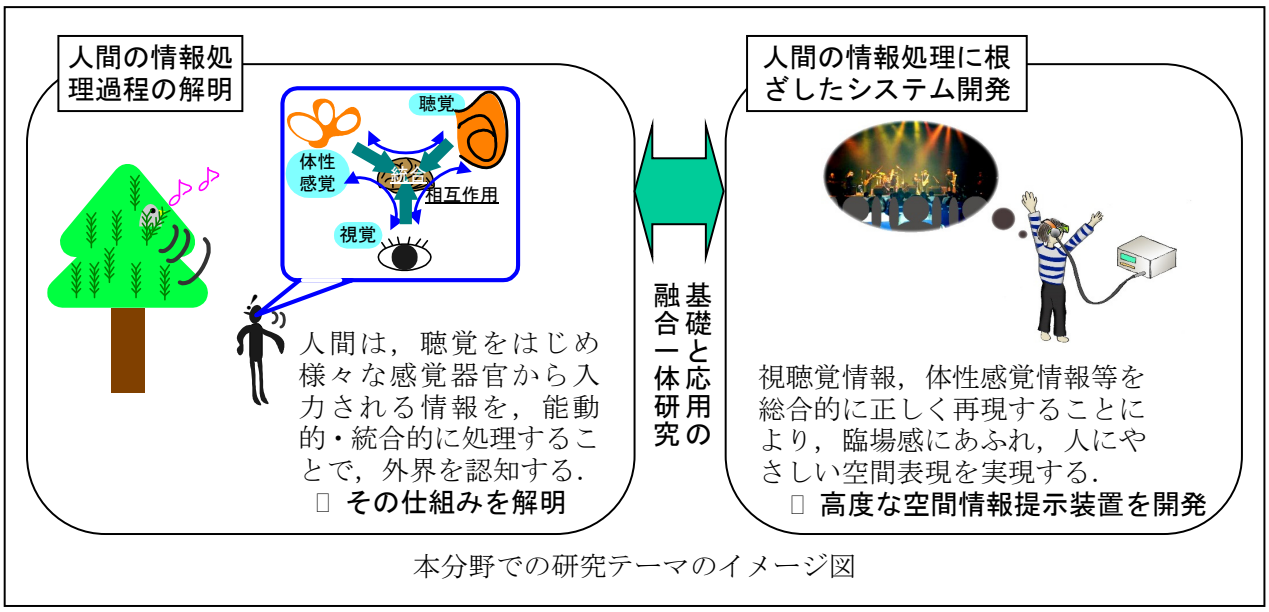
後藤 太一　2008 年 3 月　豊橋技術科学大学工学部卒業。2009 年 3 月　同大学院工学研究科電気・電子工学専攻博士前期課程期間短縮修了。2011 年 9 月　同博士後期課程期間短縮修了、博士（工学）学位取得。日本学術振興会特別研究員 DC1・PD、海外特別研究員、マサチューセッツ工科大学ポスドク研究員を経て、2013 年豊橋技術科学大学助教、2022 年東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。ナノ・マイクロスケールの磁気光学デバイス・材料の研究開発に従事。2015～2019 年に科学技術振興機構さきがけ研究員。2016～2020 年マサチューセッツ工科大客員研究員。文部科学大臣表彰・若手科学者賞受賞（2019）。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Takenori Karita, Ryuta Ishida, Taichi Goto, and Kazushi Ishiyama, “Proposal of high frequency near magnetic field measurement method applicable to actual circuits in electronic devices,” Transaction of the Magnetics Society of Japan Special Issues, Vol. 7, pp. 40-44, 2023.
[2] Keigo Toyoda, Taichi Goto, and Kazushi Ishiyama, "Analysis of strain sensor operation by local anisotropy measurement," Transaction of the Magnetics Society of Japan Special Issues, Vol. 7, pp. 108-111, 2023.
[3] Yuki Yoshihara, Kazushi Ishiyama, Toshiaki Watanabe, Pang Boey Lim, Mitsuteru Inoue, Caroline A. Ross, and Taichi Goto, "Growth of magnetooptical cerium-substituted yttrium iron garnet on yttrium aluminum garnet using ion beam sputtering," Applied Physics Letters, Vol. 123, p. 112404, 2023.
[4] Hibiki Miyashita, Yuki Yoshihara, Kanta Mori, Takumi Koguchi, Pang Boey Lim, Mitsuteru Inoue, Kazushi Ishiyama, and Taichi Goto, "Vacuum laser annealing of magnetooptical cerium-substituted yttrium iron garnet films," Optical Materials, Vol. 146, p. 114530, 2023.
[5] Kanta Mori, Takumi Koguchi, Toshiaki Watanabe, Yuki Yoshihara, Hibiki Miyashita, Dirk Grundler, Mitsuteru Inoue, Kazushi Ishiyama, and Taichi Goto, "Orientation-dependent two-dimensional magnonic crystal modes in an ultralow-damping ferrimagnetic waveguide containing repositioned hexagonal lattices of Cu disks," Physical Review Applied, Vol. 21, p. 014061, 2024.

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＞

本研究室の研究目標は，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。

＜2023 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。本研究室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。

2023 年度は，聴覚知覚体制化に関して研究を進めた。聴覚知覚体制化は，様々な音の中から聞きたい音を選択的に聴取するカクテルパーティー効果のメカニズムを知る上で重要な情報処理過程である。これまでに，複数提示された音脈列における統合知覚と分離知覚の知覚様相の変化を指標として，周波数や音の大きさなどの物理パラメータと音脈の知覚（音脈分凝）についての研究が多くなされてきた。今回は特に空間に着目し，空間位置の変化が音脈分凝にどのような影響を与えるかについて聴取実験を実施して検討した。その結果，空間位置が離れることにより分離知覚が増加すること，さらに，この音脈分凝に影響する空間位置のずれの大きさには方向依存性があるといった興味深い結果が得られた[1]。今後は，聴覚選択的注意が今回得られた結果にどのように影響するかを検討し，聴覚知覚体制化における聴覚選択的注意の影響を調べていく予定である。

そのほかにも，視覚イメージの形成が困難で頭の中にイメージを視覚化できない状態であるアファンタジアについて，このアファンタジアを示す人の割合がどの程度いるのか，および，視覚に関連する質問紙の結果との関係について，調査研究の結果から明らかにした[2]。

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。その中でも，音源位置から耳までの音響伝達特性である頭部伝達関数は，バイノーラルにて音空間を提示する際の最も重要な要素の一つであり，これまでに多くの研究者がその形状や合成法について研究を行ってきた。2023 年度は，特に複数の球状マイクロホンアレイを用いた広領域音空間収音提示技術の開発を進めた。その結果，仮想球モデルを用いたバイノーラル音空間再生技術 ADVISE を規範として，複数の球状マイクロホンアレイを用いて仮想球上の音圧を求め，その音圧分布から聴取点の音圧を算出する方法を提案し，その有効性を確認した[3]。この結果は国際学会において招待講演にて発表した。

そのほかにも，近距離頭部伝達関数の合成法や，2 チャネルステレオ音源やモノラル音源など空間情報を含まない音源に 3 次元空間情報を付与するアップミックス技術，音空間印象を規定する物理要因の検討などについても多くの成果を得た。

＜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（2017），同論文賞佐藤賞（2022）受賞。日本音響学会理事（2016 年 6 月～2020 年 5 月，2021 年 5 月～）。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

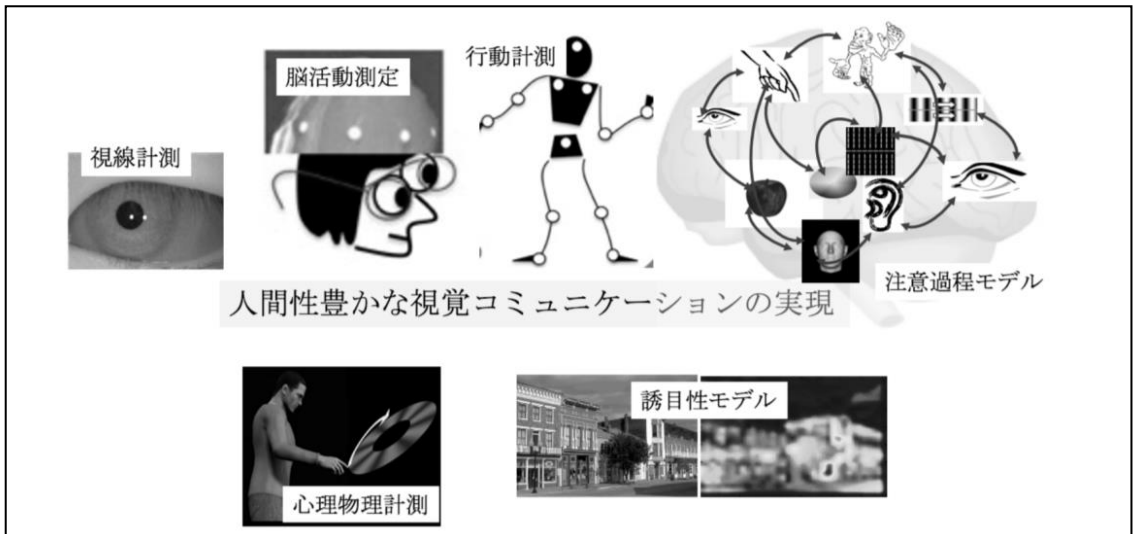
[1] The effect of angular disparity between sound source sequences on the perceptual organization of auditory objects
S. Sakamoto and M. Tamakawa
Proc. 185th Meeting of the Acoustical Society of America (Acoustics 2023), 3pPPa10 (2023).

[2] Diversity of aphantasia revealed by multiple assessments of visual imagery, multisensory imagery, and cognitive style
J. Takahashi, G. Saito, K. Omura, D. Yasunaga, S. Sugimura, S. Sakamoto, T. Horikawa, and J. Gyoba
Frontiers in Psychology, 14, 1174873 (2023).

[3] Sound field recording using distributed spherical microphone arrays based on a virtual spherical model (invited lecture)
S. Sakamoto and K. Katada
Proc. INTERNOISE2023, 1-5-17, (6-page manuscript) (2023).

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っている。

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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　手の動きに応じた視覚的注意

視覚的注意は意図的に対象に向けられるトップダウン注意と顕著な音や視覚刺激に誘導されるボトムアップ注意があると考えられてきたが、近年身体や行動と関連した注意過程が報告されている。我々は、手が次の作業のために運動する場合などにおいて、注意が先行して運動ゴール位置に移動する可能性に注目した。トップダウン注意と独立した手のゴール位置への注意の存在を示すために、両者を個別に制御して注意効果を計測した。その結果は、手のゴール位置に注意を向けるための、トップダウン注意と別の処理系があることを示した。実験においてボトムアップ注意による誘導効果は生じない条件であり、手が動くのに先行して移動位置の視覚処理を促進する注意処理過程があることを示唆する。この考えは、手のゴール位置の注意とトップダウン注意の空間的広がりが異なる（後者が広い）ことからも支持される。

２． 動作による感情表現の分類と文化の影響の検討

言葉によるコミュニケーションが効果的でない場合には、体の動きが敵味方の区別をつけるなどに有効である。しかし、行動がどのように意思表示や理解につながるのか、また、文化がこの能力にどのような影響を与えるのかは不明である。我々は、プロのパフォーマーを研究室に招き、こうした試みに取り組んだ。彼らの動きはモーションキャプチャーシステムによって記録され、運動情報のみを抽出するために点の動きに変換された。オンライン実験プラットフォームを利用し、観察者がこれらのアニメーションを視聴し、知覚した印象報告を収集した。その結果、(1)観察者は動きから感情を判断できる。(2)日本人観察者は、非日本人観察者よりも否定的な表情を検出する能力が優れている。(3)観察者は、親しみを判断する能力がほぼ完璧であることが明らかになった。今後、同人種優位性や文化的効果を検討し、それらのメカニズムの解明を進める。

＜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）、Sun Sai（2020 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。

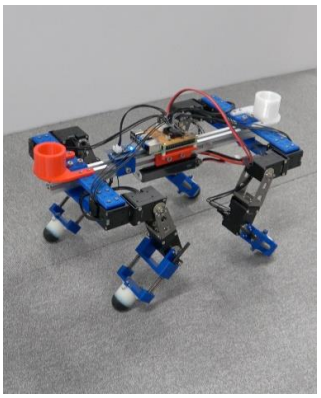
＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Wei Wu, Zhan Li, Takumi Miura, Yasuhiro Hatori, Chia-huei Tseng, Ichiro Kuriki, Yoshiyuki Sato, Satoshi Shioiri; Different Mechanisms for Visual Attention at the Hand-movement Goal and Endogenous Visual Attention. *J Cogn Neurosci* 2023; 35 (8): 1246–1261
[2] Spillmann, L., Hsu, L.C., Wang, W. Chen, C.C., Yeh, C.I., Tseng, C.H.. Gestalt neurons and emergent properties in visual perception: a novel concept for the transformation from local to global processing. *Journal of Vision, 23(12):8, 1-5*. (2023)
[3] Fujiwara, K., Cheng, M., Tseng, C.H., Kitamura, Y. Reading emotions from bodily movements: The development of the Motion Unit AI. *Journal of Information Processing*. (2023)

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

イトミミズの群れが織りなす
不整地走破メカニズム



重心位置に応じた旋回歩行
を実現する四脚ロボット

実世界コンピューティング研究分野　教　授　石黒　章夫
実世界数理モデリング研究分野　　准教授　加納　剛史

＜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．

＜2023 年度の主な成果＞

１．　イトミミズの群れが織りなす不整地走破メカニズム

太さ 0.3mm，長さ 10-40mm 程度の小さなイトミミズは，その柔軟な身体をくねらせ，たくさんの個体が絡まり合って団子のような塊を形成する．このイトミミズの塊は，あたかも一つの生き物であるかのように，状況に応じて形状を変化させながら動き回ることができる．本研究では，行動観察実験，数理モデリング，シミュレーションを通して，イトミミズの塊が地面の凹凸を利用して移動するしくみを世界で初めて明らかにした．この成果は動物の群れが複雑なデコボコした自然界で動き回るしくみの理解にのみならず，たくさんの「やわらかい」ロボットが協調して変幻自在に機能を発揮する，新しい工学システムの実現につながると期待される．

２． 重心位置に応じた旋回歩行を実現する四脚ロボット

ウマやサルなど重心位置が異なる動物は，重心位置の近い前脚か後脚で旋回に必要な横力を発生させる．こうした形態的特徴に対して適応的な旋回運動の制御メカニズムを明らかにするために本研究では，床反力の大きさに基づいた脚の協調制御則を提案した．ロボット実機を用いた検証実験の結果，ロボットの重心位置に応じて効果的に旋回を生み出す脚の協調パターンの生成に成功した．この成果は，動物の運動制御原理の理解のみならず，搬送タスクにおける四脚ロボットの重心位置に対する適応性を向上させることが期待できる．

＜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	門間　いずみ	（2021 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）。

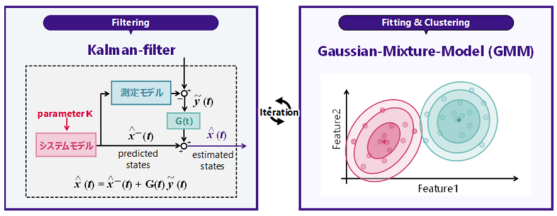
＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Mikami T, Wakita D, Kobayashi R, Ishiguro A, Kano T (2023) Elongating, entwining, and dragging: mechanism for adaptive locomotion of tubificine worm blobs in a confined environment. Front. neurorobot, 17:1207374..

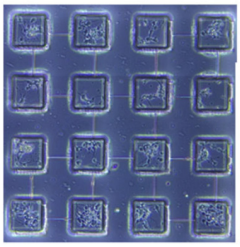
[2] Amaike, H., Fukuhara, A., Kano, T., & Ishiguro, A. (2023). Decentralized Control Mechanism Underlying Morphology-Dependent Quadruped Turning. Journal of Robotics and Mechatronics, 35(5), 1290-1299. https://doi.org/10.20965/jrm.2023.p1290

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室

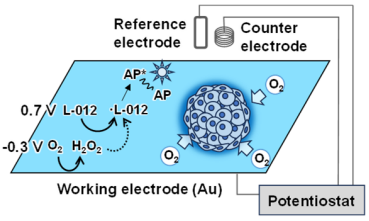
ナノテクノロジーとバイオ材料との融合による新機能デバイスの創出



微小電流データのための適応的自動解析システム



PDMS マイクロ流体デバイス中に形成した人工神経細胞回路



電気化学発光イメージングによるスフェロイドの呼吸活性評価 L-012: ルミノール誘導体, AP: アミノフタル酸

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．

＜2023 年度の主な成果＞

１．　微小チャネル電流データに対する適応的自動解析システムの開発

膜タンパク質イオンチャネルの機能は，チャネルを透過するイオン電流（チャネル電流，pA レベル）の計測によって評価される．チャネル電流の解析では，各測定点における電流値をチャネルの開状態と閉状態に対応する 2 つのレベルに分類する「理想化」と呼ばれるプロセスから始めるが，計測の S/N が低いことが解析の障壁となっていた．本年度は，この理想化プロセスを低 S/N の単一チャネル電流に対して行うための自動解析システムを開発した．擬似チャネル電流データセットを生成して，この解析システムの性能を評価した結果，約 8 割の電流データに対して，本システムの方が従来の 50%閾値に比べて高い正答率を示した．これらの結果を国際誌 Biophysical Journal 誌に発表するとともに，解析プログラムと擬似チャネル電流データセットを研究データリポジトリ Zenodo にて公開した．

２．　人工神経細胞回路の医工学デバイス応用に関する研究

マイクロ流体デバイスを用いて神経細胞をパターニングすることで，モジュール構造と呼ばれる脳神経系で見られる結合構造を模した人工神経細胞回路を実現した．そして，COVID-19 患者において血中濃度が最も増加した炎症性サイトカインである IL-6 が神経細胞回路の自発活動パターンに与える影響を調べた．実験の結果，高濃度（10 ng/mL）の IL-6 に 24 時間暴露されると，神経活動の同期性が上昇することや，その効果はモジュール性が高い回路においてより顕著に見られることなどを明らかにし，国際誌 *Biochemical Biophysical Research Communications* 誌にて発表した．

３． 電気化学発光イメージングを用いたスフェロイドの活性評価

3 次元培養環境で作製されるスフェロイドは，生体模倣性の高い培養細胞組織として再生医療や創薬分野での活用が期待される．本研究では電気化学発光イメージングを用いてスフェロイドの呼吸活性および代謝物の計測を行う測定系を構築した．電気化学発光種として酸素濃度に応じて発光輝度が正比例するルミノール誘導体を用いることで，電極基板上の複数のスフェロイドの酸素消費を一斉に評価することができる．まず，乳がん細胞スフェロイドに薬剤を投与したときの呼吸量変化を計測し，本系が薬効評価に有効であることを国際誌 Electrochimica Acta 誌にて報告した．また，骨再生医療の移植材料として期待される間葉系幹細胞スフェロイドを作製し，電気化学発光イメージングとマイクロ流体デバイスを用いた評価を行った．本研究により骨分化誘導に伴うスフェロイドの代謝変化や，幹細胞性の維持が組織形成に与える影響について明らかにすることができた（Electrochmica Acta, accepted）.

＜職員名＞

教　授　平野 愛弓
助　教　但木 大介
助　教　小宮 麻希
助　教　平本 薫

＜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.

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Sato, M. Hariyama, M. Komiya, K. Suzuki, Y. Tozawa, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, “Model-free idealization: Adaptive integrated approach for idealization of ion channel currents”, *Biophys. J*, **122**, 3959-3975 (2023).

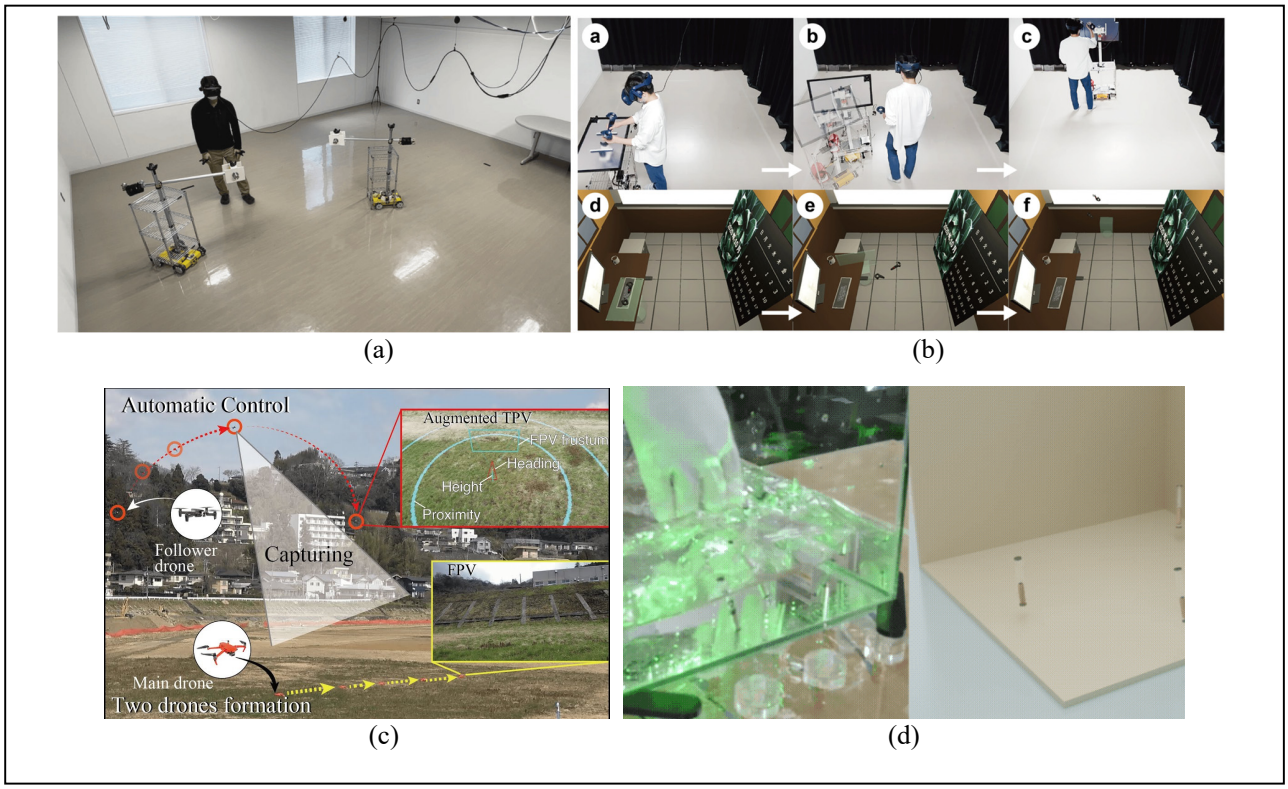
[2] M. Sakaibara, H. Yamamoto, H. Murota, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Enhanced responses to inflammatory cytokine interleukin-6 in micropatterned networks of cultured cortical neurons”, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **695**, 149379 (2024).

[3] K. Hiramoto, K. Komatsu, R. Shikuwa, A. Konno, Y. Sato, A. Hirano-Iwata, K. Ino, H. Shiku, “Evaluation of respiratory and secretory activities of multicellular spheroids via electrochemiluminescence imaging”, *Electrochimica Acta*, **458**, 142507 (2023).

[4] K. Hiramoto, A. Konno, Y. Nashimoto, A. Hirano-Iwata, K. Ino, H. Shiku, “Osteogenic differentiation of mesenchymal stem cell spheroids: A microfluidic device and electrochemiluminescence imaging study”, *Electrochimica Acta*, accepted.

インタラクティブコンテンツ研究室

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.

＜2023 年度の主な成果＞

1．**ルームスケール VR のための開扉時触覚提示・リダイレクション手法**
VR 空間内での歩行時に，開扉の触覚フィードバックを再現するとともに，ユーザの進行方向を操作することで現実世界の限られた空間を有効活用するようユーザを誘導するシステムを開発しました（図 a，[1]）.

2．**VR の空中インタラクションを支援するロボティックタッチサーフェス**
VR の空中インタラクションによる疲労や精度低下の問題を解決するため，任意の位置・角度にタッチサーフェスを配置可能なロボットシステムを開発しました（図 b, [2]）.

3．**拡張 3 人称視点による周囲状況理解支援ドローン操縦ユーザインタフェース**
ドローンの遠隔操縦を支援するために，副ドローンによる 3 人称視点，および AR での空間情報の重畳表示を用いたユーザインタフェースを開発しました（図 c, [6]）.

４．　水流を観測データから深層強化学習で再現

実際の液体全体の流れを、限られた観測データからリアルタイムに，深層強化学習を用いてバーチャル世界に再現する手法を提案しました．（図 d, [3]）．

＜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＞

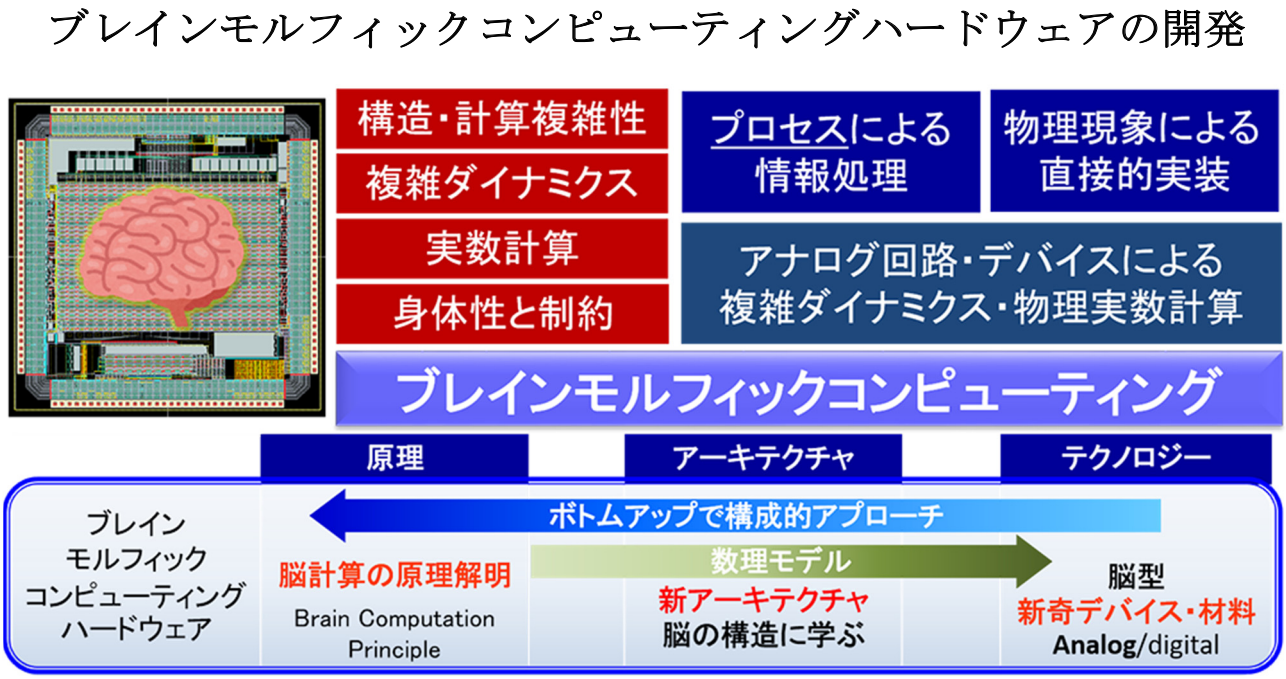
北村 喜文　1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年キヤノン株式会社，1992 年 ATR 通信システム研究所，1997 年大阪大学大学院工学研究科／情報科学研究科 助教授／准教授．2010 年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る．博士（工学）．情報処理学会フェロー，日本バーチャルリアリティ学会フェロー．SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair や CHI 2021 General Chair 等多くの国際会議等でいろいろな役割を務めてきた．IFIP TC-13 (Human-Computer Interaction)日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等の Chair にも就いてきた．IEEE VGTC Virtual Reality Academy 会員，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．

＜2023 年度の主な発表論文等＞

1. Yukai Hoshikawa, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, Yoshifumi Kitamura, RedirectedDoors+: Door-Opening Redirection with Dynamic Haptics in Room-Scale VR, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 30, Issue: 5, pp. 2276-2286, Mar. 2024.
2. Ryota Gomi, Kazuki Takashima, Yuki Onishi, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, UbiSurface: A Robotic Touch Surface for Supporting Mid-air Planar Interactions in Room-Scale VR, Proc. of the ACM on Human-Computer Interaction, Vol. 7, Issue ISS, Article no. 443, pp. 376-397, Nov. 2023.
3. Kinfung Chu, Jiawei Huang, Hidemasa Takana, Yoshifumi Kitamura, Real-Time Reconstruction of Fluid Flow under Unknown Disturbance. ACM Trans. Graph. Vol. 43, Issue: 1, Article 4, 14 pages, Oct. 2023.
4. Kumpei Ogawa, Kazuyuki Fujita, Shuichi Sakamoto, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, Exploring Visual-Auditory Redirected Walking using Auditory Cues in Reality, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, to appear.
5. Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura, Human-Workspace Interaction: prior research efforts and future challenges for supporting knowledge workers, Quality and User Experience, Vol. 8, Article no. 7, Aug. 2023.
6. Maakito Inoue, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, BirdViewAR: Surroundings-aware Remote Drone Piloting Using an Augmented Third-person Perspective, Proc. of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23), Article No. 31, pp. 1-19, May. 2023.

ソフトコンピューティング集積システム研究室



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。

＜2023 年度の主な成果＞

１．　予測的ニューロンを用いたリザバーニューラルネットワーク (NN) の研究

ニューロンの内部状態と出力を自身にフィードバックさせることで、ニューロン自身に予測的なダイナミクスを導入したニューロンモデルを提案した。これを、リザバーNN 中の(1)リザバー層ニューロンとして用いた場合と、(2)出力層ニューロンとして用いた場合について、それぞれ検討を行った。その結果、(1)では、エコーステートプロパティの十分条件を導出することにより、ネットワークの設計を可能とし、さらに、予測的ダイナミクスが時系列の閉ループ予測性能を向上させること、それが記憶容量の時間遅れに対する指数的減衰特性に起因することを明らかにした。一方、(2)

では、カオス時系列の 1 ステップ予測性能が向上することをシミュレーション実験により明らかにした。これは、ハードウェアコストを大幅に改善できる画期的な成果である。

２．　時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークに関する研究

時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークモデルをイベント駆動スパイキングニューラルネットワーク学習回路システムとして実装するため、連続時間・連続値の微分・差分方程式として記述した。さらに、アナログ/デジタル混成回路によるプロトタイプを個別部品により実装し、提案回路の有効性を確認した。また、集積回路実装では各シナプス結合値を取り出して学習性能を評価することが困難であるため、観測可能なネットワークの出力から学習性能を評価する方法として、ハミング距離ヒストグラムとその階層的 2 次元マップ法を提案した。これらにより、集積回路設計時の回路パラメータの事前決定が可能となった。

＜職員名＞

教　授　　堀尾 喜彦（2016 年より）
特任助教　　織間 健守（2023 年 5 月より）
技術補佐員　高橋 真梨子、日比野 智香子

＜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。2021 年 4 月より、ナノ・スピン実験施設長。東京電機大学 名誉教授。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(1990)、IEEE Myril B. Reed Award(1991)、NCSP Best Paper Award(2005, 2007, 2008. 2013, 2020)、IEEE NDES Best Paper Award (2005, 2007)、ICSI-ISIS Best Paper Award(2008)、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ特別功労賞(2016)、電子情報通信学会フェロー(2018)、応用物理学会優秀論文賞(2019)、NOLTA2020 Best Paper Award(2020)。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Orima, T. Tsuji, and Y. Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," Procedia Computer Science, vol. 222, pp. 478-487, 2023. DOI: 10.1016/j.procs.2023.08.186

[2] T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji, and M. Furuya, "Analysis of hippocampal spatiotemporal contextual learning memory model for hardware implementation," in Proc. 5th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware, p. 22, Kita-Kyushu, Japan, March 1-2, 2024

[3] Go Ishii, Yoshihiko Horio, and Takemori Orima, "Effect of memory capacity characteristics on time-series prediction in reservoir neural network consisting of neurons with local temporal history," in Proc. The 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences, BP-6 (3 pages), Beppu, Ohita, Japan, January 29-31, 2024. (Best Student Paper Award 受賞)

[4] T. Orima, T. Tsuji, Y. Horio, S. Moriya, and S. Sato, "Memory state evaluation of spatio-temporal contextual learning memory network based on output spike rate," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 378-381, Catana, Italy, September 26-29, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B4L-35

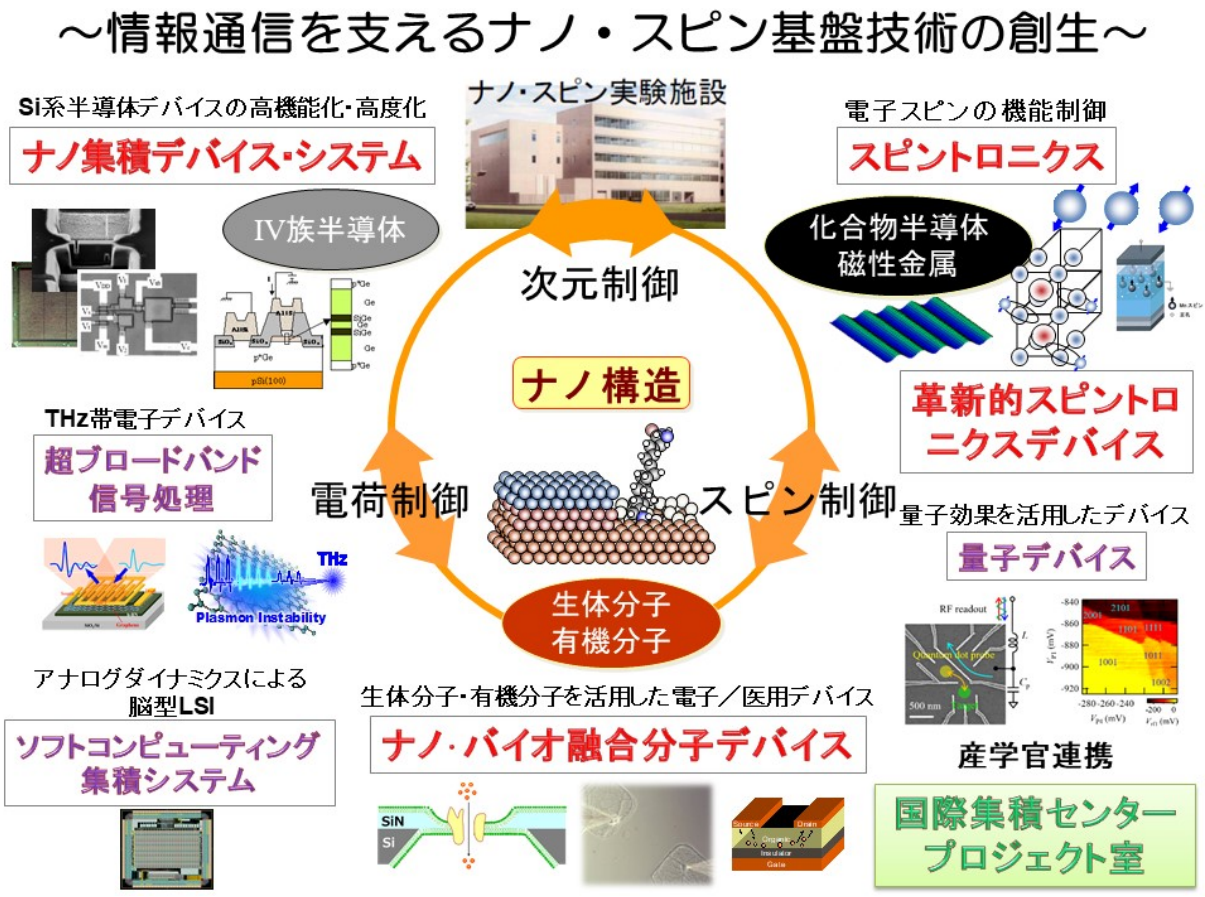
[5] T. Tsuji, T. Orima, and Y. Horio, "Detailed evaluation of spatiotemporal learning rule based on Hamming distances among output vectors," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 415-418, Catana, Italy, September 26-29, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C1L-31

[6] T. Orima, T. Tsuji, and Y. Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," in Proc. of International Joint Conference on Neural Networks, paper no. 1570883985 (10 pages), Gold Coast, Queensland, Australia, June 18-23, 2023

3.4 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・システム、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 5 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・システム（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

(1) 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ラルネットワークLSIを用いてリザバー計算システムを構成した。音声や手書き文字などのデータを、低電力で正しく分類できることを電気測定により確認した。
(2) 負性抵抗エサキダイオードの開発を目指し、ECR プラズマ CVD を用いてキャリア濃度が $2x10^{20}$ cm^{-3} に達する高濃度 P ドープ Si 薄膜形成を実現した。さらに、高濃度 P ドープ Si のウェットエッチングによる pn 接合ダイオード製作プロセスの構築を進め、良好な整流特性を確認した。
(3) 哺乳類大脳皮質に見られるネットワーク構造と神経活動パターンとの相互関係を検証するために、微細加工基板上で神経細胞を培養し、その刺激応答をリアルタイムに計測する新たな実験系を構築した。リザバーコンピューティングの枠組みを用いて神経活動パターンをデコーディングし、モジュール性が高いネットワークではパターン分類性能が上昇することなどを明らかにした。

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

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。本年度の主な成果を以下にまとめる。
(1) ニューロン自身に予測的なダイナミクスを導入したニューロンモデルを提案し、これをリザバーニューラルネットワーク中の(A)リザバー層ニューロンとして用いた場合と、(B)出力層ニューロンとして用いた場合について、それぞれ検討を行った。その結果、(A)では、エコーステートプロパティの十分条件を導出することにより、ネットワークの設計を可能とし、さらに、予測的ダイナミクスが時系列の閉ループ予測性能を向上させること、それが記憶容量の時間遅れに対する指数的減衰特性に起因することを明らかにした。一方、(B)では、カオス時系列の 1 ステップ予測性能が向上することをシミュレーション実験により明らかにした。これは、ハードウェアコストを大幅に改善できる画期的な成果である。
(2) 時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークモデルをイベント駆動スパイキングニューラルネットワーク学習回路システムとして実装するため、連続値・時間時間の微差分方程式として記述した。さらに、アナログ/デジタル混成回路によるプロトタイプを個別部品により実装し、提案回路の有効性を確認した。また、集積回路実装では各シナプス結合値を取り出して学習性能を評価することが困難であるため、観測可能なネットワークの出力から学習性能を評価する方法として、ハミング距離ヒストグラムとその階層的 2 次元マップ法を提案した。これらにより、集積回路設計時の回路パラメータの事前決定が可能となった。

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・金井駿）

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 5 年度は主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) マイクロマグネティックシミュレーションを用いてナノスケールジャイロイドネットワークが取り得る磁気構造を解明した。(2) ノンコリニア反強磁性体の磁気八極子のスピン軌道トルクに対する応答が磁気双極子の応答とは決定的に異なること（掌性異常）を発見した。(3) パターンを形成した下地の利用による自己組織化ナノスケールネットワーク構造の方位を揃える方法を確立した。(4) 確率動作磁気トンネル接合素子を用いた方向性確率的ニューラルネットワークを実証した。(5) 高密度 STT-MRAM 実現に向けた極

微細磁気トンネル接合素子のクロストークに由来した充填限界を解明した。(6) 保持特性、及び動作速度が重要となる応用向け STT-MRAM 実現のための極微細磁気トンネル接合素子の設計し史を体系化してまとめた。(7) CMOS 回路と確率動作磁気トンネル接合からなるヘテロジーニアス確率論的コンピュータを提案し、その基本動作を実証した。

● 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

我々は、電子・正孔が相対論的 Dirac 粒子として振る舞うグラフェンの電荷振動量子 : Dirac プラズモンの物性を応用した新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタを開発し、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ている。今回、グラフェン Dirac プラズモンの Coulomb ドラッグ効果および Zener-Klein トンネル効果に由来する新たな２つの不安定性機構を理論発見し，そのテラヘルツ利得帯域特性を明らかにした。（国際学術論文 3 編；国際会議招待講演 10 件）。

2. プラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発

将来の超高速無線通信システム実現に向けて、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ（InGaAs-HEMT）のチャネル内における二次元プラズモンの流体力学的非線形性を活用した、独自の金属回折格子構造を有するプラズモニック・テラヘルツ検出素子の研究を進めている。今年度は、出力信号のゲート端子読み出し方式において、電子トンネリングに起因するダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された”三次元整流効果”を、正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来の負ゲート電圧印加時よりも一桁向上させることに成功した（2023.11. プレスリリース；招待講演 2 件）。

● 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測定、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) 固体ナノ構造中の局所電子状態を解明し活用するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできる測定、制御手法を開発している。測定感度やダイナミックレンジの改良等、手法の改良を進めるとともに、原子層材料等の新しい材料においても技術開発を行った。

(2) 電気的精密高速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。半導体量子ドットやナノ粒子等の微細構造、新材料における電子状態等についてその詳細の測定、解明を行った。

(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の精密高速測定・制御技術を活用して、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、読み出しに関する研究とともに、新材料の活用や集積化に向けた研究を行った。

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) 微小チャネル電流データに対する適応的自動解析システムの開発

膜タンパク質イオンチャネルの機能は、チャネルを透過するイオン電流（チャネル電流，pA レベル）の計測によって評価される。チャネル電流の解析では、各測定点における電流値をチャネルの開状態と閉状態に対応する 2 つのレベルに分類する「理想化」と呼ばれるプロセスから始めるが、計測の S/N が低いことが解析の障壁となっていた。本年度は、この理想化プロセスを低 S/N の単一チャネル電流に対して行うための自動解析システムを開発した。擬似チャネル電流データセットを生成して、この解析システムの性能を評価した結果、約 8 割の電流データに対して、本システムの方が従来の 50%閾値に比べて高い正答率を示した。これらの結果を国際誌 Biophysical Journal 誌に発表するとともに、解析プログラムと擬似チャネル電流データセットを研究データリポジトリ Zenodo にて公開した。

(2) 人工神経細胞回路の医工学デバイス応用に関する研究

マイクロ流体デバイスを用いて神経細胞をパターニングすることで、モジュール構造と呼ばれる脳神経系で見られる結合構造を模した人工神経細胞回路を実現した。そして、COVID-19 患者において血中濃度が最も増加した炎症性サイトカインである IL-6 が神経細胞回路の自発活動パターンに与える影響を調べた。実験の結果、高濃度（10 ng/mL）の IL-6 に 24 時間暴露されると、神経活動の同期性が上昇することや、その効果はモジュール性が高い回路においてより顕著に見られることなどを明らかにし、国際誌 Biochemical Biophysical Research Communications 誌にて発表した。

(3) 電気化学発光イメージングを用いたスフェロイドの活性評価

3 次元培養環境で作製されるスフェロイドは、生体模倣性の高い培養細胞組織として再生医療や創薬分野での活用が期待される。本研究では電気化学発光イメージングを用いてスフェロイドの呼吸活性および代謝物の計測を行う測定系を構築した。電気化学発光種として酸素濃度に応じて発光輝度が正比例するルミノール誘導体を用いることで、電極基板上の複数のスフェロイドの酸素消費を一斉に評価することができる。まず、乳がん細胞スフェロイドに薬剤を投与したときの呼吸量変化を計測し、本系が薬効評価に有効であることを国際誌 Electrochimica Acta 誌にて報告した。また、骨再生医療の移植材料として期待される間葉系幹細胞スフェロイドを作製し、電気化学発光イメージングとマイクロ流体デバイスを用いた評価を行った。本研究により骨分化誘導に伴うスフェロイドの代謝変化や、幹細胞性の維持が組織形成に与える影響について明らかにすることができた（Electrochmica Acta, accepted）。

3.5 ブレインウェア研究開発施設

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

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

＜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。

＜2023 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、2023 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：

・イトミミズの群れが塊となって不整地環境を移動するメカニズムに関する研究を報告
（実世界コンピューティング研究室）
https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2023.1207374/full

・Stochastic computing の活用により、1,000 ノード以上の大規模組合せ最適化問題の求解に成功（新概念 VLSI システム研究室）
https://doi.org/10.1109/TNNLS.2022.3159713

・「色名カテゴリーの境界に関する文化間比較」についての研究を報告（認識・学習システム研究室）
https://scholar.google.co.jp/citations?view_op=view_citation&hl=ja&user=I9qDcUsAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=I9qDcUsAAAAJ:cRMvf6lLvU8C

・「顔特徴分析による学習者の支援要望状態の推定」についての研究を報告（認識・学習システム研究室）
https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3573051.3596182

・海馬の時空間列コンテクスト学習・記憶ニューラルネットワークモデルを、微分差分方程式として記述。（ソフトコンピューティング集積システム研究室）
https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.08.186

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・生体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）

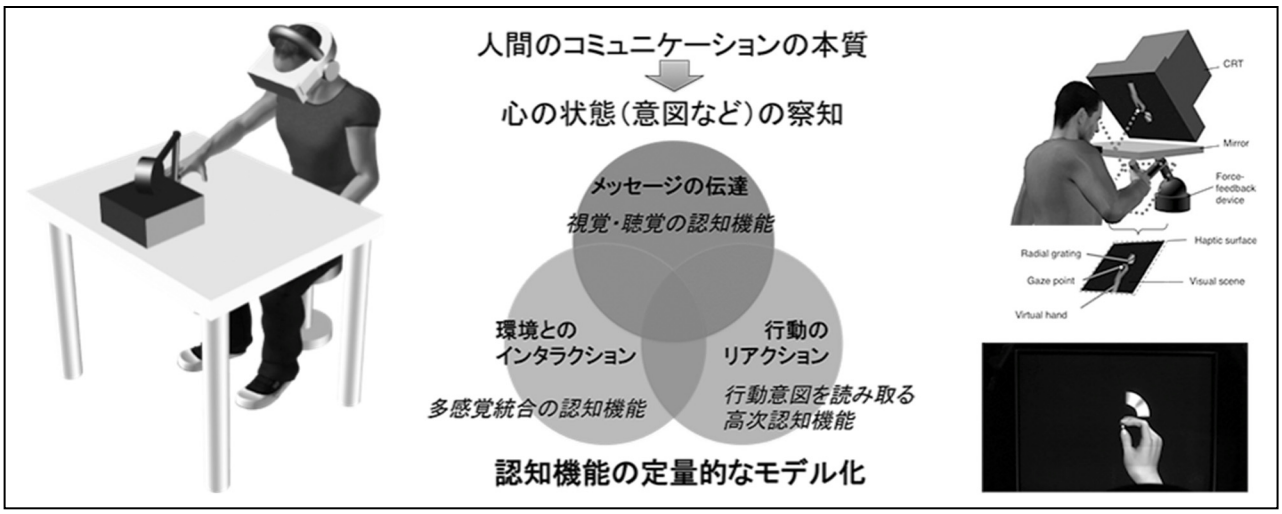
新概念 VLSI システム研究室：
（計算システム基盤研究部門新概念 VLSI システム研究室を参照）

認識・学習システム研究室：
（人間・生体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・生体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：
（人間・生体情報システム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。

＜2023 年度の主な成果＞

1. 色名カテゴリーの境界に関する文化間比較

色知覚に関する生理学的知見は，文化による大きな差異はないことを示し，また Berlin と Kay の研究（1969）以来，異なる言語間での共通性についてはよく知られている。本研究では，複数の言語話者に対して，共通の実験を実施した結果について，情報通信に色名を利用するという視点で考察し，まとめた。英語話者（米国被験者），日本語話者，中国語話者（台湾被験者）それぞれに対する実験結果を，色を分離する各単語のカバーする色の範囲を定量的に評価することで，共通点と相違点を調査した結果，高い共通性があることから，異なる言語話者間でも，共通言語話者間と同程度に色名を利用したコミュニケーションが成立することを示した。一方，日本語においては，青と異なる色領域として水色があるなど言語間での差異も明らかにした。

２．聴覚知覚体制化における時空間特性の影響

両耳に同時並列的に入力された音情報をそれぞれの聴覚オブジェクトにグルーピングするプロセスは聴覚知覚体制化と呼ばれており、複雑な音響シーンを適切に認識する上で極めて重要な情報処理過程である。しかし、聴覚知覚体制化にどのような物理パラメータがどの程度寄与するかについては、現在でも未解明な部分が多い。

本研究では、特に空間に関連する物理パラメータに着目し、聴覚知覚体制化に寄与する時空間パラメータの影響について研究を進めている。2023 年度は、物理パラメータを制御する事で単一の音脈と二つの音脈のいずれにも知覚されうる状況を作り出せる音脈分凝を対象に、周波数と空間位置を変化させた音刺激を用いて、音脈分凝の知覚様相に各パラメータが及ぼす影響を検討した。実験の結果、周波数で得られる傾向と同様に、空間位置が離れる事によって二つの音脈に分離知覚されやすくなること、得られた空間特性は方向依存性を持ち、周辺にいくに従って空間位置が違っていても分離知覚されにくくなるといった結果が得られた。このことは、人間の音空間知覚における空間分解能が関連している可能性を示唆するものである。

そのほかにも、視覚イメージの形成に困難を有する状態であるアファンタジアに関し、どの程度の割合の人がアファンタジアを有するのかといった調査研究結果を、教育心理学を専門とする研究者との共同研究により報告した。

＜職員名＞

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

[1] S Shioiri, R. Tokunaga, I. Kuriki, *Volume 1 Cross-Linguistic Studies*, edited by Masatoshi Koizumi, Berlin, Boston: De Gruyter Mouton, 2023, pp. 41-62.

[2] Kato, H., Takahashi, K., Hatori, Y., Sato, Y., Shioiri, S. (2023). Prediction of Engagement from Facial Expressions: Effect of Dynamic Factors. In: Kondo, K., Horng, MF., Pan, JS., Hu, P. (eds) Advances in Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. IIHMSP 2022. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 339. Springer, Singapore.

[3] R. Miao, H. Kato, Y. Hatori, Y. Sato and S. Shioiri, "Analysis of Facial Expressions to Estimate the Level of Engagement in Online Lectures," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 76551-76562, 2023

[4] S. Sakamoto, “Binaural sound field recording and reproduction using spherical microphone arrays,” *Proc. The 7th Noise and Vibration: Emerging Methods (NOVEM 2023)* (Keynote Forums) (2023).

[5] S. Sakamoto, M. Tamakawa, “The effect of angular disparity between sound source sequences on the perceptual organization of auditory objects,” *Proc. 185th Meeting of the Acoustical Society of America (Acoustics 2023)*, 3pPPa10 (2023).

[6] J. Takahashi, G. Saito, K. Omura, D. Yasunaga, S. Sugimura, S. Sakamoto, T. Horikawa, J. Gyoba, “Diversity of aphantasia revealed by multiple assessments of visual imagery, multisensory imagery, and cognitive style,” *Frontiers in Psychology*, 14, 1174873 (2023).

3.6　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．

＜2023 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．学際連携研究部と萌芽研究部では，現在，以下のプロジェクトを推進している．

(A)　1 プロジェクト

・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)　3 プロジェクト

・注意推定による教育支援システムの実現（代表者：塩入　諭　教授）

・共生社会を実現するドローン利活用技術の研究（代表者：北村　喜文　教授）

・スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発（代表者：末松　憲治　教授）

これまでの産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部においては，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．その後，総務省のプロジェクトとして，2017 年度から 2020 年度に，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，2019 年度から 2021 年度に，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、それぞれ受託し，実施した．また，2020 年度から 2023 年度に、NEDO のプロジェクトとして、ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業「新規結晶成長製造技術と、それを用いた高出力 GaN デバイスの研究開発」を受託し、実施した． 2022 年度からは、総務省・SCOPE（国際標準獲得型）「製造分野における 5G 高度化技術の研究開発」、総務省・

電波資源拡大のための研究開発「空間伝送型ワイヤレス電力伝送の干渉抑制・高度化技術に関する研究開発」、情報通信研究機構(NICT) ・革新的情報通信技術研究開発委託研究 Beyond 5G 機能実現型プログラム基幹課題「Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け Q/V 帯高機能デジタルビームフォーミング（DBF）送受信システム技術および W 帯衛星搭載機器基盤技術の研究開発」の計 3 つのプロジェクトを実施している.

＜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
特任教授　芝　隆司
特任教授　塚本　悟司
客員教授　板谷　聡子
客員准教授　本良　瑞樹
客員准教授　前畠　貴

学際連携研究部
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）　李　涛

萌芽研究部
注意推定による教育支援システムの実現
代表・教授（兼）　塩入　諭

共生社会を実現するドローン利活用技術の研究
代表・教授（兼）　北村　喜文

スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発
代表・教授（兼）　末松　憲治

運営委員

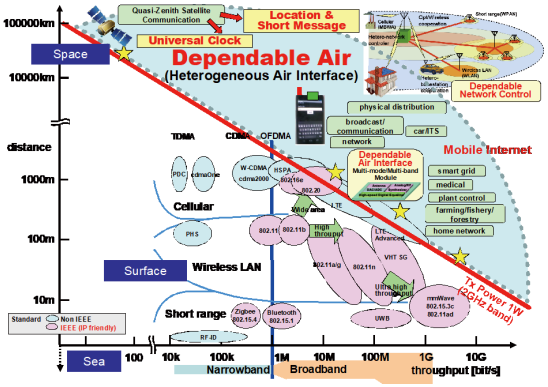
本研究所教授	末松　憲治	工学研究科教授	齊藤　伸
	長谷川　剛		山田　博仁
	北村　喜文	情報科学研究科教授	田中　和之
	佐藤　茂雄	本研究所事務長	三上　洋一
	白井　正文		
	羽生　貴弘		
	廣岡　俊彦		

本研究所特任教授　芝　隆司
塚本　悟司

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
特任教授　芝 隆司
特任教授　塚本 悟司
研究員　西野 有

＜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、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た。

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、稼動物体との高信頼無線通信技術の開発を行った。さらに、2020 年度からは、NEDO ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業「新規結晶成長製造技術と、それを用いた高出力 GaN デバイスの研究開発」のプロジェクトを実施しており、B5G 向け Si RFIC の開発を行った。2022 年度からは、次の 3 件のプロジェクトを実施している。1 つ目は、総務省・SCOPE（国際標準獲得型）「製造分野における 5G 高度化技術の研究開発」のプロジェクトであり、無線センサを用いたチャネルモデル測定系の開発を行っている。2 つ目は、総務省・電波資源拡大のための研究開発「空間伝送型ワイヤレス電力伝送の干渉抑制・高度化技術に関する研究開発」のプロジェクトであり、スペクトラムモニタを用いた無線電力伝送系と無線 IoT 混在下での漏洩電力スペクトラム観測技術の開発を行っている。3 つ目は、情報通信研究機構(NICT) ・革新的情報通信技術研究開発委託研究 Beyond 5G 機能実現型プログラム基幹課題「Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け Q/V 帯高機能デジタルビームフォーミング（DBF）送受信システム技術および W 帯衛星搭載機器基盤技術の研究開発」のプロジェクトであり, わが国独自の低軌道(LEO)コンステレーション衛星通信システムおよび LEO 衛星搭載用 Q/V 帯フルディジタル方式 DBF アンテナ、W 帯衛星搭載用ミリ波デバイスの開発を行っている。

＜2023 年度の主な成果＞

１．スマートファクトリ用無線環境測定装置の開発

スマートファクトリ等では、異種の無線システム(無線 IoT、Local5G、空間伝送型ワイヤレス電力伝送)が混在するため、それぞれの無線信号の混信等により、通信速度が劣化してしまう等の問題があった。また、それらの通信速度を上げるため、空間分割多重アクセス方式(Spatial Division Multiple Access, SDMA)等を用いる方法があるが、そのためには、無線通信系をなるべく保持したまま、その通信系のチャネルモデルを測定する必要があった。そこで、我々は、従来より開発してきた東北大学独自方式の、広帯域スペクトラムモニタ技術の応用展開を図り、上記、無線 IoT、各国の Sub6-Local5G、準ミリ波-Local5G、空間伝送型ワイヤレス電力伝送系に対応した、広帯域スペクトラムモニタを開発し、さらに、そのスペクトラムモニタを用い、信号送信系回路の改良を施す事なく、測定環境を保持したまま、回線設計チャネルモデル（距離―受信電力、Type1 と呼称する)、SDMA 設計用チャネルモデル（Power Dela Profile, PDP、Type2 と呼称する)の測定を可能とするシステムを構築する。本年度は、上記スペクトラムモニタの試作機を用い、ドイツの２事業所（IFAK,DEMAG）にて、新たに提案を行った測定法による Sub6-Local5G の Type1 チャネルモデル測定及び Type2 チャネルモデル測定を行い、有効な測定結果を確認した。

２．LEO コンステレーション衛星搭載用 DBF アンテナの概念設計

我が国独自の低軌道 (LEO)コンステレーション衛星通信では、新しいミリ波周波数帯である Q/V 帯の開拓が求められている。また、多数のフレキシブルなビームの実現も求められているため、アレーアンテナを用いたフルディジタル DBF 送受信機が必要である。本報告では、想定される LEO コンステレーション衛星通信の概要を示すとともに、ダイレクトディジタル RF 送受信機構成を用いた衛星搭載用 Q/V 帯 DBF アンテナ装置の構成を示す。さらに、従来の送受信機に比べてディジタルリッチなダイレクトディジタル RF 送受信機で問題となるディジタル信号処理の規模を抑えることを目的に、面分割構成 DBF アンテナを提案し、これによるディジタル信号処理演算量の削減量を検討した。

＜職員名＞

教授（兼）	末松 憲治
特任教授	芝 隆司
特任教授	塚本 悟司
研究員	西野 有

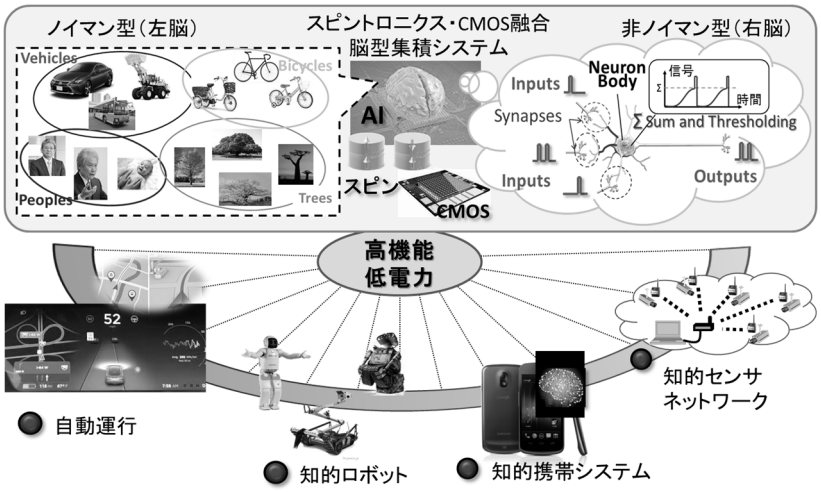
＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Shiba, T. Furuichi, N. Suematsu, “Measurement of Power Delay Profile for Local 5G System,” URSI GASS 2023, Sapporo, Japan, 19-16 August 2023.
[2] T. Shiba, T. Furuichi, N. Suematsu, “Power Delay Profile Measurement Applied MUSIC for Local 5G System,” 2023 6th World Symposium on Communication Engineering (WSCE), pp. 49-55, September 2023.
[3] N. Suematsu, “Q/V-band direct digital RF transceiver design for LEO constellation on-board DBF antenna,” 2023 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), 2023.
[4] J. Zhang, K. Furuuchi, N. Suematsu, “20GHz-Band Low Backlobe Vivaldi Endfire Antenna Array for Digital Beamforming Transmitter Antenna Module,” 2023 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 41-43, 2023.

学際連携研究部

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究プロジェクト

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

代　表・教　授（兼）　羽生　貴弘

教　授（兼）　遠藤　哲郎

助　教　李　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・判断を高効率か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 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。

＜2023 年度の主な成果＞

本研究プロジェクトは、2021 年にスピントロニクス・CMOS 融合の不揮発性脳型回路の検証とデモ実験環境の整備を完了し、高効率・高精度な脳型 VLSI チップの評価と解析を実現するための保証を得ることができている。令和 5（2023）年度は、ニューラルネットワークのエラー耐性特性と不揮発デバイスのスイッチング特性を組み合わせることにより、デバイスの消費電力を削減する方法を探求しております。理論的には、DNN のエラー耐性と不揮発デバイスのスイッチング電流の関係を明らかにし、実験的には低 8 ビット DNN パラメータにランダムエラーを導入することで、DNN の精度を損なうことなく消費電力を削減する手法を実証しています。実験結果は、ランダムな 20%の二進数を反転させることで、5.63%の電力を削減し、100%のバイナリを反転させることで 34.84%のエネルギーを節約できることを示しています。さらに、最大誤り率が 0.00868 の 6 つの実用的な STT-MRAM チップのエラーマップを DNN の低 8 ビットパラメータに組み込むことで、100%スイッチング確率に相当するスイッチ

ング電流の下で、その精度に影響を与えることはありません（最大損失は 0.00067）。MobileNet 平均的なトップ 1 とトップ 5 の精度低下はそれぞれ 0.000355、0.00079、0.000670、0.000310 であり、その産業応用にわずかな影響しか与えません。

また、ECC プロジェクトでは、STT-MRAM を重みデータストレージとして利用する将来の物体認識システム向けに、高スループットと小面積を実現しつつデータの整合性を保証する新しいエラー訂正コードモジュールを提案した。提案された ECC モジュールは、STT-MRAM の高スループット要件に対応するために、パイプライン化された高並列 BCH モジュールを採用している。小面積要件を最適化するために、エンコーダー用の 64 並列線形 LFSR と、並列要因削減デコーダを提案している。BCH コードのコード長と訂正能力は、メモリ冗長性と計算複雑性の高効率を考慮して最適化されている。提案された ECC モジュールの訂正性能は、実際に動作する STT-MRAM チップの実測値に基づいて検証され、実装結果は、64 ビット高スループットと 5.76 ns の読み取り遅延で $18.27K\ \mu m^2$の小面積を実現していることを示した。実験結果は、STT-MRAM のビットエラー率が2×10^{-3} 以下であれば、ニューラルネットワークの認識精度に影響を与えないことを示している。これらの研究成果は、ECC モジュールがほとんどの製造された STT-MRAM チップに適しており、物体認識システムへの統合が可能であることを示している。

＜職員名＞

教　授（兼）　羽生 貴弘（2002 年より）
教　授（兼）　遠藤 哲郎（2008 年より）
助　教　　李　涛　（2023 年より）

＜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.

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）。

李　涛　2016 年 6 月　ハルビン工程大学工学研究科航法・誘導・制御博士後期課程修了。2016 年 10 月東海大学創造科学技術研究機構特任研究員。 2020 年 5 月　東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターと同大工学研究科助教。2023 年 4 月同大電気通信研究所助教。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Saito, S. Ikeda, N. Tezuka, H. Inoue, and T. Endoh, “Field-free spin-orbit torque switching and large damping-like spin-orbit torque efficiency in synthetic antiferromagnetic systems using interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction,” Physical Review B, vol.108, pp.024419, 2023.

[2] Y. Saito, S. Ikeda, H. Inoue, and T. Endoh, “Charge-to-Spin Conversion Efficiency in Synthetic Antiferromagnetic System Using Pt–Cu/Ir/Pt–Cu Spacer Layers,” IEEE Transactions on Magnetics, vol.59, pp.1300405, 2023.

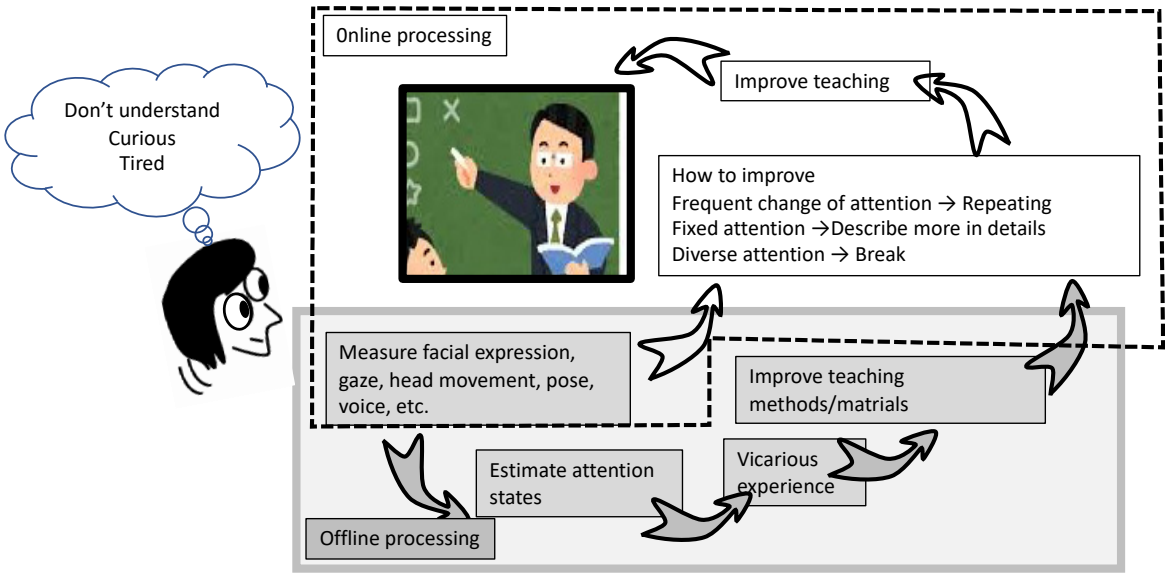
[3] T. Li, Y. Ma, K. Yoshikawa, and T. Endoh, “Neuromorphic processor-oriented hybrid Q-format multiplication with adaptive quantization for tiny YOLO3,” Neural Computing and Applications, vol. 35, issue 15, pp.11013-11041, Feb. 2023. DOI : 10.1007/s00521-023-08280-y.

[4] T. Li, Y. Ma, K. Yoshikawa, T. Endoh, “Hybrid signed convolution module with unsigned divide-and-conquer multiplier for energy-efficient STT-MRAM-based AI accelerator,” IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol.31, pp.1078-1082, Feb. 2023. DOI : 10.1109/TVLSI.2023.3245099.

[5] T. Li, L. Zhang, Y. Ma, and T. Endoh, “Bridging Artificial Intelligence and Devices: Power Reduction Method of Non-volatile Devices with Error-resilient Deep Neural Networks,” IEEE Transactions on Magnetics, pp.1-9, Oct. 2023. DOI : 10.1109/tmag.2023.3321878.

[6] T. Li, L. Zhang, and T. Endoh, “Small Area and High Throughput Error Correction Module of STT-MRAM for Object Recognition Systems,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2024 (in press).

萌芽研究部
注意推定による教育支援システムの実現



注意状態推定とその追体験システム。まずオフラインで注意状態推定をし、それを利用した追体験を行う。注意状態の時系列データおよび追体験から、注意状態による対応策を検討する。その後、学習時の注意推定からオンラインで対応する手法を確立する。

代表・教授（兼）　塩入　諭

＜研究室の目標＞

加速度的に進展する高度情報化社会における教育学習環境の深化に向け、学習者の注意状態推定とその追体験システムの実現を目指す。

＜2023 年度の主な成果＞

学習効果を高めるために学生の集中状態を把握することは重要であるが、教師が一人で多くの学生の様子を把握することは困難である。近年その問題に対して、学習中の学生の顔映像を用いた集中状態の推定が試みられている。しかし学習者の心的状態評価の信頼性は十分に高いとはいえず、更なる検討が必要とされている。本研究の目的は、助力が必要な心的状態を対象として、顔映像を用いることで機械学習によってヒントが必要な状況を予測する手法を確立することである。言語オリンピックの問題を課題とし、Web 上での問題解決環境を作り、課題支援機能としてヒントボタンを設けた。課題解放中の行動と顔表情を記録し、ヒントボタンを押してヒントを求めたタイミングを、顔表情から予測すること試みた。ヒントボタンを押す数秒間の顔映像特徴量を利用した機械学習モデルを作成し、ヒントボタン利用予測を行った結果、その有効性が確認された。この結果は、顔表情から助力を必要とする心的状態の予測が可能である事を示す。

＜職員名＞

教　授　塩入　諭

＜プロフィール＞

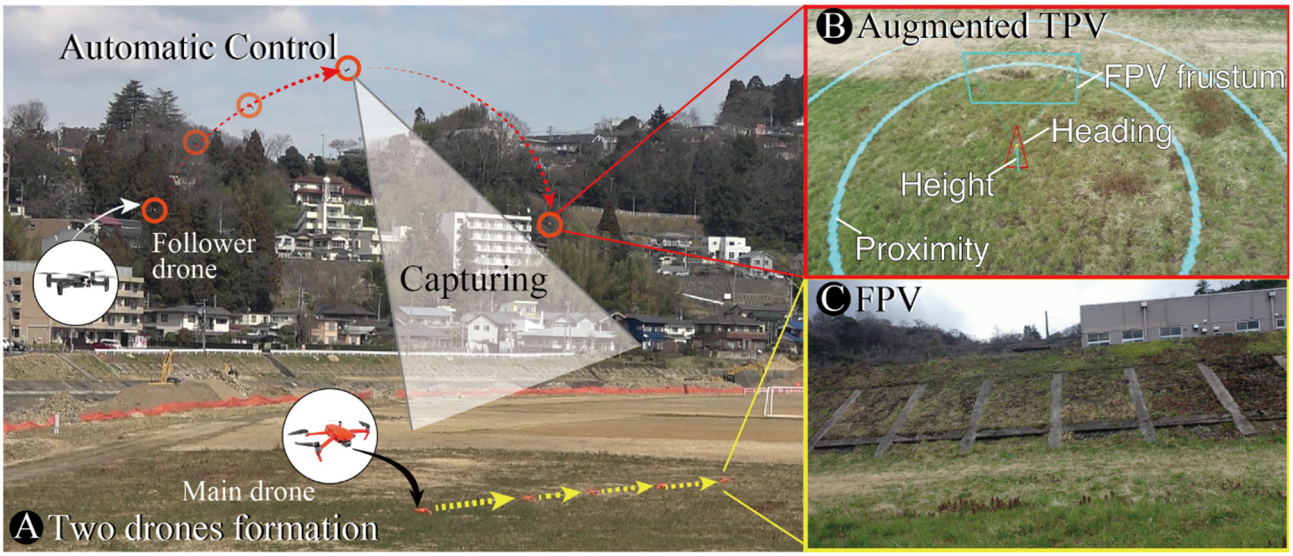
塩入　諭　1986 年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了．その後 1989 年 5 月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務．カナダより帰国後，1990 年 4 月まで ATR 視聴覚機構研究所で勤務．1991 年 5 月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手，助教授，同大学メディカルシステム工学科教授を経て，2005 年 3 月より東北大学電気通信研究所・教授．1988.5 Fight for Sight 賞受賞，1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞,1999.7 照明学会論文賞受賞，2000.5，映像情報メディア学会丹生高柳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

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Wang, GY., Nagata, H., Hatori, Y., Sato, Y., Tseng, C.H., Shioiri, S. Detecting learners' hint inquiry behaviors in e-learning environment by using facial expressions, Proceedings of the Tenth ACM Conference on Learning@ Scale, 2023
[2] Miao, R., Kato, H., Hatori, Y., Sato, Y., Shioiri, S. Use of facial expressions to estimate level of attention while watching video lectures, Journal of Vision 23 (9), 4726-4726, 2023
[3] Shioiri, S., Nagata, H., Sato, Y., Hatori, Y. Prediction of preference judgments of face images using facial expressions and EEG signals, Journal of Vision 23 (9), 5063-5063, 2023

萌芽研究部
共生社会を実現するドローン利活用技術の研究

共生社会を実現するドローン利活用技術の研究



2 機のドローンによる BirdViewAR の概要

代表・教授（兼）北村　喜文

＜研究室の目標＞

ドローンは最近ますます活躍する機会が増えつつあるが，その利活用にはサスティナビリティやアクセシビリティへの考慮が求められるようになってきている．本研究では共生社会の実現を目指し，オープンソースの枠組みや環境にやさしい技術を導入することで，誰もがドローンを利用できる利活用基盤技術を開発する．

＜2023 年度の主な成果＞

周囲を認識した遠隔ドローン操作システム BirdViewAR を提案した．これは，自動操縦のセカンダリー・フォロワー・ドローンから拡張された三人称視点（TPV）を通じて，パイロットに重要な空間認識を提供することができる．フォロワードローンは，最適化ベースのオートパイロットを使用して，メインドローンの動きと方向に応答し，パイロットは余分な入力なしでメインドローンとその差し迫った目的地を明確に観察することができる．メインドローンとその周囲の空間的関係の理解を向上させるために，TPV は AR 重畳で視覚的に補強され，メインドローンの空間的状態（方位，高度，地上位置，カメラ視野（FOV），近接領域）が強調表示される．この成果の論文は，ヒューマンコンピュータインタラクションのトップ国際会議である ACM CHI 2023 にフルペーパーが採択され，2023 年 5 月に口頭発表した[1]．この内容は，メタバース総研「メタバースの研究事例まとめ」に掲載された(https://metaversesouken.com/metaverse/university/#BirdViewAR).

＜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）．情報処理学会フェロー，日本バーチャルリアリティ学会フェロー．SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair や CHI 2021 General Chair 等多くの国際会議等でいろいろな役割を務めてきた．IFIP TC-13 (Human-Computer Interaction)日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等の Chair にも就いてきた．IEEE VGTC Virtual Reality Academy 会員，日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている．

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Maakito Inoue, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshihumi Kitamura. BirdViewAR: Surroundings-aware Remote Drone Piloting Using an Augmented Third-person Perspective, Proc of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), Article No. 31, April 2023.

萌芽研究部

スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

スマート工場への次世代ワイヤレス IoT の社会実装を目指して

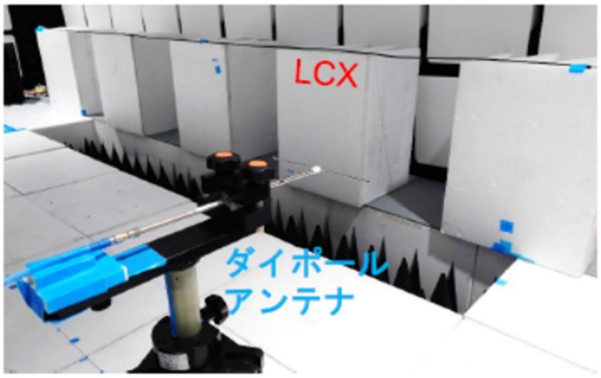


図 1: 漏洩同軸ケーブル(LCX)通信実験

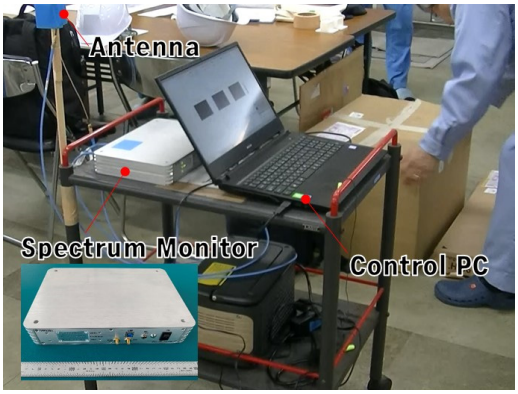


図 2: 工場内での電波環境モニタリング

代表・教授（兼）　末松 憲治

特任教授（兼）　芝　隆司

助教（兼）　古市　朋之

＜研究室の目標＞

第 5 世代(5G)以降の Beyond 5G や 6G における、期待される経済効果としては、図 1 に示すように、通信のブロードバンド(広帯域)化が求められる医療、スマートホーム、小売りに比べて、低遅延特性や多接続数の実現が求められる交通、製造業の方がはるかに大きい。その中でも、Society5.0 や Industory4.0 で注目されているスマートファクトリーは、世界的にも我が国がトップレベルの競争力を保っている数少ない分野となっている。スマートファクトリーでは、少量多品種のオーダーメードに対応可能なフレキシブルな製造ラインの構築が必要であり、低遅延、多接続数に対応する Beyond5G や 6G 時代の新しいワイヤレス IoT 技術の実現が強く求められている。

本研究プロジェクトでは、スマートファクトリーに適したローカル 5G のような、自営ワイヤレス通信システムおよび無線機ハードウェア技術、無線制御（アクセス制御）技術、ディジタル信号処理技術を開発する。

＜2023 年度の主な成果＞

- **漏洩同軸ケーブル(LCX)を用いた工場内無線 IoT 通信の検討**

工場内の無線 IoT で広く使われている 920MHz 帯、2.4GHz 帯において、LCX 通信を行う際の通信可能エリアの検討を行っている。特に工場においては、製造ラインが直線的に長い配置となっている点、アンテナ近傍に波長に比べて大きい金属障害物がおかれることがある点などで、通常のアンテナでは電波が届かないエリアが発生してしまう。例えばライン上での組み立て作業においては

アンテナ近傍に金属遮蔽物が置かれることが想定され、パッチアンテナなどの点波源アンテナでは金属遮蔽物によるシャドウイングによって不感帯が生じ通信が不安定になると考えられる。本研究開発ではアンテナ近傍に金属遮蔽物が置かれた状況でのシャドウイングの影響について、パッチアンテナと LCX アンテナで電磁界シミュレーションにより評価を行い、LCX アンテナがパッチアンテナよりも遮蔽物後方に生じるシャドウイングの低減に有効である可能性を示した。

- **広帯域リアルタイムスペクトラムモニタを用いた電波環境モニタリング**

無線 IoT 等の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の無線システム間の干渉等により通信データ速度や応答速度が低下し生産効率が低下する問題が生じており、電波状況を把握するための電波環境モニタリングが求められている。そこで、研究室で開発した広帯域リアルタイムスペクトラムモニタを用いた工場内の電波環境モニタリングを行った。実際の製造現場において同一の免許不要帯を使用する WLAN や Bluetooth など異なる通信規格のアクセスポイントと無線 IoT 端末が多数配置された実環境において電波環境をモニタリングし、チャネル占有率からその混雑状況を評価した。さらに、工場内での不感帯エリアの評価を行い、金属やメタマテリアルなどの反射板を用いた不感帯の改善効果を検証し、不感帯の改善に反射板の利用が有効である可能性を示した。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

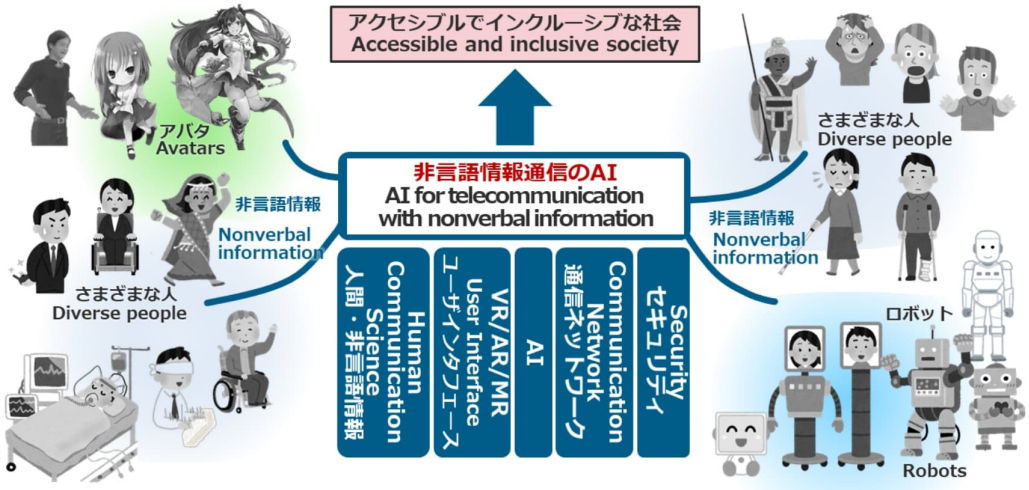
[1] E. Nagahari, T. Furuichi, T. Shiba, N. Suematsu, "A study on shadowing caused by a metallic object placed near LCX antenna of 920MHz-band," 2023 XXXVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), Sapporo, Japan, 2023.

3.7 サイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター

＜目標＞

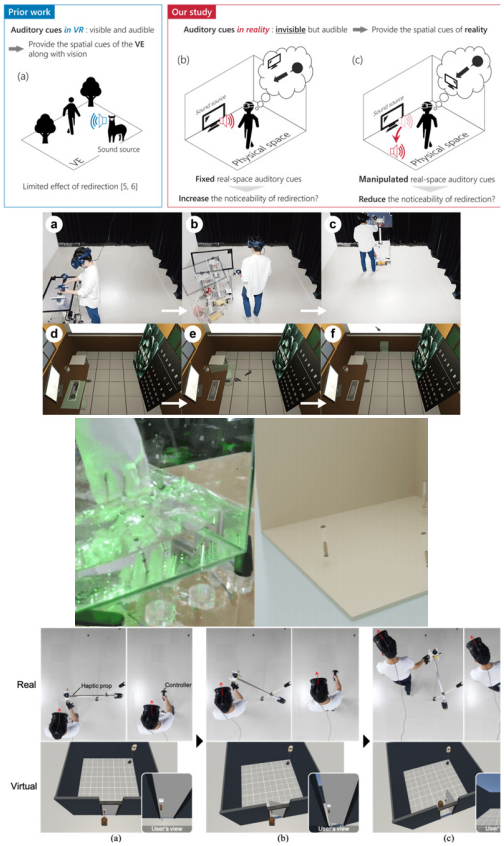
未来の遠隔コミュニケーションでは、人同士が、サイバー／バーチャル空間をうまく活用しながら、自らがいるリアル／フィジカル空間のモノや情報も使いつつ、豊かなコミュニケーションができることが期待されている。

そういった豊かなコミュニケーションを実現するための鍵は、我々の日常の対人コミュニケーションで重要な役割を担っている「非言語情報」の機微を適切に伝送することができる「非言語情報通信」を実現することである。そのためには、心理学や脳科学を基礎とした人間科学の研究や XR コミュニケーション技術の研究に加えて、AI、通信・ネットワークやセキュリティの基盤・応用研究を包括的に推し進める必要がある。我々は「非言語情報」の AI をうまく作ることによって、障がい、文化、ジェンダー等のダイバーシティに寄りそうアクセシブルでインクルーシブな社会の実現への貢献を夢見ている。



非言語情報通信で拓く豊かな遠隔コミュニケーション

＜2023 年度の主な成果＞



1. **リアル／フィジカル空間内の音手掛かりを用いた視聴覚リダイレクション**
   バーチャル／サイバー空間内の音ではなく，リアル／フィジカル空間から発せられる音がリダイレクテッドウォーキングの知覚に与える影響について検討した[1].
2. **ルームスケール VR における空中平面インタラクションを支援するロボットタッチサーフェス**
   バーチャルな入力平面を物理的にユーザに提示するために，自動的に位置を変え，ユーザが仮想の部屋を歩き回りながら正確で疲労の少ない入力を達成できるようにするロボットタッチサーフェスを提案した[2].
3. **リアル／フィジカル空間とのインタラクションをサイバー／バーチャル空間で共有**
   実観測データを利用できる新しい流体シミュレーションの方法を開発した．深層強化学習で，少数の限られた観測データをもとに液体全体の動きをリアルタイムで計算して再現することができた[3].
4. **無限に広がるサイバー／バーチャル空間を狭い部屋で歩き回わる**
   ユーザがサイバー／バーチャル空間内でドアを開けて前方に進む際にユーザに気づかれない程度に サイバー／バーチャル 空間全体を回転させることで、ユーザの進行方向をだますリダイレクション手法を提案した[4].

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] Kumpei Ogawa, Kazuyuki Fujita, Shuichi Sakamoto, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, Exploring Visual-Auditory Redirected Walking using Auditory Cues in Reality, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2023.
https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3309267

[2] Ryota Gomi, Kazuki Takashima, Yuki Onishi, Kazuyuki Fujita, and Yoshifumi Kitamura. UbiSurface: A Robotic Touch Surface for Supporting Mid-air Planar Interactions in Room-Scale VR, Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, Volume 7, Issue ISS, Article No.: 443, pp. 376–397, 2023
https://doi.org/10.1145/3626479

[3] Kinfung Chu, Jiawei Huang, Hidemasa Takana, and Yoshifumi Kitamura. Real-Time Reconstruction of Fluid Flow under Unknown Disturbance, ACM Transactions on Graphics, Volume 43, Issue 1, Article No. 4, pp 1–14 https://doi.org/10.1145/3624011

[4] Yukai Hoshikawa, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, Yoshifumi Kitamura: RedirectedDoors+: Door-Opening Redirection with Dynamic Haptics in Room-Scale VR, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2024.
https://ieeexplore.ieee.org/document/10466477

3.8 共創研究所

古河電工×東北大学フォトニクス融合共創研究拠点

＜共創研究拠点の目標＞

本共創研究拠点では、高度化していく情報社会基盤の形成に不可欠なフォトニクス分野を基軸として、古河電気工業がもつ素材加工力と社会課題解決に取り組む東北大学の総合力との融合・連携により、新たな発想に基づく革新的な萌芽技術の創出、および高度な専門人材の育成を目指している。

具体的には、安全・安心で人々が快適に暮らすことができるサステナブルな社会の実現に資する、モビリティ、エネルギー、情報の融合等の多様な波及効果を有する革新的萌芽技術の創出に向けた研究テーマの探索および共同研究の推進に取り組んでいる。

また、両機関の共創連携を通じ、高度な工学的素養を有し、異分野との融合的・創造的思考を実践できる人材育成に貢献する。

＜2023 年度の成果＞

フォトニクス領域の共創の起点とする事を目的に、共創研究拠点の構成員と古河電気工業の関係者による意見交換会を開催した。本活動等により、フォトニクス領域で多数の交流を持つ事となり、この中から３件の共創を開始する事ができた。

フォトニクス以外の領域においても、東北大学の様々な部局と古河電気工業の間で、極めて多くの対話の機会を持つ事ができた。その中から３件の共創を開始する事ができた。

2023 年度に開始した共創は、共同研究もしくは学術指導の契約を調整中であり、2024 年度には、東北大と古河電工で目標を共有し、それぞれの技術課題、社会課題の解決に向けた取り組みに進める計画である。

＜職員名＞

特任教授　島田　道宏

Fig.1 共創研究拠点の概要と目標

3.9 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 435 名）
○ 高圧ガス保安講習会の Web 開催（参加者 153 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）	佐藤　茂雄
助　　教	佐藤　信之
技術職員	阿部　真帆
技術職員	柳生　寛幸
事務補佐員	高橋　遥

3.10 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

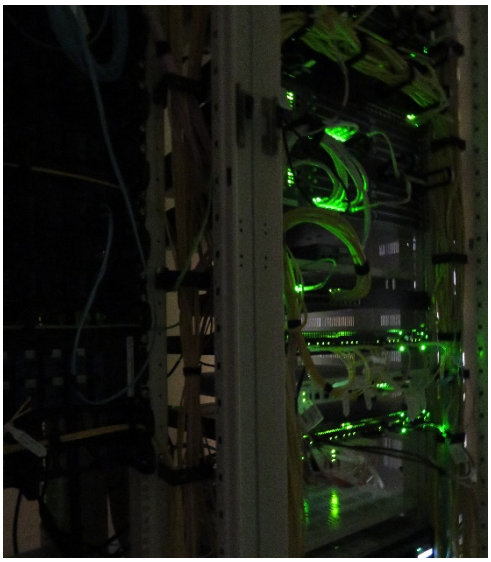


図２　電気通信研究所ＥＰＳ

＜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、電気通信研究所（以下、通研）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＞

本センターでは、通研における学術・研究の基盤となる情報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

・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
・オンライン会議システム会議室の構築およびオンラインイベントの運営支援
・所外に持ち出すモバイル通信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　長谷川　剛
教授　白井　正文
教授　菅沼　拓夫
教授　八坂　洋
教授　石黒　章夫

(2) 職員

センター長(教授)　長谷川　剛
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　角野　究（～2023 年 11 月）
技術補佐員　庄子　仁（2024 年 3 月～）

3.11 研究基盤技術センター

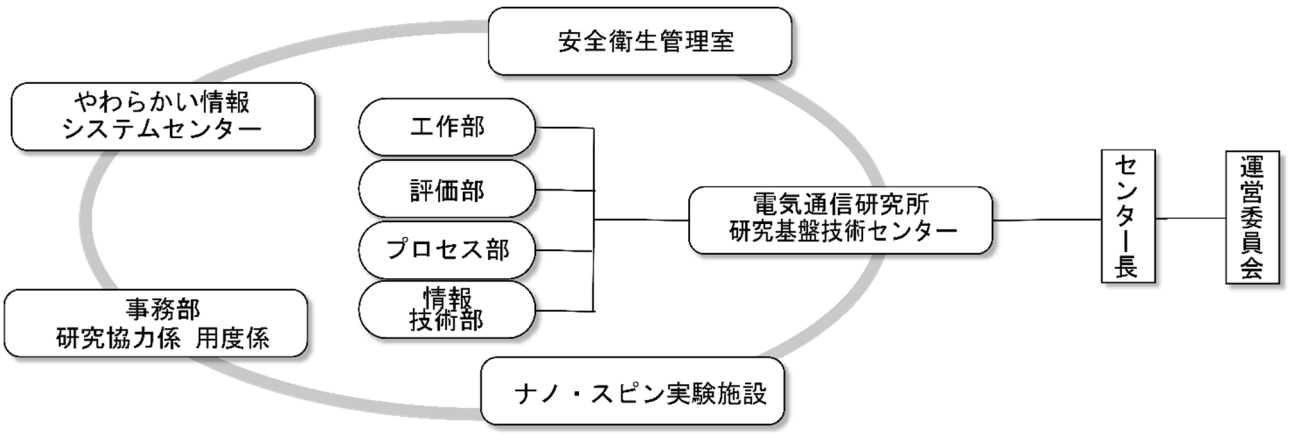


図 1　研究基盤技術センター　組織図

＜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。

＜2023 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、87 件の依頼工作を提供した。この中で約 11%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、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。23 の研究室と 6 つの外部研究機関・企業が共通利用計測機器を利用した（総使用時間は 2,117 時間）。2 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。

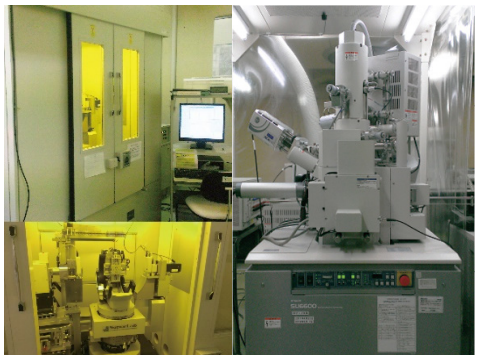


図 3　評価部保有の分析装置
（左：X 線回折装置、右：電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置）

3. プロセス部

プロセス部はナノ・スピン実験施設 共通部と協力して電子線リソグラフィー技術提供(図 4)やフォトマスク受託加工(図 5)、および集束イオンビーム加工解析装置(図 6)を主とした各種受託分析を行っている。今年度は 381 件の電子線描画依頼、31 件のフォトマスク受託加工、および 18 件の受託分析に対応した。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　電子線描画装置

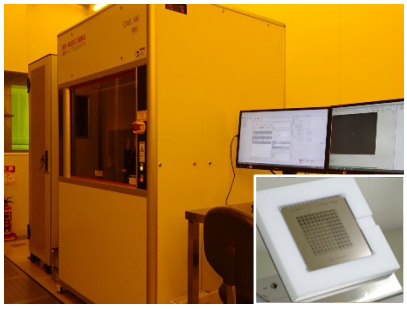


図 5　フォトマスク作製装置

図 6　集束イオンビーム加工解析

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。

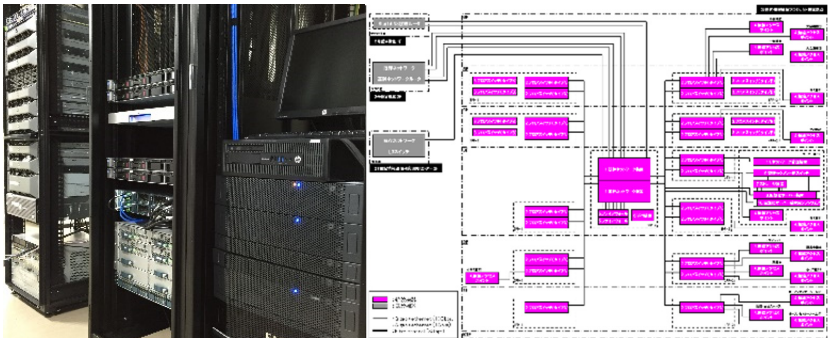


図 7　通研ネットワークシステム（左：システムの様子、右：構成図）

＜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、月本　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、丸山　由子、太田　憲治

3.12 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。

＜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。2023 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、堀尾が代表者を務める科研費基盤研究(A)および非線形ワークショップの合同研究会での企画および研究発表などを行った。さらに、2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications においてスペシャルセッションを企画した。また、学術変革領域研究(A) 山本プロジェクトの申請に当たっては、JST CREST 佐藤プロジェクトと本研究グループが全面的にこれを支援した結果、採択に至った。

第 ４ 章　　共同プロジェクト研究

4.1 共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

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

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

○共同プロジェクト研究委員会

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

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

今年度のテーマは、令和4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5年度共同プロジェクト研究

令和5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、130 件（A：78 件，B：38 件，S：1件,S国際1件,T：12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、78 件のうち 70 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、38 件のうち 35 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 11 件、区分 B の 14 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。

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。

なお、これまで研究発表・討論、新分野の開拓および萌芽的研究の育成の場として運営されてきた「東北大学電気通信研究所工学研究会」を、令和4年度より学内の学生育成支援を主たる目的とした「区分T」として、共同プロジェクト研究の一環として取り扱うこととした。工学研究会の理念を継承したうえで、学内外の研究者による研究会や講演会での発表・討論を通じ、共同利用・共同研究拠点の活動をさらに推進する。

○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。

https://www.riec.tohoku.ac.jp/ja/nation-wide/

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

4.2 令和5年度共同プロジェクト研究採択一覧

(円)

採択番号	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分 旅費	物件費	特別支援 国際・若手
R03/A02	先端	Si・Ge混合プラットフォーム上への異種機能混載集積回路の実現	山本 圭介	櫻庭 政夫	230,000	107,000	0
R03/A03	若手	非磁性体中におけるスピンダイナミクスの制御に関する研究	石原 淳	金井 駿	106,000	107,000	50,000
R03/A04	国際	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成	金子 俊郎	平野 愛弓	133,000	107,000	100,000
R03/A06	萌芽・先端	量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究	岸本 康宏	大塚 朋廣	121,000	107,000	0
R03/A07	先端	原子層量子デバイスの開発	加藤 俊顕	大塚 朋廣	114,000	107,000	0
R03/A09	先端	超広帯域通信のためのTHzオンチップアレイアンテナに関する研究	金谷 晴一	末松 憲治	122,000	107,000	0
R03/A10	萌芽	RTDの非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用	前澤 宏一	尾辻 泰一	111,000	107,000	0
R03/A11	先端	端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究	吉田 賢史	末松 憲治	199,000	107,000	0
R03/A12	萌芽・先端・国際	５G・IoTのためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	丸山 珠美	末松 憲治	171,000	107,000	100,000
R03/A13	先端	広帯域光電子機能集積デバイスを用いた低遅延かつシームレスな アクセスネットワークに関する研究	吉本 直人	尾辻 泰一	111,000	107,000	0
R03/A14	国際	現実世界に重畳された情報インターフェイスを用いたIoTデバイスおよびロボットの操作・可視化技術	鈴木 遼	北村 喜文	182,000	107,000	100,000
R03/A15	萌芽	外界とのインタラクションを実現する再構成可能な頭部搭載型ディスプレイ	清川 清	北村 喜文	144,000	107,000	0
R03/A16	先端	聴覚的注意の時空間特性に関する研究	寺岡 諒	坂本 修一	136,000	107,000	0
R03/A17	先端	バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究	森川 大輔	坂本 修一	199,000	107,000	0
R03/A20	先端	薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム	木村 睦	堀尾 喜彦	296,000	107,000	0
R03/A22	先端	IoTセキュリティの研究	小熊 博	本間 尚文	182,000	60,000	0
R03/A23	先端	先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発	打矢 隆弘	坂本 修一	236,000	107,000	0
R03/A25	先端	デバイス・インフォマティクスの創成とBeyond5Gデバイスへの応用	吹留 博一	吹留 博一	142,000	107,000	0
R03/A26	萌芽・先端	実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究	福原 武	大塚 朋廣	103,000	107,000	0
R03/A27	先端	遠距離における非接触電力伝送の検討	稲森 真美子	末松 憲治	154,000	107,000	0
R03/A28	萌芽・先端	空間知覚の身体性：異方性と個人差	寺本 渉	坂本 修一	144,000	107,000	0
R03/A30	先端	視聴覚情報からの高臨場感ハイブリット振動作成	山高 正烈	坂本 修一	139,000	107,000	0
R03/A31	先端	光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究	葛西 恵介	葛西 恵介	111,000	100,000	0
R03/A32	先端・国際	脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用	佐藤 茂雄	佐藤 茂雄	296,000	107,000	100,000
R04/A01	萌芽・先端・国際	Coplanar waveguide size and magnetization angle dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification ferromagnetic resonance	Eli Christopher Inocencio Enobio	深見 俊輔	248,000	107,000	100,000
R04/A04	先端	SiH4-CVDによる金属ナノドットのシリサイド化反応制御に関する研究	宮崎 誠一	佐藤 茂雄	243,000	107,000	0
R04/A05	国際	Study of magnetic, dielectric and optical properties of nanomaterials for Terahertz applications	AMINE El Moutaouakil	尾辻 泰一	243,000	107,000	100,000
R04/A06	萌芽	ナノギャップ金属電極による単一コロイド量子ドット の電気伝導評価	柴田 憲治	大塚 朋廣	0	107,000	0
R04/A08	先端	非対称磁気渦構造を有するサブミクロンサイズ磁性体の高周波応答	神田 哲典	石山 和志	106,000	0	0
R04/A09	萌芽	軽元素を含む逆ペロブスカイト型金属材料の開発とスピントロニクス実用素子の作製	磯上 慎二	白井 正文	158,000	107,000	0
R04/A10	国際	Japan-USA International Collaborative Research on the Theoretical and Experimental Investigation of Coulomb Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons and its Application for THz Laser Transistors	MITIN Vladimir	尾辻 泰一	248,000	107,000	100,000
R04/A11	萌芽・先端	ポスト 5G 基地局に向けたダイヤモンド高周波高出力素子および回路の 開発	金子 純一	末松 憲治	169,000	107,000	0
R04/A12	萌芽	多感覚情報を用いた自己感の制御に関する研究	田中 章浩	坂本 修一	183,000	107,000	0
R04/A13	国際	Exploring and designing interactions for VR headsets using smartphone interfaces	BOUSTILA Sabah	高嶋 和毅	197,000	107,000	100,000
R04/A14	萌芽	オンライン視覚心理物理実験・モデル共有環境の構築	酒井 宏	塩入 諭	115,000	107,000	0
R04/A15	萌芽・国際	学習時の注意推定に関する研究	塩入 諭	塩入 諭	197,000	107,000	100,000
R04/A16	萌芽	顔表情分析の遠隔医療応用に関する研究	佐藤 好幸	塩入 諭	102,000	107,000	0
R04/A17	国際	Creation, manipulation, and electrical control of chiral spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures	TRETIAKOV/Oleg	深見 俊輔	187,000	107,000	100,000
R04/A19	萌芽・先端	単一光子検出のための超伝導ナノワイヤーに関する研究	美馬 覚	佐藤 茂雄	221,000	107,000	0
R04/A20	若手・国際	Interpersonal coordination of motor, cognitive and neurophysiological processes in joint activities	チェン ミャオ	チェン ミャオ	208,000	107,000	150,000
R04/A21	萌芽	人体領域通信用指向性伝搬特性に関する研究	秋元 浩平	末松 憲治	122,000	107,000	0
R04/A22	先端・大型・国際	XR技術を活用した協働型HyFlex授業環境構築のための探索的研究	林 雅子	北村 喜文	125,000	107,000	100,000
R05/A01	先端	グラフェンエミッタの研究	永瀬 雅夫	尾辻 泰一	208,000	107,000	0
R05/A02	萌芽・先端・国際	新IV族半導体ナノエレクトロニクスにおける材料・プロセス基盤技術開発に関する研究	櫻庭 政夫	櫻庭 政夫	296,000	107,000	100,000

共同プロジェクト研究

採択番号	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分 旅費	物件費	特別支援 国際・若手
R05/A03	先端	酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発	木村 康男	平野 愛弓	82,000	107,000	0
R05/A04	先端	高磁場MRI対応体腔内NMR受信プローブの開発	松永 忠雄	末松 憲治	127,000	107,000	0
R05/A05	若手	逆磁歪効果と磁気光学効果を用いた口腔内咬合力計測に関する基礎調査	磯谷 亮介	後藤 太一	104,000	107,000	50,000
R05/A06	国際	2D van der Waals quantum materials for efficient charge-spin conversion	Singh Ravi Prakash	深見 俊輔	208,000	107,000	100,000
R05/A07	国際	Japan-Russia International collaborative research of new designs of high-power large-area photoconductive antenna-emitters	DMITRY Ponomarev	尾辻 泰一	257,000	107,000	100,000
R05/A08	先端	high-k/Ge構造における界面物理構造のプロセス温度依存の解明	王谷 洋平	佐藤 茂雄	131,000	107,000	0
R05/A09	先端	二次元材料を用いたプラズモニック・ナノデバイスに関する研究	内野 俊	尾辻 泰一	0	107,000	0
R05/A10	国際	Current-induced orbital effects in magnetic heterostructures	DUTTAGUPTA SAMIK	深見 俊輔	197,000	107,000	100,000
R05/A11	萌芽・国際	超100GHz帯ダイレクトディジタル送受信機技術の創成	末松 憲治	末松 憲治	195,000	107,000	100,000
R05/A12	萌芽	ミリ波デバイスおよび伝送線路の最適設計に関する研究	伊藤 桂一	末松 憲治	139,000	107,000	0
R05/A13	国際	New generation of 2d material based devices for terahertz technology	MEZIANI Yahya Moubarak	尾辻 泰一	161,000	107,000	100,000
R05/A14	国際	Collaborative evaluation of non-verbal communication solutions	Benjamin WATSON	チェン ミャオ	133,000	107,000	100,000
R05/A15	先端・その他	産業保健領域におけるVR機器を活用した体験型実地研修の実践	色川 俊也	北村 喜文	0	107,000	0
R05/A16	萌芽	身体運動を誘発する動的VR/ARワークスペースに関する研究	髙原 良	藤田 和之	122,000	107,000	0
R05/A17	国際	Auditory influences on saccadic suppression	Hiu Mei CHOW	曽 加蕙	187,000	107,000	100,000
R05/A18	国際	多細胞ネットワークを基盤とする脳情報処理の構成論的解析	谷井 孝至	山本 英明	292,000	107,000	100,000
R05/A19	先端	非線形複雑システム理論の時空間システムへの展開と応用	堀尾 喜彦	堀尾 喜彦	240,000	107,000	0
R05/A20	先端	高機能軟磁性鉄合金の組織と特性の評価	鈴木 茂	石山 和志	0	107,000	0
R05/A21	大型	マルチセルラバイオコンピューティングの新展開	神谷 温之	山本 英明	226,000	107,000	0
R05/A22	国際	動作ユニット：身体による感情表出に関するデータ駆動形研究	藤原 健	チェン ミャオ	111,000	107,000	100,000
R05/A23	先端	スマートシティを支えるエッジコンピューティング基盤技術、およ びそれを活用するスマートシステム	ショウ シュン	長谷川 剛	118,000	100,000	0
R05/A24	先端	スマート社会を支える自己産出型サービスプラットフォームに関する研究	北形 元	長谷川 剛	114,000	107,000	0
R05/A25	先端	QKDシステムにおける高精度位相同期技術	平野 琢也	吉田 真人	106,000	107,000	0
R05/A26	国際	VRにおける身体活動が認知パフォーマンスに及ぼす影響の検討	Tag Benjamin	北村 喜文	199,000	107,000	100,000
R05/A27	萌芽・先端	機械学習を用いたオンライン文章の解析に関する研究	ザビル サラウッディン ムハマド サリム	長谷川 剛	82,000	107,000	0
R05/A28	先端	深層学習を用いた高精細画像センシング向け物体検出手法	松村 哲哉	尾辻 泰一	79,000	107,000	0
R05/A29	若手	フレキシブル磁気光学薄膜形成に向けた磁性ガーネット超微粒子の開発	橋本 良介	後藤 太一	111,000	100,000	50,000
R05/A30	先端	光電子融合ヘテロジニアス集積技術の研究開発	北 智洋	佐藤 昭	106,000	107,000	0
R05/A31	萌芽・国際	聴覚的注意と没入との関係研究	KIM Sungyoung	坂本 修一	154,000	40,000	100,000
R05/A32	萌芽・大型	人工知能による表情やジェスチャーを通じた非言語コミュニケーションの強化	PUNPONGSANON Parinya	北村 喜文	106,000	107,000	0
R05/A33	萌芽・若手	Emotion processing in real and cyber world: behavioral and neuroscience perspective	ベルスキアエルナンデス モニカ	チェン ミャオ	133,000	107,000	50,000
R05/A34	萌芽	A computational model for the gender and culture interaction effect on facial expression classification	CHEN Chien-Chung	曽 加蕙	146,000	107,000	0
R05/A35	萌芽	自律分散組織型の音環境自動認識システムの構築	高根 昭一	坂本 修一	122,000	107,000	0
R05/A36	先端	実ネットワーク環境における輻輳制御アルゴリズムの性能評価	内海 哲史	長谷川 剛	20,340	107,000	0
R03/B01	先端	スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓	三浦 良雄	白井 正文	185,000		0
R03/B02	先端	光のモード高度制御に関する研究開発	浜本 貴一	吉田 真人	185,000		0
R03/B03	萌芽	知的生産性場のモデル化と生産性向上のための計算機による介入手法の検討	伊藤 雄一	高嶋 和毅	206,000		0
R03/B04	国際	機能酸化物界面デバイスの創生とバイオデバイスへの新展開	廣瀬 文彦	平野 愛弓	277,000		100,000
R03/B05	大型	高次元・時空間ニューロダイナミクスとそれに基づくシステム構築への展開	廣瀬 明	佐藤 茂雄	251,000		0
R03/B06	萌芽・先端	制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装	関屋 大雄	堀尾 喜彦	187,000		0
R03/B07	産学	アフターコロナ時代の適応型ワークスペースに関する研究	藤田 和之	藤田 和之	122,000		0
R03/B08	萌芽・先端	進化計算の機械学習への適用に関する研究	神野 健哉	堀尾 喜彦	227,000		0
R03/B09	国際	社会行動の脳内機序解明にむけたヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討	筒井 健一郎	塩入 諭	286,000		100,000
R03/B11	萌芽	アファンタジア（aphantasia）に関する心的イメージ情報処理特性の検討	高橋 純一	坂本 修一	137,000		0
R03/B12	先端	持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究	石田 繁巳	長谷川 剛	254,000		0

採択番号	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分 旅費	物件費	特別支援 国際・若手
R04/B01	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	池田 慎治	石山 和志	264,000	-	0
R04/B03	萌芽	革新的気相プロセスによるナノ材料創成と高機能デバイス応用	内田 儀一郎	佐藤 茂雄	167,000	-	0
R04/B04	萌芽・先端・産学	量子物質の制御と機能開拓およびそのデバイス応用	松野 丈夫	深見 俊輔	255,000	-	0
R04/B05	先端	次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究	今野 佳祐	末松 憲治	185,000	-	0
R04/B06	国際・産学	これからの学術集会を考える	村山 公美	北村 喜文	199,000	-	100,000
R04/B07	萌芽・先端	視聴覚におけるオブジェクト認知の原理	栗木 一郎	坂本 修一	100,000	-	0
R04/B08	国際・産学	持続的社会を実現する水上モビリティの要素技術に関する研究会	末田 航	北村 喜文	208,000	-	100,000
R04/B09	萌芽・先端・国際	多機能マルチメディア生成に関する研究	薗田 光太郎	坂本 修一	288,000	-	100,000
R04/B10	先端・産学	マイクロ波・レーザSARの応用研究	近木 祐一郎	八坂 洋	213,000	-	0
R04/B11	国際・産学	An Inter-personal Dimension of MA: Behavior, Physiology, and Engineering	曽 加蕙	曽 加蕙	236,000	-	100,000
R05/B01	萌芽・先端・産学	デジタルツイン社会に向けた境界のない無線ネットワークの設計	佐藤 光哉	末松 憲治	226,000	-	0
R05/B02	萌芽・先端	Massive Connect IoT時代の無線通信システムとハードウェアの統合設計	亀田 卓	末松 憲治	284,000	-	0
R05/B03	先端	コヒーレント光・マイクロ波統合型高機能通信・計測システムに関する研究	井上 崇	廣岡 俊彦	211,000	-	0
R05/B04	国際・産学	6Gに向けたミリ波・テラヘルツ波技術の創成とその応用	真田 篤志	末松 憲治	296,000	-	100,000
R05/B05	萌芽・大型	情報環境による行為や感情の増幅・減衰作用に着目する人と情報環境の相互作用に関する研究	中小路 久美代	北村 喜文	121,000	-	0
R05/B06	国際	Physical / Virtual Presentations	Mario DOULIS	北村 喜文	121,000	-	100,000
R05/B07	国際	自己運動知覚における多感覚情報の統合過程の解明	櫻井 研三	坂本 修一	280,000	-	100,000
R05/B08	萌芽・国際・産学	カラスの群れの誘導手法の検討	塚原 直樹	北村 喜文	248,000	-	100,000
R05/B09	萌芽	3Dプリンタを用いた高機能デバイスモジュールの開発とその応用	真鍋 宏幸	高嶋 和毅	131,000	-	0
R05/B10	萌芽・先端・国際・産学	人の行動理解・解析に基づく空間情報学	山本 豪志朗	高嶋 和毅	226,000	-	100,000
R05/B11	萌芽	半導体微細加工技術とナノ材料機能を利用した膜タンパク質機能計測のための細胞膜モデル系の構築と制御	手老 龍吾	平野 愛弓	154,000	-	0
R05/B12	萌芽	牧羊犬のヒツジ追い現象におけるヒツジ・牧羊犬間の「駆け引き」メカニズムの解明	角田 祐輔	加納 剛史	139,000	-	0
R05/B13	先端・大型	神経回路網における記憶と学習に関する理論的研究	池口 徹	堀尾 喜彦	212,000	-	0
R05/B14	若手・国際	ドキュメントベース動画の直接操作インタフェースに関する研究	藤田 和之	藤田 和之	144,000	-	150,000
R05/B15	萌芽	人・社会のセンシングと介入に関わる基盤技術の研究	荒川 豊	尾辻 泰一	133,000	-	0
R05/B16	国際	スマートフォンによる頭部視線トラッキング技術を用いたアプリケーションの検討	藤田 和之	藤田 和之	139,000	-	100,000
R05/B17	萌芽・国際	脳型LSI向け回路・システム技術国際共同研究	羽生 貴弘	羽生 貴弘	290,000	-	100,000

共同プロジェクト研究

採択番号	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分
R05/S01	先端的コヒーレント波技術の応用研究	青木 徹	八坂 洋	1,000,000
R03/SI01	人間科学とAI技術 (Human sciences with AI technologies)	Su-Ling Yeh	塩入 諭	1,000,000
R04/T01	伝送工学研究会/Electromagnetic-Wave Transmission Technologies Workshop （Society 5.0に向けた電波・光波伝送技術/Electromagnetic- and light-wave transmission technologies toward Society 5.0）	松浦 祐司	葛西 恵介	150,000
R04/T02	音響工学研究会/Technical committee for acoustic engineering （音響・音声・聴覚およびマルチモーダルシステムに関する基礎と応用に関する研究発表/Research presentation on basic and application of acoustics, speech, hearing and multimodal systems）	坂本 修一	坂本 修一	150,000
R04/T03	東北プラズマフォーラム/Tohoku Plasma Forum （非平衡プラズマ現象の基礎と応用/Fundamentals and applications of non-equilibrium plasma phenomena）	金子 俊郎	平野 愛弓	150,000
R04/T04	コンピュータサイエンス研究会/Special Interest Group on Computer Science （理論計算機科学を中心とする情報科学の基礎と応用/Foundation and Application of Information Science around Theoretical Computer Science）	住井 英二郎	中野 圭介	150,000
R04/T05	システム制御研究会/Technical committee for system control （システム制御理論と応用に関する研究発表/Research presentation on theory and applications of system control）	渡邉 高志	石黒 章夫	150,000
R04/T06	情報バイオトロニクス研究会/Information Biotronics Seminar （バイオ・ナノエレクトロニクスに基づく次世代バイオデバイス創製/Next generation biodevices based on bio-nanoelectronics）	平野 愛弓	平野 愛弓	150,000
R04/T07	スピニクス研究会/Spinics Research Society （磁性材料開発と磁気応用/Development of Magnetic Materials and Their Magnetic Applications）	薮上 信	石山 和志	150,000
R04/T08	ニューパラダイムコンピューティング研究会/New Paradigm Computing Research Group （次世代IoT社会を担う新概念コンピューティング技術の開拓/Research and development of new paradigm computing technologies for the next generation IoT society）	本間 尚文	本間 尚文	150,000
R04/T09	超音波エレクトロニクス研究会/Technical committee for ultrasonic electronics （超音波の基礎と応用に関する研究発表/Research presentation on basics and applications of ultrasound）	吉澤 晋	坂本 修一	150,000
R04/T10	ブレインウェア工学研究会/Brainware Research Project （生物に比肩しうる知的情報処理システムの構築を目指して/Toward Life-like Intelligent Information Processing System）	石黒 章夫	石黒 章夫	150,000
R04/T11	生体・生命工学研究会・/Biocybernetics and Bioinformatics （生体信号の解析・モデリング/Analysis and modelling of biological signals）	塩入 諭	羽鳥 康裕	150,000
R04/T12	ナノ・スピン工学研究会/Study Group on Nanoelectronics and Spintronics （ナノエレクトロニクス・スピントロニクスをベースとした次世代情報通信基盤/Next-generation information and communication technology based on nanoelectronics and spintronics）	佐藤 茂雄	深見 俊輔	150,000

4.3 令和５年度共同プロジェクト研究成果報告

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A02

研究課題名

Si・Ge 混合プラットフォーム上への異種機能混載集積回路の実現

[1] 研究組織

研究代表者：
山本 圭介（九州大学大学院総合理工学研究院）
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）
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）
佐道 泰造（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
王 冬（九州大学大学院総合理工学研究院）
茂藤 健太（〃）
清水 昇、松尾 拓朗、永松 寛大、髙山 智成、那須 新悟、王 一、鍬釣 一、本田 彬、黄 林昱（九州大学大学院総合理工学府）
小杉 智浩、千代薗 修典、原 龍太郎、河原 聡、岡本 紘汰、古賀 泰志郎、花房 祐樹（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学府）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

ゲルマニウム（Ge）は、「高いキャリア移動度」「近赤外域に対応するバンドギャップ」等の特徴を有しており、Si プラットフォーム上に Ge の材料特性を活用・集約した異種機能混載集積回路（図 1）は、IoT 時代の更なる発展を推進する理想のデバイス構造といえる。代表者は、こうしたデバイスに必須かつ Si と Ge 双方の長所を最大限に発揮できる基板構造として、種々の面方位を有する複数の小面積単結晶 Ge 薄膜が支持 Si 基板上に配置された、ローカル Ge-on-Insulator（L-GOI）を着想した。本研究では、L-GOI 作製と L-GOI 上への種々の素子作製を通じて、世界に先駆けた革新的 Ge 異種機能混載素子の実現を目標とした。

[4]研究計画及び内容

A.　L-GOI 作製プロセスの構築
B.　L-GOI 中の欠陥評価および改善
C.　L-GOI 上への異種機能混載の実現

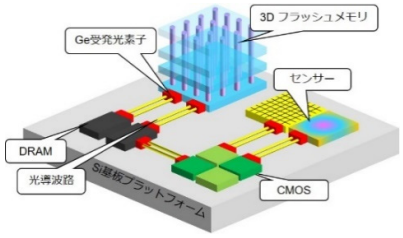


図 1.　本研究で提案する Si・Ge 混合プラットフォーム上の異種機能混載集積回路の模式図.

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

A. L-GOI 作製プロセスの構築　および
B. L-GOI 中の欠陥評価および改善

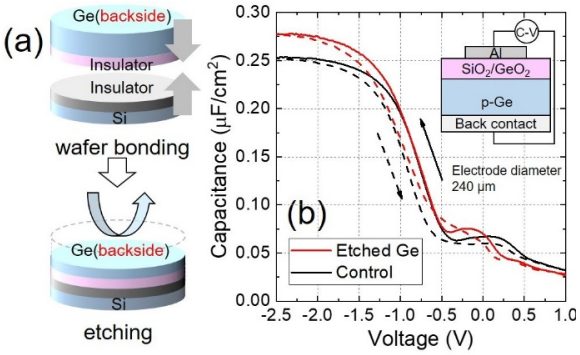


図 2.　(a)貼り合わせとエッチバックによる GOI 作製の模式図.　(b)エッチング面に形成した p-Ge MOS キャパシタの容量-電圧特性.

L-GOI の作製方法として、「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）」による手法を検討した（図 2(a)）。この方法では、SOI で実用化されている「Smart-Cut 法」を GOI 作製に適用した場合に問題となる、残留欠陥による特性劣化から解放される。検討の結果、フッ酸・過酸化水素・酢酸の混合溶液が高速なエッチングレートを有し、また Ge 表面の平坦性を維持・改善することが判明した。実際に、Ge 基板の非研磨面をこの溶液で平坦化後に MOS キャパシタを作製したところ、市販 Ge 基板の研磨面上のものと比較しても遜色のない特性が得られた（図 2(b)）。

また、上記の手法に加えて、中空構造上に薄膜 Ge が形成された Ge-on-Nothing（GeON）構造の転写による高品質 L-GOI の作製にも取り組んだ（GeON はベルギー・imec より提供）。GeON を用いた GOI 作製の模式図を図 3(a)に示す。図 3(b)は作製した GOI のフォトルミネッセンス(PL)特性であり、バルク Ge と比較して発光強度が増大していることが見て取れる。また、Smart-Cut™ 法によって作製した GOI（図 3(b)挿入図）と比較すると、測定点毎のばらつきが小さく、均一な GOI が形成されていることが分かる。

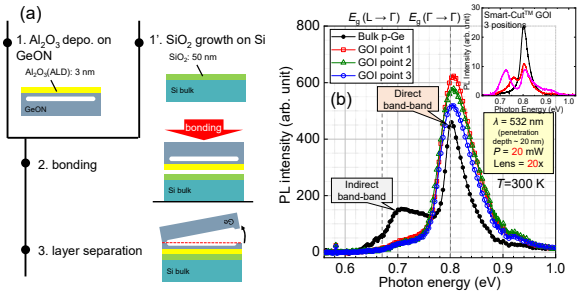


図 3. (a) GeON を用いた GOI の作製フロー. (b) 作製した GOI の PL 特性（3 点＋比較用バルク Ge）. 挿入図は Smart-Cut™ 法によって作製した GOI の PL 特性（3 点）.

C. L-GOI 上への異種機能混載の実現

GOI 上にて高性能デバイスを実現するためには、高品質ゲート絶縁膜の低温形成、ソース/ドレイン（S/D）となる PN 接合の低温形成、等の要素技術が必要となる。これらの要素技術をそれぞれ構築した後、GOI 上に MOS トランジスタ(FET)を試作した。図 4 に GeON から作製した GOI 上のバックゲート MOSFET の出力特性および伝達特性を示す。いずれも良好なトランジスタの動作特性が得られており、電界効果移動度のピーク値として p-, n-それぞれで約 290 cm^2/Vs、および約 50 cm^2/Vs が得られた。特に p-MOSFET の値は代表者による Smart-Cut™ GOI 上の値（150 cm^2/Vs、但しトップゲート構造）を上回っており、本手法による GOI が良好な品質を有することを意味している。

また、低温ゲートスタック形成技術、低温 S/D 形成技術を元に、多結晶 Ge 薄膜上に作製した p-MOSFET および n-MOSFET の伝達特性を図 5 に示す。いずれも明瞭な ON/OFF 特性が得られており、低温デバイスプロセスにて作製した MOSFET が稼働していることが分かる。これら n-, p-MOSFET を組み合わせた CMOS 動作にも成功しており（データ未掲載）、GOI 上の異種機能混載に向けた基本デバイスプロセスの構築に成功したと言える。

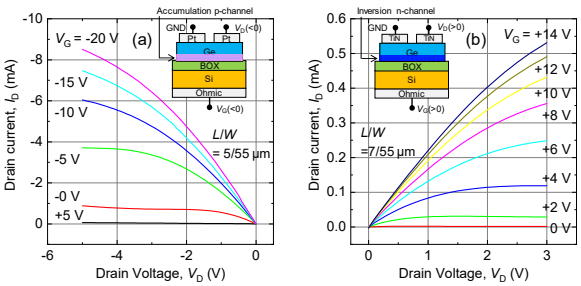


図 4. GOI 上に作製したバックゲート MOSFET の出力特性 (a) p-MOSFET, (b) n-MOSFET.

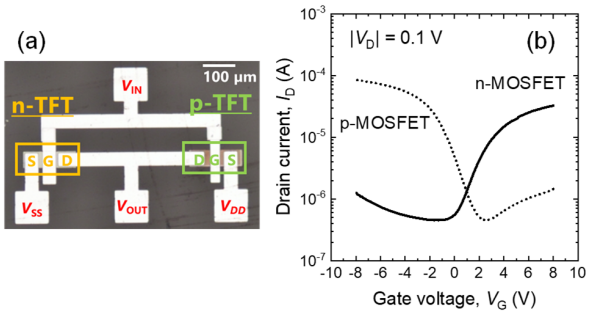


図 5. (a)多結晶 Ge 上に作製した CMOS インバータ. (b) CMOS 上の n-, p-MOSFET の伝達特性.

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクト（PJ）に関連したテーマとして、JSPS 二国間交流事業(共同研究)が採択され、研究の展開と加速がなされた。また令和 5 年 1 月および 12 月には、本 PJ とも関連する国際ワークショップが開催され、国内外の研究者による活発な議論が展開された。目下、より大型の国際共同研究教育 PJ に向けた申請準備を行っている。

（関連 PJ）

・JSPS 二国間交流事業　ベルギーFWO との共同研究　代表　山本　圭介（九州大学）、Roger Loo（imec）、課題名: 中空 Ge 基板を用いた高品質 Ge-on-Insulator 作製プロセスの新規開発

（国際ワークショップの詳細）

・13th/14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics
開催地 東北大学電気通信研究所
開催日 (13th)2023 年 1 月 23 日-24 日
(14th)2023 年 12 月 14 日-15 日

[6]まとめと今後の課題

本 PJ を通じて、Ge の結晶成長及び GOI 作製、またそのデバイス化に関する有意義な知見と国際共同研究成果が得られた。今後は、より応用に向けたデバイス実現を目指し、後継 PJ「単結晶シリコン/多結晶ゲルマニウムスズから成るモノリシック三次元積層デバイスの実現（R06/A06, R6-8)」にて研究を継続・発展させる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(R3)

・K. Moto, K. Yamamoto, T. Imajo, T. Suemasu, H. Nakashima, K. Toko, Sn Concentration Effects on Polycrystalline GeSn Thin Film Transistors, IEEE Electron Device Letters, 42, 1735-1738, 2021.

・（Invited）K. Yamamoto, D. Wang, H. Nakashima, Fabrication of Ge-on-Insulator By Epitaxial Growth and Ion-Implanted Exfoliation for Electronics and Optoelectronics Applications, ECS transactions, 104, 157-166, 2021.

・K. Moto, K. Yamamoto, T. Imajo, T. Suemasu, H. Nakashima, K. Toko, Sn Doping Effects on Polycrystalline Germanium Thin-Film Transistors on Glass, 2021 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sept. 8, 2021, online.

・K. Yamamoto, K. Iseri, D. Wang, H. Nakashima, Low-Temperature Fabrication of Ge MOS Capacitor with Wet Oxidized Yttrium Interlayer, 2021 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sept. 9, 2021, online.

・原 龍太郎, 千代薗 修典, 茂藤 健太, 山本 圭介,佐道 泰造, a-Si キャップ付加による界面変調 Sn 添加 Ge 極薄膜/絶縁基板のキャリア移動度向上, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 10 日, オンライン.

・茂藤 健太, 山本 圭介, 今城 利文, 末益 崇, 中島 寛, 都甲 薫, 固相成長 GeSn 薄膜トランジスタにおける Sn 組成の影響, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 10 日, オンライン.

・松尾 拓朗, 山本 圭介, 王 冬, Ge スピン MOSFET のための低温（～250° C）デバイスプロセスの構築, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 10 日, オンライン.

・松尾 拓朗, 山本 圭介, 王 冬, リセスチャネル化によるメタル S/D 型 Ge n-MOSFET の電流駆動力向上, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 23 日, オンライン.

・那須 新悟, 松尾 拓朗, 山本 圭介, 王 冬, Ge スピン MOSFET 実現に向けた低温（～250° C）デバイスプロセスの構築, 2021 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2021 年 12 月 4 日, オンライン.

・髙山 智成, 茂藤 健太, 山本 圭介, 今城 利文, 末益 崇, 都甲 薫, ガラス上における多結晶 Ge 系薄膜トランジスタの作製と評価, 2021 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2021 年 12 月 4 日, オンライン.**[発表奨励賞受賞]**

(R4)

・(Invited) K. Yamamoto, T, Matsuo, D. Wang, K. Moto, K. Toko, H. Nakashima, Novel group IV semiconductor materials and devices for beyond Si technology, The 5th International Union of Materials Research Societies International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (IUMRS-ICYRAM 2022), Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.

・S. Nasu, T. Matsuo, K. Yamamoto, D. Wang, Fabrication of Ge MOSFET at low temperature (～250℃) for spintronics application, IUMRS-ICYRAM 2022, Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.

・N. Shimizu, Y. Wang, K. Yamamoto, S. Zhang, S. Shibayama, O. Nakatsuka, D. Wang, Electrical characteristics of metal/GeSn contacts in lateral Schottky diodes, IUMRS-ICYRAM 2022, Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.

・T. Takayama, K. Moto, K. Yamamoto, T. Imajo, K. Toko, Fabrication and evaluation of polycrystalline Ge-based thin-film transistors on glass, IUMRS-ICYRAM 2022, Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.

・W.-C. Wen, K. Yamamoto, D. Wang, H. Nakashima, Fabrication and Characterization of Ge n-MOS and n-MOSFET with Thermally Oxidized Yttrium Gate Insulator, 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), Sept. 5, 2022, Nagoya Univ.

・K. Moto, K. Toko, T. Takayama, T. Imajo, K. Yamamoto, First Demonstration of Rectifying Schottky Contact on Polycrystalline P-Type Ge Using ZrN Electrode, 2022 International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM 2022), Sept. 27, 2022, Makuhari Messe, Chiba, Japan

・K. Yamamoto(Invited), D. Wang, R. Loo, C. Porret, J. Cho, K. Dessein, and V. Depauw, Ge-on-Insulator from Ge-on-Nothing and Layer Transfer, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 23, 2023, Tohoku Univ.

・N. Shimizu, Y. Wang, A. Honda, K. Yamamoto, S. Zhang, S. Shibayama, O. Nakatsuka, and D. Wang, N-type characteristics of undoped GeSn in the low Sn concentration region, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 23, 2023, Tohoku

Univ.
- K. Moto, K. Yamamoto, and K. Toko, Polycrystalline Thin-Film Transistor Based on Solid-Phase Crystallized Ge and GeSn, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 23, 2023, Tohoku Univ.
- L. Huang, K. Moto, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang, and K. Yamamoto, Inversion Mode n-channel TFT on Polycrystalline Ge Formed by Solid-Phase Crystallization, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 24, 2023, Tohoku Univ.
- H. Kuwazuru, S. Nasu, D. Wang, and K. Yamamoto, Study on the Performance of Metal S/D Ge n-MOSFET with Recessed Channel Structure, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 24, 2023, Tohoku Univ.
- 那須 新悟、王 冬、山本 圭介, リセスチャネル化によるメタル S/D 型 Ge n-MOSFET の電流駆動力向上(II), 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 2022 年 9 月 20 日, 東北大学
- 清水 昇、王 一、山本 圭介、張 師宇、柴山 茂久、中塚 理、王 冬, 電子・光デバイス応用に向けた Pt/GeSn 接合のショットキー特性調査, 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 2022 年 9 月 21 日, 東北大学
- 茂藤 健太、都甲 薫、高山 智成、今城 利文、山本 圭介, 多結晶 p 型 Ge 上におけるショットキー整流性コンタクトの形成, 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 2022 年 9 月 21 日, 東北大学
- 髙山 智成、茂藤 健太、都甲 薫、王 冬、山本 圭介, 金属/多結晶 Ge 界面におけるフェルミレベルピニングの緩和とショットキー障壁制御, 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 2022 年 9 月 21 日, 東北大学
- 鍬釣 一、那須 新悟、王 冬、山本 圭介, メタル S/D 型 Ge n-MOSFET のリセスチャネル形状と性能に関する研究, 2022 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022 年 11 月 26 日, 大分大学 (R5)
- W.-C. Wen, D. Wang, H. Nakashima, K. Yamamoto, Fabrication and Characterization of Germanium n-MOS and n-MOSFET with Thermally Oxidized Yttrium Gate Insulator: Formation of underlying Germanium Oxide and Its Electrical Characteristics, Mat. Sci. Semicond. Process., 162, 107504, 2023.
- K. Moto, K. Toko, T. Takayama, T. Imajo, T. Ishiyama, and K. Yamamoto, Rectifying Schottky Contact in ZrN/polycrystalline p-Ge, IEEE Journal of the Electron Devices Society, 11, 553, 2023.
- T. Nagano, R. Hara, K. Moto, K. Yamamoto, and T. Sadoh, Improved carrier mobility of Sn-doped Ge thin films (≤20 nm) on insulator by interface-modulated solid-phase crystallization combined with surface passivation, Mat. Sci. Semicond. Process., 165, 107692, 2023.
- L. Huang, K. Moto, K. Igura, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang, and K. Yamamoto, Low-temperature process design for inversion mode n-channel thin-film-transistor on polycrystalline Ge formed by solid-phase crystallization, Japanese Journal of Applied Physics, 63, 02SP42, 2024.
- N. Shimizu, D. Wang, H. Nakashima, K. Yamamoto, Development of Ge Isotropic Wet Etching Solution and its Application to High Quality Ge-on-Insulator Fabrication through the Etchback Method, ECS J. Solid State Sci. Technol., 13, 044001, 2024.
- **[Spotlights 2024]** K. Yamamoto, D. Wang, R. Loo, C. Porret, J. Cho, K. Dessein, V. Depauw, Ge-on-Insulator Fabrication based on Ge-on-Nothing Technology, Jpn. J. Appl. Phys., 63, 04SP32, 2024.
- N. Shimizu, Y. Wang, A. Honda, K. Yamamoto, S. Zhang, S. Shibayama, O. Nakatsuka, and D. Wang, N-type characteristics of undoped $Ge_{0.967}Sn_{0.033}$ fabricated on bulk n-Ge, ISTDM-ICSI 2023), S2-9
- K. Moto, K. Toko, T. Takayama, T. Ishiyama, and K. Yamamoto, Control of Schottky Barrier Height at Metal/Polycrystalline Ge Interfaces with Fermi-Level Pinning Alleviation, ISTDM-ICSI 2023, S11-7
- K. Yamamoto, D. Wang, R. Loo, C. Porret, J. Cho, K. Dessein, and V. Depauw, Evaluation of the physical properties of Ge-on-insulator based on Ge-on-Nothing and layer transfer, ISTDM-ICSI 2023, S12-7
- K. Moto, K. Toko, T. Takayama, T. Ishiyama, and K. Yamamoto, Various Metal Contacts on Polycrystalline Ge with Amorphous Interlayer Formed by ZrN Sputter-Deposition, Extended Abstract of 2023 International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM 2023), p. 533, Sept. 7, 2023, Nagoya, Japan
- L. Huang, K. Moto, T. Ishiyama, K. Toko, D.

Wang, and K. Yamamoto, Inversion Mode n-channel TFT on Polycrystalline Ge Formed by Solid-Phase Crystallization, 2023 International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM 2023), p. 249, Sept. 8, 2023, Nagoya, Japan
- K. Yamamoto(invited), W.-C. Wen, D. Wang, H. Nakashima, Thermally oxidized Yttrium Oxide on Germanium for n-MOS Capacitor and Field-Effect Transistor, 244th ECS meeting, G02-1522, Oct. 9, Gothenburg, Sweden.
- [Best Paper Award] K. Yamamoto, D. Wang, R. Loo, C. Porret, J. Cho, K. Dessein, V. Depauw, Fabrication and Electrical Characterization of Ge-on-Insulator based on Ge-on-Nothing Technology 2023 International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ELECTRON DEVICES, p. 39, Oct. 24, Kanazawa, Japan
- H. Kuwazuru, D. Wang, K. Yamamoto, Low Temperature (~210 ° C) Fabrication of Ge MOS Capacitor using Plasma Oxidation and Oxi-Nitridation for the Interlayer Formation 2023 International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ELECTRON DEVICES, p. 131, Oct. 25, Kanazawa, Japan.
- T. Koga, T. Nagano, K. Moto, K. Yamamoto, and T. Sadoh, High Carrier Mobility of Sn-Doped Ge Thin-Films (≤20 nm) by Thinning Combined with Post-Annealing, 2023 International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM 2023), p. 873, Sept. 8, 2023, Nagoya, Japan
- T. Koga, T. Nagano, K. Moto, K. Yamamoto, and T. Sadoh, Improved Carrier Mobility of Sn-Doped Ge Thin-Films (≤20 nm) by Post-Annealing for Thin-Film Transistor Application, AM-FPD 2023, p. 161, July 6, 2023, Kyoto, Japan
- H. Kuwazuru, D. Wang, and K. Yamamoto, Fabrication of a Ge gate stack using plasma irradiation and low-temperature annealing for Ge applications, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Dec. 14, 2023, Sendai, Japan
- L. Huang, K. Moto, K. Igura, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang, and K. Yamamoto, Inversion Mode n-channel TFT Fabricated on Solid-Phase Crystallized Polycrystalline Ge at Low Temperature Improved by Metal Induced Dopant Activation, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Dec. 14, 2023, Sendai, Japan
- A. Honda, N. Shimizu, Y. J. Feng, K. Yamamoto, S. Shibayama, O. Nakatsuka, and D. Wang Observation of acceptor-type defect levels using low-temperature Hall effect measurement for GeSn layers fabricated by molecular beam epitaxy, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Dec. 14, 2023, Sendai, Japan
- K. Yamamoto(invited), W.-C. Wen, D. Wang, and H. Nakashima, Electrical and Structural Characterization of Thermally Oxidized Yttrium Oxide on Germanium, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Dec. 14, 2023, Sendai, Japan
- L. Huang, K. Moto, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang, K. Yamamoto, Fabrication of Inversion Mode n-channel TFT on Solid-Phase Crystallized Polycrystalline Ge, 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 2023 年 9 月 20 日, 熊本市
- 鍬釣 一、王 冬、山本 圭介、リセスチャネル化によるメタル S/D 型 Ge n-MOSFET の電流駆動力向上(III), 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 2023 年 9 月 20 日, 熊本市
- 森本 敦己、茂藤 健太、黄 林昱、居倉 功太、石山 隆光、都甲 薫、王 冬、山本 圭介、多結晶 p 型 Ge 上における CMOS プロセスの検討、2023 年(令和 5 年度) 応用物理学会九州支部学術講演会, 2023 年 11 月 26 日, 九州大学
- 麻生 大聖、鍬釣 一、王 冬、山本 圭介、Ge スピン MOSFET に向けたゲートスタックの低温形成とフラットバンド電圧制御、2023 年(令和 5 年度) 応用物理学会九州支部学術講演会, , 2023 年 11 月 26 日, 九州大学

(2) 関連リスト (謝辞なし) と関連成果

(R3)
- 永松 寛大, 山本 圭介, 王 冬, Ge-on-Insulator 基板の PL 発光強度の膜厚依存性の調査, 2021 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2021 年 12 月 4 日, オンライン.
- 清水 昇, 王 一, 山本 圭介, 張 師宇, 中塚 理, 王 冬, 電子・光デバイス応用に向けた金属/GeSn 接合の低温形成, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 2022 年 3 月 22 日, オンライン.

(R4)

・L. Huang, K. Moto, T. Ishiyama, K.Toko, D. Wang, K.Yamamoto, N-type doping into polycrystalline Ge thin-film on glass, 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学
・本田 彬、王 一、清水 昇、山本 圭介、柴山茂久、中塚 理、王 冬, ノンドープGeSnエピタキシャル膜のホール効果測定による電気伝導特性評価, 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学
・王 一、本田 彬、清水 昇、山本 圭介、柴山茂久、中塚 理、王 冬, 光・電子デバイス応用に向けたノンドープ GeSn の MOS 特性調査, 2022 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学

(R5)

・Y. J. Feng, K. Yamamoto, A. Honda, N. Shimizu, D. Wang, Measurement of Fowler-Nordheim tunneling barrier height in Ge-MIS structures, The 8th Asia Applied Physics Conference (2023 年(令和5年度) 応用物理学会九州支部学術講演会), 2023年11月26日, 九州大学

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A03

研究課題名

非磁性体中におけるスピンダイナミクスの制御に関する研究

[1] 研究組織
研究代表者：
石原 淳（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
時光 遼（東京理科大学大学院理学研究科:M2）
鶴田 和哉（東京理科大学大学院理学研究科:M2）

[2]研究期間
令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
スピントロニクス分野における応用の中心は強磁性金属をベースとした磁化制御素子にあるが、定常的にはスピン状態が表に出てこない非磁性体中においてもスピンの自由度は大きな注目を集めている。非磁性体の中でも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、容易に光-スピン変換が可能である。また、スピン軌道相互有効磁場によるスピン制御だけでなく、GaAs/AlGaAs 量子井戸といった化合物半導体の二次元構造ではスピン状態の長時間保持も実証されている。一方、半導体や絶縁体中の欠陥中心のスピンでは、孤立した電子スピンにおいて量子力学的性質が顕著に表れるため、スピンは量子情報の担体となり、量子計算機のビットとして期待されている。このように非磁性体における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。そこで本研究では、非磁性半導体、絶縁体、金属といった非磁性体中におけるスピン情報に着目し、そのダイナミクスの観測と制御を目指す。

[4]研究計画及び内容
非磁性体中のスピンダイナミクス制御に関して、半導体中のスピンの時空間分布の直接観測と光波による制御、新たな欠陥中心スピンの観測と高周波制御、に焦点を当てて研究を進める。電気通信研究所においては、電気通信研究所担当教員の所属する深見・金井研究室にある二台の超短パルスレーザーシステムおよびオプティカルクライオスタットを利用した極低温下での超高速スピン検出系と、白色レーザー光源を用いた広波長域対応の高空間分解分光光学系を用いて実験を行う。超高速時間分解能を有するスピン検出光学系を利用しスピン緩和が完全に抑制される永久スピン旋回状態を観測するとともに、そこに例えば軌道角運動量を持つ制御光を入射することでスピン操作を実証する。また、顕微分光光学系を利用して新たな絶縁体中の欠陥中心スピンの観測とその高周波磁場制御を行う。スピン生成に関しては光励起以外にも非磁性金属中から半導体量子井戸中へのスピンホール効果による電気的スピン注入を目指す。素子作製は電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設のクリーンルームを利用する。
具体的な実施内容は、以下の通りである。
・半導体中の永久スピン旋回状態の光制御
永久スピン旋回状態では、スピンの空間構造が安定化する。本項では、光学的手法によりスピン空間構造の制御を行った。
・新規母体材料における欠陥中心の制御
新たな母体材料として酸化物絶縁体に着目し、カラーセンターからの発光の観測およびスピンの初期化・読み出しを行った。
代表者の所属が本学になったことにより、実験だけでなく研究の進捗報告や議論が活発化した。また 11/17,18 の 2 日間は、東北大学に研究組織のメンバーが一堂に会し、研究基盤となる光学測定技術に関する知見交換と研究方針の共有、研究議論ができた。これは、今後の研究を推進する上で非常に有意義なものとなった。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
・半導体中の永久スピン旋回状態の光制御
バンド間吸収の無い光照射によって永久スピン旋回状態を作り出すスピン軌道相互作用の大きさがどのように変化するかを調べた。スピンパターンに対して磁場を印加することで、同位相点のシフトを観測し、位相速度 v_{ph} からスピン軌道相互作用を定量できる。図 1 は永久スピン旋回が形成

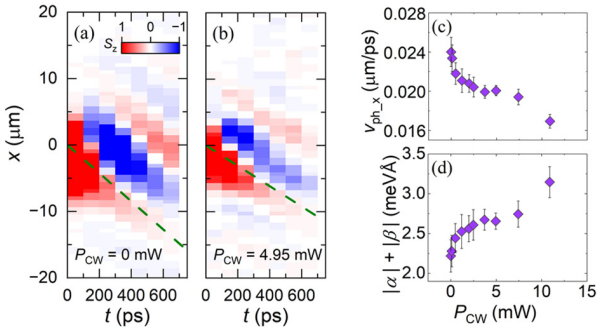


図 1 (a)制御光非照射時のx方向のスピン分布, (b)制御光照射時のスピン分布. 赤色はスピンアップ、青色はスピンダウンを示す. (c)同位相点シフトから求めた位相速度の照射光強度依存性. (d)スピン軌道相互作用の照射光強度依存性.

するストライプパターンに平行方向に磁場印加した場合の結果である。永久スピン旋回磁場と外部磁場は負の方向ではキャンセルされ、正の方向では強め合い、ストライプがシフトしたパターンが得られる(図 1(c))。光照射によって、シフト量が変化していることがわかる(図 1(b))。照射光強度に対してプロットすると図 1(c)のように変化しており、そこからスピン軌道相互作用パラメータ$|\alpha| + |\tilde{\beta}|$を求めると図 1(d)の照射光強度依存性が得られた。また、ストライプパターンに垂直に外部磁場を印加してy方向のスピン分布の時間発展を観測することで、同様に$|\alpha| - |\tilde{\beta}|$が求まる。これらからラシュバスピン軌道相互作用係数$|\alpha|$とドレッセルハウススピン軌道相互作用係数$|\tilde{\beta}|$を個別に定量した結果を図 2 に示す。照射光強度の増加に伴って、$|\alpha|$が増大することがわかる。一方で、$|\tilde{\beta}|$は光照射によってほとんど変化しない。ラシュバスピン軌道相互作用は量子井戸構造の反転非対称性に起因する。つまり本結果は、光照射により量子井戸のポテンシャルの非対称性が増加し、量子井戸内の電場が大きくなったことを示し

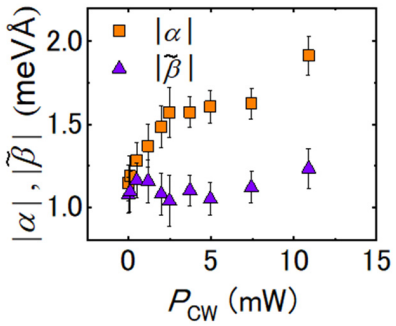


図 2 ラシュバスピン軌道相互作用係数$|\alpha|$とドレッセルハウススピン軌道相互作用係数$|\tilde{\beta}|$の照射光強度依存性.

ている。この変化は発光および発光励起スペクトルから得られたキャリア密度の変化と傾向が同じである。つまり、変調ドープ層にある残存キャリアが量子井戸に流れ込むことで量子井戸の非対称性が増したと結論付けられる。

・新規母体材料における欠陥中心の制御

スピントロニクスにおいて広く用いられている絶縁体材料の MgO および $MgAl_2O_4$ 中にイオン注入された Ce の発光及び偏光特性を評価した。アニール温度の最適化によりいずれも発光が観測されたが、MgO が母体材料の場合は、発光偏光度が得られなかったことから、Ce^{3+}以外の発光が観測されている可能性がある。一方で、母体材料が $MgAl_2O_4$ の場合は MgO の場合と比べて 10 倍以上の発光強度が得られた。また、極低温において磁場に依存する発光円偏光度が観測された。以上より、$MgAl_2O_4$ 中に導入された Ce は光学的に読み書き可能なスピンセンタであることが明らかになった。

(5-2) 波及効果と発展性等

明らかになった永久スピン旋回状態の光による制御は、光照射位置のみにおいてスピン軌道相互作用が変調されることでスピン空間構造が変化する。これは、スピンの空間構造情報を任意の時間に局所的制御できるアクセスフリーな制御技術になり、スピン空間情報を利用した機能性発現の加速につながると期待される。

また、欠陥中心スピンに関しては、発光測定、偏光状態の観測、周波磁場制御、高速ダイナミクス測定とあらゆる状態の評価技術の獲得とスピンコヒーレンス則を頼りに、材料探索がより効率的に進められるようになっている。特に今回示されたスピントロニクス分野で広く使われている絶縁膜中の欠陥中心スピンの発見は、従来のスピントロニクスデバイスに新しい機能を付与することができると期待される。

[6]まとめと今後の課題

期間全体で得られた、スピンテクスチャの光制御やベクトル光渦を用いたスピンテクスチャの直接励起は、スピンの一状態を情報として用いるためだけでなく、光通信分野で発展した空間分割多重といった技術と同様にスピンの空間構造情報を新たな情報担体として用いるための研究につながる。また、欠陥中心については、その位相情報保持だけではなく、母体材料の特性に着目することで、新たな機能を併せて用いる新たな研究につながる。各物質間のスピン移行を実現し、非磁性体中のスピンを最大限に活用するための要素基盤技術を獲得することが今後の課題である。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- J. Ishihara, T. Mori, T. Suzuki, S. Sato, K. Morita, M. Kohda, Y. Ohno, and K. Miyajima, “Imprinting spatial helicity structure of vector vortex beam on spin texture in semiconductors”, Physical Review Letters **130**, 126701 (2023).
- Manato Kawahara, Yuichiro Abe, Shun Kanai, Jun Ishihara, Yusuke Aoki, Makoto Kohda, and Shunsuke Fukami, "Optical properties of Ce implanted MgO," (poster) International Workshop on the Quantum Spinoptics, WASEM Monastery, Ingelheim, Germany, 2023/06/13-2023/06/15.
- Yuichiro Abe, Shun Kanai, Manato Kawahara, Jun Ishihara, Yusuke Aoki, Makoto Kohda, Shunsuke Fukami, "Polarization dependence of optical properties of Ce doped SiO2," (poster) International Workshop on the Quantum Spinoptics, WASEM Monastery, Ingelheim, Germany, 2023/06/13-2023/06/15.
- 時光遼, 石原淳, 森貴親, 大野裕三, 宮島顕祐, (001)GaAs/AlGaAs 量子井戸におけるスピン軌道有効磁場の励起密度依存性, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本城ホールほか (熊本県熊本市) +online, 2023/09/19-2023/09/23.
- Manato Kawahara, Yuichiro Abe, Koki Takano, Jun Ishihara, Makoto Kohda, Shun Kanai, Shunsuke Fukami, "Optical properties of $(MgO)_x(Al_2O_3)_{1-x}$:Ce," (poster) 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本城ホールほか (熊本県熊本市) +online, 2023/09/19-2023/09/23.
- Yuichiro Abe, Shun Kanai, Manato Kawahara, Jun Ishihara, Makoto Kohda, Shunsuke Fukami, "Polarization-dependence of optical properties of Ce-implanted quartz," (oral) 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本城ホールほか (熊本県熊本市) +online, 2023/09/19-2023/09/23.
- M. Kawahara, Y. Abe, K. Takano, J. Ishihara, M. Kohda, S. Kanai, and S. Fukami, "Circularly polarized photoluminescence spectroscopy of solid-states spin defects in oxides," (poster) 1st Workshop on the Chicago-Tohoku Quantum Alliance, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/10/05-2023/10/06.
- M. Kawahara, S. Kanai, Y. Abe, K. Takano, J. Ishihara, M. Kohda, and S. Fukami, "Polarization-dependent optical properties of $MgAl_2O_4$:Ce," (poster) 第 42 回電子材料シンポジウム, 奈良県橿原市, 2023/10/11-2023/10/13.
- K. Takano, Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, S. Kanai, and S. Fukami, "Optical properties of Eu implanted SiO_2," (poster) 第 42 回電子材料シンポジウム, 奈良県橿原市, 2023/10/11-2023/10/13.
- M. Kawahara, S. Kanai, Y. Abe, K. Takano, J. Ishihara, M. Kohda, and S. Fukami, "Polarization and magnetic-field dependent photoluminescence of $(MgO)_x(Al_2O_3)_{1-x}$:Ce," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
- K. Takano, Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, S. Kanai, and S. Fukami, "Spin-dependent optical properties of Eu implanted SiO_2," (poster) The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 2023/11/28-2023/12/01.
- S. Kanai, Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, and S. Fukami, "Optical Control of Spin in Amorphous SiO_2:Ce^{3+}," (oral) 2023 MRS Fall Meeting, Boston, U.S.A./Online , 2023/12/07.
- Y. Abe, M. Kawahara, J. Ishihara, M. Kohda, S. Fukami, and S. Kanai, "Polarization-Dependent Optical Properties of Ce-Implanted Quartz," (oral) 2023 MRS Fall Meeting, Boston, U.S.A./Online , 2023/12/07.
- M. Kawahara, Y. Abe, K. Takano, F. J. Heremans, J. Ishihara, E. Sullvan, C. Vorwerk, V. Somjit, C. P. Anderson, G. Wolfowicz, M. Kohda, S. Fukami, G. Galli, D. D. Awschalom, H. Ohno, and S. Kanai, "Spin-dependent optical properties of Ce-implanted $MgAl_2O_4$," (oral) APS March Meeting, Minneapolis, Minnesota, USA, 2024/03/03-2024/03/08.
- M. Kawahara, Y. Abe, K. Takano, F. J. Heremans, J. Ishihara, E. Sullvan, C. Vorwerk, V. Somjit, C. P. Anderson, G. Wolfowicz, M. Kohda, S. Fukami, G. Galli, D. D. Awschalom, H. Ohno, and S. Kanai, "Polarization-dependent optical properties of $MgAl_2O_4$:Ce under magnetic fields," (poster) 第 27 回半導体におけるスピン工学の基礎と応用 (PASPS-27), 東北大学片平キャンパス, 2024/03/16-2024/03/17.
- M. Kawahara, Y. Abe, K. Takano, F. J. Heremans, J. Ishihara, E. Sullvan, C. Vorwerk, V. Somjit, C. P. Anderson, G. Wolfowicz, M. Kohda, S. Fukami, G. Galli, D. D. Awschalom, H. Ohno, and S. Kanai, "Polarization-dependent optical properties of $MgAl_2O_4$:Ce under magnetic fields," (poster) スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク（Spin-RNJ）シンポジウム 2023, 東北大学片平キャンパス, 2024/03/17-2024/03/18.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Jun Ishihara, “Optical generation of electron spin textures in semiconductors”, The 27th Symposium on the Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors, 2024 年 3 月 16-17 日, 東北大学.

・Jun Ishihara, “Generation of spin textures in semiconductors using vector vortex beams”, EU-Japan Workshop on Spintronics and Quantum Transformation (Spin-QX 2023), 7-10, Aug., 2023, Jülich, Germany.

・石原 淳, “非磁性半導体におけるスピンテクスチャの光生成と制御”, CREST トポロジー領域 合同セミナー 2023 年 5 月 30 日, 筑波大学.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A04

研究課題名

非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成

[1] 研究組織

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）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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．

具体的には，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 6 年 (2024 年) 2 月 26～27 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

本研究会では，学内外を含め延べ 50 名程度の参加者があり，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，植物応用プラズマプロセス，医療応用プラズマプロセス，触媒フリー選択酸化反応プロセス，気液界面プラズマ反応場の数値計算や短寿命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．

[4]研究計画及び内容

Ⅰ.低温プラズマを用いたヒトコロナウイルス不活化

昨今の新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) に代表されるように，ヒトコロナウイルスが引き起こす大規模な感染症流行は，2000 年以降だけで三度も引き起こされており，今後も新たな感染症の出現が危惧されている．従って，ヒトコロナウイルスに対する効率的な不活化技術の開発が急務の課題である．低温大気圧プラズマは，ガス温度を低く保ちながら，高い電子温度を持つ非平衡反応場を容易に作り出し，ラジカルを含む活性種・荷電粒子・紫外線などの不活化因子を，その場合成し同時供給できることから，強力なウイルス不活化への活用が期待されている．今年度は，低温プラズマ技術によって作り出される活性種を制御することで，高いウイルス不活化能を有する活性種を同定することを目的に実験を行った．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

Ⅰ.低温プラズマを用いたヒトコロナウイルス不活化

実験には，これまでに開発してきた五酸化二窒素 (N_2O_5) 等を空気から選択合成するプラズマ装置を使用した（図 1）． ヒトコロナウイルスとして，1966 年に同定された旧型のコロナウイルスである HCoV-229E ウイルスを用いた．HCoV-229E ウイルス原液 200 μL に対して，プラズマ処

理を行った後，宿主細胞としたアカゲサル細胞（LLC-MK2）に感染させて，感染価を評価した．

プラズマ選択合成した N_2O_5 ガスを HCoV-229E ウイルスに暴露したところ，プラズマを直接接触させることなく，2 分の処理でウイルス感染価を 2~3 桁程度減少（99 ~ 99.9%の不活化に対応）させることに成功した（図 2）．一方で，オゾン (O_3) や NO_x (一酸化窒素 NO/二酸化窒素 NO_2 の混合) ガスでも，HCoV-229E ウイルス不活化効果は見られたが，5 分の処理でウイルス感染価を 1 桁減少させる程度であった．使用した O_3 密度は，N_2O_5 密度より 3 倍高いこと，NO_x 密度もおよそ 2 倍高いことを鑑みると，N_2O_5 は O_3 や NO_x と比較して，高いウイルス不活化効果を有する活性種であるといえる．N_2O_5 は O_3 や NO_x と比較して非常に高い水溶解性を有していることから，液中への活性種輸送効率が極めて高い．この特性が，高いウイルス不活化能を示す要因の一つではないかと予想される．

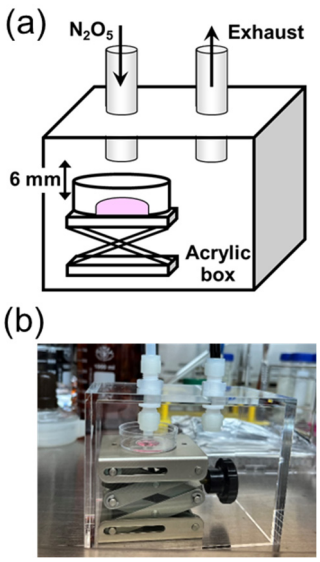


図 1:ヒトカゼコロナウイルスの不活化試験実験系の(a)概略図と(b)写真．

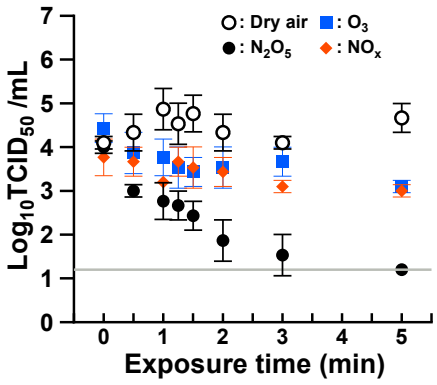


図 2:HCoV-229E ウイルス感染価の各活性種含有ガス暴露時間依存性．

N_2O_5 によるウイルス不活化要因を明らかにするために，硝酸 (HNO_3) を用いた対照実験を行ったが，N_2O_5 暴露に相当する濃度の HNO_3 溶液では，HCoV-229E ウイルスを不活化することは出来なかった．従って，少なくとも N_2O_5 溶解後の一様に生成された HNO_3 もしくは pH 低下が，不活化の主因子ではないといえる．N_2O_5 は，溶解の際，一時的に反応活性の高い中間体 (NO_2^+, $[NO_2^+ \cdot NO_3^-]$) を生成することが知られている．N_2O_5 暴露時間相当の HNO_3 添加でウイルス不活化効果が見られなかったことは，HNO_3 が重要因子ではなく，HNO_3 に至るまでの中間体によるウイルス不活化への重要な寄与を示唆している．N_2O_5 溶解に伴う中間体生成場は，気液界面近傍で形成されるため，比表面積の高い液滴，すなわち飛沫中のウイルス不活化に適している可能性があり，今後さらなるメカニズム解明が望まれる．

（特別支援（国際）に係る研究成果）

本年度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，気液界面プラズマ科学分野における国際交流拠点を形成すべく，米国の分担者（Prof. Peter Bruggeman）との共同研究活動で使用した．具体的には，2023 年 7 月～10 月に米国の分担者の研究室（ミネソタ大学）に学生を派遣して，レーザー誘起蛍光法と呼ばれる計測手法を用いて，プラズマと液体が接触する界面での短寿命活性種（OH ラジカル）の計測を実施し，その空間分布から短寿命活性種の気相（プラズマ相）から液相への輸送特性を解析した．

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで実施した「気液界面プラズマを用いたライフサイエンス応用」の成果が高く評価され，国内外の学会，国際会議で，プレナリー講演を含む 10 件の招待講演を行った．

また，本プロジェクトでの研究成果を基盤として，「F-REI 委託事業・福島国際研究教育機構における農林水産研究の推進」および「科研費・学術変革領域研究（A）」等の大型競争的資金の採択につながっている．さらに，本プロジェクトで明らかになった細胞，ウイルスに対するプラズマ合成活性種の効果に関する研究成果は，プラズマのライフサイエンス（医療，農業，衛生環境）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・農業機器や環境浄化装置の開発等の今後の発展が期待されている．

[6]まとめと今後の課題

非平衡（低温）プラズマ技術によって作り出される活性種（五酸化二窒素）が高いウイルス不活化能を有することを明らかにした．今後は，そのメカニズム解明を目指した研究を推進する．

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト(謝辞あり)

【査読付学術論文】

1. T. Kaneko, “Applications of physically and chemically controlled non-equilibrium plasmas: From nanomaterial synthesis to cell function control”, *JSAP Review*, **2024** (2024) 240205-1-8. (査読有)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

【査読付学術論文】

1. T. Chida, K. Hiromori, N. Shibasaki-Kitakawa, S. Sasaki, T. Kaneko, and A. Takahashi, “Application of nonthermal atmospheric-pressure plasma irradiation as a new method for noncatalytic liquid-phase selective oxidation of polyhydric alcohols”, *Plasma Process. Polym.,* **21** (2023) e2300163. (査読有)

【国際・国内会議・研究会等発表】

1. S. Sasaki, S. Osana, M. Yamaya, H. Nishimura, R. Nagatomi, and T. Kaneko, “Inactivation of Human Coronavirus Using Reactive Oxygen and Nitrogen Species Generated by Atmospheric Pressure Plasmas”, 4th International Conference on Data Driven Plasma Science (ICDDPS-4)/14th EU Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP-14), Okinawa, Japan, 2023/4/18.
2. S. Takeshi, K. Takashima, S. Sasaki, A. Higashitani, T. Kaneko, “Nitrogen Fertilization with Plasma Generated Dinitrogen Pentoxide”, 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 2023/5/22.
3. S. Kawano, K. Takashima, S. Sasaki, T. Kaneko, “Development of BB-CEAS (broadband cavity-enhanced absorption spectroscopy) measurement for reactive nitrogen species”, 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 2023/5/22.
4. K. Takeda, S. Sasaki, K. Takashima, T. Kaneko, “Evaluation of interfacial OH radical transport using plasma exposed high-speed water jet”, 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 2023/5/25.
5. S. Sasaki, S. Osana, M. Yamaya, H. Nishimura, R. Nagatomi, and T. Kaneko, “"Inactivation effect of plasma-generated reactive oxygen and nitrogen species on human coronavirus”, 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 2023/5/25.
6. K. Takashima, R. Fujita, K. Muratomi, S. Sasaki, and T. Kaneko, “Development of Atmospheric Pressure Plasma Source with Liquid Column Interface for Plasma-Liquid Interfacial Reactions in Spatio-Temporal Dynamics”, 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 2023/5/25.
7. (プレナリー講演)T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, “Innovative technology for controlled synthesis of reactive species using gas-liquid interfacial plasmas and its applications”, 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 2023/5/26.
8. (招待講演)T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, A. Higashitani, S. Ando, H. Takahashi, “Plasma Generated Dinitrogen Pentoxide Activating Plant Immunity”, 4th International Workshop on Plasma Agriculture (IWOPA4), Seoul, Korea, 2023/6/19.
9. (招待講演)K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko, “Generation of Vibrationally Excited Nitrogen in a DC-Superimposed Repetitive Nanosecond Pulse Discharge”, The 35th International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Egmond aan Zee, The Netherlands, 2023/7/11.
10. S. Takeshi, K. Takashima, S. Sasaki, A. Higashitani, T. Kaneko, “Nitrogen Fertilization and Dissolution Efficiency with Plasma Generated Dinitrogen Pentoxide”, 2023 年度電気関係学会東北支部連合大会, 岩手県, 滝沢市, 2023/9/6.
11. S. Kawano, K. Takashima, S. Sasaki, T. Kaneko, “Development of BB-CEAS (Broadband Cavity Enhanced Absorption Spectroscopy) measurement for reactive nitrogen species”, 2023 年度電気関係学会東北支部連合大会, 岩手県, 滝沢市, 2023/9/6.
12. (招待講演)金子 俊郎, 高島 圭介, 佐々木 渉太, 安藤 杉尋, 高橋 英樹, 東谷 篤志, “大気圧空気プラズマ合成活性窒素種による植物免疫誘導”, 第40回日本植物バイオテクノロジー学会, 千葉県, 千葉市, 2023/9/13.
13. (招待講演)T. Kaneko, S.Sasaki, K.Takashima, “Plant pathogens control using air atmospheric pressure plasmas”, Technical Meeting on Emerging Applications of Plasma Science and Technology, International Atomic Energy Agency, Austria, Vienna, 2023/9/21.
14. (招待講演)高島 圭介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎, “大気圧空気プラズマを活用した持続可能な食糧生産システム”, 第84回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本県, 熊本市, 2023/9/20.
15. 大場 優人, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, “プラズマ合成五酸化二窒素によるアミノ酸化学修飾の分析”, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本県, 熊本市, 2023/9/21.
16. 武田 一希, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, “プラズマー液体界面における短寿命活性種の挙

動解析”, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本県, 熊本市, 2023/9/22.

17. T. Kaneko, K. Takeda, S. Sasaki, and K. Takashima, “Analysis of short-lived reactive species in gas-liquid interfacial plasma with high-speed liquid column flow”, The 76th Annual Gaseous Electronics Conference, Michigan, USA, 2023/10/11.
18. T. Kaneko, K. Taketa, S. Sasaki, K. Takashima, “Decaying Characteristics of Short-lived Reactive Nitrogen Species Generated by Gas-liquid Interfacial Plasma”, the 13th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2023), Busan, Korea, 2023/11/7.
19. (招待講演)T. Kaneko, K.Takeda, S.Sasaki, K.Takashima, “Gas-liquid interfacial plasmas: Controlled generation of short-lived reactive species and its applications”, 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics and (AAPPS-DPP 2023), Aichi, Japan, 2023/11/16.
20. (招待講演)佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, “実験と数値計算によるプラズマ誘起液相化学反応の理解”, 第 33 回日本 MRS 年次大会, 神奈川県, 横浜市, 2023/11/15.
21. 武士 将熙, 高島 圭介, 佐々木 渉太, 東谷 篤志, 金子 俊郎, “プラズマ生成五酸化二窒素の植物直接処理による窒素施肥効果と自家蛍光への影響”, 第 33 回日本 MRS 年次大会, 神奈川県, 横浜市, 2023/11/15.
22. 川野 翔平, 高島 圭介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎, “空気プラズマ排ガス中の NO3 ラジカル生成の促進”, 第 33 回日本 MRS 年次大会, 神奈川県, 横浜市, 2023/11/16.
23. (招待講演)T. Kaneko, K.Takeda, S.Sasaki, K.Takashima, “Atmospheric pressure plasma with high-speed liquid flow: basic science and its application”, 97th IUVSTA Workshop on plasma-assisted conversion of gases for a sustainable future, Cerklje na Gorenjskem, Slovenia, 2023/12/19.
24. (招待講演)佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, “プラズマ活性種の計測・反応理解・制御と植物応答”, 第二回プラズマ種子科学研究会, 愛知県, 名古屋市, 2024/1/7.
25. 高橋 英樹, 金子 俊郎, 宮下 脩平, “立枯れ症状を示したトルコギキョウの植物体ならびに栽培土壌から分離された Fusarium 属菌の多様性解析”, 令和 5 年度日本植物病理学会東北部会, 弘前大学, 青森県, 弘前市, 2023/9/14-15.
26. 高橋 英樹, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, 宮下 脩平, “活性酸素種および活性窒素種の状態が変化したタバコではキュウリモザイクウイルス黄斑系統[CMV(Y)]の全身移行と病徴発現が抑制される”, 令和 6 年度日本植物病理学会大会, 仙台国際センター, 宮城県, 仙台市, 2024/3/13-15.
27. 入野田 和奏, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, 高橋 英樹, 宮下 脩平, “活性酸素種および活性窒素種の状態が変化したタバコにおけるキュウリモザイクウイルス MOI の低下” 令和 6 年度日本植物病理学会大会, 仙台国際センター, 宮城県, 仙台市, 2024/3/13-15.
28. 山梨太郎, 武士将熙, 佐々木渉太, 高島圭介, 金子俊郎, 石丸泰寛, 魚住信之 “空気から生成した気体 N_2O_5 を用いた植物への窒素供給法の開発”第 65 回植物生理学会年, 兵庫県, 神戸市, 2024/3/17-19.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A06

研究課題名

量子デバイスの放射線応答に関する研究・開発

[1] 研究組織

研究代表者：

岸本 康宏（東北大学 ニュートリノ科学研究センター）

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

吉田 斉 （大阪大学 理学研究科）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本研究の目的は，半導体量子ドット（半導体 QD）の電離放射線耐性，及び放射線検出器用のセンサーとして利用可能性を調査，研究することである．

半導体 QD は，超伝導量子ビットとともに，量子コンピュータの中核となる量子デバイスとして有望視されている．量子コンピュータでは量子の可干渉性が必須であり，半導体 QD 及びその周辺からの電離放射線はこの可干渉性を破壊し，多数ビットの量子コンピュータの実現を阻害する要因となり得る．本研究では，半導体 QD の放射線応答を調べることで，この点について研究する．また，発想を逆にして，半導体 QD が放射線に対して敏感であるならば，それを積極的に超高感度の放射線センサー素子として応用する可能性を探る．

核種	存在比 (%)	断面積 (barn)	生成核	半減期	Q 値 (MeV)
^{69}Ga	60.2	1.9	^{70}Ga	21.1 m	1.66
^{71}Ga	39.8	5.0	^{72}Ga	14.1 h	3.99
^{75}As	100	4.5	^{76}As	26.3 h	2.97

表　1：Ga と As で中性子捕獲断面積の大きい核種と，その存在比，中性子捕獲断面積，生成する原び Q 値の一覧

[4]研究計画及び内容

本研究では，半導体量子ドットが各種の放射線に対し，どのような影響があるかを調べる研究であり，従って，まず，半導体素子に放射線を照射・非照射の状態を比較する手法の確立が必要である．我々は，次の 2 つの方法を開発・研究した．即ち，１）半導体素子が，GaAs 基板で作成されていることを利用した中性子放射化法による手法，２）クライオスタット内に密封小線源を導入し，半導体素子上に照射・非照射の状態を機械的に作り出す手法である．

中性子放射化法：表 1 に示すように，GaAs 基板は中性子によって放射化され，その寿命が数十時間でβ崩壊する同位体を高濃度に有している．この数十時間という寿命は，経時変化を利用して，放射線の影響を調べることができるため，非常に都合の良い時間である．この特徴を利用して，ポリエチレン減速材とグラファイト中性子反射材の中に，^{252}Cf 中性子源（1.1 MBq）と量子ポイントコンタクトの素子を導入し，基板を放射化した．この放射化した基板を，岐阜県神岡町の地下に設置した，超低放射能環境下のゲルマニウム半導体検出器で，放射化の様子を調べた．その結果，表２に記した放射性元素の崩壊が見られた．予想に反して，^{198}Au が最も強く（1.64 Bq）測定された．金（^{197}Au，自然存在比 100％）は，電極として使われる他，基板周辺部でメッキとして用いられている．この原子核が非常に効果的に放射化され，その寿命も 64.44 h と測定に都合の良い時間スケールであるため，これを測定に利用した．

機械的動作による，照射・非照射の切り替え機構：アルファ線やガンマ線のチェッキングソースを取り付けた部位を，クライオスタット外部から回転させることで，基板上のある領域に放射線を照射・非照射を素早く切り替える（図１）．

生成核種	放射能（Bq）	半減期
^{72}Ga	$(1.3\pm0.3)\times10^{-2}$	14.1 h
^{76}As	$(2.6\pm0.5)\times10^{-2}$	26.24 h
^{198}Au	1.64 ± 0.06	64.66 h

表　2：量子ポイントコンタクトを実装した GaAs 基板を中性子で放射化後の，G 半導体検出器によって測定された，放射能(検出効率で補正後)

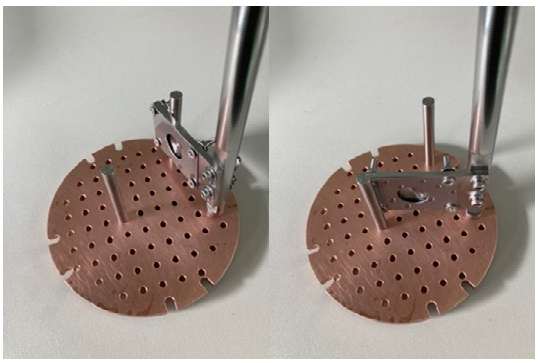


図 1：上部からのステンレス製ドライブシャフトによって，放射線チェッキングソースを固定する治具を回転する．回転の角度は，２本のステンレス製のポールに依って制限される．この機構により，量子ポイントコンタクト部分に対して，アルファ線を照射する場合（右図）と照射しない場合（左図）を切り替えることが可能である．

［5］研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

本研究では，素子として量子ポイントコンタクトのソース・ドレイン電流（I_{SD}）を測定し，その値の放射線依存性を調べた．

量子ポイントコンタクトでは，量子ポイントコンタクト近傍にトラップされた電荷が遷移し，短期間でスパイク的な電流変化が見られることが知られている．放射線（この場合ベータ崩壊）によって，この現象がトリガされると考え，放射化終了後，20〜170 時間の測定と，放射化終了後 1 ヶ月を経過した測定とを比較した．その結果，スパイク頻度と放射化寿命との間に明瞭な相関を見つける事は出来なかった．

この反省から，チェンキングソースの位置を機械的に変化させる場合には，照射・非照射の頻度を上げ，容易に比較ができる様，モーターで自動的かつ連続的な測定可能な実験系を構築した．チェッキングソースとしては，アルファ線源（^{241}Am, 5.4 MeV）と低エネルギーガンマ線源（^{57}Fe, 14.4 keV）を用いた．アルファ線源の場合は飛程が短く，高エネルギーであるため，非常にローカルにエネルギーを付与する．^{57}Fe の場合は，エネルギーも低いが，アルファ線と比較して，基板の奥深くにまで到達可能である．また，崩壊率も 1 桁以上大きいものを利用した．

この結果，^{57}Fe では，照射・非照射の明瞭な差違は見られなかった．しかし，アルファ線源の場合，照射・非照射で明確な差が見られる場合と，その様な差を見いだすことのできない場合とが存在した．

図２は，アルファ線の照射・非照射を連続して行った場合に，明瞭に差が見られた期間を示している．

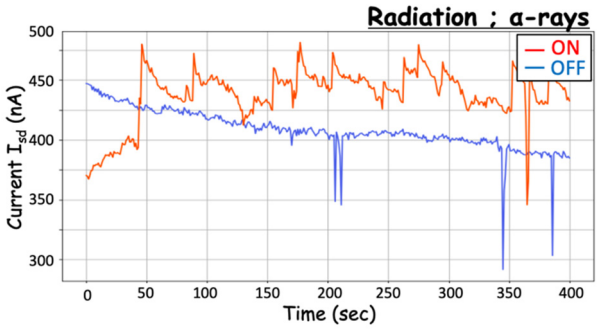


図 2：アルファ線の照射（オレンジ）と非照射（青）を連続的に行った場合に，量子ポイントコンタクトの応答で明確な差違が見られた期間の例．この期間では，照射・非照射の差違は 90％の確率で出現している．

この報告書を書いている時点では，まだ解析が継続しており，最終的な結果は得られていないものの，量子ポイントコンタクトへの影響が見られたものはアルファ線源を用いた場合のみで有り，その場合であっても，影響が明瞭な期間とそうで無い期間があることから，半導体量子素子に対する放射線影響は大きくないと予想される．今後は，量子ポイントコンタクトと比較して，より外部環境の擾乱に敏感な系である，半導体量子ドットに対する放射線影響を測定し，量子コンピュータへの影響までを調査したいと考えている．

（5-2）波及効果と発展性等

本プロジェクトによって，量子ドットの研究者と素粒子・原子核分野の研究者が協力し，量子素子の放射線センサー利用，量子素子の耐放射線性能という 2 つの側面から，学際的な研究を開始することができた．この結果，2022 年度の挑戦的研究（萌芽）「半導体量子ドットデバイスの放射線応答の調査と放射線検出器への利用」（研究代表者：大阪大学 吉田斉）が採択された．

また，本研究を契機として，超伝導デバイスを素粒子物理分野に応用するための勉強会などが開催され，共同研究の機運が高まった．そして，2024 年度からの学術変革領域研究「地下稀事象」（領域代表 岸本康宏）の計画研究 B01 が採択された．この計画研究は，暗黒物質アクシオンを，超伝導センサーを用いて探索する計画である．アクシオン探索では，高磁場中で稼働する極低ノイズアンプを用いるが，この要求は，量子ドットコンピュータにも必要な要素であるため，今後も，素粒子研究分野と量子ドット研究分野が協働した研究が継続し，学際的な展開が加速するものと期待される．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・「量子ポイントコンタクトの放射線応答の調査」, 湯田秀明, 吉田斉, 大塚朋廣, 岸本康宏, 2022 年 3 月, 日本物理学会 第 77 回年次大会

・”Basic Research on Radiation Response of Semiconductor Quantum Devices”, H. Yuta, Y. Kishimoto, T. Ohtsuka, S. Yoshida, 2022 年 2 月, 令和３年度 東北大学電通通信研究所 共同プロジェクト研究会

・「量子ポイントコンタクトの放射線応答についての研究」, 吉田斉, 西川隆宏, 柴田真尚, 岸本康宏, 大塚朋廣, 2023 年 2 月, 令和４年度 東北大学電通通信研究所 共同プロジェクト研究会

・「量子デバイスの放射線に対する応答の研究」, 吉田斉, 高草元, 岸本康宏, 大塚朋廣, 2024 年 2 月, 令和５年度 東北大学電通通信研究所 共同プロジェクト研究会

・ ”The Study of the response of semiconductor quantum devices to radiation”, G. Takakusa, 2024 年 3 月, UGAP2024

・「量子デバイスの放射線に対する応答の研究」, 高草元, 2024 年 3 月, 新学術「地下宇宙」第４回若手研究会

・「量子デバイスの放射線に対する応答の研究」, 高草元, 岸本康宏, 吉田斉, 大塚朋廣, 2024 年 3 月, 日本物理学会 2024 年春季大会

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A07

研究課題名

原子層量子デバイスの開発

[1] 研究組織

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）
李　秦宜（九州大学　大学院工学研究院）
宮田 耕充（東京都立大学　大学院理学研究科）
中西 勇介（東京都立大学　大学院理学研究科）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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。

研究三ヶ年計画の最終年度にあたる本年度は、原子層量子デバイスへの応用が期待きるヤヌス TMD の創成に関する研究を重点的に行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

＜研究打ち合わせ＞
日時：令和 5 年 5 月 22 日、令和 5 年 8 月 7 日（オンライン）
参加者：宮田 耕充（都立大　准教授）

日時：令和 5 年 11 月 21 日
場所：東北大学　材料科学高等研究所
参加者：中西 勇介（都立大　助教）他 5 名

日時：令和 5 年 12 月 18 日（オンライン）
参加者：岡田晋（筑波大　教授）他 3 名

日時：令和 5 年 5 月 24 日、令和 5 年 6 月 17 日、令和 5 年 6 月 21 日、令和 5 年 8 月 23 日、令和 5 年 9 月 14 日、令和 5 年 10 月 4 日、令和 5 年 10 月 18 日、令和 5 年 12 月 14 日、令和 6 年 1 月 17 日、令和 6 年 2 月 6 日（オンライン）
参加者：大塚朋廣（東北大　准教授）

学内外を含め延べ１０名以上の研究者と、「原子層量子デバイス開発」を主テーマに共同研究に関する綿密な打ち合わせを行った。

[4]研究計画及び内容

原子層材料の一種として注目されている遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)は、通常上限面に同じカルコゲン原子が配置されている。これに対し、近年上下面で異なるカルコゲンから構成されるヤヌス TMD が注目を集めている。面直方向に電荷の偏りが生じるため、ピエゾ効果やラシュバ効果等多くの魅力的な物性が理論的に予測されている一方で、実験的にヤヌス TMD を合成することは極めて困難とされてきた。本研究では、これまで加藤等が開発してきたマイルドプラズマプロセスを原子層材料に活用することで、ヤヌス TMD の高品質合成を目指して実験を行った。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

＜その場観測ヤヌス化装置の開発＞

単層 TMD の最表面カルコゲン原子のみを別のカルコゲン原子に置換するヤヌス化反応に関して、

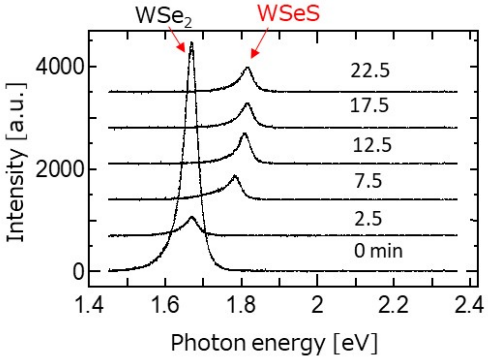


図 1. その場観測ヤヌス化装置で取得した WSe_2 のヤヌス化反応に伴う PL スペクトル変化。

高品質化と反応機構解明を目的として反応過程を光学スペクトルで直接観測するその場観測装置の開発に取り組んだ。その結果、TMD の蛍光（PL）スペクトルをヤヌス化(水素プラズマ照射)中にリアルタイムで取得可能な装置の開発に成功した。二セレン化タングステン(WSe_2)のヤヌス化に伴う PL スペクトルの変化に着目すると、まず初めに水素プラズマ照射開始と同時に急激に PL 強度が減衰し、次に徐々に高エネルギー側にピークがシフトし、最終的にピーク強度が増大するという一連の過程がその場観測中の連続スペクトルとして観測された(図 1)。この PL スペクトルの変化は、最表面 Se の脱離、Se 空孔の S 終端、S 被覆率の増大によりそれぞれ引き起こされていると考えている。さらに、光学測定に加え、四重極質量分析器も配備することによって、ヤヌス化反応過程における気相活性種を同時に分析可能とした。この結果、ヤヌス化反応が進行する際に SH_x 系の活性種が気相に生成されていること、SO_x 系の活性種が存在する場合にはヤヌス化反応が抑制されることなどが明らかとなった。これ等の知見は、ヤヌス化反応の制御に重要な知見である。

＜ヤヌス TMD の表面反応性＞

ヤヌス TMD の表面反応性を明らかにするために、その場観測によるヤヌス化直後に、様々なガスを暴露し PL 強度の変化を計測する実験を行った。その結果、通常のヤヌス TMD に比べ、過剰なプラズマ処理により欠陥を導入したヤヌス TMD に対して酸素ガスを暴露した場合に、PL 強度が著しく増大する現象を見出した(図 2)。これはヤヌス TMD 特有の面直電場に加え、欠陥構造が酸素吸着サイトとして複合的に作用しているものと考えている。

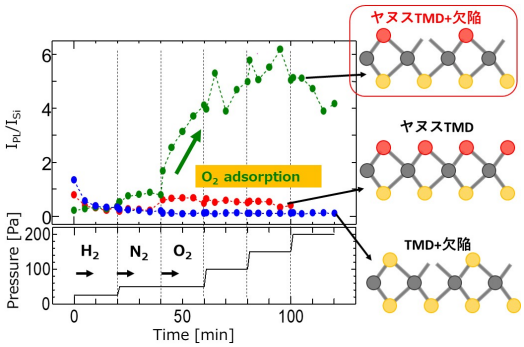


図 2. ヤヌス TMD に対するガス暴露に伴う PL 強度変化。緑、赤、青線はそれぞれ欠陥導入したヤヌス TMD、通常のヤヌス TMD、および欠陥を導入した TMD を表す。

＜新規ヤヌス構造の創成＞

これまでの平面所の TMD ではなく、ナノチューブ状の TMD に対して同様のヤヌス化処理を行った。最表面の S が Se に置換されている構造が確認され、ヤヌス TMD ナノチューブの創成を世界で初めて実現した。さらに、平面上のヤヌス TMD に対して、液体を滴下して乾燥させることで、ヤヌス TMD が巻物状構造に変化したヤヌス TMD ナノスクロースが形成されることを発見した（図 3)。この様に本研究で合成に成功したヤヌス TMD ナノチューブやヤヌス TMD ナノスクロールは新たな 1 次元原子層材料と呼べるものであり、特に量子物性において今後新たな特性の発現が期待できるものである。

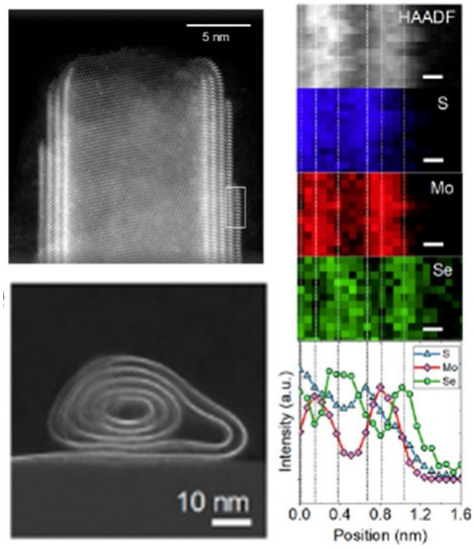


図 3. 走査型透過型電子顕微鏡(STEM)による（左）ヤヌス TMD ナノスクロールの構造と（右）元素マッピング結果。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは学内外研究者との交流が飛躍的に活性化し、JST-CREST プロジェクトに発展した。また、本プロジェクトで合成に成功した新規ヤヌス TMD は、1 次元ヤヌス TMD という新しい研究領域の開拓に結び付き、今後の発展が期待されている。

[6]まとめと今後の課題

実験による報告が極めて限定的であるヤヌス TMD に対して、その場観測プラズマ機能化装置を開発することにより、高品質ヤヌス TMD が安定に合成できるようになった。本成果は多くの共同研究に発展する可能性を秘めた重要な発展と言える。実際共同研究により実現したヤヌス TMD ナノチューブやヤヌス TMD ナノスクロールは 1 次元ヤヌス構造体として新たな研究領域への発展が大いに期待できるものである。今後は、これら新材料のデバイス化を行い、量子物性の解明を進める。

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

・Masahiko Kaneda, Wenjin Zhang, Zheng Liu, Yanlin Gao, Mina Maruyama, Yusuke Nakanishi, Hiroshi Nakajo, Soma Aoki, Kota Honda, Tomoya Ogawa, Kazuki Hashimoto, Takahiko Endo, Kohei Aso, Tongmin Chen, Yoshifumi Oshima, Yukiko Yamada-Takamura, Yasufumi Takahashi, Susumu Okada, Toshiaki Kato*, and Yasumitsu Miyata*, Nanoscrolls of Janus Monolayer Transition Metal Dichalcogenides, *ACS Nano* **18** (2024), 2772−2781.

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Wenjin Zhang*, Zheng Liu, Hiroshi Nakajo, Soma Aoki, Haonan Wang, Yanlin Wang, Yanlin Gao, Mina Maruyama, Takuto Kawakami, Yasuyuki Makino, Masahiko Kaneda, Tongmin Chen, Kohei Aso, Tomoya Ogawa, Takahiko Endo, Yusuke Nakanishi, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Yoshifumi Oshima, Yukiko Yamada-Takamura, Mikito Koshino, Susumu Okada, Kazunari Matsuda, Toshiaki Kato*, and Yasumitsu Miyata*, Chemically Tailored Semiconductor Moiré Superlattices of Janus Heterobilayers, *Small Structures* **5** (2024), 2300514-1-8.

・Yusuke Nakanishi*, Shinpei Furusawa, Yuta Sato, Takumi Tanaka, Yohei Yomogida, Kazuhiro Yanagi, Wenjin Zhang, Hiroshi Nakajo, Soma Aoki, Toshiaki Kato, Kazu Suenaga, and Yasumitsu Miyata*, Structural Diversity of Single-Walled Transition Metal Dichalcogenide Nanotubes Grown via Template Reaction, *Advanced Materials* **35** (2023), 2306631-1-11.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A09

研究課題名

超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究

[1] 研究組織
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
金　怜（九州大学大学院システム情報科学府）

[2]研究期間
令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
通信トラフィックの増大に伴い、超高速・超広帯域無線システムの構築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)の利用は上記の課題解決のための有力な解である。本研究では、将来の超広帯域・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する。テラヘルツ波は一般に伝送距離が短いため、アンテナをアレイ化し高利得化を行う必要がある。

これまで、末松憲治　教授（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てきた。今回、その成果や設計・計測方法の知見を用いて、アンテナの利得向上のためのアレイ化及び THz 信号を伝送させるコプレーナ線路に関する研究を実施した。なお、アンテナ及び伝送線路の設計について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、末松 憲治 教授と共同で、Global Foundries社のプロセスデザインキットを使用して設計した。これまで電子メール等により、デザインキットに関する、線路幅や物性定数について、継続的に打合せを行ってきた。また、一部の研究成果については国際会議（IEEE Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)）等にて発表した。

[4]研究計画及び内容
申請者らが提案した、単方向平面スロットアンテナの設計手法を用いて、Global Foundries 社の 45nmSOIプロセスデザインキットの情報により、1THz 帯で動作するオンチップアレイアンテナを設計する。本アレイアンテナは、二つのメタルレイヤとレイヤ間の絶縁層間膜により構成される極めてシンプルな構造である。上層メタルにコプレーナ型給電線路、プローブパッド、およびスロットアンテナを配置する。下層メタルは上層メタルと電気的な接続のないフローティング構造とする。これにより単方向化を実現する。単方向化により、アンテナチップ上面の放射利得の向上はもとより、THz 電磁波の基板側への侵入を抑制できるので、将来的にトランジスタなどを実装した場合、アンテナ放射による雑音を低減できる。アンテナトップメタルを 8 層メタルとし、フローティングメタルを 6 層メタルとする。絶縁層 2 層を一体化することで層間膜の膜厚を制御する。これを基準アンテナとする。動作周波数は 1THz とする。

昨年度までに 1THz で動作する 4 アレイアンテナの設計に成功した。

該当年度は、単方向指向性の向上を目指し、コプレーナ型給電線路とプローブパッドの最適化を行う。さらに、汎用プロセスによりアレイアンテナを試作する。レイアウト設計において、最小線幅や、金属密度等のデザインルールチェックを行詳細に行う。

試作アンテナは、研究代表者らが所有するオンウエハ・テラヘルツプローブと、テラヘルツ発振器、及びシグナルアナライザ、また末松研究室に所有の装置等により測定する。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
研究期間の前半では、Global Foundries 社の 45 nm SOI プロセスを用いて、単方向スロットアンテナを設計した。メタル密度ルールなどのデザ

インルールを満足する設計ができた。

図１は前回試作したアンテナのチップ写真である。図の点線の部分がコンタクト用のパッドである。中心が信号線路で両脇が GND 用のコプレーナ型パッドである。図２に受信電力の周波数特性を示す。青点が発信機の電源 OFF の状態、赤点が発信機 ON の結果である。975GHz 付近において受信信号が増大しており、受信できていることが分かる。1×2 アレイアンテナでは 975GHz 付近において受信電力が約-66.5dBm である。同様に高利得 1×4 アレイアンテナを試作・評価したところ、1×4 アレイアンテナでは 1×2 アレイアンテナと比較して受信電力が約 2dBm ほど高いことから、利得としても 2dB ほど高くなっていることが推測される。なお、理想的なアレイ化においては利得の向上は 3dB となるため、約 1dB 程度が配線部等の損失であると考えられる。

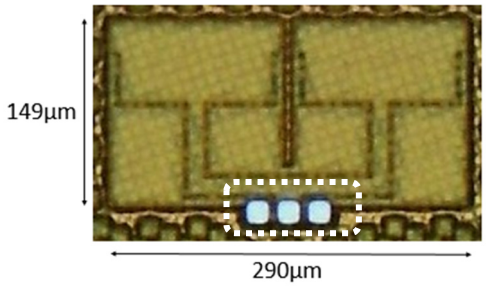


図１　1x2 アレイアンテナのチップ写真

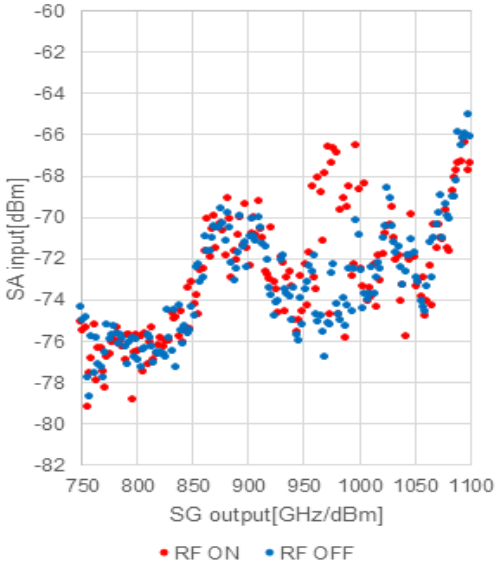


図２　1x2 アレイアンテナの受信電力の実験結果

次に汎用プロセスによるテラヘルツアンテナの設計・評価結果について述べる。絶縁膜としてポリレジストを用いた。アンテナ利得におけるポリレジストの膜厚依存性の設計結果を図 3 に示す。ピーク周波数付近における膜厚依存性は±10%程度の変動であれば影響は少ないと考えられる。

図４に汎用プロセスにより試作したアンテナのチップ写真を示す。866GHz-900GHz 帯において検波の兆候が見られたが、受信感度が設計値に比べ大幅に低下した。十分な成膜とエッチングができていない可能性が示唆される。

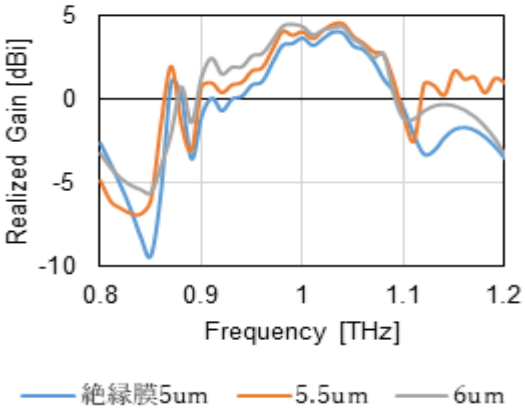


図３　利得の絶縁膜依存性

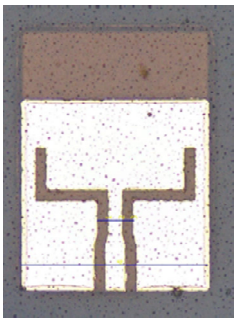


図４　アンテナの写真（汎用プロセス）

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで実現された Global Foundries 社 45 nm SOI プロセスによる 1 THz 帯単方向平面アレイアンテナの研究に関する成果は、国際会議（IEEE Electronics Packaging Technology Conference）において発表した。

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。

[6]まとめと今後の課題

本研究ではテラヘルツ帯で動作するアンテナについて設計と試作、測定を行った。テラヘルツ帯におけるデバイスの試作にはレイアウトのラインアンドスペース等の精度の向上が要求される。また、層間膜の誘電率の変動が周波数変動の主要な要因となるため、試作・評価結果を再設計にフィードバックする必要がある。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Ryeong Kim, Ryo Takigawa, Haruichi Kanaya, “Design of 1THz band 4array on-chip one-sided directional antenna”, Proc. 2023 IEEE 25rd Electronic Packaging Technology Conference, December 5-8, 2023.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Chai-Eu Guan, Masahiro Hata. Akira Ishikawa, Shugo Fukagawa, Ren Karasuyama, Koto Miyahara, Kohei Takegami, Haruichi Kanaya, “A Flat-Gain Array Antenna Comprising Disparate Elements Designed for 5G Applications”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.23, Issue 2, p.723-727, Feb. 2024.
DOI: 10.1109/LAWP.2023.3334824

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A10

研究課題名

RTD の非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用

[1] 研究組織

研究代表者：
前澤宏一（富山大学学術研究部工学系）

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　（富山大学学術研究部工学系）
Umer Frooq（富山大学大学院）
中村浩輔（富山大学大学院）
清水晴喜（富山大学大学院）

延べ参加人数：7 人

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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 は室温で微分負性抵抗を示すヘテロ接合素子であり、THz を越える超高周波動作が特徴である。RTD の微分負性抵抗特性は発振器の基盤であり、他の固体電子デバイスでは困難であった THz 信号の室温における生成が可能である。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 には非常に強い非線形性を示すという特徴もあり、この両者を活かせれば THz 領域での新しい情報処理デバイスの実現も期待できる。強い非線形性を活かす一つの応用としてカオス生成器がある。カオスは決定論的現象であるが、予測不可能な複雑な振る舞いを示し、最近、情報処理や通信への応用が模索されている。RTD を使うことにより、シンプルな回路で THz 領域のカオス生成が可能となれば、様々な応用が可能となる。本研究では、RTD 発振器を基盤としてカオス生成器を作製し、その特性を明らかにする。

[4]研究計画及び内容

本年度は、本プロジェクトの３年目であり、これまでに検討したダッフィング方程式に類似したカオス回路とは異なるタイプの RTD カオス回路について検討を進めた。

以下、今年度の研究の概要を示す。

(1) 伝送線路スタブを持つ RTD 発振器
伝送線路スタブは、小信号では共振器として働くが、大信号で見ると時間遅れ系であり、伝送線路スタブとショットキーダイオードにマイクロ波を注入するだけでカオス信号が得られることが報告されている。ここでは、RTD 発振器に伝送線路スタブを設けることで系がどのような振る舞いをするかを検討する。これは、自律発振系であり、昨年度までに検討した外部信号によるカオス系とは異なる特徴がある。また、この効果はショートやオープンスタブだけではなく、配線のインピーダンスミスマッチにともなう反射でも起こり得るため、この効果を検討することは、THz 領域の RTD 発振器やその応用回路を設計するときに重要な知見となる。

(2) まず、回路シミュレーションにより、図 1 の回路の発振特性を検討した。ここでは、後の実験を考えてオープンスタブを用い、その長さをパラメータとして、系の振る舞いを調べた。

(3) 上記結果を受けて、PCB 基板上にプロトタイプ回路を構成し、実験的検証を行った。ここでは、前年までに確立したマイクロ波周波数帯でのカオス信号制御による特性評価法を応用した。

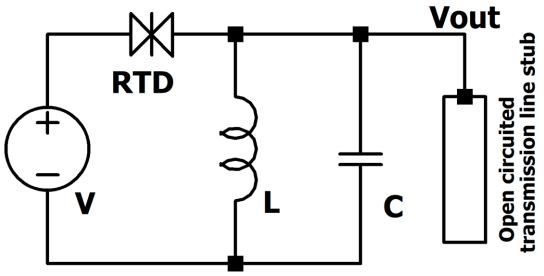


図 1　伝送線路スタブ付き RTD 発振器

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

(1) 図 1 に示す回路のシミュレーションを行い、

カオスを含む、非線形特有の複雑な振る舞いを確認した。図 2 にカオスと思われる出力波形の一例を示す。また、伝送線路長をパラメータとして分岐図を描くと図 3 に示すように period adding bifurcation に類似の結果が得られた。このことは、伝送線路スタブにより RTD 発振器の振る舞いが大きく変化することを示しており、回路設計上非常に重要である。

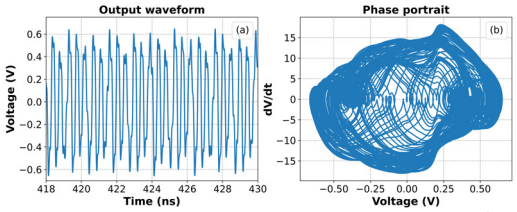


図 2　カオス波形の一例とその相空間軌道

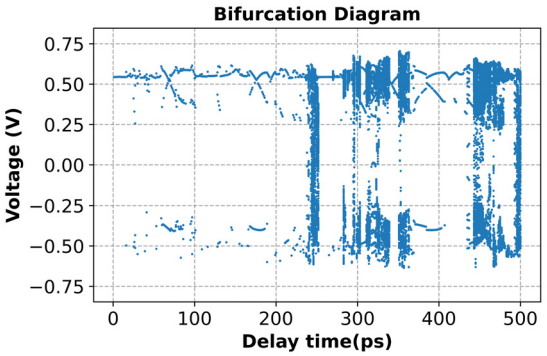


図 3　図 1 の回路のシミュレーションにより得られた分岐図

(2) 次に、図 1 の回路を PCB 基板上に作製した。RTD は InGaAs/AlAs 系のエピタキシャル基板上に作製したもので、1.7mm 角のチップに切り離した上で PCB 上に実装した。PCB 上の配線との接続にはワイヤーボンディングを用いた。共振器はチップインダクタ、チップコンデンサで作製した。寄生成分の影響を避けるため、共振周波数は2GHz 程度の低い値とした。作製した回路のチップ写真を図 4 に示す。この回路の出力は伝送線路のギャップを用いたキャパシタ結合を用いて取り出し、計測器の影響を最小化した。また、回路は電圧パルスを用いて駆動し、間欠的な動作を行い、そのパルスをサンプリングオシロスコープのトリガパルスとすることで非周期的信号の観測を可能とした。スタブ先端をナイフで削除することにより長さを変化させて測定を行った。図 5 に異なる長さのスタブを持つ発振器の出力波形の例を示す。上から順に 2 倍周期信号、準周期的信号、カオス信号である。これらの図に見られるように、回路はカオス系に特有の複雑な挙動を示すことが確認できた。

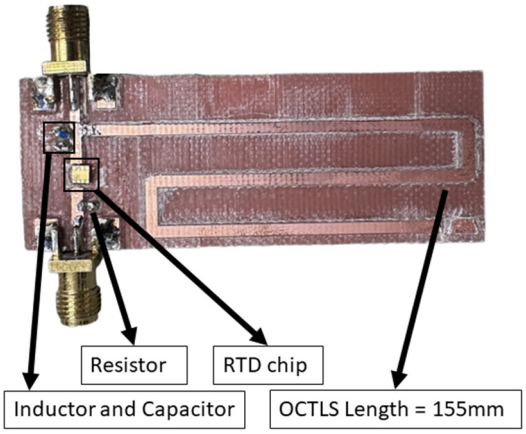


図 4　作製したオープンスタブ付き RTD 発振器の外観

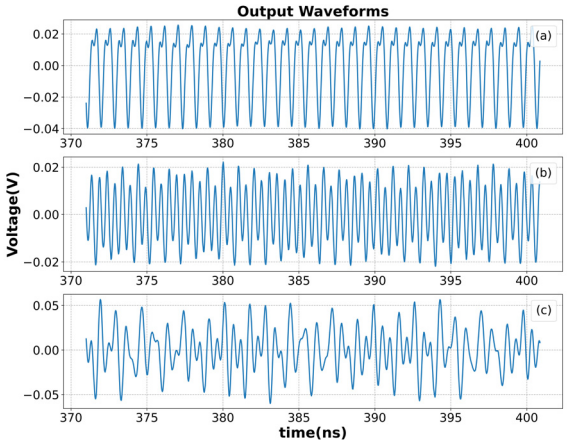


図 5　測定結果の例。上から 2 倍周期、準周期、カオス波形。

(5-2) 波及効果と発展性等

上で述べた結果は、RTD を用いた 100 GHz 以上の超高周波領域での制御されたカオス信号の生成、及び、それによる情報処理の基盤となるものである。カオスを用いた超高速暗号化通信や、新しい情報処理アーキテクチャーに基づいた超高速集積回路など様々な応用が期待できる。

また、今回の結果は伝送線路スタブのような時間遅れで反射が生じる回路パターンが存在することにより、通常の発振器と異なる複雑な減少が生じうることを意味しており、特に THz 領域では重要な影響を与えうる。そのため、ここで得られた知見は今後の RTD 発振器の設計に重要な意味を持つと考えられる

[6]まとめと今後の課題

本研究では、RTD 発振器の非線形性に着目し、カオスを含む複雑な振る舞いが生じることを明らかにした。今後は、カオス生成の条件を明らかにするとともに、その応用可能性を検討していく。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・中村浩輔、森雅之、前澤宏一、「共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器の発振初期過程の観測」、令和 5 年度(2023 年)応用物理学会　北陸・信越支部 学術講演会 A01

・清水晴喜、森雅之、前澤宏一、「共鳴トンネル素子と周波数ΔΣ変調方式を用いた走査型マイクロ波近接場顕微鏡の提案」、令和 5 年度(2023 年)応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会 A02

共同プロジェクト研究報告書

採択番号：R03/A11

研究課題名

端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究

[1] 研究組織

研究代表者：
吉田　賢史（龍谷大学先端理工学部）
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：
朝倉　俊哉（鹿児島大学大学院理工学研究科）
亀田　卓（広島大学・ナノデバイス研究所）
西川　健二郎（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

5G と呼ばれる第５ 世代の移動通信システムでは，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 28GHz 帯通信についてもサービスが開始されている．しかし，現状で市販されている 5G 端末では，すべての機種に 28GHz 帯の通信機能は搭載されておらず，ハードウェア的なハードルの高さが端末価格に反映されている．次世代の６G や７G においては，更なる通信の高速化のため，より高い周波数帯である 60GHz 帯の採用の可能性もあり，ソフトウェア，ハードウェアを問わず多くの分野において基礎研究を進めておくことは適切な時期が到来した際にスタートダッシュを決めて日本の技術力を示す際に重要となる．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．マイクロ波帯に比べ電波の直進性が高く，かつ伝搬損失が大きいためアンテナの利得を大きくするアレイ化が必須となる．しかし，利得を上げることはビーム幅を狭くすることであるため，レーザポインタのようにピンポイントで端末の位置や方向を調整し続けなければ安定した通信ができない．これでは実用性にかけるため，提案者らは 60 GHz 帯 3 次元指向性制御アンテナを

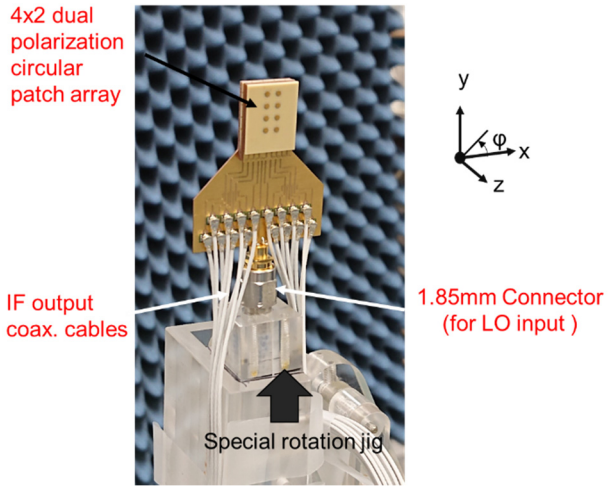


Fig.1 The fabricated antenna.

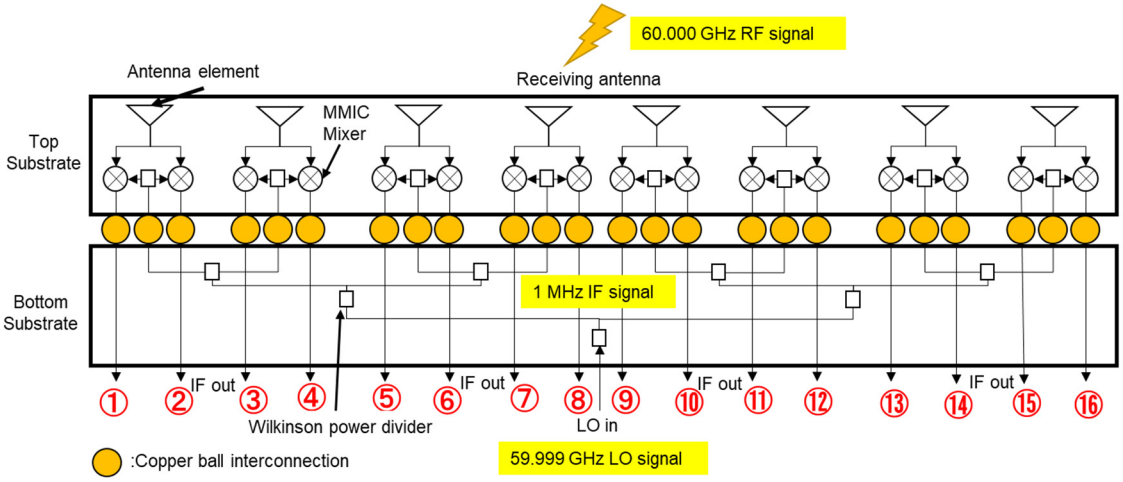


Fig.2 The block diagram of the fabricated antenna.

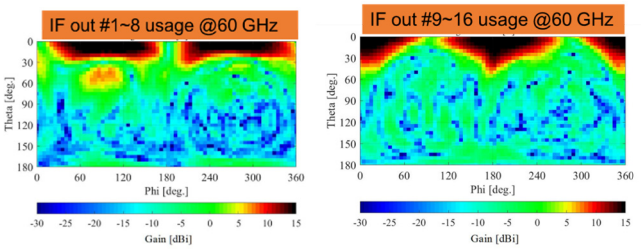


Fig. 3 Measured radiation patterns with co-feed condition.

提案している．電磁界シミュレータによる設計のみならず，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大きな研究目的とする．

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトは，本年度が第 3 年度目（最終年度）である．昨年度は 4 × 2 構成のパッチアレイアンテナの測定を行ったが，基板 2 枚を積層する単純構造であり，アンテナ下部に配置された IF 信号配線用レイアウトがアレイアンテナよりも大きくアンテナ特性に与える影響が懸念された．今年度はそれらの IF 信号配線をアレイアンテナ基板と同じサイズの基板に収め，そのかわりに縦方向のサイズ増大を許容した場合の基板レイアウトでのアンテナ特性の評価を行った．アレイアンテナ自体はこれまでと同様の 4 × 2 構成のパッチアレイアンテナである．測定生データを MATLAB により処理し，3 次元指向性パターンを得た上で，利得が 10 dBi 以上となる領域を抽出する．位相差給電操作も MATLAB 上で行い，デジタルビームフォーミングを行った場合のカバレッジアンテナを評価した．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

図 1 は提案アンテナの全体構造の写真である．また，図 2 は提案アンテナのブロック図である．提案アンテナは主に Top substrate と Bottom substrate の多層基板 2 枚を筆頭に，中間に IF および LO 信号の分配および伝送線路用の基板を配置した全 5 枚から構成されており，多層基板同士を銅ボール接続技術により積層した．銅ボール接続技術により，60GHz 帯の信号の基板間伝送と物理的な基板支持を可能にした．銅ボールの直径は 0.35 mm である．Top substrate にはベアチップの GaAs MMIC Mixer が多層基板上にフリップチップ実装されている．円形パッチ素子を用いた 4×2 アレイ構成とした．素子アンテナが 2 点給電型のため，各素子に 2 個ずつ，合計 16 個のミキサチップを搭載した．提案アンテナを受信アンテナとして動作させ，受信した 60 GHz の信号を 59.999 GHz の LO 信号により 1 MHz の IF 信号に変換し，その IF 信号をオシロスコープにより観測

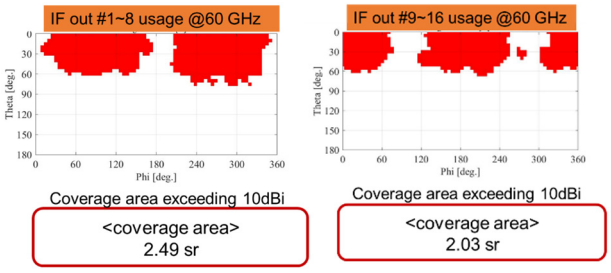


Fig. 4 Coverage area having over 10 dBi gain at 60 GHz while each orthogonal feeding point was used.

する．そのため，Bottom substrate には IF 信号を取り出すための表面実装型の W.FL 超小型同軸コネクタを搭載している．また，LO 信号の分配には Wilkinson divider を用いた．基板材料は MEGTRON7 である．

これまで提案者らにより維持管理されてきた東北大学電気通信研究所の測定系を用いて，60 GHz 帯における 3 次元放射パターン測定を行った．図 3 は全ての素子アンテナを同相給電した場合の 3 次元放射パターンである．直交 2 点給電の素子アンテナを用いたため，2 種類に分けて表示している．図 1 で示す座標系の+z 方向，すなわち theta が 0 度方向に強い放射が認められ，所望の動作を確認できた．

その後，位相差をつけた場合の 3 次元放射パターンデータを MATLAB によりデータ処理を行って，利得が 10 dBi 以上となる領域を抽出し，カバレッジエリアと定義し評価する．図 4 は各素子アンテナの給電位相差を 45 度刻みで得られる全 64 個の組み合わせの 3 次元放射パターンから 10 dBi 以上の利得となる領域を足し合わせたカバレッジエリアである．素子アンテナは直交 2 点給電されるため，それぞれの偏波ごとにカバレッジエリアを評価する．上は port1 から 8 を用いた結果，下は port9 から 16 を用いた結果となっており，phi 方向で 90 度移動した結果が得られたことから，偏波の直交性を確認できた．

(5-2) 波及効果と発展性等

2020 年度に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のステージゲート審査が 2023 年末に実施され，最終的に Phase2 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．

[6]まとめと今後の課題

3 年間の研究期間内に，パッチ素子を用いた 60GHz 帯パッチアレイの測定評価を行い，今後大規模アレイ化していくための基礎となるノウハウや知見が得られた．今後は具体的な大規模アレイの設計に入りたい．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・特になし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・S. Yoshida and K. Nishikawa, “Dependable wireless powering for the wireless sensor station by using combination of solar cell and rectenna,” in Proc. IEEE AP-S Int. Symp., July 2023.

・S. Yoshida and K. Nishikawa, “Effect of the shielding for opened windows of the reusable vehicle test for 5.8-GHz-band microwave power transmission,” in URSI XXXVth General Assembly and Scientific Symp., Aug. 2023.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A12

研究課題名

５G・IoT のためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究

[1] 研究組織
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
中津川征士 (函館工業高等専門学校)
Chen Zhi Ning (National University of Singapore (NUS)
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）
古市 朋之（東北大学電気通信研究所）
大宮　学　（北海道大学）
小野 安季良 （香川工業高等専門学校）
海老田　のあ（函館工業高等専門学校）
鎌田 緋莉（函館工業高等専門学校）
浦上大世（奈良先端科学技術大学院大学）
草水愛斗（香川工業高等専門学校）
西山　真平（香川工業高等専門学校）

[2]研究期間
令和 3 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
（背景と目的）
本プロジェクトは，通信用の電波を，ワイヤレス電力伝送の技術により電波を電力に変えて IoT 端末に用いられるセンサーなどの駆動に用いるエネルギーハーベストの実現を目的とする．このため，八木宇田アンテナの原理を用いた電力伝送距離の拡張と，メタサーフェスの応用による，電力伝送エリア改善について研究を行った．
（概要）
本研究は、今年度が三年目に相当する．初年度は，八木宇田レクテナアレーについて，素子の先端部を折り曲げることによる構造の自由度向上，試作レクテナアレーのワイヤレス電力伝送効率のネットワークアナライザを用いた測定を実施し導波素子の効果を明らかにした．またメタサーフェスを送電部の背面に設置し電力の進行方向が送電部に対して傾いている場合でも電力を所望方向に伝送できることを明らかにした．第二年度は，ループ型八木宇田アレーアンテナの応用による素子変形と集中定数の装荷による小型化について検討し，解析と実験により効果を明らかにした．さらに，各レクテナ素子から得た電力を集約し，より高い電力を得る手法を，アレー配置を変化させて検討した．第三年度は，キャパシタンス装荷ループ型レクテナアレー，クロスダイポール型偏波共用レクテナアレーを考案し一層特性を向上させた．またダイオード装荷マッシュルーム型メタサーフェスによるビーム制御法について検討し国際会議などで発表した．
（研究打ち合わせ，討論会等の開催状況）
(1)2023 年 8 月札幌コンベンションセンター参加者 3 名（末松先生，陳先生，丸山）．
この会場で行われた URSIGASS 国際会議で得た質問やコメントを踏まえて今後の研究の進め方について議論し 9 月に電子レンジから漏れる電力を測定することを決定した．
(2)2024 年 2 月電気通信研究所末松研究室参加者 2 名（末松先生，丸山）
2023 年度の研究まとめに関する相談および年度からの末松先生から，ハンディタイプのスペアナとパワーメータをお借りし，使用方法についてレクチャーを受けて測定を実施した．その結果を踏まえて AWPT2023 に投稿した．
(3)2023 年 3 月鳥取大学，参加者 2 名 (末松先生，丸山)　今年度研究成果まとめ，および次年度の共同研究について打ち合わせを実施
(4)通年　総合大会や国際会議，MWE 展示会などの会場での技術討論，電子メールにて，参加者組織全員による投稿原稿などに関する意見交換を実施した

[4]研究計画及び内容
ループ型八木宇田応用レクテナアレーを函館高専丸山研究室海老田が，素子間相互結合の磁界結合 WPT への拡張検討を鎌田がインダクタおよびキャパシタ装荷レクテナについて中津川先生の指導の元海老田および鎌田が担当した．メタサーフェス，リフレクトアレーについては，今年度から香川高専小野先生および奈良先端大の浦上さんがメンバーに加わり検討を強化した．

［5］研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

八木宇田レクテナアレーの設計の自由度改善のため，ループ型八木宇田アンテナの応用を考えたが，整流回路が短絡するという問題があった．これを解決するためループに切り欠きを加えC型にしたレクテナアレーを報告した[1]．しかし，この場合はループアンテナとは異なる特性となり素子を小型にできない．そこで，切り欠きの代わりにキャパシタンスとすることで，ループ型のアンテナ特性を維持したまま整流回路を短絡させないレクテナアレーを考案し報告した[2], [3], [4]．また，小型アンテナを実現するのに通常用いられるインダクタンス装荷が，八木宇田アンテナ，さらにはレクテナアレーの小型化にも有効となるか，電磁界解析による検討を行いその効果を明らかにした[5].. [9]．これまでの検討では，整流ダイオードをそのまま半波長ダイポールアンテナとして用いるレクテナを構成し電子レンジの漏れ波を利用したエネルギーハーベストによる LED 点灯実験を行ってきた．これに対して，本研究では，レクテナで点灯する２つの LED もアンテナとして用いてクロスダイポールアンテナを構成してアレー化し，テザリングモードによる Wi-Fi 電波のエネルギーハーベストによって同時に 16 個以上のレクテナの点灯，携帯端末から 150ｍｍ離れたところの LED の点灯に成功しその成果を報告した[10]..[12]．図１にクロスダイポール型レクテナアレーの解析モデルを，図２にワイヤレス電力伝送効率をそれぞれ示す．レクテナをアレー化しない場合は，素子間距離を離すにつれて減衰するのに対して，レクテナをアレー化した場合は，給電ポートとの距離を離してもワイヤレス電力伝送効率が変化しないことがわかる．Wi-Fi テザリングモードによる LED の点灯実験を図３に示す．素子をアレー化することによって波源から 150 mm 離れたところでも LED が点灯していることが確認できる．次にメタサーフェス応用について大型ビアを有するバラクタダイオード装荷マッシュルーム構造を用いてビームの方向制御を可能とするマルチバンドリフレクタを考案報告した [13], [14]．IoT 端末に対して同時無線電力伝送を可能とするマルチビームメタサーフェス反射器を考案し報告した[15]．マッシュルーム型メタサーフェスにおいてマルチビア構造を用いることによる反射位相特性改善法について検討し，その結果を査読付き国際会議 TJMW&AWPT 2023 で報告した[16]. これまで実施してきた空間伝送型ワイヤレス電力伝送における素子間相互結合を，磁界結合ワイヤレス電力伝送にも応用する手法について検討し，その成果を報告した[17]..[19].

（5-2）波及効果と発展性等

本共同研究を発展させた内容で科研基盤研究 C24K07497 が採択された．IEEE WPTCE2024 より招待講演の，ISAP2024 においてセッションオルガナイザの依頼をそれぞれ受けた．海外共同研究者の Chen Zhi Ning 先生が，東北大学で開催された IEEE 国際会議 iWT2024 に参加するため来訪した．3 年間実施した本共同研究の成果を令和 5 年度共同研究プロジェクト発表会で報告した[20].

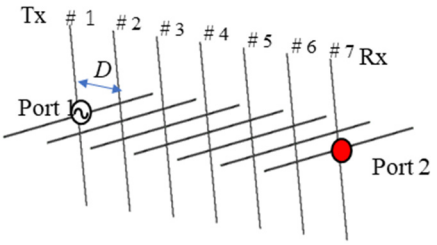


図１　クロスダイポール型レクテナアレーの解析モデル

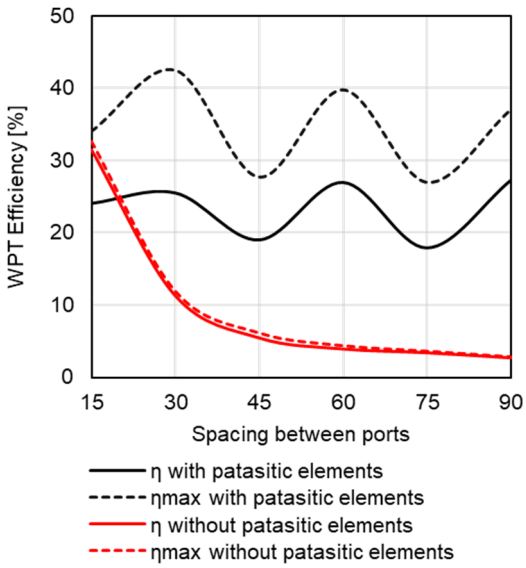


図２　クロスダイポール型レクテナアレーのワイヤレス電力伝送効率

図３　テザリングモードによる LED 点灯実験

[6]まとめと今後の課題

本共同研究プロジェクトを通じて，末松先生にご指導いただき，八木宇田構造を有するレクテナアレーの研究開発を進めることができた．メタサーフェスについては，3 年目から共同研究者のメンバーを増やすことにより，成果を充実させることができた．本研究成果をより発展させた形で，2024 年度から新たな共同研究プロジェクトに採択された．今後このプロジェクトで得た成果を論文にまとめて投稿する．

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] Tamami MARUYAMA, Noa EBITA, Masashi NAKATSUGAWA, Masaya TAMURA: “Novel C-shaped loop rectenna arrays for LED accessories,” IEEE URSI GASS 2023 pp.1-2, DOI 10.23919/URSIGASS57860.2023.10265330.

[2] Noa Ebita, Tamami Maruyama, Akari Kamada, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu: “LED Illumination Experiment through Energy Harvesting using Novel Capacitance Loaded Loop Rectenna,” Joint Workshop of Thailand-Japan MicroWave Workshop and Asian Wireless Power Transfer Workshop 2023 (TJMW&AWPT 2023) 23(202) 1-3 2023年12月.

[3]海老田 のあ, 鎌田 緋莉, 丸山 珠美, 中津川 征士, 田村 昌也, 末松 憲治: “キャパシタンス装荷ループ型レクテナの提案と エネルギーハーベストによるLED 点灯実験,” 令和５年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会 講演1(15) 20-21 2023年10月.

[4]海老田 のあ, 鎌田 莉, 丸山 珠美, 中津川 征士, 田村 昌也, 末松 憲治: “ キャパシタ装荷ループ型レクテナアレーの解析と LED 点灯実験 ”, 電子情報通信学会総合大会B(20) 14-14 2024年3月.

[5]Tamami Maruyama, Hiroto Ishiguro, Noa Ebita, Akari Kamada, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, ″Miniaturization of Yagi-Uda rectenna by impedance loading ,″ IEEE AP-S 2023, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting,AP-S 2023 1(1) 673-674 2023, DOI: 10.1109/USNC-URSI52151.2023.10237630.

[6] Tamami Maruyama, Noa Ebita, Akari Kamada, Hiroto Ishiguro, Masashi Nakatsugawa (NIT, Hakodate College, Jap, Masaya Tamura, Toyohashi University of Technology, Japa, Noriharu Suematsu, : “Novel compact rectenna array by integrating power-receiving and waveguide elements with loaded inductor,” Joint Workshop of Thailand-Japan MicroWave Workshop and Asian Wireless Power Transfer Workshop 2023 (TJMW&AWPT 2023) 2023(404) pp.1-4.

[7] 丸山珠美, 海老田のあ, 鎌田緋莉, 石黒大翔, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治: “インダクタ装荷による受電および導波素子一体型 レクテナアレーの小型化,” 信学技報, vol. 123, no. 252, WPT2023-25, pp. 12-16, 2023年11月.

[8]丸山 珠美, 石黒 大翔, 海老田のあ, 鎌田緋莉, 畑沢公陽, 中津川征士, 田村昌也, 末松 憲治: “インピーダンス装荷レクテナアレー,” 信学技報, vol. 123, no. 223, AP2023-121, pp. 123-126, 2023年10月.

[9]丸山珠美, 海老田のあ, 鎌田緋莉, 中津川征士, 田村昌也, 石黒大翔 : “八木宇田構造応用レクテナのインピーダンス装荷による小型化,” 信学技報, vol. 123, no. 115, MW2023-47, pp. 111-114, 2023年7月.

[10]丸山珠美, ハイネン オラン, 海老田のあ, 鎌田緋莉, 中津川征士, 田村昌也, 末松憲治, “クロスダイポール型レクテナアレーの解析特性とテザリングによるLED点灯実験,” 信学技報, vol. 123, no. 437, WPT2023-58, pp. 111-116, 2024年3月.

[11] Tamami Maruyama, Olan Heinen, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, “Analysis and LEDs Illumination Using Wi-Fi Tethering of Novel Crossed Dipole Rectenna Array,”2024 IEEE Wireless Power Technology conference and expo (WPTCE 2024) 124-127 2024年5月.

[12] HEINEN Olan, Tamami Maruyama, Olan Heinen, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, “Experiment of Simultaneous Illumination of Multiple LEDs by Receiving the Radio Waves of Wi-Fi Tethering with Rectenna Array,” 信学技報, vol. 124, no. 4, WPT2024-2, pp. 7-11, 2024年4月. 124(4) 7-11 2024年4月.

[13] Taisei Urakami, Tamami Maruyama, Akira Ono, Na Chen, Minoru Okada. “ Variable Multi-Band Metasurface Reflector with Controllable Direction Using Varactor Diodes Mounted Large-Via Mushroom-Type Structure, “18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2024) pp. 804-808, 2024.

[14] 浦上大世, 丸山珠美, 小野安季良, 陳 娜, 岡田 実. “バラクタダイオード装荷型マッシュルーム構造を用いた反射方向と周波数帯を考慮したメタサーフェス反射板,” 信学技報, vol. 123, no. 396, MW2023-190, pp. 78-83, 2024年2月. 123(396) 78-83 2024年2月.

[15] 西山真平, 浦上大世, 中村一智, 依岡寛人, 丸山珠美, 岡田 実, 小野安季良: “多端末無線電力伝送に向けたマルチビームメタサーフェス反射器,” 信学技報, vol. 123, no. 437, WPT2023-39, pp. 20-25, 2024 年 3 月. 123(437) 20-25 ,2024年3月.

[16] Taisei Urakami, Tamami Maruyama, Shimpei Nishiyama, Manato Kusamizu, Akira Ono, Takahiro Shiozawa: “Reflection Phase of Mushroom-Type Metasurface Reflector with Multi- and Single-Via Structures, ” Joint Workshop of Thailand-Japan MicroWave Workshop and Asian Wireless Power Transfer Workshop 2023 (TJMW&AWPT 2023) 23(104) pp.1-3, 2023.
[17]鎌田 緋莉, 海老田 のあ, 丸山 珠美, 中津川 征士, 田村 昌也, 末松 憲治: “ 両側同時給電における磁界結合 WPT 用コイルの向きと kQ 積の関係”, 電子情報通信学会総合大会 B(20) 7-7 2024 年 3 月.
[18] Akari Kamada, Tamami Maruyama, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, Noriharu Suematsu, ″Coil Orientation Impact on Efficiency in Double-Sided WPT with Magnetic Field Coupling″, AP-S 2024 (Accepted).
[19] 鎌田緋莉, 丸山 珠美, 中津川征士, 海老田のあ, 田村昌也, 末松 憲治 : “両側同時給電における磁界結合 WPT 用コイルの向きの 効率に対する影響,” 信学技報, vol. 123, no. 396, MW2023-178, pp. 21-24, 2024 年 2 月. 123(396) 21-24 2024 年 2 月.
[20] 丸山珠美, “IoT 用エネルギーハーベストのための受電および導波素子一体化レクテナアレーに関する研究,” 令和 5 年度共同研究プロジェクト発表会, セッション３, 2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

共同プロジェクト研究

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A13

研究課題名

広帯域光電子機能集積デバイスを用いた低遅延かつシームレスなアクセスネットワークに関する研究

[1] 研究組織

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（東北大学災害科学国際研究所）

檜垣　長太（公立千歳科学技術大学）

及川　怜聖（公立千歳科学技術大学）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

背景：

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、5G の商用化に伴い、その先を見据えた beyond-5G や 6G の技術検討が開始されている。一方、実サービスにおいても、自動運転や拡張現実・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。近年では、NTT が提唱する IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想も、この要求の実現を目指した手法のひとつである。一方、これらのネットワーク基盤のカバーエリアを拡張させ、あらゆる場所からのネットワークアクセスを可能にすることが期待されている。近年着目されているエリアの一つが成層圏や宇宙空間と地上間との通信である。もう一つが電波の不感領域である水中・海中と地上との通信である。我が国は四方を海に囲まれた海洋国家であり、広い大陸棚や多くの港湾が存在し、これらのエリアをネットワーク化することによって、様々な IoT 関連サービスを提供する基盤を構築することが可能となり、新たな経済成長や環境保全に貢献することができる（図１）。近年、水中での透過性が高い青・緑色領域を用いた光無線通信が注目を集めている。しかしながら、海中・水中の通信方式と既存の陸上の通信方式は大きく異なっており、これらをシームレスに接続し、低遅延性を確保することが課題となっている。

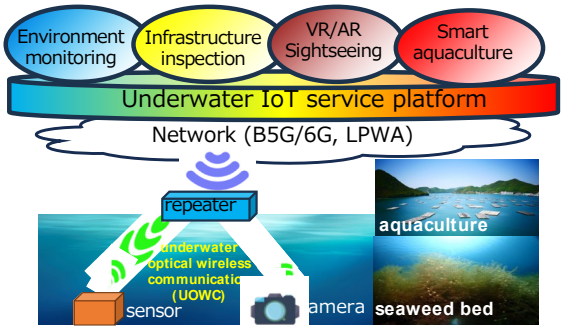


図１　水中 IoT サービスプラットフォーム

目的：

この課題を解決するために、本研究では、図２に示すように海中・水中から陸上までシームレスに接続可能な通信方式を提案し、その実現性を検証することを目的としている。

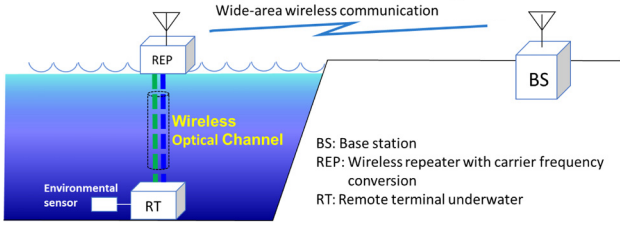


図２　水中-陸上間シームレス無線通信の概要

[4]研究計画及び内容

対象とする無線通信技術として、陸上のセンサーネットワークとして広く普及している LPWA(Low Power Wide Area)技術に着目した。LPWA で用いられている 980nm の周波数領域は水中での減衰が大きく直接用いることはできない。そこで、水中では前述した青・緑色の可視光を用いた無線通信を採用する。このように、地上と水中での無線通信のキャリア周波数が大きく異なるため、図２の中継器(REP)ではその差異を解消するしくみが必要となる。考えられる方法として、中

継器において地上の通信方式（変調フォーマット）を終端し、新たに水中向けの通信方式に変換する方法がある。この方法は、水中区間に最適化した通信方式を採用することが可能であるが、中継器のコストが増大する。もう一つの方法は、フルコヒーレント方式である。所謂、地上から水中までの通信方式をそのままとし、中継器においてキャリア周波数変換のみを行うものである。今回は、地上区間の変調無線信号を、中継器に内蔵されている水中区間向けの可視光 LD に重畳させ、LD のアナログ的な直接変調を行う方式を採用した。この方式は水中環境に最適化されたものではないものの、陸上の無線方式の送受信器に変更を加えることなく、簡便に水中までそのカバーエリアを拡大できるメリットがある。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

図３に陸上・水中間のフルコヒーレント方式に関する実験構成を示す。通信方式は IEEE802.15.4d 準拠のマルチホップ無線（920 MHz 帯）を用い、その１区間を水中区間とした。水中区間は水槽を用い、ミラーによって折り返された全 2.4m である。水中区間では、青(450nm)/緑(520nm)LD を用いた光無線に変換した。具体的には、ある固定バイアス電流で発光している LD の変調端子からマルチホップ無線信号を入力した。また、Si-APD の受信信号をマルチホップ無線装置の信号ポートに入力する。変調フォーマットは GFSK、信号速度は 100kbps である。

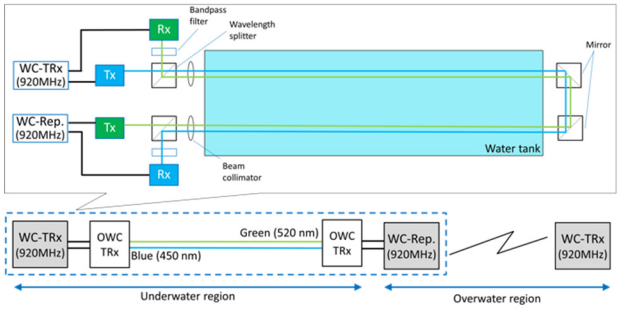


図３　陸上・水中間の伝送実験構成図

図４に、水中区間前後での無線信号スペクトルを示す。信号波形に大きな変化が見られなかった。この結果により、光信号への変換による劣化が無いことが確認できた。

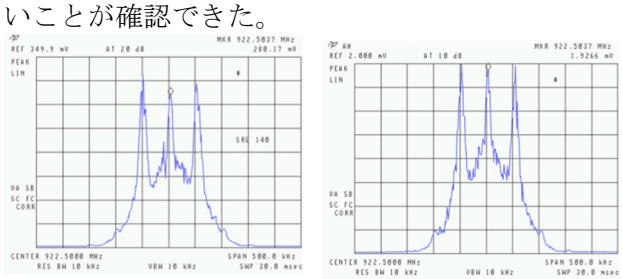


図４　無線信号スペクトル（左：水中区間前、右：水中区間後）

次に、水中区間のエリア拡張性について検討した。図５に、マルチホップ無線信号の RSSI 値と光送受信器の受信信号レベルとの関係を示す。左側が緑色、右側が青色 LD を用いた場合である。無線信号の変調信号強度を高めるほど、RSSI 値が高くなる。一般的に RSSI が-100dBm 以下では通信品質が保証できないことを考慮すると、受信強度の下限は-35dBm 程度と考えられる。LD の出力強度を 15dBm とすると、光送受信レベル差は 50dB となる。光フィルタなどの光学部品の損失を 5dB としてその分を差し引くと、沿岸部の水質（1.5dB/m）である場合で 30m、よどんだダムのような水質（3.0dB/m）の場合でも 15m のエリアを確保できることが明らかとなった。

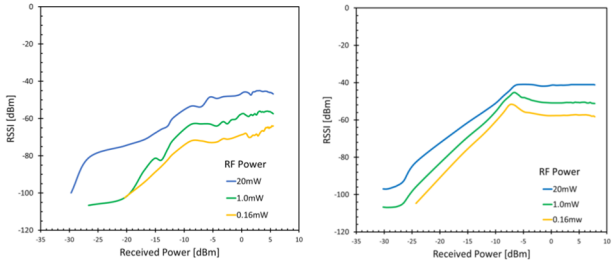


図５　RSSI 値と光受信レベルとの関係（左：緑色、右：青色）

最後に、水中・陸上間の end-to-end のパケット伝送実験を行った（図６）。受信レベル-25dBm 以上において、パケットエラーフリーな動作を確認した。

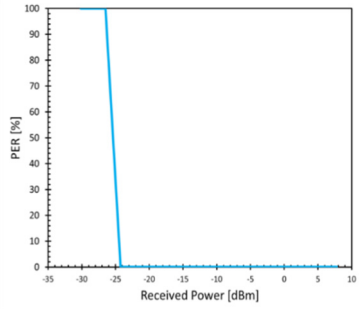


図６　パケットエラーレートと光受信レベルとの関係

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは、光アクセスネットワークの低遅延性を活かしたサービスエリアの拡大を想定している。これは、これから本格化する次世代光・無線融合アクセス（beyond-５G:B5G）のスコープでもあり社会的に意義がある。

[6]まとめと今後の課題

フルコヒーレント方式を用いた地上・水中間のシームレス伝送方式を提案し、その有用性を示した。今後の課題として、光の特性を活かした大容量化ならびに、通信チャネルの信頼性向上、さらには光電融合デバイスの活用によるシステムの経済化が挙げられる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] Nagataka Higaki and Naoto Yoshimoto, “Requirements for LED Matrix in Optical Camera Communications Using QR Code Recognition System,” 23th Chitose International Forum (CIF23), IT_11, September 2023.

[2] Ryusei Oikawa, and Naoto Yoshimoto, “Experiments on long-term stability of full-coherent underwater optical wireless communication,” 23th Chitose International Forum (CIF23), VO_11, September 2023.

[3] Ryusei Oikawa, Nagataka Higaki,and Naoto Yoshimoto, “First Demonstration of End-to-End Wireless Signal Transmission between Over- and Under-water region using Visible Light Sources,” 2023 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2023), P3-16, December 2023.

[4] 及川怜聖,檜垣長太,吉本直人, “光無線技術を用いた 920MHz 帯マルチホップ無線通信の水中へのカバレッジ拡張,” 信学技報, OCS2023-58, 2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[1] 吉本直人、鈴木謙一 「可視光を用いた水中 LiDAR の開発」電子情報通信学会誌 Vol.J106-C, No.6, pp.208-215,2023

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A14

研究課題名

現実世界に重畳された情報インターフェイスを用いた IoT デバイスおよびロボットの操作・可視化技術

[1] 研究組織

研究代表者：
鈴木　遼（カルガリー大学）

通研対応教員：
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本研究の目的は、環境に溶け込まれた IoT デバイス及びロボットの操作を、コンピュータのディスプレイを介してではなく、現実世界に埋め込まれた情報インターフェイスを通じて可能にすることである。具体的には、拡張現実ディスプレイ（Augmented Reality / AR Display）を用いて、IoT/ロボットの操作、センサー情報の可視化、さらに人と IoTデバイス/ロボットとのインタラクションを可能にするための基盤技術を開発する。

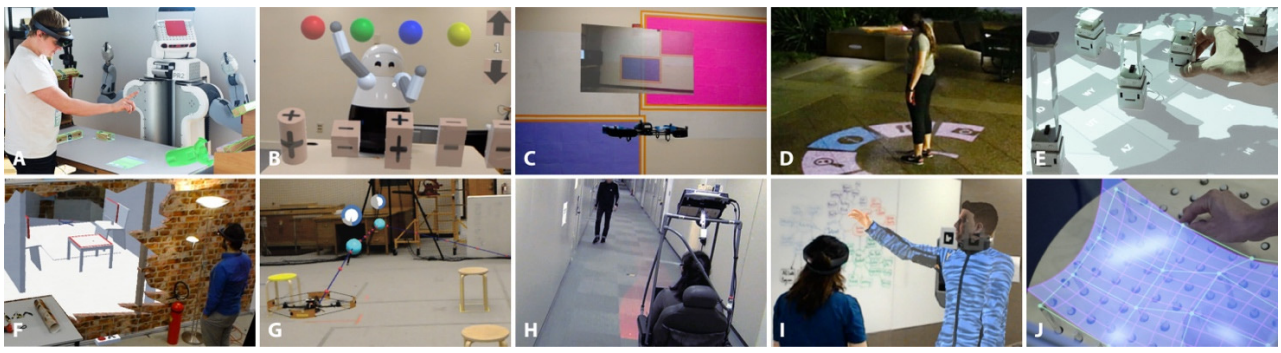
近年、IoT やロボットは急速に我々の環境に溶け込まれてきている。環境に埋め込まれた IoT やロボットを使って、部屋の温度や光量を変化させたり、自動的に掃除を行ったり、センサーを使った健康管理などはもはや当たり前の風景になりつつある。しかし、そうした環境に埋め込まれた IoT デバイスやロボットとのインタラクションや操作が必要になると我々は未だにコンピュータディスプレイに頼らざるを得ない。例えば、スマート電球の光量や色を変化させようとすると、我々はスマートフォンを探しに行き、2 次元のインターフェイスで操作を行う。ロボットのプログラムにしても、コンピュータディスプレイと物理世界にあるロボットを行ったり来たり行いしながらテストを行う。すなわち、IoT デバイスやロボットは我々の環境に埋め込まれているにも関わらず、その操作端末すなわちコンピュータディスプレイに大きく依存している。

我々の目標は、この IoT デバイスやロボットの操作を 2 次元のコンピュータディスプレイを介してではなく、現実世界に情報を埋め込むことで、人間と環境とのより自然でシームレスなインタラクションを可能にできると考えている。

[4]研究計画及び内容

現在の AR 技術は主に、バーチャルな情報を現実世界に投影することに焦点を当てている（例えば、ポケモン Go などのアプリケーションでコンピュータグラフィックス・モデルを現実世界に投影するなど）。しかし、我々が知りうる限りでは、IoT やロボットと AR をつなぐ技術はまだ比較的初期段階にあり、我々が大きく貢献できる余地が残されていると考えている。これには大きく 2 つの挑戦課題がある。

一つは、IoT やロボットから得られたセンサー情報と AR をつなぐ技術である。バーチャルモデルを現実世界に投影する場合スマートフォンなどのカメラ情報のみで完結するが、IoT やロボットな



ど物理的なデバイスとのインタラクションを行う場合、そうした外部のデバイスのセンサー情報とAR ディスプレイの情報を統合しなければならない。外部から得られたセンサー情報をどのように可視化するか、また情報として提示するか、といった点についてはまだ大きな研究余地が残されている。

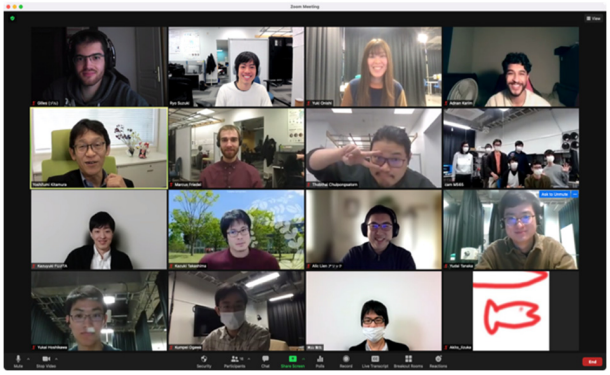
もう一つが、ロボットや IoT デバイスを操作する際のインタラクションに関する課題である。例えば、スマートフォンで操作する場合は、画面上にあるボタンなどをタップするだけのシンプルなものになるが、AR ディスプレイを介したインタラクションはより自由度の高いインタラクションが可能になる。例えば、ジェスチャーを使うのか、音声を使うのか、物理的なインタラクションを行うのか、またそれらすべてを状況に応じて使い分けるのか、もしくは全く違うインタラクションの方式になるのかは、まだ答えは出ていない。
この新たなインタラクションを提示し、ユーザー実験を通じて評価していくことも重要な研究課題になっている。

本研究では、こうした 2 つの課題に対して、東北大学の北村教授のグループと蜜に連携を行いながら研究を行い、拡張現実を使った新たなユーザーインターフェイスおよびインタラクションをデザイン、プロトタイプ、及び評価を行っていくことを目指す。

［5］研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

2021（令和 3）年度は、大きな成果が得られた。まず、はじめに、東北大学北村研究室とカルガリー大学の鈴木研究室で、共同研究ミーティングを行った。共同研究ミーティングでは、それぞれの学生が自分たちのデモや研究発表を行うという形式で、延べ２０名前後の参加者による積極的な意見交換が行われた。コロナ禍ということで、Zoom の形式で行われたが、非常に学生たちに高評価であり、機会がある際にまたやりたいという声を多数出た。Zoom を使うことで、多くの学生が参加する機会を得られたことは非常に大きな意義があったと考えている。共同研究で発表された内容は、この研究計画に関わる多岐にわたる研究

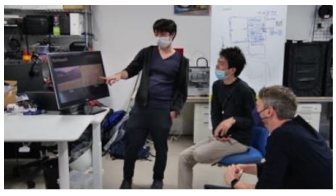


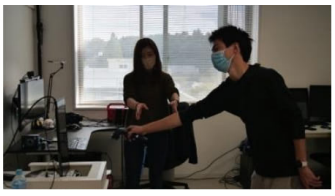
アイデアで、拡張現実を用いたインターフェイスのアイデアや、仮想現実世界でのロボットを用いた、触覚フィードバックデバイスの研究アイデアなどが発表された。

2022（令和 4）年度は、初めて東北大で対面方式で打合せを行い、具体的に共同研究のプロジェクトを開始した。まず、カルガリー大学の鈴木が 10 月に東北大の北村研究室訪問した。訪問中は、北村研究室の様々なデモを試し、学生へのフィードバックやディスカッションを行った。また、この研究室訪問から、具体的な成果も生まれた。

具体的な成果の一つは、北村研究室の博士課程の学生である、大西悠貴さんのプロジェクトへのフィードバック・ディスカッションから発展し、彼女の博士論文へのアドバイスを行った。それをきっかけに、鈴木が彼女の博士論文の審査員の一人として論文指導を行った。彼女へのフィードバックは Zoom や、二人とも出席した UIST 2022 のカンファレンス会場でのディスカッションなどを通じて行った。彼女の博士論文のフレーミングに大きく寄与できたと同時に、今後の共同研究プロジェクトのアイデアもそれらのディスカッションを通じて生まれる、大変有意義なディスカッションになった。

二つ目に、共同プロジェクト研究として、ソフトロボットを使った VR の触覚デバイスの研究を開始した。このアイデアは、東北大学への訪問時に、北村研究室の修士一年学生である、五味諒太くんとのディスカッションがきっかけとなったものである。彼は、これまで ZoomWalls というような壁型の VR の触覚提示デバイスを開発していたが、それの延長線上として、形状変化ができる大型の VR 触覚システムを開発できないか、というディスカッションになった。





2023（令和 5）年度は、前年度のコラボレーションを元に大きな成果を上げた。その一つは、ACM CHI 2024 という、ヒューマンコンピュータインタラクション分野の最重要トップカンファンレンスでのフルペーパーの発表である。

今年度の前半に、前年度にディスカッションを行ったアイデアをベースに、鈴木の過去の研究である、LiftTiles や HapticBots といった研究プロジェクトを元に、アイデアを固めていった。それらのもとで、現在 InflatableBots という、自律走行型ロボットと空気圧制御のインフレータブルオブジェクトを組み合わせた、触覚システムを開発している。バルーンのようなインフレータブルを使うことで、安全で柔らかく、かつサイズを自由に大きくできる触覚システムが開発可能だと考えている。具体的なプロジェクトの実装は 2022 年の 12 月頃からはじめ、北村研究室と週に 1 回のペースで、Zoom でミーティングを行い、プロジェクトを進めた。その成果として、ACM CHI へ 9 月に論文を投稿し、晴れてアクセプトされ、2024 年 5 月の学会で発表する運びとなった。ACM CHI は採択率が 20-25%で、HCI 分野のトップカンファレンスで、難易度は高く、東北大学の修士課程の学生が筆頭論文として通すことは、快挙であり、この共同プロジェクト研究がなければ実現しなかった。

（5-2）波及効果と発展性等

今後の予定として、引き続き、共同研究を進め、来年度は、共同プロジェクトから生まれたトップカンファレンス論文を発表したいと考えている。また、東北大訪問時において、北村先生と、より大型の助成金の応募についても検討を始めた。その一つとして、研究代表者が採択された JST さきがけが挙げられる。これらの他の助成金を通じて、より東北大学とカルガリー大学との共同研究を強化していきたいと考えている。また、東北大への訪問は非常に有意義で実りの多いものだったため、引き続き続けて行こうと考えている。また、逆にカルガリー大学の客員研究プログラムを通じて、東北大学の大学院学生を短期のインターンとして、カルガリー大学に迎え入れたいと考えている

[6]まとめと今後の課題

東北大学北村研究室とカルガリー大学鈴木研究室の共同研究は、多くの成果を上げた。特に、VR 触覚デバイスの研究や博士論文指導で大きな進展があり、ACM CHI 2024 での発表という快挙を達成した。今後の課題として、継続的な共同研究の推進、大型助成金の獲得、相互訪問プログラムの拡充を図り、研究環境をさらに整備していく予定である。これにより、両大学間の協力関係を強化し、新たな科学技術の発展を目指している。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

Ryota Gomi, Ryo Suzuki, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, and Yoshifumi Kitamura. ″InflatableBots: Inflatable Shape-Changing Mobile Robots for Large-Scale Encountered-Type Haptics in VR.″ In Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-14. 2024 (CHI ’ 24).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

Ryo Suzuki, Adnan Karim, Tian Xia, Hooman Hedayati, Nicolai Marquardt. Augmented Reality and Robotics: A Survey and Taxonomy for AR-enhanced Human-Robot Interaction and Robotic Interfaces. In Proceedings of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2022. (CHI ’ 22)

Ryo Suzuki, Eyal Ofek, Mike Sinclar, Daniel Leithinger, Mar Gonzalez-Franco. HapticBots: Distributed Encountered-type Haptics for VR with Multiple Shape-changing Mobile Robots. In Proceedings of the Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM, 2021. (UIST ’ 21)

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A15

研究課題名

外界とのインタラクションを実現する再構成可能な頭部搭載型ディスプレイに関する研究

[1] 研究組織
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（大妻女子大学）
酒田信親（龍谷大学）
高嶋和毅（芝浦工業大学）

[2]研究期間
令和5年4月　～　令和6年3月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
本研究では，手動で再構成可能なモジュラー機構を用いた新たなモバイルヘッドマウントディスプレイ（HMD）を開発する．この HMD では，フェイスカバーやヘッドベルト部を改造してモジュール化し，没入感の高い広視野 VR 体験を可能にしつつも，必要に応じてモジュールの着脱により視界周辺部での実物体や近接者とのアドホックなインタラクションを可能にする．複数の試作機を実装し，HMD を用いたあらたなインタラクションの形態を議論する．

[4]研究計画及び内容
本年度は，これまでの共同研究成果をベースとして，そもそも下方視野を拡大したHMDのメリットが十分に調査されていない点に着目し，これを調査した．また，研究代表者と分担者は，メールやオンライン会議ツールを用いて協議し，今後の研究計画についても議論を深めた．

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
研究では，HMDユーザの没入感の高いVR体験を確保できるようにしつつ，必要に応じて外界とのアドホックなインタラクションを実現するために，モジュラー機構を用いて再構成可能な新たな HMD の概念を提案した．基本となる考えは，HMD の周辺部に着脱可能なモジュールを設置することで，ユーザの視界（眼球を動かして見える範囲）周辺部の眺めや機能を切り替えられるようにすることである．これにより，ユーザはモジュールを取り外して外界を認識でき，取り外したモジュールを即席の手持ちデバイスとして再利用することもできる．

図1は，本研究における現行のプロトタイプであり，小型の商用HMDの側面と底面に着脱可能な3 つのディスプレイモジュールを設置している．基本形態では，側面と底面の内向きのディスプレイモジュールを介して，通常より広い視野角を提供する．ユーザが VR 体験中に外界に意識を向けたい時には，側面や底面のモジュールを取り外すことで，視界周辺部で外界を視認できる．図1(b)はモジュールの状態によって変化するユーザの視点の様子である．Virtual modeでは広視野のVR コンテンツを視聴できるが，側面モジュールを取り外したRemovedモードでは，周辺視野で近くの人やモノを視認できる．さらに，取り外したモジュールをインタラクションデバイスとしてユーザ自身が再利用したり，近接者に貸し出すこともできる．このように，モジュールを取り外し，再利用し，返却するというサイクルを経ることで，余分なデバイスを使うことなく，HMD による境界問題を緩和できる．

本研究の成果は，ヒューマンインタフェース関連最大の国際会議ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systemsや同分野のトップ会議 UIST2021 (User interface software and Technology) にて発表した．また，ディスプレイ関連の国際会議 IDW (Interactive Display Workshop)にて招待講演し，国内のディスプレイ企業のエンジニアや研究者と情報交換する機会を得た．

今年度は，下方視野を拡大したHMDのメリットが十分に調査されていない点に着目し，ほぼ真下まで視認できるHMDを用いてその効果を検証した（図2）．その結果，VRやARにおいて自己アバタを視認できることによる臨場感の向上や歩きやすさの向上などのメリットを確認した．この成果はAR/VR 分野のトップ会議 ISMAR にて口頭発表している．

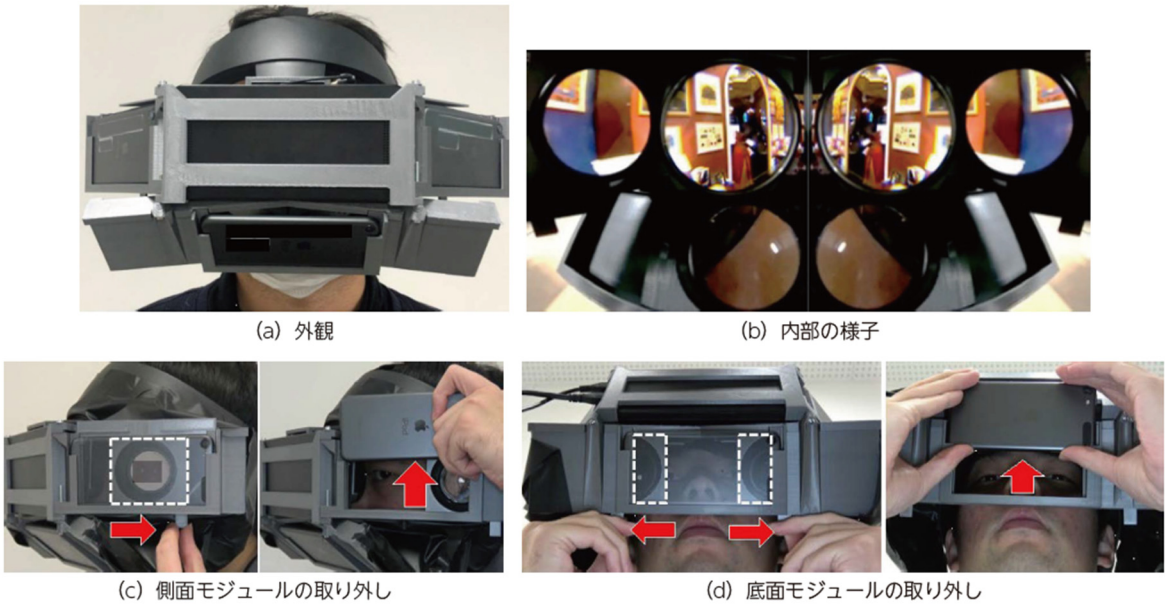


図 1　ModularHMD の全体像

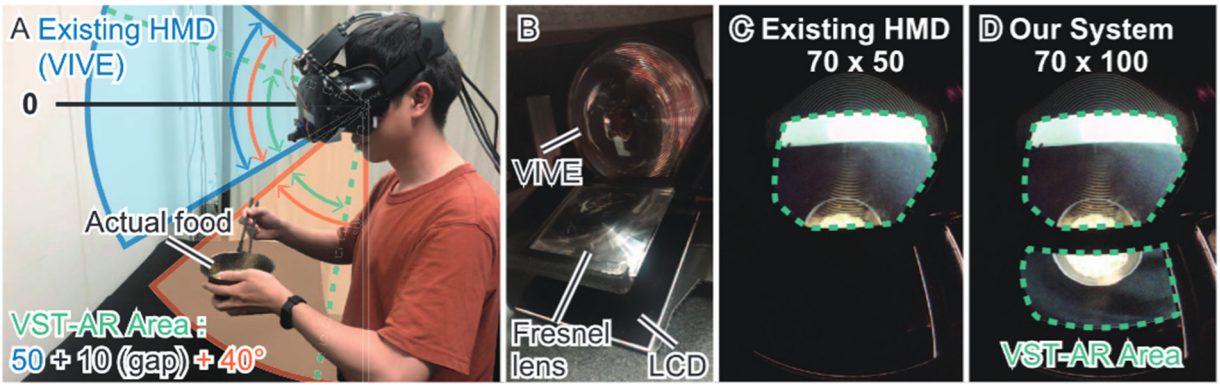


図 2 下方視野拡大 HMD の様子

(5-2) 波及効果と発展性等

HMD を利用して事務的作業や教育活動を実施する日は近いと考えられる．日常に HMD が自然に溶け込むには周囲とのインタラクションもなめらかに実現することである．本研究はその課題に対して HMD の新たな設計コンセプトを提案し，根本的解決を図るものである．その中でも没入感を失わずに，かつユーザの邪魔にならないように周囲（外界）とのインタラクションをするのは難しく，本研究のようにシンプルな方法で大きな効果を得ることができれば高い注目を集めると予想される．また，今年度の研究から明らかになったように，モジュール構成とすることで広視野の VR 環境を容易に構築できるメリットもある．本研究の成果は今後ますます進展すると考えられるリアルとバーチャルが混合した柔軟なインタラクション環境の発展に寄与すると期待される．

[6]まとめと今後の課題

手動で再構成可能なモジュラー機構を用いた新たな HMD を開発した．この HMD は，没入感の高い広視野 VR 体験を提供しつつ，必要に応じてモジュールの着脱により視界周辺部での実物体や近接者とのアドホックなインタラクションを可能にする．また，下方視野を拡大した HMD のメリットを調査して，VR や AR における臨場感の向上や歩きやすさの向上などの効果を確認した．今後は，モジュラー機構のさらなる改良，多様なインタラクションシナリオにおけるさらなるユーザ評価の実施などが課題として挙げられる．

共同プロジェクト研究

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）
該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

1. Nakano, K., Perusquia-Hernandez, M., Isoyama, N., Uchiyama, H., & Kiyokawa, K. Effects of visual presentation near the mouth on cross-modal effects of multisensory flavor perception and ease of eating. In 2023 IEEE ISMAR, pp. 902-911, 2023.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A16

研究課題名

聴覚的注意の時空間特性に関する研究

[1] 研究組織

研究代表者：
寺岡 諒　（室蘭工業大学）
通研対応教員：
坂本 修一（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
寺本 渉　（熊本大学）
黒田 尚輝（熊本大学）
原田 新也（熊本大学）
田中 優希（熊本大学）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

近年の情報通信技術の発展に伴い，自宅にいながらにしてあたかも別の場所にいる感覚をもたらす，高臨場感システムの普及が進んでいる。例えば，Meta Quest に代表される VR システムは，頭部運動と連動して動く高精細な映像やサラウンド音声を呈示することで，高い臨場感を実現している。このような感覚を実現するためには，感覚情報を高精度で呈示することはもちろん，システムを利用する人間の知覚・認知特性を考慮した効果的な刺激呈示が欠かせない。

人間は，通常，効率的に周辺環境を把握するために，注意による情報の取捨選択を行っている。特に聴覚は，360°様々な方向で生じる音を取得できることから，この要因は特に有効に働くことが予想される。しかし，従来の情報通信システムの多くでは，こうした情報の受け手の情報の取捨選択（注意機能）が及ぼす影響については考慮してこなかった。このような情報呈示の実現には，人間が注意を向ける際の時間的，空間的な特性（注意の効果が及ぶ空間的範囲，注意を向けるまで/向けた後の効果の時間変化）を知ることが肝要である。

特に本研究課題では，奥行き方向に対する聴覚的注意に着目した。日常生活においては，自身の近くにある音と遠くにある音を聴き分け，片方の音だけを選択的に聴き取ることができる。これは，特定の距離に対して注意を向けることができることを意味している。しかし従来の研究の多くは左右方向に対する注意効果を検討したものが多く，奥行き方向に対する聴覚的注意効果やその時空間特性については不明な点が多い。

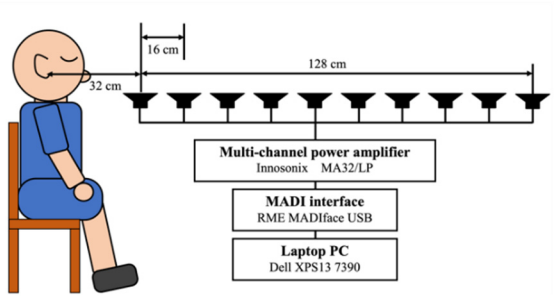


図１　実験①の概略図

[4]研究計画及び内容

本研究課題では，注意機能を考慮した効率的な情報呈示を実現するための基礎データを得るため，聴覚に対する注意（聴覚的注意）の持つ特性を検討することを目的とした。本研究課題では特に，①聴覚的注意の空間的特性，および②接近移動音像に対する聴覚的注意効果の２つの目的を軸に研究を進めた。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

① 聴覚的注意の空間的特性の解明

聴覚的注意を特定の距離に向けた際の注意効果とその効果が及ぶ範囲（空間特性）の定量的計測を試みた。実験では，聴取者の前方に対して奥行き方向に並べられた 5 つのラウドスピーカ（図１参照）から音刺激を提示した。音刺激として，25 Hz，75 Hz で振幅変調したピンクノイズを使用し，それぞれ標的音と競合音とした。

実験では，音刺激の提示確率を統制することで特定の距離（聴取者から 32 cm，96 cm, or 160 cm）のラウドスピーカに対して聴覚的注意が向くよう仕向けた。聴取者には，注意を向けた位置によらず，標的音が聴こえたら素早く反応するよう求めた。このとき，標的刺激に対する感度（d’）と誤警報率（False alarm rate）を指標として注意効果を計測した。

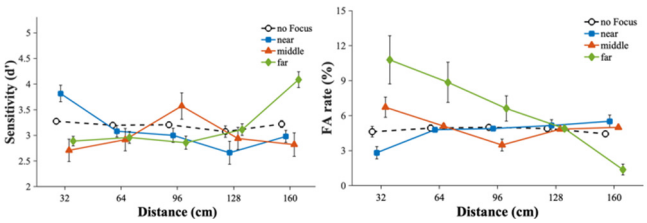


図２． 実験①の結果。縦軸は標的音に対する感度と誤警報率，横軸は刺激呈示距離を意味する。

実験の結果を図２に示す。標的音に対する感度は，注意を向けた距離で最も高く，そこから離れるに伴って低下する傾向が示された。一方誤警報率は，注意を向けた距離で最も低く，そこから離れるに伴って増加する傾向が示された。この結果は，注意がある距離に対して影響を及ぼし，標的刺激の検出に影響を及ぼしたことを意味している。

② 接近移動音像に対する聴覚的注意効果

日常生活では，音像（音事象）が静止し続けることは少なく，聴取者と音像との位置関係は動的に刻一刻と変化する。しかし従来の研究では，音像の相対的な位置関係が固定された状態での注意効果を検討したものがほとんどで，音像の位置や音圧が動的に変化する状況下での注意の効果や様相についてはほとんど検討がなされていない。

本研究では，注意効果の指標として身体近傍空間（PPS）に着目した。PPS は，身体により近い位置で音刺激が生じた場合，触覚刺激に対する注意が促進される現象である。聴覚刺激を様々な距離，角度から接近させることで，距離が注意効果に及ぼす影響とその方位依存性を検討した。

実験の概略図は図１とほぼ同様であった。相違点として，参加者の胸部に振動刺激を装着し，特定のタイミングで振動刺激（100 ms）を呈示した

実験では，連続する 4 つのラウドスピーカを用い，ピンクノイズを 48 cm/s で１秒間，聴取者に向かって接近させた。プローブの呈示開始位置は 3 箇所からランダムに決定され（Near: 96 cm, Middle: 144 cm, Far: 192 cm），プローブが接近している最中に，ランダムなタイミングで触覚刺激が呈示された（0.25, 0.5, 0.75 s）。また，ベースライン条件として，触覚刺激のみを呈示する条件も設けた。加えて，PPS の方位依存性を検討するために，スピーカアレイに対する身体の向きを 2 条件（0°，180°）設けた。参加者の課題は，振動刺激を感じたら素早くボタンを押下することであった。

実験の結果を図３に示す。参加者毎に各距離の条件の中央値とベースライン条件の中央値との差分を算出することで，距離条件毎の反応促進量を計算した。すべての距離条件において，促進効果は後方条件のほうが前方条件に比べて有意に大きいことを示した。以上の結果は，PPS が身体前方より後方のほうが広いことを示唆している。これは，接近する音の印象の違いや，それに伴う安全マージンの広さの変化が影響しているかもしれない。

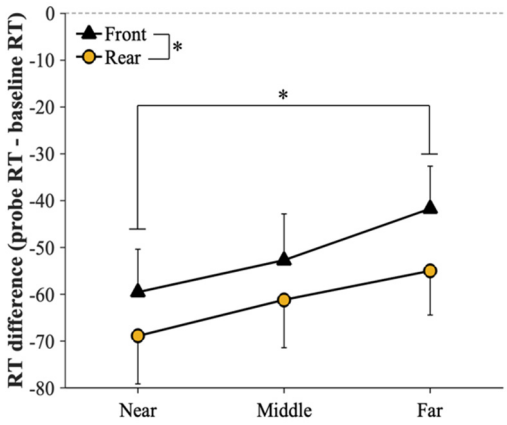


図３． 実験②の結果。縦軸は接近移動音が反応時間に及ぼす影響（促進効果），横軸は刺激呈示距離を意味する。

（5-2）波及効果と発展性等

- 本プロジェクトで検討する聴覚的注意効果の経時変化は，その維持や移動の特性（時間特性）と関連することから，その全容が明らかになれば，情報通信技術の高度化に寄与することが期待される。
- 本プロジェクトによって，竹島康博講師（法政大学），永井聖剛教授・山崎大暉博士（立命館大学），竹島康博講師（法政大学），山本浩輔研究員（早稲田大学）など学外研究者との交流が活性化し，共同研究に発展している。
- 本プロジェクトで得られた成果は，「脳の可塑性による注意機能改善に関する基礎的研究」という新たなプロジェクトに結びつき，今後の発展が期待される（MEXT 科研費 学術変革領域研究「生涯学」（公募研究），21H05335）。

[6]まとめと今後の課題

本研究課題では，特に奥行方向に対する聴覚の選択的注意の効果や様相を明らかにした。奥行方向に対する注意効果に関する研究は近年徐々に研究が行われ始めており，本研究はそれらに先駆けて成果をあげることができたといえる。

今後の課題の１つとして，注意効果のモデル化の検討が挙げられる。注意機能を考慮した情報通信技術の創出において，その様相の数理モデル化は欠かせない。今後の研究では，機械学習や情報科学で一般的に用いられるベイズモデルなどを駆使し，注意機能の数理モデル化をすすめていく。

［論文、学会発表、および関連成果］
(1) 成果リスト（謝辞あり）
［論文］
・**R. Teraoka**, Y. Hayashida, and W. Teramoto, “Difference in auditory time-to-contact estimation between the rear and other directions,” *Acoustical Science and Technology*, 44(2), pp. 77-83 (2023).
・**R. Teraoka**, N. Kuroda, R. Kojima, and W. Teramoto, “Comparison of peripersonal space in front and rear spaces,” *Experimental Brain Research*, 242(1), pp. 797-808 (2024).
［国際学会］
・**R. Teraoka**, "Auditory time-to-contact estimation changes with age: From the perspective of cognitive function," International Symposium on Lifelong Sciences, Kyoto, Japan, March 19-20 (2023).
・**R. Teraoka**, R. Kojima, N. Kuroda, and W. Teramoto, “Anisotropy of audiotactile peripersonal space between rear and front space,” International Multisensory Research Forum (IMRF2023), Brussels, Belgium, June 27-30, (2023).
［国内学会・シンポジウム等］
・林田侑志郎，**寺岡 諒**，寺本 渉，"聴覚接近刺激の到来方向が接触時間予測に及ぼす影響." 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会（HIP）, オンライン開催, 12 月 23-24 日 (2021).
・林田侑志郎，**寺岡 諒**，寺本 渉，"聴覚刺激の到達時間予測の到来方向依存性に関する研究." 第 12 回多感覚研究会, オンライン開催, 2 月 23 日 (2022).
・**寺岡 諒**，林田侑志郎，寺本 渉，"動的に変化する音像に対する聴覚的注意効果."学術変革領域「生涯学」第 3 回領域会議, オンライン開催, 3 月 5 日 (2022).
・折原空良，**寺岡 諒**，富松智志，坂本修一，"距離方向への聴覚的注意が標的音検出に及ぼす影響."第 386 回音響工学研究会, オンライン開催, 3 月 14 日 (2022).
・**寺岡 諒**，寺本 渉，"加齢が接近移動音像の接触時間予測に及ぼす影響" 日本基礎心理学会第 41 回大会, 千葉大学，千葉県千葉市, 12 月 2-4 日 (2022).
・**寺岡 諒**，小嶋琳佳，黒田尚輝，寺本 渉，"聴覚接近刺激の到来方向が身体近傍空間に与える影響" 第 13 回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス，大阪府茨木市, 2 月 18-19 日 (2023).
・田中優希，**寺岡 諒**，寺本 渉，"距離方向に対する聴覚的注意が標的音聴取に及ぼす影響" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会（HIP），大学コンソーシアム富山，富山県富山市, 2 月 22-23 日 (2023).
・**寺岡 諒**，"胸部の身体近傍空間の方位依存性" Young Perceptionists’ Seminar (YPS), 立命館大学大阪いばらぎキャンパス，大阪府茨木市, 9 月 4-5 日 (2023).
・田中優希，**寺岡 諒**，寺本 渉，"標的音聴取における距離に対する聴覚的注意の影響" 日本音響学会 2023 年秋季研究発表会，名古屋工業大学, 愛知県名古屋市, 9 月 26-28 日 (2023).
・**寺岡 諒**，黒田尚輝，寺本 渉，"胸部の身体近傍空間表象の方位依存性" 日本基礎心理学会第 42 回大会，豊橋技術科学大学, 愛知県豊橋市, 12 月 1-2 日 (2023).
・**寺岡 諒**，黒田尚輝，寺本 渉，"聴覚による身体近傍空間の方位依存性の検討." 日本音響学会 2024 年春季研究発表会, 拓殖大学文京キャンパス, 東京都文京区, 3 月 6-8 日 (2023).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
［論文］
・T. Kawase, **R. Teraoka**, C. Obuchi, and S. Sakamoto, “Temporal and directional cue effects on the cocktail party problem for patients with listening difficulties without clinical hearing loss,” *Ear and Hearing*, 43(6), pp. 1740-1751 (2022).
・Y. Fujii, **R. Teraoka**, N. Kuroda, and W. Teramoto, “Inhibition of intentional binding by an additional sound presentation,” *Experimental Brain Research*, 241, pp. 301-311 (2022).
［国際学会］
・S. Harada, **R. Teraoka**, N. Kuroda, S. Hidaka, W. Teramoto, "Influences of non-spatial auditory cueing on visual search in older adults," International Symposium on Lifelong Sciences, Kyoto, Japan, March 19-20 (2023).
・N. Kuroda, **R. Teraoka**, S. Harada, and W. Teramoto, “Effect of postural instability on passable width perception in older adults,” International Multisensory Research Forum (IMRF2023), Brussels, Belgium, June 27-30, (2023).
［国内学会・シンポジウム等］
・原田新也，**寺岡 諒**，黒田尚輝，日高聡太，寺本 渉，"非空間的な聴覚手がかりは高齢者の視覚探索を促進するか？" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会（HIP）, 京都テルサ，京都府京都市, 10 月 17-18 日 (2022).
・原田新也，**寺岡 諒**，黒田尚輝，日高聡太，寺本 渉，"高齢者の視覚探索における非空間的な聴覚手がかりの影響" 日本基礎心理学会第 41 回大会, 千葉大学，千葉県千葉市, 12 月 2-4 日 (2022).
・藤井芳孝，**寺岡 諒**，黒田尚輝，寺本 渉，"2 つの行為随伴刺激による Intentional Binding の抑制と視聴覚間の相互作用" 第 13 回多感覚研究会,

立命館大学大阪いばらぎキャンパス，大阪府茨木市, 2 月 18-19 日 (2023).
・黒田尚輝，**寺岡 諒**，原田新也，寺本 渉，"身体の行動制限時の身体近傍空間" 第 13 回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス，大阪府茨木市, 2 月 18-19 日 (2023).
・原田新也，**寺岡 諒**，黒田尚輝，日高聡太，寺本 渉，"非空間的な聴覚刺激呈示が，高齢者の視覚探索に与える影響" 第 13 回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス，大阪府茨木市, 2 月 18-19 日 (2023).
・黒田尚輝，原田新也，**寺岡 諒**，寺本 渉，"胸部の身体近傍空間様相の加齢変化" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会（HIP），大学コンソーシアム富山，富山県富山市, 2 月 22-23 日 (2023).
・双須藍里，黒田尚輝，原田新也，**寺岡 諒**，寺本 渉，"他者の歩容がパーソナルスペースに与える影響" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会（HIP），大学コンソーシアム富山，富山県富山市, 2 月 22-23 日 (2023).
・藤井芳孝，黒田尚輝，**寺岡 諒**，原田新也，寺本 渉，"高齢者の Temporal binding と行為部位の影響" 第 14 回多感覚研究会, 六日市中学校体育館, 島根県鹿足郡吉賀町, 11 月 3-5 日 (2023).
・原田新也，**寺岡 諒**，黒田尚輝，寺本 渉，"運動知覚における視聴覚統合の加齢変化." 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会（HIP），那覇市ぶんかテンブス館, 沖縄県沖縄市, 2 月 22-23 日 (2024).

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A17

研究課題名

バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究

[1] 研究組織
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
Parham Mokhtari（富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科）
William L. Martens（University of Sydney, R3-4 年度のみ）

[2]研究期間
令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
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)や音圧レベル差(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特徴(Spectral cue: SC)と言われている。我々のこれまでの研究によって、両耳聴者の一方の耳を閉塞した状態であっても、閉塞した耳側に小さな入力があり、制限されたバイノーラルキューが利用できる場合には、方向知覚が可能な範囲が広くなることがわかった。この知覚の成因を明らかにすることは、ヒトの聴知覚メカニズムを解明する上で大きなブレイクスルーになると考えられる。
そこで本研究では、音空間知覚にバイノーラルキューの制限が与える影響を明らかにすることを目的として、バイノーラルキューを制限した条件での音像定位実験を行った。また、実験の過程で問題となった受聴者の内観的な座標の確認実験と、距離の知覚精度の確認実験を行った。
以下、研究活動内容の概要を示す。
○令和 3 年度
東北大学電気通信研究所にて実験・議論・情報共有を 12/7-8 に、オンラインでの研究打合せ・議論を 7/1, 9/7, 9/29-30, 10/21-22, 2/20-21, 2/27-28, 3/10, 3/16-18 に行った。また、共同プロジェクト研究発表会にて得られた結果について発表した。
○令和 4 年度
東北大学電気通信研究所にて実験・議論・情報共有を 8/5-6, 12/23-24, 2/23-24 に、オンラインでの研究打合せ・議論を 4/28, 7/13, 8/25, 9/7, 11/11 に行った。また、共同プロジェクト研究発表会にて得られた結果について発表した。
○令和 5 年度
東北大学電気通信研究所にて実験・議論・情報共有を 8/31-9/1, 12/22-23 に、オンラインでの研究打合せ・議論を 8/2-3, 11/4-6, 12/12-13, 1/16, 2/14, 2/26-28 に行った。

[4]研究計画及び内容
本研究では、バイノーラルキューが制限された条件での方向知覚に ITD、ILD、SC が与える影響を調査する。理想的な環境で条件を系統的に変化させるために、受聴者本人の HRTF を厳密に計測する必要がある。そのため、東北大通研が所有する球状スピーカアレイ装置を利用して、受聴者本人の HRTF の測定を行う。次に、球状スピーカアレイ装置もしくは、計測した HRTF を合成したバイノーラル音を用いて受聴条件を系統的に変化させて立体音の知覚実験を行い、バイノーラルキューの制限した条件での音像定位、音源定位および音像の分離に ITD、ILD、SC が与える影響について検討する。そして、HRTF と知覚実験の結果を解析することで、ITD、ILD、SC が音像を知覚するためにどのように利用されているかを明らかにし、ヒトの知覚メカニズムの解明に繋げる。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
受聴者本人の厳密な HRTF の計測を行うとともに、スピーカアレイまたは合成バイノーラル信号を用いて、バイノーラルキューを制限した条件での音像定位実験を行った。また、耳栓装着時の正面音源からの音の最小可聴値を測定し、計測した HRTF との対応から、バイノーラルキューを制限した条件の音像定位実験で、受聴者の各音源方向からの音の感覚レベルを算出した。その結果、音

像定位実験において音像が動かずに知覚される音源の角度は、開放耳側もしくは低域に入力がある角度であり、閉塞耳側の低域に小さな入力がある場合に計算されるITDが、バイノーラルキューが制限された条件で方向知覚可能な範囲を広げる要因となっている可能性が高いことがわかった。また、バイノーラルキューを制限した条件の音像定位実験において、2 方向に分離して音像を知覚する現象が生じた際の、音源方向と 2 つの音像方向について、本人の各方向の HRTF の関係を調べた。その結果、この分離現象は、ノッチとノッチの周波数差を用いて音像位置を計算しようとした結果、周波数差が近い角度が複数存在したために生じた可能性が考えられることがわかった。

また、これまでの実験結果から、受聴者が本人の頭部表面と想定している位置が、実際の頭部表面よりも遠方である可能性が高いことがわかった。そこで、ITD・ILD を変化させた刺激音が頭内、頭の側端、頭外のいずれに定位しているかを判断する実験を、受聴者が自身の指先をこめかみにあて指先位置が頭部表面位置であることがわかりやすい条件で行った。その結果、実空間の頭部の側端の座標と受聴者の内観的な頭部の側端の座標にはズレがあり、実際の側端位置よりも外側に側端があるように知覚していること、音の位置の判断時にこめかみに指先を当てることで、内観的な頭部の側端位置を実際の頭部の側端位置に近づける効果が得られることがわかった。

さらに、受聴者の距離方向の知覚精度が低いことも実験結果に影響する可能性があることも確認された。しかし、距離知覚に関する知見が少ないことから、次年度に研究を発展させる方向性を検討することも考慮して距離知覚実験を実施した。距離知覚実験は異なる音圧レベルの刺激音を混在させた条件下で正面方向において行った。頭部を動かすことによって音源の位置が知覚しやすくなると言われていることから、頭部運動条件の実験についても合わせて行った。その結果、頭部静止条件では受聴レベルが同じ場合、知覚距離がおおよそ一定になり、定位精度が低くなった。また、頭部運動条件は頭部静止条件より定位精度が向上し、呈示位置が 20 cm から 60 cm の近傍では回答距離と呈示距離がほぼ一致することがわかった。

さらに、本プロジェクトで厳密に測定した受聴者本人の HRTF は、前プロジェクトの R30/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」から派生したプロジェクトである、科学研究費補助金 若手研究「両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響」の実験にも活用し、音像の分離知覚に到来方向情報が与える影響を明らかにすることにも寄与した。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで得られた成果は、ヒトの聴知覚特性の解明につながるもので、得られた知見の一部は、近年需要が拡大している補聴器の設計指針などにも役立つものである。

本プロジェクトで得られた結果のうち、距離知覚に関する結果については、VR システム等での立体音の距離の呈示につながる知見であり、令和 6～8 年度の日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤(C) 「バイノーラル再生における距離知覚に必要な音響特徴の解明」での研究の継続に発展した。

さらに、本プロジェクトで継続して行っている厳密な HRTF の計測は、本プロジェクトを含む立体音の知覚に関する研究や、立体音を再生する技術に関する研究に資するため、研究分野の発展に大きく貢献できると考えられる。そして、これまでの計測データやノウハウを生かすことで、新たな HRTF のデータベースの構築について検討が可能になったことから、令和 6～8 年度の共同プロジェクト研究 R06/A32「頭部伝達関数の多点自動計測に関する研究」に発展した。

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の共同研究に貢献するだけでなく、2 大学の若手研究者の交流・育成にも繋がっている。

[6]まとめと今後の課題

本研究では、バイノーラルキューを制限した条件での音像定位実験、受聴者の内観的な座標の確認実験、距離の知覚精度の確認実験を行った。その結果、バイノーラルキューを制限しても低域に小さな入力がある角度であれば定位が可能になっていること、受聴者の内観的な座標では頭部の側端位置を実際よりも外側と捉えている可能性があること、頭部を動かさない場合受聴レベルが一定であれば距離もおおよそ一定に知覚されるが、頭部運動で定位精度が向上することがわかった。

バイノーラルキューが音像の定位にそれぞれどのような影響を与えているのかを解明するためには、バイノーラルキューを制限した条件の際に ITD・ILD・SC がそれぞれどのように作用しているのかを個別に明らかにする必要がある。

内観的な頭部の側端位置と ITD・ILD の関係の測定は、本結果では受聴者本人の HRTF を考慮できていない。したがって、受聴者本人の HRTF から得られる受聴者ごとの ITD・ILD と、頭部側端に定位する際の ITD・ILD の関係を調べることは今後の課題である。

距離の知覚実験は正面方向についてを行ったが、他の方向での傾向についても調査することが必要である。また、音圧と頭部運動以外の手がかりが与える影響についても調査する必要がある。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・酒井翼, 森川大輔, モクタリ パーハム, 平原達也 “両耳間時間差・音圧差の相互作用による音像の分離知覚の検知限,” 音学シンポジウム 2021, 情報処理学会研究報告 音楽情報科学, Vol. 2021-MUS-131, No.24, 1-3, 2021.06.

・酒井翼, 森川大輔, モクタリ パーハム “合成バイノーラル信号の周波数帯域が音像の分離知覚の検知限に与える影響,” 日本音響学会 2021 秋季研究発表会講演論文集, 649-650, 2021.09.

・酒井翼, 森川大輔, モクタリ パーハム “視覚刺激が合成バイノーラル信号の音像の分離知覚に与える影響,” 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 46, No. 7, HI2022-7, 57-62, 2022.02.

・酒井翼, 森川大輔, モクタリ パーハム “視覚刺激のサイズが両耳間差による音像の分離知覚に与える影響,” 日本音響学会 2022 春季研究発表会講演論文集, 651-652, 2022.03.

・Tsubasa Sakai, Daisuke Morikawa, Parham Mokhtari “Detection limit of sound images spatially split by synthesized binaural signals,” Acoustical Science and Technology, vol. 43, no. 3, 213-215, 2022.

・Daisuke Morikawa, Tsubasa Sakai, Parham Mokhtari “Effect of the frequency band on spatially splitting sound image by interaural time and level differences,” Proc. 24th International Congress on Acoustics, ABS-0751, 2022.10.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・森皓治郎, 森川大輔, モクタリ パーハム “広帯域雑音の音像距離知覚に頭部運動が与える影響,” 日本音響学会 聴覚研究会資料, Vol. 53, No, 7, H-2023-72, 399-404, 2023.11.

・Daisuke Morikawa, Tsubasa Sakai, Parham Mokhtari “Effects of visual stimuli on auditory separation of sound images spatially split by synthesized binaural signal,” Acoustics 2023, 3pPPa8, 2023.12.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A20

研究課題名

薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム

[1] 研究組織

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：
浦岡 行治・中島 康彦・張 任遠・Kan Yirong・押尾 怜穏・桑原 拓海（奈良先端科学技術大学院大学）
古田 守（高知工科大学）　曲 勇作（北海道大学）
徳光 永輔（北陸先端科学技術大学院大学）
西中 浩之（京都工芸繊維大学）　伊藤 良・谷内田 健太・平野 太雅・國本 雅椰（龍谷大学）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

目的･背景･概要:

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。そこで我々は、2018～2020 年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究をはじめとして、「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」の研究開発を行ってきた。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。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した。その研究は、多くの成果を挙げ、おおよその目的を達成することができた。しかしながら、新たな課題も浮き彫りになってきた。それは、抵抗変化素子やメモリスタをプロセシングエレメントに用いるアーキテクチャでは、DC 電流が定常的に流れるため、究極の低エネルギ消費が実現できないという課題である。そこで、本共同プロジェクト研究では、「薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム」の研究開発を行う。究極の低エネルギ消費を実現することを目的とする。

研究打合･研究発表会の開催状況:

- 研究代表者と通研対応教員のメールの研究打合
- 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 1 回程の対面による研究打合
- 研究代表者と研究分担者（北陸先端科学技術大学院大学･京都工芸繊維大学）の 1 年間に 10 回程度の電子メールによる研究打合
- 研究代表者と研究分担者（龍谷大学）のほぼ毎日の対面による研究打合
- 研究発表会，BFBC 2024, Feb. 17-18, Special Session 4, "Brain-Mimicking and Inspired Computing: Devices, Architectures, and Algorithms", M. Kimura (Ryukoku Univ.), E. Tokumitsu (JAIST), B. Golbabaei (NAIST), H. Tang (NAIST)

[4]研究計画及び内容

2018～2020 年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究での成功に倣って研究をすすめる。すなわち、本共同プロジェクト研究においても、研究代表者の木村と通研対応教員の堀尾教授との議論で、1 年目には、本共同プロジェクト研究における薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィックシステムの研究開発の方向を確認し、2 年目には、さらにその具体的な研究開発の方向を決定するので、3 年目には、その具体的な研究開発の成果を評価する。木村と研究分担者の中島教授と張助教は、1 年目には、所属機関でシステム設計試作、すなわち、制御回路としての LSI の設計方針を確認し、2 年目には、具体的な設計試作などを行うので、3 年目には、シミュレーションや実機による評価を行う。一方、木村と研究分担者で機能性薄膜デバイスについて多くの知見を持つ浦岡教授と古田教授は、1 年目には、三次元積層構造の薄膜デバイスの議論や検討を行い、2 年目には、実際の成膜試作などを行うので、3 年目には、ニューロモーフィックシステムへの実装を検討する。さらに、木村と研究分担者の徳光教授と西中准教授は、1 年目には、液相プロセスとミスト CVD プロセスの薄膜メムキャパシタの成膜試作や評価解析などを行い、2 年目には、評価解析の結果を反映してのさらなる成膜試作などを行うので、3 年目には、やはりニューロモーフィックシステムへの実装を検討する。次に、木村と中島教授と張助教が、1 年目には、

所属機関でニューロモーフィックシステムとしての特性評価・アナログニューラルネットワークとしての動作評価・学習機能の動作確認・消費電力の詳細測定などの計画立案を行い、2 年目には、現実の試作を受けての特性評価・動作評価・動作確認・詳細測定などを行うので、3 年目には、さらに、スパイキングニューラルネットワークとの親和性などを検討する。そして、1～2 年目にはコロナ禍のため実現できなかったが、3 年目には、木村がその評価結果を持って通研を訪問し、研究成果について堀尾教授と議論や考察を行うとともに、将来的にデバイスや回路を共同で開発するための準備を行い、共同研究を立ち上げるための枠組みや基盤について議論する。なお、研究の進捗に応じて、研究代表者や研究分担者が通研で議論や考察を行う。

[5] 研究成果と波及効果等

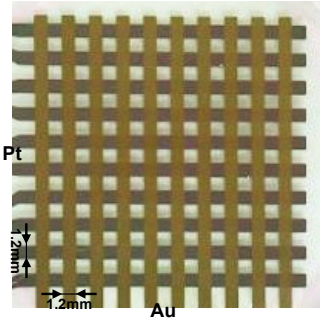
(5-1) 研究成果

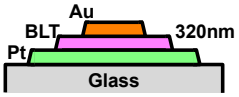
上記の個々の研究内容を組み合わせた結果として、下記の研究成果などを得た。

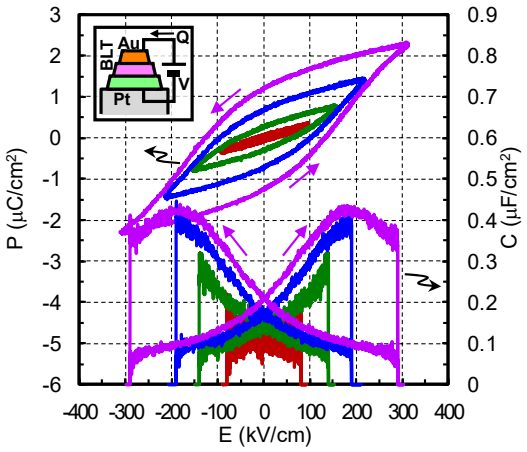
[論文 1)]

メムキャパシタと自律的局所学習を使う
ニューロモーフィックシステム

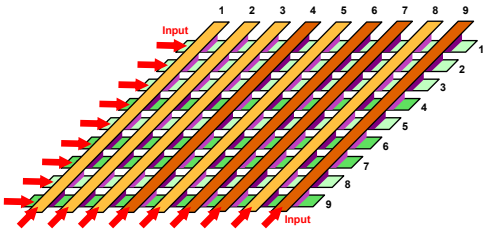
メムキャパシタと自律的局所学習を用いたニューロモーフィックシステムを開発した。メムキャパシタを用いることで、電力を最小限に抑えることができ、自律的局所学習を用いることで、シナプス素子を扱う制御回路を削減することができる。まず、強誘電体層を水平電極と垂直電極のあいだに挟んだクロスバーアレイのなかにメンキャパシタを完成させる。分極と静電容量は、誘電分極によるヒステリシスを示す。次に、自律的局所学習は、学習フェーズでは、記憶すべき連想パターンを直接に送入し、比較的高電圧を印加し、誘電分極を誘導する。推論フェーズでは、比較的低電圧を印加し、入力信号をメムキャパシタの静電容量で重み付けして足し、出力信号として送出する。最後に、実験システムをセットアップし、実験結果を得る。学習フェーズでの記憶パターン、推論フェーズでの入力信号としての歪みパターン、推論フェーズでの出力信号としての再生パターンが示される。再生パターンは、記憶パターンと完全に同じであることがわかる。これは、ニューロモーフィックシステムが連想記憶として機能していることを意味する。



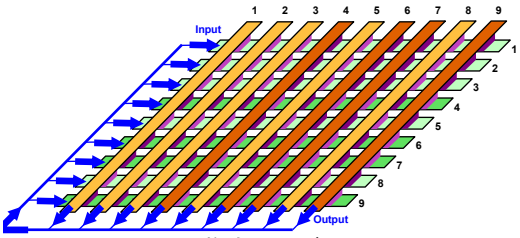




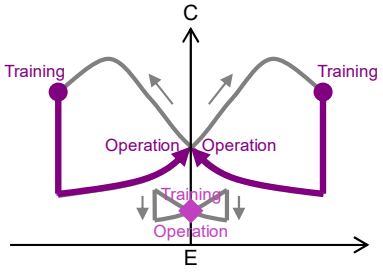
メムキャパシタ



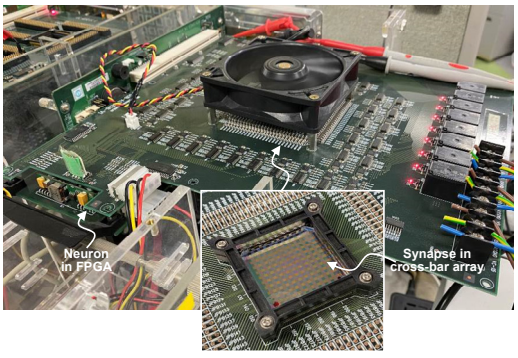
学習フェーズ



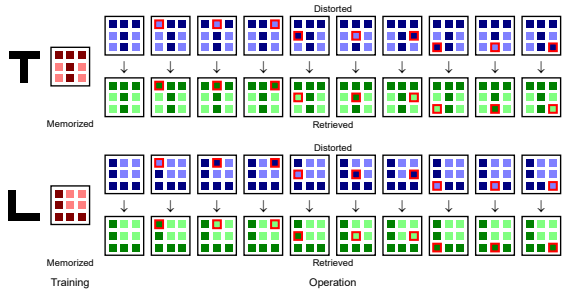
推論フェーズ



自律的局所学習



実験システム



実験結果

[論文 投稿中] (詳細は不記載)
強誘電体キャパシタによるアナログメムキャパシタとスパイキングニューロモーフィックシステムへの応用

強誘電体キャパシタによってアナログメムキャパシタを作製した。メムキャパシタはキャパシタであるので、原理的に電力消費はまったくない。デバイスの構造は、下部電極と上部電極のあいだに強誘電体層が挟まれるものである。最大印加電圧を変化させ、静電容量がそれに強く依存するというアナログメムキャパシタ特性が実現されている。動作原理は、強誘電体層の固有特性の動作点解析によって説明できる。メムキャパシタがニューロモルフィックシステムに実装されれば、消費電力が著しく削減されることが期待される。スパイクキングニューロモーフィックシステムは、許容可能な精度で、たいへんわずかな電力しか消費しないことがシミュレーションされており、これは他のシステムよりはるかに低い。

(5-2) 波及効果と発展性等

[波及効果]

本研究で、薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィック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 3 次元積層構造により、コンパクト・究極の低エネルギ消費・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 10^{10} 個以上のニューロン素子と 10^{14} 個以上のシナプス素子を想定すると、5×5cm のサイズと 30W 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。なお、これらの成果は、2018～2020 年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究と類似であるが、究極の低エネルギ消費をさらに高い確度で実現することが期待される。

[大型プロジェクトへの発展]

・科学技術振興機構(JST) 日本-台湾研究交流「AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術」薄膜メムデバイスとスパイキング計算を用いるニューロモーフィックシステム 2022～2024 年度
・科学研究費補助金 基盤研究(A)(分担研究者) タンデム CGRA+確率的計算による非ノイマン計算基盤のプログラマビリティ革命 2022～2026 年度
・科学研究費補助金 基盤研究(C)(分担研究者) 高信頼化に向けたメムキャパシタ脳型コンピュータ設計基盤 2022～2024 年度
・科学技術振興機構(JST) ALCA-Next(研究開発参加者) 多連装マルチレベルパイプラインCGRA 2023～2029 年度

[6]まとめと今後の課題

「薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム」の原理検証・実機検証に成功した。すなわち、材料として強誘電体、デバイスとしてクロスバーアレイ、システムとして自律的局所学習を開発した。デバイスの動作は実デバイスで、人工知能の基本的な動作は実機で、より複雑な動作はシミュレーションで確認にした。薄膜メムキャパシタを用いたニューロモーフィックシステムは、スパイクキングニューロモーフィックシステムにおいて、許容可能な精度で、たいへんわずかな電力しか消費しないことがシミュレーションされており、これは他のシステムよりはるかに低い。

今後の課題は、現在の人工知能の研究の潮流は大規模モデルに移行しており、その研究には桁違いの金銭・人的リソースが必要とされることである。この潮流に乗ってさらなる大型プロジェクトへの発展を考えるとともに、逆にこの潮流に抗って小規模検証で大規模モデルの実現可能性を明確にする方法も考えたい。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト(謝辞あり)

[論文]

・ Takumi Kuwahara, Reon Oshio, Mutsumi Kimura, Renyuan Zhang, and Yasuhiko Nakashima, Fusion Synapse by Memristor and Capacitor for Spiking Neuromorphic Systems, Neurocomputing, to be published
1)・ Mutsumi Kimura, Yuma Ishisaki, Yuta Miyabe, Homare Yoshida, Isato Ogawa, Tomoharu Yokoyama, Ken-ichi Haga, Eisuke Tokumitsu, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic System using Memcapacitors and Autonomous Local Learning, IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst., Vol. 34, No. 5, pp. 2366-2373, May 2023, DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3106566
・ Tetsuya Katagiri, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, In-Ga-Zn-O Memristor with Double Layers of Different Oxygen Vacancy Densities and Long-Term Memory towards Neuromorphic Applications, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, No. 5, 058002, May 2023, DOI: 10.35848/1347-4065/acd498

[招待講演]

・木村 睦, 薄膜メムデバイスとニューロモルフィックシステム, 日本学術振興会 R025 先進薄膜界面機能創成委員会 第18回研究会「情報通信技術における消費電力マネージメント」, 2024 年 4 月

・ Mutsumi Kimura, Shihori Akane, Isao Horiuchi, Yasushi Hiroshima, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic System using Memristor Array – Application Example of Phase-Change Memory using Cu_2GeTe_3 –, PCOS 2023, Nov. 2023

・ Etsuko Iwagi and Mutsumi Kimura, Character Inference Learning for Stacked Neuromorphic Devices using IGZO Thin Films, IEEE Electron Devices Society Kansai Chapter 第 23 回 関西コロキアム電子デバイスワークショップ, 2023 年 10 月

・ Yuma Ishisaki, Osuke Tanaka, Takumi Kuwahara, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Synaptic Characteristics of Ferroelectric Capacitors for Neuromorphic Systems, IEEE Electron Devices Society Kansai Chapter 第 23 回 関西コロキアム電子デバイスワークショップ, 2023 年 10 月

・Mutsumi Kimura, Yuji Miyato, Hidenori Kawanishi, Michihiro Shintani, Mami N. Fujii, Tokiyoshi Matsuda, Yusaku Magari , Thin-Film Memristors & Memcapacitors for 3D Integration of Neuromorphic Systems - Display Technology for Electronics Applications !!, SID Taipei Chapter, Student Chapter, IEEE Tainan Section, Sep. 2023

・木村 睦, 酸化物半導体薄膜デバイスによるニューロモーフィックシステム, JST SICORP 日本-台湾研究交流 応用物理学会トータルバイオミメティクス研究会 新材料・新原理で築くニューロモルフィックシステム, 2023 年 8 月

[学会発表（査読あり）]

・ Mutsumi Kimura, Thin-Film Memdevices and Neuromorphic Systems, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, SS4-1, Feb. 2024

・ Kazuma Uno, Hodehito Kita, Atushi Horiuchi, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Fabrication of Ga-Sn-O Thin Film Device by Mist CVD and the Application to Spiking Timing Dependent Plasticity (STDP), IMFEDK 2023, Nov. 2023

・ Taiyo Shinoda, Yuki Kawasaki, Ren Deguchi, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Characteristics of Non-Volatile Charge Trap Memory based on a-IGZO TFTs with $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ as a Gate Insulator, IMFEDK 2023, Nov. 2023

・ Kunimoto Masaya, Kazuki Sawai, Kenta Yachida,Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Initial State Dependent Neuromorphic Device on Resistance Change of a-IGZO Memristor combined with Capacitor, IMFEDK 2023, Nov. 2023

・ Arashi Dakeyama, Ryo Ito, Seiya Nakagawa, Hidenori Kawanishi, and Mutumi Kimura, ReRAM using Al-Sn-O Film formed by Mist CVD Method, IMFEDK 2023, Nov. 2023

・ Tsuguyoshi Nakaso, Ryo Ito, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutumi Kimura, Switching Characteristics of a-IGZO-based 3-layer ReRAM, IMFEDK 2023, Nov. 2023

・ Kazuki Sawai, Kenta Yachida, Yoshiya Abe, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Reset Operation of Thin-Film Neuromorphic Devices integrating a Memristor and a Capacitor, IMFEDK 2023, Nov. 2023

・伊藤 良, 杉崎 澄生, 嶽山 嵐, 中川 聖也, 松田 時宜, 河西 秀典, 木村睦, ミスト CVD 法による Ga_2O_3 薄膜メモリスタのアナログ特性, 薄膜材料デバイス研究会 第 20 回研究集会, pp. 85-87, 2023 年 11 月

・ Atsushi Sawada, Reon Oshio, Mutsumi Kimura, Renyuan Zhang, and Yasuhiko Nakashima, Spiking Neuromorphic System using Memcapacitors and Pulse Accumulation Circuits, 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, NOLTA 2023, pp. 124-127, Sep. 2023

・ Mutsumi Kimura, Shu Shiomi, Norito Komai, Etsuko Iwagi, Tomoharu Yokoyama, Yuma Ishisaki, Tokiyoshi Matsuda, and Hidenori Kawanishi, Thin-Film Memristors and Memcapacitors for 3D Integration of Neuromorphic Systems, IEEE SOCC 2023, pp. 303-308, Sep. 2023

・ Kenta Yachida, Yoshiya Abe, Kazuki Sawai, Tokiyashi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Novel Thin-Film Neuromorphic Devices integrating Memristors and Capacitors, AM-FPD ’23 pp. 232-233, July 2023

・ Ryo Ito, Sumio Sugisaki , Arashi Dakeyama, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Amorphous Ga-Al-O Thin Film Double-layer Memristor with Different Oxygen Density fabricated by Mist CVD Method, AM-FPD ’23 pp. 182-183, July 2023

[学会発表（査読なし）]

・谷内田 健太、阿部 祥也、澤井 一輝、松田 時宜、河西 秀典、木村 睦, メモリスタを用いたシナプス素子によるニューロンの膜電位変化の再現, 発光型／非発光型ディスプレイ合同研究会, EID2023-4, pp. 9-12, 2024 年 1 月

・ Yoshiya Abe, Kenta Yachida, Kazuki Sawai, Mutsumi Kimura, Hidenori Kawanishi, and Tokiyoshi Matsuda, Resistance Change Behavior using Negative Resistance in ReRAM with Three-layer GTO, 発光型／非発光型ディスプレイ合同研究会, EID2023-3, pp. 5-8, 2024 年 1 月

・三上 創太、木村 睦、宮戸 祐治, ガリウムスズ酸化物薄膜 ReRAM における負性微分抵抗の発現, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-P09-26, 2023 年 9 月

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[論文]

・Mutsumi Kimura, Ryo Tanaka, Shihori Akane, Isao Horiuchi, Yasushi Hiroshima, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic System using Crosspoint-type TaOx/Ta Memristors and Direct Device Training for Associative Memory, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 70, Issue: 9, pp. 4635-4640, Sep. 2023, DOI: 10.1109/TED.2023.3296393

[学会発表（査読あり）]

・Reon Oshio, Takumi Kuwahara, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima, Time-Domain Subtractive Readout Scheme for Scalable Capacitive Analog In-Memory Computing, IEEE SOCC 2023, pp. 309-314, Sep. 2023

・Takumi Kuwahara, Memcapacitor, promising device for SNN., ICONS 2023, Aug. 2023

・Takumi Kuwahara, Yuma Ishisaki, Hiroki Umemura, Hiroyuki Nishinaka, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima, Memcapacitor-type Synapse and AC Driving Scheme for Ultra-low Power Consumption Neuromorphic Systems, ICONS 2023, Aug. 2023

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A22

研究課題名

IoT セキュリティに関する研究

[1] 研究組織

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）
廣川　輝（富山高等専門学校）
松下　礼（富山高等専門学校）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

IoT の利用シーンは自動車, 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。IoT は組み込みシステムとも言える。組み込みシステム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 要素の環境のもとで, 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。

令和 2 年度までのプロジェクトにおいて, 通研対応教員指導のもとに，ファンノイマン型コンピュータが前提のもとで，世界中で最も安全な共通鍵暗号として認識されている AES （Advanced Encryption Standard）を対象にハードウェアに関する研究を実施してきた。

令和3年度から開始した本プロジェクトにおいて，認証暗号および軽量暗号の実装および評価を行っている。最終年度となる R5 年度については，実装する暗号の対象を，近年，非常に注目されている量子コンピュータに耐えうる暗号方式に拡大した。量子コンピュータが登場すると RSA 暗号や楕円曲線暗号のような公開鍵暗号の安全性の低下が大きく懸念されている。公開鍵暗号の安全性を保つためには，公開鍵暗号を耐量子公開鍵暗号に置き換える必要がある。耐量子公開鍵暗号とは，量子コンピュータを使用しても，効率よく鍵を見つけることができない暗号である。そこで, National Institute of Standards and Technology（NIST）で規格化された耐量子公開鍵暗号方式である，CRYSTALS-Kyber（FIPS203）[1]（以下 Kyber）に着目した。なお，セキュリティは，電気通信領域に加え，情報ネットワーク，数学など高度にかつ総合力が必要な分野である。そのため，高専単独で最先端のセキュリティ研究及び教育の実施は難しい。さらに，Kyber は最先端の耐量子公開鍵暗号であるため公開情報が少ない。プロジェクトを通して，学生へのセキュリティ分野の教育研究の深化および東北大学電気通信研究所への進学も念頭に，通研対応教員と頻繁に打ち合わせを実施しながら，学生が主軸となり実装および評価を進めている。

[4]研究計画及び内容

令和 4 年度までに認証暗号 AES-GCM, ChaCha20-Poly1305 および軽量暗号の Ascon などの種々の暗号方式をマイコン上に実装評価した。令和 5 年度には，NIST に公開されている Kyber の仕様書をもとに，マイコン上にソフトウェア実装を行うこととした。Kyber は耐量子公開鍵暗号の一種であり，安全性は「MLWE（Module Learning With Errors）問題」を解くことの難しさに基づいている。MLWE 暗号では，剰余多項式行列演算が主要演算となる。Kyber では，255 次剰余多項式環$R_q = \mathbb{Z}_{3329}[x]/(x^{256}+1)$上の乗算が計算コストの大部分を占める。剰余多項式環上の乗算では, 多項式の畳み込み乗算を行う代わりに，数論変換を用いて計算コストを小さくする。式 1 に数論変換を用いた剰余多項式環上の乗算を示す。Kyber では、負巡回畳み込みに対応した重み付き数論変換を使用する。回転因子（原子 n 乗根）ζ=17 であり，原子 2n 乗根は存在しないため，1 次式までの数論変換となる。式 2, 3 を用いて計算を行い，式 4 の数論変換後の値を求める。式 2,3 で行う累乗の計算コストが大きいため，実装を行う際は，効率化が必須となる。なお，本プロジェクトでは，3 種類のデバイス（Raspberry pi 4, Jetson Nano, MacBook Air）上に Kyber をソフトウェア実装し，処理時間の計測および評価を行う。

$$(a_0 + a_1x) \times (b_0 + b_1x)$$
$$= INTT\{NTT(a_0 + a_1x) \circ NTT(b_0 + b_1x)\}$$
$$= INTT(\hat{a}_0\hat{b}_0 + \hat{a}_1\hat{b}_1x) \quad (1)$$

$$\hat{a}_{2i} = \sum_{j=0}^{127} a_{2j}\zeta^{(2br_7(i)+1)j} \quad (2)$$

$$\hat{a}_{2i+1} = \sum_{j=0}^{127} a_{2j+1}\zeta^{(2br_7(i)+1)j} \quad (3)$$

$$\hat{a} = (\hat{a}_0 + \hat{a}_1X, \hat{a}_2+, \hat{a}_3X, \ldots \hat{a}_{254} + \hat{a}_{255}X) \quad (4)$$

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

数論変換・逆数論変換を実装する際に，累乗計算を繰り返すため，計算コストが上昇する。これに対して，回転因子の累乗計算をテーブル化し，計算コスト上昇を抑える。本プロジェクトでは，それぞれに Python を用いて Kyber を実装し，計算時間の評価を行った。実装した Kyber の秘密鍵・公開鍵長は 1632 バイト・800 バイトである。表 1 に評価に使用したデバイスの性能を示す。いずれのコンピュータの CPU は ARM コアとなっている。ただし，動作周波数は 1.5GHz および 3.2GHz，RAM メモリ容量は 4GB および 16GB と違いがある。また，搭載 OS は，それぞれ Rasbian，Ubuntu，macOS となっている。計算時間の評価では，各処理を Python の time モジュールを用いて，5 回計測し平均時間を算出した。表 2 に鍵生成・暗号化・復号化処理それぞれの計算時間を示す。鍵生成処理では，MacBook Air が最も高速の約 0.12 秒に対し Jetson Nano では約 0.55 秒となり処理時間が 4.5 倍かかった。さらに Raspberry pi では 6.5 倍の処理時間がかかった。暗号化処理では，MacBook Air が最も高速の約 0.15 秒に対し Jetson Nano, Raspberry pi では約 0.93 秒となり処理時間が 6.6 倍かかった。復号化処理では，MacBook Air が最も高速の約 0.096 秒に対し Jetson Nano では約 0.50 秒となり処理時間が 5.2 倍かかった。さらに Raspberry pi では 6.4 倍の処理時間がかかった。

表 1: 性能比較表

	Raspberry pi 4	Jetson Nano	MacBook Air（M2 2022）
CPU	ARM Cortex-A72	ARM Cortex-A57	Apple M2 チップ 8 コア
動作周波数	1.50GHz	1.48GHz	3.20GHz
RAM	4GB	4GB	16GB
OS	Raspbian GNU/Linux 11 (bullseye)	Ubuntu 18.04.6 LTS	macOS

表 2: 計算時間の比較[s]

	Raspberry pi 4	Jetson Nano	MacBook Air（M2 2022）
鍵生成処理	0.78606	0.55366	0.12062
暗号化処理	0.93927	0.93190	0.15961
復号化処理	0.62640	0.50434	0.09612

(5-2) 波及効果と発展性等

Kyber の先行研究では，FPGA 等ハードウェア上への実装が主となっている。一方，ソフトウェア実装例は、あまりなく，そのため、本成果はとても有効であると考えられる。なお，高専専攻科生が，最先端の耐量子公開鍵暗号の 1 つである Kyber を実装できたのは，ひとえに東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究を通した通研対応教員の丁寧な指導によるものであり，若手研究者の育成の観点において，非常に有効である。また，東北大学電気通信研究所との共同研究は，高専内部においても注目されており，学生たちの東北大学大学院への進学にもつながる取り組みであると言える。なお，本研究成果を学会等で順次発表していく予定であり，学術分野への貢献も計り知れない。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトにおいて，高専生たちが，認証暗号 AES-GCM, ChaCha20-Poly1305，軽量暗号の Ascon および耐量子公開鍵暗号 Kyber をマイコン上に実装し，処理時間の評価を実施した。高専生が種々の最先端の暗号方式を実装したことは，非常に大きなこ価値がある。一方で，本プロジェクト期間において残念だった点は，covid-19 の流行のなかにあったことにある。厳しい感染対策が求められるなかでの研究実施であったため，リアルな打ち合わせおよび学会参加が難しかった点が挙げられる。令和 5 年に感染症の分類が 2 類に 5 類に変わり，ようやく人のリアルな交流が活発してきた。高専においても気兼ねなく出張できる雰囲気になってきたため，共同プロジェクト研究による成果を積極的に学会の場で発表していく所存である。東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究のシステムが，これまで同様に，今後も高専の学生たちにとって有効な取り組みであることを願う。通研対応教員のご指導には厚く御礼申し上げます。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・特に無し

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・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) , 2021 年 7 月.

・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) , 2022 年 7 月.

・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) , 2021 年 7 月.

・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) , 2023 年 10 月.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A23

研究課題名

先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発

[1] 研究組織
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）
笹井　一人（茨城大学工学部）
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（仙台高等専門学校総合工学科）
福谷　遼太（高知大学教育研究部）
太田　憲治（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間
令和3年4月　～　令和6年3月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
今後の情報化社会において，人々とロボット/システムが共に調和し，システム側が人々に適切なサービスを提供する共生型コンピューティング環境が極めて重要になる．我々は，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／グループ／コミュニティと情報システム／ロボットが調和し，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．
以下，研究活動状況(研究会)の概要を記す．
令和 4 年 3 月 15 日 14:00～，Zoom オンライン研究会（参加者：打矢，木下，藤田，笹井，顧，真部，今野，福谷）
令和 4 年 8 月 3 日 14:00～，東北大学電気通信研究所及び Zoom オンライン研究会（参加者：打矢，木下，藤田，笹井，福谷，太田）
令和 6 年 2 月 29 日 14:00～，東北大学電気通信研究所及び Zoom オンライン研究会（参加者：打矢，藤田，笹井，福谷，太田，真部）

[4]研究計画及び内容
１．運用支援 A：リポジトリ型マルチエージェントフレームワーク DASH に対して，エージェントのサービス処理モジュールであるベースプロセスを改良する．具体的には，ベースプロセス群を束ねたマイクロサービスコンテナ機構を新規導入し，このコンテナ内のベースプロセスをエージェントが必要に応じて参照することで，エージェントのサービス処理の効率化／高速化を実現する．
２．運用支援 B：広域環境においてリポジトリ／ワークプレースを環境に設置し，そのうえでエージェントシステムを稼働させることを想定した，セキュアな通信機構やエージェント間コミュニケーションモジュール／協調プロトコル／エージェント間交渉・譲歩機構の設計・開発を行う．
３．応用アプリケーションの開発：エージェントの多様な性質を利用し，災害時のユーザ生活サポートなど“生活支援”に重点をおいた IoT システムソフトウェアの構築を進める．

［5］研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果：主要研究とその成果を示す．

【タスクベース効用関数を用いた経路交渉手法の実行時間の改善】

近年，自律移動ロボットの開発・普及が進んでおり，これらをエージェントとしてモデル化し制御する具体例として MAPD (Multiagent Pickup and Delivery) 問題がある．MAPD 問題では指定されたスタート地点からゴール地点まで移動する「タスク」が継続的に発生する．各エージェントは他との競合を回避しながら全タスクが終了するまでタスクを繰り返し処理する．従来の MAPD 問題の研究では各エージェントは倉庫内自動搬送のように共通の目標を持つことが仮定されていた．今後ロボットの利用が拡大すると，同じ空間に異なるオペレータによるロボットが動作することが考えられ，各オペレータの目標(例：タスクの締切時間)に応じた競合解消が必要となる．

問題設定

各エージェントa_kはスタート位置s_kから動作を開始する．エージェントa_kはタスクT_kを任意の時間に与えられ，遂行する．タスクT_kはゴール位置 g_kと〆切t_k，報酬r_kから構成され，エージェントは〆切t_kまでにゴール位置g_kに移動できれば報酬r_kを獲得できる．マップは二次元空間に加え，垂直方向に時間の経過軸を持つグラフ G(V)として表される．時間は離散タイムステップ $t \in T$とし，v_k^tはエージェントa_kがタイムステップ t の時に占有する頂点 $v \in V$ であることを示す．1 タイムステップで，各エージェントa_kは現在位置v_k^tから隣接頂点v_{k+1}^tに辺 (v_k^t, v_{k+1}^t) を利用して移動するか，現在位置v_k^tにとどまる．

先行研究：タスク効用関数を用いた経路交渉手法

予約ベースの経路割り当てにより経路衝突を防止する．各エージェントは探索した経路をサーバに送信し，FCFS メカニズムにより，先に送信された有効な経路が承認され，該当頂点が予約される．先に予約された経路と衝突のある経路が後から送信された場合，送信したエージェントが経路交渉を用いて自身の経路を再計画する．

提案手法

先行研究は交渉を行うことでタスク成功率が改善することを示したが．全エージェントと順に効用計算を行っていたため，エージェント数の増加に伴い実行時間が増加した．本研究ではこの先行研究の問題点に対し，スタート位置かゴール位置が近いエージェント同士は経路が重複する可能性が高いことから，タスクが与えられたエージェントの迂回経路長分のタイムステップ中に対象範囲(タスクが与えられたエージェントのスタート地点とゴール地点の周囲 1 マス) に存在するエージェントのみと効用計算を行うことを提案する．

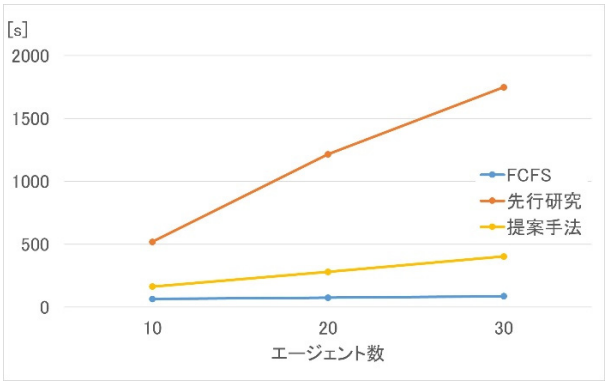


図 1:実行時間

実験

各エージェントの初期位置は，マップの両端マスからランダムに与えられる．ゴール位置はタスクごとに中心部のマスからランダムに設定される．初期位置と各タスクのゴール位置の往復をそれぞれ 1 タスクとし，全エージェントで合計 100 タスク行ったところでシミュレーションは終了する．各タスクの締め切り時間は初期位置からゴール地点までの最短距離に 0 から 5 の整数を加算したものとした．

結果

エージェント数を 10，20，30 に設定し，それぞれ 20 試行行った．図 1 に実行時間を示す．エージェント数 10 の時ではタスク成功率の減少が 0.95%で実行時間が 68.58%削減，エージェント数 20 の時ではタスク成功率の減少が 0.05%で実行時間が 76.9%削減，エージェント数 30 の時でタスク成功率の減少が 0.26%で実行時間が 77.0%削減された．以上から，先行研究の手法と比べて提案手法は実行時間の増加を抑えながらタスク成功率を維持できているといえる．

まとめ

先行研究では交渉によりタスク成功率を上昇させることに成功したが，実行時間の増加が問題点であった．提案手法により，先行研究のタスク成功率を維持しながら，実行時間の削減を達成した．

（5-2）波及効果と発展性等

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(別紙)．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．

[6]まとめと今後の課題

マルチエージェントフレームワークとエージェント実応用システムの開発は，Society5.0 の実現に向けた重要な研究テーマであり，複数機関共同での研究開発を今後も継続実施する．

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Takahiro Uchiya, Taiga Yamada, “Data Augmentation Method for Improving Object Detection Accuracy of Recumbent Human in Disaster”, Proc. of BWCCA2023, pp.354-364, 2023.

・Hiromu Mawatari, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “An Exploration Algorithm Suitable for Indoor Mapping Based on RRT-Exploration”, Proc. of GCCE2023, 2023.

・Tetsuya Nishibe, Takahiro Uchiya, Takumi Ichi, Arao Funase, “Analysis of the Relationship Between Various Heart Rate Indices and Emotion During Emotion Induction by Image Stimulation”, Proc. of GCCE2023, 2023.

・Haruto Domoto, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Development of a Hybrid Information Recommendation System Considering Serendipity”, Proc. of GCCE2023, 2023.

・打矢隆弘, 藤田茂, 笹井一人, 木下哲男, “実応用システム構築のためのマルチエージェントフレームワークの高度化”, 合同エージェントワークショップ＆シンポジウム 2023, 2023.

・本部真史, 打矢隆弘, “階段混雑度を考慮した誘導ロボットによる避難誘導方法の検討と評価”, 合同エージェントワークショップ＆シンポジウム 2023, 2023.

・久保田隆一, 笹井一人, “逆ベイズ推論による視線予測に関する研究”, 共創学会第 7 回年次大会予稿集, pp.151-155, 2023.

・鈴木優太, 熊谷僚太, 笹井一人, “媒介的対話状況での話者の空間認知の影響に関する研究”, 共創学会第 7 回年次大会予稿集, pp.171-173, 2023.

・岡野龍樹, 笹井一人, “多資源マイノリティゲームにおける逆ベイズ推論の適用”, 第 24 回システムインテグレーション部門講演会, pp.1660-1663, 2023.

・井深綾乃, 笹井一人, “拡張されたベイズ推論のコンピュータ大貧民への応用”, 第 24 回システムインテグレーション部門講演会（SI2023）, pp.1673-1675, 2023.

・笹井一人, “マルチエージェント協調における非同期的相互作用の役割”, 第 24 回システムインテグレーション部門講演会（SI2023）, pp.1678-1680, 2023.

・熊谷僚太, 笹井一人, “「おいておくだけ」の媒介対話システムの有効性に関する検証”, 第 24 回システムインテグレーション部門講演会（SI2023）, pp.1681-1684, 2023.

・Tatsuki Okano, Kazuto Sasai, “Application of Bayesian and Inverse Bayesian inference in Multi-Resource Minority Game”, Proc. Of AROB-ISBC-SWARM 2024, pp.1325-1328, 2024.

・Kazuto Sasai, “Asynchronous Interaction Between Cooperative Agents for Networked Graph Coloring Game”, Proc. of AROB-ISBC-SWARM 2024, pp.1329-1332, 2024.

・仁科京介, 藤田茂, “非対照学習に Representation Learning via Invariant Causal mechanisms を用いることによる背景情報にまどわされない世界モデル強化学習法”, 知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）Vol.36, No.1, pp.571-581, 2024.

・Shigeru Fujita, Norio Shiratori, “Double: Post Agent-oriented Model Towards Trustable Smart Society based on AI Technologies”, ICCI*CC'23, 2023.

・藤田茂, 白鳥則郎, “Double 指向コンピューティングのアーキテクチャと基本動作 -適用事例：大規模通信障害の克服-”, 情報処理学会 DPS 研究会, 2023.

・永沼祥吾, 滝雄太郎, 藤田茂, “並列処理を導入した秘密分散法を用いたネットワークファイルシステムの開発”, 情報処理学会 DPS 研究会, 2023.

・藤田茂, 白鳥則郎, “Double:ポストエージェント指向モデルの研究”, 電子情報通信学会人工知能と知識処理研究会, JAWS2023, 2023.

・本田光来, 早坂喜哉, 高橋晶子, 菅沼拓夫, “マルチエージェントに基づく学習データ流通基盤のためのエージェント間自動交渉の提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.65, No.2, 2024.

・Shuhei Yoshida, Toru Abe, Takuo Suganuma, “Design of a Support System for Guitar Performance Training Using XR Technology”, Proc. of GCCE2023, pp.278-281, 2023.

・Yuki Hamaguchi, Toru Abe, Takuo Suganuma, “A Concept and Functional Design of AR Cards”, Proc. of GCCE2023, pp.621-625, 2023.

・伊藤優樹, 富井駿介, 阿部亨, 菅沼拓夫, “地域内分散型 IoT アプリケーションのためのエージェント化デバイスの開発”, 第 31 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2023), pp.169-171, 2023.

・富井駿介, 伊藤優樹, 阿部亨, 菅沼拓夫, “MicroPADE：地域内分散型 IoT アプリケーションのためのエージェントフレームワークの開発”, 第 31 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2023), pp.259-263, 2023.
(優秀デモンストレーション賞)

・濵口裕基, 阿部亨, 菅沼拓夫, “AR 型カードゲームのための赤外線カメラを用いた空間的解像度の向上利用”, 第 31 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2023), pp.130-137, 2023.
(優秀プレゼンテーション賞)

・福谷遼太, 板垣翔大, 安藤明伸, 志儀孝典, 眞鍋悠介, “CBT プラットフォーム"TAO"の独自 UI の操作性に関する調査～技術科教育法における検証～”, 日本産業技術教育学会第 66 回全国大会講演要旨集, p.107, 2023.

・濱森俊亮, 福谷遼太, 板垣翔大, 安藤明伸, “材料と加工の技術における設計を支援する VR HMD 向けアプリケーションの提案”, 日本産業技術教育学会第 66 回全国大会講演要旨集, p.101, 2023.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A25

研究課題名

デバイス・インフォマティクスの創成と Beyond5G デバイスへの応用

[1] 研究組織
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）
渡邊　一世（情報通信研究機構）
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）

[2]研究期間
令和 3 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
（背景）新材料を用いた機能化研究が盛んである。これらの研究の多くは「物性と機能は直結する」を前提とする。しかし、現実には、この前提は成立しないことが多い。その原因を探るために。代表者は「電圧印加下でデバイスのナノ物性を元素選択的に診る」　画期的分光法：*o*-nXS（*operando* nano X-ray Spectroscopy）を開拓してきた。

更に、今回の共同プロジェクト研究の基となった前回の共同プロジェクト研究にて、代表者らは *o*-nXS を発展させ空間的にも時間的にも高分解能でデバイスの物性を詳細に調べることができる *o*-STXS（*operando* SpatioTemporally resolved X-ray Spectroscopy）を世界に先駆けて開発した。

代表者らは *o*-STXS を駆使して、機能発現を企図した新材料領域以外で、企図しないナノ物性摂動が電圧印加により表面・界面で起こることを o-nXS を用いて観測した。ここで、ナノ物性摂動の一例として、GaN 高速電子移動度トランジスタ（GaN-HEMT）の表面電子捕獲を調べた。さらに電気特性の周波数依存性に基づく等価回路の観点から洞察し、企図しないナノ物性摂動（例：表面電子捕獲）の時空間ダイナミクスが物性と機能を乖離させると認識した。物性と機能の乖離を解消するために、機能を定量評価できる「等価回路モデリングによる可視化」に注目した。具体的には、代表者は次の学術的問いを着想した：応用物理学と電気工学を相補的に融合させることで「ナノ物性に根差した特徴量を抽出して機能を等価回路でモデリングできれば、ナノ物理学に基づいて機能を可視化して、かつ、定量的に説明することができるようになるのでは？」
（目的）そこで、機能を等価回路モデリングにより定量的に説明する「デバイス・インフォマティクス」を創成することを目的とした研究を行う。

[4]研究計画及び内容
o-nXS 計測とデバイス機能計測のデータからナノ物性に根差した特徴量を抽出し、その特徴量を用いて，解釈性の高い機械学習法によりナノ物性摂動の寄与を可視化するデバイス・インフォマティクスを構築する。デバイス・インフォマティクスを活用して、新規デバイスの創出を目指す

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

(A. InGaAs-HEMT のデバイス･インフォマティクスの構築)
InGaAs-HEMT[2]をモデルとして、デバイスシミュレーターを活用することで機械学習用のデータセットを作成した。モデルデバイスはゲート長 L を変化させた。ゲート-ソース間電圧 V_{gs}を-0.6 V~0.6 V の範囲で 0.005 V ずつ変化させ、デバイス動作下での 4 種類の物性(電子密度分布, 正孔密度分布, 電界分布, ポテンシャル分布)を画像として取得した。

4 種の物性の分布図に主成分分析を行ったところ、電子密度分布図の主成分分析結果において、ゲート長に依存する特徴がみられた。ゲート長が短いほど第一主成分が広く分布している。固有ベクトルの観察も加味し、電子密度分布図の第一主成分は物性のゲート長に依存することが明らかとなった。図中の各ゲート長で見られて

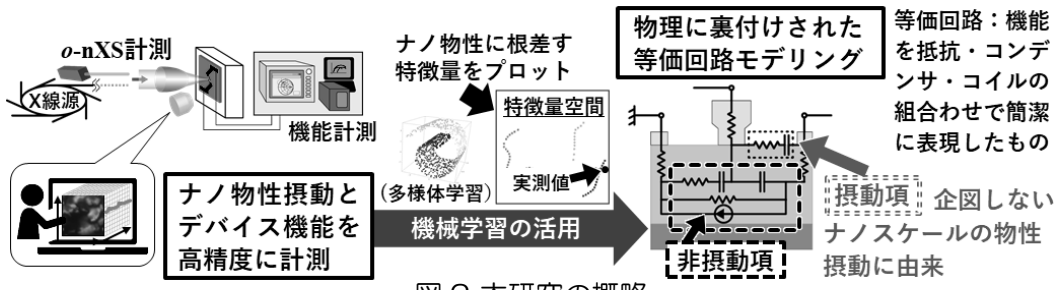


図２ 本研究の概略

いる屈曲点は、その近傍において有意な画像変化が起こっていることが示唆する。そこで、屈曲点周辺にフォーカスして、どのように画像変化が起きているかを観察した。第一主成分を用いて再構築した画像を用いてその差分を観察することで画像変化を分かりやすく可視化した。その結果、ゲート長の長短に依らず、屈曲点を境にして画像変化の起こる位置がゲート直下からソース・ドレイン側へと変化していることが、初めて明らかとなった。主成分分析を用いて画像表示した物性を解析することで、デバイスの特定の位置における物性変化がデバイス機能発現に寄与することを示唆した。

次に、電子密度分布がデバイス機能発現にどのように寄与するのかを可視化するために、ゲート長ごとにデバイス機能が最大化する V_{gs} 値近傍における画像変化を観察した。デバイス機能の指標として、電流利得遮断周波数 f_T を用いた。f_T を用いた理由は、f_T に対して物性が直接反映しやすいためである。f_T が最大になる V_{gs} の前後 0.1 V の値近傍での画像変化を観察した結果、ゲート長が 330 nm よりも短い時、画像変化の位置に変化がみられた。画像変化の量はゲート長が短いほど顕著であった。また、f_T が最大になる V_{gs} の前後 0.04V 間での画像変化に対しても比較を行った。画像変化の位置は全ゲート長で共通していたがゲート長が短くなるほど画像変化の量が顕著であった。さらに、主成分分析結果の分布における屈曲点と f_T 最大点の距離はゲート長が短くなるほど離れていた。電子密度分布図の主成分分析結果および画像変化にはゲート長依存性がみられている。このことから、電子密度分布と短チャネル効果とが相関し、電子密度分布がデバイス機能発現に寄与していることが示唆された。

さらに、電子密度分布の PC1 と PC2 を x 軸・y 軸として、z 軸にデバイス全体のポテンシャルエネルギーの総和をプロットした。その結果、拡張型自由エネルギーの多様体曲面が描画された。拡張型自由エネルギーに着眼した、電子デバイスの動作機構の研究成果はこれまでにない。ゆえに、本研究は、デバイス動作の理解に新たな光をあてるものになると考えている。

(B.単原子長ゲートを持つ究極のトランジスタ開発)

これまでに培ってきた二次元半導体の立体的エピ成長技術およびデバイス技術を駆使することで、ゲート長を単原子一個分およびチャネルを原子一層まで超極薄化した研究開発を開始した。令和 5 年度までに、単原子ゲート構造を既に実現している。二年以内に単原子長ゲート・トランジスタを作製し、従来の RF Si-CMOS や InGaAs-HEMT を大きく凌駕する増幅器を実現させたい。

(5-2) 波及効果と発展性等

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複数の大型プロジェクトに発展した。代表者は、国際会議における Speical session の企画立案・開催を主導している。また、応物学会のシンポジウムにおける代表者の招待講演が高く評価された。本講演に曽根純一氏（JST フェロー）が大きな関心を寄せ、新たな競争的資金の設立を立ち上げる動きをすると明言し、実際に資金獲得につながった。また、Beyond 5G に関するシンポジウムを開催し、総務省本省の Beyond 5G 政策を取り仕切っている方からも高い評価を受けた。

（大型プロジェクトにつながった事例）

1）単原子長ゲートによる低環境負荷物質から成る高出力 THz 増幅器の創出、Beyond 5G 研究開発促進事業、NICT、R4-R6、代表：吹留博一

2）2 次元ホウ素未踏マテリアルの創製と機能、CREST、JST、R3-R8、代表：松田巌（吹留博一：分担）

3）2D 材料 CMOS・デバイス集積化技術の開発、未来社会創造事業、JST、R4-R8、代表：長汐晃輔（吹留博一：分担）

（国際会議・シンポジウムへの発展）

ALC20222 におけるオペランド X 線分光に関する special session を主宰
2022.10.21-22、沖縄、参加人数：300 人

（その他）第 69 回応用物理学会春季講演会シンポジウム「二次元物質を集積回路に！」、神奈川県相模原市青山学院大学、2020.3.24 を企画立案。

[6]まとめと今後の課題

デバイス・インフォマティクスの基盤構築および単原子長ゲートを有する究極のトランジスタの製造プロセスの創出に成功した。今後は、得られた成果、特に、拡張型自由エネルギー曲面を詳細に解析する。そして、神経細胞回路における自由エネルギー原理を活用して、新たな等価回路モデリングを創出する。これらを融合し、次世代情報通信に不可欠な高出力 THz デバイスを実現する。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

（学会発表）

・ 次世代高周波デバイス応用に向けた時空間オペランドX線分光計測
吹留博一
TIA 光・量子計測 MG 研究会、つくば市、2022.9.1（招待講演）

・ 機械学習を援用したグラフェンの顕微ラマンデータの自動解析法
杉野 秀明、小濱 路生、山本 うらん、吹留博一
2022 年応用物理学会秋季学術講演会、東北大学川内キャンパス、2022.9.21

・ 物性の画像情報解析を活用した Beyond 5G デバイスの動作機構解明
山本 うらん、杉野 秀明、佐藤 駿丞、増澤 賢、渡邊 一世、小嗣 真人、吹留 博一
2022 年応用物理学会秋季学術講演会、東北大学川内キャンパス、2022.9.22

・ SiC 上に形成したグラフェンおよび Au/Ti から成るコプレーナ導波路の特性インピーダンスの評価
石田 智也、佐々木 文憲、渡邊 一世、吹留博一
2022 年応用物理学会秋季学術講演会、東北大学川内キャンパス、2022.9.22

・ SiC 表面における h-BN へのグラフェンヘテロ成長
小濱 路生、米窪 和輝、杉野 秀明、渡邊 一世、菅原 大樹、唐 超、佐藤 昭、尾辻 泰一、吹留 博一
2022 年応用物理学会秋季学術講演会、東北大学川内キャンパス、2022.9.23

・ High performance graphene-based devices with an affordable cost by using a wafer bonding
Hirokazu Fukidome
2nd Global Conference on POLYMERS, PLASTICS AND COMPOSITES & 5th World CHEMISTRY CONFERENCE AND EXHIBITION (WCCE-2022 & PPC-2022), オンライン, 2022.10.5（招待講演）

・ Spatiotemporal dynamics of electronic properties of Beyond 5G devices observed by operando x-ray nanospectroscopy
Hirokazu Fukidome
14th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices ’22 (ALC ’22), Okinawa（招待講演）

・ Operando X-ray nanospectroscopy of devices using 2D-confined electrons for Beyond 5G
Hirokazu Fukidome
International Conference on Materials Science, Engineering and Technology, Online, 2022.12.23（招待講演）

・ 放射光を用いた先端デバイス・回路の研究開発と社会実装・国際標準化に向けた取り組み
吹留博一
第 36 回日本放射光学会、立命館大学草津キャンパス、2023.1.7（吹留博一）

・ 二次元原子薄膜を用いた 超高周波デバイスの研究開発
吹留博一
未来 ICT シンポジウム、東京ビッグサイト、2023.2.1（招待講演）

・ Operando X-ray Nanospectroscopy Observation of Devices Using 2D Channel Layers
Hirokazu Fukidome
8th Annual Conference of AnalytiX-2023, Osaka, 2023.5.18（招待講演）

・ Heteroepitaxy of graphene on h-BN using SiC as a substrate
R. Kohama, K. Yonekubo, H. Sugino, K. Suwa, K. Sugawara, C. Tang, T. Otsuji, H. Fukidome
Teretech2023, Aizu-Wakamatsu, 2023.9.6

・ 低環境負荷物質から成る単原子ゲート・トランジスタの創出
杉野秀明、佐々木文憲、米窪和輝、入沢寿史、松本武雄、大堀大介、遠藤和彦、渡邊一世、吹留博一
第 84 回応用物理学会秋季学術講演会、熊本市、2023.9.21

・ 放射光分光を活用した社会実装・国際標準化に向けた取り組み
吹留博一
SPring-8 Symposimu 2023、大阪大学、2023.9.26（招待講演）

・ High efficient graphene-based antenna for monolithic integration with transistors
Hirokazu Fukidome, Tomoya Ishida, Issei Watanabe
JVSS-2023, 名古屋国際会議場, 2023.10.30

・ 単原子長ゲート構造への二次元半導体結晶の成長

杉野秀明，佐々木文憲，米窪和輝，入沢寿史，松木武雄，大堀大介，遠藤和彦，渡邊一世，吹留 博一
第 29 回電子デバイス界面テクノロジー研究会、愛知県三島市、2024.2.2

・ オペランド時空間 X 線分光による GaN-HEMT の表面電子捕獲ダイナミクスの機構解明
吹留博一
半導体の結晶成長と加工および評価に関する産学連携委員会 第 5 回研究会、明治大学駿河キャンパス、2024.3.14（招待講演）

・ 放射光を活用した先端デバイスの研究開発とデバイス・インフォマティクスに向けた取り組み
吹留博一
2023 年度 第 4 回 光材料・応用技術研究会
中央大学後楽園キャンパス、2024.3.15（招待講演）

・ グラフェン超極薄ゲート構造への二次元半導体結晶の成長
杉野 秀明、佐々木文憲、米窪和輝、入沢寿史、松木武雄、大堀大介、遠藤和彦、渡邊一世、吹留博一
2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会、東京都市大学世田谷キャンパス、2024.3.24

・ 主成分分析を用いた InGaAs-HEMT の微視的物性解析への応用
志賀研仁、谷脇三千輝、長岡竜之輔、渡邊一世、小嗣真人、吹留博一
2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会、東京都市大学世田谷キャンパス、2024.3.24

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
（論文）

・ デバイス用基板上 SiC 単結晶薄膜を用いた超高品質グラフェンと高周波デバイスの廉価な製造法の創出
表面と真空，64 (2021)，pp.306-311.
吹留 博一

・ Atomic arrangements of quasicrystal bilayer graphene: Interlayer distance expansion
Y. Fukaya, Y. Zhao, H. Kim, J. Ahn, H. Fukidome, Iwao Matsuda
Phys. Rev. B 104 (2021) L180202

・ Environmental effects on layer-dependent dynamics of Dirac fermions in quasicrystalline bilayer graphene
Y. Zhao, T. Suzuki, T. Iimori, H. -W. Kim, J. Ahn, M. Horio, Y. Sato, Y. Fukaya, T. Kanai, K. Okazaki, S. Shin, S. Tanaka, F. Komori, H. Fukidome, and I. Matsuda
Phys. Rev. B 105 (2022) 115304.

・ Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors
T. Otsuji, S.A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, H. Fukidome, T. Watanabe, T. Suemitsu, A.A. Dubinov, V.V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii
Nanophotonics 2022, in press.
(DOI: 10.1515/nanoph-2021-0651)

（特許出願）

・ 名称：アンテナモジュールおよびその製造方法
出願人：東北大学、信越化学工業株式会社、国立研究開発法人情報通信研究機構
発明人：吹留博一、末光哲也、川合信、渡邊一世
出願番号：特願 2021-207486
出願日：2021.12.16

・ 名称：アンテナモジュールおよびその製造方法
出願者：東北大学，信越化学工業，情報通信研究機構
発明者：吹留博一，末光哲也，渡邊一世，川原実，飛坂優二，秋山昌次，川合信
出願番号：PCT/JP2022/039252（出願先：世界知的所有権機関）
出願日：2022.10.21

・ 名称：アンテナモジュールおよびその製造方法
出願者：東北大学，信越化学工業，情報通信研究機構
発明者：吹留博一，末光哲也，渡邊一世，川原実，飛坂優二，秋山昌次，川合信
出願番号：111148988（出願先：台湾）
出願日：2022.12.20

・ 名称：トランジスタ，集積回路，およびトランジスタの製造方法
出願者：東北大学，信越化学工業，情報通信研究機構
発明者：吹留博一・渡邊一世・川原実・飛坂優二・秋山昌次・川合信
特願 2023-095711，2023 年 6 月 9 日
出願日：2023 年 6 月 9 日

・ 名称：トランジスタの集積回路およびその製造方法
出願者：東北大学，信越化学工業，情報通信研究機構
発明者：吹留博一・末光哲也・渡邊一世・川原実・飛坂優二・秋山昌次・川合信
特願 2023-095712
出願日：2023 年 6 月 9 日

（口頭発表）

- Fast terahertz detection in asymmetric dual-grating-gate graphene-channel FETs
  Koichi Tamura, Daichi Ogiura, Kento Suwa, Hirokazu Fukidome, Akira Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji
  DRC: 79th Annual Device Research Conference Dig., PS1.G, vol. 1, pp.1-2, Web-Online, June 21, 2021
- Controlling the parity and time-reversal symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers
  T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii, H. Fukidome, and K. Narahara
  AAAFM-UCLA2021: International Conference on Advances in Functional Materials, UCLA, Los Angeles, CA, USA and Online, Aug. 18-20, 2021
- THz detection by an asymmetric dual-grating-gate graphene FET
  K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou
  IRMMW-THz: The 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, Changdu, China, and Online, Aug. 29-Sep. 3, 2021
- Controlling the PT symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz laser transistors
  T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii, H. Fukidome, M. Ryzhii, and K. Narahara
  ICMNE: The 14th International Conference on Micro- and Nanoelectronics 2021, Zvenigorod, Moscow Region, Russia, and Online, Oct. 4-8, 2021
- Fast terahertz detection in an asymmetric dual-grating-gate epitaxial graphene-channel FET
  D. Ogiura, A. Satou, H. Fukidome, and T. Otsuji
  RPGR: Recent Progress on Graphene and 2D materials Research Conference 2021 Proceedings, C-TS3-0083, p. 398, Seoul, South Korea
- High Speed Terahertz Detection by an Asymmetric Dual-Grating-Gate Graphene FET
  K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji
  RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 12-13, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021
- Controlling the parity and time-reversal symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers
  T. Otsuji, A. Satou, H. Fukidome, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and K. Narahara
  WINDS: the Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts Booklet, vol. 1, pp. 43-44, Waikoloa Beach Marriott Spa&Resort, Hawaii, USA, Nov. 28-Dec. 3, 2021

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A26

研究課題名

実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究

[1] 研究組織

研究代表者：

福原　武（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

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（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

小沢　秀樹（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

志賀　元紀（東北大学未踏スケールデータアナリティクスセンター）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

近年、量子力学的な自由度を活用した量子技術が、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。小規模な量子系を用いた量子センサーや量子メモリ、さらには大規模な量子系を用いた量子計算機等のアプローチがあり、従来のエレクトロニクスの限界を超えていくための候補として盛んに研究が進められている。また一方、コンピュータ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きた。この状況をふまえ、最近では機械学習をはじめとするデータ科学手法が量子技術の研究に導入され、量子系の測定や、デバイス構造や実験パラメータの自動最適化等で成功を収めるようになってきた。

一方でこの研究の進展とともに課題も明らかとなりつつあり、量子系の実験のみではデータ科学的処理に耐えうる十分なデータを低コストで大量に用意することが難しい場合も多いことが分かってきた。そこで本研究では、実験とデータ科学手法に加えて、比較的データ収集コストの小さいシミュレーション等の理論計算データを組み合わせることにより、データ科学手法を活用する際のデータ不足の困難を克服し、有用となる量子技術の研究を実施した。

[4]研究計画及び内容

データ科学手法を活用する際のデータ不足の困難を克服し、有用となる量子技術の創出に向けて、実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究を推進した。特にシミュレーションデータに基づく手法・学習が、実デバイス、システムにおいても有効となるよう、物理過程を考慮したデータ科学アプローチの設計を行い、研究を実施した。

また本研究の推進にあたり、参加研究者間での最新の研究成果や技術に関するディスカッションを行うとともに、2023 年 11 月 7 日に量子技術・機械学習融合ミーティング（参加者８名）を開催し、融合研究の詳細の議論や、新しいデータ科学手法の情報共有等を行った。また、本活動および研究成果を広く周知するために、ウェブ HP（https://qmbd.riken.jp/qtml/index.html）を通じた情報公開を行った。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

融合的な量子技術の創生に向けて、実験データや理論、シミュレーションを取り入れたデータ科学手法について研究を行った。実験データのみに基づくデータ科学手法の際に問題となるデータ不足の困難を克服するために、シミュレーション等の理論も活用した手法の研究を実施した。シミュレーションにより、実験と比較して低コストに十分な量の学習データを用意し、これにデータ科学手法を活用して学習等を行う手法を開発した。

まず半導体量子ドット系を用いた研究では、半導体量子ドットの電荷状態推定についての研究を引き続き行った。電荷状態を推定する推定器を畳み込みニューラルネットワークを用いて構成し、これに対して量子ドット状態のシミュレータによって得られるデータを学習データとして学習を行った。なおこの学習の際に、電荷状態遷移に特徴的な構造等を活用することで、シミュレーションデータだけでなく、実験データにも有効となる電

荷状態推定器を構成した。そしてこの推定器に改良を加えることにより、ノイズのある実験データへの適応能力の改良を行った。

またこの推定器の動作を調べるために、Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)と呼ばれる手法を活用した。この手法は推定器の判断根拠を可視化できるものである。これを用いて、構成した電荷状態推定器の動作の確認を進めるとともに、Grad-CAM を用いて、推定エラーの起こっている状況での解析を進めた。これにより推定エラーの原因として、ノイズがつながって電荷状態遷移に見えることが分かり、この情報を元に学習に工夫を加えることで、推定精度をさらに高めることに成功した。これらの結果は電荷状態推定器の改良や動作の理解に有用であるとともに、可視化手法を活用した手法改良の有効性を実証するものであり、今後の技術発展に有用となるものである。

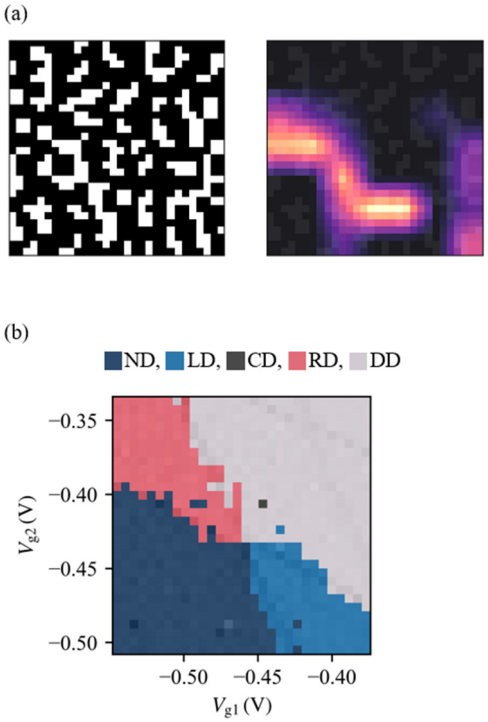


図 1：(a)推定エラーの際の Grad-CAM (b)改善後の推定器による電荷状態推定結果

冷却原子系の実験研究においては、量子気体顕微鏡技術で得られる蛍光画像の解析に取り組んだ。量子気体顕微鏡とは光格子中の冷却原子を単一原子・単一格子レベルで測定する技術である。この画像データを元に実験パラメータを最適化することが最終目標となる。一方で、これまで用いてきた画像解析では原子配置の決定やその配置からサンプルの温度などを評価に時間がかかりオンライン最適化を困難にしていた。畳み込みニューラルネットワークを用いてこの困難を解決することを目指す。

ニューラルネットワークを用いた画像解析に取り組む前に、実際に実験で得られる蛍光画像のパラメータについて調べた。これはシミュレーションデータを作成するために必要となる。

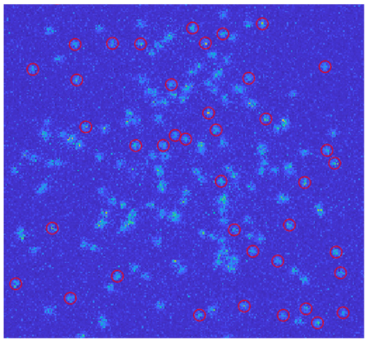


図 2：蛍光画像から孤立した単一原子（〇で記す）の抜き出し

蛍光画像の孤立した単一原子を調べることで個々の原子からの蛍光信号やその相対的な配置（光格子の構造）について詳細な情報を得ることが出来た。今後はこれをもとに作り出したシミュレーションデータを学習データとしてニューラルネットワークの学習を行っていく。

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究課題の実施を通して、情報科学と量子科学、また量子科学の中でも冷却原子量子系と半導体量子系といった、異分野の研究者の協力、連携を活性化することができた。この連携の中で、実験・理論・データ科学の融合による量子技術という新しい融合分野の研究を進めることができ、また新しい研究コミュニティの形成に貢献することができた。

今後としては、引き続きシミュレーションデータと実験データのずれに影響されない頑強性のある手法の開発を、複数の量子系において進めていきたい。また、さらに融合を進める上で、理論計算、シミュレーション、実験データ取得のトータルコストを最適化できる手法の開発も重要になると考えている。

[6]まとめと今後の課題

本技術は量子系の自動制御、自動最適化等を可能とするものであり、量子研究開発分野を推し進めるために不可欠な技術である。これにより量子センサーや量子メモリ、さらには大規模な量子計算機等に貢献し、高度・多機能な情報処理や通信への発展が期待される。また、この研究の中で取り組んでいる手法は情報科学の分野としても新しいものであり、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。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・“Visual explanations of machine learning model estimating charge states in quantum dots”, Yui Muto, Takumi Nakaso, Motoya Shinozaki, Takumi Aizawa, Takahito Kitada, Takashi Nakajima, Matthieu R. Delbecq, Jun Yoneda, Kenta Takeda, Akito Noiri, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, Seigo Tarucha, Atsunori Kanemura, Motoki Shiga, and Tomohiro Otsuka, APL Machine Learning 2, 026110 (2024).

・「機械学習を用いた量子ドット電荷状態判別の汎化性能改良」、武藤由依、中曽拓、相澤拓海、篠﨑基矢、北田孝仁、中島峻、 Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健太、野入亮人、Arne Ludwig、 Andreas D. Wieck、 樽茶清悟、兼村厚範、志賀元紀、大塚朋廣、第 9 回 量子技術・機械学習 融合ミーティング、仙台、2023 年 11 月 7 日

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・“Improvement of Charge State Estimation in Quantum Dots by Machine Learning and Visualization of the Model by Grad-CAM”, Yui Muto, Takumi Nakaso, Takumi Aizawa, Motoya Shinozaki, Takahito Kitada, Takashi Nakajima, Matthieu R. Delbecq, Jun Yoneda, Kenta Takeda, Akito Noiri, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, Seigo Tarucha, Atsunori Kanemura, Motoki Shiga, and Tomohiro Otsuka, The 5th International Symposium on AI and Electronics, Sendai, Feb. 20, 2024

・“Quantum gas microscopy of an XY model in shaken triangular lattices”, Takeshi Fukuhara, Ultracold Atomic Gases: Thirty Years of Activities and Looking Forward, Hong Kong, Dec. 5, 2023 (Invited talk)

・「機械学習による量子ドット電荷状態推定の汎化性能改良」、武藤由依、中曽拓、相澤拓海、篠﨑基矢、北田孝仁、中島峻、 Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健太、野入亮人、Arne Ludwig、 Andreas D. Wieck、 樽茶清悟、兼村厚範、志賀元紀、大塚朋廣、日本物理学会、仙台、2023 年 9 月 17 日

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A27

研究課題名

遠距離における非接触電力伝送の検討

[1] 研究組織

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：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
亀田　卓（広島大学ナノデバイス研究所）
上原　圭吾（東海大学大学院工学研究科）
古橋　汰晟（東海大学大学院工学研究科）
杉野　晴紀（東海大学大学院工学研究科）
田中　寛之（東海大学大学院工学研究科）
柴田　直人（東海大学大学院工学研究科）

[2]研究期間

令和 3 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

近年、海底資源の調査や海底での作業を目的とし海底で AUV(Autonomous Underwater Vehicle)やROV(Remotely Operated Vehicle)などのロボットが稼働している。これらの機器はバッテリにより自律航行を行っているが、充電の度に海面に浮上する必要があり、稼動範囲に制限が生じている。この問題点を改善するため、海水中で非接触電力伝送によりバッテリへ充電する方法が検討されている。この非接触電力伝送の方式として磁界共振方式が盛んに研究されている。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。我々は先行研究において、空気中の磁界共振型非接触電力伝送回路の特性として、送信側コイルの漏れ磁束の増加により遠距離で電力効率が低下することを報告した。また、海水を濃度 3%の塩水と仮定し、塩水中では送受信コイルが塩水から受ける近接効果や表皮効果の影響により、空気中よりも伝送効率が低下することを明らかにした。しかし、塩水中の磁束密度分布、近接効果および表皮効果以外が伝送性能に与える影響は解明できていない。本研究の目的は、塩水中における非接触電力回路の伝送特性を明らかにし、塩水中での電力効率低下の要因を解明することである。また、海水中における遠距離での電力効率低下の要因を解明することで、長距離伝送系の設計への考察も行う。

[4]研究計画及び内容

海水中で非接触電力伝送を行うにあたり、環境が電力伝送に与える影響を考える必要がある。東海大学海洋学部環境社会学科の海洋調査結果から、水深により塩分濃度と電気伝導率が変化することが明らかになっている。本研究では、海水中の非接触電力伝送を想定し、塩分濃度を変化させたときのコイルの特性評価を行う。これにより塩分濃度変化に対する海水中非接触電力伝送の伝送効率への影響を検討することができる。また塩水中での伝送実験を行い、塩分濃度の変化が伝送特性に影響を及ぼすことを明らかにする。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

図 1 に本研究で用いた実験構成の概略図を示す。本システムは、電源回路、送信回路および受信回路で構成される。電源には矩形波を出力するインバータを使用し、共振コンデンサを含むコイルの両端の入力電力と出力電力をパワーアナライザで測定する。

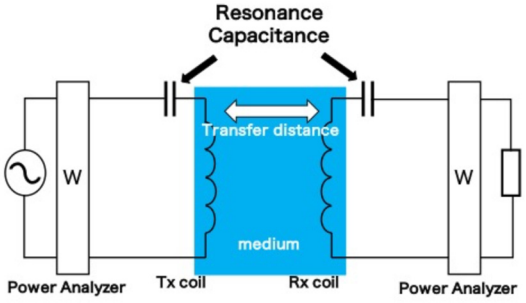


図 1 海水中非接触電力伝送システム

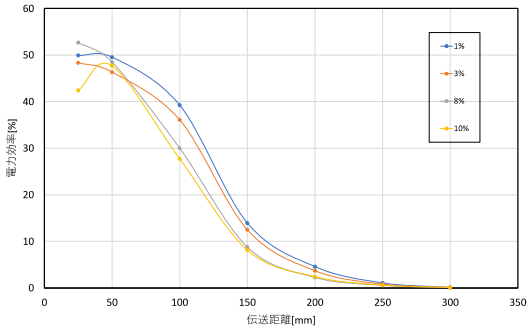
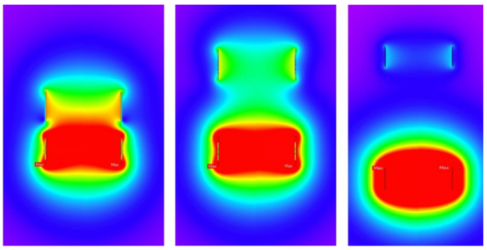


図 2 異なる塩分濃度での電力伝送効率

海水中での非接触電力伝送の実験結果をもとに、塩分濃度と伝送距離を変化させたときの電力効率を導出し、海水中における電力効率の低下について検討する。電力伝送測定は入力電流 2[A]一定、周波数は 85[kHz]とし、伝送媒質の塩分濃度は 1, 3, 8, 10[%]とした。使用する塩水は塩化ナトリウムの水溶液であり、この水溶液を海水として模擬した。伝送距離は 25[mm]と 50[mm]から 300[mm]まで 50[mm]ごとに変化させ、電力効率が約 0%になるまで行った。また、ここでは回路における共振コンデンサを調整することで共振状態を維持する。また、負荷抵抗には合成抵抗 10[Ω]の酸化被膜抵抗を用いた。測定項目は電力効率、入力電流、出力電流、入力電圧、出力電圧、入力電力、出力電力とした。実験により得られた塩分濃度変化における電力効率と伝送距離の関係を図 2 に示す。電力効率は伝送距離 50[mm]までは濃度によってばらつきがあるが、50[mm]以降から伝送距離に応じて徐々に低下し、300[mm]で約 0[%]になる。また、塩分濃度が増加すると電力効率が低下した。

次に塩分濃度と伝送距離を変化させたときに電力効率が低下する要因を磁界解析 JMAG により明らかにする。



(a)25[mm] (b)100[mm] (c)250[mm]

図 3 磁束密度分布図

図 3 に 3[%]での伝送距離 25[mm]、100[mm]および 250[mm]での磁束密度分布図を示す。遠距離における磁束密度分布では、磁束密度が送信側と受信側で二つに分かれていることが確認できる。しかし、25[mm]で磁束密度分布はコイルの領域に集中していることが確認できる。磁束の変化を調べるため、コイルの鎖交磁束数を明らかにする。図 4 に伝送距離に対する鎖交磁束数を示す。ここで、鎖交磁束数は送信側および受信側コイル断面に鎖交する磁束と定義する。送信側コイルの鎖交磁束数は近距離では僅かに減少するが、伝送距離が長くなると急激に増加する。受信側コイルの鎖交磁束数は伝送距離に関わらずほぼ一定である。図 5 に海水 3[%]における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増加するが、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 100[mm]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と考えられる。

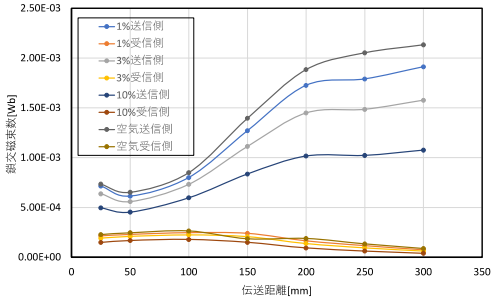


図 4 伝送距離に対する鎖交磁束数

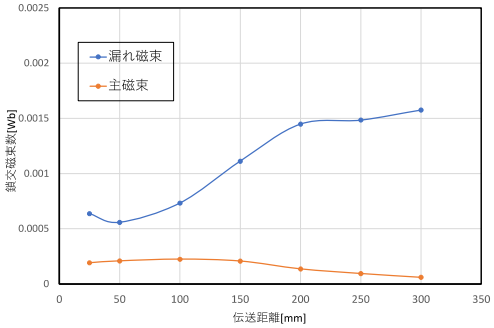


図 5 伝送距離に対する主磁束と漏れ磁束

(5-2) 波及効果と発展性等

非接触電力伝送では伝送距離にかかわらず高効率で電力を伝送することが求められている。これまでの研究により、空気中や海水中の近距離での効率低下の要因は交流抵抗の増加であることがわかっている。また、本研究により遠距離では漏れ磁束の増加により電力効率は低下するが、一定の電力を伝送できる可能性があることがわかった。一方、海水中における電力伝送では、電力効率の低下の原因として、塩水による近接効果の影響があることがわかっている。さらに渦電流の影響が考えられるが、その検討はまだ十分に行なっていない。また、実際の海での環境の影響も考えなければならない。電力効率が決定される要因を明らかにすることで、海水中においても高効率な非接触給電システムの設計の実現が可能となる。

[6]まとめと今後の課題

本研究では、海水の塩分濃度による非接触電力伝送への影響を明らかにするため、電力伝送実験と磁界解析を行った。磁界解析より、塩分濃度が増加することで送信側の鎖交磁束数が減少し、塩分濃度の増加に対する電力効率が低下する要因であることが明らかになった。また、長距離における電力伝送では受信側に鎖交していない漏れ磁束の急激な増加が電力効率の低下の要因であるということが明らかになった。しかし、塩水は導電性をもつ誘電体であるため、損失の全てを磁束密度のみで説明することはできない。今後はさらなる検討を続けていく。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・R. Nur Adabi, K. Uehara, N. Shibata, M. Inamori, “Investigation of Data Transmission for Wireless Power Transfer System in Seawater,” in Proc. 2023 International Symposium on Communications and Information Technologies, Sydney, Oct.2023.

・R. Nur Adabi, K. Uehara, N. Shibata, M. Inamori, “Investigation of Data Transmission for Wireless Power Transfer System in Seawater,” in Proc. 2023 International Symposium on Communications and Information Technologies, Sydney, Oct. 2023.

・古橋汰晟, 田中寛之, 杉野晴紀, 稲森真美子, “海水中非接触電力伝送システムにおける濃度変化の影響,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2023 年 9 月.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・[招待講演] 稲森真美子, “海水中非接触電力伝送の損失解析の検討“, 電子情報通信学会無線電力伝送研究会, 2023 年 6 月.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A28

研究課題名

空間知覚の身体性：異方性と個人差

[1] 研究組織

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（熊本大学大学院人文社会科学研究部）
田中 優希（熊本大学大学院社会文化科学教育部）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

情報通信技術，特にバーチャルリアリティ技術の発展に伴い，情報の受け手が高いリアリティで提示情報と相互作用できる情報システムへの期待が高まっている。そうしたシステムにとって今後重要になると考えられるのは，映像情報や音声情報など複数の感覚情報を一方的に伝達するだけではなく，情報の受け手であるユーザーの動きや姿勢，あるいは好みに応じてできるだけ自然なかたちで情報を提示することであろう。人間は，通常，眼や頭部，身体全体を動かしながら周囲の環境を認識し，相互作用している。その身体の動かし方は，生体力学的な制約を強く受けると同時に，日常の生活習慣や余暇活動などライフスタイルの影響も受ける。座っているときには立っているときに比べて，手の届く範囲は狭くなり，一方向に動いている時には進行方向以外へ向けた動作は制約される。スポーツをする習慣がある人はない人に比べて，特定の動きに対する身体の可動範囲が拡がっていたり，洗練されていたりする。そこで本研究では，高いリアリティをもった情報システムを実現するための基礎データを得るため，こうしたユーザーの動きや姿勢，あるいは運動能力や身体運動特徴等の個人特性に応じて，空間知覚や認識がどのように変わるのかを明らかにする。

・第 1 回研究打ち合わせ（2021 年 8 月 29 日 オンライン）VR 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（2022 年 2 月 17 日 オンライン）第 1 年度に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。
・第 3 回研究打ち合わせ（2022 年 12 月 22 日）VR 実験のパラメータについて議論を行った。
・第 4 回研究打ち合わせ（2023 年 2 月 15 日）第 2 年度に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。
・第 5 回研究打ち合わせ（2023 年 4 月 25 日）VR 実験のパラメータについて議論を行った。
・第 6 回研究打ち合わせ（2024 年 2 月 15 日）第 3 年度に得られた実験データを共有し，来年度新規申請のための研究計画について議論を行った。

[4]研究計画及び内容

本研究は 3 年計画である。初年度は静止時の身体近傍空間の広がりに焦点をあて，身体力学的制約および個人の身体能力との関係を調べた。第 2 年度は，自己運動時の身体近傍空間の広がりに焦点を当て，各自己運動情報の役割を調べた。第 3 年度は，若齢者の静止時の身体近傍空間の広がりに関する知見をベースに，高齢者の静止時および自己運動時の身体近傍空間の広がりの異方性を調べた。なお，身体近傍空間（PPS: peripersonal space）と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。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（e.g., Rizzolatti et al., 1981）。また，PPS は身体部位毎に形成され，さらに，その範囲は固定されているわけではなく，道具使用時には道具の先端まで拡大し（Iriki et al., 1997），身体全体の運動時には進行方向側に拡大する（Noel et al., 2015; Kuroda & Teramoto, 2021）等可塑的な変化があることが知られている。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

研究 1：身体全体の行動制限時の PPS 変容

参加者を大きな箱に入れることによって行動制限

を行い（Fig.1），PPS を計測した。PPS 範囲の計測には，一般によく用いられる視触覚検出課題を用いた。視覚プローブを様々な距離から身体に向けて接近運動させ，その間に参加者の胸に触覚刺激を提示した。参加者には触覚刺激を検出したらできるだけ早く反応するように教示した。視覚プローブが提示されない条件をベースラインとして，視覚プローブによる触覚検出の促進量を距離毎に算出した。そして，視覚プローブによる検出促進が生じた最大距離を PPS と定義した。その結果，非行動制限時には，視覚プローブが身体から遠くなるほど触覚検出の促進量は減少し，身体から 250cm から 300cm 離れた位置に PPS 境界があると推定された。一方で，行動制限時には測定した全ての距離条件（50cm から 300cm まで 50cm 刻み）で触覚検出が促進された。したがって，本研究の身体全体の行動制限は PPS を拡大させることを示唆する。

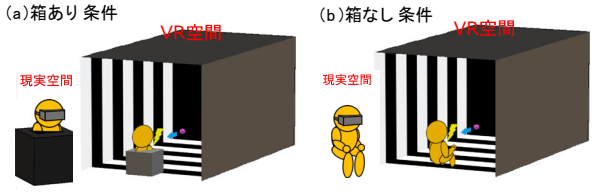


Figure 1: 研究 1 の実験条件

研究 2：自己運動の能動性が PPS 範囲に与える影響

ヘッドマウントディスプレイ（HMD）および模擬自転車（セラトレーナーモビ）を用いてすべての自己運動手がかりが含まれている能動条件と機械によって自転車をこがされる受動条件，および視覚的運動情報のみ条件を比較した（Fig.2）。その結果，すべての条件において設定したすべての距離で視覚プローブによる反応の促進がみられ，視覚プローブが身体に近いほど促進量が大きくなった。その促進量は能動条件で最も大きくなった。このことは能動的に自転車をこぐ際には運動指令信号が自己受容情報よりも自己運動時の身体近傍空間表現を形成するうえで重要な役割を果たしていることを示唆する。

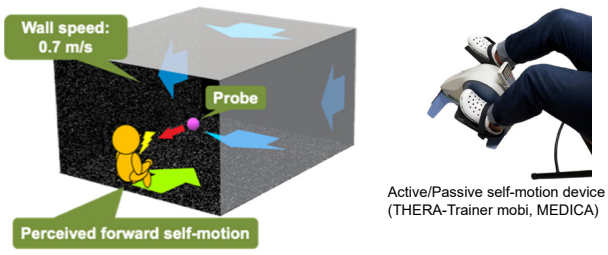


Figure 2: 研究 2 の実験環境

研究 3：自己運動時の PPS 変容の年齢関連差

自己運動情報は HMD を用いて視覚的に与えた。視覚的自己運動情報の呈示範囲によって自己運動強度を操作し，小視野条件と大視野条件を設定した。その結果，若年者群と高齢者群両群において，すべての距離で視覚プローブによる反応の促進がみられ，視覚プローブが身体に近いほど促進量が大きくなった。また，若年者では小視野条件に比べて大視野条件では触覚刺激の検出が促進された。このことは自己運動強度に応じて PPS 範囲を変化させていることを示唆する。一方で，高齢者では視野条件間には有意な差は見られなかった（Fig. 3）。高齢者は自己運動を知覚する際に視覚情報を重視することから，小視野の視覚的運動情報であっても PPS を変容させるのに十分強いものであった可能性がある。

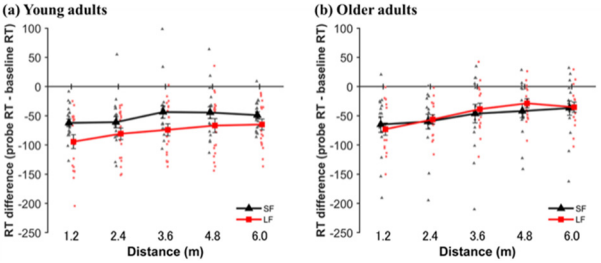


Figure 3: 研究 3 の結果
（SF:小視野条件, LF:大視野条件）

（5-2）波及効果と発展性等

継続的に共同プロジェクト研究を実施していることにより，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を維持できている。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も行っている。またいくつかのデータは投稿準備中である。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトでは，3 つの研究によってユーザーの動きや姿勢などの置かれた状況および年齢が空間知覚に強く影響を与えることを示した。今後さらに心理物理学的手法のみならず，生理心理学的手法も駆使しながら，系統的に検討を加えることによって，学術的に非常にインパクトがある成果となると考えられる。また，当初予定していた異方性を系統的に示すまでには至らなかったため引き続き検討をおこなっていく。こうした研究を通して，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と考えられる。

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

・Kuroda, N., & Teramoto, W. (2022). Contribution of motor and proprioceptive information to visuotactile interaction in peripersonal space during bike riding. Experimental brain research, 240, 491-501. doi: 10.1007/s00221-021-06269-4

・双須藍里・黒田尚輝・原田新也・寺岡諒・寺本渉（2023）他者の歩容がパーソナルスペースに与える影響．信学技法，HIP2022-81(2023-02), 29-32.

・竹尾香凜・黒田尚輝・寺本渉（2023）手の身体近傍空間の時間特性．信学技法，HIP2022-90(2023-02), 68-71.

・黒田尚輝・原田新也・寺岡諒・寺本渉（2023）胸部の身体近傍空間様相の加齢変化．信学技法，HIP2022-91(2023-02), 72-75.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・黒田尚輝・原田新也・寺本渉 (2024). 視覚的自己運動情報が高齢者の身体近傍空間表象に与える影響. 信学技法，HIP2023-109.

・寺岡諒，黒田尚輝，寺本渉 (2023). 胸部の身体近傍空間表象の方位依存性. 日本基礎心理学会第42回大会, 豊橋技術科学大学, 12月1〜2日.

・Kuroda, N., Teraoka, R., Harada, S., and Teramoto, W. (2023). Effect of postural instability on passable width perception in older adults. International Multisensory Research Forum, Blue Point Center, Brussels, Belgium. (June 27-June 30).

・黒田尚輝・寺岡諒・原田新也・寺本渉（2023）身体の行動制限時の身体近傍空間．多感覚研究会，立命館大学，2023年2月18日.

・Kuroda, N., Ikeda, K., & Teramoto, W. (2022). Visual self-motion information contributes to perceived passable width perception during a bike riding situation. Frontiers in Neuroscience, 16, 938446.

・黒田尚輝・成瀬香織・寺本渉 (2022). 身体の行動制限が身体近傍空間表象に与える影響. 信学技法，121, HIP2021-72, 72–75.

・山高正烈・坂本修一・寺本渉 (2021). 音刺激の諸特性がベクション知覚時の音像定位に及ぼす影響. 第26回日本バーチャルリアリティ学会，立命館大学（オンライン），2021年9月12日〜14日.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A30
研究課題名

視聴覚情報からの高臨場感ハイブリット振動作成

[1] 研究組織
研究代表者：
山高 正烈（愛知工科大学工学部）
通研対応教員：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間
令和３年５月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
＜目的＞
本研究では，振動情報を手軽に入手する方法として視聴覚情報からの効果的なハイブリット振動作成法を提案・構築する．また，振動情報のあるべき「姿」を「知覚的リアルさ」の側面から分析し，本物の振動より「リアル」な振動情報の作成を目指す．本研究の遂行により，視聴覚コンテンツさえあれば誰でも簡単に振動情報を入手することができ，「視覚における HMD」や「聴覚におけるヘッドフォン」と並んで，簡単に振動提示が可能な第三の情報提示システムの実現につながると考えられる．
＜研究背景と概要＞
近年，情報通信技術の進歩に伴い，視聴覚情報に加えて体性感覚や嗅覚など，より多くの感覚情報を含んだマルチモーダルコンテンツ体験が可能になりつつある．その中で，体全体を揺らすような全身振動情報の提示は，臨場感知覚と深い関連があり，VR コンテンツ体験における高次感性の向上に不可欠であることが明らかになった．
しかしながら，既存の VR コンテンツは視覚情報と聴覚情報によるものがほとんどであり，振動情報は含まれていない場合が多い．そのため，今までの振動情報の入手は，振動ピックアップのような専用装置を用いて実際に地面をセンシングする必要があり，手続きが煩雑でハードルの高いものであった．したがって，より高い臨場感を与えるべく振動情報を付加提示するためには，既知の何らかの情報から振動情報を作り出す必要があると考えられる．
このような観点から，本研究では本物の振動より「リアル」な振動を作ることを目的とした．申請者らは，振動情報を生成する方法として，誰でも手軽に入手可能な視聴覚情報からの効果的なハイブリット振動作成法を提案・構築した．また，振動情報のあるべき「姿」を「知覚的リアルさ」という側面から分析し，本物の振動より「リアル」な振動の作成を目指した．
＜研究活動状況の概要＞
・令和 3 年度
プロジェクト研究実施の初年度であることもあり，研究打ち合わせと実験環境の構築をメインに実施した．具体的には，2021 年 4/7～10 日に東北大学電気通信研究所で研究打ち合わせを行い，実験パラメータの整理と問題点を抽出した．研究打ち合わせの結果を基に，5/28～6/1 日に東北大学電気通信研究所にて実験プログラムの作成と実験環境のセッティングを行った．これらの事前準備を経て，10/21～24 日，および，12/15～17 日に，愛知工科大学の学部生延べ 5 人／次が被験者実験を 2 度に渡って実施した．
・令和 4 年度
前年度に実施した実験結果に基づき，2022 年 4/21～22 日，10/6～10/8 日，12/22～23 日に現地にて 3 回の研究打合せを実施した．また，2 回のオンライン会議を実施し，前年度の実験結果の考察と今後の研究計画について議論した．これらディスカッションの結果を基に，10/6～10/8 日に現地にて実験環境のセッティングを行い，実験刺激の再チェックを行った．
・令和 5 年度
2023 年 2/23～24 日に東北大学電気通信研究所にて新しい実験環境を構築した．その後，2023 年 5/11～13 日に現場にて実験環境の最終テストと被験者実験を実施した．また，10/19～21 日と 12/21～22 日に 2 度東北大学電気通信研究所を訪れて追加実験を実施した．
合わせて，3 年間に渡って参加人数は計 27 人数／回であり，そのうち若手研究者は 5 人数／回となる．

[4]研究計画及び内容
課題Ⅰ：音情報の特徴分析
視聴覚コンテンツの各イベントと，それに対応する実測振動の周波数帯域を分析・整理し，印象評価実験を実施して，音情報の周波数帯域と包絡線，搬送波周波数等といった音信号の周波数特性が高次感性に及ぼす影響を明らかにする．これにより，音情報からの振動生成モデル構築のための音情報の諸特徴を明らかにする．

課題Ⅱ：音情報からの振動生成モデルの構築

音情報の高周波数帯域から低周波数帯域への変換を可能にする計算モデルを，実測振動および音情報の周波数特性をパラメータに検討・構築する．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

１．最適振動レベルの推定と効果検証

動画共有サイトVimeoから視聴覚コンテンツを収集し，それらを「非実在」,「日常・自然環境」,「スポーツ」,「パフォーマンス」,「知識・トーク」の 5 つのカテゴリに再分類し，最終的に 20 個のコンテンツを得た．次に，振動の大きさを対象とし，体験者が最適と感じる振動の大きさの調査実験を行い，最適な振動の大きさが映像，音響特徴量でどの程度説明できるかを検討した．その結果，最適と感じる振動レベルの時間変化は従来の生成法である ViLA(Vibration from Low-Frequency Audio)振動レベルの時間変化と類似すること，また，最適な振動の大きさにラウドネスやシャープネス等の音響特徴量，顕著な物体と関連するオプティカルフローの大きさ等の映像特徴量が影響を与えることを示した

これらの実験により明らかになった最適振動レベル (RAVib：Regression Analysis Vibration)をパラメータに，先行研究にて収録した実測振動付き多感覚コンテンツ（電車コンテンツとバスケットコンテンツ）を用いて高次感性実験を実施した．その結果，電車コンテンツでは振動レベルが＋15dB に達するまで評価値が上昇する一方， バスケットコンテンツでは評価が下がる結果となった．このことから，コンテンツによって加える振動の最適な大きさが異なる可能性が示唆された．

２．最適振動レベル推定モデルの検討

先行研究の実験結果，臨場感と迫真性両指標ともに，導出した最適振動レベルが，他の条件よりも評価が低くなる場合があった．この点について検討するために，最適振動レベルと体験者が調整した最適振動レベルの関係性を比較・検討した．

本実験で用いたコンテンツと「コンテンツに含まれる物体や事象」という観点で類似するコンテンツを探したところ，大きく，重い物体が移動する電車コンテンツはロボットの動作コンテンツが，複数人がボールを用いてスポーツを行うバスケットボールコンテンツはフットサルコンテンツが該当した．即ち，実験で用いたコンテンツにおいて同程度最適振動レベルが RAVib_org 条件よりも上昇する可能性を示しており，RAVib_org 条件が他の条件よりも低い印象強度を示したことと，二つのコンテンツ間でより高い印象強度を示す RAVib 条件が異なった理由として考えられる．このことは，最適振動レベルを正確に推測することが臨場感，迫真性により強く寄与する可能性を示しており，そのためには，映像，音響特徴量に加えて，その他の情報，例えば対象物体や事象の情報も考慮した推定法が必要なことを示唆している．

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究の遂行は，産業界に与えるインパクトが大きいと考える．本研究の知見により，例えば，体験者は観客席にいるような臨場感を感じながらも間近でコンテンツの本物らしさを感じ取るといった「二面性」をも体験でき，実際にその場にいる以上の価値を得ることができると考えられる．本システムを通して，実際にその場に行かずとも VR コンテンツを楽しむ人が増加し VR システムの普及に大きく貢献するとともに，将来人々のライフスタイルを一変させる可能性も潜めていると考えている．また，エンターテインメント分野だけでなく，遠隔協働，教育分野に広く応用することにより，これまでにない価値を提供できる可能性も考えられる．

本プロジェクト研究は，学内外研究者との交流，特に若手研究者間の交流が活性化し，若手研究者の育成につながった．例えば，本プロジェクト研究に参加した愛知工科大学の学部生が東北大学電気通信研究所を訪れ，東北大学電気通信研究所の学部生，および院生らと交流するとともに，実際被験者実験に参加することにより研究に興味を持つことができた．その結果，1 名の学生が博士後期課程に進学し，今後の継続研究につながった．

[6]まとめと今後の課題

本研究の実現により，「体験者に高度な高次感性を感じさせる多感覚情報の提示法」や「高次感性を促進するための VR 空間の諸条件」が明らかになると考える．これらの知見を応用することにより，将来は，無観客試合で試合が行われているにも関わらず，多感覚情報を効率よく合成して提示することで，普段と変わらない臨場感を感じられる VR システムの構築に貢献できると考える．

昨今の COVID 19 等感染症が広がる情勢の中で，近い将来無観客でイベントが行われることがノーマルになることは否定できない．そのような場合においても本研究の知見を応用することで，従来通りにコンテンツを楽しむことが強く期待される．

しかしながら，本プロジェクト研究は，音情報がほとんど存在しない場合における疑似振動提示手法の検討までは至っておらず，今後の課題となる．また，作成した疑似振動がコンテンツに依存している問題点も克服できてない．今後，多種類の振動付きコンテンツを用いてカテゴリ分析を行う．カテゴリ化された素材と物理特徴量との対応関係を求めモデル化する必要がある．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

＜論文＞

- Shota ABE, Shuichi SAKAMOTO, Zhengile CUI, Yôiti SUZUKI, “Determination of optimal levels of whole-body vibration using audio-visual information of multimodal content,” Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 13(4), pp.226-238, 2023.
- 阿部翔太，山高正烈，坂本修一，鈴木陽一，行場次朗，“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～,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，26(1)，pp.62-71，2021.3.

＜学会発表＞

- 阿部翔太，山高正烈，坂本修一，鈴木陽一，“映像音響コンテンツの特徴量から合成した全身振動情報が臨場感と迫真性に与える影響,” 日本音響学会 2023 年春期研究発表会講演論文集，3-4P-13，pp.549-550，2023.3.17.
- 阿部翔太，坂本修一，山高正烈，鈴木陽一，行場次朗，“多感覚コンテンツにおける音響特徴量を用いた全身振動最適レベル決定法の検討,” 日本音響学会 2022 年春季研究発表会講演論文集，2-4P-2，2022.3.19.
- 阿部翔太，山高正烈，坂本修一，鈴木陽一，行場次朗，“多感覚コンテンツにおける最適振動レベルに影響を及ぼす映像および音響特徴量の検討,” 信学技報，121(362)，EMM2021-89，pp.31-36，2022.1.27.
- 阿部翔太，山高正烈，坂本修一，鈴木陽一，行場次朗，“多感覚コンテンツに付加する全身振動情報の最適振動レベル決定法に関する検討,″ 日本バーチャルリアリティ学会第 26 回大会論文集，2021.9.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

- なし

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A31

研究課題名

光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究

[1] 研究組織

研究代表者：
葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：
葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
新谷　昌人（東京大学地震研究所）
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）
吉田　真人（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）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

我が国はしばしば地震や火山噴火による自然災害が発生しており、それらの現象を理解することは学術的にも防災の観点からも極めて重要である。そのためには、災害の前兆現象である地面の隆起・沈降やマグマの移動といった地殻変動を常時観測することが不可欠である。しかしながらこれらの現象を温度･湿度等の変化が激しい環境下や火山活動の活発な地域において直接観測ことは困難である。そのため、地殻変動を遠隔地から高精度に観測できる多点監視システムの実現が強く求められている。

本研究では、これまでの共同プロジェクト研究の成果を活かし、波長 1.5 μm 帯光ファイバー通信技術を用いて複数の絶対重力計による多点観測システムを展開し、地面の隆起・沈降やマグマの挙動といった地殻変動を重力変動として捉える遠隔監視技術の研究を行う。

[4]研究計画及び内容

研究代表者（東北大通研　葛西）はこれまでに 10^{-9}～10^{-10} の周波数安定度を有する波長 1.5 μm 帯絶対周波数安定化レーザーを開発してきている。一方、研究分担者である東京大学 地震研　新谷昌人教授はレーザー干渉方式の絶対重力計（TAG-1：Transportable Absolute Gravimeter-1）を開発している。またその有用性を 10^{-11} の周波数安定度を有する波長 0.633 μm ヨウ素安定化 He-Ne レーザーを用いて実証している。本研究ではアセチレン分子の超狭線幅（線幅：～2 MHz）な飽和吸収線を光周波数基準として用いた高安定な波長 1.5 μm 帯周波数安定化レーザーを開発する（従来の周波数安定化レーザーの周波数安定度を向上）。また本光源を用いたレーザー干渉型絶対重力計の開発を行う。これを多点配置し、一箇所から光ファイバーを介して供給される周波数安定化光を用いて同時に重力計測を行う光ファイバー遠隔計測システムを実現する。

本研究は研究期間 3 年として R3 年度より開始している。R3 年度は、極限環境下（低温野外環境）での長期絶対重力観測の実現を目指して、TAG-1 の改良（小型化を含む）及び低温環境下における動作特性の確認を行った。また、本装置を南極・昭和基地内に設置し、633 nm 光源を用いて基本的な観測実験を行なった（研究分担者　新谷教授による）。周波数安定化レーザーに関しては、シングルモード光ファイバー結合型光干渉計及びマルチパス型アセチレン飽和吸収セルの設計及び試作を完了した。

R4 年度は前年度の研究成果を踏まえ、南極・昭和基地における極限環境下（低温野外環境）における長期絶対重力観測実験を継続して実施した。また、本学電気通信研究所においては、重力加速度の遠隔計測の実現に向け、周波数安定化光信号の光ファイバー伝送実験を実施した。

R5 年度は小型化された TAG-1 を用い、蔵王観測所（東北大学地震・噴火予知研究観測センター、宮城県蔵王町）において重力加速度計測実験を行った。また、光ファイバーネットワークを用いた遠隔監視システムの構築に向けて開発した、重力加速度計測用波長 1.5 μm 帯レーザー干渉の評価を行い、これを用いた重力加速度計測実験を東北大学電気通信研究所内にて実施した。

［5］研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

蔵王観測所（東北大学地震・噴火予知研究観測センター、宮城県蔵王町）において、TAG-1 を用いた重力観測を行った（図 1）。図 2 は TAG-1 の構成である。真空容器内を自由落下する物体（自由落下ミラー）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加速度の絶対値を 9～10 桁の精度で計測する。外部振動による重量加速度計測誤差を補正するため、本装置の加速度センサーには参照ミラー（光干渉計の参照光路用）が取り付けられている。

今回の計測では、レーザー光源として 633 nm 周波数安定化 He-Ne レーザーを用いた。図 3 は重力加速度の計測結果である。変化量は約 10 μGal（1Gal=10^{-8}m/s^2）であった。潮汐の変化を反映した理論値に近い結果が得られている。

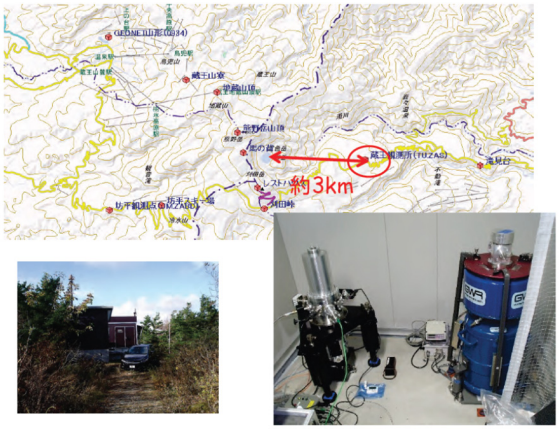


図 1. 蔵王観測所における重力加速度計測実験
右下写真：左側装置が TAG-1

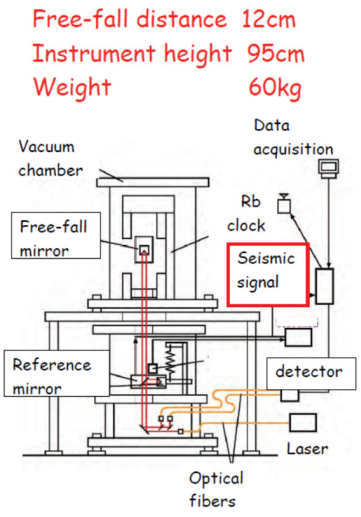


図 2. TAG-1 の構成

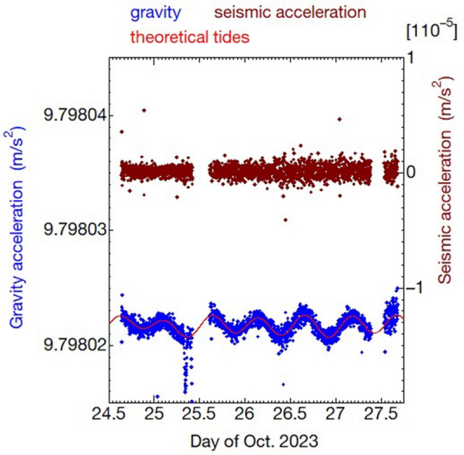


図 3. 重力加速度計測結果

従来の TAG-1 では、マルチモード光ファイバー結合型のレーザー干渉計が適用されていた。TAG-1 を重力計測センサーとして用いた遠隔計測光ファイバーネットワークを構築するためには、シングルモード光ファイバー結合型のレーザー干渉計を新たに開発する必要があった。本研究課題では、R3 年度に本干渉計の 1 次試作を行い、それ以降改良を進めて来ている。本年度は改良されたレーザー干渉計を TAG-1 に組み込み（図 4）、本学電気通信研究所本館地下実験室にて重力加速度計測実験を実施した。

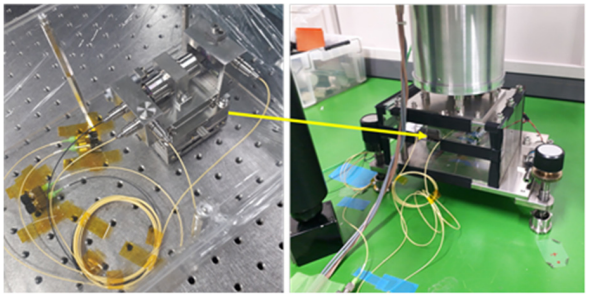


図 4. 波長 1.5 μm 帯レーザー干渉計（左）およびこれを組み込んだ TAG-1（右）

図 5 に本学での重力加速度計測実験の様子を示す。本学にて開発した波長 1.5 μm 周波数安定化レーザー(1538.803242nm)と TAG-1 を組み合わせ、地下実験室における重力加速度の変化を計測している。図 6(a)は観測結果である。光検出器の応答特性等に起因する系統誤差を補正した結果、理論値に近い結果が得られている。図 6(b)は、周波数安定化レーザーと TAG-1 の間を 26 km のシングルモード光ファイバーで接続して行った重力加速度計測結果である。光ファイバーを介して周波数安定化光信号を TAG-1 に供給しており、遠隔計測の模擬実験となっている。光ファイバーを介した場合でも理論値に近い結果が得られている。

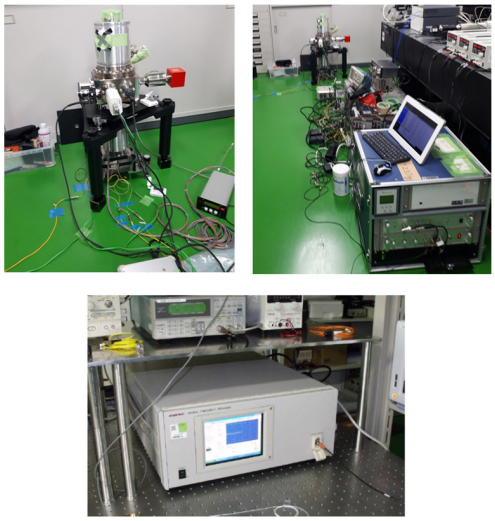


図 5. 波長 1.5 μm 周波数安定化レーザーと TAG-1 を組み合わせて行った重力加速度計測実験、上段 2 枚の写真は TAG-1 を用いた重力加速度計測システム、下段写真は波長 1.5 μm 周波数安定化レーザー

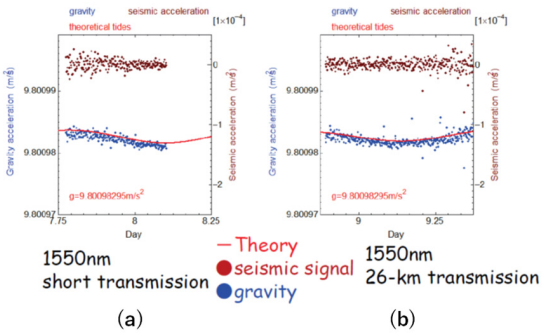


図 6. 重力加速度計測結果、波長 1.5 μm 周波数安定化レーザーと TAG-1 の組み合わせ、(a)長尺光ファイバーを介さない場合、(b)26 km の光ファイバーを介した場合

(5-2) 波及効果と発展性等

本共同プロジェクト研究の成果を基に、下記の研究プロジェクトが同時に進められている。

進行中課題

・プロジェクト名：「Slow-to-Fast 地震現象の詳細把握へ向けたマルチスケール観測技術の開発」・科研費：新学術領域研究
代表：田中愛幸（東京大学地震研究所
期間：R3～R7

終了課題

・プロジェクト名：「南極氷床上における多点連続観測を目指した小型重力計の開発研究」
科研費：新学術領域研究
代表：新谷　昌人（東京大学地震研究所）
期間：R2～R3

[6]まとめと今後の課題

波長 1.5 μm 帯周波数安定化レーザー、シングルモード光ファイバー結合型レーザー干渉および TAG-1 を組み合わせることにより、理論値に近い結高精度な重力加速度計測を実現することができた。今後は、波長 1.5μm の光ファイバー通信技術を用いて複数の絶対重力計を用いた多点観測システムを開発し、地殻変動を重力変動として捉える遠隔監視技術の確立を目指す。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・ 新谷昌人，風間卓仁，西島潤，奥野淳一 青山雄一，土井浩一郎，葛西恵介, 吉田真人，坪川恒也, “小型絶対重力計 TAG-1 の野外観測へ向けた改良と系統誤差評価,” 日本測地学会第 140 回講演会, 24, 仙台, 2023/10/11.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/A32

研究課題名

脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用

[1] 研究組織

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（尚絅学院大学理工・自然部門）
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）
矢内　浩文（茨城大学大学院理工学研究科）
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（山口大学大学院創成科学研究科）
上田　哲史（徳島大学情報センター）
西尾　芳文（徳島大学社会産業理工学研究部）
石田　文彦（富山高等専門学校
電気制御システム工学科）
田中　敦　（山形大学大学院理工学研究科）
佐野　雅己（上海交通大学自然科学研究院）
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）
山本　英明（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

AI 技術のより一層の社会実装に向けて、脳型情報処理を実現するハードウェア基盤を確立することが本プロジェクトの目的である。生物神経系における脳型情報処理の高効率性や柔軟性は、現 Si テクノロジーを遙かに凌駕し、次世代の情報処理システムの開発において優れたお手本である。また、脳のような大規模な集積システムを実現する手段は Si テクノロジーが最も有力であり、Si テクノロジーと脳型情報処理の融合が大きな課題となっている。課題克服のためには、長期記憶を実現する不揮発性メモリデバイス、記憶と演算を融合するシナプスデバイス、時分割処理により大規模配線を実現する回路アーキテクチャ、神経素子のダイナミックな力学特性を再現するアナログ回路モジュール、有限なハードウェアリソースで環境変化に対応しうる学習機能モジュール、モジュール競合により判断処理を行う計算機アーキテクチャなどの要素技術の整備と、これらの統合が必要不可欠である。

本プロジェクトではこれまでに得られている知見、モジュール構造神経回路に発現する複雑ダイナミクス、リカレントアナログ神経回路を用いたリザバーコンピューティング等をさらに発展させて、高効率かつ柔軟な脳型ハードウェアを構築することなどを目指す。

[4]研究計画及び内容

研究は、(A)脳機能の研究、(B)モデルの研究、(C)脳型集積デバイス・回路の開発、そして(D)システム応用、に分類される。(A)では脳の神経生理学的研究により脳機能の発現に必要な要素を抽出することや、生体の神経回路と工学的な人工神経回路との違いを明らかにすることを目的とする。新たに、構造や結合を制御した培養神経回路上での検証を重要課題とする。(B)では、(A)の結果を踏まえて、これまでの研究で得られている脳型計算機向けニューロンモデルやシナプスモデルのブラッシュアップに努め、そしてそれらが複合したシステムの構成方法について検討を行う。リカレントアナログ神経回路における複雑ダイナミクスに着目し、エッジコンピューティングにおけるリ

ザバーコンピューティングの有用性を詳細に検証する。(C)では、トンネル MOSFET や不揮発性メモリデバイスを組み入れた低消費電力シナプスデバイスの開発や、神経素子間の莫大な通信を可能とするアドレスイベント表現プロトコル(AER プロトコル)の実装、カオスなどの非線形力学を取り込んだダイナミックな情報処理機構など、生体が持つ圧倒的な高効率性や柔軟性を実現するためのデバイス・回路技術を探求する。(D)では(C)の成果として得られるハードウェアをエッジコンピューティングへ応用し有効性を明らかにする。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

主な成果は次の通りである。まず、サブスレッショルド領域で動作する CMOS 回路を用いてアナログスパイキングニューロンを設計・試作し、極低消費電力で動作することを確認した。次に、このニューロン回路を用いた 16 ニューロンから成るスパイキングニューラルネットワークを構成し、専用 LSI の試作を行い、その動作を確認した。続けて、96 ニューロンから構成されるリカレントニューラルネットワークを実装し、FPGA を介して PC と接続することにより、リザバー計算システムを構築した。さらに、本システムを音声認識や手書き文字認識に応用し、世界とトップレベルの電力性能を有することを実証した。

また、本プロジェクト研究と連動する形で、「脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム」を計３回開催し、今後の研究開発の方向性について有益な知見を得ることができた。以下は令和５年度開催分の口頭発表リストである。

・Analog spiking neural networks with floating gate synapses in CMOS technology, G. Ferrari (PoliM, Italy)・CMOS spiking neural networks for edge computing, S. Sato (Tohoku Univ.)・Analysis of learning process in spatio-temporal learning network, T. Orima (Tohoku Univ.)・Spin and acoustic wave based Ising machines, J. Åkerman, (Univ. Gothenburg, Sweden, Tohoku Univ.)・Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems, N. Onizawa (Tohoku Univ.)・Learning and memory in stress circuits, W. Nicola (Univ. Calgary, Canada)・Reservoir-based predictive coding model for sensory signal processing, Y. Katori (Future Univ. Hakodate)・Stimulus-induced bursts of hippocampal mossy fibers, H. Kamiya (Hokkaido Univ.)・Biomimetic spiking neural network and real-time closed-loop bio-hybrid systems, T. Levi (Univ. Bordeaux, France)・Neuromorphic spatio-temporal spike pattern detection model with biological plausibility, S. Furuichi (Univ. Tokyo)・Basic and translational applications for synthetic biological intelligence: past findings and new tools, B. J. Kagan (Cortical Labs, Australia)・From quantum perceptrons to quantum reservoir computing, E. Prati (Univ. Milan, Italy)・Mapping spiking neural applications on digital custom hardware for efficient real-time execution, J. Madrenas (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)・Spike pattern learning through STDP mechanisms with competitive dynamics and axonal delays, Z. Hao (Univ. Tokyo)・Stimulation in engineered neuronal cultures: from plasticity to reservoir computing, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)・Brain-wide mapping of stimulus induced variability quenching reveals modularity of cortical network, T. Matsui (Doshisha Univ.)・Development in technology for the production of new neural circuits in the brain, Y. Masamizu (Doshisha Univ.)・"Multicellular Neurobiocomputing" and beyond, H. Yamamoto (Tohoku Univ.)・Thin-film memdevices and neuromorphic systems, M. Kimura (NAIST, Ryukoku Univ.)・Oxide channel ferroelectric-gate transistors for nonvolatile memory and computing applications, E. Tokumitsu (JAIST)・Training efficient stochastic computing neural networks using one-bit unipolar encoding, B. Golbabaei (NAIST)・A stochastic encoding approach for robust brain-inspired hyperdimensional computing, H. Tang (NAIST)・Context-dependent binding effects and retrieval of episodic memories in cortical network models with Hebbian-like plasticity, P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)・Parameter fitting approach for the piecewise quadratic neuron model using improved particle swarm optimization framework, Z. Yang (Univ. Tokyo)・A proposal of fading channel prediction method based on spin-wave reservoir computing, J. Chen (Univ. Tokyo)・Acquisition of physical kinetics of machines by reservoir computing and its applications to anomaly detection, S. Kojima (Hokkaido Univ.)・Neuromorphic design of cortical visual prosthesis, T. Yagi (Osaka Univ.)

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトの成果は、現在の計算機システムでは克服しきれない知的処理の課題を補間する役割を果たし、次世代の情報システムの基礎となるものである。特に注力して開発を行っている脳型計算ハードウェアは、その高い電力効率から幅広くエッジコンピューティングに応用可能であり、AI 技術のより一層の社会実装に向けて大きく貢献しうるものと期待される。

[6]まとめと今後の課題

本課題の遂行によりエッジコンピューティングハードウェアの電力効率を向上させるいくつか技術が実証された。実課題応用により更に検証を行っていくことが今後の課題である。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Y. Mizugaki, K. Fujikura, H. Shimada, ″Nonlinear Signal Conversion in Gold-Nanoparticle Random Array for Physical Reservoir Applications,″ Japanese Journal of Applied Physics, 63, 01SP35, 2024.

・T. Orima, T. Tsuji, Y. Horio, ″An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation,″ Procedia Computer Science, 222, 478-487, 2023.

・T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji, M Furuya, ″Analysis of hippocampal spatiotemporal contextual learning memory model for hardware implementation, ″ Proc. 5th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware, p. 22, 2024.

・G. Ishii, Y. Horio, T. Orima, ″Effect of memory capacity characteristics on time-series prediction in reservoir neural network consisting of neurons with local temporal history,″ Proc. The 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences, BP-6, 2024.

・G. Joshi, R. Natsuaki, A. Hirose, “Neural-network fusion processing and inverse mapping to combine multi-sensor satellite data and analyze the prominent features,” IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS), 16, 2819 - 2840, 2023.

・T. Fukami, H. Saito, A. Hirose, “Recursive Probability Mass Function Method to Calculate Probability Distributions of Pulse-Shaped Signals,” IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E106-A, 1286-1296, 2023.

・S. Goto, R. Natsuaki, A. Hirose, “Higher-order tensor independent component analysis for MIMO remote sensing of respiration and heartbeat signals,” IEEE Trans. on Radar Systems, 1, 1-11, 2023.

・H. Chen, R. Natsuaki, A. Hirose, “Robust Symbol Detection Based on Quaternion Neural Networks in Wireless Polarization-Shift-Keying Communications,” IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems. 10.1109/TNNLS.2023.3291702

・K. Watanabe, Y. Mizugaki, S. Moriya, H. Yamamoto, T. Yamashita, S. Sato, ″Numerical Study on Physical Reservoir Computing with Josephson Junctions,″ IEEE Trans. Applied Superconductivity, 34, 1700204, 2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・S. Yamakawa, K. Ando, M. Akai-Kasaya, T. Asai, ″A novel small-signal detection method using divergence properties of second-order linear differential equations,″ Electronics Letters, 59, e12928, 2023.

・N. Hagiwara, T. Asai, K. Ando, M. Akai-Kasaya, ″Fabrication and training of 3D conductive polymer networks for neuromorphic wetware,″ Advanced Functional Materials, 33, 02300903, 2023.

・Y. Abe, K. Nishida, K. Ando, T. Asai, ″SPCTRE: Sparsity-constrained fully-digital reservoir computing architecture on FPGA,″ International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 39, 197-213, 2024.

・Y. Uwate, K. Ago, Y. Nishio, ″Dynamics of Chaotic Circuit Betworks with Local Bridges,″ NOLTA, IEICE, 14, 534-546, 2023.

・S. Shima, T. Isozaki, Y. Uwate, Y. Nishio, ″Investigating Packet Transmission from the Perspective of Complex Networks Composed of Chaotic Circuits,″ IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 13, 658-668, 2023.

・N. Onizawa, K. Yano, S. Shin, H. Fujita, and Takahiro Hanyu, ″Self-Adaptive Gate Control for Efficient Escape from Local Minimum Energy on Invertible Logic,″ IEEE Access, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.327286

・M. Natsui, K. Sakamoto, T. Hanyu, ″Design of a nonvolatile-register-embedded RISC-V CPU with software-controlled data-retention and hardware-acceleration functions,″ Memories-Materials, Devices, Circuits and Systems, 2023. DOI: 10.1016/j.memori.2023.100035

・ T. Saito, H. Nonaka, T. Okano, “Theoretical analysis of co-existing periodic orbits in sparse binary neural networks,” Neurocomputing, 570, 127131, 2024.

・M. Onuki, K. Saka, T. Saito, “A variety of globally stable periodic orbits in permutation binary neural networks,” Discrete Contin. Dyn. Syst. Ser. B, doi/10.3934/dcdsb.2023078, 2023.

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R04/A01**

Title

Coplanar waveguide size and magnetization angle dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification ferromagnetic resonance

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：
ELI CHRISTOPHER INOCENCIO ENOBIO (Mindanao State University-Iligan Institute of Technology, Iligan City, Philippines)

Research collaborator of RIEC：
SHUNSUKE FUKAMI (RIEC)

[2] Summary of Research Results for the Year

The film samples were deposited by dc/rf magnetron sputtering on Si/SiO2 substrates. From the substrate side, the stack for MTJ structure is Ta(5)/CoFeB(1)/MgO/CoFeB(t = 2.0, 1.8, 1.6, 1.4, 1.0)/Ta(5)/Ru(5). The numbers in parentheses are nominal thicknesses in nanometers.

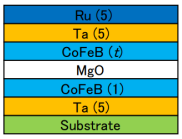


Figure. 1. Schematic of CoFeB/MgO MTJ structure with perpendicular easy axis.

Samples were annealed at 300ºC under a 0.4 T magnetic field along the film normal direction. Magnetization properties were determined by vibrating sample magnetometer (VSM). Films were cut into stripes with length L and width W. Microwave rf signal with amplitude modulation were sent directly into the stripe through a coplanar waveguide. The Hall voltage V_y along the transverse (y) direction were measured using lock-in amplifier. Schematic of the measurement setup is shown in Fig. 2

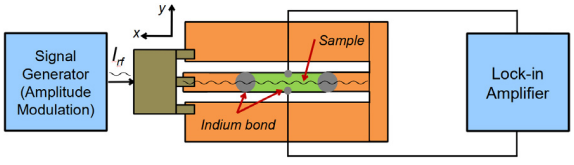


Figure. 2. Schematic of electrical detection of magnetization dynamics by spin rectification.

During the first year of the project and visit to RIEC in December 2022, we fabricated coplanar waveguides and characterized ultrathin CoFeB-MgO pMTJ structure by spin rectification enabled by anomalous Hall Effect. Figure 3 shows the external magnetic field dependence of rectified anomalous Hall voltage for the CoFeB/MgO MTJ structure at varying CPW /sample size.

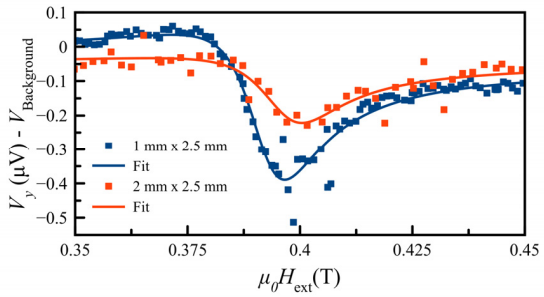


Figure. 3. Coplanar waveguide and sample size dependence of spin-rectified anomalous Hall voltage with top CoFeB thickness of 1.4 nm.

Our previous result shows increase of resonance Hall voltage V_y amplitude in narrower CPW and sample size possibly due to increase in rf field. Microwave power dependence of resonance Hall voltage amplitude possibly due to increase in Oersted field which may be the dominant driving mechanism for the observed ferromagnetic resonance. Results also shows no CPW size and microwave power dependence on measured effective anisotropy field H_{Keff} and intrinsic Gilbert damping α of top CoFeB recording layer.

During the recent visit to RIEC in December 2023, we fabricated new coplanar waveguides design on epoxy resin substrates using standard photolithography and characterized ultrathin CoFeB-MgO pMTJ structure by spin rectification enabled by anomalous Hall Effect. Figure 4 shows the external magnetic field dependence of rectified anomalous Hall voltage for the CoFeB/MgO MTJ structure with

microwave power of 20 dBm.

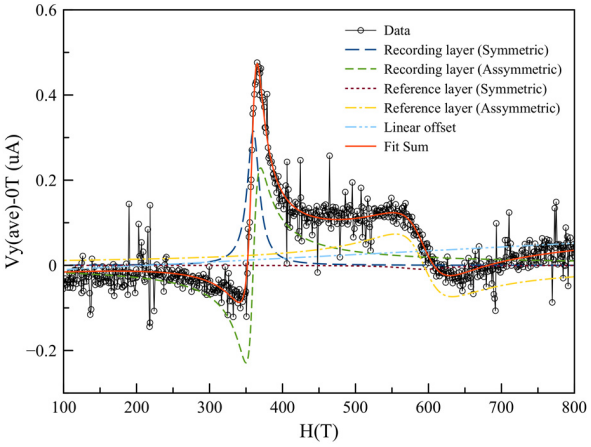


Figure. 4. Spin-rectified anomalous Hall voltage of top CoFeB recording layer with thickness of 1.4 nm, and bottom CoFeB reference layer with nominal thickness of 1.0 nm

Our recent result shows simultaneous detection of resonance Hall voltage V_y of both the top CoFeB recording layer and bottom CoFeB reference layer. Using our new CPW design and substrate significantly improves the signal to noise ratio possibly due to improved rf coupling thus reducing injection power loss. This enabled us to detect resonance signal from the thinner CoFeB bottom layer.

Figure 5 shows the microwave power dependence of resonance Hall voltage amplitude. Hall voltage amplitude increases at increased microwave power possibly due to increase in Oersted field which may be the dominant driving mechanism for the observed ferromagnetic resonance.

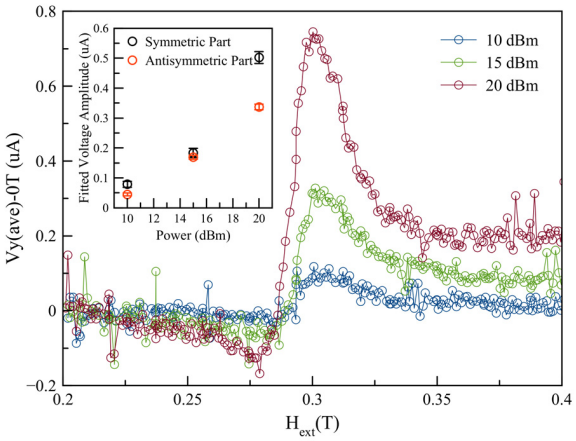


Figure. 5. Microwave rf power dependence of spin-rectified anomalous Hall voltage. Inset shows Hall voltage amplitudes of symmetric and antisymmetric resonance peaks at varied microwave power derived from fitting.

Relative amplitudes of symmetric and antisymmetric part of resonance peaks determined from fitting are comparable, and the small shift of resonance frequency position observed at increased microwave power could be attributed to decreased fitting errors at increased signal to noise ratio.

Figure 6 and 7 shows the microwave frequency dependence of resonance field H_R and linewidth respectively for both the recording and reference CoFeB layers. The recent results on damping constant and effective field are consistent with previous measurements using SRE-FMR and VNA-FMR on MTJ structure with similar recording layer thickness.

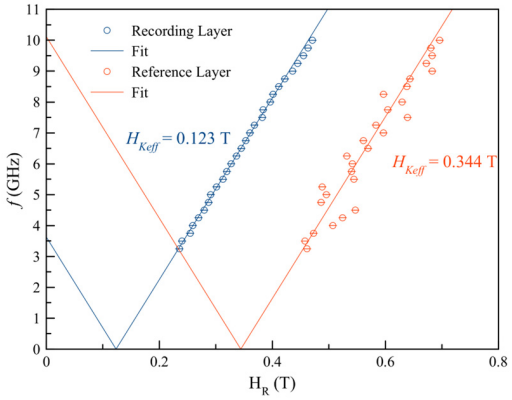


Figure 6. Microwave frequency dependence of resonance field H_R with top CoFeB recording layer with thickness of 1.4 nm and bottom CoFeB reference layer with nominal thickness of 1.0 nm

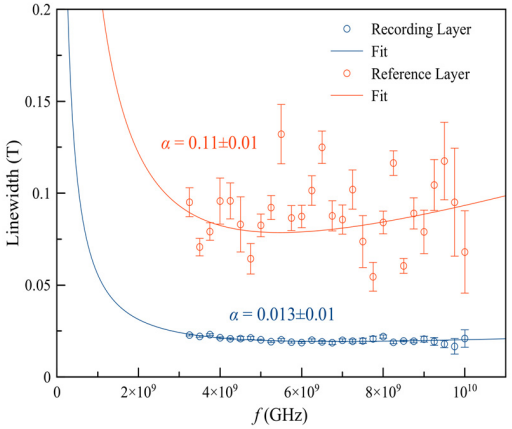


Figure 7. Microwave frequency dependence of linewidth ΔH with top CoFeB recording layer with thickness of 1.4 nm and bottom CoFeB reference layer with nominal thickness of 1.0 nm

[3] Future Research Promotion Measures

For the 3rd year of this project, we will reduce the reference CoFeB layer down to 0.5 nm suppress the AHE voltage signal which can interfere with the AHE voltage signal from the recording layer. This will be implemented in order to characterize reduced recording layer thickness to explore the effect of varied magnetization angle and strength of interfacial perpendicular anisotropy to the spin rectification by anomalous Hall Effect. From our current result, we also expect to further increase the sensitivity of measurements by optimizing the CPW design and be able to measure damping parameter of ultrathin films using this method which would be impossible to do using conventional or VNA-FMR measurements.

We would also submit the results in a conference and publication at the conclusion of the work.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

・E. C. I. Enobio, C. R. D. Mahilom, S. Fukami. Coplanar waveguide size and microwave power dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification effects. FY2022 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects. February 1, 2023.

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・Y. Takeuchi, E. C. I. Enobio, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, H. Ohno, APL 119, 242403 (2021)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/A04

研究課題名

SiH_4-CVD による金属ナノドットのシリサイド化反応制御に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

昨年度までに、リモート H_2 プラズマ(H_2-RP)支援により熱酸化 SiO_2 上に Fe ナノドットを高密度(~10^{11}cm^{-2})形成後、基板温度 400°C で SiH_4 照射を行うことでβ-$FeSi_2$ ナノドットが形成でき、さらには、SiH_4 照射量を増加した場合、ドット表面に Si 層が選択成長することを明らかにしてきた。本年度は、β-$FeSi_2$ コア／Si シェル構造のナノドット形成を意図し、薄層化した SOI 構造および SiO_2 上に予め形成した高密度 Si 量子ドットに、Fe 超薄膜の電子線蒸着と SiH_4 照射を行った。

SOI 基板（Si：~10 nm、SiO_2：~145 nm）および SiH_4-LPCVD(550°C, 133Pa)により形成した Si 量子ドット(~10^{11}cm^{-2})/SiO_2(~300 nm)構造上に、厚さ ~1.0 nm の Fe 膜を電子線蒸着することで、表面シリサイド化を行った後、HCl 浸漬により未反応 Fe の除去を行った。その後、基板温度 400°C にて SiH_4 照射(100 Pa, 1800 sec)を行った。

Si 薄膜上に Fe 蒸着した後、HCl 浸漬による Fe 膜除去および SiH_4 照射後における AFM 表面形状像では、RMS ラフネスに顕著な変化は認められない(Inset in Fig. 1)。HCl 浸漬後の試料において XPS 分析した結果、Fe 膜蒸着直後と比較して Fe-O に起因するピーク強度が減少し、Fe-Si に起因する信号強度が増大していることから、Fe 蒸着時に Si 薄膜表面のシリサイド化が進行し、HCl 浸漬により未反応の Fe および Fe 酸化膜がエッチング除去できていることが分かる(Fig. 1 (a))。また、SiH_4 照射直後の試料における XPS 角度分解分析の結果、表面側において Si-Si または Si-Fe のピークシフトが認められることから、シリサイド層表面に Si 層が堆積していることが分かった(Fig.1 (b))。同様のプロセスを予め形成した Si 量子ドットにおいて行った結果、各工程後の表面形状像に大きな変化は認められないものの、SiH_4 照射後の試料では、室温において明瞭な PL 信号が認められた(Fig. 2)。これらの結果は、β-$FeSi_2$ コアが極薄 Si でキャップされた構造になっていることを示唆している。また、PL 信号は Fe ナノドットへの SiH_4 照射により形成したβ-FeSi2 ナノドットに比べ狭帯化していることから、均一サイズのコア/シェルドットが形成できているとともに、シリサイド層表面での欠陥が抑制できていると解釈できる。しかしながら、β-$FeSi_2$ ナノドット(平均高さ：~3 nm)の PL(~0.79 eV)に比べて発光位置が低エネルギー側(~0.77 eV)にシフトしていることから、コア/シャルドットの PL 発光は、β-$FeSi_2$ コアと Si シェル間での電子-正孔再結合に起因する可能性が高い

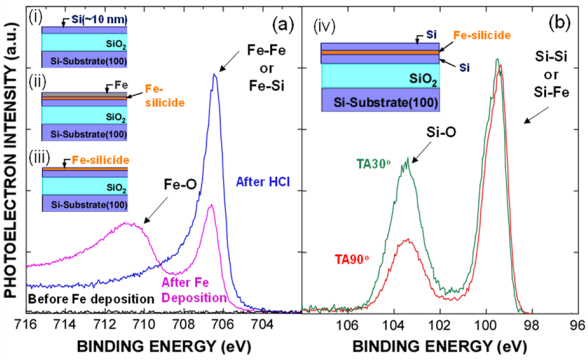


Fig. 1 (a) Fe2p core-line spectra of Fe/SOI substrate before and after HCl treatment, and (b) Si2p core-line spectra of the Fe/SOI substrate after SiH_4 exposure taken at photoelectron take-off angle of 90 and 30°. AFM images of the SOI taken (i) before and (ii) after Fe deposition, and (iii) subsequent HCl treatment and (iv) SiH_4-irradiation are also shown in the inset.

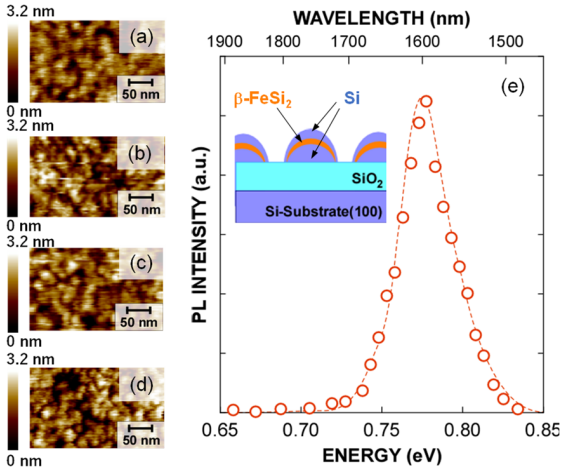


Fig. 2 AFM topographic images of Si-QDs (a) before and (b) after Fe deposition, (c) subsequent HCl treatment, and (d) SiH_4-irradiation, and (e) room-temperature PL spectrum of the sample after SiH_4-irradiation. The model of NDs after SiH_4-irradiation is shown in the inset.

［3］今後の研究の推進方策

最終年度では、形成したコア／シェルドット固有の物性・機能を明らかにするとともに、半導体ジャーマナイドナノドットにも取り組む。半導体ジャーマナイドナノドットは、シリサイドと同様な手法により形成し、金属混晶化の進行状況を、現有設備である高分解能X線光電子分光、表面敏感ラマン散乱分光分析および透過電子顕微鏡での電子線エネルギー損失分光(EELS)を用い、価電子帯および伝導帯の状態密度分布をそれぞれXPS/UPS および逆光電子分光分析で計測する。さらには、申請者らが独自開発した光電子収率分光システムを用いバンド端近傍電子状態を精密決定する。これにより、ジャーマナイド化反応制御の指針を得るとともに、ジャーマナイドナノドット固有の物性を明らかにすることで、ナノサイズ系における相図に関する情報を精査する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・S. Miyazaki, K. Makihara, “Formation and Characterization of Fe-Silicide Nanodots for Optoelectronic Application”, ECS Trans. 112, 131-137 (2023).

・Y. Imai, R. Tsuji, K Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, “Alignment control of self-assembling Si quantum dots”, Materials Science in Semiconductor Processing 162, 107526 (4pages) (2023).

・Y. Imai, K. Makihara, Y. Yamamoto, W.-C. Wen, M. A. Schubert, J. Baek, R. Tsuji, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, “Formation and Local Electron Charging Properties of One-Dimensionally Self-Aligned Si-QDs”,14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-01, (Sendai, Dec. 14-15, 2023).

・J. Baek, Y. Imai, R. Tsuji, K. Makihara, and S. Miyazaki, “Self-Assembling Mechanism of Si-QDs on Thermally-Grown SiO_2”,14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-08, (Sendai, Dec. 14-15, 2023).

・K. Kimura, N. Taoka, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, “Impacts of Initial Si/Ni/Si Structure Formed on SiO_2 on Surface Morphology and Composition Ratio of Ultra-thin Ni-Silicide Layer”,14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-01, (Sendai, Dec. 14-15, 2023).

・H. Saito, K. Makihara, N. Taoka, and S. Miyazaki, “Study on Photoluminescence from b-$FeSi_2$ NDs”,14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-03, (Sendai, Dec. 14-15, 2023).

・Y. Sano, N. Taoka, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, “Effect of Ni Electrode Formation and Annealing on Crystalline Phases and Chemical Bonding Features of HfZr-oxide layer”,14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-05, (Sendai, Dec. 14-15, 2023).

・R. Tsuji, Y. Imai, J. Baek, K. Makihara, and S. Miyazaki, “Formation of One-Dimensionally Aligned Si-QDs on SiO_2 Line Patterns”,14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-07, (Sendai, Dec. 14-15, 2023).

・斎藤 陽斗、牧原 克典、谷田 駿、田岡 紀之、宮﨑 誠一、「FeナノドットへのSiH_4照射がシリサイド化反応に及ぼす影響」、電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会（SDM）「MOSデバイス・メモリ・パワーデバイス高性能化ー材料・プロセス技術」（広島大学 ナノデバイス研究所、広島、2023年9月20日）

・斎藤陽斗、牧原克典、宮﨑誠一、「Fe シリサイドコア/Si シェル量子ドットの形成と発光特性」、25p-31B-5、第 71 回応用物理学会春季学術講演会（東京都市大学 世田谷キャンパス＆オンライン、2024年3月22日-25日）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

なし

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R04/A05**

Title

Study of magnetic, dielectric and optical properties of nanomaterials for Terahertz applications

[1] Principal Investigator (PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

El Moutaouakil Amine（College of Engineering, UAE University）

Research collaborator of RIEC：

Otsuji Taiichi（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

This work is a continuation of last year's work, where a theoretical analysis of the THz absorption of the heterostructure MoS_2/graphene was investigated. The result was an absorption of about 50% of the incident light with a change in the absorption frequency when varying the nanoribbon width or the applied voltage on the MoS_2/graphene heterostructure. In this work, we tried to enhance the absorption by adding phosphorene, where a phosphorene nanoribbon of width $W_{n\text{-}BP}$ is laid in between two MoS_2/graphene nanoribbons (Fig.1). The absorption is greatly enhanced to above 90%. The tunability of the absorption frequency through varying the structure dimensions is maintained (Fig. 2 and Fig. 3). Varying the applied voltage on MoS_2/graphene can sweep the absorption frequency through most of the THz range (1.3THz-10 THz) (Fig.4 and Fig. 5). The proposed structure is a near perfect selective THz absorber model with absorptivity more than 90%. The structure utilized 2D materials (graphene, Phosphorene, and MoS_2) without adding noble metals to increase the absorptivity. In comparison with previous selective absorbers, this structure is simple, made of nanoribbons of 2D materials only, which allows easy fabrication through known methods like chemical vapor deposition (CVD), and dry transfer. Previous structures that have high absorptivity mainly have complex shapes and are bulky with a metallic ground of several micrometers. The design and materials of this THz absorber ensure its low-cost manufacturing on an industrial level. Also, the easy tuning of the absorption frequency through the THz range makes this design stand out.

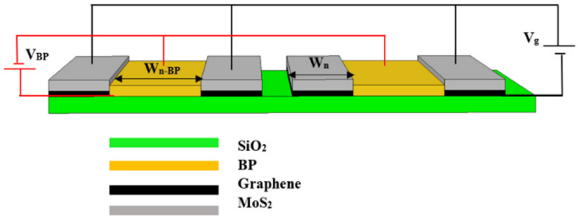


Fig.1. 3D schematic of a two-element array of the proposed structure.

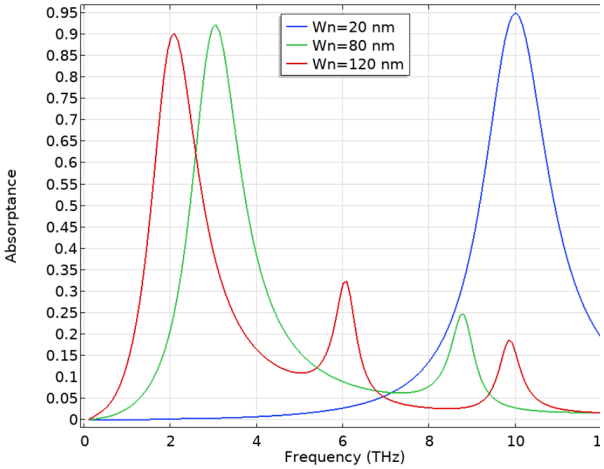


Fig.2. The effect of varying the nanoribbon width of MoS_2/graphene on the absorptance frequency at $W_{n-BP} = 15\ nm$, V_g = 0.5 V and V_{BP} = 0.46 V

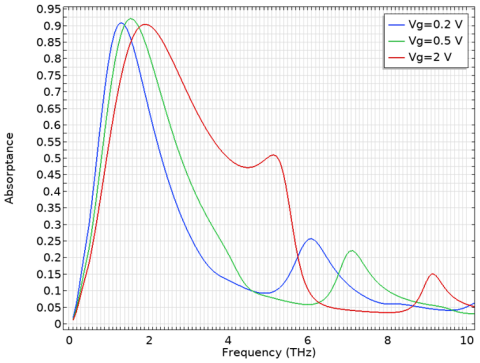


Fig. 3. The effect of voltage applied on MoS_2/graphene heterostructure (V_g) on shifting the absorptance frequency at W_n=30 nm , $W_{n-BP} = 15\ nm$

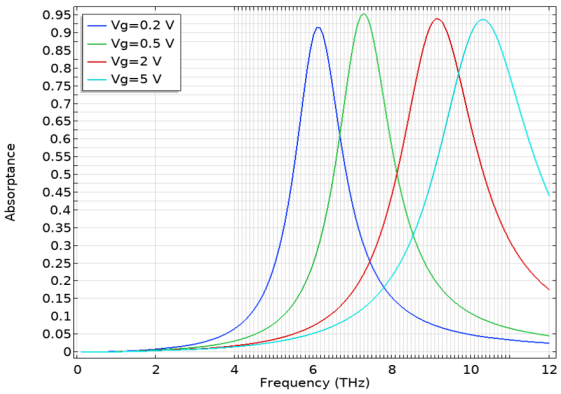


Fig. 4. The effect of voltage applied on MoS_2/graphene heterostructure (V_g) on shifting the absorptance frequency at $W_n = 30$ nm, $W_{n\text{-}BP} = 15$ nm

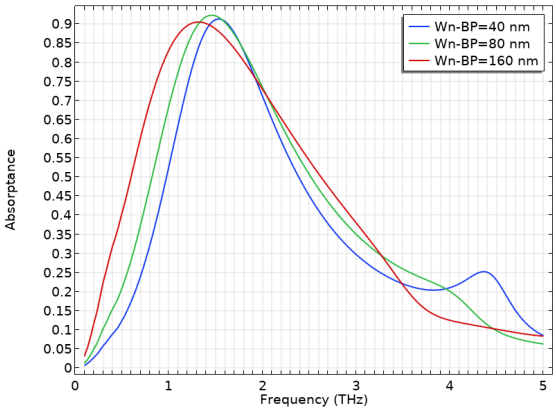


Fig. 5. The effect of varying the nanoribbon width of MoS_2/graphene on the absorptance frequency at $W_n = 160\ nm$, $V_g = 0.5$ V and $V_{BP} = 0.46$ V

[3] Future Research Promotion Measures

This work represents a theoretical model for a THz absorber. We are still in need of verifying its operation through fabrication. Nanoribbons of monolayer 2D materials are obtained through chemical vapor deposition (CVD). Using dry transfer, the nanoribbons could be moved and assembled onto a SiO_2 substrate. However, the precise alignment of these nanoribbons and the distance between the array elements could be a challenge.

We can also work theoretically on the effect of doping graphene, MoS_2 and phosphorene, on the absorption. The effect could include an increase in absorption or a shift in the absorption frequency outside the THz range. The bandwidth of this THz absorber is still wide to be used as a selective absorber. The structure could be modulated to obtain a narrow bandwidth absorber.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

- Samy, Omnia, Belmoubarik, M., Otsuji, T., & El Moutaouakil, A. (2023). A Voltage- Tuned Terahertz Absorber Based on MoS_2/Graphene Nanoribbon Structure. Nanomaterials, 13(11), 1716. https://doi.org/10.3390/nano13111716
- Samy, O., Otsuji, T., & El Moutaouakil, A. (2023). Terahertz Absorptance in MoS_2/Graphene Nanoribbon Heterostructures. 2023 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2031–2036. Prague, Czech Republic: IEEE. https://doi.org/10.1109/PIERS59004. 2023.10221462
- Samy, Omnia, Otsuji, T., & Moutaouakil, A. E. (2023). Near-Perfect THz Absorber with Wide Range Tunability. 2023 48th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), 1–2. Montreal, QC, Canada: IEEE. https://doi.org/10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10298957

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

- Samy, Omnia, & El Moutaouakil, A. (2024). A graphene-based THz selective absorber with absorptivity 95 % and wide-range electrical tunability. Results in Physics, 58, 107490. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2024.107490

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R04/A06

研究課題名

ナノギャップ金属電極による単一コロイド量子ドットの電気伝導評価

[1] 研究組織

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）

[2]研究期間

令和 4 年 4 月　～　令和 5 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

コロイド量子ドット（QD）は直径数ナノメートルの非常に小さな半導体結晶であり、近年特に太陽電池への応用が期待されている。中でも硫化鉛（PbS） QD は赤外光領域で幅広く吸収波長を制御できる有望な光電変換材料であり、デバイス応用に向けて QD 間のキャリア伝導の理解が重要な課題となっている。このような背景から PbS QD の電気伝導特性に関しては、これまで多数の QD の 2 次元配列に関する電気伝導特性の評価が行われている一方で、単一 QD や少数 QD に対する電気伝導特性の評価は行われていない。本研究では単一 QD レベルでの PbS QD のキャリア伝導の知見を得ると同時に、単一電子素子への応用も模索することを目的として研究を行った。

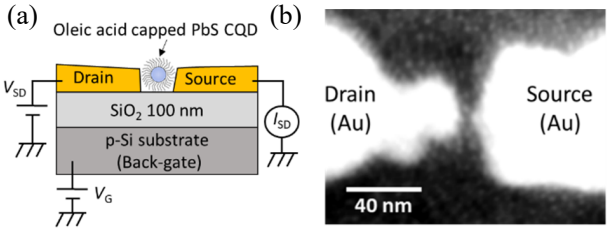


図 1: コロイド PbS QD を活性層とするトランジスタ素子の (a) 模式図と、(b) 電子顕微鏡写真。

[4]研究計画及び内容

素子の作製のため、まずナノメートルサイズのギャップを有する極微細電極（図 1 参照）を通電断線により作製した。その上からコロイド QD 溶液を滴下することで、ナノギャップ金属電極周辺にコロイド QD を分散させた。20-30%の確率でナノギャップ金属電極間に単一 QD が挟まり、単一 PbS QD に電気的にアクセスすることが可能となった。その後、4K 程度の極低温から室温までの広い温度範囲で単一 QD を介したトンネル伝導とそのゲート変調を観測することで、単一 PbS QD の電子状態に関する情報を得た。

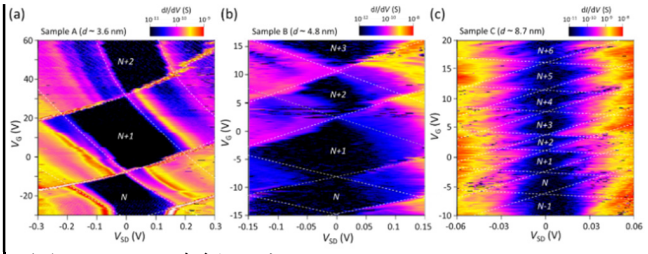


図 2：QD の直径 d が、(a) d = 3.6 nm、(b) 4.8 nm、(c) 8.7 nm の単一コロイド PbS QD を活性層とするトランジスタのクーロン安定化ダイアグラム。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

1 年目の研究により、コロイド PbS QD のサイズに依存して伝導特性が変化する様子（図 2 参照）や同一の試料の中での電子軌道に依存したトンネル電流の変化を検出した。伝導特性には励起準位も明瞭に観測され、この系の大きなクーロン相互作用の影響により、電子数に依存して励起準位の位置が大きく変化する様子が観測された。また、クーロンピークにはスピンペアによる 2 つずつペアになったピークが観測され、伝導度が異なるスピンペア間で大きく変化することも分かった。これは QD 中で電子が占有する電子軌道によって波動関数の形や空間的広がりが変化し、伝導度に反

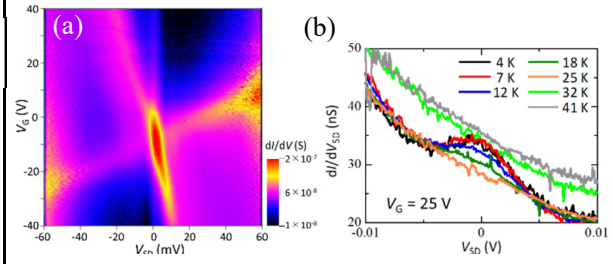


図 3 (a) PbS QD を活性層とする素子で観測された近藤効果。(b) 近藤ピークの温度依存性。

映されると考えることで説明できることが分かった。更に、ナノギャップ金属電極と単一 QD との間のトンネル結合を強くすることにも成功し、単一コロイド QD をチャネルとするトランジスタでは初めて近藤効果を観測することにも成功した（図 3 参照）。

2 年目には直径 5 nm 以下の小さな QD を対象として、室温付近の高温環境での伝導特性の評価に関する実験を行った。その結果、室温での電気伝導特性に図 4 に示すような明瞭なクーロンダイヤモンド特性が観測されたことから、素子が室温でも単一電子トランジスタとして機能することが分かった。一年目からここまでに得られた結果を論文としてまとめ、投稿した結果、Nature Communications に掲載され、出版と同時にプレスリリースを行った。

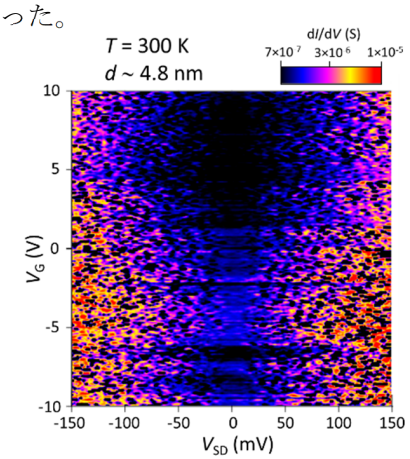


図 4: 単一 PbS QD（直径 4.8 nm）トランジスタで観測された室温での電気伝導特性。

更に、これまで行ってきた伝導帯の電子準位の観測のみでなく、QD のバンドギャップや価電子帯のホール準位の観測を可能とするべく、より広範なゲート変調が可能な電気二重層ゲート構造（図 5a 参照）を単一 QD トランジスタに適用する実験を行った。その結果、図 5b に示すように、非常に大きなクーロンダイヤモンド領域の観測と、その下の領域での伝導度の上昇を観測した。大きなクーロンダイヤモンドのサイズは PbS QD のバンドギャップのエネルギーにほぼ対応していることから、これはバンドギャップ領域を観測しているものと考えられる。更にその下の伝導度の上昇は、価電子帯のホール準位を介したトンネル伝導によるものと考えられる。以上から、イオン液体を用いた電気二重層ゲートを用いることによって、単一 PbS QD のバンドギャップとホール伝導を電気的に観測することが可能となることが分かった。

(5-2) 波及効果と発展性等

単一 PbS コロイド QD を介した電気伝導の観測に関しては、PbS QD を用いた紫外から赤外領域

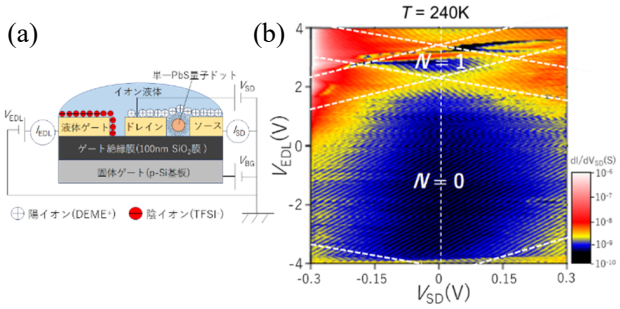


図 5: (a) イオン液体をゲート絶縁膜として用いる電気二重層ゲートを採用した素子の模式図と測定回路図。(b) 電気二重層ゲート構造の素子で観測されたクーロン安定化ダイアグラム。

の太陽電池や光検出器などの光デバイスの実現に向けて、有用な情報を提供することが可能であると考えている。これらのデバイスの実現には光の吸収によって発生したキャリアの電気伝導の理解が必須であるが、単一 QD レベルでの伝導特性の評価はこれまでほとんど行われていない。本研究はこれまで多数の報告がある QD アセンブリを対象とした研究結果に対して相補的情報を提供することが期待される。また、光デバイスに限らず、量子情報デバイスへの応用を探索する研究は、コロイド QD ではほとんど行われていないことから、その可能性を探索する意味でも本研究には意味があると考えている。コロイド QD は良い光学特性を示すことが知られていることから、本素子を用いた単一光子発生や検出への展開が期待できる。

[6] まとめと今後の課題

本研究では単一 QD レベルでの PbS QD のキャリア伝導の知見を得ることを目的として研究を行った。単一 PbS QD を活性層とするトランジスタ構造を用いることで、QD 中の電子数に応じて伝導特性が変化することや、近藤効果を観測したほか、素子が室温でも単一電子トランジスタとして動作することなどを明らかにした。

今後は研究対象とするナノ粒子系を、PbS QD に加えて、ペロブスカイト QD、触媒作用や磁性を有するナノ粒子系などにも拡張し、個々の材料系の有する個性や機能を単一粒子レベルで明らかにしたいと考えている。また、電極材料として強磁性金属や超伝導金属も新たに採用することで、トランジスタ素子に磁気抵抗効果や超伝導電流などの新たな機能性を付与することも試みたい。これらの研究を通して、様々なナノ粒子系の有する個性を単一粒子レベルで見出し、電極構造やクーロン相互作用、電子スピン相互作用、赤外光などを用いて、系の電子状態が多彩に制御できることを実証するとともに、新しい素子への応用を探索することを試みたいと考えている。

［論文、学会発表、および関連成果］
(1) 成果リスト（謝辞あり）
論文
・K. Shibata, M. Yoshida, K. Hirakawa, T. Otsuka, S. Z. Bisri, Y. Iwasa, “Single PbS colloidal quantum dot transistors” Nature Communications 14, 7486 (2023).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
学会発表
・吉田政希、阿部真弓、平川一彦、大塚朋廣、Bisri Satria、岩佐義宏、柴田憲治　「ナノギャップ電極と結合した単一 PbS 量子ドットの電気伝導特性」 2023 年第 70 回応用物理学会春季学術講演会 2023 年 3 月 18 日 (18p-A202-3)

・K. Shibata, M. Yoshida, K. Hirakawa, T. Otsuka, S. Z. Bisri, and Y. Iwasa “Gate-tunable carrier transport through single PbS colloidal quantum dots” EP2DS-25/MSS-21, Grenoble, France, 9-14th July 2023.

・柴田憲治、吉田政希、平川一彦、大塚朋廣、Satria Bisri、岩佐義宏　「単一 PbS 量子ドットトランジスタの電気伝導特性」　日本物理学会第 78 回年次大会　2023 年 9 月 17 日　東北大学

・柴田憲治、吉田政希、平川一彦、大塚朋廣、Satria Bisri、岩佐義宏　「単一コロイド PbS 量子ドットトランジスタの電気伝導特性」 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会　2023 年 9 月 21 日　熊本城ホール

・K. Shibata, M. Yoshida, K. Hirakawa, T. Otsuka, S. Z. Bisri, and Y. Iwasa “Single PbS colloidal quantum dot transistors” QD2024, Munich Germany, March 18-24th March 2024.

・高橋央輔、大塚朋廣、柴田憲治　「単一ペロブスカイト量子ドットの電気伝導特性」　第 71 回応用物理学会春季学術講演会　2024 年 3 月 24 日　東京都市大学

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R04/A08

研究課題名

非対称磁気渦構造を有するサブミクロンサイズ磁性体の高周波応答

[1] 研究代表者・通研対応教員

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：
石山 和志（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

電磁波ノイズは電子機器の誤動作を引き起こすため、電磁波抑制シート等で外部からの電磁波を吸収あるいは反射することが求められる。そのために、電磁波の電界成分、あるいは、磁界成分に大きく応答する材料を用いる方法が一般に用いられ、磁界成分に大きく応答する軟磁性材料が広くその用途に用いられている。軟磁性材料とは外部磁界方向に磁化が容易に向く磁性体であり、低周波数領域においては透磁率の周波数依存性で電磁波に対する特性が決まる。一方で、5G に代表される GHz 波帯については、強磁性体の磁化歳差運動の周波数に近づくために、その高周波電磁界応答は強磁性共鳴に大きく支配される。

磁化歳差運動とは強磁性体の磁化方向が変化する際に生じる駒振り運動のことで、その周波数は強磁性体にはたらく磁気的な様々な因子を磁界の大きさに換算した有効磁界で決まる。その因子の一つとして強磁性表面の磁荷によって決まる反磁界がある。電磁波ノイズ抑制用途にはミクロンサイズの強磁性微粒子が広く用いられているが、その内部はやや複雑な磁区構造となっている。強磁性微粒子のサイズを小さくするとその磁区構造はより単純化され、その磁界応答を制御しやすくなるため、近年、サブミクロンサイズの強磁性微粒子が注目されている。このサイズ領域で現れやすい磁区である磁気渦構造は強磁性体表面に磁荷が現れないために強磁性体内部の反磁界が非常に小さい特徴がある。我々はこの磁気渦構造に着目して、サブミクロンサイズの強磁性微粒子の高周波応答を数値シミュレーションで検討してきた。その結果、外部磁界によって磁気渦の中心位置を変化させるとそれに伴って反磁界が大きく変化し、その歳差運動周波数が強磁性微粒子内部で幅広い周波数帯域となることが示された。

本研究ではこの計算結果に基づいて、強磁性微粒子のモデルとして微細加工によってナノサイズの強磁性ディスクを作製し、その高周波応答を評価する。特に、その磁気渦構造に着目して、反磁界分布の制御方法によって広帯域の周波数に対応する高周波電磁波応答技術の確立を目的とする。

本年度はプロジェクト２年目であるため、昨年度得られた円および楕円形上の強磁性ディスクに対する高周波応答測定をより詳細に実施した。測定試料構造を図１に示す。強磁性層として膜厚 30nm の FeNi 多結晶薄膜を用いた。この薄膜から微細加工プロセスを用いてディスク形状磁性体を作製した。比較として、本年度は円盤もしくは楕円状磁性体とそれらを連結させた試料も合わせて作製した。大きさは長軸の長さを 2μm とし、短軸を 1, 1.5, 2μm の３種類の形状とした。磁性体の間隔は縦方向横方向共に 2μm とした。このディスク形状磁性体を配列し、磁性体上にコプラナー高周波伝送路を形成した。これらの試料は全て同一基板上で作製しているため、磁性薄膜の磁気特性は同一と考えられる。外部磁界印加下でネットワークアナライザを用いて反射電力のスペクトルを評価することにより高周波応答を調べた。

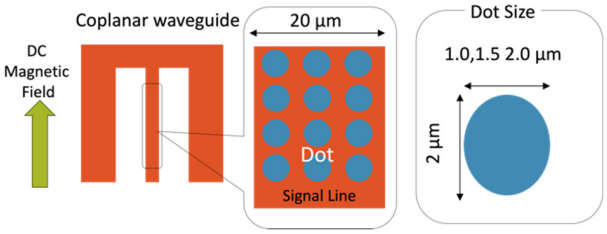


図１測定素子構造と測定試料配置

今回の実験においては、入力電力を 0dBm とし、1GHz～12GHz の周波数領域を評価した。代表的な測定結果を図２に示す。短軸方向の長さが長くなるほど周波数が低磁界側にシフトすることがわかる。これは形状異方性に起因する異方性磁界の大きさが異なることが主要因であると考えられる。また、無磁界中での測定結果から短軸長に対して周波数依存性が大きく異なることがわかる。歳差運動周波数は有効磁場によって決定されるため、両者の状況が異なることを示している。すなわち、

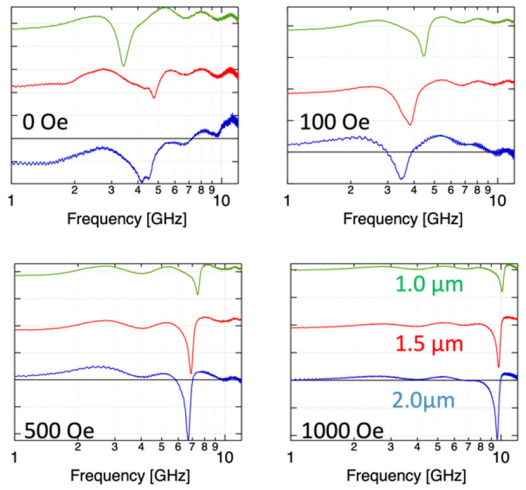


図２(a)ディスク形状における高周波応答の印加磁界依存性

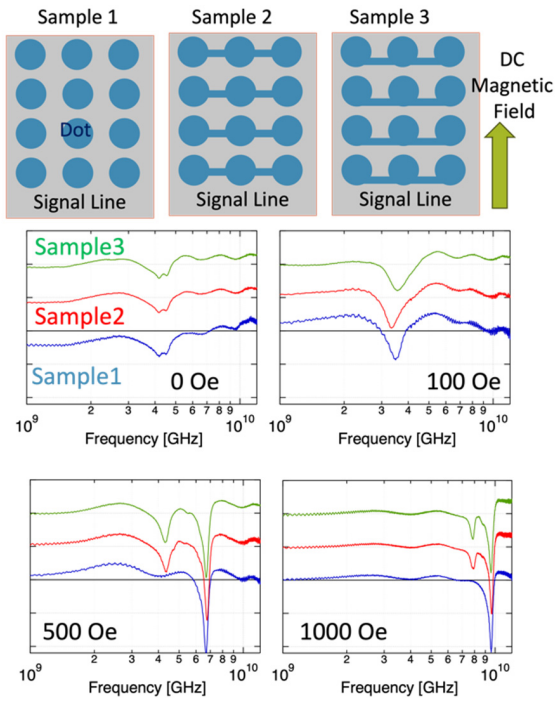


図３　連結されたディスク形状における高周波応答の印加磁界依存性

残留磁化状態が異なることを示唆した結果であると考えられる。
この磁化状態を変える目的でアスペクト比が１のディスク状磁性体同士を連結させた試料を作製し、その高周波応答を評価した。図３にはその測定結果の一例を示す。その挙動は外部磁場の有無で大きく異なり、連結された素子では複数のピークが確認された。この結果から、ディスクと連結部で異なる磁化状態になることが示唆された。一方、連結箇所をディスクの中心部、端部の２種類としたが両者に明瞭な違いは確認されなかった。マイクロマグネティクスシミュレーションからはディスク箇所と連結部の磁化状態は残留磁化状態で異なることが示唆されており、今後外部磁界印加方向依存性等を詳細に調べる必要があると考えられる。

[3] 今後の研究の推進方策

本研究から素子構造によって大きく高周波応答の挙動が変化することが示唆された。特にそのアスペクト比が重要である。また、条件によっては複数の共鳴モードが存在できることが明らかになっており、かつ、共鳴モードの周波数以外においても、反射電力が低下していることから広帯域での高周波応答が実現されていることがわかる。すなわち、本研究のコンセプトの基本的な実証ができたと考えられる。今後は、磁気渦構造の確認、磁化曲線の評価を実施してその詳細な磁気特性把握し、無磁界印加において、広い周波数応答を実現する形状の検討と実証が挙げられる。

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/A09

研究課題名

軽元素を含む逆ペロブスカイト型金属材料の開発とスピントロニクス実用素子の作製

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

軽元素（主に窒素）を含む逆ペロブスカイト遷移金属を用いてスピントロニクスデバイスの低消費電力化や新奇デバイス特性の開拓につなげるため，エピタキシャル薄膜の基礎特性を探索した．具体的には，窒化マンガン（Mn_4N），窒化鉄（Fe_4N）をベースとした Mn*A*N，Fe*B*N 複合合金薄膜（*A*, *B* は共に遷移金属元素）の作製と，単一膜状態で得られる磁気構造，磁気輸送特性，磁歪特性である．

Mn_4N 薄膜はフェリ磁性，膜面直方向の磁化容易軸をもつことで知られ，磁気異方性の解明から電流誘起磁化反転などのデバイス特性まで活発に研究されている．R5 年度は Mn を金属元素 *A* = Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Ir などで置換しながら X 線磁気円二色性測定を用いてそれぞれの磁気構造を検証した．*A* の組成比に対して共通して飽和磁化が低減し，磁化補償点が認められた．また異常ホール抵抗率，異常ネルンスト起電力の符号は補償点の前後で反転することが確認されたことから，*A* の磁気モーメントはホストの Mn 磁気モーメントと反強磁性結合している可能性が示唆された．X 線構造解析の結果から種々の元素の中でも Cu の場合は特に，相安定性の向上が認められた．これらの成果は，フェリ磁性 Mn_4N の電子状態を金属元素の置換で制御するという材料創成上の重要な意義を含んでいる．今後は種々の *A* で得られたデータを総合的に解析し，Mn*A*N の磁気制御や異常ホール伝導を決める主要因子の解明を目指す．また磁化補償点を与える Mn 置換元素 *A* の組成比がそれぞれ異なる点，2 つの Mn 副格子に対して優先置換されるサイトの解明，異相析出など組織解析とその影響については今後の課題としている．

また Mn_4N 薄膜の極薄化は，電流誘起磁化反転デバイスの臨界反転電流密度を低減するために必要とされている．しかし Mn_4N 結晶規則性を維持するのが容易ではない事に加えて，フェリ磁性磁気構造の変化について不明な点が多かった．我々は超高真空スパッタリング法と分子線エピタキシー法を活用し，高温 $SrTiO_3$ 基板上に成長できる(001)面配向 Pt 下地層が Mn_4N 極薄膜 3 nm の成長に有効であることを見出した．トポロジカルホール成分の膜厚依存性を考慮すると，膜厚が低減するにつれ，コリニアからノンコリニア磁気構造へ変化しているものと考えられる．従来は(111)面配向 Mn_4N 薄膜において，10^6 A/cm^2 レベルの反転電流密度が得られている反面，磁化状態検出が困難だった．しかし本年の成果によって，異常ホール効果をとおして検出が可能となるためデバイス実装が期待されり．

Mn_3PtN (5nm) / CoFeB (3nm)および Mn_3Pt (5nm) / CoFeB (3nm)の二層構造をマグネトロンスパッタリング法により作製し，ノンコリニア反強磁性体における電荷-スピン変換効率に対する窒素の役割を調べた．スピントルク強磁性共鳴と第二高調波ホール測定を両試料について行ったところ，y 方向にスピン偏極した Mn_3PtN のスピンホール角は約 0.033 であり，Mn_3Pt の約 0.025 を上回ることが判った．第一原理計算から求めた y スピン偏極ホール伝導率も，相対的に Mn_3PtN が高い値を示すことを別途確かめている．これらの結果から，窒素はノンコリニア反強磁性構造の安定化に重要な役割を果たすのみならず，スピンホール角の増大に有利な電子状態を与えることが判った．

その他，窒化鉄をベースとする Fe*B*N 合金膜の磁歪定数と磁気緩和定数との相関，インバーストンネル磁気抵抗効果を説明するスピン依存トンネルの解析，放射光分光によるスキルミオン磁気渦の観測が行われた．

[3] 今後の研究の推進方策

軽元素が含まれる遷移金属は多くの興味深い材料特性を示すことが判りつつある．今後は多層膜，デバイス構造の作製を通して，異常ネルンスト効果，電流誘起磁化反転などのデバイス特性の導出を行う．研究チーム内でサンプル作製，デバイス加工・測定，物性評価，理論考察の担当を決めて取り組む体制づくり，研究会活動のさらなる活発化を通して，ハイインパクト成果の創出を目指す．

［論文、学会発表、および関連成果等］

（1）成果リスト（謝辞あり）

1. W. Yin, K. Ito, Y. Tsubowa, M. Tsujikawa, M. Shirai, and K. Takanashi, “Anomalous Nernst effect in epitaxially grown $Fe_{4-x}Ni_xN$ films,” AIP Advances 13, 025243 (2023).
2. S. Isogami, Y. Kota, H. Yasufuku, K. Oyoshi, M. Tanaka, and Y. K. Takahashi, “Carbon-induced magnetic properties and anomalous Hall effect in Co_2Mn_2C thin films with $L1_0$-like structures,” Phys. Rev. Mater. 7, 014411 (2023).
3. B. W. Qiang, T. Fukasawa, T. Hajiri, T. Ito, T. Hihara, and H. Asano, “Magnetic and transport properties of chiral antiferromagnetic $Co_{2-x}Pd_xMo_3N$ thin films,” AIP Advances 13, 025138 (2023).
4. N. Tripathi, S. K. Mishra, Y. Miura, and S. Isogami, Phys. Rev. B (Accepted).

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

1. S. Isogami and Y. K. Takahashi, “Antiperovskite Magnetic Materials with 2p Light Elements for Future Practical Applications,” Adv. Electron. Mater. 9, 2200515 (2023).
2. K. Imamura, M. Ohtake, S. Isogami, M. Futamoto, T. Kawai, F. Kirino, and N. Inaba, “Introduction of VN underlayer and caplayer for preparation of Mn_4N(001) single-crystal thin film with perpendicular magnetic anisotropy,” AIP Advances 13, 025110 (2023).
3. R. Toyama, S. Kokado, K. Masuda, Z. Li, V. K. Kushwaha, T. T. Sasaki, L. S. R. Kumara, T. Koganezawa, H. Tajiri, T. Yamazaki, M. Kotsugi, Y. Iwasaki, and Y. Sakuraba, “Origin of negative anisotropic magnetoresistance effect in $Fe_{0.75}Co_{0.25}$ single-crystal thin films upon Ir addition,” Phys. Rev. Materials 7, 084401 (2023).
4. T. Yasuda, T. Horiuchi, T. Suemasu, “Fabrication of highly oriented Mn_4N/Pt epitaxial bilayer structure on MgO(001) for spintronics applications,” AIP Advances 13, 105219 (2023).
5. T. Yasuda, K. Amemiya, and T. Suemasu, “Growth of ultrathin Mn_4N epitaxial films on $SrTiO_3$(001) and their thickness-dependent magnetic Structures,” Appl. Phys. Lett. 123, 122404 (2023).
6. H. Sakaguchi, S. Isogami, M. Niimi and T. Ishibashi, “Boron-induced magneto-optical Kerr spectra and dielectric tensors in ferrimagnetic $(Mn_4N)B$ antiperovskite thin films,” J. Phys. D: Appl. Phys. 56, 365002 (2023).

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No. R04/A10

Title

Research on the Theoretical and Experimental Investigation of Coulomb Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons and its Application for THz Laser Transistor

［1］Research Organization

Principal Investigator : University at Buffalo, SUNY, USA Prof., Dr. MITIN, Vladimir

Research Collaborator of RIEC :

Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC, Tohoku Univ.

Research Collaborator

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

［2］Research Period

2023, April ～ 2024, March

［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

The purpose of the project is to use plasmons for enhancement of THz device performance.

［4］Research Plan and Content

We build a solid basis for this proposal demonstrating that THz detectors based on field-effect transistor (FET) with the graphene channel (GC) and a metal gate (MG) separated from the GC by a b-As_xP_{1-x} barrier layer have strong resonance response [1-4]. The operation of these transistors is associated with the heating of the two-dimensional electron gas in the GC by impinging THz radiation leading to thermionic emission of the hot electrons from the channel to the gate. At the THz radiation frequencies close to the plasmonic resonance frequencies in the gated GC the variation of the source–drain current and the detector responsivity can be resonantly large.

We also investigate the response of the micromechanical field-effect transistors (MMFETs) to the impinging terahertz (THz) signals [5]. The MMFET uses the microcantilevers (MC) as a mechanically floating gate and the movable mirror of the Michelson optical interferometer. The combination of the mechanical and plasmonic resonances in the MMFET with the optical amplification enables an effective THz detection.

The obtained results were delivered at two conferences with one invited [C-1] and one regular [C-2] presentations (see references in the xlsx file).

［5］Research Results and Ripple Effects

（5-1）Research Results

We evaluate the THz detectors based on field-effect transistor (FET) with the graphene channel and a floating metal gate separated from the graphene channel (GC) by a black-phosphorus (b-P) or black-arsenic (b-As) barrier layer [1]. The operation of these transistors is associated with the heating of the two-dimensional electron gas in the GC by impinging THz radiation leading to thermionic emission of the hot electrons from the channel to the gate. This results in the variation of the floating gate potential, which affects the source–drain current. At the THz radiation frequencies close to the plasmonic resonance frequencies in the gated GC the variation of the source–drain current and, hence, the detector responsivity can be resonantly large.

Figures 1 schematically shows the cross section of the device structures. The bias voltage V_{SD} and the signal voltage δV_ω are applied between the FET source and drain as shown in Fig. 1(a). The signal voltage is produced by an antenna receiving the impinging THz radiation with the frequency ω.

Figure 2 shows the major results: the spectral dependences of the responsivity, R^V_ω, of the GC/b-As and GC/b-P detectors calculated for different scattering frequencies ν and different parameters of the structure. We limited our consideration by the signal frequencies around the fundamental plasmonic resonance, where the obtained dependences exhibit pronounced maxima provided that $\Omega >> \nu$. As seen from Fig. 2, an increase in ν gives rise to a smearing of the resonant peak. In a wider frequency range, the responsivity of the detectors under consideration is a profoundly oscillatory function of the radiation signal frequency ω with a set of the maxima at the plasmonic resonances $\omega=n\Omega$ (n is the resonance index). The dependences R^V_ω vs $\omega/2\pi$ exhibit the alternation of sharp maxima and relatively deep minima. At the intermediate frequencies, the responsivity at the minima is smaller than the resonant responsivity by a factor of $(\pi\nu/2\Omega)^2 >> 1$. At elevated collision frequencies ν, the spectral characteristics of R^V_ω become smoother. However, up to $(\pi\nu/2\Omega)^2 \sim 1$ (this corresponds to $\nu \sim 4$ ps^{-1}), at the plasmonic resonances and between the resonances the responsivity can be still relatively high. Hence, the nonresonant response can also

be useful.

Continuing the work initiated in paper [1] we suggested the GC-FETs with relatively low energy barrier layers (BLs) and the possibility to optimize the device characteristics by choosing the barriers containing a necessary number of the b-As_xP_{1-x} atomic layers and a proper gate voltage [2]. The excitation of the plasma oscillations in the GC-FETs leads to the resonant reinforcement of the carrier heating and the enhancement of the detector responsivity. The room temperature responsivity can exceed the values of 10^3 A/W. The speed of the GC-FET detector's response to the modulated THz radiation is determined by the processes of carrier heating. As shown, the modulation frequency can be in the range of several GHz at room temperatures.

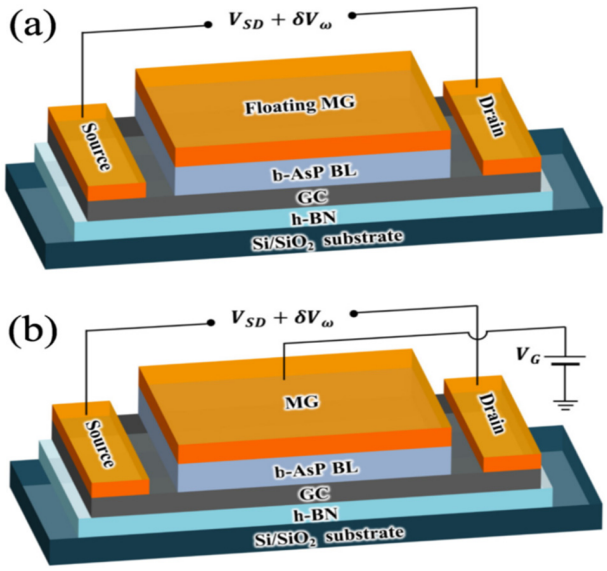


FIG. 1. Schematic view of the GC/b-AsP FET detectors (a) with the floating Metal gate (MG) and (b) with the MG biased by the gate voltage V_G.

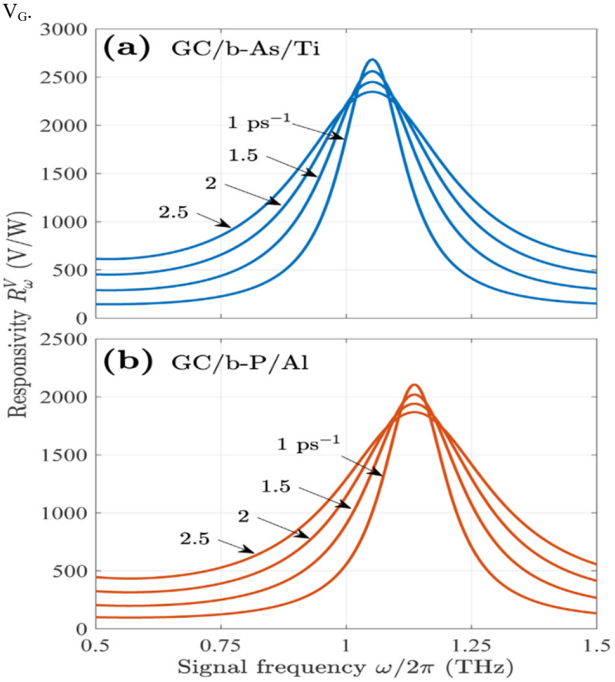


FIG. 2. Responsivity Rω of the (a) GC/b-As/Ti and (b) GC/b-P/Al FET detectors vs signal frequency $\omega/2\pi$ for different values of electron scattering frequency ν.

Continuing the work on the devices suggested and analyzed in our papers [1] and [2] we analyze the effect of the lateral thermal conductivity of the 2DEG and its Peltier cooling on the GC-FET responsivity and the characteristics [3]. These effects should be taken into account for the optimization of GC-FET detectors. To confirm the significance of the electron thermal transfer in the GC FETs under consideration, we calculated the frequency dependences of the responsivity disregarding the electron thermal conductivity, i.e., neglecting the electron heat transfer to the side contacts. The results indicate that the electron viscosity naturally weakens the plasmonic resonances.

Continuing research on GC-FET [1-3] we proposed and analyzed the modified top dielectric layer [4]. The main part of the GC is encapsulated in h-BN, whereas a short section of the GC is sandwiched between the b-P gate BL and the h-BN bottom layer. The b-P gate BL serves as the window for the electron thermionic current from the GC. The electron mobility in the GC section encapsulated in h-BN can be fairly large. This might enable a strong resonant plasmonic response of the GC-FET detectors despite relatively lower electron mobility in the GC section covered by the b-P window BL. The narrow b-P window diminishes the Peltier cooling and enhances the detector performance. The proposed device structure and its operation principle promote elevated-temperature GC-FET THz detector responsivity values and other characteristics, especially at the plasmonic resonances.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

The obtained results are 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.

[6] Summary and Future Challenges

The major future challenge is in experimental efforts, that are complimentary to the already completed measurements, that would demonstrate high efficiency of the suggested devices.

【Appendix】

Publications listed in short are all with acknowledgements of this project. Detail data are listed in an independent excel file as an attachment.

[1] J. Appl. Phys., 133, 174501 (2023)
[2] Scientific Reports, 13, 9665 (2023)
[3] Phys. Rev. Applied, 19, 064033 (2023)
[4] J. Appl. Phys. 134, 084501 (2023)
[5] AIP Advances, 13, 085301 (2023)
[C-1] Invited talk, META 2023, Paris, France, July 18-21, 2023, 2A2, pp.299-300
[C-2] 48th IRMMW-THz 2023 Conference in Montreal, Canada, Sep 17-22, 2023, book of abstracts We-PM1-1-1

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/A11

研究課題名

ポスト 5G 基地局に向けたダイヤモンド高周波高出力素子および回路の開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

金子 純一（北海道大学工学院工学研究科）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

GaN やGa_2O_2、ダイヤモンドなどのワイドバンドギャップ/ウルトラワイドギャップ半導体は高い絶縁破壊電界により、超微細ゲート長素子でも高い電圧での駆動が可能であるため、5G/ポスト 5G 基地局用素子として期待されている。

特にダイヤモンドは表面を水素で終端することにより p 型の二次元キャリアガス層である“表面伝導層“が形成されるため、ゲート長の微細化に有利であり、70nm のゲート長のトランジスタ動作が確認されている[1]。

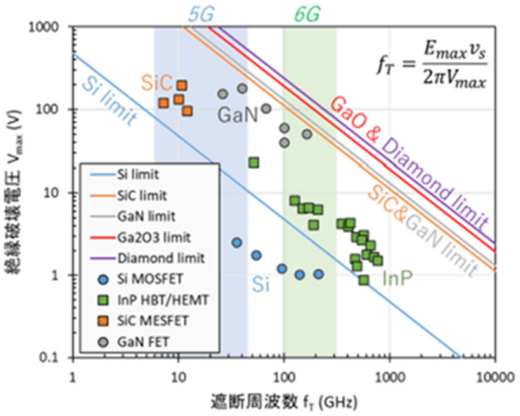


図 1　ワイドギャップ/ウルトラワイドギャップ半導体の JFoM(Johnson’s Figure of Merit)

本研究ではダイヤモンド半導体素子をポスト GaN デバイスと位置づけ、ポスト 5G 基地局デバイスの実用化を目指した研究を行った。

過去に作製した高周波ダイヤモンドトランジスタについて議論を行ったところ、高周波帯における信号増幅を行うためには、ゲート抵抗の低減を狙い T ゲート構造の導入が必要であるという考えに至った。

設計した T ゲートを導入した高周波ダイヤモンドトランジスタを図 2 に示す。

各ダイヤモンド FET で求めた動作周波数f_{max}, f_tを図 3 に示す。(T ゲート導入前はf_{max}が最大で 21GHz、f_tが最大で 8GHz であったが、T ゲート導入後はf_{max}が最大で 35GHz、f_tが最大で 8GHz であった。)

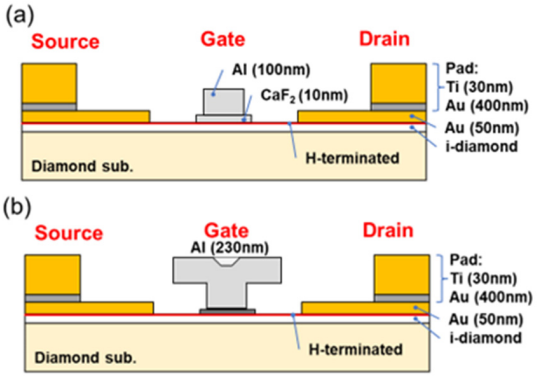
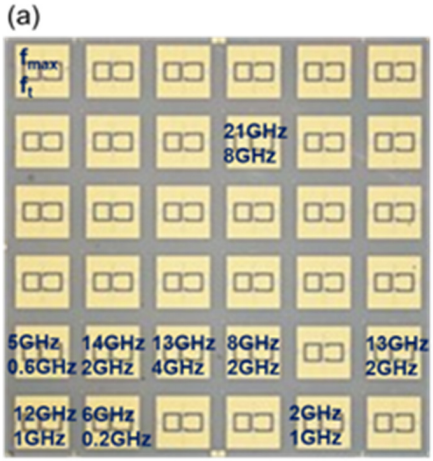


図 2　ゲート構造の違い
(a)T ゲート導入前 (b)T ゲート導入後



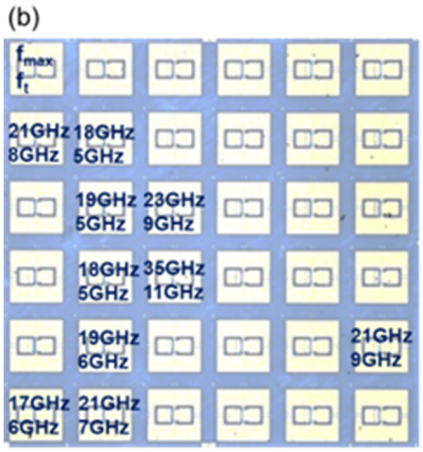


図 3 ダイヤモンド FET の上面顕微鏡画像および動作周波数(a)T ゲート導入前(b)T ゲート導入後

動作周波数の評価はダイヤモンド FET の上面顕微鏡画像および S パラメータを取得することで求めた。図 4 に示すように、S パラメータの取得には VNA(Rohde & Schwarz ZVA 67)を用いた。プローブは 100μm ピッチの GSG プローブ(TP40-GSG-100-A-W)を使用した。DC バイアスの印加には直流安定化電源(Agilent E3610A)を用いた。

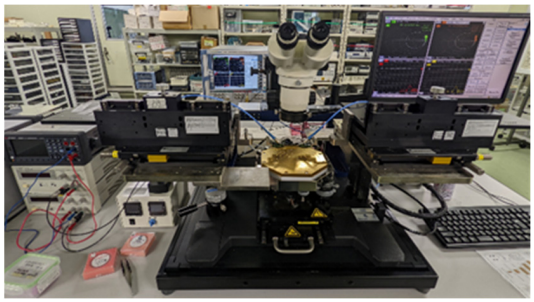


図 4 測定系の写真

最も高いf_t f_{max}を記録した素子の測定結果を図 5 に示す。(a)T ゲート導入前と(b)T ゲート導入後を比較すると、(b)の方がf_t, f_{max}ともに高い値を示した。これは T ゲート導入によりゲート電極の配線抵抗が低下したためであると考えられる。

20GHz 以上では k ファクタが 1 を超えてしまっている。これはゲート・ドレインのパッドの形状がオープンスタブの働きをしたためと考えられる。

また S(1,1),S(2,2)にて位相回転が見られるが、これは寄生容量の存在を示している。

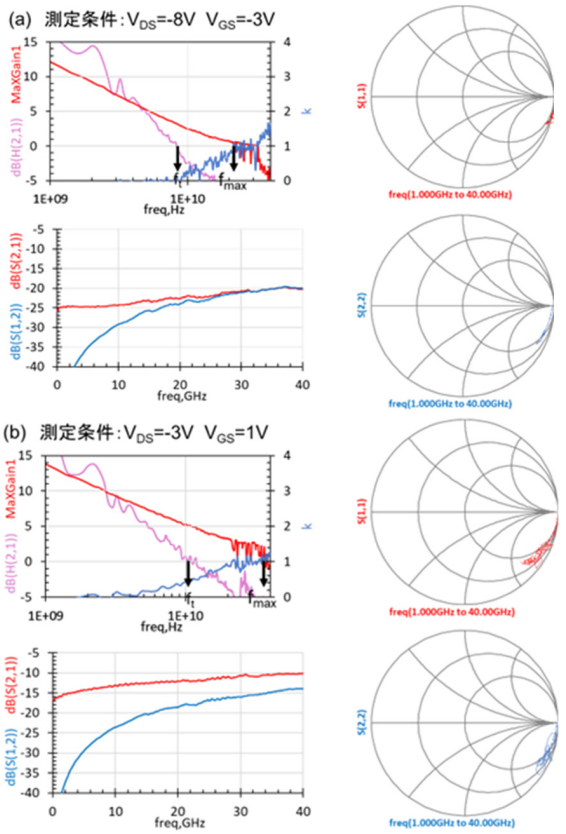


図 5　最も高い ft,fmax を記録した素子の測定結果(a)T ゲート導入前　(b)T ゲート導入後

参考文献
[1] H. Umezawa et al, MRS Proceedings, vol. 680, E8.2 (2011)

[3] 今後の研究の推進方策

R5 年度までの研究でf_{max}が 20GHz 程度のトランジスタを作製することが出来た。しかし本研究課題ではポスト 5G 基地局への応用を念頭に置いており、その為にはf_{max}が 80GHz を超えるような素子が必要となる。

高周波性能を制限する要因はいくつか考えられるものの、現状でそれを特定することは難しい。今年度は素子の AC 特性解析を通じて寄生成分の存在箇所を検討し、素子作製にフィードバックすることを目標とする。現状では入力抵抗やチャネル部の高抵抗化が示唆されており、優先的に検討を進める。

[論文、学会発表、および関連成果等]
・R5 年度は特になし

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/A12

研究課題名

多感覚情報を用いた自己感の制御に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

「自己とは何か」という問いに対して，現象学的哲学者のショーン・ギャラガーは，ミニマル・セルフ，すなわち自己を構成する最小限の要素という視点から，身体所有感（sense of ownership）と自己主体感（sense of agency）という 2 種類の自己感（sense of self）を定義した。身体所有感とは，「この身体は私のものである」という感覚のことである。自己主体感とは，「この行為を引き起こしたのは私である」という感覚のことである。どちらも当たり前のように感じられるかもしれないが，こうした感覚が希薄な人も存在するし，また実験操作によってこうした感覚を変容させることもできる。身体所有感と自己主体感はヴァーチャル・リアリティ（VR）において没入感を得るために重要である。そこで本研究では，身体所有感と自己主体感を変容させる手法について，いまだ明らかにされていない以下の問題について検討する。

1) 自分の声に対する所有感と主体感を変容させる手法を検討する
2) 身体所有感に関する錯覚を多感覚情報によって増強する手法を検討する
3) 自己主体感を社会的刺激の感覚フィードバックによって変容させる手法を検討する

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」，および令和 1～3 年度「マルチモーダル感情誘発システムに関する研究」の延長として位置づけられる。本プロジェクトでは身体所有感・自己主体感に着目して，感情や感性情報に限定せず，VR や他の通信システムにおける没入感や臨場感を高める手法を検討する。研究体制はこれまでの共同プロジェクトにおける体制を継続することで，スムーズな連携が可能である。なお，上記研究課題 1～3 はいずれも申請者の研究室において研究を開始しており，受入研究者との連携によって，とくに聴覚情報処理に関する部分で研究の進展が期待できる。

1 年目にあたる令和 4 年度は上記研究課題 1 が進展し，ヘリウムを用いてリアルタイムに普段とは異なる声をフィードバックする手法の有効性を確認することができた。令和 5 年度は引き続き研究課題 1 を推進し，研究課題 2 についても検討を進めた。

研究課題 1

私たちは日常から，自分と他人の区別を行っている。例えば，動画に映っている人物が自分なのか他人なのか，あるいは，動画から聞こえる音声が自分の声なのか他人の声なのか，といったことを区別できる。自他の区別には，自分の身体を他から切り離して認識し，それが自分のものであるという感覚（身体所有感）を持つことが必要である。

自他の境界は実験的に変化させうることが先行研究から報告されている。顔の自分と他人の境界が変化し，他人の顔が自分の顔のように感じられる錯覚として，エンフェイスメントと呼ばれる現象がある。本課題では，自分と他人の顔の境界がシフトするのと同様に，自分と他人の声の境界もシフトするのかどうかを検討した。具体的には，実験参加者の発話と同時に他人の声をフィードバックし，自己の発話に対して他人の声がフィードバックされる状況に順応させ，「これが自分の声である」という感覚（声の所有感）の変化について検討した。令和 4 年度の実験の結果，自分と他人の顔の境界がシフトするのと同様に，自分と他人の声の境界もシフトすることが明らかになった。また，具体的な実験手法として，ヘリウム声のフィードバックが有効であることが判明した。そこで令和 5 年度は，ヘリウム声をフィードバックするタイミングを操作し，発話と同期してフィードバックする条件と遅延（750ms）してフィードバックする条件で実験を実施した。

実験は，①録音フェーズ と ②実験フェーズ の 2 つのフェーズから構成された。②の実験フェーズでは，あらかじめ録音した実験参加者自身の音

声を刺激として使用した。そのため，実験フェーズに参加する前に，実験者が音声を収録した。実験フェーズでは，a) 音声評価セッションと b) 順応セッションを行った。音声評価セッションは順応課題の前後に 1 回ずつ実施した（a→b→a）。これは，声質を変化させた自分の声を何度も聞く「順応」による効果を見るため，これをする前と後とで，音声の評価がどのように変化するかを確認するためである。この流れを 2 日間に分けて行った。音声評価セッションでは，録音フェーズで取得した実験参加者自身の通常声，実験参加者自身のヘリウム声，これらをモーフィングした声（2 種類の音を合成し，中間の音を 11 段階作成）を聴覚刺激として呈示し，実験参加者が，それぞれの音声をどの程度自分の声だと感じたかを測定した。順応セッションでは，参加者はヘリウムを含む混合ガスを吸引したのちに文章の読み上げを行った。ヘリウム声が同期（システム遅延 64ms）または非同期（750ms 遅延）のタイミングでフィードバックされた。

実験の結果，所有感得点において，テスト時期の主効果が有意であり，同期性にかかわらず，プレテストよりもポストテストのほうが所有感得点が高いことが示された。この結果は，体性感覚と聴覚フィードバックの同期・非同期にかかわらず，声の所有感錯覚が生じることを示している。

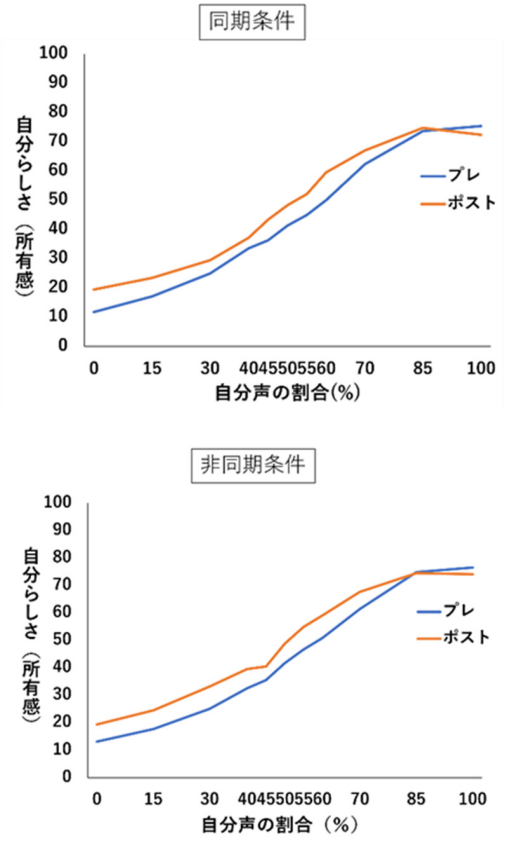


図 1　条件ごとの前後ドリフトの平均値

研究課題 2

身体所有感の錯覚のひとつであるラバーハンド錯覚は，ラバーでできた手と自分の手を同時になぞられ続けると，やがてラバーの手が自分の手のように感じられる錯覚である。ラバーハンド錯覚を全身に拡張した錯覚として，体外離脱錯覚がある。自身の後方に設置されたカメラに映る自身の背中が HMD を通して自身の前方に見えるという状況を設定し，自身の背中を棒で突っつかれる状態に数分置かれると，やがて前方に見える「自分」を体外離脱して後方から見ているような錯覚が生じる。そこで，上記の実験に聴覚フィードバックを加えることで，体外離脱錯覚を増強させることができるかどうかを検討した。具体的には，対象要因(人，物体)×音の有無要因(音あり，音なし)の条件を設定し，実際の体の位置と自分が立っていると推測する位置の差（自己受容感覚ドリフト）と質問紙の結果から音情報が体外離脱錯覚に及ぼす影響について検討した。

実験の結果，自己受容感覚ドリフトは音の有無に関わらず，物体条件でも人条件でも前方向に生じたが，人条件は物体条件よりも前方向へ有意に大きくドリフトが生じた。また，触覚と接触位置に関する質問項目（「まるで映像で見ている対象のある場所で，刺激を与えられたように感じた。」「刺激は，棒が映像で見ている対象に触れたことで生じたように感じた。」）と身体所有感に関する質問項目（「映像で見ている対象が自分の体であるように感じた。」）において，音の有無に関わらず人条件の方が物体条件よりも評定が高かった。以上より，構築した VR システムを用いて体外離脱錯覚を生起させることに成功したが，音による増強効果についてはさらなる検討が必要である。

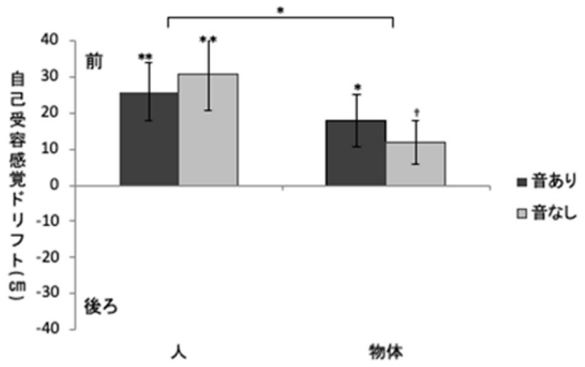


図 2　条件ごとの前後ドリフトの平均値

[3] 今後の研究の推進方策

順調に研究が進んでいるため，令和 6 年度は予定通り研究課題 3 を中心に実験を進める予定である。

［論文，学会発表，および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

1. 新井田統・小森智康・酒向慎司・田中章浩・布川清彦 (2024). ヒューマンコミュニケーション研究から見る未来のかたち 電子情報通信学会誌, 107(3), 237-243.
2. 澤田佳子・河原美彩子・田中章浩 (2023). 身体言語と声による多感覚的な感情表現が人間の利他行動に及ぼす影響 日本感性工学会論文誌, 22(4), 405-416.
3. Tanaka, A.: “Multisensory emotion perception and its cultural differences” LIBC colloquium（Leiden Institute for Brain and Cognition 主催）, 招待講演（2023 年 7 月 13 日）
4. Tanaka, A.: “Introduction of International Society for Research on Emotion (ISRE)” 人工知能学会全国大会「Affective Computing 研究のための国際・国内活動」, 招待講演（2023 年 6 月 7 日）
5. Nakamura, A. K., Yamamoto, H. W., & Tanaka, A. (2023). "Immigration Modulates Audiovisual Emotion Integration in Adults: The Effect of the Host Culture and Migration itself." The 21st International Multisensory Research Forum (IMRF)
6. Oya, R., & Tanaka, A. (2023). "The Prototypical Expressions Can Facilitate the Perception of Various Positive Emotions through Face, Voice, and Touch." The 21st International Multisensory Research Forum (IMRF)

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No. R04/A13

Title

Exploring and designing interactions for VR headsets using smartphone interfaces

[1] Research Organization

Principal Investigator：
BOUSTILA Sabah （Manchester Metropolitan University）

Research Collaborator of RIEC：
Kazuki Takashima（RIEC）

Research Collaborator
Dominique Bechmann（University of Strasbourg)
Kazuyuki Fujita (RIEC)

[2] Research Period

2023, April or May ～ 2024, March

[3] Purpose, Background, and Overview of the Project

The purpose of this collaborative project is to further expand our previous studies by investigating a range of interactions with smartphone interfaces for several dominant in-VR tasks beyond text typing. More specifically, we plan to (i) explore interaction aspects on smartphone interfaces for the different possible interactions in VR including, navigation, manipulation, selection, and (ii) evaluate the user experience and interaction performance compared to other VR controllers and accordingly (iii) define interaction standards or guidelines for VR interactions using SIs.

Figure1: In-VR text typing interface using smartphone touch screen with confirm-on-release paradigm (visual cues)

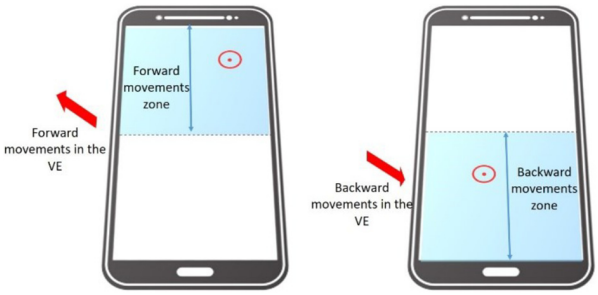


Figure2: smartphone interfaces zones for locomotion. The user's finger should touch any location on the upper zone to move forward (left smartphone) or any location on the lower zone to move backward (right

This year, PI and RIEC had frequent discussions over emails and video conference system. Specifically, we argued our research platform creation and another research funding application to expand this project.

Then, we could successfully setup the research platform using a HMD and smartphone using this project's budget. The next goal is to prepare software to achieve the research plan, and the PI will physically visit the RIEC to perform fine-tuning of the platform and run user-study. We also successfully obtained another funding (Daiwa Anglo-Japanese Foundation) that would significantly expand this collaboration. It can be considered as a result of this RIEC collaborative research project, and allows Kazuki Takashima (RIEC collaborator) to visit Manchester to expand the current project.

[4] Research Plan and Content

The main actitities from this year's collaborations are as flows.

- Kazuki Takashima visited Sabah's lab at the Manchester Metropolitan University during July and had a three-day on-site discussion with the actual devices and software. This visit also allows us to plan the purchase and next meeting.

- We run a follow-up online discussion and setup the research platform with an HMD and an Android Smartphone. A research assistant from RIEC created a core part of the experimental software.

- Sabah visited RIEC in January, and we had a dedicatee don-site discussion to check the software improvements and discuss the next study plan

The below picture shows our setup ready for running the initial experiment.

［5］Research Results and Ripple Effects

（5-1）Research Results

During my visit to RIEC lab, I worked with Pr. Kazuki Takashima and the two students Shimizu Naoya and Chihaya Kamide. Students were charged with developing the prototype in unity using a smartphone and a VR headset. Me and Takashima worked on the design of the different interactions, testing the prototype, and designing an experimental study to assess the prototype.

I was pleased with the work and effort students made during the week; they were able to implement the different interactions, and we were able to test them before I left the lab.

Prototype
In the prototype, we designed and implemented interactions for navigation tasks. We faced some networking issues with the phone tracking when implementing selection tasks, for this reason, we focused on the navigation task and the experimental study.

For navigation, we changed the design a few times after tests until we defined two modes of interaction:
· Touch mode: in this mode movements forward, backward, and lateral are executed when users touch specific areas on the smartphone screen.
· Position mode: movements here are interpreted according to the orientation of the smartphone, tilt up, down, right, and left to move forward backward, lateral right, and left respectively.

When testing the two modes, navigation was smooth and intuitive.
We also included rotations however, this is still in progress.

Experimental study
For the experiment, initially, we decided to test the prototype when navigating through a maze. For this purpose, students created a maze and added some coins as landmarks. However, after discussions, we identified an additional cognitive workload related to wayfinding when completing the task. We changed the experiment and created a path oriented using arrows inside the maze to allow participants to focus on their movements when using the smartphone rather than finding the exit. We also discussed how the experiment will be conducted and prepared a few plans according to the period when we receive the Ethics application response.

（5-2）Ripple Effects and Developmental Potential

Smartpone+HMD is the best combination in the current practice around computer devices, making a significant synergy for both mobile and immersive experiences. Our study will contribute to this direction that is highly impactful to the industrial community, beyond the VR-related academic society.

［6］Summary and Future Challenges

We achieved nice results during the week. Students are still working on a few modifications. I am structuring the idea of the project in a paper to prepare it and add results when we finish data collection and analysis. We aim to publish our work in peer-reviewed journals such as those related to ISS. Kazuki Takashima can no longer be the PI as he will move in April 2024. We will continue this collaboration by inviting the new PI, Kazuyuki Fujita, a colleague of Kazuki, ad we have already submitted a new collaborative project.

【Appendix】

［Papers, Conference Presentations, and Related Achievements］
（1） List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)
・

（2） List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R04/A14

研究課題名

オンライン視覚心理物理実験・モデル共有環境の構築

[1] 研究組織
研究代表者：
酒井　宏　(筑波大学 システム情報系)

通研対応教員：
塩入　愉（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
内川恵二（神奈川大学）
村上郁也（東京大学）
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）
我妻伸彦（東邦大学）
山田祐樹（九州大学）
和田有史（立命館大学）

他東北大研究員・学生　6 名
筑波大学学生 2 名
延べ参加人数：19 人

[2]研究期間
令和 4 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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，その理解促進のためのオンラインをベースとした心理物理実験及びモデルの共有システムのあり方について検討した。

研究者間のデファクトスタンダードを提供し，タイムリーで齟齬のない議論と相互検証を可能にするために、視覚機能の研究において報告する心理物理実験や生理実験の機能検討に資することのできる，オープンで基礎を共有する実験環境とモデル環境を構築することが必要である。視覚心理実験・認知実験は、オンライン化によって多数の被験者を対象とした大規模な実験を容易に行うことを可能にする技術が提案されつつある。視覚のモデルとしては，色覚，時空間特性，運動視特性，立体視特性など初期処理についての定量的なものが幾つか提案されている。注意や物体表象などの高次処理についても抽象的ではあるが，一定の有効性を示すものが提案され始めている。しかし、オンライン実験・モデルのいずれでも、各研究者が独自の技術とノウハウによってハンドメイドで作り上げるか，専門組織に依頼する現状がある。それらは一般に共通の環境をもたないため、他者による改良が困難で，相互関連を検討することにも困難が伴う。本研究では、平成 31 年度から令和 3 年度に実施した「視覚モデル共有環境の構築」で進めた検討を基礎に、多様な視覚機能の研究において，多数の研究者間で実験の共有とデータ・ドライブンな議論を可能にすると共に、さらにそれら視覚機能を共通のフレームワークの上に構築可能として総合的に視覚を理解するための共通環境利用の実質化について研究した。

[4]研究計画及び内容

心理実験環境については，塩入が中心となって，オンラインベースで共用・拡張が容易な環境に必要十分な仕様を検討した。モデル構築環境については，酒井が中心となって前駆的な環境構築の検討を行なった。他の参画者は，環境仕様に関する情報提供及びユーザーとしてそれぞれが専門とする多様な実験・モデルについて適用の提案・課題抽出・評価を行なった。

視覚心理実験環境に関しては，多様な視覚実験刺激および実験手続きに対応できる構築環境について検討した。機械学習や自然画像を利用した新たな視覚研究パラダイムについても議論・勘案した。具体的には、PsyhoPy, Psychlops を元にしたシステムなどについて検討した。さらに，近年盛んになっているオンライン実験に対応した最新のオープンソースである PsychoPy3，jspsych などの適用可能性を検討し

た。モデル環境に関しては，視覚経路における階層構造のモデルを提供し，入力刺激に対する基本的な応答を推定することができるモデル環境の構築について検討した。検討する環境において，データの可搬性についても議論した。オープンデータの理念のもとに、異なる研究者、実験の間でデータを有用に活用するほか、既存のデータの集積によって新たな知見を生み出すことを可能にするために重要な項目を検討した。プラットホームとしては，神経科学分野の研究者に広く使われている MATLAB ベースの環境を利用した視覚処理モデル環境を中心に検討した。これらによって，実験に先立った計画段階から皮質計算が予測できる実験計画系，すなわち実験刺激に応答する標準的な視覚モデルについて検討した。議論・検討された項目について留意して、実際の実験データの解析・シミュレーションを実施した。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

実際の心理実験・モデルとして、自発的注意に関する研究をケース・スタディとして取り上げて、環境構築の基礎について議論・検討した。注意変化にともなってどのようなダイナミクス変化が起きえるかを理解するために、脳活動を計測することを心理実験と EEG 計測によって行なった。自発的に注意を移動させる前後に、全頭(64ch)から EEG を記録した。記録を解析したところ、注意移動の直前にダイナミクスが変化していることが判った。具体的には、全頭を対象にして，活動の持続時間、活動が観察された地点数の累積頻度を、注意移動時を起点とした経過時間の関数として求めた。このダイナミクスを Power Exponent で代表したところ、持続時間・活動地点数ともに、注意移動の経過時間に依存して変化することが判った（図１）。特に，注意移動直前に活動が上昇する傾向を示し、注意移動のタイミングを注意移動の発生前に検出できる可能性が示唆された。

一連の心理実験は東北大学、解析およびモデル実験は筑波大学と、遠隔で行われた。この遠隔連携研究によって、心理実験の再現・実験とモデルの連携など、オンライン共有環境に必要な事項について理解が進んだ。これらを基に、心理実験環境については，塩入が中心となって，オンラインベースで共用・拡張が容易な環境に必要十分な仕様を検討して前駆的な環境構築を行った。モデル構築環境については，酒井が中心となって前駆的な環境構築を行った。さらに、この結果について分担者を交えて議論を行なって、問題点の指摘や今度への方針などを検討した。

多様な実験分担者・参画者は，環境仕様に関する情報提供及びユーザーとしてそれぞれが専門とする多様な実験・モデルについて適用の提案・課題抽出・評価を行った。多様な実験を実施している研究分担者らとの情報交換・議論によって、多くの研究者が利用できる視覚モデルのデザインの方向性を示すことができた。

(5-2) 波及効果と発展性等

検討してきた環境を基にした研究について先駆的事例について研究会を行なった。多様に進化を続ける視覚科学において、多くの研究者が利用できる視覚モデルが構築できれば、研究成果の蓄積、構造化において飛躍的な協調的発展が期待できる。さらに、多くの最新の実験・モデルが多くの人に利用できる環境も整うため、映像技術への貢献も期待できる。

研究成果の蓄積、構造化において飛躍的な協調的発展が期待できる。視覚機能の研究において報告する心理物理実験や生理実験の機能検討に資することのできる，オープンで基礎を共有する実験環境とモデル環境を構築することによって，研究者間のデファクトスタンダードを提供し，タイムリーで齟齬のない議論と相互検証を可能にする効果が期待できる。本研究の成果を取り入れて、いくつかの大型競争的外部資金に応募し、科研費(基盤 A)(塩入愉 代表)の獲得に繋がった。

[6]まとめと今後の課題

視覚機能の研究において心理物理実験や生理実験の機能検討に資することのできる，オープンで基礎を共有する実験環境とモデル環境の構築を可能にする基礎研究を行なった。オープンデータ・ビッグデータ解析の普及に対応するオープンな実験環境の実用化が期待される。

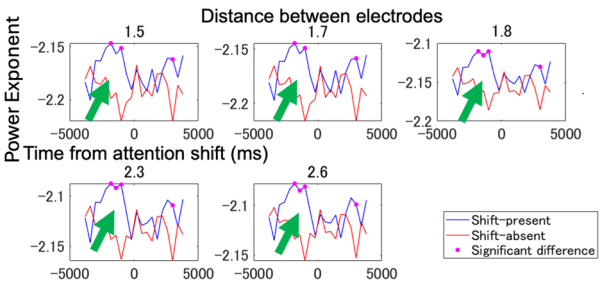


図１． EEG ダイナミクスの解析。注意を移動した約 1500ms 前に Power Exponent が変化した。このことは，EEG のダイナミクスが注意移動前に変化したことを示し，注意移動を生起する情報の伝達が生じたことを示唆する。

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

Representation of Natural Contours by a Neural Population in Monkey V4.
I. Machida, M. Shishikura, Y. Yamane, and K. Sakai (2024) eNeuro, 11 (3), 1-17, DOI: https://doi.org/10.1523/ENEURO.0445-23.2024

Correlation between neural responses and human perception in figure-ground segregation.
M. Shishikura, H. Tamura, and K. Sakai (2023) Frontiers in Systems Neuroscience, 12 January 2023, Volume 16 – 2022; doi: 10.3389/fnsys.2022.999575

Dimensionality of the intermediate-level representation of shape and texture in monkey V4.
A. Kodama, K. Kimura, and K. Sakai (2022) Neural Networks, Vol. 153, 444-449

Figure-ground responsive fields of monkey V4 neurons estimated from natural image patches.
K. Kimura, A. Kodama, M. Shishikura, Y. Yamane and K. Sakai (2022)
PLoS ONE, 17(6):e0268650, 2022, doi:10.1371/journal.pone.0268650

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

The Reality of a Head-Mounted Display (HMD) Environment Tested via Lightness Perception.
I Kuriki, K Sato, S Shioiri (2024)
Journal of Imaging 10 (2), 36

Different Mechanisms for Visual Attention at the Hand-movement Goal and Endogenous Visual Attention.
W. Wu, Z. Li, T. Miura, Y. Hatori, C. Tseng, I. Kuriki, Y. Sato, S. Shioiri (2023)
Journal of Cognitive Neuroscience 35 (8), 1246-1261

Analysis of facial expressions to estimate the level of engagement in online lectures.
R. Miao, H. Kato, Y. Hatori, Y. Sato, S Shioiri, (2023) IEEE Access, vol. 11, 76551-76562

Self-initiation of attentional shift during visual search.
D. Z. Hou, S. Sai, Y. Sato, Y. Hatori, C. H. Tseng, S. Shioiri (2023) Perception, Vol.52, 39

Size Modulation of Visual Attention Estimated by Steady State Visual Evoked Potential.
G. Chen, S. Shioiri, Perception, Vol.52, 55

Neural activities preceding self-initiated attention.
D. Z. Hou, S. Ono, Y. Sato, Y. Hatori, C. H. Tseng, W. Wu, K. Kobayashi, S. Shioiri (2023)
Perception, Vol.52, 56

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R04/A15

研究課題名

学習支援のための追体験システムの構築

[1] 研究組織
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）

[2]研究期間
令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
人間性豊かなコミュニケーションのためには、多くの点で異なる個人の間の相互理解を促進するツールの開発が望まれる。代表者らは、他人の視点でものを見ることを支援するための研究を始め、特定の個人の認知・行動の理解、モデル化に関する検討を、共同研究プロジェクトとして「H31/A23 学習支援のための追体験システムの構築」などにより実施してきた。本提案はそれらの実績に基づいて、複数の学習場面での学習者の注意状況の推定方法の向上を目的とした。

[4]研究計画及び内容
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。2023 年度は、言語オリンピックの問題を解決中の、集中度及び助力必要状況に関する心的過程予測で下記の成果をあげた。

Web 上での自己学習教材を利用し、言語オリンピクうの問題である、未知の言語と日本語の間の翻訳の課題を利用し、参加者が問題解決を行なっている間の顔映像を計測した。作成した web 教材環境では、ヒントを要求するためのボタンが準備されていて、参加者が助力が必要である時は記録されたボタン押しで知ることができた。集中度に関しては、実験終了後評定者が顔映像を観察し、主観的に判断した値を利用した。

利用された問題は、山岳アラペシュ語と日本語の間の翻訳に関する問題であり（図 1）、９人の日本人が参加した。問題の開放にかかった時間は、平均で 50 分程度、正答率７０%であり、ヒントボタン利用数は平均で 36 回程度であった。

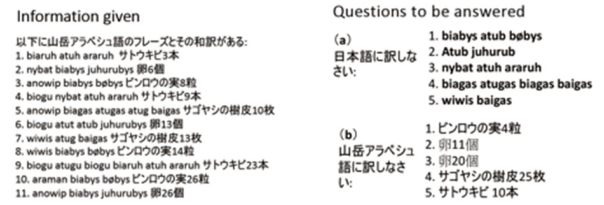


図１　実験に利用された言語オリンピック問題。左の文章対があたえられ、右側の問題を解く。

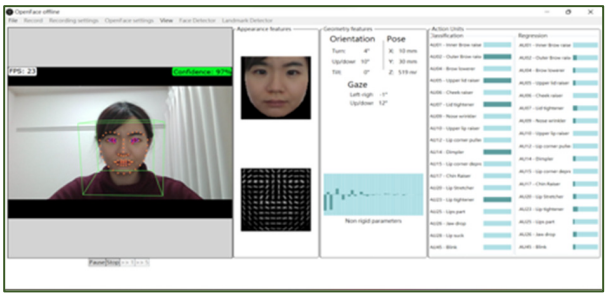


図２　顔映像の分析。OpenFace を利用し、顔特徴の使用である Action Unit (AU)を分析し、心的状態の推測に利用する。

実験結果の分析として、オープンソースの解析ソフトである OpenFace を用いて（図 2)、顔特徴の使用である Action Unit (AU)を抽出、ヒントボタンを押す直前の AU の特徴、集中度評価値心的状態の推測に利用し顔表情による助力要請及び集中度に関連する心的過程の推測が可能であることを示した。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
学習者の認知行動予測システムを想定した実験を設定し、機械学習を顔表情から心的過程である、ヒント要求時、集中度の予測を試みた。

助言が必要と考えている心的過程を、顔表情を

用いて推定可能かどうかが本研究の第１の目的である。ヒント要求ボタンが押された時間の４秒から１秒前までの間の顔映像を利用し（直前１秒はボタン押しそのものに関する心的活動、行動の影響が含まれるためは排除）、その AU を入力としてヒント要求の有無を推定するために LightGBM を用いたモデルを構築した。モデル構築のために、ボタン押しの直前の AU とそれ以外の区間から任意に選択された３秒間の AU を利用し、ボタン押し前であるか否かの２分類を学習した。図３に、評価に利用する特徴は、AU に加えて、頭部運動、視線位置、及ぼそれらの組み合わせを利用した。頭部運動と視線位置は、OpenFace の出力を利用した。の指標に対しての、F1, AUC(Area under the curve), Accuracy の３種の評価結果を示す。AUC は Receiver Operating Characteristic (ROC)の下の面積。F_1 は 正刺激の内の正応答比率、正応答に対する正刺激への正応答比率の調和平均、Accuracy は全応答に対する正解応答比率である。評価結果は、頭部運動と AU が含まれている場合に安定して高い数値を示し、顔表情が助力要求に関わる心的状態の予測に利用できることがわかる。また視線についても一定の精度で予測が可能であることがわかる。一方で特徴の組み合わせによる顕著なシナジー効果は見られなかった。

図４は集中度評価に対する推定結果を示す。ヒント要求と同様に頭部運動と AU が有効であり、視線も予測に利用できる。また組み合わせることによる顕著な向上効果は見られない点もヒント要求の場合と同様である。

意に選択された３秒間の AU を利用し、ボタン押し前であるか否かの２分類を学習した。図３に、評価に利用する特徴は、AU に加えて、頭部運動、視線位置、及ぼそれらの組み合わせを利用した。頭部運動と視線位置は、OpenFace の出力を利用した。の指標に対しての、F1, AUC(Area under the curve), Accuracy の３種の評価結果を示す。AUC は Receiver Operating Characteristic (ROC)の下の面積。F_1 は 正刺激の内の正応答比率、正応答に対する正刺激への正応答比率の調和平均、Accuracy は全応答に対する正解応答比率である。評価結果は、頭部運動と AU が含まれている場合に安定して高い数値を示し、顔表情が助力要求に関わる心的状態の予測に利用できることがわかる。また視線についても一定の精度で予測が可能であることがわかる。一方で特徴の組み合わせによる顕著なシナジー効果は見られなかった。

図４は集中度評価に対する推定結果を示す。ヒント要求と同様に頭部運動と AU が有効であり、視線も予測に利用できる。また組み合わせることによる顕著な向上効果は見られない点もヒント要求の場合と同様である。

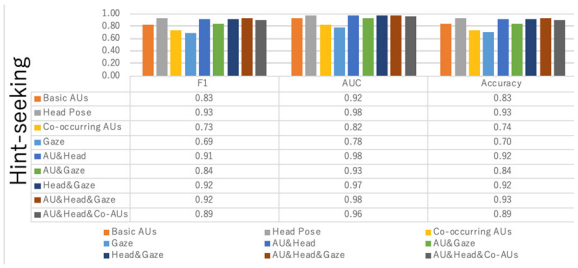


図３　ヒント要求の推定評価結果。AU に加えて、頭部運動、視線位置、及ぼそれらの組み合わせの指標に対しての、F1, AUC(Area under the curve), Accuracy の３種の評価結果を示す。

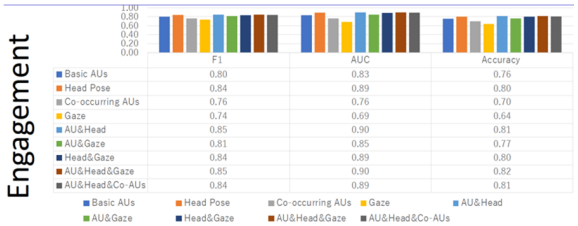


図４　集中度推定評価結果。AU に加えて、頭部運動、視線位置、及ぼそれらの組み合わせの指標に対しての、F1, AUC(Area under the curve), Accuracy の３種の評価結果を示す。

(5-2) 波及効果と発展性等

顔表情の分析技術は進歩していて、情報デバイスを利用した学習や遠隔コミュニケーションなどでの利用が期待されている。それらは画像処理的技術や深層学習による表情分析など多くの研究があるが、注意や集中など心的状態の推定については、十分な検討がなされていない。本研究の問題意識は高精度の心的状態の推定と、それを顔表情から予測することであり、それにより集中度と注意状態の推定方法が確立できれば、多くの場面への展開が可能となる。本研究グループは、そのために次年度も新規の提案を申請中である。

[6]まとめと今後の課題

学習者の顔表情から学習時の集中力に加えて、学習者の心理状態として重要と考えられる、「助力を要望する状態」の推定が可能であることを示した。助力が必要な学習者に問題を解くヒントを与えるなどの対応は、学習支援として有効と感がられ、今後、助力推定に基づき支援提供（ヒントの提供など）を実施するシステムを開発することが課題である。

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

1. GY Wang, H Nagata, Y Hatori, Y Sato, CH Tseng, S Shioiri, Detecting Learners' Hint Inquiry Behaviors in e-Learning Environment by using Facial Expressions, 331-335, 2023
2. R. Miao, H. Kato, Y. Hatori, Y. Sato, S. Shioiri, Use of facial expressions to estimate level of attention while watching video lectures, Journal of Vision, 23, 4726, 2023, 2023
3. Y. C. Chen, S. L. Yeh, W. Lin, H. P. Yueh, and L. C. Fu, "The Effects of Social Presence and Familiarity on Children-Robot Interactions," *Sensors (Basel),* vol. 23, no. 9, Apr 24, 2023
4. W. Lin, , PL Hung,, HP Yueh, Design of an AR Application to Support Students with CVD in Learning Chemistry. In: Rau, PL.P. (eds) Cross-Cultural Design. HCII 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14024. Springer, Cham, 2023
5. 船田深結，満上育久、眼球・頭部協調運動の再現がCGアバターの「人間らしさ」に与える影響の調査- IEICE Conferences Archives, 2023
6. 對馬理向，原田翔太，満上育久、表情と視線を制御した顔表情映像の印象評価、研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2024

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R04/A16

研究課題名

顔表情分析の遠隔医療応用に関する研究

[1] 研究組織
研究代表者：
佐藤 好幸（愛知淑徳大学人間情報学部）
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：
板谷智也（金沢大学医薬保健研究域保健学系）
北村喜文（東北大学電気通信研究所）
伊藤彰則（東北大学大学院工学研究科）

[2]研究期間
令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
昨今のパンデミックの状況下において，ウェブ会議システムや ICT 機器を用いた非接触型のコミュニケーションの重要性が，医療・教育・ビジネスなどをはじめとする社会のあらゆる場面において非常に高まっている．オンラインによるコミュニケーションは距離や時間の制約がなくなるという明確な利点があるため今後も継続的に使われていくことが予想される一方で，対面的なコミュニケーションとは得られる情報が異なるため，その有効性については不明な点も多く，様々な観点からの研究が望まれる．研究代表者の佐藤および通研担当教員の塩入らはこれまで，顔表情を用いて個人の認知・行動を理解・予測する研究などを共同で行ってきた．近年の多くの ICT 機器にはカメラが搭載されており，それを用いて容易に顔表情を得ることができる．また，オンラインコミュニケーションにおいても顔映像を撮影・送信しながら行うことが一般的になってきている．代表者らが発展させてきた顔表情の機械学習解析技術等を活用し，それに加えて研究分担者である伊藤の音声解析技術や北村のユーザーインターフェースに関する知見も融合させることで，これら技術の社会的に有用な応用例を検討することが本研究計画の主たる目的である．

本計画では特に，これら技術の応用例として，遠隔医療応用に注力する．近年，在宅ケアの重要性が認識されているが，在宅医療の現場においては，医師不足や感染予防の観点から活動が制限される状況にあり，継続的な診療を行うことが困難になっている．研究分担者の板谷は，在宅医療や在宅介護における ICT 機器の活用に関する研究を行ってきた．これらの ICT 機器の利用の際には，顔表情などの多様な情報を同時に取得することが可能である．そのような多様な情報を活用することで，在宅医療を受ける患者の QOL を維持するための自動状態推定手法や遠隔対話手法などにつながる技術開発研究を行っていく．

[4]研究計画及び内容
全体の計画としては，在宅医療患者の健康状態などの推定を，顔表情などの簡易に測定可能なデータから自動的に行う遠隔モニタリング・遠隔対話システムの開発をめざし，そのために議論を重ねながら段階的にシステムの開発を行っていく．

臨床現場においては，医療従事者は対面で会話を行う際の患者の表情などから状態をある程度推定可能であると言われるが，どのような情報から推定が可能となっているのかは明らかになっておらず，観察者ごとに異なる特徴に注目している可能性もある．しかし，そのような推定が可能であるならば顔表情などに何らかの情報が含まれているはずであり，機械学習的手法を用いて判断にとって重要な特徴を抽出することが可能となることが期待される．

それらの目的のもと，研究グループによる議論を重ねて，在宅医療において必要とされるシステムについて具体化していくとともに，予備的なシステムの構築及び検証を行っていく．

本研究において構築するシステムは使用者各自が自宅などで使用することを想定しているため，あまりコントロールがされていない個人ごとの環境差が大きい状況における測定となる．一般的に，そのような環境で取得されたデータから機械学習を行うと精度が低くなる傾向があるため，その点をどのように解決していくかを検討していく必要がある．

ICT 機器からは顔表情の映像だけでなく，音声も取得できるため，伊藤の持つ音声解析技術に関

する知見を活用して多様な情報を用いることも検討する．また，システムを実際に活用してもらうためにはユーザーインターフェースを洗練させる必要が出てくるため，北村の持つ技術・知見を活用し，より使いやすいシステムの実現を目指す．

また，医療情報の利用にあたってはプライバシーも大きな問題となる．技術的な面だけではなくプライバシー保護の観点からも議論を重ねていき，これらの課題を解決しながら，医療・介護支援において有用なシステムの具体化について検討を行う．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本年度は，本プロジェクトにおける基盤技術となる，顔表情による内的状態の自動判断手法に関する研究を行った．特に，顔表情の個人差に関する検証を行った．

本研究では，内的状態として画像に対する主観評価を対象として，実験計測及び顔表情分析技術開発を行った．画像に対する好みに関する絶対評価と相対評価を行う実験を行い，実験中は顔表情及び脳波データを計測した．主観評価を，評価時の顔表情及び脳波データから予測するように機械学習モデルを学習させ，モデルの予測精度を検証した．その結果，絶対評価に関しては予測を行う参加者のデータだけでなく，他人のデータも学習に用いたほうが予測精度が上がることを示した．それに対して，相対評価に関しては他人のデータは予測精度の向上に寄与しないこと示した．どちらの場合も，他人のデータのみを使う場合は予測精度が大きく落ちた．

これらの結果から，内的状態が顔表情に現れるプロセスには大きな個人差が存在すること，および課題によっては個人間での共通性もあり，他人のデータも予測に際し有用であることがわかった．

(5-2) 波及効果と発展性等

顔表情分析などの技術により，患者の状態推定を行うことができれば，遠隔医療をより効率的に行うことができるようになり，医療関係者の負担の軽減が期待できるとともに患者の QOL 向上につながる．また，患者にとっては簡便に自分で状態を客観的にチェックすることができるようになるため，病院へかかる適切なタイミングを知ることにもつながる．また，医療従事者にとっての直感的判断を参考にして機械学習モデルを構築することができれば，医療従事者本人にとっても自分が何を基準に判断を行っているかについてのフィールドバックを与えることができ，より的確な判断を下す指針となりうる．さらに，豊富な経験に基づき学習された判断基準を，未習熟者に訓練させることができるようになる可能性もある．このような，熟練者による直感によりコミュニケーションを通して相手の状態を判断するということは，教育など他の分野でも行われていることであるため，ここで開発した手法をより広い分野に応用できる可能性がある．

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトにおいては，昨年度と本年度の成果として，応用上の問題点の洗い出しと，顔表情分析の基盤技術の研究を行った．

昨年度においては，在宅医療現場の現状や求められている技術などに関する議論を行った．その結果，日常な介護を行うケアテイカーが患者の状態を判断するための補助となるシステムや，患者の状態を日常的に記録し大きな変化が観察されたときにアラートするシステムなどが特に有用であるとの見解を得た．

また，本年度は顔表情の個人差に関する研究を行った．大きな個人差はあるものの，課題によっては異なる個人のデータも活用しつつ内的状態の推定が行えることを示した．

本プロジェクトは，顔表情分析技術を在宅医療に応用することを目的としてスタートしたが，顔表情分析を主として担当する代表者である佐藤と，在宅医療応用を主として担当する分担者の板谷の両者が本年度中に大学の移籍をしたことにより，研究方針の変化や多忙などの理由で本プロジェクトを継続することが困難となったため，本プロジェクトは本年度を持って終了とすることとなった．

将来的には，本プロジェクトの成果として得られた顔表情分析の基盤技術を発展させることで，在宅医療現場において応用可能なシステムを構築することが望まれる．

［論文、学会発表、および関連成果］
(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Yoshiyuki Sato, Kazuma Fujimaki and Satoshi Shioiri, “Different cognitive mechanisms underlie absolute and relative evaluation of images”, APCV 2024 (accepted)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Renjun Miao, Haruka Kato, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, Satoshi Shioiri, ″Analysis of Facial Expressions to Estimate the Level of Engagement in Online Lectures″ IEEE Access, vol. 11, pp. 76551-76562, 2023

・Guan-Yun Wang, Hikaru Nagata, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, Chia-Huei Tseng, and Satoshi Shioiri. ″Detecting Learners' Hint Inquiry Behaviors in e-Learning Environment by using Facial Expressions.″ In Proceedings of the Tenth ACM Conference on Learning @ Scale (L@S '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 331-335, 2023

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No. R04/A17

Title

Creation, manipulation, and electrical control of chiral spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures

［1］**Research Organization**

Principal Investigator：

Prof. Dr. Oleg A. Tretiakov

Research Collaborator of RIEC：

Prof. Dr. Shunsuke Fukami

Research Collaborator

Dr. Samik DuttaGupta

［2］**Research Period**

2023, April ～ 2024, March

［3］**Purpose, Background, and Overview of the Project**

The realization of high-speed and low-power consuming computing architectures is a crucial challenge towards the development of high-throughput intelligent computing paradigms. Antiferromagnet (AFM)-based spintronic devices, with their unique bulk and topological properties, along with the utilization of spin-orbit interactions integrating charge, spin and orbital degrees of freedom offer a promising route for ultra-fast, dissipation-less, dense spintronic devices, complementing ferromagnet-based architectures. This project aims at the exploration of creation, manipulation, and control of topologically protected spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures with a focus on future spintronics-based antiferromagnetic hardware architectures.

［4］**Research Plan and Content**

AFMs and ferromagnets (FMs) constitute two fundamental forms of magnetic material, where the moments are aligned in an anti-parallel manner in the former leading to a net zero magnetic moment. Utilizing a “collinear” AFM/non-magnet (NM) system, we have demonstrated electrical “reading” and “writing” of antiferromagnetic moments, without any auxiliary FM. However, collinear AFM spintronic devices suffer from major challenges, viz. small output signal, and partial or un-correlated current-induced switching dynamics. A possible solution corresponds to the utilization of recently discovered hexagonal non-collinear (NC) topological AFMs.

$TM_{1/3}MS_2$ (TM=3d transition metals and M=Ta, Nb) are promising candidates for NC antiferromagnetism in a triangular lattice. It consists of metallic MS_2 with triangular layers of TMs intercalating into a van der Waals (vdW) gap of MS_2. Such intercalation alters the atomic positions of sulfur atoms, leading to the chiral magnetic structure. Furthermore, due to the presence of vdW-bonded layers, it is possible to mechanically exfoliate these NC AFMs in a layer-by-layer manner, enabling the understanding of the possible connection between topology and magnetism as well as flexible fabrication of NC-AFM heterostructures. In FY 2023-24, we successfully synthesized single-crystalline NC AFM $Co_{1/3}NbS2$ and evaluated its structural and magnetotransport properties from RT down to cryogenic temperatures.

［5］**Research Results and Ripple Effects**

（5−1）**Research Results**

The single crystals of $Co_{1/3}NbS2$ (CNS, hereafter) are grown by chemical vapor transport (CVT) method, reported in our previous works. The Co:Nb:S concentrations of 0.33: 0.98: 1.95 were determined using wavelength dispersive X-ray (WDX) spectroscopy measurements. Figure 1(a) shows the optical micrograph image of the mm-sized single crystals obtained using CVT method. Structural characterizations were carried out using X-ray diffraction measurements (Fig. 1(b)).

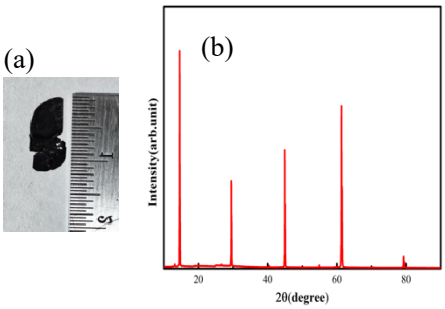


Figure 1. (a) Optical micrograph of the single crystalline $Co_{1/3}NbS2$ synthesized using chemical vapor transport technique. (b) X-ray diffraction pattern at room temperature of the single crystalline $Co_{1/3}NbS2$.

The observed Bragg peaks can be indexed with (00*l*) peaks, indicating that the sample surface corresponds to the ab plane with the c-axis along the out-of-plane direction. Besides, any new peak corresponding to unreacted elements or peak shifts due to unintentional formation of other Co-Nb-S variants was not observed, indicating a homogenous mixing of Co, Nb and S.

Subsequently, electrical and magnetotransport measurements were performed by a physical property measurement system using a conventional four-probe technique. To check the reproducibility of the observed results, similar experiments were repeated in separate

single crystals of different sizes. Longitudinal (ρ_{XX}) and transverse (ρ_{XY}) resistivities were obtained as a function of both temperature and applied magnetic field (H). An applied dc I (⊥ c-axis) of magnitude 10 mA was passed through the single-crystals along the crystal *ab* plane. The resulting change in ρ_{XY} under simultaneous application of external H (along z or x directions) and I was obtained by measuring voltage drop along the y-direction. For applied H (|| c-axis), we have observed a sizable Hall resistance, which can be attributed to the anomalous Hall effect, possibly originating from the interplay of topology and magnetism in the NC-AFM structure.

On the theory side, we investigated the dynamics, creation and electric control of chiral spin textures, such as merons and skyrmions, first in collinear antiferromagnets [1] and ferromagnets [2-4] and now trying to extend these ideas to NC-AFM structures.

（5-2）Ripple Effects and Developmental Potential

This work aims at experimental investigations in this technologically relevant field of vdW NC-antiferromagnetic spintronics. Building from our previous works on single crystalline vdW ferro and antiferromagnets, we have initiated a new direction towards development of functional vdW spin-based devices. Using magnetotransport techniques, we have revealed crucial insights enabling the understanding of underlying interactions, necessary for the development and utilization of vdW materials for future spintronic devices. The results obtained from the project are expected to initiate a new direction for the utilization of vdW magnets and non-magnets for future spintronic devices.

［6］Summary and Future Challenges

Two-dimensional (2D) van der Waals (vdW) magnetic materials have attracted a lot of attention owing to the stabilization of long-range magnetic order down to atomic dimensions, and the prospect of novel spintronic devices with unique functionalities. the next step is the clarification of the magneto-resistive properties and its correlation to the underlying magnetic configurations in mesoscopic regime is essential for 2D vdW-based AFM spintronic devices. The present results provide a clue to tailoring of the underlying interactions in the NC-AFM vdW quantum material, necessary for the realization of a variety of unconventional spin textures for 2D vdW-based spintronics.

【Appendix】

Papers:

1. O. J. Amin, S. F. Poole, S. Reimers, L. X. Barton, F. Maccherozzi, S. S. Dhesi, V. Novak, F. Krızek, J. S. Chauhan, R. P. Campion, A. W. Rushforth, T. Jungwirth, O. A. Tretiakov, K. W. Edmonds, and P. Wadley, Antiferromagnetic half-skyrmions electrically generated and controlled at room temperature, Nature Nanotechnology 18, 849 (2023).

2. S. S. Apostoloff, E. S. Andriyakhina, P. A. Vorobyev, O. A. Tretiakov, and I. S. Burmistrov, Chirality inversion and radius blow-up of a Neel-type skyrmion by a Pearl vortex, Physical Review B 107, L220409 (2023).

3. X. Zhang, J. Xia, O. A. Tretiakov, G. Zhao, Y. Zhou, M. Mochizuki, X. Liu, and M. Ezawa, Reversible magnetic domain reorientation induced by magnetic field pulses of fixed direction, Physical Review B 108, 064410 (2023).

4. X. Zhang, J. Xia, O. A. Tretiakov, M. Ezawa, G. Zhao, Y. Zhou, X. Liu, and M. Mochizuki, Chiral Skyrmions Interacting with Chiral Flowers, Nano Letters 23, 11793 (2023).

Conference Presentations:

1. S. DuttaGupta, R. Roy Chowdhury *et al.*, Unconventional emergent Hall effect phenomena in a van der Waals ferromagnet Fe_3GeTe_2, 2dMAT: A discussion meeting on 2D Materials, January 18-19th 2024, S N Bose National Center for Basic Sciences (SNBNCBS), India (Invited Talk).

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R04/A19

研究課題名

単一光子検出のための超伝導ナノワイヤーに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
美馬　覚（情報通信研究機構）

通研対応教員：
佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトは本年度が２年目であり、プロジェクトの始動にあたり国内の各研究機関の研究者と技術討論を行うべく、東北大学で 2023 年 10 月 30 日、31 日の日程で、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会と共同で研究会を開催した。会議はオンラインとオンサイトのハイブリッド形式で行われ、30 日が合計 42 名、31 日が合計 36 名の参加があった。会議では、招待講演２件の他、超伝導ナノストリプ型検出器、超伝導転移端センサー、超伝導集積回路、超伝導共振器、超伝導トンネル接合素子、物理実験用超伝導検出器の研究発表が行われた。研究成果の発表に対する活発な意見交換がなされ、有意義な研究会になった。

本年度開催された研究会の発表内容を以下に記す。

東京大学の遠藤らは、光電場の直交位相振幅に量子状態をエンコードする連続量光量子情報処理の研究において、その実現のボトルネックである非ガウス型と呼ばれる量子状態の生成で、高性能の光子数識別機を必要とする。本公演では、超伝導ナノストリップ型光子数識別器の詳細と、それを利用した非ガウス型状態生成の可能性について報告した。

情報通信研究機構の知名らは、量子光学や量子センシング等の分野において求められている、波長 2 μm 帯で高効率な超伝導ナノストリップ単一光子検出器（SNSPD）の開発について報告した。SiO_2/Si 誘電体多層膜光共振器上に配置された窒化ニオブチタンナノストリップの光吸収率が、98%になることを確認した。次に、ファイバと結合して、測定温度 0.76K でシステム検出効率が 84.1%に達することを確認した。

産業技術総合研究所の加藤らは、エネルギー分解能が高く可視光・近赤外光において光子数を識別可能である超伝導転移端センサーに開発において、性能を決めるパラメータの 1 つであるタイミングジッタを改善する検討を行った。インダクタンスを小さくして、室温読み出しの帯域幅を広くとることと、TES の体積を小さくすることで、TES のタイミングジッタが改善することを理論的に得た。

横浜国立大学の星加らは、低消費電力かつ数 GHz の高速動作が可能な超伝導集積回路である断熱量子磁束パラメトロン（AQFP）を用いた乗算器の実証について報告した。本研究では、乗算アルゴリズムとして array 型と Wallace-tree 型に基づいた 4 ビット乗算器をそれぞれ設計し、HSTP を用いて作成した。ランダムパターンを含むテストパターンに対して、どちらの乗算器の出力も正しいことを低速測定で確認した。

埼玉大学の五十嵐、成瀬らは、力学インダクタンス検出器の一種である LeKID をベースとして、高いエネルギー分解能を実現させるために、インダクタ部分を基板から浮かせた橋状に加工し、評価を行った。エアブリッジと呼ばれる浮かせた部分の割合を 0.5%から 30%に拡大することで、エアブリッジ構造部分の応答を確認することが出来た。

東北大学の石村らは、超伝導単一光子検出器における薄膜の結晶性と検出器性能との相関解明、および性能向上に向けた設計指針の構築を目的として、MgO(100)基板と格子整合性の良い TiN の特性評価の報告を行った。N_2 流量比によって、TiN 膜の転移温度と抵抗率の関数である磁場侵入長を 160~280nm の範囲で制御できることが分かった。TiN ワイヤの電流分布の非一様性も確認して、Ar イオンビーム照射によって TiN 膜の磁場侵入長の向上や臨界電流密度の低減が可能であることを明らかにした。

これまでに、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器については 2022 年度に、近赤外光より光子のエネルギーが小さい中間赤外域で単一光子検出器の性能の向上のため、超伝導体の窒化ニオブチタンの転移温度を約４K と低くした超伝導ナノワイヤを誘電体多層膜上に作成・評価した。

波長が 4.3μm の中間赤外光に対して、超伝導ナノワイヤに吸収された光子の検出効率（内部効率）が 85%を達成していることを示した。2023 年度は、さらに窒化ニオブチタンの細線化、薄膜化を推し進め、波長が 4.3μm と 6.1μmで、超伝導ナノワイヤに吸収された光子の検出効率（内部効率）が 100%を達成していることを示した

[3] 今後の研究の推進方策

本共同プロジェクトは、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器の製作と性能評価を中核にし、参画メンバーの共通基盤である超伝導薄膜や超伝導細の微細加工技術の課題に対して、得られた知見の共有と次世代の超伝導デバイスの基盤構築を目的としている。また、研究会を開催することで、研究者同士の交流から新しい研究領域の開拓を狙う。

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器の開発においては、超伝導薄膜や微細加工の影響が強く出る中赤外用利器において、システムでの検出効率の向上を目指す。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Koji Ishidoshiro, Satoru Mima, et. al. “Kinetic inductance detectors on calcium fluoride substrate for astroparticle physics”, PTEP 2023 (2023) 10, 103H02

・F. China, M. Yabuno, S. Mima, S. Miyajima, H. Terai and S. Miki , “Highly efficient NbTiN nanostrip single-photon detectors using dielectric multilayer cavities for a 2-microm wavelength band”, Optics Express Vol. 31, Issue 12, pp. 20471-20479 (2023)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/A21

研究課題名

人体領域通信用指向性伝搬特性に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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：
末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

人体領域通信（Wireless body area network: WBAN）とは人体に装着したセンサノードにより医療用途やエンタテインメント用途などに活用される人体領域通信である．従来のマイクロ波帯 WBAN では人体幅に対して波長が十分に短くないため回折により電波が回り込み，遠くのユーザーまで干渉が届く．そのため駅や大通りなどのユーザー密集環境下ではユーザー間の WBAN 干渉が発生するという課題がある．本研究では指向性アンテナを用いた WBAN システムを提案し，指向性アンテナによって WBAN における信号波と干渉波を分離させることで，ユーザー間の WBAN 干渉の抑制により上記課題を解決する．

令和 5 年度では指向性アンテナを用いたミリ波帯での人体領域の伝搬特性を 15 GHz 帯で実測し，WBAN 間干渉の電波伝搬特性を明らかにした．

まず，信号波と干渉波を分離可能な指向性をもち，かつ人体に装着しやすい形状であることから，WBAN に適しているアンテナである 2×2 素子パッチアレイアンテナを設計した．図 1，図 2 に試作した 2×2 素子パッチアレイアンテナとその放射方向特性を示す．アンテナの大きさは 50 mm 四方で作成しており，人体に装着可能となっている．また放射指向性も 3-dB ビーム幅で最大 50° 以下となっており，信号波と干渉波を分離可能な指向性を実現した．

つぎに，人体によるブロッキングが発生する場合の干渉波の伝搬モデルを作成した．干渉波は主に見通し状況における直接波と，非見通し状況における回折波が混在し，これら複数パスを合成するモデルを検討した．特に複数回の回折が発生する場合において直接波成分による誤差が大きくなるため，新しくブロッキングエリア法を提案した．

最後に，実際の混雑環境を想定した実測により WBAN 間干渉波電力の定量的評価を行い，提案する干渉波の伝搬モデルとの比較を行った．図 3 に測定結果と，提案モデルの結果を示す．実測により干渉波の電力分布が明らかとなり，また提案モデルにおいては伝搬路から w＝0.3 [m] 以内の人体ブロッキングを考慮することでモデルの精度が最大となることが明らかとなった．

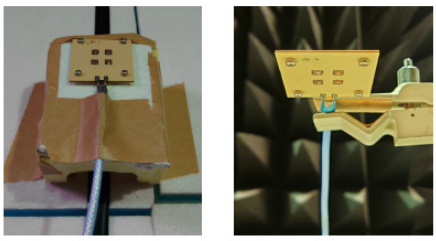


図 1　試作した 2×2 素子パッチアレイアンテナ
（左: 送信用，右，受信用）

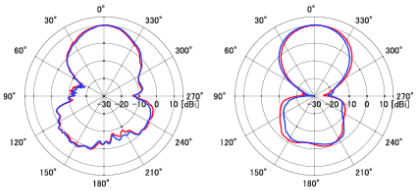


図 2　試作したアンテナの放射パターン

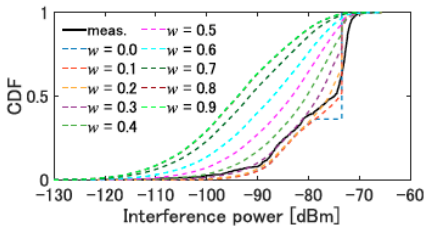


図 3 WBAN 間干渉電力の分布特性
（ユーザ密度 1.0 人/㎡のとき）

[3] 今後の研究の推進方策

周波数を 60 GHz 帯に拡張した実験とモデル化を行い，ミリ波帯における WBAN の指向性アンテナによる信号波と干渉波の分離効果を示す．そのため新しくアンテナの設計を行い，電気通信研究所の設備を使った実験を計画している．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・福井 蓮太，秋元 浩平，戸花 照雄，”15 GHz 帯 2×2 素子パッチアレイアンテナを用いた WBAN 間干渉を想定した複数ユーザ環境における人体ブロッキングの測定，” 信学技報, vol. 123, no. 121, WBS2023-24 SRW2023-22 MICT2023-21，pp. 55-60, 2023 年 7 月.

・福井 蓮太，秋元 浩平，戸花 照雄，”15GHz 帯 2 × 2 素子パッチアレイアンテナを用いた WBAN 間干渉を想定した複数ユーザ環境における人体ブロッキングの評価” 信学ソ大, B-17-19, 2023 年 9 月.

・R. Fukui, K. Akimoto, T. Tobana, “Measurement of human body blocking for inter WBAN interference in user dense environments using 2 by 2 elements patch array antenna at 15GHz,” Proc. 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), FR-A3 220339, Dec. 2023.

・小澤 常直，秋元 浩平，戸花 照雄，“60 GHz 帯端末館通信のための電波伝搬特性，”本荘由利テクノネットワーク学生パネル発表，2024 年 2 月.

・三田 圭祐，秋元 浩平，戸花 照雄，“生体等価ファントムを用いた人体電波伝搬特性，”本荘由利テクノネットワーク学生パネル発表，2024 年 2 月.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・福井 蓮太，秋元 浩平，戸花 照雄，“15 GHz 帯 2×2 素子パッチアレイアンテナを用いた WBAN 間干渉を想定した複数ユーザ環境における人体ブロッキングの測定評価，”2023 年度電気関係学会東北支部連合大会，2G16，2023 年 9 月.

・栢木 優希，秋元 浩平，戸花 照雄，“15 GHz 帯単素子パッチアンテナの人体近傍における反射特性, “2023 年度電気関係学会東北支部連合大会，2G17，2023 年 9 月.

・

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A01

研究課題名

グラフェンエミッタの研究

[1] 研究組織
研究代表者永瀬　雅夫：
永瀬　雅夫（徳島大学）

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
なし

[2]研究期間
令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
SiC 基板上に作製した単結晶グラフェンを用いた積層接合デバイスにおいてこれまでにない特性を持つデバイスを実現する。グラフェンは 2010 年にノーベル物理学賞を受賞したナノ材料であるが、これまで目立った実用化の事例は見当たらない。これは、グラフェン研究の多くで再現性が望めない、フレーク状の材料を用いているためである。我々は、SiC 単結晶基板上にエピタキシャル成長が可能な熱分解生成グラフェンを用いることにより産業応用が可能なデバイスの実現を目指してきた。これまでに遠赤外線放射デバイスやガスセンサ等の実証を行ってきた。近年、２枚のグラフェン試料を対面接合して積層接合を作製し、再現性の高い非線形特性が発現することを見いだした。このグラフェン積層デバイスを用いた新機能デバイスの実現を目指す。

[4]研究計画及び内容
これまでにグラフェン積層接合デバイスでは電流注入による遠赤外線放射を確認している。この現象は、各種の検討の結果、SiC 基板の表面フォノンとグラフェンのプラズモンがカップリングした結果であることが判っている。おおよそ 10μm の波長にピークを持つブロードな放射であり、効率は高いものの高帯域であり、応用上問題がある。グラフェンの積層接合では接合角を変化させることにより各種の物性を制御することが可能であることが知られている。エピタキシャルグラフェンではこの接合角を他の系に比べて容易に変化、制御することが可能である。この特性を活かして、各種の接合角のデバイスを作製し、特異な接合角（マジックアングル）を探索して、狭帯域な THz 波放射デバイスの実現を目指す。

具体的な計画としては、まず、デバイス電気特性に関する接合角依存性の取得を目指す。特に、低角度においては二層系 van Hove singularity に由来する、バンド変調効果が期待される。実験的に得られた電気特性と理論的な解析結果を対比させながら、マジックアングルの探索を行う。さらに、特異な接合角に於ける、THz 波放射特性の取得を行う。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
グラフェン積層接合の電気特性の大きな特徴として、高電圧印加下でのスイッチング特性と負性微分抵抗特性の発現がある。スイッチング特性としては、電圧印加により高抵抗相から低抵抗相へと可逆的に変化する特徴がある。また、低抵抗相において電流が増大するにつれて接合電圧が低下するといういわゆる S 字タイプの負性微分抵抗が観察される。現時点でこの現象の物理的な背景は不明であるが、理論的な検討も含めて解明する努力を進めている。

・接合角依存性の概略
接合角を変化させることにより、電気特性がどのように変化するかの検討を、接合角 0 度から 30 度までの範囲で行った。その結果、いずれの接合角に於いても S 字タイプの負性微分抵抗が観察された。これは、負性微分抵抗を含む非線形特性が、グラフェン積層接合系に特有な特性で有ることを示している。一方で、これまでグラフェン積層接合系の実験は多くなされているが、類似の非線形特性は報告されていない。これまでの行われた実験の多くでは接合部に大きな電界を掛けることに成功していない。一方で、我々の接合系では接合部に大きな電界を掛けることに成功している。これは、SiC 上グラフェンと金属電極とのコンタクト抵抗が小さいことに由来する。また、これまで

の検討範囲では 12 度の接合角に於いて、スイッチング性能を示す on-off 比が 100 を越えることが確認されている。

・低電界領域のコンダクタンス

グラフェン積層接合間のコンダクタンスは、二層間の原子配置の違いにより接合角に大きく依存することが知られている。特に、過去のグラフェン-グラファイト間の伝導の実験で、接合角が大きくなるとほぼ単調にコンダクタンスが小さくなるとの結果がある。しかし、我々の結果では、大きな接合角依存性は無く、その平均値は 231μS であり、これは 6 e^2/h に相当する。このことから、接合部の実効面積は小さく量子ポイントコンタクト的な状況が実現されていることが判る。SiC 上グラフェンは高温（約 1600℃）でのアニールにより作製されているため、試料には必ず凸状の変形が見られる。このため接合部はポイントコンタクト状態になっていると思われる。

・最大接合電圧

負性微分抵抗が発現すると接合電圧は低下する。この特性から、最大接合電圧が各デバイスに存在する。この最大接合電圧は低接合角（4 度）を除けば、12 度付近で 極小（約 3V）となり 0 度と 30 度で極大（約 15V）となる特性を示し、12 回対称的な振る舞いをする。本来、グラフェン同士の接合系であれば 6 回対称的な特性になるはずであるが、倍の対称性となっている。これは SiC 上グラフェンの特有な状況であるバッファ層（界面カーボン層）の存在に由来する可能性がある。また、最小値である 3V でもグラフェンの層間隔である 0.335 nm に印加されていれば、10 GV/m に達する巨大な電界であり、この電界により負性微分抵抗が発現していることが推測される。

以上述べた、グラフェン積層接合の角度依存性の検討結果は、過去に各種報告されているグラフェン積層系では報告されていない結果となっており、SiC 上グラフェン特有の現象が観察されていると考えられる。

（5-2）波及効果と発展性等

本検討で得られた結果は、SiC 上グラフェンを用いた積層接合がこれまでに無い新たな特性を有する接合系であることを示している。現時点で、デバイス応用として期待される特性は、スイッチング特性であり、電圧印加により動作する両方向サイリスタ様のデバイスが実現されている。現状で、最大の on-off 比は 100 を越えており、さらなる角度依存性の検討により、より大きな on-off 比の実現が期待される。また、見積もったポイントコンタクトの実効直径は 10nm 程度であり、僅かな実効面積のデバイスで 10mA 程度の電流のスイッチングが実現されている。電流密度に換算すると 10^{14}A/m^2 に達する高電流密度の大電流のスイッチングが行える可能性がある。通常の双方向サイリスタのデバイス構造は複雑であるが、本デバイスの構造は単純であり発展性は大いにあると思われる。さらに、本デバイスの動作原理の解明には超高電界下での新たな電子物性物理の体系構築が必要であり、全く新たな学術領域の創出が期待される。

[6]まとめと今後の課題

SiC 基板上に熱分解法で作製した単結晶グラフェンを用いた積層接合の電子物性の解明を目指した検討を行った。これまでに、電気特性の接合角依存性の取得を行った。その結果、検討を行った全ての接合角において負性微分抵抗を伴うスイッチング特性が観測された。低電界印加領域のコンダクタンス値には大きな角度依存性が無かった。負性微分抵抗を示す、高電界印加領域には角度依存性がみられた。顕著な角度依存性としては接合角 12 度に於いて 100 を越える on-off 比が得られた。

今後は、これまで得られた接合特性を理解するために超高電界下でのグラフェン電子物性の理解が行える理論的なフレームワークを構築する必要がある。また、van Hove 特異点の発現が期待される、低接合角を含む詳細な接合角依存性の取得を行う必要がある。さらに、本研究の期間中には到達出来なかった、本来の目的である THz 領域の放射特性の計測を進める。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

該当無し

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

論文

・H. Murakami, F. Fukunaga, M. Ohi, K. Kubo, T. Nakagawa, H. Kageshima, Y. Ohno, and M. Nagase, “Twist angle dependence of graphene-stacked junction characteristics”, Jpn. J. Appl. Phys. 63, 04SP56 (2024).

・Y. Ohno, A. Shinmen, T. Kinoshita, M. Nagase, “Energy Harvesting of Deionized Water Droplet Flow over an Epitaxial Graphene Film on a SiC Substrate”, Materials 16, 4336 (2023).

・M. Ohi, F. Fukunaga, H. Murakami, H. Kageshima, Y. Ohno, and M. Nagase, “Resistive-switching behavior in stacked graphene diode”, Jpn. J. Appl. Phys. 63, SG1031 (2023).

学会発表（国際会議）

・ K. Murayama, Y. Ohno, M. Nagase, “Detection of antigens exceeding the Debye screening length using epitaxial graphene FET on SiC substrates”, MNC2023, 16P-1-20 (2023).

・H. Murakami, F. Fukunaga, M. Ohi, K. Kubo, T. Nakagawa, H. Kageshima, Y. Ohno, and M. Nagase, “Twist angle dependence of graphene-stacked junction characteristics”, MNC2023, 16P-1-15 (2023).

・M. Nagase, “Vertically stacked graphene junction diodes” [Invited], 244th ECS meeting, G02-1513 (2023).

学会発表（国内会議）

・古川 智和人, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫,″SiC 上エピタキシャルグラフェン FET の pH 依存性″,2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-1BM-8 (2024)

・松村 大夢, 森 優介, 髙嶋 宙, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, Hoang Anh Tung, 田端 厚之, 長宗 秀明, ″His タグ B-domain を用いた SiC 上グラフェンへの抗体配向修飾法″,2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-1BM-7 (2024)

・竹下 立晟, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, ″SiC 上グラフェンの液滴による電位差発生のイオン濃度依存性″, 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23p-32A-2 (2024)

・湯川 諒磨, 豊田 蓮青, 濱本 滉太, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, ″エピタキシャルグラフェン上の液中フォースカーブ計測″, 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 22p-P07-33 (2024)

・佐藤 優介, 橋本 一輝, 倉科 昌, 永瀬 雅夫, 安澤 幹人, ”タングステンプローブを用いた白金ナノ電極の作製法の検討″, 2023 年度日本化学会中国四国支部大会 (2023 年)

・大井 基暉, 村上 隼瑛, 久保 倖介, 中川 剛瑠, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, 影島 博之, ″高電圧印加によるグラフェン積層接合の抵抗変化″, 第 15 回「集積化 MEMS シンポジウム」, M-257 (2023)

・名渕 公軌, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, ″分子修飾による SiC 上グラフェン FET のドーピング制御″, 2023 年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会, Ap-8 (2023)

・岡田 拓斗, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, ″Al2O3 ナノ粒子を形成した SiC 上グラフェン FET の pH 依存性″, 2023 年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会, Ap-7 (2023)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A02

研究課題名

新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスにおける材料・プロセス基盤技術開発に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

Si や SiC のような高品質大口径単結晶基板をベースとする大規模集積回路や各種半導体デバイスの高性能化・新機能化の推進のために、多様な元素を含む半導体材料やそのナノ構造の集積化搭載を実現するための研究が進められている。本プロジェクトでは、新IV族半導体材料の表面・界面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同時に、薄膜・界面・ナノ構造の精密制御を可能とするプロセス条件を探索し、新IV族半導体ナノエレクトロニクスにおける次世代の材料・プロセス基盤技術開発を目指している。

本年度の主な成果としては、負性抵抗エサキダイオードの開発を目指して、ECR プラズマ CVD を用いてキャリア濃度が $2x10^{20}$ cm^{-3} に達する高濃度 P ドープ Si 薄膜形成を実現した。また、高濃度 P ドープ Si のウェットエッチングによる pn 接合ダイオード製作プロセス構築を進め、良好な整流特性を確認した。また、SiC パワーMOSFET における長期信頼性向上と電力損失削減を目指して、同時横方向エピタキシャル成長法により製作した 3C-SiC／4H-SiC 積層ハイブリッド構造基板上に熱酸化絶縁膜を形成し、界面準位密度を走査型非線形誘電率顕微鏡法によって計測した所、3C-SiC 表面の界面準位密度を 4H-SiC 表面の 200 分の 1 以下まで大幅に低減できることを確認した。これらの結果は、新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスのための新しい基盤技術となりうるものである。

その他、各国の本研究プロジェクトメンバーが中心となり、以下の国際会議開催や Proceedings 特集号発刊を通して、新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスにおける材料・プロセス基盤技術開発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 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)）, Como, Italy, May 22-25, 2023, 国際諮問委員：室田淳一.
- 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 13, 244th Meeting of the Electrochem. Soc.）, Gothenburg, Sweden, Oct. 8-12, 2023, シンポジウムオーガナイザー：室田淳一.
- 第 14 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（14th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics）, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Dec. 14-15, 2023, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一, 発表 26 件（Invited 9 件, Oral 8 件, Poster 9 件）.

[3] 今後の研究の推進方策

これまでの成果をベースにして、負性抵抗エサキダイオード製作プロセスと SiC パワーMOSFET における長期信頼性向上と電力損失削減に関する研究を継続する予定である。また、国際共同研究推進型である本プロジェクトでは、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、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つなげるために、今後も以下の関連国際会議開催を予定している。

- 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 11, 246th Meeting of the Electrochem., Honolulu, HI, USA, Oct. 6-11, 2024, エピタキシー部門委員：櫻庭政夫）.
- 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（15th 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.

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

- H. Nagasawa, Y. Cho, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, Y. Sato and S. Sato, “SNDM study of MOS interface state densities on 3C-SiC and 4H-SiC stacked structure”, Int. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM, Sorento, Italy, Sep. 17-22, 2023), (Oral Presentation) , Session: Process 2: MOS II.
- 長康雄, 長澤弘幸, 櫻庭政夫，佐藤茂雄，「3C-SiC/4H-SiC 積層構造 MOS 界面の SNDM 評価」，第 80 回応用物理学会秋季学術講演会（2023 年 9 月 19〜23 日、熊本），No. 21p-B201-6（口頭発表）.
- 櫻庭政夫, 佐藤茂雄, 長康雄，「結晶構造が異なる SiC 同士のシームレスな積層に成功 ―パワー半導体の電力損失を大幅に削減できる見通しを得る―」, 東北大学、プレスリリース・研究成果, 2023 年 9 月 28 日 14:00, https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2023/09/press20230928-05-power.html .
- J. Murota, “Langmuir-Type Formulation for Atomic-Oder Surface Reactions of Reactant Gases on Group IV Semiconductor (100) Surface”, (Invited, Digital Presentation), Int. Symp. Semiconductor Process Integration 13, The Electrochem. Soc. 243th Meeting (Gothenburg, Sweden, Oct. 10-13, 2023), Abs.No. 1566: ECS Trans., Vol.112, No.1 (Edited by T. Ono, A. Veloso, J. Murota, C. Claeys, H. Ishii, A. Mai, Y. Cao, The Electrochem. Soc., NJ, 2023), pp.3-11.
- Y. Cho, H. Nagasawa, M. Sakuraba and S. Sato, “SNDM Study on Cubic and Hexagonal Epitaxially Stacked SiC MOS Interfaces” (Poster Presentation), 2023 MRS Fall Meeting & Exhibit (Nov. 26-Dec. 1, 2023, Boston, USA), Symposium: CH01: Advanced Characterization Methods of Energy Material Applications, Nov. 28, 2023, 20:00-22:00 (Poster Presentation).
- 長澤弘幸, 阿部真帆, 丹野健徳, 武者倫正, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄, 末光眞希，「SLE 法における 3C SiC/4H SiC 積層構造の制御（Control of 3C SiC/4H SiC Stacking Structure in Simultaneous Lateral Epitaxy)」, 応用物理学会・先進パワー半導体分科会第 10 回講演会（2023 年 11 月 30 日〜12 月 1 日, 金沢）, No. IIA（ポスター発表）.
- Y. Yamamoto, W.-C. Wen, M. A. Schubert, A. A. Corley-Wiciak, S. Sugawa, Y. Ito, R. Yokogawa, H. Han, R. Loo, A. Ogura and B. Tillack, “Thin and locally dislocation-free SiGe virtual substrate fabrication by lateral selective growth”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 63 (2024) p. 02SP53 (7 pages).
- Y. Yamamoto, Y. Ito, R. Yokogawa, W.-C. Wen, Y. Yamamoto, T. Minowa and A. Ogura, “Strain and optical characteristics analyses of three-dimensional self-ordered multilayered SiGe nanodots by photoluminescence and Raman spectroscopy”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 63 (2024) p. 03SP31 (6 pages).
- H. Nagasawa, Y. Cho, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, Y. Sato, S. Sato, “SNDM study of MOS interface state densities on 3C-SiC and 4H-SiC stacked structure”, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Dec. 14-15, 2023, Sendai, Japan), Abs. No. P-09 (Short Oral & Poster Presentation).
- 長澤弘幸, 武者倫正, 阿部真帆, 丹野健徳, 櫻庭政夫，佐藤茂雄，「3C-SiC と 4H-SiC の交互エピタキシャル積層構造の形成」，第 71 回応用物理学会春季学術講演会（2024 年 3 月 22〜25 日、東京都市大），No. 23a-52A-1（口頭発表）.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A03

研究課題名

酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発

[1] 研究組織

研究代表者：
木村　康男（東京工科大学工学部）

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
廣瀬　文彦（山形大学大学院理工学研究科）
須田　茂明（チェスト株式会社）
高橋　秀美（チェスト株式会社）
高附　佑輔（チェスト株式会社）
岩田　一樹（東北福祉大学総合ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ学部）
庭野　道夫（東北大学歯学研究科）
但木　大介（東北大学電気通信研究所）
馬　騰（東北大学電気通信研究所）
阿部　宏之（宮城県産業技術総合センター）
桜井　史敏（株式会社メムス・コア）
伊藤　一孝（株式会社メムス・コア）

[2] 研究期間

令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的，背景や概要

本研究では，既存の医療機器への搭載を目的として，金属の陽極酸化技術と半導体微細加工・集積化技術を組み合わせることにより，シリコン基板上に形成した酸化チタンナノチューブ薄膜を検出媒体とする，多成分分析・高信頼性分析が可能な，省電力・超小型・高感度ガスセンサを開発する。開発するガスセンサは，酸化チタンナノチューブ薄膜にガス分子が吸着・解離することにより膜抵抗が変化する現象を利用したセンサである。

（研究打ち合わせの開催状況）
・第 1 回：令和 5 年 7 月 28 日，参加人数 7 名
・第 2 回：令和 5 年 11 月 22 日，参加人数 6 名
・第 3 回：令和 6 年 2 月 14 日，参加人数 3 名
・第 4 回：令和 6 年 3 月 12 日，参加人数 10 名

[4] 研究計画及び内容

我々は，ナノチューブ表面に貴金属微粒子を触媒として担持することにより感度・反応時間などを従来型に比べ一桁程度向上できることを示した（*Sens. Act. B*, **321**, 128525 (2020)）。また，機械学習の適用により，混合ガス中の特定ガスの濃度計測が可能であることを示した（*Sens. Act. B*, **361**, 131732 (2022)）。既存の医療機器へ搭載するために求められるスペックに対して，ガスセンサの応答時間と回復時間が長いという問題が残されている。本研究における課題は，以下のとおりである。

（1）触媒金属担持技術の確立
センサの応答特性向上のために，原子層堆積（ALD）法における，酸化チタンナノチューブ薄膜への触媒金属担持条件の最適化を行う。

（2）ガス導入方式の最適化
センサの応答速度向上とガス導入量低減のために，我々が新規に提案した電磁弁を用いたショットガス吹き付け方式の開発を行う。

（3）混合ガスの多成分分析技術の開発
同一基板上にアレイ化した複数のセンサからの出力信号，機械学習を活用して解析し，医療機器での検査に用いられる 4 種混合ガス（CO，He，O_2，N_2）中の特定のガス種（CO，O_2）の濃度を同時検出・計測する技術を確立する。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

（1）触媒金属担持技術の確立
センサの応答特性向上のために，原子層堆積（ALD）法における，酸化チタンナノチューブ薄膜への触媒金属担持条件の最適化を試みた。センサ応答特性（出力感度，応答・回復時間など）に係わる ALD 条件を様々探索した結果，ソース（原料）であるトリメチルメチルシクロペンタジエニル白金の加熱温度が主要なパラメータであることを見出した。詳細な調査の結果，加熱温度が 37.5℃程度である場合に，作製されるセンサが最適な特性（出力感度：大，応答・回復時間：少）を示すことが分かった（図 1）。

次に，最適な ALD 条件により作製されたセンサの，医療機器での検査に用いられる 4 種混合ガス（CO，He，O_2，N_2）に対する応答を検証した。その結果，図 2（a）に示すように，微小な CO 濃度（0.20%～0.10%）の範囲において，出力感度

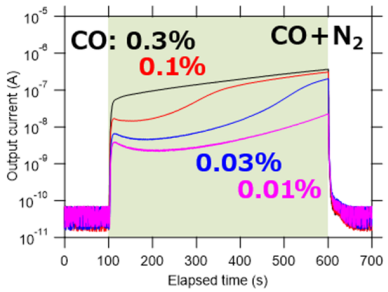
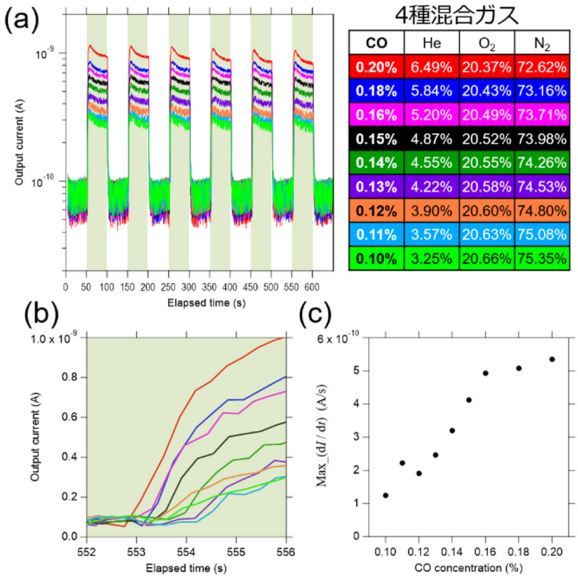


図 1. 最適条件（ソース加熱温度 37.5 ℃，サイクル数 1）での ALD により作製したセンサの CO＋N_2 ガスに対する出力応答特性（DC 1 V 印加時の測定電流）※緑色の領域がガス導入時間領域。



4種混合ガス

CO	He	O_2	N_2
0.20%	6.49%	20.37%	72.62%
0.18%	5.84%	20.43%	73.16%
0.16%	5.20%	20.49%	73.71%
0.15%	4.87%	20.52%	73.98%
0.14%	4.55%	20.55%	74.26%
0.13%	4.22%	20.58%	74.53%
0.12%	3.90%	20.60%	74.80%
0.11%	3.57%	20.63%	75.08%
0.10%	3.25%	20.66%	75.35%

図 2. (a) 4 種混合ガスに対する出力応答特性，(b) 出力応答特性における立ち上がり付近の拡大図，(c) 各 CO 濃度における 1 階時間微分の最大値のプロット図　※緑色の領域がガス導入時間領域。

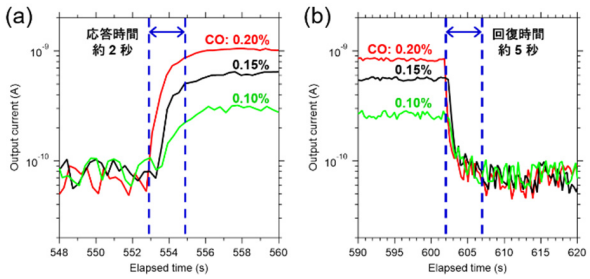


図 3. 図 2 における (a) 応答時間領域の拡大図，(b) 回復時間領域の拡大図 ※ガス導入（550 秒時）からセンサ応答までの若干のずれは，ガス導入系側の構造に依存するものである。

が再現よく差別化されている特性を得た。ある時間における立ち上がり付近の拡大図（図 2（b））を見ると，傾きにも差が生じている。この時間領域での傾きの最大値を濃度ごとにプロットすると，線形に近い依存性を示すことが見出された（図 2（c））。また，図 2 を元に編集した図 3 から，応答時間・回復時間がそれぞれ約 2 秒・約 5 秒と，白金微粒子担持前よりも一桁程度短縮されていることも分かった。

以上，ALD 条件の最適化と 4 種混合ガスに対する応答の検証を通じて，出力感度や応答・回復時間といったセンサ特性が，実用化に近い水準まで到達していることが確かめられた。

（2）ガス導入方式の最適化

触媒金属担持技術の確立に時間を要したため，今年度での実施には至らなかった。

（3）混合ガスの多成分分析技術の開発

触媒金属担持技術の確立に時間を要したため，今年度での実施には至らなかった。

(5-2) 波及効果と発展性等

本共同研究プロジェクトは，JST・A-STEP（JPMJTR211E）と並行する形で実施されたものであり，この 1 年を通じ，学外研究者・共同研究先企業との交流が活発に行われた。中でも，計 4 回に亘り開催した，研究進捗報告会（研究打ち合わせ）において議論を重ねることで，本プロジェクトの目的である「省電力・超小型・高感度ガスセンサの開発」に向けた現状・克服すべき課題がより明確なものとなり，今後の展開に向けての重要な指針を得た。さらに，本プロジェクトを通して，ガスセンサ開発研究に係わる産学連携としてのネットワークが一層強化され，今後も活発な相互交流が期待できる状況にある。

（国際会議・シンポジウムへの発展）
・シンポジウム名：第 14 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：令和 6 年 3 月 5 日～6 日
・開催場所：オンライン開催
・参加人数：延べ 77 名（うち外国人 47 名）

[6] まとめと今後の課題

本プロジェクトでは 3 つの課題を設定し，このうち 1 つ目の課題について実施を完了した。特に，4 種混合ガスに対するセンサ応答から得られた傾き最大値の濃度依存性は，今後実施を目指す機械学習解析（3 つ目の課題）における有用な特徴量（入力データ）になると見込まれる。また，今回構築された産学連携ネットワークの活用により，実用化に向けた開発研究の加速化が期待される。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

該当なし

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A04

研究課題名

高磁場 MRI 対応体腔内 NMR 受信プローブの開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
松永 忠雄（鳥取大学工学部電気情報系学科）

通研対応教員：
末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究の最終的な目的は、小動物体腔内（直腸など）へ挿入できる直径 2 mm 以下、かつ 500 MHz の NMR 信号を受信できる細径 MRI プローブを開発し、リアルタイムバイオイメージングを実現することである（図 1）。そこで、当該共同研究においては、体腔内 MRS プローブの設計、試作、評価を行う。

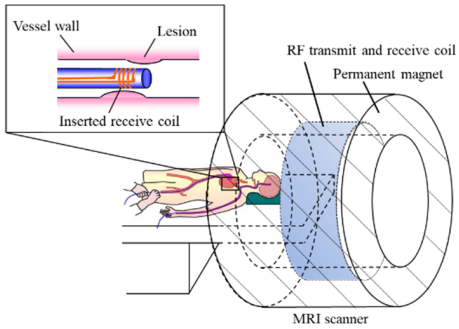


図 1. 体腔内 MRI 概念図

図 2 に体腔内 MRI プローブの MNR 受信コイル断面方向から観察した磁場分布を示す。短軸方向からみたコイルの開き角度をパラメータとして 120° 、および 160° においての磁場分布を解析した。その結果、160° の方がコイル近傍付近の磁場強度が大いため、高い SNR となりコイル外側の磁場不均一部分が均一になることを昨年度に得られている。

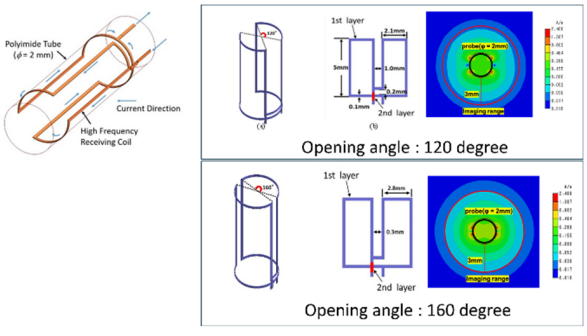


図 2. NMR コイル構造と算出結果

そこで当該年度においては、FEM シミュレーション結果から得られた「開き角 160°」構造の NMR 受信コイルを非平面微細加工技術により試作した。図 3 に作製プロセスフローを示す。図で

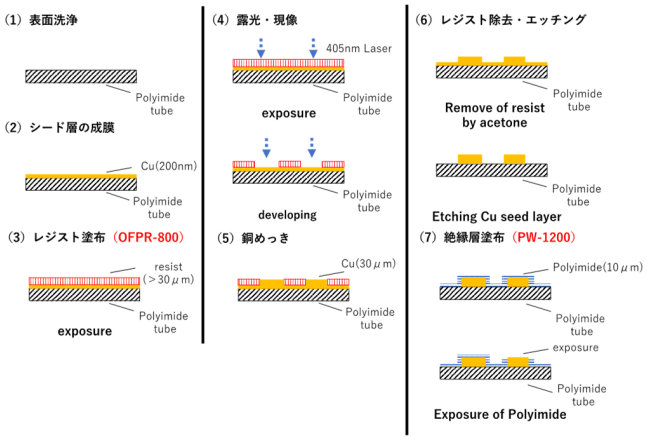


図 3. 高磁場 NMR 受信コイル作製プロセスフロー

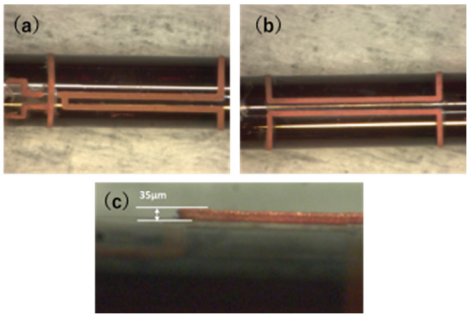


図 4. NMR 受信コイル試作結果
(a) コイル上面, (b) コイル裏面, (c) 配線部

は直径 2 mm のポリイミドチューブ断面の上部半分を示している。非平面露光装置を用いることで細径チューブ表面に、線幅 100 μm の銅配線を多層でパターニングにより作製可能である。図 3 に作製プロセスフロー、図 4 に試作した NMR 受信コイルを示す。直径 2 mm のポリイミドチューブ上に銅配線（厚み35 μm）のコイルパターンを作製した。強磁場 MRI 装置を用いることから、配線には非磁性材料である銅を電解めっきにより成膜した。また、チューブ表面には表皮効果を考慮した配線厚さを確保できた。

［3］今後の研究の推進方策

今後は、試作した NMR 受信コイルのインダクタンス、抵抗成分、寄生容量の周波数特性などの基本的電気的特性を評価する。その後、7 Tesla MRI 装置用の受信回路を設計し、試作した NMR 受信コイルに実装する。7 Tesla MRI でのプロトンのラーモア周波数は約 300 MHz であることから、NMR 受信コイルと受信回路のチューニングを 300 MHz、およびインピーダンスを MRI 装置と同じ 50Ω に調整した上で体腔内 MRI プローブの電気的特性を評価する。その後、最終的に高磁場 MRI 装置を用い、ファントム撮像後、倫理面に配慮した上で小動物の体腔内リアルタイムバイオイメージングを行う。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Matsunaga T, Kawabata T, Koga A, Yoshida T, Lee S-S. Evaluation of a High Frequency Receiving Coil for an Intraluminal MRI Probe. 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2023), Taipei, Taiwan. （関連性：受信コイル設計結果について報告）

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A05

研究課題名

逆磁歪効果と磁気光学効果を用いた口腔内咬合力計測に関する基礎調査

［1］研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
磯谷 亮介（セイコーフューチャークリエーション株式会社）

通研対応教員：
後藤 太一（東北大学電気通信研究所）

［2］当該年度の研究実績の概要

令和５年度は、本共同プロジェクトの枠内で下記の検討を実施した。

１． FeSiB 膜の磁気光学特性（カー効果）の計測と圧力印加時の応答の観察

電気通信研究所に２度訪問し、新規に調達した FeSiB 磁性フィルムの磁気光学特性の計測を試みた。調達したフィルムの表面の凹凸が無視できないほど大きく、磁気光学特性を定量的に計測することができなかった。標準歯形（一般成人の理想的な歯形模型）を利用して磁性膜に応力印加を試みたが、こちらも特段の応答は見られなかった。今後は、FeSiB のみに限定する必要はないが、表面粗さの小さい磁性膜を新たに選定することが必要である。

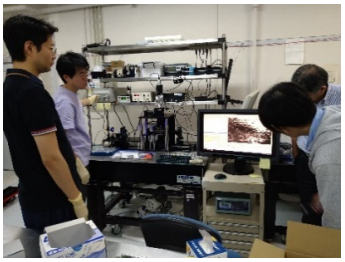
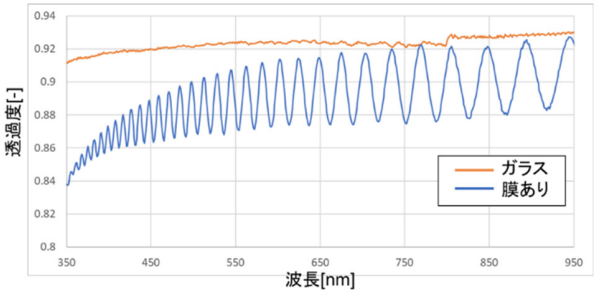


図１．磁気光学効果計測器でのカー効果計測

図２．FeSiB 膜への標準歯形模型の押付

２． 生体適合コーティングの透過性計測

セイコーフューチャークリエーション社で成膜した生体適合膜（パリレン）を上記の磁性膜と併せて利用することを目的に、パリレン膜が十分な透過率を持つかを確認した。コーティングによる光吸収が多いと、反射光の S/N 比が低下し、期待する磁気光学効果が得られない可能性がある。電気通信研究所に１回訪問し、ガラス基板上に成膜した 9 ㎛のパリレン膜（体液中に浸された場合でも十分な防水性を有する）の透過率を計測し、およそ 80～90%前後の十分透明な膜が形成できたことを確認した。今後、適切な磁性膜の上に、本コーティングを施すことによって生体適合性を持たせることが期待できる。



［3］今後の研究の推進方策

今後は、本応用に適用可能な磁性膜の継続探索と、口腔内計測可能な生体適合フィルムでラッピングした磁性構造を開発する予定である。

令和６年度の具体的な計画は下記の通り：

- 口腔内での圧力分布（咬合力、歯列矯正力、顎矯正力）計測可能な磁性材料の選定。現状の有力候補は FeSiB 膜、ただしより凹凸の少ない膜を探索する。
- 口腔内計測可能な生体適合性を有する構造の検討

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）
・なし
(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
・なし

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No. R05/A06

Title

2D van der Waals quantum materials for efficient charge-spin conversion

［1］Research Organization

Principal Investigator：

Prof. Dr. Ravi Prakash Singh

Research Collaborator of RIEC：

Prof. Dr. Shunsuke Fukami

Research Collaborator

Dr. Rajeswari Roy Chowdhury

Dr. Samik DuttaGupta

［2］Research Period

2023, April ～ 2024, March

［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

The demand for high-performance and energy-efficient electronic devices and the ever-increasing quest for continuous miniaturization has garnered significant attention towards developing new materials with novel functionalities at reduced dimensions. Magnetic 2D van der Waals (vdW) materials, with their unique relativistic, topological, quantum properties, cleavability down to atomically thin units, and flexibility of creating tailored heterostructures is an attractive route for the development of high-performance and low-power consuming novel spintronic devices. Building from our previous results on bulk single-crystalline 2D magnetic quantum materials, this project explores spin-dependent magnetotransport and electrical control of magnetism in mesoscopic 2D vdW heterostructures and multilayered devices.

［4］Research Plan and Content

The capability of realization of 2D vdW single-crystalline magnetic multilayer structures, generation of non-equilibrium current-induced torques and control of magnetic order are of utmost importance for the development of 2D vdW spintronics. In recent times, experimental results pertaining to electrical control of magnetic order in 2D ferromagnet CrI3, proof-of-concept magnetic tunnel junction using 2D ferromagnet (FM) Fe3GeTe2/hBN/Fe3GeTe2 has been demonstrated, enunciating a unique platform towards atomically tunable future magnetic devices. Previously, this collaborative effort has succeeded in materials development and exploration of fundamental magnetic and unconventional magnetotransport properties of ferromagnet (FM) and antiferromagnet (AFM) vdW systems. In FY 2023-204, we fabricated ferromagnetic-vdW devices and investigated the possibility of existence of spin textures from RT down to cryogenic temperatures.

［5］Research Results and Ripple Effects

（5-1）Research Results

The single crystals of Fe_3GeTe_2 (FGT, hereafter) and $(Co_{0.25}Fe_{0.75})_3GeTe_2$ ($Co_{0.25}$FGT, hereafter) are grown by chemical vapor transport method, reported in our previous works. The FGT, and $Co_{0.25}$FGT flakes were mechanically exfoliated in a glovebox with inert atmosphere. Next, the exfoliated flakes are transferred to a PDMS stamp, and subsequently transferred to the Cr/Au prepatterned devices using a dry transfer technique. Figure 1(a) shows the optical micrograph image of a typical device used in this study.

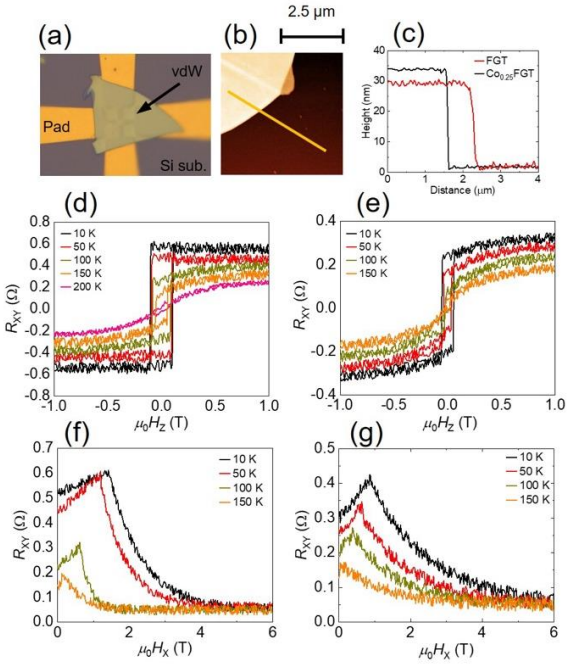


Figure 1. (a) Optical micrograph of the device. Yellow regions are pre-patterned Cr/Au contact pads for electrical measurements. Green regions denote the exfoliated flake of the vdW ferromagnet. (b) Atomic force microscope (AFM) image of a FGT flake. (c) Thickness of the flakes determined from line scan of AFM. (d), (e) Transverse Hall resistivity (R_{XY}) versus applied magnetic field ($\mu_0 H$) parallel to c-axis, for FGT and $Co_{0.25}$FGT, respectively. (f), (g) Transverse Hall resistivity (R_{XY}) versus applied magnetic field ($\mu_0 H$) perpendicular to c-axis, for FGT and $Co_{0.25}$FGT, respectively.

Figure 1(b) shows the atomic microscope image of the flake. A line scan along the flake edge is carried out to determine the flake thickness (Fig. 1(c)). Figure 1(d) and (e) shows the experimental results of the transverse resistivity versus applied magnetic field parallel to c-axis (i.e., along the out-of-plane directions with respect

to the devices), for FGT and Co0.25FGT, respectively. For applied H (|| c-axis), we observe a sizable Hall resistance, which can be attributed to the anomalous Hall effect (AHE), possibly originating from topological nodal lines in the band structure with the magnetization pointing along the easy axis. On the other hand, for the applied field along the place of the devices ($H \perp$ c-axis), we observe the emergence of a prominent cusp-like feature in transverse resistivity, similar to our observed behavior in single crystalline bulk compounds. Detailed micromagnetic calculations considering exchange, anisotropy, Zeeman energy and interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction revealed the prominent role of magnetic frustration responsible for the stabilization of unconventional spin-textures responsible for the observed behavior. Our findings suggest a possible route towards tailoring of interfacial interactions and stabilization of unconventional spin textures in a vdW magnet FGT for future topological magnetic devices.

（5-2）Ripple Effects and Developmental Potential

This work aims at experimental investigations in this technologically relevant field of vdW spintronics. Building from our previous works on single crystalline vdW ferro and antiferromagnets, we have initiated a new direction towards development of functional vdW spin-based devices. Using magnetotransport techniques, we have revealed crucial insights enabling the understanding of underlying interactions, necessary for the utilization of vdW materials for future spintronic devices. The results obtained from the project are expected to initiate a new direction for the utilization of vdW magnets and non-magnets for future spintronic devices.

［6］Summary and Future Challenges

Two-dimensional (2D) van der Waals (vdW) magnetic materials have attracted a lot of attention owing to the stabilization of long-range magnetic order down to atomic dimensions, and the prospect of novel spintronic devices with unique functionalities. The clarification of the magneto-resistive properties and its correlation to the underlying magnetic configurations in mesoscopic regime is essential for 2D vdW-based spintronic devices. Here, the effect of Co-doping on the magnetic and magnetotransport properties of Fe3GeTe2 mesoscopic structures have been investigated. Magnetotransport measurements reveal an unusual Hall effect behavior whose strength was considerably modified by Co-doping and attributed to arise from the underlying complicated spin textures under the influence of DMI. The present results provide a clue to tailoring of the underlying interactions necessary for the realization of a variety of unconventional spin textures for 2D vdW-based spintronics.

【Appendix】

Manuscript:

1. R. Roy Chowdhury *et al.*, Manuscript under preparation (2024).

Conference Presentations:

1. S. DuttaGupta, R. Roy Chowdhury *et al.*, Unconventional emergent Hall effect phenomena in a van der Waals ferromagnet Fe_3GeTe_2, 2dMAT: A discussion meeting on 2D Materials, January 18-19th 2024, S N Bose National Center for Basic Sciences (SNBNCBS), India (Invited Talk).

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A07**

Title

Japan-Russia International collaborative research of new designs of high-power lage-area photoconductive antenna-emitters

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：PONOMAREV Dmitry, Dr.
Institute of Ultra-High Frequency Semiconductor Electronics of RAS, Moscow, Russian Federation
Research collaborator of RIEC：
OTSUJI Taiichi, Prof.（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

We have realized an experimental observation of the enhanced THz emission in a large-area photoconductive antenna (PCA)-based emitter, boosted by an array of cylindrical sapphire-fiber-based micro-lenses. The observed enhancement is achieved thanks to the sharp focusing of a pump laser beam near the semiconductor surface, for which the high-refractive-index sapphire lenses are used. We first predicted numerically and then confirmed experimentally a considerable enhancement in the emitted THz spectral power for such a sapphire-fiber-coupled large-area PCA-emitter, as compared to an ordinary one with an equal electrode topology. In fact, a 8.5-fold THz power boost is achieved, resulting in a +9.3 dB increase in the dynamic range [C1,P1].

Figures 1(a),(b) show a sketch of the proposed LAE with sapphire fibers atop. The 280-μm thick fibers were grown using the Edge-defined Film-fed Growth (EFG) technique, where crystal is grown from a melt meniscus formed atop of a molybdenum capillary die, while the melt rises to the crystallization front through thin capillary channels. For positioning of the fiber array on the LAE surface, a specific assembly was developed and fabricated using the Liquid Crystal Display Resin 3D-printing technology, which allows faster and more precise printing than other 3D printers, with the lateral resolution 35×35 μm^2. The fibers were packed into individual slots in the assembly, and, then, mechanically fixed via specific fixators, as shown in Figs. (b) and (c). The longitude of each fiber was 3 mm, according to the assembly.

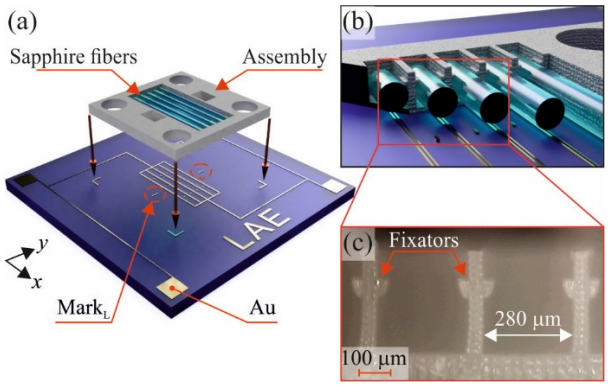


Figure 1. A scheme of the proposed THz Large-Area PCA-Emitter, i.e. LAE, with a sapphire fiber array atop. (a) Attaching the sapphire fiber array to the emitter surface via the 3D-printed polymer assembly. (b) 3D rendering of the sapphire fiber array handled in the assembly. (c) Microscopy of fixators designed for precise bracing of fibers in the assembly, where the distance (i.e. emitter period) of 280 μm is chosen accordingly to the fiber diameter used.

The THz measurements were performed using the in-house THz time-domain spectrometer based on the Avesta EFOA-SH-HP laser with a 150 mW average laser beam power at the central wavelength of 780 nm, the laser pulse duration 100 fs and repetition rate of and 65 MHz [P2,C1–C3]. Figure 2 (a) shows the measured THz spectra for the two emitters plotted by power and normalized by the noise level (for convenience). The shapes of the two emitted THz spectra almost reproduce each other at the frequencies below 2.5 THz. To estimate an impact of the fibers array to THz emission, we plotted an enhancement factor β_{THz}, which is derived as the ratio between the values of P_{THz} with and without array for selected frequency of the spectrum, and plotted β_{THz} vs. P_{opt} for a constant bias voltage U_b = 40 V. The enhancement was calculated for ν = 0.4 THz, that corresponds to maximum redistribution of the THz power. The results are given in panel (b). As seen, the sapphire fiber-boosted LAE demonstrates a β_{THz} = 8.5-fold increase in the THz power. Such an enhancement results in a +9.3 dB increase in the frequency-domain dynamic range. Next, Fig. 4(c) depicts the photocurrent i_{ph} as a function of average pump power at constant bias voltage U_b = 40 V.

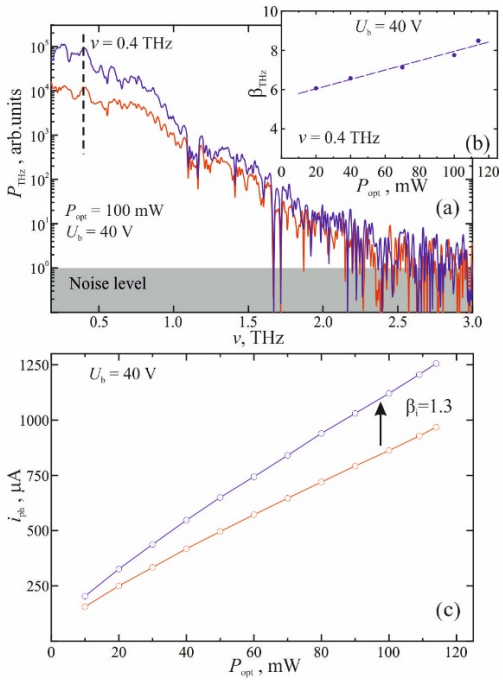


Figure 2. Experimental characterization of the developed THz LAE, boosted by a sapphire fiber array (blue curves) in comparison with the reference one, i.e. without fibers (red curves). (a) Measured THz power spectra P_{THz} at the laser pump of P_{opt} = 100 mW and the bias voltage of U_b = 40 V. (b) Enhancement factor β_{THz} for the selected frequency ν = 0.4 THz. (c) Photocurrents i_{ph} as a function of P_{opt} at U_b = 40 V; β_i is the photocurrents ratio.

As seen, maximum observed difference in the THz power is less than an order of magnitude, as is shown in (a,b), that correlates well with a β_i = 1.3 enhancement in the photocurrents ratio at P_{opt} = 115 mW, as seen from data on (c). We notice that due to LAE topology, where the radiating areas are located periodically, a destructive interference might occur in far-field zone. To moderate an impact of the emission pattern on THz spectrum, we used equal LAE topology for the both samples. As the period we used is close to THz wavelength, in a far-field the main lobe of the emission pattern becomes narrower, and a part of the emitting energy is transforming to side lobes (which may not reach PCA-detector), leading to some spatial dispersion of the THz wave. Nevertheless, this does not significantly limit the overall THz power of the LAE, that is ~ 100 μW. As seen in (b), no saturation occurs for β_{THz} in the considered range of P_{opt}. The same behavior is observed for $i_{ph}(P_{opt})$ on (c). This means that additional increase in the emitted THz power providing increased THz bandwidth and signal-to-noise ratio, can be achieved by using high-power Ti:S lasers with average power above 1W, and applying stronger bias voltages. Moreover, our approach can be applied for large-area PCA-detectors. The detector sensitivity can be increased thanks to intensified localization of photocarriers, which allows them to rapidly reach the LAE terminals, even at small incident THz electric fields. On contrary to a single one, these detectors, as known, do not need the precise laser focusing requirements, which are essential for increased sensitivity, while demonstrating high signal-to-noise ratio.

[3] Future Research Promotion Measures

In 2023FY we realized our seminal approach on a sapphire-fiber based large-area PCA-emitter [C1,P1]. In 2024FY (the 2nd year of project) and 2025FY (the 3rd year of project) we will be optimizing the performance of large-area PCA-emitters by new topology designs, using different types of the fibers (providing an optimization of our EFG-growth technique), and working with 'destructive' THz absorption in GaAs wafer. During 2024 and 2025FY we are planning to realize new large-area PCA-emitters stripline topology designs and implement novel THz metasurfaces to suppress the THz absorption in GaAs.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

[C1] N.V. Zenchenko, D.V. Lavrukhin, R.R. Galiev, A.E. Yachmenev, R.A. Khabibullin, Yu.G. Goncharov, I.N. Dolganova, V.N. Kurlov, T. Otsuji, K.I. Zaytsev, D.S. Ponomarev, Enhanced terahertz emission in a large-area photoconductive antenna through an array of tightly-packed sapphire fibers, Applied Physics Letters, 124(12), 121107 (2024).
[C2] P.M. Kovaleva, K.A. Kuznetsov, P.I. Kuznetsov, D.V. Lavrukhin, R.R. Galiev, D.S. Ponomarev, G.Kh. Kitaeva, Plasmonic photoconductive antennas based on $Bi_{2-x}Sb_xSe_yTe_{3-y}$ topological insulator, IEEE Xplore, ICLO-2024, in press (2024).
[P1] D.S. Ponomarev, D.V. Lavrukhin, R.A. Khabibullin, T. Otsuji, K. Zaytsev, Large-area THz emitters with sapphire-fiber optics, TeraTech 2023, 10th International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technologies, Aizu-Wakamatsu, Japan, September 4-8, 2023.

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

[P2] D.S. Ponomarev et al, Plasmonic-enhanced THz emission in high-aspect-ratio metal grating photoconductive antennas, 30th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'23), Samara National Research University, 18-21 September 2023.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A08

研究課題名

high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス温度依存の解明

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
王谷 洋平（公立諏訪東京理科大学）

通研対応教員：
佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

①RF スパッタ法による HfO_2/Ge 構造の形成と評価に関して

これまでの研究から、RF スパッタ法による HfO_2/Ge 構造の形成の際に、成膜時の基板温度と熱処理時の温度領域を大きく変えることによって界面特性に非常に大きなバリエーションが生じることが分かっていた。そのため、当該年度には、その原因を探るべく、p 型 Ge 基板上に様々な条件下で形成した HfO_2/p-Ge 構造の電気特性評価を継続して行った。また、HfO_2/n-Ge 構造も実デバイス形成において不可欠であるため、p 型 Ge 基板上に形成した HfO_2/p-Ge 構造と比較検討を行うためにも n 型 Ge 基板上に HfO_2/n-Ge 構造を形成し、その電気特性評価を開始した。従来、様々な試料形成手法において HfO_2/p-Ge 構造に比べて HfO_2/n-Ge 構造は良好な界面特性を有するものの作製が難しいとされてきたが、我々が検討を行っている RF スパッタ法による試料形成においても、良好な界面特性を有する試料の形成に苦戦しており、当該年度内での研究成果発表には至らなかった。

②極低温 ALD 法とプラズマ照射を組み合わせた手法による Al_2O_3/Ge 構造の形成と評価に関して

これまでの研究から、極低温 ALD 法とプラズマ照射を組み合わせた手法による Al_2O_3/Ge 構造の形成の際に、氷点下の特定の温度領域において Ge 基板表面で特異的に表面酸化が生じることが示唆されていた。そのため、その現象を明確にすべく、Al_2O_3/Ge 構造の試料の電気特性評価を継続して行い研究成果発表を行った。加えて、同様の試料形成手法を用いて C/Ge 構造を形成し、比較検討を行った。この際、C/Ge 構造の試料の I-V 特性を測定したところ整流特性が確認されたため、この現象についても詳細な測定ならびに評価を進めた。

[3] 今後の研究の推進方策

①室温以上の温度領域で堆積した high-k/Ge 構造の堆積温度・熱処理温度と high-k/Ge 構造の電気特性・物理構造との相関の検討に関して

室温以上の温度領域における Ge 基板上への high-k 絶縁膜を堆積するに際して、RF スパッタ法による HfO_2/Ge 構造の形成に加えて、真空蒸着法を用いた TiO_2/Ge 構造や Al_2O_3/Ge 構造の形成を行い、それらの試料の電気特性評価を行うことにより、堆積温度ならびにその後の熱処理温度と high-k/Ge 構造の電気特性・物理構造との相関を明らかにすることを目指して研究を進める。

②氷点下の温度領域で堆積した high-k/Ge 構造の堆積温度・熱処理温度と high-k/Ge 構造の電気特性・物理構造との相関の検討に関して

特性評価の精度向上のために high-k 絶縁膜の膜厚・膜質の面内均一性の向上に向けた取り組みを進めるとともに、面内での膜厚・膜質の不均一性を逆手に取りコンビナトリアル手法的に詳細な電気特性の評価ならびに物理構造の解析を進める。

①②ともに high-k 絶縁膜材料としては、Al_2O_3、TiO_2、HfO_2 などの単元素の酸化物での検討を行うことにより現象の複雑化を防ぐ。これらの試料について、室温でのコンダクタンス法や XPS/TEM 等の機器分析法を用いて、電気特性評価や界面とその近傍の欠陥評価、結合状態の評価を行う。これらを通して、high-k/Ge 界面で生じている物理現象の理解を深めることを図る。また①②で得られた評価結果を合わせて考察を行うことで、数 K から 1000K 程度の広い温度領域で形成した high-k/Ge 構造の電気特性ならびに界面物理構造を明らかにするとともに、プロセス温度が high-k/Ge 構造における high-k/Ge 界面特性に及ぼす影響ならびに high-k/Ge 界面で生じる物理現象への理解を深める。

研究代表者所属機関において、走査型プローブ顕微鏡が導入されたため、電気特性評価のみならず、表面形状の評価についても、随時、機動的に行えるようになった。

また、電気特性評価のスピードを向上させるため、電気特性評価システムの増強の準備を進めている。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Ayato Nishizaki, Kaito Nakao, Takeshi Miyairi, Tatsuya Yokohira, Daichi Yamada, Atsuki Okawa, Tetsuya Sato, Yohei Otani, “Fabrication of Al_2O_3 film on Ge substrate at 190K and its electrical properties”, 14th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-06, Dec. 15, 2023, Tohoku University, Sendai, Japan.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・なし

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A09

研究課題名

二次元材料を用いたプラズモニック・ナノデバイスに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）
唐 超（東北大学電気通信研究所）
田村 紘一（東北大学電気通信研究所）
衡 君彦（東北工業大学大学院工学研究科電子工学専攻）

延べ参加人数：7 人

[2] 当該年度の研究実績の概要

グラフェンや MoS_2 などの二次元材料は、特異な物性を持つことから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。そこで我々は、グラフェンの表面増強ラマン散乱(SERS)を応用したバイオケミカルセンサと高効率太陽光発電が期待される光レクテナに関する研究を行った。初年度にあたる本年度は、以下の研究成果を得た。

（1）グラフェン・バイオケミカルセンサ

感染症やガンなどの診断、食品検査、水質検査を迅速かつ簡便にできる高感度バイオケミカルセンサを開発することを目的として、グラフェンのプラズモン増強場形成のメカニズムを解明し、SERS基板の高性能化を行った。最初に、SERS効果に支持基板が及ぼす影響を調べるために、Si_3N_4 メンブレン上にグラフェンを転写した試料を作製し、その SERS 効果を調べた。その結果、メンブレン上のグラフェンは雑音が大きくなるが SiO_2/Si 基板上のグラフェンとほぼ同じ増強効果を示すことがわかった。この結果から、SiO_2/Si 基板と空気は有意差がないことがわかった。一方、マイカ基板の表面にグラフェン、裏面に銀薄膜を形成した試料は、銀薄膜からのレイリー散乱が大きすぎて SERS 信号を観測することができなかった。

次に、単層と多層(２層)グラフェンの SERS 効果について調べた。その結果、単層グラフェンは多層より約 2 倍高い感度を持つことがわかった。そして、水素アニール処理が SERS 効果に及ぼす影響について調べた。その結果、350℃のアニールをすると金属を凌駕する SERS 効果が得られることを見出した（図１）。これは、転写プロセス中に発生した残渣がアニールによって除去され、清浄なグラフェン表面が得られたためである。さらにアニール後のグラフェン表面は負電荷を帯びるため、正電荷を持つ分子が吸着しやすくなると考えられる。以上から、水素アニールした単層グラフェンで SERS 基板を作製することにより、これまでの結果より 1 桁以上高感度の 0.1 pg/mL 以下の検出感度が得られる見通しがたった。

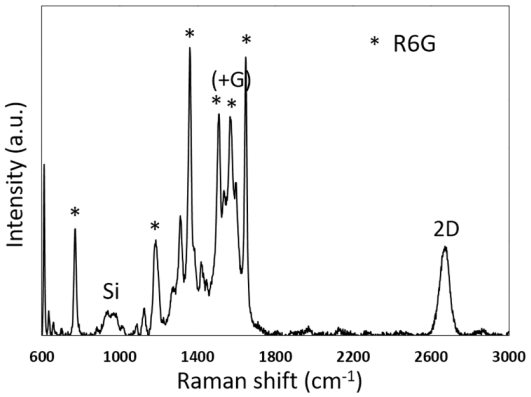


図 1 本研究で開発した SERS 基板を用いて観測した R6G(10^{-6} M)のラマン信号

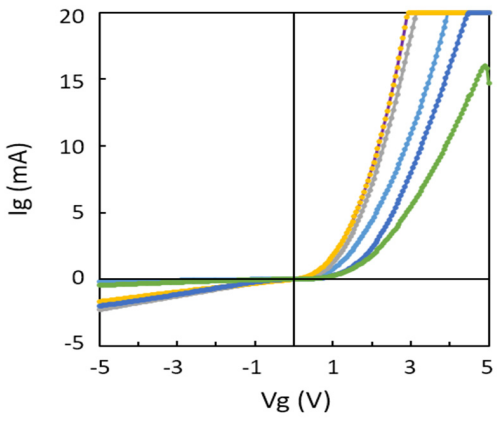


図 2 本研究で開発した MISM ダイオードの I-V 特性

（2）グラフェン・光レクテナ

光レクテナはナノアンテナに高性能整流ダイオードを集積化した発電デバイスで、高効率太陽光発電や無線送電への応用が期待できる。しかし、可視光に応答できる高周波ダイオードやナノアンテナの開発や高性能ダイオードとナノアンテナのモノリシック集積化が困難なため、実用化に至っていない。本研究では変換効率の向上を目指して、グラフェンや MoS_2 などの透明な二次元材料を用いて高性能ダイオードを作製する。

本年度は、正電圧側と負電圧側で非対称な I-V 特性を持つ MIM ダイオードを実現するために、トンネル絶縁膜をバンド構造の異なる 2 種類の絶縁膜で形成した MISM ダイオードを作製し、その電気特性を調べた。トンネル絶縁膜は Si 基板上に AD-230LP（サムコ製）を用いて 200℃の熱 ALD 法で Al_2O_3膜(t=6 nm)、プラズマ ALD 法で SiO_2膜(t=3 nm)を堆積した。その結果、非対称な I-V 特性が得られることがわかった（図２）。また、C-V 特性から Al_2O_3膜の比誘電率は 9.0 で、従来の結果と一致することがわかった。

（3）触媒化学気相成長法を用いた大面積 MoS_2の合成

MoS_2薄膜はバンドギャップ 1.8 eV の直接遷移型半導体で、FET を作製すると高 $I_{on}/I_{off}=10^8$ が得られる。近年、PTAS (ペリレン-3,4,9,10-テトラカルボン酸テトラカリウム塩) を触媒として用いた常圧 CVD 法で、大面積の MoS_2膜が得られることがわかった。そこで本研究では、デバイス応用が可能な大面積の MoS_2の成長を目的として、PTAS を用いた触媒化学気相成長法で MoS_2の合成を行った。成長条件を最適化した結果、成長温度 690 ℃で 400 μm 角以上の大面積 MoS_2 が合成できることがわかった（図３）。しかし、成長した膜上に MoO_3 などの異物が残った。異物が少ない成長条件を見出すことが今後の課題として残った。

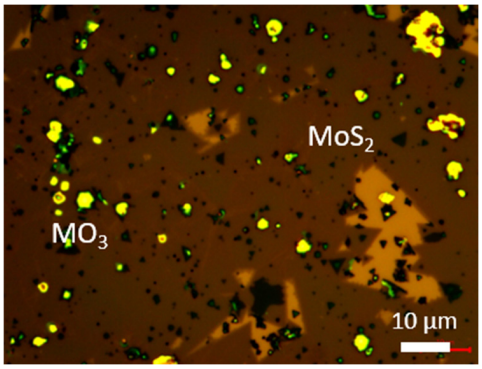


図 3 MoS_2 の光学顕微鏡写真

[3] 今後の研究の推進方策

今年度は、従来からの課題であったグラフェン SERS 基板の高性能化やグラフェン・バイオケミカルセンサを用いた定量分析などの課題を解決した。今後は開発した SERS 基板を用いて、疾患の発見をリアルタイムで実現する臨床現場即時検査（POCT）デバイスの開発を行う。

次に、今年度開発した積層トンネル絶縁膜 MISM ダイオード技術をグラフェン光レクテナの作製に応用する。

他に、二次元材料の自己組織化プロセスを用いた光レクテナの作製を検討する。MoS_2 は、原材料の比を変化させることにより結晶を三角形や六角形に変えることができる。三角形の結晶を横並びに配置することができれば、自己組織化プロセスでボウタイアンテナを作製することができる。ナノアンテナとトンネルダイオードが統合された光レクテナは、サブミクロン以下で集積化されているので、コプレナー配線により損失を抑えることができ、光変換効率の改善が期待できる。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- 衡彦君, 相澤佳乃, 濱田佑希乃, 熊谷龍馬, 葛西重信, 吹留博一, 佐藤昭, 尾辻泰一, 内野俊, “表面増強ラマン分光法を用いたバイオケミカルセンサの改善”, 第 84 回応用物理学秋季学術講演会, 熊本城ホール, 2023 年 9 月 21 日.
- Y. Heng, R. Kumagai, S. Kasai, H. Fukidome, A. Satou, T. Otsuji, and T. Uchino, “Development of Graphene-Based SERS Substrates for Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)”, ChinaNANO 2023, 4P-005, Beijing, Aug 26-27th, 2023.
- T. Uchino, Y. Heng, R. Kumagai, S. Kasai, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, “Graphene-based surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) for enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)”, SPIE Photonics WEST 2024, 12860-7, San Francisco (USA), Jan 28th, 2024.
- 衡彦君, 相澤佳乃, 濱田佑希乃, 吹留博一, 唐超, 佐藤昭, 尾辻泰一, 内野俊, “グラフェン表面増強ラマン散乱(G-SERS)基板の高性能化”, 71 回応用物理学春季学術講演会, 東京都市大学, 2024 年 3 月 22 日.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

内野 俊, 本間孝治“光学デバイス及びその製造方法” 特許 7296681 号.

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No. R05/A10

Title.

Current-induced orbital effects in magnetic heterostructures

［1］**Research Organization**
Principal Investigator：
Dr. Samik DuttaGupta
Research Collaborator of RIEC：
Prof. Dr. Shunsuke Fukami
Research Collaborator
Mr. Sachin Majee
Mr. Dibyendu Majee

［2］**Research Period**
2023, April ～ 2024, March

［3］**Purpose, Background, and Overview of the Project**

The realization of high-speed and low-power consuming computing architectures is a crucial challenge towards the development of high-throughput intelligent computing paradigms. The generation of angular momentum (spin or orbital) in a solid and its non-equilibrium flow under the application of electrical current offers a promising route for the development of ultra-fast, dissipation-less, non-volatile future spintronic devices. In the last decade, the discovery of spin Hall effect (SHE) ushered a lot of attention towards the generation, flow, and magnetization switching by spin-orbit torques. However, this mechanism of spin-current generation is generally limited to specific class of materials owing to the requirement of spin-orbit interaction. Interestingly, recent theoretical studies have predicted an alternative route, where large orbital-Hall current and orbital torques (OTs) can be generated from orbital Hall effect (OHE), independent of spin-orbit interaction. This project aims at the experimental investigations concerning quantification of OTs, exploration of the underlying physics, and the possibility of manipulation and control of ferro and antiferromagnets using OTs for future spintronic devices.

［4］**Research Plan and Content**

Recent theoretical investigations and some experimental results have shown that electric-field generation of orbital currents or OHE is a fundamental process, not requiring spin-orbit interaction and can occur in a wide variety of materials. Despite its fundamental importance, an unambiguous confirmation of OHE and OTs in magnetic heterostructures, universal consensus concerning its underlying origin, symmetry of OTs, and bulk and interfacial contributions has remained elusive. Our laboratory at Saha Institute of Nuclear Physics (SINP) has developed non-magnet/ferro or antiferromagnet heterostructures using magnetron sputtering or pulsed laser deposition, crucial for the establishment of a materials platform. On the other hand, laboratory of nanoelectronics and spintronics at Research Institute of Electrical Communication (RIEC) pioneers in development of spintronic physics and devices down to nanometer scale. In FY 2023-24, we had planned to (1) utilize the developed stack structures for fabrication of mesoscopic and nano-scale devices, and (2) quantify OTs in these structures and demonstrate control of magnetic order in non-magnet/ferro or antiferromagnet structures.

［5］**Research Results and Ripple Effects**

(5-1) **Research Results**

In FY 2023-24, I was not able to come to RIEC, Tohoku University to carry out collaborative research. It is due to the fact that I had several teachings (condensed matter theory course for two semesters, advanced experimental techniques courses for two semesters) and administrative commitments (purchase of instruments, construction works, etc.) at SINP. Furthermore, I am also in the process of setting up of my laboratory due to which several civil construction, electrical works as well as instrument installation works were ongoing in FY 2023-24. I believe that, given the opportunity, I will be able to visit RIEC, Tohoku University in this and subsequent years for the successful continuation of our collaborative research activities.

However, during this time at SINP, we have been successful in optimization and growth of ferromagnet/non-magnet, ferromagnet/antiferromagnet structures using our newly installed ultra-high vacuum magnetron sputtering set-up. In addition, we have also been successful in development of 2D van der Waals structures using dry transfer and optical lithography techniques.

(5-2) **Ripple Effects and Developmental Potential**

We believe the in this and subsequent years, it will be possible to demonstrate interesting results which can be of immense potential for orbital device physics.

［6］Summary and Future Challenges

The emerging field of current-induced orbital effects in magnetic heterostructures bears a multidisciplinary character and is expected to be attractive for data storage, magnetic sensing, and non-volatile computation. The obtained results would enhance the limited knowledge available on orbital effects in solids enabling clarification of relevant charge to angular momentum interconversion physics and enunciating new routes towards control and manipulation of magnetism. The development of orbitronic devices also provides an unprecedented opportunity to explore angular momentum phenomena and effects in magnetic structures, and broadens the research scope on spintronics and nanomagnetism, enabling development of new concept spintronic devices. The obtained results would bear substantial implications for the development of future spintronic devices for conventional and unconventional computing architectures.

【Appendix】
Manuscript:

Conference Presentations:

1. S. DuttaGupta, R. Roy Chowdhury *et al.*, *Unconventional emergent Hall effect phenomena in a van der Waals ferromagnet* Fe_3GeTe_2, 2dMAT: A discussion meeting on 2D Materials, January 18-19th 2024, S N Bose National Center for Basic Sciences (SNBNCBS), India (Invited Talk).

2. S. DuttaGupta, *Thematic Talk on Quantum Materials and Devices, Future Roadmap Vision 2047 (Vision 2047/Vision Amritkal)*, organized by Department of Atomic Energy (DAE), Government of India at Ramanujan Lecture Hall, 5-9th March 2024, ICTS Bengaluru (invited talk).

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A11

研究課題名

超 100GHz 帯ダイレクトディジタル送受信機技術の創成

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

当初予定では、2023 年度に、超 100GHz 帯増幅器の高利得化検討を行い、ファンダリ(Global Foundry 社)の協力が得られれば実際の IC 試作を行うとしていた。しかし、コロナ禍以降の半導体市況の変化に伴い、GF 社のアカデミックシャトルと呼ばれている無償 RFIC 試作サービスが実質的に中止されてしまったために、今年度は、①2022 年度後半に IC 試作を行った超 100GHz 帯増幅器 IC の評価と、②超 100GHz 帯増幅器 IC 設計を実施した。ここでは、①で得られた成果について報告する。

増幅器の高利得化のためには、単段の増幅器の高利得化とともに、カスケード(縦続)接続による多段化も行われる。超 100GHz 帯では、IC 上の伝送線路(この場合は、マイクロストリップ線路)の損失が大きいため、多段化の際に段間接続用の線路への配慮が必要となっている。図 1 は 3 段増幅器のチップ写真であるが、超 100GHz 帯では、高周波的な GND(接地)を図中に示すラジアルスタブ(半径 1/4 波長弱の扇形のパターン)で実現することが多い。下/上の 1 対のラジアルスタブの間の回路が 1 段分の増幅器回路となるが、1 段目と 2 段目の間には、直流(DC)カット用の MIM キャパシタ以外に、入出力 PAD 約 2 個分の長さ(およそ 300um)の伝送線路を入れないと、上下のラジアルスタブの干渉を防ぐことができない。

ここでは、2 つのラジアルスタブを上下に積層することで、IC チップ上の面積を縮小した、多層構造のラジアルスタブを提案した。このラジアルスタブにより、段間線路を最短化でき、増幅器多段化の際の段間接続部による利得減少を抑えることができる。

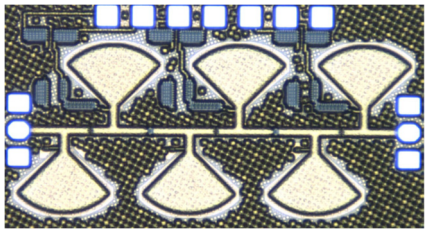


図 1 通常のラジアルスタブを用いた 130GHz 帯 3 段 CMOS 増幅器 IC のチップ写真

図 2 に提案する積層ラジアルスタブの構造を示す。CMOS プロセスの多層メタル配線を 2 層使い、ラジアルスタブを 2 枚積層している。ただし、両者のメタルは DC 的に接続されていないので、上層と下層で異なるバイアス電圧(例えば、ゲート電圧とドレイン電圧)を印加することができる。問題は、上層と下層のラジアルスタブ間のアイソレーションになるが、所定の周波数では、ラジアルスタブはショート回路として動作するので、入力端子間のアイソレーションは十分にとれる。一方、それ以外の周波数では積層されたラジアルスタブは単なる並行平板の容量とみなされるので、アイソレーションが十分に取れない恐れがある。上記特性は、図 3 に示す電磁界シミュレーション結果と一致した。

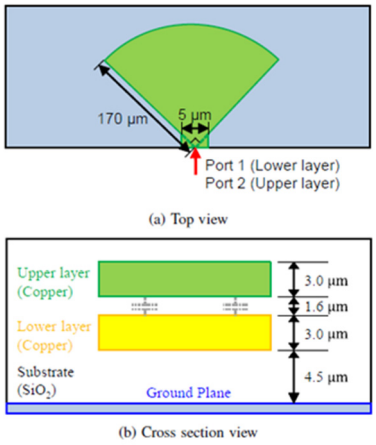


図 2　積層ラジアルスタブの構造

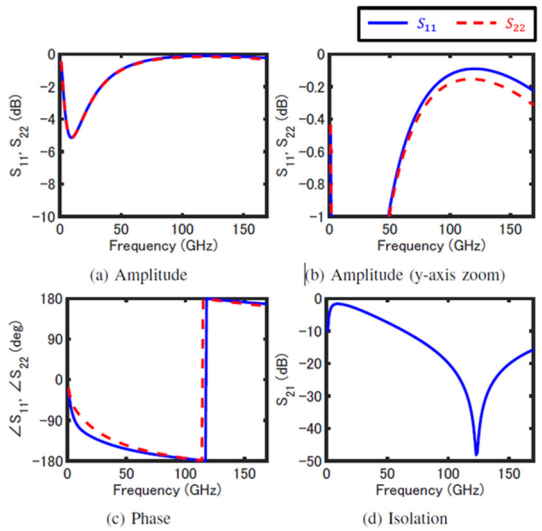


図 2 積層ラジアルスタブの電磁界シミュレーション結果（s パラメータ）

今回は、この積層ラジアルスタブを前段のドレイン側と後段のゲート側の回路に使うこととし、帯域外でアイソレーションが起こっても、発振などの問題が生じないような位置で使用している。図 4 に提案した積層ラジアルスタブを用いた 130GHz 帯 3 段 CMOS 増幅器の回路図を、図 5 に IC チップの写真をそれぞれ示す。図 6 に利得の周波数特性の回路設計（シミュレーション）結果と実測結果の比較を示す。設計に比べて、やや利得は低いものの、発振を起こさず、安定して状態で、10dB 程度の利得を実現することができ、本積層ラジアルスタブの有効性を確認した。

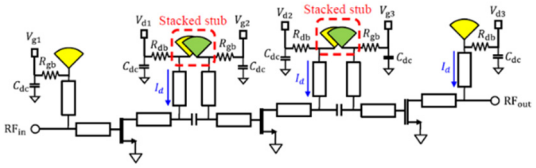


図 4 回路図

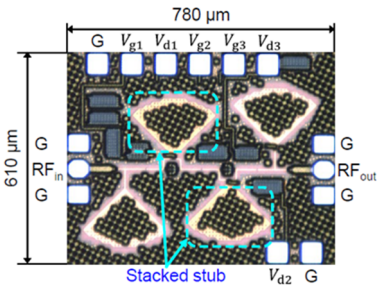


図 5 IC チップ写真

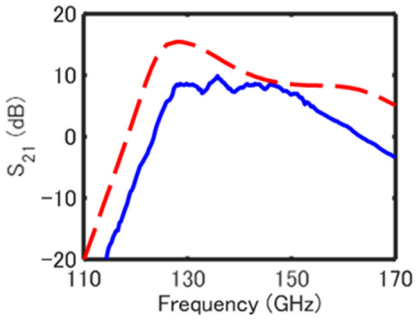


図 6 試作した増幅器 IC の利得の周波数特性

[3] 今後の研究の推進方策

TSMC 社の 28nm RFCMOS プロセスを用いた IC 試作を 2024 年度に実施し、2023 年度に設計した IC コア、超 100GHz 帯増幅器 IC、オンチップアンテナの実証を行う予定である。超 100GHz 帯増幅器のターゲット周波数は B5G/6G で注目されている 130GHz 帯とし、ゲート-ドレイン間にフィードバック回路を付加し、帯域内では正帰還による高利得化、帯域外では帰還量を抑圧し安定性を確保をする回路的な工夫を検討する。オンチップアンテナ設計においては、プロセス変更に伴い、シリコンバルク（シリコン基板）が高抵抗基板から低抵抗基板に変更となってしまった。このため、シリコン基板による高周波信号の減衰が問題となり、第 1～3 アルミ配線層を地導体とするマイクロストリップ線路構造を採用した IC 設計を進める。オンチップアンテナに関しては、IC 設計・試作だけでなく、オンウェハ RF プローブを用いたアンテナパターン測定系も新たに立ち上げる。2025 年度にはこれら回路・アンテナの改良検討を行い、実用的な無線通信装置への適用の目処を立てることを目標とする。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・F. Karasawa, T.Machii, M.Motoyoshi, T.Furuichi, N.Suematsu, “130 GHz Band CMOS Amplifier with Miniaturized Interstage Circuit by Stacked Radial Stubs,” 2023 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.769-771, 2023 年.
・古内航紀, 張俊皓, 古市朋之, 末松憲治, “QSFP28 光モジュールを用いた WDM 光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送信機による 20 GHz 帯 DBF 実験,” 2023 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2023 年.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

なし

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A12

研究課題名

ミリ波デバイスおよび伝送線路の最適設計に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

5G などの需要が見込まれるミリ波部品を 3D プリンタ（以下 3DP）を用いて安価に製作する利点は大きい。本研究では，通常の加工では一体成型困難な構造を 3DP で再現できるか確認するために導波管フィルタについて着目した。3DP による試作に適したフィルタ構造について提案し，透過特性の測定結果から提案構造の有用性について明かにすることが本研究の目的である。本研究では WR-19 規格の導波管および導波管フィルタを試作し，ネットワークアナライザで透過特性の測定を行った。

導波管フィルタは導波管回路において任意の周波数帯を透過，または遮断する目的で使用される。誘導性窓や容量性ポストを導波管内に設置することでフィルタとして機能するが，両者を同じ場所に設置して窓を構成し，3 枚の窓によるフィルタの試作を行った。測定に用いるネットワークアナライザの測定周波数範囲（40～60 GHz）に合わせて導波管の規格を WR-19（4.78×2.39 mm）とし，同軸導波管変換器で測定するため外寸は 30×30 mm と四角形とした。

3DP では急な変化は印刷できないため通常の窓を印刷することができなかった。そこで図 1 に示すように窓の両側に最大印刷角度 60°のスロープを付ける構造を考案した。50 GHz で透過するフィルタ特性が得られるように各寸法を FDTD 法（時間領域差分法）を用いて設計した。設計で得られた STL 形式のデータをスライサーで変換して 3DP で印刷した。

3DP で印刷後，無電解ニッケルメッキを 60 分，90 分，120 分と時間を変えて施し，メッキ後フランジと接続できるように穴加工した。また，メッキ性能を評価するためストレートの導波管も製作することとした。

はじめにストレート導波管の透過特性を測定した。測定結果を図 2 に示す。各周波数において，メッキ時間の違う 3 つを測定したが，大きなロスもなくメッキ時間による変化はなかった。これまで周波数はワンポイントでの測定であったため，試作した導波管は周波数数に対してほぼ変動がないことを確認した。次にミリ波導波管バンドパスフィルタの結果を図 3 に示す。透過特性より，通過周波数は 44GHz にずれたが，提案した構造でフィルタ性能が得られることを確認することができた。

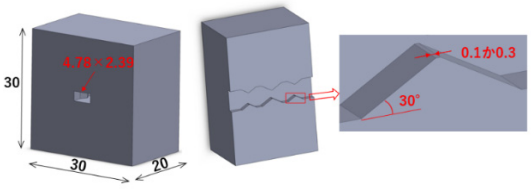


図 1　設計したミリ波導波管フィルタ（WR-19）

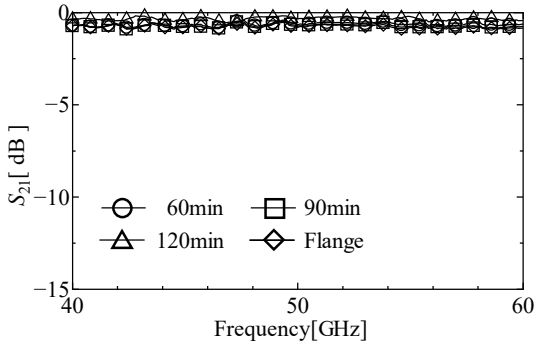


図 2　ストレート導波管の透過特性

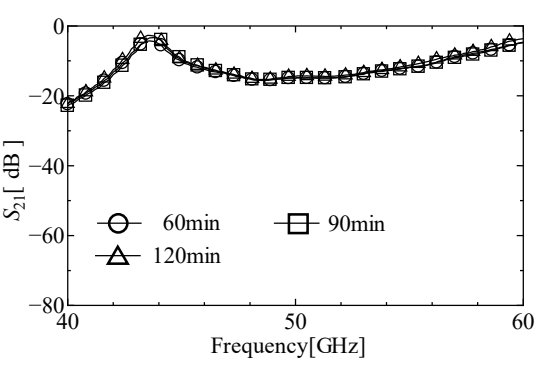


図 3　バンドパスフィルタの透過特性

次に，以上述べてきた 3DP とメッキによるミリ波部品の設計製作技術をプリント基板部品にも応用する方法について検討した。現在，携帯電話などの無線通信は 5G の導入により使用周波数帯が 28 GHz まで高周波化している。今後さらに高周波帯が使用されると予想でき，コスト面を考えると高周波部品をより安価かつ小型，軽量に製作する技術の開発が望まれている。本研究では電磁界解析およびトポロジー最適化を用いて小型プリント基板用フィルタを設計することを目的としている。今回の報告ではプリント基板線路の計算モデルの作成と 40 GHz のバントパスフィルタの設計を目的としたトポロジー最適化を行った。

本研究では FDTD 法（時間領域差分法）を用いてモデリングをした。計算モデルを図 4 に示す。FDTD セルサイズは x，y 方向は 0.5 mm，z 方向は 0.4 mm とした。基板の寸法は 100×20 mm，厚みは 0.8 mm，比誘電率は 4.4，損失は tanδ=0.016 を与えた。基板裏面はアース面（金属）である。図 4 はマイクロストリップ線路の途中に間隙を空け，間隙を覆うようにフィルタの設計領域を設けた。

40 GHz を通過するバンドパスフィルタの設計を行うために，線路の間隔上に 10×10×8 mm の誘電体，金属，空気の 3 材料からなる設計領域を設けてトポロジー最適化を行った。誘電体としては比誘電率ε_r=2.6，誘電正接 tanδ=0.003 とした。材料の境界を滑らかに設計するために本研究では材料分布関数として NGnet（正規化ガウス関数ネットワーク）を用いた関数近似器を用いた。設計領域周囲は電磁波を漏洩しないように金属壁で覆った。本研究では 40 GHz と 39 GHz の s21 の差の最大化を目的関数として用いて最適化を行ったところ，図 5 に示すように設計周波数上でスペクトルの変化を確認した。提案手法によりミリ波部品を設計できる可能性を示すことができた。

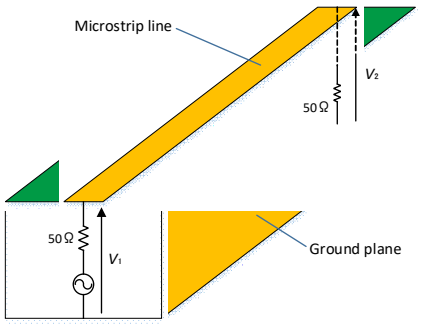


図 4　プリント基板の計算モデル

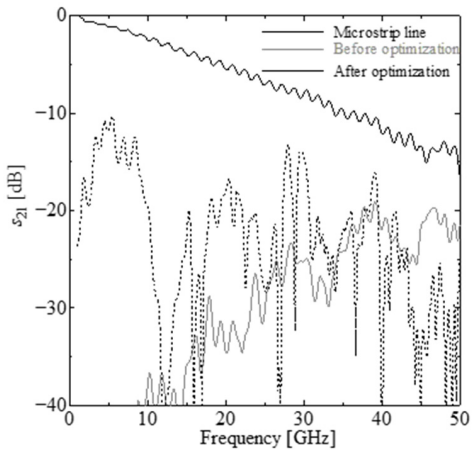


図 5　s_{21} の周波数特性（間隙 10 セルのとき）

[3] 今後の研究の推進方策

本研究は 3 年計画を予定しており，2024 年度が 2 年目となる。2024 年度は設計した基板実装フィルタの試作と測定を行う。トポロジー最適化による構造設計を行い，3DP および工作機械での試作について検討する。2025 年度は基板実装フィルタの周波数を 40 または 50 GHz に設定して設計および試作を行う。両年度ともフィルタ特性の測定は貴研究所内で行う予定である。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・松田英昭，伊藤桂一，野坂肇，西野智路，田中将樹，古市朋之，末松憲治,”3D プリンタを用いたミリ波導波管とフィルタの試作と測定”，令和 5 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会，26, p.35(2023.10)

・Keiichi ITOH, Yuma HORI, Hideaki MATSUDA, Hajime NOZAKA, Tomomichi NISHINO, Masaki TANAKA, Tomoyuki FURUICHI and Noriharu SUEMATSU, "Design of Millimeter Wave Waveguide Bandpass Filter for Prototyping with 3D Printer," 21st International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2023), Tokyo, OB-A3-4(2023.11)**（査読あり）**

・柴田勝成，武居周，野村政宗，伊藤桂一，“電磁界解析を用いたプリント基板フィルタの設計”，令和 5 年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム，T23-5-06 (2023.11)

・柴田勝成，武居周，野村政宗，菅原英子，伊藤桂一，“ミリ波プリント基板用バンドパスフィルタのトポロジー最適化”，令和 6 年東北地区若手研究者研究発表会, YS-22-P17，pp.237-238(2024.3)

・松田英昭，伊藤桂一，野坂肇，西野智路，加藤航雅，田中将樹，古市朋之，末松憲治,”3D プリンタ製ミリ波誘電体充填導波管の試作”，令和 6 年電気学会全国大会，3-011 (2024.3)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

なし

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A13**

Title

New generation of 2d material based devices for terahertz technology

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

Prof. Taiichi OTSUJI（School of Engineering, Tohoku University）

Research collaborator of RIEC：

TSUKEN Ichiko（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

The aim of the present project is to develop new devices, based on two dimensional (2D) materials, graphene (Gr) and hexagonal boron nitride(h-BN), for detection and emission of terahertz radiations. Graphene is a single sheet of carbon atom and has a semi-metal behavior. However, h-BN is a large band gap material which can be used as dielectric for the device fabrication. In our previous project, we fabricated the first ADGG-GFETs device using graphene and demonstrate room temperature detection. In the present project, we want to enhance the responsivity of the fabricated devices by integration of antennas and by increasing the quality of the fabricated stack (h-BN/Gr/h-BN). We will investigate terahertz detection between in the range 0.1-4.7 THz using facilities recently installed in Salamanca University. Other structures based on double-graphene-layer (DGL),

A graphene layer was sandwiched between two h-BN layers to enhance carrier mobility and shield the graphene from environmental influences. 2D material layers were fabricated through mechanical exfoliation technique. Van der Walls heterostructure (h-BN/Gr/h-BN) was obtained using the hot pickup method and placed on. The device architecture included top asymmetric dual grating gates and an integrated 90º bowtie with a 500 µm radius, as illustrated in Figure 1. The doped silicon substrate was used as the back gate contact. The device was placed in an optical cryostat at a temperature of 8K for DC characterization, during which the voltages of both the top and back gates were varied as depicted in Figure 2. The charge neutrality point was observed at a back gate voltage of -1.25V (Fig.2-(b)). A quantum cascade laser emitting at frequencies of 2.5, 2.9, and 4.7 THz was used to excite the ADGG-GFET. The photocurrent was recorded at the drain by employing a lock-in technique. Here the terahertz beam was modulated electrically at 160 Hz and this signal was used as a reference for the lock-in.

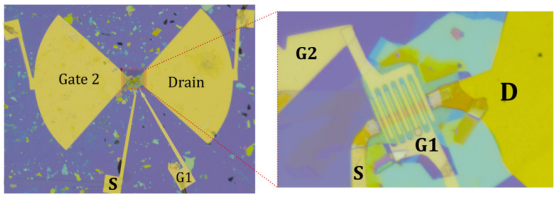


Fig. 1. Microscope photo of the fabricated asymmetric dual grating gate FET with an integrated bow-tie antenna.

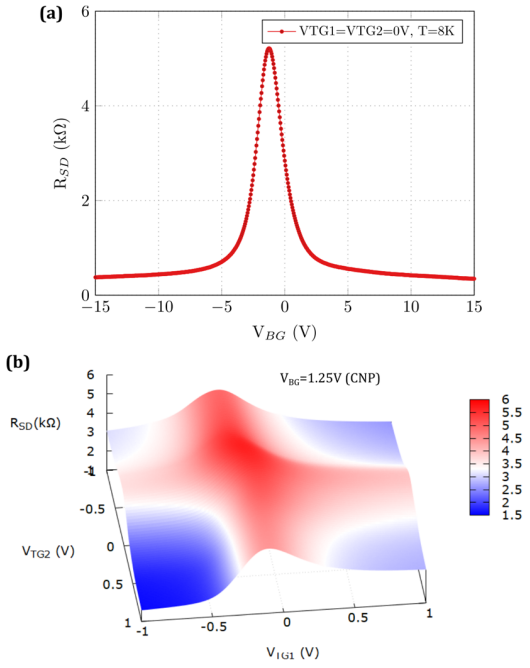


Fig. 2. (a) Channel resistance measurements versus back gate voltage. (b) Mapping of the channel resistance versus both top gates while the back gate voltage was kept fixed at the charge neutrality point V_{BG}=-1.25V.

Figure 3 shows the obtained photoresponse signal under the excitation at each frequency when the THz radiation was switched on and off. A clear photocurrent was measured, up to 0.1 nA at f=4.7THz. This is a clear demonstration that our devices work at higher frequencies of the terahertz range. The photocurrent was measured versus both top gates and with fixed back gate voltage at the CNP (Vbg=-1.25V) as shown in figure 3. We observed an enhancement of the response

for specific biasing of both top gates. When both top gates were biased with voltages of opposite sign, periodic *p* & *n* regions are created along the channel which improve the response through the so called plasmon drag effect.
We also performed measurements of the detector speed

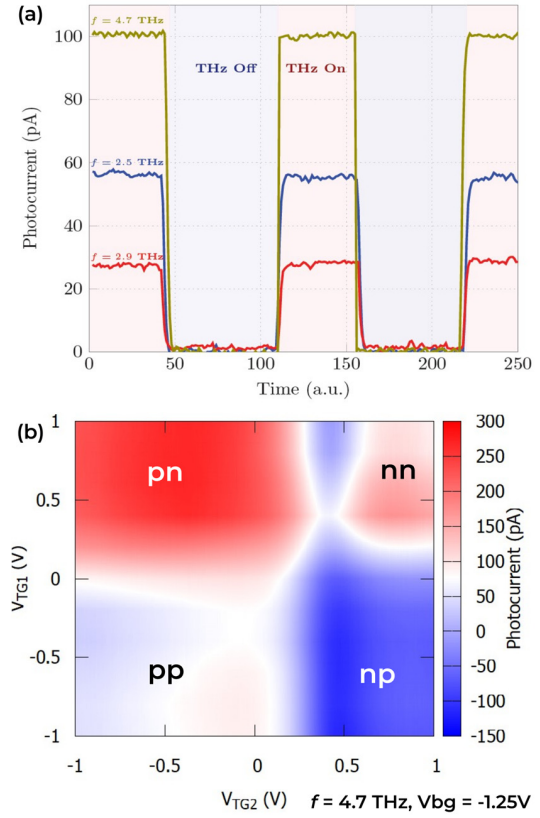


Fig. 3. (a) Photocurrent signal versus time when the terahertz radiation was switched on and off (b) Photocurrent map versus both top gates under excitation at 4.7 THz.

response. Here the modulation frequency was caried from 160 Hz up to 2 kHz (fig.4). At low modulation, the intensity was around 115pA and it was maintained up to 2kHz where the intensity was 110 pA. This indicate clearly that the device has a higher response timpe in comparison with other thermal detector like

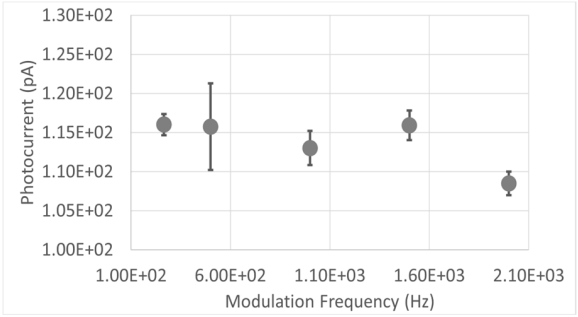


Fig. 4. Photocurrent versus the modulation frequency.

pyroelectric (response time below 100 Hz). It demonstrates the possibility to use those devices for practical applications as communication and high-speed inspection.

[3] Future Research Promotion Measures

As a future research plan, we are fabricating more devices and we will investigate their detection at higher temperature and frequencies, the behavior of the photoresponse as a function of the polarization of the incoming light and speed response up to 5kHz will also be investigated. The team from Salamanca will send his Ph.D. Student to conduct experiments on detection using other sources disponible at the RIEC team, UTCPD terahertz source and the parametric THz sources.
The second line of our investigation is to use new type of devices based on 2D material for terahertz emission. We will fabricate those devices at the Salamanca University and the experiment will be performed using the facilities of the prof. Otsuji at the RIEC, Tohoku University.
We plan to submit the obtained results to highly impact open access peer reviewed journals and promote the students to present their work at the international conferences.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]
(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

- E. Abidi et al., “Terahertz Detection by Asymmetric Dual Grating Gate Bilayer Graphene FETs with Integrated Bowtie Antenna,” Nanomaterials, vol. 14, no. 4, pp. 1–12, 2024, doi: 10.3390/nano14040383.
- Y.M. Meziani & J.E. Velázquez-Pérez Trends in Terahertz Technology ISBN: 978-1-83768-168-6. https://doi.org/10.5772/intechopen.102214 (IntechOpen, Sept. 2023)
- E. Abidi, J.A. Delgado-Notario, V. Clericó, J. Calvo-Gallego,J.E. Velázquez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji & Y.M. Meziani Terahertz rectification up to 4.7 THz by using an Asymmetric Dual-Grating Gate Field-Effect Transistor. Invited at the 10th International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technologies, Aizu-Wakamatsu, Japan, Sept. 4–8, 2023.
- Y.M. Meziani, 2d material and their use in terahertz technology. Invited at the 4th edition of the workshop” Modeling of Electronic Structure in Material Science” (Benguerir, Morocco, May 11–12, 2023).
- E. Abidi, J.A. Delgado-Notario, V. Clericó, J. Calvo-Gallego, J.E. Velázquez, C. Bray, C. Consejo, F. Teppe, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuj & Y.M. Meziani Terahertz rectification using graphene-based Field effect transistor with integrated antenna. in 14th Spanish Conference on Electron Devices (CDE 2023) Poster (Valencia, Spain, June 6–8, 2023)

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・J. Calvo-Gallego et al., “Enhancing resolution of terahertz imaging systems below the diffraction limit,” Opt. Laser Technol., vol. 164, no. January, pp. 0–6, 2023, doi: 10.1016/j.optlastec.2023.109540.

・K. Maussang et al., "Temperature dependance of Intrinsic Spin Orbit Coupling Gap in Graphene probed by Terahertz photoconductivity," 2023 48th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Montreal, QC, Canada, 2023, pp. 1-2, doi: 10.1109/IRMMW-THz57677.2023.10299006.

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A14**

Title

Collaborative Evaluation Of Non-Verbal Communication Solutions

[1] Principal Investigator (PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

WATSON Benjamin（Department of Computer Science, North Carolina State University）

Research collaborator of RIEC：

CHENG Miao（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

Our collaborative research focused on three projects, all seeking to support non-verbal communication. Cheng's project researches eye blinking in communication between humans and digital avatars. Watson's first project is a new tool for supporting gaze in remote conferencing. His second project is a Delphi survey of conference organizers on hybrid conferencing, which has become increasingly important after the pandemic. All of these projects were summarized during the poster session at FY 2023's Annual Meeting on Cooperative Research Projects (1).

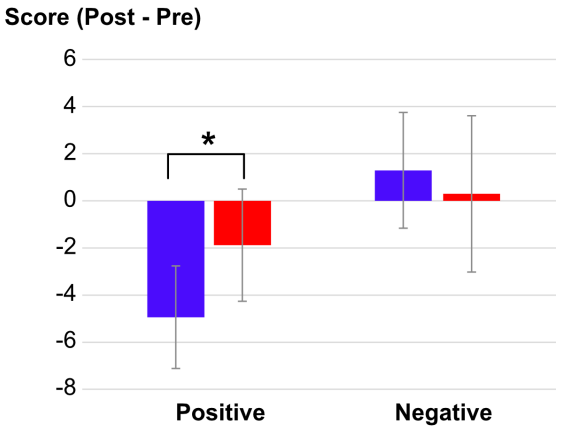


Figure 1: Emotional change as measured by the PANAS survey. Red synchronized, blue not. Decline in positive emotion was less with synchronized blinking.

[2.1] Eye Blinking Between Humans and Avatars

Cheng and Watson investigated the influence of blink synchronization between humans and virtual avatars on emotions and memory recall during storytelling. Figure 1 shows the only significant result: while generally participants felt less positive emotion after the story than before, this was especially true when the avatar's eye blinks were not synchronized to human participants' blinks. Watson participated in the design of the experiment and its materials.

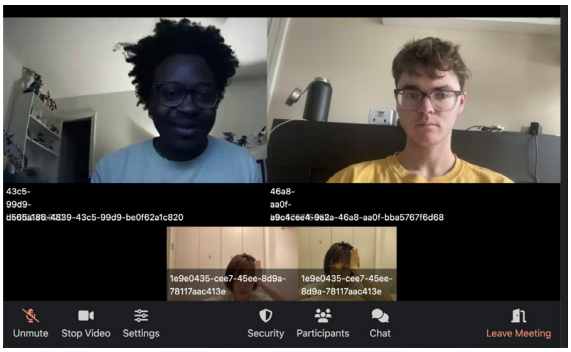


Figure 2: The gaze-preserving video conference prototype. This was the first successful test with three participants: one in Japan and two in the US.

[2.2] Gaze-Preserving Video Conferencing

Current video conferencing systems do not support shared eye contact, making monitoring attention and taking turns in conversation difficult. This project restores eye contact by assigning relative locations shared by conference participants, and giving each participant a camera. Participants view one another according to relative location. Figure 2 shows Watson and Cheng's first and recently completed trans-Pacific, pilot video conference with our video conferencing prototype.

[2.3] Delphi Survey on Hybrid Conferencing

Hybrid conferences provide many benefits to those who can't physically attend conferences, but the format comes with new and unique challenges. Utilizing a Delphi survey of 28 organizers, Watson and Cheng are identifying and ranking the benefits, challenges and best practices of hybrid conferencing. Watson and Cheng have nearly completed the analysis of participant responses to our first stage survey (see Figure 3), and are preparing to ask participants to improve and verify this analysis in the second and third survey stages.

Figure 3: Analyzing responses to the first stage of our Delphi survey on hybrid conferencing.

[2.4] Research Meetings

In the summer soon after this grant began, Watson became a Visiting Scholar at Tohoku University, where presented his relevant research at RIEC (2). Over the following five weeks, he met with Cheng weekly to plan their three research projects, particularly the blinking and Delphi survey efforts.

Soon after Watson's departure, his doctoral student Dani Hove visited Cheng at Tohoku University as well, and also made a presentation at RIEC (3). Hove and Cheng piloted an early prototype of the gaze-preserving video conferencing system.

Last February Watson visited RIEC for the Annual Meeting on Cooperative Research Projects, where he presented a poster describing the three research projects with Cheng (1). They also met to discuss future research.

Finally, since the end of his time as a Visiting Scholar, Watson, Cheng and Hove have met remotely every two weeks, discussing their ongoing research.

[3] Future Research Promotion Measures

As they continue working on the eye blinking project, Cheng and Watson will study the effect of synchronized blinking with more familiar topics of conversation, allowing individual participants to try both synchronized and unsynchronized avatars, less realistic avatars, and working with new medical collaborators at Tohoku University. Longer term, they may study other eye behaviors such as pupillary response and eye contact.

With the gaze-preserving video conferencing project, Watson and Cheng will complete their prototype, and evaluate it with both quantitative and qualitative measures of communicative success, including task performance, counts of interruptions, and subjective ratings. They will perform evaluations within the US, Japan, and between the US and Japan.

Finally, with their Delphi survey on hybrid conferencing, Watson and Cheng will complete the final survey stages with IEEE conference organizers. Next, they are translating the IEEE survey into Japanese, to survey Asian conference service providers.

Project Publications

(1) D. Hove, *B.A. Watson & M. Cheng (2024). Collaborative evaluation of non-verbal communication solutions. Research Institute of Electrical Communications (RIEC) Annual Meeting on Cooperative Research Projects. (Sendai, Japan, February).

(2) *B. Watson. (2023). Supporting human connection and performance at the Visual Experience Lab. At the Research Institute for Electronic Communication (RIEC) at Tohoku University. (Sendai, Japan, June).

(3) D. Hove. (2023). Eye2Eye: enriching video conferencing with software-based full gaze awareness. At the Research Institute for Electronic Communication (RIEC) at Tohoku University. (Sendai, Japan, October).

(* corresponding author)

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A15

研究課題名

産業保健領域における VR 機器を活用した体験型実地研修の実践

[1] 研究組織

研究代表者：
色川 俊也（東北大学大学院医学系研究科）
通研対応教員：
北村 喜文（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
五味 良太（東北大学電気通信研究所）
田中 雄大（東北大学電気通信研究所）
阿部 真成斗（東北大学電気通信研究所）
清水 尚弥（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）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本プロジェクトの目的：産業医職場巡視実地研修に VR 機器を導入し、事業場（現地）巡視とほぼ同等の教育効果のある研修機会を提供する。

背景：職場巡視は、産業医の法的義務のある実践活動の一つである。日本医師会等では、実地研修として事業場を訪問し巡視を実施してきたが、訪問は、事業場の営業（稼動）時間内に限られるため、平日日中、診療業務に従事する医師は参加が困難であった。又、2020 年以降、COVID-19 パンデミックにより社会生活が制限される中、集団で直接事業場を訪問する職場巡視研修が開催不可となっていた。

概要：2021 年から 2024 年に開催された日本医師会認定産業医実地研修会、及び日本産業衛生学会全国協議会実地研修会にて VR ゴーグルを用いた体験型実地研修を行った。概要を表 1 の通り。

実施日	参加人数	VR 台数
2021/12/21	30	Oclus:5
2022/3/22	20	iPhone:10
2022/9/6	30	Oclus:5 iPhone:10
2022/10/19	36	Oclus:5 iPhone:10
2022/12/20	35	Oclus:6
2023/9/21	30	Oclus:6
2023/10/27	30	Oclus:6
2023/11/9	36	Oclus:6
2024/1/23	36	Oclus:6

その他 Oclus:4 台で 100 名のデモ実演 2 回
Oclus:3 台で 30 名のデモ実演 1 回

[4]研究計画及び内容

①宮城県内の印刷工場、山形市内の自動車ボディー工場で操業中に撮影した 360 度動画を使用した。
②労働安全・衛生上改善すべき問題点のある作業環境や作業態様を含む動画を 3 分から 5 分の教材に計 8 本編集した。
③1 グループ 5 名又は 6 名とし、各グループに OclusQuest2® 1 台とノート PC1 台（Windows10、又は Windows11）を設置した。
④編集した教材動画ファイルを Oclus Quest 2®フォルダーに転写し、Deo VR video player® にて視聴した。
⑤VR 装着者以外の者も視聴している動画をグループ内で共用できるように有線又は Bluetooth で VR 機器と接続した PC モニター上に教材動画を投影した。ミラーリングソフトは、quest-mirror-win32-x64. を利用した。
⑥教材動画中の安全・衛生上、改善を要する指摘事項（2～3 点）を各人が抽出し、グループ内でディスカッションを行いグループの指摘事項として 3 点に整理した。又、安全・衛生上良好な点があれば、併せて抽出し最大 3 点までにグループ内で整理した。
⑦各グループの代表者が、安全・衛生に関する改善すべき点・良好点を発表し、参加者全員で意見交換を行った。
⑧総括として、講師より、改善を要する根拠となる法的規制や過去の事故事例などを紹介し、研修を総括した。
その他：新型コロナ感染症流行下での実地研修実施にあたり、VR デバイス装着時に眼周囲を覆う VR マスクや、使い捨てキャップを着用してもらい、使用後の VR デバイスはアルコールで拭くなどの感染対策を行った。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

これまで実施されていた写真や動画を用いた職場巡視実地研修では、画像の中に必ず解答（指摘すべき安全・衛生上の問題事項や良好事例）があったのに対して、VR デバイスを用いて 360 度動画教材を視聴する本研修では、実際の事業場巡視と同様に教材動画の VR 空間から潜在する危険または有害要因を見つけ出し指摘する点で、より教育効果の高い研修を実施することができた。VR 画像空間は、現実性や臨場感が高い点でも教育効果が高められていると思われた。参加者に実施したアンケート結果でも、臨場感があり興味深く研修できたと高評価を得た。

更に、COVID-19 蔓延の様な感染症流行により事業所訪問ができない社会生活制限下であっても教育効果の高い臨場感のある実地研修が開催出来た点は大きな成果であったと考えている。

(5-2) 波及効果と発展性等

産業医や衛生管理者が就労下に他職種・異職種の現場経験を持つことは困難であるため複数の業種について 360 度動画教材セットを作成できれば、多様な実務対応能力を習得した専門科の育成教育に貢献することが期待される。

[6]まとめと今後の課題

産業保健従事者（特に産業医）の実務能力向上に貢献する教育研修手法の定着に貢献する事ができた。

今回、作製した 360 度動画教材では、参加者から VR 酔いの訴えが出ていることから、教材の画質向上が今後の課題と考えられた。

実際の職場巡視においては、五感を最大限に活用して、職場の危険性・有害性を感知することが理想とされている。従って、視覚・聴覚のみならず、触覚、嗅覚、温痛覚などにも訴えるデジタル教材が作成できれば更なる教育効果向上が期待される。

[論文、学会発表、および関連成果]

1. 色川 俊也, 中谷 敦, 五味 遼太, 田中 雄大, 他. 新型コロナ感染症流行下での産業保健活動における VR・AR デバイスの活用. 産業衛生学雑誌. 2021. 63. 6. 332-333

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A16

研究課題名

身体運動を誘発する動的 VR/AR ワークスペースに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
高原 良（株式会社 TATAMI）

通研対応教員：
藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトでは，デスクワークにおける身体各部位の筋肉の緊張や血行不良の問題を解決するため，デスクワーク作業を中断することなく身体のストレッチを誘発させる動的 VR/AR ワークスペースの実現を目指す．具体的には，作業者がインタラクションをしているワークスペースの要素（例：バーチャルスクリーン，バーチャルキーボード）の位置や向きを適応的に変化させることで，作業者の視線や身体各部位を特定の場所に誘導することで，ストレッチやエクササイズを促す．この際，作業者のパフォーマンスを損ねない，かつ作業者に不快感を与えない方法を確立することを目指す．本研究では特に眼と上半身の運動に着目し，眼精疲労および肩こりを解消するためのワークスペースの動作について取り組む．

本年度では，この目的に向け，以下の日程で通研対応教員および分担者らと研究打合せを実施してきた．実装物を実際に体験する際には，現地（通研）での打合せを実施した．

- 令和 5 年 5 月 2 日 10-12 時@オンライン
- 令和 5 年 7 月 31 日 10-12 時@オンライン
- 令和 5 年 8 月 8 日 16-18 時@通研 M565
- 令和 6 年 2 月 15 日 14-16 時@通研 M557

本年度の取り組みとして，バーチャルスクリーンの配置座標系や動作形式がユーザ体験に与える影響を調べた．1 つ目に実施した実験では，2 種類の座標系（バーチャル世界座標を基準としたベースライン座標系，人の体幹を基準とした提案座標系）と 2 種類の動作形式（連続，離散）の条件下で 3 つの回転軸（Yaw，Pitch，Roll）でスクリーンを移動させた際，ユーザのストレッチ行動および主観評価に与える影響を調査した（N=8）．この結果，首の回転のみによってスクリーンを追従する必要のあるベースライン座標系と，首以外の動きによってもスクリーンが追従可能な提案座標系との間で，ストレッチ達成度に差が見られなかった．これは，実験中であるために参加者が正しい姿勢を取ろうとした心理的バイアスによるものである可能性が考えられた．そこで，2 つ目の実験では，参加者には首ストレッチが目的であることを教示せずにスクリーンを移動させ，同様に 2 つのバーチャルスクリーンの配置座標系を用いてタスクを実施してもらった（N=6）．結果，提案座標系がストレッチをすることをユーザが意識しない場合にもストレッチ姿勢へ誘導可能であることが示唆された．

[3] 今後の研究の推進方策

本年度は，実験室実験により，バーチャルスクリーンの配置・移動による首ストレッチ誘導の可能性を示すことができた．次年度は，これを実際のデスクワーク環境に適用し，より現実的なタスク下における姿勢誘導への有用性について検証する予定である．また，本研究成果をまとめ，国際会議論文またはジャーナルへ投稿予定である．

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A17**

Title

Auditory Influences on Saccadic Suppression

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

CHOW Hiu Mei (St. Thomas University, Canada)_

Research collaborator of RIEC：

TSENG Chia-huei, SHIOIRI Satoshi（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

In Year 1 (2023-2024), we developed proof-of-concept evidence that sound affects visual stability perception. Specifically, we evaluated ***if* sound affects visual stability perception**, by exploring the effect of **auditory blanking** on saccadic suppression of displacement. Previous literature has consistently reported an effect of visual blanking – the temporary disappearance of the visual target – in reducing saccadic suppression of displacement, but little is known if there is an auditory counterpart. That is, whether a brief gap in sound could induce similar performance changes? Three experiments were designed and conducted to explore the effect of auditory blanking with the appropriate control conditions.

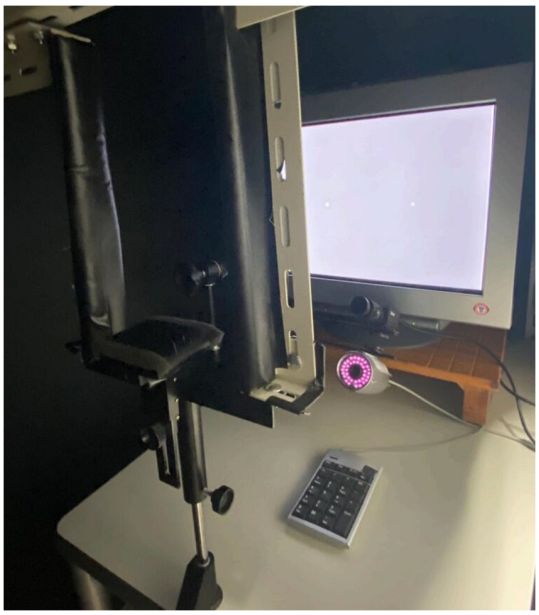


Figure 1. Apparatus and set-up used in all experiments.

Human participants were recruited to participate in a computer-based task similar to that used by Tseng & Shiroi (Takano et al., 2020; Figures 1 & 2). Specifically, participants were instructed to make a rightward saccade from a fixation point to the target (a small disc on a uniform background), while their eye positions were recorded by an eye-tracker. Upon the detection of saccade onset, the target would disappear briefly and reappear to the left or right of the original position. Participants reported whether the target was displaced to the left or the right (two-alternative forced choice). The displacement discrimination sensitivity was quantified to measure saccadic suppression of displacement.

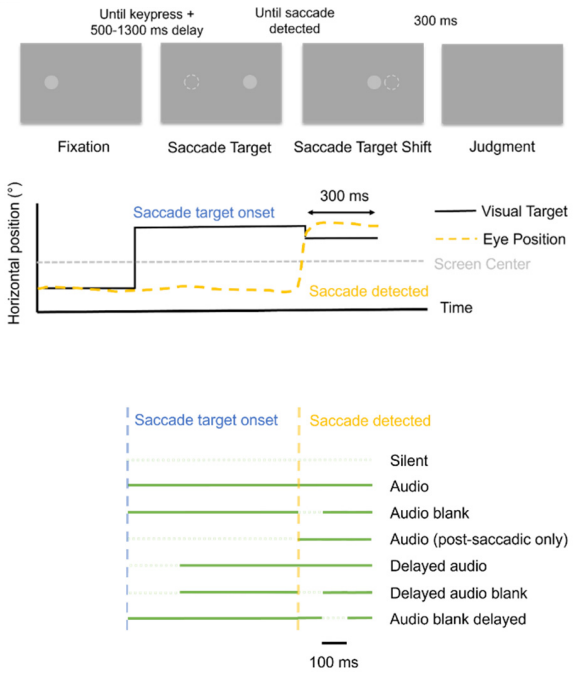


Figure 2. Illustrated visual (top) and auditory (bottom) stimulus timeline.

Critically, sound conditions were manipulated in different experiments (illustrated in Figure 2, bottom) to understand the effects of sound on saccadic suppression of displacement. For example, in the first experiment, we found that a brief gap in sound (audio blank) significantly improved observers' ability to

discriminate target position shifts during saccades, compared to audio (a continuous sound) or silent (no sound) (Figure 3). Further experiments and analyses are pursued currently to understand (1) how saccade kinematics might be affected by sound, potentially mediating the effect of sound on perception, and (2) whether temporal factors are critical for the effect of sound.

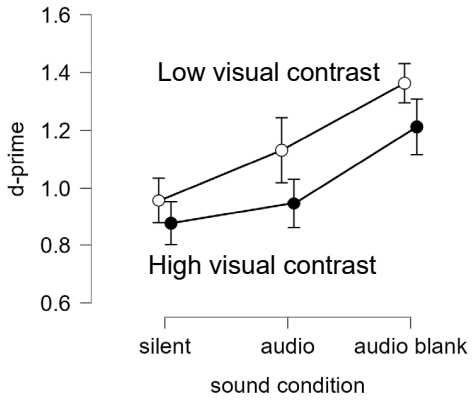


Figure 3. Results of Experiment 1 showing the highest displacement discrimination sensitivity in the audio blank condition compared to audio or silent conditions.

In summary, we have:

(1) Completed pilot tests to identify and optimize experimental conditions
(2) Established data analysis pipeline
(3) Trained student researchers to collect and analyze data
(4) Conduct pilot research data sufficient to prepare for a full grant support

[3] Future Research Promotion Measures

In the next year (2024-2025), we plan to further investigate ***what*** **kind of sound affects visual stability perception**, by manipulating the type of changes in the sound. For example, changes in loudness, pitch, and modulation frequency can all signal changes in world events. Are they similarly effective in inducing performance changes, compared to auditory blanking? We will explore whether visual and auditory blanking effects are summative or multiplicative to round out our investigation in Year 1. This work presents a new avenue to study multisensory processing during active vision and will interest both fields of research. The data will allow the research team to write and submit multiple journal publications and pursue additional funding opportunities.

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

・Ma, J., Chow, H.M., Hatori, Y., Shioiri, S., & Tseng, C.H. (2023). Auditory modulation on saccadic suppression of displacement. Oral Presentation at the Summer Conference of the Vision Society of Japan.

・Chow, H.M., Ma, J., Shioiri, S., & Tseng, C.H. (2024). The effect of sound on visual stability perception during saccades. Presentation at the European Conference on Visual Perception, Scotland.

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・N/A

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A18

研究課題名

多細胞ネットワークを基盤とする脳情報処理の構成論的解析

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

複数の神経細胞の活動を in vivo で同時記録する技術が進歩し，同時に，高等生物の脳神経回路の神経細胞間の結びつきに関する情報が蓄積されてきた．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，発達など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，安定な情報システムとしての脳の構造と機能との関係，および，自発的神経活動による調整のメカニズム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．

本プロジェクトでは，安定な情報システムとしての脳の構造と機能の関係に対する深い理解を得るために，脳のモジュール構造に着目し，それをガラス基板やプラスチック基板表面のパターンに沿って成長した神経細胞で構築できる東北大グループ，より基本的な構造である帰還接続をもつ単一神経細胞を同様にパターニングして解析を行える早稲田大グループ，この２つの実験グループに加えて，得られた実験結果を個別の方法論で理論的に解析する，公立はこだて未来大学，山形大学，および，University of Barcelona からなる理論グループを加えた体制を構築する．研究対象は，生きた神経細胞回路を用いて基板表面に，接続構造を規定した状態で構築される in vitro 系である．単一細胞から複数の神経細胞を含む規定された構造を有する神経細胞回路を基板表面に構成する技術は東北大－早稲田大の共同研究として構築してきた独自性の高い技術である．また，単一細胞からモジュール構造へとボトムアップ的に脳の機能を解析しようとするスタンスは上記のグループ特有のものである．これらの特長を生かしつつ，他方では互恵補完的なグループ体制を最大限に活用して，安定な情報システムとしての脳の構造と機能の関係を解析し，現象の包括的な理解を進める．

プロジェクトの初年度である R5 年度には，東北大と University of Barcelona グループとの共同研究により，モジュール構造型培養神経回路の摂動応答特性を理論・実験の両面から解析し，モジュール構造が強い神経回路網においては同期状態と非同期状態との間の制御性が高くなることを明らかにした．

また，令和 6 年 2 月 27～28 日に東北大通研で開催された通研国際シンポジウム 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer において研究代表者，通研対応教員，ならびに海外研究者を含む研究分担者が研究成果発表を行った．

12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
(3rd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing)
日時： 令和 6 年 2 月 27～28 日
場所：東北大学電気通信研究所＋Zoom
（口頭発表）
S. Sato et al. (Tohoku University)
B. J. Kagan (Cortical Labs)
J. Soriano et al. (University of Barcelona)
Y. Katori (Future University Hakodate)　他
（ポスター発表）
T. Tanii et al. (Waseda University)
N. Fujiwara et al.(Tohoku University)　他

[3] 今後の研究の推進方策

通研対応教員（山本）を領域代表とし，研究代表者（谷井）が計画研究の代表者を務める科研費・学術変革領域研究(A)が R6 年度から採択されることが決定した．研究分担者の香取と平野も計画研究代表として参画する．脳型ハードウェアやロボティクス分野の専門家とも共同研究の環を広げながら，研究課題を推進する．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・マイクロ流体デバイスを用いた神経回路機能の実細胞再構成. 山本英明, 平野愛弓, 佐藤茂雄, 応用物理 92, 278-282 (2023).

・Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing. Takuma Sumi, Hideaki Yamamoto, Yuichi Katori, Koki Ito, Satoshi Moriya, Tomohiro Konno, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.* 120, e2217008120 (2023).

・Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks. Hideaki Yamamoto, F. Paul Spitzner, Taiki Takemuro, Victor Buendía, Carla Morante, Tomohiro Konno, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Viola Priesemann, Miguel A. Muñoz, Johannes Zierenberg, Jordi Soriano, *Science Advances* 9, eade1755 (2023).

・Enhanced responses to inflammatory cytokine interleukin-6 in micropatterned networks of cultured cortical neurons. Mamoru Sakaibara, Hideaki Yamamoto, Hakuba Murota, Nobuaki Monma, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, *Biochemical and Biophysical Research Communications* 695 149379 (2024).

・Integrating predictive coding with reservoir computing in spiking neural network model of cultured neurons. Yoshitaka Ishikawa, Takumi Shinkawa, Takuma Sumi, Hideyuki Kato, Hideaki Yamamoto, Yuichi Katori, *NOLTA, IEICE* (accepted).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・安価な量子計測のための＋αの研究技術：ローエンドFPGAを用いたダイヤモンド中NVセンタの量子計測. 谷井孝至, 応用物理 93, 39-43 (2024).

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A19

研究課題名

非線形複雑システム理論の時空間システムへの展開と応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

力学系の解析手法については、時系列データのみから力学系のスーパーファミリー現象を用いることで解を同定する既存手法の改善を行い、既存手法よりも多くの解をより精度良く同定することが可能になった。

さらに、カオス時系列データから得られるグラフ構造の複雑性を Campanharo 法に基づいて定量化する手法を提案した。その結果、グラフ構造から周期的、準周期的、カオス的な状態を定量化することが可能であり、数値はリアプノフ指数と同じ傾向を示すことを示した。さらに、周期倍増分岐の周囲に特有のグラフパターンが生成されることがわかり、リアプノフ指数では捉えられない時系列データの特徴を捉えることができることを示した。

また、分岐図推定手法を応用した臨界状態遷移予測のロバスト性の検証を行った。さらに、ニューラルネットワークの学習に正則化項を取り入れることにより強いノイズが付加された時系列からも予測ができることを確認した。

実システムから観測された種々のデータをテンポラルネットワークで表現することで元のシステムの時間的・空間的性質を捉えることができる。このテンポラルネットワークはグラフ間距離を用いることで Recurrence Quantification Analysis (RQA)を用いた解析が可能になるが、採用するグラフ間距離の違いが RQA に与える影響は明らかになっていない。そこで、様々なグラフ間距離を用いてテンポラルネットワークからリカレンスプロットを生成し RQA によって元のテンポラルネットワークの時間的性質がどの程度捉えられるかを調査した。

一方、言語における colexification (意味的共通性) に対して、概念を頂点、意味的共通性を辺に割り当てることでネットワークを作成し、これを解析することで、言語における中心的感情が "GOOD"、"WANT"、"BAD"、"LOVE “の四つであることを明らかにした.

また、神経細胞の数理モデルに対して周期入力を印加した際の応答を解析し、神経応答と印加電流の周期・振幅の関係が平衡点の存在とその安定性に依存することを明らかにした。

無線ネットワークの応用においては、無線スパイキングニューラルネットワークの実装と、それを用いた学習実験を進めた。具体的にはパブロフの犬のモデリング、材質推定人数システム、MNIST 文字認識システムを構築し、その特性を考察した。

複雑最適化では、入れ子構造をもつ PSO を用いた分岐点探索アルゴリズムの並列化と汎用のマルチコアプロセッサを用いた実装について研究を進め、ライブラリとしての実装を実現した。並列化の粒度を最適化する上で生じるオーバーヘッド対策として、非同期な振る舞いをする PSO の効果を示した。

カオスニューラルネットワークリザバー(CNNR)の応用として、時系列予測に基づく心電図異常検知アルゴリズムの実装と，そのパラメータ特性の調査を行った．ベンチマークデータに対して正解率 93%を達成した。

さらに、ニューロンモデルの不応性パラメータの範囲を拡張した拡張 CNNR を提案し、時系列の閉ループ予測に適用した（図１）。

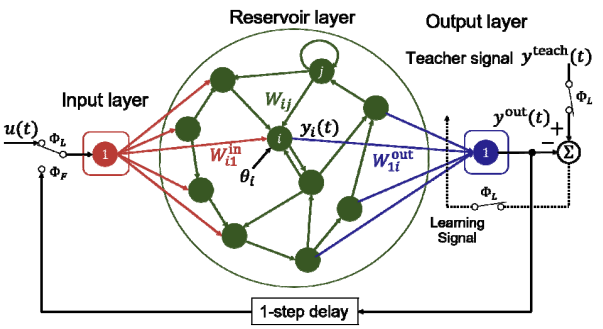


図１：拡張 CNNR による閉ループ時系列予測

その結果、従来の CNNR と比較して予測限界時間が約 3 倍に延びること、その原因が、記憶容量(MC)の指数的な減衰特性にあることを明らかにした（図２）。

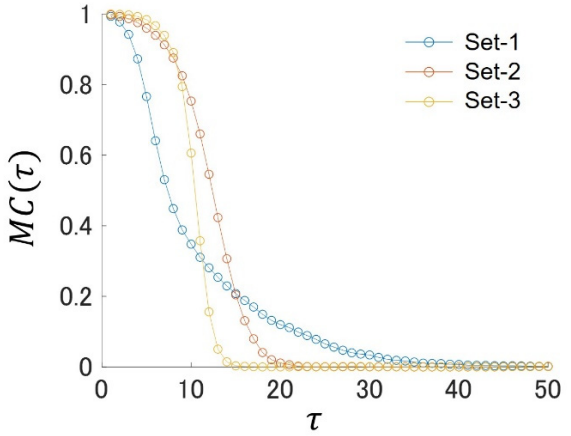


図２：発見した記憶容量の指数的テイル特性

また、時空間文脈学習・記憶ネットワーク(STCLMN)の学習性能を評価するため、ネットワーク出力間のハミング距離の 2 次元マップを(2D HD Map)を構成する手法を提案し、出力空間の入れ子階層構造を明らかにした（図３）。

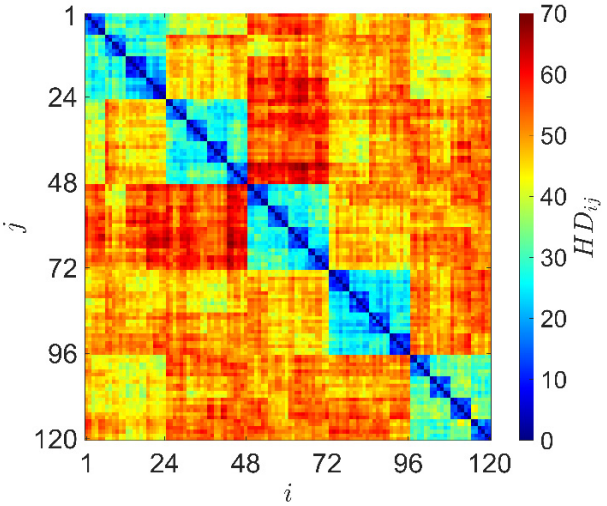


図３：提案した 2D HD Map と STCMLN の出力空間の階層構造

さらに、STCLMN モデルをイベント駆動の連続時間・連続値スパイキングニューラルネットワークモデルに拡張し、これを微差分方程式として定式化した。加えて、提案モデルを個別部品で実装し（図４）、その有効性を確認した（図５）。

[3] 今後の研究の推進方策

力学系の解析については、本年度開発した時系列データ解析手法を実データなどに適用してその有用性を数値的に確認する。

また、カオス時系列データ解析では、提案した解析手法において、グラフ生成に用いた手法によって遷移確率が影響を受けると、グラフがどのように変化するかを評価する予定である。また、ノイズを付加したカオス時系列データやホワイトノイズを付加した時系列データに対して、この解析手法がどのように反応するかを調べる予定である。

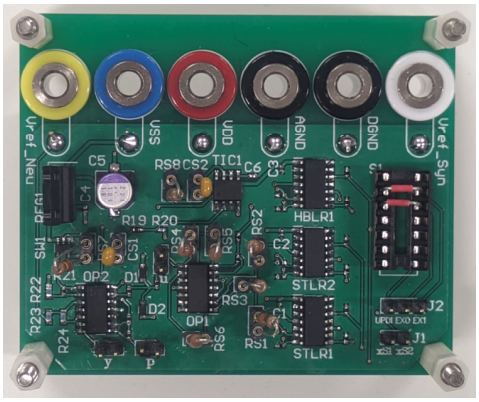


図４：スパイキング STCLMN の評価回路

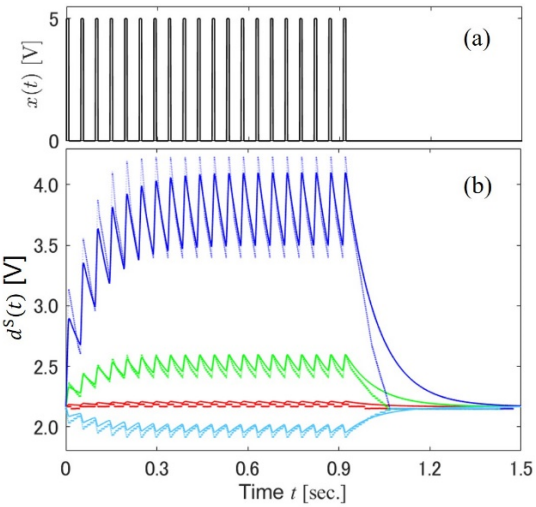


図５：図４より観測されたシナプス応答特性

分岐図推定法の応用については、実データに対して臨界状態推移の予測を行う。実データとして、現在まで使用していた数理モデルを電子回路で再現して時系列データを計測する予定である。

テンポラルネットワークでは、本年度得られた知見に基づき、RQA に基づくテンポラルネットワークの解析手法を実システムから観測されるデータの解析に応用する。具体的には，時間と共に変化する人集団の振る舞いや近接関係などを計測した種々のデータに対して上述の手法を適用し、その有効性を検証すると共に人集団の時空間的性質を明らかにする。

さらに、本年度において分岐点探索アプリケーションの開発に関して一定の成果が得られたため、今後は動作検証や問題点の抽出を通して分岐解析に関する機能の拡張を目指す。また、他のアルゴリズムへの適用可能性について検討する。

一方、無線ニューラルネットワークの無線方式としていて用いている APCMA (Asynchronous Pulse Code Multiple Access) 方式とニューラルネッ

トワークの学習能力の関係を本年度実装したモデルを用いて検討する。

CNNR については、出力層に拡張カオスニューロンモデルを導入し、複雑時系列予測を小規模なネットワークで行うことを目指す。また、新しい応用課題として以下を追加する。振幅方向に特徴を持つ心室期外収縮の検出率は90%程度と高いものの、時間方向に特徴をもつ心房期外収縮の検出率は20%程度と低い。そこで、CNNR によるワンステップ予測とフリーラン予測を組み合わせることにより、心房期外収縮の検出率の向上を目指す。

STCLMN では、スパイキングニューラルネットワークによる集積回路実装を行う。さらに、非線形ダイナミクスの観点から脳疾患の分析などへの応用に関する研究を行う。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] Takemori Orima, Takeru Tsuji, and Yoshihiko Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," Procedia Computer Science, vol. 222, pp. 478-487, 2023. DOI: 10.1016/j.procs.2023.08.186

[2] Takemori Orima, Yoshihiko Horio, Takeru Tsuji, and Mamoru Furuya, " Analysis of hippocampal spatiotemporal contextual learning memory model for hardware implementation, " in Proc. 5th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware, p. 22, 2024.

[3] Go Ishii, Yoshihiko Horio, and Takemori Orima, "Effect of memory capacity characteristics on time-series prediction in reservoir neural network consisting of neurons with local temporal history," in Proc. The 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences, BP-6 (3 pages), 2024. (Best Student Paper Award 受賞)

[4] Satoshi Moriya, Hideaki Yamamoto, Shigeo Sato, Yasushi Yuminaka, Yoshihiko Horio, and Jordi Madrenas, "Analog hardware implementation of spiking neural networks for edge computing," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 317-318, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B3L-32

[5] Takemori Orima, Takeru Tsuji, Yoshihiko Horio, Satoshi Moriya, and Shigeo Sato, "Memory state evaluation of spatio-temporal contextual learning memory network based on output spike rate," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 378-381, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B4L-35

[6] Takeru Tsuji, Takemori Orima, and Yoshihiko Horio, "Detailed evaluation of spatiotemporal learning rule based on Hamming distances among output vectors," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 415-418, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C1L-31

[7] Takemori Orima, Takeru Tsuji, and Yoshihiko Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," in Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, paper no. 1570883985 (10 pages), Gold Coast, Queensland, Australia, June 18-23, 2023

[8] 堀尾喜彦, 「ニューロモルフィックからブレインモルフィックへ」, 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ合同研究会 アブストラクト集，p. 10, 2024.

[9] 古谷 守, 堀尾喜彦, 「時空間学習ネットワーク出力の多段階テンプレートマッチングを用いた一評価手法」, 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ合同研究会 アブストラクト集，p. 57, 2024.

[10] 佐野光希, 堀尾喜彦, 「時間履歴項を持つ出力層ニューロンを用いたニューラルネットワークリザバーによる時系列予測」, 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ合同研究会 アブストラクト集，p. 56，2024.

[11] 辻 孟, 堀尾喜彦, 「時空間コンテクスト学習・記憶ニューラルネットワークの解析と回路実装」, 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ合同研究会 アブストラクト集，p. 51，2024.

[12] 石井豪, 堀尾喜彦, 「ニューロンが時間履歴項を持つニューラルネットワークリザバーの時系列予測に関する研究」, 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ合同研究会 アブストラクト集，p. 49，2024.

[13] 織間健守, 堀尾喜彦, 「海馬に基づく時空間文脈学習記憶モデルのハードウェア実装に向けて」, 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ合同研究会 アブストラクト集，p. 5，2024.

[14] 堀尾喜彦, 「ブレインモルフィックハードウェアと光デバイス」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. CI-5-03_1-CI-5-03_2, 2024.（招待講演）

[15] 小野哲史, 守谷 哲, 山本英明, 弓仲康史, 堀尾喜彦, 佐藤茂雄, 「アナログ CMOS スパイキングニューラルネットワーク LSI を用いた超低消費電力リザバー計算システムの実装と画像認識応用」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. D-2-06, 2024.

[16] 堀尾喜彦, 「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」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. NI-1-01_1-NI-1-01_2, 2024.（招待講演）

[17] Daniel Peter, Mamoru Furuya, Takeru Tsuji, Takemori Orima, Yoshihiko Horio, 「Parameters search for spatiotemporal learning neural networks with PWM input sequences」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. N-1-18, 2024.

[18] 古谷守, 織間健守, 堀尾喜彦, 辻 孟, 「時空間学習ネットワーク出力の多段階テンプレートマッチングを用いた一評価手法」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. N-1-17, 2024.

[19] 佐野 光希, 堀尾喜彦, 織間健守, 石井豪, 「時間履歴項を持つ出力層ニューロンを用いたニュ

ーラルネットワークリザバーによる時系列予測」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. N-1-02, 2024.
[20] 織間健守, 堀尾喜彦, 辻 孟, 古谷守, 「時空間学習則におけるシナプス重み空間と出力空間との関係のユークリッド距離を用いた定性的評価」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. N-1-01, 2024.
[21] 堀尾喜彦, 「脳型材料・デバイスから創生する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」, 薄膜材料デバイス研究会 第20回研究集会予稿集, pp. 23-25, 2023.（招待講演）
[22] 小野哲史, 守谷 哲, 山本英明, 弓仲康史, 堀尾喜彦, 佐藤茂雄, 「アナログ CMOS スパイキングニューラルネットワーク回路を用いた超低消費電力リザバー計算システムの設計」, 電子情報通信学会技術報告, NC2023-20, p. 23, 2023.
[23] 辻 孟, 織間健守, 堀尾喜彦, 「時空間学習則ニューラルネットワークに記憶された時間情報の出力ハミング距離による詳細な評価」, 日本神経回路学会 第 31 回全国大会 口頭発表アブストラクト集, pp. 21-22, 2023.
[24] 石井 豪, 堀尾喜彦, 織間健守, 辻 孟, 「2 種類の不応性がカオスニューラルネットワークリザバーの時系列予測性能に与える影響」, 日本神経回路学会 第 31 回全国大会 ポスター発表アブストラクト集, pp. 9-10, 2023.
[25] 織間健守, 堀尾喜彦, 辻 孟, 「時空間列学習ネットワークの発火率による記憶読み出し手法の検討」, 電子情報通信学会 NOLTA ソサイティ大会講演論文集, NLS-29, 2023.
[26] 辻 孟, 織間健守, 堀尾喜彦, 「時空間学習則の学習結果の評価に適したテスト入力の検討」, 電子情報通信学会 NOLTA ソサイティ大会講演論文集, NLS-27, 2023.
[27] M. Kawaguchi and H. Kato, “Symmetrization effects of k-nearest neighbor recurrence plots on network motif organizations in time series of nonlinear dynamical systems,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 14, no. 3, pp. 590-608, 2023. DOI: 10.1587/nolta.14.590
[28] 加藤秀行, “自己組織スパイキング神経回路網モデルにおける臨界現象の解析,” NOLTA ソサイエティ大会論文集, NLS-27, 2023.
[29] H. Kato, “Simulating spiking neural networks with Cython,” Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 703, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.D2L-22
[30] H. Kato, T. Shinkawa, Y. Ishikawa, T. Sumi, H. Yamamoto, and Y. Katori, “Spiking and bursting properties of spontaneous activities in modular spiking neuronal networks,” Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 601, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C4L-15
[31] Y. Ishikawa, T. Shinkawa, T. Sumi, H. Kato, H. Yamamoto, and Y. Katori, “Evaluation of Reservoir-Based Predictive Coding in Cultured Neurons with Spiking Neural Network Model,” Proc. Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 693-696, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.D2L-14
[32] H. Terakawa, H. Kato, Y. Yonemura, and Y. Katori, “Analysis of predictive coding model with hierarchical reservoir computing for modeling Stroop effects,” Proc. International SoC Design Conference, pp. 257-258, 2023. DOI: 10.1109/ISOCC59558.2023.10396189
[33] H. Azuma and H. Kato “Similarity Analysis among Languages Using Context Vectors Generated in Large Language Model,” Proc. Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences, BP-15, 2024.
[34] 新川拓海, 加藤秀行, 石川慶孝, 住拓磨, 山本英明, 香取勇一, “シナプススケーリング則の最適化，モジュラスパイキングニューラルネットワークへの適用とその影響の解析,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会 信学技報, vol. 123, no. 354, NLP2023-107, pp. 110-113, 2024.
[35] A. Kato, Y. Itoh and M. Adachi: “A Method for Quantifying the Complexity of Graph Structure Obtained from Chaotic Time Series Data,” Proc. of The 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.84-87, 2023.
[36] Y. Itoh, “Verifying the robustness of using parameter space estimation with ridge regression to predict a critical transition,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.14, no.3, pp.579–589, 2023, DOO: 10.1587/nolta.14.579.
[37] Y. Itoh, “Predicting the parameter value at which a critical transition occurs from the Lyapunov exponents in an estimated parameter space,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.14, no.2, pp.356–365, 2023, DOO: 10.1587/nolta.14.356.
[38] Y. Itoh, Predicting a Critical Transition in a Five-Dimensional Ecosystem Using Parameter Space Estimation, the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2023.
[39] A. Kato, Y. Itoh, M. Adachi, A Method for Quantifying the Complexity of Graph Structure Obtained from Chaotic Time Series Data, the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2023.
[40] M. Fujita, and T. Saito, "Solving the Steiner tree problem in graphs with chaotic nerual networks: a nonlinear time series analysis of the objective function value," Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers, vol. 36, no. 5, pp. 136-143, 2023. DOI:

10.5687/iscie.36.136
[41] T. Saito, M. Fujita, "A study on visualizing the effectiveness of the parameter set for forecasting time series using the ReLU chaotic neural network reservoir," in Proc. of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 649-652, Sep. 2023.
[42] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, H. Kurokawa, "Modified parallel nested-layer particle swarm optimization algorithm for fast bifurcation point detection and its software implementation," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.E14-N, no.2, pp. 308-318, 2023. DOI:10.1587/nolta.14.308
[43] 塚本陽太，塚田啓道，塚田 稔，池口 徹，"Hebb 則と時空間学習則のパターン分離能の較,” 電子情報通信学会 総合大会, N-1-10, 2024.
[44] 郭 豊愷，松浦 隆文，木村 貴幸，池口 徹，"公職選挙ポスター掲示問題における初期解構築法の性能比較,”電子情報通信学会 総合大会, N-1-22, 2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[1] K. Kato, H. Kato, H. Asahara, D. Ito, and T. Kousaka, “Effects on random early detection of the packet drop probability function with an adjustable nonlinearity,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 14, no. 2, pp. 193-206, 2023. DOI: 10.1587/nolta.14.193
[2] T. Gotoh, H. Kurokawa, H. Matsushita, T. Kousaka, "Derivation of Local Bifurcation Points in Autonomous Systems by Using Particle Swarm Optimization," Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers, Vol. 36, No. 5, pp. 121-129, 2023. DOI: 10.5687/iscie.36.121
[3] H. Matsushita, H. Kurokawa T. Kousaka, "Non-gradient-based simultaneous strategy for bifurcation parameter detection," Chaos, Solitons & Fractals, Volume 176, 114124, 2023. DOI: 10.1016/j.chaos.2023.114124
[4] H. Matsushita, H. Kurokawa, T. Kousaka, "Bifurcation Point Detection of Non-Autonomous Systems with Differential Evolution," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 289-292, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B3L-12
[5] S. Ohara, K. Kanno, A. Uchida, H. Kurokawa, "Time Series Prediction of Intermittent Laser Dynamics Using Reservoir Computing," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 625-628, Sep. 2023. DOI:10.34385/proc.76.C4L-33
[6] Takahiro Ban, Manami Kimura, Ryota Nomura, and Yutaka Shimada, "A Network-Based Analysis on Collective Behavior of the Audience in a Concert," Proc. of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 190–193, 2023
[7] Takahiro Ban, Manami Kimura, Ryota Nomura, Yutaka Shimada, "An analysis of the influence of music on audience's behavior at a concert," Proc. of 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 315--318, 2024
[8] Kota Kato, Yutaka Shimada, "An investigation of the relationship between homophily and friendship paradox in networks from the perspective biases," Proc. of 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 311--314, 2024.
[9] Daiki Igari and Yutaka Shimada, "Effect of graph distances on recurrence quantification analysis of temporal networks," The 10th International Symposium on Recurrence Plots 2023, August 30, 2023
[10] 澤田和弥，島田裕，池口徹「マーク付点過程に対する因果性検出手法の一検討」2023 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会, N-1-21, 2023.
[11] 澤田和弥，島田裕，池口徹「スパイク列の発火率差が因果性検出に与える影響」電子情報通信学会総合大会, N-1-20, 2024.
[12] R. Nagazawa, J. Lin, K. Nguyen, H. Sekiya, W.-J. Hwang, and H. Torikai, "Design and Construction of Indoor People Number Estimation System," MITA2023, July 2023. ISSN 1975-4736
[13] J. Lin, R. Nagazawa, K. Nguyen, M. Hasegawa, H. Torikai, W.-J. Hwang, and H. Sekiya, "Pavlovian Conditioning Modeling Using Wireless Spiking Neural Network," IEEE 20th International SoC Design Conference, pp. 163-164, 2023.
[14] J. Lin, R. Nagazawa, K. Nguyen, M. Hasegawa, H. Torikai, W.-J. Hwang, and H. Sekiya, "Simple Applications of WiBIC with Asynchronous Pulse Code Multiple Access," NOLTA2023, 2023.
[15] 太田温土，長澤龍司，林嘉穎，グエンキエン，鳥飼弘幸，長谷川幹雄，Won-Joo Hwang，関屋大雄，「非同期パルス符号多重通信を用いた無線スパイキングニューラルネットワークの実装,」 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス研究会, Mar. 2024.
[16] Mitsuki Fukuya, Tomoko Matsumoto, Yutaka Shimada, and Tohru Ikeguchi, "Central emotions and hubs in a colexification network,” Scientific Reports, Vol. 13, 21823, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-48922-8
[17] Yota Tsukamoto, Honami Tsushima, and Tohru Ikeguchi, "Analysis on responses of chaotic Izhikevich neurons to periodic forcing,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 14, No. 4, pp. 677-690, 2023. DOI: 10.1587/nolta.14.677
[18] Yota Tsukamoto, Honami Tsushima, and Tohru

Ikeguchi, "Rich spike patterns from a periodically forced Izhikevich neuron model," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 14, No. 2, pp. 215-227, 2023. DOI: 10.1587/nolta.14.215
[19] Kazuya Sawada and Tohru Ikeguchi, "Nonlinear dynamics of temporal network," Proceedings of 2024 Dynamics Days US, p. 7, Jan. 2024.
[20] Honami Tsushima, Takafumi Matsuura, Tohru Ikeguchi, "Importance of Time Limit Constraint for Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem," Proceedings of 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 6036, Sep. 2023.
[21] Fengkai Guo, Honami Tsushima, Takafumi Matsuura, Takayuki Kimura, Tohru Ikeguchi, "A Study on Two-Objective Posting Poster Problem for Public Office Election," Proceedings of 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 6157, Sep. 2023.
[22] 吉田 しおん，池口 徹，"エコーステートネットワークにおけるリザバー層のダイナミクス," 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 123, no. 287, NLP2023-62, pp. 15-20, 2023.
[23] 関口 真音，池口 徹，"てんかん患者の脳波データに対する再帰定量化解析," 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 123, no. 287, NLP2023-64, pp. 21-26, 2023.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A20

研究課題名

高機能軟磁性鉄合金の組織と特性の評価に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
鈴木茂（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）

通研対応教員：
石山和志（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

軟磁性材料（鉄合金など）は、アクチュエータやセンサー（エネルギーハーベスティング用デバイスも含む）等に用いられ、それらの材料には各種デバイスに装着したときに高いエネルギー変換効率などが求められる。それらの特性を向上させるために、磁歪合金の Fe-Ga 合金単結晶等の特性（軟磁性や磁歪）の方位依存性を調べ、通研の共同プロジェクトでは育成したままの Fe-Ga 合金単結晶に僅かに変形を加えたときの磁歪特性の矯正効果、磁化過程への影響等について提示してきた（Mater. Trans. 63(2022), pp.502-507 など）。

軟磁性材料のアクチュエータ等への応用においては、様々なデバイスの特性に合わせた材料が必要になっており、そのニーズに応えるためには軟磁性材料の特性発現に係わる微細組織や集合組織を調べることが重要である。これまで幾つかの合金について磁気特性に熱処理や前処理等が影響することを示してきたが、ここでは機能性鉄合金の中でも電磁誘導特性に及ぼす集合組織等の影響に係る基盤的な研究を行った。

今回の研究では、これまでの実績等をベースに、Fe-Ga 合金単結晶における残留応力、Fe-Co 基合金の特性に及ぼす集合組織の影響等に関する実験を行った。Fe-Ga 合金単結晶においては、その場変形を行いX線回折法による非破壊的な応力の測定を行った。FeCo-V 合金の多結晶板では、Young 率などの特性（電磁誘導の応答性等に関係）や組織を調べ、多結晶合金板材の特性には大きな異方性が重要であることを示してきた。試料の圧延面の微細組織等の測定を、通研が保有するX線回折装置（XRD）や電子後方散乱回折装置（EBSD）により集合組織などを調べ、板材の異方性と材料特性との関係について検討している。

試料の測定や観察においては、通研・丹野健徳、阿部真帆技術職員、多元研千葉雅樹技術職員の協力を得ながら、鉄合金単結晶だけでなく多結晶板に熱処理を施したときの集合組織の変化等を調べ、それらと特性との関係を調査している。特に、今回の研究においては、体心立方（bcc）構造の鉄合金における弾性異方性（Fig.1 参照）などを考慮し、異なる熱処理を施した試料の集合組織等を調べた。

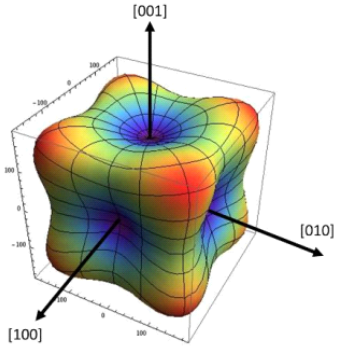


Fig.1 bcc 鉄の Young 率の異方性の三次元的な表示

Fig.2 は、5.8%引張変形した Fe-Ga 合金単結晶のｘ軸[001]方向の主応力をX線回折法により測定した結果である。試料は単結晶を加工時に表層に厚さ約 10μm の多結晶ができている。この測定結果から、その場引張変形により引張方向に引張応力が発生していた。

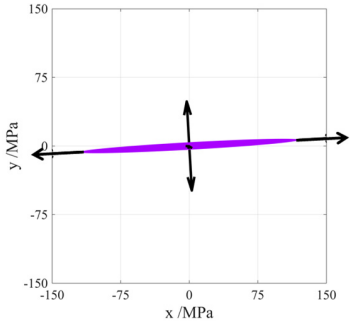


Fig.2　Fe-Ga 合金単結晶を ｘ 方向[001]に 5.8%引張変形したときのX線回折法により測定した主応力

さらに引張変形を行い破断に至り、試料が除荷したときの残留応力の結果を Fig.3 に示す。破断後に除荷した試料には圧縮応力が残留しており、これらの結果は弾性変形の起こり易さが結晶方位と関係していることが示唆されている。Fe-Ga 合金単結晶の弾性異方性については、異なる方位の試料も作製し、残留応力等に関する研究を引き続き行う予定である。

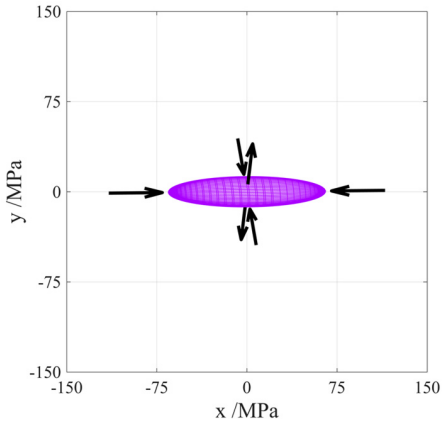


Fig.3　Fe-Ga 合金単結晶を x 方向[001]に6.7%引張変形して破断したときのX線回折法により測定した主応力

[3] 今後の研究の推進方策

単結晶の弾性異方性について調べる研究として、これまで単結晶の回折斑点を直接解析する研究が行われてきた例があるが、上記の方法では薄い多結晶表面層を介して下地単結晶の応力を測定している。この方法により、弾性率の異方性が評価できる可能性があり、次のステップとしてランダム方位や集合組織をもつ試料の表層に、多結晶の薄膜を被覆して、それを介して弾性異方性をX線回折法で評価する方法が考えられる。

一方、多結晶材料における弾性的な異方性を評価するために、集合組織の測定を行った情報を、多結晶全体の特性の方位依存性に反映させることが今後の研究として挙げられる。例えば、Fig.3 は冷間圧延した Fe-Co 基合金(a) (011), (b) (002), および (c) (112) 極点図の例を示しており、それらをもとに、集合組織制御のプロセス条件を検討し、物理的特性等の制御の条件を検討することも望まれる。今年度は主に、Fe-Co 基合金板に対して熱処理を施したときの集合組織、残留応力の変化をX線回折法等により実測してきており、これらの成果は磁気的特性を考慮した力学的性質等との対応づけて展開する予定である。

これまでの共同研究プロジェクトでは、合金単結晶を用いて多面的な解析技術の基盤ができてきた。今後の研究では Fe-Co 合金板の集合組織等の影響因子を明らかにし、それらの磁気特性への影響を検討していく。電動機などにおける電磁誘導等の現象においては、変動する磁界に対する磁気的な応答性等についても把握していく。これらの検討を通じて、各種合金の磁気的特性や弾性に影響する集合組織等に関する情報が、デバイスの設計や制御に繋げられるようにする。

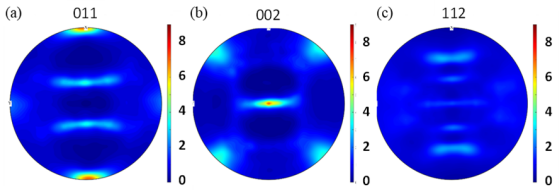


Fig.3　冷間圧延した Fe-Co 基合金(a) (011), (b) (002), および (c) (112) 極点図

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・M. Watanabe, K. Urakawa, T. Kida, M. Kasuya, M. Chiba, K. Kanie, T. Tanno, M. Abe, S. Hashi, K. Ishiyama, S. Suzuki: Characterization of the Magnetostrictive and Elastic Properties of Polycrystalline $Co_{70}Fe_{30}$ Alloy, *2023* IEEE Inter.Mag.Conf. - Short Papers (INTERMAG Short Papers).

・丹野健徳、鈴木茂：多様な特性を示す鉄合金の微細組織の解析、「金属」(アグネ技術センター), 93 (2023), 1065.

・千葉雅樹、丹野健徳、阿部真帆、杤修一郎、石山和志、鈴木茂：Characterization of mechanical properties and microstructure of magnetostrictive iron-gallium alloys、共同プロジェクト研究発表会、2024 年 2 月 15 日

・鈴木茂：電子後方散乱回折法の応用、電気通信研究所、研究基盤技術センター、オンライン技術発表会、2024年3月25日

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A21

研究課題名

マルチセルラバイオコンピューティングの新展開

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
神谷温之（北海道大学大学院医学研究科）

通研対応教員：
山本英明（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究では、最先端の工学とバイオの融合的アプローチを用いて脳機能を構成論的に理解し、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再構築し、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する。さらに、この独自な「構成論的」人工神経回路の特色を生かした解析的研究により、神経ネットワークの時空間ダイナミクスを数理モデルの視点から追及する。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ことを目的とする。

本研究は、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、神経回路のダイナミクスを数理モデルを用いて探究するグループ、よりなる。以上の研究グループ間の情報交換や共同研究を推進するために、年２回程度研究会を開催する。また、研究対象である人工神経回路網の再構築と解析の一部の実験的研究は電気通信研究所において研究分担者と共同で行う。大規模神経ネットワーク動態の実験的アプローチと、数理モデルを用いた理論的アプローチの融合を目指す点が本プロジェクト研究の最大の特色である。これに基づき、本プロジェクト研究のコアメンバーを中心として令和 3 年度に採択された学術変革領域研究（B）「脳神経マルチセルラバイオコンピューティング」の研究グループを発展的に拡大し、ロボット工学やニューロモルフィック工学の研究者らとも協働して、コンピューターサイエンス、生物学、工学、医学のそれぞれの専門領域の垣根を超えた融合的で分野横断的な研究展開を指向することで、さらに大型の学術変革領域研究（A）の採択に向けて研究グループの有機的な研究交流の輪を構築し、令和 6 年 3 月に令和 6 年度から 5 年間の研究計画の申請に対し、採択の通知を受けた。これを受けて平成 6 年度は発展的に研究グループを拡大し、有機的な協働の輪の拡大を推進することを目指している。

今年度は、培養神経回路の刺激応答特性を機械学習のリザバーコンピューティングの枠組みを用いて解析し、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。

また 2 月 27～28 日に開催された通研国際シンポジウム The 12th 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。

The 12th 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
The 3rd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing
日時：令和 6 年 2 月 27 日（火）・28 日 (水)
東北大学と Zoom のハイブリッド開催
S. Sato et al. (Tohoku Univ., Japan)
W. Nicola et al. (Univ. Calgary, Canada)
Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
T. Levi et al. (Univ. Bordeaux, France)
B. J. Kagan et al. (Cortical Labs, Australia)
J. Soriano et al. (Univ. Barcelona, Spain)
Y. Masamizu et al. (Doshisha Univ., Japan)

H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
H. Yamamoto et al. (Tohoku Univ., Japan)
など

また学術変革領域研究（B）では、第 4 回の領域会議を令和 5 年 4 月 26 日にオンライン形式で開催した。令和 5 年 8 月 18 日には同志社大学において第 5 回領域会議を開催し活発な議論が行われた。また翌 19 日には同志社大学脳科学研究科の松井研究室と正水研究室のラボツアーを行い、マウスを用いた生体内でのマルチセルライメージングの現場を見学することで、理論系と実験系の研究者が問題意識や実行可能性を共有する有意義な機会となった。

令和 6 年 3 月 28 日には第 101 回日本生理学会大会にて以下のシンポジウムを企画した。

『投射軸索の神経生物学：デフォルトとアップデート』
日時：令和 6 年 3 月 28 日（木）
ハイブリッド開催（北九州国際会議場・Zoom）
緑川　光春（京都大学）
杉原　泉（東京医科歯科大学）
田中　康裕（玉川大学）
神谷　温之（北海道大学）

これらの機会を通じて、理論系から実験系までの多岐にわたる背景を持つ領域メンバーの研究内容の相互理解のためこの議論をもとに複数の共同研究が立ち上がり、活発な研究が推進されている。

[3] 今後の研究の推進方策

所内対応者の山本英明准教授を領域代表とし、本プロジェクト研究のメンバーを中心に構成した学術変革領域研究（A）「脳神経マルチセルラバイオ計算の理解とバイオ超越への挑戦」の申請が採択され、令和 6 年度から 10 年度にかけた大型研究プロジェクトが開始されることになった。本研究の成果を発展的に進展させ拡大することで、神経細胞の効率的なコンピューティングを革新的なウエットウエアの開発に応用し、超越的な効率のコンピューター技術の開発に応用する意欲的で挑戦的な研究提案である。

今後はこれまでに構築した有機的で相互補完的な協働関係をさらに推進し、より多くの異分野の研究者の参画により、研究目標の達成に向けて一丸となって研究を推進する。これまでにも多くの共同研究が自然発生的に立ち上がり、Nature, Sci Adv, PNAS などの超一流誌に掲載される特筆される成果をあげてきた。
今後はこの流れをさらに加速し、積極的に共同研究の開拓を進める。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Enhanced responses to inflammatory cytokine interleukin-6 in micropatterned networks of cultured cortical neurons
Mamoru Sakaibara, Hideaki Yamamoto, Hakuba Murota, Nobuaki Monma, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Biochemical and Biophysical Research Communications 695 149379 (2024)
DOI: 10.1016/j.bbrc.2023.149379

・Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing
Takuma Sumi, Hideaki Yamamoto, Yuichi Katori, Koki Ito, Satoshi Moriya, Tomohiro Konno, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A. 120, e2217008120 (2023)
DOI: 10.1073/pnas.2217008120

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Simulation test for impartment of use-dependent plasticity by inactivation of axonal potassium channels on hippocampal mossy fibers
Fumeng Zheng, Haruyuki Kamiya, Front. Cell. Neurosci. 17, 1154910 (2023)

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A22**

Title 動作ユニット：身体による感情表出に関するデータ駆動形研究

Motion Unit: A data-driven study on bodily emotion expressions

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI : FUJIWARA Ken (Department of Psychology, National Chung Cheng University)

Research collaborator of RIEC : CHENG Miao (RIEC)

[2] Summary of Research Results for the Year

This research project aims to develop a coding system of body movements, Motion Unit. We exchange a variety of information, of which communication of emotion plays an essential role in human social interaction. As a medium for communicating emotions, facial expressions have dominated the research field of psychology and information science, which should be attributed to the contribution Facial Action Coding System (FACS, Ekman & Friesen, 1978; Ekman et al., 2002).

In this regard, the existing literature on bodily emotional expressions emphasizes that 1) bodily displays can be visually salient, 2) they do not need a face, and 3) they are recognized at levels well above chance; e.g., pride, shame, etc.; even when presented as point-light displays (Witkower & Tracy, 2019). While the significance of “body language” is acknowledged among scholars and even public audiences, there is no comprehensive and practical coding system for body motion and few databases, probably due to the resource-intensive nature of measuring bodily movements.

To develop a coding system for body movements equivalent to FACS, we collected individual body movement data on emotional expressions using a motion capture system (VICON) in collaboration between RIEC and National Chung Cheng University (Taiwan). By recruiting a total of 97 professional performers, more than 10,000 motion data were collected: 12 Emotions (7 basic + 5 social) × 3 Personalized scenarios × 3 Intensity level + 3 Neutral Posture per performer. The original plan was to use this big data for clustering by unsupervised machine learning. However, as the discussion progressed, the uncertainty arose that the analysis might not converge well due to the complexity of the high degree-of-freedom movement data.

Therefore, to take the first step of this joint research project, we collected additional anatomy-based body motion data, Basic Motion dataset. Using Human Anatomy Atlas (2023 edition), each of the four performers (2 female, 2 male) was asked to move one joint per movement, for a total of 128 movements (Head Flexion, Head Rotation (Ipsilateral) to the Right, Shoulder Extension, etc.). We also targeted another simple motion database, Emotional body expression in daily actions (Emilya, Fourati & Pelachaud, 2014) in which the performers move multiple joints for seven simple actions such as walking, sitting down, knocking at the door, and throwing a piece of paper.

To the Biovision Hierarchy (BVH) data offered by the VICON motion capture system, we tried three clustering techniques (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise [DBSCAN], K-means, Hierarchy) with two different similarity measurements: DTW (Dynamic time warping) and Euclidean distance. Nonetheless, the results of these analyses were not encouraging, because the clusters obtained did not correspond to the actual data very well. The following is the visual example of DBSCAN clustering on Emilya: (A) the clustering results match the actual motion data; (B) it does not (Fig. 1). We obtained many small clusters with highly similar motions, which is considered partial success. However, there also remained improvements, as large clusters with different motions were generated.

Regarding the Basic Motion dataset, the clustering seemed more challenging because a large variety of motions were included in the same cluster; e.g. elbow flexion and wrist extension.

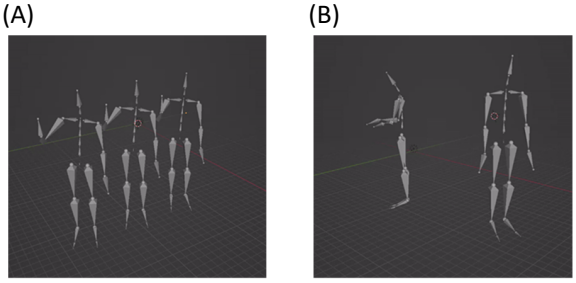


Fig. 1 An example of DBSCAN clustering on Emilya. (A) Success/Matched, (B) Failure/Unmatched

[3] Future Research Promotion Measures

Although a great deal of effort and various techniques were devoted for clustering, the outcomes were limited. Taking these results as room for improvement, the project will move forward with two decisions.

First, we will try a variational autoencoder technique in which the input motion data is encoded in the latent space and reconstructed as output motion (Fig. 2). The latent space generated during this process is expected to be interpreted as a motion unit.

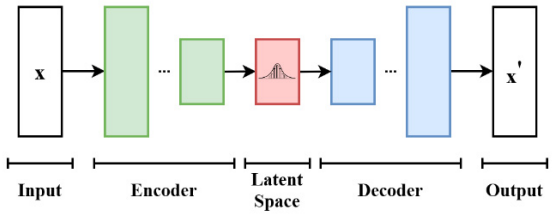


Fig. 2 Flow of variational autoencoder

Second, we will apply variational autoencoder to each frame of each movement, which enables to analyze motions as a sequence of "postures." This is the same approach as a video-based facial expression analysis software (OpenFace, Baltrušaitis et al., 2018) that conducts frame-by-frame analysis on dynamic facial expressions. The disadvantage of this approach could be that the temporal elements of the movement (e.g., speed) are less easily incorporated into the coding. However, the advantage is expected to be greater, as it is less demanding on the computation and more likely to produce a general output. Under this approach, the first step is to identify algorithms and parameter settings that more accurately classify postures.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

[Under review]

・Cheng, M., Tseng, C.-H., Fujiwara, K., Higashiyama, S., Weng, A., & Kitamura, Y. "Toward an Asian-based bodily movement database for emotional communication." *Behavior Research Methods*.

・Yang, X.Y., Cheng, M., Fujiwara, K., Higashiyama, S., Kitamura, Y., & Tseng, C.-H. "What makes a movement human-like?" *Japanese Psychological Research*.

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A23

研究課題名

スマートシティを支えるエッジコンピューティング基盤技術、およびそれを活用するスマートシステム

[1] 研究組織

研究代表者：
ショウ シュン（豊橋技術科学大学大学院工学研究科）

通研対応教員：
長谷川 剛（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

プロジェクトの目的

本プロジェクトの主な目的は、現代社会におけるデジタル技術の進化とその社会への影響を深く理解し、これらの技術が個人の生活や働き方にもたらす変化を評価することです。さらに、この研究はデジタル化が社会的な連帯やコミュニティ形成にどのように寄与しているか、また逆にどのような課題を生じさせているかを探求します。

背景や概要

近年、AI 技術、ビッグデータの活用、オンラインコミュニケーションの普及など、デジタル技術は目覚ましい進化を遂げています。これらの技術革新は、仕事の仕方、教育、健康管理、社会参加の方法など、日常生活のあらゆる側面に大きな影響を与えています。しかし、デジタルデバイドやプライバシーの侵害、偽情報の拡散など、新たな課題も生じています。本プロジェクトでは、これらの技術がもたらす利点と課題のバランスを評価し、持続可能で包括的なデジタル社会の構築に向けた提案を行います。

開催状況

研究討論会
日程：2024 年 3 月 15 日
回数：1 回
参加人数：4 人
概要： 本研究討論会では、デジタル技術の社会への影響に関する初期の調査結果を共有し、参加者からのフィードバックを受け取りました。デジタルデバイドとその社会的影響に焦点を当てた議論が中心でした。

研究発表会

研究代表者が新型コロナウイルスに感染したため、自らは参加できませんでしたが、ポスター展示を通じて、成果の発信やフィードバックの収集に努めました。

[4]研究計画及び内容

我々の研究では、広域エッジコンピューティングネットワークの中で、異なる種類や数のデバイス、さまざまなエネルギー供給方式が存在していることから、低コストで最適なリソース配分、リクエストの転送、自然エネルギーの管理制御を行うことは、非常に難しい課題となっています。加えて、ユーザーは常に移動しており、アプリケーションのニーズも多様です。このような状況を克服するため、我々は先進的な計算・通信設備を持つ研究所で、深層強化学習を活用した最新のオンラインアルゴリズムを開発しています。これにより、動的な環境下で、異種混在する物理リソースを活用した大規模エッジコンピューティングの最適な管理制御基盤技術を実現することを目指しています。

同時に、エッジコンピューティングの基盤技術を活用する様々なスマートシステムの研究開発にも取り組んでいます。大規模エッジコンピューティングが可能にするスマートシステムは、スマートシティの実現に貢献できると考えています。また、スマートシステムの使用状況をエッジコンピューティングシステムにフィードバックすることで、エッジコンピューティング基盤ソフトウェアの改善や改良に繋がります。この研究では、我々の研究所のエッジコンピューティングリソースを活用し、エッジリソースを駆使したスマートシステムの開発に注力しています。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

このプロジェクトでは、大規模エッジコンピューティング基盤技術とそれを利用するスマートシステムの研究開発を行い、以下のような主要な成果が得られました。

深層強化学習に基づくリソース管理アルゴリズムの開発:

我々は、ヘテロジニアスなデバイスやエネルギー供給方式が存在する広域エッジコンピューティングネットワークにおいて、リソースの最適割り当てとリクエスト転送を実現するための深層強化学習ベースのオンラインアルゴリズムを開発しました。このアルゴリズムは、ダイナミックな環境変化やアプリケーションの多様なニーズに迅速に対応し、低コストで高効率なエッジコンピューティングサービスの提供を可能にします。

スマートシステムにおけるエッジコンピューティングの応用例:

スマートシティの実現に貢献する複数のスマートシステムのプロトタイプを開発しました。これらのシステムは、エッジコンピューティングリソースの活用により、リアルタイム性が要求されるアプリケーションや、プライバシーを重視したデータ処理が可能となります。例えば、公共交通機関の最適化、エネルギー消費の効率化、市民の健康管理などに貢献しています。

エッジコンピューティング基盤技術の改善に向けたフィードバックメカニズム:

スマートシステムの使用状況から収集されたデータをエッジコンピューティングシステムへフィードバックすることで、基盤技術の改善と改良を進めています。このメカニズムにより、システムの性能向上や、より効率的なリソース利用が可能になりました。

これらの成果により、大規模エッジコンピューティング基盤技術の実現可能性と、それを活用したスマートシステムの社会への貢献が示されました。今後も、研究成果のさらなる発展と応用拡大に向けて取り組んでいきます。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは、大規模エッジコンピューティング基盤技術とスマートシステムの研究開発における複数の重要な進展を遂げました。これらの進展には、国際会議の立ち上げ、科研費の獲得、多国間共同研究プロジェクトの開始などが含まれます。具体的な進展は以下の通りです。

国際会議・シンポジウムへの発展

会議名: EAI MONAMI 2025

日時: 2025 年（具体的な日程は未定）

開催場所: 未定

参加人数: 未定（国際的な招待が予定されているため、多数の参加者が予想されます）

特徴: 本会議では、大規模エッジコンピューティング技術とその応用に焦点を当て、オーストラリアのシニア研究者をはじめ、世界中の専門家が集結します。最新の研究成果の発表のほか、今後の技術の方向性や応用分野についての深い議論が行われる予定です。

学外研究者との交流・共同研究

本プロジェクトを通じて、学外の研究者との交流が飛躍的に活性化しました。特に、オーストラリア、ニュージーランド、フィリピンの研究者との共同研究が始まり、アジア太平洋地域におけるエッジコンピューティング技術の発展に新たな展望を開きました。

研究資金の獲得

科研費基盤(C)とテレコム先端技術研究支援センター助成金を獲得。これらの資金により、研究の深化と拡張が可能になりました。

JST の e-Asia プロジェクトにも参加し、ニュージーランドとフィリピンの研究者とともに、アジア多数国による共同研究プロジェクトに応募しました。このプロジェクトでは、私が Lead PI を務めています。

研究者ネットワークの拡大と若手研究者の育成

これらの活動を通じて、国内外の研究者ネットワークが大幅に拡大しました。また、若手研究者が国際会議で発表する機会を得るなど、次世代の研究者育成にも寄与しています。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトで得られた成果は、エッジコンピューティング技術だけでなく、スマートシティ、エネルギー管理、公共交通システムなど、多岐にわたる分野での新しい研究領域の開拓に繋がっています。これらの進展は、将来の持続可能な社会構築に向けた萌芽的研究として、大きな期待を集めています。

主な課題としては、大規模エッジコンピューティング環境がさらに広がるにつれ、システムのスケーラビリティをどのように保つかが重要な課題です。特に、デバイスの増加とデータ量の膨大化に対応するための効率的なリソース管理メカニズムの開発が求められます。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[C1] J. Gu, D. Zhang, H. Bao, W. Xing, X. Zheng, X. Shao, “Game Theoretic Resource Allocation for Information Freshness in Mobile Edge Computing,” IEEE Proc. ICPADS 2023, Dec. 2023

[C2] L. Peng, F. He, G. Hasegawa, Y. Cheng, X. Shao*, “Distributed Smart Multihome Energy Management Based on Federated Deep Reinforcement Learning,” IEEE Proc. ICPADS 2023, Dec. 2023

[C3] L. Yuru, D. Zhang, X. Shao, K. Yu, S. Mumtaz, “A Truthful Auction for Green Continuous Task Allocation and Pricing in Edge Computing,” IEEE Proc. ICC 2023, May 2023

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・

・

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A24

研究課題名

スマート社会を支える自己産出型サービスプラットフォームに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
北形 元（盛岡大学 文学部）

通研対応教員：
長谷川 剛通研（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

IoT 社会では，人々の生活に溶け込む各種デバイスに搭載されたセンサ群から時々刻々と湧出する，気象，物流，人流，生体等に関する各種データ，すなわち情報流と，それらを処理する AI 技術を組み合わせることで，様々なサービスが創出され，地域/社会課題の解決や，生産性の向上を通じて，人間中心のスマート社会の実現に活用されることが期待される．しかしながら，これまでのスマート社会に関する取り組みにおいては，サービスとデータが 1 対 1 に対応しており再利用性が低い，各々が閉じたシステムとなっておりサービス連携が難しい，ゼロからの構築が必要で展開時のコストが大きい等の課題が指摘されている．本プロジェクトでは，上述の課題を解決し，スマート社会を支える次世代の IoT 向けコンピューティング基盤として，個々のサービスを複合的かつ自律的に組み合わせて新たなサービスを創出する，自己産出型サービスプラットフォームに関する研究開発ならびに検討を行った。

本プロジェクトの遂行に関連し，2023 年 11 月 17 日～19 日に，東北大学通信研究所において荒川（九州大学）プロジェクトおよび石田（はこだて未来大学）プロジェクトと連携したハイブリッド合同研究会を開催した．本分野の有識者で研究成果の発表や，それぞれに関係するプロジェクトの方向性ついて深いディスカッションを実施した．

具体的な成果として，内藤（愛知工業大学）らのグループでは，プライベートおよびグローバルな IPv4 ネットワーク，あるいは IPv6 ネットワーク等，様々なネットワークに接続される IoT 機器に対し，移動時にそれらのネットワークを切り替えても通信を継続可能とする移動透過性を備えたオーバーレイネットワークを構築する CYPHONIC ネットワークを開発してきたが，これまでエンドノードに専用のプログラムが必要だったのに対し，本年度は，専用のプログラムをインストールせずに IoT 機器を CYPHONIC ネットワークに参加可能とする，CYPHONIC アダプタを開発した．また，峰野（静岡大学）らのグループではこれまで，葉面積センサから得られる葉面積指標と，温度，湿度，二酸化炭素等のセンサから得られる環境データを用い，機械学習によって植物の生理状態を推定する手法を検討し，その過程で，データセットの不均衡性を考慮したリサンプリング手法として CREAMER を提案してきたが，本年度は，これを時系列を考慮した学習手法へと発展させた．具体的には，1D-CAE の次元圧縮されたデータに対してリサンプリングを適用し，このデータを元の次元に戻すことで，時系列を失わずにリサンプリングを行う手法を開発した．

また，山口（大阪大学）と安本（NAIST）のグループは，本共同プロジェクトから発展させた，「新生活様式におけるコミュニティ形成のためのサイバーフィジカル空間共有基盤」プロジェクト（NICT 委託研究 課題 222 ウイルス等感染症対策に資する情報通信技術の研究開発 課題 C アフターコロナ社会を形成する ICT（予算総額 6 千万円））を実施した．また，山口（大阪大学）らのグループではさらに，本共同プロジェクト研究から発展させた，「地域を支える知のデジタライゼーションと共有基盤」プロジェクト（JST-CREST（戦略目標：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）（予算総額 3.5 億円））を実施中である．

[3] 今後の研究の推進方策

今後は，本年度得られた IoT 向けの通信基盤やセンシング応用技術に関する成果を発展させ，情報流を生成・処理する IoT 機器やエッジ・クラウドサーバ等のハードウェア，情報流の変換・加工や AI を利用した解析等を行うソフトウェア，およびそれらを組み合わせたサービスを，他と協調動作するコンポーネント，すなわちエージェントとし，エージェント化した構成要素を自律的に組織化する手法中心に検討を進め，自己産出の性質を有するサービスプラットフォームの実現するための基盤技術を確立することを目指す．

［論文、学会発表、および関連成果等］
(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] A. Kanzaki and T. Ito, "An Efficient Data Gathering Method in UAV-Collaborative Sensing," 2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCE59016.2024.10444310.

[2] R. Goto, K. Matama, R. Aihata, M. Suda, H. Suzuki and K. Naito, "CYPHONIC Adapter: Enabling Secure P2P Connectivity for Diverse IoT Devices," 2024 IEEE 21st Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2024, pp. 1116-1117, doi: 10.1109/CCNC51664.2024.10454747.

[3] K. Sato, N. Oishi, N. Futamata and H. Mineno, "Estimating Plant Physiological State by Learning Methods Considering Imbalance and Time-series," 2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Jacksonville, FL, USA, 2023, pp. 894-899, doi: 10.1109/ICMLA58977.2023.00132.

[4] R. Goto, K. Matama, R. Aihata, S. Horisaki, H. Suzuki and K. Naito, "Implementation and Evaluation of CYPHONIC client focusing on Sequencing mechanisms and Concurrency for packet processing," 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Nara, Japan, 2023, pp. 997-1001, doi: 10.1109/GCCE59613.2023.10315593.

[5] K. Matama, H. Komura, R. Goto, H. Suzuki and K. Naito, "Enhancing Route Optimization for NAPT Traversal in CYPHONIC: Design and Implementation," 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Nara, Japan, 2023, pp. 990-994, doi: 10.1109/GCCE59613.2023.10315375.

[6] G. S. Ujiie, R. Goto, K. Matama, Y. Suzuki, H. Suzuki and K. Naito, "Proposal of CYPHONIC end-device functions on Windows OS," 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Nara, Japan, 2023, pp. 1141-1145, doi: 10.1109/GCCE59613.2023.10315250.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A25

研究課題名

QKD システムにおける高精度位相同期技術

[1] 研究組織
研究代表者：
平野　琢也（学習院大学理学部）
通研対応教員：
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間
令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
本研究の目的は、量子鍵配送のための高精度位相同期技術を開発することである。量子鍵配送は、量子力学の原理を利用した安全な鍵配送技術であり、正規の送受信者が共有する鍵の安全性を理論的に証明することが可能である。量子鍵配送の高性能化のためには、高精度な位相同期技術が必要であり、本研究では、位相同期技術の研究開発と、位相同期技術を利用した量子鍵配送の実証を目指す。

学習院大学では 20 年以上に渡って連続量量子鍵配送の研究開発を行っており、令和５年度末まで実施した内閣府の SIP プロジェクト、また、令和２年度から令和６年度の総務省の委託研究では民間企業とも協力して研究開発を実施している。東北大学通研対応教員の吉田真人准教授とは、２０１１年度～２０１５年度に、独立行政法人情報通信研究機構の高度通信・放送研究開発委託開発「セキュアフォトニックネットワーク技術の研究開発(157)」課題ウ 連続量量子鍵配送技術において、密接な共同研究を実施した。

これらの成果を踏まえ、本研究では QKD システムにおける高精度位相同期技術について研究を実施した。本研究の申請後、2023 年 3 月 9 日午後５時から、3 月 13 日午後４時から、3 月 17 日午後６時から、3 月 27 日午前１０時から、同日午後５時から、それぞれ１時間程度のオンラインの打ち合わせを実施した。これらの打ち合わせは、学習院大学と東北大学だけでなく、本技術に知見を有する NICT 等の研究者、あるいは、光学システムの組立に専門的な技術を有する民間業者も参加する形で実施した。

本研究の開始後は、2023 年 4 月 14 日に吉田准教授が学習院大学に来訪し、対面での研究打合せを実施した。対面での研究打合せに関しては、2023 年 8 月 2 日午後 1 時 30 分から東北大学電気通信研究所本館 3 階 M301 室において、中沢教授、吉田准教授、平野の 3 名で研究打合せを実施した。この他、研究期間中、オンラインでの打ち合わせを月に 1 回以上実施した。

[4]研究計画及び内容
高精度な位相同期技術を必要とする量子鍵配送には、ホモダイン検波を用いる連続量量子鍵配送と、中継地でパルス光を干渉させて単一光子検出を行うツインフィールド量子鍵配送がある。本研究では、これら２つの量子鍵配送技術に適用するための高精度位相同技術の研究開発を実施する。令和 5 年度は、光学系の詳細設計を実施し、位相同期技術の要件を定量的に明確にする。詳細設計の実施は、研究代表者が東北大学電気通信研究所を訪問して、量子鍵配送技術と位相同期技術に関する知見を交換する。また、定量的な要件の明確化のために、学習院大学および電気通信研究所で原理検証のための実験系の構築を実施する。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1) 研究成果
高精度な位相同期技術は様々な光技術において重要性が増しており、本研究では、主に量子鍵配送システムにおける高精度位相同期技術について研究を実施した。また、量子鍵配送だけでなく、本研究では、量子インターネットにおける高精度位相同期技術についても検討を実施した。

量子インターネットにおいて必要となる位相同期技術については、デルフト工科大学のグループが３ノードのエンタングルメントを実証した実験(M. Pompili, *et al*., Science **372** (2021) 259.)において用いた single-phonon プロトコルが嚆矢となるもので、エンタングルメントの生成率を上げるために、多地点間で位相を共有する必要がある。また、量子技術として重要な光時計においては、遠隔地に正確な時刻を配信するという課題があり、英国の国立物理学研究所(National Physical Laboratory, NPL)とドイツの物理工学研究所(Physikalisch-

Technische Bundesanstalt, PTB)の間の 2,220km のファイバーネットワークを介して、17 桁の精度で超安定レーザーの周波数比較を実現したことが報告されている(M. Schioppo, *et al*., Nature Comm. **13** (2022) 212.)。このような時刻同期技術も将来の量子インターネットの基盤技術となり得るものであり、量子鍵配送の安全性を高めることができる可能性がある。

一方、高精度位相同期技術が重要となり得る量子鍵配送プロトコルとしては、研究計画で述べたように、ホモダイン検波を用いる連続量量子鍵配送と、中継地でパルス光を干渉させて単一光子検出を行うツインフィールド量子鍵配送がある。本研究では、位相揺らぎが鍵生成率に与える影響について定量的な検討を実施した。それにより、QKD システムにおける高精度位相同期技術について、プロトコルの選定と概念設計を実施した。

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究により、高精度位相同期技術を用いる量子鍵配送プロトコルを検討し、具体的なプロトコルの選定と概念設計を行った。この成果により、今後具体的に高精度位相同期を用いた量子鍵配送システムを構築する準備が整った。

本研究に関する研究は、総務省の「情報通信技術の研究開発に係る提案の公募(ICT 重点技術の研究開発プロジェクト)」で公募のあった研究開発課題「量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発」に応募し、2023 年 6 月 9 日付で採択された。主たる研究機関は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)であり、その他の参画機関は、大阪大学、横浜国立大学、東北大学、日本電信電話(株)である。

東北大学と学習院大学は、NICT と共に、課題(3) 高精度時空間同期技術を担当し、敷設光ファイバ上へ高精度な周波数基準を安定供給可能な手法及び光ファイバ上の外乱をリアルタイムで補償する基本技術を確立し、供給された高精度な標準時刻を活用し、既存の量子鍵配送プロトコルに適用することで量子通信の性能向上のための効果検証を行う。研究期間は、令和５年度から令和９年度までである。

本研究において得られた成果は、上記の総務省プロジェクト「量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発」に応募する際に研究内容を深めるうえで重要であり、本研究により、応募した研究計画が採択に至ることができたといえる。また、本研究の成果は、同プロジェクトの推進に発展的に活用することができる。これにより、高精度位相同期技術を用いる量子鍵配送システムを確立し、将来の安全な通信技術の実現に寄与することができると考えられる。

[6]まとめと今後の課題

本研究では、QKD システムにおける高精度位相同期技術について研究を実施し、位相同期技術を用いる QKD プロトコルの選定と概念設計を完了した。本研究に関して実施した打ち合わせや検討は、総務省の委託研究「量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発」の応募と採択につながった。今後、高精度位相同期技術を用いる量子鍵配送システムの構築と実証は、総務省の委託研究において実施する予定である。同委託研究では、東北大学と学習院大学が共同して研究を実施する予定であり、本研究の成果が今後も生かされることになる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・平野 琢也
「量子力学と光，通信，セキュリティ」
数理科学 2023 年 12 月号（2023 年 11 月 20 日）.

・清野桜子、仲美和、平野琢也
「動作帯域幅 7GHz の低雑音バランス検出器」
第 49 回量子情報技術研究会（QIT49） （ 沖縄科学技術大学院大学）(2023 年 12 月 17 日(日)).
（第 49 回量子情報技術研究会学生発表賞受賞）

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No.　R05/A26

Title　　VR における身体活動が認知パフォーマンスに及ぼす影響の検討

Investigating the Impact of Physical Activity in Virtual Reality on Cognitive Performance

[1] Research Organization

Principal Investigator：
Dr TAG Benjamin（Monash University）
Research Collaborator of RIEC：
Prof KITAMURA Yoshifumi（RIEC）
Research Collaborator
Assist. Prof. FUJITA Kazuyuki（RIEC）
Ms. LI Yi (Monash University)

[2] Research Period

2023, April　～　2024, March

[3] Purpose, Background, and Overview of the Project

The project aims to enhance collaboration between Monash University and RIEC at Tohoku University, facilitate a research experiment for a Monash PhD student at RIEC, and disseminate findings at top-tier Human-Computer Interaction conferences and journals. These efforts lay the groundwork for future collaborative research proposals.

Immersive virtual environments (VR and AR) enable user interactions through physical movements, increasingly used for training and remote collaboration. Physical activity in these environments can cause fatigue, potentially impacting cognitive performance. While the correlation between physical fatigue and cognitive performance has been studied, research specifically addressing these effects in VR settings is lacking. This project aims to fill this gap.

The study investigates the impact of physical activity in VR on cognitive performance compared to traditional 2D desktop interactions. Participants are randomly assigned to either an experimental VR group or a control desktop group. Cognitive tests are administered before and after VR experiences involving physical activity, with data analysis focusing on the interaction between group and performance, supplemented by self-report measures.

Research Meetings and Discussions

Key research meetings and discussions have been pivotal to the project's progress:

1. **October 29 to November 3**: CI Dr. Benjamin Tag visited Tohoku University, meeting with Prof. Kitamura and Assist. Prof. Fujita to plan a collaborative project led by Prof. Fujita and Ms. Yi Li. Dr. Tag introduced the Embodied Visualisation Group's research at Monash to RIEC students and staff.
2. **Subsequent Visit**: Prof. Kitamura visited Monash University, presenting RIEC's activities at a department seminar. Discussions on potential collaborations were held with Prof. Helen Purchase and Prof. Tim Dwyer.
3. **January 2024**: Ms. Yi Li visited RIEC for three weeks to work with Assist. Prof. Fujita and Ms. Xu Hongyue on quantifying eye fatigue in VR, based on Dr. Tag's proposal.

CI Dr. Tag, Ms. Yi Li, Assist. Prof. Fujita, and Ms. Xu Hongyue hold regular project meetings to refine the study design and experimental setup. The team aims to submit a paper on their findings to the ACM CHI conference in September 2024.

Dr. Tag and Ms. Yi Li have presented their research at various internal meetings and seminars, fostering collaborative discussions and exploring potential future projects between Monash University and RIEC. These presentations have been crucial in sharing insights and strengthening collaborative ties between the institutions.

[4] Research Plan and Content

The project investigates eye fatigue in virtual reality (VR) and its impact on cognitive performance and user comfort. It quantifies eye fatigue during prolonged VR

use through iterative refinement of study design, measure selection, and VR exposure parameters. Assessments include cognitive tests, eye-tracking, blink rate, and self-report questionnaires. Data analysis will use mixed-design ANOVA and qualitative self-reports to reveal correlations between VR usage and eye fatigue indicators. The initiative aims to enhance collaboration between Monash University and RIEC and contribute to understanding eye fatigue in VR, with findings planned for submission to the ACM CHI conference in September 2024.

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

Results So Far:

- **Monash University (PIs Tag and Li):** Validated a physical fatigue model using Kinect in VR, improved with Electromyography (EMG) and Motion Capture. The model estimates perceived physical fatigue based on real-time gestures in XR environments.
- **RIEC (PIs Kitamura and Fujita):** Developed the TiltChair, an actuated office chair to improve posture by manipulating the seat's inclination. Experiments showed effects on posture maintenance and subjective acceptability, though not on task performance.
- **Collaboration (PIs Tag, Kitamura, Fujita, Li, Xu):** Finished Literature review and experimental design.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

This project will significantly advance our understanding of human-computer interaction in immersive environments, contributing to the spatial computing landscape. It will offer precise guidance on designing interactions to minimize fatigue and injury risks, enhancing the safety, comfort, and accessibility of spatial computing systems. This is particularly crucial for industries using spatial computing for training or operations, where reducing injury risks can lead to significant cost savings. Understanding fatigue, adaptation, and perception is vital for improving user experience in applications like training, education, and therapy.

The research also lays the groundwork for a large-scale project involving multiple institutions, with high interest from industry researchers at companies like Meta. We plan to develop this project into a Shonan Seminar, applying in 2024 to conduct the seminar in Spring 2025, and inviting about 20 Japanese and international researchers to discuss the challenges and opportunities in spatial computing research.

[6] Summary and Future Challenges

This International Collaborative Research Project (ITL) between Monash University and the Research Institute of Electrical Communication (RIEC) at Tohoku University investigates the impact of prolonged virtual reality (VR) use on physical fatigue, focusing on eye fatigue, cognitive performance, and user comfort. Through reciprocal visits and research discussions, the partnership has developed an experimental framework. Ms. Yi Li's visit to RIEC refined this framework, including cognitive tests, eye-tracking, blink rate measures, and self-report questionnaires.

Preliminary results include completed literature reviews on visual fatigue, cognitive load, and hardware configuration using Oculus Pro for eye blink tracking during a reading task in VR. Currently, planning is underway for a pilot study to finalize the setup and user study design. The team aims to submit findings to the ACM CHI conference in September 2024.

Future challenges involve determining the long-term effects of regular VR use on eye health and cognitive function, expanding the study to diverse user demographics, assessing the impact of different VR content and interaction styles, and developing strategies to minimize eye fatigue while maintaining immersive VR experiences. Addressing these challenges is crucial for enhancing user comfort and performance in VR environments.

【Appendix】

none

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A27**

Title 機械学習を用いたオンライン文章の解析に関する研究

Research on online text analysis using machine learning

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：
ZABIR Salahuddin Muhammad Salim

Research collaborator of RIEC：
HASEGAWA Go（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

We have been working on the development of a new generation IoT platform that we call KIBAN (Fig. 1). KIBAN 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)

Among the different functionalities, Knowledge and Intelligence Layer (KIL) aims at utilization of the data collected from different devices, sensors and the Internet.

In the current year of the research project, we particularly focus on implementing components of the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) for learning and interpreting texts available on the web in the form of posts in the social media, product review, articles in the web etc.

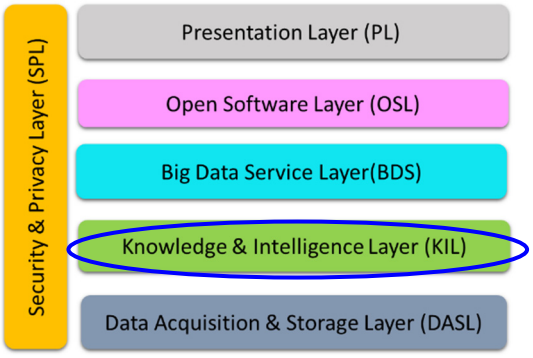


Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

In this report, we present the outcome of our research on analyzing of social media posts in Japanese language for estimating the gender of the poster.

The principal investigator (PI) along with the students of the ubiquitous intelligence (UI) lab led by the PI at National Institute of Technology, Tsuruoka College conducted research on the topic. The Research collaborator at RIEC kept in touch with the research team through e-mail and debriefing session conducted face-to-face.

A. The Characteristics of Japanese Language

Japanese language has one characteristic that make it difficult for machine learning AI (Artificial Intelligence) techniques to analyze for determination of some implicit features of the poster like gender or age analysis. Most languages like English, have space or some other delimiters to separate adjacent words from one another. Also, particularly in the case of conversation, some expressions have different forms based on the gender of the speaker. Since social media posts are in largely informal, a post may reveal some information regarding the gender of the poster. However, it is also possible to impersonate by intentional use of gender specific words. Hence, it is possible for a male to impersonate as a female. Such occurrence is likely to affect the accuracy of such machine learning schemes.

B. Separation of words in Japanese sentences

The first task of gender estimation from online texts is separation of words so as to find out the words driving the sentiment to positive or negative. We use a tool called MeCab that was developed in a project conducted jointly by Kyoto University and NTT.

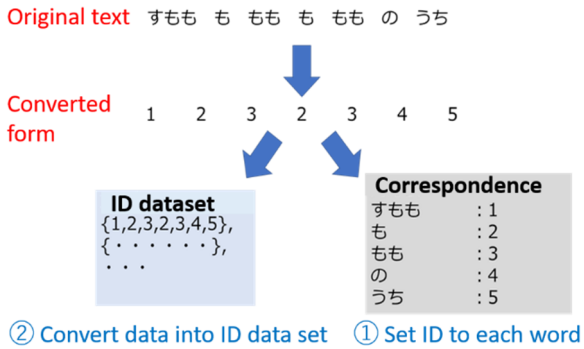


Fig. 2: Pre-processing of data to form ID data set

As shown in Fig. 2, the input data is first divided into different words and organized into a data set based on their order in the sentence(s).

C. Collection of data and design of experiments

We gathered data from X (formerly Twitter) site using "rtweet" package, that uses R language client for interacting with Twitter's stream and REST APIs. We collected posts from 100 male and 100 female. For each person, 1000 posts (Tweets) were collected.

The preprocessing of the collected data consists of the following chronological steps.

- Morphological analysis
- 2-gram conversion
- Normalization

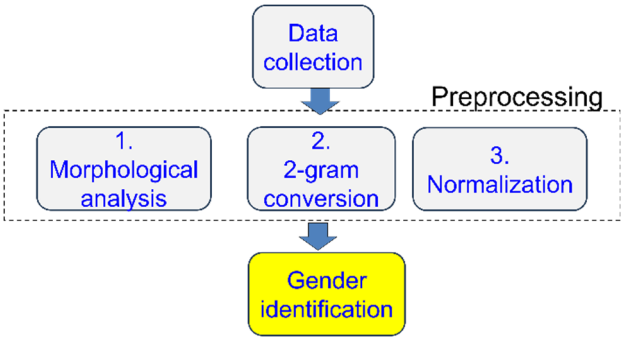


Fig. 3: Summary of the entire process (data collection, preprocessing and learning)

Fig. 3 shows the different steps in our proposed methodology from data collection to identifying the gender of the poster.

D. Arrangements of data and machine learning models

We select 90% of the collected data randomly for use in the learning phase. The rest 10% is used as test data. As for the machine learning models, we choose (i) k-nearest neighbour (k-NN), (ii) Naïve Bayes, (iii) Decision Tree (DT), (iv) Support Vector Machines (SVM), (v) Random Forest (RF), (v) Neural Network (NNET). The learning and testing phases are conducted 10 times for each machine learning model and average accuracy in determining the gender of the poster of an SNS post is calculated.

E. Evaluation

Machine learning models were used to first learn from the collected data. Then, they were tested for estimating the gender of the poster of an SNS post and the accuracy of the estimation is determined. Fig. 4 summarizes the outcome of training and testing.

As can be seen in Fig. 4, some models achieve maximum estimation accuracy of 90% or above. However, the accuracy varies in different experiments. All the models achieve more than 60% average accuracy. The accuracy in both the cases could increase with a larger learning data set.

[3] Future Research Promotion Measures

Analysis of texts posted in different social media or social network services (SNS) would become further important in the coming years. Determining the gender/age/level of education etc. of the poster of SNS post would be the front runner in this trend.

Model	Maximum Accuracy	Average Accuracy
k-NN	0.75	0.64
Naïve Bayes	0.75	0.67
Decision Tree	0.90	0.71
SVM	0.85	0.70
RF	0.95	0.72
NNET	0.90	0.795

Fig. 4: Maximum and average accuracy while estimating the gender of the poster of an SNS post using different machine learning models

In the coming years, we wish to analyze SNS texts in other languages. Also, we wish to test deep learning models and their combinations for estimating the gender or age of the poster of an SNS post. In addition, we wish to explore whether development of some special tools or mechanisms that could improve the effectiveness of machine learning models while analyzing SNS texts for a particular feature.

We plan to summarize the research results as research papers and submit them to international conferences and/or reputed journals for publication.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

・N/A

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・Satou, Asuku, Zabir, S.M.S., Considerations for Improving the Accuracy of Object Detection Models in Wild Animals (in Japanese), 2024 Tohoku Region Young Researchers Research Presentation, Fukushima, March 2024 (received the best poster paper award).

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/A28

研究課題名

深層学習を用いた高精細画像センシング向け物体検出に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

近年，Full-HD（2K:1920 画素×1080 画素）などの高精細画像の撮影が容易となり，高精細画像を用いた画像処理の需要が高まっている．従来の物体検出手法では，高精細画像を縮小して入力する必要があり，少ない画素で構成された小型物体の検出が困難であるという課題があった．我々は先行研究において，入力画像を縮小し，一回目の推論(大域検出)後に領域分割を行い，小型物体の多い領域に対して再構成画像を生成し二回目の再推論(局所検出)を行う階層型物体検出手法を提案した．　この手法は大域検出，局所検出，統合処理の 3 つの階層で構成される．図１に階層型物体検出手法を示す．1 層目の大域検出では，入力された Full-HD 画像を 640 画素×640 画素に縮小し推論を行う．推論を通じて，大型物体は高信頼度で検出され，小型物体は低信頼度で検出される．2 層目の局所検出では，再構成画像を生成し再推論を行う．図２に局所検出の再構成画像生成手法を示す．入力された Full-HD 画像に対し，160 画素×160 画素の矩形領域に分割する．大域検出の結果から得られた低信頼度物体の分布に基づき，各分割領域に存在する低信頼度物体の個数を計上する．原画像から低信頼度物体が多く存在する 16 個の領域を順に切り出し，640 画素×640 画素の再構成画像を生成し再度推論を行う．3 層目の統合処理では，大域検出と局所検出で得た検出結果を統合する．しかし，この階層分割型物体検出手法には二つの問題が存在する．一つ目の問題点は，物体の断片化である．再構成画像生成の際，領域の座標情報は加味されておらず，160 画素×160 画素サイズの各領域は独立している．領域の境界線によって断片化された物体は再推論において誤検出される可能性が高くなる．二つ目の問題点は，局所検出において再推論する領域には誤検出された物体も含み得る点である．階層型物体検出手法では，大域検出で得られた低信頼度物体の個数に基づき再推論を実行する領域を決定する．しかし，低信頼度物体は，小型物体に加えて誤検出結果も含むため，低信頼度物体の個数情報だけでは小型物体の個数を正確に計上できない問題があった．

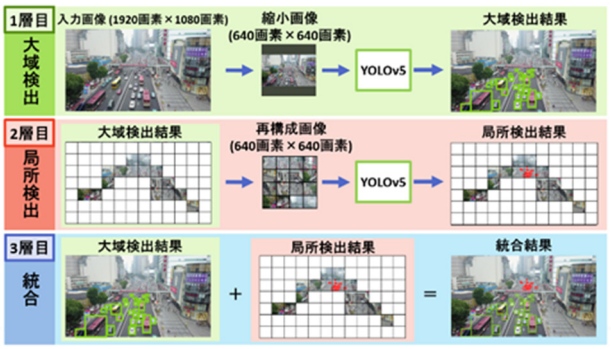


図１　階層型物体検出手法

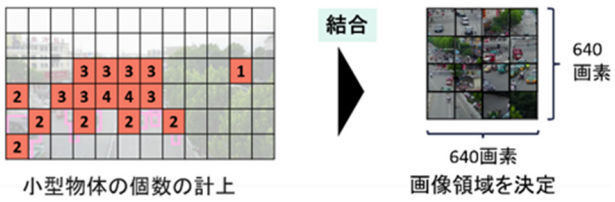


図２　局所検出の再構成画像生成方法

今回我々は，小型物体の密集領域を一括して抽出することで断片化を抑止する近傍探索型領域抽出アルゴリズムを提案した．この近傍探索型領域抽出アルゴリズムでは，小型物体の分布傾向より抽出領域を選択する．図３に小型物体の分布傾向について示す．小型物体は密集する傾向が強い特徴があるため，密集する領域を抽出することで，小型物体の検出性能を向上させる．また，小型物体が点在傾向にある領域を抽出しないことで，余剰な推論を排除できる．図４に近傍探索型領域抽出アルゴリズムの処理を示す．小型物体の個数を計上した後，計上した値が最大の領域の 8 近傍に位置している領域を探索し，個数が 1 個以上の領

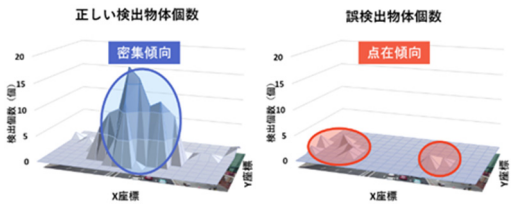


図３　小型物体の分布傾向

図４近傍探索型領域抽出アルゴリズム

域に対し近傍探索を行う．体が点在傾向にある領域を抽出しないことで，余剰な推論を排除できる．図４に近傍探索型領域抽出アルゴリズムの処理を示す．小型物体の個数を計上した後，計上した値が最大の領域の 8 近傍に位置している領域を探索し，個数が 1 個以上の領域に対し近傍探索を行う．その後，探索された領域からさらに 8 近傍に位置する領域を探索し，同様に個数が 1 個以上の領域に対しさらに探索を行う．その際，現在の探索範囲の最大計上値より大きな最大計上値が存在する場合は探索を終了する．この処理を小型物体が含まれない領域が外郭になるまで繰り返し行い，探索範囲をもとに領域を矩形にし，再構成画像として抽出する．

実装検証において，検証データセットには，VisDrone-2019（548 枚）の画像を使用した．また，評価指標は検出個数とクラスごとの検出精度の平均 mAP(mean Average Precision)を用いる．表１に検出精度の比較を示す．今回提案した近傍探索アルゴリズムは，先行研究と比較して検出個数が 4226 個増加し 11%，mAP は 3.90pt 向上した．本提案の有効性を確認することができた。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は，従来の信頼度を用いる手法に加え，画像が持つ特徴量を基に画像抽出を行い，再構成画像生成手法を検討を進める．一方で，ドローンの自律飛行等の応用分野を考慮した場合，対象となる空撮画像は一枚の画像に広画像内の物体サイズは小型化する傾向があり，高い小型物体推論性能が求められる．空撮画像と地上撮影画像の物体サイズのヒストグラムにおいては画像特性の差異により，大な範囲を収めるため，地上撮影画像と比較して地上撮影画像を用いた推論において高い推論性能を報告している YOLO 等の従来推論モデルであっても，空撮画像を推論に用いた場合，先行研究以上の十分な推論性能が得られない問題が存在する．この問題に対して，高精細空撮画像において物体が所在する領域に対して限定的に精細な推論を行うことで，推論性能を高めた手法が多数報告されている．しかしながら，この手法では，物体サイズに応じた物体所在領域の分類を実施していないため，一つの領域内にサイズが異なる同一種別の物体が混在することで，推論性能の低下を招く懸念がある．また，本手法では精細な推論の実行に先立ち，物体の所在をある程度予測する必要がある．この物体所在の予測に際して，従来では，簡易的な畳み込みによって得られた特徴マップから予測する手法や，特徴マップにおける文脈情報を利用して予測する手法が一般的に採用されている．しかし，通常の粒度による畳み込みでは特徴量が十分に抽出されない小型物体は，その所在予測において見落とされる懸念がある．我々は高精細空撮画像における小型物体の高精度推論を目的とした新たな推論モデルである，クラスタ誘導型双対推論ネットワークを提案し，クラスタリングによる小型物体の所在推定機構により，先行手法が抱える小型物体を検出する上での課題の解決を図る．

今後の本課題研究においては，ベースモデルとしてクラスタ誘導型双対推論ネットワークを検討する．クラスタ誘導型双対推論ネットワークの全体像を図１に示す．クラスタ誘導型双対推論ネットワークは，2 段階の推論機構から成る階層型推論構造と，クラスタリングによる小型物体所在推定機構を有する．階層型推論構造とは，物体をサイズに応じて大まかに大型物体・小型物体と分類した上で，各分類の推論に最適化された CNN により双対的に推論することで，検出器全体のロバストネスを向上させる推論構造である．そして小型物体所在推定機構とは，階層型推論構造の大型物体推論の際に，検出に失敗したベクトルを小型物体候補と定義し，これらベクトルを最適化した上でクラスタリングによる分類を施すことで，小型物体密集領域の高精度推定を実現する機構である．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Y. Horikawa, R. Yoshida, S. Mochizuki , T. Matsumura, “Deep Learning based Hierarchical Object Detection System Adopting a Depth Correction Scheme for High-Resolution Aerial Images Towards Realization of Autonomous UAV Flight,” ITE Transactions on Media Technology and Applications Vol.1 No.12 pp.85-92, Jan. 2024.

・Y. Horikawa, R. Yoshida, S. Mochizuki, T. Matsumura, “Clustering Re-Inference Algorithm for Deep Learning-Based Hierarchical Object Detection System,” IEEE GCCE 2023, pp. 828-829, Oct.,2023.

・Y. Horikawa, R. Yoshida, S. Mochizuki, T. Matsumura, “CGTI-Net: Deep-Learning-Based Object Detection Network for High-Resolution Aerial Images,” IEEE IoTaIS 2023, pp. 169-174, Nov.,2023.

・堀川雄生，杉内　凌河，吉田 錬平，松村 哲哉，“深層学習を用いた階層型物体検出手法における近傍探索型領域抽出アルゴリズム”，電気関係学会関西支部連合大会，2023 年 11 月

・堀川雄生，杉内　凌河，吉田 錬平，松村 哲哉，“UAV 自律飛行に向けたクラスタ推論による Coarse-to-Fine Net の提案”，電気関連学会東北支部連合大会 2023 年 9 月

・堀川雄生，松村 哲哉，“空撮画像における小型物体検出性能の改善”，電子情報通信学会 総合大会（広島） 2024 年 3 月

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・杉内凌河， 堀川雄生， 吉田錬平， 松村哲哉，“階層型物体検出手法における再構成画像の生成及び再推論に関する検討”，令和 6 年東北地区若手研究者研究発表会 2024 年 3 月

・佐々木大那， 堀川雄生， 吉田錬平， 松村哲哉，“高精細空撮画像におけるクラスタの特定及び推論に関する検討”，令和 6 年東北地区若手研究者研究発表会 2024 年 3 月

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A29

研究課題名

フレキシブル磁気光学薄膜形成に向けた磁性ガーネット超微粒子の開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

橋本　良介（鈴鹿工業高等専門学校電気電子工学科）

通研対応教員：

後藤　太一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

福地　俊亮（鈴鹿工業高等専門学校総合イノベーション工学専攻）

嶋田　拓馬（鈴鹿工業高等専門学校総合イノベーション工学専攻）

[2] 当該年度の研究実績の概要

磁性ガーネット薄膜は大きな磁気光学効果を発現する代表的な磁気光学材料として知られており、漏洩磁界センサとして非破壊イメージングへの応用が期待されている。しかし、その製造過程から湾曲させることが困難で、観察対象が限定されている課題がある。この課題を解決するために、有機金属分解法を用いて、湾曲する基板（フレキシブル基板）上に磁性ガーネット膜を作製する手法が提案されている。しかし、この手法では、結晶化のために試料全体を 700 度程度で熱処理する必要があり、一般的なフレキシブル基板が使用できないという難点がある。そこで我々は、予め結晶化処理を施した粒状の磁性ガーネットを、液中に分散する方法を開発している。この手法であれば、フレキシブル基板が高温に晒されないため、基板の材料や形状の選択肢を増やすことができる。この新しい磁性ガーネット膜の作製手法を確立するために、本年度は、本手法を用いて、高い透過率を維持したまま大きな磁気光学効果を示す磁性ガーネット膜の作製条件を調べた。

遊星型ボールミル装置を使用して、粉体を溶液中に分散させてミリングするウェット法により磁性ガーネット粉体を粉砕した。磁性ガーネット粒子は、純水で撹拌した界面活性剤と混合した溶液中でミリングし、粒径 1 μm 以下の超微粒子化を目指した。

図 1 に、ミリングする前の磁性ガーネット粒子の粒径と、40 時間ミリングを施した磁性ガーネット粒子の粒径を、三重県工業研究所窯業研究室のレーザ式粒度分析機により測定した結果を示す。

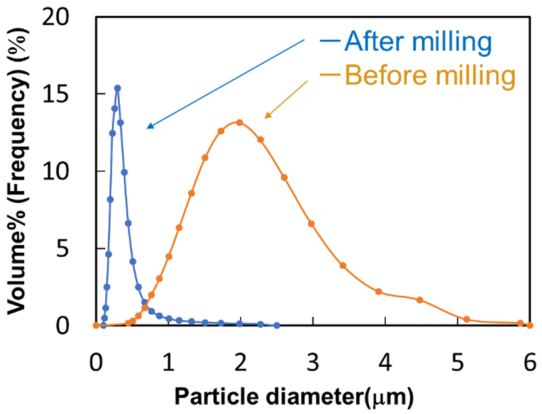


図 1. 試作した磁性ガーネット粒子の粒径分布

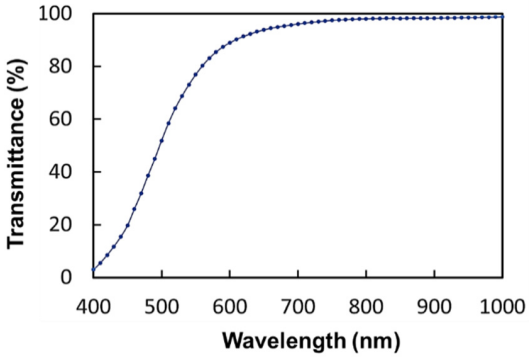


図 2. 試作した磁性ガーネット膜の透過率スペクトル

ミリングする前の粒径は、メジアン径で 2 μm 程度であった。一方、40 時間のミリングを施したサンプルの粒径は、メジアン径で 300 nm 以下であり、ナノメートルオーダの超微粒子が形成されていることが確認できた。ミリングした磁性ガーネット粒子は、有機バインダであるウレタンニスと混合して、スピンコート法によりアクリル製キャスト材基板上に塗布した。有機バインダは、重量比率で 10%混合した。スピンコートの回転速度は 2 段階に設定し、1 段目を 1000 rpm（10 秒間）、2 段目を 1500 rpm（10 秒間）とした。スピンコートした試料は室温で乾燥した。この工程を 10 回繰り返し、厚膜化を図った。10 回重ね塗りした試料の透過率スペクトルを可視分光光度計（鈴鹿高専）で測定した結果を図 2 に示す。波長 532 nm における透過率は 60%以上を維持してお

り、ファラデー回転測定に十分な透過率を示した。これは、ミリングによる微粒子化によってミー散乱が抑制されたためと考えられる。従来手法と同程度の透過率である。図 3 に成膜したサンプルの表面写真とその表面の様子を示す。重ね塗りによって厚膜化できている様子が確認できた一方で、膜厚の偏りや、異物の混入が観察された。

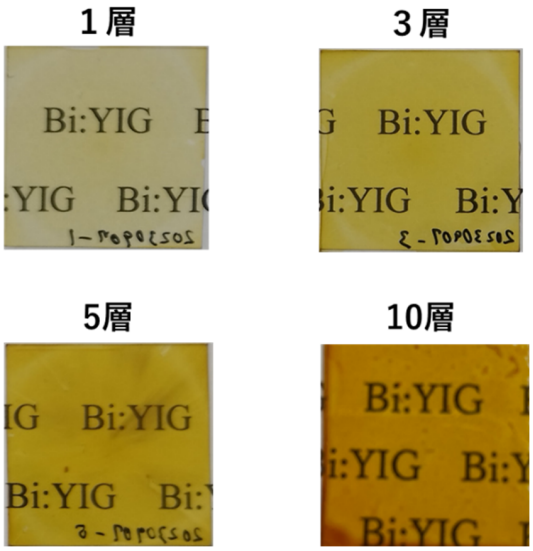


図 3. 試料の表面写真

図 4 と図 5 に、東北大通研所有の磁気光学効果測定装置で測定したファラデー回転角を示す。図 4 は、波長に対するファラデー回転角を示している。ファラデー回転角は、波長 500 nm 付近で最大となり、絶対値で約 0.4 度のファラデー回転角が得られた。図 5 は、波長 532 nm における印加磁界に対するファラデー回転角を示している。飽和磁界は、約 0.2 T であり、スパッタ法等で作製した時と同等と分かった。

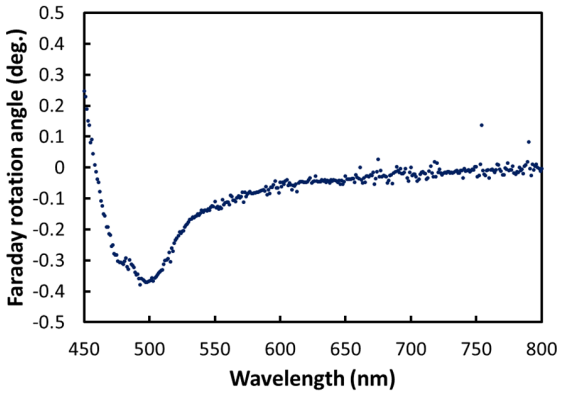


図 4. 試作した磁性ガーネット膜のファラデー回転角スペクトル

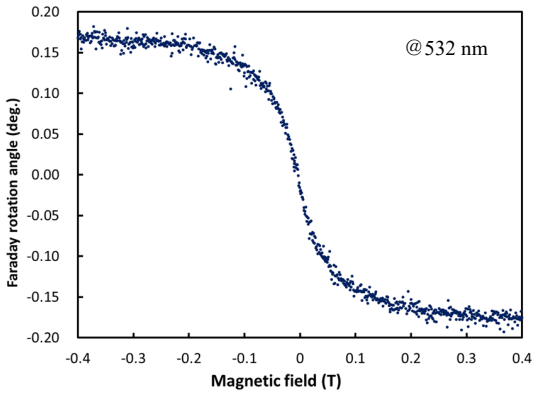


図 5. 試作した磁性ガーネット膜のファラデー回転角ループ。波長 532nm で評価した。

塗布型の成膜手法により磁性ガーネット膜を作製した。作製した磁性ガーネット膜は、波長 532 nm においてファラデー回転角は約 0.17 度、透過率は約 60%を示した。これにより、作製条件が確立できた。さらに、鈴鹿高専と東北大通研の両方の設備を用いた作製と評価の体制を整えることができた。

[3] 今後の研究の推進方策

ファラデー回転角が膜厚に依存することを利用して、膜を厚くすることで、ファラデー回転角を得る。今年度の成果により、現状の 3 倍程度の厚膜化により波長 500 nm において目標値を達成できる可能性があるが、スピンコート法では 30 回の重ね塗りが必要で、塗りムラの改善も考慮すると厚膜化には適さない。そこで 1 回の成膜でミリメートルオーダまでの厚膜が塗布できるバーコート法への成膜方法の変更を検討する。そして、10%以上の透過率を維持しつつ、1.0 度以上のファラデー回転角を達成することができれば、被検体表面上での非破壊磁気光学イメージングについても実施予定である。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・嶋田拓馬、玉村拓也、橋本良介、“磁気光学イメージング用塗布液の試作と塗膜の特性調査”、第 175 回教育工学研究会（2024. 3）.

・T. Shimada, T. Tamamura, K. Tahori, R. Hashimoto, “Preparetion of fine particles for fabrication of flexible MO sensors”, International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2023（2023. 11）.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A30

研究課題名

光電子融合ヘテロジニアス集積技術の研究開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
北　智洋（早稲田大学先進理工学研究科）

通研対応教員：
佐藤　昭（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本年度は、早稲田大学において図 1(a)に示す二波長可変ヘテロジニアスレーザを作製した。図 1(b)に示すように差周波数約 300 GHz の二波長レーザ光を研究分担者である東北大学の評価系において UTC-PD を用いて THz 波に変換し 300 GHz 帯のサブ THz の発生と周波数スペクトルの観測に成功した。さらに約 2 GHz の連続的な周波数チューニングと約 400 GHz の離散的な周波数チューニングを実証した。シリコンフォトニクスによって作製した二波長可変フィルタの構造を改良することで二波長レーザ発振の安定化を図り、図 1(c)に示すように約 350 kHz の狭線幅なミリ波の生成に成功した。このように目標値である 500 kHz 以下の THz 波の発生を大幅に上回る狭線幅化に成功した。また、数値目標とはしていないが、シリコンフォトニクスヘテロジニアス波長可変レーザの高出力化・高効率化にも取り組み、最大 50 mW のファイバ出力と約 13%の光電変換効率が得られ、世界最高性能のヘテロジニアスレーザを実現する要素技術を確立した。本技術を二波長可変レーザに応用することで、更なる高出力・狭線幅な THz 波の発生が可能である。また、二波長可変ヘテロジニアスレーザのレーザ共振器構造には、異なるリング共振器と DBR の組み合わせによって二つの縦モードが存在している。新たに設計した二波長レーザにおいては、この二つの縦モード間隔が一定の周波数間隔すなわちレーザ共振器長が等しくなるように再設計を行った。縦モード間隔をそろえることで、ミリ波の発振線幅は 300 kHz 以下と大幅に狭窄化されることを確認した。

東北大学の評価系を用いて行ったサブ THz 波の直接観測の結果について示す。早稲田大学において開発した二波長可変レーザ及び制御系を東北大学に運搬し本研究のターゲットである、300 GHz 帯サブ THz 波を二波長可変レーザによって

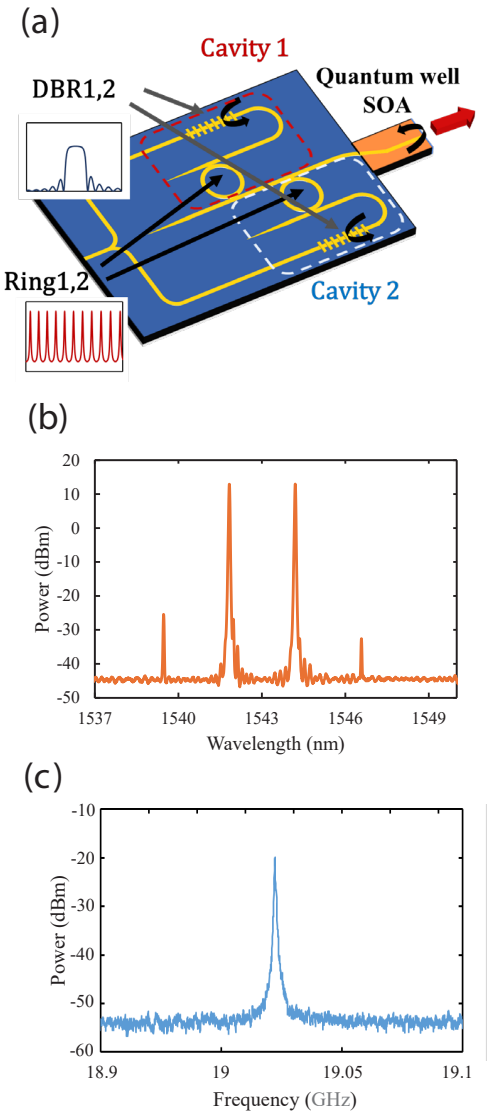


図 1(a)二波長可変レーザの構造模式図，(b)差周波数約 300 GHz の光スペクトル，(c) 二波長光から生成したミリ波スペクトル

発生する実証実験を行った。二波長可変レーザからの出力光の光周波数差を約 285 GHz に設定し、光ファイバを介して UTC-PD に入射した。UTC-PD から発生したサブ THz 波は、周波数逓倍器より発生した約 250 GHz のサブ THz 波とのミキシングによって数十 GHz のミリ波へとダウンコンバートし、スペクトラムアナライザによって発生

したミリ波を直接観察した。図 2(a)に観測されたサブ THz 波のスペクトルを示す。ここで横軸の周波数はダウンコンバートする前のサブ THz 帯の周波数に変換している。S/N 比　約 30 dB の明瞭なサブ THz 波が観測されており、二波長可変レーザを用いたサブ THz 波の生成に成功した。さらに周波数を選択している片方のリング共振器(Ring2)に印可するヒータ電力を変化させることで差周波数を変化させ、サブ THz 波の周波数を調整できることも確認した。図 2(b)にヒータ印可電力と発生したサブ THz 波の周波数の関係を示す。ヒータ投入電力によって約 2 GHz の連続的な周波数チューニングが可能な事を示した。ここで連続的な周波数チューニングの周波数範囲は、縦モード間隔によって制限されている。原理的には、リング共振器ヒータと縦モード位相ヒータの協調制御によってより広い周波数範囲でのサブ THz 波周波数チューニングが可能である。

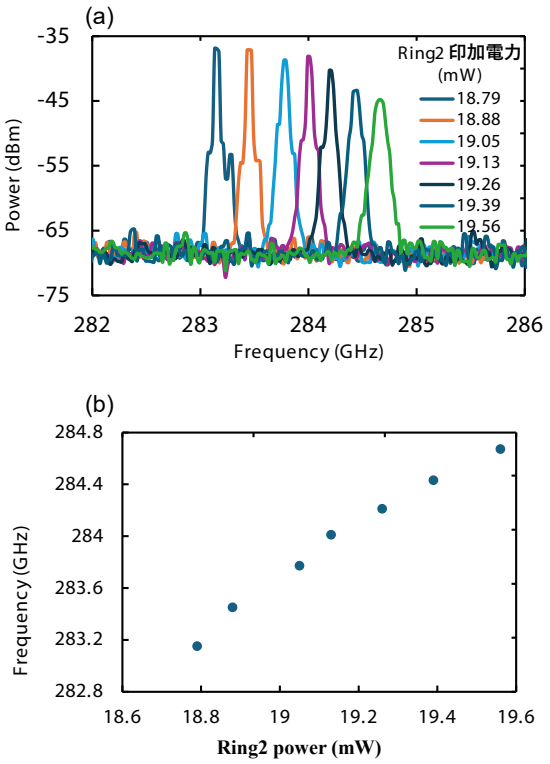


図 2 (a) UTC-PD から発生したサブ THz 波のスペクトル，(b) リング共振器ヒータ電力とサブ THz 波周波数の関係

二波長可変レーザと同一チップ上に配置した pin 接合シリコンリング共振器を用いて 1 チップでの変調波の生成を試みた。図 3 に二波長可変レーザとシリコンリング光変調器を一体集積化したヘテロジニアス THz 波トランスミッタの構造模式図を示す。本チップにおいては、リング共振器

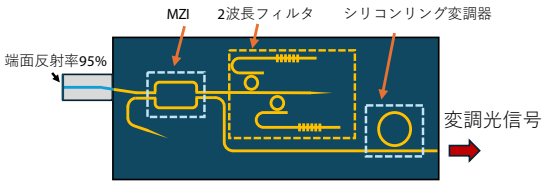


図 3　ヘテロジニアス THz 波トランスミッタの構造模式図

によって変調された変調光の強度が最大になり、かつ安定した二波長レーザ発振が可能なようにMZI によって出力光強度が最適化されている。図 4 にシリコンリング変調器を直流電圧によって制御した時の光スペクトルを示す。リング共振器 pin 接合に印可している電圧が 1.15 V の ON 状態においては、差周波数約 300 GHz に対応した明瞭な二波長レーザ光が出力されているのに対して、印可電圧約 1.05 V においては長波長側約 1540 nm のレーザ光強度が減少しており約 30 dB の非常に高い消光比で強度変調が実現されている事が確認できる。

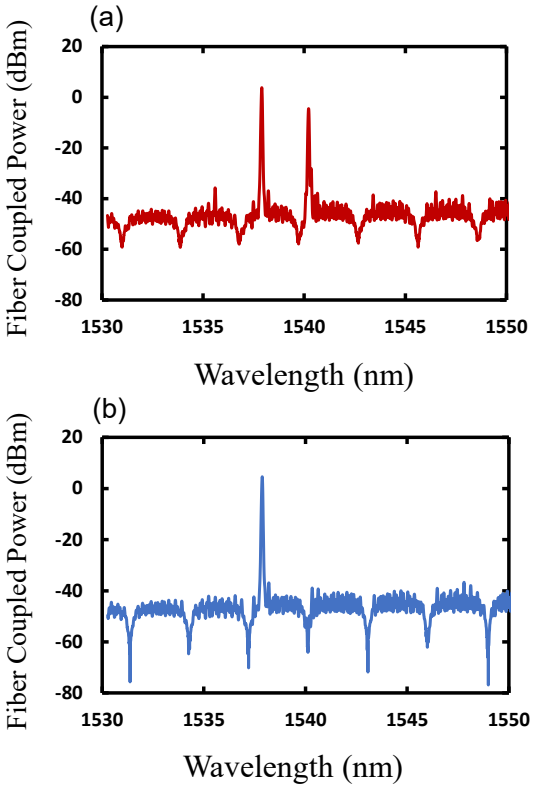
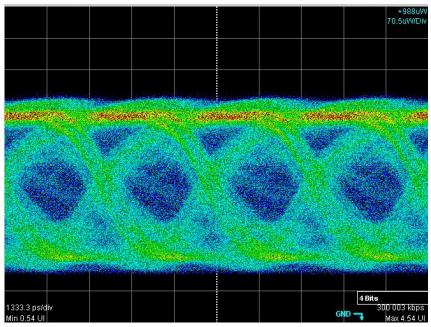


図 4 (a) ON 時(光変調器印可電圧 1.15 V)の光スペクトル，(b) OFF 時(光変調器印可電圧約 0.7V)の光スペクトル

本ヘテロジニアストランスミッタに高周波電圧を印可して計測したアイパターンを図 5 に示す。図 5(a)は 350 Mbps 変調時、図 5(b)は 500 Mbps 変調

(a)



(b)

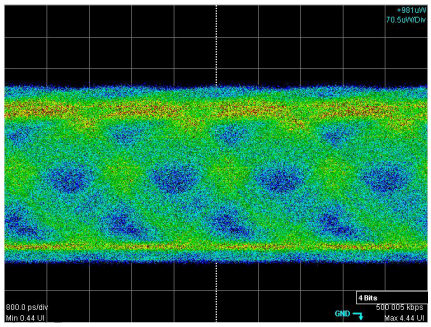


図 5 ヘテロジニアストランスミッタのアイパターン(a) 350 Mbps 変調時(b) 500 Mbps 変調時

時である。どちらのアイパターンにおいてもアイ開口はかろうじて確認できるが、直流用電極における反射の影響によって開口内のノイズが大きい事がわかる。ノイズが大きい理由は、光変調器の直流用電極による反射によって多重反射が起こり、遅れた光変調の成分が検出されているものと考えている。このようにアイパターンにおける S/N 比の低下はデバイス動作原理の本質的な問題では無く、高周波用電極の装荷によって解決できる。ヘテロジニアストランスミッタにおいても高周波プローブ用電極を装荷した構造を試作中であり、令和 6 年 9 月の完成を予定している。以上のように二波長レーザとシリコン光変調器を集積化したヘテロジニアストランスミッタにおいては 500 Mbps の変調の生成を確認し、二波長可変レーザと高速光変調器を光ファイバによって結合する事で 5 Gbps の変調波の生成に成功した。

［3］今後の研究の推進方策

令和 5 年度の研究においては、化合物半導体とシリコンフォトニクスチップのヘテロジニアス集積技術による二波長可変レーザの作製と二波長光を利用したサブ THz 波の発生、さらにシリコンフォトニクス光変調器の集積化が達成された。今後の課題は、高周波電極の利用によるヘテロジニアストランスミッタの高伝送レート化及びシリコンフォトニクスチップ上への高効率な UTC-PD の集積化技術の開発である。高伝送レート化については、高周波電極を用いた光変調器の試作を開始しており、高周波プローブの調達も進めている。UTC-PD のヘテロジニアス集積については、高効率な垂直出射型のグレーティングカプラの作製を進めている。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・ Tatsuya Yabuki and Tomohiro Kita, “Optimization of the coupling efficiency under self-injection locking in a narrow linewidth hybrid wavelength tunable laser diode”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 63, 03SP54 (2024).

本論文は、自己注入同期現象を用いたヘテロジニアス波長可変レーザの線幅制御に関する研究である。本技術を応用する事で二波長可変レーザから出力するサブ THz 波の線幅を狭窄化する事ができる。

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No.　R05/A31

Title　聴覚的注意と没入との関係研究

Discovering a relationship between auditory attention and auditory immersion

［1］Research Organization

Principal Investigator：
Sungyoung Kim (Rochester Institute of Technology)

Research Collaborator of RIEC：
Shuichi Sakamoto（RIEC）

Research Collaborator
Akira Takeuchi (RIT)
Rai Sato (KAIST)

［2］Research Period

2023, April ～ 2024, March

［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

Unveiling the mechanism of human auditory attention in a noisy environment, which is called the “Cocktail party effect” has been investigated over the century. Thanks to the development of brain activity observation technology, researchers have accumulated knowledge and methods in this research area, however, most of the research solely targets domestic listeners for brain wave measurement.

Auditory spatial attention is the major factor of the cocktail party effect. Dr. Kim’s previous research concluded that there are cultural biases in human auditory perception of spatial audio content between Asian and European/American listeners. Discussing the different patterns of spatial auditory perception across international cultural backgrounds inspired our research questions as follows:

(1) Does individual self-construal affect listeners’ Spatial Attention?
(2) Can this relationship be consequently observed in different countries?

To address this cultural trend, we designed a simple Speech-in-Noise (SiN) task for both English and Japanese to experiment with both the United States of America (USA) and Japan. Furthermore, the participants are divided into two groups by scoring their self-construal which is considered a more practical way to divide people into Asian-type (interdependent) and European/American-type (independent) personalities. We observed the listeners’ brain responses to the sound by measuring their electroencephalography (EEG). The simplification of EEG measurement is also the challenge of this research project to experiment with different countries since we already got some positive results for our research question (1) in the United States.

［4］Research Plan and Content

The experiment task is based on the Coordinate Response Measure (CRM) which asks listeners to guess what the target speech pronounces within the competing masker sound. While the target sound is played by the Left-front (L) speaker, the masker sound is played by either the Right-front (R) or the Back-center (BC) speaker randomly [Fig. 1]. The loudness of the masker sound is fixed at 70 dB SPL (sound pressure level) and the target sound has -12 or -18 dB SNR (signal-to-noise ratio) corresponding to the SPL of the target sound. Therefore, the experiment design has two independent variables, the Spatial Patterns of the masker sound (SP) and the SNRs of the target sounds, thus, there are four experiment conditions in total.

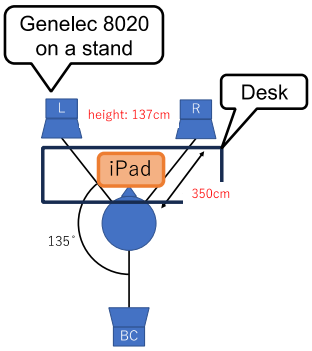


Figure 1: Experiment setting

The listeners’ EEG was recorded by using DSI-24 (Wearable Sensing) which is a wireless EEG recording headset with 24 electrode channels (we used 21 of them) [Fig. 2].

The listeners’ auditory Spatial Attention can be observed as Event-Related Response (ERP) which is the peaks aligned after the sound onset. As a task-related response, we focus on P3 ERP which appears around 250 to 400 ms after the sound onset and indicates ‘cognitive’ response. By analyzing the amplitude of P3, we observe differences between the

conditions and participants groups.

17 subjects participated in the experiment. They answered the Self-Construal Survey (SCS) after the measurement. By the result of SCS, 4 participants were classified as an independent group, 11 participants were classified as an interdependent group, and two participants were neutral.

Figure 2: DSI-24 headset

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

Fig. 3 shows the averaged EEG and P3 peaks of the Fz channel of all participants from the USA and Japan. The ERP peaks appeared much clearer when the SNR was higher (the target sound was louder). As a result of ANOVA (Analysis of Variance), the interaction between SP and SCS groups marked a significant difference ($p = 0.038$) which indicates the same result as the one only with the data from the USA participants. The simple effects analysis showed that interdependent listeners pay weaker attention to the target sound when the masker sound is played by the Right-front location.

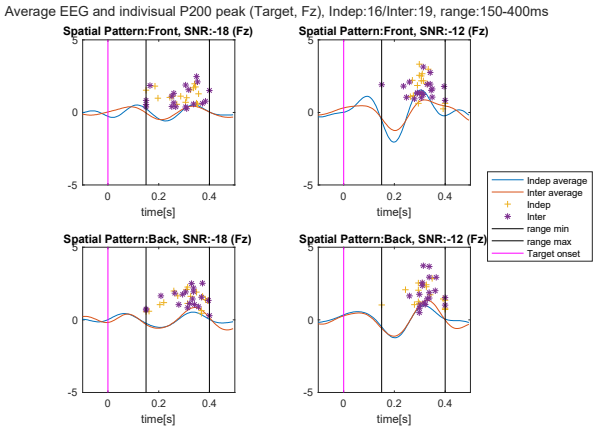


Figure 3: Averaged EEG and P3 peaks of Fz

The results indicate that the trend of auditory spatial attention within two types of Self-construal can be observed both in the USA and Japan. Also, these clear results of EEG measurement qualify this carriable EEG measurement system to measure listeners' spatial attention with an adequate quality.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

This is the cooperative research project with YAMAHA and Dr. Sakamoto's laboratory at Tohoku University motivated by the development of teleconference system microphones and speakers.

Nowadays, the demand for teleconferences has dramatically increased. Thanks to the advantage of the teleconference system which allows us to minimize the meeting space and the time to move to the meeting location, companies can schedule more numbers of the meeting flexibly. As a result of the increase in teleconference opportunities, people had to join their teleconference in the same room with others who also talked to their teleconference system, and they started suffering from sound interruptions each other. To recover this situation, this study aims to optimize the teleconference system behavior by referring the person's auditory spatial perception patterns. Since we could prove the efficiency of our research hypothesis and auditory spatial attention measurement system, the research potential would be accelerated not only in the area of spatial auditory attention but also in the wide area of human auditory perception.

[6] Summary and Future Challenges

We have completed a spatial auditory attention experiment in Japan comparable to the one conducted in the USA. The result kept the same trend even with the data mixed USA and Japan. This result indicates that the relationship between sudatory spatial attention and Self-Construal can be consistent across the two countries.

We also could get the harvest of our carriable simple EEG measurement system and experiment paradigm which performed enough quality of EEG measurement as expected. This achievement expands the possibility of international experiments and minimizes the participants' burden besides the experiment. Since the conventional EEG measurement has been hard work for both experimenters and participants, this would help to accelerate the research a lot.

However, the final goal of our project is to develop a dynamic indicator of personal spatial attention patterns, the discovery of the experiment series conducted in Tohoku University allowed us to address the mechanism of human auditory perception much closer.

As a next step of the research, we're working on a more practical situation of SiN task. By applying a machine learning-based computation method, we address the next goal of the research project to get the listener's auditory attentional information from less amount of data.

[7] Additional Works

The PI, Dr. Sungyoung Kim, conducted additional work with a graduate student, Rai Sato from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). The work scope is to measure physical responses associated with a listener's immersive

experience. In the PI's previous studies, a dummy head microphone was used at the RIEC's anechoic room. However, at the time of data collection, the unique characteristics of the speakers in each room were not considered, making it challenging to isolate and compare the pure acoustical properties of the rooms.

To address this limitation, the current visit focused on measuring the frequency response of all speakers used for the 3D music content reproduction. Additionally, music stimuli were recorded using an ambisonic microphone, enabling subjective evaluation experiments with head-tracked binaural listening systems. This effort aimed to provide more comprehensive data for a variety of listening configurations.

The measurement results show that each speaker exhibited distinct frequency characteristics, with notable differences in the high-frequency range depending on the position. This finding underscores the necessity of considering these variances in future subjective evaluation experiments.
The recent proliferation of Dolby Atmos has significantly expanded the field of 3D audio formats, offering more opportunities for people to experience these advanced sound systems. Specifically, object-based audio and multi-channel audio formats like Dolby Atmos can now be experienced binaurally through headphones, converting traditional two-channel music listening into a more immersive, three-dimensional experience.

Despite these technological advances, research on how users experience these technologies from a psychoacoustical perspective is still in the early stages. Consequently, the subjective evaluations based on the measurements conducted in this project can provide essential insights. This will equip the immersive audio field with the knowledge required to make more informed decisions, ultimately leading to more refined immersive audio designs.

【Appendix】

［Papers, Conference Presentations, and Related Achievements］

（1） List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

・Kim, S., & Howie, W. (2021). Influence of the listening environment on recognition of immersive reproduction of orchestral music sound scenes. *Journal of the Audio Engineering Society*, *69*(11), 834-848.

（2） List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・Acoustical Society of America 184th meeting in Chicago (2023 May)
Takeuchi, Akira, *et al*. "Spatial Attentional Behavior Analysis Based on Cognitive Style During Speech-in-Noise Task." *Proceedings of the Acoustical Society of America 2023 Spring Meeting.* Ed. ASA. Chicago, ML: *n.p.*

・Sato, R., Takeuchi, A., Shim, H., & Kim, S. (2023, October). Quantitative Assessment of Acoustical Attributes and Listener Preferences in Binaural Renderers. In *Audio Engineering Society Convention 155*. Audio Engineering Society.

・Acoustic Sydney (2023 December)
Akira Takeuchi, Hwan Shim, Inyong Choi, Sungyoung Kim; Measuring listeners' distraction to spatially presented masking noise conditions. *J. Acoust. Soc. Am.* 1 October 2023; 154 (4_supplement): A235‑A236.

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A32**

Title 人工知能による表情やジェスチャーを通じた非言語コミュニケーションの強化

Enhancing Non-Verbal Communication through Facial Expression and Gestures using Generative AI

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

PUNPONGSANON Parinya (Graduate School of Sciences and Engineering, Saitama University)

Research collaborator of RIEC：

KITAMURA Yoshifumi (RIEC)

[2] Summary of Research Results for the Year

This research aims to investigate the effect of generative AI for enhancing telecommunication between person-to-person and person-to-community. As shown in Figure 1, the generative AI enhances facial expression based on the context of the communication, perception, and personalization to ensure that the remote communicator understand the contexts in addition to the verbal information. In FY2023, we have conducted several user studies to understand the relationship between facial expression and emotional during remote communication. In particular, we developed emotional recognition systems through facial and speech information. For the facial images, we utilized Convolution Neural Network (CNN) by converting the facial images into feature vectors and performs the convolution operation on the images. For the speech information, we are pre-processing the speech signal into speech sequence, then estimate the prosodic features of speech sequence using Bi-

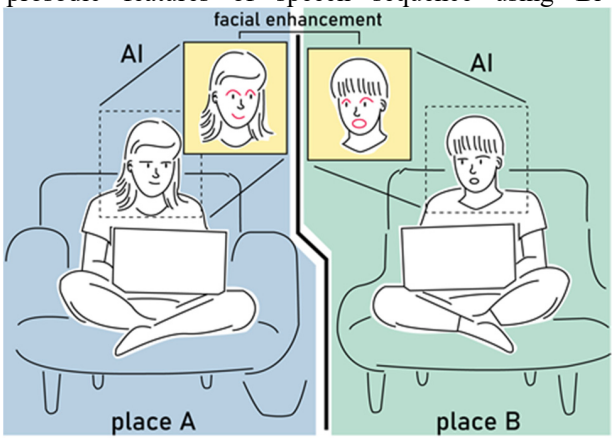


Figure 1 Users are communicating between different place (A and B) while their facial expression is enhance based on the conversation.

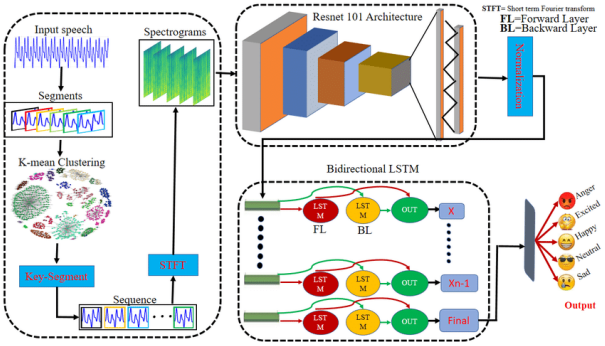


Figure 2 Framework of the emotion recognition algorithm through combination of facial and speech information.

Directional Long Short-Term Memory Network (BiLSTM). The framework of combining facial and speech information for emotional recognition is shown in Figure 2. We then conducted a closed laboratory experiment in which we recruited 15 participants to communicate between each other using the pre-scripted. During the experiment, the participants from one side (user A) are asked to perform the facial expression and using the voice tone that relates to the emotional there were believe that the pre-script has been informed. The opposite participants (user B) are asked to answer how user A emotion. The emotional recognition algorithm records the detected emotion in real-time. After the experiment, user A then asks to answer what they feel and express the emotion during the experiment. The preliminary experiment found that there were about 10% and 14% differences between the expected expression performed by user A and the answer from user B, and between user A and the algorithm, respectively. We expect to publish the initial results at the domestic conference in FY2024.

[3] Future Research Promotion Measures

In the future, we plan to improve emotional measurement by enhancing other biological features such as facial colors. Then, we will develop the facial enhancement algorithm to achieve the goal of this research. Furthermore, we plan to conduct other experiments to confirm the possibility of utilizing the enhancement of facial expression to improve non-verbal communication.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]
(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)
・Parinya Punpongsanon, Kaito Asai, Investigation on Emotional Recognition using Facial and Speech information, IEEE Access 2024 (under review).
・

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements
・None

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R05/A33**

Title

Emotion processing in real and cyber world: behavioral and neuroscience perspective

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

PERUSQUIA HERNANDEZ Monica（Division of information Science, Nara Institute of Science and Technology）

Research collaborator of RIEC：

Miao CHENG（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

1. Dr. Perusquia-Hernandez & Dr. Yabe visited RIEC on Noverber 2023.

Dr. Yabe gave a lecture introducing her research on gait patterns and mood in a work environment.

Dr. Perusquia-Hermandez, Dr. Yabe, and Dr. Cheng had a group discussion on the items below:

- New Experimental Setup: For the project aimed at identifying movement units perceived as emotions, we established the overarching framework of the experimental protocol, encompassing research methods, stimuli selection, personnel responsible for experimentation, and the experimental locations.

- Experiment Data Analysis: We refined the existing code and advanced the data analysis in the Emotion Awareness project. We offered insights into data transformations that are anticipated to enhance the analytical process.

- Networking and Collaboration: We actively participated in the ICD laboratory meeting to gain insights into various research topics within the ICD lab. Furthermore, we engaged with two students' projects focused on emotional body movement, leveraging our expertise in machine learning and affective computing. We provided guidance to the students on both research and future career planning.

Until now:
(1) We developed a research team and investigated existing literature about interpersonal communication in the cyber world and real life.
(2) We started identifying the onset and offset of movements and linked their dynamics to the onset of the perceiver's recognition of the message using Libet clocks.
(3) We selected source stimuli for affective movement and defined a method to generate intermediate steps.

2. Prof. Kitamura, Dr. Cheng, and Dr. Yabe visited NAIST in October 2023.

A workshop was held in NAIST with researchers from different universities and disciplines. These include computer scientists, psychologists, neuroscientists, and designers. Prof. Kitamura gave a keynote on Nonverbal Information to Enrich Future Telecommunication — Challenges utilizing both Cyber and Real Space, Dr. Cheng presented a talk about decoding emotion from motion. Dr. Yabe talked about Time perspective and well-being, and Dr. Perusquia discussed Embodied correlates of subjective experiences. All the participants joined a lab tour and visited several labs about human robotics, social computing, and etc. More information is available at: https://cptaw.github.io/

3. Research progress

Self-report has several limitations. The associations between neural and physiological activities and emotion are often unclear, and questions remain [1-5]:

- Are the neural and physiological activities evoked by the emergence of emotion? or

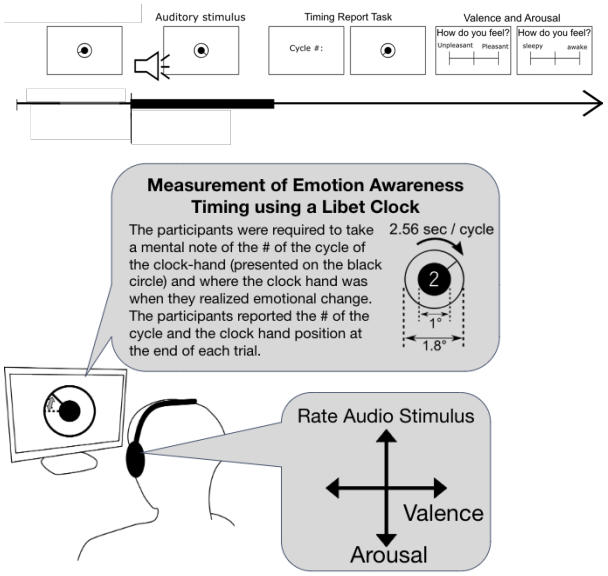
- Does the emergence of emotion trigger neural and physiological changes?
- When are we aware of the emergence of emotion?

Benjamin Libet showed that the neural activity to initiate a hand movement starts earlier than the awareness of the urge to initiate the movement [6]. Therefore, we hypothesized that

H1. The emotional neural/physiological change starts before the awareness of the change in emotion.

H2. Participants become aware of the stimuli with higher-arousal levels than the lower-arousal levels.

To investigate this, 25 healthy participants listened to emotion-evoking audio stimuli. At the same time, they looked at a Libet Clock. At the end of each trial, they reported the timing of the change of emotion by changing the positions of the line of a clock similar to the one they saw during the trial; and felt arousal and valence. Electroencephalogram (EEG), Electrocardiogram (ECG), heart rate, respiration, eye movement, and facial expressions were recorded.



Currently, we are analyzing the data with the following techniques:

- **Event-Related Analysis**: examine how specific types of emotional triggers (arousal/valence) affect bodily responses and self-reported affective experiences over time.
- **Modeling Temporal Dynamics**: apply time-series analysis & dynamic modeling approaches to explore temporal dynamics between physiological responses, neural activity, and affective self-awareness.
- **Regression, mixed-effects, or machine learning models** will be used to discover biomarkers predicting the timing of emotion awareness.

References

[1] Hao, T., Zheng, X., Wang, H., Xu, K., & Chen, S. (2022). Linear and nonlinear analyses of heart rate variability signals under mental load. Biomedical Signal Processing and Control, 77(March), 103758. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103758

[2] Hayano, J., Tanabiki, T., Iwata, S., Abe, K., & Yuda, E. (2021). Estimation of Office Worker's Emotion Types Using Two-dimensional Model Consisted of Biometric Signals. International Journal of Affective Engineering, 20(2), 105–110. https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-20-00011

[3] Jauniaux, J., Tessier, M.-H., Regueiro, S., Chouchou, F., Fortin-Côté, A., & Jackson, P. L. (2020). Emotion regulation of others' positive and negative emotions is related to distinct patterns of heart rate variability and situational empathy. PLOS ONE, 15(12), e0244427. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244427

[4] Kluger, D. S., Balestrieri, E., Busch, N. A., & Gross, J. (2021). Respiration aligns perception with neural excitability. ELife, 10, 1–19. https://doi.org/10.7554/eLife.70907[5] Ohl, S., Wohltat, C., Kliegl, R., Pollatos, O., & Engbert, R. (2016). Microsaccades Are Coupled to Heartbeat. Journal of Neuroscience, 36(4), 1237–1241. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2211-15.2016

[5] Yilmaz Balban, M., Cafaro, E., Saue-Fletcher, L., Washington, M. J., Bijanzadeh, M., Lee, A. M., Chang, E. F., & Huberman, A. D. (2021). Human Responses to Visually Evoked Threat. Current Biology, 31(3), 601-612.e3. https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.11.035

[6] Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. Brain, 106(3), 623–642. https://doi.org/10.1093/brain/106.3.623

[3] Future Research Promotion Measures

We will aim to cover the following milestones:

(1) Team built-up and theoretical approach.

(2) Identification of the onset and offset of movements and linked their dynamics to the onset of the perceiver's recognition of the message using Libet clocks.

(3) Experimental Paradigm development to generate stimuli and implement an apparatus to collect crowdsourced ratings online and offline.

(4) In 2024, we will conduct data collection and analysis on the perception of movement.

(5) The results will help design motion for communication in virtual spaces. By identifying the minimum amount of information necessary to convey a message, communication will be improved at a low

computational cost. This is advantageous for remote communication and telepresence because it reduces the delay between communication cues and their presentation at the remote site. The results will be published in international journals and conferences.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)
・Perusquía-Hernández M., Yabe Y., Cheng M., Yamagishi S., Watanabe K., and Kashino M. (2023) -------Minimum viable communication: the timing of emotional awareness. FY 2023 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects.

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements
- NA

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No. R05/A34

Title

A computational model for the gender and culture interaction effect on facial expression classification

[1]Research Organization
Principal Investigator：
Chien-Chung Chen (National Taiwan University)
Research Collaborator of RIEC：
Chia-Huei Tseng, Satoshi Shioiri (RIEC)

[2] Research Period
2023, May ～ 2024, March

[3] Purpose, Background, and Overview of the Project

To accurately convey emotion with facial expression, the observer needs to correctly decode the change of facial features. Thus, what information is acquired by the observers is important for understanding facial expression perception.

It is known that face perception depends on the ethnic background of the observer. The other-race effect (ORE) is a well-documented phenomenon in which individuals can recognize or discriminate faces of their own ethnic background compared to faces of other ethnic background (Malpass & Kravitz, 1969; Meissner & Brigham, 2001). While ORE was first discovered for face identity, there are studies showing similar effects for facial expression (Biehl et al., 1997; Ekman et al. 1969; Norwicki et al., 1998; Scherer et al. 2001). Such ORE may have a negative effect on international communications.

Facial expression perception is also influenced by the gender of the observers. For instance, the female observers perform better in discriminating or recognizing different expressions (Wingenbach, Ashwin & Brosnan, 2018; Olderbak et al, 2019; Kato & Takeda, 2017). Such gender effects interact with ORE in facial expression perception as women show an enhanced sensitivity to other-race faces (Ran et al., 2014). The purpose of this study is to quantify these race and gender effects.

[4] Research Plan and Content

Material. The Japanese faces were selected from AIST database (Fujimura & Umemura, 2018), whereas the Taiwanese faces were selected from Taiwanese Affective Stimuli Corpus (Chen et al. 2009) and the Caucasian faces, the Ekman's POFA database (Ekman & Friesen, 1976). The stimuli were front view images from each database. We used two pairs of emotions: happiness/sadness, and fear/anger. The images were morphed, or interpolated, between two opposite expressions in a pair of the same person by FantaMorph (https://www.fantamorph.com). The morphing levels were defined as the proportion of an expressive face in the morphed image. The images were then cut at the midpoint and separate into upper and lower halves. We then randomly joined the upper and lower halves from different morphing levels to create the test images.

Procedure. The experiments were conducted online under the Pavlovia (https://pavlovia.org/) environment with psychopy toolbox (https://www.psychopy.org/). Each trial started with a fixation period in which a fixation mask appeared at the center of the screen. Afterward, a face image was presented on the screen for 500ms, followed a response period, in which the participants were to indicate the facial expressions of the test image. Each image was repeated 20 times. The order of test images was randomized. We measured the probability of classifying an image to a specific expression type as a function of the morphing level of both the lower and the upper face.

Participants. Participants were 20 Taiwanese recruited on National Taiwan University, 20 Japanese recruited on Tohoku university and 20 Caucasians from North America or Europe who had been in Asia for less than 6 months at the time of experiment. The participants had no known history of neurological and psychological pathology. This study was approved by IRB of both National Taiwan University and Tohoku university. Informed consent was acquired for each participant.

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

Race effects

Angry-fearful face categorization. Overall, as shown in Figure 1, the participants tended to use upper face to distinguish angry from fearful faces: the percentage of "angry" response varied by 50-90% with the change of upper face the morphing levels but only 4 to 50% across different lower face morphing level. This effect was most pronounced for Caucasian faces as the response

curves for different lower face morphing levels are very close to each other. This effect is less significant for Taiwanese faces as their lower face morphing level has much effect of the performance of the participants.. Here, we found a race effect but not an other-race one.

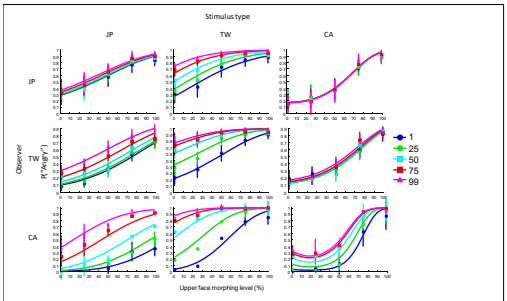


Figure 1. The percentage of identifying an image as "anger" in anger-fear classification as a function of the morphing level of the upper face. Curves in different colors denote different lower face morphing level. The left, middle and right columns show the data for Japanese, Taiwanese and Caucasian faces respective. The top, middle and bottom rows show the data from for Japanese, Taiwanese and Caucasian participants respectively. The smooth curves in each panel are fits of our model. The error bars represent 1 standard error of measurement (SEM).

Happy-sad face categorization

The participant tended to use the lower faces to categorize happy and sad faces (Figure 2). the probability of "happy" response varied at most 25% across all upper face morphing levels in each curve while the separation between curves for the lowest (blue curves) and the highest (magenta curves) lower face morphing level was easily between 50 (JP participants seeing JP faces) to 100% (CA participants seeing CA faces). Again, we found race effects here.

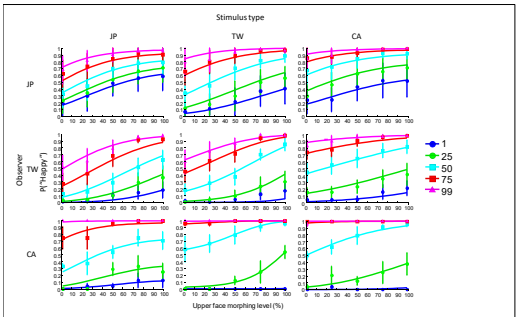


Figure 2. The percentage of identifying an image as "happiness" in happiness-sadness classification as a function of the morphing level of the upper face. Curves in different colors denote different lower face morphing level. The left, middle and right columns show the data for Japanese, Taiwanese and Caucasian faces respective. The top, middle and bottom rows show the data from for Japanese, Taiwanese and Caucasian participants respectively. The smooth curves in each panel are fits of our model. The error bars represent 1 standard error of measurement (SEM).

Gender effect:

Angry-fearful face categorization. Figure 3 shows the percentage of "anger" response for male and female faces with different ethnic background. Overall, we found the participant was more likely to classify female faces, compare with male faces, as expressing anger rather than fear ($F(1, 8173) = 1366.22$, $p < .001$). There was no significant effect of the gender of the participant ($F(1, 8173) = 1.09$, $p > .05$).

We also found a significant interaction between the ethnic background of the participants and the gender of the face stimuli: JP observers had a higher chance to classify a female face as an angry face than CA participants ($F(2, 8173) = 58.93$, $p < .001$).

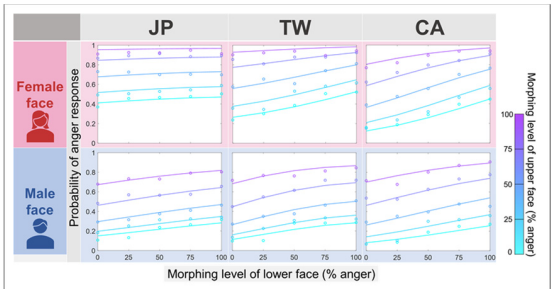


Figure 3. The percentage of identifying an image as "anger" in anger-fear classification as a function of the morphing level of the upper face for female (top row) and male (bottom row) participants. Curves in different colors denote different lower face morphing level. Curves in different colors denote different lower face morphing level. The smooth curves in each panel are fits of our model. The error bars represent 1 standard error of measurement (SEM).

Happy-sad face categorization. Figure 4 shows the percentage of classifying a face as "happy" for both male and female faces with different ethnic background. Compared with female faces, male faces were more likely to be recognized as a happy face than a sad face ($F(1, 8024) = 11.70$, $p < .001$). There was no significant effect of the gender of the participant ($F(1, 8024) = 0.12$, $p > .05$).

We also found a significant interaction between the ethnic background of the participants and the gender of the face stimuli: JP and TW participants were more likely to recognized male faces as happy whereas CA participants had an opposite effect ($F(2, 8024) = 14.87$, $p < .001$).

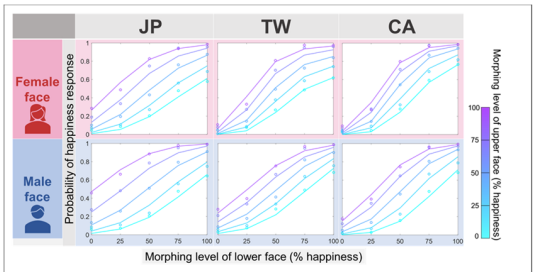


Figure 4. The percentage of identifying an image as "happy" in happy-sad face classification as a function of the morphing level of the upper face for female (top row) and male (bottom row) participants. Curves in different colors denote different lower face morphing level. Curves in different colors denote different lower face morphing level. The smooth curves in each panel are fits of our model. The error bars represent 1 standard error of measurement (SEM).

[6] Summary and Future Challenges

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. Here, we seek to quantity the effect by observing how the contributions of different face features to the facial expression discrimination are affected by the ethnic backgrounds of both the observers and the observed. The result is submitted to an international conference (European Conference on Visual Perception) and will be presented in August, 2024.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/A35

研究課題名

自律分散組織型の音環境自動認識システムの構築

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
高根 昭一 (東北文化学園大学工学部)

通研対応教員：
坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：
安倍 幸治 (秋田県立大学 システム科学技術学部)
渡邉 貫治 (秋田県立大学 システム科学技術学部)
鈴木 陽一 (東北文化学園大学工学部)

[2] 当該年度の研究実績の概要

令和5年度は，収音装置の作成とそれを用いた様々な場所での音信号の収集および収集したデータのアーカイバへの蓄積の仕組みの構築に取り組んだ．また，機械学習を基とした音のもつ空間的な情報を考慮した異常検知システムのシミュレーションを行った．

収音装置に関しては，パソコンおよびASUS社製のシングルボードのマイコンである Tinker Board を用いて開発を行った．このボードは Linux に基づく OS で動作し，これに USB 経由でコンデンサマイクロホンを接続した状態で収音を行うスクリプトを Python に基づいて作成した．同じスクリプトをパソコン上でも動作させ，正常に収音が行えることを確認した後で，Tinker Board 上での動作を試したところ，設定した録音時間が終了する前に例外エラーを起こし録音が終了してしまうという問題が生じた．収音のサンプリング周波数を変化させたり収音した信号を保持するメモリの容量を変化させたりすることで長時間(1 時間程度)の収音が可能となることがわかった．収音を行う機器(ユニット)としてマイコンは能力が不足となる可能性があり，収音装置の開発においてはハードウェアを十分に考慮する必要があることがわかった．

収音装置の開発に上記のような問題点が生じた影響で，アーカイバの構築に着手することができなかった．ただし，マイコン上の音信号ファイルを外部のコンピュータへ転送することは問題なく行えることは確認した．アーカイバと収音装置の間の通信のプロトコルについてセキュリティに配慮して決定することで，この部分の開発はスムースに進められると見込んでいる．

上に記した自律分散組織型の音環境自動認識システムの基礎となるサブシステムの構築と並行して，それを通じて得られるデータを機械学習に用いた，異常検知をふまえたシミュレーションを行った．具体的には，学習・検出のデータを共通として，異常検知のための手法を GMM (generalized Gaussian model，混合ガウス分布モデル)，AE (auto encoder，オートエンコーダー)および GAN (generative adversarial network，敵対的生成ネットワーク)の 3 手法の比較を行った．秋田県立大学システム科学技術学部のカフェテリアで収音された約 120 分のデータを収音 (サンプリング周波数：48 kHz，量子化ビット数：16)し，異常音とみなされる音を除いた収音開始から約 90 分を学習データに用いた．残りの約 30 分のデータおよび異常音として選定した 37 種類の音信号を検出用のデータとした．学習および検出に用いた特徴量は，12 次の MFCC (mel frequency cepstrum coefficients，メル周波数ケプストラム係数)，セグメントごとの実効値，その最大値と最小値の合計 15 の要素をもつベクトルとした．また，手法ごとに次のような条件で学習と検出を行った：

1. GMM
   - ベイズ情報量規準に基づきデータをセグメントに分割し，セグメントごとに学習・検出
   - 学習時：異常音ではないとして学習
   - 検出時：学習された異常音ではない分布から特徴量が統計的に有意に外れている場合に異常と判定
2. AE
   - AE の入出力の次数は 1024 (図 1)
   - 学習用データで AE を学習することで異常音ではない場合は入出力の特性は同様となることを仮定
   - 検出時：入出力が異なる場合に異常と判定

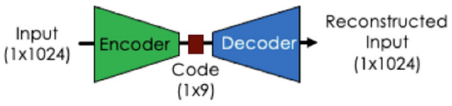


図 1 AE の概要図

3. GAN

- 学習時：Generator が雑音を入力として実信号を生成，Discriminator が学習用データと Generator の出力を比較した結果“Real”と判定するように学習を行う
- 検出時：検出用データで同様の手続きを行い，学習用データと異なるデータであれば“Fake”と判定される

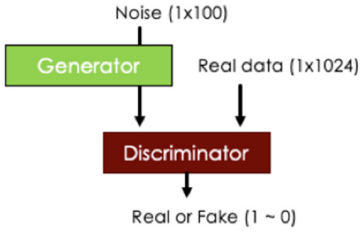


図 2 GAN の概要図

GMM はセグメントごとに，AE および GAN は設定したフレーム(1024 ポイント)ごとに異常かどうかを判定した．手法ごとのデータの規模を表 1 にまとめる．

表 1 手法ごとのデータ量の比較

	Number of anomalous sound	Number of normal sounds
GMM	69 (segments)	676 (segments)
AE	37 (sources)	84156 (frames)
GAN	37 (sources)	84156 (frames)

得られた各手法の性能を表 2 に示す．

表 2 手法ごとの異常検出の性能の比較

	Recall	Precision	F-measure
GMM	1.0	0.82	0.90
AE	1.0	0.14	0.25
GAN	0.86	1.0	0.92

“Recall”は再現率，つまり「異常」とされるデータのうち「異常」と検出した割合を表す．“Precision”は適合率，つまり「異常」と検出されたうち「異常」とされているものの割合である．F 値は，再現率と適合率から算出される検出性能の指標である．

$$F = \frac{2 \times (Recall) \times (Precision)}{(Recall) + (Precision)}$$

表 2 を見ると，GAN の適合率が他に比べると極端に低い．これは，AE では異常ではないデータを多数異常として検出したことを意味する．一方，GMM と GAN では，再現率と適合率の数値の大小がお互いに逆となっているが，F 値としては同等である．つまり，音による異常検出において，3 手法の中では GMM および GAN が比較的有効となることが示唆された．

[3] 今後の研究の推進方策

現在のところ，異常検出の手法については目途がつきつつある．ただし，その性能は対象とするデータによって異なる可能性がある．そのことからみても，本研究プロジェクトにおいて構築を行うアーカイバと収音装置との組み合わせを早急に稼働開始して，様々な TPO の音信号データを自動的に収集・蓄積するシステムを構築する必要がある．そのうち，場所に関しては一般の家庭内，公共施設内，野外など多様なところが想定できる．また，このシステムには自己相似性がある．つまり，収音装置，アーカイバには共通のソフトウェアが利用可能であり，それらの組み合わせで一式稼働開始することができれば，ハードウェアがある限り増殖することができる．また，階層化していくことも可能である．ただし，セキュリティへの配慮は必須であるため，その点では大規模化は慎重に行わなければならない．さらに，研究分担者の渡邉が提案する空間的特性を考慮したマイクロホンアレイなどの収音の導入ができれば，よりインテリジェントな収音への拡張も期待される．

上記のような見通しをもったうえで，ハードウェアを調達するべく，本研究プロジェクトを基に大型の外部資金の取得を目指したい．また，様々な環境における音の異常検出を通じて，その有効性と限界について明らかとしていきたい．

【別紙】

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- 高根昭一，安倍幸治，渡邊貫治，鈴木陽一，坂本修一，「DAGMM の機械学習に基づく日常音を対象とした自動異常検出」，東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会，2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

- 青石涼大, 安倍幸治, 西口正之, 渡邉貫治, “DAGMM を用いた生活音の異常検知システムに関する検討”, 日本音響学会秋季研究発表会, 3-P-19 (2023.9).
- Koji Abe, Ryota Aoishi, Masayuki Nishiguchi, Kanji Watanabe, “Study on Acoustic Anomaly Detection for Watching over Daily Life of Elderly People,” Proc. of the 12th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2023), 601-602 (2023.10).

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A36

研究課題名

実ネットワーク環境における輻輳制御アルゴリズムの性能評価

[1] 研究組織
研究代表者：
内海 哲史（福島大学理工学群共生システム理工学類）

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

[2]研究期間
令和 5 年 5 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
[目的] 実ネットワークにおいて、同一輻輳制御アルゴリズムによるフロー間で、極端なスループット不公平が生じる現象であるStarvationの可能性が指摘されている[1]。Starvation現象は、ネットワーク内における遅延のゆらぎ(ジッタ)に起因する。近年、5G や衛星インターネット Starlink[2]といった新規のネットワークが登場しているが、それらのネットワーク環境下においてもジッタが発生する。したがって、それらのネットワーク環境下においても、ジッタに起因するスループット低下や、Starvationのようなスループット不公平が生じるものと考えられる。本研究の目的は、公共のインターネット環境、Wi-Fiネットワーク環境、電気通信研究所に設置されているローカル5G環境および、福島大学に設置しているStarlink環境において、多様な輻輳制御アルゴリズムを性能評価し、その考察に基づいてアルゴリズムを改良することである。

[1] Venkat Arun, Mohammad Alizadeh, and Hari Balakrishnan. Starvation in end-to-end congestion control. In *SIGCOMM 2022*, 2022.
[2] Starlink, https://www.starlink.com/, 2022.

[研究集会]
- **場所：東北大学電気通信研究所**
- **日程：令和 5 年 10 月 30 日**
- **参加人数：15 名**

[4]研究計画及び内容
ジッタが生じることが想定される、ローカル5G, Starlink、公共のインターネット、Wi-Fiネットワークの環境下において、従来型のロスに基づく輻輳制御アルゴリズムであるCUBIC,輻輳に基づく輻輳制御アルゴリズムであるBBR,遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムCopaの性能評価を実施し、評価結果を考察し、その考察に基づいて輻輳制御アルゴリズムを改良する。

［5］研究成果と波及効果等
（5-1）研究成果
本研究では、インターネット上に公開されている iPerf3 Public Server リスト[3] に記載されているシドニーの iPerf3 サーバーを用いて、iPerf3 フローの平均スループットと平均 RTT を測定する。福島大学内に設置したクライアント端末からシドニーの iPerf3 サーバーに対して iPerf3 フローを送信することで実験を行った。また、パケットキャプチャツール tcpdump を用いてパケットの監視を行った。性能評価の対象とする TCP 輻輳制御アルゴリズムは Cubic, BBR, 競合モードを備えた Copa の 3 つである。Copa のパラメータ δ は 0.5 とする。1 回の実験は 1 分間とし、それぞれの輻輳制御アルゴリズム
での実験が時間帯で偏らないように、3 つの輻輳制御アルゴリズムを巡回させて 10 回ずつの計 30 回実験を行った。また、アクセス回線について Wi-Fi 接続または有線 LAN 接続のいずれかとした。クライアント端末で実行した tcpdump のパケットキャプチャログを分析することで平均スループットと平均 RTT を算出し、それらのデータをグラフにまとめる。このとき、RTT は小さく、スループットは大きいほうがよい。
図 1 に Wi-Fi 接続時の結果を示す。図 2 に有線 LAN 接続時における結果を示す。遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムである Copa が、Wi-Fi 接続時において、有線 LAN 接続時と比べ、スループットが低下しているのがわかる。これは、Wi-Fi 接続におけるジッタが影響している。

[3] Public iPerf3 servers, https://github.com/RoGGER/public-iperf3-servers

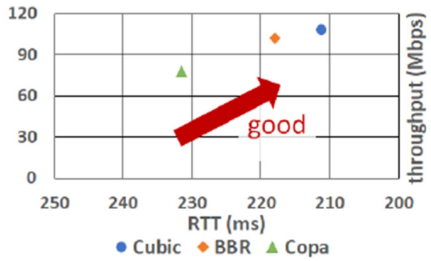


図 1: Wi-Fi 接続時.

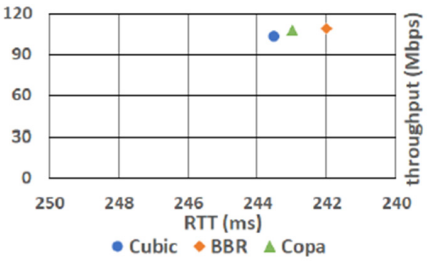


図 2: 有線 LAN 接続時.

(5-2) 波及効果と発展性等

(5-1)の実験結果の考察に基づいて開発された Wi-Fi 接続時のようなジッタが生じる環境下においてもスループットを低下させない遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムの提案及び性能評価をまとめた論文を、国際会議や論文誌に投稿する。

[6]まとめと今後の課題

Wi-Fi 接続におけるジッタの影響により、遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムのスループットが低下することを確認した。(5-1)の実験結果の考察に基づいて、Wi-Fi 接続時のようなジッタが生じる環境下においてもスループットを低下させない遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムを開発する。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・小松原 舞, 内海 哲史, ” 実インターネット環境下における輻輳制御アルゴリズムの性能評価,” 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（NS）, 北海道大学, 2023 年 11 月.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

なし

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B01

研究課題名

スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓

[1] 研究組織

研究代表者：
三浦 良雄（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：
岡林　潤　（東京大学 理学研究科）
柳原　英人（筑波大学 数理物質系）
三谷　誠司（物質・材料研究機構）
介川　裕章（物質・材料研究機構）
増田　啓介（物質・材料研究機構）
小泉　洸生（東北大学 電気通信研究所）
小田　洋平（福島工業高等専門学校）
千葉　貴裕（東北大学学際科学研究所）
芝田　悟朗（日本原子力研究開発機構）
名和　憲嗣（三重大学 工学研究科）
長浜　太郎（山口大学 工学研究科）
田中　清尚（分子科学研究所）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本共同プロジェクト研究の目的は、磁気メモリや磁気センサーなどのスピントロニクスデバイスにおいて鍵となる、電子のスピンと軌道および多極子の結合によってもたらされる新規界面物性の直観的理解を、薄膜作製・放射光によるスピン・軌道・多極子の測定・第一原理計算を融合させて議論することで得ることにある。そして、得られた知見を、新しい機能性を有する磁性スピントロニクス材料の基盤研究へと展開することにより、新しいスピントロニクスデバイスの提案に結び付ける。高度な情報社会を支えるために電気通信技術のさらなる発展が必要不可欠であり、本研究の成果はその一端を担う高速・高密度・低消費電力でかつ信頼性の高いスピントロニクスデバイスの創製に寄与することが期待できる。

[4]研究計画及び内容

そのために、それぞれの専門分野（薄膜作製・磁気物性解析・放射光解析・理論計算）の研究者が本共同プロジェクト研究に参加し、各々の研究成果を有機的に結び付けて議論を行う。2023 年度は以下の日時・内容で通研共同プロジェクト研究会を行った。

第７回通研共同プロジェクト研究会
日時：2023 年 6 月 30 日－7 月 2 日
場所：伊勢シティホテル（三重県伊勢市）
第８回通研共同プロジェクト研究会
日時：2023 年 11 月 17 日－11 月 19 日
場所：物質・材料研究機構（茨城県つくば市）
第９回通研共同プロジェクト研究会
日時：2023 年 2 月 2 日－2 月 3 日
場所：東北大学電気通信研究所（宮城県仙台市）

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

研究会において報告された、各研究分担者の研究内容は以下のとおりである。

小泉洸生(東北大)「Yafet-Kittel 構造によるプレーナーホール効果」

$NiCo_2O_4$ の欠陥サイトの Ni イオンが円錐型磁気異方性(磁化がコーン状に開く)の起源となっており、またそれはプレーナーホール効果の対称成分に対応していることが示された。また、Ni と Co の XMLD スペクトル測定を行い、ヤフェット・キッテル構造を仮定して、その磁場依存性とホール効果の対称性成分と反対称成分を対応させて議論が行われた。

千葉貴裕(東北大)「超強結合マグノン-ポラリトンの非線形ダイナミクス」

電磁波と磁性体の強結合（マグノン-ポラリトン）の実現を目指した理論研究が紹介された。共振器を用いた強結合磁気共鳴において、マグノン-ポラリトンの強結合状態を理論的に導いた。また、フォトンとマグノンの強結合振動子によって、フォトンのゲインからマグノンの発振を生じさせることを報告した。

三浦良雄(NIMS)「磁歪と磁気ダンピング定数の相関:理論計算の立場から」

$(Fe,Co)_4N$ における磁歪と内因性磁気ダンピング定数の相関に関して、理論計算の結果が報告された。磁歪と内因性磁気ダンピングがフェルミ準位付近の状態密度を介して相関があること、$(Fe,Co)_4N$ においてはコーナーサイトの縮退した Fe-Co の d(yz)-d(zx) 軌道が磁歪とダンピングの両方に寄与していることが

報告された。

三谷誠司(NIMS)「Spin-momentum locking と TMR」

ラシュバ型のスピン分裂における各 k 点でのスピンの向きが、強磁性体の影響を受けて少し傾く影響が界面では存在すること、またそのような効果が界面効果により、新しい磁気抵抗効果の発現の可能性があることが議論された。また、軌道流と熱流は共にキャリアの動きはなく「飲みたい気持ちが伝搬する」的なイメージにおいて類似性があることが提案された。

名和憲嗣(三重大)「NiO の反強磁性共鳴周波数のカチオンドープ制御」

NiO にカチオン元素をドープして反強磁性共鳴周波数を制御することを目的とした第一原理計算が紹介された。反強磁性共鳴周波数を理論的に求める手順として、(Ni,X)O における交換相互作用と結晶磁気異方性及び磁気双極子相互作用を計算する手法が紹介された。また、得られた共鳴周波数が実験とよく対応することが示された。

介川裕章(NIMS)「トンネル磁気抵抗素子の電流電圧特性はどのようなものか？」

低バリア障壁材料を用いたトンネル磁気抵抗素子の電流電圧特性に関する実験結果について議論された。低バリア障壁材料を用いた場合、Simmons モデルとの整合性が、特に高バイアス領域で不明確になること、更に第一原理計算とSimmons モデルとの整合性も明らかにする必要性があること、が議論された。

壬生 攻(名工大)

「メスバウアー分光で軌道はみえるか？」

メスバウアー分光において重要となる原子核と電子系の超微細相互作用が、ディラック方程式に原子核によるベクトルポテンシャルの項を加えることによって導かれるか、に関して議論された。すべての項が相対性理論によるディラック方程式から導かれることが示され、特にフェルミ接触項に関して、非相対性理論からの導出との違いに関して議論された。

岡林 潤(東大)「磁歪とは結局なにか？ 軌道弾性との関連について」

磁歪が軌道弾性効果として記述できることが提案された。ホイスラー合金 Co_2FeSi の磁気異方性エネルギーの歪による変化が Fe 原子の軌道磁気モーメントの異方性でよく記述できることが示された。また Fe_3Si と Fe_3Ga で大きく磁歪定数が異なることが議論され、特に Fe_3Ga では B2 構造で 3000ppm 程度の大きな磁歪が報告されていることが紹介された。

増田啓介（NIMS）「TMR 振動に対する理論アプローチ」

TMR のバリア膜厚振動現象を説明するモデル計算。Up-spin と down-spin の重ね合わせ状態を考え、スピンだけでなく、波数についても非固有状態となることで振動が現れることが説明された。これは、バリアと電極の境界条件においてトンネル波動関数を非固有状態に接続させることでバリア膜厚振動効果が現れることを示唆している。今後の課題は、実験結果との新しい対応を見出し、その振る舞いを本モデルから予言することである。

中村浩次(三重大)第一原理計算によるスピンホール／軌道ホール伝導度の計算ノウハウ」

スピンホール伝導度と軌道ホール伝導度の計算に関して紹介された。特に、W と Pt の違いに関して、Fermi エネルギーでの各バンド・k 点での軌道分解したスピンモーメントおよび軌道モーメントで、スピンホール伝導度や軌道ホール伝導度が理解できることが紹介された。

長浜太郎（山口大） 「酸化物スピントロニクス材料の開発」

パイロクロア構造の $PrIr_2O_7$ の MBE による(111)薄膜作製の実験結果について報告された。薄膜にすると歪の効果で、オールイン・オールアウトの磁気構造が生じ、低温で異常ホール効果が確認された。これは、ひずみによる空間反転対称性の破れ反強磁性秩序の出現によって内因性の異常ホール効果が生じること、また Weyl 半金属出現の可能性を示唆している。また、磁気抵抗効果についても報告された。(001)膜にすると 40%の大きな負の磁気抵抗効果が得られた。

柳原英人（筑波大）「バナジウム酸化物薄膜成長と金属絶縁体転移」

金属絶縁体転移を示すバナジウム酸化物薄膜の作製と物性について報告された。酸素の量によって VO_2 や V_2O_3 や V_4O_7 Magneli の成長が確認された。

（5-2）波及効果と発展性等

本プロジェクトにより,複数の研究機関の間での研究者交流が飛躍的に活性化した結果、**科学研究費補助金基盤研究（S）「トンネル磁気抵抗効果の新展開：軌道対称性効果の解明と新規量子デバイスの創出」（代表：三谷誠司）のプロジェクトに発展した。**基盤研究（S）では、TMR における軌道対称性の効果を解明し、真にコヒーレントな TMR の実現と制御を行うことで、数千%の TMR 比や量子コヒーレンスを利用した新規デバイスの開発を行う。基盤研究（S）を推進するために、本共同プロジェクト研究で関連の研究者間で活発に議論し、界面軌道磁気分光手法の開拓、軌道磁性体薄膜・ヘテロ構造の創製、軌道ホール効果の観測による非平衡界面軌道磁性の解明等を行う。

[6]まとめと今後の課題

本研究プロジェクトにより、新規スピントロニクスデバイス提案に向けてそれぞれの専門分野の研究者が有益な情報交換を行うことができた。今後は、さらに密な共同研究へと発展させることが課題である。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・論文

[1] Y. Miura and J. Okabayashi, “Understanding magnetocrystalline anisotropy based on orbital and quadrupole moments”, J. Phys.: Condens. Matter 34, 473001 (2022).

[2] I. Kurniawan, Y. Miura, and K. Hono, “Machine learning study of highly spin-polarized Heusler alloys at finite temperature”, Phys. Rev. Mat. 6, L091402 (2022).

[3] K. Masuda, H. Itoh, Y. Sonobe, H. Sukegawa, S. Mitani, and Y. Miura, “Band-folding-driven high tunnel magnetoresistance ratios in (111)-oriented
junctions with SrTiO3 barriers”, Phys. Rev. B 106, 134438 (2022).

[4] I. Kurniawan, Y. Miura, G. Xing, T. Tadano, K. Hono, “Theoretical study of the effect of lattice dynamics on the damping constant of FePt at finite temperature”, Phys. Rev. B 108, 094426 (2023).

[5] Y. Miura, “First-principles Studies on Spin-dependent Transport of Magnetic Junctions with Half-metallic Heusler Compounds”, J. Magn. Soc. Jpn., 47, 90 (2023).

・学会発表

[1] I. Kurniawan, Y. Miura, K. Hono, “Machine learning study of highly spin-polarized Heusler alloys at finite temperature”, The 83rd JSAP Autumn Meeting 2022 第83回応用物理学会秋季学術講演会. 2022年9月.

[2] 増田啓介, 伊藤博介, 園部義明, 介川裕章, 三谷誠司, 三浦良雄, 「SrTiO3 バリアを用いた(111)配向接合における大きなトンネル磁気抵抗効果」, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 2023年3月.

[3]

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・論文

[1] T. Scheike, Z. Wen, H. Sukegawa and S. Mitani, “Enhanced tunnel magnetoresistance in Fe/Mg4Al-Ox/Fe(001) magnetic tunnel junctions”, Appl. Phys. Lett. 120, 032404-1-4 (2022).

[2] K. Tang, Z. Wen, T. Seki, H. Sukegawa and S. Mitani, “Elemental doping and interface effects on spin-orbit torque in CoSi-based topological semimetal thin films Adv. Mater. Interfaces” 9, 2201332-1-7 (2022).

[3] T. Scheike, Z. Wen, H. Sukegawa, and S. Mitani, “631% room temperature tunnel magnetoresistance with large oscillation effect in CoFe/MgO/CoFe(001) junctions”, Appl. Phys. Lett. 122, 112404 (2023).

[4] K. Nawa, K. Hagiwara, and K. Nakamura, “Prediction-accuracy improvement of neural network to ferromagnetic multilayers by Gaussian data augmentation and ensemble learning”, Comp. Mat. Sci. 219, 112032 (2023).

[5]

・学会発表

[1] 三浦 良雄. 「機械学習を用いたスピントロニクス材料の理論設計」, 第35期CAMMフォーラム 本例会「コンピュータによる材料開発・物質設計を考える会」. 2022年8月.

[2] 増田 啓介, 只野 央将, 三浦 良雄. 「トンネル磁気抵抗効果の温度変化に対する新たな物理描像：界面 s-d 交換相互作用の重要性」, 第 46 回日本磁気学会学術講演会 2022年9月.

[3]Y. Miura and J. Okabayashi “Understanding magnetocrystalline anisotropy of distorted Fe/MgO(001) interface based on orbital and quadrupole moments” INTARMAG2023, 16th May Sendai Japan

[4] Y. Miura, “Electric Field Effects on Magnetocrystalline Anisotropy and Magnetic Damping of Fe/MgO(001) with Tetragonal Strain :An ab initio study” MRM2023/IUMRS-ICA2023, 12th December, Kyoto Japan

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B02

研究課題名

光のモード高度制御に関する研究開発

[1] 研究組織

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）

肖　何（九州大学大学院総合理工学府）

Sara Bruhier（九州大学大学院総合理工学府）

謝　禹庄（九州大学大学院総合理工学府）

川野　祐大（九州大学大学院総合理工学府）

湯　璨圭（九州大学大学院総合理工学府）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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の高度制御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、将来の国家 Pj への応募等への展開を目指すものである。この目的のため、これまでに年１回のペースで以下の通り研究会を実施した。

[4]研究計画及び内容

計画としては、光のモードに関する最新の研究成果について、九大および東北大通研双方から数件ずつ発表を行うこととした。また毎回、この分野を代表する著名な講師に招待講演を依頼することとした。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

当該研究期間中に、以下の通り研究会を企画し開催してきた。

第一回研究会　2022 年 2 月 28 日（月）

第二回研究会　2023 年 3 月 2 日（木）

第三回研究会　2024 年 2 月 21 日（水）

当該期間中は残念ながらコロナウィルス感染拡大防止の観点から、上記三回についてはすべてオンラインにて研究会を開催することとした。

特にこれまでの成果として、第一回は産総研 CongGuangwei 氏による「シリコン光集積回路における機械学習の実装」、第二回は東京大種村先生による「モード多重コヒーレント通信に向けた垂直入射型受信器」、NTT 開達郎氏による「光電融合に向けたメンブレン InP 系光デバイス」、更に第三回は北海道大学藤澤先生（2024 年 4 月より法政大学へ転籍）による「モザイク状素子による超小型光波回路」と、世界的に著名な講師による講演を実現するに至っており、活発な議論が交わされた。

また特筆すべき成果として、第三回において、「エルミートガウスパルスを用いた時間領域モード多重コヒーレント伝送」という題目で東北大通研の中沢先生からのご報告をいただいた。これまで光のモードは空間において展開することを視野に研究開発がなされてきていたが、今回の発表において、モードの概念が時間方向にも展開しうることを示唆される重要な考え方が示された。

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究では年1回の研究会を通して、光のモードに関する新たな方向性をこれまで検討してきた。当初想定していた、いわゆる空間モードを軸とした研究だけではなく、例えば以下のようなモードに関する研究発展性が確認されている。

1) 光の音響モード

光ファイバを代表例とする光導波路中には音響モードと呼ばれるモードが存在しうることが議論された。現時点ではノイズという位置づけでの研究が主体であるが、新たな見方を加えることなどで、新たな発展も期待される。

2) 光の縦モード

半導体レーザを代表例とする光導波路において、空間モード（横モード）だけではなく、縦モードの果たす役割、とくに縦モード間の干渉に起因した光子・光子共鳴が議論された。周波数領域での変調帯域に影響する現象であり、今後の展開次第では新たな高速通信用技術として発展していくことが期待される。まだ現象面での理解に不十分な点も見られ、また後述する時間方向でのモードへの発展にも繋がりなども期待される。

3) 光の横モード

通常の光導波路における横モードにとどまらず、ナノメートルオーダーでの空間モードが議論された。その一つは、導波路外にも導波光の一部が分布する空間モード、もう一つは、ナノメートル領域で高度に光が干渉して得られるモード制御である。現時点では、前者はセンシング技術、後者は今までに得られにくい新しい機能、例えば偏波モード制御（偏波回転など）や空間モードの圧縮などへの適用が検討されつつあり、今後新たな発展も期待される。

4) 時間方向のモード

光通信において、その信号形態は常に伝送容量を高揚させるテーマとして重要な視点であり、今回、新たに時間方向にもモードの概念を導入することが議論された。この概念は、伝送容量増大など光通信技術として現時点では検討されたものだが、たとえば光演算等新たな方向への展開も考えられ、今後更なる発展が期待される。

[6]まとめと今後の課題

光のモードという切り口でこれまで東北大通研と九大との間で様々な議論が展開されてきた。当初想定していた技術範囲を大きく超え、新たな学術領域としての展開の礎が見え始めてきたところである。今後のこの分野の更なる発展が大いに期待できる研究会となった。いくつか芽が出てきた新しい方向性に対しては、新たな研究分野・領域としていかに発展させていけるかが今後の課題といえる。

末筆ながら、当該研究プロジェクトの機会を頂いた東北大学通研の中沢先生、吉田先生、八坂先生をはじめとする東北大学通研の皆様に心より御礼申し上げる。

［論文、学会発表、および関連成果］
（1）成果リスト（謝辞あり）
該当なし

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

(1) Keiichiro Shoda, Xiao He, Keiichirou Koudu, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Equal input, compact optical power coupler based on a nano-pixel structure designed with machine learning,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 61, No. SK1017, 21sr Jun. 2022, DOI 10.35848/1347-4065/ac678d

(2) Shun Matsubara, Tomoya Zennouji, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Rapid automatic waveguide recognition using YOLO and OpenCV for 3D waveguide fabrication,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 61, No. SK1023, 5th Aug. 2022, DOI 10.35848/1347-4065/ac6e57

(3) Zhiyuan Fan, Yasuhiro Hinokuma, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Active multi-mode interferometer semiconductor optical amplifier on quantum dots toward high saturated output power under high temperature,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 61, No. SK1019, 23rd Jun. 2022, DOI 10.35848/1347-4065/ac6a3e

(4) Yunjie Wang, Haisong Jiang, Kiichi Hamamoto, “Space-mode compressor by using nano-pixel,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 61, No. SK1022, 19th Jul. 2022, DOI 10.35848/1347-4065/ac7b0e

(5) Yuta Shimamura, Haisong Jiang, Ryota Kuwahata, Younjin Kim, Kensei Yamauchi, Ryoma Matsuo, and Kiichi Hamamoto, “Precise asymmetric power-splitter (1.7:1) by using nano-pixel waveguide,” Electronics Letters, Vol. 59, No. 11, pp. 1-3, Mar. 2023 DOI:10.1049/ell2.12831

(6) Haisong Jiang, Yuta Shimamura, Ryota Kuwahata, Kensei Yamauchi, Ryoma Matsuo and Kiichi Hamamoto, “9:1 Asymmetric power splitter based on nano-pixel waveguide,” IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 35, No. 22, pp. 1239-1242, Nov. 2023 DOI: 10.1109/LPT.2023.3313944

(7) He Xiao, Yudai Kawano, Haisong Jiang, Kiichi Hamamoto, “The proposal of a photon–photon resonance control scheme by using an active MMI laser diode,” Photonics, Vol. 10, No. 12, pp. 1298, Nov. 2023 DOI:10.3390/photonics10121298

(8) Haisong Jiang, Yasuhiro Hinokuma, Sampad Ghosh, Ryota Kuwahata, and Kiichi Hamamoto, “Concept demonstration of 3D waveguides shuffle converter for multi-core fiber/single-mode fiber fan-in fan-out configuration toward over 1,000 port count,” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol. E104-C, No.1, pp. 34-36, January 2021

(9) Zan Hui Chen, Wenying Li, Yu Han, Leiyun Wang, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Vertical field enhancement of spot size converter with nano-pixels waveguide and window structure,” Optics Express, Vol. 29, Issue 2, pp. 2757-2768, Jan. 2021

(10) Yu Han, Zanhui Chen, Leiyun Wang, Wenying Li, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Asymmetric-ration optical power couplers based on nano-pixel structure,” OSA Continum, Vol. 4, No. 2, pp. 556-568, Feb. 2021

(11) Haisong Jiang, Mahmoud Nasef and Kiichi Hamamoto, “Spatial single dimensional mode based de-multiplexer using slab waveguide,” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol. E104-C, No. 5, pp. 164-167, May 2021

(12) 浜本貴一, 姜　海松, “Beyond 5G／6G とナノフォトニクス技術の現状と将来,” 光技術コンタクト, Vol.59, No. 7, pp. 28-35, July 2021

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B03

研究課題名

知的生産性場のモデル化と生産性向上のための計算機による介入手法の検討

[1] 研究組織
研究代表者：
伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）
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（国立中正大学（台湾））
杉浦 裕太（慶應義塾大学）
津川 翔（筑波大学）
土方 嘉徳（関西学院大学）

[2]研究期間
令和 3 年 4 月　～　令和 5 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

新たなコンテンツやイノベーション創出には集団で議論することが重要であり，これを集団の知的生産性と呼ぶ．集団の知的生産性を向上させるために，様々な手法が検討されている．我々は特にコンピュータによって集団の知的生産場の状況を取得・解析し，その生産性を向上させるように情報を提示するシステムの実現を目指し，情報工学的アプローチと，社会心理学的検証手法によって確立させることについて議論する．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的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．そのために，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．

本プロジェクトでは，年 1 回から 2 回の研究会を通研，または通研＋VR 空間のハイブリッドスタイルにより開催し，具体的な共同研究や研究費申請書の立案を目指す．日程は 2〜3 日程度とし，参加者の情報交換の場を設けるとともにワークショップ形式や，様式に依存しない自由討論形式，ハッカソン形式など，議論を深化するために有効な実施体制を採る．さらに得られた知見をメタ研究の形で発表出来るレベルを目指す．研究会においては，活発な議論のためには少人数が適当であると考えられることから，参加人数をそもそも絞るか，グループに分かれてのディスカッション方式を検討する．

本プロジェクトでは，本年度は通研にて，一回の対面合同研究会を開催した．以下，研究活動状況の概要を記す．

日時： 令和 5 年 2 月 2―3 日
参加者 伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）
伊藤 弘大（青山学院大学 理工学部）
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）

内容と議論：

本合同研究会の参加メンバーはこれまでも様々な共同研究を実施していることから，昨年度から本年度に至る各々の研究説明を実施し，CREST などの大型予算獲得に向けた共同研究の方向性やビジョンに関するディスカッションを実施した．まず，2 月 2 日には，一人 60 分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて共有を行った．青山学院大学側の伊藤らによる研究紹介では，15 件程度の研究プレゼンが実施され，電気通信研究所側の高嶋・藤田による研究紹介では ACM CHI や IEEE VR など世界トップカンファレンスに採択された研究の詳細情報が共有された．2 月 3 日には，高嶋や藤田らによって研究室の研究デモがあり，実機を交えながら様々な技術的な議論を

展開した．ディスカッションを通して，それぞれが持つ強みをベースに知的生産性に関する大型予算獲得を目指すことを確認した．

［3］研究成果と波及効果等

（3-1）研究成果

本プロジェクトは今年度が 3 年目の最終年度であり，これまでの研究会を通じ，知的生産性に関する研究の最新事例を含む，多種多様な研究者による研究情報の共有がなされた．また，企業参加者による産学連携を目指した情報共有もなされ，企業参加者が研究代表者の研究室を訪問し，共同研究実施に向けて意見交換するなど，本研究会により知的生産性の研究実施のみならず，社会実装に向けた基盤が確立されたと考えられる．

（3-2）波及効果と発展性等

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，計算機によって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．本研究プロジェクトの代表である伊藤と電気通信研究所の担当者である高嶋による科学研究費基盤研究 A の申請が採択され，2024 年度より 4 年間にわたり共同研究を実施することとなった．また，CREST などの大型予算獲得を目指すことも今年度の研究会で合意しており，今後議論を進め申請を実施する．

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・特になし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Fuma Kishi, Kodai Ito, Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh: “Recognizing object localization using acoustic markers with active acoustic sensing,” Quality and User Experience, Vol. 9, Article no. 2, 12 pages, Mar. 2024.

・Kento Nishimura, Kodai Ito, Ken Fujiwara, Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh: “Detection of nodding of interlocutors using a chair-shaped device and investigating relationship between a divergent thinking task and amount of nodding,” Quality and User Experience, Vol. 8, Article no. 10, 12 pages, Oct. 2023.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B04

研究課題名

機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開

[1] 研究組織

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)
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）
但木　大介（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

金属酸化物は、防食やガスバリアなどのコーティング素材だけではなく、ワイドギャップ半導体として、透明電極やガスセンサ、色素増感太陽電池、水素製造に利用される。これら酸化物に、ナノチューブ、ナノワイヤ、超薄膜などのナノスケールでの構造変化を与えることで、バンドギャップやキャリア濃度、移動度等の電子物性を自在に調整でき、バルクでの限界を超え、新しい機能材を創生できる可能性がある。即ち、非常に高感度なガスセンサ、太陽電池、光触媒、水素製造デバイス、高移動度トランジスタの実現が期待できる。また究極の二次元絶縁膜として知られる生体細胞膜（脂質二分子膜）と組み合わせることで、水中でも使用可能なバイオトランジスタ、人工網膜センサとしての活用も期待されている。これを実現するために、金属酸化物の合成のみならず、超 LSI 製造、ナノテクプロセス、センサ、エネルギーデバイス、表面科学、触媒、電気化学、バイオテクノロジーといった幅広い分野の研究者が協力して酸化物表面制御やナノ構造制御の革新に向けた技術目標や戦略目標を討論することが必要である。本プロジェクトでは上記討論の場を形成し、酸化物・ナノデバイスの新学術領域を創生することを目標とした。

そのために、酸化物半導体表面、ナノテクノロジー、表面科学、触媒、電気化学、バイオといった様々な分野の専門家同士での現況認識や意見交換が重要である。それらを通して酸化物表面制御技術やナノ構造制御技術のデバイス化に向けた技術目標や戦略目標を立てることが可能となる。本プロジェクトでは、研究会の開催を予定した。また国内外から広く研究者を集め討論するため、講演者 30 名、聴講者 100 名程度のシンポジウムの開催を計画した。

実際に 2024 年 3 月 5～6 日で、オンライン開催ではあったが、“14th International Workshop on Nano- structures & Nanoelectronics”を実施した。ここでは、二日間で延べ 77 人、内外国人 47 人の参加があり、発表件数も 11 件となった。プログラムは次の通りである。

2024 年 3 月 5 日開催分

1. Update on single atom co-catalysts in photocatalytic H_2 generation, Patrik Schmuki
(Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany)
2. Back-contact perovskite solar cells based on self-assembly, Teng Ma
(Beijing Institute of Technology, Beijing, China)
3. Preparation of scaffold with induced electromotive force composed of molecular nanocoils and evaluation of cell proliferation, Yoko Tatewaki
(Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo, Japan)

4. Novel strategies in single molecule and single cell screening, Alex Ivanov
(Imperial College London, London, United Kingdom)
5. Droplet nanopore microchip for single-molecule sensing, Yi-lun Ying
(Nanjing University, Nanjing, China)

2024年3月6日開催分
6. Biosensing concepts using nanoimpact electrochemistry, Bernhard Wolfrum
(Technical University of Munich, Munich, Germany)
7. Microdomain formation in lipid bilayers induced by polyunsaturated lipids and its function for membrane fusion
Ryugo Tero
(Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan)
8. Lipid bilayers as nm-thick platforms for signal transduction, Ayumi Hirano-Iwata
(Research Institute of Electrical Communication / WPI-Advanced Institute for Materials Research / Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan)
9. Anodic TiO_2 nanostructures: nanotopography matters in cell interactions, Anca Mazare
(Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany)
10. Nanothick thin film transistors for gas and UV sensing, Fumihiko Hirose
(Yamagata University, Yonezawa, Japan)
11. Coulomb-blockade-based nonlinear signal conversion in gold-nanoparticle random arrays, Yoshinao Mizugaki
(The University of Electro-Communications (UEC Tokyo), Chofu, Tokyo, Japan)

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトは、プロジェクト研究会型であるため、体制を組んだ実験を伴う研究活動は行わなかったが、一方、研究代表者の所属する山形大学では、ナノ酸化物薄膜の機能性発現のための基礎研究、さらにデバイス検証実験を並行して進めた。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

研究成果として、アルミナシリケートとシリコン酸化膜をナノ周期膜化したところ、塩化ナトリウム溶液中のNaイオンを効率的に吸着できることがわかった。今年度では、これをナノ薄膜酸化チタンのチャネル表面に用い、Na吸着および拡散によって薄膜トランジスタの増幅特性が著しく増強されることを明らかにした[1)]。この薄膜トランジスタは液晶ディスプレイのマトリクストランジスタとしての活用が期待できる。

これまで酸化物半導体の薄膜形成において原子層堆積法が用いられてきたが、このプロセスは均一で膜厚制御に優れる一方、複合酸化物の形成についてはガス分子の表面競合反応を制御しなければならなかった。研究代表者のグループでは、酸化チタンとSiO_2の複合を題材にトリメチルアルミとトリスジメチルアミノシランの競合吸着反応のモデル化を行い、混合比の自在制御を試みた[2)]。現在、この技術を活用し、可視光水素製造膜への応用を研究中である。

この他、様々な討論が行われ、特に酸化物の新機能性と光触媒、さらに脂質二分子膜に関する情報交換を基に、新しい共同研究の構想などが検討された。

(5-2) 波及効果と発展性等

今後、酸化物材料のナノ周期化による新機能発現研究をテーマにCREST等の大型プロジェクトへの展開を狙う。すでに、一部のテーマにおいて研究代表者は2023年度で基盤研究A（23H00098）に採択されており、引き続き、国際共同研究につなげて、当該テーマの新学理としての分野確立につなげていく。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトを通してテーマとした「機能酸化物」は元々の応用分野である半導体、マイクロエレクトロニクスのみならず、バイオメディカル、エネルギー製造、センサー分野などに幅広く浸透できることが明らかになった。今後、機能酸化物の製造技術を深化させて、これら広範な応用に適合させてのナノ構造を形成する技術の獲得が必要になる。今後の課題としては、非常に多岐にわたる材料選定や調整が必要であり、デジタルプラットフォーム化とAI支援連携による開発加速の仕組みをつくりあげることが重要と考える。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

1) R. Miyazawa, H. Suzuki, H. Takeda, M. Miura, B. Ahmmad, F. Hirose, J. Vac. Sci. Technol. B 42, 022213 (2024); doi: 10.1116/6.0003217
2) Haruto Suzuki, Ryo Miyazawa, Masanori Miura, Bashir Ahmmad, Fumihiko Hirose, Japanese Journal of Applied Physics, doi:10.35848/1347-4065/ad33f1

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B05

研究課題名

高次元・時空間ニューロダイナミクスとそれに基づくシステム構築への展開

[1] 研究組織

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（同志社大学研究開発推進機構）
田中　剛平（東京大学生産技術研究所）
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）
金城　光永（琉球大学工学部）
村瀬　一之（福井大学工学部）
新田　徹　（立教大学大学院
人工知能科学研究科）
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）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

高度に成熟した Si-LSI 技術に支えられ，現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で，パターン認識や学習など，フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し，脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは，パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。

ニューラルネットワーク分野の最近の動向として，時系列信号を再帰的ニューラルネットワーク（リザバー）に入力し、ニューロンの応答を観測することにより、時系列信号を識別するリザバーコンピューティングが注目を集めている。比較的少ないリソースで高次の認識処理が可能となるためエッジコンピューティングへの応用も期待されている。一方、複素ニューラルネットワークや量子ニューラルネットワークなどの高次元化ニューラルネットワークにおいても、豊かな表現能力と情報処理能力に関する研究が盛んに行われており、複素表現，四元数表現，さらにはそれらを包含するクリフォード代数表現を用いて，統括的に理解する意欲的な試みがなされている。高次元化あるいは多次元化されたこれらネットワーク上に発現する複雑ダイナミクスは、リザバーコンピューティングの本質である入力信号の高次元空間への写像機能を実現する上で有用である。

人間と環境を調和させるには，要求される情報処理を効率的かつ迅速に行うことが必要不可欠であり，そのためには、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，リザバーコンピューティングを用いたエッジコンピューティングの実現に向けて、高次元ニューラルネットワークが有する高次元・時空間ニューロダイナミクスのリザバーコンピューティングへの応用とシステム構築を目的として研究を行う。

[4]研究計画及び内容

まず，高次元ニューラルネットワークの高次元・時空間ニューロダイナミクスを力学系の理論やクリフォード代数を用いて評価する。その中で，高次元写像特性とリザバーコンピューティング情報処理能力の関係を明らかにし，時系列パターン認識の観点から見た高次元ニューラルネットワークの最適なニューロダイナミクスを明らかにする。次に，システム実現を目的として、波動物理を利用するハードウェアに依存した制限を加味した最適なニューロダイナミクスを検討し、そのために必要なハードウェアリソースを明らかにする。また、リザバーコンピューティングの具体的応用課題を検討し、システムの構成方法を明らかにする。電気通信研究所ではハードウェア構成について中

心的に研究を行う。

最終年度目にあたる本年度は、12 月 19 日に対面で研究会を開催し、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） 大塚優太 、夏秋嶺、廣瀬明（東大）
「偏波干渉合成開口レーダにおける双四元数ニューラルネットワークを用いた干渉位相の補正」
2） 小西文昴、廣瀬明、夏秋嶺（東京大学）
「等方性を持つ複素リザバーコンピューティングの 2 次元ダイナミクス解析」
3） Eckhard Hitzer（ICU）
“Inner Product of Two Oriented Points in Conformal Geometric Algebra of all Dimensions”
4） 矢田航、山田功（東工大）
“A unified treatment of two types of convex constraints applicable in the cLiGME model”
5） 黒江康明（同志社大学）
「システム学が加速するデータ駆動科学―核融合プラズマ研究への応用―」

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 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おりその利用が広がっている．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．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，四元数ニューロに基づく移動体通信で有効な偏波変調(Polarization Shift Keying: PolSK)を提案し，四元数ニューラルネットワークによって適応的にこれを復調する手法を新たに提案して、その高い性能を実証した．図 1 は，8-PolSK でポアンカレ球上に表現された偏波状態の分布例である．これを適応的に四元数ニューラルネットワークで復調する方式を提案しその優れた特性を実証した．

また，リザバーコンピューティングの物理実装に向けた検討の一貫として、超伝導体のジョセフソン伝送線路（図 2）をリザバー層に応用したリザバーコンピューティングを提案し、手書き数字画像の識別課題において、低消費電力で高精度に識別が可能であることを数値実験により確認した。さらに、アナログ CMOS スパイキングニューラルネットワーク LSI を用いたリザバー計算システムを構築し、音声認識などのタスク実装の結果からその高い電力効率を実証した。

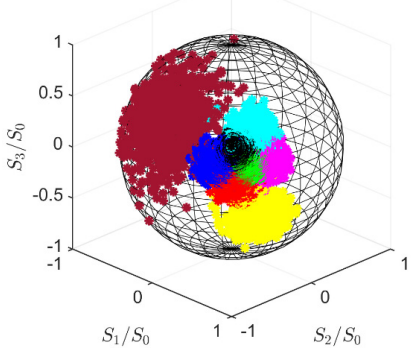


図 1　8-PolSK でポアンカレ球上に表現された偏波状態の分布例。

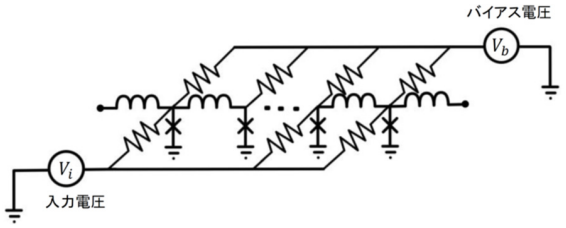


図 2 ジョセフソン伝送線路

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクト遂行により以下の成果が得られると考えられる。

・複素ニューラルネットワークにおける高次元・時空間ダイナミクス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

・リザバーコンピューティングに最適な高次元・時空間ニューロダイナミクスとシステムの構成方法

また、本プロジェクトと関連して次の国際会議の開催が予定されている。

会議名：IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI) 2024
日程：2024 年 6 月 30 日（日）－7 月 5 日（金）
場所：横浜（日本）
参加予定者数：2,500 名程度
参画者：廣瀬明（組織・実行委員長ほか）

さらに、関連学会におけるイベントとして、SICE コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会等の開催が予定されている。

[6]まとめと今後の課題

高次元・時空間ニューロダイナミクスとリザバー計算、量子ダイナミクス、情報表現、組合せ最適化のアルゴリズムなどに関して有益な知見を得た。今後、特にセンシング・イメージングリザバーコンピューティング、およびスピン波や CMOS 回路等に関連したニューラルネットワークへの展開が期待される。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・G. Joshi, R. Natsuaki, A. Hirose, “Neural-network fusion processing and inverse mapping to combine multi-sensor satellite data and analyze the prominent features,” IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS), 16, 2819 - 2840, 2023.

・T. Fukami, H. Saito, A. Hirose, “Recursive Probability Mass Function Method to Calculate Probability Distributions of Pulse-Shaped Signals,” IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E106-A, 1286-1296, 2023.

・S. Goto, R. Natsuaki, A. Hirose, “Higher-order tensor independent component analysis for MIMO remote sensing of respiration and heartbeat signals,” IEEE Trans. on Radar Systems, 1, 1-11, 2023.

・H. Chen, R. Natsuaki, A. Hirose, “Robust Symbol Detection Based on Quaternion Neural Networks in Wireless Polarization-Shift-Keying Communications,” IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems. 10.1109/TNNLS.2023.3291702

・ Y. Song, R. Natsuaki, A.Hirose, “Riemannian Quaternion Self-Organizing Map to Overcome Degree-of-Polarization Error in Polarimetric Ground Penetrating Radar,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 4503911, 2023.

・ G. Joshi, R. Natsuaki A. Hirose, “Application of Inverse Mapping for Automated Determination of Normalized Indices Useful for Land Surface Classification,” IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS), 16, 7804-7818, 2023.

・J. Kato, G. Tanaka, R. Nakane, A. Hirose, “Reconstructive Reservoir Computing for Anomaly Detection in Time-Series Signals,” IEICE Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), 15, 183-204, 2024

・T. Nitta, “Proposal of Fully Augmented Complex-Valued Neural Networks,” Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), IEICE, 14, 175-192, 2023.

・K. Watanabe, Y. Mizugaki, S. Moriya, H. Yamamoto, T. Yamashita, S. Sato, ″Numerical Study on Physical Reservoir Computing with Josephson Junctions,″ IEEE Trans. Applied Superconductivity, 34, 1700204, 2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・M. A. H. Akhand, M. A. Maria, M. A. S. Kamal, K. Murase, “Improved EEG-based emotion recognition through information enhancement in connectivity feature map,” Scientific Report, 13, 13804, 2023.

・E. Hitzer, “Quadratic Phase Quaternion Domain Fourier Transform,” in: Bin Sheng, Lei Bi, Jinman Kim, Nadia Magnenat Thalmann, Daniel Thalmann (eds), Advances in Computer Graphics. CGI 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14498. Springer, Cham, 2023.

・ E. Hitzer, M. Kamarianakis, G. Papagiannakis, P. Vašík, “Survey of New Applications of Geometric Algebra,” Mathematical Methods in the Applied Sciences/Early View, 21 pages, 2023.

・E. Hitzer, “Embedding of Octonion Fourier Transform in Geometric Algebra of R^3 and Polar Representations of Octonion Analytic Signals in Detail,” Mathematical Methods in the Applied Sciences, pp. 1-17, 2023.

・A. Sanpei, S. Masamune and Y. Kuroe, ″A Data-Assimilation Based Method for Equilibrium Reconstruction of Magnetic Fusion Plasma: Solution by Adjoint Method,″ IEEE Access, vol. 11, pp. 62639-62651, 2023.

・Y. Kuroe, H. Nakanishi and S. Kanata, ″A Sensitivity Analysis Method for a Class of Cyber-Physical Systems and Its Application to Parameter Optimization,″ IEEE Trans. Circuits and Systems I: Regular Papers, 70, 4581-4594, 2023.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B06

研究課題名

制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装

[1] 研究組織

研究代表者：
関屋大雄（千葉大学大学院情報学研究院）

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）
麻原　寛之（岡山理科大学）
高坂　拓司（中京大学）
大里　辰希（兵庫県立大学）
グエン　キエン（千葉大学）
朱　聞起　（東京理科大学）
小宮山　裕太郎　（千葉大学）
羅　煒森　（東京理科大学）
謝　寅晨　（千葉大学）

[2]研究期間

令和２年４月　～　令和５年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

マサチューセッツ工科大学(MIT)による磁界共鳴結合方式による大電力電力伝送の実機実験がブレークスルーとなり、無線給電(ワイヤレス給電)システムの研究開発が本格化してからおよそ 10 年が経過した。この間、コイルを通じて無線給電を実現する磁界結合や磁界共鳴方式の理論はほぼ体系化されたと言え、例えば MIT が発表した「共鳴させることにより長距離大電力伝送が可能になる」理由も明確に説明できるようになった。ところで、窒化ガリウム (GaN)等ワイドバンドギャップ半導体パワーデバイスの登場により、様々なパワーエレクトロニクス回路の高周波化が期待されている。無線給電もパワーエレクトロニクス回路のひとつと見ることができる。これまで車載用 EV 用に割与えられた 85 kHz 帯での研究開発がメインであったが、高周波化のトレンドの中、ISM バンド(6.78, 13.56, 27.12 MHz)に対応した高周波無線給電システムの研究開発も本格化してきている。ここで、高周波化のために、ただ既存のデバイスを GaN に置き換えて周波数を上げればいいわけでなく、パワーデバイスの特性を真に引き出すあらたな回路設計技術が求められている点に注意しなければならない

定格状態の最適設計理論が整備される中、無線給電システムの課題はパワーマネージメントシステムの構築へと移ってきた。無線給電システムにおいては、負荷(電池、モータなど)の変動はもちろんのこと、送電器と受電器の位置ずれ(コイル間の相互インダクタンスのみならず、コイル自身の自己インダクタンスにも変動が生じる)にも対応する必要がある。実システムでは、これらに対して出力(電圧または電流)を一定とすることが求められる。例えば、iPhone などで実用化されている Qi 規格では、受電器側の出力情報を送電器へ無線通信でフィードバックし、送電器側で送信電力を調整することで一定出力を実現している。ここで「無線給電の高周波化」を考えると、高周波化によって無線通信の(キャリアセンス等によるゆらぎを含む)遅延の影響が大きくなり、最適パラメータの同定に困難性をもたらす。さらに、高周波化には ZVS が必須となるため、一定出力と ZVS のふたつの制御目標を同時に補償しなければならないという新たな問題も生じ、制御システムの複雑化を招く。

本研究では、高周波で送電する無線給電システムにおける負荷変動、位置ずれに対し、制御システムなしに一定出力と高効率を達成する「無制御無線給電システム」の研究開発に取り組む。無線給電システムの高周波化に対し、制御システムの複雑化が性能向上のボトルネックとなっており、この問題に対して抜本的発想の転換を図ることを目標とする。

[4]研究計画及び内容

無線電力伝送システム研究はパワーエレクトロニクス、アンテナ、マグネティクス、マイクロエレクトロニクスなどにまたがる分野横断型研究開発分野である。上述の研究目的に対し、多様な専門性を持つ専門家が集まることにより、本研究目標を達成するための方向性を模索し、具体的技術展開へとつなげるための議論を進めた。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

まず、負荷変動および位置ずれにロバストな無線給電システムの開発を進めた。図１はその回路構成を示す。送電回路に負荷非依存技術と呼ばれる特別な動作モードを適用することで、負荷変動に対するロバスト性を獲得する。

さらに整流器の後段にポストレギュレータとして dc/dc コンバータを置くことを提案する。このポストレギュレータと受電側 LC 共振を送電周波数に対して完全共振を取ることにより、位置ずれにもロバストな無線給電を実現する。

負荷変動と位置ずれに対してロバスト性を得ることは理論解析により明らかとなる。図２に示すプロトタイプを実装し、その特性を確認した。図３にその動作波形を示す。実機実証実験において、理論と実験の定量的一致をみることができ、提案手法の有効性と理論解析の妥当性を確認した。

次のステップとして、負荷変動と位置ずれに対しロバスト性を持つ複数受電回路無線電力伝送システムを開発した。図４にその回路構成を示す。ここでは送電側に送電コイルを直列に準備し、そこに受電回路を置くことで複数受電システムを構成する。ここで、送電回路には負荷非依存インバータを適用し、受電側には完全共振フィルタおよびポストレギュレータを持つ受電回路を適用する。

ここで、送電コイルおよび受電コイルはそれぞれをすべて同じ仕様とし、量産に対応できる。このとき、本システムでは負荷を取り換えるだけで、特別な制御を必要とせず一定出力を獲得する。言い換えれば、受電回路を送電コイルの「どこか」に置くだけで、特別な制御を必要とせず必要な電力を自動的に取り出すことができる。また、前述の位置ずれに対してのロバスト性も確保できているため、「どこか」に「適当」に置けばよい。

図５に２受電無線電力伝送システムの実装回路を、図６にその動作波形を示す。実験結果から、提案システムは負荷変動および位置ずれに対してロバスト性を持ち、かつ、受電回路の設置個数に関係なく一定電圧を出力できることを確認した。また、送電回路は常にソフトスイッチングを達成することで、状況に依らず高電力伝送効率を維持できることが明らかとなった。本フェーズにおいても理論と実験の定量的一致をみることができ、提案手法の有効性と理論解析の妥当性を確認した。

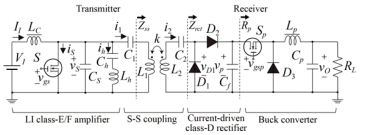


図 1:提案システム構成

図 2:実装写真

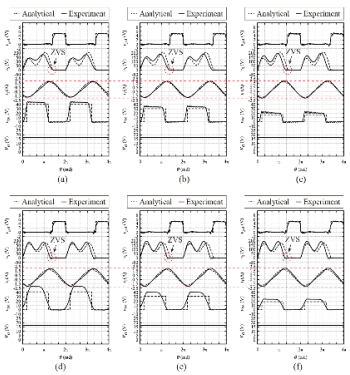


図 3:実験波形例(a)-(c)負荷変動特性(d)-(f)位置ずれ特性

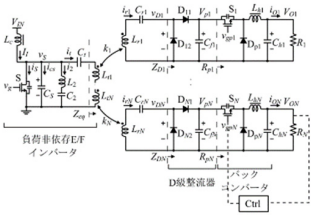


図 4:2 出力 WPT の回路構成

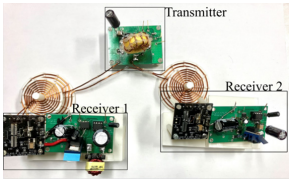


図 5:2 出力 WPT の実装写真

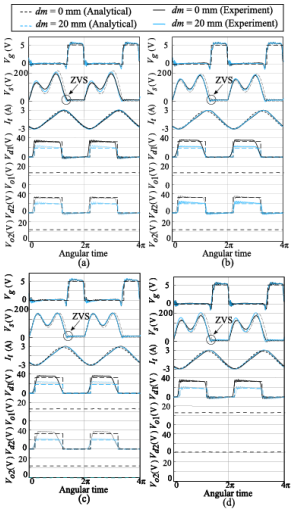


図 6:測定波形(a) 定格状態 (b) 受電機 1 が 1/10 軽負荷. (c) 両方の受電機が 1/10 軽負荷. (d)受電機 2 を受電位置から取り外した場合.

(5-2) 波及効果と発展性等

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、ロボットアームの通信/電力無線化プロジェクトの無線電力伝送システムへと展開している。また、本プロジェクトでのキーテクノロジである負荷非依存技術は理論的に体系化され、２次電池への無制御充電や電力とデータの同時伝送技術の提案へとつながり、今後の発展が期待される。

[6]まとめと今後の課題

本研究では、高周波で送電する無線給電システムにおける負荷変動、位置ずれに対する「無制御無線給電システム」の研究開発に取り組んだ。負荷非依存技術とポストレギュレータの組み合わせにより、高周波動作のもとで、負荷変動、位置ずれに対するロバスト性を獲得できることを示した。無線給電システムの高周波化に対し、制御システムの複雑化が性能向上のボトルネックとなってきたが、本研究成果はこの問題に対して抜本的発想の転換を図ることに成功した。

負荷非依存技術に関する研究成果は国際会議 ICRERA2023 においてキーノート講演者として招待されるなど、対外的注目度も高まっている。社会実装に向けて具体的アプリケーションへの適用が今後の課題となる。

［論文、学会発表、および関連成果］

関連リスト（謝辞なし）と関連成果

【原著論文】

Y. Xie, W. Zhu, Y. Komiyama, A. Komanaka, A. Konishi, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Load-independent class-E frequency multipliers," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers,DOI: 10.1109/TCSI.2024.3369649, Feb. 2024.

Y. Komiyama, A. Komanaka, W. Zhu, A. Konishi, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Analysis and design of load-independent series resonant power amplifier with constant current output and its application for WPT system," IEEE Transactions on Power Electronics, 2024., Feb. 2024.

Y. Komiyama, A. Komanaka, H. Ota, Y. Ito, T. Mishima, T. Uematsu, A. Konishi, W. Zhu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Analysis and design of high-frequency WPT system using load-independent inverter with robustness against load variations and coil misalignment," IEEE Access, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3361029, Jan. 2024.

W. Zhu, Y. Komiyama, A. Komanaka, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Analysis of load-independent ZCS parallel-resonant inverter with constant current,"
IEEE Transactions on Industrial Electronics, doi:10.1109/TIE.2023.3333019., Nov. 2023.

H. Sekiya, K. Tokano, W. Zhu, Y. Komiyama, and K. Nguyen, "Design procedure of load-independent class-E WPT systems and its application in robot arm,"
IEEE Transactions on Industrial Electronics, Nov. 2022.

Y. Komiyama, S. Matsuhashi, W. Zhu, T. Mishima, Y. Ito, T. Uematsu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Wireless power transfer system with load-independent inverse class-E oscillator," IEICE Nonlinear Theory and Its Application, vol. E13-N, no.2, pp.465-470, Apr. 2022.

A. Komanaka, W. Zhu, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Load-independent inverse class-E ZVS inverter and its application to wireless power transfer systems," IET Power Electronics, pp.1-15, Mar. 2022.

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, vol.69, no.1, pp.347-356 , Jan. 2022.

Y. Komiyama, S. Matsuhashi, W. Zhu, T. Mishima, Y. Ito, T. Uematsu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Frequency-modulation controlled load-independent class-E inverter," IEEE Access, vol.9, pp.144600-144613, Nov. 2021.

【学会発表】

W. Zhu, A. Komanaka, Y. Komiyama, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Reconfigurable class-E/EF load-independent inverter with CC-CV output," IEEE Energy Convers. Congr. Expo. (ECCE), pp.2307-2312, Oct. 2023.

H. Wang, Y. Komiyama, X. Wei, A. Konishi, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Load-Independent High-Frequency WPT System for Multiple Receivers With Single Transmitter," The 49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2023), Oct. 2023.

A. Konishi, K. Onodera, Y. Komiyama, X. Wei, K. Nguyen, H. Sekiya, "Load-independent multiple output WPT system with fixed coupling coils," The 20th International SoC Conference (ISOCC 2023), Aug. 2023.

J. Yan, W. Zhu, A. Konishi, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Design of high-frequency CC/CV output load-independent WPT system," 12th International conference on renewable energy research and appications(ICRERA2023), Aug. 2023.

Y. komiyama, W. Zhu, A. Komanaka, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Self-tuned series resonant power oscillator with load-independent operation," 2023 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2023), pp.1-5, May 2023.

Y. Xie, W. Zhu,Y. Komiyama, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Analysis and design of push-pull load-independent class-E frequency tripler," 2023 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'23), Mar. 2023.

Y. Komiyama, W. Zhu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Load-independent constant-current/zero-current switching inverter with series resonant filter," 2023 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp.490-494, Mar. 2023.

Y. Komiyama, S. Matsuhashi, W. Zhu, K. Nguyen, T. Uematsu, Y. Ito, T. Mishima, and H. Sekiya, "Wireless Power Transfer System with Load-Independent Inverse Class-E Oscillator," The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW2021), p.39, Dec. 2021.

Y. Komiyama, S. Matsuhashi, W. Zhu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Load-independent inverse class-E oscillator with Armstrong-Oscillator based topology," The 18th International SoC Design Conference (ISOCC 2021), pp.175-176, Oct. 2021

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B07

研究課題名

アフターコロナ時代の適応型ワークスペースに関する研究

[1] 研究組織

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
藤田 和之（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）
大西 悠貴（シンガポールマネジメント大学）
市野 順子（東京都市大学 メディア情報学科）
伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）
松島 咲季子（Learning Design Lab.）
髙原 良（株式会社 TATAMI）

[2]研究期間

令和 3 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本プロジェクトの目的は，アフターコロナ時代の新たな生活様式が求められる今後に向けて，未来のオフィス・作業環境のあり方を模索するため，インタラクティブな作業空間に求められるべき要素に関する知見を集めること，および，空間ユーザインタフェース実現のための研究コミュニティを構築することである．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す．

本プロジェクトに関わる研究会は，前身となる共同プロジェクト「人と空間と情報技術」「未来型オフィス空間とインタラクション」から引き続き 13 年目である．本年度は，日程調整の都合で，研究メンバーを集めた研究会は実施できなかったが，分担者個別でのミーティングを実施した．また，本プロジェクトで議論されてきた内容をまとめた総説論文が 採択[1]されるなどの成果が挙がった．

[4]研究計画及び内容

本年度は，研究分担者らと個別でのミーティング・意見交換を実施した．2024 年 1 月 11 日には，大西氏（シンガポールマネジメント大）と通研でミーティングし，ロボットパーティションの形状・形態変化やインタラクション設計について意見交換した．2024 年 2 月 2 日には，伊藤先生（青山学院大）らと通研でミーティングし，近年の互いの研究テーマについて情報共有し，今後の空間ユーザインタフェースに求められる要素や方向性について議論した．2024 年 2 月 9 日には，松島氏（Learning Design Lab.）とオンラインでミーティングし，教育（特に学童保育）の空間における現場の状況やその使われ方，空間設計における課題を伺い，そこから空間ユーザインタフェースが担うべき要素について議論した．

加えて，本年度では研究代表者を中心に，本プロジェクトで議論されてきた空間ユーザインタフェースの先行研究や今後の方向性について，総説論文としてまとめた．これが Springer 社の国際ジャーナル Quality and User Experience に採択された[1].

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

2024 年 8 月に刊行した総説論文[1]では，作業空間全体，またはその構成要素にコンピュータを統合し，それらが物理的またはバーチャルに人とインタラクションすることにより適応的に人の活動を支援する研究の枠組みを「Human-Workspace Interaction（HWI）」と呼び，この枠組みに基づいて過去の研究の取り組みを体系化した．具体的には，50 件以上に及ぶ先行研究を，構成要素の種類，研究アプローチ，インタラクションの対象，目的の 4 つの観点から分類し，各分類における HWI 研究の利点と限界を明らかにした．そして，アフターコロナ社会における HWI のさらなる発展に向け，今後の研究指針をまとめた．詳細は論文[1]を参照されたい．

（5-2）波及効果と発展性等

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．アフターコロナ時代の働き方を考えるというテーマであるため，今後の発展性や社会的なニーズも大きいと考えられる．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．

また，本プロジェクトは特別支援（産学）を受けたものであるが，この支援により，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．

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトは，アフターコロナ時代の働き方を踏まえた空間ユーザインタフェースのあり方について，研究分担者らとの間で議論を重ね，一定の成果を挙げることができた．今後も研究分野自体のさらなる発展や共同研究の活性化に向けた取り組みを続けていく．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

1. Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura, Human-Workspace Interaction: prior research efforts and future challenges for supporting knowledge workers, *Quality and User Experience*, Vol. 8, Article no. 7, Aug. 2023.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B08

研究課題名

進化計算の機械学習への適用に関する研究

[1] 研究組織

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 善彦（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）
中野 秀洋（東京都市大学）
進藤 卓也（日本工業大学）
山仲 芳和（宇都宮大学）
佐々木 智志（湘南工科大学）
黒川 弘章（東京工科大学）
松浦 隆文（日本工業大学）
齋藤　吏（東京都市大学大学院）
中里　悠介（東京都市大学大学院）
元木　竜平（東京都市大学大学院）
泉　諒音（東京都市大学大学院）
岡本　紗季（東京都市大学大学院）
代　美月（東京都市大学大学院）
髙橋　知里（東京都市大学大学院）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

近年、機械学習、特に深層学習が非常に注目を集めている。深層学習では、多層ニューラルネットワークを用いて、大量の入出力教師データからシステムのパラメータを自動で決定する。しかし、多層ニューラルネットワークで用いられる損失関数は非凸関数であるため、勾配法に基づく学習では最適解に到達することが困難である。一方、Black-box 最適化問題において、進化計算に基づく最適化手法が注目されている。本研究計画では、進化計算の解析結果を基に、より効率的かつ効果的な機械学習システムの開発およびその応用に関する研究を実施することを目的とした。

本研究プロジェクトでは、非線形力学系解析、非線形最適化、人工ニューラルネットワークの研究者を研究分担者として参画し、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いる。また、大規模なシミュレーションを実施するため、東京都市大学神野研究室の大学院生、学部生も研究分担者として参画した。進捗状況の情報交換のため、東北大学電気通信研究所において研究会を開催する計画を立てた。

令和３年４月から令和６年３月までの3年間に3回東北大学電気通信研究所にて以下に詳細を述べるように研究集会を実施し、それぞれの研究の進捗状況、またこれからの研究の方向性について議論を重ねた。

2022 年 2 月 26 日、27 日の両日に「【R02/A31】非線形複雑システムの構成論的研究と理 への展開」「【R03/B06】制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」「【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究」の３つの共同プロジェクト研究と非線形ワークショップ合同の「東北大学電気通信研究所共同 PJ 研究，非線形 WS 合同研究会」として研究会を実施した。本研究会は 13 件のオーラル発表、25 件のポスター発表が行われ、延べ 50 名の参加者で活発な議論が行われた。

2022 年 11 月 4 日から 11 月 6 日の 3 日間「【R02/A31】非線形複雑システムの構成論的研究と理 への展開」「【R03/B06】制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」「【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究」の３つの共同プロジェクト研究と非線形ワークショップ合同の「東北大学電気通信研究所共同 PJ 研究，非線形 WS 合同研究会」として研究会をハイブリッドで実施した。本研究会は 15 件のオーラル発表、29 件のポスター発表が行われ、3 日間で延べ 148 名の参加者で活発な議論が行われた。

2024 年 3 月 10 日、11 日の両日に「【R05/A19】非線形複雑システム理論の時空間システムへの展開と応用」「【R03/B06】制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」

「【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究」「【R05/B13】神経回路網における記憶と学習に関する理論的研究」の 4 つの共同プロジェクトと線形ワークショップ合同の「東北大学電気通信研究所共同 PJ 研究，非線形 WS 合同研究会」として研究会を実施した。本研究会は 7 件のオーラル発表、25 件のポスター発表が行われ、2 日間で延べ 98 名の参加者で活発な議論が行われた。

[4]研究計画及び内容

近年、機械学習、特に深層学習に関する研究が盛んに行われている。機械学習では、パラメータの学習が重要であり、主に損失関数の勾配を基にした勾配法が用いられる。しかし、損失関数が多峰性関数である場合、勾配法では局所解に陥りやすく、解探索に時間を要することがある。正則化技術などの手法が提案されているが、これらは確率的に局所解に拘束され難くするものであり、局所解からの脱出に関しては未知数である。

一方、Black-box 最適化問題において、進化計算に基づく最適化手法が注目されている。進化計算では、複数のエージェントが勾配法とは異なる方法で解空間を探索し、互いに情報を交換しながら最適解を求める。進化計算には確率要素が含まれるため、その解探索能力を定量的に測ることは困難であった。しかし、我々は進化計算の確率的要素を排除し、力学系理論に基づいて解探索能力を解析してきた。

本研究計画の目的は、進化計算の解析結果を基に、機械学習アルゴリズムに進化計算を適用することで、より効率的かつ効果的な機械学習システムの開発とその応用に関する研究を実施することである。非線形力学系、最適化アルゴリズム、機械学習アルゴリズムに関する深い知識を持つ研究者が集まり、各自の研究結果を発表・議論することで、今後の展開を模索した。

本研究計画では、機械学習における局所解問題を解決するために、進化計算に基づく最適化手法に着目し、その解析結果を機械学習アルゴリズムに適用することで、より効率的かつ効果的な機械学習システムの開発を目指す。研究者間の議論を通じて、新たな知見を得ることで、機械学習分野の発展に貢献することを期待した。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本研究プロジェクトでは

1．進化計算を機械学習アルゴリズムに適用することでより効果的な機械学習アルゴリズムを開発した。
2．機械学習アルゴリズムにおいて潜在変数の役割を明確にするとともにそれらを解析した結果を基にシステムの効率の改善を図った
3．機械学習アルゴリズムを用いた応用例について検討した。

以上の成果はプロジェクト 3 年間において、原著論文 18 件、国際会議論文 27 件、国内口頭発表 96 件にまとめて公表した。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトでの研究成果は信号処理学会が主催し、2022 年 2 月 28 日から 3 月 2 日にオンラインで開催された国際会議 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2022 (NCSP2022) において Special Session「Swarm and Evolutionary Optimization」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。また 2023 年 9 月 26 日から 29 日にイタリアでの開催された『2023 年非線形理論とその応用に関する国際会議』(NOLTA 2023)にてスペシャルセッション、さらに 2024 年 5 月 19 日から 5 月 22 日にシンガポールで開催された IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2024)にてスペシャルセッション「Innovations in Computational Intelligence: Studies on Structures, Detection」を実施した。このような企画を来年度以降も実施予定である。

[6]まとめと今後の課題

進化計算を機械学習に適用し、従来よりも効率的な機械学習システムの開発とその応用について検討を行った。特に非線形力学系理論に基づいた最適化アルゴリズムを用いた機械学習システムの開発など複数分野に跨る研究成果が得られた。

このようなアプローチは処理する対象が大規模化するにつれて重要度が増加しており、今後とも継続的に研究を進める必要がある。一方で大規模かに伴い、計算量の増加が著しく大きくなってきている。計算量を抑えたより効率的な計算手法の開発が今後の課題である。

［論文、学会発表、および関連成果］
(1) 成果リスト（謝辞あり）

論文：
[1] Kenya Jin'no, "Analysis of particle swarm optimization by dynamical systems theory," NOLTA, IEICE, vol. 12, no. 2 pp. 118-132, April, 2021. (DOI: 10.1587/nolta.12.118)
[2] 神野 健哉, "力学系理論に基づく粒子群最適化法の解析" 電子情報通信学会 Fundamentals Review,
vol. 15 no. 2, pp. 70-79, October 2021. (DOI: 10.1587/essfr.15.2_70)
[3] Taichi Fukawa, Kenya Jin'no, "Noise Reduction Method Focusing on Spectral Envelopment and Fine Structure of Speech," Journal of Signal Processing, vol. 25, no. 6, pp. 233-237, November 2021. (DOI: 10.2299/jsp.25.233)
[4] Ryuhei Motoki, Kenya Jin'no, "Estimating label of data using Fisher Criterion," NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
[5] Masanao Yasumuro, Kenya Jin'no, "Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe," NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
[6] Tsukasa Saito, Kenya Jin'no, "Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis Reservoir Computing" NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
[7] Taichi Fukawa, Kenya Jin'no, "Evaluation of the Effect of Phoneme Time Stretching on Speaker Embedding" NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
[8] Takumi Genka, Kenya Jin'no, "Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN" NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
[9] Ryuhei Motoki, Kenya Jin'no, "Estimating label of data using Fisher Criterion", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 252-257, DOI: 10.1587/nolta.13.252, 2022.
[10] Masanao Yasumuro, Kenya Jin'no, "Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp.288-293, DOI: 10.1587/nolta.13.288, 2022.
[11] Tsukasa Saito, Kenya Jin'no, "Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis Reservoir Computing", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 258-263, DOI: 10.1587/nolta.13.258, 2022.
[12] Taichi Fukawa, Kenya Jin'no, "Evaluation of the Effect of Phoneme Time Stretching on Speaker Embedding", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 277-281, DOI: 10.1587/nolta.13.277, 2022.
[13] Takumi Genka, Kenya Jin'no, "Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 282-287, DOI: 10.1587/nolta.13.282, 2022.
[14] Riku Takato, Kenya Jin'no, "Learning a simple multilayer perceptron with PSO", NOLTA, IEICE, vol. 14, no. 2, pp. 500-507, April, 2023. (DOI: 10.1587/nolta.14.500)
[15] Masato Izumi, Kenya Jin'no, "Feature analysis of sentence vectors by image generation model using Sentence-BERT", NOLTA, IEICE, vol. 14, no. 2, pp. 508-519, April, 2023. (DOI: 10.1587/nolta.14.508)
[16] Chisato Takahashi, Kenya Jin'no, "Zero-shot evaluation index based on robustness of CNN output" Journal of Signal Processing, Vol. 27, No. 4, pp. 65-68, July, 2023. (DOI: 10.2299/jsp.27.65)
[17] Kenya Jin'no, Masato Izumi, Saki Okamoto, Mizuki Dai, Chisato Takahashi, Tatsuro Inami, "Fundamental Considerations on Representation Learning for Multimodal Processing". Human Interface and the Management of Information, LNCS14015, pp. 389-399, July, 2023. Springer (DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35132-7_29)
[18] Saki Okamoto, Kenya Jin'no, "A study on the role of latent variables in the encoder-decoder model using image datasets", NOLTA, IEICE, vol. 14, no. 4, pp. 652-676, October, 2023. (DOI: 10.1587/nolta.14.652)

国際会議：
[1] Tsukasa Saito, Kenya Jin'no, "Ability to generate output series for Hysteresis Reservoir Computing," IEEE The 18th International SoC Conference (ISOCC 2021) , pp. 179-180, On-line, 2021. 10. 6-9.
[2] Riku Takato, Kenya Jin'no, "A considerations for the solution search capability of PSO with micro fluctuations," IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop

(NLSW 2021) , NLSW-29, On-line, 2021. 12. 6-8.
[3] Ryuhei Motoki, Kenya Jin'no, "Estimating label of data using Fisher Criterion," IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021) , NLSW-60, On-line, 2021. 12. 6-8.
[4] Masanao Yasumuro, Kenya Jin'no, "Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe," IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021) , NLSW-44, On-line, 2021. 12. 6-8.
[5] Tsukasa Saito, Kenya Jin'no, "Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis Reservoir Computing," IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021) , NLSW-25, On-line, 2021. 12. 6-8.
[6] Taichi Fukawa, Kenya Jin'no, "Evaluation of the Effect of Phoneme Time Stretching on Speaker Embedding," IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021) , NLSW-51, On-line, 2021. 12. 6-8.
[7] Takumi Genka, Kenya Jin'no, "Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN," IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021) , NLSW-59, On-line, 2021. 12. 6-8.
[8] Riku Takato, Kenya Jin'no, "Training Multilayer Neural Networks with PSO," 2022 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2022), pp. 177-180, On-line, 2022. 2. 28- 3.2.
[9] Yusuke Nakazato, Kenya Jin'no, "Emergence of the Boid Swarm," 2022 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2022), pp. 181-184, On-line, 2022. 2. 28- 3.2
[10] Ryuhei Motoki, Kenya Jin'no, "Label Estimation of Data Using the Modified Fisher Criterion", 2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2022), pp. 1694-1699, Prague, Czech Republic, 2022. 10. 9-12. (DOI: 10.1109/SMC53654.2022.9945463)
[11] Masato Izumi, Kenya Jin'no, "Investigation of the Influence of Datasets on Image Generation Using Sentence-BERT", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 252-255, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.B1L-E-03)
[12] Mizuki Dai, Kenya Jin'no, "Toward the realization of lightweight CNN", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 301-304, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.B2L-E-04)
[13] Saki Okamoto, Kenya Jin'no, "Feature of Latent Variables in Rotational Transformation of Face Images by U-Net", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 256-259, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.B1L-E-04)
[14] Riku Takato, Kenya Jin'no, "Learning a simple multilayer perceptron with PSO", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 470-473, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-01)
[15] Yusuke Nakazato, Kenya Jin'no, "Finding the minimum value of a function using the emergence phenomenon of Boids", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 474-477, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-02)
[16] Chisato Takahashi, Kenya Jin'no, "Proposal of a new zero-shot evaluation index for simple CNN", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 478-481, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-03)
[17] Saki Okamoto, Kenya Jin'no, "A Study of the Role of Latent Variables Using Three-Dimensional Shapes", 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2023), pp. 466-469, Alamoana Hotel, Honolulu, Hawaii, 2023. 2. 28 - 3. 3.
[18] Chisato Takahashi, Kenya Jin'no, "Zero-shot evaluation index based on robustness of CNN output", 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2023), pp. 462-465, Alamoana Hotel, Honolulu, Hawaii, 2023. 2. 28 - 3. 3.
[19] Kenya Jin'no, Masato Izumi, Saki Okamoto, Mizuki Dai, Chisato Takahashi, Tatsuro Inami, "Fundamental Considerations on Representation Learning for Multimodal Processing", HCI International 2023, 25TH

International Conference on Human-Computer Interaction (HCII2023), LNCS, vol. 14015, HCII 2023: Human Interface and the Management of Information, pp. 389-399, AC Bella Sky Hotel and Bella Center, Copenhagen, Denmark, 23-28 July 2023.
[20] Tatsuro Inami, Kenya Jin'no, "Verification of Subnetworks in the Lottery Hypothesis Using Auto Encoders", The 1st Symposium on Tokyo and Bangkok ICT Fusion (Gateway2023), TS1-3, Tokyo City University, Japan, 25 July, 2023.
[21] Haruki Wakasa, Kenya Jin'no, "Investigation on the Partition Feature Extraction of Images through Contrastive Learning", The 1st Symposium on Tokyo and Bangkok ICT Fusion (Gateway2023), TS1-4, Tokyo City University, Japan, 25 July, 2023.
[22] Sora Togawa, Kenya Jin'no, "Investigation on the Connection between Focus Area and Kernel Size in CNN for Image Classification", The 1st Symposium on Tokyo and Bangkok ICT Fusion (Gateway2023), TS3-3, Tokyo City University, Japan, 25 July, 2023.
[23] Kenya Jin'no, "A Consideration of Information Education with Python", 2023 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2023), pp.659-662, Cittadella Campus of the University of Catania, Catania, Italy, Sep. 26-29, 2023. DOI:10.34385/proc.76.D1L-21
[24] Mizuki Dai, Kenya Jin'no, "Predicting Classification Performance of Convolutional Neural Networks", 2023 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2023), pp.671-674, Cittadella Campus of the University of Catania, Catania, Italy, Sep. 26-29, 2023. DOI:10.34385/proc.76.D1L-24
[25] Saki Okamoto, Kenya Jin'no, "Recognition of Shape in Rotation Transformations of Stereoscopic Images", 2023 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2023), pp.455-458, Cittadella Campus of the University of Catania, Catania, Italy, Sep. 26-29, 2023. DOI:10.34385/proc.76.C2L-14
[26] Masato Izumi, Kenya Jin'no, "Investigation of relationships within the latent variable space of Sentence-BERT sentence vectors", 2023 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2023), pp.451-454, Cittadella Campus of the University of Catania, Catania, Italy, Sep. 26-29, 2023. DOI:10.34385/proc.76.C2L-13
[27] Sora Togawa, Kenya Jin'no, "Investigation on the features extracted by CNN kernels from images", 2023 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2023), pp.513-516, Cittadella Campus of the University of Catania, Catania, Italy, Sep. 26-29, 2023. DOI:10.34385/proc.76.C3L-12

国内口頭発表：

[1] 元木 竜平, 神野 健哉, "SVMを用いたFew-shot Learningの試み", 2021年度 NOLTAソサイエティ大会, NLS-11 (オンライン, 2021. 6.12)
[2] 布川 大知, 神野 健哉, "音素の時間伸縮による話者埋め込みへの影響の実験的評価", 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, A-8-5 (On-line, 2021. 9. 14-17)
[3] 源河 拓巳, 神野 健哉, "連続時間ヒステリシスニューラルネットの計算量の検討", 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, N-1-8 (On-line, 2021. 9. 14-17)
[4] 齋藤 吏, 神野 健哉, "ヒステリシスリザバー素子の時定数が与える影響", 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, N-1-9 (On-line, 2021. 9. 14-17)
[5] 元木 竜平, 神野 健哉, "SVMを用いたラベルなしデータの分類", 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, N-1-10 (On-line, 2021. 9. 14-17)
[6] 高頭 陸, 神野 健哉, "微小摂動を考慮したPSOの解探索能力の考察", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-65, pp. 82-85 (J:COMホルトホール大分, 大分, 2021. 12. 17-18)
[7] 元木 竜平, 神野 健哉, "データのラベル推定のためフィッシャー基準を基にした新しい評価基準の考察", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-62, pp. 86-89 (J:COMホルトホール大分, 大分, 2021. 12. 17-18)
[8] 齋藤 吏, 神野 健哉, "ヒステリシス・リザーバー層の特性と学習出力系列の関係について", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-99 MICT2021-74 MBE2021-60, pp.121-124 (On-line, 2022. 1. 21-23)
[9] 安室 誠直, 神野 健哉, "MediaPipeとSVMを用いた日本語指文字認識システムの試作", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-115 MICT2021-90 MBE2021-76, pp.205-208 (On-line, 2022. 1. 21-23)

[10] 岡本 紗季, 神野 健哉, "Auto Encoderによる顔の向き変換", 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 25, P9 (オンライン, 2022. 2.26-2.27)
[11] 元木竜平, 神野健哉, "新たなクラスター評価基準を用いたデータのラベル推定", 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 30, P14 (オンライン, 2022. 2.26-2.27)
[12] 酒井 麻帆, 神野 健哉, "Word2Vecによる単語埋め込み表現の基礎考察", 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 33, P18 (オンライン, 2022. 2.26-2.27)
[13] 泉 諒音, 神野 健哉, "BERTによる文章ベクトルのk-means法を用いた文章分類", 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 37, P22 (オンライン, 2022. 2.26-2.27)
[14] 髙橋 知里, 神野 健哉, "ニューラルネットワークによって分離された領域数の推定", 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 39, P25 (オンライン, 2022. 2.26-2.27)
[15] 代 美月, 神野 健哉, "Dropout と Batch Normalization の効果の検証", 電子情報通信学会 2022年総合大会, N-1-11 (On-line, 2022. 3. 15-18)
[16] 岡本 紗季, 神野 健哉, "AutoEncoderによる顔の向き変換", 電子情報通信学会 2022年総合大会, N-1-12 (On-line, 2022. 3. 15-18)
[17] 元木 竜平, 神野 健哉, "新たなクラスター評価基準を用いたデータのラベル推定", 電子情報通信学会 2022年総合大会, N-1-13 (On-line, 2022. 3. 15-18)
[18] 高頭 陸, 神野 健哉, "PSOによる多層ニューラルネットワークの学習", 電子情報通信学会 2022 年総合大会, N-1-23 (On-line, 2022. 3. 15-18)
[19] 高頭 陸, 神野 健哉, "ニューラル多クラス分類器のPSOによる学習", 2022年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-11 (大阪大学, 2022. 6.11)
[20] 元木 竜平, 神野 健哉, "修正フィッシャー評価基準を用いた多クラス分類", 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-14 (大阪大学, 2022. 6.11)
[21] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERTの文ベクトルの UMAP による特徴解析", 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-17 (大阪大学, 2022. 6.11)
[22] 代 美月, 神野 健哉, "CNN における Dropout と Batch Normalization の CIFAR-10 に対する最適値の考察", 2022年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-20 (大阪大学, 2022. 6.11)
[23] 岡本 紗季, 神野 健哉, "U-Netによる顔画像の回転変換", 2022年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-40 (大阪大学, 2022. 6.11)
[24] 中里 悠介, 神野 健哉, "評価関数による Boids が呈する動現象の観測", 2022年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-43 (大阪大学, 2022. 6.11)
[25] 代 美月, 神野 健哉, "画像分類性能の高い CNN モデルの構造の検討", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-27 (北海道大学, 2022, 8.4-8.5)
[26] 岡本 紗季, 神野 健哉, "Auto Encoder と U-Net の潜在変数の役割に関する検討", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-29 (北海道大学, 2022, 8.4-8.5)
[27] 泉 諒音, 神野 健哉, "UMAP による Sentence-BERT における入力文の変化に対する文ベクトルの検討", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-30 (北海道大学, 2022, 8.4-8.5)
[28] 高頭 陸, 神野 健哉, "摂動を用いた PSO による MLP の学習について", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-32 (北海道大学, 2022, 8.4-8.5)
[29] 小山 伶, 布川 大知, 代 美月, 井波 辰朗, 神野 健哉, "CNNによる顔画像からの感情分析の検討", 電子情報通信学会 2022年ソサイエティ大会, N-1-9 (オンライン, 2022, 9.6-9.9)
[30] 泉 諒音, 代 美月, 神野 健哉, "Sentence-BERT を用いた画像生成における車の色変化の実験", 電子情報通信学会 2022 年ソサイエティ大会, N-1-10 (オンライン, 2022, 9.6-9.9)
[31] 高橋 知里, 神野 健哉, "CNN 構造の次元数の減少率と分類精度の関係の検討", 電子情報通信学会 2022年ソサイエティ大会, N-1-11 (オンライン, 2022, 9.6-9.9)
[32] 中里 悠介, 神野 健哉, "三種の Boids が呈する動現象の観測", 電子情報通信学会 2022年ソサイエティ大会, N-1-12 (オンライン, 2022, 9.6-9.9)
[33] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERTの文ベクトルによる画像生成", 情報処理学会/電子情報通信学会 第 21 回情報科学技術フォーラム (FIT2022), CE-003 (慶應義塾大学, 2022, 9.13-9.15)
[34] 岡本 紗季, 神野 健哉, "U-Netによる顔画像の回転変換での潜在変数の特性", 情報処理学会/電子情報通信学会 第 21 回情報科学技術フォーラム (FIT2022), H-024 (慶應義塾大学, 2022,

9.13-9.15)
[35] 岡本 紗季, 神野 健哉, "画像変換における潜在変数の役割に関する検討", 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P05, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11.4-11.6)
[36] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BART を用いた画像の擬似的テキスト変換モデルの提案", 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P06, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11.4-11.6)
[37] 高頭 陸, 神野 健哉, "CNN の構造探索の評価と考察", 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P14, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11.4-11.6)
[38] 中里 悠介, 神野 健哉, "Boids を用いた群れ生成のシミュレーション", 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P15, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11.4-11.6)
[39] 石田 遼河, 神野 健哉, "色と形状が AE の特徴空間に与える影響", 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P24, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11.4-11.6)
[40] 酒井 麻帆, 神野 健哉, "Sentence-BERT による文章埋め込み表現の基礎考察", 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P25, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11.4-11.6)
[41] 布川 大知, 神野 健哉, "音声特徴抽出と話者制御音声合成の 2 段階処理による声質変換", 電子情報通信学会　複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-52 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022,11.17-11.18)
[42] 岡　晴香, 神野 健哉, "CNN による超解像の検討", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-53 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022,11.17-11.18)
[43] 髙橋 知里, 神野 健哉, "CNN に適した総チャネル数を示す指標の検討", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-54 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022,11.17-11.18)
[44] 中里 悠介, 神野 健哉, "Boids を用いた群れ生成のシミュレーション", 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-56 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022,11.17-11.18)
[45] Chisato Takahashi, Kenya Jin'no, "Proposal of a Classification Performance Index Based on the Sum of the Number of Channels on CNN", The 2022 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'22), pp. 63-66, (四国大学交流プラザ, 2022.12.9-10)
[46] Mizuki Dai, Kenya Jin'no, "Prediction of CNN Classification Performance by Polynomial Regression", The 2022 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'22), pp. 67-70, (四国大学交流プラザ, 2022.12.9-10)
[47] Kenya Jin'no, "Artificial Neural Network Research Revisited" (Invited Paper), The 2022 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN'22), pp. 78-81, (四国大学交流プラザ, 2022.12.9-10)
[48] 岡本 紗季, 神野 健哉, "生成立体画像を用いた潜在変数の役割に関する検討", 電子情報通信学会 2023 年総合大会, D-12-22, (芝浦工業大学, 2023, 3. 7-3.10)
[49] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルの性質を用いた画像加工の実験", 電子情報通信学会 2023 年総合大会, D-12-9, (芝浦工業大学, 2023, 3. 7-3.10)
[50] Ryoga Ishida, Kenya Jin'no, "Contributions of The Influence of Color and Shape on The Latent Space of AE", 電子情報通信学会 2023 年総合大会, D-12-2, (芝浦工業大学, 2023, 3. 7-3.10)
[51] 齋藤 吏, 神野 健哉, "ヒステリシスリザバーコンピューティングにおける周期記憶とカオス力学系の学習", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2022-145 (長崎大学 文教キャンパス総合教育研究棟 3F 大講義室, 2023,3.15-3.17)
[52] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT で生成される文ベクトルを用いた類義語間の類似性の調査", 電子情報通信学会　非線形問題研究会, NLP2022-146 (長崎大学 文教キャンパス総合教育研究棟 3F 大講義室, 2023,3.15-3.17)
[53] 泉 諒音, 神野 健哉, "画像生成モデルを用いた Sentence-BERT の文ベクトルの調査", 2023 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2023), 2D6-GS-3-05, (熊本, 2023. 6.6-6.9)
[54] 代 美月, 神野 健哉, "CNN を用いた画像分類における分類精度の予測", 2023 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2023), 4Xin1-80, (熊本, 2023. 6.6-6.9)
[55] 岡本 紗季, 神野 健哉, "画像データセットを用いた潜在変数の役割の検討", 2023 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2023), 4Xin1-57, (熊本, 2023. 6.6-6.9)
[56] 高橋 知里, 神野 健哉, "新たな Zero-shot NN 評価指標の提案に向けた検討", 2023 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2023), 4Xin1-79, (熊

本, 2023. 6.6-6.9)
[57] 武次 豪士, 神野 健哉, "Differential Evolution による簡素なニューラルネットワークの学習", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-40, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[58] 小川 航平, 神野 健哉, "CNN による主観的輪郭線の認識", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-26, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[59] 遠田 海生, 神野 健哉, "深層強化学習を用いた CNN における畳み込み層のチャネル数の探索", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-22, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[60] 井波 辰朗, 神野 健哉, "Pruning による AutoEncorder の重み初期値の影響の検討", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-24, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[61] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルの潜在変数空間内での関係性の検討", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-16, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[62] 岡本 紗季, 神野 健哉, "encoder-decoder モデルに与える色の影響に関する検討", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-38, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[63] 代 美月, 神野 健哉, "重回帰分析を用いた CNN 分類精度の予測", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-15, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[64] 若狭 春輝, 神野 健哉, "対照学習による色と形の認識", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-33, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[65] 外川 宙, 神野 健哉, "画像分類における CNN の学習の特徴に関する検討", 2023 年 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-42, (東京都市大学, 2023. 6.10)
[66] 神野 健哉, 泉 諒音, 岡本 紗季, 井波 辰朗, 代 美月, 髙橋 知里, "マルチモーダル処理のための表現学習の基礎的考察", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-6 (福島, 2023, 5.13)
[67] 外川 宙, 神野 健哉, "CNN における畳み込み層の重層化と特徴抽出の関係に関する検討", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 22 回情報科学技術フォーラム (FIT2023), H-018, (大阪公立大学, 2023, 9. 6 - 9. 8)
[68] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルにおける色表現の構造についての調査", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 22 回情報科学技術フォーラム (FIT2023), E-036, (大阪公立大学, 2023, 9. 6 - 9. 8)
[69] 岡本 紗季, 神野 健哉, "encoder-decoder モデルによる回転変換の色の影響に関する検討", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 22 回情報科学技術フォーラム (FIT2023), H-017, (大阪公立大学, 2023, 9. 6 - 9. 8)
[70] 代 美月, 神野 健哉, "重回帰分析による学習初期状態を活用した画像分類予測", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 22 回情報科学技術フォーラム (FIT2023), H-039, (大阪公立大学, 2023, 9. 6 - 9. 8)
[71] 高頭 陸, 神野 健哉, "AutoEncoder による計算能力の獲得", 電子情報通信学会 2023 年ソサイエティ大会, N-1-2, (名古屋大学, 2023, 9. 12 - 9. 15)
[72] 石田 遼河, 神野 健哉, "多要素画像データの次元圧縮と再構築", 電子情報通信学会 2023 年ソサイエティ大会, N-1-3, (名古屋大学, 2023, 9. 12 - 9. 15)
[73] 小川 航平, 神野 健哉, "CNN による主観的輪郭線の認識", 電子情報通信学会 2023 年ソサイエティ大会, N-1-4, (名古屋大学, 2023, 9. 12 - 9. 15)
[74] 遠田 海生, 神野 健哉, "深層強化学習を用いた CNN における畳み込み層のチャネル数の探索", 電子情報通信学会 2023 年ソサイエティ大会, N-1-6, (名古屋大学, 2023, 9. 12 - 9. 15)
[75] 若狭 春輝, 神野 健哉, "対照学習を利用した分割表現の学習に関する検討", 電子情報通信学会 2023 年ソサイエティ大会, N-1-7, (名古屋大学, 2023, 9. 12 - 9. 15)
[76] 井波 辰朗, 神野 健哉, "AE を用いた宝くじ仮説におけるサブネットワークの検証", 電子情報通信学会 2023 年ソサイエティ大会, N-1-8, (名古屋大学, 2023, 9. 12 - 9. 15)
[77] 横山 賢太, 神野 健哉, "ヒステリシスリザバーコンピューティングの学習性能の検討", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-45 (ワークプラザ岐阜, 2023, 10. 6 - 10. 7)
[78] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT の画像生成モデルのデータセットの違いによる潜在変数空間の違いについての調査", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-61 (名護市産業支援センター, 2023. 11. 28 - 11. 29)
[79] 代 美月, 神野 健哉, "CNN の潜在変数の分布に関する考察", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-65 (名護市産業支援センター, 2023. 11. 28 - 11. 29)
[80] 若狭 春輝, 神野 健哉, "潜在変数空間におけるメトリクスと画像分類精度の関連性", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-99 (鳴門教育大学, 2024. 1. 24 - 1. 25)

[81] 外川　宙, 神野 健哉, ″周波数ドメインに焦点を当てた CNN 特徴抽出の解析″, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-104（鳴門教育大学, 2024. 1. 24 – 1. 25）
[82] 鈴木 陸矢, 神野 健哉, ″非同期調整セルオートマトンを適用したリザバーコンピューティングの学習性能の検討″, 2023 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 24（オンライン, 2024. 3. 2）
[83] 寺岡　悠一, 神野 健哉, ″ガウス過程の学習の高速化手法の検討″, 2023 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 25（オンライン, 2024. 3. 2）
[84] 横山 賢太, 神野 健哉, ″ヒステリシスリザバーコンピューティングの内部設計と性能向上″, 2024 年電子情報通信学会総合大会, N-1-12（広島大学, 2024. 3. 5 – 3. 8）
[85] 代 美月, 神野 健哉, ″深層学習における潜在空間の可視化とその解釈″, 2024 年電子情報通信学会総合大会, N-1-14（広島大学, 2024. 3. 5 – 3. 8）
[86] 若狭 春輝, 神野 健哉, ″CNN の画像分類における特徴空間の学習に関する検討″, 2024 年電子情報通信学会総合大会, N-1-21（広島大学, 2024. 3. 5 – 3. 8）
[87] 泉 諒音, 神野 健哉, ″画像生成モデルを用いた画像変化による潜在変数空間の調査″, 2024 年電子情報通信学会総合大会, D-12A-22（広島大学, 2024. 3. 5 – 3. 8）
[88] 鈴木 一華, 神野 健哉, ″CNN を用いた空食器の認識および検出″, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P12（東北大学, 2024. 3. 10 – 3. 11）
[89] 森下 夏妃, 神野 健哉, ″CNN における主観的感情と音楽の分類に関する検証″, 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P13（東北大学, 2024. 3. 10 – 3. 11）
[90] 友井 稜真, 神野 健哉, ″コサイン類似度と Frechet Distance を用いた VGG モデルの調査″, 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P14（東北大学, 2024. 3. 10 – 3. 11）
[91] 若狭 春輝, 神野 健哉, ″画像分類における特徴空間のメトリクスに関する学習″, 東北大学電気通信研究所　共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P19（東北大学, 2024. 3. 10 – 3. 11）
[92] 外川 宙, 神野 健哉, ″畳み込みニューラルネットワークにおける内部動作の解釈に関する検討″, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ　合同研究会, P20（東北大学, 2024. 3. 10 – 3. 11）
[93] 中野　航, 神野 健哉, ″言語モデルの構造と学習データの複雑性の関係に関する調査と考察″, 電子情報通信学会　非線形問題研究会, NLP2023-122（東京・機械振興会館, 2024. 3. 13 – 3. 14）
[94] 爲ヶ井 大樹, 神野 健哉, ″CNN を用いた画像分類タスクにおける特徴量スケーリングの効果と検証″, 電子情報通信学会　非線形問題研究会, NLP2023-133（東京・機械振興会館, 2024. 3. 13 – 3. 14）
[95] 大和田 拓海, 神野 健哉, ″局所領域に注目した拡散モデル生成画像検出″, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-140（東京・機械振興会館, 2024. 3. 13 – 3. 14）
[96] 髙橋 知里, 神野 健哉, ″特徴抽出器の Zero-shot クラス分離度″, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2023-147（東京・機械振興会館, 2024. 3. 13 – 3. 14）

(2) 成果リスト（謝辞なし）
なし

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B11

研究課題名

アファンタジア（aphantasia）に関する心的イメージ情報処理特性の検討

[1] 研究組織

研究代表者：
髙橋　純一　（福島大学人間発達文化学類）
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：
齋藤　五大　（東北大学電気通信研究所）
安永　大地　（金沢大学歴史言語文化系）
大村　一史　（山形大学地域教育文化学部）
杉村　伸一郎（広島大学人間社会科学研究科）
行場　次朗　（尚絅学院大学総合人間科学系）
堀川　友慈　（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）

[2]研究期間

令和３年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

“実際の知覚は機能しているが，心的イメージの形成が難しい特質”をアファンタジア（aphantasia：Zeman et al., 2015）という。心的イメージは日常生活で多用されている認知機能であるが，アファンタジア当事者はイメージの共有ができないこと，またエピソード記憶の弱さもあって，個人内の思考や行動で不安を感じることがある。しかし，アファンタジアの心理・生理的な特性はほとんど明らかになっていないのが現状である。本プロジェクトは，アファンタジア研究を推し進める研究チームの体制作りを目的とした。

[4]研究計画及び内容

2021 年度は，研究組織内の研究者それぞれの専門分野の確認，今後の研究の方向性に関する検討を行った。また当事者とのやり取りも開始し，日常生活における当事者の体験を踏まえた研究の展開についても検討した。

2022 年度は，アファンタジアの出現率に関して大規模調査の分析を行い，論文投稿を行った。また当事者の質的データについての分析も行った。

2023 年度は，さらに質的データについて収集すると同時に，当事者のエピソードをまとめた本の出版にも取り掛かかることができた。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

オンラインと対面で，①研究者メンバーのミーティング（オンライン），②アファンタジア当事者を交えたミーティング（オンライン），③通研における研究会（対面）の 3 種類を開催した。

① 研究者メンバーのミーティング（オンライン）

2021 年 1 月 24 日　話題提供：堀川
脳情報学の観点から話題提供があった。

2021 年 3 月 1 日　話題提供：髙橋
認知心理学の観点から話題提供があった。

2021 年 3 月 16 日　話題提供：安永
心理言語学の観点から話題提供があった。

2021 年 3 月 26 日　話題提供：齋藤
触知覚と身体学の観点から話題提供があった。

2021 年 4 月 19 日　話題提供：大村
認知神経科学の観点から話題提供があった。

2021 年 5 月 17 日　話題提供：坂本
聴覚情報処理の観点から話題提供があった。

2021 年 6 月 28 日　話題提供：杉村
イメージ研究の観点から話題提供があった。

2021 年 8 月 23 日　参加者：全員
基盤 B の研究計画書について検討した。

同日　参加者：髙橋・大村・杉村
萌芽研究の研究計画書について検討した。

2022 年 3 月 24 日　参加者：全員
大規模調査の分析方法と結果について確認した。

2023 年 4 月 1 日　参加者：全員
基盤 B と萌芽研究の方向性について検討した。

2024 年 3 月 23 日　参加者：全員
基盤 B と萌芽研究の方向性について検討した。

② アファンタジア当事者を交えたミーティング（オンライン）

2021 年 7 月 18 日　参加者：当事者，研究者
感覚に関する主観的体験をお互いに話し合った。

2021 年 11 月 29 日　参加者：当事者，研究者
ウェブデザイン（視認性）について話し合った。

2021 年 12 月 6 日　参加者：当事者，研究者
実際生活の体験の様相について理解を深めた。

2021 年 12 月 29 日　参加者：当事者，研究者
ウェブサイトの設計について打ち合わせを行った。

2022 年 3 月 26 日　参加者：当事者，研究者
仕事での悩みについて話題を提供してもらった。

2022 年 9 月 24 日　参加者：当事者，研究者
感覚に関する主観的体験をお互いに話し合った。

2022 年 12 月 10 日　参加者：当事者，研究者
感覚に関する主観的体験をお互いに話し合った。

さらに，当事者の日常生活におけるエピソードをまとめた本の出版が決まったため，そのミーティングも実施した。

2023 年 10 月 14 日　参加者：当事者，研究者
日常生活のエピソードについて理解を深めた。

2023 年 11 月 4 日　参加者：当事者，研究者
日常生活のエピソードについて理解を深めた。

2023 年 11 月 20 日　参加者：当事者，研究者
日常生活のエピソードについて理解を深めた。

2023 年 12 月 16 日　参加者：当事者，研究者
日常生活のエピソードについて理解を深めた。

2023 年 12 月 23 日　参加者：当事者，研究者
日常生活のエピソードについて理解を深めた。

③ 通研における研究会（対面）

通研では，実験内容に関する研究会を実施した。

2023 年 8 月 25 日～9 月 3 日　参加者：髙橋・安永・齋藤・坂本・前田（金沢大学の学部生）
アファンタジア当事者を対象とした認知科学や言語学に関する実験について，実験内容や分析方法の議論を行った。アファンタジア研究に興味のある金沢大学の学部生も参加した。

(5-2) 波及効果と発展性等

プロジェクトの開始（2021 年度）と同時にアファンタジア研究を立ち上げ，当事者との協働体制の構築と拡充も図ることができた。さらに，情報発信のためのアファンタジア研究に関するウェブサイトを構築することができ，多くの当事者から問い合わせを受けるようになった。

ウェブサイト
https://aphantasia-jp.com/

プロジェクトの 2 年目（2022 年度）から，基盤研究 B および挑戦的研究（萌芽）によるアファンタジア研究へと展開した。プロジェクト研究が，外部資金の獲得に波及したものと考えている。

・研究費名　基盤研究 B
・配分機関名　福島大学や東北大学など，研究代表者，通研対応教員，研究分担者が所属する研究機関
・研究期間　2022 年 4 月～2025 年 3 月

・研究費名　挑戦的研究（萌芽）
・配分機関名　福島大学，広島大学，山形大学
・研究期間　2022 年 4 月～2025 年 3 月

また，本プロジェクトは，以下のシンポジウムやワークショップの開催につながった。アファンタジア研究に関する最新の知見に加えて，当事者の主観的体験やエピソードの共有，教育分野への応用可能性などについて議論がなされた。

・日本認知心理学会第 20 回大会ワークショップ
・2022 年 10 月 15 日
・神戸大学
・およそ 100 名

・日本心理学会第 86 回大会自主シンポジウム
・2022 年（オンデマンドによる視聴）

・日本イメージ心理学会第 24 回大会シンポジウム
・2023 年 12 月 9 日
・東京
・およそ 30 名

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトの遂行によって，アファンタジア研究のチーム作りを行うことができた。さらに科学研究費を獲得することもでき，アファンタジア研究を本格的に推し進める土台ができた。今後は，アファンタジアの心理・生理メカニズムに迫るべく，実験的検討に移行する。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

（論文）

・ Takahashi, J. et al. Diversity of aphantasia revealed by multiple assessments of visual imagery, multisensory imagery, and cognitive style. *Frontiers in Psychology*, 14, 1174873, 2023.

（学会発表）

・髙橋純一・他，アファンタジアの心的イメージ特性：当事者のエピソードから，日本心理学会第 86 回大会シンポジウム，2022 年.

・髙橋純一・他，アファンタジアとファンタジアの相互理解に向けて：心的イメージ論争再考，日本認知心理学会第 20 回大会ワークショップ，2022 年.

・髙橋純一，アファンタジアの統御性，日本イメージ心理学会第 23 回大会シンポジウム，2022 年.

・髙橋純一（2022）アファンタジア（aphantasia）研究の現状と展開，2021 年度金沢大学認知科学シンポジウム，2022 年.

・髙橋純一・他，アファンタジアの出現率とサブタイプに関する調査. 日本認知心理学会第 19 回大会，2022 年.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

（著書）

・髙橋純一・行場次朗（訳）. アファンタジア：イメージのない世界で生きる，2021 年. 北大路書房. Kendle, A. Aphantasia: Experiences, Perception, and Insights. Dark River.

（学会発表）

・髙橋純一，知的障害者を対象としたイメージ研究の概観，日本イメージ心理学会第 24 回大会シンポジウム，2023 年.

・髙橋純一，アファンタジア研究の現状，第 62 回美術教育学会シンポジウム，2023 年.

・髙橋純一・行場次朗（2021）アファンタジア（心像多様性）の当事者を対象とした単一事例研究. 東北心理学会第 74 回大会，2021 年.

・髙橋純一・行場次朗（2021）アファンタジア（心像多様性）における心的イメージの特徴―著書「アファンタジア」の当事者エピソードから―. 日本イメージ心理学会第 22 回大会，2021 年.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R03/B12

研究課題名

持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究

[1] 研究組織

研究代表者：
石田　繁巳（公立はこだて未来大学システム情報科学部）
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：
渡邉　拓貴（北海道大学情報科学研究院）
高橋　秀幸（東北学院大学教養学部）
和泉　諭（仙台高等専門学校総合工学科）
松井　加奈絵（東京電機大学理工学部理工学科）
西尾　理志（東京工業大学工学院情報通信系）
木谷　友哉（静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻）
梶　克彦（愛知工業大学情報科学部）
鈴木　秀和（名城大学情報工学部）
米澤　拓郎（名古屋大学工学研究科）
村尾　和哉（立命館大学情報理工学部）
中村　嘉隆（京都橘大学工学部）
廣井　慧（京都大学防災研究所）
松田　裕貴（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）
猿渡　俊介（大阪大学大学院情報科学研究科）
内山　彰（大阪大学大学院情報科学研究科）
荒瀬　由紀（大阪大学大学院情報科学研究科）
大西　鮎美（神戸大学大学院工学研究科）
中村　優吾（九州大学大学院システム情報科学研究院）
神山　剛（長崎大学情報データ科学部）

[2]研究期間

令和 3 年 5 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

通信技術の発展とともに，あらゆるものがネットワークに接続される世界が実現されつつある．一方で，誰もが簡単にソフトウェア・ハードウェアを構築できるようになり，1 つの専門分野だけではなく，領域横断的，そして実際にシステムを社会検証し，持続可能な形でシステムを構築する実証的な研究が求められている．

本研究は，ユビキタスシステムの基盤となる，電力，通信，センシング，認識エンジン，サービスという 5 つの研究領域を融合し，ユビキタス技術を持続可能な形で実現するための実証的研究を行うことを目的としている．5 つの研究領域を融合した新たな実証研究の実装をすることは難しいと考えられるため，各研究領域の研究者が行っている実証的研究の成果，知見，課題を持ち寄り，プロジェクト研究会において課題の解決に向けて議論を行うことで新たな研究提案につなげていく．

■プロジェクト研究会開催概要

プロジェクト研究会は，関連する別の研究グループと合同で各年 1 回ずつ行った．

・2021 年 11 月 26 日(金)～11 月 27 日(土)
於：東北大学電気通信研究所(ハイブリッド)
参加者：8 名+別の研究グループの研究者 13 名
発表：21 件
・2022 年 11 月 18 日(金)～11 月 19 日(土)
於：東北大学電気通信研究所(ハイブリッド)
参加者：8 名+別の研究グループの研究者 11 名
発表：19 件
・2023 年 11 月 17 日(金)～11 月 18 日(土)
於：東北大学電気通信研究所(ハイブリッド)
参加者：9 名+別の研究グループの研究者 15 名
発表：22 件

[4]研究計画及び内容

本共同プロジェクト研究では他のプロジェクトと合同で各年プロジェクト研究会を 20～30 名の規模で開催し，知見の共有と研究者同士の連携促進を図る予定で研究を進める．関連する複数の分野の若手研究者が持続可能なユビキタスシステムの実現に向けた様々な話題を持ち寄り，議論を行った．具体的には，5 つの研究領域それぞれの観点から持続可能なユビキタスシステムについて議論し，今後の研究発展や相互連携の推進を目指す．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本プロジェクトで得た主な成果は以下である．

(1) 現実的な環境での通信及びセンシング

省電力センシングとして，内山は Backscatter

通信によるセンシングを提案した[R7][R15][R44]. 鈴木は近接デバイス間通信を位置を気にせずに実現するネットワーキング技術[P1][R11]や通信の暗号化に関する研究[R37]，光ファイバ通信路の監視技術[R38]などを示した．西尾はカメラを用いたミリ波通信路の状況予測手法， IoT 機器による分散深層学習手法などについて報告した[R2][R9][R16][R40]．石田は家電操作からユーザを推定する手法を示した[P10][P13].
現実的なセンシング技術として，梶は参加型センシングのセンシング依頼手法[R12]，松田はセンシングプラットフォーム[R22]を提案した.

(2) ユビキタスシステムの容易な構築・維持

高橋は，災害環境下での SOS 信号送出に用いる可視光通信による ID 認識技術を提案した．市販のカメラを用いた可視光通信では環境光の影響が大きく，特に屋外では頑健性が大幅に低下することから，高橋は 2 色の LED を用いて差動変調を施すことで屋外，特に災害環境下でも頑健性の高い通信を実現した[R8]．石田はスマートウォッチで取得した心拍データのみを用いてワーク・エンゲイジメントを推定する手法を提案した[P2]．村尾はヘルメットに取り付けた圧力センサを用いてユーザを識別する手法を提案した[R4]．また，生体センサの取り付け位置を推定する手法を提案した[R13]．梶は BLE ビーコンを用いた車椅子の動作推定手法を提案した[R10]．大西はヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた仮想現実（VR）において，サブタイトル情報を 3 次元空間上に配置する手法を提案した[R5]．また，PC 作業の一部を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システムを提案した[R14]．渡邉はスマートフォンから離れた位置での手書き作業を非接触で認識する手法を示した[R6]．石田はスマートスピーカが置かれている部屋周辺の部屋の間取りを推定する手法を提案した[P3].

(3) ユビキタスシステムの実例・検証

中村は，水を飲む際に甘い香りを付けて甘さを感じさせることで砂糖の摂取量を減らす手法を提案した[R30]．また，杖を使った高齢者のリハビリテーション支援システムを提案し，杖に取り付けた加速度センサによる運動認識手法を示した[R21][R23]．村尾は視覚インタフェースによる視覚刺激によってユーザの暗記力を向上させる手法を提案している[R24]．大西はフィールドホッケーの上達を支援するセンシング及びフィードバック手法を提案した[R32].

入力インタフェースの研究として，村尾は耳のアクセサリやメガネ型デバイスに取り付けた距離センサを用いたジェスチャ入力[R18][R19]や鼻息を用いた入力[R34]を提案している．大西はヘッドマウントディスプレイが普及した際の視点移動に向けたジェスチャ入力を検討している[R20].

ユビキタスシステムが日常的に利用されるようになると，システムの利用がユーザにどのような影響を与えるかを考慮する必要が生じる．立命館大の村尾は，AI による他人の感情推定結果が他者の感情を認知するときに影響を与えることを明らかにしている[R39]．奈良先端大の松田は，専門知識を持つ人と持たない人がプログラミング学習をする中でどのような行動の差が生じるのかを調査し，専門知識の有無でプログラミング学習時の行動が変化することを示している[R25].

(5-2) 波及効果と発展性等

渡邉は，人間の耳を情報通信技術によって拡張するヒアラブルコンピューティングにおけるセキュリティに関する研究を考案し，JST 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: ヒアラブルコンピューティングにおけるセキュリティ基盤の確立
- 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: 2021 年 10 月から 2025 年 3 月

神戸大の大西は，人間が疲れたときのセンシング及びその能力の補正に関する研究を考案し，JST ACT-X 研究領域「AI 活用で挑む学問の革新と創成」に採択された.

- プロジェクト名: 疲労時五感の定式化と疲労時能力を AI で補正する五感拡張装置の開発
- 資金制度，研究費名: JST ACT-X
- 配分機関名: 科学技術振興機構
- 研究期間: 2021 年 10 月から 2024 年 3 月

また，本研究プロジェクトで参加研究者間での連携が進んだ成果として，参加研究者の共著での論文を多く発表するに至っている．例えば，研究成果[R21][R23][R25][R30][R35]は本プロジェクトメンバーが連携して発表した共著論文であり，いずれも査読付きの国際会議，論文誌ジャーナル論文である．また，別の研究グループと合同で研究会を開催している効果として別グループの研究者との連携も進み，研究成果[R22][R37]などの共著論文の執筆に至っている.
前年度までに競争的資金に採択される参加研究者がいた成果として連携研究が促進され，本年度は共著での論文発表に至ったと言える.

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトでは，実際にシステムを社会検証し，持続可能な形で構築する領域横断的な実証的研究として，多分野の研究者でプロジェクト研究会を実施し，連携を図った．今後は，一部にとどまっている強固な連携を，より多くのメンバーに拡大することが必要である.

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[P1] 酒井恵梨香，池内紀貴，鈴木秀和: 遠隔地にあるPANデバイスとの直接通信を可能とするVPAN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，vol.11，no.3，pp.12-21(Sep. 2021).

[P2] H. Harashima, Y. Arakawa, S. Ishida, and Y. Nakamura: Estimating Work Engagement with Wrist-Worn Heart Rate Sensors, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2021), pp.1-6 (Nov 2021).

[P3] T. Joya, S. Ishida, Y. Mitsukude, and Y. Arakawa: Design of Room-Layout Estimator Using Smart Speaker, EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services (MobiQuitous), Main Track, pp.1-17 (Nov. 2021).

[P4] B. Dawton, S. Ishida, and Y. Arakawa: C-AVDI: Compressive Measurement-Based Acoustic Vehicle Detection and Identification, IEEE Access, vol.9, pp.159457-159474 (Dec. 2021).

[P5] 伊藤太清，神崎映光: 自律移動型UAVの協調動作を用いた効率的な探索データ収集手法，情報処理学会論文誌，vol.63，no.2，pp.539-548 (Feb. 2022).

[P6] 神崎映光，坂本大河: UAV協調型センシングにおける残余電力を考慮した動作制御手法，情報処理学会論文誌，vol.63，no.2，pp.713-723 (Feb. 2022).

[P7] K. Suda, S. Ishida, and H. Inamura: User Identification Based on Mouse Operation toward Automatic Home Appliance Configuration, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.727-728 (Oct. 2022).

[P8] B. Dawton, S. Ishida, and Y. Arakawa: C-HAR: Compressive Measurement-Based Human Activity Recognition, International Workshop on Sensing Systems and Applications Using Wrist Worn Smart Devices (WristSense 2023), in conjunction with IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), Atlanta, GA, pp.576-582 (Mar. 2023).

[P9] 杉本 雄，内山 彰，Hamada Rizk，山口 弘純，Encoder-Decoder NetworkによるWi-Fi CSIを用いた環境非依存な行動認識手法の検討，情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム（DICOMO2023），pp.1204-1209 (Jul. 2023).

[P10] 須田 恭平，石田 繁巳，稲村 浩，家電操作ユーザ推定のためのタッチパネルボタンを用いた特徴量の検討，情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム（DICOMO2023），pp.963-969 (Jul. 2023).

[P11] H. Nishi, S. Ishida, T. Murakami, and S. Otsuki: Smartphone Cover-State Classification via Acoustic Sensing for Smartphone Search in Indoor Environments, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Nara, Japan, pp.430-431 (Oct. 2023).

[P12] 西 陽也，石田 繁巳，村上 友規，大槻 信也: 音響センシングによる宅内スマートフォン被覆状態分類の精度向上に向けた改善，マルチメディア通信と分散処理ワークショップ（DPSWS2023），pp.144-151 (Oct. 2023).

[P13] K. Suda, S. Ishida, and H. Inamura: User Estimation with Touch Panel Buttons Toward In-Home Activity Recognition, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), full paper, Kyoto, Japan, pp.180-185 (Nov. 2023).

[P14] 西 陽也，石田 繁巳，村上 友規，大槻 信也: 宅内でのスマートフォン捜索に向けた抽象度別接触物体推定手法の初期的検討，情報処理学会全国大会，2Y-07，pp.3:155-156 (Mar. 2024).

[P15] Y. Kunieda and H. Suzuki: A Detection Method of Garbage Collection Status from Sound of Garbage Trucks, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2024), pp.88-93 (Jan. 2024).

[P16] S. Horisaki, K. Matama, R. Goto, K. Naito and H. Suzuki: Intercommunication Method Between Local Edge Computing Devices Using QUIC-Based CYPHONIC, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2024), pp.94-99 (Jan. 2024).

[P17] Y. Yamaguchi, V. Erdelyi, A. Uchiyama, T. Higashino: A Preliminary Study on Angle of Arrival Estimation by MUSIC Algorithm Using Backscatter Tags, in Proceedings of 1st International Workshop on Pervasive Wireless Sensing and Edge Computing (WiSense 2024) (Mar. 2024).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[R1] M. Sumiya, K. Ashihara, H. Watanabe, T. Terada, S. Hiryu, and H. Ando: Effectiveness of Time-varying Echo Information for Target Geometry Identification in Bat-inspired Human Echolocation, PLOS ONE, vol.16, no.5, pp.1-19 (May 2021).

[R2] T. Nishio, Y. Koda, J. Park, M. Bennis, K. Doppler: When Wireless Communications Meet Computer Vision in Beyond 5G, IEEE Communications Standard Magazine, vol.5, no.2, pp.76-83 (June 2021).

[R3] L. Wang, H. Gjoreski, M. Ciliberto, P. Lago, K. Murao, T. Okita, D. Roggen: Three-year Review of the 2018-2020 SHL Challenge on Transportation and Locomotion Mode Recognition from Mobile Sensors, frontiers (Sep. 2021).

[R4] A. Fujii, K. Murao: User Identification Method based on Head Shape using Pressure Sensors embedded in a Helmet, Journal of Information Processing, vol.2021, no.29, pp.610-619 (Oct. 2021).

[R5] Y. Shimizu, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: Gaze-Adaptive Subtitles Considering the Balance among Vertical/Horizontal and Depth of Eye Movement, Proc. of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2021), pp.137-142 (Oct. 2021).

[R6] A. Ogura, H. Watanabe, M. Sugimoto: Device-Free Handwritten Character Recognition Method using Acoustic Signal, Journal of Robotics and Mechatronics (JRM), vol.33, no.5, pp.1082-1095 (Oct. 2021).

[R7] T. Higashino, A. Uchiyama, H. Yamaguchi, S. Saruwatari, T. Watanabe, and T. Masuzawa: A New Problem Setting for Mobile Robots Based on Backscatter-Based Communication and Sensing, in Proceedings of SSS (Oct. 2021).

[R8] N. Yokota, H. Yasaka, K. Sugiyasu, H. Takahashi: Improving Detection Tolerance of Visible Light IDs with Two-Color Differential Detection Scheme, Proc. of the 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021), pp.878-879 (Oct. 2021).

[R9] S. Itahara, T. Nishio, K. Yamamoto: Packet-Loss-Tolerant Split Inference for Delay-Sensitive Deep Learning in Lossy Wireless Networks, Proc. IEEE Globecom (Dec. 2021).

[R10] Y. Ogane, Y. Enokibori, K. Kaji: Monitoring Wheelchair Users in Care Facilities with BLE Beacons Attached to Wheels, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2021) (Nov. 2021).

[R11] E. Sakai, N. Ikeuchi, and H. Suzuki: Demo: Integration of Different Remote Personal Area Networks with VPAN System, The 13th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU2021), pp. 1-2 (Nov. 2021).

[R12] N. Miyagawa, R. Tsuchimoto, S. Suzaki, K. Kaji: Building a Crowdsensing Platform Based on Spatio-temporal Fencing, The Fourth International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications (MUSICAL 2021 Fall) (Nov. 2021).

[R13] K. Yoshida, K. Murao: Load Position Estimation Method for Wearable Devices Based on Difference in Pulse Wave Arrival Time, MDPI Sensors, vol.22, no.3, 1090 (Jan. 2022).

[R14] 清水裕介, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌彦: DeskWalk: パソコンを利用した作業時のキー入力を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システム, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.2, pp.468-481 (Feb. 2022).

[R15] Y. Nakagawa, T. Maeda, A. Uchiyama, and T. Higashino: BAAS: Backscatter as a Sensor for Ultra-Low-Power Context

Recognition, Journal of Information Processing, vol. 30, pp.130-139 (Feb. 2022).

[R16] S. Itahara, T. Nishio, Y. Koda, and K. Yamamoto: Communication-oriented Model Fine-tuning for Packet-loss Resilient Distributed Inference under Highly Lossy IoT Networks, IEEE Access (Feb. 2022).

[R17] B. Rokaha, B. P. Gautam, and T. Kitani: Building a Robust RTK-GNSS Infrastructure with Seamless Handover and a Multipath Detection Approach, International Journal of Informatics Society (IJIS), vol. 13, no. 3, pp. 115-128 (Mar. 2022).

[R18] K. Futami, K. Oyama, K. Murao: Augmenting Ear Accessories for Facial Gesture Input using Infrared Distance Sensor Array, MDPI electronics, vol.11, no. 9, article no.1480 (May 2022).

[R19] K. Futami, Y. Tabuchi, K. Murao, T. Terada: Exploring Eyeball Movement Gesture Recognition Method for Hands-Free Input using Eyewear with Infrared Distance Sensor Array, MDPI electronics, vol.11, no. 10, article no.1637 (May 2022).

[R20] S. Yamazaki, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: Extensible Neck: A Gesture Input Method to Extend/Contract Neck Virtually in Video See-through AR Environment, MDPI Journal of Sensors, pp. 1-21 (May 2022).

[R21] K. Oi, Y. Nakamura, Y. Matsuda, M. Fujimoto, and K. Yasumoto: Short Stick Exercise Tracking System for Elderly Rehabilitation using IMU Sensor, The 2nd International Workshop on Cyber-Physical-Human System Design and Implementation (CPHS '22), pp.13-18 (May 2022).

[R22] Y. Matsuda, S. Kawanaka, H. Suwa, Y. Arakawa, and K. Yasumoto: ParmoSense: Scenario-based Participatory Mobile Urban Sensing Platform with User Motivation Engine, Sensors and Materials, vol.34, no.8, pp.3063-3091 (June 2022).

[R23] K. Oi, Y. Nakamura, Y. Matsuda, M. Fujimoto, and K. Yasumoto: Inertial Measurement Unit-sensor-based Short Stick Exercise Tracking to Improve Health of Elderly People, Sensors and Materials, vol.34, no.8, pp.2911-2928 (June 2022).

[R24] K. Futami, D. Kawahigashi, K. Murao: Mindless Memorization Booster: A Method to Influence Memorization Power using Attention Induction Phenomena Caused by Visual Interface Modulation and Its Application to Memorization Support for English Vocabulary Learning, MDPI Electronics, vol.11, no.14, article no.2276 (July 2022).

[R25] K. Watanabe, Y. Matsuda, Y. Nakamura, Y. Arakawa, and S. Ishimaru: How do Programmers Use the Internet? Discovering Domain Knowledge from Browsing and Coding Behaviors, The 8th IEEE International Conference on Smart Data (SmartData '22), pp.605-610 (Aug. 2022).

[R26] 外谷 新, 木谷 友哉: 高精度衛星測位技術を用いたデジタル道路地図の精度向上と検証, 日本測量協会 応用測量論文集, vol. 33, pp. 3-12 (Aug. 2022).

[R27] K. Futami, T. Seki, K. Murao: Unconscious Load Changer: Designing Method to Subtly Influence Load Perception by Simply Presenting Modified Myoelectricity Sensor Information, frontiers (Sep. 2022).

[R28] K. Shirai, K. Futami, K. Murao: Exploring Tactile Stimuli from a Wrist-Worn Device to Manipulate Subjective Time Based on the Filled-Duration Illusion, MDPI Sensors, vol.22, no. 19, article no.7194 (Sep. 2022).

[R29] K. Futami, N. Hirayama, K. Murao: Unconscious Elapsed Time Perception Controller: Exploring Visual Stimuli Presentation Method to Change and Reverse Tendencies of the Filled-Duration Illusion on Visual Interface, IEEE Access, vol.10, pp.109253-109266 (Sep. 2022).

[R30] D. Mayumi, Y. Nakamura, S. Misaki, Y. Matsuda, and K. Yasumoto: Aromug: Mug-type Olfactory Interface to Assist in Reducing Sugar Intake, The 5th International Workshop on Computing for Well-Being (WellComp '22), pp.1-6

(Sep. 2022).
[R31] C. Chen, T. Nishio, M. Bennis, and J. Park: RF-Inpainter: Multimodal Image Inpainting Based on Vision and Radio Signals, IEEE Access, vol. 10, pp.110689-110700 (Oct. 2022).
[R32] 岩本宗大, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌彦: 圧力センサ付きスティックを用いた聴覚フィードバックによるフィールドホッケーのプッシュ上達支援システム, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.10, pp.1574-1582 (Oct. 2022).
[R33] Shin Katayama, Shunsuke Aoki, Takuro Yonezawa, Tadashi Okoshi, Jin Nakazawa and Nobuo Kawaguchi: ER-Chat: A Text-to-Text Open-Domain Dialogue Framework for Emotion Regulation, IEEE Transactions of Affective Computing, vol.13, no.4, pp. 2229-2237 (Oct.-Dec. 2022).
[R34] R. Ogawa, K. Futami, K. Murao: Nasal Breath Input: Exploring Nasal Breath Input Method for Hands-free Input by using a Glasses Type Device with Piezoelectric Elements, Journal of Data Intelligence, Vol. 3, No. 4, pp. 421-440 (Nov. 2022).
[R35] K. Tachibana, Y. Matsuda, K. Isobe, D. Mayumi, T. Kikuchi, H. Suwa, K. Yasumoto, and K. Murao: Tongaraas: Tongs for Recognizing Littering Garbage with Active Acoustic Sensing, The 12th International Conference on the Internet of Things (IoT '22), pp.224-230 (Nov. 2022).
[R36] 清水裕介, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌彦: 立体映像における奥行き要素に着目した視線適応型字幕配置手法, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.11, pp.1666-1678 (Nov. 2022).
[R37] S. Horisaki, K. Matama, K. Naito, H. Suzuki: A Proposal of QUIC-Based CYPHONIC for Encrypted End-to-End Communications, The 10th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2022), pp. 27-35 (Nov. 2022).
[R38] K. Shimizu, H. Suzuki: Proposal for Optical Fiber Network Monitoring System Using IoT Technology, The 10th International Symposium on Computing and Networking Workshop (CANDARW 2022), pp. 421-425 (Nov. 2022).
[R39] K. Futami, S. Yanase, K. Murao, T. Terada: Unconscious Other's Impression Changer: A Method to Manipulate Cognitive Biases That Subtly Change Others' Impressions Positively/Negatively by Making AI Bias in Emotion Estimation AI, MDPI sensors, vol.22, no.24 (Dec. 2022).
[R40] S. Shimizu, T. Nishio, S. Saito, Y. Hirose, C. Yen-Hsiu, and S. Shirakawa: Neural Architecture Search for Improving Latency-Accuracy Trade-off in Split Computing, IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), pp.1864-1870 (Dec. 2022).
[R41] S. Ishida, T. Murakami, and S. Otsuki: Room-by-Room Device Grouping for Put-and-Play IoT System, IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp.4293-4298 (Dec. 2022).
[R42] T. Yoshida, K. Kaji, S. Ogiso, R. Ichikari, H. Uchiyama, T. Kurata, N. Kawaguchi: A Survey of Ground Truth Measurement Systems for Indoor Positioning, Journal of Information Processing vol.31, pp.1-6 (Jan. 2023).
[R43] M. Okamoto, K. Murao: PPG2EMG: Estimating Upper-Arm Muscle Activities and EMG from Wrist PPG Values, MDPI Sensors, vol.23, no.4, article no.1782 (Feb. 2023).
[R44] V. Elderyi, K. Miyao, A. Uchiyama, T. Murakami: Towards Activity Recognition Using Wi-Fi CSI from Backscatter Tags, IEEE PerCom 2023 Work in Progress (Mar. 2023).
[R45] 大鐘勇輝, 榎堀優, 梶克彦: BLE ビーコンを用いた車椅子の自走・介助および活動量の推定手法, 情報処理学会論文誌, vol.64, no.1, pp.145-157 (Jan. 2023).
[R46] 角田幸太郎, 大西鮎美, 寺田 努, 加藤 浩, 葛岡英明, 久保田善彦, 鈴木栄幸, 塚本昌彦: 授業中の表出と集中度に基づく対面授業と遠隔リアルタイム授業の比較調査, 情報処理学会論文誌, Vol. 64, No. 4, pp. 814-829 (Apr. 2023).
[R47] 山口駿介, 渡邉拓貴, 杉本雅則: 超音波イメージングによる把持物体認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 64, No. 4, pp. 955-966 (Apr. 2023).
[R48] H. Oka, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: System for Detecting

Learner Stuck in Programming Learning, Sensors, Vol. 23, No. 12, pp. 1-18 (Jun. 2023).
[R49] H. Watanabe and T. Terada: Transparency Mode of Hearable Reduces Your Spatial Hearing: Evaluation and Cancelling Method to Restore Spatial Hearing, IEEE Access, Vol. 11, pp. 97952-97960 (Sep. 2023).
[R50] M. Mizukusa, K. Kaji: Cardiac Massage Practice Application using Barometer in a Smart Phone and Sealed Bag, Adjunct Proceedings of the 2023 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing & the 2023 ACM International Symposium on Wearable Computing, pp.451-456 (Oct. 2023).
[R51] N. Yokota, H. Takahashi, K. Sugiyasu, H. Yasaka: Zooming Operation of FMCW LiDAR: Toward Applications in Rescue, 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2023), pp. 181-182, (Oct. 2023).
[R52] 渡邉澪月, 高橋秀幸: トイドローンの連携による動的な接続切替制御機能の設計と試作, 2023年度 情報処理学会東北支部研究報告, Vol.2023, pp.1-7 (Jan. 2024).
[R53] 谷田言, 高橋秀幸: 小型ドローンを用いた屋内自動巡回システムの設計と試作, 2023 年度 情報処理学会東北支部研究報告, Vol.2023, pp.1-6 (Jan. 2024).

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R04/B01

研究課題名

研究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] 研究組織

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
後藤 太一（東北大学電気通信研究所）
杤 修一郎（東北学院大学工学部）
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（東北大学大学院工学研究科）
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）
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）

[2]研究期間

令和４年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本プロジェクト研究では、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に代表される「磁気デバイス」を発展させることを目的としている。現在の情報通信技術は、電気自動車や自動運転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、様々な機能や性能向上が求められており、磁気デバイスも様々な役割を担っている。これらの今後の更なる発展のために、材料の特性やその発現の物理的メカニズムを詳細に把握することと、それを踏まえた上で適切に活用するためのマルチスケールな設計開発が必要である。一方、現在の材料開発およびデバイス応用の分野においては、その専門性は多岐にわたっており、全容を把握することは容易ではない。この問題の解決のため、近隣分野の研究者との情報交換を促進し、相互の研究の深化を図る。新型コロナウイルスの影響下では研究情報交換はオンライン形式が主流となっており、同時多発的に発展的な話題が起きるような機会が減少し、分野横断的に話題が拡がりにくい状況である。そこで本研究では、次の各分野を専門とする研究者を広く集めて研究会を組織した。

１．磁性材料の微細構造の観察・特性評価
２．磁性材料のマルチスケールな構造制御
３．電磁エネルギー変換用磁気デバイス

本プロジェクト研究会を通じて、各研究者の先進的研究の対面形式での発表および討論を通じた学際的な交流を行い、学術的連携の強化を図ることを目的とした。

[4]研究計画及び内容

年に１回、全研究者が集まる形の研究会を開催し、研究者相互の情報交換および討論を行うことを計画していた。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本年度は感染症流行の影響は低下したものの、全研究者が集まる形での研究会の開催が日程的に難しく、開催できなかった。そのため、メールや Web 会議により研究者間相互の情報交換や討論を個別に実施した。対面形式で実施される学術会議も増加しており、2023 年度には仙台で大規模な国際会議も開催された。そのような場も活用して参加研究者間で直接討論ができる機会もあった。

本研究会の目的は、細分化されがちな研究分野の枠を超え、隣接する研究領域にも範囲を広げて議論できる場となることである。対面での交流が難しかった時期を含め、人的ネットワークの維持に役立つ結果となった。

(5-2) 波及効果と発展性等

研究会の開催という形は取れなかったものの、各研究者間の研究交流は継続的にできており、各研究者の研究活動および交流の活性化に一定の貢献ができたと考えている。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクト研究で対象とする研究分野は、IoT や自動運転、低炭素化などの現在進展が強く求められている分野に貢献するものである。それらのためには、幅広い基礎分野の集合知が必要であると考えており、今後も幅広く研究交流を図ってゆきたい。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Shinji Ikeda, Aoi Honda, Natsuro Kita: Fundamental study of Magnetic Particle Composite Core made by Fused Deposition Modeling Method, 2023 IEEE Intermag Conf. AR-03(2023)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/B03

研究課題名

革新的気相プロセスによるナノ材料創成と高性能デバイス応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
内田儀一郎（名城大学理工学部）

通研対応教員：
佐藤茂雄（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本年度は以下のプログラムの研究討論会を東北大学で開催し 30 人以上の参加者のもと情報交換と今後の研究展開について議論した．

【令和 5 年度 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会プログラム】
日時：2024 年 2 月 27 日(火) 13:30～17:20
会場：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 306A/B
13:30- 14:00　「熱力学と情報学によるプラズマプロセス再考」
酒井道　滋賀県立大学・工学部
14:00 – 14:30 「液滴による空間制御を用いたプラズマ材料プロセス」
伊藤剛仁　東京大学大学院・新領域創成研
14:30 – 15:00 「プラズマ化学におけるスケールフリー性」
村上朝之　成蹊大学・理工学部
15:20– 15:50 「プラズマスプレーにおけるナノ粒子構造化過程の検討」
神原淳　大阪大学大学院・工学研究科
15:50 – 16:20 「熱プラズマを用いたナノ粒子合成プロセスの熱力学的検討」
田中学　九州大学大学院・工学研究院
16:20 – 16:50 「電力用遮断器内アーク放電プラズマのエントロピー解析」
平山智士　滋賀県立大学・工学部
16:50 – 17:20 「プラズマの種子科学への応用」
古閑一憲　九州大学大学院・シス情報研究院

酒井氏より気相プラズマプロセスの学理構築に向けて，プラズマ分布のゆらぎを熱力学的観点と情報学的観点から解析する手法が提案された．エントロピー解析が重要であることが示された．伊藤氏より気相-液滴プロセスの最新実験結果が報告された．Au 液滴をインクジェットで供給し基板に固化させるプロセスにおいて熱力学エントロピーの観点からの解析例が報告された．村上氏より気相プロセスのプラズマケミストリーを統計的にスケールフリーで解析する手法が提案された．情報的な手法により複雑な気相プラズマ中の化学反応過程が予測できる結果が示された．神原氏より熱プラズマ気相プロセスのガス流れを制御して，ナノ粒子の凝集過程を制御する実験結果が報告された．特にサイクロン流を発生させた渦構造を持つ特異な反応流れ場で粒径を制御できることが示された．田中氏からも熱プラズマのナノ粒子生成の最新成果が報告された．交流アーク放電の周波数により粒子の分布を制御できることが示された．平山氏より遮断器中の気相プラズマ現象についての報告があった．局所的熱平衡を過程したアーク放電解析について報告された．古閑氏から低温プラズマプロセスにより種子の発芽制御の成果が報告された．プラズマ気相中の多種多様な活性種で種子中のメチル基が操作され，化学的反応ネットワークを通して植物の生長が変化する可能性が示された．

[3] 今後の研究の推進方策

革新的気相プラセスの学理構築に向けて学外研究者との交流が活性化し，様々な気相プロセスに関する最新結果と解析手法が報告された．熱力学的エントロピーと情報学的エントロピーの両観点から議論され，良質な気相プロセスの構築に向けて，統計的に議論することを共通認識とした．来年度も東北大学にて研究会を企画する．具体的には下記に示すように気相ナノ材料プロセスとそれを用いたデバイスに関するテーマで講演を企画し，ナノ材料プロセスの最新動向について議論し、さらに共同研究に発展させる．またデバイス応用に向けた諸問題と可能性についても広く議論する．

- 気相プロセスを用いたナノ材料生成･制御技術
- ナノ材料電子デバイス応用（トランジスタ、太陽電池）
- ナノ材料イオンデバイス応用（Li イオン電池、電気二重層キャパシタ）
- ナノ材料バイオセンサー、情報通信デバイス応用

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

【論文】

1. G. Uchida, K. Masumoto, M. Sakakibara, Y. Ikebe, S. Ono, K. Koga, T. Kozawa,“Single-step fabrication of fibrous Si/Sn composite nanowire anodes by high-pressure He plasma sputtering for high-capacity Li-ion batteries”, Scientific Reports Vol. 13, 14280 (2023).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

【論文】

2. T. Omae, T. Yamada, D. Fujikake, T. Kozawa, G. Uchida,“Development of nanostructured Ge/C anodes with a multistacking layer fabricated via Ar high-pressure sputtering for high-capacity Li^{+}-ion batteries”, Applied Physics Express Vol. 17, 026001 (2024).

【学会発表】

3. Giichiro Uchida, “Property control of Ge and Si nanostructured films by high-pressure He sputtering process for next-generation Li ion battery”, Global Plasma Forum in Aomori, 10.15-18, 2023(招待講演）
4. Giichiro Uchida, Kodai Masumoto, “Synthesis of Si/Sn composite nanowires by using plasma sputtering process for Li-ion battery anode”, MRM2023/IUMRS-ICA2023, 12. 11-16, 2023.
5. 益本 幸泰, 花井 稜, 石原 雅之,大前 知輝, 中田 智久, 丹羽 亮斗,横井 玲音, 内田 儀一郎「RF マグネトロンスパッタリング法を用いた Si ナノワイヤーの堆積と酸化膜の Li イオン電池性能への効果」第 84 回応用物理学会秋季学術講演会，2023 年 9 月 19-23 日，熊本.
6. 花井 稜, 益本 幸泰, 石原 雅之, 大前 知輝, 中田 智久, 丹羽 亮斗, 横井 玲音, 内田 儀一「GeSn ナノ柱状薄膜の構造制御と Li イオン電池負極への応用」第 84 回応用物理学会秋季学術講演会，2023 年 9 月 19-23 日，熊本.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/B04

研究課題名

量子物質の制御と機能開拓およびそのデバイス応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
松野 丈夫（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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

1. エピタキシャル WO_2 薄膜を用いた電流-スピン流変換現象（成果リスト[1]）

研究代表者の松野（阪大）らは新規なスピン流生成源の開拓に向けて、強いスピン軌道相互作用と電気伝導性を有するエピタキシャル $5d^2$ WO_2 の薄膜合成と電流-スピン流変換効率の評価に取り組んだ。強いスピン軌道相互作用を有する *5d* 遷移金属酸化物を用いたスピントロニクス研究は主にイリジウム酸化物を中心として行われてきた。その理由は、化学的に安定な価数（4+、$5d^5$）と高い電気伝導性をあわせ持つために、デバイス作製に展開しやすいからである。その一方、他の *5d* 遷移金属酸化物では化学的に安定な価数が $5d^0$ に対応することが多く、そのほとんどは絶縁性を示すためにスピントロニクス特性の探索は困難であった。

反応性スパッタ法を用いて、金属 W ターゲットから W 酸化物薄膜の成膜を行った。WO_2 は歪んだルチル構造（単斜晶）をとることから、エピタキシャル成長が見込める酸化物基板としてサファイア Al_2O_3(0001)を選択した。酸素分圧とスパッタ電力（W の供給速度に対応）の制御によって WO_2 相の安定化条件を見出した。X 線回折、X 線光電子分光、電気伝導測定による結晶構造、電子状態、電気抵抗率の評価から、ルチル型のエピタキシャル WO_2(010)薄膜が得られたことを明らかにした。

次に、合成されたエピタキシャル WO_2(010)薄膜に対して、スパッタ法により強磁性層である金属 $Ni_{81}Fe_{19}$（以下 Py）合金を in-situ で成膜し、二層膜 Py/WO_2 を作製した。参照試料として二層膜 Py/W を用意した。フォトリソグラフィと Ar ミリングを用いてホールバー型デバイスを作製し、室温下において高調波測定を行うことで、電流-スピン流変換効率を評価した。その効率は、+0.174 (WO_2)と−0.281 (W)と評価された。WO_2 の効率は W よりは小さいものの、実績のある *5d* 遷移金属 Pt や Ta、*5d* 遷移金属酸化物 IrO_2 に匹敵することが分かった。本結果は、WO_2 が良いスピン軌道トルク生成源であることを示しており、イリジウム酸化物のみが知られていた *5d* 電子系酸化物スピントロニクス材料に新たにタングステン酸化物を付け加える成果である。

2. Pt/$MgFe_2O_4$ 二層膜が示すスピンホール磁気抵抗の界面品質効果（成果リスト[2]）

スピン流を用いた磁化制御において、非磁性層と磁性層との界面におけるスピン流注入効率の向上は重要である。この効率を定量的に評価するために広く用いられているのがスピンホール磁気抵抗効果（SMR）である。研究代表者の松野（阪大）らは、界面品質とスピン流物性の関係を理解するために、磁性層としてスピネルフェライトの一種である絶縁体 $MgFe_2O_4$ に着目した。スピネルフェライト AFe_2O_4 は金属イオンの配置や結晶配向により多彩な磁気特性を示し、非磁性金属層とのエピタキシャル界面を形成できることから、二層膜界面を用いたスピン流研究の理想的な舞台となる物質群である。パルスレーザー堆積法で MgO(001)基板上に $MgFe_2O_4$ 薄膜をエピタキシャル成長させた後に、スパッタ法を用いてスピントロニクスの標準非磁性層である Pt を成膜することで二層膜 Pt/$MgFe_2O_4$ を作製した。その際、Pt の成膜直前に MFO 表面の真空中アニールを行うことによる界面状態の制御を行った。得られた二層膜に SMR 測定を行った結果、アニールを行った試料においてより強い SMR シグナルが観測された。以上の結果は界面品質がスピン流注入効率に影響することを示唆しており、磁性絶縁体を利用したスピントロニクスに資する成果である。

3. ダイヤモンド窒素空孔中心による高感度・広帯域マイクロ波量子センシング（成果リスト[3]）

研究分担者の小林（東大）らは、ダイヤモンド窒素空孔中心に代表される量子センサを用いて量子スピン顕微鏡を開発し様々な物性計測に適用す

ることを目指している。この手法は幅広い磁場領域・温度領域で適用可能でありサブミクロンスケールで磁場や温度の分布を定量的にイメージングできる。2023 年度は NV 中心を用いたマイクロ波のイメージングに取り組んだ。NV 中心は共鳴周波数 2.87 GHz のマイクロ波に敏感であるため、これを利用してマイクロ波デバイスの評価や磁性体中のマグノンの可視化などが可能である。しかし共鳴周波数付近以外では測定が難しいという制約があった。そこで新しいプロトコルとして提案されたのが AC ゼーマン効果を用いる方法である。AC ゼーマン効果とは、マイクロ波照射下で NV 中心の共鳴周波数がわずかにシフトすることを指す。我々は広視野顕微鏡とアンサンブル NV 中心を用いて、AC ゼーマン効果を用いたイメージングに初めて成功した。具体的には、マイクロ波平面リングアンテナの周波数応答やオメガ型アンテナ上のマイクロ波振幅の空間分布を広帯域に視覚化した。更に、ダイナミカルデカップリングを導入することで感度を大幅に向上させた。

[3] 今後の研究の推進方策

2023 年度は久しぶりに対面で研究会を開催できたため、本プロジェクト参加者の間での活発な討議が可能となった。そこでの量子物質の応用展開を目指す議論が上記成果につながった。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、分数量子ホール系の電荷輸送と熱輸送、スピンモアレエンジニアリング、フォノニック人工構造を用いた共振器マグノメカニクスなどについての議論が進んでいる。今後はこれらの新しいテーマについても研究を推進し、特にプロジェクト参画者同士での共同研究が成果を挙げられるように注力する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] Kohei Ueda, Hayato Fujii, Takanori Kida, Masayuki Hagiwara, and Jobu Matsuno, “Spin current generation from an epitaxial tungsten dioxide WO_2”, APL Materials **11**, 061125 (2023).
[2] M. Sugino, K. Ueda, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno, “Effect of interface quality on spin Hall magnetoresistance in Pt/MgFe2O4bilayers”, Applied Physics Express **17**, 013003 (2024).
[3] K. Ogawa, S. Nishimura, K. Sasaki, and K. Kobayasahi, “Demonstration of highly sensitive wideband microwave sensing using ensemble nitrogen-vacancy centers”, Applied Physics Letters **123**, 214002 (2023).
[4] Shintaro Nomura, Hideyuki Watanabe, and Satoshi Kashiwaya, “Imaging of high-frequency electromagnetic field by multipulse quantum sensing using nitrogen vacancy centers in diamond”, Applied Physics Express **16**, 086501 (2023).
[5] Hideki Narita, Jun Ishizuka, Daisuke Kan, Yuichi Shimakawa, Youichi Yanase, and Teruo Ono, “Magnetization Control of Zero-Field Intrinsic Superconducting Diode Effect”, Advanced Materials **35**, 2304083 (2023).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・
・

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R04/B05

研究課題名

次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究

[1] 研究組織

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：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
羽賀　望（豊橋技術科学大学）
吉田　賢史（龍谷大学）
袁　巧微（東北工業大学）
チャカロタイ　ジェドヴィスノプ(NICT)
室賀　翔（東北大学）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本共同プロジェクト研究会の目的は，アンテナ，電磁界数値解析法，無線電力伝送などの分野における新技術の開発や最新の知見の共有を行い，次世代の無線技術の基盤を構築することである．

近年の無線技術における高周波化，大規模化，複雑化といったトレンドを背景として，本共同プロジェクト研究会は以下のような研究テーマをメインに取り扱うこととした．

・マルチスケールの電磁界数値解析法の研究
・低周波無線電力伝送用アンテナの電磁界数値解析法
・ミリ波帯における 3 次元ビームフォーミングアンテナと整流回路の研究
・次世代無線通信のための高機能散乱体の研究
・MIMO-WPT システムを用いた無線電力伝送法の研究
・機能性材料を利用した電磁ノイズ低減の研究

これらはいずれも近年の無線技術に関する重要性の高いテーマであり，これらのテーマに関連した研究内容について議論を行った．

[4]研究計画及び内容

本共同プロジェクト研究会は，メンバーによる研究集会を中心に進める計画となっていた．本共同プロジェクト研究会は，本年度が 2 年目であったが，前年およびその前年度まで実施していた共同プロジェクト研究会から継続した開催となっている．研究活動状況の概要は下記の通りである．

【研究会】
第八回　通研共同プロジェクト研究会　-次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究-
日時　　：12 月 26 日(月) 13:00～18:00
　　12 月 27 日(火) 09:00～12:00
会場　　：電気系 1 号館 612 会議室
議題　　：研究内容の共有，進捗報告等

その他，2023 年 8 月には研究会メンバーによるオンラインミーティングが行われ、本年度の共同プロジェクト研究会の方向性が話し合われた．また，技術雑誌への連載記事の執筆など，メンバー同士が連携しての取り組みについても話し合われた．同年 9 月にはメンバーの羽賀が所属する豊橋技科大を今野と吉田が訪問し、技術的な打ち合わせを行った．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 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，2 次元の無限周期構造上にあるアンテナの数値解析法を提案し，無限大の周波数選択板上にあるアンテナの数値解析へ応用した．提案法は，数値的に求めた反射係数を用いて無限周期構造をモデリングする方法であり，無限期構造を非常に効率的にモデリングすることができる．本研究成果は，米国電気電子学会の論文誌へ掲載された．

第 2 に，電磁石を用いたリコンフィギャラブルリフレクトアレーを提案した． 提案したリコンフィギャラブルリフレクトアレーは，無数の反射素子からなり，素子の姿勢を変えることで反射電界の位相を変え，ビーム方向も変えることができる．反射素子の姿勢は電磁石を用いることにより非接触で変えることができる．従来のリコンフィギャラブルリフレクトアレーと異なり，反射電界

の位相を変える移相器が反射素子と非接触にできるので，移相器の挿入損失がない．本研究成果は，米国電気電子学会の論文誌へ掲載された．

第 3 に，マイクロ波電力伝送で駆動電力を供給するワイヤレスセンサネットワークシステムの実験的評価について 2023 年夏に札幌で開催された URSI-GASS にて口頭発表を行った．再使用ロケット実験機の実機を用い，エアロシェルに設けられている開口部をアルミホイルで覆って電波をとじこめる場合と，開口部を通常運用通りオープンにする場合の通信品質と受電電力をそれぞれ測定し，比較した．その結果窓を閉めると受電電力が上昇し，通信との両立も可能であることを確認できた．今後は機体内部の複雑な伝搬特性について，電力伝送用としての最適性とは何なのか追求していきたい．

その他，昨年度学術論文に掲載された波源分布推定の手法を用いたアンテナの電流分布推定の結果や，負荷インピーダンスを最適化することによるリフレクトアレーの高機能化の研究を行った．このように，本プロジェクト研究会の枠組みから着実に研究成果が得られている．

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究の成果の 1 つである 2 次元の無限周期構造上にあるアンテナの数値解析法の研究は，代表者が主に取り組んできた研究であるが，この研究内容は国内外で注目され，国内学会で 1 件のキーノート講演，国際学会で 1 件の招待講演を今後実施することになっている．

また，本共同プロジェクトの研究会の成果として過去に発表された学術論文(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.)の内容に関連して，University of Surry の Gabriele Gradoni 教授との共同研究が立ち上がった．共同研究の内容は，米国電気電子学会の学術論文として採択され，近日中に発表予定である．この共同研究をきっかけとして，国際ワークショップ iWAT2024 (International Workshop on Antenna Technology 2024)において，Gabriele Gradoni 教授を代表者の今野が Keynote Speaker として招いたりするなどの交流が進んでいる．

本共同プロジェクト研究会のメンバーを中心として，国内の EMC 関連雑誌での連載記事執筆の計画が進められている．現在は著者による記事の執筆中で，複数回に亘る連載記事として今後掲載予定である．

また，本プロジェクト研究会をベースにして，関連の研究プロジェクトが立ち上がっている．それらの研究プロジェクトに関して，以下のような競争的研究資金に応募し採択されている．

継続中
・基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発　課題ア　高周波数帯 ＩＲＳ の制御技術(課題ア-②　研究分担者　今野　佳祐)
・電波資源拡大のための研究開発
・総務省
・2021 年 8 月-2025 年 3 月．

・Beyond 5G の電磁環境制御用散乱体の設計(研究代表者　今野　佳祐，研究分担者　チャカロタイ　ジェドヴィスノプ)
・科研費　基盤研究(C)
・日本学術振興会
・2022 年 4 月-2026 年 3 月．

[6]まとめと今後の課題

以上のように，本共同プロジェクト研究会では，研究集会やオンラインミーティング，メールベースでの議論などを通して，アンテナ，電磁界数値解析法，無線電力伝送などの分野における新技術の開発や最新の知見の共有を行った．本共同プロジェクト研究会のメンバーにより，次世代の無線技術の基盤となりうる様々な研究成果が発表され，学術論文や国内外の会議，あるいは技術雑誌等の媒体を通して広く共有されている．

本共同プロジェクト研究会は今年度で終了となるが，次年度以降は「電磁波工学分野における新しい研究領域の開拓」という新たな共同プロジェクト研究会を立ち上げる予定である．新たな共同プロジェクト研究会では，メンバー間の連携を進め，電磁波工学分野における重要な研究領域を新たに開拓することを目的としている．競争的資金への応募も行い，国際的な連携もさらに進めていく予定である．

[論文、学会発表、および関連成果]
(1) 成果リスト（謝辞あり）

学術論文
・K. Konno, N. Haga, J. Chakarothai, Q. Chen, N. Nakamoto and T. Takahashi, ″A Novel Method of Moments for Numerical Analysis of Antennas Over 2-D Infinite Periodic Arrays of Scatterers,″ IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 72, no. 1, pp. 50-60, Jan. 2024

・A. Hu, K. Konno, Q. Chen and T. Takahashi, ″A Highly Efficient 1-bit Reflectarray Antenna Using Electromagnet-Controlled Elements,″ IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 72, no. 1, pp. 506-517, Jan. 2024

国際会議発表
・S. Yoshida and K. Nishikawa, ″Effect of the Shielding for Opened Windows of the Reusable Vehicle Test for 5.8-GHz-Band Microwave Power Transmission,″ in Proc. 2023 XXXVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), Sapporo, Japan, pp.1-2, Aug. 2023.

・K. Konno, K. Mochiki and Q. Chen, ″Source Reconstruction Method Using Fourier Transform and Eigenmode Currents,″ in Proc. 2023 IEEE International Symposium on Antennas And Propagation (ISAP), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1-2, Oct. 2023.

国内会議発表
・佐藤 聖将, 今野 佳祐, 陳 強, ``素子間相互結合を考慮した負荷インピーダンスの最適化とそのリフレクトアレー設計への応用,'' 信学技報, vol. 123, no. 223, AP2023-90, pp. 15-18, 2023年10月.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
特になし

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R04/B06

研究課題名

これからの学術集会を考える

［1］研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
村山公美（株式会社横浜国際平和会議場）

通研対応教員：
北村喜文（東北大学電気通信研究所）

［2］当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトは、コロナ禍を経た時代における学術集会のあり方について、学術集会の主催者のみならず、会場、開催都市、サービス・プロバイダーなどのサプライヤーからの視点も交え議論し、学術会議の運営に必要な課題に対処するためのナレッジ・ハブを構築することを目的としている。

1. 当該年については、特に持続可能性の問題に対する意識の高まりが会議開催に与える影響に焦点を当て、会議運営におけるサプライヤー側のサステナビリティへの取り組み状況を調査し、研究代表者である村山の組織が所属する国際的な会議業界団体である国際会議協会（ICCA）のネットワークを通じ、下記機会に意見交換を行った。

(1) 会議業界のトレードショーIMEX（2023 年 5 月、フランクフルトにて開催）にて ICCA が主導する Net Zero Carbon Events [1] イニシアティブの主催者との意見交換。

(2) ICCA 総会（2023 年 11 月、バンコクにて開催）の Sharing Hub セッションにて、各会議開催都市との意見交換。

(3) 会議開催地のサステナビリティ戦略およびパフォーマンスの国際的な評価指標である GDS-Index の加盟都市である韓国・高陽のコンベンション・ビューローとタイ国政府コンベンション＆エキシビション・ビューロー（バンコクおよびソンクラーが GDS-Index に加盟）のサステナビリティ担当者と共に、第 5 回横浜グローバル MICE フォーラム [2]（2023 年 12 月開催）の機会に、その取組手法、戦略に関してアイデアを共有。また、フォーラム事体を実証の場として、フォーラムの運営手法にサステナビリティを推進する取組を導入した。

2. ハイブリッド形式の会議運営に対する理解を深めることを目的とした米国・ノースカロライナ州立大学と東北大学 電気通信研究所の共同プロジェクト研究 [3] への調査対象拡大のための協力について、Benjamin WATSON 准教授と協議。

[1] Net Zero Carbon Events：会議やトレードショーの主催者、会議場や展示会場を代表する業界団体である UFI、AIPC、ICCA のメンバーで構成される Joint Meetings Industry Council（JMIC）が主導し、2050 年の二酸化炭素の排出量実質ゼロの目標に向け、各団体がその道筋を表明するイニシアティブ。（https://www.netzerocarbonevents.org/）

[2] 横浜グローバル MICE フォーラム：株式会社横浜国際平和会議場（パシフィコ横浜）が、横浜市との共催により開催し、国内外の会議業界関係者が集う。第 5 回となる 2023 年は「ビジネスイベンツのサステ ナブルな歩み」をテーマに約 130 名が参加して議論。（https://ygmf.pacifico.co.jp/）

[3] Benjamin Watson, チェン・ミャオ, “Collaborative evaluation of non-verbal communication solutions” [R05/A14]

［3］今後の研究の推進方策

1. ハイブリッド形式の会議運営に関わる諸課題（対面とオンラインのメリットを生かした運用方法、ハイブリッド化に伴い増幅する経費、新しいテクノロジー導入とそれが会議の仕様にもたらす変化と可能性、平等性やアクセシビリティの複雑化）について、主催者と会議サプライヤー双方の経験と知見を持ち寄る形で、学術集会のあり方や新しい方向性を議論する機会を研究会として開催し、議論を深めたい。

2. サステナブルなイベント開催などの課題については、よりサプライヤー側からの情報提供が求められる分野であるため、ベストプラクティスの共有や成果報告などにより、学術集会主催者においてサステナビリティが課題として認識される土壌を築いていくことも必要

であると感じる。上記、研究会において、問題提起したい。

3. [R05/A14] “Collaborative evaluation of non-verbal communication solutions” への協力に関しては、村山が所属する会議サプライヤー側のコミュニティ、またアジア・パシフィック地域に調査対象を拡大して、よりバランスの取れた回答者を得たい。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・

・

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・第 5 回横浜グローバル MICE フォーラム、SESSION 2「サステナブルな MICE デスティネーションは一日にしてならず」（https://ygmf.pacifico.co.jp/）

・RIEC 令和 5 年度共同プロジェクト研究発表会、ポスターセッション「これからの学術集会を考える」

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R04/B07

研究課題名

視聴覚におけるオブジェクト認知の原理

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
栗木一郎（埼玉大学大学院理工学研究科）
通研対応教員：
坂本修一（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要
本年度は以下の要領で１回の研究会を開催した．

日時：2023/12/22-23
場所：東北大学 電気通信研究所 M401 セミナー室

12/22(金)
（～16:00 電子情報通信学会 HIP 研究会に参加）
16:30- 岡嶋克典（横国大）「動的視覚情報によって生じる疑似粘り感」
17:30- 森川大輔（富山県立大）「音像距離知覚に頭部運動が与える影響」

12/23(土)
10:00- 坂本修一（東北大）「音圧レベルおよび空間位置が聴覚オブジェクトの知覚に及ぼす影響」
11:00- 栗木一郎（埼玉大）「脳内における色情報表現の課題依存性」

それぞれ１時間のコマのうち 15-20 分程度の研究発表に対し，45-40 分の質疑を行い，各研究からオブジェクト認知に関する本質的な示唆を学ぶため，活発な意見交換を行なった．各研究発表と質疑の概要は以下の通りである．

岡嶋らは，VR に呈示される自身のバーチャルハンドについて，実際の手の動きを変容させる操作で錯覚的な触知覚を生じさせられるかを試みた研究を報告した．例えばマウスポインタの動きを遅らせると触覚的抵抗感を感じるという先行研究はあるが，力覚系の擬似感覚が多く，質感を変化させる擬似触覚は少ない．そこで，VR ディスプレイに呈示するバーチャルハンドの動きの制御や，バーチャルな物体の変形映像を VR に付加することによって観察者が質感（粘性感など）の違いを知覚するか調べた研究を紹介した．さらに聴覚的な手がかりを加えた時に，バーチャルな質感を変容できるか，などの質疑応答が行われた．

森川らは，奥行方向に並べた超小型スピーカーによって呈示された音像位置の奥行定位の精度について，頭部の動きが精度向上に寄与するかについて報告した．首を軸にして頭を左右に振る動作により，頭部関連伝達関数（HRTF）の方位によるわずかな違いを手掛かりにして正面にある音像の奥行定位の改善を調べた．その結果，計算上よりも短い距離でしか改善が得られなかったと報告した．これに対し，装置環境や実験条件，頭部の動かし方について，意見交換が行われた．

坂本らは，時系列にたがい違いに変化する高音と低音の連続を，統合された１つの文脈として知覚するか，２つのストリームとして知覚するか，という現象について，スピーカーの配置と２音の周波数の差を様々に組み合わせた条件を調べた．２音を呈示するスピーカーを空間的に離して設置した場合に，統合が生じる角度範囲が２音の周波数差により影響されるかを調べた実験について報告した．これに対し，音源の空間位置に関する解像度の方位による違いの影響に関する質問など，意見交換が行われた．

栗木らは，同じ視覚刺激を呈示した条件下で，異なる色知覚課題を与えて実験した場合の fMRI による脳活動の違いについて報告した．色知覚課題は２つで，１つは細かな色の差を無視してグループ化するカテゴリー的色知覚の課題，もう１つは細かな色の違いに着目して見え方を評価する課題であった．初期視覚野における脳活動は類似度が高く，高次視覚野で脳活動パタンが顕著に変わることを報告した．これに対し，２つの色課題において用いられた応答方法（ボタン押し回数）など視覚以外の要因が影響している可能性などについて，質疑討論が行われた．

[3] 今後の研究の推進方策
今回の報告の中に，視覚と触質感に関する相互作用の研究が報告された．また聴覚に関する研究の報告では視覚情報による影響の有無などについても議論が行われた．視覚・聴覚に絞った研究報告を行ってきたが，例えば味覚との相互作用など，視聴覚以外の感覚との相互作用に関する研究者を招聘することにより，知見の広がりや新たな発見を得られるのではないかと考えている．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・有馬隆人, 上野賢一, 栗木一郎. 色カテゴリーとカラーアピアランスの脳内情報処理に対する文字課題の影響. *VISION, 35*(3), 120-124, 2023.

・Ichiro Kuriki, Takato Arima, Takeshi Hamano, Shunsuke Takano, Kenichi Ueno. Task dependent changes in brain-activity patterns for color perception in human cortical areas. *Neuroscience 2023*. November 13, 2023.

・

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・茂木直也、岡嶋克典：指先感の動的視覚情報によって生じる疑似粘り感．*映像情報メディア学会 HI 研究会技報*、*Vol.47*, No.35, pp.21-24 (2023-11-10)

・森皓治郎, 森川大輔, モクタリ パーハム. 広帯域雑音の音像距離知覚に頭部運動が与える影響. *日本音響学会 聴覚研究会資料, Vol. 53*, No, 7, H-2023-72, pp.399-404
(2023.11.23-24)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R04/B08

研究課題名

持続的社会を実現する水上モビリティの要素技術に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
末田　航（SenseFoil Pte. Ltd.,）
通研対応教員：
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

前年度までの経過と今年度の活動について

本研究会では発足当初、持続的に離島や中山間部の物流等のインフラを支える無人帆走ドローンに着目していた。そして、並行して酒田市飛島などを協力する立場で実証実験[1]を行ってきた。実証実験の結果、自動化等に必要な港湾設備投資などを考慮すると持続性採算性確保が難しいこと、仮に助成などによって経済的な課題を解決したとしても自動航行技術の投入のみでの地域社会の持続が難しいことが指摘された。加えて、産業誘致や関係人口増加に資する独自性アピールできるモビリティへの期待から、当事者としての課題解決のアイデアの社会への発信や展開を図るなどの方策の必要性が認識された。そこで今年度の本研究会では、**環境にやさしく都市部と山間部のインフラ格差や、障がいの有無などを包摂するモビリティとしてのインクルーシブセーリングに着目し、とりわけ HCI の観点からこれらを実現するための議論をおこなった**。

2024 年度共同プロジェクト研究会の実施概要

日時：２０２４年１１月２８日
場所：東北大学電気通信研究所
参加者：
末田　航（SenseFoil Pte. Ltd.,）
北村　喜文（東北大学電気通信研究所）
松本友哉（合同会社とびしま/とびしま未来協議会）
松尾 政輝(筑波技術大学)
坂尻 正次(筑波技術大学)
大西 淳児(筑波技術大学)
三浦 貴大(産総研)
(計 8 名)

議論テーマ「インクルーシブなセーリング UI/UX について考える」

ブラインドセーリングの現状と課題:

- 議論の焦点は、視覚障害者がセーリングを行う際のセイル操作や空間の把握に関するものであった。
- ブラインドセーリング体験の感覚的側面:
- 風や波の音に基づくセーリングの感覚体験についての洞察が共有された。
- 議論では、視覚障害者を含めセイラーがどのようにセーリングを感じ、安全に操船を楽しむかが人船一体を考える上で重要であるとの意見が出された。

テクノロジーの活用:

- ブラインドセイラーが自在に操船し、晴眼者と同時にレースを楽しむ状況の実現のための方法が議論された。
- 帆走ドローン技術の操船への応用に関する議論（人船一体）が行われた。

地域コミュニティへの影響:

- インクルーシブセーリングが地域社会に与える影響について議論された。
- 視覚障害者を含むすべての人がセーリングに参加できるようにすることの社会的意義について議論された。
- 地域格差や障害の有無などのギャップ解消と多様性を受け入れるインクルーシブな取り組みによりコミュニティを強化し、グラント等さまざまな分野のリソース確保を目指すことが議論された。

現状の課題と対応策：

- 既存のブラインドセーリングレースシステムについての課題が共有された。
- 輻輳した状況での状況把握の難しさが課題。
- 対応策として、使用音声を変えることで認識率や距離がアップする可能性があると提案された。
- 対応策として、non-speech 情報と触覚の組み合わせが有効であるという意見が出された。

感覚的ナビゲーションの欠如:

- 風向きやセイルの状況を認識する能力はセーリングにおいて重要であるが、現在のノ

[1] 国土交通省「スマートアイランド推進実証調査」

ウハウと技術では視覚障害者に十分なサポートが提供されていない可能性がある。
- 対応策として、聴覚・触覚を組み合わせた感覚的ナビゲーションシステムの開発に焦点を当て、視覚障害者がセーリング中の環境をよりよく理解できるような技術の研究・開発が進められるべきである。
- バリオメータなどを参考に Sonification, audification を行う装置が考案されるべきである。

アクセシビリティの制約:
- セーリング用具や操船機構のデザインが、視覚障害者にとって使いにくい場合がある。
- 対応策として、ユーザビリティ研究を通じて、視覚障害者向けのセーリング装備や船体デザインの改善が進められるべきである。
- 客観・主観データの記録及びそれらからのユーザビリティ・UX を評価する方法が検討されるべきである。
- ブラインドセーリングの実態にあった評価方法を考えるべきであり single case experimental design などで実験計画が進められるべきである。
- ユーザと設計者が一緒に開発を進める co-design のプロセスが分析され、まとめられる方法も検討すべきである。

[3] 今後の研究の推進方策

コンピュータ支援セーリング:
- 帆走ドローン技術を操船支援に適用し、視覚障害者を含むすべての人に安全に楽しくセーリング体験を提供する方法の研究開発。
- 音や触覚などの感覚的要素を利用した新しいナビゲーションシステムが導入される。
- ブラインドセイラーにとっての Sense of agency の解明（楽しさ、人船一体）が行われる。

感覚的体験の深化に関する研究:
- 視覚障害者がセーリング中に音、風、波の感覚をどのように経験するかに関する研究が強化される。
- センサー技術やバイオフィードバックを利用して、セーリング時の感覚的体験が解析され、そのデータがセーリング技術の改善に応用される。
- その結果、視覚障害者の環境認識ノウハウが晴眼者の初心者の支援にも活用される可能性がある。

多感覚フィードバックの利用:
- 視覚以外の感覚（触覚、聴覚）を活用したセーリング体験の提供に関する研究が進められる。
- 触覚フィードバックシステムの開発により、視覚障害者がセーリングの環境をより直感的に感じられるようになる（言語的、感覚的な代替・提示手段も検討される）。

本研究会参加メンバーのセーリング体験が必要である。
- セイラビリティ東京等の首都圏の体験会に参加する（場所は若洲か豊洲、冬はオフシーズン）。

資金調達とリソースの確保:
- 対応策として、グラント申請、パートナーシップの構築（多様なリソース調達先にアクセスするため）を通じて資金とリソースの確保が行う。

関連活動：

2024 年２月本研究会メンバーがブラインド向け UI/UX の有識者として、セイラビリティ伊勢・セイラビリティ Piccola Club・日本セーリング連盟などが開催する、ブラインドセーリング向けレース支援システム体験会参加した。

図 1 日本セーリング連盟・セイラビリティ団体等が開催したブラインドセーリング向けシステム体験イベントの様子(@江ノ島ヨットハーバー　2024/2)

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・「セイラビリティ伊勢：ブラインド研究者とブラインドセイラーが参加交流するハンザ体験会」主催：セイラビリティ伊勢・セイラビリティ Piccola Club, 協賛:スポーツ庁・日本セーリング連盟, 於：江ノ島ヨットハーバー(2024/2)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R04/B09

研究課題名

多機能マルチメディア生成に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
薗田 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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

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，2024年1月16,17日20名参加）
8件の一般講演と，１件の招待講演を行い，招待講演者１名（情報通信研究機構・王立華主任研究員），学生研究発表者３名，および研究代表者１名に対して旅費の補助を行った．
既存メディアである画像への情報埋込・検出技術に関する研究討議の他，二次利用に基づくサンプリング音楽の著作権管理，メールコミュニケーションにおける感情表現機能の付加，Adversarial Examplesの検出に関する研究討議を行なった．
また，複数組織が自らのデータを共有せずに，それでいながら全体のデータに対する機械学習を行う「連合学習」について，第一人者である王先生から，プライバシー保護の枠組み，関連研究や実用化の最新の進展，将来の展望の招待講演を頂いた．

・研究発表会，６回開催，2023年5月，７月，９月，１１月，2024年1月，3月，各参加者20名程度）全98件の講演

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 ”Special Section on Enriched Multimedia - Media technologies supporting the digital society -“ を企画した．2024年3月投稿締め切り，2025年4月号に掲載される．

[3] 今後の研究の推進方策

昨今の生成的 AI のマルチメディア生成は目覚ましく発展し，その生成物の知覚上での弁別はほぼ不可能な段階にある．当研究グループの課題は，このような生成物の多機能化を先導し，安全性を担保する研究への推進が，ますます重要性を増していると考える．

【別紙】
[論文、学会発表、および関連成果等]
(1) 成果リスト（謝辞あり）

[A1] 廣瀬 万玲, 今泉 祥子, 貴家 仁志, “情報半開示可能なJPEGビットストリームレベルの暗号化法,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-85, pp. 26-31, 2024年1月.

[A2] 中谷 大地, 今泉 祥子, “情報埋込みを用いた可逆な色調制御法の拡張,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-86, pp. 32-37, 2024年1月.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[B1] 鈴木 悠太, 高嶋 洋一, “二次利用に基づくサンプリング音楽の著作権管理はどうあるべきか,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-80, pp. 1-6, 2024年1月.

[B2] 武田 起樹, 高嶋 洋一, “多要素認証の比較と安全性向上を目指した認証方式の改良,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-81, pp. 7-12, 2024年1月.

[B3] 島村 優希, 新見 道治, “EmoEditor のメールコミュニケーションへの応用とスマフォアプリ開発,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-82, pp. 13-18, 2024 年 1 月.

[B4] 菊地 希歩, 今泉 祥子, “OpenEXR 画像のための圧縮可能な暗号化領域における可逆情報埋込み法,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-84, pp. 20-25, 2024 年 1 月.

[B5] 角森 健太, 栗林 稔, 舩曳 信生, “JPEG 圧縮由来の歪み信号に基づくフィルタリングを活用した敵対的事例検出手法,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-87, pp. 38-43, 2024 年 1 月.

[B6] 瀧脇 大登, 栗林 稔, 舩曳 信生, “パッチ型敵対的ノイズ生成手法における 3D モデルの適用の一考察,” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-88, pp. 44-49, 2024 年 1 月.

[C1] 王 立華, “AI におけるプライバシー保護を強化した連合学習 (Invited Talk),” 信学技報, vol. 123, no. 332, EMM2023-83, p. 19, 2024 年 1 月.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R04/B10

研究課題名

マイクロ波・レーザ SAR の応用研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

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。

本プロジェクトは継続して実施しているが、本テーマとなっては２年目でであり，以下の研究会を行った。

2023 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 6 年 3 月 8 日（ハイブリッド開催)、参加者 12 名(現地参加 7 名、オンライン参加５名)

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６件の報告があった。以下にいくつかの報告を抜粋し、そのの概要を示す。

1) 潮位測定レーダによる潮位測定実験　福岡工大　近木祐一郎

昨年度に引き続き、津波の早期検知のための潮位測定レーダの開発および実機適用状況について解説を行った。今年度はデータの取得日や気象条件、測定距離や使用帯域幅を変えたときの潮位可観測性について調べた。測定距離が遠くなるほど、帯域幅が狭くなるほどに可観測性が低くなる事象が示された。

2) 建築物等ミリ波非破壊検査装置の研究　九大　間瀬　淳

マイクロ波反射計の建築物壁面検査装置の開発について紹介があった。内容は、以下の二つに分類される。

ｉ）システムのハードおよび信号処理アルゴリズム：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ている。当初の要求である2-3 mm の空間分解で検査が行われ、実時間画像表示も可能なことが検証された。携帯型装置は、小型バッテリ駆動のため、ワイヤレス運転制御可能で、結果はPC上に画像表示される。

ⅱ）フィールド検査：研究所施設および現場での検査に適用された。表面からの深さ 10-60 mmの剥離に対し、波数空間での逆フーリエ変換も併用し、三次元表示が可能なことが示された。

2) 電磁波を用いた計測では、クロスレンジ方向の空間分解がレイリー分解（$\delta \cong 0.61\lambda/NA$：$NA$ は対物レンズの開口数）で制限されることから、波長の長いミリ波システムの大きな短所となっている。その問題を解決する一手法として、可視光領域で開発されてきたスーパーレンズをミリ波帯（周波数 100 GHz）で試作した。レンズの集光点でのスポット径は 1.3 mm、焦点深度 48 mm が得られ、薄膜スリットや文字パターンを用い 1.5 mm 幅のイメージング（0.5λ）が検証され、レイリー分解 $\delta \cong 1.1\lambda$ に対し空間分解の向上が実現している。

3) SAR 処理を利用する GPR による地雷検知技術　佐藤源之

GPR による地雷検出に関する現状について報告を行った。本 GPR は小型軽量の計測器であり人力で操作可能である。加速度センサを組み合わせることにより、人力による GPR スキャン時の GPR 自身の位置を検出し SAR 処理を可能とした。また金属検出器も組み合わせて、より高速な地雷の検出が可能になったことが報告された。

4) Random Phase Radar for SAR Applications　元九大　池地弘行

新たな変調方式のレーダとして、ランダムな位相変調のレーダについて、その原理及び利点について報告を行った。反射波の位相のみを連続的にサンプリングすることにより、ターゲットの距離に依存しない測定が可能であることがコンピュータシミュレーションにより確認できたとの報告があった。

5) 2 ドローン SAR 開発の現状　樋口拓真（福工大）

ドローンに搭載が可能な80GHz帯レーダ開発の現

状について報告された。レーダは自動車用のミリ波レーダおよび自身の位置の測定法としてキネマティックGPS使用の可能性が示された。

6） レーザ SAR による近距離物体可視化の研究
近木　祐一郎、（福工大）

本研究グループにより開発したレーザ SAR により、レンジ 20m くらいまでは微小物体の可視化ができることは既に報告されたが、ハードウェア改修によりレンジ数ｋｍになる技術について提案および議論を行った。反射光をファイバー端に導く光学系設計が現状の課題であり、それを受信面積の大きなビデオディテクタ上に反射光と参照光をみちびくことで直接検波する方法が適用できる可能性について議論した。

[3] 今後の研究の推進方策

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ハードウェア技術や解析処理技術で特徴ある情報が取得できつつある状況であり技術が発展的に開発されてきた。より実践的な適用例も複数報告されており、工学的技術が研究分野だけではなく社会的貢献するまでに発展した。共同研究者間で引き続き連携をとりながら技術的価値を高めていきたい。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・近木祐一郎、間瀬　淳，“レーダによる近距離海面の潮位測定検証実験”，電子情報通信学会総合大会、3 月 5 日、広島大学

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2023）

Grant No. **R04/B11**

Title

An Inter-presonal Dimension on MA: Behavior, Physiology, and Engineering

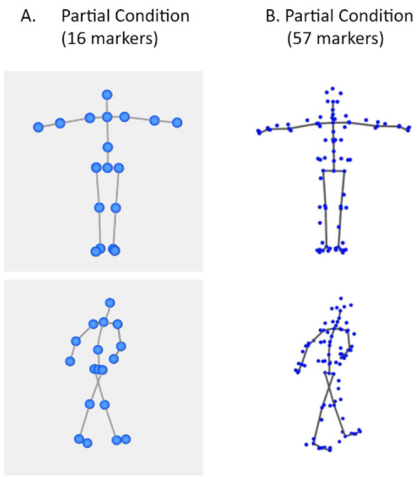
[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC
PI：TSENG Chia-huei (RIEC)
Project Member List:
Line Ho
Hsin-Ni Ho
Shoko Kashima
Chico Katsube
Doris Chow

[2] Summary of Research Results for the Year

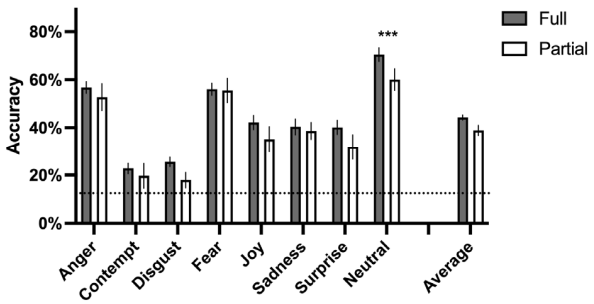
The Japanese concept/character MA (間), commonly translated as gap, interval, or the in between, partakes in many forms of Japanese arts (e.g. architecture, tea ceremony, dance), sports (e.g. Japanese wrestling, fencing, martial arts), and daily life practices (e.g. speaking, walking, to social interaction). There is a recent calling to attend to the "interpersonal dimension of MA", and we intend to form an interdisciplinary research team to apply research techniques from psychology, neuroscience, engineering, and humanities to conceptualize and quantify this rich cultural concept.

We proposed to understand MA is not as being outside, as an empty space or silence, but within us (individually and collectively), experienced as a certain quality of attention or perceptual mode highlighting the anticipation of action (a-tension). Our research group took diverse approaches to connect this new endeavor with other better established fields such as non-verbal communication, computer-human interaction, and cultural influences on perception and cognition.

This year, we studied this topic from the body movements and how the spatial-temporal relations inform us about various social signals. Most current databases for bodily emotion expressions are created in Western countries, resulting in culturally skewed representation. To address the obvious risk this bias poses to academic comprehension, we attempted to expand the current repertoire of human bodily emotions by recruiting Asian professional performers to wear whole-body suits with 57 retro-reflective markers attached to major joints and body segments and express seven basic emotions with whole-body movements in a motion capture lab. For each emotion, actors perform three self-created scenarios that cover a broad range of real-life events to elicit the target emotion within 2-5 seconds.

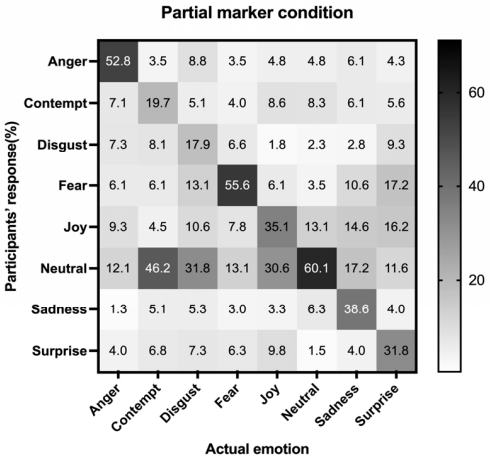


A new group of participants was invited to judge what emotional category they perceived from the extracted biological motions (point-light displays with 18 or 58 markers). The results indicate that the emotion discrimination accuracy was comparable to other Western databases that contain fewer performance scenarios. The encouraging result provides the first step to establishing a database for under-represented cultural groups in our research community.



We have collected novel data on the Asian body movement of emotional expressions. Professional performers were invited to perform three scenarios for

seven basic emotions (joy, anger, sadness, fear, contempt, disgust, surprise) and neutral emotion in a motion capture laboratory. All the performance scenarios were written by performers based on their past experience, effectively leveraging personalized stimuli to induce desired emotional responses and various situations to increase action diversity. In the subsequent validation experiment, we reduced the motion capture recordings into point-light displays (18 or 58 markers) and invited local participants to judge the perceived emotions. Data analysis revealed that the emotion discrimination accuracy of this experiment is comparable to other Western databases that contain fewer performance scenarios. We discovered that certain emotions (anger and fear) were more identifiable from body movement, while others (contempt and disgust) were expressed more subtly.



Contempt (21.2%) and disgust (23.7%) are the two emotions with the lowest accuracy in the current study, a consistent finding with the past studies (Dittich et al, 1996; Atkinson et al, 2004; Volkova et al, 2014b). This may be because these emotions are more subtle as they are classified with low arousal or are typically expressed more with facial expressions and less with body movements. In the context of Asian culture, these emotions are sometimes held within or concealed as they concern moral judgment and might be less desirable in an environment that highly values social harmony. A closer look at the error analysis showed that these two emotions are highly confusing with the neutral condition (i.e., 40.7% of Contempt and 23.4% of Disgust), which is probably because of limited body movement. Some scenarios in the categories of Contempt (e.g., "I witnessed someone running a red light"; "I sat near someone with disgusting eating habits") and Disgust (e.g., "I encountered a person who had poor hygiene"; "I saw a dirty room") coincide with neutral scenarios (e.g. walking, standing on the train, daydreaming, …) in the current study. Interestingly, although some performers reported in the interview that contempt and disgust were similar and, therefore, difficult to differentiate during the performance, these two emotions were not highly confusing for the raters who watched the point-light movements.

In the neutral category, a Japanese performer created the following script: "上司に怒られた (My boss got angry with me)." Initially, the performer's categorization seemed puzzling as the situation appears more closely associated with fear, anger, or even sadness. From a later interview, however, we learned from the performer that in the Japanese context where work culture is dominated by a rigid hierarchy, being the recipient of a supervisor's wrath is considered a common occurrence. People have therefore learned to be indifferent in such situations. To contextualize the translation, we added an extra detail that resulted in "I zoned out when my boss got angry with me."

[3] Future Research Promotion Measures

We applied an innovative emotion stimulation approach (personalized scenarios) to develop the first Asian body movement database of emotion with the point-light display. Professional performers provided individual performing scenaria that are personally relevant with whole body movements. Our results are promising and encouraging, which provide the first step to establishing a database for under-represented groups in our research community.

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

・Ma, J., Chow, H.M., Hatori, Y., Shioiri, S., & Tseng, C.H. (2023). Auditory modulation on saccadic suppression of displacement. Oral Presentation at the Summer Conference of the Vision Society of Japan.

・Chow, H.M., Ma, J., Shioiri, S., & Tseng, C.H. (2024). The effect of sound on visual stability perception during saccades. Presentation at the European Conference on Visual Perception, Scotland.

・Fujiwara, K., Cheng, M., Tseng, C.H., Kitamura, Y. (2023). Reading emotions from bodily movements: The development of the Motion Unit AI. Journal of Information Processing.

・Tseng, C.H., Cheng, Miao, Hagashiyama, S., Fujiwara, K., Kitamura, Y. (2023) An Asian-based database for emotional bodily movements. Summer Meeting of Japanese Vision Society, Japan

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements
(NA)

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B01

研究課題名

デジタルツイン社会に向けた境界のない無線ネットワークの設計

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
佐藤 光哉
（電気通信大学人工知能先端研究センター）

通研対応教員：
末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

デジタルツインとは，IoT（Internet of Things）などネットワークを介して現実空間（フィジカル空間）にある膨大かつ多種多様な情報を収集し，AI（Artificial Intelligence）が担うデータ分析・処理を経て，仮想空間（サイバー空間）に環境を再現する仕組みである．このデジタルツイン社会の基盤技術として，今後ますますの発展が予測される無線通信ネットワークにおいては，超高速・大容量通信にとどまらず，超多数同時接続や超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る．さらに，未知である将来のアプリケーションで求められる条件にも柔軟に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．今後は境界のない無線ネットワークの設計のために異なるレイヤ間（クロスレイヤ）の連携技術が必要不可欠であり，その異なるレイヤを俯瞰的に議論できる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の活発な議論を通して精査する．さらに，国内外の若手の無線通信ネットワークならびに周辺技術に関する研究者のコミュニティーのコアを形成し，総務省委託研究や JST CREST といった大規模な共同研究のための競争的資金の獲得につなげることが目的である．

今年度は 2024 年 2 月 1 日(木) に東北大学電気通信研究所ならびにオンラインのハイブリット開催にて研究会を実施した．参加人数やプログラムは以下の通りであった．

○ 参加人数 23 名（うち，現地参加 16 名，オンライン 7 名）

○ プログラム

- Communication-oriented distributed machine learning and inference
  西尾 理志（東京工業大学）
- 無線制御信号によるワイヤレスセンシング
  山本 高至（京都工芸繊維大学）
- THz 無線通信のためのディジタル・アナログ信号処理の融合
  梅林 健太（東京農工大学）
- B5G/6G に向けた宇宙統合ネットワークの課題と取り組み
  有吉 正行（NEC）

上記以外にすべての参加者がショートプレゼン（各 3 分程度）を実施した．

[3] 今後の研究の推進方策

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．すでに，本研究により以下の競争的資金獲得につながっているなど，成果は出始めている．

(1) 位置情報に頼らない時空間データ解析基盤の創出（JST さきがけ "社会変革に向けた ICT 基盤強化" 領域，R5 年 10 月～R9 年 3 月末，関係研究者: 佐藤 光哉）

(2) 通信・センシング・学習の融合によるレジリエントサイバー空間生成基盤（JST 先端国際共同研究推進事業 “次世代のための ASPIRE”，R6 年 2 月～R9 年 3 月末，関係研究者: 須藤 克弥（研究代表者），西尾 理志, 佐藤 光哉）

2024 年度以降も同様の研究会を年 1～2 回開催することを予定している．

共同プロジェクト研究

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Y. Tomimasu and K. Sato, “On Adaptive Client/Miner Selection for Efficient Blockchain-Based Decentralized Federated Learning,” IEEE VTC2023-Fall, pp.1-6, 2023

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B02

研究課題名

Massive Connect IoT 時代の無線通信システムとハードウェアの統合設計

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
亀田 卓（広島大学ナノデバイス研究所）

通研対応教員：
末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究会は Massive Connect IoT 時代の無線通信ネットワークにおいて有限な周波数資源をどのように利活用すべきか，またハードウェア実装をどのように行っていくべきかを，若手研究者ならびに学生が中心となって長期的視野で議論することを目的としている．

今年度は 2023 年 11 月 8 日(水) に東北大学電気通信研究所ならびにオンラインのハイブリット開催にて研究会を実施した．参加人数やプログラムは以下の通りであった．

○ 参加教員・学生（6 大学・高専，23 名）
（現地参加）
・広島大学: 教員 1，学生 2
・東北大学: 学生 4
・大阪大学: 教員 1，学生 4
・秋田県立大学: 教員 1

（オンライン参加）
・富山高等専門学校: 教員 1，学生: 8
・鈴鹿工業高等専門学校: 教員 1

○ プログラム
・920MHz 帯 RFID システムにおける LCX アンテナ近傍の金属遮蔽物によるシャドウイングに関する検討
　長張 永哉（東北大学）
・QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信システム ～衛星信号受信誤差の評価～
　北 寛登（富山高等専門学校）
・3 次元に分布するユーザのための GF-NOMA における電力レベル選択確率の解析
　上田 悠太（大阪大学）
・NOMA を用いた車車間通信における複数ユーザの同時送信時のパケット受信率の空間特性
　渕上 智貴（大阪大学）
・U2U 通信の信頼性を向上するための飛行高度に対する送信電力の解析
　清水 聡真（大阪大学）
・異種の通信要求を持つユーザ群のスループットを最大化させるための複数 ABS の配置
　小崎 満稀（大阪大学）
・無線双方向時刻比較技術（Wi-Wi）の時刻同期オフセットの実測評価
　大内 駿輝（広島大学）
・広帯域リアルタイムスペクトラムモニタを用いた多地点同時無線環境把握
　畑木 達也（広島大学）
・無線環境把握のための実空間の情報取得の検討
　小橋 音徳（富山高等専門学校）
・スマートフォンによる屋内位置推定アプリケーション
　大川原 和志（富山高等専門学校）
・無線 LAN による屋内位置推定モデルの開発－ネットワーク更新による屋内位置精度への影響評価－
　砂子阪 裕大（富山高等専門学校）
・RSSI を利用した無線 LAN の位置推定
　大谷 祐貴（富山高等専門学校）
・GHz 帯サブ cm サイズのドミノ型共振器を用いた体内埋め込み用無線電力伝送/通信の実現可能性の研究
　脇屋 文彰（東北大学）
・ダイレクトディジタル RF 技術を用いた 20 GHz 帯 DBF 送信機
　古内 航紀（東北大学）

[3] 今後の研究の推進方策

本研究プロジェクトは，参加した学生が他大学や高専の学生との深い議論が経験できることで，研究者を志す学生を増やすことに寄与すると考えている．これにより，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一層の活性化が期待できる．

2024 年度以降も同様の研究会を年 1～2 回開催することを予定している．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・赤坂, 大内, 畑木, 亀田, “[技術展示] Wi-Wi を用いた同期 SS-CDMA 通信機能の USRP への実装：多チャネル化の基礎検討,” 信学技報 SR2023-47, Nov. 2023.

・H. Kita, H. Oguma, S. Kameda, N. Suematsu, “Evaluation of Satellite Signal Reception Error by Sky View Factor for QZSS Short Message SS-CDMA Communication System,” ICTC 2023, Oct. 2023.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・S. Akasaka, S. Kameda, S. Yasuda, N. Shiga, “Implementation and Evaluation of Synchronized SS-CDMA Using Wireless Two-Way Interferometry (Wi-Wi),” ICUFN 2023, July 2023.

・砂子阪, 平田, 小泉, 的場, 亀田, 小熊, “無線 LAN による屋内位置推定モデルの開発 -ネットワーク更新による屋内位置精度への影響評価-,” 信学ソ大 B-17-21, Sep. 2023.

・大川原, 砂子阪, 平田, 亀田, 小熊, “[技術展示] スマートフォンによる屋内位置推定アプリケーション,” 信学技報 SR2023-65, Nov. 2023.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B03

研究課題名

コヒーレント光・マイクロ波統合型高機能通信・計測システムに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

2024 年 2 月 29 日に東北大学電気通信研究所の本館において、共同プロジェクト研究会「コヒーレント光・マイクロ波統合型高機能通信・計測システムに関する研究」を開催した。東北大学、産業技術総合研究所、京都大学、NTT、横浜国立大学、東邦大学、アドバンテスト研究所などから 40 名を超える研究者が参加し、2 件の招待講演と 7 件の一般講演が行われ、光量子関連技術や光アナログ演算による機械学習技術、レーザー位相制御技術、デュアルコム光源および関連技術、強制モード同期ファイバーレーザー、そして光・無線融合フルコヒーレント伝送などに関して活発な議論が行われた。

研究会のプログラムを以下に示す。

１．開会挨拶
２．【招待講演】光量子情報・光量子計測の最近のトピックス：竹内繁樹（京大）
３．長距離間量子もつれ配送に向けたレーザー位相制御：杉山陽平[1]・天木里穂[1]・志鷹雄飛[1]・都野智暉[1,2]・吉田大輔[1,2]・長野晃士[1,2]・堀切智之[1,2]・赤松大輔[1]・洪鋒雷[1]（[1]横浜国大、[2]LQUOM）
４．デュアルコムファイバレーザーの開発と THz 域への展開：湯本拓実[1]・内山竜成[1]・穀山渉[2]・時実悠[3]・安井武史[3]・松原伸一[4]・中嶋善晶[1]（[1]東邦大、[2]産総研、[3]p-LED、[4]JASRI）
５．東邦大学におけるデュアルコム分光計の開発：武子尚生[1]・内山竜成[1]・窪田光佑[1]・湯本拓実[1]・杉山陽平[2]・洪鋒雷[2]・中嶋善晶[1]（[1]東邦大、[2]横国大）
６．全偏波保持 Figure 8 ファイバレーザによる可動型デュアルコムシステムの開発：岡田隆典・藤野昌夫・桜井孝夫・高橋信孝・増田伸（アドバンテスト研究所）
７．【招待講演】空間・波長並列光アナログ演算による機械学習：中島光雅（NTT）
８．レーザー共振器内での非線形光学効果の補助による広帯域ファイバコム光源：内山竜成・松本匡史・湯本拓実・中嶋善晶（東邦大）
９．任意の光パルスを発生できる高繰り返し強制モード同期ファイバーレーザー：中沢正隆・吉田真人・廣岡俊彦（東北大）
１０．光注入同期型キャリヤ周波数変換回路を用いた IF28GHz 帯光・無線融合フルコヒーレント伝送：白幡晃一・葛西恵介・吉田真人・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）・東右一郎・小林敏幸（日本電業工作）
１１．閉会挨拶

[3] 今後の研究の推進方策

研究会に参加する研究者間で議論を継続し、高いコヒーレンスを保持した光波とマイクロ波を統合し、広帯域かつ高機能な通信・計測技術に関する研究の将来の方向性を見いだし、先進的な通信、計測システムの確立に貢献することを目指す。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）
なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・G. Park et al., “Realization of photon correlations beyond the linear optics limit,” Sci. Adv. **9**, eadj8146 (2023).
・T. Tashima et al., “Ultra-broadband quantum infrared spectroscopy,” Optica **11**, 81-87 (2024).
・T. Yumoto et al., “All-polarization-maintaining dual-comb fiber laser with mechanically shared cavity configuration and micro-optic component,” Opt. Continuum **2**, 1867-1874 (2023).
・K. Shirahata et al., “16 Gbit/s, 256 QAM Optical and Wireless Linked Fully Coherent Transmission at 28 GHz Using Small Microstrip Antennas,” ECOC2023, paper Tu.B.4.1.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B04

研究課題名

6G に向けたミリ波・テラヘルツ波技術の創成とその応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
真田 篤志（大阪大学大学院基礎工学研究科）

通研対応教員：
末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトは、次世代 6G 通信システムの実現のためのミリ波帯・テラヘルツ波帯のデバイス、回路、システム、計測に関するハードウェア基盤技術の課題を議論し、研究開発の方向性を明らかにすることを目的とし、6G システムの実現に向けてどのようなミリ波帯・テラヘルツ波帯の技術がキーとなりうるのかを検討し、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。このため、令和 5 年度は共同プロジェクト研究会を開催した。開催概要は以下の通りである。

日時: 2024 年 3 月 11 日(月) 13:30-17:40
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ルーム
プログラム:
13:30-13:40　研究代表者あいさつ（大阪大学大学院基礎工学研究科 真田 篤志 教授）
13:40-15:10　Jae-Sung Rieh 先生（コリア大学 教授）
Special talk:「Integrated Electronics Towards True Terahertz」
15:10-15:30　コーヒーブレイク
15:30-16:30　山中宏治様 （三菱電機情報技術総合研究所 マイクロ波技術部 部長）
「Evolution of GaN high frequency devices for 6G」
16:30-17:30　末松 憲治 先生 (東北大学電気通信研究所 教授)
「Proposal for Millimeter-Wave LEO Constellation Satellite Communication」
17:30-17:40　ラップアップ・次回研究会について
参加者（12 名）:
大阪大学 真田篤志、東北大学 末松憲治、岡山県立大学 大久保賢祐、東京情報デザイン専門職大学 岡崎浩司、JAXA 名誉教授　川崎繁男、国士館大学 九鬼孝夫、鹿児島大学 西川健二郎、東京都市大学 平野拓一、東北大学 古市朋之、龍谷大学 吉田賢史、三菱電機 山中宏治、コリア大学 Jae-Sung Rieh

まず、研究代表者の大阪大学 真田篤志教授の挨拶の後、コリア大学の Jae-Sung Rieh 先生から、「Integrated Electronics Towards True Terahertz」と題してご講演頂いた。100 GHz ～ 数 THz のサブテラヘルツ波からテラヘルツ波帯における同グループが行っている取り組みが紹介された。この周波数帯の波のエレクトロニクスアプローチとして、ダイオード、トランジスタによる発生、増幅、周波数逓倍、および検波、低倍技術の現状と動向について議論した。また、300 GHz/640 GHz InP HBT 発振器、700 GHz InP HBT 技術や、300 GHz/600 GHz SiGe HBT ヘテロダイン検波器、Si CMOS 300 GHz アレー検波技術が紹介され、設計、特性について議論した。更に、300 GHz リアルタイムイメージングや 600 GHz トモグラフィイメージングの応用の例も紹介された。

次に、三菱電機山中宏治様より、「Evolution of GaN high frequency devices for 6G」と題してご講演頂いた。6G 用の GaN デバイスに関する技術が紹介され、将来を見据えたデバイス技術からのボトムアップ方式による開発アプローチのコンセプトが議論された。

更に、東北大学電気通信研究所の末松憲治先生より「Proposal for Millimeter-Wave LEO Constellation Satellite Communication」と題してご講演頂いた。LEO コンステレーション衛星搭載用 DBF アンテナ装置のコンセプトと開発例が紹介され、高周波(RF)アナログ回路のディジタル化技術、衛星搭載用アンテナへの光ファイバ伝送ダイレクトディジタル RF 送受信機技術、面分割 DBF アンテナ技術について、現状と課題が議論された。

最後に、参加者全員により、本プロジェクトの運営方法や今後の計画が話し合われた。

これらにより、6G システムに用いられるシステムや要素技術の現状と課題について理解する共に、本技術分野の国際的な交流が深まった。

[3] 今後の研究の推進方策

引き続き、高速・大容量・低遅延・多数同時接続・低消費電力・セキュアな 6G システムを支える基盤要素技術について、その課題や方向性を議論するため、産学メンバーによる研究会を開催する予定である。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・T. Kawai, “Design of 76GHz-band Rectangular Planar-Circuit-Type 90-Degree Couplers,” XXXVth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS 2023), Aug. 2023.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Y Kato, M Ameya, M Tezuka, H Kobuke, A Sanada , “220/293 GHz Dual-Band Anomalous Reflectors Using Higher-Order Diffraction Modes and Their Precise Characterization Using a Compact Antenna Test Range System,” IEEE Access, 2023.

・[Invited] K Seki, K Yonemura, Y Kato, A Sanada, “Beam Steering Property of Perfect Anomalous Metareflectors Using Stretchable Elastic Substrates for 6G Applications,” 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), 884-886, 2023.

・Y Maegawa, Y Nakata, A Sanada, “All-dielectric carpet cloaks with three-dimensional anisotropy control,” Nanophotonics 12 (13), 2623-2636, 2023

・Y Kato, K Yonemura, K Seki, R Kambara, A Sanada, “Reconfigurable anomalous reflectors with stretchable elastic substrates at 140 GHz band,” Nanophotonics 12 (13), 2527-2535, 2023.

・R Mochizuki, N Shinohara, A Sanada, “Quarter-wavelength E ∥ H Beltrami cavity resonators,” AIP Advances 13 (2), 2023.

・[Invited] 関健斗, 真田篤志, “サブテラヘルツ帯完全異常反射ストレッチャブル RIS,” Microwave Workshops and Exhibition 2023, 2023 年 11 月 30 日.

・[Invited] 真田篤志, “6G に向けたメタサーフェス技術の現状と展望,” Microwave Workshops and Exhibition 2023 2023 年 11 月 30 日.

・米村一真, 中田陽介, 加藤悠人, 真田篤志, “バラクタダイオードを用いた 28GHz 帯異常反射 RIS の 2 次元反射ビーム走査特性 ,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会 2023 年 11 月 17 日.

・関 健斗, 米村一真, 加藤悠人, 真田篤志, “6G 応用のための伸縮性基板を用いた 140GHz 帯動的完全異常反射メタサーフェスの反射特性,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会 2023 年 11 月 17 日.

・米村一真, 関健斗, 中田陽介, 加藤悠人, 真田篤志, “バラクタダイオードを用いた異常反射 RIS の 2 次元反射ビーム走査,” 2023 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2023 年 9 月 13 日.

・関健斗, 米村一真, 中田陽介, 加藤悠人, 真田篤志, “伸縮性基板を用いたサブテラヘルツ波帯リコンフィギャラブル完全異常反射メタサーフェス,” 2023 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2023 年 9 月 12 日.

・[Invited] 真田篤志, “6G 無線通信のためのメタサーフェス技術,” 2024 年電子情報通信学会総合大会, BCI-1-02, 2024 年 3 月.

・Hiroya Oshima, Toshio Ishizaki, Takayuki Matsumuro, “Heat Dissipation Design of Active Integrated Antenna for 24GHz Wireless Power Transfer System”, Proc. of 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), December 2023.

・Naohiro Tsujimoto, Toshio Ishizaki, “A Study on Input/Output Coupling Methods of Constant Absolute Bandwidth Tunable Filters”, Proc. of Joint Workshop TJMW&AWPT 2023, December 2023.

・九鬼孝夫, "ループ形周波数選択面(FSS)の等価回路モデルの検討,", 信学総大, C-2B-05, Mar. 2023.

・Y. Hashimoto, N. Kaneda, K. Komoku and N. Itoh, “Study of 18.2-42.0 GHz Injection-Locked Frequency Doubler with Transformer Input,” IEICE Electronics Express, Vol.20, No.13, 1–52023. DOI: 10.1587/elex.20.20230107

・N. Tamura, K. Komoku and N. Itoh, “A Study on Kv and FTR Trade-off for 28-GHz Band VCO with Variable Inductor Using Switched Resistor,” The proceedings of Joint Workshop Thailand-Japan Microwave (TJMW) & Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT) 2023, TH2-01, Bangkok, Dec. 2023.

・M. Miyake, K. Komoku and N. Itoh, “A Study of Linearity Improvement for 920-MHz Fully-Integrated LNAs Operating in the Moderate Inversion Region,” Proceeding of Thailand-Japan Microwave & Asian Wireless Power Transfer Workshop 2023 (TJMW&AWPT 2023), 303, Bangkok, Thailand, Dec. 2023.

・伊藤信之, “リッツ線形状を模したスパイラルインダクタとその VCO への適用に関する検討,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 2024 年 2 月 29 日

・田村直渡，小椋 清孝，伊藤 信之，”スイッチトレジスタを用いた可変インダクタを擁する 28 GHz 帯 VCO の検討,” 2023 年度(第 74 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, R23-12-02, 2023 年 10 月 28 日

・三宅充城，小椋 清孝，伊藤 信之，”モデレートインバージョン領域で動作する低雑音増幅器の線形性改善に関する検討,” 2023 年度(第 74 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, R23-12-01, 2023 年 10 月 28 日

・辻健介，小椋 清孝，伊藤 信之，”出力整合回路に並列 LC 整合回路を用いた 1.5/3.0/5.0-GHz 三

帯域同時受信 LNA 回路の検討," 電子回路研究会 ECT-23-044，2023 年 7 月 21 日.

・福永祥利, 河合　正, 榎原　晃, "LC はしご形非等電力分配器を用いた 5 方向電力分配器の実験的検討." 信学技報, vol. 123, no. 115, MW2023-67, pp. 202-207, 2023 年 7 月.

・M. Fukunaga, T. Kawai, and A. Enokihara, "Compact Five-Way Power Divider Using Unequal LC-Ladder Dividers with Two Matching Frequencies," 2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2023), WE1-IF, Dec, 2023.

・福永祥利, 河合　正, 榎原　晃, "3.7GHz 帯準集中定数素子型 LC はしご形非等電力分配器," 信学技報, vol. 123, no. 319, MW2023-153, pp. 24-28, 2023 年 12 月.

・福永祥利, 河合　正, 榎原　晃, "LC はしご型等/非等分配・合成器を用いた 5 方向電力分配器の一構成法," 2024 年電子情報通信学会総合大会, C-2B-12，2024 年 3 月.

・S. Usui, A. Nagasawa, T. Kawai and A. Enokihara, "A Design Method of an X-band Compact Wideband In-phase Unequal Divider Utilizing a Short-circuited Coupled Transmission Line," Smart City Workshop 2024 (SCW 2024)，March 2024.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/B05

研究課題名

情報環境による行為や感情の増幅・減衰作用に着目する人と情報環境の相互作用に関する研究

[1] 研究組織

研究代表者：
中小路 久美代（公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科）

通研対応教員：
北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
山下 直美（NTT）
坂本 大介（北海道大学）
加藤 淳（産業総合研究所）
原田 悦子（筑波大学）
池谷 のぞみ（慶應義塾大学）
上原 一将（生理学研究所）
岡田 猛（東京大学）
清水 大地（神戸大学）
戸原 玄（東京医科歯科大学）
高野 歩 （NCNP）
平野 真理（お茶の水女子大学）
野原 佳代子（東京工業大学）
矢谷 浩司（東京大学）

[2]研究期間

令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

複雑・肥大化し続ける情報環境は，人の認知能力や，人が直接的に経験できる領域を遥かに超えており，AI などの先進的情報技術はその流れを強く加速させている．現在の情報環境は人の行為・知識の「増幅器」となっており，その傾向は弥増している．増幅作用が正に働く場合,多様な知識の獲得や身体的能力の拡張が可能となり，人の社会的生活に大きな利益をもたらす．しかしながら,増幅作用が負に働くと,劣っている・欠けている・できないと感じることが過剰に強調され，劣等感や精神的な圧力・落ち込みを生じさせうる本研究では，情報環境による行為・感情の増幅作用の正負・強弱が，人の心理・認知的文脈と提示される情報によっていかに決定されるのかを解明することを目指すものである．

[4]研究計画及び内容

提案当初の研究計画としては，東北大学での対面の会議・ワークショップが計画されていた．会議・ワークショップ開催の事前に，オンラインでの交流会，コミュニケーションを行い，価値観と目的の相互理解の促進に備える．東北大学での対面の会議・ワークショップでは，各研究者からの本研究に関連する各自の研究プロジェクト成果の共有を行なっていただくとともに，会議中に 1on1 形式のショートセッションを繰り返し，より具体的な共同研究や人材交流計画の立案を目指す．会議・ワークショップの開催時期を，大型予算申請提出締切日を考慮した上で設定するなど，大型予算への具体的な申請計画も検討する．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本研究プロジェクトの研究グループは，日本学術会議・未来の学術振興構想において，学術の中長期研究戦略の提案を行った．本提案「情報環境との相互作用で生ずる行為や感情の正負・強弱原理の解明に基づいた人の内在的強靭性を高める機構の実現」は 2023 年 5 月に内定を受け，「グランドビジョン 8：超スマート社会における人の能力拡張と AI との共生」において採択された．（https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-t353-3-55.pdf）この提案は，1) 人の心理・認知的文脈を考慮した情報環境による行為・感情の増幅作用モデルの解明，2) 行為・感情の増幅作用の活用・抑制を実現する分野融合研究を通じた社会展開可能なインタフェース機構，3) 共有化，統一化された実験参加者へのアプローチと実験方法論の確立，の 3 つをグランドチャレンジとし，その解決に向けた研究者ネットワークの構築と技術基盤整備を目指すものであり，本共同プロジェクトをさらに発展させる上で重要なマイルストーンとなると期待される．

本研究プロジェクトでは研究者間の交流を上記東北大学でのワークショップに加えて，2023 年 9

月 10 日に研究代表者の所属する公立はこだて未来大学において，ハイブリッド形式でワークショップを開催した．本ワークショップでは，各参加者から現在の研究取り組み 10 分程度報告された後，研究の今後の展開や参加者間での共同研究の可能性が数十分程度議論され，参加者間の交流をより深められたのみならず，質の高い議論を行うことができた．

さらに，東北大学での活動として，2024 年 2 月 16 日にハイブリッド形式でのワークショップを開催した．本ワークショップでは，2023 年 9 月のワークショップからアップデートに加えて，本共同プロジェクトや日本学術会議への提案でも重要な役割を担っている Japan ACM SIGCHI Chapter の体制や今後の戦略についても議論された．さらに，後述の 2024 年度の JST ASPIRE に向けた準備が議論された．

（5-2）波及効果と発展性等

本研究プロジェクトの国際的な連携を加速させるべく，JST ASPIRE（トップチームのための ASPIRE）への応募を目指し，北村，山下，矢谷で 2023 年 7〜8 月において定期的なオンラインミーティングを開催した．結果「AI リテラシー向上と信頼される AI を実現する人間中心 AI 研究（代表：北村）」という提案を行った．本提案は，人々の期待と不安が交錯する AI を，安全・安心な形で，世界中の幅広い人々の生活の質向上に確実に繋げるために，「人間中心 AI」を設計・実践する研究を，日・米・英・豪国の 8 拠点の世界トップ研究者グループとの共同研究と頭脳循環で実施することを目指したものであった．

本提案は残念ながら不採択となったが，2024 年度に再度公募が行われることとなり，再度提案を行うこととした．特に研究内容をより先鋭化させるとともに，研究者の体制を見直し，「Mental Well-being Intelligence：人の心理的健康に関するデータ駆動的研究コミュニティ（代表：矢谷）」という提案を行った．本提案は，人の心理的健康に対する深い理解を定量的・定性的データの複合分析で実現し，ウェルビーイングを支援・促進する情報技術のデータ駆動型研究開発と実社会への展開を目指す「Mental Well-being Intelligence (MWI)」コミュニティ構築を目標とするものである．具体的には，矢谷が既に確立したコンセプト・システムを基盤として，複数の AI エージェントとの対話による人の心理的健康を支援する情報技術研究を推進する．さらに本研究提案を通じて，臨床心理学の素養を備え，心理的健康に対する情報学研究を行う心理健康情報学者と，情報システムのプロトタイピング能力と定量的データ分析手法を身につけ，臨床心理の研究と現場で活躍する情報臨床心理学者という，人の心理的健康という国際的課題に真正面から立ち向かえる 2 種類の研究者を育成する．この人材育成と MWI コミュニティの構築のため，長期海外派遣，短期海外派遣，海外からの招聘を組み合わせた若手研究者の国際頭脳循環を実施することを目指す．

すでに本提案に関係する研究プロジェクトは動き出しており，例えば矢谷と山下の間でインターンシップの形で共同研究が開始されている．このほかにも関係者間での具体的な共同研究を 2024 年度中に開始できるように準備を進めている．また，今後も同様の大型の共同研究提案に積極的に応募してく予定である．

[6]まとめと今後の課題

本共同プロジェクトによって，日本学術会議に提案した中長期研究戦略に関する具体的な共同研究計画を，ワークショップを通じて策定することでき，実施へと移行することができた．さらに，JST ASPIRE といった大型の研究予算申請にもつながっており，今後も精力的に予算獲得を目指す．

今後は国内での研究コミュニティの更なる醸成に加えて，海外の研究者を含めた研究コミュニティへの拡張を目指していく．矢谷は Human-AI Interaction に関する国際シンポジウムとして，Tokyo-Oulu Joint Symposium on Human-AI Interaction（https://crowdcomputing.net/tohai/）を 2023 年 10 月に実施し，当該トピックに関する研究者をフィンランド，オーストラリア，デンマークより招聘し，国際交流を実施した．北村は RIEC International Symposium on Enriching Telecommunication and Nonverbal Information（https://sites.google.com/view/symposium-rich-telecom-2024jan/）を 2024 年 1 月に実施し，オーストラリア，ドイツ，イギリス，中国，台湾の研究者との国際交流を行なった．それぞれのシンポジウムは 2024 年度においても実施予定であり，今後はさらにこれら 2 つのシンポジウムが連携したイベントなども予定する．

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

Yichao Cui, Yu-Jen Lee, Jack Jamieson, Naomi Yamashita, Yi-Chieh Lee, “Exploring Effects of Chatbot’s Interpretation and Self-disclosure on Mental Illness Stigma” CSCW 2024. Proceedings of the ACM: Human Computer Interaction (PACM HCI).

Jack Jamieson, Eureka Foong, Naomi Yamashita, “Predicting open source contributor turnover from value-related discussions: An analysis of GitHub issues” Proceedings of the IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering (ICSE’24).

Teale W Masrani, Jack Jamieson, Naomi Yamashita, Helen Ai He, “Slowing it Down: Towards facilitating interpersonal mindfulness in online polarizing conversations over social media” CSCW 2023. Proceedings of the ACM: Human Computer Interaction (PACM HCI).

Wataru Akahori, Naomi Yamashita, Jack Jamieson, Momoko Nakatani, Ryo Hashimoto, Masahiro Watanabe, “Impacts of the Strength and Conformity of Social Norms on Well-Being: A Mixed-Method Study Among Hybrid Workers in Japan” Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI’23).

Yi-Chieh Lee, Yichao Cui, Jack Jamieson, Wayne Fu, Naomi Yamashita, “Exploring Effects of Chatbot-based Social Contact on Reducing Mental Illness Stigma” Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI’23).

Anran Xu, Shitao Fang, Huan Yang, Simo Hosio, and Koji Yatani. 2024. Examining Human Perception of Generative Content Replacement in Image Privacy Protection. In Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '24). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 777, 1–16.

共同プロジェクト研究

RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Report

Grant No.　R05/B06

Title

Physical / Virtual Presentations

［1］Research Organization

PI：DOULIS Mario (Merz Akademie)
Research collaborator of RIEC:
Kitamura Yoshifumi （RIEC）
Research Collaborator:
CHENG Miao (RIEC)
TANAKA Masahiro (RIEC)
FROHNMAYER Joerg (Merz Akademie)
KVRGIC Jan-Filip (Merz Akademie)

［2］Research Period

12 April 2023 to 15 March 2024

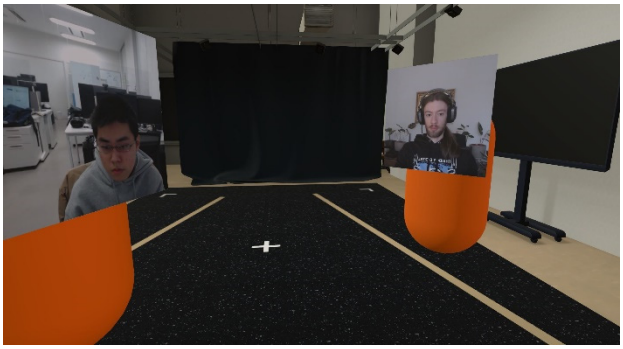
［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

Since 2020 we experiment with live video streams in virtual worlds (see one first example here: https://vimeo.com/488966204). The purpose is to allow online meetings directly in a virtual world and to experiment with different use cases to use live video streams. The aim of the project PHYSICAL/VIRTUAL PRESENTATION was to create a shared virtual world with integrated live video streams, accessible from geographically dispersed locations for different kinds of meetings and events. It can be accessed via a desktop PC environment or immersive VR environments, such as HMDs.

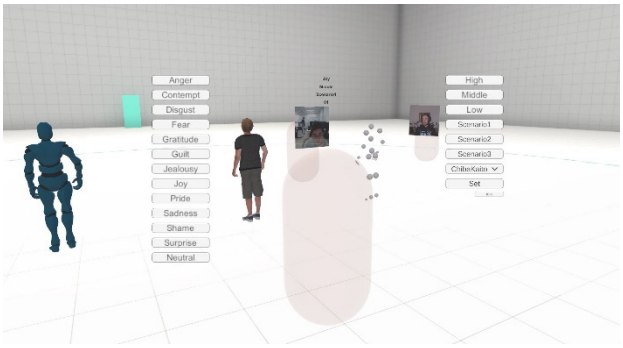
For Physical/Virtual Presentations we decided to take the “Emotion Recognition test” carried out within the “E-Motion Unit AI” project of the “Interdisciplinary ICT Research Center for Cyber and Real Spaces”, as use case scenario. The shared virtual world allows to run an expanded version of the original test in VR.

We designed a modular virtual world, existing of two independent and customizable worlds, connected and accessible through portals, that transfer the user from one world to the other.

One world can be used as online meeting space, e.g. to instruct test persons or test de-briefing, and the other world for the user test. We integrated a web-plug-in, that allows to run web-based video conferencing tools in a virtual world. For desktop PC users we use their webcam streams as heads of their avatars in the virtual world (see screenshot next side).



The other world is used as user test environment.



On the screenshot one sees the “EmotionDemo”, a unity application developed at RIEC within the “E-Motion Unit AI” project, that we have integrated in the virtual world and optimized for the use with HMDs.

［4］Research Plan and Content

May 2023: We had a first online meeting to discuss about the following project activities:
Live video (streaming) in VR, shared VR, the design of the virtual world, avatar design.
We also discussed to use the “E-Motion Unit AI” project as a first use case for Physical/Virtual/Presentaitons.

June 2023: In a second online meeting we presented a video of our first prototype of a shared virtual world with live video streaming.
https://vimeo.com/839607432
I (Prof. Mario Doulis) visited RIEC in September 2023. During my stay I worked on concepts for the presentation of the virtual world in physical space. I have also studied actual VR research about topics connected to the emotion recognition experiment, e.g. emotional engagement, physical and mental immersion, or emotion enducing VR. The concept for an extended experiment is described in section 5-1.

In a third online meeting with participants of Stuttgart during the visit, the actual prototype of the virtual world with live video streaming “MeetSpace”, and the “EmotionDemo” application, developed at RIEC, that provides a 3D test environment for the emotion recognition tests based on avatar animations, were presented. Concepts for the presentation of the virtual world in physical space were discussed.

In the fourth online meeting in December 2023, the final technical setup of “MeetSpace” and its documentation were presented and shared.

In February 2024, I stayed at RIEC for a second time to test the shared VR application MeetSpace.
The first day, my colleagues Jörg Frohnmayer and Jan-Filip Kvrgic in Stuttgart, Germany, and me, met online for a final test and adaptation of the actual version of the application. The morning of the second day I met with BA student Masahiro Tanaka to set up the hardware and to run the application at RIEC. I then met Assistant Professor Miao Cheng, where we discussed the the MeetSpace meeting with Jörg Frohnmayer and Jan-Filip Kvrigic scheduled for 17pm the same day. During this meeting, Professor Yoshifumi Kitamura and Assistant Professor Miao Cheng joined us to participate for a live demo of MeetSpace.
The meeting went very well. The integrated live video streams wer stable and performant. The virtual world and the avatar animations run fluently. Nevertheless, minor changes have to be done to run MeetSpace fluently with the oculus quest 2 HMD and input devices. Other HMDs like Vive pro and HP Reverb worked properly. The integrated “EmotionDemo “worked correctly. Last refinements were discussed.

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

(a) We developed an application (MeetSpace – working title) that integrates live streaming in the cross-platform game engine Unity, using the photon unity networking package PUN
https://www.photonengine.com/sdks#pun-sdkpununity
for multiplayer services and the agora api for live video and audio streaming. https://www.agora.io/en/
b) We conceptualized and implemented a modular virtual world that allows users from geographically dispersed locations to enter one virtual world. The virtual world exists of two areas: One for the communication amongst participating users, and the other one for running user tests in VR.
As a first use case we created a 3D-model of a lab at RIEC, and a specifically designed area in which we integrated the EmotionDemo, a unity application developed at RIEC within the “E-Motion Unit AI” project. It provides a 3D test environment for the emotion recognition tests based on avatar animations.
c) We implemented and adapted the GUI of EmotionDemo for the use in an immersive VR environment using HMDs.
d) Based on the review of actual research papers concerning VR environments and emotions, we developed a concept for a test series for emotion recognition tests based on avatar animations, as an expansion of the existing test carried out within the “E-Motion Unit AI” project. This test series includes the following aspects that could influence the error rate of user tests:
- The appearance of the avatar (e.g. human-like, manakin, point-light display)
- The display modality (2D video, 3D virtual world)
- The technical environment (desktop PC, VR)
- The design of the virtual world (in which the avatar animations are represented).
It is a series of tests that can be carried out independently of each other but can still be related to each other.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

The project results allow researchers all over the world to meet in a shared virtual world for different kinds of events, e.g. for presentations or conferences, or online teaching and learning. The specific design and implementation of “MeetSpace” also allow researchers to a) run simultaneous user tests from geographically dispersed locations and b) send an auto-run application to research partners to run identical user tests individually. Together with the concept of the extended emotion recognition experiment, as described below, the project results have the potential to establish a structured use of VR in domains like social psychology. In particular for studying human behaviour in relation to AI-generated avatar representations.

[6] Summary and Future Challenges

The project showed how interdisciplinary cooperation amongst designers and scientists can lead to innovative concepts in general. In the specific case of Physical/Virtual/Presentations we combined research related topics with topics concerning science communication and new forms of online communication for different areas of application (e.g. user tests, meetings, or even online teaching and learning) using Virtual Reality. However, the holistic approach of the project defines additional areas of work. Therefore, one of the biggest challenge for future development of the project results is the integration of this kind of concepts into basic research projects as an additional work package.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/B07

研究課題名

自己運動知覚における多感覚情報の統合過程の解明

[1] 研究組織

研究代表者：
櫻井 研三（東北学院大学人間科学部）
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
Juno Kim（University of New South Wales）
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）
玉田　靖明（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（京都ﾉｰﾄﾙﾀﾞ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）
松宮　一道（東北大学大学院情報科学研究科）
Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

〔背景〕

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する。しかしながら，視覚や聴覚に関する多くの知覚実験では観察者が静止した状態で課題を遂行しており，観察者本人の能動的な身体運動とその知覚の関係については未解明の部分が多い。能動的行動において自己身体の状態を知る感覚情報は前庭覚と自己受容感覚であり，これらの感覚と視覚や聴覚との統合過程が，近年の多感覚統合の研究によって明らかにされつつある。

第１に，前庭覚と視覚，聴覚，触覚の情報が統合されて自己運動の方向知覚が成立するメカニズムについては，本研究の代表者と分担者がその特性を明らかにしつつある(Sakurai et al, 2003, 2010; Sakamoto et al., 2008, Harris et al., 2017, Seno et al., 2018)。第２に，自己受容感覚と視知覚の関係については，能動的把持行動に錯視の影響が現れないとする先行研究（Pavani et al., 1999; Bruno, 2001）があるのに対し，本研究の分担者は，能動的行動そのものが錯視の現れ方に影響することを明らかにしている（Ichikawa & Masakura, 2006, 2010; Matsumiya & Shioiri, 2008, 2014）。

〔目的〕

本研究は「自己運動の知覚における前庭覚と視覚，聴覚，触覚の情報統合」および「自己受容感覚が視知覚に与える影響」という多感覚研究での重要な２つの問題に焦点を絞りながら，以下の 2 点を目的とする。第 1 は，それらの問題の解明に取り組んでいる国内の研究者が集まってコミュニティを形成し，海外の若手研究者を取り込みながらそのコミュニティを維持することである。第 2 は，そのコミュニティをベースとした研究プロジェクトを立ち上げ，科研費を中心とした競争的研究資金を獲得することである。

〔講演会および研究会の開催状況〕

オンライン配信を同時に行うハイブリッド形式で講演会と研究会を開催した。

講演会：2023 年 11 月 10 日：クイーンズランド大学の Fletcher Hammond 博士に研究会の準備と打ち合わせの関係から東北学院大学五橋キャンパスでご講演いただいた。

講演者：Dr. Fletcher Hammond (The University of Queensland, Australia)

講演題目：“Depth distortions in stereoscopic

displays: the impact of viewing conditions and stimulus type on perceived depth in laboratory and applied settings”

場所：東北学院大学五橋キャンパス シュネーダー記念館 1402 室（研究会の準備と打ち合わせ時に会場と同じ建物に設置された装置を使用する必要から電気通信研究所の外部施設で実施）。

参加人数：対面およびオンライン合計で 26 名。

講演内容：腹腔鏡手術における両眼立体視の重要性と問題点であった。

研究会：2023 年 11 月 11 日：近況報告と研究打ち合わせを中心としたミーティングを実施した。

場所：東北学院大学五橋キャンパス シュネーダー記念館 1402 室。

対面参加者は，玉田，佐藤，藤本（蘆田代理），櫻井の 7 名。その他，東北学院大の教員 1 名と学生 2 名がメンバー外で参加。オンライン参加者は，蘆田，一川，妹尾， Tseng の 4 名。

[4]研究計画及び内容

上記の研究組織のメンバーで 2 日間のプロジェクト研究会を仙台で 1 回開催し，その際にテーマに関連する海外の若手研究者 1 名に講演をお願いする計画とした。開催時期は 11 月上旬を予定し，VR やベクションの研究でつながりのあるオーストラリアの若手研究者の中から人選した。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

Fletcher Hammond 博士の講演要旨を掲載する。

Four studies were conducted in order to explored how viewing conditions can impact the magnitude of stereoscopic depth perception when an observer views a three-dimensional display. The viewing conditions that are examined throughout these studies consist of various distances, viewing angles, and viewing elevations. We investigated the effects of viewing distance and viewing angle on the magnitude of perceived depth is initially examined in a laboratory setting when viewing artificial three-dimensional images (red-blue anaglyph random-dot stereograms) that were displayed via a conventional stereoscopic display. The extent to which changes in viewing distance and viewing elevation influence the magnitude of perceived depth is also investigated for several different types of red-blue anaglyph random-dot stereograms. The findings of these laboratory-based studies are then investigated within the applied medical setting of 3D laparoscopic surgery. We investigated whether perceived depth when viewing a 3D laparoscopic display is influenced by the various viewing distances, viewing angles and viewing elevations that are typical assumed by surgical staff during a 3D laparoscopic procedure. Furthermore, we examined the extent to which perceived visual ghosting occurs across a range of typical viewing angles and viewing elevations.

The first study explores how changes in viewing distance and viewing angle influence the magnitude of perceived stereoscopic depth when viewing slanted surfaces depicted in red-blue anaglyph random dot stereograms. These findings are then compared to the influence of viewing distance when viewing physical slanted surfaces. The second study examines how changes in viewing distance and viewing angle influence the magnitude of perceived stereoscopic depth across various stimulus types. The third study compares the impact of viewing distance on stereoscopic depth perception when viewing computer generated 3D stimuli presented as red-blue anaglyphs and images of physical slanted surfaces that are captured and displayed via an Olympus 3D laparoscope. The fourth study investigates the relationship between perceived depth and perceived visual ghosting, and the viewing angles and viewing elevations that are typically experienced by surgical staff during a laparoscopic surgery. These four studies are presented as a comprehensive overview of the influence of viewing conditions on depth perception within a psychophysics laboratory context, as well as the applied context of laparoscopic surgery.

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは研究会の実施が活動内容の中心であるが，これまでの関連したプロジェクトの実績からニューサウスウェールズ大学（オーストラリア）の Juno Kim 准教授との連携を強めることができた結果、彼が主催する国際連携プロジェクト Sensory Processes Innovation Network (SPINet) のグループに本プロジェクトのメンバーから 4 名（蘆田、北崎、中村、櫻井）が参加することになった。この国際連携プロジェクトには AI と VR のような応用技術にも関わる感覚情報処理と知覚空間の問題に関する研究者が集っている。この国際連携プロジェクトは，今後，オーストラリアの研究者との協力関係を推進する母体の一つとなることが期待できる。

・会議名：Annual General Meeting of Sensory Processes Innovation Network

・日時：2023 年 12 月 6 日（水）12:00~15:00（日本時間）

・開催場所：オンライン会議

・参加人数：14 人

[6]まとめと今後の課題

このような研究の成果は，今後の情報機器のインタフェイスの改善に役立つと期待できる。今後は仮想空間内を探索する VR 体験で，運動状態にあるユーザの感覚情報処理の特徴の解明が重要になると考えられる。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・櫻井研三（2024）　円図形の変形錯視を引き起こす曲線検出器群の順応　日本視覚学会 2024 年冬季大会 口頭発表

・Sakurai, K.(2023). Revised model for explaining apparent rotational motion of shape distortion illusions. Poster presented at the 45th European Conference on Visual Perception (ECVP2023), Paphos in Cyprus.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Kozaki, T., Seno, T., & Kitaoka, A. (2024). Illusory motion and vection induced by a printed static image under flickering ambient light at rates up to 100 Hz. i-Perception, 15(1), 20416695231223444.

・Hiramatsu, C., Takashima, T., Sakaguchi, H., Chen, X., Tajima, S., Seno, T., & Kawamura, S. (2023). Influence of colour vision on attention to, and impression of, complex aesthetic images. Proceedings of the Royal Society B, 290(2006), 20231332.

・HATA, Y., KOYAMA, R., SENO, T., & ISHII, T. (2023). Through visual representations using the Pulfrich effect and vection. Considering Demonstrative Psychology. 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (CD-ROM), 28, 1-4.
https://youtu.be/qjLNJktAKOk?si=ELBDsTCqew7bdHJk

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/B08

研究課題名

カラスの群れの誘導手法の検討

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

カラスが市街地をねぐらとすることで、大規模な糞害が国内外で発生している。申請者が代表を務める（株）CrowLab では、糞害に悩む多くの自治体にサービスを提供し、糞害を軽減してきた。しかし、現状は特定の場所の糞害は軽減できるものの、別の場所にカラスが移り、その場で新たな糞害が発生することもある。そこで、糞があっても苦情になりにくい場所へとカラスのねぐらを移す手法が求められる。申請者らは、過去に山形市等において、カラスの群れを任意の方向へと誘導することに成功している。

しかし、この技術を実用化する上では、遠距離にわたっての誘導、ピンポイントでの定着、低コストの運用、長期の運用等の課題がある。これらの課題を解決するため、ドローンの活用やカラスの剥製ロボットの開発、遠隔での複数スピーカーの制御等について、本プロジェクトで議論することとした。

１年目の令和５年度は、カラスの群れの誘導技術の開発の可否と手法について議論した。10 月 13 日、2 月 15 日に電気通信研究所を訪問して研究打ち合わせを行った。1 月 11 日、2 月 19 日、3 月 18 日は、中部電力にて打ち合わせを行った。

遠距離にわたっての誘導のため、スピーカーを搭載したドローン（図 1）を用いることを検討している。ドローンの活用にあたり、低温環境においてバッテリの電圧が低下することで安定飛行ができないこと、音声が正常に再生されないこと、風が強い時や雨天時には飛行できないこと、航空法の制限で飛行可能な場所等が限られることなどの課題が抽出された。なお、航空法の制限の課題については、係留装置を用いて一定の高さで実験的に飛行させることを可能とした。

ピンポイントでカラスの群れを定着させるため、首が稼働するカラスの剥製ロボット（図 2）を用いることを検討している。現在プロトタイプを開発しているが、見た目の精巧さなどに課題があり、それらを解決するため、剥製製作の技術者に技術指導を受けることとした。

音声を用いた誘導について、長期の運用を可能とするため、フィールドにてスピーカーから音声を再生し、慣れ等を検証した。その結果、実験を開始した数日間については、スピーカー周辺に多数のカラスが集まる様子が確認された。しかし、複数回の繰り返しにより、カラスの反応が弱まっていった。その要因として、カラスの動きにあわせ、任意のタイミングで音声を再生することができていなかったことなどが考えられる。

図 1.　スピーカーを搭載したドローン（上：小メンズ、下：背面図）

図 2. カラスの剥製ロボットのプロトタイプ

図 3. スピーカーを設置した建物上空に集まる多数のカラス

【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。永田氏より、カラスの誘導実験における定量的な解析方法等の助言を受けた。

【特別支援（国際）に係る研究成果】
それぞれの会議に SenseFoil PTE.LTD.の末田氏を招聘した。末田氏は自作ドローンの開発等の知見を持ち、会議では、スピーカーを搭載したドローンの開発に関し、助言を受けた。

[3] 今後の研究の推進方策

スピーカーを搭載したドローンについては、アルミ薄膜ヒーターを電池周りに装着する等により、低音環境でも動作可能な仕様を開発することとした。また、係留装置を用いることにより、航空法の制限を回避することで、カラスの糞害が発生する人口集中地区等での飛行を行い、ドローンに対するカラスの反応を確認することとした。

カラスの剥製ロボットについては、見た目の精巧さを追求したロボットを開発し、それらに対するカラスの反応を調べることとした。

フィールドでの音声を用いた誘導については、遠隔から任意のタイミングで音声を再生することが可能なスピーカーシステムを開発し、フィールドで試験し、カラスの反応を確認することとした。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）
【学会発表】
・松井　遼太朗・井上　理哲人・塚原　直樹・永田　健・高嶋　和毅・末田　航・藤田　和之・北村　喜文、羽根と鳴き声スピーカを搭載したドローンによるカラスの行動誘発、動物の行動と管理学会　2023 年度研究発表会、2023 年 9 月

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
【学会発表】
・塚原　直樹・永田　健、カラスの警戒声を利用した市街地のねぐら対策、動物の行動と管理学会 2023 年度研究発表会、2023 年 9 月

【招待講演】
・塚原　直樹・永田　健、カラス研究者が起業しました～最新カラス研究と起業の赤裸々な話～、動物の行動と管理学会「夏の学校」、2023 年 9 月

【メディア出演】
・NHK WORLD「BIZ STREAM」、2024 年 2 月
・NHK 「おはよう日本」、2024 年 1 月
・NHK ラジオ 「NHK ジャーナル」、2023 年 12 月
・テレビユー福島、2023 年 11 月
・福島民友、2023 年 11 月
・福島テレビ、2023 年 11 月
・FKB 福島放送、2023 年 11 月
・KBS（韓国の公共放送局）「特派員報告、世界は今」、2023 年 7 月
・新潟日報、2023 年 7 月
・BSN 新潟放送、2023 年 6 月
・朝日新聞、2023 年 6 月
・TBS「ひるおび」、2023 年 6 月
・NHKE テレ「ヴィランの言い分」、2023 年 4 月

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/B09

研究課題名

3D プリンタを用いた高機能デバイスモジュールの開発とその応用

[1] 研究組織

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 （神戸市立工業専門学校）
山本景子（京都工芸繊維大学）
加藤 邦拓（東京工科大学）
藤田和之（東北大学）

[2]研究期間

令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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．具体的には，３D プリンタを駆使することで，それらモノを印刷しながら，センサ回路を制作時に埋め込む技術について議論する．それぞれの研究者がセンサ化の技術について研究し，本共同プロジェクトでは，それらの成果を共有しあい，様々な日用品にセンサを埋め込む仕組みを検討し，議論する．

本年度は，1 回の対面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．（本プロジェクトの目的、背景や概要,及び,研究会,研究打ち合わせ・研究討論会,研究発表会,研究集会等の開催状況（日程,回数,参加人数等）を記載してください。）

[4]研究計画及び内容

共同プロジェクト研究会の概要

日時： 令和 5 年 2 月 19～20 日

参加者：真鍋 宏幸
高田 崚介
山本景子
加藤 邦拓
藤田和之
池松　香
高嶋 和毅

内容と議論：

一人 20 分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて下記の通り共有を行った．
まず，加藤氏と池松氏からは，食べ物をセンサ化する技術について紹介があり，その詳細や論文採択に向けての研究体制や進め方について共有があった．山本氏からは，氏が主宰する研究室の最新の成果の共有があり，センサ開発に向けての技術検証とセンサの運用に関する議論をした．高田氏からは，３D プリンタを用いた導電性素材を生かした様々な物理インタラクションに向けたセンサ技術の開発について紹介があった．真鍋からは，3D プリンタの印刷高速化や AR 内の 3 次元インタラクションに関する報告があった．通研担当の藤田と高嶋からは最近の研究成果として，バーチャル・リアリティ内の触覚再現について紹介した．

いずれも３D プリンタでのモノの制作を含み，様々な形でそれらの一部をセンサ化する技術であり，具体的な課題設定や技術に集中して議論を展開することができた．研究会の後半では，今後，共同での科研費申請等の予算獲得の可能性も議論

すること，および来年度の体制と予定についてお互いに確認することができた．できた．　下図は研究会の様子を示す．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本共同プロジェクトは昨年まで続けていた共同プロジェクトAを議論主体のB枠にタイプ変更したものである．研究はそれぞれが実施し，プロトタイピングの知識をさらに深め，それをこの本共同プロジェクトで共有し議論することで，3Dプリンタを活用したモノのセンサ化について，相当量蓄積することができた．具体的には，モノをセンサ化するための回路技術，センサ計測できる動きやインタラクション種類の分類・整理，フィールド実験をする際の課題や実験結果，オフィス等における活動量計測など，一人の研究者では揃えられない貴重な情報を共有することができた．本プロジェクトは，来年度は，研究体制を斬新し，若手主体で組み直して，来年度も別の共同プロジェクト（B 枠）として継続予定である（申請済み）．これまでの本プロジェクトの成果や議論の蓄積は来年度の共同プロジェクトに大きく活かすことができると考えられる．

(5-2) 波及効果と発展性等

物理的な道具は様々な場面で活躍するものである．本研究は人が手で触れる道具やモノをセンサ化することを目指すものである．人とモノや道具との間のインタラクションにおける具体的な行動を，内部に埋め込まれたセンサ等で長時間に渡って正確に計測する手法を確立することで，様々な人の活動の行動履歴を記録するだけではなく，場面によっては，人の心理上の課題や，幼児であれば発達上の課題等を早期発見するツールの開発に貢献できる．さらに，一般的な文房具や工具などへの展開を通じて，今後の IoT デバイスや道具のデザイン指針作成にも応用ができると期待される．

[6]まとめと今後の課題

3D プリンタを応用した高機能センサモジュールの開発について専門的なグループを構築し，議論の場をつくることができた．今後も形を変えて交流を深めることで全員で合意した．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

なし

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/B10

研究課題名

人の行動理解・解析に基づく空間情報学

[1] 研究組織

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（神戸大学）
三武 裕玄（東京工業大学）
池田 聖（立命館大学）
藤本 雄一郎（東京農工大学）
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 （サイバーエージェント）

[2]研究期間

令和５年４月　～　令和６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本研究では，空間における人々の様々な活動を支援強化するための空間情報学について多角的に議論する．具体的には，三次元トラッキングシステムなどによる人の行動と活動を理解し，それを考慮して自由空間上で情報提示や操作が可能な空間型ユーザインタフェースの設計論を提案することである．空間情報学を考えるにあたって重要な要素としては，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推定，ロボット型ディスプレイ，バーチャルリアリティ，人を惹きつけるためのエンタテインメント技術等多岐に渡る．これらは新型コロナウイルス感染症の渦中においてその重要性は増す一方であるものの，それぞれの分野における技術課題が依然として多いためにお互いが十分に接続されていないことが多い．本研究では，関連分野で活躍する若手による研究会を開催し，これらの分野の最近の動向や課題，そして開拓すべき研究項目などを検討することで，VR ミーティングやテレワークに向けた次世代の空間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る．本課題では，研究代表者および分担者の専門を考慮して，医療，スポーツ，モバイル，拡張現実，そしてオフィス内の活動に焦点をあて，要素技術を体系的に整理するとともに今後の研究構想を練ることとする．

年度中に研究会を通研にて開催する．日程は 2 日間程度とし，一日目はお互いの情報 の交換の場を設け，二日目以降はワークショップやアンカンファレンス形式（サブグループに分かれる等の構造をもったワークショップ）で実際に情報の整理を行う．その際，可能であれば，メタ研究として研究会原稿またはそれぞれのホームページで公開できるレベルを目指す．通研の北村・高嶋研究室の学生やメンバも参加し，総勢 20 数名の規模を想定している．本プロジェクトの構成員は国内外の学術会議を運営するメンバでもあることから，本研究会と国内・国際会議との連携についても積極的に検討する．

研究代表者，分担者は，互いに所属学会や研究領域は比較的近いものの各々の興味や取り組む課題や視点が異なる．本研究会は若手のみ（准教授以下）で構成されており，分野や所属学会等にとらわれずに柔軟な視点で研究領域の構築（例えば学会のオーガナイズドセッション企画等），それぞれの技術を融合させた共同研究の立案，既存の情報の整理による調査論文の執筆案，予算獲得のための申請書草案など，具体的な成果を目指す．

三次元モーションセンサを用いた人の行動解析については，これまでも古くからなされてきた．しかし，近年は，機械学習の能力が向上したことによって，解析だけではなく，それを処理するためのアルゴリズムやユーザインタフェースなどの研究が盛んになってきた．また視線追跡装置や AR グラスが安価になったためにこれまで計測できなかったデータが取得できるようにも環境が変化してきた．本研究における体制はこれらの時代の流れにマッチしており，実用的な視点での知見の提出も可能とみられる．これまでの空間型ユーザインタフェースについては，バーチャルリアリティや大画面ディスプレイ技術に偏っていたが，本課題では，空間そのものもコンテンツとして捉えるほか，モノやロボットを使った動的空間構築技術やドローン+ディスプレイによる自遊空間上での

情報の提示，さらにはインタラクティブアートといった人と技術を接続する触媒となりうる方法についても議論の対象とする．ヒューマンインタフェースやバーチャルリアリティ，インタラクティブアートなど，近いように見えても実は大きく隔たりがある複数の分野に跨った若手主体の横断型共同研究へ発展することが期待できる．

[4]研究計画及び内容

目的通り，本プロジェクトは，一回の研究会を開催できた．その概要は以下の通りである．

日時： 令和 5 年 11 月 30〜12 月 1 日

参加者：
山本 豪志朗（京都大学）
池田 聖（立命館大学）
藤本 雄一郎（東京農工大学）
酒田信親(奈良先端科学技術大学院大学)
小倉 加奈代（岩手県立大学）
武富 貴史（サイバーエージェント）
高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）
を含め，東北大学関係者数名

内容と議論：
一人 20 分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて共有を行った．以下は講演者とその演題であり，様々な観点で空間ユーザインタフェースデザインに関する情報が共有された．

山本から空間情報学のコンセプトやそれに関わる手術室での情報収集や解析についての研究報告があった．加えて，関連する予算申請の案などについても全員で議論した．

池田氏からは，視覚障害者に対して視線ユーザインタフェースを応用する新たな研究領域の提案について話題提供があり，全員でその方向性について議論した．

酒田氏からは，VR 内の心理的効果を有効活用した姿勢変容技術などについて報告があり，被験者実験データについて詳細に議論した．

小倉からは，セキュリティや農業についての IT 化について報告があり，現場での取組みについて共有頂いた．

藤本氏からは，AR 環境内でのプレゼンテーションの改善インタフェースや，新たな人の能力拡張について議論の報告があった．

武富氏からは，企業の研究所で展開される人体の３次元スキャン技術やそれを用いたアニメーション生成技術について報告があった．学術貢献だけではなく，商用化についても有意義な議論をすることができた．

通研対応の高嶋からは，ルームスケール VR 内での触覚提示や身体支持方法の研究成果について報告があった．

学会とは異なり，それぞれのテーマに一時間以上の時間をかけて議論することができ，お互いの研究への理解を深めることができ，空間情報学の要素を整理することができた．

通研対応の高嶋が R5 年度中に通研を退職することから，来年度は本共同プロジェクトを維持できないが，これまで継続してきた議論の体制を維持して，それぞれの拠点で順番に研究会を開催することを全員で確認した．

以下は研究会の一場面である．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

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．通研にて対面で数名の予定を合わせて研究会を開催できたため，情報交換と交流の質と量は満足のいくものであった．来年度移行も議論の体制を継続することを全員で合意することができ，有意義に研究会を終了することができた．

(5-2) 波及効果と発展性等

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，引き続きコロナ禍の話題が多かったが，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，空間情報学の研究領域の確立に貢献したい．

[6]まとめと今後の課題

空間情報学を軸に多岐に渡って価値の高い情報交換が実現できた．さらなる深化を目指し，次年度以降の継続的な意見交換に全員一致で合意した．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・なし

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B11

研究課題名

半導体微細加工技術とナノ材料機能を利用した膜タンパク質機能計測のための細胞膜モデル系の構築と制御

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
手老 龍吾（豊橋技術科学大学）

通研対応教員：
平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

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。心筋に発現する hERG チャネル，Nav1.5 チャネルなどは医薬品による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の作用評価が必須であることなど，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。また，脂質二分子膜系に再構成したイオンチャネルの活性評価と原子間力顕微鏡(AFM)による分子像観察を行った。

2024 年 3 月 5-6 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。

14th 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

日時：2024 年 3 月 5 日(火) － 6 日(水)
場所：オンライン開催 (Zoom)
3 月 5 日 (火): 参加者 49 名(うち外国人 34 名)

“Update on single atom co-catalysts in photocatalytic H_2 generation” (Invited talk)
Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“Back-contact perovskite solar cells based on self-assembly” (Invited talk)
Teng Ma[1], Daisuke Tadaki[2], Michio Niwano[2], Ayumi Hirano-Iwata[2] ([1]Beijing Institute of Technology, China, [2]Tohoku University, Japan)

“Preparation of scaffold with induced electromotive force composed of molecular nanocoils and evaluation of cell proliferation” (Invited talk)
Yoko Tatewaki[1], Tsuyoshi Minami[2], Sadafumi Nishihara[3], Tomoyuki Akutagawa[4], Takayoshi Nakamura[5]
([1]Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan, [2]The University of Tokyo, Japan, [3]Hiroshima University, Japan, [4]Tohoku University, Japan, [5]Hokkaido University, Japan)

“Novel strategies in single molecule and single cell screening” (Invited talk)
Ren Ren, Shenglin Cai, Binoy Paulose Nadappuram, Xiaoyi Wang, Yaxian Liu, Zoe Kwan, Caroline Koch, Benedict Reilly-O’Donnell, Joshua Edel, Aleksandar P. Ivanov (Imperial College London, UK)

”Droplet nanopore microchip for single-molecule sensing” (Invited talk)
Yi-lun Ying (Nanjing University, China)

3 月 6 日 (水): 参加者 28 名(うち外国人 13 名)

“Biosensing concepts using nanoimpact electrochemistry” (Invited talk)
Sebastian Freko, Lennart Weiß, Marta Nikic, Bernhard Wolfrum (Technical University of Munich, Germany)

“Microdomain formation in lipid bilayers induced by polyunsaturated lipids and its function for membrane fusion”
Ryugo Tero (Toyohashi University of Technology, Japan)

“Lipid bilayers as nm-thick platforms for signal transduction”
Ayumi Hirano-Iwata[1], Madoka Sato[1], Teng Ma[2], Maki Komiya[1], Daisuke Tadaki[1], Hideaki Yamamoto[1] ([1]Tohoku University, Japan, [2]Beijing Institute of Technology, China,)

“Anodic TiO_2 nanostructures: nanotopography matters in cell interactions” (Invited talk)
Anca Mazare, Patrik Schmuki (Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“Nanothick thin film transistors for gas and UV sensing”
Fumihiko Hirose (Yamagata University, Japan)

“Coulomb-blockade-based nonlinear signal conversion in gold-nanoparticle random arrays”
Yoshinao Mizugaki, Kenta Fujikura, Hiroshi Shimada (The University of Electro-Communications (UEC Tokyo), Japan)

オンラインでの研究会開催が一般的になったことで，海外の研究者にも講演を依頼しやすくなり，また講演者の所属機関をはじめとして国内・海外から多くの聴講者が集まることができた。2 日間の開催でのべ 77 人の参加者のうち、47 人が外国人参加者であった。

[3] 今後の研究の推進方策

脂質二分子膜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(SLB)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。2023 年度はこの膜融合速度についてベシクル系を用いて蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)法により評価する実験系を立ち上げた。2024 年度は本実験系を用いることで，多価不飽和 PE の濃度，不飽和度が膜融合速度におよぼす影響について明らかにする。また，この実験で得られる知見を基に，無細胞合成法によって調製したイオンチャネル含有プロテオリポソームを SLB 系に融合し，イオンチャネルの AFM 観察を行う。

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。無機・有機ナノ材料や膜タンパク質のナノポア応用など、材料化学と生理学の技術を融合した学際領域研究についての講演が多いのが本シンポジウムの特徴である。今年度に本プロジェクトで開催した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，さらに広げることで，2024 年度も同様のシンポジウムの申請を検討する

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・M. W. S. Goh, Y. Tozawa and R. Tero, "Assembly of Cell-Free Synthesized Ion Channel Molecules in Artificial Lipid Bilayer Observed by Atomic Force Microscopy", Membranes, 13, 854 (2023), 10.3390/membranes13110854.

・R. Tero, Y. Hagiwara and S. Saito, "Domain Localization by Graphene Oxide in Supported Lipid Bilayers", Int. J. Mol. Sci., 24, 7999 (11 pages) (2023), 10.3390/ijms24097999.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

<招待講演>

・R. Tero, "Fluorescence Single Molecule Tracking in Biomembranes and Its Application to Material Sciences", 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2023), Nov 16, 2023, Sapporo, Japan.

・R. Tero, Y. Kinjo and M. Nagasaka, "Soft X-ray Absorption Spectroscopy to Investigate Artificial Biomembranes in Aqueous Solution", UVSOR-III + MAX IV International Workshop: Frontier of Soft X-ray Spectroscopy for Chemical Processes in Solutions, Oct. 2, 2023, Okazaki, Japan.

・手老 龍吾, "脂質二重膜における新規二次元ドメインの形成とその応用", 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 2024 年 3 月 24 日, 東京・東京都市大学.

・手老 龍吾, "細胞膜モデル系における脂質ドメインの観察とその応用", 第 54 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2023 年 11 月 11 日, 津・三重大学.

共同プロジェクト研究

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/B12

研究課題名

牧羊犬のヒツジ追い現象におけるヒツジ・牧羊犬間の「駆け引き」メカニズムの解明

[1] 研究組織

研究代表者：

角田 祐輔（大阪大学大学院工学研究科(現兵庫県立大学大学院工学研究科)）

通研対応教員：

加納 剛史（東北大学電気通信研究所(現はこだて未来大学システム情報科学部)）

研究分担者

なし

[2]研究期間

令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本プロジェクトの目的は，少数の牧羊犬が大多数のヒツジの群れを追い立てる「牧羊犬のヒツジ追い現象(シープドッグシステム)」において，牧羊犬とヒツジとの間の相互作用モデルを「駆け引き」というアイデアで解き明かすことである．

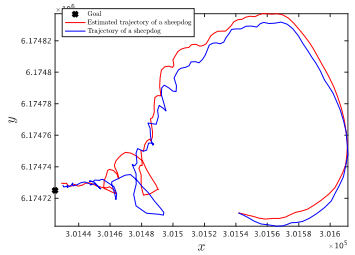
シープドッグシステムに関する先行研究では，ヒツジには従来伝統的に用いられる群モデル(例. Boid model)を適用し，ヒツジの群れを誘導できるような牧羊犬の誘導コントローラを設計し，誘導性能を数値シミュレーションで評価する研究が主に行われていた．しかし，実際の牧羊犬のヒツジ追い現象の計測に関する研究はほとんど行われておらず，なぜうまく誘導できるのかについて未だ解明されていない．そこで本プロジェクトでは，実際のシープドッグシステムのドローン空撮による各生物の移動軌跡の取得，およびシステム同定法により各生物の行動モデルを求め，シープドッグシステムの制御原理を抽出する．

[4]研究計画及び内容

本年度ではまず，すでに入手した牧羊犬のヒツジ追い現象の実 GPS データ[1]をもとに，制御分野の非線形システム同定法である GMDH(Group Method of Data Handling)を適用し，牧羊犬の誘導コントローラの推定を試みた．次に，北海道のルスツリゾートと共同し，実際のシープドッグシステムの計測を行った．空撮用のドローンを空中に飛行させ固定カメラとして用いることで 2 次元平面上の移動軌跡を取得した．

● **The actual trajectory of the sheepdog v.s. the trajectory of the estimated function**

Blue line: actual shepherd trajectory, Red line: estimated trajectory, Cross mark: goal

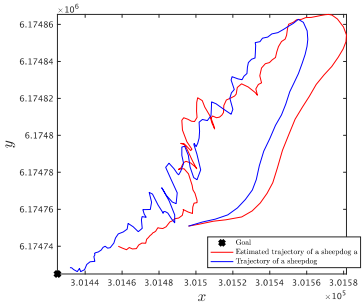


Correlation coefficient and Error value (RMSE)

Correlation coefficient of x component	0.8916
Correlation coefficient of y component	0.8931
RMSE of x component	1.113
RMSE of y component	1.415

● **Substitute GPS data in experiment 2 into the estimated function and fit it with the actual data in experiment 2.**

Blue line: actual shepherd trajectory, Red line: fitting trajectory, Cross mark: Goal



Correlation coefficient and Error value (RMSE)

Correlation coefficient of x component	0.8040
Correlation coefficient of y component	0.8791
RMSE of x component	1.437
RMSE of y component	1.649

図 1 GMDH による牧羊犬の誘導コントローラの推定

[1] Daniel Strömbom et.al., ”Solving the shepherding problem: heuristics for herding autonomous, interacting agents.” Journal of the royal society interface, 2014.

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

すでに入手した牧羊犬のヒツジ追い現象の実 GPS データをもとに，制御分野の非線形システム同定法である GMDH(Group Method of Data Handling)を適用し，牧羊犬の誘導コントローラの推定を試みた．結果，少ない誘導データ数にも関わらず，牧羊犬の誘導コントローを最低限の入力変数の組み合わせで推定することが可能となった[図 1. 別紙(2)の 5, 7]．次に，北海道のルスツリ

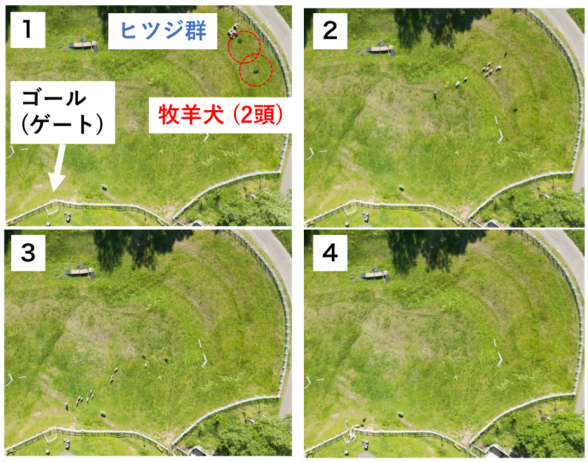


図2. ルスツリゾートでのシープドッグショーの様子 (申請者がドローンで撮影, 2023年6月)

ゾートと共同し，実際のシープドッグシステムの計測を行った．空撮用のドローンを空中に飛行させ固定カメラとして用いることで 2 次元平面上の移動軌跡を取得した[図 2]．現在，データを解析中である．今後はこのデータを用いて，GMDH や逆強化学習法を用いて各生物の行動ルールを推定する予定である．

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクト関連の研究成果として，生物模倣ロボティクス研究の国際会議として有名な“The 11th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2023)”にて招待講演を行い，GMDH による牧羊犬の誘導コントローラの推定に関する研究講演を行った(別紙 (1)の 7)．また，本プロジェクト関連の研究を発展させ，科学研究費助成事業　学術変革領域研究（A）（公募研究）（日本学術振興会）の代表研究に採択された（Robot-shepherding の実現に向けた階層型異種エージェント間相互作用メカニズムの解明）．

[6]まとめと今後の課題

先行研究[1]で計測されたシープドッグシステムのヒツジと牧羊犬の移動軌跡データをもとに，GMDH を適用した結果，少ないデータで実際の軌跡に精度よくフィッティングする牧羊犬の速度ベクトルの推定関数を得ることができた．今後の課題としては，この推定関数を用いて既存の群モデル(例えば Boid モデル)を誘導することが可能かを数値シミュレーションにて検証することや，得られた推定関数の項のうち，実際の軌跡と精度を保つつ，含まれる関数項を削除していき，推定関数の核を抽出すると，どのような項が残るのかを検証するといった研究を予定している．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・

・

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[論文，国内・国際会議プロシーディングなど]

1. Yusuke Tsunoda, Le Trong Nghia, Yuichiro Sueoka, Koichi Osuka:“Experimental Analysis of Shepherding-Type Robot Navigation Utilizing Sound-Obstacle-Interaction”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.35 , No. 4 , pp.957-968, 2023 (doi: 10.20965/jrm.2023.p0957).
2. Wataru Imahayashi, Yusuke Tsunoda, Masaki Ogura, “Route Design in Sheepdog System - Traveling Salesman Problem Formulation and Evolutionary Computation Solution-”, Advanced Robotics, pp.1-15, 2024.
3. 角田 祐輔, 末岡 裕一郎, 和田 光代, 大須賀 公一: “シープドッグ型群移動体ナビゲーションに関する研究の現状と今後の課題”, 第 67 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI'23), 2023.
4. Yusuke Tsunoda, Teruyo Wada, Koichi Osuka: “Proposal of General Shepherding Controller with Global Stability: Backstepping Technique Approach ”,The 22nd World Congress of the International Federation of Automatic Control(IFAC2023), 2023.
5. Yusuke Tsunoda, Yuichiro Sueoka, Teruyo Wada, Koichi Osuka: “Identification of Shepherd Guidance Model Based on Real Shepherding Data -A GMDH Approach-”, The SICE Annual Conference 2023, pp. 393-400, 2023.
6. Yusuke Tsunoda, Yuichiro Sueoka, Teruyo Wada, Koichi Osuka: “Investigation of Stability Mechanism of Mobile Control Inspired by Shepherding -Discussion Based on Velocity Potential Field in Shepherd’s Subjective Coordinate System- ”, The 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2023), pp.186-189, 2023.
7. Yusuke Tsunoda, “Self-Organizing Modeling of Shepherding Controller using GMDH”, The 11th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2023) Invited Talk, 4A-4, 2023.

[受賞]

1. 計測自動制御学会関西支部 2023 年度支部長賞奨励賞，角田祐輔，“シープドッグシステムに学ぶヘテロ群移動体制御の創成: 工学と理学の双方向アプローチ”, 2024 年 1 月．

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B13

研究課題名

神経回路網における記憶と学習に関する理論的研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
池口徹 (東京理科大学工学部)

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：
塚田稔（玉川大学脳科学研究所）
塚田啓道 (中部大学 AI 推理データサイエンスセンター)
保坂亮介 (芝浦工業大学システム理工学部)
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)
加藤秀行 (大分大学理工学部)

[2] 当該年度の研究実績の概要

(1) 海馬の生理学実験、数値計算によるシミュレーション結果について統合的に議論し、海馬の文脈情報学習の理論構築を進めた。時空間学習則（STLR）を用いた神経ネットワークの数値実験においては、時間履歴を含んだ STLR が文脈情報の時間順序識別能力が高くなるメカニズムについての検討を行なった。結果として、STLR のカルシウム濃度と LTP/LTD に関連する閾値および学習率と深い関連性があり、STLR に時間履歴の影響を入れることで文脈情報分離におけるシナプス結合の初期値依存性が低減されることも明らかになった。

(2) 生理学実験におけるアセチルコリン等のトップダウン投射の学習への影響や数値実験の結果を踏まえた学習理論構築においては、STLR のカルシウム濃度と LTP/LTD に深く関連する閾値の範囲を拡張した拡張 STLR モデルの構築に成功した。この学習則の拡張はアセチルコリン等のトップダウン投射の影響を組み込んだ海馬の新たな学習メカニズムの発見に繋がるとともにこれまでの STLR の文脈情報の順序識別能力を格段に向上できる可能性があり期待できる。

(3) STLR は決定論の学習モデルのため AI への活用が限定的であったため、汎用性を高めるために STLR の確率モデルへの拡張も推進した。

(4) 学習を持つニューラルネットワークの応用として、CNN を用いた特徴点マッチングの検討と、Echo State Network を用いたペナルティキックの方向予測を行った。

(5) 昨年度提案した自己組織的に神経雪崩現象を誘起するスパイキングニューラルネットワークで観測された神経活動を，神経回路網の発達初期，中期，後期ごとに臨界性の観点から解析を行った.

(6) 脳神経系の学習と認知機能の数理モデル構築を進めた．また，リザバー系を用いた機械学習と脳機能との関係を調査した.

(7) 時空間学習則（STLR）に関して時間履歴がある場合とない場合について，パターン分離能力を評価指標として調査を行った. その際，ヘブ則との比較も行う ことで検討した. 数値実験の結果，時間履歴がある時空間学習則において最も性能が良いことが確認された. また，興奮性結合と抑制性結合を導入することでモ デルを拡張し，STLRの特性・性能がどのように変化するのかということについても解析を行った. さらに，学習則として拡張版のSTLRを導入することで性能解析 を実施した. さらに，機械学習との関係から，リザバーネットワークにおける学習則に関する調査を行うための基礎実験を実施することで，STLRへの対応につい て検討を行った.

[3] 今後の研究の推進方策

(1) アルツハイマー認知症に関連して海馬領域のグリア細胞の影響が示唆されている。今後、海馬の文脈情報の記憶・学習におけるグリア細胞のネットワークの影響について検討する予定である。

(2) 自己組織的に神経雪崩現象を誘起するスパイキングニューラルネットワークが生成する神経回路網構造を複雑ネットワーク的観点から解析し，絡み合ったシンファイア・チェインモデルとの比較を行うことで，神

経雪崩の生成メカニズムに関する理論構築を行う．

(3) 時空間学習則についての検討を行う際に，離散時間モデルについては，これまでの形式ニューロンモデルのみならず，不応性が含まれたモデルを用いることで解析を行う．具体的には，南雲・佐藤ニューロンモデル，カオスニューロンモデルによる解析を実施する予定である．また，離散時間モデルのみならず連続時間モデルも導入することで学習則の特徴・性能に関する調査を行う．

(4) 脳・神経系の数理モデルについては研究を継続させることで，特に精神疾患発症メカニズムとの関連を調査する．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

1. 加藤秀行，“自己組織スパイキング神経回路網モデルにおける臨界現象の解析，” NOLTA ソサイエティ大会論文集, NLS-27, 2023.
2. H. Kato, Simulating spiking neural networks with Cython, Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 703, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.D2L-22
3. H. Kato, T. Shinkawa, Y. Ishikawa, T. Sumi, H. Yamamoto, and Y. Katori, Spiking and bursting properties of spontaneous activities in modular spiking neuronal networks, Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 601, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C4L-15
4. Y. Ishikawa, T. Shinkawa, T. Sumi, H. Kato, H. Yamamoto, and Y. Katori, Evaluation of Reservoir-Based Predictive Coding in Cultured Neurons with Spiking Neural Network Model, Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 693-696, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.D2L-14
5. H. Terakawa, H. Kato, Y. Yonemura, and Y. Katori, Analysis of predictive coding model with hierarchical reservoir computing for modeling Stroop effects, Proc. International SoC Design Conference, pp.257-258, 2023. DOI: 10.1109/ISOCC59558.2023.10396189
6. 新川拓海, 加藤秀行, 石川慶孝, 住拓磨, 山本英明, 香取勇一，“シナプススケーリング則の最適化, モジュラスパイキングニューラルネットワークへの適用とその影響の解析，” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 123, no. 354, NLP2023-107, pp. 110-113, 2024.

(5) 関連リスト(謝辞なし)と関連成果

1) 原著論文

1. T. Okuno, J. Hata, Y. Haga, K. Muta, H. Tsukada , K. Nakae K et al., Group Surrogate Data Generating Models and Similarity Quantification of Multivariate Time-Series: A Resting-State fMRI Study, NeuroImage, 120329, 2023
2. H. Skibbe, M. F. Rachmadi, K. Nakae, C. E. Gutierrez, J. Hata, H. Tsukada, et al.,The Brain/MINDS Marmoset Connectivity Resource: An open-access platform for cellular-level tracing and tractography in the primate brain, PLOS Biology 21(6) e3002158-e3002158, 2023
3. J. Hata, K. Nakae, H. Tsukada, A. Woodward, Y. Haga, M. Iida et al., Multi-modal brain magnetic resonance imaging database covering marmosets with a wide age range. Scientific Data 10, 221, 2023
4. M. Fukuya, T. Matsumoto, Y. Shimada, and T. Ikeguchi, Central emotions and hubs in a colexification network, Scientific Reports, Vol.13, 21823, 2023.
5. Y. Tsukamoto, H. Tsushima, and T. Ikeguchi, Analysis on responses of chaotic Izhikevich neurons to periodic forcing, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 14, No. 4, pp. 677-690, 2023
6. Y. Tsukamoto, H. Tsushima, and T. Ikeguchi, Rich spike patterns from a periodically forced Izhikevich neuron model, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 14, No. 2, pp. 215-227, 2023.
7. K. Koyama, K. Fujiwara, H. Ando, Functional improvement in β cell models of type 2 diabetes using on-demand feedback control, AIP Advances, Vol. 13, 45317, 2023
8. Z. Li, K. Fujiwara, G. Tanaka, An Echo State Network-Based Method for Identity Recognition with Continuous Blood Pressure Data, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 14257, pp.13-25, 2023
9. Z. Li, K. Fujiwara, amd G. Tanaka, Dynamical Graph Echo State Networks with Snapshot Merging for Spreading Process Classification, Communications in Computer and Information Science, Vol. 1964, pp.523-534, 2023
10. 藤原寛太郎, 未病データベースの基礎設計, 生体の科学, Vol. 74, pp.158-162, 2023

2) 学会発表・招待講演

1. H. Tsukada, O. Onodera, I. Tsuda and Y. Yamaguti, Mathematical modeling of dementia based on vascular aging, Chubu University CMSAI International Symposium 2023 “Mathematics and Data Science for Expanding Intelligence in Computers and Brains”, 2023/10/29
2. 天埜脩也, 保坂亮介, 時系列データを用いたペナルティキック予測, 電子情報通信学会 総合大会, 広島大学, H-4-09, Mar 4-8, 2024.
3. 碓井結夢, 保坂亮介, CNN による特徴点マッチングの精度向上, 電子情報通信学会 総合大会, 広島大学, D-12B-08, Mar 4-8, 2024.
4. K. Sawada and T. Ikeguchi, Nonlinear dynamics of temporal network, Proceedings of 2024 Dynamics Days US, p. 7, Jan. 2024.
5. H. Tsushima, T. Matsuura, T. Ikeguchi, Importance of Time Limit Constraint for Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem, Proceedings of 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2023), 6036, Sep. 2023.
6. F. Guo, H. Tsushima, T. Matsuura, T. Kimura and T. Ikeguchi, A Study on Two-Objective Posting Poster Problem for Public Office Election, Proceedings of 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2023), 6157, Sep. 2023
7. 福家 水月, 松本 朋子, 島田 裕, 池口 徹, Colexification network を用いた語族比較, 2023 年電子情報通信学会 NOLT ソサイエティ大会, NLS-8, 2023.
8. 郭 豊愷, 對馬 帆南, 松浦 隆文, 木村 貴幸, 池口 徹, 二つの目的を考慮した公職選挙ポスター掲示問題に対する発見的解法の開発,2023 年電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-13, 2023.
9. 吉田 しおん, 池口 徹, エコーステートネットワークにおけるリザバー層のダイナミクス, 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 123, no. 287, NLP2023-62, pp. 15--20, 2023.
10. 関口 真音, 池口 徹, てんかん患者の脳波データに対する再帰定量化解析,電子情報通信学会技術研究報 ,vol.123,no.287,NLP2023-64, pp.21-26, 2023.
11. 塚本陽太, 塚田啓道, 塚田 稔, 池口 徹, Hebb 則と時空間学習則のパターン分離能力の比較,2024 年電子情報通信学会総合大会, N-1-10, 2024.
12. 澤田和弥, 島田 裕, 池口 徹, スパイク列の発火率差が因果性検出に与える影響,2024 年電子情報通信学会総合大会, N-1-20, 2024.
13. 郭 豊愷, 松浦 隆文, 木村 貴幸, 池口 徹, 公職選挙ポスター掲示問題における初期解構築法の性能比較,2024 年電子情報通信学会総合大会, N-1-22, 2024
14. 澤田和弥, 島田裕, 池口徹, マーク付点過程に対する因果性検出手法の一検討,2023 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会,N-1-21, 2023 年.
15. 塚本陽太, 對馬帆南, 池口徹, カオス応答を呈する Izhikevich ニューロンに正弦波入力を印加した場合の応答解析,2023 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, N-1-24, 2023

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/B14

研究課題名

ドキュメントベース動画の直接操作インタフェースに関する研究

[1] 研究組織
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）
村上 大知（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）
北村 喜文（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）

[2]研究期間
令和 5 年 4 月　～　令和 6 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
近年，文書やスライド資料の画面キャプチャにより作成された動画メディア（資料動画と呼ぶ）を見る機会が非常に増えている．本プロジェクトでは，このような資料動画の視聴体験を向上させるため，動画データとその元となる資料データをシームレスに統合させる新たな資料動画の閲覧・探索ユーザインタフェースを検討してきた．本プロジェクトで提案するインタフェースは，動画内でまるで資料を直接操作しているかのようなスクロール・ページ送りのインタフェースをユーザに提供する．また，動画の再生とは非同期的に動画内資料の操作を可能とすることで，本インタフェースはリアルタイム・オンデマンド動画の両方に対応する．加えて，本インタフェースでは資料の元データの使用を前提とし，動画内に表示された資料をユーザが直接操作する際には，システムは動画の再生位置に対応する資料の元データを（動画のかわりに差し替えて）表示させることで，両者を個別に（e.g., 横並びで）閲覧する場合に比べて認知負荷を軽減し，動画の閲覧体験を向上する．

[4]研究計画及び内容
本プロジェクトの実施にあたり，研究分担者らの間で密にコンタクトを取りながら，本インタフェースの設計や実装方法，ユーザスタディの計画について議論を進めてきた．具体的には，以下の日程で研究打合せを実施した．

- 令和 5 年 4 月 21 日 10-11 時@オンライン
- 令和 5 年 6 月 5 日 15-16 時@オンライン
- 令和 5 年 9 月 15 日 17-18 時@オンライン
- 令和 5 年 11 月 13 日 16-17 時@オンライン
- 令和 6 年 3 月 1 日 15-16 時@オンライン

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果
本年度の成果として，資料動画を閲覧・探索するための新たなユーザインタフェースである SwapVid を設計・実装した．ユーザスタディ（N=20）の結果，本インタフェースは，動画の参照によるスライド資料の探索タスクにおいて，タスク時間や身体的負荷を軽減できることが示された．また，本インタフェースは概ねユーザに受け入れられ，ユーザが使い慣れた従来インタフェースよりも好ましく感じられることを示した．

以上の成果は，国内会議におけるデモ発表[2]および，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国際会議である CHI (CHI conference on Human Factors in Computing Systems) 2024 にも採択された[1].

（5-2）波及効果と発展性等
本研究成果がトップ国際会議に採択されたこともあり，本プロジェクトに関して既に多くの研究者らから問い合わせを受けており，新たな研究者ネットワークの形成に資すると期待される．また，本研究は近年発展の目覚ましい AI 分野とも相性が良く，当該分野の研究者との連携により今後さらなる学術的・産業的発展が期待できる．

[6]まとめと今後の課題
本プロジェクトでは，資料動画を閲覧・探索するための新たなユーザインタフェースを設計・実装し，その有用性をユーザ評価により実証した．今後の課題は，資料内コンテンツに基づくさらなる探索の効率化や，動画やアニメーション等の動的コンテンツを含む資料への対応である．

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

1. Taichi Murakami, Kazuyuki Fujita, Kotaro Hara, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura. SwapVid: Integrating Video Viewing and Document Exploration with Direct Manipulation, *Proc. of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '24)*, Article No. 1035, pp. 1-13, May. 2024.

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

2. 村上大知，藤田和之，原航太郎，高嶋和毅，北村喜文． SwapVid: 資料動画の視聴支援のための 動画・資料ビューアの統合型インタフェース．インタラクション 2024 論文集，pp. 373-376, 2024 年 3 月．

共同プロジェクト研究実施報告書（令和５年）

採択番号　R05/B15

研究課題名

人・社会のセンシングと介入に関わる基盤技術の研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
荒川　豊（九州大学大学院システム情報科学研究院）

通研対応教員：
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

Society5.0 では、さまざまなセンサによるセンシング、機械学習や深層学習を用いた分類や予測、そして、結果に基づく実世界へのフィードバックにより、人間とテクノロジーとの共生が進んでいく。その中で、形式や頻度の異なる多種多様なデータをどのように統合的に取り扱うのか、膨大なデータをどのように高速処理するのか、精度とプライバシーというトレードオフ問題をどのように解決するのか、などまだまだ研究課題が山積している状況である。また、社会インフラという側面が強いため、センサや機械学習の性能など技術面だけではなく、技術を社会あるいや別の領域に浸透させていくためのプロセスや社会受容性を高める方策に関する研究も重要となり、情報学の領域を超え、さまざまな研究者との共創が不可欠となる。このような背景のもと、本研究では、人と社会をセンシングする基盤的な研究について、専門性や年代の異なる第一線の研究者が議論を交わし、相互の研究理解を深めるとともに、新たな研究課題や解決手法の創出につなげていく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５年度は、(1)プライバシーと利便性を兼ね備えた人と社会のセンシング、(2)データ駆動型の介入技術に関する研究、(3) 次世代センシング基盤技術に関する検討を行った。メールやオンラインでの議論に加えて、東北大学電気通信研究所においても研究会を開催した。研究会は、本プロジェクトに関連する２プロジェクト（R03/B12　持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究、R05/A24 スマート社会を支える自己産出型サービスプラットフォームに関する研究、）と合同で、対面とオンラインを併用するハイブリッド形式で２日間に渡って開催した。

日時：2023 年 11 月 17 日（金）10 時～19 時
18 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（Zoom）

この研究会では、合計 22 件の研究発表があり、本プロジェクトからは、荒川、藤田、白鳥、岡部、東野、渡辺、菅沼の７名が現地で発表を行い、オンラインからも安本１名が発表を行った。発表のタイトルを以下に示す。

1. 荒川（九州大）：デジタルウェルビーイングに向けた情報選択行動支援
2. 藤田（千葉工大）・白鳥（中央大）：社会性を基盤とするポストエージェント指向モデル DOUBLE の 研究開発
3. 岡部（京都大）：フローのパッシブ計測によるネットワークの状態推定
4. 東野（京都橘大）：高齢者の孤立の検知と改善:日米共同研究
5. 菅沼（東北大）：局所空間ディジタルツインの応用に関する研究
6. 安本（奈良先端大・オンライン）：非接触宅内生活行動認識に関する研究
7. 渡辺（阪大）：情報通信の将来に向けて

代表的な研究成果をいくつか紹介する。荒川は、「デジタルウェルビーイングに向けた情報選択行動支援」という研究について発表した。この研究は、現在、情報技術進展の弊害として、フェイクニュースや陰謀論など偏った情報にさらされ、インフォデミック（Information と Pandemic を合わせた造語で情報による災害）という言葉までも生まれた時代において、より健全な情報選択を行うためにはどうすればよいか、に関する研究である。この研究は、本プロジェクトにおいて、人の行動を変える行動変容の研究について議論を重ねたことで着想を得た研究である。

岡部は、「フローのパッシブ計測によるネットワークの状態推定」というタイトルで、次世代のネットワーク計測手法に関する発表を行った。

渡辺は、「情報通信の将来に向けて」というタイトルで発表を行った。特に現在注目を浴びている非地上（衛星および高高度プラットフォー

ム）ネットワークの現状と将来展望に鑑み、世界的なカバー率、ダウンリンクのみならずアップリンクの無線技術進展等の観点から、将来の人・社会のセンシングのインフラとして重要な位置にあることを示した。

東野や安本は、「高齢者の孤立の検知と改善」および「非接触宅内生活行動認識に関する研究」というタイトルで、最先端の宅内センシング手法に関して発表した。

藤田、白鳥は、オブジェクト指向、エージェント指向の短所を克服し持続動作性を向上を狙ったアーキテクチャと大規模通信障害への応用に関する発表を行った。

菅沼は、「Design of a Support System for Guitar Performance Training Using XR Technology」および「A Concept and Functional Design of AR Cards」というタイトルで、局所空間ディジタルツインの概念に基づく、楽器演奏技能習得支援、カードゲーム娯楽性拡張のためのシステム設計・実装に関する発表を行った。

合同研究会には、20 代の若手助教からシニア教員まで幅広い年代の研究者が参加し、それぞれの研究について発表するとともに、これまでの経験を踏まえた討論を行った。

[3] 今後の研究の推進方策

今年度も合同研究会を 11 月に実施予定である。それとは別に、プロジェクト内、および、プロジェクトをまたぐ研究連携を進め、人・社会のセンシングと介入に関わる基盤技術の研究を推し進める。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- Y. Xu, H. He, J. Liu, Y. Shen, T. Taleb and N. Shiratori, ″IDADET: Iterative Double-Sided Auction-Based Data-Energy Transaction Ecosystem in Internet of Vehicles,″ in IEEE Internet of Things Journal, vol. 10, no. 11, pp. 10113-10130
- N. Eguchi, H. Choi, Y. Nakamura, S. Fukushima, Y. Arakawa, ″Design and Implementation of Persuasive Public Wi-Fi to Derive Prosocial Network Usage,″ Proc. of The 38th International Conference on Information Networking (ICOIN2024), Jan.2024.
- S. Fujita and N. Shiratori, ″Double: Post Agent-oriented Model Towards Trustable Smart Society based on AI Technologies,″ Proc. of IEEE 22nd Int'l Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI*CC'23), Aug. 2023.
- F. Minani, M. Kobayashi, T. Fujihashi, M. Alim, S. Saruwatari, M. Nishi, T. Watanabe, “A Fundamental Discussion on Reward-Based Reinforcement Learning for Uplink Resource Allocation in NTN,” Proc. of IPSJ 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2023), Nov. 2023. (Best paper award)
- E. Zhou, M. Kobayashi, T. Fujihashi, M. Alim, S. Saruwatari, M. Nishi, T. Watanabe, “A Fundamental Discussion on Efficient Reliable Multicast Protocol in Hierarchical Non-Terrestrial Networks,” 2023 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2023), 2023.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

- T. Ishibashi and T. Yoshihiro, “A Scheduling Method for LoRaWAN Assuming a Mixture of Incompatible Devices,” Proc. of the 17th International Workshop on Informatics (IWIN2023), Sep. 2023.
- S. Suzuki and T. Yoshihiro, “A Congestion-aware Transfer Scheduling Method for ride-sharing Services,” The 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2023), Nov. 2023.
- Yoshida Shuhei, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “Design of a Support System for Guitar Performance Training Using XR Technology,” Proc. of 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2023), pp.278-281, Oct. 2023.
- Yuki Hamaguchi, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “A Concept and Functional Design of AR Cards,” Proc. of 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2023), pp.621-625, Oct. 2023.

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B16

研究課題名

スマートフォンによる頭部視線トラッキング技術を用いたアプリケーションの検討

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトでは，スマートフォンを用いた視線トラッキング手法 HandyGaze[1]の応用として，美術館・博物館におけるガイド情報提示インタフェースの確立に向けて検討を進めてきた．

具体的には，国内の美術館・博物館・文学館の計 3 施設に務める学芸員の方々，計 4 名へインタビューを実施した．インタビューでは，これまでの展示ガイドの使用状況や課題，および，HandyGaze を体験いただいた上での利点や懸念点をヒアリングした．この結果，HandyGaze は各自のスマートフォンで利用できる点，作品の周辺にマーカ等を取り付ける必要がない（作品への鑑賞を邪魔しない）点，作品を見たかどうかや見た順序をシステムが記録できる点において特に有用であるとの意見を得た．一方で，見た作品に対する情報が正しくフィードバックされない場面もあり，認識精度に関する課題も明らかとなった．これらの結果を踏まえて，展示ガイドのユーザインタフェースを再設計した．

続いて，県内の博物館の協力を得て，実際の博物館鑑賞における提案インタフェースのユーザビリティの評価及び鑑賞体験に与える主観的な影響の違いを調査するフィールドスタディを実施した．本フィールドスタディでは，参加者 12 名のそれぞれに対して，提案インタフェースを含む 2 種類のインタフェースを用いて，博物館内の特定エリアを鑑賞してもらい，その体験について，アンケートスコアやインタビューにより回答してもらった．実験は完了し，得られた結果を解析中である．

本研究遂行に際し，研究分担者である Sayan Sarcar 氏，原航太郎氏らと，オンラインを中心に意見交換を重ねてきた（令和 5 年 4 月 21 日， 6 月 5 日，9 月 15 日，令和 6 年 3 月 1 日）．

1. Takahiro Nagai, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura. HandyGaze: A Gaze Tracking Technique for Room-Scale Environments using a Single Smartphone, Proc. of the ACM on Human-Computer Interaction, Vol. 6, Issue ISS, Article No. 562, pp 143–160, Nov. 2022.

[3] 今後の研究の推進方策

次年度は，得られた結果を解析し，展示ガイドにおける HandyGaze のユーザインタフェースガイドラインをまとめ，この成果を国際会議論文またはジャーナルへ投稿予定である．

共同プロジェクト研究実施報告書（令和 5 年）

採択番号　R05/B17

研究課題名

脳型 LSI 向け回路・システム技術国際共同研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

コロナ禍がほぼ明けた結果，2023 年度は，国際会議等の対面開催が順次実施されつつあり，上述した国際交流を再開できる状況となって，国際交流を深めた．その具体的取組事例は以下の通りである．

○Mathieu Leonardon 准教授（フランス・IMT Atlantique）との意見交換
・日時：令和 5 年 5 月 15～6 月 30 日
・場所：東北大学 電気通信研究所 羽生研（対面）
・内容：Mathieu Leonardon 先生（准教授，IMT Atlantique，フランス）が来仙し，研究テーマに関する意見交換と共同研究テーマの探索を行った．彼の専門分野は「Few-shot learning」であり，エッジ AI ハードウェアの研究開発に取り組んでいる当研究グループとの整合性が良い．つまり，「few-shot」にて学習すべきデータ量＆計算量を軽減できれば，エッジ AI ハードウェアにおけるハードウェア側の負荷を大幅に軽減できることとなる．Leonardon 氏の来仙を機に，現在，共同研究を進めており，当研究室所属の学部学生が，卒論研究テーマとして，few-shot learning 関連の研究テーマを着手するに至った．当該学生は，2024 年 4 月から大学院へ進学予定であり，当該の共同研究を引き続き深めていく計画である．

○Warren Gross 教授（カナダ・McGill 大学）との意見交換
・日時：令和 6 年 2 月 20 日（金）9:00～11:00
・場所：オンラインにて意見交換
・内容：Warren Gross 先生と研究に関する意見交換を行った．まず，鬼沢直哉氏（准教授，本学電気通信研究所）が，令和 5 年 10 月から約 1 ヵ月間，Warren Gross 先生からの招へいを受け，カナダ・McGill 大学にて研究に関する意見交換（共同研究の成果等を報告）を行った．Gross 先生は，5th International Symposium on AI Electronics（令和 6 年 2 月 19～20 日の 2 日間開催）の Keynote Speaker として，Day2（2/20）に登壇し，上述した共同研究の成果を講演すると共に，自身の研究室で研究開発を進めている新しいデータ表現（hybrid polar codes）とその誤り訂正復号器への応用について，最新の研究動向を紹介した．来年度へ向け，この新しいデータ表現とその応用についても，共同研究の可能性を模索する．

○カナダ・トロント大学研究者らとの意見交換
・日時：令和 6 年 2 月 18～22 日
・場所：米国カリフォルニア州サンフランシスコ
　　@ISSCC2024 会場
・内容：羽生教授と夏井准教授（本学 電気通信研究所）は，ISSCC2024（令和 6 年 2 月 18～22 日＠米国カリフォルニア州サンフランシスコで開催）に現地参加し，カナダ・トロント大学等の教員（Glenn Gulak 教授，Ali Sheikholeslami 教授，Vincent Gaudet 教授）と対面にて研究展開に関する意見交換を行った．この国際会議は，昨年（令和 5 年 2 月）時点でコロナ禍に対策（マスク着用，アルコール消毒の励行等）が大幅に緩和されており，本年はその状況をさらに進めており，意見交換を対面にて実施することができた．お互いの研究進捗や興味深い（将来展開の期待できる）研究トピックスについて意見交換をする中で，来年度の相互往来の再開なども検討することとした．

[3] 今後の研究の推進方策

高次脳機能を有する脳型 LSI を心理物理学実験等に応用することで，未だ解決されていない人間の脳における情報処理原理の究明をこれまで以上に強く推し進めることが可能になり，その学問的効果は計り知れない．特に，能動的に活動している人間の脳活動を測定し，それに伴う人間の処理系の変化の検討から，認識・学習モデルを構築することは，実世界で能動的に活動する人間の情報処理機能を究明する研究に多大な波及効果が期待できる．また，電脳社会と実世界をシームレスに融合する自律分散制御情報システムの実現は，膨大な情報量に惑わされることを画期的に解消させ

る．人類の社会生活と知的活動を強力に支え得る情報通信技術を確立することは，現在および次世代の情報化社会において必要不可欠であり，特に人口減少と高齢化が進む我が国において，国の活力を維持するために，このような技術の開発と応用ことが最重要課題である．さらに，新概念脳型LSIは，ノイマン，シャノン，ウィナーらによって構築された従来の情報通信システムを一新させるパラダイムシフトを引き起こすだけでなく，我が国のエレクトロニクス産業の復活のための転換点となることが期待される．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・講演（招待等）

1) 夏井雅典, "次世代 IoT 社会を拓く不揮発性ロジック LSI 技術とその応用展開," 半導体シンポジウム, Aug. 31, 2023. (invited)
2) Takahiro Hanyu, Naoya Onizawa, Daisuke Suzuki, and Masanori Natsui, "Impact of Spintronics-Based Nonvolatile Hardware for Edge AI Applications," Extended abstract of International Conference on Solid-State Materials and Devices (SSDM 2023), pp.423-424, Sept. 2023 (invited).
3) Takahiro Hanyu, "Challenge of MTJ-Based Nonvolatile Hardware for Edge AI Applications," 16th IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-2023), 1page, Dec. 2023. (keynote speech)
4) 羽生貴弘, "不揮発性ロジックで拓くエッジ AI ハードウェアへの挑戦," DA シンポジウム, Sept. 1, 2023. (invited)

・学術雑誌（査読有）

1) Ken ASANO, Masanori NATSUI, and Takahiro HANYU, "Error-Tolerance-Aware Write-Energy Reduction of MTJ-Based Quantized Neural Network Hardware," IEICE (The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) Trans. on Electronics, 2024. (in press)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・国際共著の本執筆

"Design and Applications of Emerging Computer System" edited by Weiqiang Liu, Jie Han, Fabrizio Lombardi, "Applications of Ising Models Based on Stochastic Computing" written by Duckgyu Shin, Naoya Onizawa, Warren J. Gross, Takahiro Hanyu, pp. 265-280, 2024. Springer Nature
eBook ISBN 978-3-031-42478-6

・学術雑誌

1) Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of a Spin-Orbit-Torque-Based Self-Terminated Non-volatile Register for a Write/Leakage-Energy-Minimized Backup Operation," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), 2024. (in press)
2) Naoya Onizawa and Takahiro Hanyu, "Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems," Scientific Reports, 2024.
3) Naoya Onizawa, Kota Katsuki, Duckgyu Shin, Warren Gross, and Takahiro Hanyu, "Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing," IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol.34, issue 12, pp. 10999 - 11005, Dec. 2023.
4) Naoya Onizawa, Duckgyu.Shin, Takahiro Hanyu, "Local Energy Distribution Based Hyperparameter Determination for Stochastic Simulated Annealing," Proceedings of IEEE Open Journal of Signal Processing, 11 pages, 2023.
5) Naoya Onizawa, Koji Yano, Seiichi Shin, Hiroyuki Fujita, and Takahiro Hanyu, "Self-Adaptive Gate Control for Efficient Escape from Local Minimum Energy on Invertible Logic," IEEE Access, 10pages, 2023.

・国際会議論文（査読有）

1) Ken Asano, Masanori Natsui, and Takahiro Hanyu, "Error-Sensitivity-Aware Write-Energy Optimization for an MTJ-Based Binarized Neural Network," Proceedings of 30th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS2023), 2 pages, Dec. 2023.
2) Ryoma Sasaki, Duckgyu Shin, Naoya Onizawa, and Takahiro Hanyu, "Improving Stochastic Quantum-Like Annealing Based on Rerandomization," Proceedings of 30th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS2023), 2 pages, Dec. 2023.
3) Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of a SOT-Based Self-Terminated Nonvolatile Register for Write/Leakage-Energy-Minimized Backup Operation," Extended Abstract of 2023 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2023), pp. 425-426, Sep. 2023.
4) Masanori Natsui, Yasuhiro Takako, Akira Tamakoshi, and Takahiro Hanyu, "Challenge of Energy-Efficient Edge-AI Accelerator Architecture Using Nonvolatile Logic," Proc. of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2023), pp. 263-264, Sept. 2023.
5) Daisuke Suzuki, Masanori Natsui, Akira Tamakoshi, Yasuhiro Takako, and Takahiro Hanyu, "Challenge of a Low-Power FPGA-Based CNN Accelerator Based on Nonvolatile Logic-in-Memory Circuitry," Proc. of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2023), pp. 254-257 (4pages), Sept. 2023.
6) Kaede Sakai, Masanori Natsui, and Takahiro Hanyu, "Design of an Error-Tolerant Nonvolatile Register for Energy-Aware Intermittent Computing," Proc. of the 66th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS 2023), pp.269-273, Aug. 2023.
7) Fangcen Zhong, Masanori Natsui, and Takahiro Hanyu, "High-Performance/Low-Area Power-Gating Switch Linear Array for Energy-Efficient LSIs with an Optimum Switch-Timing Control," proceedings of the 56th IEEE International Symposium on Circuits & Systems (iscas2023), 5pages, Monterey, CA, USA, May 24, 2023.
8) Ken Asano, Masanori Natsui, and Takahiro Hanyu,

9) "Write-Energy Relaxation of MTJ-Based Quantized Neural-Network Hardware," proc. of International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2023.

以上

採択番号(Grant No.)：R05/S01

先端的コヒーレント波技術の応用研究

［1］組織
研究代表者
青木　徹（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
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）
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）
立蔵　洋介（静岡大学工学部）
横田　信英（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）
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
山末　耕平（東北大学電気通信研究所）
平永　良臣（東北大学電気通信研究所）
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。令和5年8月4日、夏季研究会が静大電子工学研究所にて口頭発表5件、ポスター発表7件、参加者22名で開催、また令和5年12月26日、冬季研究会が東北大電気通信研究所にて口頭発表5件、ポスター発表8件、参加者26名で開催、いずれも活発な討議が行われ、横断的な研究交流が図られ、また若手人材交流が推進された。そして、令和6年2月15日、通研共プロ成果報告会において電研佐藤弘明准教授が「SP アンテナ付 SOI フォトダイオードに基づく高度な光センサへの応用」と題して、SP 付フォトダイオードの基本特性について説明し、光の到来方向や生体分子を検出する応用例を紹介した。

［3］成果

(3－1) 研究成果

【静岡大学・根尾研究室】Air/MgF2/Al/MgF2/N-SF11 基板において Al 薄膜の両界面にプラズモンポラリトンを励起すると、相互に干渉し共鳴曲線が分裂する様子を確認した。分裂・生成した長距離伝搬プラズモン共鳴にスピンコートで成膜した PMMA による導波路モードを重畳させたが、正確な膜厚制御が困難だったため、成膜と反射率測定をトライアンドエラーにより長距離伝搬型に透明化が誘起された反射スペクトルを取得したが、強度的に弱い。Al/MgF2/N-SF11 基板に MgF2 を堆積する過程で密着性の劣化が見られ、基盤加熱温度など詳細に条件を変化させ膜質の改善を図っている。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】ノイズを極限に追い込むフォトンカウンティングは、原理的に時間軸情報を得られる電荷カウンティングとあわせて複数の成分のノイズを切り分けることが可能となる。最後に残るショットノイズに着目した画質改善を進め、
従来の透過画像でピクセル補正を行い、画像全体にわたって直線性の高いデータ取得を可能とした。

【静岡大学・佐々木研究室】テラヘルツ分光スペクトルにおいて、分子量1,000以上の比較的大きい分子結晶で予想に反して鋭い吸収線が観測されたため、今年度は更に分子量の大きい蛋白質であるリゾチームの単結晶を作成、テラヘルツスペクトル測定を適用した。セル中で結晶成長後そのまま測定できる専用のセルを開発して適用した結果、固有のスペクトルは得られたが、比較的線幅が広く、この理由は結晶冷却時の熱歪みが結晶を崩壊させたと考えられた。

【静岡大学・小野篤史研究室】銀ナノキューブ単層集積膜の作製技術を確立した。藤掛・柴田研との共同研究により昨年度までに得た成果を踏まえ、数値解析及び更なる詳細な実験を進め、透過光色スイッチングが液晶複屈折とプラズモン吸収との重畳に起因することを明らかにした。本研究成果を ACS Omega 誌に誌上発表した。

【静岡大学・佐藤研究室】表面プラズモン（SP）アンテナと組み合わせたシリコン細線型フォトダイオードの光感度における波長・偏光の選択性を実測した。また、SP アンテナを従来の1次元周期構造から2次元周期構造に変更することで、入射偏光の調整なしで屈折率測定を可能にした。さらに、フォトダイオードの

分光感度特性におけるピーク波長が、デバイス温度によって変調可能であることを実証した。

【静岡大学・庭山研究室】今年度はToFと空間分解式NIRSの同時計測システムにおける多波長データの正確度を向上させるために、電子回路や光学素子基板、光学ブロック等の改良を行い動作特性の検証を行った。その結果、特に光散乱の少ない領域で正確度が改善した。

【静岡大学・小野行徳研究室】今年度は、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、及びその外部磁場依存性を詳細に調べ、MOS２次元電子・正孔系の形成、クーロンドラックの観測、さらにまた、高エネルギーフォノン放出に伴う異常電子温度上昇を観測した。また、MOSトランジスタの極低温でのフリーズアウト現象を利用して、電子・正孔二重層を形成できることを示した。特に、電子・正孔二重層における電子層と正孔層の距離がボーア半径程度に短く、励起子が生成されていることを示唆する結果を得た。

【静岡大学・川人研究室】今年度は、昨年度に再々試作を行ったVGAクラスの6タップCMOSイメージセンサと近赤外レーザ光源との組合せにより、2次元分解能の高い中長距離の距離画像計測を実施し、屋外20m以上で反射板が識別できる距離画像が得られたが、ディレイ特性の再評価により、分解能の定量化にはさらなる高速変調、QE改善、低ノイズ化が必要と判り、3回目の改版試作を行った。

【静岡大学・原・小南研究室】6方晶BNの成長において、特に面内配向性の制御の観点から、ｃ面よりも原子配列の対称性の低いａ面サファイア上への成長を試みた。ａ面上の成長の特徴は、ｃ面に比較して基板表面が窒化されやすく膜特性の悪化につながることであったが、成長温度を1200 ℃以下にすることで、ｃ面上よりも結晶性および表面平坦性が優れた薄膜が得られることを示した。

【東北大学・八坂・吉田・横田研究室】小型高コヒーレント半導体レーザ光源の技術開発を進めるとともに、その応用について幅広く議論し、本光源を活用した新技術分野の開拓を目指した研究を推進した。本年度は、半導体レーザの周波数応答特性を超広帯域かつ高感度で測定することが可能な、コヒーレント波の干渉を用いた光変調・光スペクトル検出システムを構築し、電気回路の周波数応答特性に制限されない評価手法となることを実証した。

【東北大学・坂本研究室】近距離の音像知覚における重要な手がかりである近距離頭部伝達関数を通常の遠距離で測定した頭部伝達関数で合成するための方法を検討した。音の波動性を考慮した既存の方法を評価したところ、水平面の音像定位の手がかりとなる両耳信号差が、周波数によっては適切に再現出来ていないことが明らかとなった。

【東北大学・（白井）・山末・平永研究室】時間分解走査型非線形誘電率顕微鏡（時間分解SNDM）を用いた半導体の局所容量-電圧（CV）特性測定法の開発を進めた。絶縁膜-半導体界面における微視的な電荷状態のゆらぎを調べる手法を開発し、Al2O3/OH終端ダイヤモンドで室温の熱エネルギーを超える表面ポテンシャルゆらぎが生じることを示唆する結果を得た。加えて、強誘電体材料の分析においても、局所C-V特性のマッピングデータの取得，およびその機械学習的手法を導入したデータ解析を通じて、ナノスケールでのドメイン反転挙動を明らかにする手法の開発を行った。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

電波と物質のコヒーレント相互作用に関する研究は、前年度の実績を踏まえ、更に分子量の大きいリゾチームの単結晶を作成し、テラヘルツスペクトル測定を適用した。コヒーレント光の時空間制御に関する研究は、小野篤史研と藤掛・柴田研との共同から透過光色スイッチングが液晶複屈折とプラズモン吸収との重畳に起因することを解明し、ACS Omega誌に誌上発表した。表面プラズモンアンテナ付シリコン光導波路における熱光学変調に関する研究は、表面プラズモンアンテナと組み合わせたシリコン細線型フォトダイオードの高感度における波長・偏光の選択制を実測、SPアンテナを2次元周期構造に変更することで入射偏光の調整なしで屈折率測定を可能にした。また近赤外レーザ光を利用したToF法による時間分解イメージングデバイスは、6タップCMOSイメージセンサと近赤外レーザ光源との組合せにより屋外20m以上で反射板が識別できる距離画像が得られ、分解能の定量化のため、更なる改良が進められた。X線領域の高次情報抽出イメージャーの研究では画質改善を進め、従来の透過画像でピクセル補正を行い、画像全体にわたって直線性の高いデータ取得を可能とした。またToF計測と近赤外分光計測による生体組織性状計測法の研究は、ToFと空間分解式NIRSの同時計測システムにおける多波長データの正確度の向上を目指し、電子回路や光学素子基板、光学ブロック等の改良を行い、特に光散乱の少ない領域で正確度が改善した。小型コヒーレント半導体レーザとイメージセンサを融合した新規測距技術の実現に向けた研究では、イメージセンサ外乱光に耐性を有する周波数連続変調方式の3次元イメージングがビーム偏光器を用いることなく実現可能であることを確認した。以上、各研究課題において着実な進展が見られ、研究所間の共同研究による具体的成果も挙がるなど、今後一層深化させていくことにより更なる波及効果が期待される。

［4］論文や学会発表等

（1）成果リスト（謝辞あり）

・"On-Chip Modification of Titanium Electrothermal Characteristics by Joule Heating: Application to Terahertz Microbolometer", Durgadevi Elamaran, Ko Akiba, Hiroaki Satoh, Amit Banerjee, Norihisa Hiromoto, and Hiroshi Inokawa, Jan. 2024, Nanomaterials.

・"2 次元周期構造のホールアレイ型金属回折格子による SOI フォトダイオードの光感度向上効果", 山本竜爾, 佐藤弘明, 2023 年 7 月, 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会

・ "Wide-Bandwidth and High-Sensitivity Measurement Technique of Intrinsic Modulation Response of Semiconductor Lasers," N. Yokota, T. Nohara, and H. Yasaka, 2023, IEEE Photon. J. 15, 5800106

（2）関連リスト（謝辞なし）

・"A Time-of-Flight Image Sensor Using 8-Tap P-N Junction Demodulator", R. Miyazawa, Y. Shirakawa, K. Mars, K. Yasutomi, K. Kagawa, S. Aoyama, S. Kawahito, 2023.4.14, Sensors Vol.23, Issue8, pp3987（1-18）

・"An SOI-based lock-in pixel with a shallower buried channel for improved parasitic light sensitivity and modulation contrast", T. Kobayashi, Keita Yasutomi, N. Takada, S. Kawahito, 2023.4.10, IEICE Trans. Electronics, Vol.E106-C, No.10, pp.538-545

・"Time-of-Flight イメージセンサの高近赤外感度化と高精度化″, 安富啓太, 川人祥二, 2023/4 月, レーザー研究, 51 巻 4 号 pp.232-236.

・"マルチタップ ToF ピクセルによる 3D 光センシングデバイスの現状と動向 (Present and Future of 3D Sensing Devices Using Multi-Tap Time-of-Flight Pixels), 川人 祥二, 安富 啓太, マース カメル, 香川 景一郎, 2024.3.24.,応用物理学会 2024 年春季学術講演会

・"A 648 x 484-Pixel 5-Tap Short-Pulse Indirect TOF Image Sensor with 8 and 12 Phase Demodulation for 10m-Outdoor and 20m-Indoor Operations", M. Kamel, K. Sakai, Y. Nakatani , M. Hakamata, K. Yasutomi, S. Kawahito, 2023.5.25., 2023 International Image Sensor Workshop

・"A High-Accuracy Time-of-Flight Image Sensor Using Cascaded 4-Tap Demodulators and Dual-Phase Short-Pulse Modulation", H-W Kwen, H. Nagae, K. Yasutomi, K. Kagawa, S. Kawahito, 2023.9.7., SSDM2023

・"高精度な TOF 距離イメージセンサとその応用", 安富啓太, 川人祥二, 2023.11.10., 映像情報メディア学会 情報センシング研究会

・ ″ Plasmonic Color Switching by a Combination Device with Nematic Liquid Crystals and a Silver Nanocub Monolayer ″ , Ayana Mizuno, Yosei Shibata, Hideo Fujikake, and Atsushi Ono, 2023.10., ACS Omega

・Electrical control of transient formation of electron-hole coexisting system at silicon metal-oxide-semiconductor interfaces, Masahiro Hori, Jinya Kume, Manjakavahoaka Razanoelina, Hiroyuki Kageshima & Yukinori Ono, 2023 年 11 月, Communications Physics

・"Silicon Electron Nano-Aspirator ", Yukinori Ono, 2023 年 6 月, Silicon Nanoelectronics Workshop (Invited)

・"Time of Flight 計測と空間分解近赤外分光法による眼輪筋酸素飽和度計測″, 足立 雅樹, 庭山 雅嗣, 2023 年 10 月, 第 29 回医用近赤外線分光法研究会

・ "Zooming Operation of FMCW LiDAR: Toward Applications in Rescue," N. Yokota, H. Takahashi, K. Sugiyasu, and H. Yasaka, IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Oct. 2023, pp. 181-182

・" Nanoscale fluctuation analysis on capacitance-voltage profiles of Al_2O_3/diamond by time-resolved scanning nonlinear dielectric microscopy", K. Yamasue, Y. Ogata, T. Matsumoto, N. Tokuda, and Y. Cho, 2023.11.7-9, The 43th Annual NANO Testing Symposium (NANOTS2023), pp.26-30.

・"局所 C-V マッピング法を用いた強誘電体メモリ材料のナノスケールドメイン挙動分析", 平永良臣, 長 康雄, 2023 年 6 月, 映像情報メディア学会技術報告, pp. 9−15

共同プロジェクト研究

採択番号：R03/SI01

人間科学と AI 技術
Human sciences with AI technologies

［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) 100 人

［2］本プロジェクトの目的, 研究計画や内容(Purpose of this project, research plan and contents)

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 , the third one was held on NTU, on November 24, 2019 and the fourth one and fifth one were held on March 12 and 13, 2021 and March 19th, 2022 on line due to the COVID 19 pandemic. The 6th one was held on February 26th, 2023.

The 7th one, held at National Taiwan University, including16 talks and the titles and speakers are shown below.

Satoshi Shioiri “Explicit and Implicit Effect of Visual Attention”

Chien-Chung Chen “Exploring the Association between dCNN and Visual Cortical Responses for Image Statistics”

Takahiro Hanyu “Impact of Spintronics-Based Nonvolatile Hardware for Edge AI Applications”

Tzi-Dar Chiueh “Low-Complexity NN Technology: Model and Precision Search, Acceleration Circuit, and Applications”

Shuichi Sakamoto “Consideration of perceptual cues for vertical sound localization using multilayer neural networks of sound event localization and detection”

Yu Tsao “Deep-learning-based Speech Enhancement with

Its Application to Assistive Oral Communications Devices"

Yoshifumi Kitamura "Enriching Telecommunication with Nonverbal Information"

Bing-Yu Chen "Interactive Tangible Computing"

Yasumasa Matsuda "Functional PCA of human population in Tokyo"

Jui-Chung Yang "Out-Of-Sample Exchange Rate Prediction: An Application of Instrumented Principle Component Analysis"

Rei Emura & Masatoshi Koizumi "Why Do We Misunderstand "Who Did What"? Approaches from Linguistics and Psychology"

Zhao-Ming Gao "A Pilot Study on LLMs-based Chinese Word Sense Discrimination and its Applications"

Yongsong Huang "Rethinking Degradation: Radiograph Super-Resolution via Generative Model"

Guan-yun Wang "Estimation of mental states in the context of e-learning by using machine learning techniques"

Yuan-Ling Shih "Domain Analysis of Social Robotics: From 2017 to 2023"

An-Sheng Liu "Sentiment Analysis and Schizophrenia Evaluation via Multi-Modality Information"

[3] 成果等(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

The following list shows collaboration topics between the two organization.

(1) AI & Social Robotics
(2) AI & Education
(3) AI & Robots for the Aging Society:
(4) Speech and Natural Language Processing
(5) Ethics and Law in AI
(6) AI & Human Mental Functions
(7) Yotta Informatics and AI
(8) AI & Medical Imagine
(9) Differences in Color Representations of Tastes: Cross-cultural Study Among Japanese, Russian and Taiwanese

Among the topics listed above, details are shown for topic (2) and (9). For the topic (9), a group of researchers between two university estimated students' mental states while studying. While participants were solving a language puzzle, facial images were recorded. There were several hints for the participants who clicked a button to get one during the task. Analyzing facial expressions succeeded predict the time when a participant required a hint. This indicates that Ai could use facial images to provide hints at appropriate time in learning processes.

For the topic (9), cultural differences in cross-modal color-taste associations were investigated among Japanese, Taiwanese, and Russian respondents. The participants were asked to choose a color from a 35-color palette that corresponds to a particular item including three voices (male, female, and child), five basic tastes, five types of oral chemesthesis (hot, sharp, spicy, fatty, and astringent), and eight functional foods. The results demonstrate that cross-modal associations were mostly similar among the participants. However, for some specific tastes such as umami, more cultural differences were observed. The results indicate there are specific cultural features in addition to the common associations between color and taste for participants from different cultures.

(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 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.

［4］論文や学会発表等成果資料　(Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト（謝辞あり）

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

Related publications

Wang, G. Y., Nagata, H., Hatori, Y., Sato, Y., Tseng, C. H., & Shioiri, S. (2023). Detecting Learners' Hint Inquiry Behaviors in e-Learning Environment by using Facial Expressions. In Proceedings of the Tenth ACM Conference on Learning@Scale (pp. 331-335).

Spillmann, L., Hsu, L.C., Wang, W. Chen, C.C., Yeh, C.I., Tseng, C.H. (2023). Gestalt neurons and emergent properties in visual perception: a novel concept for the transformation from local to global processing. Journal of Vision, 23(12):8, 1-5.

Fujiwara, K., Cheng, M., Tseng, C.H., Kitamura, Y. (2023). Reading emotions from bodily movements: The development of the Motion Unit AI. Journal of Information Processing.

Wu, W., Li, Z., Miura, T., Hatori, Y., Tseng, C. H., Kuriki, I., ... & Shioiri, S. (2023). Different Mechanisms for Visual Attention at the Hand-movement Goal and Endogenous Visual Attention. Journal of Cognitive Neuroscience, 1-16.

Feng, Y. J., Yeh, S. L., & Hsieh, P. J. (2023). Objective Measurements of Well-being. Chinese Journal of Psychology, 65(2), 145–162.

Ueda, Y., Huang, T. R., Shen, Z., Sakata, C., Yeh, S. L., & Saito, S. (2023). Sequential processing facilitates Hebb repetition learning in visuospatial domain. Journal of Experimental Psychology: General.

Chien, S. E., Yeh, S. L.*, Yamashita, W., & Tsujimura, S. I. (2023). Enhanced human contrast sensitivity with increased stimulation of melanopsin in intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. Vision Research, 209, 108271.

Huang, T. R., Chen, T. C., Lin, T. Y., Goh, J. O., Chang, Y. L., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2023). Spatially Small-scale Approach-avoidance Behaviors Allow Learning-free Machine Inference of Object Preferences in Human Minds. International Journal of Social Robotics, 15, 999-1006.

Chen, Y. C., Yeh, S. L.*, Lin, W., Yueh, H. P., Fu, L. C. (2023). The Effects of Social Presence and Familiarity on Children–Robot Interactions. Sensors, 23, 4231

Yang, C. C., Tsujimura, S., & Yeh, S. L.* (2023). Blue-light background impairs visual exogenous attention shift. Scientific Reports, 13(1), 3794.

Chen, Y. C., Yeh, S. L., Lin, W., Yueh, H. P., & Fu, L. C. (2023). The effects of social presence and familiarity on children–robot interactions. *Sensors*, *23*(9), 4231.

Chen, H. Y., Huang, P. H., & Fu, L. C. (2023). Social crowd navigation of a mobile robot based on human trajectory prediction and hybrid sensing. *Autonomous Robots*, *47*(4), 339-351.

Chuang, C. Y., Lin, Y. T., Liu, C. C., Lee, L. E., Chang, H. Y., Liu, A. S., ... & Fu, L. C. (2023). Multimodal Assessment of Schizophrenia Symptom Severity from Linguistic, Acoustic and Visual Cues. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*.

Chang, Y. H., Guo, Y. T., Fu, L. C., Chiu, M. J., Chiu, H. M., & Lin, H. J. (2023). Interactive Healthcare Robot using Attention-based Question-Answer Retrieval and Medical Entity Extraction Models. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.

Yu, C. A., Chen, H. Y., Wang, C. C., & Fu, L. C. (2023). Complex environment localization system using complementary ceiling and ground map information. *Autonomous Robots*, *47*(6), 669-683.

Wu, W., Li, Z., Miura, T., Hatori, Y., Tseng, C. H., Kuriki, I., ... & Shioiri, S. (2023). Different Mechanisms for Visual Attention at the Hand-movement Goal and Endogenous Visual Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *35*(8), 1246-1261.

Miao, R., Kato, H., Hatori, Y., Sato, Y., & Shioiri, S. (2023). Analysis of facial expressions to estimate the level of engagement in online lectures. *IEEE Access*.

Sun, S., Wu, D. A., Shehata, M., Akashi, T., Furudate, M., Zhang, C., ... & Shimojo, S. (2023). Natural finger-tapping tempo reflects intrinsic neurophysiological characteristics Subtitle: Neural correlates of natural tempo. *neuromodulation*, *15*(16), 17-18.

採択番号：R04/T01

伝送工学研究会
Society 5.0 に向けた電波・光波伝送技術

［1］研究組織

研究代表者，主査：
松浦　祐司（東北大学 大学院工学研究科）
通研対応教員
葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
陳強　（東北大学大学院工学研究科）
山田博仁　（東北大学大学院工学研究科）
西山大樹　（東北大学大学院工学研究科）
佐藤源之 (東北大学大学院環境科学研究科)
今野佳祐　（東北大学大学院工学研究科）
松田信幸　（東北大学大学院工学研究科）

［2］研究目的

電波，光波の無線及び有線伝送に関するシステム，方式及びデバイスについて研究発表と討論を行う．

［3］研究成果等

（1）成果等

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・応用研究に関する最新の情報について情報交換を行うことにより，今後の展望を得た．

（2）開催した研究会

第 638 回
2023 年 5 月 16 日（火）　14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
638-1.　「中赤外分光法による血液からの多疾患同時スクリーニング」
木野彩子 1　保坂春樹 1　金森政之 2　新妻邦泰 2　冨永悌二 2　松浦祐司 1
1. 東北大学大学院工学研究科，2. 東北大学大学院医学研究科

参加者数　53 名

第 639 回
2023 年 6 月 20 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
639-1.　「ローカル 5G の電波強度測定と電波品質評価」
加藤泰成 1　山田博仁 1,2
1. 東北大学工学研究科，2.災害科学国際研究所

参加者数　53 名

第 640 回
2023 年 7 月 18 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
640-1.　「生体組織分析のための中赤外光光熱偏向分光システムの基礎検討」
伊藤大登，木野彩子，松浦祐司
東北大学大学院医工学研究科

640-2.　「A Low-Cost Wideband Reflectarray Antenna Based on Nonradiative Dielectric Waveguide」
Wen Wu, Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

640-3.　「Horizontally Polarized and Omnidirectional Array Antenna for Sub-6 Base Station」
Junyi Xu, Sirao Wu, Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

参加者数　51 名

第 641 回
2023 年 9 月 19 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
641-1.　「Fe3O4 ナノ粒子添加による溶液塗布(C8BTBT)(F4TCNQ)薄膜の近赤外光電変換効率の向上」
内山直美，Loi Thonthat，松浦祐司
東北大学大学院工学研究科

641-2.　「Capacity-Fairness Tradeoff-aware Power Allocation for Cluster-wise
Distributed MU-MIMO System」
Sijie Xia, Qiang Chen, and Fumiyuki Adachi Graduate School of Engineering, Tohoku University

参加者数　35 名

第 642 回

2023 年 10 月 17 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
642-1.　「A Low-Cost Structure for Reducing Reflection Loss in Liquid Crystal Reflectarray」
Yue Cui, Hiroyasu Sato, Yosei Shibata, Takahiro Ishinabe, Hideo Fujikake, and Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

【特別講演】
「RF Design for Ultra-Low-Power Wireless Communication Systems」
Jasmin Grosinger
Graz University of Technology, Tohoku University

参加者数　43 名

第 643 回
2023 年 11 月 21 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
643-1.　「誘電体スラブを装荷したアンテナの低姿勢化」
塚田裕太，今野佳祐，陳強
東北大学大学院工学研究科

643-2.　「リフレクトアレーによるフレネル領域の電波環境改善」
本多出，今野佳祐，陳強
東北大学大学院工学研究科

参加者数　44 名

第 644 回
2023 年 12 月 19 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】（順不同）
「企業に求められる高周波技術」
西澤公彦
東芝電波プロダクツ株式会社　第２技術部技術第１担当

「EM Research and Education at Graz University of Technology」
Jasmin Grosinger
Graz University of Technology

参加者数　40 名

第 645 回
2024 年 1 月 23 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
645-1.　「有孔誘電体を用いたリフレクトレンズの設計」
工藤陸，佐藤弘康，陳強
東北大学大学院工学研究科

645-2.　「帯域通過レドームの周波数特性に関する数値解析」
細村祥平，今野佳祐，陳強
東北大学大学院工学研究科

645-3.　「遅延耐性ネットワークの発信端末における受信信号強度に基づく中継端末選択による情報送信効率の向上」
上村優樹、西山大樹
東北大学大学院工学研究科

参加者数　48 名

第 646 回
2024 年 2 月 20 日（火）14：40～
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
【一般公演】
646-1.　「負荷インピーダンスを用いたリフレクトアレーの最適化に関する研究」
佐藤 聖将，今野 佳祐，陳 強
東北大学大学院工学研究科

646-2.　「UHF 帯 RFID システム用の広帯域電波吸収体の研究」
源　拓夢，今野　佳祐，陳　強
東北大学大学院工学研究科

646-3.　「光誘起超音波を用いた生体組織の赤外分光イメージング」
田中望実，松浦祐司
東北大学大学院工学研究科

参加者数　37 名

以上

採択番号：R04/T02

音響工学研究会
サブタイトル音響・音声・聴覚およびマルチモーダルシステムに関する基礎と応用に関する研究発表

［1］研究組織

研究代表者：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
主査
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
幹事
能勢　隆　（東北大学大学院工学研究科）

研究分担者
伊藤　彰則（東北大学大学院工学研究科）

［2］研究目的

音響・音声・画像・マルチモーダル分野における認知科学，信号処理，認識・理解，人工知能，自然言語処理に関する研究発表を通して，情報交流，意見交換を行う。

［3］研究成果等

（1）成果等

音響工学研究会は，1950 年頃に発足した研究会で，2020 年度末までに 383 回実施された歴史と伝統のある研究会である。また，2020 年に実施された第 380 回音響工学研究会から，優秀な発表を行った若手発表者を顕彰する目的で優秀発表賞を選定するなど，若手育成にも力を入れている。

2023 年度は研究会 3 回（第 389～391 回）および通研講演会 1 回が開催された。会場は第 389 回は東北大学電気通信研究所で，第 390 回は電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館復興記念ホールとオンライン形式のハイブリッドで，第 391 回は東北大学電気通信研究所本館 1 階オープンセミナー室とオンライン形式のハイブリッドでそれぞれ実施した。通研講演会は東北大学電気通信研究所本館 1 階オープンセミナー室で実施した．なお，第 389 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 390 回は超音波エレクトロニクス研究会との共催でそれぞれ開催された。第 389 回は 2023 年 12 月 21(木)および 22(金)日に開催され，招待講演 3 件を含む研究発表 19 件，参加者は 2 日間で延べ 39 名であった。第 390 回は 2024 年 1 月 18 日に開催され，研究発表 4 件，参加者は 47 名であった。第 391 回は 2024 年 3 月 21 日に開催され，研究発表 6 件，参加者は 23 名であった。また，第 391 回で発表した 2 名の発表者に優秀発表賞を授与した。通研講演会は、2023 年 4 月 20 日（木）に Prof. KIM, SungYoung (Korea Advanced Institute of Science and Technology)により「What is the future of ear-training program?」という題で開催され、参加者は 19 名であった。

（2）開催した研究会

<第 389 回研究会 プログラム>
12 月 21 日(木)
389-1 10:30 - 11:00
洞察の予測における顔表情データの有用性の検討 ～ 予測における個人差の影響 ～
○明戸浩志・羽鳥康裕・佐藤好幸・曾　加蕙・塩入　諭（東北大）
389-2 11:00 - 11:30
Natural finger-tapping tempo reflects intrinsic neurophysiological characteristics-- Neural correlates of natural tempo --
○Sai Sun（Tohoku Univ.）・Daw-An Wu・Mohammad Shehata（Caltech）・Takuya Akashi・Morimichi Furudate（Iwate Univ.）・Chao Zhang（Fukui Univ.）・Ken-Ichiro Tsutsui・Satoshi Shioiri（Tohoku Univ.）・Shinsuke Shimojo（Caltech）
389-3 11:30 - 12:00
眼球運動の指標を用いた認知的熟慮性の推定に向けた初期検証
○曹　蓮・山崎悠大・柏本幸俊・上坂大輔（KDDI）
389-4 13:00 - 14:00
［招待講演］身体運動と脳の健康
○石原　暢（神戸大）
389-5 14:15 - 14:45
産学官連携による地域活性事業のオープン・データ化の研究 ～ 消費傾向と商材に対する感情価の調査から ～
○塙　裕美（福島高専）
389-6 14:45 - 15:15

形態特徴と画像特徴量を用いた顔印象要因の統計的因果探索
○佐野貴紀・川畑秀明（慶大）
389-7 15:15 - 15:45
自動作曲システム「soundtope」に基づく音楽アプリケーションの気分改善効果検証 ～ 医療用アプリケーション開発を目的として ～
○柴　玲子（東京藝術大）・森本洋太（coton）・秋本瑠理子（東京藝術大）・投石浩次・明智龍男（名古屋市大病院）・藤森麻衣子・内富庸介（国立がん研究センター）・古川　聖（東京藝術大）
389-8 16:00 - 16:30
周辺奥行き手がかりの類似性が中心面の傾き知覚に及ぼす影響
○宮本拓磨・久方瑠美・金子寛彦（東工大）
389-9 16:30 - 17:00
Painting with your nose: How olfactory perception shapes artistic expression and color choices
○Zahra Davoudi（Vision to Connect, COI-NEXT）・Nobuyuki Sakai（Nobuyuki Sakai, PhD. 1 Department of Psychology, SAL 2 Vision to）
389-10 17:00 - 17:30
ウェブサイト UI コンポーネントに対する視認性の改善 ～ サリエンシーモデルを利用して ～
○東島(宍戸) 恵美子，須原秀敏
389-11 17:30 - 18:00
質感の要素知覚メカニズムの独立性の検討
○吉田圭吾・清川宏暁・栗木一郎（埼玉大）

12 月 22 日(金)
389-12 09:15 - 09:45
遍在的人工視環境下における視知覚および触覚との相互作用に関する潜在的な発達異変の可能性についての議論 ～ 知覚表象基盤における立体と平面の差異 ～
○大塚作一（国際高専）
389-13 09:45 - 10:15
トレーニング中の表情表出と運動継続意志の関係の検討
○梅村浩之（産総研）・藤村友美（同志社大）・風間弥希子・田渕規之・岡本英也（ミズノ）・村井昭彦（産総研）
389-14 10:15 - 10:45
選好対象と知覚スタイルが注意の広さによる選好変化に与える影響 ～ 細部への注意誘導は選好評価を向上させる ～
○谷山祐真・梅村浩之（産総研）
389-15 11:00 - 12:00
［招待講演］ヒトの感性をデータ化する ～ 味わいとおいしさを例として ～
○坂井信之（東北大）
389-16 13:00 - 14:00
［招待講演］奥行運動の知覚に関与する両眼性手がかり
○塩入　諭（東北大）
389-17 14:15 - 14:45
認知的な発話行為が動作の反応時間に与える影響の実証的研究
○山田雅敏（常葉大）・高田亮介（東大）
389-18 14:45 - 15:15
調音ダイナミクスと言語印象 ～ 実在日本語オノマトペにおけるインアウト効果に基づく検討 ～
○大竹裕香・山本健太郎・山田祐樹（九大）
389-19 15:15 - 15:45
感情によるユニーク色知覚の変調 ～ 個人に依存する色方向 ～
○小松﨑摩耶・柴田紀代・酒井　宏（筑波大）

<第 390 回研究会 プログラム>
390-1 16:10 - 16:40
「高分解能光音響顕微鏡に適したテストベッド環境の開発と細胞内金ナノ粒子イメージングの検討」
○西前 大亮 1, 石井 琢郎 1,2, 小笠原 康悦 3, 西條 芳文 1
(1 東北大学大学院医工学研究科, 2 東北大学学際科学フロンティア研究所, 3 東北大学加齢医学研究所)
390-2 16:40 - 17:10
「Photoacoustic Imaging for Hidden Dental Caries」
○Fikhri Astina Tasmara, Mitrayana
(Physics Department, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia)
390-3 17:10 -17:40
「対話エージェントにおける聞き手の動作生成に関する検討」
○伊藤遥稀，伊藤彰則，能勢隆
(東北大学大学院工学研究科)
390-4 17:40 - 18:10
「深層学習に基づく拡張性の高い軽量なテキスト音声合成システムの開発に向けた検討」
○金泰誠，能勢隆，伊藤彰則
(東北大学大学院工学研究科)

<第 391 回研究会 プログラム>
391-1
分散球状マイクロホンアレイを用いた無限次数解析による音場収音技術に関する検討
○ジョンスンム 1，坂本修一 2
（1 東北大学工学部電気情報物理工学科，2 東北大学大学院情報科学研究科）
391-2
情景想起と空間的整合性が聴覚オブジェクト認知に及ぼす影響
○富田浩音 1，坂本修一 2
（1 東北大学工学部電気情報物理工学科，2 東北

大学大学院情報科学研究科）
391-3
音声伝達に適した場が有する空間印象に関する一検討
○渡辺健太郎 1，坂本修一 2
（1 東北大学工学部電気情報物理工学科，2 東北大学電気通信研究所）
391-4
wav2vec2.0 による低資源言語の音声認識における学習戦略や認識器の効果に関する研究（オンライン発表）
○越川崇貴 1，伊藤彰則 2，能勢隆 2
（1 東北大学電気情報物理工学科，2 東北大学大学院工学研究科）
391-5
投機的デコーディングの日本語への適用と分析
○林崎由 1，能勢隆 2，伊藤彰則 2
（1 東北大学電気情報物理工学科，2 東北大学大学院工学研究科）
391-6
Manga109 データセットを用いた漫画風キャラクター画像生成の検討
○髙橋玲 1, 能勢隆 2, 伊藤彰則 2
（1 東北大学電気情報物理工学科，2 東北大学大学院工学研究科）

また，391-1，391-5 の 2 件の発表に，優秀発表賞を授与した。

◆ 論文や学会発表等成果資料

（1）論文や学会発表のリスト（謝辞あり）

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）

なし

共同プロジェクト研究

採択番号：R04/T04

コンピュータサイエンス研究会
理論計算機科学を中心とする情報科学の基礎と応用

［1］研究組織

研究代表者
　住井　英二郎（東北大学 大学院情報科学研究科）
通研対応教員
　中野　圭介（東北大学 電気通信研究所）
主査
　住井　英二郎（東北大学 大学院情報科学研究科）
幹事
　松田　一孝（東北大学 大学院情報科学研究科）

研究分担者
　篠原　歩（東北大学 大学院情報科学研究科）
　Oleg Kiselyov（東北大学 大学院情報科学研究科）

［2］研究目的

コンピュータサイエンスにおける最新の話題について講演会を開催し，電気・情報系，通研，学外の研究者，学生間の交流を図る．

［3］研究成果等

（1）成果等

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．今年度は下のとおり計 2 回の講演会を開催した．本研究会は，こ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．

（2）開催した研究会

1）第 184 回コンピュータサイエンス研究会
日時：2023 年 11 月 8 日（木）15:00～17:00
場所：東北大学　大学院情報科学研究科　電子情報システム・応物系 3 号館 206 号室

講演者：Meng Wang (University of Bristol)
題目：「Translation to Rust」

2）第 185 回コンピュータサイエンス研究会
日時：2024 年 3 月 11 日（月）15:00～17:00
場所：東北大学　大学院情報科学研究科　電子情報システム・応物系 3 号館 206 号室とオンラインのハイブリッド

講演者：西田 雄気 氏（京都大学）
題 目 ：「Helmholtz: A Verifier for Tezos Smart Contracts Based on Refinement Types」

採択番号：R04/T05

システム制御研究会
システム制御理論と応用に関する研究発表

［1］研究組織
研究代表者：
渡邉　高志（東北大学 大学院医工学研究科）
通研対応教員
石黒　章夫（東北大学 電気通信研究所）
主査
渡邉　高志（東北大学 大学院医工学研究科）
幹事
杉田　典大（東北大学 サイバーサイエンスセンター）

研究分担者
本間　経康（東北大学 大学院医学系研究科）
酒井　正夫（東北大学 データ駆動科学・AI教育研究センター）
加納　剛史（東北大学 電気通信研究所）
市地　慶（東北大学 大学院医学系研究科）
湯田　恵美（東北大学 データ駆動科学・AI教育研究センター）
福原　洸（東北大学 電気通信研究所）
安井　浩太郎（東北大学 電気通信研究所）

［2］研究目的

システム制御工学に関する理論から応用にわたる最新の研究動向について情報共有を進めると共に、参加者の研究の成果について討議を行い、当該分野における研究交流を推進する。

［3］研究成果等

（1）成果等

①機能的電気刺激（FES）により，運動機能麻痺者の日常生活動作を支援するために，関節角度と関節剛性の両方の閉ループ FES 制御器を提案し、計算機シミュレーションによる検討を行った。関節角度の制御性能および外乱除去性能について，関節角度のみの PID 制御器、先行研究で提案された関節角度の閉ループ制御と関節剛性の開ループ制御を行う制御器と比較した結果，関節角度と関節剛性を制御する方が角度 PID 制御器よりも外乱による角度変化が小さく，角度制御において優れた性能を示した．しかし、外乱阻止性能については、先行研究の制御器と提案した制御器とで同等であった。これらの結果から、関節剛性を制御することで関節角度制御性能と外乱除去性能が向上する可能性が確認され、関節剛性の開ループ制御も有効になると考えられる。

②慣性センサ（IMU）で計測した信号から、FES による動作補助中の随意的活動レベルの推定する方法の実現可能性について、肘関節の同一動作に対する 4 つの負荷条件（無重量、1kg、2kg、3kg）の分類により検証した。また、上腕二頭筋の筋電図（EMG）による分類についても併せて検討した。分類に用いる IMU 信号は、加速度・角速度、周波数スペクトル、短時間フーリエ変換、連続ウェーブレット変換の 4 種類を検討し、推定アルゴリズムとしては、k-最近傍法、線形サポートベクターマシン、ガウシアンカーネルサポートベクターマシンの 3 種類を検討した。その結果、被験者内分類、被験者間分類の両方において、EMG 信号を用いた場合よりも IME 信号を用いたほうが、分類の平均精度が高い結果が得られ、特に、IMU 信号の短時間フーリエ変換と線形サポートベクターマシンを用いた場合が最も高い分類精度になった。これらの結果から、IMU 信号を用いた随意的活動レベルの推定の実現可能性が示唆された。

③下垂足矯正のための FES 制御において、連続使用における筋疲労の早期発生が問題になることから、刺激パルス列にダブレットパルスを含めることの有効性について角度変化の観点で検討を行った。まず、15 分間の FES 歩行を想定した座位での刺激印加において、一定周波数パルス列（CFT）、刺激開始時にダブレットパルスを含むパルス列（DFT）により誘発される足関節角度を比較した結果、DFT は CFT より大きい足関節角度を維持できることを確認した。次に、刺激開始時および刺激印加途中にダブレットパルスを追加したパルス列（DFT2）について、刺激終了付近（足接地時を想定）での足関節角度の増加の可能性を検討し、CFT に対して、最大角度と刺激終了時の角度が有意に増加する可能性が示唆された。また，DFT2 では、より高い周波数の CFT に近い角度を生成できる可能性も確認され、筋疲労に対して有効になることが期待された．

④運動機能麻痺者の日常歩行モニタリングとして、少数の慣性センサにより、下肢の異常運動部位を推定する方法を検討した。両足部に取り

付けた慣性センサで計測した加速度信号から、双方向長期短期記憶モデルを用いて、他の身体部位（両下腿、両大腿、腰）に取り付けた慣性センサの加速度信号を推定し、推定した信号から 1 クラスサポートベクターマシンを用いて歩行の異常を検出し、異常歩行検出に用いる特徴量の重要度を評価することで、異常運動を示した信号の推定を行う方法を検討した。その結果，2 つのセンサを用いた異常運動信号推定結果の多くは，7 つのセンサによる計測値による異常運動信号推定の結果と高い相関を示したことから，2 つのセンサを用いることで，異常運動の原因となる身体部位の推定可能性が示唆された.

⑤サイバーフィジカルシステムで用いられるバーチャルリアリティ(VR)について、表現力が高く、かつ生体に優しいヒューマンインタフェースに関して研究を進めている。今年度は、VR 体験で生じる酔いについて、その兆候や影響を捉える手法を確立するために、ヘッドマウントディスプレイで計測される視線情報の解析を行った。具体的には、外界の景色を追従する際に生じる緩やかな動きである緩徐相と眼球の位相をリセットのための素早い動きである急速相に着目し、酔いが生じた際にこれらのパターンに特徴的な変化が現れることを発見した。

⑥医療・健康に関するサイバーフィジカルシステムの実現に資する技術として、生体の映像から心拍などの生体信号を非接触かつ安定的に取得するための手法について研究を進めている。今年度は、手掌を対象領域とした映像から脈波の伝搬特性を推定し、その特性の違いから個人の認証を行う新たなバイオメトリクスを実現するための基礎的な研究を行った。

⑦非接触な計測で人の行動や状態を推定するための技術として、通信用電波の伝搬パターンに基づく室内の状態推定手法について研究を進めている。今年度は、WiFi 電波で得られるチャネル状態情報に着目し、先行研究で計測されたデータを用いて、学習に用いるアルゴリズムやデータ分割が精度に及ぼす影響について解析を行うとともに、環境の変化にロバストな推定モデルの作成について検討を行った。

（2）開催した研究会

① 第 113 回システム制御研究会
令和 5 年 4 月 3 日（月）13:30～16:20
・Special lecture 1: Data Driven Service Research
・Special lecture 2: Decision Theory
・Special lecture 3: Application of Classifcation and Clustering Approaches in Medical
・Reliability Evaluation of Deep Learning Models for Drowning Diagnosis Using Post-Mortem CT
・Data-Driven Decision Making for Replenishment in RMFS
・A Hybrid RF-LSTM Based on CEEMDAN for Improving the Accuracy of Building Energy Consumption Prediction

② 第 114 回システム制御研究会
令和 5 年 5 月 8 日（月）15:00～16:40
・A Study on Estimation of Stride Length and Walking Speed in Abnormal Walking Using A Lower Leg Inertial Sensor
・Design of Information System for Remote Rehabilitation with Live Video Stream using PTZ Camera
・Fundamental Study on the Effect of Catch-like Inducing Stimulation on Ankle Dorsiflexion Angle
・Fuzzy-PID Control Scheme of Robotic Rehabilitation for Elbow Joint Movements

③ 第 115 回システム制御研究会
令和 5 年 6 月 21 日（水）15:00～16:40
・Sliding Mode Approach to Design Adaptive Control Scheme for an Exoskeleton Robot Rehabilitation for Upper Limb Movement Restoration
・A study on a wrist joint model for FES Control test: measurement of joint stiffness and introduction of short range stiffness
・A Preliminary Development of Hybrid FES-Robot Rehabilitation System for Restoring Upper Limb Movements
・A Preliminary Study on Estimation of Voluntary Effort Using IMU Signals and Machine Learning for FES Rehabilitation

④ 第 116 回システム制御研究会
令和 5 年 12 月 13 日（水）15:00～16:40
・A Feasibility Study of Prediction of Lower Limb Segment Inclination Angles under Different Walking Speeds
・Design of Wheelchair Navigation System with Object Detection Using Computer Vision for People with Visual Impairment
・A Basic Study on Elimination Method of Artifact in EMG Signals for Voluntary Activity Estimation in FES Assist Cycling with Pedaling Wheelchair
・Development of Muscle Spasticity Monitoring System in Post-Stroke Rehabilitation with Functional Electrical Stimulation using Fuzzy Decision Support System

◆　論文や学会発表等成果資料

（1）論文や学会発表のリスト（謝辞あり）

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）

・F. Arrofiqi, T. Watanabe, and A. Arifin, “A Computer Simulation Study on Movement Control by Functional Electrical Stimulation Using Optimal Control Technique with Simplified Parameter Estimation,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E106-D, No.5, pp.1059-1068, 2023.

・鹿野，渡邉，“FES リハビリテーションのための IMU 信号と機械学習を用いた努力度推定に関する基礎的検討”，第 44 回バイオメカニズム学術講演会, 2023.

共同プロジェクト研究

採択番号：R04/T06

情報バイオトロニクス研究会
バイオ・ナノエレクトロニクスに基づく次世代バイオデバイスの創製

[1] 研究組織

研究代表者：
平野　愛弓（東北大学 電気通信研究所）
通研対応教員
平野　愛弓（東北大学 電気通信研究所）
主査
平野　愛弓（東北大学 電気通信研究所）
幹事
宮本　浩一郎（東北大学 工学研究科）

研究分担者
吉信　達夫（東北大学 工学研究科）
山本　英明（東北大学 電気通信研究所）
但木　大介（東北大学 電気通信研究所）
小宮　麻希（東北大学 電気通信研究所）
平本　薫（東北大学 学際科学ﾌﾛﾝﾃｨｱ研究所）
住　拓磨（東北大学 工学研究科）
佐藤　まどか（東北大学 医工学研究科）
佐藤　有弥（東北大学 医工学研究科）
陰山　弘典（東北大学 医工学研究科）
酒井原　一守（東北大学 工学研究科）

[2] 研究目的

高機能・高次生体計測技術などの開発研究を通して、情報処理分野における、バイオエレクトロニクス関連の先導的研究を創生・推進する。

[3] 研究成果等

（1）成果等

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してきた。本年度は、以下に示す通り、2件の通研国際シンポジウムを開催した。これらのシンポジウムでは、関連分野の著名な研究者を海外・国内から招聘しただけでなく、学内の研究者による発表も行われ、最先端の知見を共有し議論する機会が多数提供された。さらに、博士課程学生等の学内学生が積極的に議論に加わる機会も提供されたことから、本研究会は、若手研究者の育成にも貢献できたと考えられる。

（2）開催した研究会

・The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
令和6年2月27-28日開催，参加人数：延べ200名（うち外国人 17 名），脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について，幅広い分野に跨る研究発表と議論が行われた．
J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain), J. Madrenas (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain), E. Prati (Univ. Milan, Italy), G. Ferrari (Polytechn. Univ. Milan, Italy), T. Levi (Univ. Bordeaux, France), W. Nicola (Univ. Calgary, Canada), P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden), B.J. Kagan (Cortical Labs, Australia) 他

・ The 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
令和6年3月5-6日開催，参加人数：延べ77名（うち外国人 47 名），ナノ・バイオテクノロジーに関する最近の成果・動向について，幅広い分野に跨る研究発表と議論が行われた．
P. Schmuki (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany), B. Wolfrum (Techn. Univ. Munich, Germany), A.P. Ivanov (Imperial College London, United Kingdom), Y. Ying (Nanjing Univ., China), A. Mazare (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany) 他

採択番号：R04/T07

スピニクス研究会
磁性材料の開発と磁気応用

[1] 研究組織

研究代表者：
薮上　信（東北大学 医工学研究科）
通研対応教員
石山　和志（東北大学 電気通信研究所）
主査
薮上　信（東北大学 医工学研究科）
幹事
後藤太一（東北大学）
羽根吉紀（東北大学）

研究分担者
中村　健二（東北大学 大学院工学研究科）
サイモン　グリーブス
（東北大学 電気通信研究所）
遠藤　恭（東北大学 大学院工学研究科）
田中　陽一郎（東北大学 電気通信研究所）
島津　武仁
（東北大学 学際科学ﾌﾛﾝﾃｨｱ研究所）
齊藤　伸（東北大学 大学院工学研究科）
角田　匡清（東北大学 大学院工学研究科）
桑波田　晃弘（東北大学 大学院工学研究科）
ロイ　トンタット
（東北大学 大学院工学研究科）
小川 智之（東北大学 大学院工学研究科）

[2] 研究目的

磁気現象の起源である電子スピンを意識した学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と,最新のスピニクスに関連する研究動向や萌芽的研究に関する討論を行い,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である。

[3] 研究成果等

（1）開催した研究会

第 211 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section）

日時: 2023 年 5 月 22 日(月)13:30-16:45,
場所：東北大通研本館 M601
形式：ハイブリッド形式
参加者：26 名
講演：
23-1-1 “Magnetic Data Storage Technology: From the Invention of Perpendicular Magnetic Recording to Social Integration”, Prof. Yoichiro Tanaka
23-1-2 “Cylindrical Micro- and Nanowires: From Curvature Effects on Magnetization to Sensing Applications”, Prof. Manuel Vázquez

第 212 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section）

日時：2023 年 8 月 3 日(木)15：00-17：30
場所：東北大工学研究科総合研究棟 101
形式：対面,参加者：20 名
講演：
23-2-1「アキシャルギャップ構造を有する産業用モータの高性能化に関する研究」出口見多（日立製作所）
23-2-2「誘導モータの損失評価と損失低減事例の紹介」杉本愼治（日立製作所）

第 213 回スピニクス特別研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section）

日時：令和 5 年 10 月 27 日（金）
場所：東北大通研本館 M431
形式：ハイブリッド
参加者：34 名
講演：
23-3-1 「バイモルフ型振動発電を想定した負磁歪軟磁性材料の開発に関する基礎検討」,阿部宏恒[1,2], 後藤太一[2], 直江正幸[3], 荒井賢一[3], 石山和志[2] ([1]東北大院工, [2]東北大通研, [3]電磁研)
23-3-2 「小型EV 用インホイール磁気ギヤード SR モータの設計」,岩城圭悟, 中村健二（東北大）
23-3-3 「新規Sm-Fe-N-Fe16N2複合型ボンド磁石を用いたSPMモータの特性算定」,村上竣哉[1], 中村健二[1], 小川智之[1], 山本真平[2], 小林斉也[2], 山本日登志[2] (1東北大, 2 Future Materialz)

23-3-4 「ハルバッハ配列磁石を有するEV用主機モータに関する基礎検討」栁沼昂志，中村健二（東北大）

23-3-5 【招待講演】「セグメント構造アウターロータ型PMモータによるトルク特性改善に関する検討」櫻井将（秋田大）

23-3-6 【招待講演】（オンライン講演）「磁区パターンの量子不確定性を利用した乱数生成」水戸慎一郎（東京高専）

23-3-7 「側波帯観測を用いた高周波駆動薄膜磁界センサの感度評価」鈴木椋太，坂本雅弥，石原知弥，本多順一，トンタット・ロイ，薮上信（東北大）

23-3-8 「Method for measuring magnetic susceptibility of magnetic nanoparticles up to millimeter-wave frequency range」Y. Pu, L. Tonthat[1], T. Murayama[2], K. Okita[2], S. Yabukami[1,2], T. Ishijima[1], M. Sato1, S. Sugimoto[1]([1]Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ., [2] Grad. Sch. Biomed. Eng., Tohoku Univ.)

23-3-9 「位相情報を含んだ近傍磁界測定によるクロストーク観察」菅原祐介[1,2]，後藤太一[2]，石山和志[2]（[1]東北大院工，[2]東北大通研）

23-3-10 「【招待講演】（オンライン講演）金を利用した酸化鉄ナノ粒子の表面修飾技術と医療・バイオ分野への応用」清野智史（阪大工）

23-3-11 「複合アモルファスリボンを用いた振動発電」上倉拓郎[1,2]，後藤太一[2]，石山和志[2]（[1]東北大院工，[2]東北大通研）

23-3-12 「直交フラックスゲート型歪センサの特性評価」千田健太[1,2]，後藤太一[2]，石山和志[2]（[1]東北大院工，[2]東北大通研）

23-3-13 「L10型FePt グラニュラ薄膜のナノ組織とブロッキング現象」岩動大樹[1]，齊藤節[1]，兼子隼[1]，タムキムコング[2]，小川智之[1]，斉藤伸[1]（[1]東北大，[2]田中貴金属工業）

23-3-14 「絶縁体薄膜の高速成膜のためのヒータ加熱援用RFスパッタカソードの提案」山田航太[1]，宮崎大輝[1]，加藤絢[2]，廣川祐生[1]，Seong-Jae Jeon[1]，清水章弘[1]，鈴木浩明[3]，大泉武司[3]，田河育也[2]，日向慎太朗[1]，小川智之[1]，斉藤伸[1]（[1]東北大，[2]東北工大，[3]アリオス）

23-3-15 「気固反応によるSi 酸化被膜付きFeサブミクロン粒子の合成」宮澤守，小川智之，飛世正博，斉藤伸（東北大）

23-3-16 「Fe-Ga-La 薄膜における構造と磁気特性のLa 添加効果」西名竜哉，室賀翔，宮崎孝道，遠藤恭（東北大）

23-3-17 「電解鉄粉製圧粉磁心における鉄損の形状依存性」児玉雄大，グェンフォン，宮崎孝道，室賀翔，遠藤恭（東北大）

23-3-18 「エポキシ被覆Fe-B 微粒子を用いたLbL 法アシスト複合めっきによる複合膜の作製」増本千裕[1]，西井丈流[2]，東啓士郎[2]，武藤浩行[3]，遠藤恭[1]，藤田直幸[2]（[1]東北大，[2]奈良高専，[3]豊橋技科大）

採択番号：R04/T08

ニューパラダイムコンピューティング研究会
次世代 IoT 社会を担う新概念コンピューティング技術の開拓

［1］研究組織

研究代表者，通研対応教員，主査：
本間 尚文（東北大学電気通信研究所）
幹事：
伊藤 康一（東北大学大学院情報科学研究科）

［2］研究目的

知能集積システムやコンピューティングに関する研究発表及び討論を通した新分野の開拓および萌芽的研究の創出，ならびに関連研究に携わる学生の育成支援を目的とする．

［3］研究成果等

（1）成果等

本研究会では，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，企業および大学における研究者を招聘し，毎年数回の研究会・講演会を開催している．本年度は 2 回の研究会が開催され，次世代 IoT 社会の実現に向けた企業・大学における様々な取り組みが紹介されるとともに，学内の学生・研究者を含む多くの参加者による忌憚のない意見交換が行われた．

（2）開催した研究会

名称：第 117 回ニューパラダイムコンピューティング研究会
日時：2023 年 10 月 8 日
会場：ハイブリッド（電気通信研究所・オンライン）
講演者：山影朋夫 氏（東芝インフラシステムズ株式会社）
張山昌論 氏（東北大学）
参加者：現地参加 35 名，オンライン参加 4 名

名称：第 118 回ニューパラダイムコンピューティング研究会
日時：2024 年 3 月 4 日
会場：オンライン
講演者：栗林稔 氏（東北大学）
題目：深層学習技術による画像分類モデルに対する敵対的攻撃の問題とその対策概要：深層学習を利用した画像分類器は，自動運転の物体認識やCTのスキャン画像の診断など幅広い分野で活用されている．その中で，畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた画像分類器の技術開発は盛んに行われている．一方で，微小な摂動を入力画像に加えることで画像分類器の誤分類を引き起こす敵対的事例は，CNN 画像分類器の脅威となっている．敵対的ノイズは目視では確認できない程度の微弱な信号であるが，画像分類モデルで扱う特徴空間においては顕著な変化が生じる．機械と人の知覚メカニズムの違いゆえに生じる問題であり，その解決に向けた対策法が広く研究されている．本講演では，その対策において保護対象の画像分類モデルに入力する前に検知する防御手段について紹介する．
参加者：27 名

共同プロジェクト研究

採択番号：R04/T09

超音波エレクトロニクス研究会
超音波の基礎と応用に関する研究発表

［1］研究組織

研究代表者：
吉澤　晋（東北大学 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）
主査
吉澤　晋（東北大学 大学院工学研究科）
幹事
石井　琢郎（東北大学
学際科学フロンティア研究所）

研究分担者
金井　浩　（東北大学 大学院工学研究科）
西條　芳文（東北大学 大学院医工学研究科）
小玉　哲也（東北大学 大学院医工学研究科）
森　　翔平（東北大学 大学院工学研究科）
小原　優　（東北大学 大学院医工学研究科）
佐藤　滉太（東北大学 大学院医工学研究科）

［2］研究目的

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会を通して、互いの研究成果を共有し、研究の進展に寄与する。

［3］研究成果等

（1）成果等

超音波研究会との共催研究会、第 109、110、111 回の研究会において、それぞれ 6 件、4 件、4 件の医用超音波、超音波デバイスに関する研究発表が行われた。互いの研究成果や発表後の質疑応答により、違いの知見を深めることができた。

（2）開催した研究会

第 109 回超音波エレクトロニクス研究会
共催：電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会、レーザー学会 光音響イメージング技術専門委員会、IEEE UFFC Society Japan Chapter
日時：2023 年 10 月 18 日（水）13:30-16:30
場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興ホール／オンライン（ハイブリッド開催）

第 110 回超音波エレクトロニクス研究会
日時：2023 年 12 月 21 日（木）14:40-17:20
場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興ホール／オンライン（ハイブリッド開催）

第 111 回超音波エレクトロニクス研究会
共催：音響工学研究会
日時：2024 年 1 月 18 日（木）16:10-18:10
場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興ホール／オンライン（ハイブリッド開催）

◆　論文や学会発表等成果資料

（1）論文や学会発表のリスト（謝辞あり）

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）

(出版物)

- S. Kuji, S. Umemura, S. Yoshizawa, “Basic study on a filtering method for selectively extracting cavitation bubble region in ultrasound imaging by triplet pulse sequence,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, SJ1038 (2023.7).
- S. Miyake, S. Umemura, S. Yoshizawa, “Development of efficient method of generating reactive oxygen species by expanding cavitation region using ultrasound focus scanning in the direction of ultrasound propagation,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, SJ1052 (2023.7).
- M.S.S. Hashuro, K. Daibo, T. Ishii, Y. Saijo, M. Ohta, “Ultrasound flow phantom for transcranial Doppler: An assessment of angular mismatch effect on blood velocity measurement in comparison to optical particle image velocimetry,” Front. Phys., Vol. 11, 1134588 (2023.4).
- E. Numahata, S. Yoshizawa, S. Umemura, T. Ishii, Y. Saijo, “A study on correction method of total acoustic power in presence of shielding in focused ultrasound treatment using acoustic radiation force imaging,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, SJ1044 (2023.4).
- Y. Ito, T. Ishii, S. Yamazaki, A. Yoshida, K. Nagaya, Y. Saijo, “Evaluation of temperature-dependent fluctuations in skin microcirculation flow using a light-emitting diode based photoacoustic imaging device,” J. Clin. Monit. Comput., Vol. 37, pp. 1361-67, (2023.5).
- I.G.E. Sulistyawan, D. Nishimae, T. Ishii, Y. Saijo, “Utilization of Curvelet Transform in Reconstructing Cellular Images for Undersampled Optical-resolution Photoacoustic Microscopy,” IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, Vol. 70, pp. 1631-41, (2023.5).
- K. Yambe, T. Ishii, B.Y.S Yiu, A.C.H. Yu, T. Endo, Y. Saijo, “Ultrasound Vector Flow Imaging During Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in a Thoracic Aorta Model,” J. Artif. Organs, in press, (2023.7).
- H. Nahas, T. Ishii, B.Y.S Yiu, A.C.H Yu, “A GPU-Based, Real-Time Dealiasing Framework for High-Frame-Rate Vector Doppler Imaging,” IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, Vol. 70, pp. 1384-400, (2023.8).
- A. Bhatti, T. Ishii, Y. Saijo, “Superficial Bifurcated Microflow Phantom for High-Frequency Ultrasound Applications,” Ultrasound Med. Biol., Vol. 50, pp. 158-64, (2023.10).
- T. Ishii, T. Yamanishi, T. Kamasak, C. Shibata, M. Fuse, M. Kaga, K. Kaga, H. Nahas, B.Y.S. Yiu, A.C.H. Yu, Y. Saijo, “Transrectal ultrasound vector projectile imaging for time-resolved visualization of flow dynamics in the male urethra: A clinical pilot study,” Med. Phys., Vol. 51, pp. 428-38, (2023.11).
- R. Yamane, S. Mori, M. Arakawa, J. E. Wilhjelm, and H. Kanai, “Ultrasonic measurement of carotid luminal surface roughness with removal of axial displacement caused by blood pulsation,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, SJ1042 (2023.4).
- S. Mori, M. Arakawa, H. Kanai, and H. Hachiya, “Quantification of limitations in statistical analysis of ultrasound echo envelope amplitudes,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, SJ1045 (2023.4).
- S. Mori, K. Onoda, M. Arakawa, and H. Kanai, “Estimation error in speed of sound caused by rotation of measured cross-section from short-axis plane of blood vessels: a preliminary study,” J. Med. Ultrason., Vol. 51, pp. 49-57 (2023.11).
- D. Ouchi, S. Mori, M. Arakaw, T. Shindo, H. Shimokawa, S. Yasuda, and H. Kanai, “Optimizing irradiation conditions for low-intensity pulsed ultrasound to upregulate endothelial nitric oxide synthase,” J. Med Ultrason., Vol. 51, pp. 39-48 (2023.12)
- Y. Komatsu, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, “A novel ultrasonic method for measuring minute sinusoidal displacement by network analyzer,” Review of Scientific Instruments, Vol. 95, 025105 (2024.2).

(学会発表)

- S. Yoshizawa, S. Kuji, N. Yoshida, “Suppression of Residual Tissue Echoes in Ultrasound Image Obtained by Triplet-Pulse Sequence for Selective Cavitation Imaging,” International Symposium on Therapeutic Ultrasound (ISTU) 2023 (2023.4).
- K. Takahashi, S. Yoshizawa, “Development of efficient method of histotripsy by expanding cavitation region using ultrasound focus scanning in the direction of ultrasound propagation,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- T. Sato, S. Kannoto, S. Yoshizawa, “Effect of cavitation bubble position on temperature rise in bubble-enhanced ultrasonic heating,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- S. Kannoto, S. Yoshizawa, “Effect of the intended shift in the propagation direction of the cavitation generation position on the coagulation position in bubble-enhanced ultrasonic heating,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- S. Kuji, S. Umemura, S. Yoshizawa, “Improvement of contrast ratio between cavitation bubbles and tissue by frequency filtering in triplet pulse ultrasound imaging,” The 44th Symp. Ultrasonics

Electronics, (2023.11).

- N. Yoshida, S. Kuji, S. Yoshizawa, “Highly sensitive ultrasound bubble imaging by triplet pulse sequence with interleaved HIFU pulses between imaging pulses,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- Y. Saijo, T. Orihara, N. Kanno, H. Yagami, T. Ishii, “Estimation of Fractional Flow Reserve in Coronary Artery Based on Serial Intravascular Ultrasound Images,” IEEE Int. Ultrasonics Symp. 2023 (2023.9).
- I.G.E. Sulistyawan, D. Nishimae, T. Ishii, Y. Saijo, “Robust Denoising of OR-PAM Image by Frequency Decomposition,” IEEE Int. Ultrasonics Symp. 2023 (2023.9).
- Y. Saijo, N. Hermawan, H. Ikeda, R. Shintate, S. Furudate, T. Ishii, “Beyond Conventional Medical Ultrasound Imaging,” Practical Inverse Problems and Their Prospects (2022.10).
- D. Nishimae, T. Ishii, K. Ogasawara, Y. Saijo, “Performance comparison of cell phantoms developed for optical-resolution photoacoustic microscopy,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- A. Bhatti, T. Ishii, Y. Saijo, “Volumetric imaging of superficial micro-vasculature using high-frequency array transducer: phantom study”, The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- R. Suzuki, T. Ishii, Y. Saijo, “Characteristic Analysis of PA Signals Depending on Size of Optical Absorber Using an AR-PAM System”, The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- I.G.E. Sulistyawan, D. Nishimae, T. Ishii, Y. Saijo, “Reconstruction of OR-PAM image from spatial sparse sampling and single-pulse laser”, Optics & Photonics Japan 2023, (2023.11).
- Y. Obara, S. Mori, M. Iwai-Takano, M. Arakawa, and H. Kanai, “Preliminary Study on Ultrasonic Visualization of Myocardial Contraction and Relaxation Based on Local Strain Rate,” Proc. 2023 IEEE Int. Ultrasonics Symp. (2023.9).
- R. Yamane, S. Mori, M. Arakawa, J. E. Wilhjelm, and H. Kanai, “Spatial Frequency Analysis of Luminal Surface Roughness of the Carotid Artery Measured by Ultrasound,” IEEE Int. Ultrasonics Symp. 2023 (2023.9).
- S. Mori, M. Arakawa, T. Yamaguchi, H. Kanai, and H. Hachiya, “Basic examination for selecting probability distribution model in ultrasound tissue characterization,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- R. Yamane, S. Mori, J. E. Wilhjelm, M. Arakawa, and H. Kanai, “A Method of Automatically Detecting of Intima-Media Complex for Ultrasonic Measurement of Carotid Luminal Surface Roughness,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- R. Takeyama, S. Mori, N. Masauji, M. Arakawa, S. Yashiro, Y. Ishigaki, and H. Kanai, “Modeling of power spectrum considering density of red blood cells in focal region to estimate red blood cell aggregation size,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- Y. Komatsu, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, “A method for measuring small sinusoidal displacement using network analyzer,” The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).
- Y. Obara, S. Mori, N. Masauzi, M. Iwai-Takano, M. Arakawa, and H. Kanai, “Preliminary study on ultrasonic visualization of myocardial contractile response based on local strain rate measurement”, The 44th Symp. Ultrasonics Electronics, (2023.11).

採択番号：R04/T10

ブレインウェア工学研究会
生物に比肩しうる知的情報処理システムの構築を目指して

［1］研究組織

研究代表者：
石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）
通研対応教員
石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）
主査
石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）
幹事
安井 浩太郎（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
羽生 貴弘（東北大学 電気通信研究所）
堀尾 喜彦（東北大学 電気通信研究所）
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）
加納 剛史（東北大学 電気通信研究所）
福原 洸（東北大学 電気通信研究所）
塩入 諭（東北大学 電気通信研究所）
坂本 修一（東北大学 電気通信研究所）

［2］研究目的

生物が示す知的な振る舞いに内在するメカニズムを紐解き、それを人工物の構築へと活用する方策について議論するとともに、広く情報発信することで若手研究者や学生の育成も行う。

［3］研究成果等

（1）成果等

本年度は、年 3 回の研究会を通じて、生物が有する優れた運動機能や感覚情報処理、認知・学習能力に内在するメカニズムの理解、ならびにそれらに比肩しうる人工システムの設計原理や工学的技術課題等について、多様かつ学際的な討論、研究交流が活発に行われた。第 1 回は関連する学内研究室の講師による講演会であり、第 2 回は学生による研究成果発表会、第 3 回は学外から招聘した講師による講演会であった。

（2）開催した研究会

第一回ブレインウェア工学研究会を令和 5 年 7 月 4 日に東北大学電気通信研究所本館にて開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである：“Fast-Converging Stochastic Simulated Annealing for Solving Large-Scale Combinatorial Optimization Problems”（鬼沢直哉、東北大学）、“Can you give a hint? Predicting students' help-seeking action by using facial expressions”（Guan-Yun Wang、東北大学）、「しなやかな四脚ロボット実現へ向けて -解剖学的視座から切り開く大自由度制御機構の開発」（服部祥英、東北大学）。

第二回ブレインウェア工学研究会を令和 5 年 11 月 2 日に東北大学電気通信研究所本館にて開催し、各研究組織に所属する合計 17 名の学生によるポスター発表会を実施した。

第三回ブレインウェア工学研究会を令和5年12月11日に東北大学電気通信研究所本館にて開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである：「メラノプシン細胞の視知覚への寄与」（辻村誠一、名古屋市立大学），“Stochastic Attack on CNNs and Destructive Filters”（Martin Lukac、広島市立大学）、「生物のなみなみをつくる、制御する」（伊藤浩史、九州大学）。

◆ 論文や学会発表等成果資料

（1）論文や学会発表のリスト（謝辞あり）

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）

なし

共同プロジェクト研究

採択番号：R04/T11

生体・生命工学研究会
生体信号の解析・モデリング

［1］研究組織

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
　羽鳥　康裕（東北大学　電気通信研究所）
主査
　塩入　諭（東北大学　電気通信研究所）
幹事
　西 羽美（東北大学　情報科学研究科）
　羽鳥　康裕（東北大学　電気通信研究所

研究分担者
　木下 賢吾（東北大学　情報科学研究科）
　大林 武（東北大学　情報科学研究科）

［2］研究目的

生命現象や生体情報処理に関する知見を得るためには，生体から計測したデータの解析が必要である．本研究会では，生体から得られたデータを解析・解釈するための手法や生体における情報処理過程のモデリング等に関する最新の研究成果について発表と議論を行う．

［3］研究成果等

（１）開催した研究会

第３９回生体・生命工学研究会，２０２３年１１月２１日，招待講演１件，一般講演３件，参加者２８名
招待講演では，東京大学の高野了太先生より，「畏敬の念」と身体：心理・生物学的基盤の検討という題で講演いただいた．雄大な自然などに接した際に生じる畏敬の念は，自己の価値観を変容することが知られており，近年注目を集めている．高野先生からは，畏敬の念が生じる身体メカニズムについての研究成果をご紹介いただいた．招待講演，一般講演ともに広範な分野からの参加者があり，活発な議論が行われた．

採択番号：R04/T12

ナノ・スピン工学研究会
ナノエレクトロニクス・スピントロニクスを
ベースとした次世代情報通信基盤

[1] 研究組織

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
深見俊輔（東北大学 電気通信研究所）
主査
佐藤茂雄（東北大学 電気通信研究所）
幹事
深見俊輔（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者
平野愛弓（東北大学 電気通信研究所）
堀尾喜彦（東北大学 電気通信研究所）
尾辻泰一（東北大学 電気通信研究所）
Johan Åkerman（東北大学 電気通信研究所）
大塚朋廣（東北大学 電気通信研究所）
櫻庭政夫（東北大学 電気通信研究所）
山本英明（東北大学 電気通信研究所）
佐藤　昭（東北大学 電気通信研究所）
金井　駿（東北大学 電気通信研究所）
陣内佛霖（東北大学 材料科学高等研究所）
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）
土肥昂尭（東北大学 電気通信研究所）
尹　注鋐（東北大学大学院 工学研究科）
K. Vihanga De Zoysa
（東北大学大学院 工学研究科）
菊地優志（東北大学大学院 情報科学研究科）
住　拓磨（東北大学大学院 医工学研究科）
佐藤まどか（東北大学大学院 医工学研究科）
佐藤有弥（東北大学大学院 医工学研究科）
陰山弘典（東北大学大学院 医工学研究科）
酒井原一守（東北大学大学院 工学研究科）
内村友宏（東北大学大学院 工学研究科）
千葉峻也（東北大学大学院 工学研究科）
田村紘一（東北大学大学院 工学研究科）

[2] 研究目的

ナノエレクトロニクス・スピントロニクスをベースとした次世代の情報通信の基盤技術の研究開発を行う。

[3] 研究成果等

（1）成果等

次世代情報通信の基盤技術の開発のために、関連分野の著名な研究者を招聘し各種研究会を開催した。ナノエレクトロニクスやスピントロニクスに関する最新の研究成果について活発に議論した。また、博士学生の育成のために、学生中心の研究会も開催した。

（2）開催した研究会

・第124回 令和5年5月22日、Akerman研究室キックオフミーティング（詳細省略）
・第125回 令和5年5月24日、”Magnetization – an indispensable source of information in material science ,” Maciej Sawicki (Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Professor)
・第126回 令和5年6月1日、Workshop on Interdisciplinary Spin Physics（詳細省略）
・第127回 令和5年8月28日、”Voltage Tunable Infrared/THz Manipulation for AI-Based Object Recognition,” MITIN Vladimir (University at Buffalo, SUNY, Distinguished Professor)
・第128回 令和5年10月5日、ナノ・スピン実験施設研究発表会、”Quantum metric-induced nonlinear transport in a chiral topological antiferromagnet,” Jiahao Han（深見・金井研、助教)、「常磁性金属におけるスピン輸送現象の光学的および電気的な観測とデバイス応用」、丸井幸博（深見・金井研、研究員)、「グラフェンチャネルトランジスタのデバイスプロセス高度化とその高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究」、関宏信（尾辻・佐藤研、M2)、「プラズモニック・テラヘルツ電磁波検出素子の高性能化とその高速テラヘルツ無線通信への応用に関する研究」、成田健一（尾辻・佐藤研、M2)、「InP系光電子融合ダブルミキサトランジスタの高周波動作化とその光ーテラヘルツ周波数下方変換への応用に関する研究」、渡邊光貴（尾辻・佐藤研、M2)、「二層グラフェン微細構造における高周波反射測定手法の開発」、上面友也（大塚准教授研、M2)、「単原子長ゲートを有するトランジスタの開発（I）単原子長ゲート構造の試作」、杉野秀明（吹留准教授研、M1)、「単一イオンチャネル電流のための適応的自動解析システムの開発」、佐藤まどか（平野研、

D3)、「人工神経細胞回路を用いた炎症性サイトカインによる神経活動変調効果の評価」、酒井原一守（平野研、D1)、「アナログ CMOS スパイキングニューラルネットワーク回路を用いた超低消費電力リザバー計算システムの設計」小野哲史（佐藤・櫻庭・山本研、M2)、「高キャリア移動度の実現に向けた SiC パワートランジスタ製作プロセスに関する研究」佐藤勇介（佐藤・櫻庭・山本研、M2)、「マイクロ流体デバイスを用いた培養神経回路の指向性制御技術の開発」、門間信明（佐藤・櫻庭・山本研、M2)、「2 種類の不応性がカオスニューラルネットワークリザバーの時系列予測性能に与える影響」、石井豪（堀尾研、M2)、「出力ベクトル間ハミング距離による時空間学習則の詳細な評価」、辻孟（堀尾研、M2)

・第 129 回 令和 5 年 11 月 20 日、”In situ synchrotron X-ray characterization of quantum materials synthesis,” Dr. Katherine J. Harmon (Materials Science Division, Argonne National Laboratory), “Quantum oriented synthesis and integration of optically addressable spin defects and host materials,” Dr. Nazar Delegan (Materials Science Division, Argonne National Laboratory; Center for Molecular Engineering, Argonne National Laboratory)

・第 130 回 令和 5 年 12 月 20 日-21 日、シンポジウム「テラヘルツ科学の最前線 X」(詳細省略)

・第 131 回 令和 5 年 12 月 21 日-22 日、「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」、電子情報通信学会電子デバイス研究会との併催（詳細省略)

・第 132 回 令和 6 年 2 月 16 日、” Recent Research Trends in Terahertz Electromagnetic Wave Emission by Plasmonic Photoconductive Effect,” Dr. PONOMAREV Dmitry (Institute of Ultra-high Frequency Semiconductor Electronics, RAS, Russia, Research Director), Dr. KHABIBULLIN Rustam (Institute of Ultra-high Frequency Semiconductor Electronics, RAS, Russia, Principal Investigator)

・第 133 回 令和 6 年 3 月 5 日、”Update on single atom co-catalysts in photocatalytic H2 generation,” Patrik Schmuki (Department of Materials Science WW-4, LKO, University of Erlangen-Nuremberg, Germany, Professor)

◆ 論文や学会発表等成果資料

（1）論文や学会発表のリスト（謝辞あり）

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）

なし

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

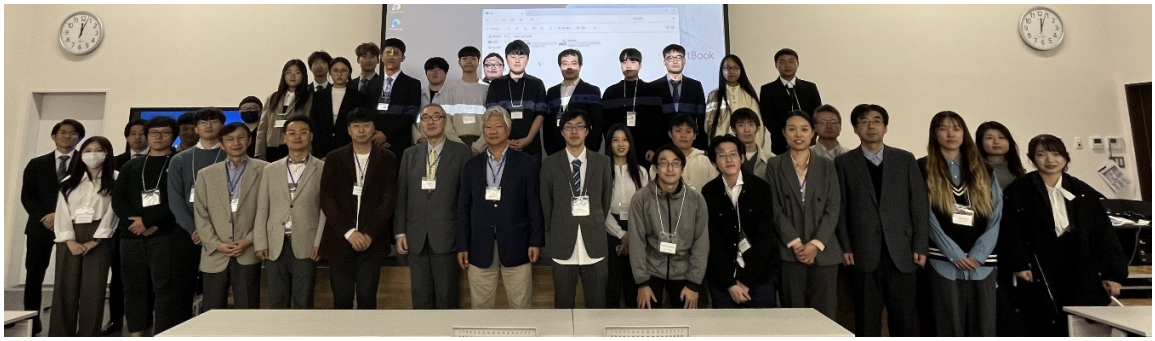
The 20th International Workshop on Emerging ICT

第 20 回 最新情報通信技術に関する国際ワークショップ

開 催 日：令和 5 年 10 月 16 日（月）～18 日（水）（3 日間）
開催方式：東北大学電子情報システム・応物系 （ハイブリッド開催）
参加人数：38 名（うち外国人参加者人数 23 人）

本会議は、情報通信技術を中心に、エレクトロニクスも含めた幅広い内容に関して議論を行う国際ワークショップであり、東北大学と韓国の嶺南大学校、中国の大連理工大学の３大学で開催されている。今回で第 20 回目を迎える。

キーノート講演として、電気通信研究所の坂本修一教授による “Virtual acoustic space synthesis using spherical microphone array”、大連理工大学の Zhenrong Du 教授による “Remote sensing in land dynamic monitoring” および嶺南大学校の Hyun-Chul Choi 教授による “Applications of Deep Neural Network, Computational Imaging and Semiconductor Manufacturing” の 3 件の講演があった。一般講演として、オーラルセッションとポスターセッションを含め 25 件の講演があった。講演のテーマは、無線通信や光通信などの通信技術だけでなく、機械学習、信号処理、パワーエレクトロニクス、生産技術への AI 利用など多岐にわたった。本会議は、上記３大学で長く続いている交流を一層深める貴重な機会となった。



国際シンポジウム

20th RIEC International Workshop on Spintronics

第 20 回通研スピントロニクス国際ワークショップ

開 催 日：令和 5 年 11 月 28 日（火）～12 月 1 日（金）（4 日間）
開催場所：東北大学 電気通信研究所 附属ナノ・スピン実験施設
参加人数：292 名（うち外国人参加者人数 50 人）

本ワークショップは 2005 年に第 1 回が開催されて以来、ほぼ年 1 回のペースで回を重ね、今回で 20 回目の開催となった。今回は、本学の材料科学分野とスピントロニクス分野のコアリサーチクラスター（CRC-MS, CRC-Spin）、及び国際共同大学院(GP-MS, GP-Spin)との共催で開催した国際シンポジウムの一環として、主には後半の 2 日間で本ワークショップを実施した。国内に加え、シンガポール、韓国、米国、スウェーデン、中国、ポーランド、ドイツ、フランスからの計 17 件の招待講演で構成した。

今回のワークショップでは、スピントロニクスの材料科学的な側面と電子工学的な側面を融合し、新規材料や物理現象に関する研究と高性能・省エネ情報デバイス応用に関する研究の接点にて深い議論が展開されるようプログラムを編成した。反強磁性体の新奇物性、軌道角運動量の制御とデバイス利用、不揮発性磁気メモリ素子、スピン系の確率的な振る舞いを用いた新原理コンピュータなどに関する最新の研究成果が紹介され、参加した多くの聴講者も交えて熱い議論が繰り広げられた。

また共催した CRC-MS, CRC-Spin, GP-MS, GP-Spin との合同のポスターセッションでは本学の学生や若手研究者も発表を行い、世界の一流研究者に対して自分の研究内容を伝え議論することで、今後の研究を進めていくための良い示唆と大きな刺激が得られたものと思う。

本ワークショップの集合写真（東北大学 電気通信研究所 附属ナノ・スピン実験施設）

RIEC International Symposium on Enriching Telecommunication and Nonverbal Information

豊かな遠隔コミュニケーションと非言語情報に関する通研国際シンポジウム

https://sites.google.com/view/symposium-rich-telecom-2024jan/

開 催 日: 令和 6 年 1 月 26 日（金）～27 日（土）（2 日間）
開催方式: 東北大学電気通信研究所本館 6 階大会議室
＋ Zoom Webinar（ハイブリッド開催）
参加人数: 9 か国から 113 名

遠隔コミュニケーションは、リアルな空間にいる人が遠くのリアルな空間にいる人と電気通信技術を用いてコミュニケーションをするものとモデル化できる。しかし、現状の遠隔コミュニケーションのシステムでは大切な情報が欠落してしまうため、必ずしも豊かなコミュニケーションが実現できているとは言えません。そこで、非言語情報の機微をうまく伝送できる仕組みを実現することが、人間性豊かなコミュニケーションを実現するための重要な鍵だと考え、2023 年 4 月にサイバー＆リアル ICT 学際融合研究センターを設置し、「非言語情報通信で拓く豊かな遠隔コミュニケーション」の研究を開始した。本シンポジウムでは、関係する研究分野をこれまで牽引されてきた／これからも牽引される世界的なリーダーの先生方をお招きして、「非言語情報通信で拓く豊かな遠隔コミュニケーション」の未来について議論した。

国際シンポジウム

The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

第 12 回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム

開 催 日：令和 6 年 2 月 27 日（火）～28 日（水）（2 日間）
開催方式：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟
　　4 階カンファレンスルーム（ハイブリッド開催）
参加人数：102 名

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、生体工学、数理工学、神経科学、電気生理学、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 12 回目であり、令和 6 年 2 月 27 日～28 日に開催された。オーストラリア、スペイン、スウェーデン、イタリア，フランスから 6 名の海外招待講演者を迎え、27 件の口頭発表、25 件のポスター発表、1 件の企業展示が行われた。昨年度に引き続き、対面と Zoom ライブ配信を併用したハイブリッド形式で開催し、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。

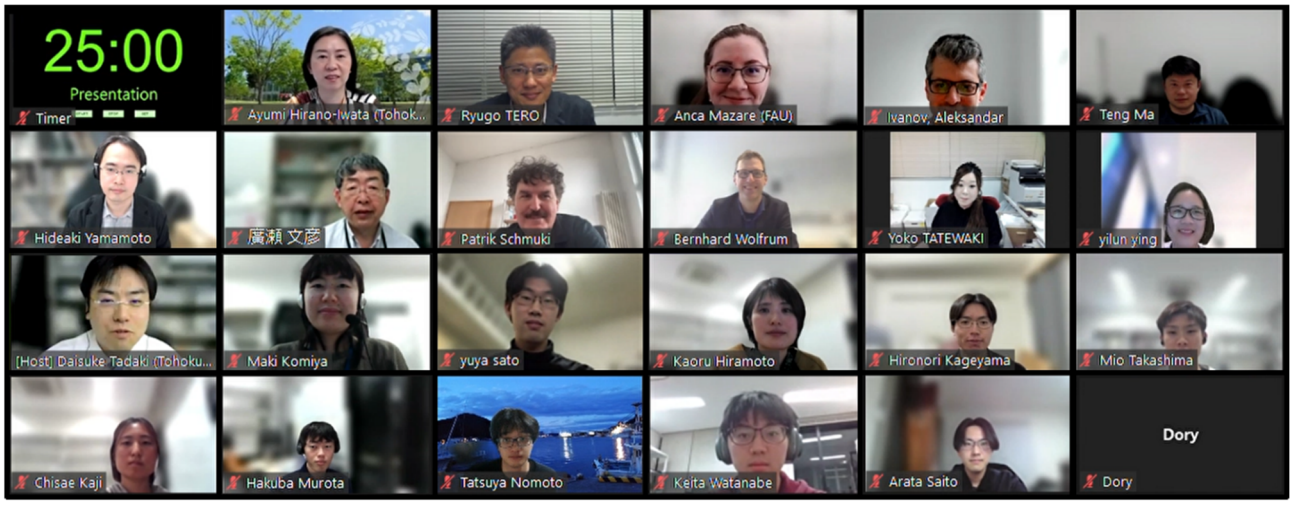
第 12 回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムの様子

The 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

第１４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

開 催 日：令和６年３月５日（火）～６日（水）（２日間）
開催方式：オンライン開催
参加人数：７７名（うち外国人参加者人数４７人）

第１４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６年３月５日（火）～６日（水）の２日間にわたり、オンラインにて開催された。ドイツ、イギリス、中国、そして日本から計７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７７名を数えた。本ワークショップでは、電子工学、表面科学、生命科学、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、光触媒反応に基づく酸化チタンナノチューブ構造体での水素生成の実証、酸化チタンナノチューブ構造体のバイオメディカル応用、有機導電性分子を用いたナノコイル構造を足場とする細胞培養の実現、ナノ・マイクロ加工技術と人工脂質二分子膜との融合から成る新規バイオセンシングプラットフォームの創成、ナノインパクト電気化学に基づく新規バイオシグナル検出技術の創成、ガス・紫外線センシングのための金属酸化物半導体によるナノ薄膜トランジスタの開発、金属ナノ微粒子を用いた単電子デバイスの創成、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、ナノ・バイオ融合分野としての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わる研究グループ間での交流も日頃より活発に行われており、同分野の今後益々の発展が期待される。



5.2 国際会議等

14th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

第 14 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

開 催 日：令和 5 年 12 月 14 日（木）～15 日（金）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：37 名

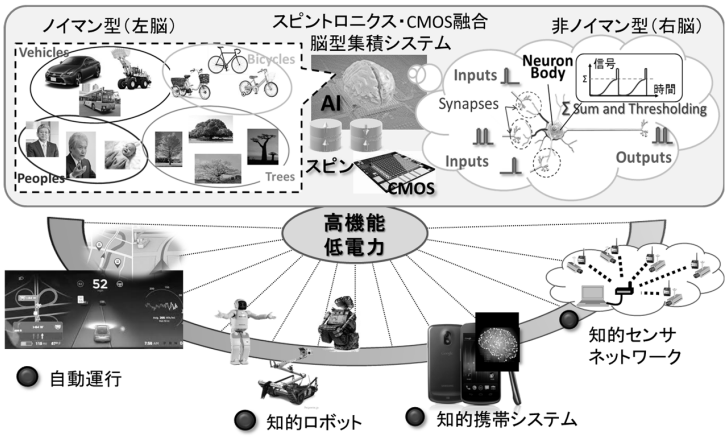
本国際ワークショップは、新Ⅳ族半導体材料のプロセス技術及びナノデバイスへの応用までの幅広い領域についての包括的な議論を目的に、本研究所の共同プロジェクト研究 R05／A02「新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスにおける材料・プロセス基盤技術開発に関する研究」のメンバーが中心となって企画した。本ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業の活動の一環でもあり、組織委員として佐藤茂雄教授と櫻庭政夫准教授が参加した。日本、ドイツ、ベルギーの各国拠点代表者らの発表を含む招待講演 9 件、一般講演 8 件、ポスター講演 9 件の総数 26 件の講演（内、東北大学通研の関係する発表 2 件）が行われ、活発な討論が行われた。世界の半導体産業の活性化のためにも、本国際ワークショップの開催は重要であり、今後、世界規模での研究連携のきっかけとなることにより、本学問分野が大きく展開すると期待される。

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
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

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　李　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 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。

＜2023 年度の主な成果＞

本研究プロジェクトは、ニューラルネットワークのエラー耐性特性を活用して、不揮発性ベースのデバイスの消費電力をさらに削減する方法に焦点を当てる。具体的には、ニューラルネットワークのエラー耐性特性や、不揮発性デバイスの電流とスイッチング確率の非線形関係を取り入れ、低消費電力動作に適した新しいアルゴリズムを開発する。これにより、省エネルギー性と計算効率の両方を高めることを目指す。また、ECC モジュールのスループット向上にも着目する。これには、ECC アルゴリズムの最適化、並列処理の強化、及びデータ処理の効率化が含まれる。以上 2 つの研究成果の進捗状況と、関連する本年度の研究成果については、下記で説明する：

１．エッジコンピューティングにおけるエネルギー効率向上のための深層ニューラルネットワークと不揮発性メモリデバイスの統合

ニューラルネットワークのエラー耐性特性と不揮発デバイスのスイッチング特性を組み合わせることにより、デバイスの消費電力を削減する方法を探求しております。理論的には、DNNs のエラー耐性と不揮発デバイスのスイッチング電流の関係を明らかにし、実験的には低 8 ビット DNNs パラメータにランダムエラーを導入することで、DNNs の精度を損なうことなく消費

電力を削減する手法を実証しています。実験結果は、ランダムな 20%の二進数を反転させることで、5.63%の電力を削減し、100%のバイナリを反転させることで 34.84%のエネルギーを節約できることを示しています。さらに、最大誤り率が 0.00868 の 6 つの実用的な STT-MRAM チップのエラーマップを DNNs の低 8 ビットパラメータに組み込むことで、100%スイッチング確率に相当するスイッチング電流の下で、その精度に影響を与えることはありません（最大損失は 0.00067）。MobileNet 平均的なトップ 1 とトップ 5 の精度低下はそれぞれ 0.000355、0.00079、0.000670、0.000310 であり、その産業応用にわずかな影響しか与えません。

２． ECC 対応 STT-MRAM を用いた物体認識の向上

BCH コードのコード長と訂正能力は、メモリ冗長性と計算複雑性の高効率を考慮して最適化されている。提案された ECC モジュールの訂正性能は、実際に動作する STT-MRAM チップの実測値に基づいて検証され、実装結果は、64 ビット高スループットと 5.76 ns の読み取り遅延で$18.27\ k\ \mu m^2$の小面積を実現していることを示した。実験結果は、STT-MRAM のビットエラー率が2×10^{-3} 以下であれば、ニューラルネットワークの認識精度に影響を与えないことを示している。これらの研究成果は、ECC モジュールがほとんどの製造された STT-MRAM チップに適しており、物体認識システムへの統合が可能であることを示している。令和 5 年度に向けた研究の重要なマイルストーンを表しており、エッジコンピューティングにおける脳型プロセッサの多様な応用に革新的な可能性をもたらす。

＜職員名＞

教　授（兼）　遠藤 哲郎（2008 年より）
助　教　　李　涛　（2023 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）。IEEE フェローの称号を授与（2023 年）。

李　涛　2016 年 6 月　ハルビン工程大学工学研究科航法・誘導・制御博士後期課程修了。2016 年 10 月東海大学創造科学技術研究機構特任研究員。 2020 年 5 月　東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターと同大工学研究科助教。2023 年 4 月同大電気通信研究所助教。

＜2023 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Li, L. Zhang, Y. Ma and T. Endoh, "Bridging Artificial Intelligence and Devices: Power Reduction Method of Non-volatile Devices with Error-resilient Deep Neural Networks," in IEEE Transactions on Magnetics, October 4, 2023. Early Access. doi: 10.1109/TMAG.2023.3321878.

[2] L. Zhang, T. Li and T. Endoh, "Small Area and High Throughput Error Correction Module of STT-MRAM for Object Recognition Systems," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, February 26, 2024. Early Access. doi: 10.1109/TII.2024.3362373.

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：深見俊輔（通研教授）
教員数：43 名（専任教員：10 名、兼務教員：35 名、客員教員：14 名）

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。

＜2023 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

独創性があり大きな成果が期待できる国際共同研究 6 件を採択し、東北大学版クロスアポイントメント制度を活用して業務委託費ならびに研究費を支援した。
インパクトファクターの高い海外論文誌への投稿を支援した。

・優秀な若手研究者の育成

国内外の有力研究機関との共同研究を促進するため、若手外国人 8 名を専任教員として雇用している。スピントロニクス分野において顕著な学術的業績もしくは産業応用を挙げた若手研究者を顕彰するために、スピントロニクス拠点賞を創設した。

・国際頭脳循環の推進

シカゴ大学との共同研究室を継続して運営した。
材料科学／スピントロニクス世界トップレベル研究拠点合同国際シンポジウム(2023 年 11-12 月)を初めとして、下記の国際会議等を共催・後援した。

- 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics（2023 年 4 月）
- 2023 Spintronics Workshop on LSI（2023 年 6 月）
- Spintronics and Quantum Transformation Workshop（2023 年 8 月）
- Tohoku-Warsaw Workshop for Spintronics（2023 年 11 月）
- 2nd International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices（2023 年 11 月）

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：77 名（工学研究科、情報科学研究科、電気通信研究所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、カーボンニュートラルや AI/IoT/DX の実現に不可欠な飛躍的な省電力動作を実現する革新的集積エレクトロニクスシステムへの展開を目指している。

＜2023 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、多様な国内外の企業、そして地方公共団体と連携し、材料・装置・プロセス・デバイス・回路・システムなど研究開発分野をスピントロニクスから、3D メモリ、AI ハードウェア、パワーエレクトロニクスに拡充して、産学共同研究、大型国家プロジェクト（文科省 X-nics 事業、NEDO ポスト 5G 事業、NEDO 省エネ AI 半導体事業、JSPS Core-to-Core 事業、JAXA 探査ハブ事業、文科省パワエレ事業、内閣府 SIP 事業（第 3 期））、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、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。令和 2 年より経済産業省事業「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に選抜されている。なお、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。令和 4 年 6 月に我が国の「半導体・デジタル産業戦略」が改訂され、「アカデミアを中核とした拠点における先端技術開発（スピントロニクス技術）」が目標・戦略に位置づけられた。加えて、G7 広島サミットにおいて「半導体の人材育成と研究開発に関する未来に向けた日米大学間パートナーシップ（UPWARDS for the Future）」が締結されたことを受け、本センターでは、産業界と日米大学の連携による革新的な半導体の研究開発、製造、サプライチェーン、人材育成強化に取り組んでいる。

スピントロニクス AI ハードウェア技術では、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、多様な革新的技術を開発している。これまでに、1 桁ナノメートル世代の集積化技術で 10 年以上のデータ保持と 1 兆回に到達する書換え耐性を有する低消費電力 MRAM 技術の開発に成功したことに加え、新たに 6 重界面の界面垂直型強磁性磁気トンネル接合素子で最先端マイコン製造時の 260℃でのデータ保持耐性と 1 千万回以上の書き換え耐性を実証した。1 桁 nm 世代の最先端マイコン用混載不揮発メモリの高性能化と大容量化に道を開く成果である。令和 3 年度に採択された文科省次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業「スピントロニクス融合半導体創出拠点（拠点長：遠藤 哲郎)」には、新たに大学や企業の参画が拡充し、拠点化が進むと共に、革新的省エネ半導体創出と高度人材育成を更に推進している。加えて、NEDO「AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発（研究代表者：羽生 貴弘)」を電気通信研究所と連携して、AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための技術開発を進めている。パワーエレクトロニクス技術では、令和 3 年度に採択された文部科学省革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業にてパワーエレクトロニクス回路技術、パワーモジュール技術の先鋭化を進め、EV 駆動インバータ、データセンター用電源の小型化・高性能化に寄与しました。さらには 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た次世代回路システムの研究開発を進め、回路システムに最適なデバイス、受動部品の検討を行いました。これにより、次世代回路システムの高効率化、高パワー密度化が可能となる見通しを得たところです。これら 3 つのコア技術を活用し、カーボンニュートラルの実現に不可欠で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。

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創業した東北大学発スタートアップ企業 「パワースピン株式会社」は 6 年目を迎え、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。また、宮城県、みやぎ高度電子機械産業協議会、みやぎ自動車産業協議会、岩手県、いわて半導体関連産業集積促進協議会に加え、東北経済産業局等との協力を得て、山形県の地域・地元企業との連携が加わり、地域連携が拡充するなど、東北復興・地域貢献の一助となる成果が得られている。令和 4 年度に発足した「東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会」への参画を通じて、産業界・大学や高専・行政などの関係機関と連携しながら、我が国の半導体等関連産業の基盤強化、人材育成やサプライチェーンの強靭化等に取り組んでいる。

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

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　：坂井信之（文学研究科/電気通信研究所・教授）
センター参加学内教員数：47 名（電気通信研究所・工学研究科・原子分子材料科学高等研究機構・文学研究科・情報科学研究科・経済学研究科・医工学研究科・教育学研究科・生命科学研究科、サイバーサイエンスセンター、農学研究科、加齢医学研究所、災害科学研究所、学術資源研究公開センター、国際文化研究科）

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。

＜2023 年度の主な成果＞

1. 後継組織として、ハードウエア化も視野に入れたデータ科学的学際研究のさらなる展開を目指す組織整備に関する概算要求が認められ、令和 6 年度より総合知インフォマティクス研究センターの発足を実現した。
2. 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に 2022 年度に推進した 19 の文理連携プロジェクトから、4 件について継続支援を行なった。
3. 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、電子情報通信学会同 HIP 研究会との共催研究会を実施した。

6.2 参画する事業･プログラム

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：スピントロニクス国際共同大学院プログラム長：佐藤宇史（理学研究科・教授）
プログラム担当者：学内教員 12 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。

＜2023 年度の主な成果＞

2023 年度は GP-Spin 主催/共催で下記の学術的会合が開催された。

- The 1st Young Scholars Workshop in Spintronics / 学生企画若手セミナー（2023 年 7 月）
- GP-Spin Session, The 32nd Joint-Interlaboratory Workshop on Nano-Magnetics (JIWON) @高麗大学（2023 年 7 月）
- The 1st Workshop on the Chicago-Tohoku Quantum Alliance（2023 年 10 月）
- The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics / 学生企画セッション（2023 年 11-12 月）
- GP-Spin Session, The 34th Joint-Interlaboratory Workshop on Nano-Magnetics (JIWON) in Sendai（2024 年 2 月）
- Tohoku-Lorraine Mini Workshop 2024（2024 年 2 月）

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 70 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。

＜2023 年度の主な成果＞

2023 年度は，AIE 卓越大学院 5 年一貫教育を受けたプログラム生から修了生 16 名を輩出した．また，PO（プログラムオフィサー）現地訪問や，外部評価委員会の訪問を受け，いずれも高い評価を受けた．AIE 卓越大学院の独自科目の PBL(Project Based Learning) 科目については，2023 年度も対面方式にて開講し，修了後には学修成果シンポジウムを開催した．さらに，AIE 講演会を 6 回，国際シンポジウムを 1 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．国際シンポジウムにおいては，プログラム生全員が英語での研究発表を行った．この他，第 6 期生の募集と選抜を行い，新規プログラム生 31 名（新Ｍ１　12 名，新Ｍ２　13 名，新Ｄ１　6 名）を決定した．

第 7 章　評価と分析

7.1 運営協議会報告(議事録)

第39回東北大学電気通信研究所運営協議会

日　　時:令和5年12月1日(金)午後1時～午後4時30分
場　　所:電気通信研究所本館6階大会議室
　　ハイブリッド開催(対面形式＋オンライン形式)
出 席 者:
　田畑　仁(東京大学大学院工学系研究科　教授)
　山口　浩司(日本電信電話株式会社　NTT物性科学基礎研究所　フロンティア機能物性研究部　フェロー)
　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)
　川越　開(宮城県企画部デジタル政策推進監兼副部長)
　福永　博俊(長崎大学　学長補佐)
　玉田　薫(九州大学　副学長　先導物質化学研究所　教授)
　森島　繁生(早稲田大学先進理工学部　教授)
　小林　直樹(東京大学大学院情報理工学系研究科　教授)
　松下　雅仁(三菱電機情報技術総合研究所　所長)
　丸山　宏(株式会社Preferred Networks　非常勤取締役)
　前田　裕二(日本電信電話株式会社　宇宙環境エネルギー研究所　所長)(欠席)
　中村　孝(大阪大学大学院　工学研究科　招聘教授)
　橋本　隆子(千葉商科大学　副学長)
　阿野　茂浩(公益財団法人　KDDI財団　理事長)
　村山　宣光(国立研究開発法人　産業技術総合研究所　副理事長)(欠席)
　今井　亨(日本放送協会　放送技術研究所　所長)
　江村　克己(福島国際研究教育機構　理事)
　都築　暢夫(東北大学　大学院理学研究科長)
　伊藤　彰則(東北大学　大学院工学研究科長)
　加藤　寧(東北大学　大学院情報科学研究科長)
　佐々木孝彦(東北大学　金属材料研究所長)
　福山　博之(寺内　正己　東北大学　多元物質科学研究所長の代理)
　菅沼　拓夫(東北大学　サイバーサイエンスセンター長)
　松浦　祐司(東北大学　大学院工学研究科　教授)

通研出席者:羽生貴弘所長、佐藤茂雄副所長、北村喜文副所長、石山和志評議員ほか各教授及び准教授

開　会

事務長から、東北大学電気通信研究所第39回運営協議会の開会が宣言され、引き続き配付資料の確認と会議日程の説明があった。

続いて、羽生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
羽生所長、佐藤副所長、北村副所長から、次のことについて説明があった。
(1)研究所の活動全般について
(2)研究と教育について
引き続き、電気通信研究所の各教員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。

★　お2人がビデオだったので、最初のご説明に質問がある、あるいはコメントがある方がいらっしゃったら、ここで受けたほうがいいかなと思うんですけれども、どなたかありますか。
それでは、先ほど申し上げましたように、もしビデオの先生の件も含めて何か質問とかコメントがあれば、Zoomのチャットに入れていただくなど、お願いいたします。
では、お願いします。

★　非常に興味深いお話をありがとうございました。
チャットにも書かせていただきましたが、1点このディメンジョナルなマテリアルというのを利用するというのは、これもすばらしいご研究だと思う反面、それゆえ競争も非常に熾烈だと思うのですが、先生のほかの研究者と比べての強みというところを、何か具体的にあればお教え願えますでしょうか。

☆　現在のプロジェクトに関しましては、私だけではなくて産総研さんやNICTさんからも幅広く協力していただいておりますので、その連携を密にして、他の台湾とかとも伍していけるようになっていきたいと思います。
あとは、もう一つ我々の強みとして放射光を用いず、体積で精密にできるということがあります。それはこれまで使ってきたSpring8だけではなくて、近々東北大にできるナノテラスの利用も有効活用できるかと思っていますので、そこら辺をうまく連携させて、何とか世界的に先導していきたいと考えております。

★　なるほど。それに関連して、今の周囲の研究環境であるとか人的なネットワークがとても重要だということはよく理解いたしました。それで、特に今おられる通研の中での例えばこのネットワークであるとか施設であるとか、そういったところでこちらの研究が進みやすいだとか、加速しているというのは、何かそういう事例というのはあるのでしょうか。

☆　一番重要な事項は、先生がおっしゃるとおり、通研にありますナノ・スピン実験施設の中にあるクリーンルームが非常に使いやすくて、実際我々も今まで二次元半導体だけでなくて、ガンヘムトやグラフェントランジスタもそこで世界最高性能を示すことができていま

すので、他の利用者の方とも調整しながらですけれども、私がかなり最大限有効活用、使わせていただいておりますので、円滑に研究を進められるというのはやはりそのようなすばらしいナノクリーンルームがあるということが、最大の要因だとは考えています。

★　分かりました。通研の環境が非常に研究のプロモーションに資していることがよく分かりました。ありがとうございます。私からは以上です。

★　ありがとうございました。ほかにありますでしょうか。
それでは、ここからは全体を通して前半の部分の質疑応答に入りたいと思います。どんな内容でも結構ですので、ご意見とかコメントがある方は手を挙げていただければと思います。Zoomの方は手を挙げる機能で意思表示いただければと思います。いかがでしょうか。どうぞ。

★　ご説明、本当にどうもありがとうございました。直接現場で説明を聞くのは初めてなのですが、非常にやはり迫力というんでしょうか、アクティビティーの高さというか、そういったところに非常に感銘を受けております。
そこに関するご質問ですけれども、先ほどの発表で全体をなめて見ると、人の数がちょっと減りつつあるようで、それでいながら、ベテランの先生が入れ替わりの時期ということで、そこは一つチャレンジがあるというところも理解しております。一方で多様性も今増加の傾向にあって、人は減っているのだけれども予算は増えている。バブルという表現もありましたけれども、外部からの資金を非常に効率よく集めていて、研究の中身はというと、非常に先生の数あるいは人員的な減少はあるけれども、実績自体はキープ、非常にいい位置をいっているというようなところで、物すごく大変な中でも研究のレベルというものをキープしていて、向上というのがしっかり図られているんだなというようなところに非常に感銘を受けました。
ここはどういうようなところに組織としての工夫をなされているのか。例えば、単純に予算が増えているから、やはり成果も出やすいというような事情があるのかもしれませんし、人が減っているということはそれだけ忙しくなっているはずなので、組織としてバックアップ体制を整えるというところに力を入れているとか、あるいは先生あるいはスター研究者が超人的に頑張っているのかとか、何かそういった人が減っている中でも、これをキープしているといった組織的なポイントみたいなものが、もし意識としてあれば教えていただきたいと思いました。

☆　ご質問ありがとうございました。人が減っているというところは、先ほどの9ページの人員構成というところで、これが56名ということで、これはある種承継枠というか、教員というふうな形でいるメンバーでございますが、その2ページ後の11ページのところにいわゆる研究員というのは外部資金で雇用している人も含めて、本所の研究力はキープしておりますので、そのアクティビティを保っていると判断しています。
加えて、予算が右肩上がりに今増えているのは、半導体関連のプロジェクト獲得増の方向性です。西澤潤一先生がいらっしゃった時代から半導体関連の研究者がいらしており、そこに予算がついている状況から、当該研究分野が追い風となっています。加えて、ポスト5Gもありますし、電気通信の分野に大いに期待されているというところはあると思っております。

また、昔は、教育はもう絶対やりなさいとの雰囲気でした。その上で研究プロジェクトは、そのプロジェクトを取ってきた人が責任を持ってやりなさいということだったため、プロジェクトを取ってくれば取ってくるほど研究者が苦しくなる流れでした。しかし今は、例えばバイアウトという制度を利用して、講義担当を少し誰かに代わってもらうというのも可能です。今、この制度を使っている人は通研には今いないようですが、そういった形で教員に対する様々なチャンス（研究時間確保の機会）が使えるようになっています。
加えて、若手が潰れてしまっていないかなという観点で、アンケートを実施しています。教員の研究時間確保を大学では現在推奨しております。ちゃんと研究をする、教員しかできないことは研究なので、他の業務は、例えば事務職員等で代替できます。今後、いわゆる国際卓越も始まるとしましたら、やはりもっともっと教員に対する負担は増えてくるでしょう。そうなると、研究時間確保というのが難しくなるので、その点を懸念して、若手研究者の動向をウォッチしています。この取組は去年から、アンケートを取って進めています。若い人からの回答は、不満はないとのだったので、それは意外でした。我々は引き続き動向をウォッチしていきながら、とにかく研究時間を取っていただき研究を進める取組を推進していきます。教員が何で負担があるかというのを、常にウォッチしながら、その対策をやらなければいけないということです。
あとは大学としては、女性教員、女性の研究者、外国人、若手の確保、それは強く望まれておりますので、その辺については、予算自体はほとんどそれこそ右肩下がりに減らされてはいますけれども、研究アクティビティを上げながら増やしていくということには努力をしています。最近、女性研究者数はずっと伸びてきたものが直近で少し減少してしまったのは、最近の「女性研究者の争奪」が激しいからかなと分析しています。その観点から我々も戦略を考えないと、東京地区のほうがやはり獲得しやすい。東京や大阪は優位かなと感じています。仙台は辺境なので、ご家族の力という意味では、地の利でいうと不利かなと感じています。
その意味で、もともと仙台（東北地区）出身という研究者が地元へ戻ってくるケースがあり得るが、そのようなケースはそれほど多くないです。そうなると、外（東北地区以外）から本学へ来ていて、チャンスがあって戻れるといったら、そのチャンスに乗ってしまう。そういう意味でも、それなりのインセンティブをつけないと本学に残ってもらない。例えば、給与を上げるとか、休みが取れるとか、など。一方で、コロナ禍の経験で、常勤で常に通っていなければいけないということはなくなりました。そういう意味では、リモートワークで大丈夫ですということで、少し自由度は増しているかと思います。

★　ありがとうございます。非常に何かベーシックな研究者の先生方の時間確保とかができているのかというのを、小まめに組織としても調べていて、やはり基本的なところや新しいダイバーシティの確保のためのいろいろなベースのところを、いろいろ工夫されているのだなというところが分かりました。ありがとうございます。

★　今の関連で、URAを増やすとか、そういう具体的なところは何かやっていますか。

☆　大学としても、今もURAがいますけれども、あと通研で、独自予算でURAを確保しておりますが、それをもっと増やしていこうと思っています。そうしないと、先生方にとって、研究は得意ですけれども、例えば民間等との共同研究のプロモーションをするという、いわゆる営業活動までは、なかなか難しいというので、やはりURAに橋渡ししていただ

くという形を増やしていく予定（というか、方向性）でございます。

★　分かりました。それでは、お願いします。

★　一部、今のご質問に対するお答えに含まれてしまっているのですけれども、今、研究時間の確保というのが非常に重要になっています。私も前回そのあたりはコメントさせていただいています。ここに、資料の98ページに具体的に管理業務等を分担するスタイルを解消というふうに書かれてあるのですけれども、これ実際にはどういうことをされているのかというのが質問の1点です。
それからもう一つは、実は私、昨日まで沖縄の科学技術大学院大学、OISTにちょっと行ってきまして、ご存じの方も多いと思いますけれども、外国人の割合が非常に多いです。何でこれだけ集められるのかという話を聞いたら、そもそもご存じのように内閣府直下ですのでリソースの部分が大分違っていて、同じ土俵には上がらないのですけれども、やはり研究環境は非常に整っており、だから、研究時間を確保できるそうです。特に外国人の場合は非常に日本の環境の中だとやりにくい部分があるので、そこがやっぱり必要だということと、結局もう一つは最終的には処遇の問題で、今特に円安になっているので、これはうちの研究所も同じですけれども、海外の研究者を取ってこようとすると、もう海外と太刀打ちできないような状況になっていまして、このところを一体どうするかというところが議論になっています。そもそも難しいのかもしれないですけれども、その議論をされていたらその内容について教えていただきたい。
ですから、具体的に研究時間をどう確保するかという具体的な方策と、それからもう一つは外国人研究者というものを少し別の扱い方をするようなことも考えられているのか。その2点についてちょっと教えていただければと思います。

☆　ありがとうございます。これは国際卓越に関係することであり、今東北大学として取り組んでいることですが、結局教員しか研究はできないので、その他の事務的な業務は事務に任せるという取組です。事務職員をたしか1，100人ぐらい増やすという話があります。加えて、DXを強く推進することによって、なるべく教員が、例えばある種のルーティンワークみたいな業務から解放されます。それは、専門の事務職員の方やURAも含めてやっていただくということです。
また外国人教員の確保には、給与のギャップが大きいという点を考慮すべきです。例えばポスドクでも1，500万円出しても来るか来ないか微妙であるという話しもあります。日本での教員の給与を世界に合わせていかなきゃいけないだろうということです。それは外国人の教員に対してだけではなくて、それに資する成果を上げているPI全員に対して適用することです。国際的に卓越した教員の方々にはその職位に合わせて世界基準の給与を出していくというような人事トラックを準備するということです、国際卓越人事トラックというのを今準備しており、その人件費に充てるという仕組みを進めています。
ですから、給与の水準が従来とは違う形にしていくということです。通研は既にプロフェッサー、ユニバーシティ・リサーチ・リードという、東北大で設定した制度があり、その第1号として本研究所には1名の世界的に著名な海外の研究者が、今年の1月から来られています。現状では100％エフォートでの異動は難しく、クロアポの形です。数年後には完全に100％こちらに来ていただくという形で、今手続を進めております。この例のように、世界的に著名な研究者は、別扱いという形で人事を実施していましたが、それを今度こ

の国際卓越ではしっかり進めていくという形で差別化しています。そういう機会は研究者皆さんにありますという形にしているということでございます。
いずれにしましても、そのためには原資が必要ですので、win-winの形の構築が必要です。大学から人件費を払ってその分に相当するキックバックが大学にあって、初めて大学の運営がちゃんとできるようになります。

★　ありがとうございます。よろしいですか。
今の関係で、学生さんはアジアの人が多いという傾向はあったのですけれども、教員とか研究者をグローバルに取ってくるときに、どの地域というか、どの辺を見てらっしゃいますか。

☆　今、いわゆる伴走支援の一環として、東北大は大学ファンドの候補校に選ばれて以降、10月末、12月、翌年1月に、アドバイザリーボードとのミーティングがあるという話を伺っております。その際、アドバイザリーボードからは、どんな人を呼べるのか、またその具体的なリストを出せという話がありました。それを受けて、各部局に本部から問合せがあり、こういう人材とのコネクションがありますよと回答したところです。
招へいの際には先方と条件を合わせて、来るか来ないかを調整するとか、もしその方自体を招へいすることが難しければ、その方をクロアポにて招へいする、あるいはその方の研究グループで有力なお弟子さんをこっちに置いてくれないとかネゴする、という形がある。そういう観点から、グローバルな人材とのコネクションは間違いなくある、というリストを、この間の締切りで提出した状況です。

★　お願いします。

★　女性教員について今までも非常に話題に出てきたので、ちょっと伺いたいのですけれども、9ページのデータですと徐々に増えつつあるということですが、ちょっと減っていくというのは、今どこの大学も本当に取り合いだというのはすごくよく分かるのですが、教授の数はずっと1のままであまり変化がないということで、これに准教授もそうなのですけれども、このあたりはプロモーションするといなくなってしまうのか、それともプロモーション自体が置きづらいのか、そのあたりを伺いたいと思います。
あとは女性の場合、ライフイベントに対してどういった制度が実際あって、、実現されているのかというのをちょっと伺いたいと思います。

☆　ありがとうございます。電気情報系では、女性の数はもともと少ないので、そこから持ち上がりで大学教員になるというケースはなかなか難しいかもしれないと思っております。加えて、ただ通研ですと例えば、今人間情報システムとか、少しもうちょっと広目のバイオも含めた形での連携もしておりますので、そういうところになりますとやはり心理学とかそういうふうな分野で、女性の研究者がいらっしゃるので、そういう研究室中心に女性の方が入ってくる。
どうも1人入ってくると、安心感が出るということがあるようです。か、それも我々ちゃんと教育、我々の意識としてそういった教育も今ちょうど進めているところなのですが、そういう形で増やしていく。だから1人つくと、だんだん増える流れになっていく。これは外国人もそうで、外国人が1人来ると少しずつ増えてくるというので、そういうところからゼロ

を1にするのが結構大変で、1になったら少し増えてくる流れになっているようです。だから、ちょっと今回はやはり抜けてしまったお2人については、その後のキャリアパスという仕組みの点で、他大学との競争に負けてしまったところがありますので、もう少ししっかりこの期間を間違いなく雇用できるという仕組みの構築と雇用環境のさらなる改善については大いに反省しているところでございます。

★　ありがとうございます。
あともう1点、21ページの学生数のところですけれども、ここには男女の別が書かれていないと思うのですが、ここにおける女子学生の比率はどういう状況でしょうか。

☆　女性の割合は1割以下ぐらいです。

★　じゃあ、平均的ですね。分かりました。ありがとうございます。それでしたら、それも多分書いていただいたほうが、現状が分かるのでいいかなと思います。
それから、多分ここのデータではスコープ外かもしれないのですけれども、私のいろいろな経験から、実は教員の数というか、海外の方の数を増やすにあたって、実は事務局の女性の数を増やすとか、海外の方を増やすということが実はすごく効いてくるというふうに思っておりまして、例えば事務局においても女性をもっとプロモーションするとか、あるいは事務局の方で海外の方を雇用して、全体として国際化を進めていく。そういうことが全体として教員の増加にも非常に貢献するということがあるというふうに感じる部分がありますので、恐らくそういうところも施策に持っていけるといいのではないかなというふうに感じております。

☆　ありがとうございます。
教員だけではなくて、事務組織とか事務職員の話は先ほど全体で1，100名ぐらいという話がありますので、そういうところに外国人の研究者がいらっしゃったときに、スムーズにできるように事務体制を強化するという話です。たしか事務では、TOEICの試験は全員受けているということでした。なるべく英語に慣れていただくという例として、プロフェッサー、ユニバーシティ・リサーチ・リードという著名な外国人研究者が、事務へご挨拶に来られた際、事務部の関係者はその対応でてんてこ舞いでした。ただ、いい刺激になっており、そういう経験をしていくといいのではないかなと思っています。

★　そうですね、ぜひそちらのほうも力を入れていただけると、数字的にもよくなってくるかなと期待しています。よろしくお願いします。

★　ありがとうございます。ほかに。では、順番にいきますね。お願いします。

★　研究評価のオルトメトリクスのソーシャルメディアの評価のところ、すごく面白いなと思って聞いていました。今日グラフで示していただいたのは、簡単に分かるソーシャルメディアでの引用だったりするのですか。これを調べること自体が研究対象のような気がするのですけれども、どうやってこの数値というのは客観的に得られるものなのでしょうか。そういうサービスがあるのですか。自分で調べると、すごく大変だなと思ったので。

☆　そのように、今ちょっと話題になりましたけれども、URAの先生に調べていただいたので、ちょっと回答もらってよろしいでしょうか。

☆　オルトメトリクスに関しましては、これは大学で整備していますエルゼビアのPUREを使って、そこで出てくる数値をダウンロードする形で出しています。ですから、一つ一つ選んでいるとか、手書きでやっているとか、そういうことではないです。

★　分かりました。あと思ったのは、こういうツイッター等での評判というのは研究の評価だけではなくて、どういう属性なのか分析できてないということですけれども、例えば我々でも放送の目的でやっていたのが、実は照明の業界ですごく取り上げられていたりして、そういうところへプロモーションに行こうかみたいな、要はオープンイノベーションのツールにもなり得るかなと思っていました。

☆　おっしゃるとおりだと思います。まだ中身まで調べるということをやっていませんので、どういうところにツイートしてくれたとか、引用してくれたとか、そういうところは十分調べる価値のあるものだと思います。デメリットに書きましたけれども、今のところまだそこまでやっていませんので、そこは何とかしていきたいなと思っています。

★　分かりました。

★　では、お願いします。

★　今のにちょっと関連しますけれども、25ページぐらいから32ページぐらいまでで、知財とか論文のところの分析をされていると思うのですけれども、確かにトップ10、パーセントを見るのは大切だと思うのですが、これはスナップショットで今までの研究成果を出しているというところだと思います。そういう意味では、今後、こういうところを狙えるような、トップ10％の論文を狙えるようなところの分析とか、あと知財でもよいのですけれども、ベンチャーが多いから数が少なくなったということなのですけれども、最近例えばJSTとかでも結構スタートアップ、大学発のスタートアップ育成とか、非常に高額な、この前もたしか11月末にそういう大きな億単位の公募があったと思うのですけれども、やはりそういうところでどんどんJST、経産省系もそうだと思うのですが、育てていると思うのですが、そこら辺でどう次の手を打っていくのかという辺の戦略についてご教授いただけるとありがたいのですが。

☆　所内でできるだけ、いろいろな芽を摘まないように、そういう外部の大きなファンドなんかを取るようなことを目指しながら、奨励をするということはしていますし、あと今日話したのは、学際的なところとか新規のところをどんどん開拓するようなところにも意識をして、そこに奨励をするような試みもしているので、多分そういうところが次の芽を、トップ10％を目指すような研究につながっていくのではないかと考えています。

★　大学も自立性という、研究者の自立性というのがあるので、あまりこうしなさい、ああしなさいというのは企業みたいには言えないと思うのですが、やはり分析していく上でどこが強みなのか。歴史的に通研はやはり半導体とかデバイスに強いところがあり、無線も

強いと思うのですが、そういう分野から最近のお金の振り分けがAI戦略とかにいって、経産省系が非常に大きなお金を出し始めていて、企業も追いつくのが大変です。一部のスタートアップにお金が流れるという時代になってきているので、やはりそこら辺の戦略的な何かの方針というか、例えばここでは多分共創研究所でしょうか、例えば33ページにありますけれども、こういうのでも多分外部資金を結構取ってきていると思うんですが、やはりその基になる研究とか、純粋に研究でも論文でもトップ15%とか20%の位置につけていて、これから化けそうだぞというようなものに何か当たりをつけて、それに対してエンハンスしていく仕組みがあるといいのかなと思います。あまり強制はできない部分が大学にはあると思うのですが、ちょっとそのように感じたので、質問させていただきました。

☆　ありがとうございます。そうですね、大事なことは先生方のやはり得意な分野の芽を摘まずに続けていただくということで、それが大きく花開きそうであれば、予算を別途考えてという話をやっていくことです。
例えば先ほどもちょっとご説明しましたように、6附置研で進めている若手アンサンブルプログラムというのは、お金自体はそんなに大きくはないんですけれども、初期段階の研究が進め易い。また、本研究所の共同プロジェクト研究というのも、旅費ぐらいは出せるよというぐらいの予算措置ですが、これは後のほうで説明しますけれども、そういう形でまず会って話をして、それでいいネタが組めそうだなと関係者で意見交換ができる機会です。例えば、科研費に出したりとかというためには、まずは関係者とミーティングしないと、研究のアイデアもなかなか醸成できません。そのような研究の芽は摘まずに、とにかく研究時間をしっかり確保して、研究開発に注力していただく機会を提供しています。お金が必要な場合にはというので、それは別途少し考えていこうという話でございます。
教員が研究費を獲得し、研究所ではその間接経費の一部を原資としていろいろと回していこうということは、基本的には考えております。例えば、5年プロジェクトを持ってきましたときに新しい研究員を任用します。その方は実はすごくいい人材だとなれば、プラス5年間の継続雇用は所の方で考える。プロジェクトから間接経費が入ってきますから、所からの手出し分をその経費に充てる。10年間の雇用であれば、対象の研究者の顔（実力）かなりが見えてくるので、その後のプロモーションの機会に手を挙げてもらいましょうという話になる可能性もあります。上記のような人事の仕組みで、いい人材を見つけたら、その方が目指せるようなキャリアパスを構築すること、その方が一緒に仕事をやってみて、ここ（本所）はいいところだなと感じてもらえること、我々もいい人材だな判断できること、などの仕組みを考えています。

★　具体的な取組をお聞かせいただきまして、どうもありがとうございます。

★　ありがとうございます。どうぞ。

★　どうもありがとうございました。
先ほどの話とも少し絡むかもしれませんけれども、外部資金の獲得が順調に増えているのは喜ばしいことだなと思ってお聞きしておりました。一方で、ちょっと言葉がいいか分かりませんが、たくさん稼いでいらっしゃる先生のモチベーションが何なのかなというのが、ちょっと思い当たらなくて、結局お金を取れば取るほど仕事がどんどん増えていくわ

けですよね。ある一定のところまで、やりたいことがある間はいいと思うんですけれども、只々お金を取ってくることが目標になってしまうと、要は細かい企業からの仕事を集めてきたりして、仕事の数ばかり増えてとなってしまって、そこら辺をどうコントロールされているのかというのと、もう一方は、本当に外部資金だけに着目してしまうと、結局、はやりの研究だとか、今大きくなりつつある研究とかに集中してしまって、本来大学で、我々企業から見ると大学で持っていただきたい10年後、20年後に芽が出てくるかもしれない研究にお金が回らないんじゃないかという気がしていて、そこら辺をどういうバランスでやられているのかというのを教えていただければと思いました。

☆　本所の運営としては、間接経費が入ってくることを考えますと、その先生としては研究費として潤沢かもしれないけれども、できるだけどんどん取ってきてほしいという思いがあります。そのため、インセンティブをどのように付与しようかという観点から、ちょうど今、本部に提案しているのは、給与を増やすべきとことです。上記のインセンティブが給与増として目に見えてくる点は重要です。例えば、月5万円でも年間で60万円ですが、やはり月々5万円増額して入ると、多分奥様に褒められると思うんです、よくやったと。この観点は大事なんじゃないかなということで、丁度その提案を本部へしています。獲得した間接経費の額に応じて、給与をどんどん増やしましょうというようなことをすると、忙しいけれども研究プロジェクトを取るかという話になっていただけるかなと思います。そのようなインセンティブがないとただ働き（ただ忙しいだけ）の感じになってしまうので、モチベーションは上がらないかなと感じています。
一方で、ほかの先生方の給与を減らすわけじゃありません。ちゃんと基本給レベルはキープしています。その中でお金がかからないフェーズで、まずアイデアだけでというのであれば、それはどんどん考えていただいて、次のときに大きくドーンと提案していくという話で、またお金があればできるんだけどという話は、それは先ほども機動的研究のところでご説明したように、研究ネタがあったら、それやってみようかという話ですね。話ができる、チャネルは幾つかあるということで、そういう意味でも少しバランスを取りたいなと思っています。昔の大学では単に忙しくなって苦しくなってやめちゃうというだけだったのに対し、上記のように少しインセンティブを付与して、その努力に対して報いる。例えば退職間際の先生方は、ちょうどまだ脂が乗ってるのに、いやもう退職だからいいやとなってしまう場合もある。それを防ぎ、いやいや先生、先生という感じでうまく励ます契機にはなるかなと思っています。

★　ありがとうございます。よく分かりました。ぜひそういう、先生ご自身のインセンティブになるような設計ができると、とてもいいかなと思いました。

★　では、お願いします。

★　どうもありがとうございます。昨年から聞いていて、組織3部門制というのが今年から始まったということで、非常に順調なのかなと思いました。お伺いしたいのは、東北大学では卓越国際が恐らく始まるのかなと思います。25年をかけながらもかなり東北大学、チャレンジングな研究組織の改革も上げていますが、通研さんではその辺も見越した組織の中長期ビジョンというのは検討は始めているんでしょうか。かなり今とは形が変わるのかなというふうに思っているのですが。

☆　まず、国際卓越がどんな枠組みで各部局に示されるかというのは、まだ公開されているレポートだけであり、そこから判断するしかないので、国際卓越の動きと関連付けた話しではありません。ただ国際卓越が通りますと、ある研究資金が獲得できます。ただ、これは借りているだけで、後で返さなきゃいけない資金です。また、PIという人事制度を計画しており、これはかなり独立した職位で、助教以上から適用できるんです。PIは独立した環境で研究ができますとなりますので、先ほど説明した部門制と、それとは別にPI制というのがあるので、本所の従前キャリアパスと独立していろいろできるということとなります。事務の負担も大幅に軽減する流れになって、研究により集中できる環境になると期待しています。
研究成果がある卓越したレベルだったら、従前の人事トラックと違う国際卓越の人事トラックの方に入れます。そうすると、給与がどんと上がってという話になります。
ですから、まずはいい研究ネタを仕込んで、その上で上記のような仕組みを進めていくということです。つまり、国際卓越の採択で大学には研究資金が来るけれども、それが通研に来るかどうかというのは学内各部局との取り合いになります。つまり、研究資金は各部局へ均等に割り振りされるわけではないので、研究テーマが募集されたときに、通研でそれに手を挙げられる人が何人出せるかという話になると思うんです。そう考えると、今のうちから研究ネタをより多く仕込んでおいておこうということになります。

★　そうですね。先ほども議論があった、そのインセンティブを含めてメリハリというのは、やっぱりこういう事業が始まると非常にやりやすいのかなと思います。我々も怖さがある一方で、期待はしているところですけれども、状況よく分かりました。ありがとうございます。
それと、もう1件、教育のところで今年度から何か情報教育の増員について、これはもしかしたら他の方に聞いたほうがいいのかもしれないのですが、多分これは文科省の事業なのかなと思うんですけれども、たしか10年間の基金制度でということで、その後の長期的な学生育成、その先を見たときにうまく回せるかなというのが正直悩みながら、我々も協力しながら設計しているのですけれども、東北大学さんのほうではそのあたりいかがでしょうか。

☆　そうですね、大事なことは情報系という限定はあるものの、この時代、つまり少子化の時代に定員増を認めていただいているというのは結構大きな話です。やはりDX化の効果かなと思うんです。だからこの機会を逃してはいけないということは一番大事なことかなと思います。では、どうぞ。

☆　この場で私がお話しするのもどうかと思うのですが、私のほうで中心に申請をしましたのでお答えをします。まず、全体の枠組みですけれども、文科省で増やしていただいたのは高度情報人材を増やすというところで、もちろんその情報教育、今回の通研も含めた電気情報系で情報教育をしっかりやっていくということ、それから必ずしも情報でない工学部のいろいろなところ、例えば化学とか、そういうところの人たちにも情報教育をしっかりやっていくという、その二段構えでやっています。
もともと全学教育の中で情報に関連したデータサイエンス、情報、AI関係の、受けても受けなくてもいいというプログラムがあって、あまり受けている人はいなかったのですが、それを全員受けてもらうみたいな形で下のほうはやって、上のほうはもう少し高度な専

門教育を入れると。大学院、プログラムは大学院がメインですけれども、大学院の中では情報に関連した大学院プログラムというのがありまして、そこでやっている教育がありますので、そこと連携して続けていくということをうたっております。
実は国際卓越にお金が来なくなるというのがあって、そちらのほうは国際卓越のお金から出していただけないかというのを総長にお願いをしていますけれども、いずれにしてもそういうような形で、しっかり情報教育を進めて、その中で通研の先生方にも全面的に協力していただくということにしております。

★　どうもありがとうございます。非常に幅広い設計をされているというのは、さすがだなと思いました。ありがとうございました。

★　ほかにいかがでしょう。

★　すみません、人事のことで気になったことですが、女性のことではないんですけれども、教授の方が60歳以上10名で半分改選になるわけですが、そのときに各部門ごとで入替えというだけじゃなく、何か戦略的に方向を研究所は考えられているのかというのが1点と、あともう一つは、やっぱり人事が遅く、前から東北大全体でそうなんですが、助教の先生の平均が40歳近くになっていることです。そのあたりの今後の戦略といいますか、ありましたら教えていただければ。

☆　ありがとうございます。
一番大事なことは、単なる穴埋め問題と、抜けたからそこの穴を埋めるというような人事だけだと、現在の社会的要請には勝てないなということです。例えば、ある先生の所掌していた分野が空いた場合、その分野の将来性はどうかということを、いわゆる教員人材調査委員会で調べる。今、我々は電気情報系との一体運営の下、9人委員会という人事制度にて教授選考を行っていますが、9人委員会へ諮る前に、当該教授が空くとなったときに、どんな将来像があるだろうかというのを通研の中で上記（教員人材調査）委員会を立てて、大体こういうふう実績のある先生方がいらっしゃるという形を議論しておき、その上でどういう人事を進めるかということを進めています。
加えて、人件費は右肩下がりに下がってますので、教授枠ポストに対して、今も公募で「教授または准教授」募集という形にしており、若い先生で伸び盛りの伸び代を見ながら、選考進めていくことを推奨しています。ですから、募集自体は教授1本釣りというよりは、教授または准教授で応募していただきましょうという形もあり得ます。例えば、助教の方も手を挙げて准教授クラスで取ってもいいねとなれば、そこの分野を担当していただこうという形で進めているということです。人件費枠に見合った形でどのぐらいの人材を埋められるかということをに留意して進めている仕組みです。

★　気になった理由は、最近人事を若返らせようという動きがすごく加速していると思うんです。特に旧帝大のあたりは早くなっていて、下手すると30代後半、40代前半で教授が出ています。そうしたところの変換、すごく難しいと思うんですけれども、それについて何かアクションを考えられているのかどうか。分野もそうだし、人員配置、年齢配置をどう変えていくかというところを。

☆　そうですね、今は、通研でいうと紳士協定という意識合わせがあり、教授研究室がなくなったらそこのスタッフは全てオールクリア（リセット）で考えてましょうという意識は、各教授の先生にお願いをしているところです。ですから、教授が抜けるということは、それに付随した先生方も原則的としてリセットをお願いをしています。直近で60歳以上の教授は10名なので大幅に入れ替わりが起こります。そのときに先ほどの人材募集と、選考委員会等の考え方を統一しておくこととで、教員の若返りを意識してやっていただくこととなります。その頃、私はもういないので、すみません。それをメッセージとして残しておくということかなと思います。

★　ありがとうございます。
休憩の予定の時間に入っていますけれども、手が挙がっていましたので、お二人にお話しいただいて、休憩に入りたいと思います。

★　今、運営交付金の研究費とかずっと減っていて、教授の教員数は必然的に減ってくるわけですね。ただ、大学というか、恐らく通研全体で見ても、外部資金が増えていますから、そこで雇用している人が増えているわけで、もちろん大学も同じですけれども、研究者自体は減ってないんですね。比率が変わっていて、いわゆる承継職員の比率が減っていって有期雇用の教員とか研究員の数が増えている。それをよしとするか、いやそれはまずいだろうと考えるかは、いろいろ議論があるところで、私の学内でも、それでいいと言われる方もおられますが、私はやはりあまり好ましくないと思います。最後雇い止めのときに揉めたりもして、あまり健全な形ではないだろうと思います。
でも、文科省の予算は非常に巧妙にできていて、最初の頃は本当に運営交付金が減っていたのですが、今は減っていないんですね。減っているのは基盤経費で、あとは概算要求で取り返してくれる。大学として見ると、実は運営交付金は減ってない、でも、人件費に使える基盤経費が減っていて、概算要求で取ってきたひもつきの経費が増える。だから、そこのひもつきの経費のところは、期をまたがると平常化される。例えば新しい研究科をつくる、最初は概算要求でいきますけれども、途中で潰すわけいかないので、期をまたぐとそこはやっていけるので、巧妙にスクラップ・アンド・ビルドをしないと回らないような形の予算の構造になっていますね。
私、9月で退任しましたけれども、各研究会に常勤職員は。何かを取り返そうと思ったら、スクラップ・アンド・ビルドをやらないと、そのうち回らなくなるからと盛んに申し上げてきました。通研では何というか、今からどう逆に増やしていくか、規則のようなものがあるのでしょうか。

☆　ありがとうございます。まさに「何か変わったらお金が取れる」（スクラップ・アンド・ビルド）という予算措置の仕組みになっています。だから、計画を立てなければいけない。概算要求もそんなにちゃんと取れるわけでもありませんし、また概算要求自体も年度ごとの予算が一定ではなく減らされたりする場合もあります。以前は、概算要求を1回取ったら、5～6年間は予算一定ということだったが、今は普通に減らされたりします。そのため、（人材雇用なども）結構な足かせであり安定して研究テーマに取り組むことが結構大変なんです。私はどちらかというと昔のほうの人間なので、ちゃんと安定して人材を雇用し、安心して研究できることこそが一番大事なことなんじゃないかなと感じる面はあるんですが、ただそうも言っていられない。競争的資金ですから、それを回していく中で、自分

たちのほうでしっかり人件費確保を工面しなければならない。例えば、うちはソフトウェアとシステムというのが他の部門と一体化して3部門制にしたんですけれども、ソフトの方はそんなに研究費がかからないんです。一方で、何かシステムをつくるときにはソフトなくてはできない。だから、上手に人事計画をやっていかなければいけない。その意味で、変わった様子（組織改編の提案）を上手に見せてやっていくというのは、引き続き考えていかなければいけない。
おかげさまで概算要求、今年始まったものはあります。これからも、どんどんと球を出していかなければいけない、というふうに思っております。

★　私から2点ほどお伺いさせていただきたいんですけれども、1点目は先ほど触れられたこととかぶるのですが、やはりちょっと助教の数が減っていて、人員構成でいうと平成23年の30人から今年は16人で半分近くになってしまっているということと、やはり高年齢化が進んでいることが気になるんですけれども、なかなかすぐに難しいのかもしれないのですが、やはり学生、これから大学に残ることを目指している学生からすると、博士を取ってもあと10年ぐらいしないと助教になれないのかな、そこから自分で研究室を持てるようになるにはあと何年かかるんだろうというふうに思ってしまうと思うので、仮に助教を急に増やせないとして、博士取ってきちんとふさわしい職位、待遇、それから雇用、雇用期間何か別のポストを用意されているのか、まず一つお伺いしたい。

☆　助教の方が今減っているのは、外部に転出とかという話なんですけれども、その後、またちょっと上の職位で戻ってくる。つまり、助教のときに准教授として転出し、その後、教授にアプライしてくるとかというようなパターンもあります。ですから、その講座の先生が当事者とキャリアパスについて話をしていて、当事者が学外でいろいろなことを経験した上で、適切な時期に戻そうと手配したという事例もあるようですので、ポストが単純に抜けてそのままということではないかなと思っています。良い連携を、つまりその人事異動をした後も連携して、上記のように一緒にやりながらということも結構あるのかなと思っています。ただ、年齢層が少し上がってきているというのは確かに大事な視点でして、この辺はもう少し丁寧に見ていかなければいけないかなというので、ドクターを取ってすぐにという話は、それは引き続き検討はしているんですけれども、今後の課題として考えていきたいと思っています。

★　あとじゃあもう1点、先ほど教員のダイバーシティを上げるには、事務組織も含めてというご指摘があったんですけれども、ちょっとこれはうちでも結構悩ましい問題なのですが、外国人の比率を本気で上げようとすると、今恐らく教授会等を日本語でやられていて、大学の規定とかももろもろ日本語で書かれているかと思います。本気で上げようとすると、そういうのを英語化していかなければならないのかなと思うのですが、その点はどう考えられているでしょうか。

☆　ええ、そうなるんだろうなと思っています。今すぐに採用はといったら難しいですけれども、これから国際卓越になって多分英語化の要求が増えてくると、いやいやちょっと待てよという話になるので、英語化の話しは進んでくることになる。それを覚悟して今から準備しなければいけない。事務職員はTOEIC試験を皆さん受けていますので、英語化に慣れていただくということを今練習しているというところでございます。

直近でいうと、すぐに開こうとしたらまず翻訳つけてやっていくというのが、まず一番単純かもしれませんし、資料自体はもうかなり今英語と日本語併記でというのがいろいろ出ていますね。だから、いろいろな（グーグルフォームなど）書類を英語版の形につくり変えていますので、大学全体でそういう雰囲気にはなってきてるのかなと思います。

★　ありがとうございました。
ここで一旦休憩に入りたいと思います。ちょっと押していますので3時10分に再開ということで、後半の意見交換のときはオンラインの方からまず入りたいと思いますので、ぜひ皆さん手を挙げていただければと思います。
それでは、休憩に入ります。よろしくお願いします。

（休憩）

引き続き、佐藤副所長、北村副所長、羽生所長から、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）課題と取組について
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、また意見交換に移りたいと思います。
先ほど申し上げましたけれども、まずはオンラインの方からコメントとか質問とかあればいただきたいと思いますので、ある方は手を挙げていただければと思います。いかがでしょうか。お願いします。

★　チャットのほうにも書かせていただきましたが、2点ありまして、1つは先ほどの前半の課題のところにも関連しますけれども、いわゆる国際卓越のそういった資金が入るということによって、これはやはり長期的なビジョンに基づくようなものであるとか、いろいろなものが大胆にできるというのが非常に有効だと思われます。もう少し具体的なところで、いろいろな数値的な目標がたくさんあって、それに振り回されたらよくないと思うのですが、やはり期待される部分ではどういった項目がこれまでのご努力に加えて、そういった長期ビジョンに基づくような資金が来ることによって期待されるのか、あるいはちょっと大変だなという点で、ここはかなり努力しないといけないなという項目について、お聞かせ願いたいというのが前半に関わる質問です。

☆　ありがとうございます。
まずは大学ファンドがまだ取れていませんし、今ちょうどアドバイザリーボードからご指導・ご助言をいただきながら、どんな約束事になるかというのを今調整中でございます。ただ、いわゆる研究力でいうと、倍増ぐらいになりますという宣言をしています。それが「そんなに要らないよ」ということはならないので、そういう約束になるということでございます。我々研究所としては、そういった様々な厳しい条件はあるものの、大学ファンドはチャンスでもありますので、ぜひしっかりやっていきたいと思っております。部局では

（例えば通研では）「じゃあ、こうしてね」という話はまだ何もいただいてないです。ただ、数値的には幾つか非常に大きな約束をしているということがあります。もう一つは、25年後にそういう姿になっているという当初の話に対して、「いや25年も待てないからもっと早く達成してよ」と言われているようなので、そんな話しは聞いてないなと思っています。今後どういうふうになるか分かりませんけれども、今（ボード側と）折衝中です。1月以降に重要なミーティング、アドバイザリーボードのやり取りがあるようです。
応援団ばかりではなく、ネガティブな声もたくさんあるというふうに伺っておりますので、その中でどうなるかというのはまだまだ分からないということでございます。

★　なるほど。繰返しになりますけれども、やはり長期的なビジョンという大胆な施策とともに、既にもうご発言ありましたけれども、やはり大学としての着実なというのでしょうか、そういったところもしっかりとサポートして、されるようなことがあるといいなと期待しております。

☆　当然ですが、外部資金だけ取ってくるというのは大学本来の使命ではありません。教育と研究とをセットで考えること、加えて大学の（経済面での）自立ということになります。そういう意味で、外部資金だけで大学運営ができるというのは一つの形であり、海外の大学のようになるという形（それがいいかどうかの論点は別にして）でやっていきましょうということだと思います。

★　分かりました。もう1点、後半のほうの共共拠点に関わるところなのですが、これは実は昨年のこの会議でも質問し、お願いしたのですが、やはり通研というのはこの電子通信技術を代表とするような日本、世界に冠する研究所であるので、ぜひ関連した海外の類似のところというか、それも幾つか、どれがいいのか分かりませんけれども、中国の上海の応用物理研もありますし、それらのところといろいろな意味で比較していただけると、強みもより際立ちますし、且ついろいろな意味で今後の改善点を含めてというのが明瞭になると思うのですが、何か具体的に今想定されているなり、思いつかれる数字で比較事例というのはあるのでしょうか。

☆　既に、海外の研究・教育拠点と連携しているところ（先ほど先生からご指摘いただいたところを含めて）があります。加えて、国際卓越といったら「本当に海外の先生方を呼べるのか」と（ボード側から）問われ（つまりそれは「一緒に研究をやれる体制になれるのか」という質問を頂き）この間、本所所属の先生から連携できる可能性のある著名な海外の研究者のリストを出して頂いたところ、たしか20数件ぐらいのコネクションがありますよということでした。そういうところに先生方が積極的にアプローチしていただくと本所へ招へいできると思います。例えば、該当する海外著名研究者自身が結構な年齢だから、なかなか来てくれないんじゃないかと懸念する先生もいらっしゃいますが、その先生は「クロアポでも大丈夫です」とか、また、「（同じ研究チームの）若手研究者を呼んで頂いても大丈夫です」とかの対応が考えられます。そういう意味でも、ちゃんと国際卓越にて給与水準が国際的レベルで保証されていれば、じゃあ日本に行ってみようかなという話になります。その辺は、大学本部で、国際卓越のほうで対応できますという話でした。
ですから、そういう取組概要を、我々がデータとして持っていれば、向こう（招へい対象となる海外研究者）に具体的な内容が提示できます。その上で、どうしますかという交渉

話ができ、先方がじゃあちょっと行ってみようかなとかいう話へ展開できます。ただ、今の標準的な日本の大学教員の制度だと、全然給与的に見合わないので、その壁は、国際卓越制度の施行で、もしかしたら取れるかもしれないと思っています。

★　ありがとうございます。

★　ありがとうございます。それでは、お願いします。

★　先ほどユニバーシティ・リサーチ・リードのお話いただいて、実際に動き出しているということですばらしいなと思いました。あとその教員のインセンティブに関しても前半でお話ありまして、取組としてはすばらしいと思っております。
一方で、昨年もちょっと議論が何件かあったと思うのですが、若手研究者の少し手前の研究者の卵といいますか、博士課程の進学学生に関しても半数が外国人、中国人を中心とした人たちということで、日本人学生をどう博士に進学させるかという一種の未来への投資という意味での試みというか、その辺の通研独自の取組といいますか、なかなかこれは通研だけの問題ではなくて社会全体の問題で、修士卒業して3年たったときの給与が、博士を卒業した給与よりもよくなるというような状況では、なかなか博士イコール幸福という構図は描きにくい今の日本の世の中になっていると思うのですが、その辺に対して通研として何か試み、インセンティブとか、博士進学のモチベーションを上げる何か試みというのは、お考えはありますでしょうか。

☆　ありがとうございます。
まずは先生のご認識どおりでして、ドクターを取ってもそんなに給料が変わらないです。マスター修了後に就職した3年目と同じくらいの給与で、ドクター修了者の給与がスタートなんだと言われてしまうと、特に強いモチベーションがないと学生から言われると、我々も痛いところです。それに対して外国人留学生は、例えばうちでドクターを取りポスドクとして雇用していた子が、台湾TSMCへ転職すると、もう楽々3倍強もらえますという話になります。つまり、400万円ぐらいだったのが、海外企業だと1，200万円からスタートですと聞くと、それはそれで幸せでいいねというふうに終わっちゃうんですね。
ただ、我々は今、ドクター在籍時から親のすねをかじるのもちょっと大変だなという状況への対処を取り組んでいます。これは、ドクターコース学生に対する経済的支援として、本学電気系では卓越大学院制度を走らせています。これは、給与として渡し切りの奨学金（これが本来の奨学金ですが）を受け取れることと、それ以外にも文科省からの支援をいただいていて、ドクターコース学生はほぼ全員お金がかからない（給与がもらえますよ）ということです。だから、お金が無いからドクターへ行けないという学生は多分いなくなっているという状況であり、これはいい傾向だと思います。
ただ、根本な「ドクター号を取ったってどんなインセンティブがあるんだ」という点は、日本全体で本当は考えていかなければいけないかもしれない。ただ、ドクター号を持っている研究者が海外へ行けるという話、研究者はドクター号を持っているべきなんだよという話から説明をし、だからドクター号の取得は大事なんだと諭す。私が学生時代に、ある企業にマスターのときに見学に行ったときに、そこで言われたのは「うち（企業）には2種類の人しかいない」とのこと。研究者か営業か、それでどっちをやりたいかと言われたんです。「やはり研究者ですかね、営業も嫌いじゃないけど」と回答すると、企業の方から

は「研究者は全員ドクターを取ってもらいます」と当時は宣言されましたので、それでドクターコースへ行こうかなと思い直しましたね。だから、給与以外の価値を見いだしていければいいかなと思っています。もちろん、給与面もしっかり差異がある点が本質かなと思っております。以上です。

★　ありがとうございました。
あと今の関連で言うのですが、海外競争力というか、日本の競争力低下というのがよく言われているのですが、海外に進出していく、それこそPh. D. から海外の大学に行くとか、あるいは海外のインターンを経験するとか、そういう学生がなかなか日本には少ない現状があって、そこら辺もう少し言うと、例えばカンファレンスの座長ぐらいを日本人がもうちょっとたくさん務めるぐらいのレベルにできたらいいなと僕は常日頃思っているのですが、そういう方向に向けた、もちろん現状研究者として、現状教員としている人たちが活躍して成果を残すということをもちろん支援することは重要なのですが、もっと若手の、博士課程の学生あるいはその前の学生たちのモチベーションを上げて、そういう国際競争力を高めるような何か仕組みというのは、何かお考えでしょうか。

☆　1つは、若手の海外派遣を研究所で支援しています。大学でも支援しております。先ほどの例えば卓越大学院というプログラムでは、まさに武者修行ということで海外企業等にて研修することが必須です。例えばインターンシップで3か月以上とか、半年以上行ってくださいとかという経験を、このプログラムとして組んでおります。
また、研究室独自の予算で支援する形もあります。今は、研究所でもサポートする制度を実施していますけれども、研究室独自でも、海外研究機関等へ送り込む取組をしています。私の研究室でも、結構な数の学生を送り込んでいます。海外留学のマインドがある学生を、教員と一緒に連れていって、そのまま海外研究機関へ置いていって、何か月か置いた後にまた拾ってくるという形です。また、海外研究機関での研究成果を、海外の研究者含めた関係者みんなで確認するという取組を、ドクターの学生には経験させています。そういう取組を進めると、学生の方もそういうマインドに少しずつなってくるかなと感じています。
国内で英会話スクールへ行っているよりも、海外に行ってポツンといた方が結構英語の語学力は向上するんですよ。生活に関係しますのでね。英語をしゃべれないと、ちゃんとおいしいものが食べれないとか。危険な地域では危ないので避けるべきですけれども、英語圏の安全な地域に送り込んで、研究と語学力強化を兼ねた教育ですね、あとそういったマインドを育てたいなというふうに進めているというところでございます。

★　ありがとうございました。

★　それでは、お願いします。

★　大阪大学は、今日いろいろお話を聞かせていただいて、東北大学と非常によく似ているシステム、タイプの大学だなと思っているのですが、外部資金等々とか、今日ちょっと話があった共創研究ですか、大阪大学も結構たくさん作ってきて、共同研究講座も東北大学にはあると思うんですけれども、その中で見てると、やはり人件費がどんどん減っているので教員が減っているというところです。今どこの研究室も助教クラスの人がもう激

務になっていて、、学生の面倒を見るだけでも結構大変で、それを見て学生が大学に残りたくないということでドクターになかなか進学しないという悪循環になってきています。優秀な人も修士で、下手したら最近は4年生でもう卒業してしまう人、就職してしまう人も結構いるぐらいで、その中で今阪大のほうでも取り組んでいるのですが、やはり共同研究所とか共同研究講座に有期の職員をどんどん増やして、学生もそちらで面倒を見てもらうということを結構やってきています。今年から共同研究所は正式に大学院の配属もするようなところも出てきて、有期の教員はいるのですが、正規の教員をやっぱり潤滑に回すためにも、せっかくの共同資金、潤沢に取ってきているので、そういうような教育のほうにも利用するような制度というのがあればいいのかなと、ちょっと今日聞いていて思いました。

大阪大学のほうもそういう制度を今つくり始めて、まだ上手に回っていると思えないのですけれども、学生も結構共同研究所で研究し始めているので、そのように分散して、少ない教員で十分自分の研究時間も取れるような工夫というのがあればいいのかなと思って聞いていたんですけれども、そのような何かシステムというのはお考えなんですか。

☆　ありがとうございます。阪大様とはいつもいろいろなスコアで、ああここ負けたとか、ここは何とかなったかなとかいう話で、非常に勉強させていただいているところでございます。

今お話しいただいたような、確かに有給でスタッフをちゃんと雇えるというのは、我々も考えていかなければいけないことだと思っております。共創研究所の企業から出していただくお金の中には、例えば知的貢献費というのを組んで良いという仕組みがありますので、先ほどのインセンティブとして、忙しい先生には、給与以外にプラスアルファさせることができます。そうすると、単に忙しいだけの世界から、アルバイト的な側面もあるかもしれません。だから、忙しい先生は忙しいなりにちゃんと手当がつけられるというようなことも踏まえることで、つまり教員のモチベーションを維持していく形で進めていこうと思っております。いろいろまたぜひご相談しながらというので、よろしくお願いいたします。

★　大阪大学の場合は共同研究講座も共同研究所もどちらかというと企業主体、一部はやはり形上、責任者がメンターの先生がいるのですけれども、企業主体で動いていて、企業の有期職員です。ものすごく教育熱心な人が結構たくさんいます。ですから、すごく学生の面倒を見てくれて、そういう人がたくさんいるので、あくまでも有期職員ですけれども、それを利用しながらやっぱり正規職員の人の研究時間を取れるようなシステムができればいいかなと思っています。

☆　ありがとうございます。例えば、共創研究所については、会社からお金を出してもらいます。そのお金は、その共創研究所に「東北大のスタッフ」として着任される企業の方の給与が当てられる。だから、企業が出したお金から出すんですよ。

★　結局、講座とか研究所なので、一応形上は大学が給料として払っているのですけれども、出元はその企業なんです。

☆　そうですね。そこはうちも同じです。そういう意味では、会社の人間に会社が実質的に

給与を払い、会社の事業にうまく展開していくという形で、会社としてしっかり儲けることを続けていること。プラスアルファで教育もしてもらえるので、大学としても非常にありがたいという形は、我々もその仕組みは踏襲しているというところですね。

★　ありがとうございます。私もNECの時に大阪大学の共同研究所に関わったのですが、大分学ぶところあると思いますので、一度具体的にお話しされたらいいかなというふうに思います。

★　ありがとうございます。ちょうど大学全体でいうと、共創研究所が丁度20件、直近が確かNEC様でしたので、締結できましたということで今進んでいるところです。

★　それでは、オンラインの方もあれば、また手を挙げていただければと思います。これからはどなたでも結構ですので、ご意見とかご質問があれば。
では、お願いします。

★　文理融合という言葉が幾つかございました。私の技研でも技術だけではなくて、やっぱりコンテンツをつくる、もしくはコンテンツを評価する、それから視聴者の反応を見るといったところでは、NHKにも放送文化研究所というのがありまして、文化と技術で融合した研究、文理融合をやるべきだということで、ここ数年取組んでいます。ただし、やり始めると結構難しいことがたくさん見えてきて、やはり文化が大きく違っていて、特に技術研究所は一つのテーマを複数人でやるんですけれども、人文系の方たちは独立した一人一人の研究だったりして、なかなか形に見える何か文理融合のうまいテーマというのが見つかりにくいところがあります。今回知のフォーラムでメタバースみたいな、結局どちらかの研究にちょっと参加してもらう、技術が参加すると何かデータサイエンスのところだけ期待されていたり、何か真の融合したテーマというのを見つけるのがすごく難しいなと感じているんですけれども、東北大学さんで何かうまいテーマが見つかったり、同じような悩みがあったりすれば教えてください。

☆　では、私から。81ページに載せていただいています。サイバー＆リアルICT学際融合研究センターを立ち上げて、ここで学際融合研究しているということになっています。ちょっとその例をご紹介しますと、ここでは非言語情報通信で開く豊かなコミュニケーションということで、未来のコミュニケーションのためには非言語情報をノンバーバル情報をうまく伝えるという仕組みを何か整える必要があるということで、ノンバーバルな非言語情報のまずサイエンスをして、それがどんなものかというのを理解する、それは後にうまく伝送するという、認識、それから生成、認識AIと生成AIということになるのでしょうが、そういうものをつくっていこうというのが、ちょっと長めの目標にしています。
そこでは、非言語情報の科学、それをサイエンスするのは心理学とか社会心理学とか、そういったところの方々と今来ていただいて一緒に仕事をしています。実際には、この写真のようにモーションデータ、モーションキャプチャーで取ったデータを解析しながら、心理学的な知見とそれからデータサイエンス的な知見とを組み合わせながら、いろいろ試行錯誤していると、AI、データを解析するAIをつくっていこうということをやっているので、どちらかというと心理学の方々ももともとは一人でやられる方が多いのですけれども、ここに来ていただくとそういう工学的なグループとして仕事をしていただくという体

制の中でやっています。一応電気通信研究所ということで、うまくやっているかなと思います。成果が本当に出るのはもうちょっと先かもしれませんけが、そういうスタイルでやっています。

☆　AIというふうに考えると、いろいろなところと融合しやすくなる。ツールとしてAIを使うとか、分析ツールとして使うとか，など。例えば我々でいうと、人間性豊かなコミュニケーションにおいて「豊かさ」をどうやって表すかという課題の解決には、文系的な感性をしっかり融合していくという「本質」がそこにあって、そのためのツールはいろいろ準備できますよという形があるのかなと思っています。まさにその本質をちゃんと触りながらということになるのかなと思っています。

★　社会課題について文理で話をするという観点でいうと、フランスとかを見ると、やっぱり日本は全然遅れているという感じがしていて、正に言われたとおりで、そこで一緒にやりましょうという話になっているのですけれども、もうちょっと本質的な問題を議論する場というのがあまり日本は持てていないと思います。だから、それは通研で解けるかという問題はあるのですけれども、ちょっと考えなきゃいけないということかと思います。
私が過去にやった感じで言うと、一人でやるかどうかというのもあるのですが、、時間軸も違うと思います。それを合わせるには、多分何年かずっとやっていって、言葉が共通言語になる努力をしないと中々いかないなと思っていて、やはり文理融合っていろいろなところで言われているのですけれども、本当に腰を据えてやっているというのはまだまだ少ないんじゃないかなと思っていて、だからその先端事例がここから出てくるとすごくいいかなと思いながら聞いていました。

★　今の文理融合にもつながるかもしれませんけれども、共創研究所のところ大変興味深い取組だなと思いながら聞かせていただきました。弊社も今東北大学ではなくて申し訳ないのですけれども、会社としては組織連携型、いわゆる1件の何かテーマを決めての共研というのを割と組織同士で連携をして、いろいろな取組をやっていきましょうということを始めています。そのときに企業側から見た大きなメリットは、私どものようににメーカー企業であると自然科学系の先生とは割とつながりやすいのですけれども、やはり人文科学であったり社会科学の先生となかなかつながらないんですね。そこは、こういう組織連携型の共同研究というのはすごいメリットがあるなと思っています。
何か新事業を起こそうと思ったときに、それは経済学的に見たらどうなんだとか、あるいは法的にこれはやっていいのかとかというのが全然分からないんですね。そういうところを相談できるだけでも、物すごくメリットがあるかなと思いながら聞いていました。
一方で、こういう共同研究的なことをやっていくと、企業側が感じる大きなリスクの一つに、大学の側の先生方、先生によっても大分違うのでしょうけれども、いわゆるサイバーセキュリティーに関する意識が大分企業と違うんですね。今、弊社もそうですし、多分NECさんも東芝さんもそうだと思いますけれども、サイバー攻撃に対する意識で物すごく企業はぴりぴりしている状況です。それがいろいろなところで、今のご時世ですから共同研究を進めていこうと思うとネットワークもつなぎたいですし、教授のサーバーも置きたいです、となってくると、全然違ってなかなかうまくいかないというケースも出てくるかと思いますので、ぜひその辺は意識されながら進めていかれるといいかなと思いました。

☆　ありがとうございます。
まず、セキュリティに関して、我々も年2回ぐらいのトレーニング（フィッシングメール対策のトレーニング）とかを実施していますが、まだ強化していかなければいけないかなと思っております。
加えて、共創研究所というのは、共同研究とは少し違っており、共同研究を始めるための枠組みです。共創研究所に入っていただくと、具体的なテーマというのは実は幅広で良くて、その活動を通じて「どうもこれは研究ネタになりそうだな」と思ったら、別建てで「その共同研究を、何年やりましょう」という話に展開してくださいということなので、つまり研究ネタ探しの場なんです。そういう意味では、幅広くアプローチしつつ、当然ながら秘密保持も含めたセキュアな情報管理していくということをセットで提供していくことかなと考えておりますので、セキュアな仕組みの構築については引き続き努力をしていきたいと思っております。

★　ありがとうございます。

★　人材育成のことをちょっとお話ししたいんですが、先ほど半導体を東北でもというお話ありましたが、九州地区も含め、半導体人材が不足しているというところで、一般的にはものづくりということで実際にデバイスを作れる人や、あとはその周辺の機器、プロセス開発、ですけれども、この間ソニーの方が言っていたのは、実は半導体を使う人材育成も実は半導体育成だというところで、先ほど教育の中に文理融合を入れるというのが多分そのあたりのお話しだと思うんですけれども、それに関することがもし何かありましたらお話しいただければ。

☆　我々のところではナノスピンでやっていますけれども、社会人向けに半導体の基礎講座というのをやっています。これは地元企業の方に対しても、半導体というものがどういうものかとか、どうやってつくるのかということを教えるようなものをやっておりまして、それは本学で進めているエックスニクスというのですけれども、そこでの半導体人材の育成の中のプログラムとしてこれから組み込まれようとしております。
それで、つくる面ではいろいろ貢献をしているのですが、今ご指摘いただいたような使う立場の考え方というのは、まだあまりありません。そういうことを前の所長からは、そういったことも含めてやりなさいということで課題として上がっていたのですが、まだ実現はできていないので、ぜひ考えていきたいと思います。ありがとうございます。

★　1つちょっとお伺いしたいのですけれども、クロスアポイントメントを何名かされて、外国の先生もされているということですけれども、我々の研究所の事例だと、クロアポというのは非常にいい制度なのですけれども、一方で教員に比較的オーバーロードがかかると。やはりコンプライアンス上、業務は向こうとこっちとで分かれて、それぞれに対してかなりのエフォートを割かなければいけない。そういう形で本当にパワーがある先生でも、大変だ、というふうに言っているのですけれども、先生のところで若い先生もされていたりしますが、その辺の課題というのはまだ顕在化はしてないでしょうか。
逆にうまく回せるような業務分けとか、先ほど教員のいろいろな業務負担の軽減というのもありましたけれども、そことの兼ね合いとか、何かお知恵があればと教えてください。

☆　実際、今先生ご指摘のように、クロアポは「エフォートが50：50」と言っておきながら、実際には仕事が倍ぐらいになっている状況であり、エフォート50かもしれないけれども、仕事量は倍ですよというのは、確かに大きな問題かなと思っています。具体的に言うと、うちだとURAは今本部でもう引っ張りだこなので、通研で雇用しているんですけれども、今「50：50」で本部と契約しています。本部としては「もう1か所ぐらい（RMCを想定）にエフォートを割いて頂く必要がある」との希望があり、「エフォートを3つに分けてほしい」と要請しています。しかし、これを進めると、今の3倍ぐらい仕事量がURAに降りかかってしまうこととなり、大変申し訳ないという状況と思っています。その辺は、何かAIタイマーみたいなもので「仕事のし過ぎだよ」とアラームが自動的に出るなど、何か実質的な対策を打つ必要があると考えていいます。
上記の仕組みはまだできていないので、今後はインタビューし、状況を把握した上で、その人に応じた対策を打っていく。こちらでちゃんとウォッチしていないと、本人からなかなか言いにくいかもしれませんし。教員に関しては、今のところは、クロアポで10％ぐらいのエフォートであり、これであれば月1回ぐらいの負担なので、それほど大きな問題となっていません。エフォートが50とかなってくると、急に仕事が倍増してくるのかなというふうに思っております。

★　我々も結局いつもそこについて、結局はやはりパフォーマンスある人材を育成して、そこに行くとお金の問題にいつも行き着いてしまうのですけれども、やはりそういう方というのは非常に仕事ができる方が多いので、そういうところにサポートに入る人をつけて育成するような、要は人材の増強ということになるのですが、我々もそういうことをちょっと考えなくちゃいけないねという議論を今始めているところです。ありがとうございました。

☆　加えて、本当にその方が良いのであれば、お金（給与）を出すことでしょうね。そうすると、その方もまあこれぐらいもらっていればしようがないかと思える、まあまあいいのかなと感じてもらえる、かと思えるので、そこら辺が落としどころかなと思っています。

★　すみません、文理融合の研究のほうに戻したいのですけれども、サイバー＆リアルICT学際融合研究センターというのは、これはどれぐらいの規模で、また今教員の方の数が減っている中で、これはどのような計画で進めていこうと思っていらっしゃるのかというのを教えていただけますか。

☆　今年度から概算要求を認めていただいて立ち上がった研究センターです。今のところ、学内の現任の先生を含めて24人ぐらいの体制で進めています。今のところ、順次公募を出して雇用も特任助教や特任准教授の方に来ていただいていますけれども、今のところ4、5人ぐらいというところです。それがこういうグループに分かれて、研究していただいています。

☆　予算でいうと、教授2名枠ですよね。

☆　はい。

☆　それだけついています。人件費として。

★　なるほど。非常にこの多彩な人を集めるのはものすごく難しいと感じているのですけれども、そのあたりはどのように工夫されているのですか。

☆　そうですね、公募の文書もあまり特定しないような文章にして、こういう何か夢っぽいことを実現しようよ的な感じにしたつもりなんですけれども、ちょっとそこはうまくできているかどうかは分かりません。具体的なこのテーマをとかという話はせずに公募していました。

★　分かりました。あともう一つ、給与体系で非常にお給料の高い国際卓越について、それは若い方にも適用できるのでしょうか。

☆　はい、そのとおりです。

★　そうすると、先ほどの助教の方のお給料が低くなりがちとか、博士を取ってからのお給料がそんなに高くないから博士に対する夢がないみたいな話もあったのですけれども、そういう方に対して高給を出すことが可能ですか。

☆　はい、パフォーマンスが示せれば、その方にはポスドクでも高給を出す。「海外の優秀なポスドクを呼ぼうと思ったら1，500万円は必要だよね」という話は本部で理解しているので、新しい人事トラックをつくりますという話をしていました。それはもう現状の教授給与を超えてますよね。

★　本当に今人材流出がもう日本中で大きな問題になっていると思う。そういう、特にAI関係は本当にすごく、もう外に出たらすぐ3倍になるという先ほどの話もあると思うんですけれども、やはりそこを何とかやるためにいろいろな組織がこういう今後のそういう仕組みをつくっていると思うのですけれども、ぜひ若い方にどんどん、日本の若い方に適用していただければというふうに思っています。

★　若手教員のインセンティブというか支援についての質問なのですが、先ほどのネットワークの形成のお話しのところで、本学附置研若手アンサンブルプロジェクトとあるのですが、その具体的なお話で、私のイメージとしては共同研究未満で、学会で仲間と研究するもの以上のもので、何か具体的な形をつくるものを学内で、東北大学内でやるものだと理解したのですが、もう少し詳しく教えていただけますでしょうか。

☆　研究チームづくりという視点について、若手ですと研究室関係だけでしか研究チームをつくれないという状況のときに、ほかの仕組みで附置研以外の部局の方も入った形で提案してくださいというのがあります。人的ネットワークを広げ、そこで連携して研究をやるという形の支援。これがきっかけになって、じゃあもうちょっと大きなお金を取りにいこうかという話になるという仕組みです。
学内限定にて現在実施しておりますが、例えば途中で教員が異動になっちゃったら、その異動が急な話しでやむを得ない状況であれば、学外でも続けて良いとしています。人

的ネットワーク（人の輪）が無いとなかなか研究は広がらないので、そういう癖をつけていただく目的で進めています。
または面白いのは、若手の提案をどうやって評価するかというところです。若手からの提案は今後どう広がるか分かりませんので優劣が付けにくいため、選考は「くじ引き」で決めています。つまり、採択件数を何件と決めて、あとはくじ引きをするということです。くじ運が強い人は、引き（研究の成功への導き）も強いんじゃないかという思いも含めた取組です。提案内容は、フォーマット（書式）が合っていればOKで、あとはくじ引きで選考する。外れた提案が連続して外れているとかいうクレームが出たりしますけれども、とにかく人的ネットワークづくりを推奨しています。

★　なかなか新しい取組で、斬新なそういう手法を取られるというのは本当にいいかなと思います。やはり学内からどんどん広げてということで、出た若手研究者の方というのもいらっしゃると思うのですけれども、逆にそのうち盛り上がってきたら近くのスタートアップだとか、例えば工学部の若手の学生を巻き込んで、手足というと言い方悪いかもしれないですが、使うとか、場合によっては高専とかでもかなり、特に情報工学系だとあまりそこら辺のスキルとかデバイス分野とは違って、やはり結構フラットな世界もあると思いますので、そういう人にいろいろ新しい共創領域を手伝ってもらうというのでしょうか、その人たちが入ってくればいいですけれども、入らなくても今リーダーシップを持っている若手教員の方が非常に大きな人的パフォーマンスを、コストだけじゃなくて得られれば、通研の名前を使ってそれができるということであれば、非常に面白いことができるんじゃないかと思います。
最近、特に高専との接続ということで、いろいろ議論されていますけれども、特に情報工学系だと非常に高専の重要性が増してきているので、それをどううまく使って、できれば大学院できちんと英語を勉強させて、そちらにつなげていくとか、そういうやり方も将来的には育成というか、東北大学の通研を愛してもらうという人を育てていくということも大事なんじゃないかなと思いました。外部獲得も重要だとは思うのですけれども、ちょっとそういうふうに感じたので、ちょっとコメントさせていただいた次第です。

☆　ありがとうございます。
今、スタートアップを大学本部で支援する仕組みがあって、かなり多く提案があり、伸びておりますという説明がありました。そういう仕組みへの応募に、我々も背中を押してあげ、こういう成功例がありますよと示していく。在学生からの提案があって、それが採用されて会社（ベンチャー）をつくっているという話も今大学で随分出てきております。そういうマインドのある学生の背中を押してあげるという仕組みに今なってきてます。

★　少し関連することで、後半で部門構成の議論という話があって、一番最初に研究力と社会課題解決の両立というお話があって、ちょっと皆さんに問題提起なんですけれども、昔からこういうことが言われていて、例えば法隆寺を造りますというときに、こっち側に宮大工とか左官の人とかいますと。これが研究力ですよね、それぞれのチームの研究力で、法隆寺を建てるというのはある意味プロジェクトで、今の議論もみんなそういうふうになっていると思うのですけれども、ですから通研の中で本当に強い、育成する技術は何というのが研究力で、今までは先ほど垂直統合で解きますとおっしゃったのですけれども、法隆寺を造ったり、社会課題を解決するのは、もう今や1機関ではできませんと。人文社

会の融合も必要ですと。ですから、そっちはいろいろな仕組み、プロジェクト創生の仕組みがこっちにあって、縦横の議論が多分必要なんじゃないかというふうに思っています。そう思ったときに、先ほどの部門構成とか何かという議論は、通研の中の議論で、自分で全部解いちゃおうと言っているように見えかねないということですから、研究をやるものは何で、外とつなげるのは何で、その両方ができているから具体的にはこういう課題が解けてますというようなイメージができると、それが部門構成の原点じゃないかなと思いながら、ずっと聞いていました。皆さんにもそういう観点で、何かこれからの大学の在り方とか、そういうことを考えるときに、何かそんな議論をしてみたらいいかなと思ったので、意見として言わせていただいて、皆さんから何かあれば出していただければと思います。

☆　私から1点だけ。そういう意味では、先ほど委員長からもご指摘あったように、こういう技術がこういうふうに役立つんじゃないかという技術の橋渡しができる方、URAのような形で目利きが利く方がいらっしゃると（つまり、お見合いの仲人みたいな形の方がいらっしゃると）、通研だけで閉じずに、これとあとこの辺とを連携するといいんじゃないかという話が、どんどん進むのかなと思います。
また、PIという形で度国際卓越では構想を示しているので、PIがどんな研究チームをつくるかという課題に対して、この辺と組んでこうやるのはどうかというアドバイスになるので、提案の企画力と推進の加速化につながるのかなと思っています。そんなことを我々としてもサポートしていきたいなと思っています。

★　データに基づくと、データって過去じゃないですか。だけど、ビジョンは未来ですよね。そうすると、じゃ未来を考えるのがどこかといったときに、URAではないんじゃないかなと思うんですけれども、そこをどこが担うのかとか、どうやってつくり上げるのかということなのかなと。すごい難しい問題なんですけれども。いかがでしょうか。

☆　通研では将来計画委員会があり、また電気系と連携した将来構想委員会があり、それらの委員会にて、電気情報系は今後どんな方向に進むといいんだろうかという話合いをしています。そんなに頻繁には開催できませんが、それらの機会を通じて、危機感を共有しています。特に、通研関連の話としては、将来はこんなに人が替わってしまうため、その点はまさにビジョン（論点）です。こんな世界感が大事なんじゃないか、どんなプロモーションをしたらいいだろうか、などの論点をしっかりフラットに考えている。
また、若手教員を中心としたワーキンググループをつくってもらって、通研で今いろいろ足かせになっているような仕組みを見直してもらっています。ここを少し打破すると、こういう流動性ができるんだというところは、今若手じゃない、退職間際の先生だと我田引水になる懸念もあり困ります。自分たちの将来像として、こういう仕組みがあったらいいんじゃないかという点など考えてもらい、将来ビジョンを見据えた形で考えてもらっています。
研究活動も忙しいしということで、なかなかそんな時間は取りにくいんですけれども、その種の意見交換は対面でやっているんですね。普通の教授会は完璧なリモートになっていますけれども、上記のような将来ビジョンに関する意見交換は顔を突き合わせながら、相手がどんな感想を持っているのかを確認できるように、なるべく対面で実施しています。

★　多分今の話は、だから電気系の人たちで将来考えてます、と言ってる気がしていて、そういう時代ではないのかと思っています。20年後、30年後の社会という議論をするときに、それこそまさに文理融合だし、だから委員会で将来社会を描いてます、と言われてしまうと、ちょっと何だかなと思います。しかも、電気系の人たちが集まって将来社会の議論をしています。それはちょっと発想を変えて、やり方を変えないと、自分たちの将来、身の振り方とか何かの将来はいいのですけれども、やっぱり社会がどうなるから自分たち今後こういうことをやらないといけないというのは、やっぱりそこにダイバーシティが絶対必要で、そのためにはどういうメンバーで議論するかというのは、そこはもう一工夫必要だと思いました。

★　今、先生がおっしゃられたとおりだと思いますし、やはりその意味で先ほどから出ているICTセンターでしたでしょうか、それは非常に重要な組織になると思いますし、多様な方、社会のことを一緒に議論できる人を呼んだほうがいいと思うのと、でもそこで女性を呼ぶと、我々いつも忙しくなってしまい、もう本当に何か3倍4倍のエフォートになってしまうのですが、事務局の女性の方も含めて多様な、あと海外の方を含めて、そして様々な分野の方でやっていただいたほうがいいだろうと思うので、ICTセンターなどを中心にやったらいいのではないかと思います。

★　大分議論が盛り上がってきたところで時間になってしまいましたので、現地で参加されている方はこの後もまたいろいろ意見交換ができるので、その際にお話しいただければと思います。オンラインの方で何かこれだけ言っておきたいという方がいらっしゃれば、手を挙げていただければと思いますけれども。大丈夫でしょうか。
それでは、これで意見交換を終わりたいと思います。
それでは事務局にお戻しします。

☆　江村委員長、大変ありがとうございました。また、委員の皆様方から大変貴重なご意見を頂戴いたしました。誠にありがとうございます。
閉会に当たりまして、羽生所長より御礼のご挨拶を申し上げます。

☆　本当に熱心にこういった議論ができるというのも、対面でないとなかなか難しい。オンラインだと横に仕事が積まれているので、気持ちがそっちに行っちゃうと大体1回答えたらまあいいかなという感じになってしまう。対面での出席では、なかなか内職しにくい状況ですので、その分本当に熱心にご議論いただけたと感じています。ありがとうございます。
毎年この協議会を通じて、本所の運営方針等を見直している機会でございますので、今日いただいたコメントをしっかり受け止めて、来年に向けて少しずつ改善を進めたいと思います。また、引き続きどうぞよろしくお願いいたします。
ありがとうございました。

☆　以上をもちまして、運営協議会を閉じさせていただきます。本日、誠にありがとうございました。

資 料 編

第1 人 事

1. 教員

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
教授	23(0)【1】	23(0)【1】	22(0)【1】	21(1)【1】	21(1)【1】
准教授	21(2)【1】	23(2)【1】	19(2)【2】	21(2)【2】	19(2)【1】
講師	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
助教	21(3)【3】	20(3)【4】	19(3)【4】	16(2)【3】	13(2)【2】
特任教授	2(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】	3(0)【0】
特任准教授	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	1(1)【0】	1(1)【0】
特任助教	3(3)【0】	1(1)【0】	4(4)【1】	3(1)【1】	6(1)【2】

※(　)は外国人、【　】は女性で内数

2. 客員外国人教員

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
客員教授	8【0】	0【0】	0【0】	2【0】	1【0】
客員准教授	2【1】	0【0】	0【0】	1【0】	6【0】
計	10【1】	0【0】	0【0】	3【0】	7【0】

※【　】は女性で内数

3. 客員教員

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
客員教授	13(8)【0】	6(1)【0】	7(0)【0】	11(2)【0】	8(1)【1】
客員准教授	3(3)【1】	2(0)【0】	4(0)【0】	4(1)【0】	9(6)【0】
計	16(11)【1】	8(1)【0】	11(0)【0】	15(3)【0】	17(7)【1】

※上記２の客員外国人教員を含む(　)は外国人、【　】は女性で内数

4. 特任研究員・学術研究員

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
特任研究員	－	－	0(0)【0】	5(1)【1】	4(3)【1】
学術研究員	11(5)【0】	8(3)【1】	5(1)【0】	4(0)【1】	5(0)【2】
計	11(5)【0】	8(3)【1】	5(1)【0】	9(1)【2】	9(3)【3】

※雇用契約による研究員、(　)は外国人、【　】は女性で内数
※令和3年度より特任研究員制度が新設された。

5. 各種研究員

（人）

区分		令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５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		4 (2)【0】	3 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	2 (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		10 (0)【0】	10 (0)【0】	10 (0)【0】	9 (0)【0】	15 (0)【0】
日本学術振興会特別研究員		10 (3)【0】	10 (2)【1】	8 (3)【2】	6 (1)【2】	8 (1)【1】
	内訳　PD	0 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (1)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】
	DC	10 (3)【0】	10 (2)【1】	7 (2)【2】	6 (1)【2】	8 (1)【1】
日本学術振興会外国人特別研究員		1 (1)【0】	2 (2)【0】	2 (2)【0】	3 (3)【0】	2 (2)【0】
日本学術振興会外国人招へい研究者		0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (1)【1】	1 (1)【0】
計		26 (6)【0】	26 (4)【0】	22 (5)【2】	21 (5)【3】	29 (4)【1】

※(　)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５年度実績

氏 名	任用期間	研究内容
LEONARDON, Mathieu	R5.5.18～ R5.6.17	アルゴリズム・アーキテクチャ協調設計によるディープラーニングのデータ圧縮に関する研究
WICHER, Andrzej Jerzy	R5.5.22～ R5.6.21	両耳聴による音空間知覚メカニズムに関する研究
WATSON, Benjamin Allen	R5.6.12～ R5.7.14	非言語情報コミュニケーションのための新しいシステムの開発と評価
NACENTA SANCHEZ, Miguel Angel	R5.6.19～ R5.7.20	非言語コミュニケーションのための知覚的入出力デバイス
SPASOJEVIC, Predrag	R5.7.20～ R5.8.31	Massive Connect IoT 志向のゼロオーバヘッド同期無線全二重通信
MANETH, Sebastian	R5.8.18～ R5.9.16	双方向変換言語のための計算モデルとプログラミング言語への応用
KIM, Sungyoung	R6.1.9～ R6.2.9	音情報聴取反応における文化差，および，聴覚の選択的注意に関する研究

7. 学術研究員 ※令和５年度実績

氏 名	任用期間	研究内容
小原 紀子	R5.4.1～ R6.3.31	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材料デバイス技術」
玉越 晃	R5.4.1～ R6.3.31	・NEDO 高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発 「CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理半導体の設計効率化と実証、及び、その応用技術に関する研究開発」 ・革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 「脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発」 ・次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業 「スピントロニクス融合半導体創出拠点」
米田 友洋	R5.4.1～ R6.3.31	・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」 ・寄付金 No.73 「不揮発性デバイスの応用に関する研究」
西野 有	R5.4.1～ R6.3.31	NICT 委託研究事業 「Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け未利用周波数帯活用型の無線通信技術の研究開発」
RYZHII VICTOR	R5.4.1～ R5.9.30	科学研究費助成事業 基盤研究(A) 「グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用」
大西 悠貴	R5.6.1～ R6.3.31	「ウェルビーイングを目指した非言語情報による人間性豊かなコミュニケーションの実現」
LIEN ALIC	R5.12.15～ R6.2.14	「ウェルビーイングを目指した非言語情報による人間性豊かなコミュニケーションの実現」

8. 学振特別研究員

氏 名	任用期間	研究内容
YOON JU YOUNG	R3.4.1～ R6.3.31	反強磁性ワイルセミメタル薄膜のスピン物性と機能性に関する研究
住 拓磨	R3.10.1～ R5.9.30	神経回路網における損傷修復性の in vitro 解析とそのモデル化
服部 祥英	R4.4.1～ R7.3.31	筋筋膜経線の視座から切り拓く四脚ロボットの超効率的全身自由度協調運動の実現
井上 理哲人	R4.4.1～ R7.3.31	複数台ドローンを用いた屋外移動体の多次元情報計測システムの開発
佐藤 まどか	R4.4.1～ R6.3.31	膜内電界制御と機械学習の融合に基づく人工細胞膜機能評価システムの創出
田村 紘一	R5.4.1～ R8.3.31	クーロンドラッグ効果型新原理グラフェン THz マルチモード機能デバイスの創出
内村 友宏	R5.4.1～ R8.3.31	ノンコリニア反強磁性体における微細磁気構造ダイナミクスの解明
佐藤 有弥	R5.4.1～ R7.3.31	多点電極アレイ上の人工神経細胞回路を基盤とする動的予測符号化モデルの実細胞実装

9. 教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

（人）

転出先	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
企業	1	0	1	1	1
通研・教員	4	0	3	0	1
他部局・教員	0	1	0	0	0
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）	0	1	1	0	0
他大学・高専教員	0	0	0	0	1
他大学ポスドク	1	0	0	0	0
国外大学・企業	0	2	3	0	1
帰国	0	0	0	0	1
その他	1	1	1	2	1
転出者計	7	5	9	3	6
在職者数	4	9	3	7	8

※在職者：特任研究員・学術研究員及び日本学術振興会特別研究員（PD）

10. 支援職員

（人）

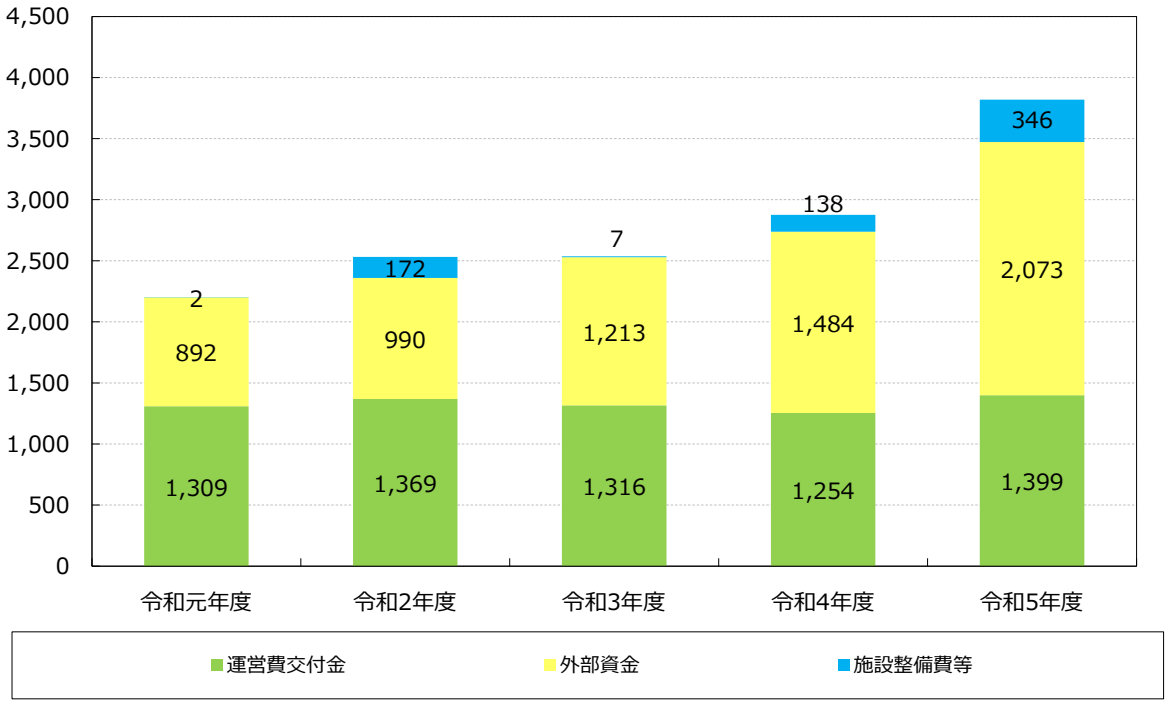
転出先		令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
専任職員	技術職員	15【5】	14【5】	15【6】	14【5】	14【5】
	事務職員	27【19】	28【20】	28【20】	28【19】	26【18】
	再雇用職員	2【1】	2【1】	2【1】	2【1】	1【0】
	計	44【25】	44【26】	45【27】	44【25】	41【23】
非常勤職員	技術職員	17【10】	18【12】	20【10】	24【8】	22【10】
	事務職員	25【22】	26【22】	23【20】	21【18】	25【22】
	計	42【32】	44【34】	43【30】	45【26】	47【32】

※【 】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

1. 電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円

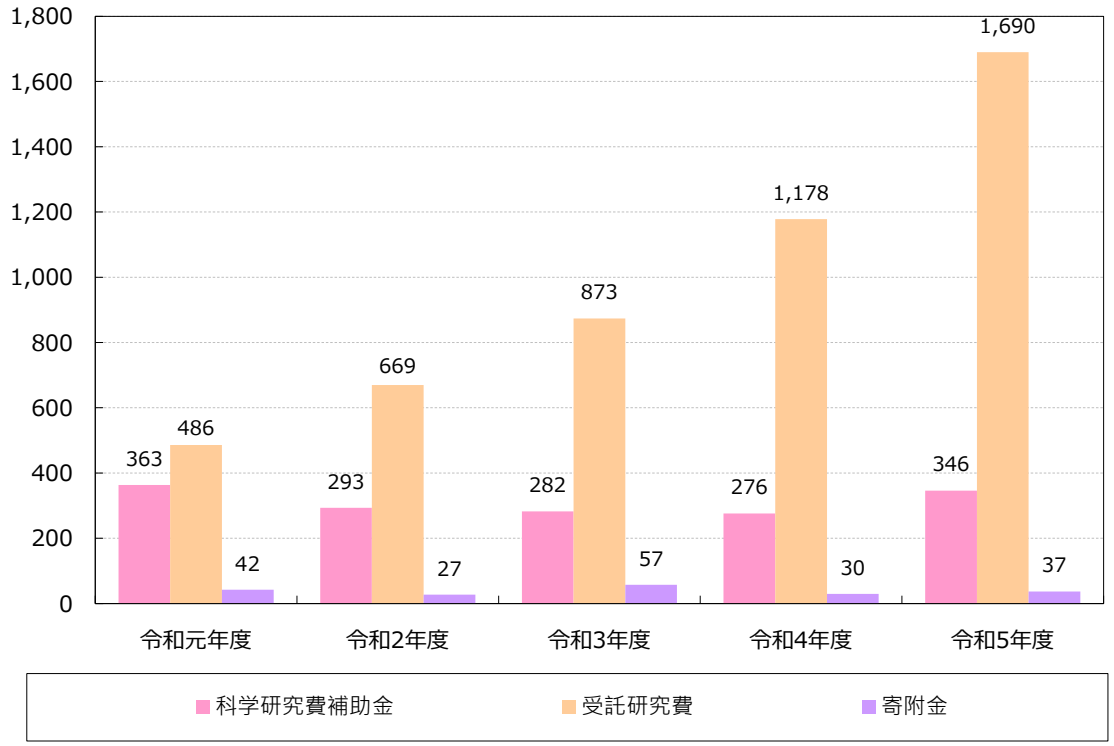


（千円）

予算額内訳		令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
運営費交付金	人件費	742, 128	801,695	744,591	699,851	771,183
	物件費	566,533	567,249	571,737	553,851	628,159
運営費交付金　計		1,308,661	1,368,944	1,316,328	1,253,702	1,399,342
外部資金	科学研究費補助金	363,325	293,404	282,400	276,146	346,119
	受託研究費	486,053	669,454	873,456	1,178,325	1,689,946
	寄附金	42,436	27,200	57,422	29,604	36,742
	(再掲)間接経費	155,852	172,874	234,487	315,346	455,413
外部資金　計		891,814	990,058	1,213,278	1,484,075	2,072,807
施設整備費等	災害復旧経費	1,936	172,477	6,732	20,472	32,956
	移転事業経費	0	0	0	0	0
	施設整備費	0	0	0	117,997	313,203
施設整備費等　計		1,936	172,477	6,732	138,469	346,159
合　計		2,202,411	2,531,479	2,536,338	2,876,246	3,818,308

2. 外部資金受入状況

単位：百万円



（千円）

外部資金内訳	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
科学研究費補助金	363,325	293,404	282,400	276,146	346,119
受託研究費	486,053	669,454	873,456	1,178,325	1,689,946
寄附金	42,436	27,200	57,422	29,604	36,742
合計	891,814	990,058	1,213,278	1,484,075	2,072,807

第3 教 育

1. 学部学生・大学院生

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
学部(４年)	49 (1)【 5】	53 (1)【 6】	60 (0)【 6】	56 (1)【 3】	59 (2)【 5】
大学院前期課程	132 (16)【 7】	141 (17)【 9】	146 (14)【14】	146 (13)【12】	140 (12)【8】
工学研究科	85 (8)【 1】	92 (11)【 4】	96 (9)【 9】	98 (4)【 7】	89 (3)【 2】
医工学研究科	5 (0)【 1】	9 (0)【 1】	8 (0)【 1】	2 (0)【 0】	4 (0)【 0】
情報科学研究科	42 (8)【 5】	40 (6)【 4】	42 (5)【 4】	46 (9)【 5】	47 (9)【 6】
大学院後期課程	30 (8)【 1】	29 (10)【 2】	26 (12)【 4】	28 (15)【 5】	41 (20)【 5】
工学研究科	19 (4)【 0】	17 (6)【 0】	12 (6)【 1】	13 (10)【 1】	25 (14)【 3】
医工学研究科	1 (0)【 0】	2 (0)【 0】	4 (0)【 0】	5 (0)【 1】	7 (0)【 1】
情報科学研究科	10 (4)【 1】	10 (4)【 2】	10 (6)【 3】	10 (5)【 3】	9 (6)【 1】
計	211(25)【13】	223(28)【17】	232(26)【24】	230(29)【20】	240(34)【18】

※( )は外国人、【 】は女性で内数

2. 留学生

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
学部4年	1	1	0	1	1
大学院前期	16	17	13	13	12
大学院後期	8	10	11	14	18
計	25	28	24	28	31
地域別内訳					
①アジア	21	22	22	24	25
②北米	1	1	0	1	1
③中南米	1	2	1	1	1
④ヨーロッパ	2	3	1	2	4
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	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	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
研究所等研究生	9(8)	7(6)	4(4)	6(4)	5(4)
特別訪問研修生	5(5)	0(0)	0(0)	0(0)	5(5)
計	14(13)	7(6)	4(4)	6(4)	10(9)

※（ ）は外国人

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	四脚動物が示す多様な走行様式を発現可能な胴体・脚間協調制御原理に関する研究	浅岡　雄也	石黒　章夫
	軟磁性化した負磁歪材料を用いたバイモルフ型振動発電デバイスの開発に関する研究	阿部　宏恒	石山　和志
	広帯域低振幅振動に対応した振動発電機構に関する研究	上倉　拓郎	石山　和志
	近傍磁界計測によるノイズ伝搬の可視化に関する研究	菅原　祐介	石山　和志
	直交フラックスゲートセンサ方式によるひずみセンサに関する研究	千田　健太	石山　和志
	ヤスデの歩行に内在する脚と胴体の協調制御原理に関する研究	山一　竜光	石黒　章夫
	対人運動技能における競創的学習則に関する研究	山地　聡史	石黒　章夫
通信工学専攻	耐エラー数表現に基づく省エネルギー不揮発ニューラルネットワークの構成	浅野　健	羽生　貴弘
	コヒーレントナイキストパルス伝送の長距離化に関する研究	石川　碧人	廣岡　俊彦
	スピントルク発振器を用いたスパイキング・ニューラルネットワークモデルに関する研究	伊勢　翔	田中　陽一郎
	軽量認証暗号ソフトウェアの実装安全性評価に関する研究	岩佐　大将	本間　尚文
	ストカスティック演算に基づく大規模組合せ最適化問題の高速求解に関する研究	口分田　大芽	羽生　貴弘
	ストリーム暗号ハードウェアの安全性評価に関する研究	小林　蒼一朗	本間　尚文
	書込みエラー訂正機能を有する MTJ ベース不揮発レジスタとその応用に関する研究	酒井　楓	羽生　貴弘
	大規模最適化問題に向けたストカスティック演算に基づくシミュレーテッド量子アニーリング法に関する研究	佐々木　遼真	羽生　貴弘

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
通信工学専攻	28 GHz 帯光･無線融合フルコヒーレント伝送に関する研究	白幡　晃一	廣岡　俊彦
	グラフェンチャネルトランジスタのデバイスプロセス高度化とその高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究	関　宏信	尾辻　泰一
	RFID 部分義歯管理システムに関する研究	髙寺　裕二	末松　憲治
	共通鍵暗号ソフトウェアの深層学習に基づく安全性評価に関する研究	田中　陸真	本間　尚文
	ミリ波 DBF アンテナ用ディジタル RF 送信機のディジタル信号処理実装に関する研究	中村　公紀	末松　憲治
	プラズモニック･テラヘルツ電磁波検出素子の高性能化とその高速テラヘルツ無線通信への応用に関する研究	成田　健一	尾辻　泰一
	高スループット暗号ハードウェアに対するサイドチャネル解析に関する研究	東　哲平	本間　尚文
	InP 系光電子融合ダブルミキサトランジスタの高周波動作化とその光－テラヘルツ周波数下方変換への応用に関する研究	渡邊　光貴	尾辻　泰一
電子工学専攻	トンネルダイオードを利用したニューロン回路の構成とその応用に関する研究	菅家　由佳	佐藤　茂雄
	ノンコリニア反強磁性 Mn3Sn ナノドットの熱安定性と電流応答	佐藤　佑磨	深見　俊輔
	キトサンナノファイバーを支持体とするフレキシブル微細電極の開発	安藤　大貴	平野　愛弓
	量子情報通信用光学素子における偏光特性の計測と解析	野村　祐斗	枝松　圭一
	混合変調半導体レーザの周波数チャープ特性に関する研究	浅見　昇輝	八坂　洋
	SiO2:Ce の光学特性と光検出磁気共鳴に関する研究	安部　佑一朗	深見　俊輔
	アナログ CMOS スパイキングニューラルネットワーク LSI を用いた超低消費電力リザバー計算システムの構築に関する研究	小野　哲史	佐藤　茂雄
	量子干渉を用いた光子対の空間的量子もつれの制御	加藤　敦大	枝松　圭一
	周波数不可識別伝令付き単一光子の発生と評価の研究	狩野　信茂	枝松　圭一
	体心立方晶 Co-Mn-Fe 合金を用いた磁気トンネル接合に関する理論研究	久保田　駿介	白井　正文
	L10-MnAl を用いた不揮発性磁気トンネル接合の高性能化に関する研究	篠田　峻伸	深見　俊輔
	人工細胞膜の側方電界伝播機構に関する研究	島田　佳和	平野　愛弓
	スピンギャップレス半導体における異常ネルンスト効果に関する理論研究	清水　悠斗	白井　正文
	二層グラフェン微細構造の高周波測定手法の開発と電子物性の研究	上面　友也	大塚　朋廣

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	二硫化モリブデンの低温コンタクトと量子ドット特性の研究	田髙　陸	大塚　朋廣
	光負帰還狭線幅半導体レーザの線形周波数掃引幅拡大に関する研究	長久保　峻介	八坂　洋
	半導体レーザの広帯域・高感度光変調周波数応答評価法に関する研究	野原　友治	八坂　洋
	人工細胞膜における膜平行電圧制御デバイスの構築に関する研究	野村　駿介	平野　愛弓
	窒化ガリウム不純物量子ドットの量子輸送特性の研究	松村　和真	大塚　朋廣
	人工神経細胞回路における外部刺激依存的な活動変調に関する研究	室田　白馬	平野　愛弓
	マイクロ流体デバイスを用いたモジュール構造型培養神経回路の結合指向性制御に関する研究	門間　信明	佐藤　茂雄
	ガス・ソース気相成長法により成膜された数分子層二硫化タングステンへのキャリア・ドーピング	米窪　和輝	佐藤　茂雄
	ノンコリニア反強磁性 Mn3Sn 薄膜の構造と磁気・磁気輸送特性の膜厚依存性	若林　駿	深見　俊輔
	Development of Three-terminal Spin-orbit Torque Magnetic Tunnel Junction for Neuromorphic Computing （脳型計算向け3端子スピン軌道トルク磁気トンネル接合の開発）	VARAGANTI SUMITH	深見　俊輔
情報基礎科学専攻	定理証明支援系によるアロー関数を含む JavaScript プログラムの検証基盤の開発	上西　真由	中野　圭介
	Machine learning-based estimation of the number of competing flows at a bottleneck link （機械学習を用いたボトルネックリンクにおける競合フロー推定に関する研究）	夏　澤佑 XIA ZEYOU	長谷川　剛
	型変換による異なる定理証明支援系間の証明の再利用	菅野　直孝	中野　圭介
	トラヒック予測に基づく効率的なネットワーク帯域割当手法に関する研究	鈴木　衣織	長谷川　剛
	An Efficient Traffic Compression Method for Remote Network Management over LPWA Based on Command Appearance Distribution （LPWA を用いたネットワーク機器管理におけるコマンドの出現分布に着目した高効率トラヒック圧縮手法）	田邉　広大	長谷川　剛
システム情報科学専攻	動的に伸縮する杖型デバイスを用いた VR における地面の高低差の提示に関する研究	上出　千隼	北村　喜文
	A Study on a Cubical High Degree-of-Freedom Tangible User Interface （キューブ型高自由度タンジブルユーザインタフェースに関する研究）	GILLES PFLUMIO	北村　喜文
	Wearable Mechanized Armrest to Support On-Demand Rested Mid-Air Hand Interactions（空中インタラクションにおける腕部支持のためのウェアラブル機械式アームレスト）	ALIC LIEN 連　得宇	北村　喜文

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
システム情報科学専攻	The influence of auditory information on the mechanism of visual stability （視野安定メカニズムへの聴覚情報の影響）	馬　佳良 MA JIALIANG	塩入　諭
	デスクトップ VR 内での力触覚体験が事後のルームスケール VR 歩行に与える影響に関する研究	板倉　晃平	北村　喜文
	無意識的空間配置表象形成における自己運動の影響	今田　裕貴	塩入　諭
	空気注入型自動昇降プロップと移動ロボットによるルームスケール VR 遭遇型触覚デバイスに関する研究	五味　遼太	北村　喜文
	スマートフォンによる視線トラッキング技術を用いたミュージアムガイドの開発とフィールド調査	橘　優希	北村　喜文
	VR ワークスペースにおける首ストレッチ動作誘導手法に関する研究	田中　雄大	北村　喜文
	音響特徴および感性印象が話速知覚に及ぼす影響	玉川　真帆	坂本　修一
	The sequential implicit learning of object arrangements in the surrounding space （周囲物体配置の時系列無意識学習）	チイエン　チオン QIAN CHENG	塩入　諭
	Recognition of Human Emotion from Body Movements in Video and Motion Capture Data Using Deep Neural Network （ディープニューラルネットワークを用いた身体動作のビデオおよびモーションキャプチャデータからの人の感情認識）	DUMAY DYLAN CLAUDE HENRI	北村　喜文
	空間注意における視聴覚相互作用	中山　裕斗	塩入　諭
	顔表情及び生体情報による画像の好み評価推定	藤巻　和真	塩入　諭
	音響特徴と空間特性に基づく聴覚知覚体制化に関する基礎的研究	堀田　尭八	坂本　修一
	深層学習モデルを用いた正中面音像定位手がかりの検討	松岡　広泰	坂本　修一
	資料動画内の情報探索支援のための動画・資料ビューアの統合型インタフェースに関する研究	村上　大知	北村　喜文
	音像距離知覚要因に着目した聴覚的注意の空間特性に関する基礎的研究	森田　爽	坂本　修一
	VR におけるインタラクティブなマルチウィンドウ動的配置システムの提案	米澤　晴	北村　喜文
	上下面における空間配置表象の無意識学習	若林　泰暉	塩入　諭
応用情報科学専攻	ニューロンが時間履歴項を持つニューラルネットワークリザバーの時系列予測に関する研究	石井　豪	堀尾　喜彦
	時空間コンテクスト学習ニューラルネットワークの解析と回路実装	辻　　孟	堀尾　喜彦
医工学専攻	ペンギンの高速遊泳に内在する頭部・翼部協調メカニズムに関する研究	入澤　宏太朗	石黒　章夫
	フレキシブル絶縁層を用いた膜平行電圧プラットフォームの構築に関する研究	野本　達也	平野　愛弓

（博士論文）

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気エネルギーシステム専攻	Study on Decentralized Control Mechanism Underlying Flexible Behaviors of Tubificinae Worms' Blobs （イトミミズ塊の柔軟な振る舞いに内在する自律分散制御則に関する研究）	三上　大志	石黒　章夫
通信工学専攻	A study on 20GHz-band DBF transmitter using image enhanced 1-bit bandpass delta sigma modulator （イメージエンハンスメント 1 ビットバンドパス ΔΣ 変調器を用いた 20GHz 帯 DBF 送信機に関する研究）	ZHANG JUNHAO	末松　憲治
	スピン状態の差分を用いた大規模完全グラフ向け高性能アニーリングプロセッサに関する研究	シン　トッキュ	羽生　貴弘
	3M 技術によるデジタルコヒーレント伝送システムの大容量化に関する研究	別府　翔平	廣岡　俊彦
電子工学専攻	Electrical Control of Noncollinear Antiferromagnetic Heterostructures （ノンコリニア反強磁性ヘテロ構造の電気的制御に関する研究）	ユン　ジュヨン	深見　俊輔
	Study of Optical Trapping and Transport of Nanoparticles on an Optical Nanofiber （ナノ光ファイバ上のナノ粒子の光捕捉と輸送の研究）	孫　瑞	枝松　圭一
	Engineering of Nanocomposite Ferromagnetic Heterostructures for Nanoscale Spintronic Memristor （ナノスケールスピントロニクスメモリスタ向けナノコンポジット強磁性ヘテロ構造のエンジニアリング）	DE ZOYSA KARUNA THILAKA VIHANGA	深見　俊輔
システム情報科学専攻	Psychophysical Physiological Research on Assessments of Engagement Based on Facial Expressions in Education （顔表情を利用した学習時の集中度に関する心理物理学的および生理学的研究）	ビョウ　ニン　グン MIAO RENJUN	塩入　諭
	Investigation of Mental State Estimation to Support Learning Based on Behavior Measurements （学習支援のための行動指標を利用した心的状態推定手法の検討）	ワン　グァン　ユン WANG GUAN YUN	塩入　諭
	Resolving Uncertainty in Fluid Dynamics and Bias in Inverse Problems by Incorporating Empirical Data Into Deep Learning （深層学習への観測データの導入による流体力学の不確実性と逆問題のバイアスの解決）	シュ　ケンフク CHU Kin Fung	北村　喜文
医工学専攻	神経細胞ネットワークの時空間情報処理特性に関する構成論的研究	住　拓磨	平野　愛弓
	電磁ハイブリッドワイヤレス補助人工心臓に関する研究	堀江　栄之	石山　和志
	膜側方電圧と機械学習の導入による人工細胞膜機能評価・解析システムの構築	佐藤　まどか	平野　愛弓

第4 研 究

1. 研究成果の掲載・公表件数

	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
トピックス（新聞記事等）	48	33	15	44	61

2. トピックス一覧

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
1	MRAM、「車掲載用が主戦場に」 東北大・遠藤教授、需要増にらむ	R5.4.3	日本経済新聞	遠藤 哲郎 （CIES）
2	東北大学、非言語情報通信の研究拠点を開設 AI 開発も	R5.4.10	日経テックフォーサイト	北村 喜文
3	光通信、「縁の下」の増幅器 ケーブルに希土類、距離長く 東北大の中沢氏・情通機構の萩本氏	R5.5.2	日本経済新聞	中沢 正隆 （名誉教授）
4	情報通信分野では光増幅装置で受賞長距離・大容量の通信可能に グローバルなネット網の礎築く	R5.5.2	日本経済新聞	中沢 正隆 （名誉教授）
5	米シカゴ大と東北大が協業 量子科学や学生交流など	R5.6.13	電波新聞	遠藤 哲郎 （CIES）
6	東北大とシカゴ大 量子アライアンス発足 量子科学分野の研究加速、人材育成へ	R5.6.16	科学新聞	金井 駿
7	Artificially Cultured Brains Enhance Time Series Data Processing	R5.6.29	Mirage News	山本 英明
8	Artificially Cultured Brains Improve Processing of Time Series Data	R5.6.29	Alpha Galileo	山本 英明
9	Artificially cultured brains improve processing of time series data, shows study	R5.6.29	Tech Xplore	山本 英明
10	Artificially cultured brains improve processing of time series data, shows study	R5.6.29	News8Plus	山本 英明
11	Artificially cultured brains improve processing of time series data, shows study	R5.6.29	Today Headline	山本 英明

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
12	Artificially Cultured Brains Improve Processing of Time Series Data	R5.6.29	Asia Research News	山本 英明
13	東北大と公立はこだて未来大、ラットの大脳皮質神経細胞で構成した「人工培養脳」の計算能力を解析するための一連の実験を成功	R5.6.29	日本経済新聞	山本 英明
14	東北大など、「人工培養脳」を用いて時系列データの処理性能を改善	R5.6.30	マイナビニュース	山本 英明
15	「人工培養脳」ラット細胞で構築 時系列データの処理を改善	R5.7.14	科学新聞	山本 英明
16	東北大、高速量子ビット読み出し手法をグラフェンで実現	R5.7.18	日本経済新聞	大塚 朋廣
17	ミミズの動き、ロボに応用へ	R5.9.13	日本経済新聞	加納 剛史
18	東北大、深層学習使い新手法 ブイの動きから水の流れ予測, 遠隔地で共有 防災に貢献	R5.9.21	日刊工業新聞	北村 喜文
19	東北大、CUSIC 異なる結晶構造で SiC 同士のシームレス積層成功 パワー半導体の電力損失大幅削減へ	R5.10.6	電波新聞	佐藤 茂雄 櫻庭 政夫
20	ドローンの安全な操縦を実現するユーザインタフェース BirdViewAR を開発	R5.11.9	メタバース総研	北村 喜文
21	レーザー加熱で微小な透明磁石材料を作る新技術を開発 – 次世代の高密度光集積デバイス作製への利用に期待 –	R5.11.16	日本の研究.com	後藤 太一
22	東北大と豊橋技術科学大、レーザー加熱で微小な透明磁石材料を作る新技術を開発	R5.11.16	日本経済新聞	後藤 太一
23	レーザー加熱でごく狭い領域だけに特別な透明磁石材料を作製 東北大学	R5.11.17	fabcross エンジニア	後藤 太一
24	レーザ加熱で微小な透明磁石材料を作る新技術を開発	R5.11.21	Laser Focus World Japan	後藤 太一
25	レーザーで微小な透明磁石材料を作る新技術 東北大研究Gが開発	R5.11.22	文教速報デジタル版	後藤 太一
26	「ルームスケール VR」体験の実現のための錯覚を感じさせる方法論を研究	R5.11.22	メタバース総研	北村 喜文
27	東北大と理研、トランジスタの新動作原理プラズモンでテラヘルツ波の検出感度を一桁以上高めることに成功	R5.11.24	日本経済新聞	尾辻 泰一 佐藤 昭
28	トランジスタの新動作原理プラズモンでテラヘルツ波の検出感度を一桁以上高めることに成功～次世代 6G＆7G 超高速無線通信の実現への道を拓く～	R5.11.24	Tii 技術情報	尾辻 泰一 佐藤 昭

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
29	トランジスタの新動作原理プラズモンでテラヘルツ波検出感度を一桁以上向上	R5.11.27	Laser Focus World Japan	尾辻 泰一 佐藤 昭
30	東北大ら，プラズモンでテラヘルツ波の検出感度向上	R5.11.27	Optronics Online	尾辻 泰一 佐藤 昭
31	東北大など、レーザー局所加熱で透明磁性材 アイソレーターを安価に製造	R5.11.28	日刊工業新聞	後藤 太一
32	東北大学／トランジスタの新動作原理プラズモンでテラヘルツ波の 検出感度を一桁以上高めることに成功	R5.11.29	Optinews	尾辻 泰一 佐藤 昭
33	東北大など、透明磁石材料の新製法 高出力レーザーに	R5.11.29	NIKKEI Tech Foresight	後藤 太一
34	東北工業大・東大・東北大・理研・東京農工大、単一コロイド量子ドットで電気伝導の評価と制御に成功	R5.12.1	日本経済新聞	大塚 朋廣
35	東北大・理研、プラズモン活用でテラヘルツ波の検出感度向上	R5.12.4	日刊工業新聞	尾辻 泰一 佐藤 昭
36	感度を一桁以上向上、テラヘルツ波検出素子を開発	R5.12.6	EE Times Japan	尾辻 泰一 佐藤 昭
37	感度を一桁以上向上、テラヘルツ波検出素子を開発	R5.12.6	Tech Eyes Online	尾辻 泰一 佐藤 昭
38	OKI と東北大 光通信ネットの消費電力削減 NEDO 事業で技術開発	R5.12.8	電波新聞	長谷川 剛
39	OKI と東北大の仮想化資源制御技術 仮想 PON の実用化目指す 光通信ネットワークの消費電力削減	R5.12.12	電波新聞	長谷川 剛
40	電気伝導の詳細評価　単一コロイド量子ドット　東北工大など	R5.12.18	日刊工業新聞	大塚 朋廣
41	東北工大など、単一コロイド量子ドットで電気伝導の詳細評価	R5.12.18	日刊工業新聞	大塚 朋廣
42	未来を拓く技術者・研究者・担当者に聞く	R6.1.11	電波新聞	長谷川 剛
43	Hexagonal Copper Disk Lattice Unleashes Spin Wave Control	R6.2.1	Press release	後藤 太一
44	Hexagonal Copper Disk Lattice Enables Spin Wave Control	R6.2.1	Mirage	後藤 太一

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
45	東北大など、スピン波を反射する構造体「二次元マグノニック結晶」を開発	R6.2.1	Tech Plus	後藤　太一
46	東北大など、スピン波を反射する構造体「二次元マグノニック結晶」を開発	R6.2.1	Infoseek	後藤　太一
47	Hexagonal copper disk lattice unleashes spin wave control	R6.2.1	Scienmag	後藤　太一
48	Hexagonal copper disk lattice unleashes spin wave control	R6.2.1	nanowerk	後藤　太一
49	Hexagonal copper disk lattice unleashes spin wave control	R6.2.1	bioengineer	後藤　太一
50	Hexagonal copper disk lattice unleashes spin wave control	R6.2.1	Phys.org	後藤　太一
51	東北大学ら、スピン波が伝わる方向を自在に制御	R6.2.2	EE Times Japan	後藤　太一
52	Des flocons de cuivre qui pourraient transformer l'IA ?	R6.2.2	Enerzine	後藤　太一
53	Hexagonal copper disk lattice enables spin wave control	R6.2.8	electronicsonline	後藤　太一
54	東北大など、スピン波の伝播方向制御 半導体を省電力化	R6.2.13	Nikkei Tech Foresight	後藤　太一
55	スピン波の伝わる方向を制御する二次元マグノニック結晶を開発	R6.2.15	MONOist	後藤　太一
56	Analog Computers May Work Better Using Spin Than Light Spin waves offer a new approach to digital computing's counterpart	R6.2.16	IEEE Spectrum	後藤　太一
57	Spin Wave Computing: New Waveguide for Logic Gates Enhances Performance of Analog Computer	R6.2.21	The Science Times	後藤　太一
58	トーキン科学技術賞贈呈式 宮城県内の若手研究者に栄誉	R6.3.11	電波新聞	福原　洸 （助教）
59	受動素子の高性能化を可能とする２μｍの磁性材料、丸嘉工業や東北大などが開発	R6.3.27	マイナビニュース テックプラス	石山　和志
60	新たな磁性材料を作製 ―パワーエレクトロニクス回路の小型化、低損失化に寄与	R6.3.27	FabCrossEngineer	石山　和志
61	VR 空間で「無限」歩行、狭い部屋でも可能に　東北大学	R6.3.29	日本経済新聞	北村　喜文 高嶋　和毅 藤田　和之

3. 科学研究費助成事業採択一覧（令和5年度研究代表者）

研究種目	氏名	R5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
学術変革領域研究(B)総括班	加納　剛史	2,800	7,000	ヘテロ群知能：多様な細胞の集団動態から切り拓く群知能システムの革新的設計論	R3	R5
	山本　英明	3,500	8,400	脳神経マルチセルラバイオコンピューティングに関する総括	R3	R5
学術変革領域研究(B)計画研究	加納　剛史	19,100	33,600	ヘテロ群知能の構成論的理解から切り拓くハイアベレージなシステムの設計論	R3	R5
	山本　英明	7,000	24,500	マルチセルラコンピューティングシステムの実細胞再構成	R3	R5
基盤研究(S)	深見　俊輔	20,800	155,500	ノンコリニアスピントロニクス	R1	R5
基盤研究(A)	堀尾　喜彦	6,600	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
	尾辻　泰一	4,900	32,400	グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用	R3	R7
	吉田　真人	7,300	32,000	振幅・位相および時間情報を用いた3次元光秘匿通信技術の研究開発	R3	R6
	本間　尚文	6,300	31,600	セキュリティハードウェアの形式的設計・検証理論の深化と展開	R3	R7
	羽生　貴弘	10,300	32,400	IoT応用向け高速かつ超低消費電力でダイ・ハードなロジックLSI基盤技術の開発	R3	R6
	坂本　修一	14,000	31,860	人間の選択的情報処理に基づく聴空間共有型コミュニケーションプラットホームの実現	R4	R7
	石黒　章夫	8,100	32,400	古生物運動制御学：絶滅動物の運動様式の革新的復元方法の創成	R4	R7
	平野　愛弓	13,900	36,300	膜平行電界の実証とそれに基づく膜タンパク質機能計測法への展開	R5	R7
基盤研究(B)	田中　陽一郎	2,000	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
	後藤　太一	1,500	13,400	位相干渉を用いた多入力スピン波電子融合回路チップの開発	R2	R6
	山末　耕平	1,800	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
	福原　洸	2,900	13,600	動物の前腕ロック機構から切り拓く四脚ロボットの前肢多自由度化	R3	R5
	佐藤　昭	2,000	13,700	半導体二次元プラズモンの三次元整流効果とその超高感度テラヘルツ電磁波検出への応用	R3	R6
	鬼沢　直哉	2,300	13,100	確率的デバイスモデルに基づく量子モンテカルロ計算ハードウェアプラットフォーム構築	R3	R6
	夏井　雅典	2,000	13,100	スピントロニクスベース高性能・省電力・高信頼IoTセンサノードの基盤研究開発	R3	R6
	高嶋　和毅	3,900	13,400	自律動作物理デバイス群によるVRユーザの身体支持と高精度インタラクション	R3	R5
	横田　信英	2,900	13,600	共振型スピン光インターフェースデバイスの創出	R4	R6
	佐藤　茂雄	3,600	13,500	エッジ応用に向けた超低消費電力スパイキングニューラルネットワークハードウェア	R4	R6
	加納　剛史	1,800	14,200	イトミミズの多芸多彩な集団行動から紐解く合目的的自己組織化現象の発現原理	R5	R8
	井上　光輝	7,700	14,700	三次元人工磁気格子を用いたスピンの流れ制御とスピン波集積回路への応用	R5	R7
	山本　英明	3,300	14,200	高次元ダイナミクスを呈する神経細胞回路の人工再構成とそのレザバー実装	R5	R8

研究種目	氏名	R5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(C)	阿部　和多加	1,000	2,100	高密度水素・水素化合物における非調和格子振動の解析手法開発と構造探索への応用	R3	R5
	中野　圭介	700	1,600	双方向変換言語のための計算モデルとプログラミング言語への応用	R3	R6
	藤田　和之	1,100	2,100	作業環境の物理的微小動作による姿勢誘導手法の確立	R3	R5
	羽鳥　康裕	1,000	3,200	循環調整を介する視触覚情報統合のメカニズム	R4	R6
	長谷川　剛	800	3,500	ネットワーク内制御に基づくインターネット輻輳制御の新たなパラダイムの追求	R5	R7
挑戦的研究(開拓)	平野　愛弓	3,600	19,900	Lateral biasに基づく革新的膜タンパク質機能解析場の構築	R2	R5
	堀尾　喜彦	1,400	19,800	「自分」を持つハードウェア：脳型自律ハードウェアのための動的原自己の実現	R3	R6
挑戦的研究(萌芽)	平永　良臣	2,000	5,000	マイクロ波エンハンス電気化学歪み顕微鏡の原理解明とイオン伝導体等の評価への展開	R3	R5
	横田　信英	2,800	4,900	外部変調器フリー直交振幅変調光源への挑戦	R4	R5
	佐藤　茂雄	1,600	4,800	ハイブリッド脳の構成と脳型計算機能の検証	R4	R6
	後藤　太一	2,600	5,000	スピン光振動現象を用いたスピン光発振器の開発	R5	R7
	本間　尚文	900	4,900	高効率かつ頑健なセキュアアビオニクス設計技術の開拓	R5	R7
若手研究	上野　嶺	900	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
	小宮　麻希	400	3,100	新たな膜内電圧制御に基づくイオンチャネル解析プラットフォームの創生	R3	R5
	古市　朋之	500	3,300	1ビットディジタルRF受信機における振幅変調を含む多値変調信号の復調	R5	R7
	土肥　昂尭	2,200	3,600	多層薄膜構造を用いた未開拓反強磁性トポロジカル磁気構造の実現と機能性開拓	R5	R6
	守谷　哲	600	2,200	不揮発性メモリと学習機構を有するスパイキングニューラルネットワークシステムの構築	R5	R7
国際共同研究強化(B)	山本　英明	5,000	15,500	人工神経細胞回路を基盤とする神経変性疾患モデリング技術の開発	R4	R7
国際共同研究加速基金(海外連携研究)	石黒　章夫	2,000	16,200	サイボーグ化から解き明かす動物ロコモーションに内在する形態非依存な運動制御原理	R5	R8
	金井　駿	3,200	16,200	スピンホールナノオッシレータのアレイ化による狭線幅RF磁場の生成と応用	R5	R8
研究活動スタート支援	丸井　幸博	1,100	2,200	ワイル半金属/強磁性体ナノデバイスにおける磁化反転機構の解明と磁化制御手法の確立	R5	R6
	織間　健守	500	1,000	海馬記憶モデルに基づく時空間文脈学習記憶ネットワークのハードウェア実装	R5	R6

※基金分については2023年度請求金額を記載

4. 外部資金の受入状況

上段：件
下段：百万円

区 分		令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
民間等との共同研究	件数	41	46	50	54	57
	金額	80	185	143	155	141
受託研究	件数	24	21	23	27	29
	金額	218	274	493	1,087	1,492
奨学寄付金	件数	19	16	30	22	17
	金額	42	27	57	30	37

5. 受賞・表彰件数

叙勲・受賞・表彰	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
	49	43	42	40	33

6. 受賞・表彰者一覧

	団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
1	文部科学省・ 令和５年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 「若手研究者賞」	金井　駿	スピントロニクス	「スピンダイナミクス新概念素子応用に関する研究」	R5.4.7 （報道発表）
2	文部科学省・ 令和５年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 「若手研究者賞」	金田　文寛	量子光情報工学（理学研究科・R5.4～）	「量子技術実現へ向けた光子の発生と測定の研究」	R5.4.7 （報道発表）
3	一般社団法人電子情報通信学会・ 集積回路研究会 2022 年度若手研究会ポスター奨励賞	酒井　楓	新概念 VLSI システム	ポスター発表題目： 「書込みエラー特性に基づく MTJ ベース不揮発レジスタの制御部最適化に関する一検討」	R5.5.10
4	一般社団法人電子情報通信学会・ 集積回路研究会 2022 年度若手研究会ポスター奨励賞	浅野　健	新概念 VLSI システム	ポスター発表題目： 「MTJ ベース量子化ニューラルネットワークハードウェアの書込みエネルギー削減手法に関する研究」	R5.5.10
5	東北大学・ 令和５年度第１回プロミネントリサーチフェロー	上野　嶺	環境調和型セキュア情報システム	研究テーマ： 「次世代暗号の実装技術」	R5.7.1
6	第 31 回運動学習研究会・ 若手研究発表賞 「門田浩二賞」	山地　聡史	実世界コンピューティング	講演題目： 「Bumper-ball ゲームから紐解く「駆け引き」のメカニズム」	R5.8.9

	団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
7	American Chemical Society (ACS)・ oral presentation prize (ACS Fall 2023)	陰山 弘典	ナノ・バイオ融合分子デバイス	発表題目: 「Construction of a novel evaluation system for specific capacitance of artificial bilayer lipid membranes」	R5.8.25
8	10th International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technologies (TeraTech 2023)・ The Best Student Paper Award	渡邊 光貴	超ブロードバンド信号処理	発表論文: 「Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion by UTC-PD-Integrated HEMT: Optimization of UTC-PD Mesa Shape and Size」	R5.9.7
9	一般社団法人電子情報通信学会・ 2023 年度(令和 5 年度) 第 32 回電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ 学生奨励賞	本間 優作	先端ワイヤレス通信技術	発表論文: 「5GHz 帯 2×2 反射型レトロディレクティブアレーの二次元再放射パターンの測定」	R5.9.12
10	一般社団法人日本ロボット学会・ 第 11 回 Advanced Robotics Best Paper Award	福原 洸	実世界コンピューティング	発表論文: 「Comparative anatomy of quadruped robots and animals: a review」	R5.9.13
11	一般社団法人日本ロボット学会・ 第 4 回優秀研究・技術賞	服部 祥英	実世界コンピューティング	講演題目: 「四脚動物の筋筋膜経線に着想を得た脚-体幹連動機構の提案」	R5.9.13
12	一般社団法人日本音響学会・ 第 149 回(2023 年)春季研究発表会 学生優秀発表賞	阿部 翔太	先端音情報システム	講演題目: 「映像音響コンテンツの特徴量から合成した全身振動情報が臨場感と迫真性に与える影響」	R5.9.27
13	一般社団法人 日本音響学会東北支部・ 日本音響学会東北支部 若手研究者優秀論文賞	北村 航太	先端音情報システム	優秀論文: 「距離変換フィルタによる近距離頭部伝達関数合成時のバイノーラル情報の精度検証」	R5.9.29
14	Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)・ 2023 年 IEEE マイルストーン	岩崎 俊一	(特別栄誉教授)	受賞タイトル: 「垂直磁気記録、1977 年」	R5.10.3
15	一般財団法人 石田實記念財団・ 2023 年度石田實記念財団研究奨励賞特別賞(石田實賞)	佐藤 昭	超ブロードバンド信号処理	研究テーマ: 「半導体二次元プラズモンを活用した光無線融合型新原理超ブロードバンド信号処理デバイスの研究実用化」	R5.10.27
16	一般財団法人 石田實記念財団・ 2023 年度石田實記念財団研究奨励賞	平永 良臣	誘電ナノデバイス	研究テーマ: 「強誘電体ナノスケール物性評価および強誘電体を用いた情報ストレージに関する研究」	R5.10.27
17	公益社団法人 応用物理学会・ 第 55 回(2023 年秋季) 応用物理学会講演奨励賞	内村 友宏	スピントロニクス	講演題目: 「Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in a non-collinear antiferromagnet/heavy metal heterostructure」	R5.11.16
18	東北大学材料科学世界トップレベル研究拠点・ 2023 年度東北大学スピントロニクス世界トップレベル研究拠点賞	金井 駿	スピントロニクス	研究成果: 「Investigation of probabilistic and quantum spin dynamics for unconventional electronics」	R5.11.28
19	日本ソフトウェア科学会 第 31 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2023)・ 対話発表賞	小川 郡平 藤田 和之 高嶋 和毅 北村 喜文	インタラクティブコンテンツ	受賞研究: 「ハンドリダイレクションを用いた広範囲のキャンバスへの VR ドローイング体験」	R5.12.1

	団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
20	The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics・ Best Poster Awards	金子 遥南	スピントロニクス	受賞研究: 「Temperature and diameter dependence of the stochastic switching of superparamagnetic tunnel junctions」	R5.12.5
21	IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)・ IEEE フェロー	田中 陽一郎	情報ストレージシステム	業績貢献: 「ディスク装置むけ垂直磁気記録テクノロジーに対する貢献」	R6.1.1
22	IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)・ IEEE フェロー	遠藤 哲郎	CIES	業績貢献: 「不揮発性メモリーとスピントロニクスロジックに関する貢献」	R6.1.1
23	公益社団法人 日本磁気学会・ 第 47 回学術講演会学生講演賞	千田 健太	生体電磁情報	成果発表: 「直交フラックスゲート型歪センサの特性評価」	R6.1.18
24	公益社団法人 日本磁気学会・ 第 47 回学術講演会学生講演賞	上倉 拓郎	生体電磁情報	成果発表: 「複合アモルファスを用いた振動発電」	R6.1.18
25	The 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences・ Best Student Paper Award	石井 豪 堀尾 喜彦 織間 健守	ソフトコンピューティング集積システム	発表論文: 「Effect of memory capacity characteristics on time-series prediction in reservoir neural network consisting of neurons with local temporal histor」	R6.1.30
26	東北大学・ 令和 5 年度プロミネントリサーチフェロー	但木 大介	ナノ・バイオ融合分子デバイス	研究テーマ: 「微細加工に基づくセンサデバイスの創成」	R6.2.1
27	公益社団法人 トーキン科学技術振興財団・ 第 34 回(令和 5 年度) トーキン科学技術賞	福原 洸	実世界コンピューティング	研究テーマ: 「包括的生物模倣ロボットの開発に基づく四脚動物の運動制御・形態機能の理解」	R6.2.1 (通知日)
28	公益社団法人 計測自動制御学会 システム・情報部門自律分散システム部会・ 第 36 回自律分散システム・シンポジウム 萌芽研究部門 最優秀研究奨励賞	村山 志揮	実世界コンピューティング	講演題目: 「体幹姿勢とヒレ間相互作用を考慮した首長竜の遊泳様式復元に関する一考察」	R6.2.18
29	一般社団法人 電子情報通信学会・ 学術奨励賞	白幡 晃一	超高速光通信	受賞論文: 「28 GHz 帯マイクロストリップアレイアンテナを用いた 16 Gbits-256 QAM 信号の SMF10 km、無線 10 m フルコヒーレント伝送」	R6.3.5
30	一般社団法人 日本音響学会東北支部・ 令和 6 年東北地区若手研究者発表会 優秀発表賞	松岡 広泰	先端音情報システム	受賞論文: 「深層学習による音イベント定位・検出モデルを用いた正中面音像定位手がかりの検討」	R6.3.12
31	IEEE Computer Socirty・ IEEE VGTC(Visualization and Graphics Technical Community) Virtual Reality Academy 会員	北村 喜文	インタラクティブコンテンツ	For fundamental contributions to 3D user interfaces and tangible user interfaces for virtual reality	R6.3.18

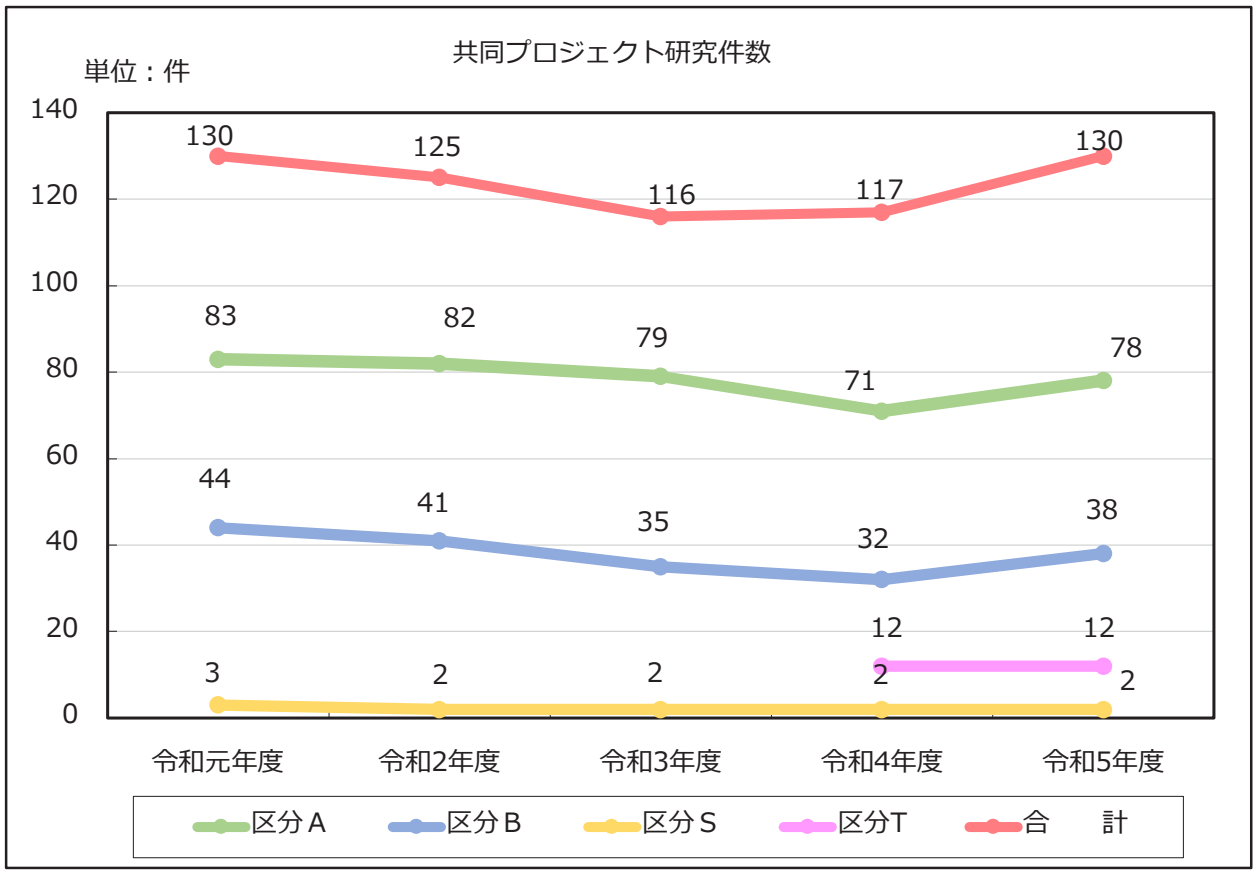
	団体名･賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
32	一般社団法人 日本音響学会東北支部･ 令和 6 年東北地区若手研究者発表会若手研究者優秀論文賞	森田 爽	先端音情報システム	受賞論文: 「音像距離知覚要因に着目した聴覚的注意の空間特性に関する一検討」	R6.3.23
33	東北大学大学院工学研究科･ 令和 5 年度工学研究科長賞	尹 注鍥	スピントロニクス	論文題目: 「ノンコリニア反強磁性ヘテロ構造の電気的制御に関する研究」	R6.3.25

7. 発表論文数

区 分		令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度
査読付学術論文	英文	129	579	120	105	111
	和文	5	17	8	9	4
	計	134	174	128	114	115
査読付国際会議		267	136	184	172	130
解説･総説		16	15	11	15	8
査読無国際会議、査読無国内研究会･講演会		314	298	329	303	365

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

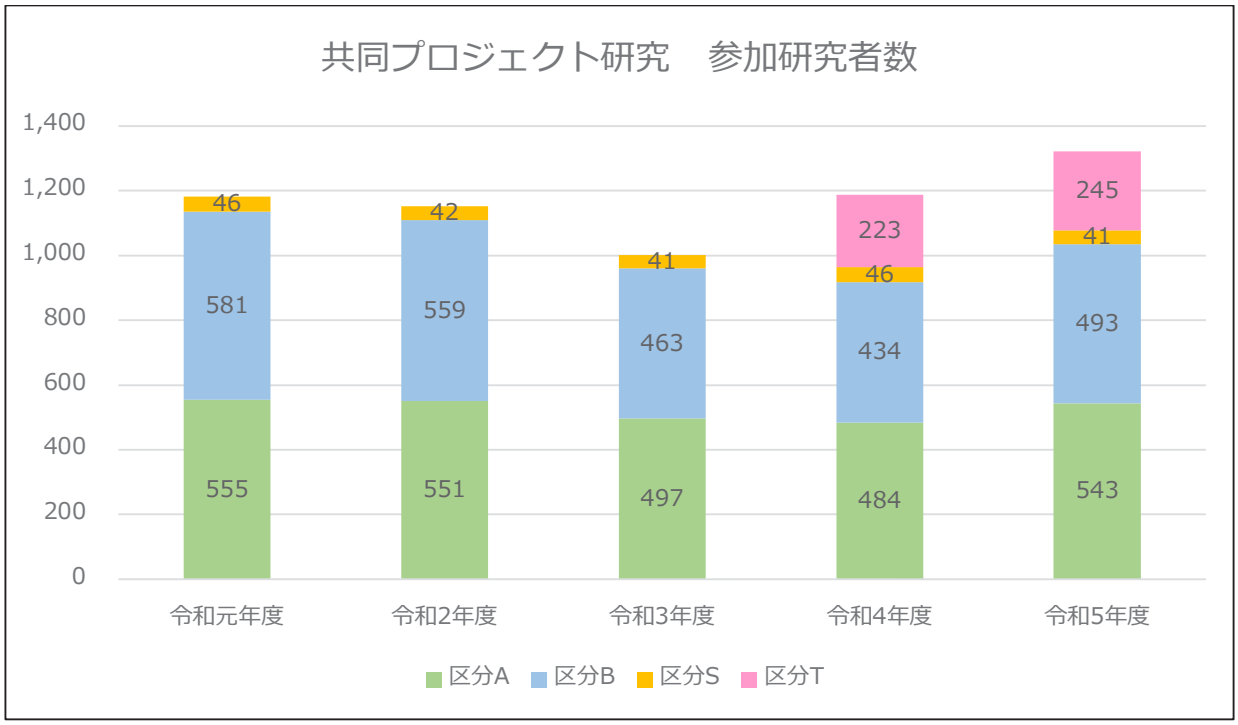


多様な共同プロジェクト研究のさらなる発展を推進すべく、研究区分に加え、以下 6 つの研究タイプを設けている。

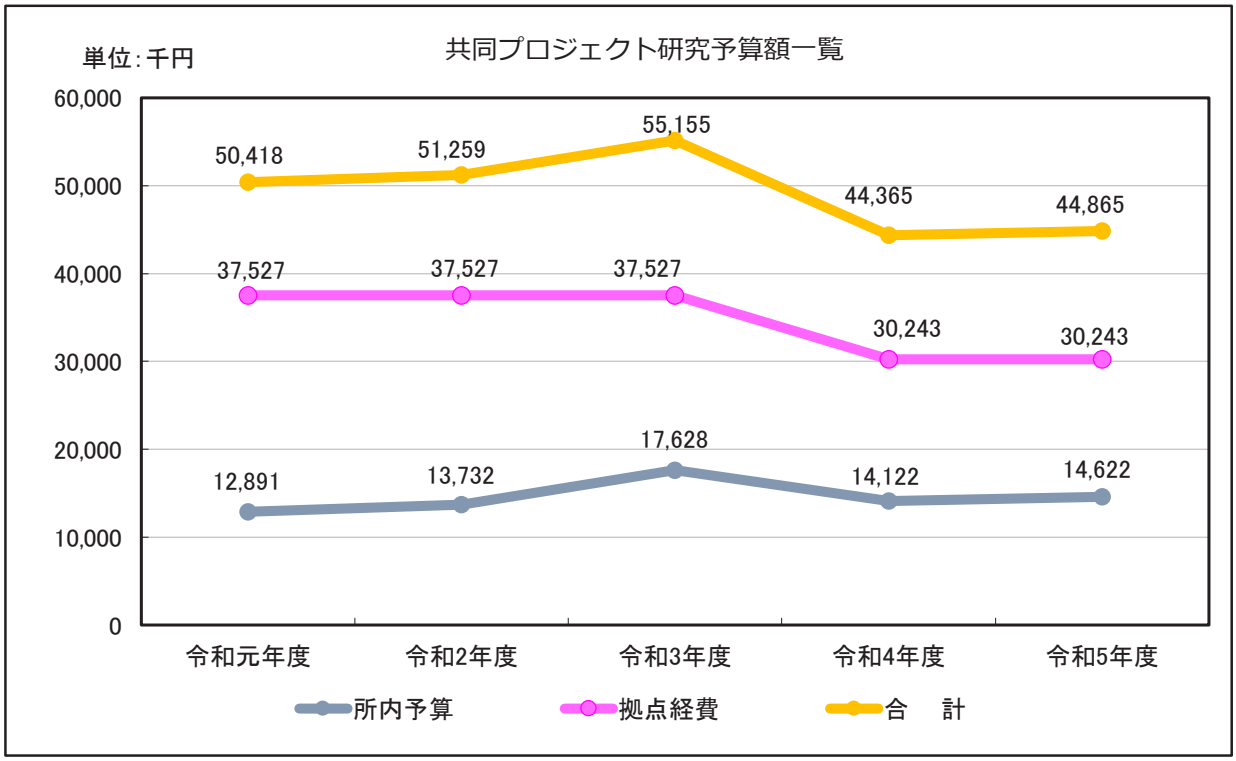
【令和 5 年度タイプ別採択件数】（タイプは複数選択可）

大型プロジェクト提案型：6 件
若手研究者対象型：6 件
萌芽的研究支援型：45 件
先端的研究推進型：56 件
国際共同研究推進型：38 件
産学共同研究推進型：10 件
その他：1 件

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

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
1. スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) チーム型研究	H30-R6 年度 佐藤茂雄,深見俊輔,羽生貴弘 東北大学,弘前大学,会津大学,群馬大学,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する。(H29/B17, H30/A20)
2. 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	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) チーム型研究等	R1-R6 年度 本間尚文,上野嶺 東北大学,奈良先端科学技術大学院大学,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)
3. 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	科学研究費助成事業 基盤研究(A)	R2-R6 年度 堀尾喜彦,池口徹,藤原寛太郎,島田裕,加藤秀行 東北大学,東京理科大学,東京大学,埼玉大学 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)
4.. 単原子長ゲートによる低環境負荷物質から成る高出力 THz 帯増幅器の創出	情報通信研究機構(NICT) Beyond 5G 研究開発促進事業	R4-R6 年度 吹留博一　他 東北大学,産業技術総合研究所,東京大学,筑波大学,広島大学	本研究開発では、ゲート長を単原子一個分の極限まで短縮化したトランジスタを創出する。これにより、低環境負荷物質のみを用いて、既存の THz 帯で動作する増幅器を凌駕するデバイスが実現される。(R03/A25)
5. 2D 材料・CMOS デバイス集積化技術の開発	科学技術振興機構(JST)未来社会創造事業	R4-R14 年度 吹留博一　他 東北大学,産業技術総合研究所,東京大学,筑波大学,広島大学	本研究開発では、二次元材料を用いたデバイスの創出のみならずそれらのデバイスの集積化技術を構築する。本技術は次々世代の論理集積回路に資するものとなる。なお、本事業において、吹留は主たる分担者を務めている。(R03/A25)
6. スピントロニクス確率論的コンピュータの大規模化に向けた材料・素子・回路・アルゴリズム融合研究	科学技術振興機構(JST) 世界のトップ研究者ネットワーク参画のための国際研究協力プログラム	R5-R9 年度 深見俊輔 東北大学	神経変性疾患の多くは, 神経回路網の機能異常としてその病態を理解する必要がある. 研究代表者らはこれまでに, 生体の脳神経系に近いネットワーク構造をもった神経細胞回路(「人工神経細胞回路」)を構築するための微細加工技術を開発し, 神経回路網の基礎研究における有用性を示してきた. 本計画では, 培養細胞を用いた疾患モデリングで世界最高水準の技術を保有するバルセロナ大学 Jordi Soriano 准教授との国際共同研究を通じて, 人工神経細胞回路の技術を神経変性疾患のモデリングそして機能動態解析へと展開する. (R02/A02)

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
7．人工神経細胞回路を基盤とする神経変性疾患モデリング技術の開発	科学研究費助成事業 国際共同研究強化(B)	R4-R7 年度 山本英明,佐藤茂雄 東北大学	神経変性疾患の多くは，神経回路網の機能異常としてその病態を理解する必要がある．研究代表者らはこれまでに，生体の脳神経系に近いネットワーク構造をもった神経細胞回路(「人工神経細胞回路」)を構築するための微細加工技術を開発し，神経回路網の基礎研究における有用性を示してきた．本計画では，培養細胞を用いた疾患モデリングで世界最高水準の技術を保有するバルセロナ大学 Jordi Soriano 准教授との国際共同研究を通じて，人工神経細胞回路の技術を神経変性疾患のモデリングそして機能動態解析へと展開する．(R02/A02)
8．Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け未利用周波数帯活用型の無線通信技術の研究 開発	情報通信研究機構(NICT) 革新的情報通信技術(Beyond 5G(6G))基金事業	R4-R8 年度 末松憲治 東北大学	本研究開発では、Q/V 帯を用いる衛星通信に対して、高機能なデジタルビームフォーミング送受信システムの実現をめざす。本研究は、共同プロジェクト研究「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-R3 年度)から発展した。(R02/A15)
9．グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用	科学研究費助成事業 基盤研究(A)	R3-R7 年度 尾辻泰一,佐藤昭,吹留博一 東北大学,会津大学,神奈川工業大学	本研究は，グラフェンディラックプラズモンのパリティ(空間幾何学的)対称性と時間反転対称性を能動的に制御することによって未踏 THz 周波数帯で室温動作する高強度・超高速変調型グラフェンレーザトランジスタの実現に挑む。共同プロジェクト研究(国際型)H31/A01 から発展した。
10．マルチセルラ神経ダイナミクスのデータ解析基盤と情報処理モデル	科学研究費助成事業 学術変革領域研究(B) A01 情報数理班	R3-R5 年度 香取勇一,松井鉄平,正水芳人 公立はこだて未来大学,同志社大学	本研究では、多細胞ネットワークを物質的基盤として高度な情報処理を実現する作動原理を数理モデルとして記述する新たな学理体系の創成を目指す。本研究は、共同プロジェクト研究「ミニマルブレインの理解と再構築」(R02-R04 年度)(R02/A20)および「① 人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化」(R02-R04 年度)(R02/A02)から発展した。
11．バイオコンピューティングシステムの実細胞再構成	科学研究費助成事業学術変革領域研究(B)A02 生体工学班	R3-R5 年度 山本英明,佐藤茂雄,平野愛弓,Jordi Soriano,香取勇一,谷井孝至 東北大学,早稲田大学	生物の脳が、多細胞ネットワークを物質的基盤として高度な情報処理を実現する作動原理を、トップダウン(モデル動物脳の直接計測)とボトムアップ(培養神経回路の操作型研究)の双方向から解析し、数理モデルとして記述する新たな学理体系を創成する。共同プロジェクト研究 A「人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化」(2020 年度)から発展した。(R02/A02)
12．人間の選択的情報処理に基づく聴空間共有型コミュニケーションプラットホームの実現	科学研究費助成事業 基盤研究(A)	R4-R7 年度 坂本修一,大谷真 東北大学,京都大学	本研究では，聴覚情報を対象として，先に述べた人間の選択的情報処理機構に基づいて，提示すべき前景情報と背景情報を適応的に操作・創出可能な聴空間共有型コミュニケーションプラットホームを構築する。(R03/A28)

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
13．機能性鉄合金の強制・減衰運動応答性の多面的解析による振動制御指針	科学研究費助成事業 基盤研究（C）	R4-R6 年度 鈴木茂 東北大学	強磁性鉄合金は、特異な磁気弾性等の異方性により外的振動に対して複雑な応答性を示すため、これらの合金の応答性については研究を行っている。 （R03/A29 ）
14．半導体量子ドットデバイスの放射線応答の調査と放射線検出器への利用	科学研究費助成事業 挑戦的研究（萌芽）	R4-R6 年度 吉田斉,大塚朋廣,岸本康宏 大阪大学,東北大学	本研究では，半導体量子ドットの放射線応答について調査する．本研究は共同プロジェクト研究「R03/A06:量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究」（2021～継続中）から発展した。 （R03/A06）
15．プラズマ気液界面反応の時空間ダイナミクス解明が拓く革新的活性種制御合成技術	科学研究費助成事業 基盤研究（S）	R4-8 年度 金子俊郎,高島圭介,佐々木渉太 東北大学	本プロジェクトは、プラズマー液体界面における、電荷・気流、液体形状変化が相互作用することによって起こる特異的な界面反応を解明する。本研究は、共同プロジェクト研究「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 年度-R2 年度）から発展した。（R03/A04）
16．プラズママイクロミストによるウイルス等の空中浮遊物質の不活化についての研究開発	科学技術振興機構（JST） 研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP） 産学共同 （本格型）	R3-5 年度 金子俊郎,佐々木渉太 東北大学	本プロジェクトは、プラズマを直接接触した微細液滴を用いたウイルス等の空中浮遊物質の不活化技術を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「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 年度-R2 年度）から発展した。 （R03/A04）
17．薄膜メムデバイスとスパイキング計算を用いるニューロモーフィックシステム	科学技術振興機構（JST） 戦略的国際共同研究プログラム（SICORP） 日本-台湾研究交流「AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術」	R4-R6 年度 木村睦 龍谷大学	AI システムをエレクトロニクス技術で実現する脳型コンピュータについて、超コンパクト・超低消費電力のニューロモーフィックシステムの可能性確認を目的とする。具体的には、日本側チームは、積層集積構造が可能な薄膜メモリスタなどの薄膜メムデバイスのデバイス構造・製造プロセス・集積化技術・特性改善の研究を行い、台湾側チームは、エネルギー効率向上が可能なスパイキング計算原理を再現できるニューロン・シナプス要素の薄膜演算回路のモデリング・設計・シミュレーション・開発を行う。 （R03/A20）
18．トンネル磁気抵抗効果の新展開：軌道対称性効果の解明と新規量子デバイスの創出	科学研究費助成事業 基盤研究（S）	R4-R8 年度 三谷誠司,柳原英人,三浦良雄,岡林潤 物質・材料研究機構、筑波大学,東京大学	本研究では、TMR の学術理解を根底から見直す。軌道磁気分光手法の開拓、軌道磁性体薄膜の創製、軌道ホール効果の観測等を通じて界面軌道物理という TMR の根幹に関わる学術領域の創成を行い、これを基軸とすることで TMR の新展開を果たす。理論が予測する数千％の TMR 比の実現や、コヒーレント性を利用した新規量子スピンデバイスの開発を狙う。（R03/B01）
19．基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発　課題ア　高周波数帯IRSの制御技術（課題ア-②）	総務省 電波資源拡大のための研究開発	R3-R6 年度 今野佳祐 東北大学	本研究開発では、高周波数帯における IRS の設計を行う。本研究は、共同プロジェクト研究「次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究」および「次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究」から発展した。 （H31/B03,R04/B05）

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
20．二次元ホウ素未踏マテリアルの創成と機能開拓	科学技術振興機構（JST） 戦略的創造研究推進事業 （CREST）	R3-R7 年度 吹留博一 東北大学	自律的動作が可能なインフォマティクスと物質の機能性を直接評価できるオペランド計測を組み合わせた革新的な合成法開発技術を構築することを目的とする。そしてこの新アプローチを用いてホウ素原子シートの合成を最短で実施するとともに、機能性に応じたボロフェン誘導体シートの合成レシピのライブラリーを作成する。本研究ではホウ素の機能性物質の中でも高い導電性シートの作製を中心に行い、2次元ボロンデバイスのコンソーシアムを構築しながら、本物質の電池及び通信材料への利用展開を図る。（R03/A25）
21．スピントロニクス確率論的コンピュータの大規模集積化に向けた基盤構築と『確率超越性』の実証	科学技術振興機構（JST） 先端国際共同研究推進事業 （ASPIRE）	R5-R10 年度 深見　俊輔 東北大学	スピントロニクス確率論的コンピュータの大規模集積化に向けた基盤を構築し、ある種のタスクの処理において汎用型コンピュータと比べて計算処理性能に勝ることを実証する。（H29/B15、H31/B02、R04/B04）
22．IoT 応用向け高速かつ超低消費電力でダイ・ハードなロジック LSI 基盤技術の開発	科学研究費助成事業 基盤研究（A）	R3-R6 年度 羽生　貴弘 東北大学	不揮発記憶素子を用いた不揮発性ロジックや非同期式ロジックなどポスト CMOS ロジックによる高速・超低消費電力性を生かしつつ、その LSI 実装上不可欠な製造ばらつき等に対する正常動作を補償する頑健な回路技術の基盤を開発する。特に、IoT 応用として社会実装するためには、実世界環境への適用性が必須となる。そのため、実世界環境の変化に応じて回路動作が自律的に最適化できるダイ・ハードな回路技術の基盤技術を構築する。（R02/B12）
23.究極素材ダイヤモンドが実現する超高速 IT インフラ ―世界初のダイヤモンド半導体の社会実装とデファクト化を目指して―	内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）	R5-R7 年度 末松憲治 古市朋之 東北大学	用途特化型アプリを導入したプロセスラボにて、素子試作を行い性能バラツキおよび歩留まりを評価する。社会実装が可能な実用素子プロセスを構築する。 高周波ダイヤモンドダイオードの性能を評価し、レクテナ等への適用を目指した仕様に対する製造歩留まりを確認する。（R04/A11）
24．単一コロイド量子ドットの電気伝導現象の解明と高機能光電子デバイスへの展開	JKA 補助事業-機械振興補助事業	R5-R6 年度 大塚朋廣准教授 Satria Bisri 准教授 岩佐義宏教授 東北大学 理化学研究所 東京大学生産技術研究所 東京農工大学	単一のコロイド量子ドットの電気伝導を測定し、その物性を単一量子ドットレベルで明らかにすることで、コロイド量子ドットを用いた高機能な光電デバイスや量子情報デバイスの実現に寄与する。（R04/A06）

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
25.Beyond 5Gの電磁環境制御用 散乱体の設計	東北大学- NICT・マッチング支援事業	R5 年度 チャカロタイ ジェドヴィスノプ 今野佳祐 情報通信研究機構 東北大学	本研究開発では、Beyond 5G の通信技術を支える散乱体の設計を行う。本研究は、共同プロジェクト研究「次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究」および「次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究」から発展した。(H31/B03、R04/B05)
26.位置情報に頼らない時空間データ解析基盤の創出	JST 戦略的創造研究推進事業(さきがけ)・”社会変革に向けた ICT 基盤強化”領域	R5-R8 年度 佐藤光哉 助教 電気通信大学	測位を伴わない時空間データ予測手法の確立を目指す。共同プロジェクト研究「デジタルツイン社会に向けた境界のない無線ネットワークの設計」(R5 年度)から発展した。(R05/B01)
27. 通信・センシング・学習の融合によるレジリエントサイバー空間生成基盤	JST 先端国際共同研究推進事業・”次世代のための ASPIRE”	R5-R8 年度 須藤克弥 准教授(代表) 西尾理志 准教授 佐藤光哉 助教 電気通信大学 東京工業大学	国際連携により、柔軟なサイバー空間生成技術を設計する。共同プロジェクト研究「デジタルツイン社会に向けた境界のない無線ネットワークの設計」(R5 年度)から発展した。(R05/B01)
28. 地域を支える知のデジタライゼーションと共有基盤	JST-戦略的創造研究推進事業(CREST) (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)	R3-R8 年度 山口弘純教授(大阪大学) 大阪大学 近畿大学 讀賣テレビ放送	本研究開発では、Society5。0 基盤ソフトとして TASK/OS5 を構築し、地域社会に求められる都市 OS の機能をプライバシ保護のもとで実現する。本研究は共同プロジェクト研究「スマート社会を支える自己産出型サービスプラットフォームに関する研究」より発展した。(R05/A24)
29. 新生活様式におけるコミュニティ形成のためのサイバーフィジカル空間共有基盤	NICT ウイルス等感染症対策に資する情報通信技術の研究開発 課題 C)アフターコロナ社会を形成する ICT	R3-R5 年度 山口教授(大阪大学) 安本教授(NAIST) 松田助教(NAIST)	本研究では、アフターコロナに求められる新しいコミュニケーション技術を開発する。本研究は共同プロジェクト研究「スマート社会を支える自己産出型サービスプラットフォームに関する研究」より発展した。(R05/A24)
30. 量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発	総務省・情報通信技術の研究開発	R5-R9 年度 中沢正隆特任教授 吉田 真人准教授 東北大学 NICT	量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発をおこなうことを目的とするものであり、位相同期の応用として QKD の開発を行う。(R05/A25)
31. Edge-Assisted Intelligent Routing with Multi-Agent Reinforcement Learning for Internet of Vehicles	国立情報学研究所・応募型共同研究	R5 年度 Shao Xun 豊橋技術科学大学	Edge-Assisted Intelligent Routing with Multi-Agent Reinforcement Learning for Internet of Vehicles(R05/A23)

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
32．小型・低消費電力・低雑音 THz トランシーバを実現する光電子融合ヘテロジニアス集積技術の研究開発	総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）フェーズⅠ	R5 年度 北智洋教授 佐藤昭准教授 早稲田大学 東北大学	本研究開発では、光電融合技術の応用によって 1 チップ集積化した THz 帯とトランシーバを開発するというものであり、プロジェクト研究「光電子融合ヘテロジニアス集積技術の研究開発」から発展した。（R05/A30）
33．照明の「演質感性」指標の確立 －感性再現に至適な照明設計技術へ向けて－	科学研究費助成事業 基盤研究（B）	R5-R8 年度 永井岳大 （東京工業大学）	オブジェクト認知の特性を活用し、多様な照明環境における演質感性（照明が質感を表現する度合い）指標を構築することを目指す。（R04/B07）
34．彩色によるリアリティとその限界の脳内メカニズム	科学研究費助成事業 学術変革（A）「深奥質感」公募課題	R5-R6 年度 栗木一郎 （埼玉大学）	白黒映像に着色する際、彩度の理論上の正解は無いが、人間はリアルに感じる彩度を評価できる。色の鮮やかさに関するリアルさの感覚を決める脳内メカニズムについて心理物理・脳機能計測・DNN などを用いて研究する。（R04/B07）
35．身体の姿勢制御と接触時間予測との関連性とその加齢変化	室蘭工業大学・若手研究者研究基盤形成支援経費	R5 年度 寺岡諒 （室蘭工業大学）	注意機能を基盤として人間の危険回避プロセスを解明する。（R04/A16）
36．コヒーレントスピンダイナミクスを用いた省エネ・創エネデバイス	科学研究費助成事業 基盤研究（S）	R6-R10 年度 深見俊輔 （東北大学）	集団的スピン秩序のコヒーレントなダイナミクスと電気信号の相互変換の工学利用方法を明らかにし、環境発電デバイスや乱数生成デバイスなどを実証する。（H29/B15、H31/B02、R04/B04）
37．キメラ準粒子のエレクトロニクス	科学研究費助成事業 学術変革領域研究（A）計画研究	R6-R10 年度 深見俊輔 （東北大学）	複数の準粒子の波長と周波数が合致した時に出現する準粒子の複合体「キメラ準粒子」のエレクトロニクス利用に向けた基礎を構築する。（H29/B15、H31/B02、R04/B04）

第 6 国際活動

1. 電気通信研究所国際シンポジウム

（2023 年度に開催された通研国際シンポジウム）

開催回	名称	開催日
第 125 回	The 20th International Workshop on Emerging ICT	令和 5 年 10 月 16 日-10 月 18 日
第 126 回	20th RIEC International Workshop on Spintronics	令和 5 年 11 月 28 日-12 月 1 日
第 127 回	RIEC International Symposium on Enriching Telecommunication and Nonverbal Information	令和 6 年 1 月 26 日-1 月 27 日
第 128 回	The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	令和 6 年 2 月 27 日-2 月 28 日
第 129 回	The 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	令和 6 年 3 月 5 日-3 月 6 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	Scientific Reports
2	Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction (PACMHCI) Editor
3	Auditory Perception & Cognition
4	Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
5	IEICE Electronics Express

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	ICOOPMA: International Advisory Committee member, International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications; IAC (Int. Advisory Comm.), 9th in Ghent, Belgium, July 3 - 7, 2022; IAC, 10th, in Pardubice, Czech, June 23-28, 2024
2	CIMTEC: International Conferences on Modern Materials & Technologies; International Advisory Board member; Montecatini Terme (near Florence), Italy, June 19-23, 2020, June 2021, June 20-29, 2022.(postponed due to covid19)
3	SPIE Photonics-EU: SPIE International Conference on Photonics Europe, Conference on Terahertz Photonics; TPC member; Strasbourg, France, Apr. 1-2, 2020, Apr. 2021, Apr. 3-7, 2022. (postponed due to covid-19)
4	RPGR: International International Conference on Recent Progress in Graphene and Related 2D Materials Research; IAB (Int. Advisory Board) Chair, member; IAB Chair, LOC Co-Chair, in Matsue, Japan, Oct. 6-10, 2019; IAB Chair, in Seoul, Korea (Online), Oct. 10-15, 2021; IAB member, in Taipei, Taiwan, Nov. 13-16, 2022
5	2DM: International Congress on Graphene, 2D Materials and Applications; TPC member, Sochi, Russia, Sept. 30-Oct. 4, 2019
6	IRMMW-THz: International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves; IOC (International Organizing Committee) member; 2016~; IOC, TPC, 46th in Chengdu, China, Aug. 29-Sept. 3, 2021; IOC, TPC, 47th in Delft, Netherland, Aug. 29 - Sept. 2, 2022; IOC, TPC, 48th in Montreal, Canada, Sept 17-11, 2023
7	META 19: The 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, Lisbon, Portugal, July 22-25, 2019; Special Session Organizer
8	TWHM: Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics; TPC member; 2003~; TPC, in Toyama, Japan, April 26-29, 2019; TPC, in Hiroshima, Japan, Aug. 29-Sept. 1, 2022
9	RJUSE: Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies; ISC (International Steering Committee) Chair, 2017~; Nizhny Novgorod, Russia, Jul. 8-11, 2019.
10	CSW/ISCS: Compound Semiconductor Week / International Symposium on Compound Semiconductors; Program Sub-Committee member, in Matsue, Japan, May 19-23, 2019.
11	TeraTech: International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technologies; General Chair, and ISC (Int. Steering Comm.) Chair, 10th in Aizuwakamatsu, Japan, Sept. 4 - 8, 2023
12	SPIE Optics+Photonics 2022, Conferene on Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XIV (OP412); TPC member, SanDiego, CA, USA, Aug. 20-24, 2023.
13	RJUSE 2019: TPC member, Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies, Nizhny Novgorod, Russia, Jul. 8-11, 2019.
14	RJUSE 2020: Chair, Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies, Sendai, Japan, Nov. 2-5, 2020.
15	TeraTech: International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technologies; LOC (Local Org. Comm.) Co-Chair, 10th in Aizuwakamatsu, Japan, Sept. 4 - 8, 2023

16	SSDM 2022: International Conference on Solid State Devices and Materials; Area 4 Technical Program Committee member, in Chiba, Japan, Sept. 26 - 29, 2022.
17	SSDM 2023: International Conference on Solid State Devices and Materials; Area 4 Technical Program Committee member, in Nagoya, Japan, Sept. 5 - 8, 2023.
18	IEEE Virtual Reality and 3D User Interface 2023, Program committee
19	ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2022, Program Co-Chair
20	ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Steering Committee Chair
21	ACM CHI Conference on Human Factors in Computing System, Steering Committee
22	International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Steering Committee
23	The 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, General Co-chair
24	The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, General Vice-Chair
25	13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, RIEC, Sendai, Japan, Jan. 23-24, 2023
26	13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, RIEC, Sendai, Japan, Mar. 7-8, 2023
27	2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics, Organized Session Co-Chair

4. 国際学会における招待講演数

	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
招待講演数	80	96	42	62	51

5. 国際共同研究の実施状況

	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
実施状況(件数)	101	118	98	74	69

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
ドイツ	ケムニッツ工科大学/Technical University of Chemnitz	Study and application of SiC and 2D materials	2011.10～	吹留研
イギリス	ヨーク大学/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	2017.10～	白井研
ポーランド	ポーランド科学アカデミー/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	1999.4～	深見研
スウェーデン	ヨーテボリ大学/University of Gothenburg	スピントロニクス素子の発振現象に関する研究	2016.11～	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	2016.11～	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	2016.9～	深見研
シンガポール	シンガポール国立大学/National University of Singapore(NUS)	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	2017.9～	深見研
アメリカ	シカゴ大学/University of Chicago	酸化物材料の量子情報応用	2018.3～	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
アメリカ	パデュー大学/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	2018.2～	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	2018.1～	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	2018.11～	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.	2020.4～2023.3	深見研
アメリカ	UC サンタバーバラ	確率動作磁気トンネル接合素子とその計算機応用	2021.1～	深見研
フィリピン	ミンダナオ州立大学	Coplanar waveguide size and magnetization angle dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification ferromagnetic resonance	2022.4～2025.3	深見研
オーストラリア	ニューサウスウェールズ大学	Creation, manipulation, and electrical control of chiral spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures	2022.5～	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とエッジコンピューティングへの応用	2021.4～	佐藤研
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	2021.4～	佐藤研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ドイツ ベルギー アメリカ フランス スペイン 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	2020.4～ 2023.3	佐藤研
ドイツ	Innovations for High Performance microelectronics (IHP), Technische Universität Berlin	原子層ドーピング	1995.10～	佐藤研
スペイン	バルセロナ大学	人工神経細胞回路を基盤とする神経変性疾患モデリング技術の開発	2022.10～	佐藤研
ドイツ	Ruhr-University Bochum	半導体微細デバイスに関する研究	2018.4～	大塚研
アメリカ	パデュー大学/Purdue University	原子層物質と微細構造の研究	2019.10～	大塚研
カナダ	マックマスター大学/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	2020.11～	廣岡研
イギリス	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	2020.4～ 2023.3	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	2020.4～ 2023.3	末松研
シンガポール	シンガポール国立大学/National University of Singapore (NUS)	5G･IoT のためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	2021.4～	末松研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
アメリカ	マサチューセッツ工科大学/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	2020.4～2023.3	田中研
スペイン	サマランカ大学	Development of graphene based devices for terahertz applications	2020.4～2023.3	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	2020.4～2023.3	尾辻研
ロシア	Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of Russian academy of sciences	Japan-Russia International collaborative research on boosting a performance of a large-area THz photoconductive emitter	2022.4～	尾辻研
アラブ首長国連邦	United Arab Emirates University	Study of magnetic, dielectric and optical properties of nanomaterials for Terahertz applications	2022.4～	尾辻研
アメリカ	University at Buffalo, SUNY	Japan-USA International Collaborative Research on the Theoretical and Experimental Investigation of Coulomb Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons and its Application for THz Laser Transistors	2022.4～	尾辻研
アメリカ	マサチューセッツ工科大学/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	2016.1～	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	2016.1～	枝松研
インド	Bose Institute	量子計測過程に関する共同研究	2018.5～	枝松研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
アメリカ	ロチェスター工科大学/Rochester Institute of Technology	Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes	2020.4～	坂本研
イギリス オーストラリア	ヨーク大学/York University, クイーンズランド大学/The University of Queensland	3 次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	2020.4～	坂本研
オーストラリア	シドニー大学/University of Sydney	バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究	2021.4～	坂本研
イギリス オーストラリア	ヨーク大学/York University ニューサウスウェールズ大学/University of New South Wales	3 次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	2020.4～	坂本研
イギリス	University College London	聴覚の空間的注意に関する研究	2021.10～	坂本研
韓国	韓国科学技術/Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)	多機能マルチメディア生成に関する研究	2022.4～	坂本研
台湾	国立台湾大学	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	2020.4～	塩入研
イギリス オランダ ドイツ 台湾	University College London KU Leuven, Centre for Integrative Neuroscience 国立台湾大学	社会行動の脳内機序解明にむけたヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討	2021.4～	塩入研
台湾	国立台湾大学	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	2021.4～	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
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	2019.4～	塩入研
台湾	国立台湾大学	学習時の注意推定に関する研究	2022.4～	塩入研
台湾	国立成功大学/National Cheng-Kung University, Taipei McKay Medical University	An Inter-personal Dimension of MA: Behavior, Physiology, and Engineering	2022.5～	塩入研
スウェーデン ノルウェー	チャルマース工科大学/Chalmers University of Technology, ベルゲン大学/University of Bergen	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	2019.10～	北村研
イタリア	Palermo University	HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music	2020.4～ 2023.3	北村研
タイ	チュラロンコン大学/Chulalongkorn University	Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system	2020.4～ 2023.3	北村研
カナダ	トロント大学/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	2020.4～ 2023.3	北村研
シンガポール	シンガポール国立大学	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	2020.4～ 2023.3	北村研
オーストラリア	メルボルン大学/The University of Melbourne	Cognition-Aware-Systems for Improving Human Performance	2020.4～ 2023.3	北村研
イギリス	マンチェスター・メトロポリタン大学/Manchester Metropolitan University	Exploring and designing interactions for VR headsets using smartphone interfaces	2022.4～	北村研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
中国	中国医科大学/China Medical University	Interpersonal coordination of motor, cognitive and neurophysiological processes in joint activities	2022.5～	北村研
シンガポール	Symgapore Managemetn University	これからの学術集会を考える	2022.4～	北村研
シンガポール	SenseFoil PTE.LTD.	持続的社会を実現する水上モビリティの要素技術に関する研究会	2022.4～	北村研
シンガポール	Singapore Management University	屋内マップのためのグラフコンテンツ可視化技術とナビゲーションインタフェース	2022.5～	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	2015.4～	石黒研
イギリス	マンチェスター大学/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	2017.4～	石黒研
イギリス	ウォーリック大学/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	2019.10～2024.3	石黒研
ドイツ アメリカ	エアランゲン大学 アルゴンヌ国立研究所	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	2021.4～	平野研
台湾 中国 韓国	国立台湾大学, Old Dominion University Perter Bruggeman University of Petroleum, Advanced Institute of Science and Technology,	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ･医療デバイスの創成	2021.4～	平野研
アメリカ	マサチューセッツ工科大学/Massachusetts Institute of Technology(MIT)	組合せ論理の特性に関する研究	2017.10～	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
中国	北京大学	双方向変換の深化による自律分散ビッグデータの相互運用基盤に関する研究	2015.4～	中野研
カナダ	トロント大学 McGill 大学 ウォータールー大学	脳型 LSI とその関連技術国際共同研究	2020.4～ 2023.3	羽生研

7. 外国人研究者の招へい状況

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和5年度
文部科学省事業	63	6	6	9	0
日本学術振興会事業	9	4	6	5	3
当該法人による事業	26	11	8	42	77
その他	109	16	5	11	30
計	207	37	25	67	110
地域別内訳					
①アジア	82	23	15	33	22
②北米	22	4	3	7	28
③中南米	1	1	2	1	1
④ヨーロッパ	97	9	5	21	50
⑤オセアニア	3	0	0	4	7
⑥中東	2	0	0	0	1
⑦アフリカ	0	0	0	1	1
計	207	37	25	67	110
滞在期間別内訳					
1月以上滞在	41	34	21	24	31
1週間以上1月未満	41	2	2	17	26
1週間未満	125	1	2	26	53
計	207	37	25	67	110

8. 研究者の海外派遣状況

（人）

区分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和5年度
文部科学省事業	37	0	1	37	3
日本学術振興会事業	105	0	0	16	43
当該法人による事業	49	0	0	18	51
その他	86	0	8	48	112
計	277	0	9	119	209
地域別内訳					
①アジア	49	0	0	19	33
②北米	91	0	5	37	61
③中南米	1	0	0	1	0
④ヨーロッパ	121	0	4	59	93
⑤オセアニア	13	0	0	3	15
⑥中東	1	0	0	0	7
⑦アフリカ	1	0	0	0	0
計	277	0	9	119	209

9. 国際学術交流協定一覧

9－1. 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 津屋　昇	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー 物理研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究	○	○				継続
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー (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 室田淳一	フランス	国立科学研究所 マルセイユナノサイエンス学際センター	2005.10.24	半導体表面・界面制御結晶成長の基礎と応用の研究	○	○				継続
教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子およびスピントロニクスの基礎と応用の研究	○	○				継続
教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネットワーク研究所 (WINLAB)	2009.12.9	超高速屋内ブロードバンド無線通信システムの研究	○	○				継続
教授 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 本間尚文	フランス	国立パリ高等情報通信大学テレコムパリ (現:パリ工科大学テレコムパリ)	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 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	○	○				6月終結
教授 塩入諭	台湾	国立台湾大学人工知能・先端ロボットセンター	2018.7.31	共同研究の推進と高度人材育成	○	○				継続
教授 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	○	○				継続

9－2. 大学間協定

国　名	協　定　校	協定締結 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 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 サンタバーバラ校以外について 2020 年より参画	○	○				継続
ドイツ	ミュンヘン工科大学	2010.8.3 通研は 2020 年より参画	○	○				継続
台湾	国立台湾大学	2000.11.18 通研は 2020 年より参画	○	○				継続
台湾	国立陽明交通大学	2005.12.15 通研は 2020 年より参画	○	○				継続
スイス	スイス連邦工科大学ローザンヌ校	2000.11.20 通研は 2020 年より参画	○	○				継続
シンガポール	シンガポール国立大学	2000.9.16 通研は 2020 年より参画	○	○				継続

国　名	協　定　校	協定締結 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	
オーストラリア	メルボルン大学	2014.11.7 通研は 2021 年より参画	○	○				継続
ポーランド	ポーランド科学アカデミー	2021.7.23 通研は 2021 年より参画	○	○				継続
オーストラリア	シドニー大学	1993.1.8 通研は 2022 年より参画	○	○				継続
タイ	キングモンクット工科大学トンブリ校	2012.11.26 通研は 2022 年より参画	○	○				継続
フランス	ロレーヌ大学	2018.2.26 通研は 2022 年より参画	○	○				継続
台湾	国立中正大学	2003.11.14 通研は 2023 年より参画	○	○				新規
イギリス	ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン	2013.11.21 通研は 2023 年より参画	○	○				新規
アメリカ	ライス大学	2017.7.21 通研は 2023 年より参画	○	○				新規
中国	香港大学	2019.3.16 通研は 2023 年より参画	○	○				新規
カナダ	オタワ大学	2009.6.26 通研は 2023 年より参画	○	○				新規

第7 社会貢献

1. 東北大学 電気･情報 産学官フォーラム参加者数

（人）

年度	令和元年度 東京	令和２年度 （オンライン開催）	令和３年度 （オンライン開催）	令和４年度 （ハイブリッド開催）	令和５年度 （開催なし）
技術セミナー	―	―	―	―	―
講演会	194	242	258	234	―
＜外部＞	121	150	153	158	―
＜内部＞	73	92	105	76	―
来場者数	194	242	258	234 （オンライン 192 ／対面 42）	―

2. 通研一般公開参加者数

（人）

参加者数	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和5年度
	（開催中止）	オンライン開催	オンライン開催	1,591	624

※1　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。

※2 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 令和３年度はオンライン開催

通研公開 2021 特設サイトのアクセス数：約 4,100 回

研究紹介、公開実験、工作教室のビデオ視聴回数：約 2,500 回

工作キットの送付数：約 610 セット

※4 令和5年度は片平まつりと同時開催

3. 学会名誉会員及びフェローの状況

（人）

区　分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和5年度
国際学会 フェロー	2	2	2	2	4
国内学会 フェロー	6	8	8	8	8
計	8	10	10	10	12

4. 学会名誉会員及びフェロー一覧

国際学会

学　会　名	氏　名
IEEE	尾 辻 泰 一
IEEE	田 中 陽一郎
IEEE	遠 藤 哲 郎
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
日本磁気学会	深 見 俊 輔
日本表面真空学会	平 野 愛 弓

5. 学会役員の状況

（人）

区　分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和5年度
国際学会役員	1	1	2	3	1
国内学会役員	12	12	11	8	7
計	13	13	13	11	8

※会長、理事、評議員等

6. 学会役員一覧

国際学会（2023）

学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
IEEE	Additional Members appointed by the Council Committee	2022～現在	廣岡　俊彦

国内学会（2023）

学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
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
日本音響学会	理事	2021～現在	坂本　修一
映像情報メディア学会	副会長	2021～現在	塩　入　　諭
日本神経回路学会	理事	2021～現在	山本　英明
日本脳科学関連学会連合	評議員	2022～現在	山本　英明
応用物理学会	理事	2023～現在	平野　愛弓

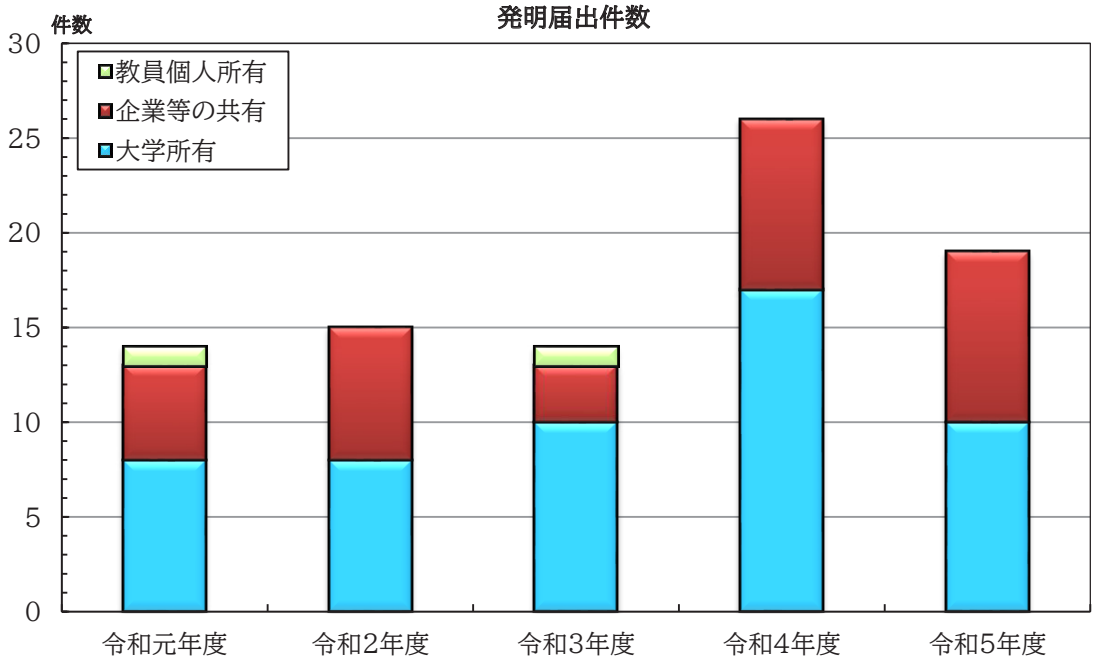
7. 各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

（人）

区　分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和5年度
文部科学省関連	2	3	5	8	9
他省庁	13	14	16	18	10
地方公共団体	4	6	5	4	4
財団、学会	29	25	23	23	10
その他	106	80	85	108	121
計	154	128	134	161	154

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	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
発明届出件数	14	15	14	26	19
教員個人所有	1	0	1	0	0
企業等の共有	5	7	3	9	9
大学所有	8	8	10	17	10
国内出願数	16	14	19	18	20
国内登録数	17	24	13	10	10
外国出願数（含むPCT出願数）	16	22	16	22	15
外国登録数	13	19	12	15	9

2. 電気通信研究所における技術的相談、指導

（件）

区　分	令和元年度	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
技術的相談、指導	88	86	64	82	132

第9 広報活動と情報公開

開催行事

1	The 20th International Workshop on Emerging ICT	2023年10月16日(月) ～10月18日(水)
2	20th RIEC International Workshop on Spintronics	2023年11月28日(火) ～12月1日(金)
3	RIEC International Symposium on Enriching Telecommunication and Nonverbal Information	2024年1月26日(金) ～1月27日(土)
4	The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2024年2月27日(火) ～2月28日(水)
5	The 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	2024年3月5日(火) ～3月6日(水)
6	14th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics	2023年12月14日(木) ～12月15日(金)
7	東北大学 電気通信研究所 通研公開 2023【現地開催】	2023年10月7日(土)
8	東北大学 電気通信研究所 情報通信共同研究拠点 令和5年度共同プロジェクト研究発表会 【ハイブリッド開催】	2024年2月15日(木)

出版物

1	電気通信研究所要覧(和文･英文)	年1回発行
2	電気通信研究所研究活動報告(和文版･英文版)	電子版･HP掲載
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	研究基盤技術センター年次報告書	年1回発行

その他

1	電気通信研究所ホームページ	公開中
2	電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中
3	RIEC Newsweb	公開中

職　　員

（令和５年５月１日）

所長（併）／教授	Director, Professor	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu

研究部門　Research Divisions

計算システム基盤研究部門　Computing System Platforms Division

■ 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*	日　暮　栄　治	Eiji Higurashi
准教授	Associate Professor	吹　留　博　一	Hirokazu Fukidome
准教授（兼）	Associate Professor*	岡　田　　健	Takeru Okada

■ 誘電ナノデバイス研究室　Dielectric Nano-Devices

教　授	Professor	（白　井　正　文）	(Masafumi Shirai)
教　授（兼）	Professor*	小　玉　哲　也	Tetsuya Kodama
教　授（兼）	Professor*	吉　澤　　晋	Shin Yoshizawa
准教授	Associate Professor	山　末　耕　平	Kohei Yamasue
准教授	Associate 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
教　授（兼）	Professor*	大　関　真　之	Masayuki Ohzeki
准教授	Associate Professor	阿　部　和多加	Kazutaka Abe
准教授（兼）	Associate Professor*	高　橋　和　貴	Kazunori Takahashi
助　教	Assistant Professor	辻　川　雅　人	Masahito Tsujikawa

■ スピントロニクス研究室　Spintronics

教　授	Professor	深　見　俊　輔	Shunsuke Fukami
教　授（兼）	Professor*	安　藤　康　夫	Yasuo Ando
教　授（兼）	Professor*	島　津　武　仁	Takehito Simatsu
教　授（兼）	Professor*	齊　藤　　伸	Shin Saito
教　授（兼）	Professor*	池　田　正　二	Shoji Ikeda
教　授（兼）	Professor*	大　兼　幹　彦	Mikihiko Ogane
教　授（兼）	Professor*	角　田　匡　清	Masakiyo Tsunoda
准教授	Associate Professor	金　井　　駿	Shun Kanai
准教授（兼）	Associate Professor*	小　川　智　之	Tomoyuki Ogawa
助　教（兼）	Assistant Professor*	山　根　結　太	Yuta Yamane
特任研究員	Specially Appointed Research Fellow	丸　井　幸　博	Yukihiro Marui
学術研究員	Research Fellow	小　原　紀　子	Noriko Obara

■ ナノ集積デバイス・システム研究室　Nano-Integration Devices and Systems

教　授	Professor	佐　藤　茂　雄	Shigeo Sato
教　授（兼）	Professor*	張　山　昌　論	Masanori Hariyama
教　授（兼）	Professor*	黒　田　理　人	Rihito Kuroda
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*	Waidyasooriya Hasitha Muthumala	Waidyasooriya Hasitha Muthumala
助　教	Assistant Professor	佐　藤　信　之	Nobuyuki Sato
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	守　谷　　哲	Satoshi Moriya
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	織　間　健　守	Takemori Orima

職　員

■ 量子デバイス研究室　Quantum Devices

准教授	Associate Professor	大 塚 朋 廣	Tomohiro Otsuka

■ 革新的スピントロニクスデバイス研究室　Innovative Spintronic Device

教　授	Professor	Bengt Johan Åkerman	Bengt Johan Åkerman
助　教	Assistant Professor	土 肥 昂 尭	Takaaki Dohi

■ 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*	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
助　教	Assistant Professor	浅 田 和 之	Kazuyuki Asada
助　教	Assistant Professor	菊 池 健太郎	Kentaro Kikuchi

■ 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	Associate Professor	鬼 沢 直 哉	Naoya Onizawa
准教授（兼）	Associate Professor*	伊 藤 康 一	Koichi Ito
学術研究員	Research Fellow	玉 越 晃	Akira Tamakoshi
学術研究員	Research Fellow	米 田 友 洋	Tomohiro Yoneda

■ ナノフォトエレクトロニクス研究室　Nano-photoelectronics

教　授（兼）	Professor*	藤 掛 英 夫	Hideo Fujikake
准教授（兼）	Associate Professor*	石 鍋 隆 宏	Takahiro Ishinabe

■ ソフトウェア構成研究室　Software Construction

教　授（兼）	Professor*	篠 原 歩	Ayumi Shinohara
教　授（兼）	Professor*	住 井 英二郎	Eijiro Sumii
准教授（兼）	Associate Professor*	松 田 一 孝	Kazutaka Matsuda
准教授（兼）	Associate Professor*	吉 仲 亮	Ryo Yoshinaka

■ 計算システム基盤技術研究室（客員）　Computing System Platform Technology (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	弓 仲 康 史	Yasushi Yuminaka
客員教授	Visiting Professor	松 岡 浩	Hiroshi Matsuoka
客員教授	Visiting Professor	今 井 雅	Masashi Imai

情報通信基盤研究部門　Information Communication Platforms 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
准教授	Associate 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
特任教授	Specially Appointed Professor	塚　本　悟　司	Satoshi Tsukamoto
准教授（兼）	Associate Professor*	今　野　佳　祐	Keisuke Konno
助　教	Assistant Professor	古　市　朋　之	Tomoyuki Furuichi
学術研究員	Research Fellow	西　野　　有	Tamotsu Nishino

■ 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
准教授（兼）	Associate Professor*	鈴　木　　顕	Akira Suzuki

■ 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
特任准教授	Specially Appointed Associate Professor	林　　宗　澤	Tsung Tse Lin
助　教	Assistant Professor	渡　辺　隆　之	Takayuki Watanabe
助　教（兼）	Assistant Professor*	唐　　超	Tang Chao
学術研究員	Research Fellow	Ryzhii Victor	Ryzhii Victor

■ 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*	金田　文寛	Fumihiro Kaneda
助　教	Assistant Professor	Soyoung Baek	Soyoung Baek

■ ネットワークアーキテクチャ研究室　Network Architecture

教　授	Professor	長谷川　　剛	Go Hasegawa
教　授（兼）	Professor*	斎　藤　浩　海	Hiroumi Saito
教　授（兼）	Professor*	乾　　健太郎	Kentaro Inui
教　授（兼）	Professor*	鈴　木　　潤	Jun Suzuki
准教授（兼）	Associate Professor*	後　藤　英　昭	Hideaki Goto
准教授（兼）	Associate Professor*	水　木　敬　明	Takaaki Mizuki
准教授（兼）	Associate Professor*	坂　口　慶　祐	Keisuke Sakaguchi

■ 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
特任研究員	Specially Appointed Research Fellow	Tasso Elise Lea Marlene	Tasso Elise Lea Marlene

職　員

■ 情報通信基盤技術研究室（客員）　Information and Communication Platform Technology (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	鈴　木　恭　宜	Yasunori Suzuki

人間・生体情報システム研究部門　Human and Bio 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*	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
教　授（兼）	Professor*	遠　藤　　恭	Yasushi Endo
准教授	Associate Professor	後　藤　太　一	Taichi Goto
准教授（兼）	Associate Professor*	桑波田　晃　弘	Akihiro Kuwahata
准教授（兼）	Associate Professor*	長　崎　　陽	Yoh Nagasaki
准教授（兼）	Associate Professor*	室　賀　　翔	Sho Muroga
講　師（兼）	Lecturer*	青木（木嶌）英恵	Hanae Aoki (Kijima)

■ 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*	杉　田　典　大	Norihiro Sugita
准教授	Associate Professor	曽　　加　蕙	Chia-Huei Tseng
助　教	Assistant Professor	羽　鳥　康　裕	Yasuhiro Hatori
助　教（兼）	Assistant Professor*	Sun Sai	Sun Sai

■ 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
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	脇　田　大　輝	Daiki Wakita

■ 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
教　授（兼）	Professor*	神　崎　　展	Makoto Kanzaki
教　授（兼）	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*	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
助　教（兼）	Assistant Professor*	平　本　　薫	Kaoru Hiramoto

■ インタラクティブコンテンツ研究室　Interactive Content Design

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

■ 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

■ 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	Assistant Professor	Li Tao	Li Tao

■ 生体情報システム研究室（客員）　Bio Information Systems (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	井　上　光　輝	Mitsuteru Inoue
客員准教授	Visiting Associate Professor	岡　本　拓　磨	Takuma Okamoto

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	堀　尾　喜　彦	Yoshihiko Horio

■ 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*	安　藤　康　夫	Yasuo Ando
教　授（兼）	Professor*	島　津　武　仁	Takehito Simatsu
教　授（兼）	Professor*	齊　藤　　伸	Shin Saito
教　授（兼）	Professor*	池　田　正　二	Shoji Ikeda
教　授（兼）	Professor*	大　兼　幹　彦	Mikihiko Ogane
教　授（兼）	Professor*	角　田　匡　清	Masakiyo Tsunoda
准教授	Associate Professor	金　井　　駿	Shun Kanai
准教授（兼）	Associate Professor*	小　川　智　之	Tomoyuki Ogawa
助　教（兼）	Assistant Professor*	山　根　結　太	Yuta Yamane

職　員

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室　Nano-Bio Hybrid Molecular Devices

教　授	Professor	平　野　愛　弓	Ayumi Hirano
教　授（兼）	Professor*	吉　信　達　夫	Tatsuo Yoshinobu
教　授（兼）	Professor*	木　下　賢　吾	Kengo Kinoshita
教　授（兼）	Professor*	金　子　俊　郎	Toshiro Kaneko
教　授（兼）	Professor*	神　崎　　展	Makoto Kanzaki
教　授（兼）	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*	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
助　教（兼）	Assistant Professor*	平　本　　薫	Kaoru Hiramoto

■ ナノ集積デバイス・システム研究室　Nano-Integration Devices and Systems

教　授	Professor	佐　藤　茂　雄	Shigeo Sato
教　授（兼）	Professor*	張　山　昌　論	Masanori Hariyama
教　授（兼）	Professor*	黒　田　理　人	Rihito Kuroda
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*	Waidyasooriya Hasitha Muthumala	Waidyasooriya Hasitha Muthumala
助　教	Assistant Professor	佐　藤　信　之	Nobuyuki Sato
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	守　谷　　哲	Satoshi Moriya
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	織　間　健　守	Takemori Orima

■ 革新的スピントロニクスデバイス研究室　Innovative Spintronic Device

教　授	Professor	Bengt Johan Åkerman	Bengt Johan Åkerman
助　教	Assistant Professor	土　肥　昂　尭	Takaaki Dohi

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	石　黒　章　夫	Akio Ishiguro

■ 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	Associate Professor	鬼　沢　直　哉	Naoya Onizawa
准教授（兼）	Associate Professor*	伊　藤　康　一	Koichi Ito

■ 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
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	脇　田　大　輝	Daiki Wakita

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	板　谷　聡　子	Satoko Itaya
客員准教授	Visiting Associate Professor	前　畠　　貴	Takashi Maehata
客員准教授	Visiting Associate Professor	本　良　瑞　樹	Mizuki Motoyoshi

■ 学際連携研究部　Interdisciplinary Collaboration Research Division

教　授（兼）	Professor*	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu

■ 萌芽研究部　Exploratory Research Division

教　授（兼）	Professor*	塩　入　　諭	Satoshi Shioiri
教　授（兼）	Professor*	北　村　喜　文	Yoshifumi Kitamura
教　授（兼）	Professor*	末　松　憲　治	Noriharu Suematsu

サイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター　Interdisciplinary ICT Research Center for Cyber and Real Spaces

センター長（併）／教授	Director, Professor	北　村　喜　文	Yoshifumi Kitamura

■ 人間コミュニケーション科学研究グループ　Human Communication Science Research Group

教　授（兼）	Professor*	塩　入　　諭	Satoshi Shioiri
准教授（兼）	Associate Professor*	曽　　加　蕙	Chia-Huei Tseng
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	齋　藤　五　大	Godai Saito
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Cheng Miao	Cheng Miao

■ AI 研究グループ　AI Research Group

■ ネットワーク基盤研究グループ　Network Platform Research Group

教　授（兼）	Professor*	長谷川　　剛	Go Hasegawa
教　授（兼）	Professor*	廣　岡　俊　彦	Toshihiko Hirooka
教　授（兼）	Professor*	末　松　憲　治	Noriharu Suematsu

■ セキュリティ基盤研究グループ　Security Platform Research Group

教　授（兼）	Professor*	本　間　尚　文	Naofumi Homma

職　員

■ XR コミュニケーション技術研究グループ　XR Communication Technology Research Group

教　授（兼）	Professor*	北　村　喜　文	Yoshifumi Kitamura
教　授（兼）	Professor*	坂　本　修　一	Shuichi Sakamoto
客員教授	Visiting Professor	幸　村　　琢	Taku Komura
特任研究員	Specially Appointed Research Fellow	大　西　悠　貴	Yuki Onishi

■ 応用研究グループ　Applied Research Group

准教授（兼）	Associate Professor*	髙　嶋　和　毅	Kazuki Takashima

■ 産学官共創企画室　Industry-University-Government Co-Creation Planning Office

特任教授（兼）	Specially Appointed Professor*	荘　司　弘　樹	Hiroki Shoji

高等研究機構新領域創成部　Division for the Establishment of Frontier Sciences

■ 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*	Li Tao	Li Tao

古河電工×東北大学　フォトニクス融合共創研究拠点　Furukawa Electric × Tohoku Univ. Co-creation Research Center for Photonics Integration

特任教授	Specially Appointed Professor	島　田　道　宏	Michihiro Shimada

安全衛生管理室　Management Office for Safety and Health

室　長（兼）／教授	Manager, Professor*	佐　藤　茂　雄	Shigeo Sato
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*	長谷川　　剛	Go Hasegawa

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
統括技術専門員（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	丹　野　健　徳	Takenori Tanno
技術専門職員	Technical Staff	阿　部　真　帆	Maho Abe
技術一般職員	Technical Staff	柳　生　寛　幸	Hiroyuki Yagyu

■ プロセス部　Process Division

技術一般職員（グループ長）	Technical Staff	小　野　力　摩	Rikima Ono
技術専門職員	Technical Staff	森　田　伊　織	Iori Morita
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（グループ長）	Technical Staff	太　田　憲　治	Kenji Ota
技術専門職員	Technical Staff	丸　山　由　子	Yuko Maruyama

国際化推進室			Office for the Promotion of International Relations
特任教授	Specially Appointed Professor	五十嵐　大　和	Hirokazu Igarashi

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	渡　部　　学	Manabu Watanabe
専門職員	Associate Expert	鈴　木　　至	Itaru Suzuki
総務係長	Chief of General Affairs Section	下　山　真　樹	Masaki Shimoyama
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	綱　川　　健	Ken Tsunakawa
経理係長	Chief of Accounting Section	山　口　教　光	Norimitsu Yamaguchi
用度係長	Chief of Purchasing Section	後　藤　逸　人	Hayato Goto

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第30号

2024年 9 月発行

発　行　者　　羽　生　貴　弘

編　集　者　　東北大学電気通信研究所総務委員
　　〒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　　https://www.riec.tohoku.ac.jp/

印　刷　所　　有限会社　明倫社
　　〒989-3124　仙台市青葉区上愛子平治１-36
　　TEL 022-796-8871 FAX 022-796-8712

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
https://www.riec.tohoku.ac.jp/jp/