東北大学

電気通信研究所

研究活動報告

第32号（2025年度）

Annual Report 2025

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University



目　　次

【本編】

第１章　はじめに …… 3

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
(10) ソフトウェア構成研究室 …… 32
(11) 量子ナノエレクトロニクス研究室 …… 34
２．情報通信基盤研究部門の目標と成果 …… 36
(1)　超高速光通信研究室 …… 39
(2)　応用量子光学研究室 …… 41
(3)　先端ワイヤレス通信技術研究室 …… 43
(4)　情報ストレージシステム研究室 …… 45
(5)　超ブロードバンド信号処理研究室 …… 47
(6)　光量子情報通信工学研究室 …… 49
(7)　ネットワークアーキテクチャ研究室 …… 51
(8)　環境調和型セキュア情報システム研究室 …… 53
３．人間・生体情報システム研究部門の目標と成果 …… 55
(1)　生体電磁情報研究室 …… 58
(2)　先端音情報システム研究室 …… 60
(3)　視覚情報システム研究室 …… 62
(4)　実世界コンピューティング研究室 …… 64
(5)　ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室 …… 66
(6)　インタラクティブコンテンツ研究室 …… 68
４．ナノ・スピン実験施設 …… 71
５．ブレインウェア研究開発施設 …… 75

(1)　認識・学習システム研究室 …… 77
6．21 世紀情報通信研究開発センター …… 79
(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 …… 81
(2)　産学官研究開発部　AI ハードウェアセキュリティプロジェクト …… 84
(3)　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
(4)　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
(5)　萌芽研究部　耐量子計算機の高効率高安全実装技術の研究 …… 90
7．サイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター …… 91
8．共創研究所 …… 93
9．安全衛生管理室…… 94
10．やわらかい情報システムセンター …… 96
11．研究基盤技術センター …… 98
12．機動的研究グループ …… 100
(1)　サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ …… 100
(2)　脳型ナノデバイス・回路研究グループ …… 100
(3)　Beyond 5G ネットワーク技術研究グループ …… 101
(4)　エッジ AI 半導体グループ …… 101

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 …… 105
2．2025 年度共同プロジェクト研究採択一覧 …… 107
3．2025 年度共同プロジェクト研究成果報告 …… 112

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 …… 449
(1)　The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer…… 449
(2)　11th CIES Technology Forum …… 450
2．国際会議等 …… 451
(1)　16th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics
(Satellite workshop of ICSI/ISTDM 2025) …… 451

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 …… 455
(1)　高等研究機構 先端スピントロニクス研究開発センター（CSIS）…… 455
(2)　総合知インフォマティクス研究センター（So-Go-Chi）…… 456
(3)　国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES） …… 457
2．参画する事業・プログラム …… 459
(1)　卓越大学院プログラム …… 459

第７章　評価と分析
1．運営協議会報告（議事録）…… 463

【資料編】

第１　人事…… 485
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…… 490
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…… 492
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…… 498
①研究成果の掲載・公表件数　②トピックス一覧
③科学研究費助成事業採択一覧（令和７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…… 511
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…… 521
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…… 536
①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…… 540
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…… 541

付　録　職員…… 542

第 1 章　はじめに

はじめに

電気通信研究所のミッションは「人間性豊かなコミュニケーションの実現」です。コミュニケーションは人間が社会を構成するための極めて重要な要素です。本所が研究開発を遂行している情報通信技術は、その歴史の中でコミュニケーションのあり方を大きく変え、その速度や量、質においても人間の限界を超えた情報交換を可能にしてきました。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」へとその形態を広げ、また空間的かつ時間的な限界を拡張し、多様性への展開も続けています。さらに情報通信の研究範囲は、受け取った情報を人間の脳が理解するメカニズムにまで拡張しています。本研究所は豊かな情報社会の実現のために、我が国の学術と社会の繁栄に資すると共に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ています。

情報通信技術に対する社会からの要請は一層強くかつ多様になっています。その中でも重要な基盤技術であ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一層強化し推進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、電気通信研究所第 9 代所長、そして東北大学第 17 代総長である西澤潤一先生は、学問はまだその名前がない所から始めなくてはならない、とおっしゃっておられました。これはつまり、教員の自由な発想に基づく基礎研究、基盤研究は大学の極めて重要な役割だということです。混沌の中から名もない輝く光を見つけ、そしてそれを磨き育てることが基礎研究です。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、磁気抵抗メモリ(MRAM)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。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。

本研究所の体制は現在、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いて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 2023 年 4 月に設置され、さらに文科省概算要求の採択を受けて 2024

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。また本研究所は、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を牽引する電気通信研究所の役割はますます重要になります。本研究所は研究拠点として産官学の外部研究者・技術者との約 130 件の共同プロジェクト研究を毎年実施しています。さらに東北大学が国際卓越研究大学に認定されたことを受けて 2025 年度には 2 名の優秀な若手研究者を国内外から招くことができました。新たな仲間と共にさらに強力に研究を推進してまいります。

本研究所はこれからも、社会的な要請を受けとめつつ、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一層強力に進めて参ります。

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、ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

令和 8 年

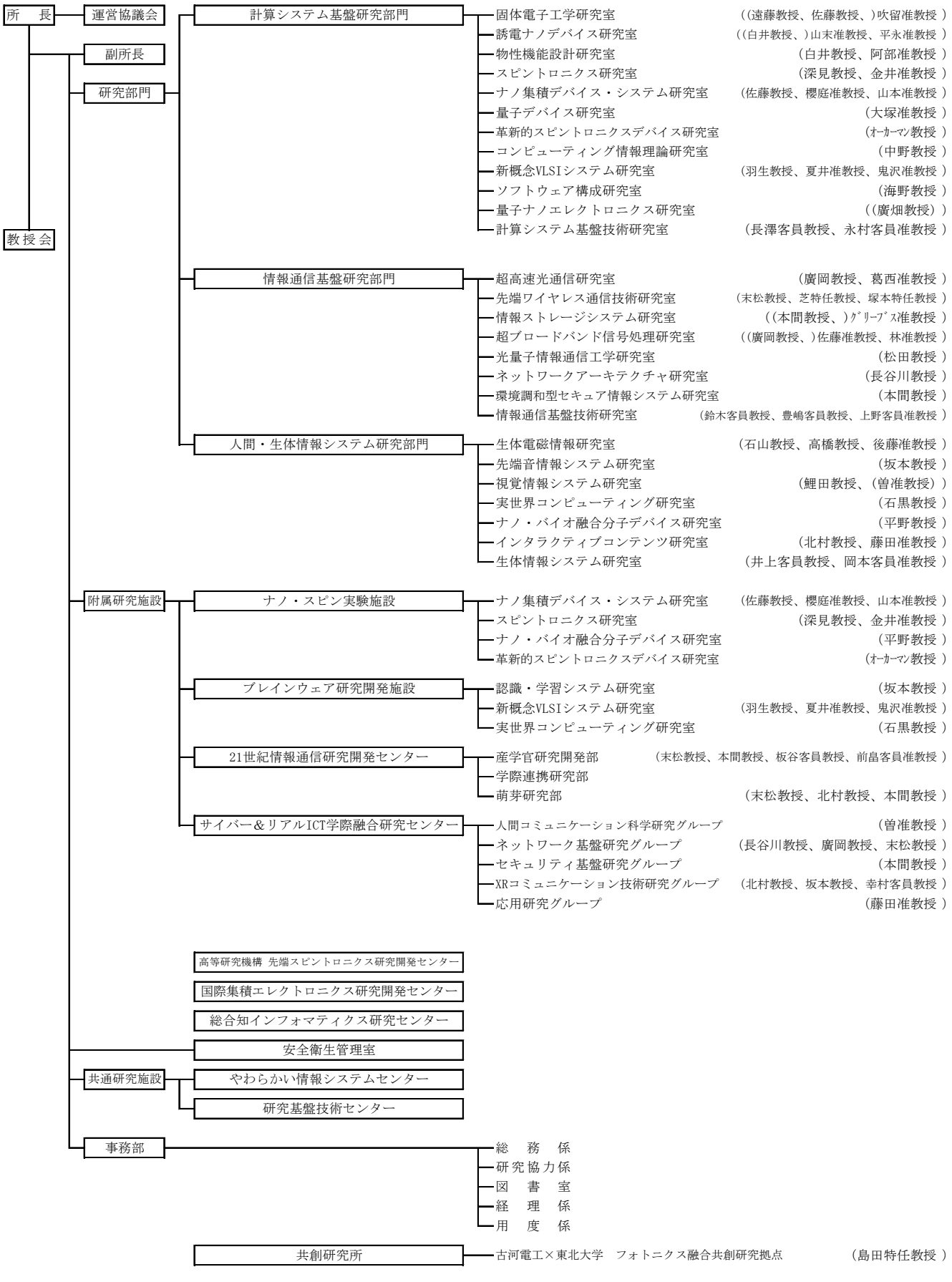
電気通信研究所 所長

石　山　和　志

第 2 章　組織･運営

2.1 組 織 図

R8.3.31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。

川　中　　繁	（委員）	キオクシア株式会社先端技術研究所　所長
龍　田　　真	（　〃　）	国立情報学研究所　教授
田　畑　　仁	（　〃　）	東京大学大学院工学研究科　教授
日　高　秀　人	（　〃　）	元ルネサスエレクトロニクス株式会社　フェロー
藤　巻　　朗	（　〃　）	名古屋大学　副総長
大　橋　弘　美	（　〃　）	古河電気工業株式会社　シニア・フェロー
髙　橋　寿　久	（　〃　）	宮城県企画部デジタル政策推進監兼副部長
小　栗　克　弥	（　〃　）	日本電信電話株式会社　物性科学基礎研究所　所長
沈　　青	（　〃　）	電気通信大学大学院情報理工学研究科　教授
高　林　幹　夫	（　〃　）	三菱電機情報技術総合研究所　所長
森　島　繁　生	（　〃　）	早稲田大学先進理工学部　教授
橋　本　隆　子	（　〃　）	千葉商科大学　学長補佐
豊　田　裕　介	（　〃　）	株式会社本田技術研究所 執行役員　材料研究センター担当
安　井　元　昭	（　〃　）	国立研究開発法人情報通信研究機構　理事
黒　田　俊　一	（　〃　）	大阪大学産業科学研究所　所長
山　崎　光　悦	(委員長)	福島国際研究教育機構　理事長
神　田　菊　文	（委員）	日本放送協会　放送技術研究所　所長
小　原　春　彦	（　〃　）	国立研究開発法人　産業技術総合研究所 副理事長兼開発担当者
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
張　山　昌　論	（　〃　）	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	（　〃　）	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 医工学研究科　教授

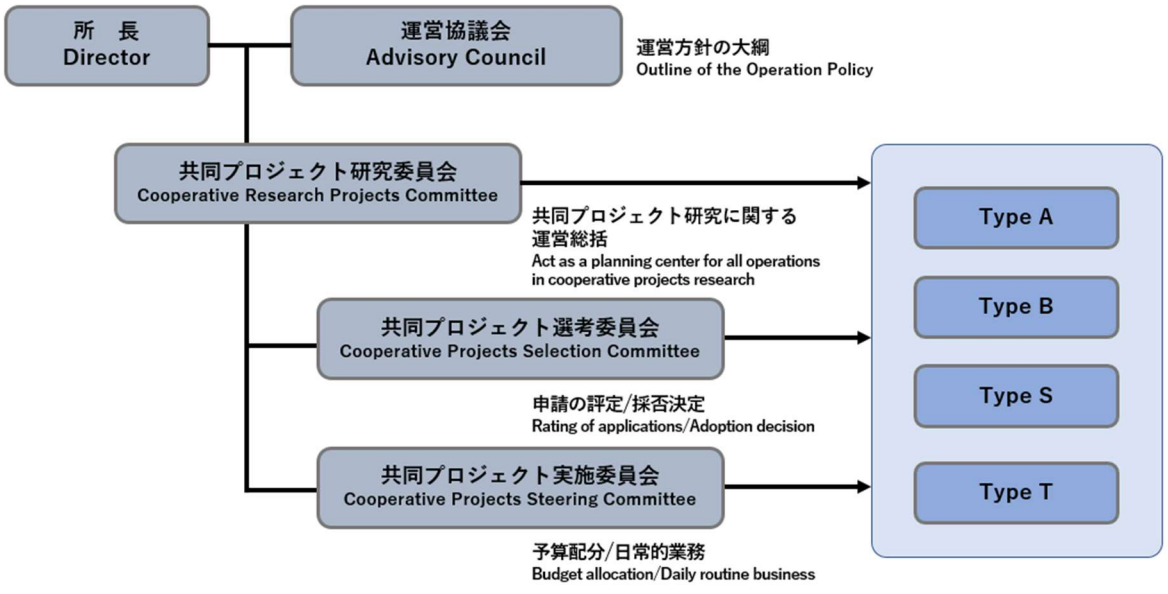
2.3 共同研究組織

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、審査の上、課題を企画する。この課題は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。

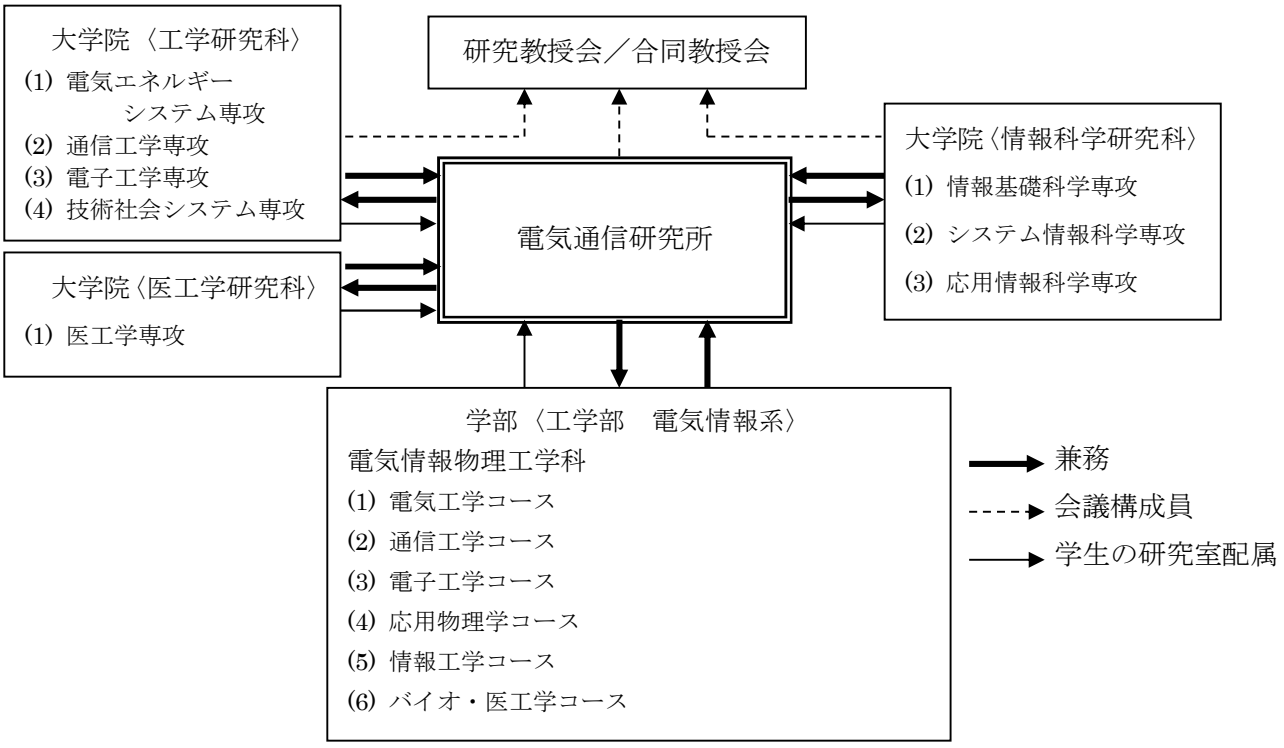
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。2012 年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015 年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2025 年度には通研の 26 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、11 研究室が同研究科電子工学専攻に、3 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 190 名、学部生は 49 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、ソフトウェアの高信頼化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 12 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. 量子ナノエレクトロニクス研究室
12. 計算システム基盤技術研究室（客員研究室）

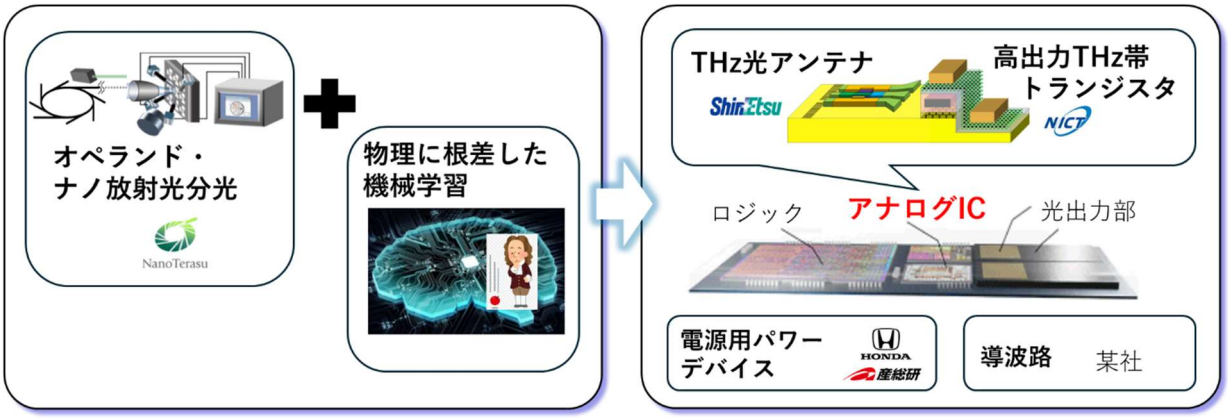
各分野の目標ならびに 2025 年度の研究活動の成果の概要を、次ページ以降に記述する。

計算システム基盤研究部門

固体電子工学研究室

究極のトランジスタおよび次世代デバイス・回路研究システム構築

固体電子物性工学研究分野　准教授　吹留　博一



Beyond 5G研究開発事業、CREST, JST-MIRAI、信越化学委託研究費、HONDA共同研究開発費など

＜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。さらに、これらの研究を発展させ、企業との大型共同プロジェクトを実施している。

＜2025 年度の主な成果＞

１．　単原子サイズまでに縮小化したトランジスタの動作実現

次世代半導体集積回路の実現には、トランジスタを単原子レベルまで縮小化することが必要である。昨年度までに、EUV リソグラフィーを用いない、ボトムアップ的な単原子サイズ・トランジスタ製造技術を創出した。本技術を基に、単原子レベルまで縮小化したトランジスタの動作実証に成功した。

２．　デバイス・インフォマティクスの創成

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、物理的にホワイトボックスなトポロジカル・データ解析に基づく新規なデバイス動作解析法の創出に取り組んでいる。本年度は、グラフェンの結晶成長過程をトポロジカル・データ解析し、従来の手法では得られない新たな知見を得ることに成功した。

３．　ナノテラスを活用した次世代デバイスの産官学共同研究開発

本田技術研究所と連携し、次世代車載デバイス用のダイヤモンドを対象として、放射光施設ナノテラスの利活用を特長とした大規模な産官学共同研究開発を推進した。これらの取り組みにより、材料～デバイス～最終製品までをカバーする放射光を活用した共同研究開発体制を構築した。これにより、従来の手法では明らかにできなかった重要な知見を得ることができた。

＜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　深川　美幸
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、オペランド顕微分光及び次世代集積デバイスの研究に従事。日本表面科学会論文賞受賞（2011 年）。石田實記念財団賞受賞（2015 年）。RIEC Award 東北大学研究者賞（2016 年）。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Igarashi, N. Nagamura, M. Sekine, H. Fukidome, H. Hino and M. Okada, “Sparse Coding-Based Multiframe Superresolution for Efficient Synchrotron Radiation Microspectroscopy”, Discover Nano, 20, 2025, 102-1-102-20 (2025).
[2] M. Tone, S. Sato, S. Kunii, I. Obayashi, Y. Hiraoka, Y. Ogawa, H. Fukidome, A. L. Foggiatto, C. Mitsumata, R. Nagaoka, A. Varadwaj, I. Matsuda and M. Kotsugi, “Linking structure and process in dendritic growth using persistent homology with energy analysis”, Science and Technology of Advanced Materials: Methods, 5, 2475735−1−2475735−12 (2025).
[3] Takashi Uchino, Yanjun Heng, Chao Tang, Shigenobu Kasai, Hirokazu Fukidome, Akira Satou, Shuji Ikeda, Taiichi Otsuji, “Improved sensitivity in graphene-mediated surface-enhanced Raman scattering via H_2/Ar annealing”, Journal of Applied Physics 138, 174503-1-174503-9 (2025).

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

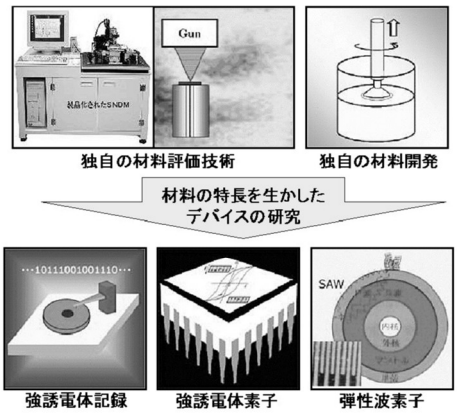


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

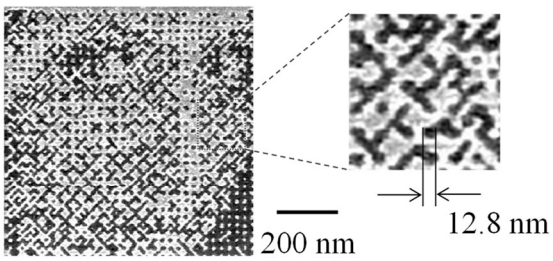


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

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。

＜2025 年度の主な成果＞

SNDM に基づく半導体材料・デバイス評価に関する研究では以下の成果を得た。(1) 時間分解 SNDM に基づく顕微分光技術の実現に向けて、高温下での局所 DLTS(Deep level transient spectroscopy)および局所 CV(Capacitance-voltage)特性測定を実現すべく装置を拡張した。(2) 同装置をパワーデバイスに用いられる SiO_2/SiC ウェハに適用し、界面欠陥密度分布および局所 CV 特性の温度依存性の取得に成功した。(3)局所 CV 特性測定法の拡張を進め、ms オーダから μs オーダの範囲での掃引時間可変測定を可能にした。(4) 静岡大学電子工学研究所との通研共同プロジェクト研究の一環として、光照射を可能とする光支援時間分解 SNDM の開発を進め、原子層半導体やワイドバンドギャップ半導体において光照射に伴う局所 CV 特性の変化を観測した。加えて、絶縁膜付き探針の開発，時間分解 SNDM の原子層半導体評価への応用や熱アシスト強誘電体記録へ

の応用に関する成果を論文として発表した。また、SNDM による強誘電体記録デバイスの研究では次の成果を得た:(1) 局所 C-V マッピング法によって得られたハイパースペクトラルイメージデータの解析手法に関して、空間微分に基づいた解析手法を考案し、これによって動的ドメイン挙動の振る舞いの異なる領域の境界部分を可視化することに成功した。(2) 強誘電体単結晶の表面に直径 100nm 程度のナノ電極を形成したサンプルに対して局所 C-V マッピング測定を行い、同手法の定量性について明らかにした。(3) 強誘電性 $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ 薄膜において、サイクル電界印加前後の状態に対しての局所 C-V マッピング測定を行い、同材料の電子デバイス応用において課題となっている分極疲労等のメカニズムに関する有用な知見を得ることに成功した。

＜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。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Takano, K. Yamause, T. Kato, and Y. Cho, “Nanoscale carrier distribution and trap dynamics in supported and suspended WSe_2 layers studied by scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol. 128, Art. No. 052101 (2026)　[Editor's pick]

[2] Y. Cho and K. Yamasue, “Heat-assisted ferroelectric reading for high-speed ferroelectric probe data storage”, Appl. Phys. Lett., Vol. 127, Art. No. 102903 (2025)

[3] K. Yamasue, K. Takano, T. Ishizuka, and Y. Cho, “Insulating tip for scanning near-field microwave microscopes: application to van der Waals semiconductor imaging”, App. Phys. Lett., Vol. 126, Art. No. 242107 (2025)

[4] 山末 耕平，”走査型非線形誘電率顕微鏡に基づく半導体物性のナノスケール評価手法の開発”，2025 年度実用表面分析講演会，プラザヴェルデ沼津およびオンライン，静岡県沼津市, Nov. 17-18 (2025) [招待講演]

[5] 山末 耕平, “時間分解走査型非線形誘電率顕微鏡が拓く半導体物性のナノスケール計測”, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会 7p-N104-2, 名城大学天白キャンパス&オンライン，Sep. 7-10 (2025) [招待講演]

[6] 井坂 晃大，横田 信英，山末 耕平，”光支援走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と WSe_2 の局所容量電圧特性測定への応用”，通研共同プロジェクト研究(R05/S01) 令和 7 年度研究会 ～先端的コヒーレント波技術の応用研究～，東北大学電気通信研究所，Dec. 15 (2025)

[7] 山末 耕平，長 康雄，”温度可変走査型非線形誘電率顕微鏡による SiO_2/SiC の局所 DLTS/CV 特性測定”，第 45 回ナノテスティングシンポジウム (NANOTS2025), pp. 146-150, Nov. 11-13 (2025)

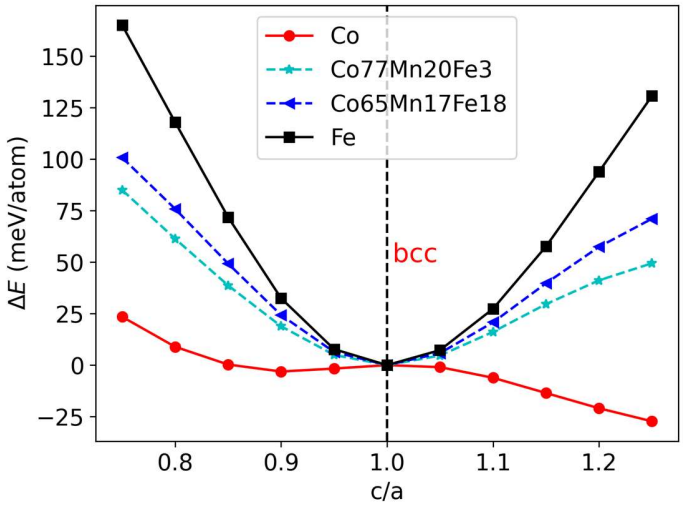
[8] Y. Hiranaga, and Y. Cho, “Dependence of capacitance–voltage curve of ferroelectric nanocapacitor on electrode size,” Jpn. J. Appl. Phys. **64**(9), 09SP06 (2025).

[9] Yoshiomi Hiranaga, “C-V Measurement of Ferroelectric Nanocapacitors”, 2025 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, Graz (2025)

[10] 平永良臣, “強誘電体ナノキャパシタの C-V 曲線の電極サイズ依存性”, 第 42 回強誘電体会議, 京都 (2025)

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



不規則 Co-Mn-Fe 合金の全エネルギーの正方晶歪み依存性の計算結果。
Co に Mn 及び Fe を添加することにより体心立方 (bcc) 構造が安定化する。

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。

＜2025 年度の主な成果＞

１．　新しいスピントロニクス材料の理論設計

新しい磁性材料の電子構造を第一原理計算し、その結晶構造や磁気及び磁気輸送特性を理論的に評価した。国内外の実験グループとの共同研究により、スピントロニクス応用に資する新材料の開発に貢献した。四元ホイスラー合金 CoRuTiSn 及び CoRuTiGe が擬似的なスピンギャップレス半導体であることを理論予測した[1,6]。遷移金属窒化物 $(Fe,Co)_4N$ の異常ネルンスト効果の合金組成依存性を第一原理計算し、実験結果と比較することにより理解を深めた[2]。巨大な異常ホール効果が観測された高エントロピー合金 CoCrFeNiGa の構造安定性や原子間にはたらく磁気相互作用を明らかにした[4]。準安定な体心立方構造を有する Co-Mn-Fe 合金を電極に用いた MgO 障壁磁気トンネル接合が示す垂直磁気異方性の起源が、Co-Mn-Fe と MgO の格子定数の不整合により生じる正方晶歪み（面内引張歪み）であることを理論的に解明した[5]。

２． 金属水素化合物における非調和格子振動解析

水素化合物金属相への応用を目的とし、簡便な非調和格子振動解析手法を開発した。有効原子間ポテンシャルを用いて stochastic self-consistent harmonic 近似（SSCHA）を実行しており、有効ポテンシャルは二体部分と三体部分から成る。二体部分はスプライン補完で表され、特定の関数型を仮定していない。このため二体のみでもその適用範囲は広いが、ただ金属水素化合物は分子性も併せ持つため、三体ポテンシャルによる補正を施している。この手法を高圧硫化水素 SH_3 の Im-3m 相に適用したところ、力学的安定性が非調和効果により保たれていることが分った。この結果は、より大規模な計算を要する第一原理計算による SSCHA と一致しており、本手法の有効性を示唆するものである。

＜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）。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] R. Kumar, T. Roy, M. Shirai, and S. Gupta, “Low-moment semiconducting properties of quaternary Heusler alloy CoRuTiSn,” J. Alloy Compd., Vol. 1026, Article no. 180530, pp.1-7, 2025

[2] W. Yin, K. Ito, Y. Tsubowa, M. Tsujikawa, M. Shirai, R. Y. Umetsu, and K. Takanashi, “Composition dependence of the anomalous Nernst effect in $Fe_{4-x}Mn_xN$ and $Fe_{4-y}Co_yN$ films,” J. Magn. Magn. Mater., Vol. 628, no.17, Article no.173157, pp. 1-8, 2025

[3] A. Hirohata, H. Koizumi, T. Roy, M. Tsujikawa, S. Mizukami, K. Nawa, and M. Shirai, “Machine learning for the development of new materials for a magnetic tunnel junction,” npj Spintronics, Vol. 3, Article no. 32, pp. 1-9, 2025

[4] R. Roy Chowdhury, N. F. Shkodich, T. Roy, T. Smoliarova, D. K. Le, E. Kasotakis, M. Shirai, M. Farle, M.-H. Phan, and H. Srikanth, “Large anomalous Hall effect in a nanocrystalline room-temperature ferromagnetic CoCrFeNiGa high-entropy alloy,” ACS Nano, Vol. 19, No. 36, pp. 32967-32980, 2025

[5] T. Roy, S. Kubota, M. Tsujikawa, and M. Shirai, “Understanding of electronic structure and magnetism of body-centered cubic Co-Mn-Fe alloys for magnetic tunnel junctions,” Phys. Rev. Mater., Vol. 9, Article no. 114406, pp. 1-7, 2025

[6] R. Kumar, T. Roy, B. Ghadai, R. Kumar, S. Mondal, A. Kumar, A. Lakhani, D. Kumar, M. Shirai, and S. Gupta, “CoRuTiGe: A possible spin gapless semiconductor,” Phys. Rev. Mater., Vol. 10, Article no. 034413, pp. 1-11, 2026

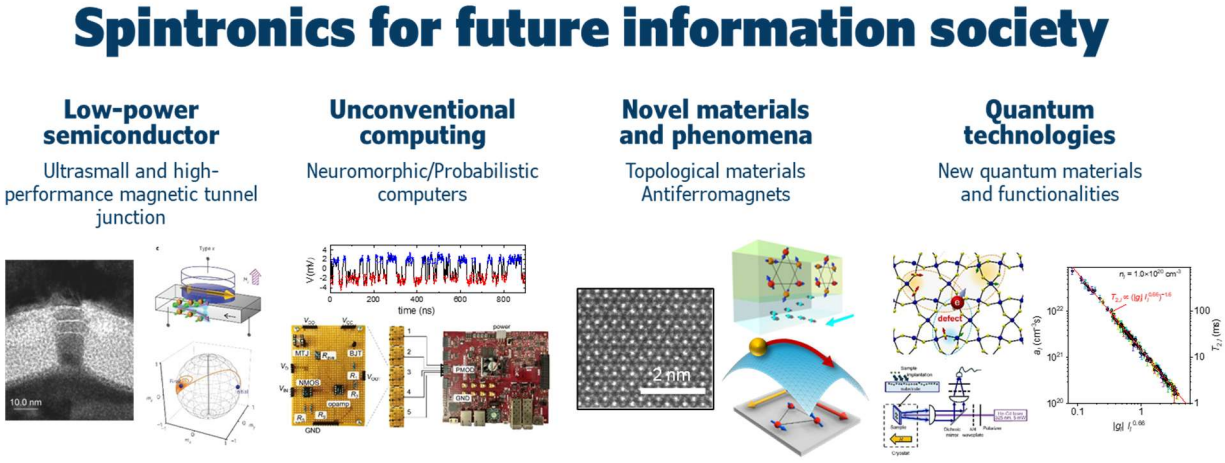
[7] A. Hirohata, H. Koizumi, S. Mizukami, and M. Shirai, “Replacement of critical raw materials used in magnetic memories and storages,” 2025 MRS Spring Meeting & Exhibit, Symposium BI01: Critical Raw Materials in Emerging Technology, Seattle, Washington, USA (7-11 April, 2025)

[8] H. Kwon, K. Suzuki, D. Kumar, M. Tsujikawa, T. Roy, S. Miki, M. Shirai, and S. Mizukami, “Magnetic tunnel junctions utilizing metastable cubic GaN tunnel barrier,” The 70th Annual Conference on Magnetism and Magetic Materials (MMM 2025), Palm Beach, Florida, USA (27-31 October, 2025)

[9] T. Roy, M. Tsujikawa, and M. Shirai, “Large anomalous Hall conductivity in Kagome ferromagnet $LiFe_6Sn_6$: A first-principles study,” The 4th Mateirlas Research Meeting (MRM 2025), Yokohama, Japan (8-13 December, 2025)

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



スピントロニクス研究室の研究活動内容

ナノスピン機能工学研究分野　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。

＜2025 年度の主な成果＞

１．　反強磁性スピントロニクスの工学的優位性の実証

ノンコリニア反強磁性 Mn_3Sn を用い、磁気秩序の高速電気的制御において、従来用いられていた強磁性体に対する工学的優位性を実証。無磁場において 0.1 ns 電流パルスによる 1000 回中 1000 回の繰り返し書き込み動作などを確認（文献[2]）

２．　完全デジタル確率ビットの提案と組合せ最適化問題の実証

確率論的コンピュータの基本構成要素である確率ビットにおいて、大規模化を図るうえでの課題であったデジタル・アナログ変換器（DAC）を不要とする確率ビットを提案。超常磁性磁気トンネル接合と電気回路で構築したユニットを用いて動作を確認し、組合せ最適化問題に展開。(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。先端スピントロニクス研究開発センター・センター長（2023 年から）、台湾・国立陽明交通大学・客員教授（2025 年から）、フランス・ロレーヌ大学・客員教授（2025 年から）等を兼任。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、2024 年半導体・オブ・ザ・イヤー、2025 年 KDDI 財団賞本賞ほか受賞。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、2025 年から東北大学リサーチプロフェッサー。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。応用物理学会・理事・東北支部長（2026 年から）

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、2025 年船井学術賞、2025 年青葉工学振興会賞、2025 年応用物理学会優秀論文賞ほか受賞。応用物理学会、日本物理学会、米国物理学会、IEEE 会員。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Yamane, Y. Araki, and S. Fukami, "Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in nonmagnetic/noncollinear-antiferromagnetic bilayers," Physical Review B 111, 144412(1)-(9) (2025). doi:10.1103/PhysRevB.111.144412

[2] Y. Takeuchi, Y. Sato, Y. Yamane, J.-Y. Yoon, Y. Kanno, T. Uchimura, K. V. De Zoysa, J. Han, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Electrical coherent driving of chiral antiferromagnet," Science 389, 830-834 (2025). doi:10.1126/science.ado1611

[3] T. Kinoshita, J.-Y. Yoon, N. Caçoilo, R. Mochizuki, H. Kaneko, S. Kanai, H, Ohno, and S. Fukami, "Size dependence of the properties of synthetic-antiferromagnet-based stochastic magnetic tunnel junctions for probabilistic computing," Applied Physics Letters 127, 102408(1)-(6) (2025). doi:10.1063/5.0286454

[4] K. Nihei, T. Uchimura, J. Han, K. Gas, S. Kanai, H. Ohno, and S. Fukami, "Temperature dependence of current-induced switching in thin epitaxial films of Mn3Sn: Revealing the dominant role of spin–orbit torque," Applied Physics Letters 127, 132406(1)-(5) (2025). doi:10.1063/5.0294438

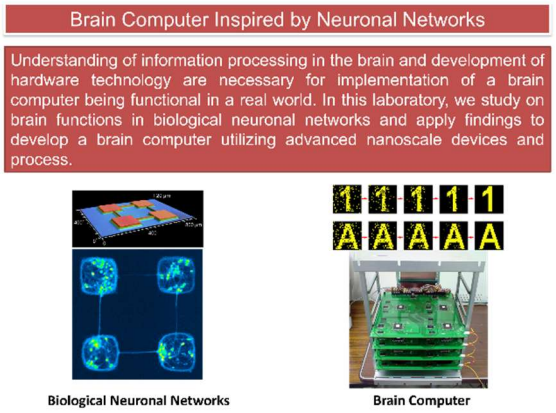
[5] M. Y. Toriyama, J. Zhan, S. Kanai, and G. Galli, "Strategies to search for two-dimensional materials with long spin qubit coherence time," npj 2D Materials and Applications 9, 108(1)-(10) (2025). doi:10.1038/s41699-025-00623-8

[6] S. Fukami, K.-J. Lee, and M. Klaui, "Challenges and opportunities in orbitronics," Nature Physics, (2025). doi:10.1038/s41567-025-03143-w

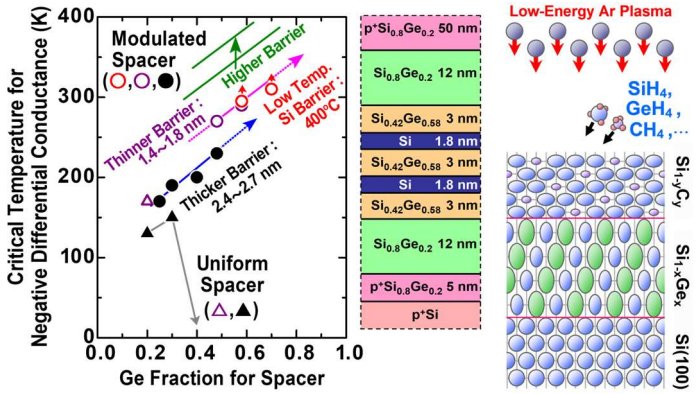
[7] K. Selcuk, N. A. Aadit, C. Delacour, J. Q. Silva, N. S. Singh, H. Kaneko, S. Kanai, Y.-J. Wu, Y.-H. Chen, Y.-S. Chen, Y. C. Ong, K.-C. Huang, H. Chuang, H. Ohno, S. Fukami, and K. Y. Camsari, "DAC-Free p-bits: Asynchronous Self-Coloring and On-Chip Annealing," 2025 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) , (2026). doi:10.1109/IEDM50572.2025.11353558

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。

＜2025 年度の主な成果＞

1. ナノ集積デバイス

極めて低電力で動作する SNN（スパイキングニューラルネットワーク）を用いたリザバー計算システムにおいて、アナログ回路部とエナジーハーベスティング回路を融合し、ハーベスティング電力のみでリザバー層を動作させられることを実証した。また、SNN の規模拡大に向けて、マルチチップ動作を可能にするニューロン間スパイクルーティング回路の設計に成功した。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

4H-SiC MOS 界面への 0.12 原子層以上の B 原子層導入によって、Al ゲート MOS ダイオードの C-V カーブのヒステリシスが顕著に拡大することを見いだした。また、ECR プラズマ CVD により堆積させた高濃度ドープ Si を用いて pn ダイオードを製作し、適切なノンドープ Si 層厚において負性微分抵抗が発現するエサキダイオードの製作に成功した。

3. ナノ集積神経情報システム

培養神経回路を物理リザバーとして用い、フィードバック制御下でのオンライン教師あり学習を実現した。マイクロ流体デバイス上で培養したラット大脳皮質神経細胞の活動信号に FORCE 学習を適用することにより、正弦波・矩形波・カオス信号（ローレンツアトラクタ）など多様な時系列パターンの生成に成功した。

＜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受賞（2019 年）、日本神経回路学会優秀研究賞受賞（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。青葉工学研究奨励賞受賞（2017 年）。RIEC Award 本賞受賞（2023 年）。みやぎ産業科学振興基金研究奨励賞受賞（2024 年）。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

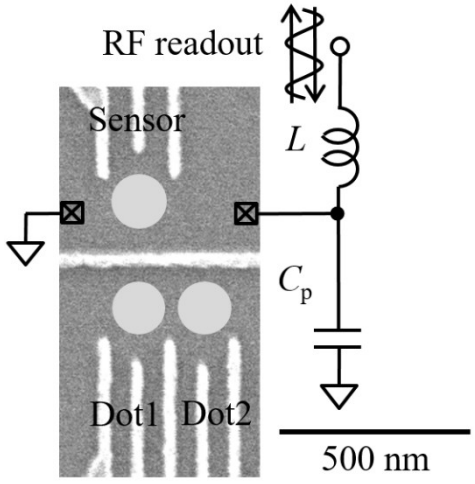
[1] S. Moriya, M. Ishikawa, S. Ono, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, S. Sato, "Analog VLSI Implementation of Subthreshold Spiking Neural Networks and Its Application to Reservoir Computing," IEEE Trans. Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 72, pp. 5571-5582, Oct. 2025.

[2] H. Nagasawa, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, S. Sato, Y. Watanabe and M. Suemitsu, Formation of Alternating Epilayers of 4H-SiC and 3C-SiC by Simultaneous Lateral Epitaxy", Materials Science Forum, vol. 1157, pp. 33-41, 2025.

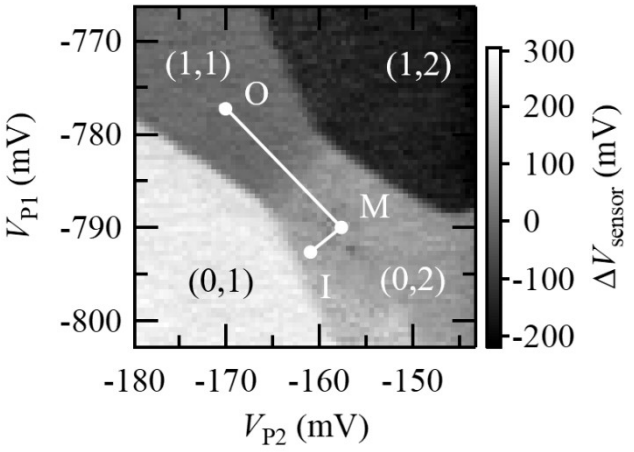
[3] Y. Sono, H. Yamamoto, Y. Nishi, T. Sumi, Y. Sato, A. Hirano-Iwata, Y. Katori, S. Sato, "Online supervised learning of temporal patterns in biological neural networks under feedback control," Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., vol. 123, e2521560123, 2026.

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。

＜2025 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。極低温高周波素子や高速測定回路の開発等による局所電子状態の測定・制御技術の高度化や、新材料における技術開発を行った。[4, 5]。

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されている。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新材料を用いた固体ナノ構造における電子状態および電子輸送現象について測定、解明を行った[2]。

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、新材料量子デバイスの開発や、情報科学手法を活用した量子デバイス集積化基盤技術の開発を行った。[1, 3]。

＜職員名＞

准教授　大塚　朋廣（2018 年より）
事務補佐員　野村　貴子

＜プロフィール＞

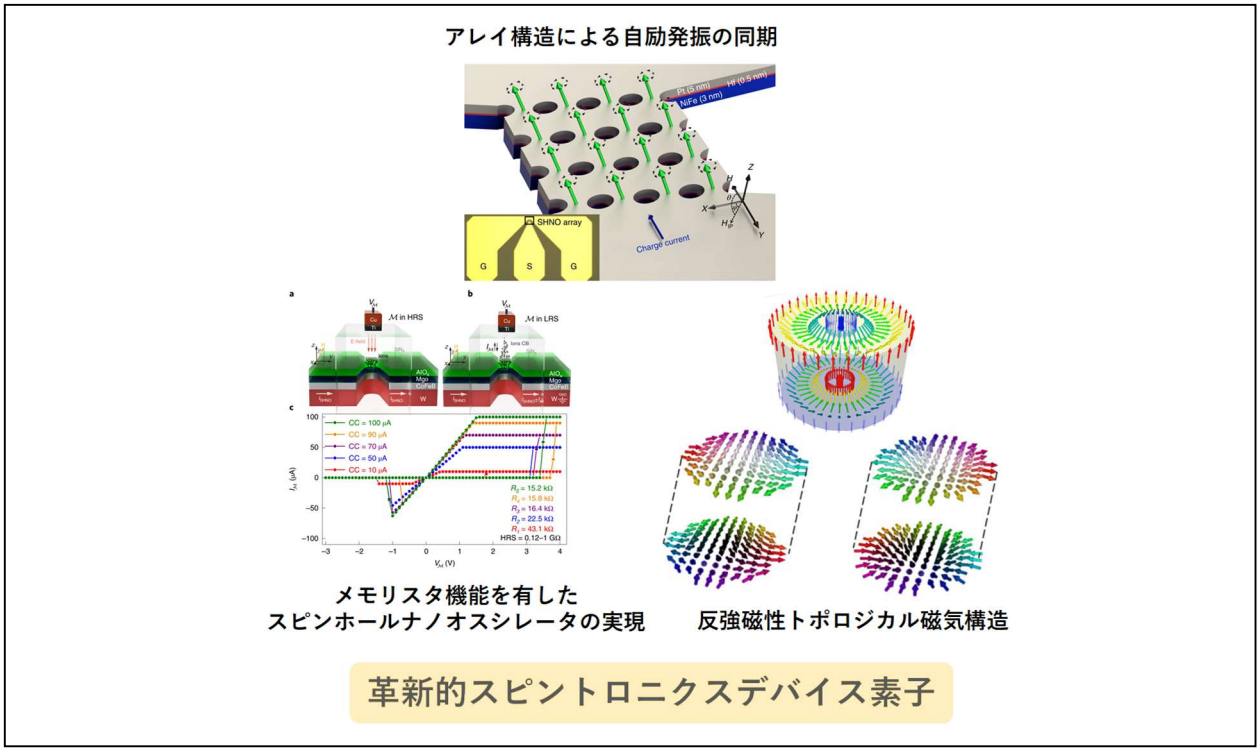
大塚　朋廣　2005 年 3 月　東京大学理学部物理学科卒業。2010 年 3 月　同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。2010 年 4 月　同工学系研究科特任研究員。2013 年 4 月　理化学研究所創発物性科学研究センター特別研究員。2016 年 1 月　同研究員。2018 年 2 月　東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。人工固体ナノ構造における物性解明とデバイス応用の研究に従事。東京大学理学系研究科研究奨励賞（2010 年）、日本物理学会若手奨励賞（2017 年）、理化学研究所研究奨励賞（2017 年）、矢崎科学技術振興記念財団学術奨励賞（2018 年）、文部科学大臣表彰若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

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] “Automatic detection of single-electron regime of quantum dots and definition of virtual gates using U-Net and clustering”, Y. Muto, M. R. Zielewski, M. Shinozaki, K. Noro, and T. Otsuka, Scientific Reports 16, 8161 (2026).
[2] “Magnetotransport and Coulomb Blockade in Single InAs Colloidal Quantum Dot Transistors”, K. Shibata, T. Takiguchi, A. Sato, Y. Sasaki, and T. Otsuka, ACS Nano 20, 2082 (2026).
[3] “Formation of few-electron triple quantum dots in ZnO heterostructures”, K. Baba, K. Noro, Y. Kozuka, T. Kumasaka, M. Shinozaki, M. Kawasaki, and T. Otsuka, Scientific Reports 15, 36612 (2025).
[4] “On-board calibrated radio-frequency measurement at cryogenic temperatures for determination of SrTiO3-based capacitor properties”, A. Shirachi, M. Shinozaki, Y. Tomioka, H. Inoue, K. Itoh, Y. Kozuka, T. Watanabe, S. Sato, T. Kumasaka, and T. Otsuka, Applied Physics Letters 127, 153501 (2025).
[5] “RFSoC-based radio-frequency reflectometry in gate-defined bilayer graphene quantum devices”, M. Shinozaki, T. Johmen, A. Hosaka, T. Seo, S. Yashima, A. Shirachi, K. Noro, S. Sato, T. Kumasaka, T. Yoshida, and T. Otsuka, Applied Physics Express 18, 075001 (2025).

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。

＜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.

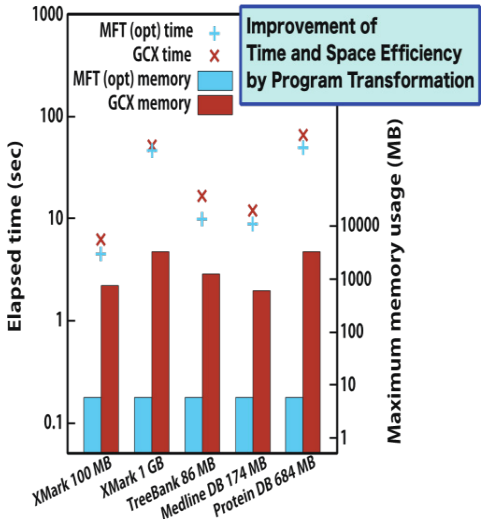
＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Akash Kumar, Avinash Kumar Chaurasiya, Victor H. González, Nilamani Behera, Ademir Alemán, Roman Khymyn, Ahmad A. Awad & Johan Åkerman, "Spin-wave-mediated mutual synchronization and phase tuning in spin Hall nano-oscillators," Nature Physics **21**, 245–252 (2025). https://doi.org/10.1038/s41567-024-02728-1

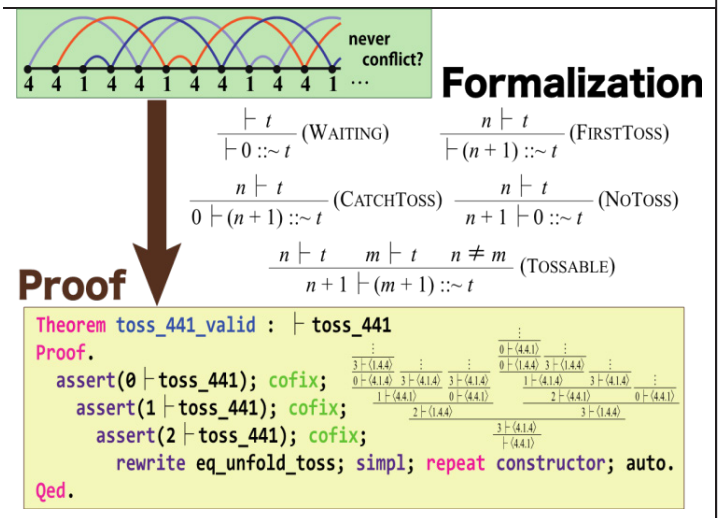
[2] T. Dohi *et al.*, “Observation of a non-reciprocal skyrmion Hall effect of hybrid chiral skyrmion tubes in synthetic antiferromagnetic multilayers,” Nature Communications **16**, 8285 (2025).

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。

＜2025 年度の主な成果＞

1. 木オートマトンによるコンビネータの非停止性の証明

コンビネータ計算は古典的な計算モデルの一つであり、関数型プログラミングの理論的基盤としても応用されている。単一のコンビネータからなる計算体系は一見単純であるが、任意の組み合わせに対して必ず停止するかどうかを保証することは容易ではない。本研究では、特定の形をもつコンビネータについて、停止性をもたないことを木オートマトンを用いて証明した［2］。今後は、この証明に必要となる木オートマトンを自動的に発見するための手法を検討し、より広い範囲のコンビネータへの適用を目指す。

2. 可逆プログラミング言語の設計

データの同期や一貫性の保証において重要な役割を果たしている双方向変換の基盤技術の一環として、可逆プログラミング言語の設計に取り組んだ［1]。設計した言語は、計算能力の指標である r-チューリング完全性を満たすことが保証されており、実用的な双方向変換を記述するために十分な表現力を備えている。さらに、パターンマッチや型推論の機構を導入することで、従来の可逆言語に比べて高い可読性・可述性を実現している。今後は処理系の実装を進め、具体的な応用可能性を検証していく。

3. 非決定計算の Σ 加群モデルの再構成

線形論理の Σ 加群意味論は、コヒーレンス空間、有限性空間、確率的コヒーレンス空間などを線形代数的に統一して捉える枠組みである。一方で、加法が部分的であるため、具体的な和の扱いが難しい。研究［3］では、係数 Σ 半環を完備化して加法を全域化し、元の制約を貼り合わせと焦点化された直交性として表すことで、タイト直交性モデル上に線形モデルを再構成した。今後は、この視点を用いて他の既存モデルとの関係を分析し、複雑なモデルの解析を単純化するとともに、プログラム検証への応用を目指す。

4. 学習アルゴリズムが持つ数学的構造の分析

研究［4］では、勾配に基づく学習アルゴリズムを、圏論のレンズとパラメータ化構成で捉え直した。関手性をもつ Fong らの構成と、一般性・モジュール性に優れる Cruttwell らの構成を統合し、任意のデカルト逆微分圏上で、損失関数や最適化手法を部品化して扱える枠組みを与えた。これにより、勾配降下法以外の最適化法や平均二乗誤差なども扱える。整合性条件である GetPut 則の証明を部品ごとの性質に還元し、分類で用いるソフトマックス交差エントロピーにも対応させた。

＜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＞

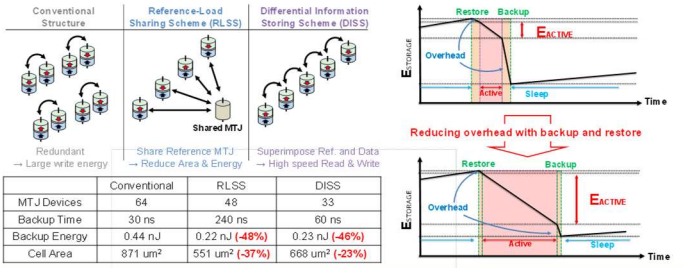
中野 圭介　1997 年東京大学理学部数学科中退。2003 年京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻数理解析系博士後期課程単位取得退学。東京大学大学院情報理工学系研究科産学官連携研究員、電気通信大学先端領域教育研究センター特任助教、同大大学院情報理工学研究科准教授を経て、2018 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。関数型プログラミング，形式言語理論，証明支援系に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会、ACM 各会員。博士（理学）

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Munehiro Iwami and Keisuke Nakano, "Disproving Termination of O and S-like Combinators by Tree Automata", Journal of Information Processing Vol.34 39-44 (Jan. 2026).
[2] Kosuke Onodera, Keisuke Nakano, Kazuyuki Asada, and Kentaro Kikuchi, "IsoLang: a User-Friendly Reversible Programming Language with Inductive Types", 第 28 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ（PPL 2026）.
[3] 伊藤耀，浅田和之，"Reconstruction of Σ-module models via completion and tight orthogonality", 理論計算機科学と圏論ワークショップ (CSCAT 2026), 2026.
[4] 中村卓武，浅田和之，中野圭介，″学習アルゴリズムが持つ数学的構造の分析″，第 28 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2025), 2025.

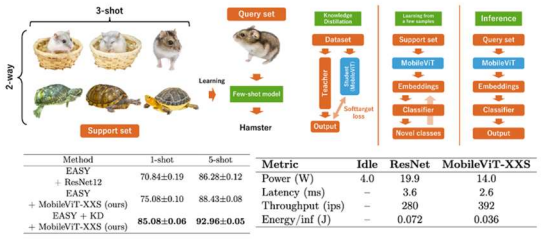
新概念 VLSI システム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現



	Conventional	RLSS	DISS
MTJ Devices	64	48	33
Backup Time	30 ns	240 ns	60 ns
Backup Energy	0.44 nJ	0.22 nJ (-48%)	0.23 nJ (-46%)
Cell Area	871 um²	551 um² (-37%)	668 um² (-23%)

Energy/Area-Aware MTJ-Based Nonvolatile Register for Intermittent Computing

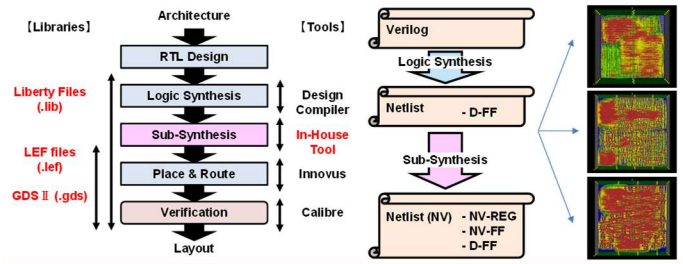


Method	1-shot	5-shot
EASY + ResNet12	70.84±0.19	86.28±0.12
EASY + MobileViT-XXS (ours)	75.08±0.10	88.43±0.08
EASY + KD + MobileViT-XXS (ours)	**85.08±0.06**	**92.96±0.05**

Metric	Idle	ResNet	MobileViT-XXS
Power (W)	4.0	19.9	14.0
Latency (ms)	–	3.6	2.6
Throughput (ips)	–	280	392
Energy/inf (J)	–	0.072	0.036

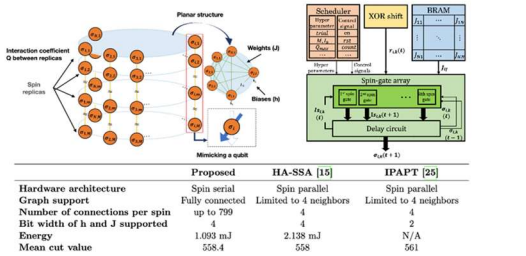
Efficient Few-Shot Learning for Edge AI

S. Tsuyuki, et al., ICASSP 2026.



Automated Design Flow for Large-Scale Nonvolatile-Logic Circuits

T. Yoshida, et. al., IEEE ISCAS, 2025 / M. Natsui, et al., IEEE JXCDC, 2025.



	Proposed	HA-SSA [15]	IPAPT [25]
Hardware architecture	Spin serial	Spin parallel	Spin parallel
Graph support	Fully connected	Limited to 4 neighbors	Limited to 4 neighbors
Number of connections per spin	up to 799	4	4
Bit width of h and J supported	4	4	2
Energy	1.093 mJ	2.138 mJ	N/A
Mean cut value	558.4	558	561

Energy-Efficient Quantum-Inspired Annealing Hardware

N. Onizawa, et al., IEEE Access 2026.

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．

＜2025 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

エナジーハーベスティングで駆動する省エネルギー不揮発ロジック LSI の実現および高度化に向けた研究を推進した．不揮発ロジック LSI の主要構成要素である不揮発レジスタに対して，記憶情報の重畳化に基づく新たな回路構成方式（図左上）を提案し，データバックアップに要するエネルギーおよび面積をそれぞれ最大 48%，37%削減可能であることを確認した．また，大規模不揮発ロジック LSI の実現に向けた系統的設計環境（図左下）を構築し，提案回路方式を適用した不揮発 CPU が実際に設計可能であることを示した．これらの成果は，集積回路技術分野における歴史ある国際学会である ISCAS2025 で報告されるとともに，オープンアクセスジャーナルである IEEE Journal on Exploratory Solid-State Computational Devices and Circuits に採録された．

２． Few-shot Learning に基づく省エネルギーエッジ AI の実現（図右上）

Few-shot learning は，少量の学習データから新しい対象を認識できるため，データ収集や再学習が制限されるエッジ環境において有効な AI 技術として期待されている．本研究では，知識蒸留手法を活用することで，従来手法と比較して約 70%のモデルサイズの削減をしつつ，約 14%の精度向上を達成した．本研究成果は信号処理分野のフラグシップ会議である ICASSP 2026 に採択された．

３． 量子インスパイアードアニーリングに基づく省エネルギーハードウェアの実現（図右下）

本研究では，スピン間相互作用を効率的に処理するハードウェア構成を提案し，従来方式と比較して高いスループットと省エネルギー化を実現可能であることを示し，IEEE Access に採録された．

＜職員名＞

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

＜プロフィール＞

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

夏井 雅典　2005 年 3 月東北大学大学院情報科学研究科基礎科学専攻博士後期課程了．2005 年 4 月豊橋技術科学大学情報工学系助手．2008 年 4 月東北大学電気通信研究所助教．2014 年 7 月同准教授，現在に至る．自動回路設計，不揮発性ロジックに関する研究に従事．電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ論文賞（2010 年），同活動功労表彰（2021 年），IEEE ISMVL K. C. Smith Award（2012 年），石田實記念財団研究奨励賞（2020 年）などを受賞．IEEE Member.

鬼沢 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.

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Yoshida, M. Natsui, and T. Hanyu, "Design of a Low-Energy MTJ-Based Nonvolatile Register Based on a Differential Information Storing Scheme," 2025 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2025) May 2025. DOI: 10.1109/ISCAS56072.2025.11043267

[2] M. Natsui, T. Yoshida, and T. Hanyu, "Reference-Load Sharing Scheme: An Area- and Energy-Efficient Nonvolatile Register Design Using MTJ Devices," IEEE Journal on Exploratory Solid-State Computational Devices and Circuits, Vol.11, pp.90-98, 2025. DOI: 10.1109/JXCDC.2025.3611365

[3] S. Tsuyuki, R. Bensaid, J. Morlier, M. Leonardon, N. Onizawa, V. Gripon, and T. Hanyu, “EFFICIENT FEW-SHOT LEARNING FOR EDGE AIVIA KNOWLEDGE DISTILLATION ON MOBILEVIT,” *Proc. 51st IEEE International Conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, pp.　May. 2026 (to appear)

ソフトウェア構成研究室

論理で挑む、次世代ソフトウェアの信頼性と効率

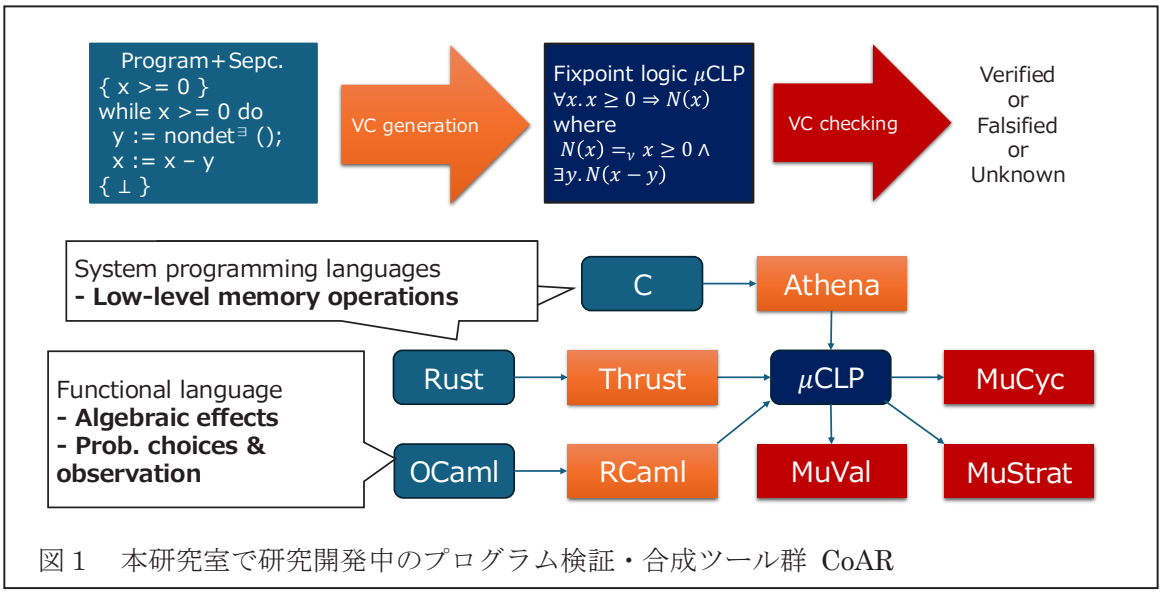


図１　本研究室で研究開発中のプログラム検証・合成ツール群 CoAR

ソフトウェア構成研究分野　教　授　海野 広志

＜研究室の目標＞

現代社会において、人々は日常的にスマートフォンやコンピュータを私生活や仕事に用いており、普段意識されない交通・金融・医療・エネルギーといった社会基盤もコンピュータにより制御されている。したがって、コンピュータを動かすプログラムであるソフトウェアの信頼性を確保し、効率性を向上させることは、社会の安定と円滑な機能の維持にとって重要な課題となっている。本研究室では、形式論理やプログラム理論といった基礎理論に基づいた高信頼・高効率ソフトウェア構成技術の研究を行っている。特に、与えられたプログラムがその仕様を満たすことを数学的に厳密に保証するための技術であるプログラム検証や、仕様からそれを満たすプログラムを生成するための技術であるプログラム合成の研究・開発を進めている。例えば、OCaml、Rust、C といった各種プログラミング言語に検証・合成ツールを統合することで、高信頼・高効率プログラムの開発を促進することを目指した RCaml、Thrust、Athena や、多様な検証・合成問題を述語制約や不動点論理式として表現して解くことができるソルバである PCSat、MuVal、MuCyc、MuStrat の研究・開発を行っている。また、これらのツールの基礎となるプログラム理論や型理論、制約解消・最適化の理論、不動点論理とその演繹体系についても研究を行っている。

＜2025 年度の主な成果＞

１．　高階モデル検査に基づく高度な制御機構を含むプログラムの検証

近年、代数効果・ハンドラなど、例外処理や複雑な制御を柔軟に記述するためのプログラミング言語機能が注目されている。しかし、そのような機能を含むプログラムに対する自動検証は一般には困難であり、従来の決定可能な高階モデル検査手法では、継続や制御効果を多相的に扱う高度なプログラムを扱うことができなかった。本年度は、そのような高階プログラムを高階モデル検査問題へ帰着する手法を提案した[1]。これにより、従来手法では扱えなかった、より柔軟な制御機構を持つ高階プログラムに対しても、決定可能性を保った時相的仕様検証を可能にした。

２．　預言変数に基づく Rust プログラムのリファインメント型検証

Rust は、所有権・借用機構によってメモリ安全性を保証する一方、可変参照を通じた値の更新を含むプログラムの機能正当性を自動的かつ高精度に検証することは容易ではない。本年度は、Rust プログラムの機能正当性検証のため、預言変数に基づく新しいリファインメント型システム Thrust を提案した[2]。Thrust では、可変参照を「現在の値」と「将来返却時の値を表す預言」の組として扱うことにより、借用中の更新が元の所有者に与える影響を正確に表現できる。さらに、型推論問題を Constrained Horn Clauses (CHCs) に基づいて解くことで、ループや再帰関数に必要な不変条件の合成を含む自動検証を実現した。

３．　連続時間システムの抽象化検証

線形時相論理（LTL）のような複雑な仕様のもとでの抽象化ベースの検証および制御における重要な課題は、抽象モデルが元のシステムに比べて保持する情報量が大幅に少ないことである。この問題は特に連続時間システムにおいて顕著であり、システムの軌道が離散的な動作の区間へと分割され、原子命題の充足性が時間区間全体に対する抽象化として扱われる。文献 [3] では、この課題に対処するため、LTL 仕様を AP-observation automata へ変換する新たな手法を導入した。AP-observation automata は、抽象化ベースの検証のために特別に設計された新しい種類の Büchi オートマトンである。さらに、AP-observation automata に基づくゲームベースの検証アルゴリズムを開発した。このゲームはシステムと環境の間で行われ、第 1 プレイヤーが勝利可能である場合に、システムが仕様を満たすと判定される。

＜職員名＞

教　授　海野 広志（2024 年より）

助　教　Eberhart Clovis

＜プロフィール＞

海野 広志　2009 年 3 月 東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻博士課程修了。東北大学、東京大学での博士研究員を経て、2012 年 7 月筑波大学システム情報系助教。2017 年 4 月同大准教授。2024 年 4 月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。プログラミング言語、形式手法に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、ACM 各会員。博士（情報理工学）

＜2025 年度の主な発表論文等＞

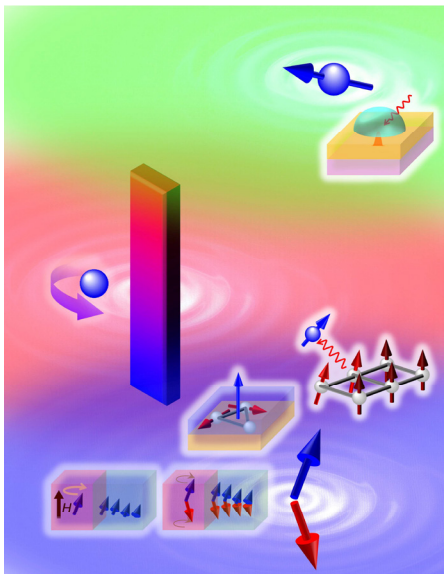
[1] Taro Sekiyama, Ugo Dal Lago, and Hiroshi Unno. On Higher-Order Model Checking of Effectful Answer-Type-Polymorphic Programs, Proc. ACM on Programming Languages, Volume 9, Issue OOPSLA2, ACM, Article No. 406, pp.3726-3754, October, 2025.

[2] Hiromi Ogawa, Taro Sekiyama, and Hiroshi Unno. Thrust: A Prophecy-based Refinement Type System for Rust, Proc. ACM on Programming Languages, Volume 9, Issue PLDI, ACM, Article No. 230, pp.2056-2080, June, 2025.

[3] Sasinee Pruekprasert , Clovis Eberhart, “ AP-Observation Automata for Abstraction-Based Verification of Continuous-Time Systems”,Theoretical Aspects of Computing – ICTAC 2025, Lecture Notes in Computer Science vol. 16237, pp.338-356, November, 2025.

量子ナノエレクトロニクス研究室

高効率なスピントロニクス素子のための磁性材料開発



様々なスピントロニク素子と周波数。

量子ナノエレクトロニクス研究分野　教　授　廣畑 貴文

＜研究室の目標＞

2023 年 10 月の着任以来、新奇磁性材料開発とそれらのスピントロニクス素子への組み込みを研究目標としてきた。具体的には超高真空スパッタ装置・分子線エピタキシー装置を用いて、強磁性・フェリ磁性・反強磁性ホイスラー合金薄膜を成長させ、それらの構造・磁気・伝導特性を調べている。これらの結果を成膜・熱処理過程にフィードバックすることで最適化し、ミクロン・ナノスケールの強磁性トンネル接合・巨大磁気抵抗素子・磁気スキルミオン回路・スピンホール素子・スピン偏極トランジスタなどを作製・評価している。またこうした材料・素子の解析のために、走査型電子顕微鏡で加速電圧を制御して非破壊観察手法を開発し活用している。

＜2025 年度の主な成果＞

１．新奇フェリ磁性ホイスラー合金薄膜の作製・評価

フェリ磁性材料においては 2 種類の強磁性相が重畳しており、それぞれの磁気モーメントが逆符号でランジュバン関数に従って温度変化する。その際に 2 相のモーメントが打ち消し合う条件を補償温度と定義している。通常は材料固有な温度であり、数 K の温度変化により補償状態が破壊されるため、素子応用などには不向きとされてきた。そこで独マックスプランク固体物理化学研究所と共同で、補償温度が 100K 以上にわたって実現する材料を第一原理計算により探索し、スパッタ成膜して評価した[発表論文等 4]。

２．磁気スキルミオン回路の作製・評価

磁壁よりも 3 桁程度小さな径を持つ磁気スキルミオンを用いると、駆動電流も 5 桁程度低減できると見込まれている。そのため次世代メモリ・論理回路として注目されている。しかしながら電流駆動に際して界面欠陥などによる散乱が無視できず、突然の消失などが生じるため再現性・安定性に課題がある。その解決のために界面の平滑化を進めている。

３．スピン偏極トランジスタの作製・評価

従来の電界効果トランジスタにおいては、電子の流れによるスイッチとしての働きが集積回路などの基礎を形作っている。さらなる高密度化が困難になっている現状では、電子

をスピン偏極した電子に置換することで情報密度を引き上げることが 1 つの解決策となる。しかし電界効果トランジスタ方式でのスピン回転には数ミクロンというゲート長が必要であり、その短縮化に取り組んでいる。

４．表面プラズモンポラリトンの生成・評価

スピントロニクス素子と光通信を連接する手法として表面プラズモンポラリトンに着目し、酸化物と金属界面でのレーザー光による励起と逆スピンホール効果による測定を行っている。材料の組み合わせによる最適化・高効率化を進めている。

＜職員名＞

教　　授　廣畑 貴文（2023 年より）
特 任 助 教　李 阿英（2024 年より）
学術研究員　YAQOOB Misbah（2025 年より）

＜プロフィール＞

廣畑 貴文　1995 年 3 月　慶應義塾大学理工学部物理学科卒業。1997 年 3 月　同大学院理工学研究科物理学専攻修士課程修了。2001 年 10 月　英ケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所博士課程修了。2001 年 10 月　同大物理学科ポスドク研究員。2002 年 3 月　米マサチューセッツ工科大学フランシスビッター磁性研究所ポスドク研究員。2003 年 4 月　東北大学工学部材料物性学科 CREST 研究員。2005 年 4 月　理化学研究所フロンティア研究システム量子ナノ磁性グループ研究員。2007 年 9 月　英ヨーク大学電子工学科講師。2011 年 10 月　同大助准教授。2014 年 10 月　同教授。2018 年 10 月　同上席教授。2023 年 10 月　東北大学先端スピントロニクス研究開発センター　教授、現在に至る。ホイスラー合金をはじめとする磁性材料の作成評価とそれらを利用したスピントロニクス素子の研究開発に従事。日本磁気学会若手研究奨励賞（2005 年）、同研究奨励賞（2006 年）、理化学研究所理事長表彰（2007 年）、英王立協会 Industry Fellowship（2013−17 年）、Wohlfarth Memorial Lecture（2014 年）、IEEE Magnetics Society Secretary/Treasurer（2019-20 年）、同 President-Elect（2021−22 年）、同 President（2023−24 年）、同 Conference Executive Committee Chair（2025 年～）。Journal of Physics D: Applied Physics 編集委員（2011 年～）、Spin 担当編集（2017 年～）、Science and Technology of Advanced Materials 副編集長（2018 年～）、Magnetochemistry 編集委員（2020 年～）、Scientific Reports 編集委員（2022 年～）など。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Hirohata, H. Koizumi, D. Oue and M. Matsuo, “Characteristic frequencies in magnetic and spintronic phenomena,” *Newton* Vol. 1, No. 7, pp. 100192, 2025.
[2] A. Hirohata, H. Koizumi, T. Roy, M. Tsujikawa, S. Mizukami, K. Nawa and M. Shirai, “Machine learning for the development of new materials for a magnetic tunnel junction,” *npj Spintron.* Vol. 3, pp. 32, 2025.
[3] K.-F. Huang, M. Lai, A. Knight, L. H. Lewis, N. Takorabet, A. Hirohata and M.-F. Hsieh, “Magnetics for Future Transportation - from Memory to Motors,” *IEEE Magn. Lett.* Vol. 16, pp. 2100205, 2025.
[4] G. H. Fecher, S. Yamashita, E. Pandey, A. Hirohata and C. Felser, “Compensated ferrimagnetic Heusler alloys: A search for the forgotten Neel's L-type ferrimagnet,” *Phys. Rev. Mater.* Vol. 10, pp. 034403, 2026; selected as editor's suggestion.
[5] A. Hirohata, H. Koizumi, S. Mizukami and M. Shirai, “Replacement of critical raw materials used in magnetic memories and storages,” Materials Research Society (MRS) Spring Meeting 2025 (10/04/2025, Seattle, WA, USA).
[6] H. Koizumi, R. Ishikawa, W. Zeng, H. Ma, S. Miki, S. Mizukami, Y. Suzuki and A. Hirohata, “Skyrmion motion under the interfacial improvement by a pulsed current,” Nanomaterials: Applications and Properties (NAP) 2025 (10/09/2025, Bratislava, Slovakia).
[7] H. Koizumi, R. Ishikawa, W. Zeng, H. Ma, S. Miki, S. Mizukami, Y. Suzuki and A. Hirohata, “Skyrmion motion under the interfacial improvement by a pulsed current,” Symposium on Magnetism and Spintronics (SMS-3) (24/01/2026, Hyderabad, India).

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、ディ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) コヒーレントナイキストパルス伝送において、1 台の CW 光源から複数本のサイドバンドを生成するマルチキャリヤ方式により 1 Tbit/s/λ への高速化を実現し、1.28 Tbit/s/ λ-3,200 km デジタルコヒーレントナイキストパルス伝送に成功した。また、フルコヒーレント伝送のさらなる高速化として、光・無線ハイブリッド偏波多重伝送方式を新たに導入することにより、伝送速度を従来の 108 Gbit/s から 216 Gbit/s へ高速化し、光ファイバ 10 km、30 GHz 帯 10 m 無線伝送に成功した。

(2)応用量子光学研究室
(目標)超高性能・高機能な光通信技術や光計測技術の実現へ向け、超高速、超低雑音動作可能な半導体レーザ光源、光ファイバを用いた超精密光計測技術、および新原理に基づく高機能半導体光デバイス、新機能半導体光集積回路の研究を進めている。
(成果)高 Q 値のファブリーペロー共振器へ位相を同期させた狭線幅 CW レーザを用いて長さ 50 km の 2 コアファイバ中の位相揺らぎ補償を実現した。これにより 2 コアファイバを用いた高度量子鍵配送（QKD）の基盤を構築した。

(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と衛星搭載機器を開発している。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(DBF)アレーアンテナの実現に向けて、4 素子分の部分試作に成功し、DBF によるマルチビーム送信機能を確認した。

(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。さらに、ニューロモルフィックアプリケーション用の磁気デバイスの研究も進行中である。
(成果) ハードディスクドライブに保存できる情報密度を倍増させる可能性を秘めた、斬新な三次元エネルギーアシスト記録技術の研究に取り組んできた。今年は、記録と信号処理の両方に焦点を当て、熱アシスト磁気記録（HAMR）の研究に注力した。また、論理ゲートや因数分解などに利用できる確率的磁気トンネル接合配列の研究も行っている。

(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、金属回折格子構造 InGaAs-HEMT をベースとする THz プラズモニック・ディテクタに関して、チャネル内ポテンシャル上昇を抑制する電極構造の導入によって、内部検出感度を 1.2 A/W まで向上させることに成功した。第二に、UTC-PD 集積回折格子構造 HEMT によって 300 GHz 帯ヘテロダイン検波動作の実証に成功した。第三に、グラフェン／黒燐ヘテロ構造に基づくテラヘルツ検出デバイスの理論提案・試作・評価を行い、ゼロバイアス下において 200 ps 級の高速テラヘルツ検出を実証した。

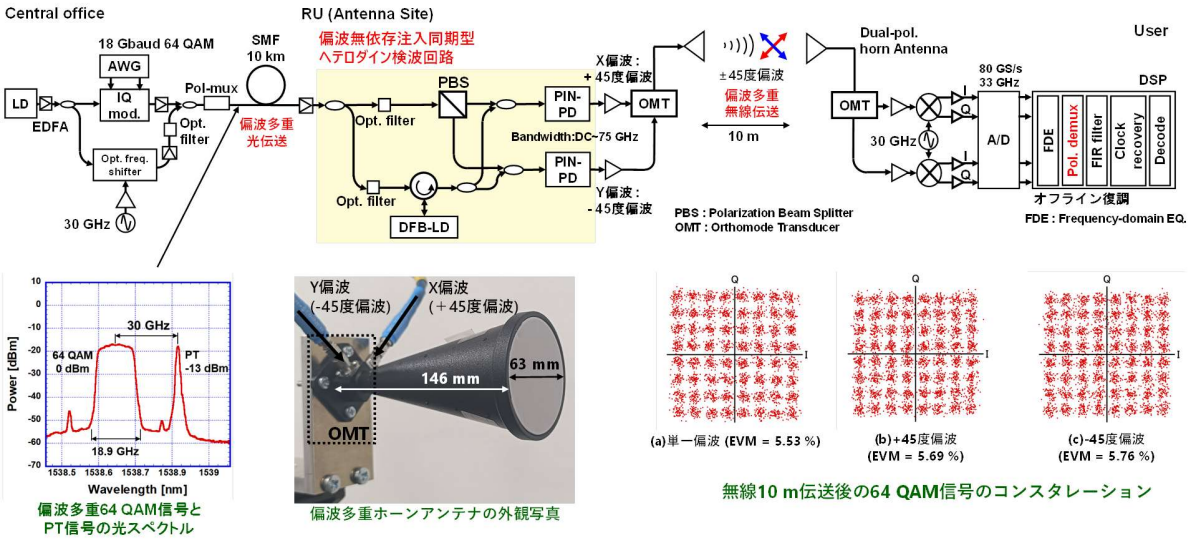
(6)光量子情報通信工学研究室
(目標)Society 5.0 に代表される高度情報化社会の実現に向け、超高速・大容量・低遅延な情報処理および通信基盤を支える光量子コンピュータならびに次世代光通信デバイスの研究を推進している。特に、量子情報処理に資する光量子制御および光デバイス技術について、デバイス・回路・システム化に至る研究を行っている。
(成果)シリコンフォトニクスを用い、低ノイズかつ高安定なスクイズド真空場光源を実現した。さらに、これをユニタリ変換光回路と集積したアナログ光量子コンピュータを構築し、実問題応用として量子化学計算への適用に成功した。半波長ピッチで高密度配置されたシリコン導波路光配線において、低クロストークな光局在伝搬を実証した。光量子状態を推定する量子トモグラフィについて、ビームスプリッタのみを用いて実現可能な新規手法を実証した。

(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を行うノードの実装評価。(2) インターネットにおける通信距離に起因するスループット不公平性を大きく軽減する新アルゴリズムを開発。 (3) 広域ネットワークにおけるログ収集・解析のためのトラヒック圧縮技術の研究開発を推進。(4) エッジコンピューティングの活用により 5G ネットワーク資源の利用効率を高める機械学習に基づくアルゴリズム開発 (5)マイクロサービス構成のネットワークアプリケーションの構成を最適化することにより障害耐性を高める手法の実験的評価。

(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) ストレージ暗号化の標準規格 XTS モード に、データの改ざん検知を可能にする認証付き暗号の機能を付加する新手法を開発した。また、暗号ハードウェアに対する新たな機械学習サイドチャネル攻撃 XCCA（XOR 重畳衝突解析）の脅威を明らかにした。さらに、経年劣化した不正再利用品を漏えい電磁波から非侵襲で検知する手法を開発した。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



光・無線偏波多重フルコヒーレント伝送システム

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。

＜2025 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。2025 年度は、1 台の CW 光源から複数本のサイドバンドを生成するマルチキャリヤ方式により 1 Tbit/s/λ への高速化を実現し、1.28 Tbit/s/ λ-3,200 km デジタルコヒーレントナイキストパルス伝送に成功した。これにより、今日のデジタルコヒーレント通信の主流である 1 Tbit/s/λの伝送速度で 3,000 km を超える長距離化を初めて達成した。

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。6G においては、100 Gbit/s 以上の超

高速無線データ信号を複数の RU (Remote Unit)へ低遅延で伝送可能な光モバイルフロントホールが不可欠となる。本研究室ではこれまでに注入同期型ヘテロダイン方式を用いた光・無線融合フルコヒーレント伝送を提案している。2025 年度は、フルコヒーレント伝送のさらなる高速化として、光・無線ハイブリッド偏波多重伝送方式を新たに導入することにより、伝送速度を従来の 108 Gbit/s から 216 Gbit/s へ高速化し、単一偏波伝送と同等の伝送性能を維持したまま光ファイバ 10 km、30 GHz 帯 10 m 無線伝送に成功した。

＜職員名＞

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

＜プロフィール＞

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

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

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Nakazawa and T. Hirooka, "An Oscillator-Less Photonic Ising Machine With Digital-Nonlinearity-Based Bifurcation and Its Simulated Application to a 1 Million-Node Fully Connected Max-Cut Problem," J. Lightwave Technol., vol. 43, no. 12, pp. 5579-5600, June (2025).

[2] M. Yoshida, T. Yoshida, S. Beppu, Y. Wakayama, N. Yoshikane, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Guided acoustic-wave Brillouin scattering noise in few-mode fiber," Opt. Express vol. 33, no. 16, pp. 34586-34603, August (2025).

[3] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Kerr-resonanced bifurcation switching in a photonic Ising machine with a long lossless optical fiber loop," Opt. Express vol. 33, no. 18, pp. 37559-37584, September (2025).

[4] M. Nakazawa and T. Hirooka, "I-, Q-, and I/Q-simultaneously bifurcated photonic Ising machines with Kerr nonlinearity," Opt. Express vol. 33, no. 24, pp. 51513-51533, December (2025).

[5] T. Joichi, A. Watanabe, K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "108 Gbit/s, 64 QAM fully-coherent mobile-fronthaul transmission over 10 km SMF and 70 m wirelessly in the 125 GHz band," Opt. Express, vol.34, no. 4, pp. 6345-6354, February (2026).

[6] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Control of interacting spin-pulse waveforms in an oscillator-less photonic Ising machine and its similarity to the AM mode-locking of a laser," Opt. Express, vol. 34, no. 6, pp. 10899-10918, March (2026).

[7] K. Kasai, A. Watanabe, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Coherently-linked Optical and Wireless Transmission for 6G Mobile Fronthaul," OECC 2025, Invited paper, TuA3-1, July (2025).

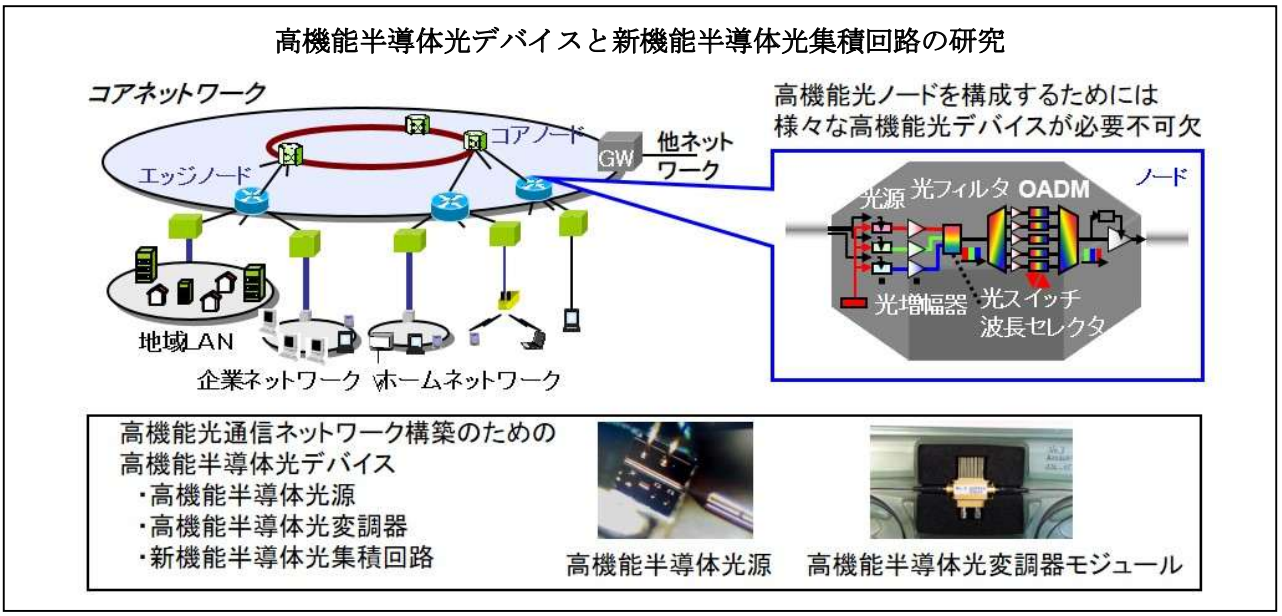
[8] M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS Noise in Digital Coherent and SDM Transmission," OECC 2025, Invited paper, WB2-1, July (2025).

[9] M. Yoshida, T. Serikawa, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "All-Digital 16 QAM Nyquist Pulse Transmission over 4,000 km," OECC 2025, WB3-3, July (2025).

[10] K. Kasai, S. Otsu, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Novel Polarization-dependence-free Optical Injection-locking Circuit using λ/4 Phase-shift-free HR DFB LD at 1.5 μm," ECOC 2025, September (2025).

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



高精度光計測研究分野　　准教授　吉田　真人

＜研究室の目標＞

新世代光通信ネットワークや次世代光測距システムの構築を目的に、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、光ファイバを用いた超精密光計測技術、および新原理に基づく高機能半導体光デバイス、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、光計測技術を実現することで、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。

＜2025 年度の主な成果＞

１．　光ファイバ計測

高 Q 値のファブリーペロー共振器へ位相を同期させた狭線幅 CW レーザを用いて長さ 50 km の 2 コアファイバ中の位相揺らぎ補償を実現した。これにより 2 コアファイバを用いた高度量子鍵配送（QKD）の基盤を構築した。

＜職員名＞

准教授　吉田　真人　（2018 年より）

＜プロフィール＞

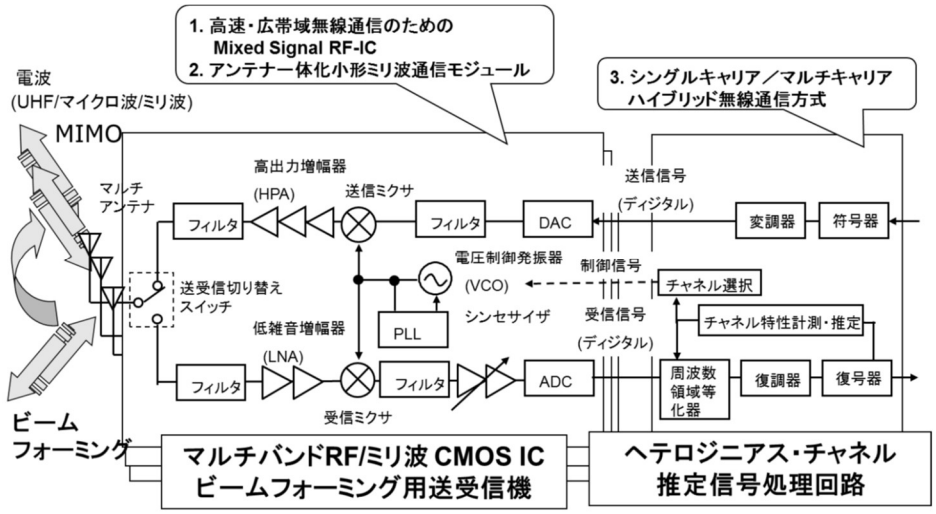
吉田　真人　1997 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。2001 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期課程修了。2001 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2011 年 7 月　同准教授、現在に至る。ファイバレーザおよびそれを用いた光計測の研究開発に従事。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Yoshida, T. Yoshida, S. Beppu, Y. Wakayama, N. Yoshikane, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Guided acoustic-wave Brillouin scattering noise in few-mode fiber," Opt. Express vol. 33, no. 16, pp. 34586-34603, August (2025).
[2] M. Yoshida and M. Nakazawa, “Multicore Fiber for Quantum Communication,” EXAT 2025, P-3, May (2025).
[3] K. Kasai, A. Watanabe, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Coherently-linked Optical and Wireless Transmission for 6G Mobile Fronthaul," OECC 2025, Invited paper, TuA3-1, July (2025).
[4] T. Joichi, K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "Single-channel 108 Gbit/s, 64 QAM Fully Coherent Mobile Fronthaul Transmission at 125 GHz-IF," OECC 2025, TuA3-5, July (2025).
[5] M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS Noise in Digital Coherent and SDM Transmission," OECC 2025, Invited paper, WB2-1, July (2025).
[6] M. Yoshida, T. Serikawa, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "All-Digital 16 QAM Nyquist Pulse Transmission over 4,000 km," OECC 2025, WB3-3, July (2025).
[7] K. Kasai, S. Otsu, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Novel Polarization-dependence-free Optical Injection-locking Circuit using λ/4 Phase-shift-free HR DFB LD at 1.5 μm," ECOC 2025, September (2025).

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。

＜2025 年度の主な成果＞

１．　ディジタル RoF を用いたミリ波(40GHz)帯ダイレクトディジタル RF 送信機を用いた 4 素子 DBF アンテナモジュールの開発

従来の移相器を使ったフェーズドアレーアンテナでは 1 面のアレーアンテナから 1 ビームしか構成できないが、ディジタルビームフォーミング(DBF)方式のアレーアンテナでは 1 面から複数ビームを形成することができ、5G 以降のマイクロ波帯のワイヤレス通信で活用され始めている。しかし、DBF アンテナの場合、アレーを形成する多数のアンテナ素子、それぞれに対して独立した送受信機が必要となるため、アンテナ素子間隔がより狭くなるミリ波帯では、さらなる小型化が必要と

なる。我々は RF アナログ回路をディジタル回路に置換することで小型化を可能とするダイレクトディジタル RF 送受信機構成を提案し、ミリ波帯での実現性を実証してきた。今年度は、4 系統のミリ波帯ダイレクトディジタル RF 送信機と 4 素子アンテナを一体化した 4 素子 DBF アレーアンテナモジュールを試作するとともに、このアンテナモジュールとディジタル信号処理(DSP)部との間のディジタルデータ伝送を 25Gbps×4ch の 100GbE 用光ファイバ伝送系によりディジタル radio over fiber (RoF)化することに成功した。これにより、衛星搭載用 DBF アレーアンテナだけでなく、地上通信用分散アンテナシステムへの適用可能性を示すことができた。

２．次世代 RFIC 技術（ダイヤモンド半導体デバイス） の開発

ダイヤモンドは既に実用化がなされている SiC や GaN と比べて絶縁破壊電界、キャリア移動度、熱伝導率いずれも優れた性能を有しており、Beyond 5G/6G に向けての高周波パワーデバイスに適した次世代 RFIC の半導体材料として現在注目されている。当研究室では、ダイヤモンド半導体デバイスを用いたマイクロ波帯無線電力伝送用高出力整流器(Rectifier)の実現を目指し、デバイスメーカーとともに、p 型ダイヤモンドを用いた擬似縦型構造のショットキバリアダイオードを試作し、2.45GHz 帯で、従来の GaN ショットキバリアダイオードの世界最高性能と同程度の 3W の DC 出力電力を達成した。

＜職員名＞

教　授　末松 憲治
助　教　古市　朋之
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、2025 年電子情報通信学会業績賞、各受賞。電子情報通信学会フェロー、 IEEE シニア会員。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

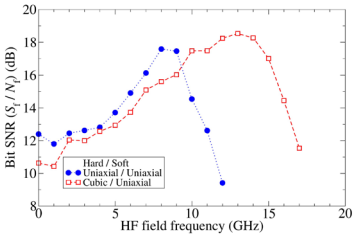
[1] Junhao Zhang, Koki Furuuchi, Noriharu Suematsu, “A Prototype of 20GHz-Low-Complexity Digital Beamforming Transmitter Antenna Module for FR3 Band Using Direct Digital RF Technology in DSoF Configuration,” IEEE Access, vol.14, pp.49801-49814, Mar. 2026.

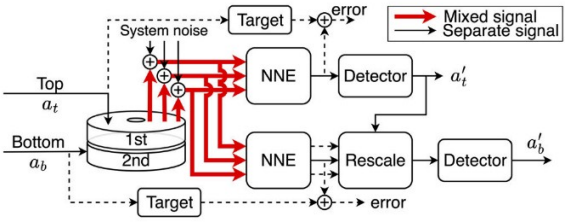
[2] Koki Furuuchi, Ryosei Miyagawa, Yuki Fujiya, Junhao Zhang, Tomoyuki Furuichi, Satoshi Tsukamoto, Noriharu Suematsu, “A Compact Brick-Type 40GHz-Band DBF Transmit Antenna Module Using Direct Digital RF Technology,” IEEE MTT-S IMS2025, pp.1115-1118, June 2025.

[3] Kosuke Saito, Ryunosuke Saito, Tomoyuki Furuichi, Yuji Kato, Hitoshi Umezawa, Noriharu Suematsu, “Nonlinear Modeling and Frequency Multiplication Characteristic of Quasi-Vertical Diamond SBD in L-Band,” APMC2025, Dec. 2025. DOI: 10.1109/APMC65046.2025.11377606

情報ストレージシステム研究室

高速・低コスト磁気記録及びニューロモーフィックおよび確率的コンピューティングのための磁気デバイス





左: 立方晶異方性層を有する複合記録媒体による SNR 向上 [9]
右: ニューラルネットワークを用いた信号逆畳み込み [6]

情報ストレージデバイスシミュレーション研究分野　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。

＜2025 年度の主な成果＞

磁気記録装置の高速化、高密度化のための技術開発の取り組みとして、今年度はエネルギーアシスト垂直磁気記録に注力した。近接場光により媒体のナノメーター領域を加熱する熱アシスト磁気記録(HAMR)方式による記録多重化の可能性について継続して研究を実施した。3 次元磁気記録における主要な課題の一つは、各記録構造からの再生信号をデコンボリューションする必要があることである。我々は、この課題を解決する方法を見つけるために、日本、タイ、中国の共同研究者と協力してきた。

さらに、磁気トンネル接合（MTJ）などの磁気デバイスをニューロモルフィックコンピューティングアプリケーションで使用する可能性を研究しています[6]。

＜職員名＞

准教授　サイモン グリーブス（2003 年より）

＜プロフィール＞

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

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Rueangnetr, S. Koonkarnkhai, P. Kovintavewat, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Enhancing log-likelihood ratios with mutual information on three-reader one-track detection in staggered BPMR systems”, Appl. Sci. (Switz.) 15, 2329-1-20, (2025).

[2] A. Khametong, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Mutual soft-information improvement techniques for lower layer performance improvement in double-layered magnetic recording systems”, IEEE Trans. Magn. 61(9), 3000505-1-5, (2025).

[3] N. Rueangnetr, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Enhancing signal processing with multilayer perceptron utilization for bit-patterned magnetic recording”, IEEE Access 13, 186843-186855, (2025).

[4] N. Rueangnetr, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Feasibility study of implementing simple dual-bit detection in dual-layer bit-patterned magnetic recording systems”, J. Magnetics 30(3), 459-464, (2025).

[5] A. Khametong, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Double-track PRML detection for two-track reading with a wide-track reader in shingled magnetic recording systems”, J. Magnetics 30(3), 465-469, (2025).

[6] K. Luo, Y. Zhao, Z. Liu, Y. Jian, S. Greaves, J. Chen and P. Lu, “Enhancing bottom-layer detection in dual-layer 3D magnetic recording via top-layer-assisted signal rescaling”, IEEE Trans. Magn. 62(3), 3000306-1-6, (2026).

[7] N. Rueangnetr, S. Koonkarnkhai, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Inter-layer interference (ILI) suppression in dual-layer bit-patterned magnetic recording systems”, IEEE Trans. Magn. 62(3), 3000506-1-6, (2026).

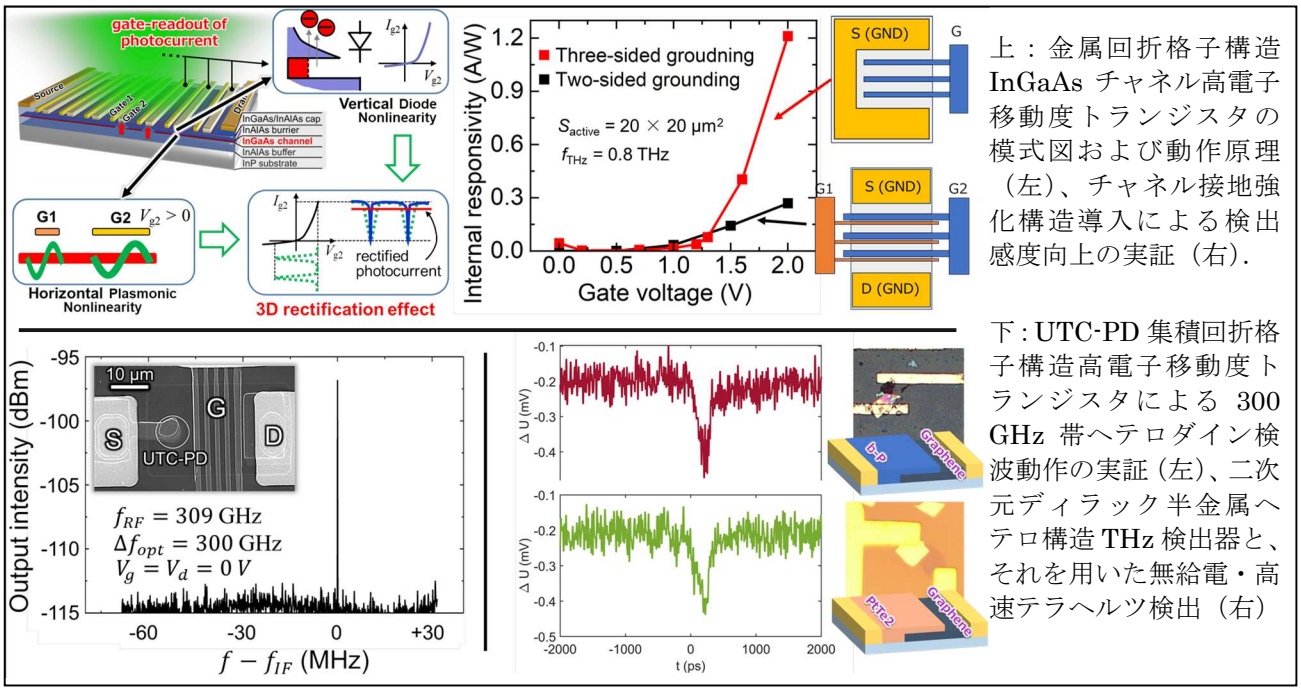
[8] Y. Nakamura, M. Nishikawa, S. J. Greaves, Y. Kanai and Y. Okamoto, “Improvement of dual-layer HAMR recording conditions using SMR”, IEEE Trans. Magn. 62(3), 3000205-1-5, (2026).

[9] S. J. Greaves and Y. Kanai, “Cubic anisotropy media for microwave assisted magnetic recording”, AIP Advances 16, 025209-1-5, (2026).

[10] N. Rueangnetr, S. T. Wattanaphol, K. Kankhunthod, S. J. Greaves and C. Warisarn, “Signal processing techniques for enhancing an areal density in two-reader/three-track detection of staggered bit-patterned magnetic recording systems”, Appl. Syst. Innov. 9(3), 66-1-16, (2026).

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：金属回折格子構造 InGaAs チャネル高電子移動度トランジスタの模式図および動作原理（左）、チャネル接地強化構造導入による検出感度向上の実証（右）.

下：UTC-PD 集積回折格子構造高電子移動度トランジスタによる 300 GHz 帯ヘテロダイン検波動作の実証（左）、二次元ディラック半金属ヘテロ構造 THz 検出器と、それを用いた無給電・高速テラヘルツ検出（右）

超ブロードバンドデバイス物理研究分野　　准教授　佐藤　昭
超ブロードバンド量子エレクトロニクス研究分野　准教授　林　宗澤

＜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。

＜2025 年度の主な成果＞

1．テラヘルツ・プラズモニック検出デバイスの開発

金属回折格子構造を有する InGaAs チャネル高電子移動度トランジスタ内の二次元プラズモンにおける流体非線形性と、ゲート・チャネル間のダイオード電流非線形性との重畳によるプラズモニック三次元整流効果を活用したテラヘルツ検出デバイスの研究を進めた。直流電流によるチャネル内ポテンシャル上昇が三次元整流効果を弱めていることを明らかにし、チャネルの接地を強化した電極構造の導入によって、内部検出感度を 1.2 A/W まで向上させることに成功した。

2．光無線融合デバイスの開発

単一走行キャリア・フォトダイオードと回折格子構造高電子移動度トランジスタを融合させた光無線融合デバイスを用いた 300 GHz 帯におけるヘテロダイン検波動作の実証に成功した。

3．低次元材料ヘテロ構造テラヘルツ検出デバイスの開発

グラフェンをはじめとする低次元ディラック半金属と、黒燐をはじめとする層状半導体を組み合わせたヘテロ構造に基づくテラヘルツ検出理論を提案した。さらに、当研究室独自の Hot Transfer 技術を用いて低次元材料ヘテロ構造を作製し、当該ヘテロ構造デバイスにおいて、外部電圧を印加しない消費電力条件下で、200 ps 級の高速テラヘルツ検出を実証した。

＜職員名＞

准教授　佐藤　昭（2017 年より）
准教授　林　宗澤（2024 年より）
助　教　唐　超　（2023 年より）
学術研究員　RYZHII Victor
秘　書　菅野　穂

＜プロフィール＞

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。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。
林　宗澤　2004 年 7 月　國立交通大學(台湾)電子工程學系卒業。2006 年 7 月　同電子工程研究所固態電子組修士課程修了。2010 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修了。2010 年 4 月　理化学研究所特別研究員。2016 年 4 月　同研究員。2022 年 7 月　東北大学電気通信研究所特任准教授。2024 年 5 月　同准教授，現在に至る。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Otsuji, V. I. Ryzhii, S. A. Boubanga-Tombet, D. Yadav, A. Satou, T. Suemitsu, C. Tang, K. Tamura, H. Fukidome, M. Suemitsu, W. Knap, Y. M. Meziani, K. Narahara, M. Ryzhii, and M. S. Shur, “Recent advances in the physics of Dirac plasmons in graphene and related 2D materials and their THz device applications,” Applied Physics Express, vol. 19, no. 2, Feb. 2026. DOI: 10.35848/1882-0786/ae3e37

[2] A. Satou and T. Otsuji, “THz Plasmonic Detectors Based on Grating-Gate InGaAs-Channel High-Electron-Mobility Transistors,” SSDM 2025: 2025 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, Japan, Sep. 15-18, 2025. DOI: 10.7567/SSDM.2025.M-2-01

[3] M. Nagatsu, K. Narita, Y. Takida, H. Minamide, T.-T. Lin, and A. Satou, ”Grating-Gate THz Plasmonic Detector Based on an InGaAs-Channel HEMT with an InP Barrier Layer,” SSDM: International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, Japan, Sep. 15-18, 2025. DOI: 10.7567/SSDM.2025.PS-04-18

[4] R. Takahashi, S. Horiuchi, T.-T. Lin, C. Tang, T. Otsuji, and A. Satou, “Heterodyne Detection at 300-GHz Band by a UTC-PD-Integrated HEMT Photonic Double-Mixer with a Grating-Gate Structure,” SSDM: International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, Japan, Sep. 15-18, 2025. DOI: 10.7567/SSDM.2025.M-2-02

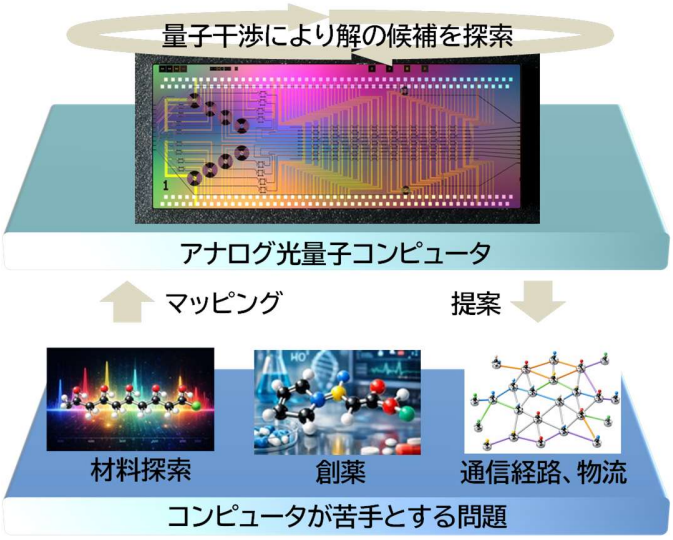
[5] T. Otsuji, V. Ryzhii, C. Tang, M. Ryzhii, A. Satou, M. Shur, Concepts of graphene/black-phosphorene-arsenic 2D heterostructures for terahertz detectors and emitters, in: SPIE Optics + Photonics 2025, San Diego, USA, Aug. 18. 2025. DOI: 10.1117/12.3064243

[6] C. Tang, K. Tamura, H. Kudo, A. Satou, V. Ryzhii, and T. Otsuji, “Observation of Coulombic-Drag-Induced Instability in Short-Channel SiC Epitaxial Graphene Field-Effect Transistors,” DRC 2025: Device Research Conference, Durham, NC, USA, Jun. 22-25, 2025.

[7] K. Tamura, H. Kudo, S. Uchigasaki, C. Tang, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, A. Satou, V. Ryzhii, and T. Otsuji, “THz Detection and Coulomb Drag Instability in Epitaxial Graphene Channel Transistors,” CLEO 2025: 2025 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Long Beach, California, USA, May 4-9, 2025. DOI: 10.1364/CLEO_SI.2025.SS154_2

光量子情報通信工学研究室

光量子技術が拓く次世代情報処理基盤



光量子情報通信工学研究分野　教　授　松田 信幸

＜研究室の目標＞

Society 5.0 に代表される高度情報化社会の実現に向け、超高速・大容量・低遅延な情報処理および通信基盤を支える光量子計算ならびに次世代光通信デバイスの研究を推進している。特に、量子情報処理に資する光量子制御および光デバイス技術について、デバイス・回路・システム化に至る研究を行っている。プログラマブル光回路、量子光源、光子数識別検出器などの先端光量子デバイスを統合し、高い演算性能を有するアナログ光量子コンピュータの構築を進める。これにより、将来の量子 ICT およびデータ駆動型社会を支える革新的な情報処理技術を創出する。

＜2025 年度の主な成果＞

１．光集積回路を用いたアナログ量子コンピューティングシステムを構築

シリコン光導波路を用い、低ノイズかつ高安定な量子光源（スクイズド真空場光源）を実現した[1]。さらに、これをユニタリ変換光回路と集積したアナログ光量子コンピュータをシリコン基板上に構築し、その動作実証に成功した。

２．シリコン光導波路配線の高密度集積化

シリコン光導波路によりシリコン基板上に微細な光の集積回路を実現できるが、光導波路配線間の光クロストーク（光の漏話）が集積度を制限している。今回、半波長ピッチで高密度配置されたシリコン導波路光配線において、クロストークが大幅に抑制された光伝送を実証した[2]。

３．新規な光量子状態トモグラフィ法の開拓

光量子状態の推定（測定）は量子情報処理の基盤技術である。今回、光学素子としてビームスプリッタのみを用いるだけで任意の自由度に符号化された状態推定が可能な普遍的な手法の実証に成功した。

＜職員名＞

教　　授　　松田 信幸（2025 年より）
事務補佐員　渋谷 美奈子
技術補佐員　森 寿子

＜プロフィール＞

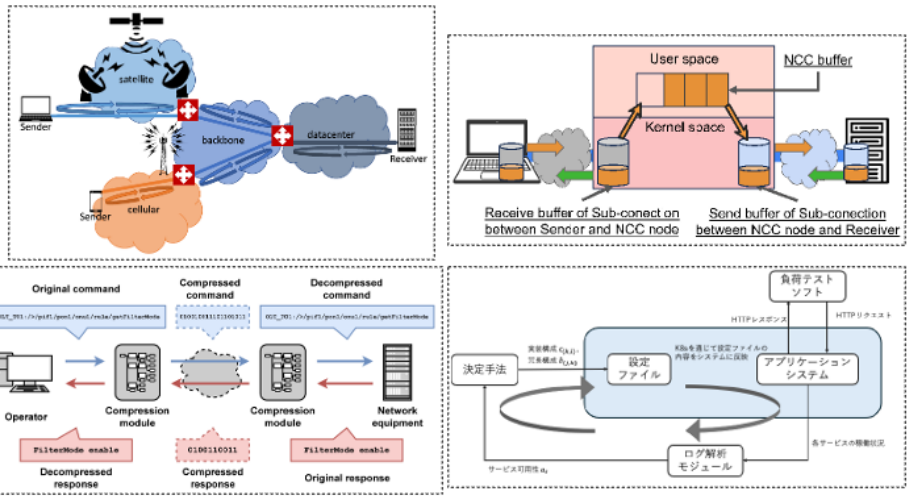
松田 信幸　2005 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。2009 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2009 年 4 月　日本学術振興会特別研究員 PD。2009 年 10 月ブリストル大学客員研究員。2010 年 4 月　日本電信電話（株）入社、NTT 物性科学基礎研究所勤務。2018 年 9 月　東北大学大学院工学研究科准教授。2025 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。光集積回路や光ファイバを用いた量子情報処理デバイス・システムの研究に従事。RIEC Award（2018 年）、電気通信普及財団賞奨励賞（2020 年）、船井学術賞（2021 年）、文部科学大臣表彰若手科学者賞（2022 年）、丸文研究奨励賞（2023 年）ほか受賞。東北大学ディスティングイッシュトリサーチャー（2022、2025）。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Hifumi, S. Kimura, F. Yang, M. Okano, M. Takenaka, H. Yamada, N. Matsuda, “Generation of Single-Mode Squeezed Vacuum Using a Silicon Optical Waveguide,” OECC/PSC 2025, WP-G-1, 2025.
[2] K Toyama, R. Kikuchi, H. Yamada, N. Matsuda, “Localized Light Transport in a Self-Similar Waveguide Array,” OECC/PSC 2025, WP-E-5, 2025.

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



IoT/AI 社会を支える次世代ネットワークアーキテクチャに関する研究

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。

＜2025 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[2][4][11][14])

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唱している。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．　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[3][8][15])

ネットワーク機器の管理においては、多数のネットワーク機器から発生するログデータをリアルタイムに収集し、機械学習アルゴリズム等を活用してネットワークの異常検知、機器故障の早期検出などが重要となる。本研究では、多数の機器から継続的かつ突発的に発生するログデータをネットワーク経由でリアルタイム送信する際に、テキスト形式のログを圧縮して送信する手法を提案している。ツリー型辞書を送受信端末で同期して圧縮・解凍に用いることで、従来アルゴリズムよりも高い圧縮率を実現できることを明らかにした。

３．　インターネット輻輳制御アルゴリズムに関する研究 (文献[1][7])

大規模かつ不均一性が高く、公共性の高いインターネットにおいて、資源競合している通信に公平なスループットを提供することは極めて重要である。しかし、近年では自フローのスループットの最大化のみを目的とした手法が多く提案･利用されている。本研究では、フロー間のスループット公平性を高めるため、および多重度の高いネットワークボトルネ

ックにおいても効率的に動作する輻輳制御アルゴリズムを提案し、その有効性を実ネットワーク環境における実験等で明らかにしている。

＜職員名＞

教　授　長谷川 剛
秘　書　永島 亜未

＜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。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Zewei Han and Go Hasegawa, “BBR-ES: An Extended-State Optimization for BBR Congestion Control,” IEEE Transactions on Network and Service Management, Vol. 23, pp. 2884-2898, 2026.

[2] Mitsuhiro Watanabe and Go Hasegawa, “Design, discussion, and its potential performance evaluation of in-network congestion control,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E108-D No.11 pp.1302-1314, Nov. 2025.

[3] Michishiro Tanaka, Go Hasegawa, Ryotaka Miyamoto, Masaki Tsuji and Kazushi Toyoda, Performance evaluation of traffic compression method for large-scale system log collection, in Proceedings of ICETC 2025, November 2025.

[4] Yuki Tabuchi and Go Hasegawa, Low latency data forwarding at in-Network Congestion Control nodes, in Proceedings of APCC 2025, November 2025.

[5] Shoma Yasuda and Go Hasegawa, Decision-Making Strategies for Edge Computing to Optimize Wireless Communication in Local 5G Environments," in Proceedings of IEEE NoF 2025 Workshop, Sep 2025.

[6] Wataru Honda, Go Hasegawa, Yoshihiro Nakahira, and Masayuki Kashima, ``Determining implementation and redundancy configurations of applications based on multi-start hill climbing algorithms," in Proceedings of ASSE 2025, Sep 2025.

[7] Satoshi Utsumi, Keisuke Kano, Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Go Hasegawa, “Ensuring Low Latency When Number of Flows Increases over Bottleneck Link,” in Proceedings of the ACM SIGCOMM 2025 Posters and Demos, Sep 2025.

[8] Go Hasegawa, Ryotaka Miyamoto, Masaki Tsuji and Kazushi Toyoda, “Compressed Transmission of Remote Network Management Information with Synchronized Context-Aware Dictionary,” in Proceedings of IEEE HPSR 2025, May 2025.

[9] 小川祐紀雄, 加嶋健司, 長谷川剛, 村田正幸, “不確かな観測に基づくクラウドセンシングのためのロバスト性のある信念状態マルコフ決定過程の一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 386, IN2025-67, pp. 25-30, 2026 年 3 月.

[10] 本田渉, 長谷川剛, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, “障害耐性の高いアプリケーションシステムの実装・冗長構成決定手法の実験評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 385, NS2025-238, pp. 101-106, 2026 年 3 月.

[11] 田淵友規, 長谷川剛, , “eBPF を用いたネットワーク内輻輳制御ノードの実装と評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 385, NS2025-233, pp. 72-77, 2026 年 3 月.

[12] 阿部修也, 長谷川剛, “サーバレス実装及びコンテナ実装によるマイクロサービスの性能比較,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 285, IN2025-57, pp. 115-122, 2025 年 12 月.

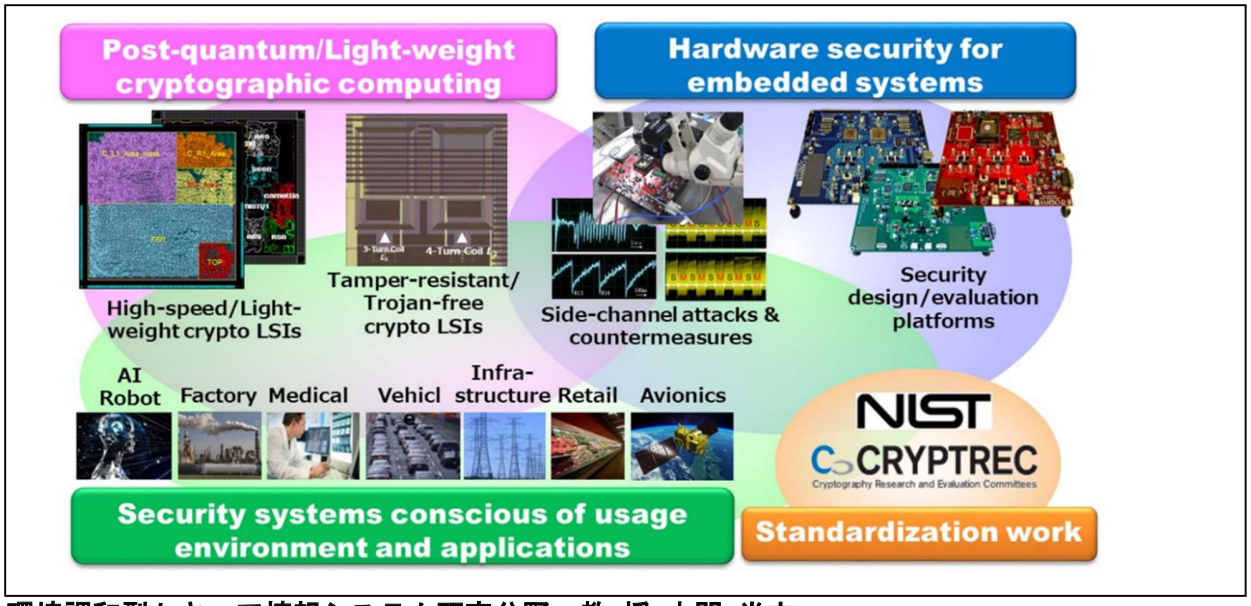
[13] 安田翔真, 長谷川剛, “ローカル 5G 環境下における無線通信資源の効率的利用に向けたエッジコンピューティング適用判断,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 137, IN2025-18, pp. 43-48, 2025 年 7 月.

[14] 田淵友規, 長谷川剛, “ネットワーク内輻輳制御ノードにおけるデータ転送手法に関する一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 137, IN2025-19, pp. 49-54, 2025 年 7 月.

[15] 田中道志郎, 長谷川剛, 宮本凌竹, 都司柾貴, 豊田和志, “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のシステムログ圧縮への応用,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 125, no. 24, NS2025-26, pp. 59-64, 2025 年 5 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
セキュア AI システム研究分野　助 教 伊東　燦

＜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の構築を目標として、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。

＜2025 年度の主な成果＞

1.　**次世代セキュリティコンピューティングに関する研究：**

近年個人情報や機密情報等の情報を処理・格納するメモリやストレージデータの機密性および改ざん検知を実現するセキュリティ技術（メモリ・ストレージ暗号化）が必要とされている。本研究では、ストレージ暗号化の標準規格である XTS モード に、データの改ざん検知を可能にする 認証付き暗号（AE） の機能を付加する新手法 iXTS を提案した[3]。従来の XTS は機密性に制限があり、整合性を保証できないという課題があったが、iXTS は既存の XTS エンジンをブラックボックスとして利用しながら、この問題を解決する。本手法は、入力のみを制御することで実装可能であり、追加の暗号演算を必要としない極めて効率的な設計となっている。さらに、iXTS は GCM 等の主要な暗号モードと同等の理論的安全性を備えていることが証明されている。実際の Intel プラットフォームを用いた検証では、元の XTS からの計算オーバーヘッドが極めて軽微であることを明らかにした[3]。

2. AI ハードウェアセキュリティに関する研究：

近年、機械学習を用いた物理攻撃の脅威が顕在化しつつある。本研究では、XEX/XE 構造を採用した認証付き暗号やストレージ暗号（OCB、PMAC、XTS など）に対する、新たな機械学習サイドチャネル攻撃 XCCA（XOR 重畳衝突解析）の脅威を明らかにした。特に、従来攻撃では困難だった不規則なオフセット値による対策を、確率分布の XOR 畳み込みによって排除し、秘密鍵の差分を効率的に特定できることを示している。シミュレーションと実機検証により、最新の従来手法と比較して必要な攻撃コストを最大 90%削減できる高い攻撃性能を実証している。さらに、この手法を高次サイドチャネル攻撃の一般化モデルとして定義し、マスキング手法におけるノイズ増幅効果の理論も与えている。

3. サプライチェーンセキュリティに関する研究：

近年の半導体の需要増加およびその供給不足に伴い、マイクロコントローラをはじめとする集積回路 (IC: Integrated Circuit) の非正規中古品やフェイクチップが市場に出回り、電子機器の安全性や信頼性が脅かされている。本年度は、経年劣化したマイクロコントローラから生ずるサイドチャネル情報（特に漏えい電磁波）に着目し，非正規中古品を非侵襲に判別する手法を開発した。開発手法では、新品に比べて中古 IC のスイッチングスピードが MOSFET の閾値電圧の変化に依存して低下することに着目し、漏えい電磁波に含まれる信号のスイッチングの影響を抽出・累積することで経年劣化を判別する。具体的には, ARM Cortex-M4 を用いた実験を通して、周波数領域上のサイドチャネル解析で利用される低周波数帯の電磁波波形から有効な周波数帯の情報を抽出・累積することで、未使用と劣化したマイクロコントローラを判別できることを示した[2].

＜職員名＞

教　授　本間　尚文（2016 年より）

助　教　伊東　燦（2025 年度より）

学術研究員　タッソ エリーズ　事務補佐員　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。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Rei Ueno, Akira Ito, Yosuke Todo, Akiko Inoue, Kazuhiko Minematsu, Hibiki Ishikawa, and Naofumi Homma, “All You Need is XOR-Convolution: A Generalized Higher-Order Side-Channel Attack with Application to XEX/XE-based Encryptions,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, Vol. 2025, No. 3, pp. 317-360, June 2025.

[2] Yuki Kaneko, Yuichi Hayashi, and Naofumi Homma, “A Non-Invasive Contactless Detection of Recycled Microcontrollers Based on Side-Channel Analysis,” 2025 23rd IEEE Interregional NEWCAS Conference (NEWCAS), pp. 95-99, Paris, France, June 2025.

[3] Akiko Inoue, Kazuhiko Minematsu, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “How to Implement Authenticated Encryption on XTS-enabled Devices,” IACR Transactions on Symmetric Cryptology, Vol. 2025, No. 4, pp. 167-198, December 17, 2025.

3.3 人間･生体情報システム研究部門の目標と成果

情報通信システムを高度化させるためには、人間・生体の情報処理過程の仕組みを解明し、応用することで、いつでもどこでも安全に快適に通信できる情報環境の実現が重要である。本部門では、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、人間にさらに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 6 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の技術開発を進める情報コンテンツ研究分野。

2025 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それを活用するシステムの確立、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）2025 年度の主な成果は次のとおりである。(1) 人に有害な害虫との棲み分けを目指し、光および磁気光学デバイスを用いて害虫を人間の生活圏から追い出すシステムの開発を行った。必要なレーザ出力の見積もりと、二台のカメラによるステレオ視と物体検出アルゴリズム YOLO を組み合わせた三次元位置推定、ならびにガルバノミラーによる照射制御を統合した追尾システムを構築し、基本動作を実証した。(2) 低消費電力かつ高集積な次世代通信デバイスの実現に向け、スピン波の伝播方向を制御する二次元マグノニック結晶を開発した。これは二次元マグノニック結晶のスピン波導波路としての可能性を実験的に示した世界初の報告であり、スピン波集積回路の基盤要素として期待される。

(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、指さし動作が視覚刺激処理に影響を及ぼすという知見に基づき、聴覚刺激処理に対してもどのような影響を及ぼすかを、聴覚情報単独提示時、および、視聴覚情報同時提示時において知覚心理実験や脳科学実験を通して明らかにした。さらに、聴覚知覚体制化に空間情報が及ぼす影響についても心理実験を用いて分析した。3 次元音空間収音・提示技術に関する研究では、これまでに開発した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について、再生核ヒルベルト空間に基づく収音法を体系化するとともに、頭部伝達関数の機械学習を用いた高精度補間法の提案も行った。

(3) 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）今年度の主な成果は以下の 3 件である。1) 日本人と台湾人によるボディーランゲージのデータベース(DIEM-A)を構築・公開するとともに、心理実験と機械学習分析により身体動作による感情伝達の基本的次元を明らかにした。2)自発的注意と刺激誘導性注意の脳内機構を切り分けるため、多系列選択式高速連続視覚提示パラダイムを設計した。脳波計測の結果、自発的注意の開始前に前頭正中部からのシータ帯活動の上昇が生じることを示した。3)プロジェクションマッピングによる非発光面の表現のために必要な色と輝度の条件を示した。

(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）2025 年度の主たる研究成果は以下の通りである。：(1) 四脚動物が高速で旋回する際には、旋回方向の内側の前肢が外側の前肢よりも後に接地することが知られている。本研究はこの背後にある制御原理を明らかにし、ロボット実機を用いてその妥当性を確認した。本成果は、四脚ロボットの運動能力向上に寄与することが期待される。(2)ウナギは、脊髄が損傷した後も泳ぐことができ、水中だけでなく陸上も移動できる優れた運動能力を有する。本研究では、このような能力の背後には、身体に備わる「伸展感覚」と「圧力感覚」に基づく二つの感覚フィードバックを統合した自律分散的な制御原理が鍵となることをシミュレーションならびにロボット実験により確認した。本成果は、動物の運動制御の原理解明に資するとともに、タフに動くロボットの開発にも繋がることが期待される。(3)本研究では、ヤスデの歩行の詳細な観察から、脚の動きと連動して胴体がピッチ方向（上下方向）にわずかに屈曲することを発見した。この知見に着想を得て、局所的な感覚フィードバックに基づくシンプルな脚・胴体間協調制御則を設計した。シミュレーション実験の結果、提案制御則は幅広い脚数において生物と類似した歩行を再現できることが分かった。本成果は、多脚歩行に通底する制御原理の理解に資する新たな知見を提供するものと期待される。

(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）2025 年度の主たる成果は以下の通りである。:(1) 細胞膜の構造基盤をなす脂質二重層の新制御因子「膜水平電界」を見出し、その印加により膜秩序性が増大することを明らかにした。(2) モジュラー構造をもつ培養神経回路の局所損傷と回復過程を、数値シミュレーションにより再現した。(3)脂質膜被覆したナノピペットを用いた抵抗パルスセンシングにより、細胞内膜小胞エクソソームを単一粒子レベルで検出することに成功した。

(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んでいる。

（成果）本年度の主な成果は次の 4 つである。(1) XR における 3D ユーザインタフェースに関する研究。AR/MR および VR における多様なインタラクションを支援するための新たなインタフェース技術を開発した。(2) 効率的な物理ベースレンダリングでリアリスティックなサイバー／バーチャル空間を生成する研究、カメラのレンズの特性を考慮した円形ボケや被写界深度の効果を効率的にレンダリングするための重点サンプリングの手法を開発した。(3)少数視点条件下における高効率 3 次元アバタ生成基盤の開発とフィジカル AI への応用に関する研究、少数視点画像から高品質な 3 次元空間をリアルタイム生成可能な放射場モデル DNGaussian++ を提案した。深度正則化と幾何再編成機構を導入することで、従来困難であった疎視点条件下における形状崩壊や局所解問題を大幅に改善し、高精細な新規視点合成を低計算コストで実現した。 (4) 身体イメージ知覚における人種の重要性に関する研究。東アジア人と南アジア人の身体スキャンにより、東アジア人・南アジア人の 3D モデルを作成した。既存の欧米人 3D モデルと比較して、同じ BMI でも異なる身体的変化をすることを確認し、さらに身体サイズの判断の際に、自分とは異なる人種の体型だと正確にサイズ推定ができなくなることを確認した。

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

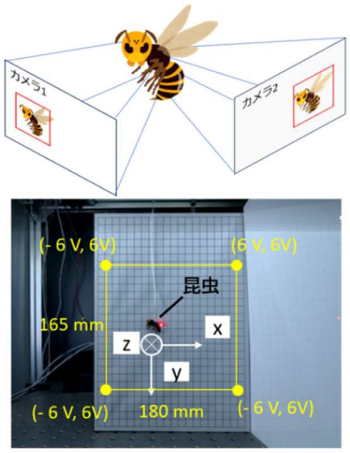


図１　開発した昆虫トラッキングシステム

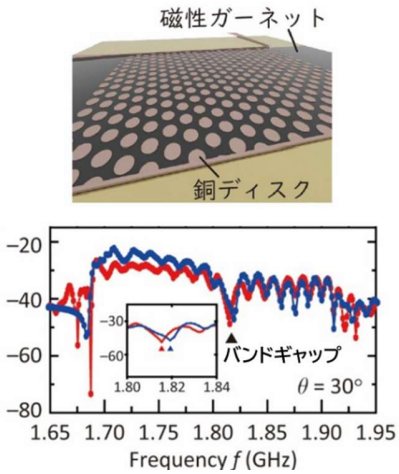


図２　開発した二次元マグノニック結晶

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。

＜2025 年度の主な成果＞

１．昆虫トラッキングシステム構築

人に有害な害虫との棲み分けを目指し、光および磁気光学デバイスを用いて害虫を人間の生活圏から追い出すシステムの開発を行った。オオスズメバチの死骸への照射実験から、外骨格貫通に必要なエネルギー密度を部位別に定量化し、低出力レーザーで殺虫効果を得るために必要な集光倍率を導出した。さらに、二台のカメラによるステレオ視と物体検出アルゴリズム YOLO を組み合わせた三次元位置推定と、ガルバノミラーによる照射制御を統合した追尾システムを構築し、基本動作を実証した。

２．二次元マグノニック結晶の実証

低消費電力かつ高集積な次世代通信デバイスの実現に向け、スピン波の伝播方向を制御する二次元マグノニック結晶を開発した。低損失な磁性ガーネット薄膜上に六角格子状に配置した銅製ディスクによって、入射角度を 10 度から 30 度まで変化させてもマグノニック・バンド・ギャップの周波数がほとんど変化しないことを実験的に明らかにした。本成果は二次元マグノニック結晶の角度依存性を実験的に示した世界初の報告であり、スピン波集積回路の基盤要素として期待される。

＜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）。

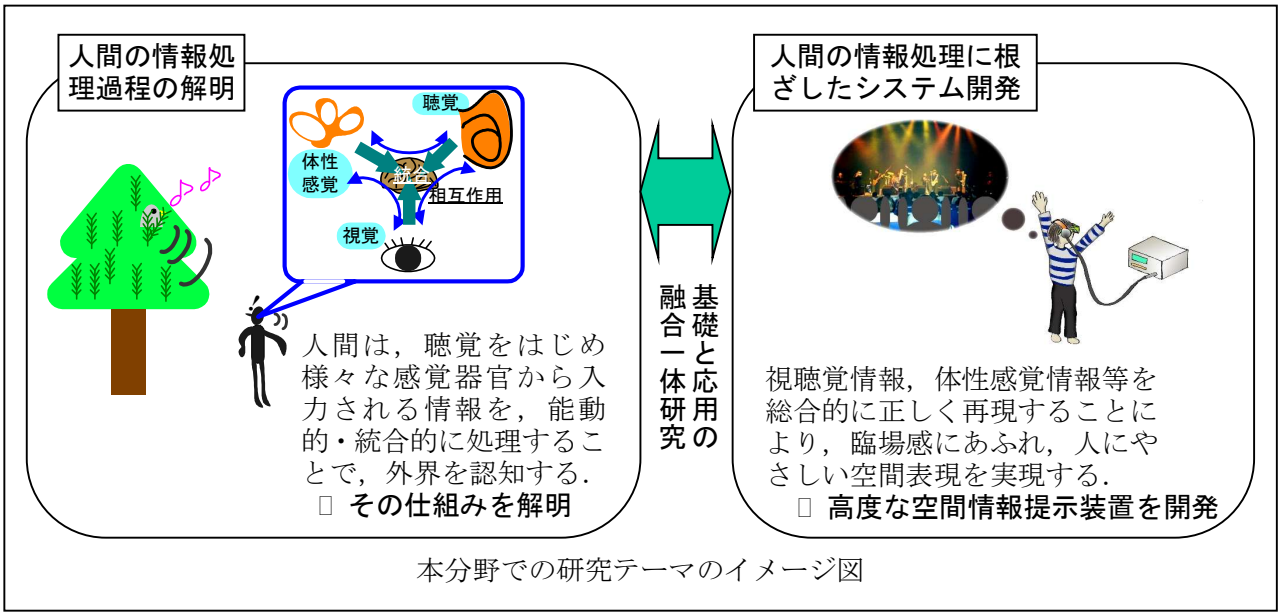
後藤 太一　2008 年 3 月　豊橋技術科学大学工学部卒業。2009 年 3 月　同大学院工学研究科電気・電子工学専攻博士前期課程期間短縮修了。2011 年 9 月　同博士後期課程期間短縮修了、博士（工学）学位取得。日本学術振興会特別研究員 DC1・PD、海外特別研究員、マサチューセッツ工科大学ポスドク研究員を経て、2013 年豊橋技術科学大学助教、2022 年東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。ナノ・マイクロスケールの磁気光学デバイス・材料の研究開発に従事。2015～2019 年に科学技術振興機構さきがけ研究員。2016～2020 年マサチューセッツ工科大客員研究員。文部科学大臣表彰・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

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] A. B. Trabzon, T. Goto and M. C. Onbasli, "Comprehensive micromagnetic modeling: Practical techniques, applications, and emerging challenges," IEEE Access, Vol. 13, pp. 93102-93114, 2025
[2] T. Koguchi, T. Watanabe, H. Miyashita, K. Ishiyama, Y. Nakamura, M. Inoue, M. C. Onbasli and T. Goto, "Evaluation of exchange stiffness constant in iron garnet film using micromagnetic simulation," Applied Physics Letters, Vol. 127, 102407, 2025
[3] S. Suzuki, M. Chiba, T. Tanno, S. Hashi and K. Ishiyama, "Characterization of residual stress and microstructure in a functional iron-gallium single crystal alloy," e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Vol. 23, pp. 138-142, 2025
[4] T. Goto, T. Koguchi, Y. Yoshihara, H. Miyashita, K. Mori, T. Watanabe, A. C. Kaczmarek, P. B. Lim, M. Inoue, C. A. Ross and K. Ishiyama, "Magnetotaxial perpendicular magnetic anisotropy and enhanced Faraday rotation in ion beam sputtered cerium-substituted yttrium iron garnet," ACS Applied Optical Materials, Vol. 3, pp. 2923-2934, 2025
[5] T. Koguchi, H. Miyashita, T. Watanabe, E. Negishi, Y. Nakamura, M. Inoue, K. Ishiyama, M. C. Onbasli and T. Goto, "Nonlinear gigahertz magnetization oscillations in iron garnet films with maze domains induced by strong magnetic pulses," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 65, 040904, 2026

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。

＜2025 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。

2025 年度は，聴覚選択的注意の空間特性について研究を進めた。聴覚選択的注意は，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り，多くの研究者がそのメカニズムの解明に取り組んできた。これまでに，聴覚選択的注意は周波数や音の大きさなどの音の様々な属性に対して向けることができることが報告されている。我々は空間に向けられた聴覚選択的注意の様相について着目してこれまで多くの研究を行ってきており，今年度は，聞き取り困難症（listening difficulties : LiD）を有する聴取者を対象に，空間中に提示された標的音の聞き取りに妨害音の種類がどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。具体的には，ある一方の耳を対象耳として単語音声を提示し，同時にもう一方の耳にノ

イズ，もしくは音楽を提示して，単語了解度を測定した。その結果，LiD を有する聴取者は妨害音の影響が顕著で，かつ音楽の方がノイズに比べ単語了解度の低下が顕著であった[1]。

そのほかにも，ある距離に聴覚空間注意を向けることにより，注意を向けられた距離における空間分解能が向上するといった興味深い結果も得られている[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。2025 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について，再生核ヒルベルト空間を用いた新たに開発した収音法を中心に開発を進め，3 年に 1 回行われる音響関連で最大の国際会議において招待講演を行った[3]。また，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，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に関しても，少数位置で測定したデータからより稠密な位置での頭部伝達関数を合成する技術の開発を行った[4]。

そのほかにも，近年防災などの様々な用途での活用が見込まれ注目されている超低周波音に関し，一般向けのセンサの特性を高精度に測定するための新しい比較校正技術の開発[5]などにおいて多くの成果を得た。

＜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。日本音響学会副会長（2025 年 5 月～現在）。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Masking effects caused by contralateral distractors in participants with versus without listening difficulties
T. Kawase, C. Obuchi, J. Suzuki, Y. Katori, and S. Sakamoto
Ear and Hearing, 46(2), pp. 393-400 (2025).

[2] 距離に対する聴覚的注意が音像距離弁別精度に及ぼす影響
加藤智世，坂本修一
電子情報通信学会技術研究報告，EA2025-22，55-59（2025）.

[3] Sound field synthesis method using distributed spherical microphone arrays based on spherical harmonics (invited lecture)
S. Sakamoto
Proc. The 25th International Congress on Acoustics, 3aEA1 (2025)

[4] Spatial upsampling of head-related transfer function using neural network conditioned on source position and frequency
Y. Ito, T. Nakamura, S. Koyama, S. Sakamoto, and H. Saruwatari
IEEE Open Journal of Signal Processing, 6, 1109-1123 (2025).

[5] Comparison calibration system for digital-output infrasound sensors
K. Hirano, H. Takahashi, K. Yamada, H. Nozato, and S. Sakamoto
Measurement Science and Technology, 37, 075106 (2026).

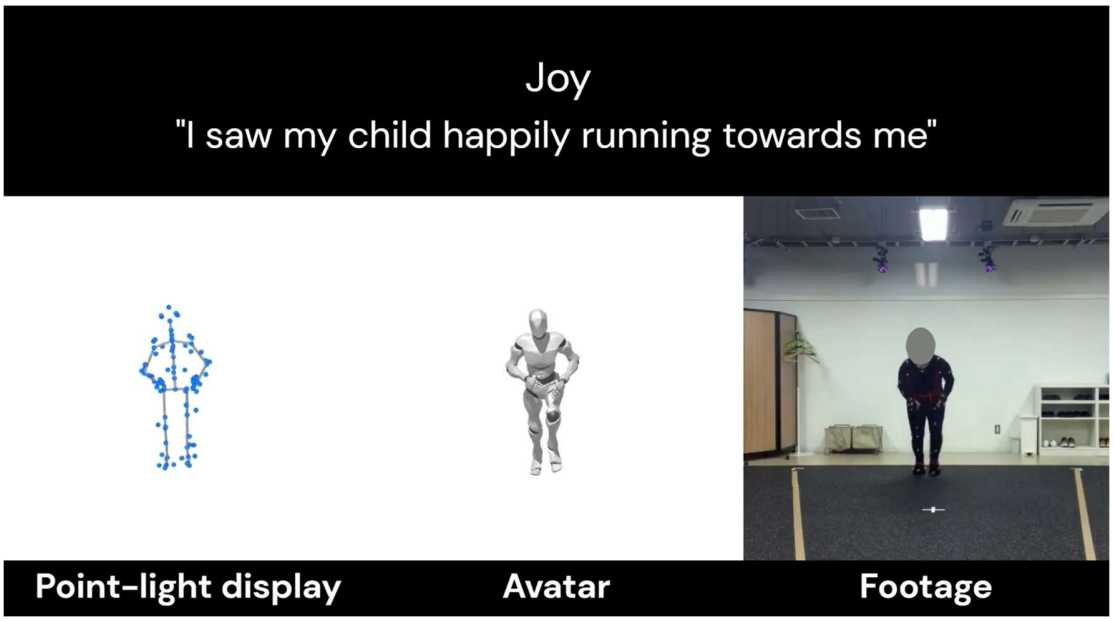
視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解

視覚情報システム分野　教　授　鯉田 孝和
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。



＜2025 年度の主な成果＞

１．身体動作の感情的理解

ボディーランゲージの伝達がどのように行われているのか、それに文化がどのように影響するかを理解するために、我々は機械学習と人間の知覚の両面からこれらの問題に取り組んだ。(1) 動画、テキスト、3 次元身体動作を含む 10,000 以上のマルチモーダルデータからなる、初のアジアを拠点とした感情的身体動作データベース（DIEM-A）を作り公表した。(2) 身体化された視覚情報からの知覚特性を検証するためのヒト知覚実験を実施した。(3) 身体動作からの感情伝達の基本的次元を探るために、データ駆動型の視点を用いる動作学習アルゴリズムを用いた。

https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2025/10/press20251008-01-DIEM-A.html

２．注意の神経生理学的研究

注意の内部的自発的要因と外部的誘導的要因を分離するために、同一の視覚入力を用いた多系列選択式高速連続視覚提示（RSVP）パラダイムを設計し、脳波計測を行った。その結果、自発的注意の開始前に前頭正中部からのシータ帯活動の上昇を観察した。これは内部駆動型の切り替えに特有な認知的制御の準備的構築を示唆している。

３．プロジェクションマッピングにおける表面色知覚条件

プロジェクションマッピング(PM)は一般的に暗い環境で物体にプロジェクターの光を当てるため、対象は発光したように見える。ここで多数のプロジェクターを部屋に配置して対象物だけに光が当たらないように PM を行うと、「黒い光」で照らしたような状態になる。ここで本研究では対象が発光したように見えるか、物体表面の反射色のように見えるか決定する要因について調査した。様々な色やテクスチャーで PM を行った結果し、既知の二次元平面で知られていた特性が PM 下での立体物にも有効であることが確かめられた。

＜職員名＞

教　授　鯉田 孝和（2025 年 10 月より）
准教授　曽　加蕙（2016 年より）

＜プロフィール＞

鯉田 孝和：1995 年東京工業大学理学部応用物理学科卒業、2000 年同大学院総合理工学研究科修了。博士（工学）。2000 年より生理学研究所にて博士研究員ならびに助教。2010 年より豊橋技術科学大学にて准教授。2025 年 10 月より東北大学電気通信研究所教授。専門は視覚の神経生理学、心理物理学、色覚。日本視覚学会幹事、Asia Pacific Conference on Vision の Council member 等。2025 年 日本視覚学会鵜飼論文賞受賞。

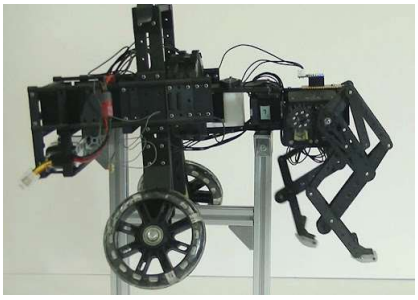
曽　加蕙：台湾国立大学で学士号および修士号を取得後、カリフォルニア大学アーバイン校にて博士号を取得。その後、米国ラトガース大学認知科学センター視覚研究室で博士研究員。多くのアジアの都市でコミュニティへの参加を促すために科学アウトリーチ活動を行っている。また、香港で乳児科学者プログラムと乳児研究施設の所長を務める。台湾と香港で大学教員を務めた後、2016 年より東北大学電気通信研究所准教授。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Hou, D., Sun, S., Hatori, Y., Tseng, C. H., & Shioiri, S. (2025). Task-constrained self-initiated attention shifts are indexed by frontal-midline theta ramping. Frontiers in Human Neuroscience, 19, 1708257.
[2] Wang, GY., Hatori, Y., Sato, Y. et al. Cultural differences in facial features based on SHAP analysis from machine learning model estimating learners' mental states. Multimed Tools Appl 85, 344 (2026). https://doi.org/10.1007/s11042-026-21230-9
[3] Yeh, S. L., Hung, T. F., Hsieh, T. Y., & Tseng, C. H. (2026). Social Bonding Through Expressed Needs: Insights from an Identity-Shape Matching Task. Computers in Human Behavior, 108917. https://doi.org/10.1016/j.chb.2026.10891
[4] Hatori, Y., Yuan, Z. Tseng, C. H., Kuriki, I., & Shioiri, S. (2024). Modeling the Dynamics of Contextual Cueing Effect by Reinforcement Learning. Journal of Vision, 24(12), 11-11
[5] Cheng, M., Tseng, C.H., Fujiwara, K., Schneider, V., Kitamura, Y. (2025 October). Asian Emotional Body Movement Database: Diverse Intercultural E-Motion Database of Asian Performers (DIEM-A). In 2025 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII). IEEE.
[6] Takeuchi, M, Koida, K and Iwai, D (2025). "Luminosity thresholds in projection mapping under environmental lighting." Frontiers in Virtual Reality Volume 6 - 2025. https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1649901
[7] Sasaki, H, Shimizu, S, Nerchan, RA, Yamashita, K, Takahashi, N, Chinone, R, Kurashige, Y, Numano, R, Koida, K, Ohsawa, M and Kawano, T (2025). "A self-insertable 5-μm-diameter flexible microneedle for minimally invasive and stable in vivo neural recording." Sensing and Bio-Sensing Research 50: 100915. https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2025.100915

実世界コンピューティング研究室

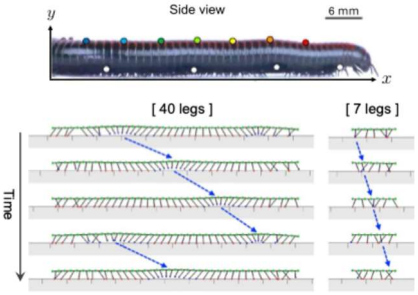
生き物のようにレジリアントな知能システムの創成



四脚動物のギャロップ旋回を再現するロボットモデル



水陸両用ロコモーションが可能な自律分散型ウナギロボット



ヤスデに着想を得た多脚歩行の脚間協調制御則

実世界コンピューティング研究分野　教　授　石黒　章夫

＜研究室の目標＞

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

＜2025 年度の主な成果＞

１．胴体の回転運動に着想を得た四脚ロボットの旋回制御

四脚動物が高速で旋回する際、旋回方向の内側の前肢が外側よりも後に接地する「リーディング・リム（先行肢）」となる特有の歩容パターン（ギャロップ旋回）を示すことが知られている。しかし、この行動を司る制御メカニズムは未解明であった。本研究では、自律分散的な脚間協調メカニズムと胴体の運動がこの現象の鍵であるとの仮説を立て、胴体のロール（回転）およびヨー（屈曲）角度を可変とした簡易的な四脚ロボットを用いて検証を行った。実験の結果、先行研究で提案した直進走行用の自律分散制御に胴体のロール傾斜を加えるだけで、動物で見られるような接地順序が自律的に創発されることを確認した。本成果は、動物の機敏な旋回運動の理解を深めるとともに、ロボットの運動能力向上に寄与することが期待される。

２．ウナギの水陸両用ロコモーションを実現する自律分散制御則の提案とロボット実証

ウナギは、脊髄が損傷した後も泳ぐことができ、水中だけでなく陸上も移動できる優れた運動能力を有する。本研究では、身体に備わる「伸展感覚」と「圧力感覚」の二つの感覚フィードバックを統合した自律分散的な神経回路モデルを提案し、このモデルが水中遊泳と障害物がある陸上移動の両方に有効であることをロボット実験により実証した。また、脊髄損傷後の

ウナギの遊泳能力に関する新たな仮説として、身体に分散した神経回路が自発的なリズムを生み出せるならば感覚フィードバックを活用して自然に泳ぎ続けられることを提唱した。本研究成果は、動物の運動制御の原理解明に貢献するとともに、タフに動くロボットの開発への応用が期待される。

３．脚と胴体の自律分散的な協調制御から創発する多脚歩行パターン

多足類に代表される多脚節足動物の多くは、種により脚数は異なるものの，歩行時に示す足運びのパターン（脚間協調パターン）は類似することが知られている。しかしながら、この多脚歩行に共通する制御原理が存在するかはいまだ明らかではない。本研究では、ヤスデの歩行の詳細な観察から、脚の動きと連動して胴体がピッチ方向（上下方向）にわずかに屈曲することを発見した。この知見に着想を得て、局所的な感覚フィードバックに基づくシンプルな脚・胴体間協調制御則を設計した。シミュレーション実験の結果、提案制御則は幅広い脚数において生物と類似した歩行を再現できることが分かった。本研究成果は、多脚歩行に通底する制御原理の理解に資する新たな知見を提供するものと期待される。

＜職員名＞

教　授	石黒　章夫	（2011 年より）
助　教	福原　洸	（2018 年より）
助　教	安井　浩太郎	（2020 年より）
助　教	鈴木　朱羅	（2024 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）。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

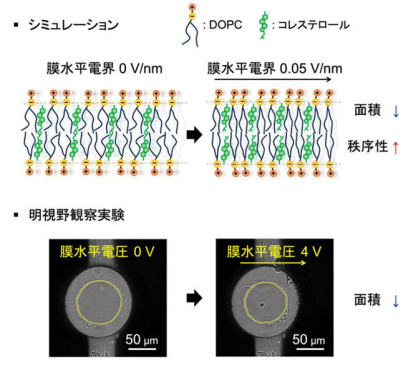
[1] Maeta, T., Hattori, S., Kano, T., Fukuhara, A., Ishiguro, A. A simple robot suggests trunk rotation is essential for emergence of inside leading limb during quadruped galloping turns. *Frontiers in Neurorobotics*, 19:1628368 (2025). https://doi.org/10.3389/fnbot.2025.1628368

[2] Yasui, K., Gupta, A., Fu, Q., Suzuki, S., Hainer, J., Paez, L., ... & Ishiguro, A. Multisensory feedback makes swimming circuits robust against spinal transection and enables terrestrial crawling in elongate fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(34), e2422248122 (2025). https://doi.org/10.1073/pnas.2422248122

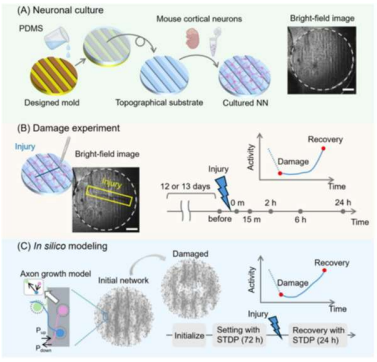
[3] Yasui, K., Yamaichi, T., Ishiguro, A. Millipedes suggest decentralized trunk–limb coordination control is essential for inter-limb coordination in many-legged locomotion. *Artificial Life and Robotics*, 31, 34–45 (2026). https://doi.org/10.1007/s10015-025-01113-2

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室

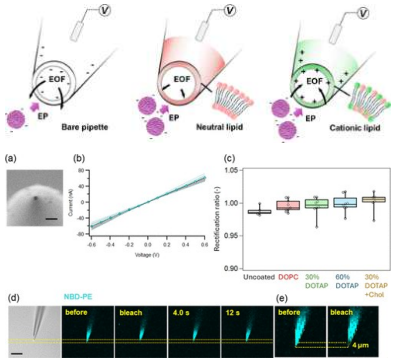
ナノテクノロジーとバイオ材料との融合による新機能デバイスの創出



膜水平電界印加時の膜構造変化［1］



神経細胞回路に関する研究［3］



脂質膜コートナノポアセンサ［4］

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．

＜2025 年度の主な成果＞

１．脂質二重層の新たな制御因子「膜水平電界」の作用機構の解明

細胞膜の構造基盤をなす脂質二重層は，細胞内外を隔てる単なるバリアではなく，多様な膜タンパク質の機能を支える能動的な場として機能する．その物理的性質は電界の影響を強く受けるが，従来の研究では主として膜厚方向の電界成分（膜垂直電界）のみが注目されてきた．一方，実際の生体内では，上皮細胞の密着結合部位やナノポア内のイオン流束に伴い，膜面に水平な方向にも電界が発生すると考えられる．しかし，このような膜水平電界の作用機構は十分に解明されていなかった．今年度は，分子動力学シミュレーションと明視野観察実験を組み合わせ，膜水平電界が脂質二重層に及ぼす影響を評価した．その結果，膜水平電界は膜面積の減少と脂質鎖の秩序化を引き起こす一方で，同じ強度の膜垂直電界では膜構造にほとんど影響を及ぼさないことが示された．以上の成果により，脂質二重層が印加電界の方向に依存した構造応答を示すことを初めて明らかにした．本研究成果は，米国化学会の *The Journal of Physical Chemistry Letters* に掲載された [1]．さらに，膜水平電界印加デバイスの作製プロセスの改良にも取り組み，従来課題であった電極劣化を抑制する長寿命化プロセスを確立した．この成果は *Japanese Journal of Applied Physics* に掲載された [2].

２．モジュラー神経回路の損傷耐性と機能回復メカニズムに関する研究

脳が損傷から機能を回復する過程ではシナプス可塑性が重要な役割を果たすが，神経回路のモジュラー構造との相互作用については十分に解明されていない．本研究では，モジュラー構造を持つ培養神経回路の局所損傷と回復過程を，数値シミュレーションにより再現した．スパイクタイミング依存可塑性（STDP）に基づくモデルにより，損傷直後に減少した自発的な集団活動が 24 時間以内に元の水準まで回復するという実験結果を捉えるとともに，モジュラー構造と可塑性の組合せが神経回路の損傷耐性に寄与することを示した．さらに本モデルをリザバー計算の枠組みに適用し，活動の回復に伴って情報表現能力も改善することを明らかにした．本成果に関する原著論文は国際誌 *Frontiers in Neuroscience* に掲載された [3].

３．脂質膜界面を利用する膜小胞検出ナノポアセンサの開発に関する研究

エクソソームなどの細胞外小胞は細胞間の情報伝達を担うことが明らかになっており，新規バイオマーカーとしても注目される．ナノピペットを用いた抵抗パルスセンシングは，単一エクソソームを検出可能な有望な技術であるが，ピペット内流体の制御が難しく，負に帯電したエクソソームの検出効率が極めて低いという課題があった．本研究では，脂質分子の自己組織化を利用してナノピペット内壁を脂質膜でコーティングし，界面状態を制御することでエクソソームの輸送（検出）効率を大幅に向上させた．さらに，脂質組成を調整することでエクソソームの非特異的吸着を抑制できることを示し，単一エクソソーム検出の新規手法を提案した．本成果に関する原著論文は，国際誌 *ACS Applied Materials & Interfaces* に掲載された [4].

＜職員名＞

教　授　平野　愛弓（2016 年より）
助　教　小宮　麻希，平本　薫
技術補佐員　川田　巳致，寺島　美優，新井　一恵
事務補佐員　宮本　聡子

＜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．

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] H. Kageyama, M. Komiya, E. Yamamoto, A. Hirano-Iwata. “Distinct Structural Responses of Lipid Bilayers to Horizontal and Vertical Electric Fields”, *J. Phys. Chem. Lett.*, **16**, 41, pp. 10647–10654 (2025).

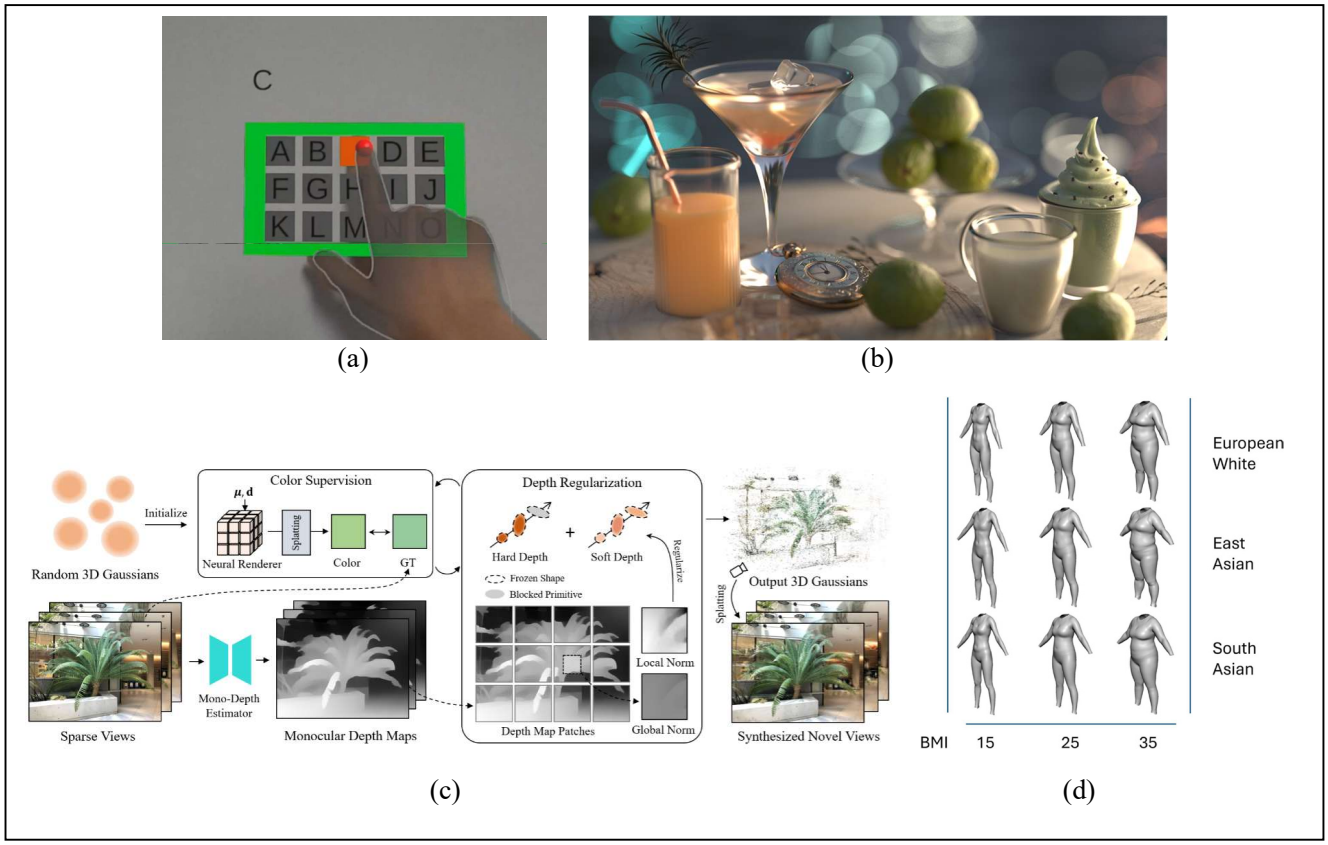
[2] T. Nomoto, M. Komiya, H. Okumura, D. Tadaki, Y. Tozawa, A. Hirano-Iwata, “Gold-electrode-integrated Teflon sheets for applying horizontal voltage to artificial cell membranes”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **64**, 10SP26 (2025).

[3] T. Sumi, A. M. Houben, H. Yamamoto, H. Kato, Y. Katori, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, “Modular architecture confers robustness to damage and facilitates recovery in spiking neural networks modeling in vitro neurons”, *Front. Neurosci.*, **19**, 1570783 (2025).

[4] K. Hiramoto, C. Kaji, A. Hirano-Iwata, “Lipid Membrane-Coated Nanopipettes for Enhanced Resistive Pulse Sensing of Exosomes”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **18**, 13, 19937–19945 (2026).

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
ヒューマンワークスペースインタラクション研究分野　准教授　藤田 和之

＜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．

＜2025 年度の主な成果＞

1．　XR における 3D ユーザインタフェースに関する研究

AR/MR および VR における多様なインタラクションを支援するための新たなインタフェース技術を開発しました．壁や机などの身近な物理サーフェスを用いた AR/MR タッチ操作（図 a，[1]），小型バーチャルキーボードを用いた空中での親指入力 [2]，および両手を用いて自由度を切り替える VR 内 3 次元操作手法 [7] を実現し，入力・操作の効率，精度，適用範囲の向上に取り組みました．

２．　効率的な物理ベースレンダリングでリアリスティックなサイバー／バーチャル空間を生成する研究

カメラのレンズの特性を考慮した円形ボケや被写界深度の効果を効率的にレンダリングするための重点サンプリングの手法を開発しました（図 b, [12]）.

３．　少数視点条件下における高効率 3 次元アバタ生成基盤の開発とフィジカル AI への応用

少数視点画像から高品質な 3 次元空間をリアルタイム生成可能な放射場モデル DNGaussian++ を提案しました．深度正則化と幾何再編成機構を導入することで，従来困難であった疎視点条件下における形状崩壊や局所解問題を大幅に改善し，高精細な新規視点合成を低計算コストで実現しました．本技術は，人間の表情・視線・身体動作などの非言語情報を自然に伝達可能な高精度アバタ生成基盤として期待され，フィジカル AI や遠隔コミュニケーションへの応用が期待されます．（図 3, [4]）

４．　身体イメージ知覚における人種の重要性に関する研究

本研究では，東アジア人と南アジア人の身体スキャンにより，東アジア人・南アジア人の 3D モデルを作成しました．既存の欧米人 3D モデルと比較して，同じ BMI でも異なる身体的変化をすることを確認し，さらに身体サイズの判断の際に、自分とは異なる人種の体型だと正確にサイズ推定ができなくなることを確認しました．（図 d, [14]）.

＜職員名＞

教　授　北村 喜文
准教授　藤田 和之
助　教　濱本 裕美
助　教　谷 林

＜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．IFIP TC-13 (Human-Computer Interaction)日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等の Chair．IEEE VGTC Virtual Reality Academy，ACM SIGCHI Lifetime Service Award 受賞(2025). 令和 8 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門），日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている．

藤田 和之　2010 年 大阪大学 大学院情報科学研究科 マルチメディア工学専攻 博士前期課程 修了．2013 年 同研究科 情報システム工学専攻博士 後期課程修了．同年 株式会社イトーキ．2018 年より東北大学 電気通信研究所 助教（2023 年より東北大学プロミネントリサーチフェロー）．2024 年より同准教授. 博士 (情報科学). 2019 年と 2020 年に日本バーチャルリアリティ学会論文賞をそれぞれ受賞, ACM ISS 2021 Best Paper Award, IEEE VR 2022 Honorable Mention Best Paper Award 等を受賞.

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Guanghan Zhao, Yangyang Cai, Kazuyuki Fujita, Robert W. Lindeman and Yoshifumi Kitamura, BlanchTouch: Bringing Fingertip Blanch Detection into Mixed Reality for Touch Input on Flat Surfaces, 2026 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), March 2026.

[2] Guanghan Zhao, Louis Teys, Gyeonghwan Yang, Shengdong Zhao and Yoshifumi Kitamura, FanType: Intention-Inferring Fan-shaped Thumb Interface for Text Entry on Small XR Keyboards, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, March 2026.

[3] Yang Cheng, Lin Gu, Ziteng Cui, Shenghan Su and Zenghui Zhang, Perception-Inspired Color Space Design for Photo White Balance Editing, Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), March 2026.

[4] Jiahe Li, Jiawei Zhang, Xiaohan Yu, Xiao Bai, Jin Zheng, Xin Ning and Lin Gu, DNGaussian++: Improving Sparse-View Gaussian Radiance Fields with Depth Normalization, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)), March 2026.

[5] Jiahe Li, Jiawei Zhang, Youmin Zhang, Xiao Bai, Jin Zheng, Xiaohan Yu, Lin Gu, GeoSVR: Taming Sparse Voxels for Geometrically Accurate Surface Reconstruction, Neurips, December 2025

[6] Shuhong Liu, Lin Gu, Ziteng Cui, Xuangeng Chu, Tatsuya Harada, I2-NeRF: Learning Neural Radiance Fields Under Physically-Grounded Media Interactions, Neurips, December 2025.

[7] Yujian Fang, Manato Abe, Kazuyuki Fujita and Yoshifumi Kitamura, SnapSteer: A Bimanual 3D Manipulation Interface with Limitable Motion Degrees of Freedom, Proceedings of the 2025 31st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Article No. 32, pp. 1-11, December 2025.

[8] Miao Cheng, Chiahuei Tseng, Victor Schneider, Ken Fujiwara and Yoshifumi Kitamura, Asian Emotional Body Movement Database: Diverse Intercultural E-Motion Database of Asian Performers (DIEM-A), 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII ’25), October 2025.

[9] Huakun Liu, Miao Cheng, Xin Wei, Felix Dollack, Victor Schneider, Hideaki Uchiyama, Chiahuei Tseng, Yoshifumi Kitamura and Monica Perusquia-Hernandez, Generative Learning as a Tool to Improve Perception of Emotional Body Motion Expressions, 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII ’25), October 2025.10.

[10] Miao Cheng, Chi-Chun Lee, Carlos Busso and Sotaro Kita, Multilingual and Multimodal Affective Computing (MMAC): Understanding Emotion Across Cultures and Contexts, 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII ’25), October 2025.

[11] Woan-Shiuan Chien, Huan-Yu Cheng, Shu-Ying Liu, Yuan-Liang An, Ching-Shin Hsiao, Yangyang Cai, Victor Schneider, Miao Cheng, Chiahuei Tseng and Chi-Chun Lee, Rethinking Multilingual and Multimodal Interactive Datasets: Challenges, Limitations and Potentials, Workshop on Multilingual and Multimodal Affective Computing (MMAC)13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII ’25), October 2025.

[12] Jiawei Huang, Shaokun Zheng, Kun Xu, Yoshifumi Kitamura and Jiaping Wang, Guided Lens Sampling for Efficient Monte Carlo Circle-of-Confusion Rendering, SIGGRAPH Conference Papers ’25: Proceedings of the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Papers, 34, 1-10, August 2025.

[13] Sudo, Y. Kamashita, R.Takamura, T.Hamatani, S.Numata, N.Matsumoto, K.Sato, Y.Hamamoto, Y.Shoji, T.Muratsubaki, T.Sugiura, M.Fukudo, S.Kawabata, M.Sunada, M.Noda, T.Tose, K.Isobe, M.Kodama, N.Kakeda, S.Takahashi, M.Adachi, H.Takakura, S.Gondo, M.Yoshihara, K.Moriguchi, Y.Shimizu, E.Sekiguchi, A.Hirano, Y. “A multicenter cross-sectional study to elucidate altered resting-state functional connectivity of the insular cortex in anorexia nervosa, segmented by functional localization”, Scientific Reports, 15(1):19118. doi: 10.1038/s41598-025-03641-0

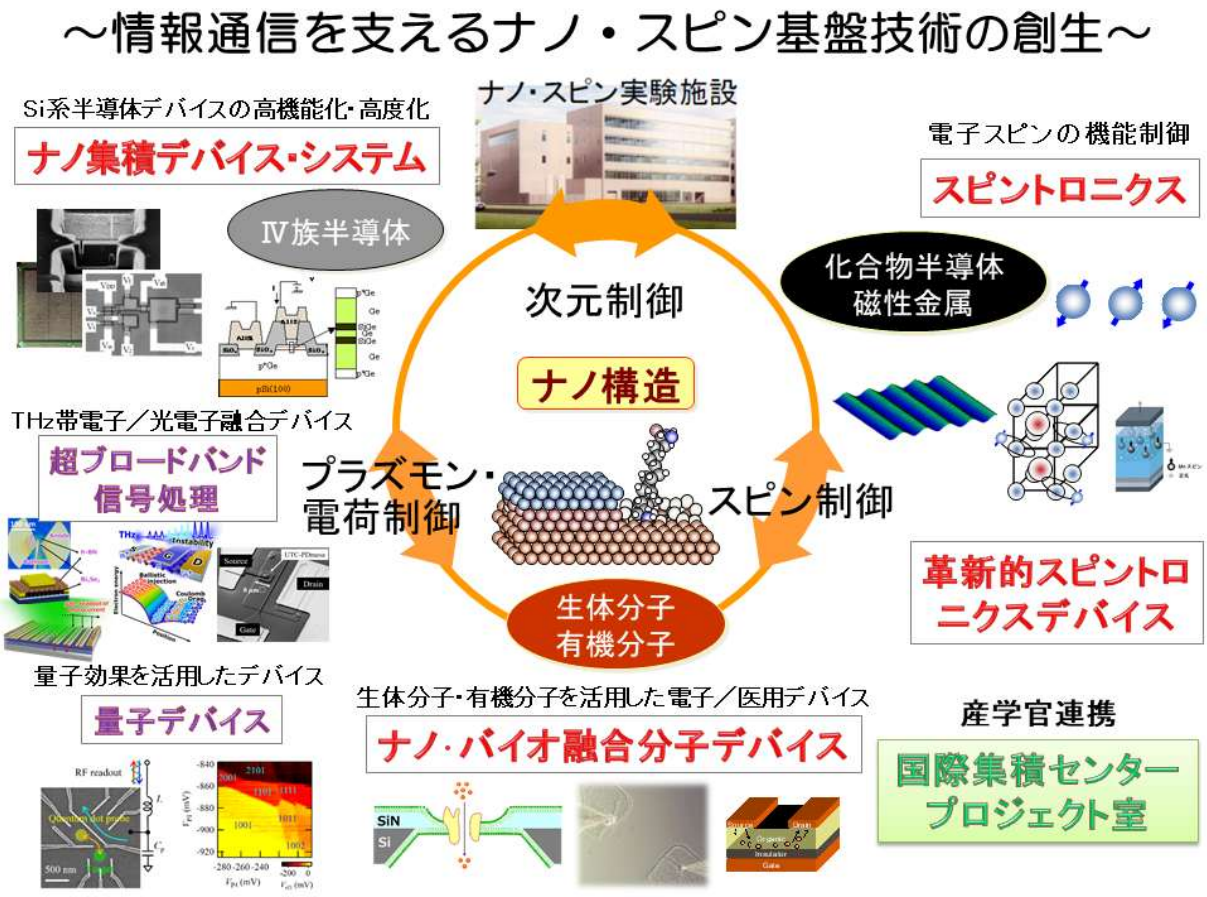
[14] B. J. Ridley., Y. Hamamoto, P. L. Cornelissen, R. S. S. Kramer, K. McCarty, & M. J. Tovee. “Perceptual body image tasks require ethnically appropriate stimuli”. Body Image, 53, 101899. doi:10.1016/j.bodyim.2025.101899

[15] J. Kanzawa, R. Kurokawa, T. Takamura, N. Nohara, K. Kamiya, Y. Moriguchi, Y. Sato, Y. Hamamoto, T. Shoji, T. Muratsubaki, M. Sugiura, S. Fukudo, Y. Hirano, Y. Sudo, R. Kamashita, S. Hamatani, N. Numata, K. Matsumoto, E. Shimizu, N. Kodama, S. Kakeda, M. Takahashi, S. Ide, K. Okada, S. Takakura, M. Gondo, K. Yoshihara, M. Isobe, K. Tose, T. Noda, R. Mishima, M. Kawabata, S. Noma, T. Murai, K. Yoshiuchi, A. Sekiguchi, O. Abe. “Brain network alterations in anorexia Nervosa: A Multi-Center structural connectivity study”, NeuroImage: Clinical, 2025.

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、革新的スピントロニクス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、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 2025 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) 極めて低電力で動作する SNN（スパイキングニューラルネットワーク）を用いたリザバー計算システムのアナログ回路部とエナジーハーベスティング回路を融合し、ハーベスティング電力のみでリザバー層を動作させられることを実証した。また、SNN の規模拡大に向けて、マルチチップ動作を可能にするニューロン間スパイクルーティング回路の設計に成功した。
(2) 4H-SiC MOS 界面への 0.12 原子層以上の B 原子層導入によって、Al ゲート MOS ダイオードの C-V カーブのヒステリシスが顕著に拡大することを見いだした。また、ECR プラズマ CVD により堆積させた高濃度ドープ Si を用いて pn ダイオードを製作し、適切なノンドープ Si 層厚において負性微分抵抗が発現するエサキダイオードの製作に成功した。
(3) 培養神経回路を物理リザバーとして用い、フィードバック制御下でのオンライン教師あり学習を実現した。マイクロ流体デバイス上で培養したラット大脳皮質神経細胞の活動信号に FORCE 学習を適用することにより、正弦波・矩形波・カオス信号（ローレンツアトラクタ）など多様な時系列パターンの生成に成功した。

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。2025 年度は主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) ノンコリニア反強磁性 Mn-Sn 薄膜の温度と組成に対するスピン構造の相図を示し、特に化学量論組成よりも Mn がリッチな領域にて極低温でもノンコリニアなスピン構造が維持されることを明らかにした。(2) ノンコリニア反強磁性体と重金属の界面におけるジャロシンスキー・守谷相互作用がノンコリニア反強磁性体に対して一軸磁気異方性として作用することを理論的に解明した。(3) 人工反強磁性構造において、電流を印加することで光学マグノンと音響マグノンの強結合状態を制御できることを実験で示し、理論的にその機構を明らかにした。(4) ノンコリニア反強磁性 Mn3Sn ナノドットのカイラルスピン構造のサブナノ・ナノ秒電流パルスによる反転を測定し、スピントロニクス分野で従来用いられていた強磁性体に対する反強磁性体の工学的優位性を実証した。(5) 確率ビット向け人工反強磁性結合型超常磁性磁気トンネル接合の素子特性のサイズ依存性を実験的に明らかにした。(6) ノンコリニア反強磁性体のカイラルスピン構造の熱ゆらぎを理論的に調べ、従来用いられていた強磁性体と比べて高速の熱ゆらぎを実現できる可能性があることを明らかにした。(7) ノンコリニア反強磁性 Mn3Sn 薄膜の電流誘起カイラルスピン反転における支配的な因子を切り分け、ジュール熱と比べてスピン軌道トルクが支配的に作用する条件を明らかにした。(8) 2 次元物質中の点欠陥が持つ量子スピンの位相緩和時間のスケーリング則を明らかにし、3 次元物質との違いを考察した。(9) 従来の確率ビットで用いてられていたデジタル・アナログ変換器（DAC）を不要とする、大規模化に適した確率ビットの回路を提案・動作確認し、それを用いることで大規模な合せ最適化問題を効率的に処理できることを明らかにした。

● 超ブロードバンド信号処理（(廣岡俊彦)・佐藤昭・林宗澤）

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) テラヘルツ・プラズモニック検出デバイスの開発

金属回折格子構造を有する InGaAs チャネル高電子移動度トランジスタ内の二次元プラズモンにおける流体非線形性と、ゲート・チャネル間のダイオード電流非線形性との重畳によるプラズモニック三次元整流効果を活用したテラヘルツ検出デバイスの研究を進めた。直流電流によるチャネル内ポテンシャル上昇が三次元整流効果を弱めていることを明らかにし、チャネルの接地を強化した電極構造の導入によって、内部検出感度を 1.2 A/W まで向上させることに成功した。

(2) 光無線融合デバイスの開発

単一走行キャリア・フォトダイオードと回折格子構造高電子移動度トランジスタを融合させた光無線融合デバイスを用いた 300 GHz 帯におけるヘテロダイン検波動作の実証に成功した。

(3) 低次元材料ヘテロ構造テラヘルツ検出デバイスの開発

グラフェンをはじめとする低次元ディラック半金属と、黒燐をはじめとする層状半導体を組み合わせたヘテロ構造に基づくテラヘルツ検出理論の提案、および当該ヘテロ構造デバイスの試作･評価を行い、ゼロバイアス下において 200 ps 級の高速テラヘルツ検出を実証した。

● 量子デバイス（大塚朋廣）

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速測定、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。極低温高周波素子や高速測定回路の開発等による局所電子状態の測定・制御技術の高度化や、新材料における技術開発を行った。

(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新材料を用いた固体ナノ構造における電子状態および電子輸送現象について測定、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。半導体量子デバイスの状態測定・制御の研究とともに、新材料量子デバイスの開発や、量子デバイス集積化基盤技術の開発を行った。

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) 脂質二重層の新たな制御因子「膜水平電界」の作用機構の解明

細胞膜の構造基盤をなす脂質二重層は、細胞内外を隔てる単なるバリアではなく、多様な膜タンパク質の機能を支える能動的な場として機能する。その物理的性質は電界の影響を強く受けるが、従来の研究では主として膜厚方向の電界成分（膜垂直電界）のみが注目されてきた。一方、実際の生体内では、上皮細胞の密着結合部位やナノポア内のイオン流束に伴い、膜面に水平な方向にも電界が発生すると考えられる。しかし、このような膜水平電界の作用機構は十分に解明されていなかった。今年度は、分子動力学シミュレーションと明視野観察実験を組み合わせ、膜水平電界が脂質二重層に及ぼす影響を評価した。その結果、膜水平電界は膜面積の減少と脂質鎖の秩序化を引き起こす一方で、同じ強度の膜垂直電界では膜構造にほとんど影響を及ぼさないことが示された。以上の成果により、脂質二重層が印加電界の方向に依存した構造応答を示すことを初めて明らかにした。さらに、膜水平電界印加デバイスの作製プロセスの改良にも取り組み、従来課題であった電極劣化を抑制する長寿命化プロセスを確立した。

(2) モジュラー神経回路の損傷耐性と機能回復メカニズムに関する研究

脳が損傷から機能を回復する過程ではシナプス可塑性が重要な役割を果たすが、神経回路のモジュラー構造との相互作用については十分に解明されていない。本研究では、モジュラー構造を持つ培養神経回路の局所損傷と回復過程を、数値シミュレーションにより再現した。スパイクタイミング依存可塑性（STDP）に基づくモデルにより、損傷直後に減少した自発的な集団活動が 24 時間以内に元の水準まで回復するという実験結果を捉えるとともに、モジュラー構造と可塑性の組合せが神経回路の損傷耐性に寄与することを示した。さらに本モデルをリザバー計算の枠組みに適用し、活動の回復に伴って情報表現能力も改善することを明らかにした。

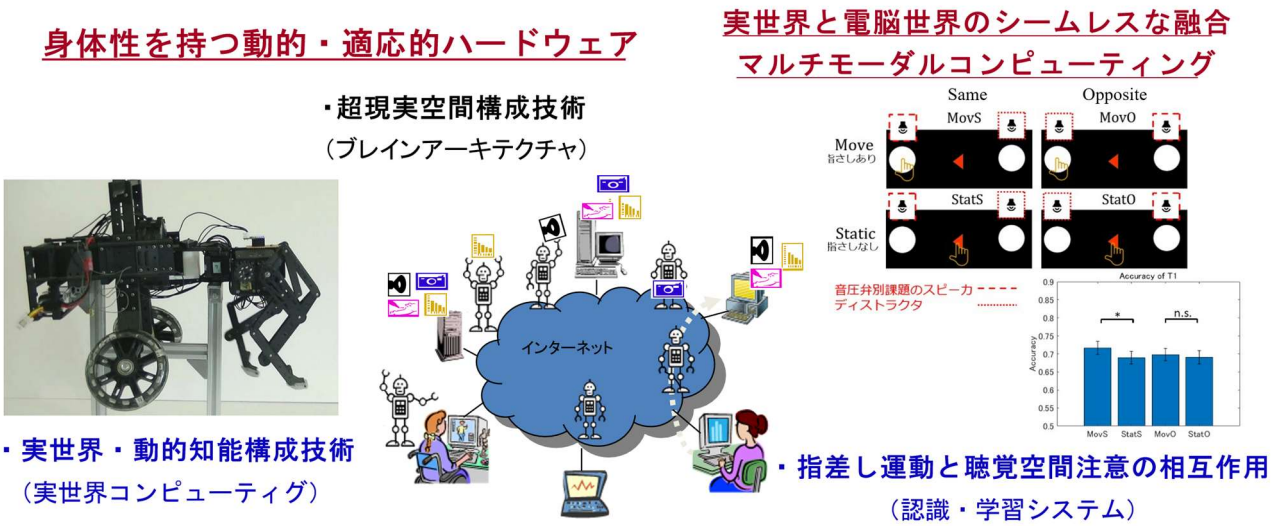
(3) 脂質膜界面を利用する膜小胞検出ナノポアセンサの開発に関する研究

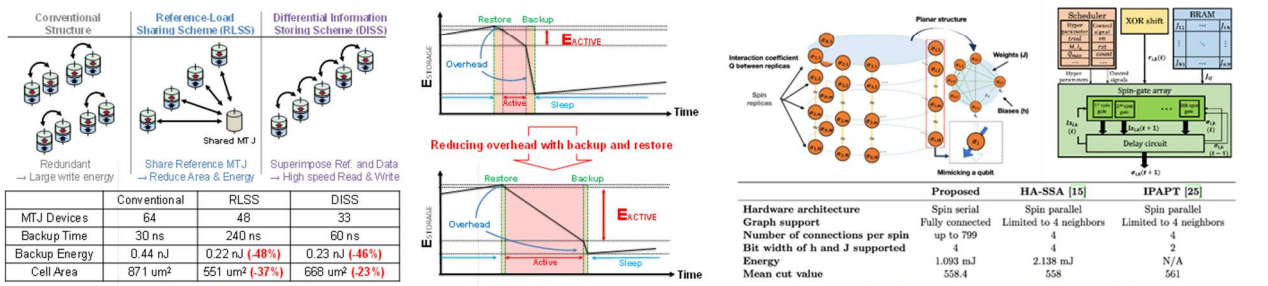
エクソソームなどの細胞外小胞は細胞間の情報伝達を担うことが明らかになっており、新規バイオマーカーとしても注目される。ナノピペットを用いた抵抗パルスセンシングは、単一エクソソームを検出可能な有望な技術であるが、ピペット内流体の制御が難しく、負に帯電したエクソソームの検出効率が極めて低いという課題があった。本研究では，脂質分子の自己組織化を利用してナノピペット内壁を脂質膜でコーティングし、界面状態を制御することでエクソソームの輸送（検出）効率を大幅に向上させた。さらに、脂質組成を調整することでエクソソームの非特異的吸着を抑制できることを示し、単一エクソソーム検出の新規手法を提案した。

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）、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。

＜2025 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、2025 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：

・自律分散制御により水陸両用ロコモーションが可能なウナギ型ロボット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://doi.org/10.1073/pnas.2422248122

・BRAM を活用した p ビットベース完全結合型シミュレーテッドアニーラの省電力化に成功。完全結合型の配線問題を解決する道を拓く。（新概念 VLSI システム研究室）
https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3651741

・聞き取り困難症患者は一方の耳に入力された音情報の聴取が対側耳への妨害音により著しく阻害されることを報告。（認識・学習システム研究室）
https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001591

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）

認識・学習システム研究室

人間の認識・学習機構の理解

（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。

＜2025 年度の主な成果＞

1.　指差し動作が視聴覚空間注意に与える影響

注意は脳の情報選択機能であり，そのメカニズムの解明は人間の主体的な認知活動を理解するために重要である。またその成果は人間中心の情報処理，情報提示システムへの貢献も期待できる分野である。情報選択機能としての視覚的注意の研究は，空間位置への注意，色やテクスチャーなど特徴への注意，物体への注意など視覚情報処理過程に対応する複数の対象に対して研究されてきた。また，聴覚的注意に関しても，音圧，周波数などの特徴への注意や，空間位置への注意などに対して精力的に研究がなされている。

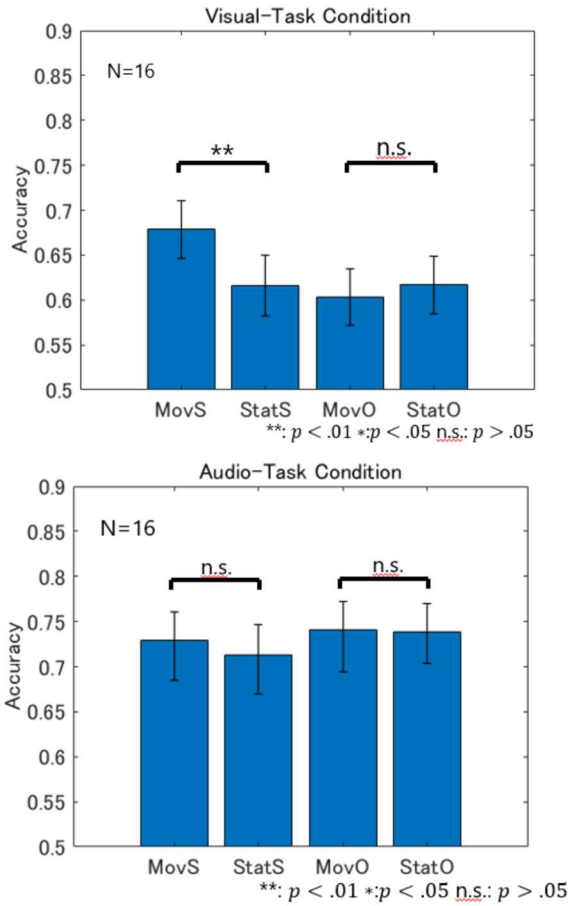


図 1：指差動作が視覚課題（上），聴覚課題（下）の成績に及ぼす影響

本研究では，指差し運動に着目し，指さし運動の有無と指さし方向が判断対象位置と一致するか否かを操作し，指差し運動が視聴覚課題の成績に及ぼす影響を心理学，および脳科学的方法を駆使して行った。実験の結果，指差し運動により指差しの方向に対する視覚課題の成績が向上し，定常状態視覚誘発電位（steady-state visual evoked potential：SSVEP）の振幅も増加した。一方聴覚に関しては，指差し運動が聴覚課題の成績には有意な影響を及ぼさなかったものの，聴性定常反応

（auditory steady-state response：ASSR）に関しては指差しの方向に対する反応が増加する結果が得られた。これらの結果は，影響の大きさには違いがあるものの，指差し動作が視聴覚空間注意を促進するという興味深いものである。

2. 距離に対する聴覚的注意が距離方向の音空間知覚解像度に与える影響

聴覚選択的注意は，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り，多くの研究者がそのメカニズムの解明に取り組んできた。その結果，聴覚選択的注意は，周波数や音の大きさなどの音の様々な属性に対して向けることができることが報告されている。

本研究では，音像距離弁別課題を行い，距離に対する聴覚的注意が聴覚の空間分解能に与える影響を検討した。人間は音の方向や距離といった空間的情報に注意を向けることができるものの，空間的注意を特定の距離に向けることで，聴覚の空間分解能が向上するかどうかは明らかではなかった。実験では，音源を聴取者から 25 cm から 200 cm までの範囲で直線上に配置し，聴取者には特定の距離に注意を向けるよう指示した。実験の結果，聴覚的空間注意は 2 つの音刺激の距離弁別における丁度可知差異（just noticeable difference; JND）に影響を与え，注意を向けることによってその位置における距離判断の精度が向上することが示された。これらの結果は，距離に対する聴覚的注意が空間分解能の向上に影響を及ぼすことを示唆するものである。

そのほかにも，聴覚情報処理障害（listening difficulties）を有する聴取者に対して両耳のいずれかにターゲット音，もう一方に妨害音を提示して，ターゲット音の検出に妨害音の種類がどのように影響するかを定量的に明らかにした。

＜職員名＞

教　授（兼）　坂本 修一（2019 年より）

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Z. Li, S. Sakamoto, S. Shioiri, “Effects of hand pointing movements on visual and auditory spatial attention,” Proc. 23rd International Multisensory Research Forum (IMRF), 33, pp. 105-105 (2025).

[2] 加藤智世，坂本修一，“距離に対する聴覚的注意が音像距離弁別精度に及ぼす影響”，電子情報通信学会技術研究報告，EA2025-22，55-59 （2025）.

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。

＜2025 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、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、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。萌芽研究部では、現在、以下の 3 つのプロジェクトを推進している。

・注意推定による教育支援システムの実現（代表者：坂本　修一 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、2022 年度 2024 年度に、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」をそれぞれ受託し、実施した。2022 年度からは、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」と、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 2 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	前畠　貴
研究員	西野　有

AI ハードウェアセキュリティプロジェクト

代表・教授（兼）	本間　尚文

学際連携研究部

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

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
助教（兼）	古市　朋之

耐量子計算機暗号の高効率高安全実装技術の研究

代表・教授（兼）	本間　尚文

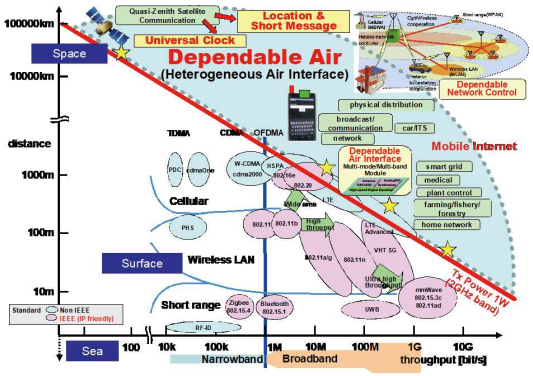
運営委員

本研究所教授	末松　憲治	工学研究科教授	齊藤　伸
	北村　喜文		西山　大樹
	本間　尚文	情報科学研究科教授	田中　和之
	佐藤　茂雄	本研究所事務長	佐藤　政行
	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。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、B5G 向け Si RFIC の開発を行った。さらに 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」のプロジェクトを実施し、スマート工場などにおける無線 IoT の無線環境を明らかにするためのチャネルモデル測定系の開発を行った。現在は、次の 2 件のプロジェクトを実施している。1 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、リアルタイム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。2 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。

＜2025 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し、国内外にて Type1,2 のチャネルモデル測定を行い、良好な結果を得た。特にドイツでの結果をもとに、協力研究者の Tu-Dresden, IFAK, DEMAG 殿にて国際学会で研究発表を行なって頂き、その協力研究の関連研究として、当通信研究所の共同プロジェクトに参加頂いている。また、空間伝送型ワイヤレス電力伝送系への応用展開として、上記スペクトラムモニタを用いて、ワイヤレス電力伝送（Wireless Power Transfer, WPT）プロジェクトの実証実験会場にて、無線通信系と電力伝送系が混在する環境で、実験帯域すべて（2.4GHz, 5GHz, 6GHz, 24GHz）の瞬時時間変化を含むスペクトラムのモニタリングに成功した。

２．LEO コンステレーション衛星搭載用 DBF アンテナ送受信機の開発

我が国独自の 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。そこで、想定される LEO コンステレーション衛星通信でのフルディジタル DBF 送受信機を実現するための鍵となる技術である、ダイレクトディジタル RF 技術を用いた衛星搭載用 Q/V 帯 DBF アンテナ送受信機の開発を行ってい

る。本年度は、ダイレクトディジタル RF 送信機の小型化、高 SNR 化を目指した新構成について検討を行い、1-bit ΔΣ変調信号の NRZ 信号を Manchester 符号化して得られたディジタルの 1-bit 信号を 3 逓倍器に入れることで、高次イメージ信号であるミリ波帯の送信信号を効率よく生成できることを実証した。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、DBF/phased array antenna (PAA)混載アンテナを提案し、これによるディジタル信号処理演算量の削減効果を明らかにした。

＜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
客員教授	板谷 聡子
客員准教授	前畠 貴
研究員	西野 有

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Yuki Fujiya, Tomyuki Furichi, Donald Y. C. Lie, Noriharu Suematsu, “Effect of Input LSB/USB Signal Imbalance on a 1-bit BPDSM Using Manchester Encoding and Tripler,” IEEE Access, vol.13, pp.212794 – 212805, Dec 2025.

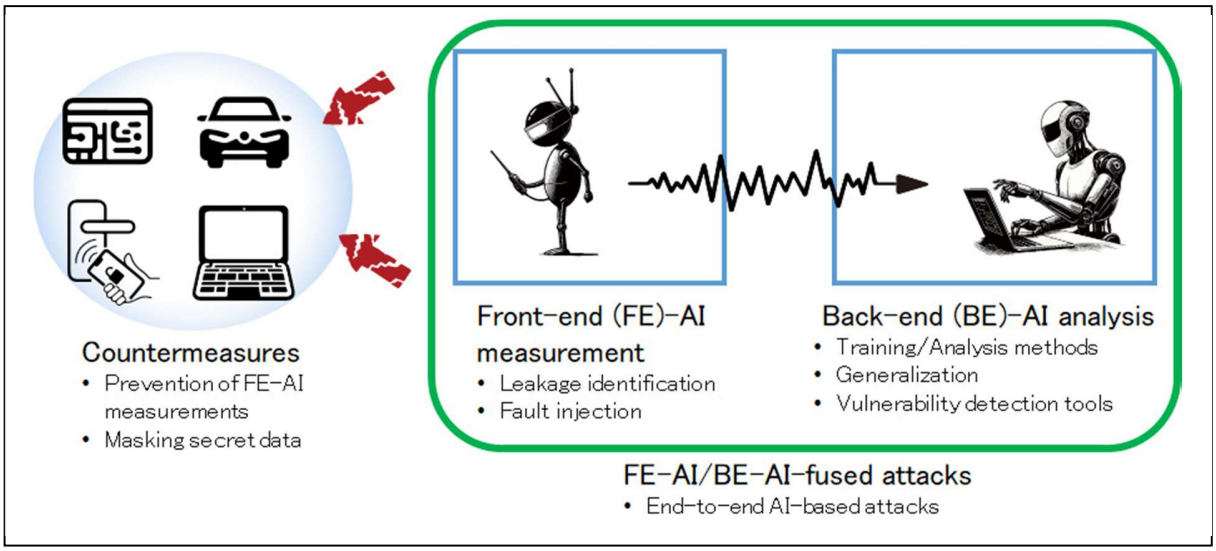
[2] Yuki Fujiya, Koki Edamatsu, Tomoyuki Furuichi, Takashi Shiba, Noriharu Suematsu, "Simplified Model and Its Evaluation of Wi-Fi Sensor Node Identification Method Using Wi-Fi Backscatter and Self-Mixing Receiver," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (MTT), Vol.74, no.1, pp.1110-1120, Jan. 2026

[3] Noriharu Suematsu, Tomoyuki Furuichi, Satoshi Tsukamoto, Yoshiaki Morino, Akihito Hirai, “Q/V-Band DBF Array Antenna and Direct Digital RF Transceivers for Future LEO Constellation Satellites (Invited),” 2025 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Dec 2025. DOI: 10.1109/APMC65046.2025.11379249

[4] Takashi Shiba, Tomoyuki Furuichi, Noriharu Suematsu, “Multipath Signal Determination Using Stochastic Approach for Power Delay Profile of Local 5G System,” 2026 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), pp.100-103, Jan 2026. DOI: 10.1109/RWS64705.2026.11408639

産学官研究開発部
AI ハードウェアセキュリティプロジェクト

機械学習を用いた攻撃からセキュリティハードウェアを守る



図：研究対象の概要

代表・教授（兼）　本間 尚文

＜研究室の目標＞

来るべき超スマート社会においては、自動車や産業用・家庭用ロボット、オーダーメイド医療などの応用において多種多様な物理・生体データを収集・統合し、そこから獲得された知識を活用する個別的・総合的なサービスが期待されている。一方で、将来こうしたサービスを利活用・拡大する上でセキュリティは不可分な課題とされている。特に、暗号技術は現代セキュリティの基盤技術であり、人工知能（AI）が浸透する今後の社会においても暗号技術をコアとした強固なセキュリティ技術が求められている。

IT-21 センターでは、これまで次世代の情報通信技術の研究開発を産学連携プロジェクトにより推進してきた。2025 年度より、AI が浸透する社会における高安全な情報通信技術の確立を目指して、AI に係るセキュリティ（AI セキュリティ）の研究開発を推進する新たなプロジェクトを発足させた。

本プロジェクトでは、各種攻撃に対して高い耐性・頑健性を有する暗号ハードウェアの研究開発を主な目的とする。身近な端末やエッジでの実装を想定した場合、サイバー攻撃に加えて物理攻撃（システムに物理的にアクセスして情報の収奪や改ざん等を行う攻撃）が重大なリスクとなる。その中でも現実的な脅威とされるのが、システム動作中の副次的な物理量（消費電力・放射電磁波・演算時間など）を利用して秘密情報や制御を非破壊・非侵襲に収奪するサイドチャネル攻撃である。たとえ量子計算機にも頑健な次世代暗号であっても、こうしたサイドチャネル攻撃を含む物理攻撃への耐性を考慮した実装が必須となる。以上の背景から、本プロジェクトでは、AI を利用する高度な物理攻撃とその対策技術の研究開発を推進する。

具体的には、令和 6 年度から受託した JST K Program「人工知能（AI）が浸透するデータ駆動型の経済社会に必要な AI セキュリティ技術の確立」の研究構想における「AI ハードウェアセキュリティ技術の開発」という産学連携プロジェクトを中心に研究開発を行っている。本プロジェクトを通して、AI セキュリティ技術の社会実装・産学連携の振興にも貢献することを目標にしている。

＜2025 年度の主な成果＞

1. 機械学習に基づくサイドチャネル攻撃と対策

現代暗号技術に対して、コンピュータが計算する際の消費電力や漏えい電磁波等を外から観察し、秘密情報を盗み出すサイドチャネル攻撃という脅威が存在する。本研究では、USB メモリやハードディスクなどの保護に広く使われる暗号方式（XEX/XE 方式）を対象とした。同方式では、暗号化のたびにランダムな「煙幕（オフセット）」を用いて本来のデータを隠しており、従来サイドチャネル攻撃の適用は難しいと考えられていた。しかし、本研究において同方式を詳しく分析し、特定のタイミングで「完全に同じオフセット」が張られる隙（衝突）があることを発見した。そして、この衝突を突く「XCCA」という新しい解読手法の存在を示した。これは、同じオフセットが張られた 2 つのデータを XOR 畳み込みにより組み合わせることで、秘密情報のみを直接浮かび上がらせる。実験の結果、従来の方法と比べて最大で 10 分の 1（90%削減）のデータ量（波形数）で、効率的に秘密情報を推定できることを確認した。さらに、この「オフセットを相殺する攻撃理論」は他の高度な対策手法（マスキング）を解読する仕組みと根本的に同じであることを数学的に証明した。これにより、「暗号システムを安全にするためのオフセットが、具体的にどう機能しているのか」という根本的なメカニズムが明らかにした。

＜職員名＞

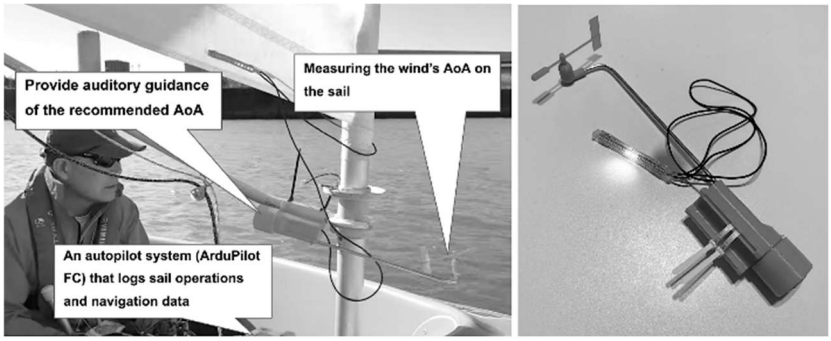
教授（兼）　本間 尚文

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Akiko Inoue, Kazuhiko Minematsu, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “How to Implement Authenticated Encryption on XTS-enabled Devices,” IACR Transactions on Symmetric Cryptology, Vol. 2025, No. 4, pp. 167-198, December 17, 2025.

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



感覚代行デバイス SoundTelltales

代表・教授（兼）北村　喜文

＜研究の目標＞

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．また無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）だけでなく，無人水上艇（Unmanned Surface Vehicle, USV）も視野に入れて，幅広くドローンの検討を進める．

＜2025 年度の主な成果＞

視覚障害者を含む多様な利用者が安全かつ主体的にセーリングへ参加できる環境を実現するため，帆走技術と支援インタラクションをユニバーサルデザインの観点から再構成するための検討を，SENSEFOIL PTE. LTD. の末田 航 氏や，産業技術総合研究所の三浦 貴大 氏らと進めた．特に，艇・セイラー・支援者・環境情報が相互に補完し合う「人船一体」の状態を，海洋スポーツにおけるインクルーシブな水上モビリティとして位置付け，視覚情報に依存しがちな帆走判断を聴覚・触覚等の代替的なフィードバックへ変換する方法を検討した．

今年度は，視覚障害者向け帆走支援デバイス SoundTelltales を中心に，支援インタラクションの設計思想，実装条件，実証方法の整理を進めた．セール上のテルテールが示す風の流れを，単なる視覚情報の置換ではなく，操船者が次に取るべき帆走操作へ結び付くタスク指向の音響フィードバックとして再設計した．風向・風速，セールの迎角，艇の姿勢などの情報をどの粒度で提示すべきか，また，競技性・楽しさ・主体性を損なわない支援のあり方について，セイラビリティ関係者との意見交換を行った．

実装面では，センサーから得られる帆走状態の情報をリアルタイムに処理し，適正トリムへの近さや修正方向を音で提示するプロトタイプを改良した．特に，視覚障害セイラーが自らセールトリムの良否を把握しやすくなるよう，過剰な言語指示に依存しない非音声フィードバックと，必要に応じた最小限の言語支援を組み合わせるハイブリッドな支援方式を検討した．併せて，通信断やセンサーデータ欠落時には明確な警告音を出し，人的支援へ切り替える運用上の安全方針を整理した．

社会実装面では，2025 年 11 月に開催された全国ハンザクラスブラインドセーリング大会 2025 において SoundTelltales を大会艇に装着し，実競技に近い環境での利用可能性を確認した．これにより，実験室内の評価だけでなく，ブラインドセーリングの現場で実際に運用可能な支援技術として，装着方法，音の聞き取りやすさ，支援者との役割分担，競技運営上の課題を具体的に把握することができた．

これらの研究成果を，視覚的テルテール情報を迎角ベースの聴覚フィードバックへ変換する方法としてまとめた論文 “Auditory Sensory Substitution for Inclusive Sailing: Real-time Sail Trim Feedback based on Angle of Attack” が ICCHP 2026 に採択され，2026 年 7 月に発表予定である．本成果は，セーリングにおける暗黙的・身体的な「風との対話」を，視覚障害の有無を問わず共有可能な感覚モダリティへ再符号化する試みとして位置付けられる．

＜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, 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，ACM SIGCHI Lifetime Service Award (2025)，令和 8 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）受賞．日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている．

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Sueda, K., Miura, T., et al.: Auditory Sensory Substitution for Inclusive Sailing: Real-time Sail Trim Feedback based on Angle of Attack, Proceedings of the International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP) 2026, (accepted, to appear), July 2026.

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

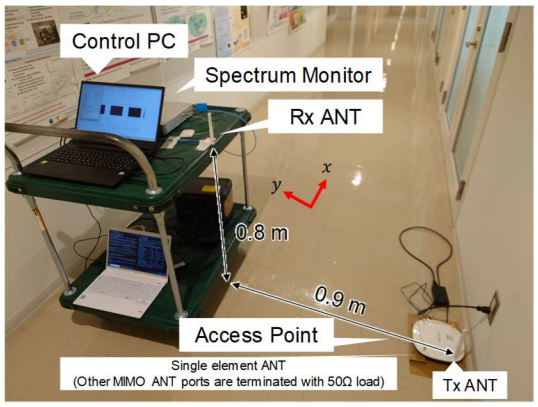


図 1: 広帯域リアルタイムスペクトラムモニタ装置を用いたマルチパスフェージング測定

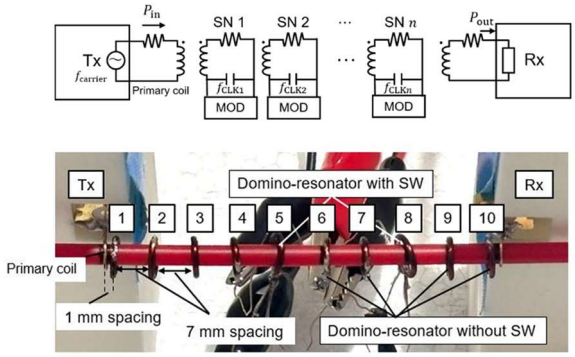


図 2: サブ cm ドミノ共振器を用いた無線センサネットワークの変調基礎実験

代表・教授（兼）　末松 憲治

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。

＜2025 年度の主な成果＞

- **広帯域リアルタイムスペクトラムモニタ装置を用いたマルチパスフェージング測定**

屋内のマルチパス環境においては天井や壁などでの反射波の影響によってチャネルの受信電力が変動するマルチパスフェージングが生じ、その特性は周波数選択性を有する。特に工場では大型の金属製の設備や鉄骨、金属の製造物など多数の反射体が存在する複雑な環境であり、そのような実環境ではレイリーフェージングモデルなどの統計的モデルで正確に伝搬特性を予測することは

困難であることから、実環境でのマルチパス測定が求められる。マルチパスフェージングの測定では、単一周波数の信号を用いた定常状態での測定などがこれまで報告されているものの、時間変動を伴うマルチパスフェージングや周波数選択性を含む実際の屋内環境での測定は多く行われていない。そこで我々は、開発した広帯域リアルタイムスペクトラムモニタ装置を用いることで、2.4 GHz 帯/ 5GHz 帯の実際の屋内環境でのマルチパスフェージング測定を行った。測定ではカートに載せた装置と受信アンテナを移動させ、距離の変化による周波数選択性フェージングの変動を観測した。送信アンテナから距離が近い見通しがとれる環境では LOS パスが支配的となるのに対し、距離が離れ見通しのとれない環境ではマルチパスフェージングが顕著となり、距離や信号の周波数により形成するヌル点の周波数が変化しており、周波数選択性フェージングの変動を屋内の実環境で観測することに成功した。

- **サブ cm サイズのドミノ共振器を用いたワイヤレスセンサネットワークの提案**

将来のスマート工場をはじめとする Society 5.0 においては、人間とマシンをつなぐ human machine interface (HMI) さらには brain machine interface (BMI) の実現が求まられている。high dense electroencephalography (EEG) は、これまでの EEG と異なり数百の電極を頭部につけて脳波を観測することができるので、BMI としての期待が高まっている。ただし、1cm 程度の間隔で配置された数百もの電極がケーブルで接続された状態のセンサネットを頭部にかぶる必要があり、長時間の装着が困難であった。そこで我々は、各電極間をドミノ共振器と呼ばれる共振コイルを使ってワイヤレスで接続する無線通信方法を提案した。今年度は、無線センサノード用に ASK 変調器を備えたドミノ共振器を試作し、複数のセンサノードを配置して変調基礎実験を行った。センサノード毎に異なるクロック周波数を割り当てることで、同時に複数センサノードとの通信が可能であることを実験により示した。

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Fumiaki Wakiya, Tomoyuki Furuichi, Noriharu Suematsu, "Feasibility Study of WSN System for Wireless EEG Using Sub-cm Sized 2-GHz Domino-Resonator," IEEE IMBIOC, May 2025.

[2] Tomoyuki Furuichi, Eisai Nagahari, Takashi Shiba and Noriharu Suematsu, "Multi-path Fading Measurement of 2.4 GHz/5 GHz band with Real-time Wideband Spectrum Monitor," IEEE RFIT2025, Aug. 2025.

[3] Kota Nishi, Tomoyuki Furuichi, Noriharu Suematsu, "Basic Experiment of Sub-cm Sized 2-GHz Domino-Resonator Wireless Sensor Network for High-Density EEG," APMC2025, Dec. 2025.

萌芽研究部
耐量子計算機の高効率高安全実装技術の研究

耐量子計算機暗号の高効率高安全実装技術の研究

代表・教授（兼）　本間 尚文

＜研究室の目標＞

近年、大規模な量子計算機の研究開発が活発化することに伴い、多くの現代暗号（特に公開鍵暗号技術）が解読される脅威が懸念されている。暗号は一度使用されると長期間に渡って運用されるため、量子計算機に対する安全性は今後の暗号システムに不可欠になると予想される。特に、耐量子計算機暗号（Post Quantum Cryptography: PQC）は、そうした安全性を担保する暗号技術として近年急速に注目が高まっている。実際、米国標準技術研究所（NIST）は 2035 年までに PQC への完全移行を目指しており、2024 年に米国標準方式第一弾の策定を行っている。我が国においても政府による暗号技術検討会により PQC の研究開発動向が注視されており、今後社会的な実装も徐々に広がると予想される。

本研究では、以上の背景から、PQC を対象とし、その高効率・高安全な実装技術を開発することを目的とする。特に、PQC の身近な端末やエッジでの実装を想定した場合、サイバー攻撃に加えて物理攻撃（システムに物理的にアクセスして情報の収奪や改ざん等を行う攻撃）が重大なリスクとなる。その中でも現実的な脅威とされるのが、システム動作中の副次的な物理量（消費電力・放射電磁波・演算時間等）を利用して秘密情報や制御を非破壊・非侵襲に収奪するサイドチャネル攻撃である。PQC であっても、こうしたサイドチャネル攻撃への耐性を考慮した実装が重要となる。そこで、本研究では、上記の課題を解決する高い物理安全性（耐タンパー性）と効率性を両立する実装技術を開発することを目指す。具体的には、アルゴリズムからハードウェア、システム実装までを縦断したアプローチにより、格子暗号方式、符号暗号方式、多変数多項式暗号方式といった主要な PQC 方式を対象とする耐タンパー性・高効率性ソフトウェア・ハードウェアの実装技術を開発する。

＜2025 年度の主な成果＞

本研究では、次世代の耐量子計算機暗号候補である QR-UOV 署名方式を、現代の x86 プロセッサ向けに高速化する手法を開発した。まず、アルゴリズム段階の最適化として EMI 法や行列チェーン乗算を導入し、演算の複雑さを大幅に軽減した。その上で、アーキテクチャ段階において、AVX2 や AVX-512 などの SIMD 命令セットを最大限に活用し、奇標数の有限体における行列演算や棄却サンプリングを効率化した。これらの手法を実装した結果、従来の参照実装と比較して 5 倍以上の高速化を達成した。本研究は、QR-UOV が既存の UOV 方式と同等以上の性能を持ち、実用的なデジタル署名として極めて有望であることを示している。

＜職員名＞

教授（兼）本間 尚文

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Hiroshi Amagasa, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “AVX2 Implementation of QR-UOV for Modern x86 Processors,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2025 (Accepted)

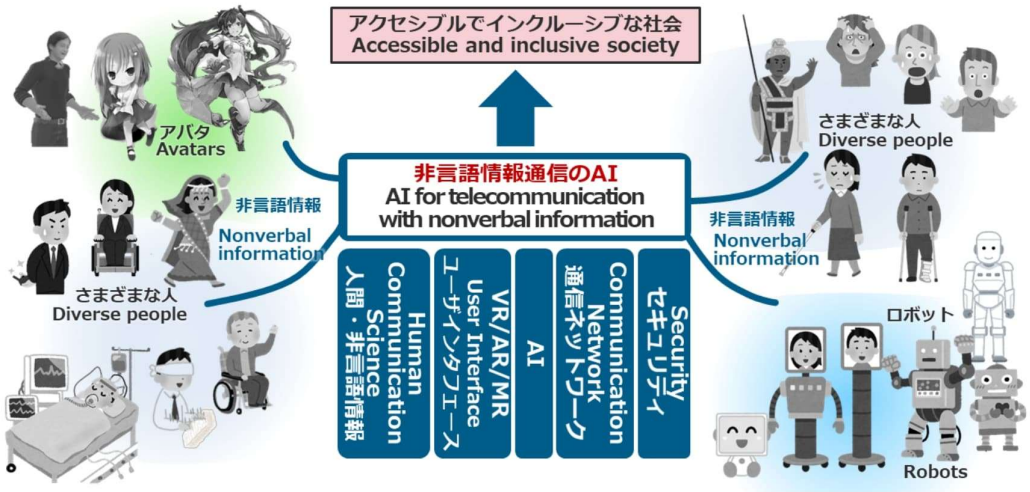
3.7 サイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター



＜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

＜2025 年度の主な成果＞

1. **日本人と台湾人によるボディーランゲージのデータベースを構築・公開**
   アジア人による多様な文化と感情を対象とした身体動作データベース DIEM-A (Diverse Intercultural E-Motion Database of Asian Performers)を構築した．12 種の感情表現が収録されており，97 人のプロの役者（日本 54 人，台湾 43 人）による 10,000 を超えるモーションキャプチャデータ，役者によるシナリオが含まれている（図 1）[1]．世界初となるアジア人による感情を表すこのデータベースは，動作に基づく感情理解を目指す研究や，感情豊かなアバタの動き生成の研究などに活用してもらうために，研究者には無償で配布を開始した．



図 1


図 2

2. **カメラのレンズによる円形ボケや被写界深度の効果を効率的にレンダリングするための手法**
   カメラのレンズの特性を考慮した円形ボケや被写界深度の効果を効率的にレンダリングするための重点サンプリングの手法を開発した．提案手法は，従来の均一サンプリングや再サンプリング手法と比較して，円形ボケや被写界深度の効果のレンダリング効率を大幅に向上させることを示した（図 2）[2].

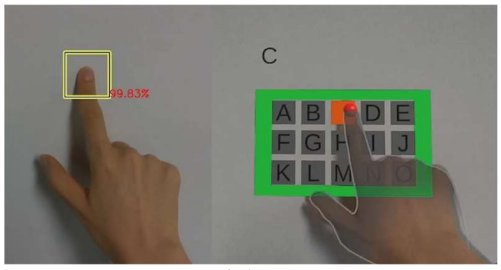


図 3

3. **指先の色の変化で AR/MR 操作を実現する新入力技術 ― 特別な装置なしで壁や机をタッチパネルとして利用可能に**
   指先を硬い面に押し付けた際に血液が一時的に移動し，皮膚が白く見える 「ブランチング現象」 に着目し，この現象をカメラ画像から認識するための AI モデルを開発した．AR/MR 機器に標準装備されているカメラで取得した手の位置情報と組み合わせることで，指先が触れたタイミングを検出し，仮想ユーザインタフェースのボタン操作を行えるようにした（図 3）[3].

＜2025 年度の主な発表論文等＞

[1] Miao Cheng, Chia-huei Tseng, Ken Fujiwara, Victor Schneider, Yoshifumi Kitamura: Asian Emotional Body Movement Database: Diverse Intercultural E-Motion Database of Asian Performers (DIEM-A), Conference Proceedings of 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 2025. （IEEE Xplore で公開予定）

[2] Jiawei Huang, Shaokun Zheng, Kun Xu, Yoshifumi Kitamura, Jiaping Wang Guided Lens Sampling for Efficient Monte Carlo Circle-of-Confusion Rendering, SIGGRAPH Conference Papers, Proceedings of the SIGGRAPH Conference Papers, 2025. https://doi.org/10.1145/3721238.3730608

[3] Guanghan Zhao, Yangyang Cai, Kazuyuki Fujita, Robert W. Lindeman, Yoshifumi Kitamura: BlanchTouch: Bringing Fingertip Blanch Detection into Mixed Reality for Touch Input on Flat Surfaces, Proceeding of IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR & 3DUI) , pp.294-304, March 2026. https://doi.org/10.1109/VR67842.2026.00051

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



共創研究拠点の概要と目標

＜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。

＜2025 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、共同研究 1 件、学術指導 1 件、その他共創 1 件を実施している。

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。2025 年度は、7 件の共同研究を実施しており、また次世代放射光施設であるナノテラス活用のコアリション制度に加入した。さらに、新たな共同研究の開始にむけた対話を進めている。

これらの共同研究などの共創では、東北大学と古河電気工業で目標を共有し、それぞれの技術課題、社会課題の解決に向けた取り組みを進めている。その中のいくつかの共創においては、4 件の外部発表を実施し、古河電工から 3 件のニュースリリースが発表されている。

＜職員名＞

特任教授　島田 道宏

3.9 安全衛生管理室

安全で衛生的な研究環境の実現支援



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、電気通信研究所で研究に従事する教員や学生、研究推進に協力する職員の安全および衛生環境を確保し、円滑に活動が遂行できるよう安全面での助言や協力を行うことを目的とした組織である。具体的な活動としては主に、実験関係の安全管理指導、構内や建物内の衛生状況の確認、安全に関する各種委員会や講習会の開催がある。

＜安全衛生管理室の役割＞

実験関係の安全管理指導では、薬品・高圧ガスといった有害性のある化学物質類やエックス線装置といった危険性を有する装置を取り扱う研究活動のため、大学規程や研究所内規に沿うように化学物質類の管理指導や装置類の適切な運用指導を行っている。

構内や建物内の衛生状況の確認では、事故や事件につながる危険性のある状況が発生しないよう定期的な見回りを行っている。また消毒液の配布と補充により衛生的な環境の維持活動を行っている。

安全に関する各種委員会や講習会の開催では、安全衛生委員会・安全衛生講習会・高圧ガス保安講習会等の準備を中心的に行っている。

＜安全衛生管理室の活動＞

本年度の主な活動内容を以下にまとめる。

○ 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 442 名）
○ 高圧ガス保安講習会の Web 開催（参加者 145 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
○ 流行性感染症対策の実施（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）	本間　尚文
副室長（教授）	佐藤　茂雄
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

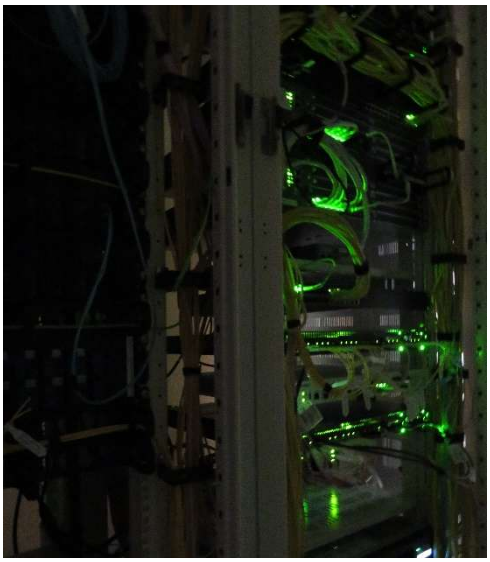


図２　電気通信研究所ＥＰＳ

＜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　石黒　章夫
教授　廣岡　俊彦

（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　庄子　仁

3.11 研究基盤技術センター

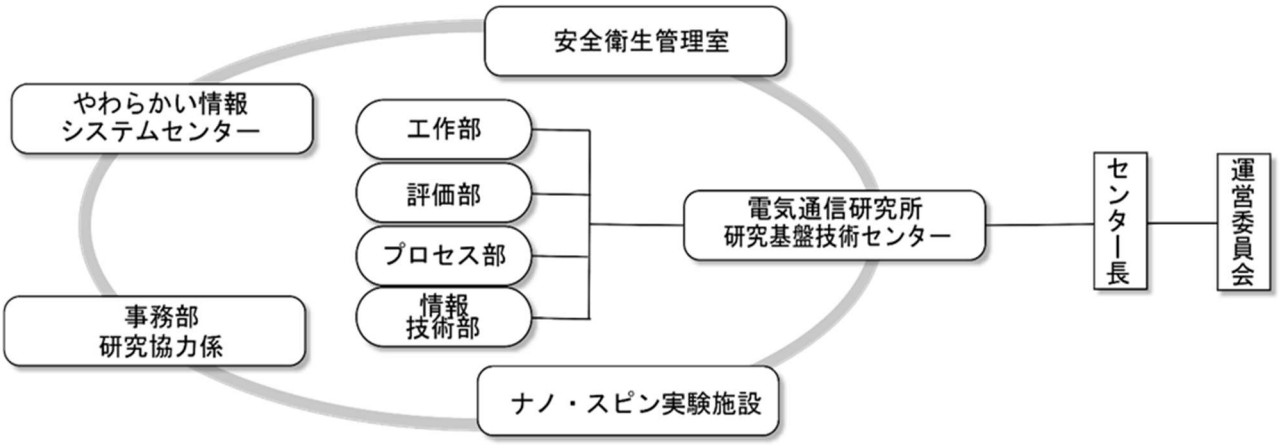


図 1　研究基盤技術センター　組織図

＜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。

＜2025 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、92 件の依頼工作を提供した。この中で約 16％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。24 の研究室と 4 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 2,293 時間）。3 研究室での液体ヘリウム利用において技術的支援を行った。また、事務部並びに安全衛生管理室と連携して研究所の安全維持に携わった。

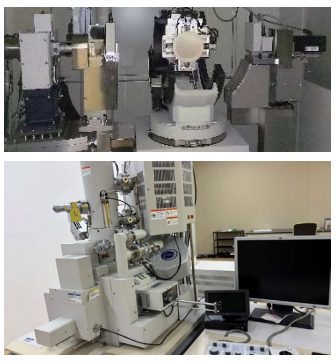


図 3　評価部保有の分析装置（上：X 線回折装置、下 : 電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置）

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 450 件の電子線描画依頼、32 件のフォトマスク受託加工、および 11 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

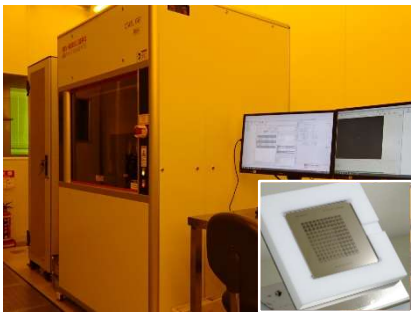


図 5　フォトマスク作製装置



図 6　集束イオンビーム加工装置

4. 情報技術部

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

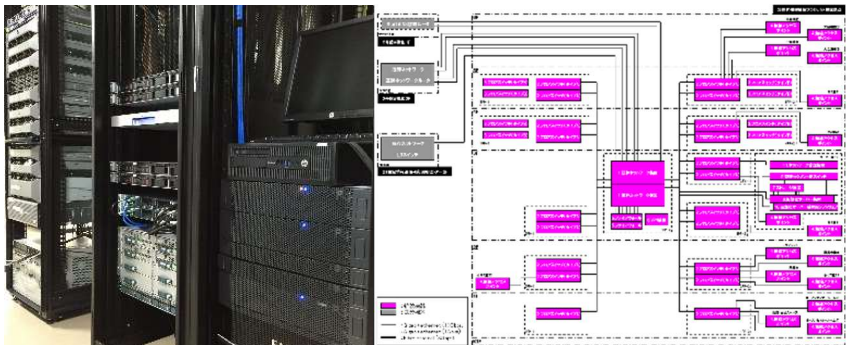


図 7　通研ネットワークシステム（左：システムの様子、右：構成図）

＜職員名＞

センター長（教授）　佐藤　茂雄

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。2025 年度は、セミナー・勉強会を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。本年度より、山本が堀尾から代表を引き継ぎ、脳科学、スピントロニクスデバイス、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研究を推進した。本年度の活動として、平野および山本が、国際会議 ICONIP2025 の併設ワークショップ “Frontiers and Hardware Applications of Neural Network Models” の企画に加わった。また、山本を領域代表とする学術変革領域研究(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」（2024～2028 年度）が始動しており、山本に加え、本研究グループの複数メンバーが計画班代表者・分担者として参画している。これはバイオ素子を基盤とする脳の情報処理を数理モデル化し、システム応用へと結びつけることを目指す領域である。本グループのテーマと深く関連しており、原理解明から集積回路への実装に至る一気通貫した研究展開が期待される。

＜Beyond 5G ネットワーク技術研究グループ＞

次世代無線通信システム Beyond 5G には、光ネットワークとテラヘルツ帯無線通信ネットワークをシームレスに接続した光無線融合フルコヒーレント伝送ネットワークの実現が必須となる。本研究グループでは、光ファイバ通信、テラヘルツ帯無線通信、光－無線信号相互変換デバイス・システム、量子コンピューティング、ネットワークシステムを専門とする研究者の密な連携によって、B5G フルコヒーレント伝送ネットワークの実現を目指す。本年度は、今後の共同研究の方向性について議論するとともに、大型予算獲得に向けた検討を行った。

＜エッジ AI 半導体グループ＞

AI や脳型コンピューティングの有用性とその応用展開が期待されている中、その社会実装へ向けた課題は山積みである。例えば、エッジ側で実行される AI 処理にはその高性能化・高度化への要求が高い反面、そのインフラコスト（電力供給や設置規模など）には大幅な制約がある。この問題を解決するためには、従来方式と異なる計算アルゴリズム、アーキテクチャ、回路方式、素子・材料などの新しい技術を総結集することが必要不可欠である。当該グループでは、上述した観点から、各専門分野の研究者が密接に意見交換できる場を設定し、課題解決へ向けた研究の方向性を機動的に推進することを行う。

本年度は、上記目的を達成すべく、本所に設計センターを設置する手配を行った（2026 年度に正式設置予定）。また、設計に必要な半導体製造ラインの確保へ向け、台湾・陽明交通大学との国際シンポジウムを実施した（2026 年 3 月）。

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。

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3テーマを取り上げることとした。

1） 超計算力の獲得に資する計算システムに関する研究
2） 空気のような情報インフラの構築に関する研究
3） 人間理解に基づく超知的システムの創出に関する研究

○2025 年度共同プロジェクト研究

2025 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、136 件（A：83 件、B：36 件、S：1 件、S 国際：3 件、T：13 件）が採択された。なお、区分 A は各々の研究課題について本研究所の施設・設備などを使用して行うプロジェクトであり、83 件のうち 79 件が外部よりの提案、区分 B は短期開催の研究会形式のプロジェクトで、36 件のうち 33 件が外部よりの提案のものである。また、民間の研究者が参加している研究は、区分 A が 10 件、区分 B が 15 件である。区分 A に対しては、国際共同研究推進型、若手研究者対象型、一般共同研究推進型の 3 つの研究タイプ、区分 B に対しては、これらに加え産学共同研究推進型を設けている。

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

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、2022 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。2020 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月末日を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月末日までであり、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/kyopro/

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 2025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		特別支援
					旅費	物件費	国際・若手
R05/A02	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	298,000	100,000	100,000
R05/A04	一般	高磁場MRI対応体腔内NMR受信コイルの開発	松永　忠雄	末松　憲治	103,000	100,000	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	100,000	50,000
R05/A07	国際	Japan-Russia International collaborative research of new designs of high-power large-area photoconductive antenna-emitters	DMITRY Ponomarev	佐藤　昭	224,000	100,000	100,000
R05/A08	一般	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	櫻庭　政夫	136,000	100,000	0
R05/A11	国際・一般	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	257,000	100,000	100,000
R05/A12	一般	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	100,000	0
R05/A13	国際	New generation of 2d material based devices for terahertz technology	MEZIANI Yahya Moubarak	佐藤　昭	155,000	100,000	100,000
R05/A16	若手・一般	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	112,000	100,000	50,000
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	293,000	100,000	100,000
R05/A19	一般	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	佐藤　茂雄	221,000	100,000	0
R05/A21	一般	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	227,000	100,000	0
R05/A24	一般	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	115,000	100,000	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	112,000	100,000	50,000
R05/A30	一般	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	100,000	0
R05/A31	国際	聴覚的注意と没入との関係研究	KIM Sungyoung	坂本　修一	155,000	50,000	100,000
R05/A33	若手	Emotion processing in real and cyber world	ペルスキアエルナンデス モニカ	チェン　ミャオ	94,000	100,000	50,000
R05/A35	一般	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	123,000	100,000	0
R06/A01	一般	新機能原子層半導体量子デバイスの開発	加藤　俊顕	大塚　朋廣	97,000	100,000	0
R06/A02	一般	量子デバイスの，放射線耐性についての研究	岸本　康宏	大塚　朋廣	115,000	100,000	0
R06/A03	一般	メモリスタ&キャパシタ集積デバイスと過渡型信号伝達スパイクニューロシステム	木村　睦	佐藤　茂雄	297,000	100,000	0
R06/A04	一般	単一ナノ粒子トランジスタ構造における電気伝導の評価と応用	柴田　憲治	大塚　朋廣	0	100,000	0
R06/A05	一般	二次元物質を用いた量子ナノデバイスにおける電気伝導特性	原　正大	大塚　朋廣	165,000	100,000	0
R06/A06	一般	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	山本 圭介	櫻庭　政夫	231,000	100,000	0
R06/A07	一般	単分子極限まで縮小化されたトランジスタの実現	吹留　博一	吹留　博一	101,000	100,000	0
R06/A08	国際	脳型エッジコンピューティングハードウェアのシステム応用	佐藤　茂雄	佐藤　茂雄	280,000	100,000	100,000
R06/A10	国際	Cross-Reality Collaboration with Digital Twins	Bernd Froehlich	北村　喜文	188,000	100,000	100,000
R06/A11	一般	異種素子数サブアレイの組み合わせによる端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの素子数削減に関する研究	吉田　賢史	末松　憲治	139,000	100,000	0
R06/A12	一般	インターネットトラヒックを想定した遅延を抑制する輻輳制御アルゴリズム	内海　哲史	長谷川　剛	97,000	100,000	0
R06/A13	一般	機械学習によるハードウェアセキュリティの研究	小熊　博	本間　尚文	112,000	60,000	0
R06/A14	一般	無線ネットワークにおけるAI技術に基づく輻輳制御に関する研究	小畑 博靖	長谷川　剛	123,000	100,000	0
R06/A15	若手	磁性ガーネット導波路を用いたスピン波変調測定システム開発	白木 英二	後藤　太一	97,000	100,000	50,000
R06/A16	国際	導波素子およびメタマテリアルによる複数IoT端末同時ワイヤレス給電およびその水中，海中ワイヤレス給電への応用	丸山　珠美	末松　憲治	160,000	100,000	100,000
R06/A17	国際	拡張現実を用いた新たなヒューマン・ロボット・インタラクション	鈴木 遼	北村　喜文	183,000	100,000	100,000
R06/A18	一般	光ファイバネットワークを用いた地殻変動の遠隔測技術に関する研究	葛西　恵介	葛西　恵介	112,000	100,000	0
R06/A19	国際	Cross-Cultural Dialogue on the Potential of the Sense of Smell	OBRIST Marianna	曽　加蕙	298,000	100,000	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		特別支援
					旅費	物件費	国際・若手
R06/A20	国際	Establishing Databases of Verbal and Nonverbal Features of Human Emotions	Yang Lee-Xieng	曽　加蕙	244,000	100,000	100,000
R06/A22	国際	遠隔コラボレーションを強化するための適応型アバターとスマートテレプレゼンスロボット	TEO Theophilus	チェン　ミャオ	134,000	100,000	100,000
R06/A23	一般	高齢者の自己運動時の身体近傍空間の解明	寺本　渉	坂本　修一	123,000	100,000	0
R06/A24	国際	Psychophysical properties of body expression perception: Signal efficiency and noise tolerance	CHEN Chien-Chung	曽　加蕙	165,000	100,000	100,000
R06/A25	若手	不思議の国のアリス症候群の包括的な理解に向けて	高木 源	齋藤　五大	50,000	100,000	50,000
R06/A26	国際	非平衡プラズマ短寿命活性種を活用したバイオデバイスの創成	金子　俊郎	平野　愛弓	120,000	100,000	100,000
R06/A27	国際・若手	導電素材印刷による高機能デバイスモジュールの開発とその応用	髙田 崚介	藤田　和之	126,000	100,000	150,000
R06/A28	国際・一般	VR技術と神経科学の融合による、自己身体認知メカニズムの包括的解明	濱本 裕美	北村　喜文	152,000	80,000	100,000
R06/A29	一般	災害時における「正常性バイアス」を打破する緊急避難アナウンスの開発	山高　正烈	坂本　修一	123,000	100,000	0
R06/A30	若手	感覚刺激引き込みを用いた視覚的意識に関する心理物理学的研究	竹島 康博	齋藤　五大	70,000	100,000	50,000
R06/A31	一般	超スマート社会の実現のためのネットワーク・エージェント基礎技術の開発	打矢　隆弘	坂本　修一	237,000	100,000	0
R06/A32	一般	頭部伝達関数の多点自動計測に関する研究	森川　大輔	坂本　修一	137,000	100,000	0
R06/A33	一般	距離に対する聴覚的注意の時空間特性の解明	寺岡　諒	坂本　修一	139,000	100,000	0
R06/A36	一般	6Gモバイルネットワークに関する次世代アーキテクチャの検討及び性能評価	阿部 修也	長谷川　剛	157,000	100,000	0
R06/A37	一般	高効率かつ低損失な海水中非接触電力伝送システムの検討	稲森　真美子	末松　憲治	155,000	100,000	0
R06/A38	若手	視聴覚における注意の特性の検討	山本　浩輔	齋藤　五大	147,000	20,000	50,000
2025A01	一般	直流スピン起動トルクによる局所領域磁化歳差運動制御の検討	神田　哲典	石山　和志	112,000	0	0
2025A02	国際	Emergent spin-orbit torques in 2D all van der Waals heterostructures for quantum spin-orbitronics	DUTTAGUPTA SAMIK	深見　俊輔	106,000	100,000	100,000
2025A03	若手	大規模量子技術の開発に向けた自動制御・自動最適化に関する研究	福原　武	大塚　朋廣	93,000	100,000	50,000
2025A04	一般	超高速光回折計算システム応用を目指した磁性ガーネットの探求	中村 雄一	後藤　太一	97,000	100,000	0
2025A05	一般	λ計算の代数と幾何	五十嵐　淳	中野　圭介	106,000	80,000	0
2025A06	一般	超伝導共振器におけるマイクロ波損失の実験的、理論的側面からの理解	成瀬 雅人	佐藤　茂雄	231,000	100,000	0
2025A07	国際	Exploring the spintronic potential of novel high-entropy alloys with excellent mechanical properties: a pathway merging engineering and physics	DUTTAGUPTA SAMIK	深見　俊輔	139,000	100,000	100,000
2025A08	国際	Construction and Optimization of Multi-modal XR Interaction Ecosystem: From Gaze-Pinch Enhancement to AI-driven Adaptive Interface	LIANG Hai-Ning	北村　喜文	244,000	0	100,000
2025A09	一般	機械学習の活用によるオンライン文章の解析	ザビル　サラウッディン　ムハマド　サリム	長谷川　剛	112,000	100,000	0
2025A10	一般	Beyond CFET 情報通信用原子層デバイスの集積化に向けた界面先端分析	永村　直佳	吹留　博一	134,000	12,000	0
2025A11	一般	OTFS変調のドップラー・遅延耐性とFHSS方式の干渉耐性を活かした深宇宙通信の高信頼化	三宅 正尭	末松　憲治	139,000	100,000	0
2025A12	一般	ミリ波帯における人体領域通信用電波伝搬特性	秋元 浩平	末松　憲治	112,000	100,000	0
2025A13	一般	ミリ波・テラヘルツ通信におけるチャネルモデリングとビームフォーミング	夏　斯傑	末松　憲治	139,000	100,000	0
2025A14	国際	Management and performance evaluation of 5G systems.	Pedroso Cainelli/Gustavo	末松　憲治	209,000	100,000	100,000
2025A15	一般	高周波ダイヤモンドトランジスタの性能向上に向けた基礎研究	金子　純一	末松　憲治	183,000	100,000	0
2025A16	一般	二次元材料を用いた光電子ナノデバイスに関する研究	内野　俊	佐藤　昭	0	100,000	0
2025A17	一般	ナノスケール観測に基づくパワー半導体デバイスの動作限界の解明	佐藤　宣夫	山末　耕平	88,000	100,000	0
2025A18	若手	心像の個人差と多様性	髙橋 純一	齋藤　五大	139,000	100,000	50,000
2025A19	一般	高機能軟磁性合金の多結晶組織と特性と評価	鈴木　茂	石山　和志	0	100,000	0
2025A20	国際・一般	生成AIとXR・メタバースが拓く次世代型遠隔教育	林　雅子	北村　喜文	160,000	100,000	100,000
2025A21	若手	身体に関連した音の距離感とその認知的影響の研究	山﨑 大暉	齋藤　五大	139,000	100,000	50,000

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		特別支援
					旅費	物件費	国際・若手
2025A22	国際	DEEM: International Collaboration Project on Annotation of the Dynamics of Emotionally Expressive movement (DEEM) Using Laban Effort Shape and Prosodic Theory	Asaf Bachrach	曽　加蕙	188,000	100,000	100,000
2025A23	国際	Large Language Model-Powered Virtual Assistants for In-situ Secondary Language Acquisition	ORLOSKY Jason	北村　喜文	165,000	100,000	100,000
2025A24	国際	Pre-verbal infant sleep and social-cognitive development	LAU Esther	曽　加蕙	165,000	100,000	100,000
2025A25	国際	Multimodal Multilingual Affective Computing: Database and Algorithms	LEE/CHI-CHUN	チェン　ミャオ	165,000	100,000	100,000
2025A26	一般	音の身体性が認知情報処理に与える影響の解明	北川　智利	坂本　修一	144,000	100,000	0
2025A27	一般	持続可能材料を用いた スピントロニクス実用素子と創発現象の導出	磯上　慎二	白井　正文	100,000	100,000	0
2025A28	一般	磁性酸化結晶膜作成効率化に向けた成膜装置システム開発	西原　孝義	後藤　太一	100,000	100,000	0
2025A29	一般	次世代パワエレに向けた新奇軟磁性材料の創製とその高周波磁気特性評価	阿加　賽見	石山　和志	0	100,000	0
2025A30	一般	SiGe/Si積層膜における選択エッチングと表面の欠陥評価に関する研究	牧原 克典	櫻庭　政夫	244,000	100,000	0
2025A31	若手・国際	ヒトの身体性を表現する環境ロボット群テレプレゼンス	高嶋　和毅	藤田　和之	165,000	100,000	150,000
R05/B01	産学・一般	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	296,000	－	30,000
R05/B02	一般	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	271,000	－	0
R05/B03	一般	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	205,000	－	0
R05/B04	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	289,000	－	30,000
R05/B08	産学	カラスの群れの誘導手法の検討	塚原　直樹	北村　喜文	192,000	－	30,000
R05/B13	一般	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	佐藤　茂雄	238,000	－	0
R05/B15	一般	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	長谷川　剛	112,000	－	0
R05/B16	国際・若手	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	209,000	－	150,000
R05/B17	国際・一般	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	292,000	－	100,000
R06/B01	一般	新奇な軌道磁性の学理探求による実験・計算システムの構築	岡林　潤	白井　正文	214,000	－	0
R06/B02	一般	多様な最適化問題に対する非線形力学系理論の適用性に関する実証的研究	木村 貴幸	佐藤　茂雄	247,000	－	0
R06/B03	一般	Quantum Circuits Accelerator based on Stochastic Computing	Lukac Martin	鬼沢　直哉	110,000	－	0
R06/B04	一般	光のモード学に関する研究	浜本　貴一	吉田　真人	214,000	－	0
R06/B06	一般	衛星コンステレーションの品質推定と安定化手法に関する会合の実施	柏崎　礼生	長谷川　剛	112,000	－	0
R06/B07	一般	電磁波工学分野における新しい研究領域の開拓	今野　佳祐	末松　憲治	169,000	－	0
R06/B08	一般	6G通信技術に向けたネットワーキング技術	小畑 博靖	長谷川　剛	169,000	－	0
R06/B09	一般	磁界共鳴無線電力伝送システムにおける電力・通信同時伝送	関屋　大雄	佐藤　茂雄	222,000	－	0
R06/B10	一般	計算機による知的生産性の評価とその向上手法の検討	伊藤　雄一	藤田　和之	222,000	－	0
R06/B11	産学・一般	コミュニケーションの基盤としてのヒトの知覚・運動・認知・情動特性の理解	筒井　健一郎	坂本　修一	288,000	－	30,000
R06/B12	一般	複雑ネットワーク理論に基づく多言語文書の言語横断的解析法に関する研究	島田 裕	佐藤　茂雄	165,000	－	0
R06/B13	一般	ユビキタスコンピューティング技術によるライフサイエンス基盤の創出と社会実装	大西 鮎美	長谷川　剛	255,000	－	0
R06/B14	一般	深層学習における表現学習に関する研究	神野　健哉	佐藤　茂雄	188,000	－	0
R06/B15	国際・若手・産学	ヒューマン・ワークスペース・インタラクションの新展開	藤田　和之	藤田　和之	150,000	－	180,000
R06/B16	国際	多感覚統合過程としての自己運動知覚	櫻井　研三	坂本　修一	298,000	－	100,000
R06/B19	一般	二値化畳み込みニューラルネットワークモデルを対象としたランダムフォレストによる近似探索手法とFPGA実装	齋藤　寛	羽生　貴弘	112,000	－	0
R06/B20	一般	確率的コンピューティングアルゴリズムに関する研究	越田 俊介	鬼沢　直哉	115,000	－	0
2025B01	一般	不揮発FPGAエミュレータとそのIoT応用に関する研究	鈴木　大輔	羽生　貴弘	97,000	－	0
2025B02	産学	量子技術と物質科学の融合による次世代デバイスの創製	松野 丈夫	深見　俊輔	226,000	－	30,000

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		特別支援
					旅費	物件費	国際・若手
2025B03	一般	マイクログリッドのネットワーク化に向けた強化学習とゲーム理論の融合アプローチ	ショウ　シュン	長谷川　剛	112,000	-	0
2025B04	国際	Reducing Perceptual and Physical Fatigue in Virtual Reality	Tag Benjamin	北村　喜文	161,000	-	100,000
2025B05	国際・一般	幾何代数に基づく高次元ニューロ情報処理	廣瀬　明	佐藤　茂雄	294,000	-	100,000
2025B06	国際	サイバーとフィジカルの連携による高機能マルチメディアに関する研究	薗田　光太郎	坂本　修一	290,000	-	100,000
2025B07	産学	誰もが安全に楽しくセーリングにアクセスできる「人船一体」のインタラクション研究会	末田　航	北村　喜文	144,000	-	30,000
2025B08	産学	自然とオープンソースを活かしたインクルーシブな『探究』STEAMプログラム研究会	末田　航	北村　喜文	126,000	-	30,000
2025B09	一般	微細加工表面および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	112,000	-	0
2025B10	一般	多感覚におけるオブジェクト認知の研究	栗木　一郎	坂本　修一	100,000	-	0

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	廣岡　俊彦	1,000,000
R06/SI01	人間科学に基づくAI 技術とそのハードウェア実現	Su-Ling Yeh	羽生　貴弘	1,000,000
R06/SI02	VRの快適性向上による没入型遠隔コミュニケーションの改善	Robert W. LINDEMAN	北村　喜文	1,000,000
R06/SI03	XR による非言語コミュニケーションの支援	Rui Wang	北村　喜文	1,000,000
R06/T12	スピントロニクス・CMOS脳型回路研究会/ 省エネルギー高性能ニューロモルフィック・プロセッサ開発のためのスピントロニクスとインメモリコンピューティング技術の融合	遠藤　哲郎	羽生　貴弘	150,000
2025T01	伝送工学研究会/ 6Gに向けた光波・電波伝送技術	陳　強	葛西　恵介	150,000
2025T02	音響工学研究会/ 聴覚情報処理過程への深い理解に基づく高度な音響・音声コミュニケーションシステムに関する研究発表	坂本　修一	坂本　修一	150,000
2025T03	東北プラズマフォーラム/ 非平衡プラズマの物理と材料・バイオ応用	金子　俊郎	平野　愛弓	150,000
2025T04	コンピュータサイエンス研究会/ プログラミング言語理論を中心とする計算機科学とその応用	住井　英二郎	中野　圭介	150,000
2025T05	システム制御研究会/ システム制御に関する理論と応用	渡邉　高志	石黒　章夫	150,000
2025T06	情報バイオトロニクス研究会/ バイオ・ナノハイブリッドシステムに基づく次世代バイオデバイス創製	平野　愛弓	平野　愛弓	150,000
2025T07	スピニクス研究会/ 磁性材料、磁気計測および磁気デバイス応用に関する研究開発	遠藤　恭	石山　和志	150,000
2025T08	EMC仙台ゼミナール/ ニューパラダイムコンピューティング研究会/ AI時代を担う新概念コンピューティング技術の開拓	本間　尚文	本間　尚文	150,000
2025T09	超音波エレクトロニクス研究会/ 超音波技術の基礎から応用に関する研究発表および討論	吉澤　晋	坂本　修一	150,000
2025T10	ブレインウェア工学研究会/ 生物の適応的情報処理システムのリバースエンジニアリング	石黒　章夫	石黒　章夫	150,000
2025T11	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技術の展開	佐藤　茂雄	深見　俊輔	150,000
2025T12	EMC仙台ゼミナール/ 電磁環境工学の基礎と応用に関する研究発表	室賀　翔	石山　和志	150,000

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
櫻庭　政夫　（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：
櫻庭　政夫　（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：
櫻庭　政夫　（東北大学電気通信研究所）
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）
財満　鎭明　（名城大学大学院理工学研究科）
宮崎　誠一　（広島大学本部）
中塚　　理　（名古屋大学大学院工学研究科）
黒澤　昌志　（名古屋大学大学院工学研究科）
柴山　茂久　（名古屋大学大学院工学研究科）
坂下　満男　（名古屋大学大学院工学研究科）
加藤　芳規　（名古屋大学大学院工学研究科）
中山　敦稀　（名古屋大学大学院工学研究科）
柴田　海斗　（名古屋大学大学院工学研究科）
奥田　太一　（名古屋大学大学院工学研究科）
後藤　幸作　（名古屋大学大学院工学研究科）
木村　優希　（名古屋大学大学院工学研究科）
中嶋　海都　（名古屋大学大学院工学研究科）
田中　真裕　（名古屋大学大学院工学研究科）
田岡　紀之　（愛知工業大学工学部）
竹内　和歌奈（愛知工業大学工学部）
佐道　泰造
（九州大学大学院総合理工学研究院）
高木　信一　（帝京大学先端総合研究機構）
嶋脇　秀隆　（八戸工業大学工学部）
酒井　　朗　（大阪大学大学院工学研究科）
奥村　次徳　（東京都立大学）
鳥海　　明　（東京大学）
野崎　眞次
（電気通信大学大学院理工学研究科）
田部　道晴　（静岡大学）
須田　良幸　（東京農工大学工学研究科）
塩島　謙次
（福井大学学術研究院工学系部門）
国井　泰夫　（分析工房株式会社）
Bernd Tillack
（ドイツ・IHP／ベルリン工科大学）
山本　裕司　（ドイツ・IHP）
Matty Caymax（ベルギー・imec）
Roger Loo　（ベルギー・imec）
James Sturm　（米国・プリンストン大学）
Eugene Fitzgerald
（米国・マサチューセッツ工科大学）
Stefano Chiussi（スペイン・ビゴ大学）
Dan Buca
（ドイツ・ユーリッヒ研究センター）
Detlev Grützmacher
（ドイツ・ユーリッヒ研究センター）
Chee Wee Liu
（国立台湾大学（中国）・フォトニクス＆オプトエレクトロニクス研究所）

[2]研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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。そのような中で、本プロジェクトでは、Si と結晶学的親和性の高い Ge，SiGe，GeSn，SiC などの新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研究を進めてきた。並行して、各国の本研究プロジェクトメンバーが中心となり、いくつかの関連する国際会議開催や 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てきた。

[4]研究計画及び内容

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するために、負性抵抗エサキダイオードの開発と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へのデバイス試作などの実験研究を進めることとした。負性抵抗エサキダイオードの開発においては、ECR プラズマ CVD を用いて高濃度 P ドープ Si 薄膜形成を実現する。また、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ることとした。また、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への MOS キャパシタ形成と電気特性評価により 3C-SiC 表面と 4H-SiC 表面の界面準位密度を評価するとともに、各領域での蓄積層・空乏層形成の違いを確認することとした。さらに、SiC MOSFET における MOS 界面制御の新たな指針を得ることを目指して、プラズマ CVD 堆積したアモルファス Si を低温熱酸化することで得たゲート酸化膜を用いた 4H-SiC 上への Al ゲート MOS ダイオード製作について研究を進め、特に、MOS 界面への N や B の原子層ドーピングの効果について調査することとした。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

2023 年度には、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。

2024 年度には、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 4H-SiC 基板上の a-Si 膜を熱酸化して製作した MOS キャパシタにおいて、2 種類の電荷注入・捕獲を示唆する電圧シフトが生じていることを見いだした。そして、測定の間に抜けることのない電荷は、測定ごとに出入りする電荷の 4 倍の密度で存在していることを明らかにした。さらに、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て製作した MOS キャパシタの高周波微分容量－電圧特性から、3C-SiC／4H-SiC ハイブリッド基板上の各領域での蓄積層・空乏層形成の明確な違いを確認することに成功した。

2025 年度には、SiC MOSFET における MOS 界面制御の新たな指針を得ることを目指して、プラズマ CVD 堆積したアモルファス Si を低温熱酸化することで得たゲート酸化膜を用いた 4H-SiC 上への Al ゲート MOS ダイオード製作について研究を進めた。特に、MOS 界面への B 原子層ドーピング導入の効果について調査し、0.12 原子層以上の B 原子層導入を行った場合に、C-V カーブのヒステリシスが顕著に拡大することを見いだした。この B 原子層導入手法をベースとして、今後、堆積した B 原子層をプラズマ窒化反応と組み合わせる手法へと発展させていくことにより、新たな MOS 界面制御の可能性を探索していく足掛かりとなるものである。また、ECR プラズマ CVD により堆積させた高濃度ドープ Si を用いて pn ダイオードを製作し、適切なノンドープ Si 層厚において負性微分抵抗が発現するエサキダイオードの製作に成功した。

(5-2) 波及効果と発展性等

各国の本研究プロジェクトメンバーが中心となり、別紙に挙げるような国際会議開催や 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。国際共同研究推進型である本プロジェクトは、学外研究者との交流の活性化によって先端的・萌芽的な研究成果を得て、本分野の研究推進により新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関わる学問分野の発展を目指すものであり、次世代の新 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がると期待される。今後も別紙のような関連国際会議・国際ワークショップの開催が決定されている。

[6]まとめと今後の課題

代表的な成果をまとめると、第 1 に、適切なノンドープ Si 層厚において負性微分抵抗が発現するエサキダイオードの製作に成功した。第 2 に、4H-SiC 基板上の MOS キャパシタにおいて、2 種類の電荷注入・捕獲を示唆する電圧シフトが生じていることを見いだした。第 3 に、3C-SiC／4H-SiC 積層ハイブリッド構造基板上の MOS キャパシタにおいて、各領域での蓄積層・空乏層形成の明確な違いを確認することに成功した。これらの成果は、集積回路用トランジスタやパワーデバイス、負性抵抗デバイスなどの幅広い新 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。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・ M. Sakuraba, T. Oki, S. Watanabe, S. Sato, I. Morita, T. Ueno, S. Sato, H. Nagasawa, Y. Watanabe and , M. Suemitsu, “Characterization of Al-Gate MOS Capacitor on Thermally-Oxidized 3C/4H Hybrid Polytype-Heterostructure Si-Face SiC(0001) Wafer Fabricated by Simultaneous Lateral Epitaxy (SLE) Method” (Oral Presentation), Int. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM 2025), Busan, Korea, Sep. 14-19, 2025, Session 10A-2, pp.269-270 (Oral Presentation, Sep. 16, 2025).

・ M. Sakuraba, S. Sato and H. Nagasawa, “Development of High-Performance Group-IV Semiconductor Devices for Robust Neuromorphic Computing Integrated Circuits”, 16th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Satellite workshop of ICSI/ISTDM 2025), Sendai, Japan, Nov. 17-18, 2025, Abst, No. I-14, pp. 27-28 (Invited Presentation, Nov. 18, 2025).

・ S. Sato, M. Sakuraba and S. Sato, “Fabrication Process of Heavily-Doped Si Tunnel Diodes for Achieving Negative Differential Resistance for Neuromorphic Computing”, 16th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Satellite workshop of ICSI/ISTDM 2025), Sendai, Japan, Nov. 17-18, 2025, Abst, No. P-01, pp. 41-42 (Short Oral & Poster Presentation, Nov. 18, 2025).

・ T. Ueno, M. Sakuraba and S. Sato, “Process Development of Interface Structure Control for Next-Generation High-Performance SiC Power MOS Transistors”, 16th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Satellite workshop of ICSI/ISTDM 2025), Sendai, Japan, Nov. 17-18, 2025, Abst, No. P-02, pp. 43-44 (Short Oral & Poster Presentation, Nov. 18, 2025).

・ 佐藤盛磨, 上野哲弥, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄,「基板非加熱 ECR プラズマ CVD を用いた pn 接合トンネルダイオード製作と電気特性」（口頭発表）, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会（口頭発表, 2026 年 3 月 15 日）.

・ 上野哲弥, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄, 佐藤盛磨,「SiC 半導体界面制御のための原子層ドーピングプロセスに関する研究」, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会（ポスター発表, 2026 年 3 月 15 日）.

(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）.
- H. Nagasawa, Y. Cho, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, Y. Sato and S. Sato, "SNDM Study of the MOS Interface State Densities on the 3C-SiC / 4H-SiC Stacked Structure", Solid State Phenomena Vol. 362 (2024) pp. 33-40.
- 沖竜徳, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄,「4H-SiC-MOSFET の高性能化のためのゲート絶縁膜形成プロセスと電気特性評価に関する研究」, 電気関係学会東北支部連合大会, 2024 年 8 月 29-30 日, No. 2H01-04-01（口頭発表. 2024 年 8 月 30 日）
- H. Nagasawa, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, S. Sato, Y. Watanabe and M. Suemitsu, "Formation of Alternating Epilayers of 4H-SiC and 3C-SiC by Simultaneous Lateral Epitaxy", Int. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM, Sep. 29-Oct. 4, Raleigh, USA）, Session ID: 19A, Epitaxial Growth 3, Paper ID: 226, Abst. pp. 733-734（口頭発表, 2024 年 10 月 4 日）.
- T. Oki, M. Sakuraba and S. Sato, "Study of gate dielectric formation process and evaluation of electrical characteristics for high performance 4H-SiC-MOSFETs", 15th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics（2024 年 10 月 21-22 日, 東北大学）, Abs. No. P-07, pp. 55-56（ショートロ頭発表＆ポスター発表, 2024 年 10 月 22 日）.
- 長康雄, 長澤弘幸, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄,「走査型非線形誘電率顕微鏡法を用いた 3C-SiC/4H-SiC 積層構造 MOS 界面の定量評価」, 44th Annual NANO Testing Symp.（NANOTS2024, 2024 年 11 月 12-14, 豊中）（口頭発表, 2024 年 11 月 14 日）.
- 沖竜徳, 渡辺聡, 森田伊織, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄, 長澤弘幸, 末光眞希, 渡邉幸宗,「同時横方向エピタキシャル成長（SLE）法により製作した 3C／4H ポリタイプヘテロ構造 SiC ウェハを用いた Al ゲート MOS ダイオードの電気特性」, 先進パワー半導体分科会第 11 回講演会（2024 年 11 月 24-26 日, 高崎）, Poster No. IIB-6（ポスター発表, 2024 年 11 月 26 日）.
- R. Loo, A. Akula, Y. Shimura, C. Porret, E. Rosseel, T. Dursap, A. Y. Hikavyya, M. Beggiato, J. Bogdanowicz, A. Merkulov, M. Ayyad, H. Han, O. Richard, A. Impagnatiello, D. Wang, K. Yamamoto, T. Sipőcz, Á. Kerekes, H. Mertens, N. Horiguchi and R. Langer, "Epitaxial Si/SiGe Multi-Stacks: From Stacked Nano-Sheet to Fork-Sheet and CFET Devices", ECS J. Solid State Sci. Technol. Vol. 14 (2025) p. 015003 (8 pages).
- Y. Yamamoto, W.-C. Wen, N. Inomata, A. A. Corley-Wiciak, D. Ryzhak, C. Corley-Wiciack, Z. Zhijian, R. Sorge, B. Tillack and T. Ono, "Piezoresistivity of Epitaxial SiGe", ECS J. Solid State Sci. Technol. Vol. 14 (2025) p. 045001 (5 pages).
- H. Nagasawa, M. Abe, T. Tanno, M. Musya, M. Sakuraba, S. Sato, Y. Watanabe and M. Suemitsu, "Formation of Alternating Epilayers of 4H-SiC and 3C-SiC by Simultaneous Lateral Epitaxy", Materials Science Forum, 1157 (2025) 33-41.
- 長澤弘幸, 櫻庭政夫, 武者倫正, 阿部真帆, 丹野健徳, 佐藤茂雄,「同時横方向エピタキシャル成長(SLE)法により形成した 3C-SiC/4H-SiC 積層エピ断面の微細構造」, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会（口頭発表, 2026 年 3 月 15 日）.
- Y. Yamamoto, W.-C. Wen, F. Bärwolf, M. A. Schubert, D. Steckler, J. Murota and B. Tillack, "Atomic layer epitaxy of Si in Ge", Jpn. J. Appl. Phys., 65 (2026) 01SP02 (5 pages).
- Y. Yamamoto, W.-C. Wen, F. Bärwolf, J. Schlipf, O. Fursenko, S. Karki, M. H. Zoellner, J. Murota and B. Tillack, "Influence of strain and initial reactions on epitaxial SiGe growth", Mat. Sci. Semicond. Process., 209 (2026) 110572 (6 pages).
- R. H. Saputro, T. Tanaka, H. Ishii, K. Goto, S. Shibayama, M. Kurosawa, O. Nakatsuka and T. Maeda, "Extended mid-wave infrared response in Ge-based photodetectors enabled by sputter-grown $Ge_{0.8}Sn_{0.2}$ epitaxial layers", Mat. Sci. Semicond. Process., 209 (2026) 110627 (7 pages).
- T. Okuda, A. Ohta, R. Yokogawa, M. Sakashita, M. Kurosawa, O. Nakatsuka and S. Shibayama, "Ge heteroepitaxy on Si(111) substrate featuring sputtering method", Mat. Sci. Semicond. Process.,

210 (2026) 110667 (6 pages).

(3) 開催した関連国際会議・国際ワークショップと Proceedings 特集号発刊

- 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, Proceedings 特集号 “Special section on Advances in semiconductor materials, technology, and applications”, Materials Science in Semiconductor Processing, 2024.
- 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, Proceedings 特集号”Semiconductor Process Integration 13”, ECS Trans., 112 (1) (2023).
- 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）, 参加者 38 人.
- 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, USA, Oct. 6-11, 2024, エピタキシー部門委員：櫻庭政夫）, Proceedings 特集号” SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 11”, ECS Trans., 114 (2)(2024).
- 第 15 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（15th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics）, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 21-22, 2024, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一, 発表 30 件（Invited 15 件, Oral 6 件, Poster 9 件）, 参加者 40 人.
- 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（10th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces（ISCSI-X）, Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Int. SiGe Technology and Device Meeting（ICSI/ISTDM 2025））, Yokohama, Japan, Nov. 10-13, 2025, 国際諮問委員長（ISCSI-X）:室田淳一, Proceedings 特集号 “Special issue on Control of Semiconductor Interfaces and Group-IV Semiconductor Engineering Technologies (ISCSI-X & ICSI/ISTDM 2025)”, Materials Science in Semiconductor Processing, 2026.
- 第 16 回 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ（ICSI/ISTDM 2025 サテライトワークショップ）（16th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics（Satellite workshop of ICSI/ISTDM 2025））, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 17-18, 2025, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一, 発表 43 件（Invited 14 件, Oral 6 件, Poster 23 件）, 参加者 51 人.

(4) 開催予定の関連国際会議・国際ワークショップ

- 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. G04: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 12, 250th Meeting of the Electrochem., Calgary, Canada, October 25-29, 2026, エピタキシー部門委員：櫻庭政夫）.
- 第 17 回 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ（17th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics）, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 9-10, 2026, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A04

研究課題名

高磁場 MRI 対応体腔内 NMR 受信コイルの開発

[1] 研究組織
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]研究期間
2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本研究では、高磁場 MRI における核磁気共鳴（NMR）信号を高 SNR（Signal-Noise-Ratio）で受信可能な体腔内 MRI プローブの開発を目的として、細径 RF コイルおよび伝送路設計、受信コイルの試作、および評価を行い、最終的に高磁場 MRI を用いた医療デバイスの開発につなげる。MRIは高い軟部組織識別能や分子情報取得能力を有し、被曝もないことからバイオイメージングや分子イメージングなどの研究分野に広く利用されている。しかし、従来の体外受信コイルでは体深部の微小領域における NMR 信号の受信感度に限界があり、リアルタイム性や高空間分解能の実現が困難である。本研究では、生体組織近傍に細径受信コイルを配置する体腔内 MRI プローブを試作し NMR 信号受信効率の向上と撮像時間短縮を目指す。特に，小動物体腔内へ挿入可能な直径 2 mm 以下の細径プローブを開発し、11.7 Tesla MRI で動作する高感度受信系を構築することでリアルタイムバイオイメージングの実現を目指す。また、当該共同研究ではプローブ性能を最大化するための伝送路設計および評価技術についても検討を行う。また、本研究で得られた成果については都度研究報告会などで発表する。

[4]研究計画及び内容

本研究は高磁場 MRI で使用可能な体腔内 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、研究においての生体機能解明だけでなく、動物実験用 MRI だけでなく臨床用 MRI、MRS へも応用でき、広く普及することを最終目標としている。当該共同研究期間においては、体腔内 MRS プローブの試作、評価を行うことを目的とし、以下の項目に沿いながら遂行する。

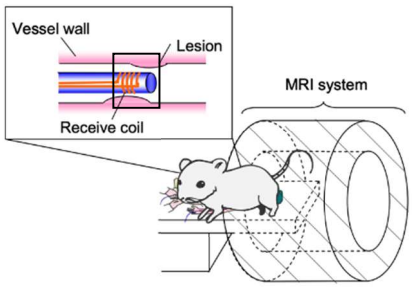


図 1. 体腔内 MRI 概念図

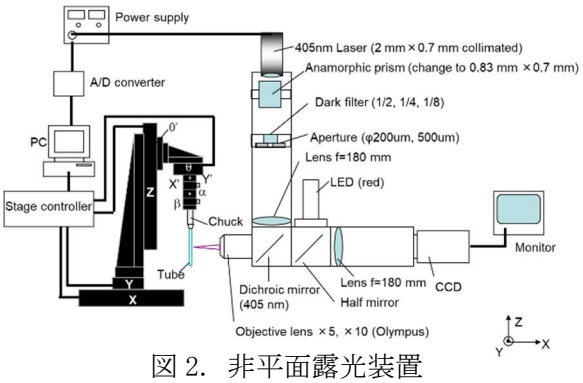


図 2. 非平面露光装置

【当該共同研究プロジェクト期間での研究計画】
１・受信コイルの設計・試作
２・受信コイルの電気的特性の評価
３・その他応用研究の探索

１について：

高磁場 MRI を用いたバイオイメージングのための受信コイルでは、プロトンだけでなく重水を含む水素分子の検出もガン検出の機序解明に繋がる。本研究ではラーモア周波数 76MHz の重水検出のための受信コイルを設計する。また、試作は独自に開発した非平面微細加工技術（図 2）を用いることで、直径 2 mm のポリイミドチューブ表面に作製される。コイル配線は約 30 μm、配線幅 100 μm とし、かつ多層配線構造となると予想している。本加工技術を用い試作する。

２：について

試作したコイルは、高周波対応インピーダンスアナライザにより自己共振周波数を計測した後、500 MHz・50 Ω にチューニング・マッチングのた

めの受信回路をコイル近傍に接続し、調整する。

３：について

本研究を遂行するにあたり、高磁場 MRI 装置を用いた分子イメージングにおいてのその他分子の検出、および体腔内 MRI プローブを用いた医工連携における臨床応用デバイスへの応用についても探索を進め、必要に応じて設計、試作を進める。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

研究計画で述べた内容に沿って下記に述べる。

１・受信コイルの設計・試作

【設計】体腔内 MRI プローブは挿入性から直径を 2 mm とした。チューブ側方からの磁場に感度を持つ側方視コイル（サドルコイル）を構造設計後、HFSS により重水検出のラーモア周波数（76MHz）において磁場分布を算出し、約 8 mm の視野範囲を算出した。その結果、ラット直腸内で使用でき、チューブ外側においての MR イメージングが可能である構造を設計できた（図 3）。

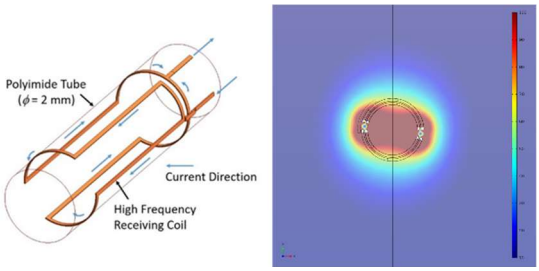


図 3. コイル構造、磁場分布計算結果非平

【試作】独自の円筒面微細加工技術により直径 2 mm のポリイミドチューブ表面に側方視コイルを作製した。構造設計通りのコイルパターンであることを確認した（図 4）。

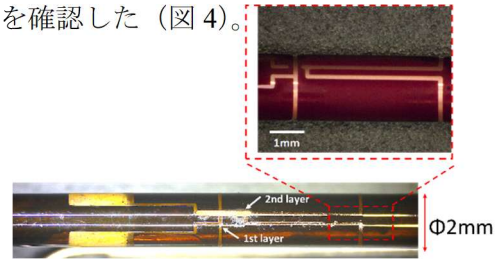


図 4. 試作した受信コイル

２・受信コイルの電気的特性の評価

試作したコイルの自己共振周波数を計測した。結果を表 1 に示す。^{2}H のラーモア周波数である 76 MHz より十分高い周波数であり、重水イメージングの可能性を示唆した。

表 1 電気特性（設計値／計測値）

	Target	Experiment
f [MHz]	298.03	297.51
Z [Ω]	50.0	50.26
Q	-	32.1

３・その他応用研究の探索

ヒトへの臨床応用を目指した MRI プローブを開発するために、臨床で使用されている 1.5 Tesla MRI 装置用の MRI プローブ開発も行った。これまで臨床応用として循環器や消化器での MR 撮像を検討していた。しかし、循環器分野での血管内 MRI イメージングでは、磁性体である鉄分を含んだ血流による地場の乱れが予想され、画像分解能が小さい可能性がある。また、臨床上での利用を考えた場合、X 線透視室（カテ室）で血管内 MRI を設置し、血管内にプローブを挿入した状態の患者が MRI 室へ移動するため感染症などの危険性がある。また、消化器応用では内視鏡を使って膵管や胆管へ挿入する必要があるが、MRI 対応の内視鏡は未だ市販されていない。一方、尿管撮像においては、尿道カテーテルへのコイル実装状態での応用が考えられる（図 5）。尿道カテーテルは装着したままで術室間の移動は、通常でも行われており、また感染症にもつよい臓器の一つである。今年度は、泌尿器応用を進めるために、関西地区の大学病院と連携し、当該検討を行った。

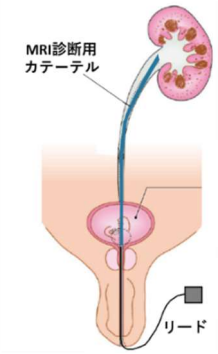


図 5. 体腔内尿道カテーテル

(5-2) 波及効果と発展性等

当該研究において、高磁場 MRI を保有する研究機関は限られており、国内であれば岩手医科大学が挙げられる。一方、リオン大（フランス）での研究グループでも高磁場 MRI 装置を保有し、回路設計などを行ってきていた。当該研究期間においてリオン大との研究打ち合わせを通じ、本グループではコイル設計、試作を行い、リオン大では撮像実験の役割分担とし、研究協力を進めている。重水のリアルタイムイメージングが可能になることで、ガン発生時の生成物質の詳細な生成機序が解明できることが予想されることから、生命科学分野での当該研究の活用が期待される。

[6] まとめと今後の課題

高磁場 MRI 対応体腔内 NMR 受信プローブの開発において、プロトンだけでなく重水の検出、および 1.5 Tesla MRI 臨床器を用いたコイル設計、試作を行った。研究期間中においての高磁場 MRI を用いたイメージング実験には至らなかったが、今後も継続して研究を遂行する。また、リオン大など高磁場 MRI を所有する研究機関との連携も進め、国際協力を遂行しながら当該研究を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）

該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・国内学術集会招待講演（謝辞なし）：松永忠雄,”低侵襲医療デバイスのための「ものづくり技術」と鳥大医工プログラムの取り組み”, 2024 年度第 1 回 一般社団法人あにまるすまいる学術集会 in鳥取, 2024 年 8 月 2〜3 日.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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）

研究分担者：
野中準也、宇都正博（セイコーフューチャークリエーション株式会社）

[2] 研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

世界的に高齢化が進む中、平均寿命と健康寿命の乖離が社会的課題となっており、健康寿命に影響する身体機能の一つとして咀嚼機能の維持が注目されている。咀嚼機能を支える咬合状態の精密な計測は歯科診療において不可欠であるが、従来用いられている咬合紙はインクのにじみにより定量性に乏しい。また、歪みセンサを搭載した既存の咬合力分布測定装置では、センサ部の厚みにより違和感や精度の限界が課題となっている。

本プロジェクトでは、磁歪機能を有する磁性薄膜と磁気光学計測を組み合わせ、薄型・高解像度かつ繰り返し利用可能な咬合力分布計測手法の構築を目指した。東北大学電気通信研究所 後藤・石山研究室が有する磁性材料・磁気光学計測の知見と、セイコーフューチャークリエーション株式会社（以下、SFC）が有する口腔内センサデバイス開発の知見を組み合わせ、3 年間で基礎特性の把握から計測システムの試作までを段階的に進めた。

研究期間中、通研へ延べ 9（回・人）訪問して共同実験を実施するとともに、研究打ち合わせを通じて検討内容の見直しと方針調整を継続的に行った。

[4] 研究計画及び内容

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を行った。磁性薄膜の表面性状に関する想定外の課題が明らかとなったため、材料・手法の見直しを段階的に行った。さらに、本研究課題の実施を進める中で、新たなシーズ技術が見出されたため、これを利用したデバイス開発についても連携した。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

① 鉄シリコンボロン（FeSiB）膜の磁気光学特性評価

無加工の FeSiB 膜（以下、磁性膜）の表面を、磁気光学カー効果顕微鏡を用いて観察した。図 1 に通研で実施した観察実験の様子を示す。膜表面の凹凸が大きく磁気光学像が得られず、表面加工の必要性が明らかになった。

生体適合コーティング材として検討したパリレン膜（9 μm 厚）の透過率を通研にて評価した。ガラス基板上にパリレン膜を装荷した状態での透過率が 80～90%であった。この結果から、生体応用が可能であり、磁性膜と併用できる見通しを得た。図 2 にパリレン膜をガラス基板上に装荷した試料の透過率スペクトルを示す。

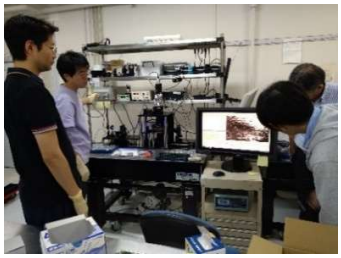


図 1. 磁気光学効果顕微鏡を用いて磁気光学カー効果像を撮影する様子。

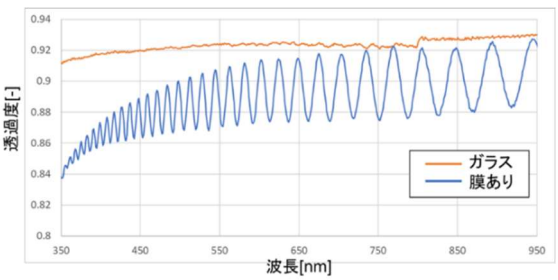


図 2. パリレン膜の有無での透過率比較

② 表面処理改善と圧力応答の確認

磁性膜の表面の凹凸が、磁区変化の観察における課題となったため、これを解決する目的で、バルク形状の磁性膜から薄膜に変更した。マグネトロンスパッタ装置（L-332S-FH）を用いて、Ar 雰囲気中で、両面鏡面研磨したガラス基板上に磁性薄膜を作製した。偏光顕微鏡を用いて磁気光学観察を行ったところ、図 3 のような縞状の磁気ドメインが見られた。この試料に、SFC が保有する標準歯形模型を用いて、人が噛む動作を模した応力を印加し、偏光顕微鏡観察を行った。応力の印加前後でドメイン構造が図 3 のように変化することを確認した。これは、歯形応力による逆磁歪効果によって磁気状態が変化した結果であると考えられる。一方で、サンプル表面の凹凸や微細な傷が原因で視認性が悪く、実用上は、表面平坦性の確保や表面保護層の作製などが重要であるという課題も明らかになった。

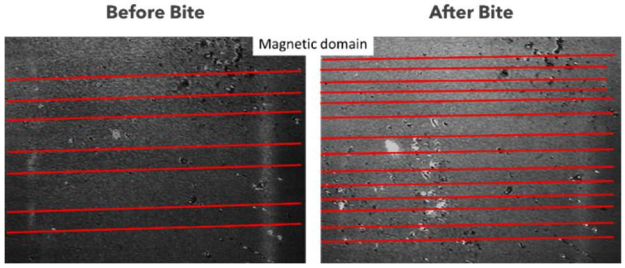


図 3. 圧力印加前後の磁気ドメイン構造変化

③ 新規磁性デバイスの共同開発検討

SFC と通研が共同で実験を行う中で、情報交換を行い、お互いのシーズ技術を用いた新規磁性デバイスを発想できないか、基礎的検討を行った。通研にて磁気光学膜を作製し、その上にリソグラフィを用いて、磁場印加配線を作製した。この試料に対し、SFC にてワイヤボンディングを施し、パッケージングを行った。局所的に磁場を印加することで、高速な光シャッタ等の実デバイス開発への応用の可能性が明らかになった。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは、企業（SFC）が有する口腔内センサデバイス開発の知見と、東北大学電気通信研究所後藤・石山研究室が有する磁性材料および磁気光学計測の専門知識という、普段は接点の少ない異分野の融合により遂行された共同研究である。3 年間にわたり通研への訪問・実験を継続的に重ねるとともに、研究所が保有する磁気光学測定装置を借用することで、企業単独では実施が困難な計測検討をスムーズに進めることができた。これにより、企業側における磁気光学計測技術への理解が深まるとともに、研究所側にとっても磁性デバイスの医療応用という新たな応用領域への展開可能性を共有することができ、双方にとって有意義な研究ネットワークの構築につながった。

本共同研究で築かれた連携関係は、今後の継続的な研究交流の基盤となることが期待される。

[6] まとめと今後の課題

3 年間の研究を通じて、磁性薄膜と磁気光学効果を組み合わせた咬合力分布計測の原理確認に到達した。磁性膜による逆磁歪効果での圧力応答を確認でき、新規磁性デバイスの検討へと展開した。今後の課題として、臨床応用に向けて、咬合力分布の定量計測手法の確立を目指す。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・なし

RIEC Cooperative Research Projects Report

Grant No. R05/A07

Title

Japan-Russia International collaborative research of new designs of high-power large-area photoconductive antenna-emitters

[1] Research Organization
Principal Investigator:
PONOMAREV Dmitry, Dr.
Department of Ultra-High Frequency Semiconductor Electronics, NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russian Federation
Research Collaborator of RIEC:
SATOU Akira, Dr., Associate Professor (RIEC)

[2] Research Period
FY2024–FY2025

[3] Purpose, Background, and Overview of the Project

The search for portable and efficient terahertz (THz) emitters remains a pending issue, despite the numerous solutions proposed to date. Throughout the decades, THz emitters have become crucial elements of various spectroscopic, imaging, and exposure applications. Among them, photoconductive antennas (PCAs) have manifested themselves as technologically reliable emitters for broadband THz measurements. In contrast to the existing THz devices, PCAs work at room temperature, ensure superior bandwidth and energy efficiency. Recent advances in THz PCA technology uncover their unprecedented use in multipixel imaging and broadband spectroscopy.

Our joint study aimed at the development, fabrication and investigation of a cost-effective and reliable high-power THz large-area PCA-emitters with new designs, with increased THz power, signal-to-noise ratio and spectral bandwidth, and their implementation in modern spectroscopic and imaging setups. Within the FY2024–FY2025 we carried out theoretical, technological and experimental studies, and held multiple research meetings at RIEC and international conferences (International Symposium on Terahertz-Related Devices and Technologies, Advanced Laser Technology conference, etc.).

[4] Research Plan and Content

During the first year of the project, we realized our seminal approach on a sapphire-fiber based large-area PCA-emitter, where we first numerically showed the impact of sapphire-fiber optics to the photocarrier confinement behind the fiber, and then provided experimental verification, showing a 5-fold THz power boost with a +~6 dB in signal-to-noise ratio (55 dB overall) of the sapphire fiber-based emitter compared to the ordinary one, where no fibers were implemented. We were then optimizing the performance of large-area PCA-emitters by new topology designs, using different types of fibers (providing an optimization of the Edge-defined Film-fed Growth technique), and working with destructive THz absorption in GaAs wafer.

Withing the second year of the project, we developed high-efficient 1D array large-area THz emitter consisting of a few single dipole PCAs and carried out its comparative study with a single PCA-emitter, demonstrating the superior performance of the 1D array for spectroscopic applications. We were first to show that an important trade-off in the array's period, which simultaneously impacts the laser pump efficiency and redistributes power between the main and side lobes of the THz beam.

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

In first instance, we have realized an experimental observation of the enhanced THz emission in a large-area PCA-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, an 8.5-fold THz power boost is achieved, resulting in a +9.3 dB increase in the dynamic range [P1,C1–C3]. Figures 1(a),(b) show a sketch of the developed large-area emitter with novel sapphire-fiber near-field optics atop. The 280-μm thick fibers were grown using the Edge-defined Film-fed Growth (EFG) technique, where crystal is grown from a melted 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 emitter's 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.

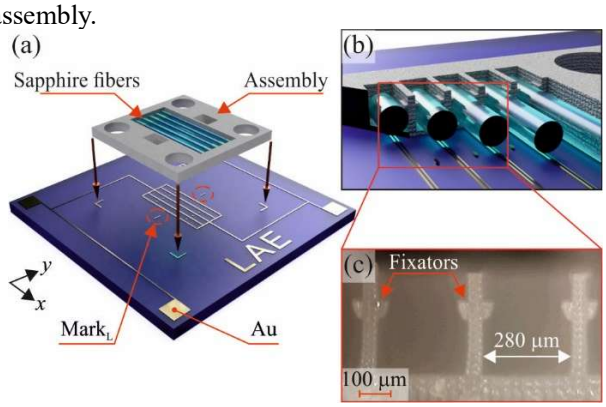


Figure 1. A scheme of the proposed THz Large-Area PCA-Emitter, i.e. LAE, with a sapphire fiber array atop. (a) Attaching the sapphire fiber array to the emitter surface via the 3D-printed polymer assembly. (b) 3D rendering of the sapphire fiber array handled in the assembly. (c) Microscopy of fixators 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.

Then, we developed a relatively simple and high-efficient 1D array PCA THz emitter with a judiciously designed topology comprising of only a few (5 and 7) dipole PCAs without any grating couplers. The array design showed a strong dependence of the array period on THz radiation pattern. Figure 2 shows the experimental data for the 1D array PCA-emitters with different T featuring the number of elements N = 5 and N = 7, compared to a single PCA-emitter.

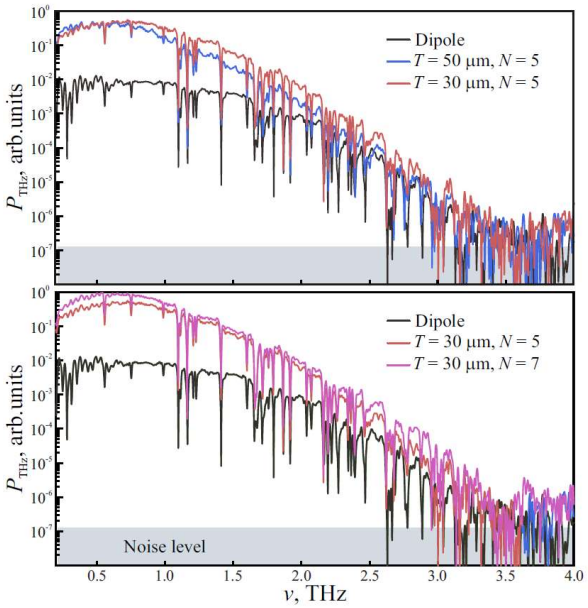


Figure 2. THz measurements for 1D array PCA-emitters in comparison with single dipole PCA-emitter: THz spectra for the array period T = 30 μm and T = 50 μm, the same elements number N = 5; (up) and (bottom) the same but for the fixed array period T = 30 μm, and different number N.

The THz experiments thus highlighted that the 1D array PCA-emitter with period T = 30 μm and N = 7 dipole PCAs demonstrates an 11-fold THz power enhancement within the 3.5 THz bandwidth, providing conversion efficiency $\beta \sim 4.3\times10^{-4}$, which is more than an order of magnitude higher than for a single-element PCA-emitter [P2,C4]. Important to notice that the array conceptualization is technologically reliable and is much easier and miniaturized compared to conventional large-area and large-aperture PCA-emitters. It can be easily integrated to any THz spectrometer and THz imaging modality, while its performance can be further increased with only a few improvements: (a) by scaling the emitting area of the device via a simple increase in the number of elements in the array; (b) via high-power laser systems, for instance, Ti:S laser; (c) by implementing plasmonic electrodes in the photoconductive gap of each individual PCA in the array. As seen at a certain frequency of $\nu = 0.5$ THz near maximum, the curves for both array emitters nearly coincide, while the magnitude of the spectral power density is $N^2 \simeq 25$ times larger than for single PCA-emitter.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

The development of high-efficient optoelectronic THz devices is essential for multiple high-speed applications and 5G/6G wireless link and space communication systems, as well as for personalized medicine and imaging modalities such as non-invasive histology. The results of the project show strong potential of the fabricated large-area optoelectronic devices as key components for modern pulse and CW spectroscopic and imaging applications. In near future we plan to increase crucial parameters of the emitters such as overall THz power, spectral bandwidth and signal-to-noise ratio (dynamic range of spectrometer).

[6] Summary and Future Challenges

Up to date, with the previous host research team of Prof. T. Otsuji (2017-2025) and current host research team of Prof. (Associate) A. Satou (since 2025-p.t.) we have published 12 high-impact journal papers (above 180 citations), also giving numerous common invited talks on international and domestic conferences. Now we focus on the development of a new-type prospective microresonator photoconductive large-area PCA-emitter, where a thin photoconductive GaAs layer (less than 1 μm) with moderate mobility (MM) of μ≈4000 cm^2/Vs is proposed to be mounted (via bonding) on a transparent to THz radiation Si substrate. A dielectric (Bragg) mirror made of different materials (TiO_2/SiO_2, SiN_x/SiO_2, etc.) will be sandwiched between GaAs and Si. Additionally, two different types of all-dielectric THz metasurfaces will be implemented from the backside of Si for redistribution of the THz power from low-to-high frequency regions to enhance the overall THz power and conversion efficiency.

【Appendix】

［Papers, Conference Presentations, and Related Achievements］

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

[P1] 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)
[P2] D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenev, R.R. Galiev, D.V. Garabov, R.A. Khabibullin, A. Satou, Yu.G. Goncharov, S.V. Garnov, K.I. Zaytsev, D.S. Ponomarev, Enhanced THz emission in a few-element 1D photoconductive antenna array, Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 46, 66 (2025)
[C1] 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
[C2] 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
[C3] D.S. Ponomarev, Japan-Russia International collaborative research of new designs of high-power large-area photoconductive antenna-emitters, RIEC Annual Meeting, February 14th 2026 (online)
[C4] D.S. Ponomarev, Japan-Russia International collaborative research of new designs of high-power large-area photoconductive antenna-emitters, RIEC Annual Meeting, February 19th 2026 (onsite)

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
王谷 洋平（公立諏訪東京理科大学工学部）

通研対応教員：
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）
櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）
佐藤 哲也（山梨大学大学院総合研究部）

[2]研究期間

２０２５年４月　～　２０２６年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

スケーリング則に沿った性能向上が限界に差しかかったと言われて久しい Si-CMOS 技術において、新たな性能向上策として高移動度チャネル層と high-k 絶縁膜の組合せによる MOS(MIS)構造が検討されてきている。高移動度チャネル層としては Si に比べ電子と正孔の両方の移動度が大きい Ge が有力候補の１つであり、近年、重要な課題であった MIS(MOS)構造における界面準位密度の低減やC-V特性のヒステリシス特性の向上が進んできた。しかし、これらの特性は製造プロセスに大きく依存するが、その物理に関しては種々の提案が行われているものの、統一した見解が得られていない。

このような背景を踏まえ、これまでのプロジェクト研究において各種 Ge-MIS 構造における種々のプロセス技術の効果とその物理を明らかにし、「統一的な説明ができるようにする」ことを目指した取り組みを行うなかで、ある特定のプロセス・温度領域で特異的な現象が生じることを示唆する実験結果が多数得られてきたため、今回のプロジェクト研究では、high-k/Ge 構造形成の際に、成膜時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というプロセス温度に起因すると考えられる点に着目し、その現象自体を明確にすることならびに、その原因の物理を理解することを目指した。

メンバー間の通常の打合せは主としてeメールによる紙上会議にて実行した。東北大学電気通信研究所にて開催された共同プロジェクト研究発表会におけるポスターセッション発表にて成果報告を行うとともに、対面での議論を行い現状の課題についてより深めることができた。

[4]研究計画及び内容

室温以上の温度領域において、真空蒸着法やスパッタ法で Ge 基板上へ high-k 絶縁膜を堆積し、high-k 絶縁膜の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た。high-k 絶縁膜材料としては、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いだ。これらの試料について、室温でのコンダクタンス法を用いて電気特性評価や界面とその近傍の欠陥評価を行った。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った。

真空蒸着法で形成した TiO_2/Ge 構造ならびにスパッタ法で形成した HfO_2/Ge 構造について詳細な電気特性評価を進めることにより物理構造の解析に取り組み、それまでに得られた室温以上の温度領域で形成した試料における評価結果とも比較検討し、生じている物理現象の本質を探った。これらを通して、室温以上の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 構造の 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た。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

基板洗浄を行ったインジウム(In)ドープの p 型 Ge 基板とホウ素(B)ドープの n 型 Ge 基板に対し超高真空チャンバー内 600ºC で 15 分間の真空熱処理後、基板温度を 600ºC、500ºC、400ºC に設定し電子ビーム(EB)蒸着法によりそれぞれ膜厚 5nm の

Ti を堆積した。管状炉内で酸素雰囲気下 400°C、450°C、500°C での酸化熱処理を 15 分間行った後に、EB 蒸着法により白金(Pt)上部電極と Pt 裏面電極をそれぞれ膜厚 50nm 堆積し特性評価用の試料を作製した。各試料に対して、半導体パラメータアナライザを用いた I-V 測定、LCR メータを用いた C-V/G-V 測定等を行い、Ti の堆積温度や PDA 温度が TiO_2/Ge 構造の電気特性に及ぼす影響について評価を行った結果の一部を示す。

Fig.1 に、試料作製のフローを示す。Fig.2 に基板温度 400°C で金属 Ti を堆積して作製した試料に対する I-V 測定結果をもとに算出した、J-V 特性の酸化熱処理温度依存性を示す。

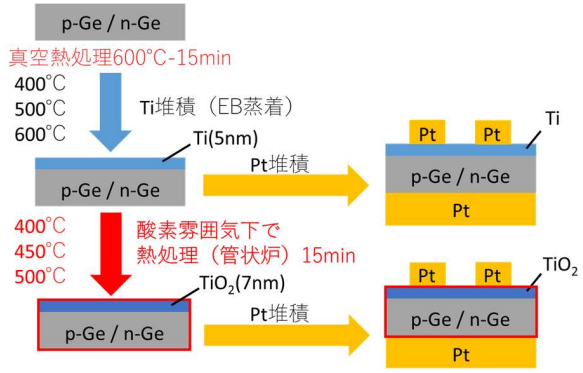


Fig.1　試料作製のフロー

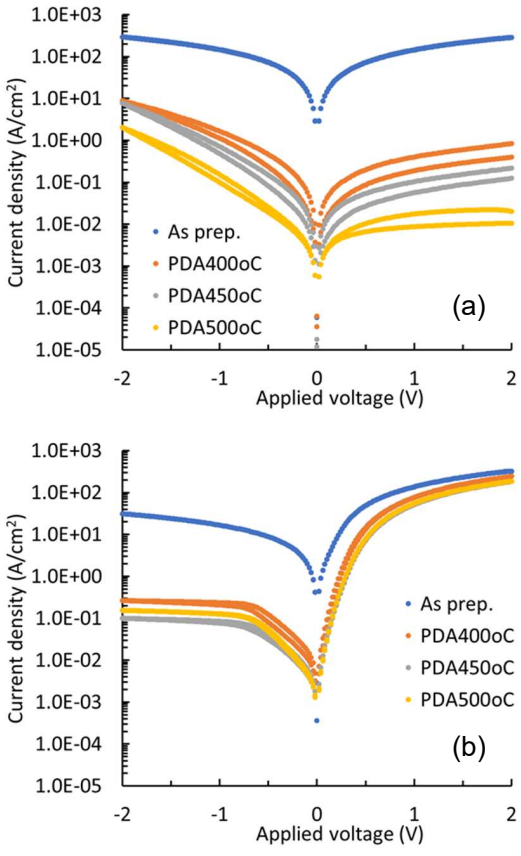


Fig.2　J-V 特性の酸化熱処理温度依存性
(a) on p-Ge (b) on n-Ge.

Fig.2 より、p-Ge 基板上ならびに n-Ge 基板上に作製した試料において、酸化熱処理温度を 400°C、450°C、500°C と上昇させることにより、漏れ電流密度が大幅に低減したことから，酸化熱処理温度の上昇とともに Ti の酸化が進み絶縁性が向上したことが推察された。p-Ge 基板上に作製した試料においては、酸化熱処理温度の違いが絶縁特性に大きく影響を及ぼしたのに対して、n-Ge 基板上に作製した試料においては、酸化熱処理の有無により絶縁特性に大きな違いが生じたものの酸化熱処理温度の違いは絶縁特性に大きな影響を及ぼさなかったことが明らかとなった。また、p-Ge 基板上ならびに n-Ge 基板上に作製した試料において、大きな整流特性の発現が確認された。本稿では紙面の都合上、測定データを示していないが、金属 Ti 堆積時の基板温度の違いが、その後の酸化熱処理の効果に大きな影響を及ぼすことも明らかとなった。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクト研究においては，これまでに多様なプロセス技術を用いて種々のゲートスタック構造を作製し、作製した試料の特性等について検討を進めてきた。酸化物系及び窒化物系の high-k 膜を有する各種の high-k/Ge-MIS 構造を複数のプロセス手法によって形成し，評価を行ってきたものの特性の違いを引き起こすメカニズムについては、統一的見解を見出すに至っていない。しかしながら、応用物理学会の春季/秋季学術講演会の場や、”International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics”の場などで情報交換や議論を更に深めることができると考えられる。

[6]まとめと今後の課題

今年度の共同研究プロジェクトにおいては、high-k/Ge 構造形成時のプロセス温度が、界面特性に非常に大きなバリエーションを与えるという現象自体は追認することができたが、その原因の物理を理解するには至らなかった。

今後の課題としては、現状の電気特性評価システムにおいては、試料の測定・評価に過大な時間を要するため、上記の未解決課題を解決するためにも、測定時間の短縮化を図るとともに、測定系の増強によるアウトプットの増大を図る必要性を感じている。測定に必要な装置の調達ならびに測定系の早期立ち上げに取り組みたいと考えている。

謝辞

電気特性の測定ならびに評価に協力頂いた公立諏訪東京理科大学学部生の砂畑一應氏、中尾海斗氏、宮入健氏に感謝致します。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・砂畑一應,中尾海斗,宮入健,佐藤哲也,王谷洋平, “EB 蒸着法により形成した Ti/Ge 構造への酸化処理温度の影響”, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 15a-W8E_101-1, 2026 年 3 月 15 日, 東京科学大学, 東京都目黒区.

・山田大地,佐藤哲也,王谷 洋平, “RF スパッタ堆積した HfO_2/Ge 構造の電気特性に堆積温度が及ぼす影響”, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 15a-W8E_101-2, 2026 年 3 月 15 日, 東京科学大学, 東京都目黒区.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・山本悠矢,浅川和宣,深津邦夫,王谷洋平,佐藤哲也, “光散乱式ウエハ表面検査装置を用いたプラズマ照射半導体基板の表面ダメージ評価（Ⅱ）”, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 18a-PB4-10, 2026 年 3 月 18 日, 東京科学大学, 東京都目黒区.

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　　R05A11

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] 研究組織

研究代表者：
末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員：
末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者
古市 朋之 (東北大学電気通信研究所)
太郎丸 眞 (福岡大学)
亀田 卓 (広島大学)
谷藤 正一 (沖縄工業高専)
本良 瑞樹 (静岡理工科大学)
Banda Daliso (University of Zambia)
Jean Temga (Silicon Austria Lab.)

[2]研究期間

令和 6 年 4 月　～　令和 8 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

無線通信用マイクロ波・ミリ波帯送受信機の小型，低消費電力化を目指して，RF 信号を直接ベースバンドあるいは中間周波数(IF)のディジタル信号に変換する，あるいは，これらディジタル信号を直接 RF 信号に変換するダイレクトディジタル RF 技術への期待が高まっている。従来はサンプリング周波数の 1/2 が RF の上限周波数となるナイキストサンプリングによる 3GHz 帯以下の送受信機での報告例しかなかったものを，我々の研究グループは，2017 年度～2019 年度の共同プロジェクト研究（タイプＡ）「H29/A13 ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究」、さらには、2020 年度～2022 年度の「R02/A15 超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送受信機の研究」を活用して，ナイキスト周波数を大きく超える RF 周波数の信号を直接ディジタル信号から生成し送信する，あるいはその逆に受信する「ダイレクトディジタル RF 送受信機」を研究・開発してきた。

今後，6G などでは、28GHz 帯、あるいは、40/50GHz 帯などのミリ波帯だけでなく、超 100GHz 帯の新しいサブ THz 帯の周波数が注目されており、この開拓が急務になっている。周波数コンバータを使った従来構成の超 100GHz 帯送受信機であれば、研究開発段階から実用化段階に移行しつつあるが、前述の新しいアーキテクチャである超 100GHz の RF 信号の送受信を可能とするダイレクトディジタル送受信機技術については、実現の目処が立っていない。本研究では、超 100GHz 帯の RF 信号の送受信を可能とするダイレクトディジタル送受信機に必要となる要素技術を開発し、その実現性を示すことを目的にする。この研究目標にむけて，国内外の複数の大学，高専，研究機関，企業の研究者を交えて，ダイレクトディジタル RF 方式の送受信サブシステム，送受信機構成，RFIC 技術の基礎的な研究を行う。

・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

研究打ち合わせは、ほぼ月に一度、ディジタル RF の研究開発に関わっている末松研究室の学生を含めて、ハイブリッド形式で実施した、さらに、海外の研究者に関しては、Jean Temga 氏を 2026 年 3 月 16-19 日の期間、通研に招聘し、主に超 100GHz 帯のアンテナへの適用、評価について、議論を行い、さらに測定系に関して、実験室にて実物を見ながら意見交換をした。

[4]研究計画及び内容

・研究計画

2023 年度、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 試作を行う予定としていたが、コロナ禍以降の半導体市況の変化に伴い、アカデミックシャトルと呼ばれている無償 RFIC 試作が実質的に中止されてしまい、IC 設計までで終了となってしまった。

このため、計画を変更して、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こととした。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する。また、オンチップアンテナについては、100GHz 帯オンチップアンテナに関して、当方と共同研究の経験を持つ、Silicon Austria Lab.(SAL)の Jean Temga 博士と連携して、研究開発を実施する。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

マンチェスタ(MAN) 符号化 1-bit バンドパスデルタシグマ変調器(BPDSM) と周波数 3 逓倍器を用いた W 帯の高出力ダイレクトディジタル RF 送信機の提案と実証実験を行った。このダイレクトディジタル RF 送信機は，局部発振器(LO) とミクサから構成されるアナログアップコンバータを必要とせず，市販部品(COTS) のみで構成されている。提案する W 帯ダイレクトディジタル RF 送信機の構成と各部における信号スペクトラムを図 1 に示す。基本波周波数 1.5 GHz で 21 Gbps の MAN 符号化 1-bit BPDSM 信号の 5 次イメージ(30GHz)，および 6 次イメージ(33 GHz) をアクティブ 3 逓倍器に入力する．3 逓倍出力として得られる 17 次イメージ成分(93 GHz) を送信信号として取り出す。

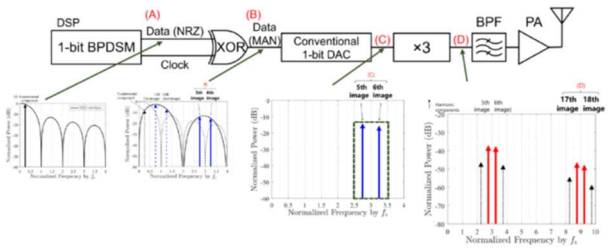


図 1 提案する W 帯ダイレクトディジタル RF 送信機構成(マンチェスター符号化+3 逓倍方式)

5Msps の 16QAM 信号を用いた実証実験を行った。図 2 にマンチェスタ符号化して生成された下側波帯(LSB)と上側波帯(USB)の信号スペクトラムとコンステレーションを示す。これは、3 逓倍器の入力信号となる 30GHz 帯に生成された 2 信号である。次いで、図 3 に 3 逓倍器出力のスペクトラムとコンステレーションを示す。測定した 93 GHz の送信信号では，出力電力+3.1 dBm、ACLR −23.5 dBc、EVM 7.3% を達成した。

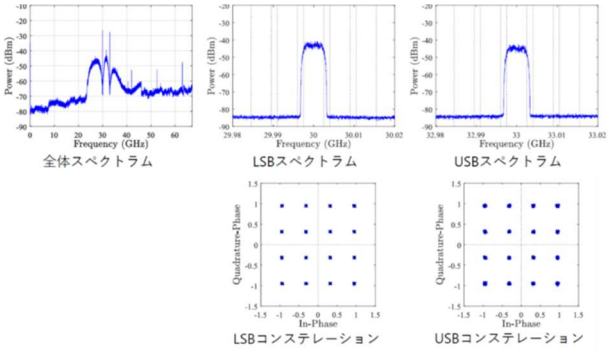


図 2 マンチェスタ符号化して得られた 3 逓倍器入力信号の特性

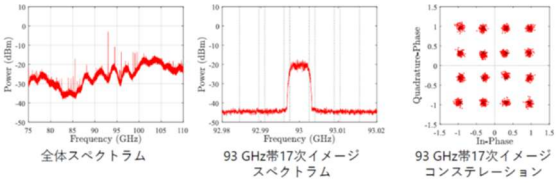


図 3 3 逓倍器出力である送信信号の特性

なお。この成果は、2026 年 6 月に開催される世界最大のマイクロ波関連国際会議である IEEE MTT-S IMS の中の RFSA2026 に採録決定している。

（5-2）波及効果と発展性等

2022 年度に NICT の B5G 基幹プロジェクト(5 年間)として 40/50GHz 帯のダイレクトディジタル送受信機を用いた衛星搭載 DBF アンテナが採択され、現在も引き続き実施中であるが、2026 年度で修了予定である。このため、本研究成果を含めた形で、2026 あるいは 2027 年度開始のプロジェクトへの提案活動を実施中。

[6] まとめと今後の課題

これまで 28GHz 帯までの実現性しか見通せていなかった、ダイレクトディジタル RF 送受信機技術を本共同プロジェクト研究にて、超 100GHz 帯が見越せる程度まで、発展させることができた。これにより 2022 年度から開始している NICT B5G の次世代日本版 LEO コンステレーション衛星通信システムで検討している Q/V(40GHz/50GHz)帯 DBF アンテナへの展開、さらには、100GHz 程度の W 帯への展開が実用的な通信装置への適用という観点で、示すことができたのは大きな成果だと考える。ディジタル RF のミリ波、サブ THz 波への展開を具体的に示したのは、世界でも初めてのことであり、この成果をもとに、今後の研究開発の提案、実用化が進むことが見込まれる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・古市 朋之,長張 永哉,芝 隆司,末松 憲治,「広帯域リアルタイムスペクトラムモニタ装置を用いた 2.4 GHz / 5GHz 帯マルチパスフェージング測定」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会,C-2C-14, Sep. 2025.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Yuki Fujiya, Ryosei Miyagawa, Tomoyuki Furuichi, Satoshi Tsukamoto, Noriharu Suematsu, “A W-Band +7dBm Output Power Direct Digital RF Transmitter Using Manchester-Encoded 1-bit BPDSM and Frequency Tripler,” 2026 IEEE MTT-S Radio Frequency Systems and Applications (IMS RFSA), June 2026. (採録決定、発表予定)

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織
研究代表者：
伊藤　桂一（秋田工業高等専門学校）

通研対応教員：
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
松田　英昭（秋田工業高等専門学校）
保坂　真志（秋田工業高等専門学校）
柴田　勝成（秋田工業高等専門学校）
加藤　航雅（秋田工業高等専門学校）
田村　祐太（秋田工業高等専門学校）
原田　蒼（秋田工業高等専門学校）
藤田　グリーシャ（秋田工業高等専門学校）

[2]研究期間
2023 年４月　～　2026 年３月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
MMIC（マイクロモノリシック集積回路）の開発により高周波プリント回路基板は集積化が進み，基板実装型デバイスはより小型化が求められる。特に，携帯電話などの陸上無線通信は 5G の導入により従来の陸上移動体通信ネットワークだけではカバーできず，Q 帯（36～46 GHz）以上の高周波モジュールの開発が急務となっている。また，ミリ波部品同士をつなぐ伝送線路も省スペース化とカスタマイズ性が求められる。

本プロジェクトではミリ波プリント基板に実装する小型デバイスと，ミリ波部品同士をつなぐ誘電体線路について， 3D プリンタを利用したデバイスの試作法およびその設計法について新規に開発することを目的とする。性能だけでなくミリ波帯の微細な寸法条件も満足する設計法として数値的アルゴリズムによる最適化手法を導入する。さらに柔軟性の高い設計法としてトポロジー最適化に着目し，3D プリンタに対応した設計法の開発を目指す。

以下，本プロジェクトの概要を記す。
・研究打ち合わせおよび測定（松田技術職員）
R5 年度 3 回（6/2，10/6，2/19）
R6 年度 2 回（12/12，2/28）
R7 年度 1 回（1/16）
・学会発表
R6 東北地区若手研究者研究発表会（3 名，2/28）
R7 高専シンポジウム（1 名，1/24）

[4]研究計画及び内容
本プロジェクトは 3 年計画でミリ波デバイスとして基板実装フィルタ，ミリ波伝送線路として誘電体充填導波管フィルタおよび分波器の開発を行う。本プロジェクトはこれまで培ってきた 3D プリンタとメッキ技術による導波管作製技術を用いることにより，安価かつカスタマイズ性の高いミリ波デバイスおよびミリ波伝送線路の設計・試作法の提案を行い，最終的に試作，測定まで行うことを目標としている。

2023 年度は基板実装フィルタの設計に必要となるモデリングおよび計算，フィルタ構造の調査と試作の可能性を含めた材料の選定を行う。モデリングは FDTD 法（時間領域差分法）で行い，まずはプリント基板線路の基礎特性の計算を行う。次にトポロジー最適化を組み込み基板実装フィルタの最適化について検討し，バンドパスフィルタの設計を行う。トポロジー最適化はこれまで実績のある NGnet（正規化ガウス関数ネットワーク）を用いる。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。分波器は分岐部分をトポロジー最適化による構造設計を行い，3D プリンタ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 40~50 GHz に設定して設計および試作を行う。各種測定は貴研究所内で行う予定である。

[5] 研究成果と波及効果等
（5-1）研究成果
3D プリンタを用いたミリ波誘電体充填導波管を用いたフィルタの試作を行った。3D プリンタでミリ波導波管フィルタの形を造形した後で無電解ニッケルメッキを施すことにより誘電体充填導波管フィルタを実現する。誘電体充填導波管は通常の導波管と異なり，導波管内が誘電体で埋められているものである。今回は 3D プリンタフィラ

メントの PLA＋で角柱を印刷し表面をメッキすることで導波管を構成する。導波管規格は WR-19(4.78×2.39mm)とした。この誘電体充填導波管に絞りを入れることでバンドパスフィルタとなるように FDTD 法を用いて設計を行った。透過周波数は 50 GHz である。絞りは 3DP の印刷可能角度を考慮して角度をつけ，2.8 mm (3/4λ_g)間隔として 3 か所設置した。導波路の長さは 20 ㎜とし，同軸導波管変換器に差し込むために両端 3 ㎜余白をとっている。印刷後，ニッケルメッキ溶液で 2 時間メッキして完成であるが，強度を持たせるためさらに樹脂でコーティングした（図 1）。

ネットワークアナライザを用いて試作品の伝送特性の測定を行った。測定は貴究所内で行った。測定結果を図 2 に示す。絞りのない誘電体充填直線導波管の透過特性は平坦な周波数特性であるのに対し，誘電体充填導波管フィルタはピークとなる周波数が観測された。設計した 50 GHz よりも低周波側にシフトしている傾向が見られたが提案構造によりフィルタ特性が得られることを示した。



図 1　試作した誘電体充填導波管フィルタ

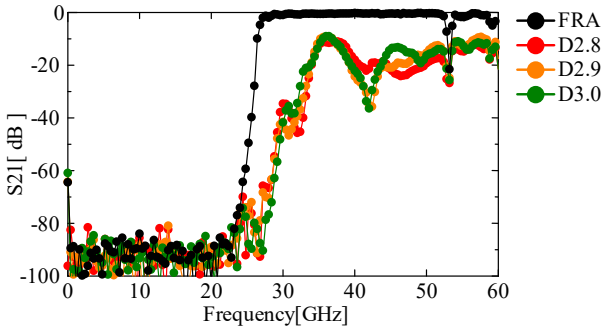


図 2　測定結果（s_{21}の周波数特性）

次にミリ波プリント基板用フィルタの新規構造の創出について検討した。3D プリンタを用いてフィルタ素子を開発するために，設計法としてトポロジー最適化を導入し，構造設計によるフィルタ特性の実現が可能か明らかにする。プリント基板は 100.0×20.0 mm，厚みは 0.8 mm，FR4 を想定して比誘電率は 4.4，損失は tanδ=0.016 を与えた。基板裏面はアース面である。線路の両端には入射波源としてガウシアンパルス，終端抵抗として 50 Ω を与えている。また，マイクロストリップラインの幅は特性インピーダンス Z_0 が約 50 Ω となるように 1.0 mm とした。マイクロストリップラインの中心に間隔を設けており，この間隔を調整し結果を比較する。以後，この間隔のことを GAP という。

トポロジー最適化では NGnet を用いて構造設計を行う。最適化のための目的関数は 40 GHz における透過係数 s_{21} の最大化とした。フィルタ設計領域は 15×10×8 mm としており設計領域の比誘電率は 2.6，誘電正接 tan δ は 0.003 を与えている。ともに 3D プリンタのフィラメントとして PLA を想定した値である。GAP を変えたときの最適化結果を図 3 に示す。フィルタ非装荷時よりもフィルタ装荷時の s_{21} が向上することから設計したフィルタが伝送経路となっていることが示唆された。また，構造設計によりフィルタ特性が得られる可能性があることを示した。

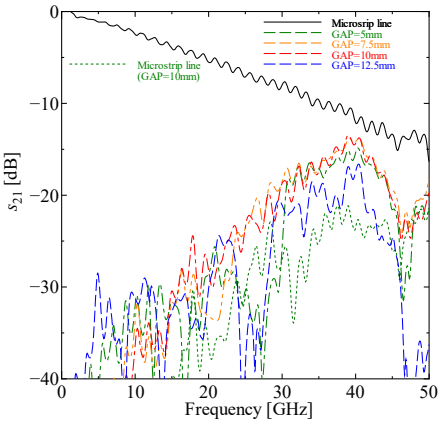


図 3　最適化結果（s_{21}の周波数特性）

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトによって汎用 3D プリンタとニッケルメッキを用いて高価なミリ波デバイスを安価に試作できることを示した。高誘電率低損失な 3D プリンタフィラメントの開発も始まっており，本プロジェクトによって得られた設計技術は今後の幅広い応用が期待される。

また，関連する研究成果によって高誘電率誘電体材料のミリ波デバイスへの導入と性能評価を行った。研究成果の一部は新規材料の開発に関する共同研究に結びついており，今後さらなる発展が期待される。

[6]まとめと今後の課題

ミリ波誘電体充填導波管フィルタの試作ではバンドパス特性が得られた。設計結果に比べて測定結果ではピークとなる周波数が低周波側にシフトしていることが分かった。今後も形状の修正や再設計などを行い，通過帯域を自在に制御可能な設計法を完成させる予定である。提案構造を基板用フィルタにも応用し，フィルタ特性が得られる条件を探索すること，高誘電率材料を用いて寸法短縮を実現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）

・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)

・柴田 勝成, 伊藤 桂一, 野村 政宗, 武居 周，“トポロジー最適化を用いたミリ波プリント基板用フィルタの設計”，令和 6 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会，26, p.47(2024.11)

・柴田勝成, 伊藤桂一, 野村政宗, 武居周，“ミリ波プリント基板用フィルタの最適設計に関する研究”，令和 6 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，T24-P1-43(2024.11)

・柴田勝成, 伊藤桂一, 野村政宗, 武 周，“ミリ波プリント基板用フィルタ素子の開発に関する研究”，電子情報通信学会技術研究報告，EST2024-102，pp.46-50(2025.1)

・松田英昭, 野坂肇, 西野智路, 伊藤桂一, 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フィルタの試作”，第 30 回高専シンポジウム inOkayama，P-089(2025.1)

・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)

・柴田勝成，伊藤桂一，野村政宗，菅原英子，武居周，“電磁界解析を用いたミリ波プリント基板用フィルタ素子のトポロジー最適化”，第 6 回高速信号伝送研究会 2024 年度学生研究発表会，HSTE-2024-01(2025.3)

・松田英昭，伊藤桂一，野坂肇，西野智路，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フィルタの試作と測定”，令和 7 年電気学会全国大会，1-018 (2025.3)

・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," International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.78, Issue 1-3, pp.85-89(2025.7)**（査読あり）**

・松田英昭, 野坂肇, 西野智路, 伊藤桂一, 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フィルタの再設計と試作”，第 31 回高専シンポジウム in Amagasaki，P-113(2026.1)

・加藤航雅, 田中将樹, 松田英昭, 伊藤桂一, 佐々木友之，“誘電体を用いたミリ波アンテナのトポロジー最適化に関する研究 ”，令和８年東北地区若手研究者研究発表，YS-24-P78，pp.321-322(2026.3)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・田村祐太, 田中将樹, 伊藤桂一, 佐々木友之，“高誘電率材料を用いたミリ波アンテナ用誘電体レンズの試作”，令和８年東北地区若手研究者研究発表，YS-24-P79，pp.323-324(2026.3)

共同プロジェクト研究

RIEC Cooperative Research Projects Report

Grant No.　R05/A13
Title

New generation of 2d material-based devices for terahertz technology

［1］Research Organization

Principal Investigator：
Yahya Moubarak Meziani (Salamanca University, Spain)

Research Collaborators of RIEC：
Prof. Taiichi Otsuji (RIEC, 2023.04~2025.03)
Dr. Akira Satou (RIEC, 2025.04~2026.03)

［2］Research Period

2023, April　～　2026, March

［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

This project aims to develop advanced terahertz (THz) radiation detection and emission devices by leveraging the unique optoelectronic properties of graphene (Gr) and hexagonal boron nitride (hBN). Building upon our successful fabrication of the first room-temperature Asymmetric Dual Grating Gates Graphene Field effect transistor (ADGG-GFET), the project seeks to significantly enhance device responsivity through the integration of specialized antennas and the optimization of high-quality h-BN/Gr/h-BN encapsulated stacks. We fabricated different devices and characterized their detection performance across the 0.1–4.7 THz range while investigating complex architectures, such as double-graphene-layer (DGL) structures, to advance the state-of-the-art in 2D-material-based THz technology.

As part of the excellence requirements and doctoral training of the University of Salamanca, a PhD student completed a research stay at Tohoku University from January 5, 2025, to February 9, 2025, focusing on advanced device characterization and collaborative knowledge transfer. Utilizing the host institution's specialized facilities and the one of RIKEN-Sendai group headed by Pr. Minamide. The researcher characterized various electronic devices while simultaneously training two local students in high-precision mechanical exfoliation and the fabrication of van der Waals heterostructures (hBN/Graphene/hBN). Throughout this period, the partnership was sustained by a rigorous schedule of on-site presentations, online meetings, and technical email exchanges, ensuring a continuous and productive dialogue regarding the experimental results between both research teams.

［4］Research Plan and Content

The fabrication process was conducted within the University of Salamanca's cleanroom facility, utilizing mechanical exfoliation to isolate high-quality flakes of graphene and hexagonal boron nitride. These 2D materials were assembled into van der Waals heterostructures using the hot-pickup technique, resulting in an encapsulated h-BN/Gr/h-BN stack designed to preserve intrinsic electronic properties.

Following fabrication, the research plan proceeded to rigorous characterization phases:

- Electronic Transport Analysis: Initial validation involved current-voltage (I-V) measurements to identify the Dirac point and calculate carrier mobility, ensuring the high quality of the graphene channel.
- Terahertz Characterization (Salamanca): Detection performance was evaluated at Professor Meziani's laboratory, spanning a wide temperature range (4K to 300K) and a frequency spectrum of 0.075 to 4.7 THz.
- International Collaborative Testing: Further benchmarking was conducted using specialized instrumentation at RIEC (utilizing UTC-PD THz sources and FTIR setups) and RIKEN (employing THz parametric sources).

The project concluded with a collaborative analysis of the resulting data, involving all participating research groups in the interpretation of findings and the subsequent drafting of the manuscript.

［5］Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

To enhance carrier mobility and shield the channel from environmental degradation, a graphene layer was encapsulated between two flakes of hexagonal boron nitride (h-BN) to form a van der Waals heterostructure. These 2D materials were prepared via mechanical exfoliation and assembled using the hot pick-up technique. The resulting h-BN/Gr/h-BN stack was integrated into a device architecture featuring asymmetric dual-grating top gates and a 90° bowtie antenna with a 500 μm radius, as illustrated in Figure 1. Three devices were successfully fabricated using the hot pick-up technique (see Fig. 1). The set includes two bilayer graphene channel devices and one monolayer graphene device; their specific geometrical parameters are detailed in Table 1.

Table 1: Geometrical parameters of the fabricated devices.

	L_{SD}	L_{G1}/L_{G2}	L_{G2}	d_1/d_2	G_1/G_2	graphen
ADGG**1**	23.5	1.5/0.75	0.75	1/0.5	6/6	Bilayer
ADGG**2**	13	1/0.5	0.5	1/0.5	4/4	Bilayer
ADGG3	14	1/0.5	0.5	2/0.5	3/3	mono
All sizes are in μm						

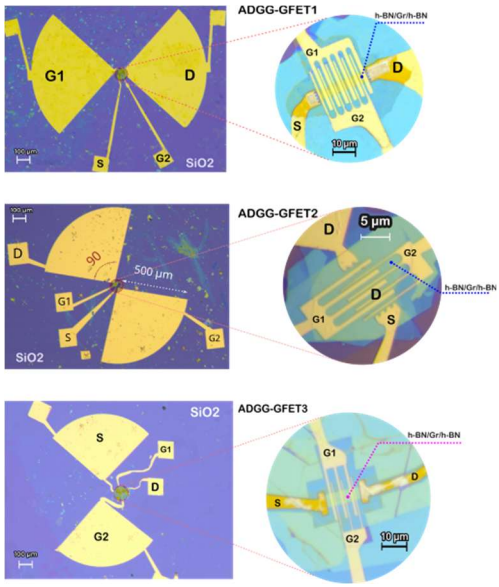


Fig. 1. Microscope photo of the fabricated asymmetric dual grating gate FETs with an integrated bow-tie antenna.

The doped silicon substrate was used as the back gate contact. The devices w*ere* 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 obtained for all devices as is shown in figure 2 for two devices.

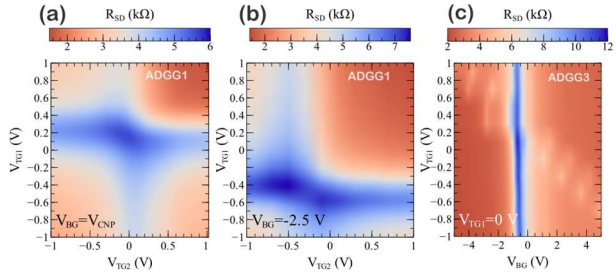


Fig. 1. Typical channel resistance (a) versus both top gates for ADGG1 at fixed back gate at charge neutrality point (CNT) (b) versus top gates at V_{BG}=-2.5V and (c) versus V_{BG} and V_{TG} for ADGG3. All measurements were performed at 8K.

A TeraShotkky THz source (0.075-0.6 THz) and a quantum cascade laser (2.5- 4.7 THz) were used to excite the devices. The photocurrent was recorded at the drain using a lock-in amplification technique. As shown in Figure 3, the ADGG1 device exhibited a distinct response when the terahertz beam was modulated. Under excitation at 3.9 THz, a photocurrent of approximately 3.5 nA was achieved; ***this represents a significant enhancement—by an order of magnitude—compared to the 100 pA signal observed in our initial prototype (as detailed in the first-year report).*** Figure 4 shows the obtained photocurrent, for ADGG1, as a function of both top gates and at different frequencies. 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.

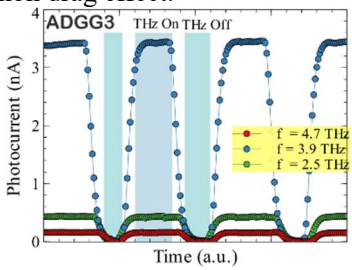


Fig. 3. Photocurrent, obtained from ADGG3, versus time when the THz beam was switched on and off and under excitation of three tones: 2.5 THz, 3.9 THz and 4.7 THz

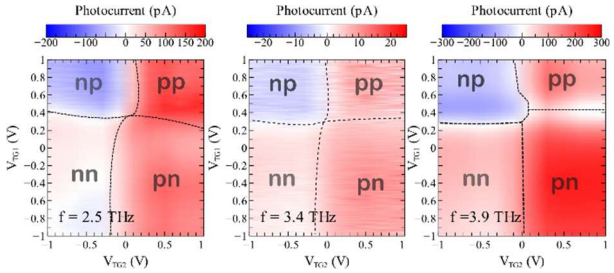


Fig. 4. Mapping of photocurrent for the case of ADGG1 as a function of both top gates and under excitation at different frequencies.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

Professor Otsuji is now part of the Ensemble3 institution in Poland and thanks to this project, we are now applying for the M-ERA net call of European union that include other two institutions from France and Poland. The project aim is to develop new era of terahertz emitters and is now under review.

Professors A. Sato, T. Otsuji, and Y.M. Meziani serve on the steering committee for TeraTech, an international symposium focused on "Fundamental & Applied Problems in Terahertz-related Devices & Technologies." Established by these researchers in 2012, the conference serves as a dedicated forum for the THz community and has been hosted multiple times in Sendai, Aizu, and Salamanca. These researchers remain actively involved in steering the symposium's direction, ensuring its continued success and scientific impact within the field.

The most recent iteration of the symposium, TeraTech 2025, was held in Salamanca from June 2 to June 6, 2025, bringing together approximately 60 international participants from Europe, Asia, USA and Africa.

[6] Summary and Future Challenges

Future research efforts will focus on expanding device fabrication and investigating detection performance at higher temperatures and frequencies. Specifically, we will characterize the photoresponse as a function of incident light polarization and evaluate response speeds up to 5 kHz.

A second research thrust involves developing a new class of 2D-material-based devices for terahertz emission. These devices will be fabricated at the

University of Salamanca, with experimental characterization performed at Professor Otsuji's laboratory at RIEC, Tohoku University. We intend to submit these findings to high-impact, open-access, peer-reviewed journals and will support our students in presenting their work at major international conferences.

The final phase of the project focuses on the practical application of these devices in next-generation telecommunications. Utilizing RIEC's specialized facilities, the teams will demonstrate **high-data-rate communication performance**, validating the ADGG-GFET's efficacy for high-speed THz wireless links.

【Appendix】

［Papers, Conference Presentations, and Related Achievements］

（1） List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

- Otsuji, T., et al. Recent advances in the physics of Dirac plasmons in graphene and related 2D materials and their THz device applications. Applied Physics Express 19, 020103. issn: 1882-0778 (2026).
- Abidi, et al. High-Frequency Terahertz Rectification in Bilayer Graphene-Based Asymmetric Dual Grating Gates Field Effect Transistor. International Journal of High Speed Electronics and Systems, 2641005 (2026). https://doi.org/10.1142/S0129156426410053.
- E. Abidi *et al*., "Terahertz rectification up to 2.5 THz by using an Asymmetric Dual-Grating Gate GFETs via ratchet effect," *2025 50th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)*, Helsinki, Finland, 2025, pp. 1-2, doi: 10.1109/IRMMW-THz61557.2025.11319891.

（2） List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

- Dinar, K., et al. Spin-Dependent Photovoltage and Tunable Zero-Field Splitting in Graphene Transistors. International Journal of High Speed Electronics and Systems 0, 2641004 (2026). https://doi.org/10.1142/S0129156426410041.
- Delgado-Notario,et al. Unveiling the Miniband Structure of Graphene Moir´e Superlattices via Gate-Dependent Terahertz Photocurrent Spectroscopy. ACS Nano 19. PMID: 40689458, 27338–27350. eprint: https://doi.org/10.1021/acsnano.5c05306. (2025).
- Dinar, K., et al. Spin-dependent photovoltage in graphene/MoS2-based field-effect transistors. Phys. Rev. Appl. 23, 044043 (4 Apr. 2025).
- Hammoumi, E., Chaudhary, V., Meziani, Y. M. & Elfatimy, A. Self-strained MoS2 growth on optical fiber: exotic excitonic features. Journal of Physics D: Applied Physics 58. issn: 1361-6463. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/add276 (2025).
- Abidi, et al. Spherical and Aspherical Lenses for Boosting the Performance of Terahertz Imaging Systems. ADVANCED PHOTONICS RESEARCH 6. issn: 2699-9293 (2025) https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.23.044043

共同プロジェクト研究報告書

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]研究期間

2024 年 4 月　～　2026 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，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．

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトでは，VR/AR ワークスペースにおいて，作業を中断することなく頸部ストレッチを支援する手法を Screen-Directed Stretching と名付け，この手法の設計・実装・評価を行った．この手法は，ユーザが注視しているバーチャルスクリーンを一時的に移動させることで，ヨー・ピッチ・ロール方向への頭部回旋と一定時間の姿勢保持を自然に誘導し，作業中でも頸部の筋伸張を促す．本手法を用いて実際にデスクワークを実施してもらうユーザスタディ（N=16）を実施した結果，本手法によるストレッチの誘導が，タスクパフォーマンス，主観的タスク負荷，シミュレータ酔いに大きな悪影響を与えるわけではないことが確認された．また，本手法により，参加者の関節可動域に応じて正しくストレッチ動作を誘導できていることが示された．一方で，ストレッチ誘導の主観的な許容度は，参加者の肩こり等の経験の有無によって異なり，肩こりの経験のない参加者には煩わしいと評価される傾向にあったことがわかった．

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

上記の成果をまとめた結果は，日本バーチャルリアリティ学会 第 30 回大会で 2025 年 9 月に発表し，さらに当該分野のトップ国際会議である ACM CHI 2026 に採択され，2026 年 4 月に発表した．

（5-2）波及効果と発展性等

本プロジェクトの成果は，国内外の学術発表を通じて，XR ワークスペースにおける身体性・健康支援・作業支援を統合する研究として広く共有された．具体的には，日本バーチャルリアリティ学会第 30 回大会（2025 年 9 月 17 日～19 日，立命館大学大阪いばらきキャンパス）において発表し，国内の VR/AR 研究者との議論を深めた．また，ACM CHI 2026（2026 年 4 月 13 日～17 日，Centre de Convencions Internacional de Barcelona, Barcelona, Spain）に採択・発表されたことにより，Human-Computer Interaction 分野の国際的な研究者との交流が進み，XR 環境における健康増進型インタラクション，作業中断を伴わない運動誘発，および職場・教育・リハビリテーション等への応用可能性について，新たな国際共同研究に向けた具体的な議論が進展している．

さらに，本研究で得られた Screen-Directed Stretching の設計知見と評価結果は，動的 VR/AR ワークスペースを用いた身体負荷の軽減，長時間デスクワークにおける健康リスク低減，およびユーザの作業文脈に適応するウェルビーイング支援技術へと発展可能である．今後は，対象とする身体部位や作業環境を拡張し，実環境・長期利用における効果検証を進めるとともに，国内外の研究者・企業との連携体制を強化する．これらの成果と研究ネットワークを基盤として，関連する大型予算の獲得に向けた研究計画の具体化と申請準備

を進めている．

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトでは，XR ワークスペースにおいて作業を中断せずに頸部ストレッチを誘導する Screen-Directed Stretching を設計・実装し，ユーザスタディを通じてその有効性と実用可能性を確認した．今後は，対象とする身体部位や作業環境を拡張し，長期利用時の受容性や健康改善効果を検証するとともに，実環境での導入に向けた設計指針の整理を進める．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

Ryo Sasaki, Kazuyuki Fujita, Yudai Tanaka, Ryo Takahara, Kumpei Ogawa, Yoshifumi Kitamura. Screen-Directed Stretching: Supporting Ergonomic Neck Stretching in XR Workspaces, P*roc. of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2026)*, Apr. 2026.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

佐々木涼，藤田和之，田中雄大，髙原良，北村喜文．バーチャルスクリーンの移動による XR ナレッジワーク中の頸部ストレッチング誘導手法．日本バーチャルリアリティ学会第 30 回大会論文集，pp. 3D2-04，2025 年 9 月．

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
谷井 孝至（早稲田大学理工学術院）

通研対応教員：
山本 英明（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）
平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）
久保田 繁（山形大学 大学院理工学研究科）
Jordi Soriano（University of Barcelona, Institute of Complex Systems）
香取 勇一（公立はこだて未来大学 複雑系知能学科）
藤原 直哉（東北大学 大学院情報科学研究科）
Brett J. Kagan（Cortical Labs Pty Ltd, Chief Scientific Officer）

[2]研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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．

[4]研究計画及び内容

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した．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た．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

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．

次年度の R6 年度には，後述のとおり，この共同プロジェクト研究に関わるメンバーが中心となって，文部科学省 科学研究費助成事業 「学術変革領域研究(A)」に採択され，早稲田大に高密度マルチ電極アレイ（HD-MEA）が導入されたことにより，東北大と早稲田大グループとの共同研究が加速した。特に HD-MEA を用いた神経細胞回

路の発火パターンの検出と，発火パターンに依存して HD-MEA を介して同神経細胞回路に電気刺激を印加するフィードバック系のシステム構築が進んだ.

R6 年度末に東北大学 電気通信研究所で博士号を取得した佐藤 有弥氏が R7 年度に早稲田大学の次席研究員として着任し，HD-MEA を用いた神経細胞回路の発火パターン検出および電気刺激の導入に関する研究が協力に進み，神経細胞回路と培養骨格筋組織を結びつけた新しい人工細胞システムとしての「ウェットウェア」構想が誕生した。

上記の共同研究を進めた他，毎年１回，東北大学電気通信研究所において国際シンポジウム：RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer を開催した．令和 6 年 2 月 27〜28 日に東北大通研で開催し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

また，13th 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.

13th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
(4th Symposium on Multicellular Neurobiocomputing)
日時： 令和 7 年 2 月 25〜28 日
場所：東北大学電気通信研究所＋Zoom
（口頭発表）
H. Yamamoto et al. (Tohoku University)
S. Sato et al. (Tohoku University)
J. Soriano et al. (University of Barcelona)
A. Loeffler et al. (Cortical Labs)　他
（ポスター発表）
T. Tanii et al. (Waseda University)
Y. Katori et al. (Future University Hakodate)　他

さらに最終年度に 14th 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.

The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
日時： 令和 8 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)
H. Yamamoto et al. (Tohoku University)
J. Soriano et al. (University of Barcelona)
N. Fujiwara et al.(Tohoku University)　他
（ポスター発表）
T. Tanii et al. (Waseda University)
Y. Katori (Future Univ. Hakodate)　他

上記の毎年開催の RIEC International Symposium を通じて研究組織メンバー間での将来構想等の情報共有と共同研究の加速，さらには大型研究費獲得に向けた打合せを行った.

(5-2) 波及効果と発展性等

この共同プロジェクト研究に関わるメンバーが中心となって，初年度に文部科学省 科学研究費助成事業 「学術変革領域研究(A)」に応募した．この申請が，２年目にあたる R6 年度に採択され，2024〜2028 年度の５年間のプロジェクトとして，「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」なる学術変革領域（https://www.mnbc.riec.tohoku.ac.jp/）が発足した．

東北大学電気通信研究所の共用施設と早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構の共用施設にそれぞれ，多細胞ネットワークをガラス等の固体基板表面に構成するための微細加工とバイオ計測のための共用機器が整備され，特に早稲田大学に高密度多点電極装置が導入されたことで，当該共同研究プロジェクトにおける共同研究をより強力に推進できる下地が整備された.

[6]まとめと今後の課題

この共同プロジェクト研究に関わるメンバーが中心となって，R3 から R5 年度に実施された文部科学省 科学研究費助成事業 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」の採択と推進に引き続き，連続して，R6 年度から開始の同事業 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」に採択されたことは，本共同プロジェクトの大きな成果である。その将来構想としての「ウェットウェア」への発展も見え始めた.

［論文、学会発表、および関連成果］

(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* 432 (2024).

・Spike-timing-dependent plasticity offers delay-gated oscillatory potentiation for autaptic weights, Risa Onda, Mihoko Ishida, Kouhei Hattori, Hideaki Yamamoto, Takashi Tanii, Front. Neural Circuits 19, 25 (2025).

・Modular architecture confers robustness to damage and facilitates recovery in spiking neural networks modeling in vitro neurons, Takuma Sumi, Akke Mats Houben, Hideaki Yamamoto, Hideyuki Kato, Yuichi Katori, Jordi Soriano, Ayumi Hirano-Iwata, *Front. Neurosci.* 19, 1570783 (2025).

・Efficient connectivity and intrinsic noise separation in recurrent spiking neural networks trained with e-prop, Davide Noè, Hideaki Yamamoto, Yuichi Katori, Shigeo Sato, *Neuromorph. Comput. Eng.* 5, 044002 (2025).

・Online supervised learning of temporal patterns in biological neural networks under feedback control, Yuki Sono, Hideaki Yamamoto, Yusei Nishi, Takuma Sumi, Yuya Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Yuichi Katori, Shigeo Sato, *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.* 123, e2521560123 (2026).

・Protocol for tailored in vitro neuronal networks on high-density microelectrode arrays with polydimethylsiloxane microstructures, Anna-Christina Haeb, Hideaki Yamamoto, Paul Roach, Daniel Merryweather, Yuya Sato, Daniel Tornero, Jordi Soriano, STAR Protocols 7, 104349 (2026).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Automated nanotube stamping system for direct delivery of liquid substances into adherent cells, Riku Shibata, Sho Ikeda, Aya Fujiwara, Riko Kishida, Shota Yanagisawa, Shun Fukabori, Yuiko Mizuguchi, Kazuhiro Oyama, Takeo Miyake, Takashi Tanii, *Jpn. J. Appl. Phys.* 64 057001 (2025) .

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/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] 研究組織

研究代表者：

堀尾 喜彦（帝京大学先端総合研究機構）

通研対応教員：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

内野 翔太、麻原 寛之（岡山理科大学）、高橋 亮（京都先端科学大学）、菅野 円隆、島田 裕（埼玉大学）、保坂 亮介（芝浦工業大学）、橘 俊宏（湘南工科大学）、関屋 大雄（千葉大学）、加藤 秀行（大分大学）、藤田 実沙（中京大学）、リ　アオハン（電気通信大学）、黒川 弘章（東京工科大学）、藤原 寛太郎（東京大学）、安達 雅春、入江 裕大（東京電機大学）、Nina Sviridova、横山 賢太、岡本 紗季、外川 宙、若狭 春輝、神野 健哉、泉 諒音、代 美月、髙橋 知里（東京都市大学）、安藤 暖人、伊藤 拓海、郭 豊愷、吉田しおん、金崎　泰大、後藤田浩、甲斐 裕也、山本陽翔、松本 朋子、新井 麻希、石橋 周峰、石川 竜吉、浅野 博岳、池口 徹、長沼 俊汰、長谷川 幹雄、長田 拓真、塚本 陽太、藤島康平、福家水月、堀内 真佑、澤田 和弥（東京理科大学）、安東 弘泰、佐藤 茂雄（東北大学）、織間 健守（帝京大学）、稲葉 賢駿、熊谷 鳳矢、小竹 望未、松浦 隆文、進藤 卓也、仲島 和馬、木村 貴幸（日本工業大学）、伊藤 佳卓（北海道科学大学）、小林 幹（立正大学）

[2]研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

【背景及び目的】近年の IoT、AI 社会・工学システムは、高度にネットワーク化された再帰的かつ階層的構造を持つ非線形複雑システムを構成している。これらのシステムは時間的にも空間的にも高速かつ大規模に変化するため、これらに対し柔軟かつ迅速に対応することが肝要である。また、このような非線形複雑システムの特徴の一つである相転移を引き金とする破壊的状況（例えば、大規模停電、広域通信ネットワーク障害、配送遅延等）を回避するため、予測不能性を理解した上での短期予測や、予兆や異常の検知、リアルタイム学習による迅速な対応などが喫緊の課題である。さらに、近年発展が著しい大規模言語モデルなどのニューラルネットワークベース AI の影響も拡大している。そこで、本共同プロジェクト研究では、これまでに実施した【H29/A21】「非線形系・複雑系理論の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究」(2017 年度～2019 年度)と【R02/A31】「非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開」(2020 年度～2022 年度)により得られた実在非線形複雑システムに対する普遍的および個別的理論を、時間的変化・空間的変化を伴う時空間非線形複雑システムへと展開することを目的とする。

【実施概要】本研究では，多様な研究者がそれぞれの分野での知見を交換し合うための場として、分野横断的な議論を行うための合同研究会を電気通信研究所にて毎年 1 回開催した。

［2023 年度］2024 年 3 月 10 日～11 日、口頭発表：7 件、ポスター発表：25 件、参加者数：70 名；

［2024 年度］2024 年 11 月 3 日～4 日、口頭発表：18 件、ポスター発表：20 件、参加者数：94 名；

［2025 年度］2025 年 11 月 29 日～12 月 1 日、口頭発表：21 件、ポスター発表：27 件、参加者数：117 名

[4]研究計画及び内容

［2023 年度］ 時空間学習則の解析とそのハードウェア実装、カオスニューラルネットワークリザバーによる時空間情報処理、動的通信ネットワークの分散制御と最適化、無調整無線電力伝送方式の開発とハードウェア設計、レーザカオスを用いた超高速時空間物理計算などを中心に検討する。

［2024 年度］ 時空間コンテキスト学習スパイキングニューラルネットワークの解析とそのハードウェア実装、過去および未来の記憶を持つニューラルネットワークリザバーによる時空間情報処理、高次元カオスダイナミクスを用いた動的通信ネットワークの分散制御と最適化、非同期無線ニューラルネットワークによる超並列分散処理、無調整無線電力伝送方式の設計理論の構築とハードウェア設計およびロボ

ットアームへの応用、レーザカオスを用いた超高速時空間物理計算による意思決定や最適化などについて研究を行う。
［2025 年度］ 時空間コンテキスト学習ネットワークにおける時空間系列情報の重み空間への圧縮過程の解析、カオススパイキングニューロン(CSN)集積回路の実装、マルチリザバーによるマルチモーダル処理および運動学習への応用、無調整電力伝送方式のロボットアームへの応用実験、非同期パルス無線通信の分散ニューラルネットワークへの応用、LLM の潜在空間の解析、レーザーカオスリザバーシステムの開発など、これまでの理論をさらに深化させ、また技術基盤の実システムへの応用を進める。

［5］研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

ページ数の都合により、現在の AI では非常に難しい one-shot で時空間列の文脈を学習する、海馬の生理学に基づいた時空間学習則(STLR)、および、スパイキングニューラルネットワーク(SNN)についての成果を以下に簡単に示す。

STLR および時空間文脈学習記憶ネットワーク(STCLMN)については、その基本的な学習性能やパラメータとの関係、さらには学習過程、特に時間を含む空間情報（時空間情報）が、どのようにしてシナプス重み空間上に時間情報を保持しながら圧縮学習されるのかを解析した。その結果、シナプスが持つ履歴情報が時空間文脈学習に大きく寄与することが明らかになった。さらに、入力時空間情報がシナプス重み空間にフラクタル状に埋め込まれることを発見した（図１）。これは、学習則のみでフラクタルコーディングが可能であることを世界で初めて示した重要な結果である。

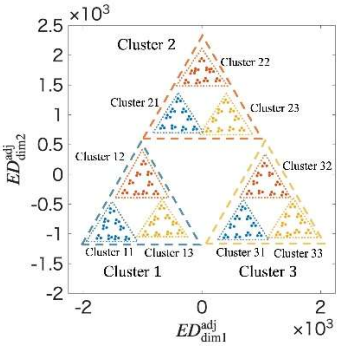


図 1：STCLMN のシナプス荷重空間に STLR により構築されるフラクタル構造

次に、STCLMN をスパイキングニューラルネットワークに拡張するための情報表現（コーディング）およびハードウェアについて検討した。情報コーディングとしては、従来のポアソンスパイク列等による確率的方法に加え、カオスが持つ指数関数的に減少する時間履歴を使うカオススパイク列コーディング手法を提案した。ポアソン列では、それを発生する確率的ハードウェアが大きくなってしまうが、提案したカオススパイク列を用いる方法では、小規模な決定論的回路である CSN が使用可能である。これは、カオススパイクコーディングも含め、マルチリザバーなどの多様な複雑 SNN の主要構成要素として使用可能である。図 2 に示すように、CSN 回路を TSMC 65 nm CMOS プロセスにより集積回路化し、その基本特性を確認した。

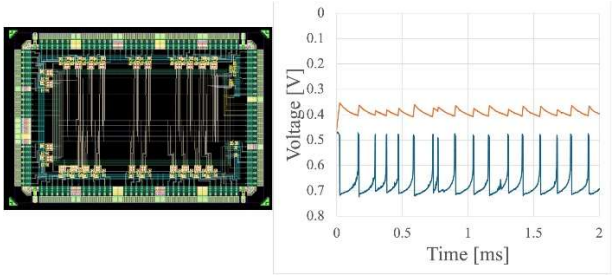


図 2：CSN 集積回路とカオススパイク列（実測）

（5-2）波及効果と発展性等

[3]で述べた合同研究会に加え、若手育成の観点から、15 大学程度から学生や若手研究者を集めた合宿研究会を以下のように開催した。この研究合宿を通して、本研究に関係する広範囲な学際的交流が行われ、多くの共同研究へと発展した。

- 2023 年 8 月 31 日～9 月 2 日：ホテル光風閣くわるび（山梨県）、参加者 121 名
- 2024 年 9 月 1 日～3 日：池の平ホテル（長野県）、参加者 106 名
- 2025 年 8 月 31 日～9 月 2 日：池の平ホテル（長野県）、参加者 116 名

これらの合同研究会や研究合宿を通して行われた討論は、以下の大型プロジェクトへと発展した。

- 科研費基盤研究(S) 「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拡張と展開」代表：堀尾喜彦（帝京大）
- 内閣府 SIP 第３期課題「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」研究開発責任者：安東 弘泰（東北大）

さらに、無調整無線電力伝送技術に関しては、スタートアップ企業の立ち上げの準備が関屋（千葉大）らを中心に進んでいる。

[6]まとめと今後の課題

これまでに培ってきた非線形複雑系理論と技術を、動的に変化する非線形時空間システムに対応できるように拡張をはかり、ニューラルネットワーク、人工知能、電力伝送、電力変換、無線通信、通信ネットワーク、時変最適化、脳型情報処理、脳型ハードウェアなど、多様な非同期イベント駆動型時空間システムへと拡張を行い、個別システムについて有効性を確認した。今後は、これらを統括した理論および技術体系を構築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）

[1] T. Orima, I. Tsuda, M. Tsukada, H. Tsukada, and Y. Horio, "Fractal memory structure in the spatiotemporal learning rule," Frontiers in Computational Neuroscience, vol. 19, pp. 1-13, December 16, 2025. DOI: 10.3389/fncom.2025.1641519

[2] Y. Horio, "Brainmorphic computing: Paradigm and hardware," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, no. 3, pp. 310-311, July 1, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.310

[3] S. Moriya, M. Ishikawa, S. Ono, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, and S. Sato, "Analog VLSI implementation of subthreshold spiking neural networks and its application to reservoir computing," IEEE Trans. on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2025 DOI: 10.1109/TCSI.2025.3550876

[4] 堀尾喜彦，"脳型ハードウェアと最適化," オペレーションズリサーチ，vol. 71, no. 1, pp. 5-12, 2026.

[5] T. Orima and Y. Horio, "Effect of time history in coincidence among inputs on spatiotemporal learning performance," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 192-195, 2025.

[6] T. Orima, and Y. Horio, "Memory structure analysis for single-layer feedforward neural networks with spatiotemporal learning rule synapses," in Abstract Book of The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, p. 16, 2026. (session invited talk)

[7] Shigeo Sato, S. Moriya, T. Sakai, T. Gotsu, Y. Majima, J. Hashimoto, H. Ota, H. Yamamoto, Y. Horio, and J. Madrenas, "CMOS spiking neural networks for edge computing," in Abstract Book of The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, p. 17, 2026.

[8] 織間健守, 堀尾喜彦，“時空間学習則シナプスをもつ単層フィードフォワードニューラルネットワークの記憶構造の解析,” 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト 研究発表会，東北大学，2026.

[9] 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基盤の拡張と展開: 基盤(S)研究紹介,” 科研費基盤研究(S)，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. OL-20, 2025.

[10] G. Ishii, Y. Horio, and T. Orima, "Effect of memory capacity characteristics on time-series prediction performance of reservoir neural network with extended chaotic neural network model," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 15, no. 4, pp. 750-763, 2024. DOI: 10.1587/nolta.15.750

[11] T. Orima, Y. Horio, T. Tsuji, "Spatiotemporal contextual learning network with excitatory and inhibitory synapses for spiking neural network hardware," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 15, no. 4, pp. 796-810, 2024. DOI: 10.1587/nolta.15.796

[12] 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

[13] T. Orima, K. Ito, and Y. Horio, "A hardware emulator for spatiotemporal contextual learning and memory network model," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 550-553, 2024. DOI: 10.34385/proc.92.C5L-A3

[14] Y. Horio, "Brainmorphic computing paradigm and hardware," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 197, 2024. (Plenary) DOI: 10.34385/proc.92.B1L-A1

[15] T. Tsuji, T. Orima, and Y. Horio, "An event-driven mixed analog/digital spiking neural network circuit model for hippocampal spatiotemporal context learning and memory," in Proc. IEEE World Congress on Computational Intelligence, paper# 1570992711 (8 pages), 2024. DOI: 10.1109/IJCNN60899.2024.10650476

[16] T. Orima, Y. Horio, and T. Tsuji, "Analysis of learning process of synaptic weights in spatio-temporal learning networks for hardware implementation," in Proc. IEEE World Congress on Computational Intelligence, paper# 1570992483 (8 pages), 2024. DOI: 10.1109/IJCNN60899.2024.10650861

[17] T. Orima, Y. Horio, S. Moriya, and S. Sato, "Bifurcation phenomena observed from two-variable spiking neuron integrated circuit," in Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 1-5, 2024. DOI: 10.1109/ISCAS58744.2024.10558075

[18] 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, 2024.

[19] G. Ishii, Y. Horio, and T. 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)

[20] 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, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.B4L-35
[21] 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, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C1L-31
[22] T. Orima, T. Tsuji, and Y. Horio, "An extended spatiotemporal contextual learning and memory network model for hardware implementation," in Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Special INNS Workshop: International Neural Network Society Workshop on Deep Learning Innovations and Applications, paper no. 1570883985 (10 pages), 2023
[23] 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.
[24] A. Kato, Y. Itoh and M. Adachi, “A method for quantifying the complexity of graph structure obtained from chaotic time series data, -Comparison with the Lyapunov exponent and characteristics of graph structure-,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.15, no.2, pp. 299-310, 2024. DOI: 10.1587/nolta.15.299
[25] M. Izumi, K. Jin'no, "Exploring latent spaces: A visual comparison of sentence-BERT and GPT-2 models," NOLTA, IEICE, vol. E16-N, no. 2, pp.233-249, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.233
[26] S. Togawa, K. Jin'no, "Understanding convolutional neural networks through z-transform: Frequency domain analysis of kernel feature extraction," NOLTA, IEICE, vol. E16-N, no. 4, pp. 878-895, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.878
[27] M. Dai, K. Jin'no, "Feature generalizability in shallow layers of CNN and its applicability to transfer learning," in Proc. of HCI International 2025, vol. 70 LNCS 16333 HCI International 2025 – Late Breaking Papers: Part II, pp. 339-348, 2025. DOI: 10.1007/978-3-032-12660-3_25
[28] H. Tamegai, K. Jin'no, "The relationship between feature space and images in image classification tasks using CNN," NOLTA, IEICE, vol. E17-N, no. 2, pp. 455-471, 2026. DOI: 10.1587/nolta.17.455
[29] M. Dai, K. Jin'no, "Quantitative evaluation of the effects of layer depth and channel width on representation similarity in CNNs," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 28-31, 2025.
[30] C. Obata, K. Jin'no, "Analysis of the relationship between manifold structure and latent space capacity of input data using VAE," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 32-35, 2025.
[31] H. Tamegai, K. Jin'no, "Analysis of feature behavior in continual learning with fixed regular simplex weights," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 93-96, 2025.
[32] H. Wakasa, K. Jin'no, "Interpreting the feature space of LLMs for classifying human and machine-generated text," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 156-159, 2025.
[33] W. Nakano, K. Jin'no, "Examination of the transformer model’s learning process with synthetic N-gram data," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 160-163, 2025.
[34] T. Yamada, K. Jin'no, "SplitCMA-ES: A subspace-based strategy for ill-conditioned optimization," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 176-179, 2025.
[35] K. Yokoyama, K. Jin'no, "Efficient parameter search and performance improvement of hysteresis reservoir computing," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 275-278, 2025.
[36] J. Lapamnuaypol, K. Jin'no, "A study on how hierarchical grouping affects feature extraction in CNNs," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2025.
[37] S. Togawa, K. Jin'no, "Impact of batch normalization on transfer learning in CNNs," 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2025.
[38] O. Korsakpaisarn, T. Noraset, J. Lapamnuaypol, K. Jin'no, "Optimizing BERT for sentiment classification of amazon product reviews: A study on class imbalance and misclassification analysis," The 20th International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing, pp. 1-6, 2025. DOI: 10.1109/iSAI-NLP66160.2025.11320736
[39] 小端 千佳、神野 健哉、"深層学習における多様体仮説の検証と次元削減手法の評価," 2025 年度 人工知能学会 全国大会, 1Win4-02, 2025.
[40] 外川 宙、神野 健哉, "層深度に着目した CNN の重みの特性に関する調査," 2025 年度 人工知能学会 全国大会, 2Win5-03, 2025.
[41] 代 美月、神野 健哉, "CNN の中間層における特徴の汎化性と転移学習への応用," 2025 年度 人工知能学会 全国大会, 2Win5-56, 2025.
[42] 大和田 拓海、神野 健哉, "拡散モデル生成画像の検出における局所領域への注目の有効性の検討," 2025 年度 人工知能学会 全国大会, 3Win5-46, 2025.

[43] 小端 千佳、神野 健哉, "局所および大域構造に基づく潜在次元数最適化手法の検討," 2025年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-4, 2025.
[44] 若狭 春輝、神野 健哉, "生成文章の識別と生成確率調整による LLM 特徴量の分析," 2025年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-24, 2025.
[45] 外川 宙、神野 健哉, "転移学習における Batch Normalization の活用に関する調査," 2025年度電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-27, 2025.
[46] 代 美月、神野 健哉, "SoftMax による画像分類モデル出力の線形分離超平面形成," 2025 年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-56, 2025.
[47] 堤桂介, 藤田実沙, "動的計画法に基づく Pattern Generator の学習データ生成法," 電子情報通信学会技術研究報告, CCS2025-56, 2026.
[48] 細羽竜生, 藤田実沙, 田中龍一, "畳み込みニューラルネットワークを用いた新生児腸蠕動音の自動分類," 電子情報通信学会技術研究報告, NLP2025-53, 2025.
[49] 市川槙人, 藤田実沙, ハルトノピトヨ, "Pattern Generator による遺伝的アルゴリズムの初期解生成," 信号処理学会論文誌, vol. 29, no. 5, pp. 147-159, 2025. DOI: 10.2299/jsp.29.147
[50] 藤田実沙, 木村貴幸, "ネットワーク中心性を使用したマルチキャスト木構築法の実ネットワークトポロジにおける性能評価", 電子情報通信学会技術研究報告, CCS2025-32, 2025.
[51] M. Fujita, T. Kimura, "Constructing a congestion-avoiding multicast tree using network centrality," in Proc. of the 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 734-737, 2025.
[52] 藤田実沙, 木村貴幸, "ネットワーク中心性を使用したマルチキャスト木の構築法," 2025年電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-41, 2025.
[53] M. Fujita, "Surrogate Data Analysis of Chaotic Search for Solving the Steiner Tree Problem in Graphs," in Proc. of the 18th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, p. 37, 2025.
[54] 齋東龍也, 藤田実沙, 石原彰人, "カオスニューラルネットワークリザバーによる時系列予測に基づく心電図異常検知手法," 電子情報通信学会技術研究報告, NLP2024-45, 2024.
[55] M. Fujita, and T. Saito, "Solving the Steiner tree problem in graphs with chaotic neural 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
[56] 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, 2023.
[57] 市川槙人, 藤田実沙, ハルトノピトヨ, "巡回トーナメント問題に対するタブー効果に関する研究", 情報処理学会研究報告, vol. 2023-AL-194, no. 3, pp. 1-7, 2023.
[58] 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. DOI: 10.1587/nolta.14.579.
[59] A. Kato, Y. Itoh, and M. Adachi, “A method for quantifying the complexity of graph structures obtained from chaotic time series data,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 15, no. 2, pp. 299–310, 2024. DOI: 10.1587/nolta.15.299.
[60] Y. Itoh, “Predicting critical transitions induced by the saddle-node bifurcation in electronic circuits using parameter space estimation,” Chaos, vol. 35, no. 3, 033129, 2025. DOI: 10.1063/5.0229555.
[61] Y. Itoh, “Investigating the correspondence between original parameter space and synaptic weight space for parameter space estimation in predicting critical transitions,” Journal of Signal Processing, vol. 30, no. 1, pp. 15–22, 2026. DOI: 10.2299/jsp.30.15.
[62] Y. Itoh, “Predicting a critical transition in a five-dimensional ecosystem using parameter space estimation,” in Proc. 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2023.
[63] Y. Itoh, “Predicting a critical transition from time-series datasets generated by LTspice using a parameter space estimation,” in Proc. 2024 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2024. DOI: 10.1109/ISCAS58744.2024.10558506.
[64] Y. Itoh, “Parameter space estimation for the tent map using a neural network with gate neurons,” in Proc. 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2024. DOI: 10.34385/proc.92.c6l-a2.
[65] Y. Itoh, “Investigating the correspondence between original parameter space and synaptic weight space for parameter space estimation,” in Proc. RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2025, 2025.
[66] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, and 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
[67] F. Guo, T. Matsuura, T. Kimura, T. Ikeguchi, “A metaheuristic strategy for solving capacitated vehicle routing problem by using chaotic dynamics,” Nonlinear Theory and its Applications, IEICE, vol. 17, no. 1, pp.279-294, 2026. DOI: 10.1587/nolta.17.279
[68] 澤田和弥，池口 徹，”再帰定量化解析を用いたテンポラルネットワークダイナミクスの同定,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 125, no. 418，NLP2025-133, pp. 27-32, 2026.
[69] 澤田和弥，池口 徹，”テンポラルネットワークの時間発展の非線形ダイナミクスの解析,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 125, no. 190, NLP2025-36, pp. 13-18, 2025.
[70] F. Guo, T. Matsuura, T. Kimura and T. Ikeguchi, “Parameter adjustment methods for chaotic search using PSO in capacitated vehicle routing problem,” Proceedings of 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp.726-729, 2025.
[71] 郭豊愷，松浦隆文，木村貴幸，池口徹，”CVRP に対するカオスダイナミクスを用いたハイブリッドメタヒューリスティック手法,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 125, no. 190, NLP2025-34, pp. 1-6, 2025.
[72] 百瀬光一郎，澤田和弥，池口 徹，”非線形予測を用いたテンポラルネットワークの時間発展の解析,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 125, no. 418，NLP2025-134, pp. 33-38, 2026.
[73] 石塚亮羽，澤田和弥，池口 徹，”興奮性・抑制性ニューロン比率が発火活動の周波数特性に与える影響,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 125, no. 418，NLP2025-135，pp. 39-44, 2026.
[74] 郭豊愷，松浦隆文，木村貴幸，池口徹，”CSPSO のパラメータの依存性について,” 2025 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会, N-1-26, 2025 年.
[75] 澤田和弥，池口徹, “テンポラルネットワークの決定論性と再帰構造,” 2025 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会, N-1-25, 2025 年.
[76] 澤田和弥，池口徹, “再帰定量化解析によるテンポラルネットワークダイナミクスの識別,” 2026 年電子情報通信学会 総合大会，N-1-11, 2026.
[77] 郭豊愷，松浦隆文，木村貴幸，池口徹, “大近傍探索を導入したカオスサーチ法,” 2026 年電子情報通信学会 総合大会，N-1-10，2026.
[78] 石塚亮羽，澤田和弥，池口徹, “興奮性・抑制性ニューロン比率が発火リズムの周波数特性に及ぼす影響,” 2026 年電子情報通信学会総合大会，N-1-07，2026.
[79] 百瀬光一郎，澤田和弥，池口徹, “非線形予測を用いたテンポラルネットワークのダイナミクスの同定,” 2026 年電子情報通信学会 総合大会，N-1-08，2026.
[80] F. Guo, T. Matsuura, T. Kimura, and T. Ikeguchi, “A metaheuristic method for solving capacitated vehicle routing problem by using chaotic dynamics,” Proceedings of 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 198-201, 2024.
[81] 郭豊愷，松浦隆文，木村貴幸，池口徹，”巡回セールスマン問題における PSO を用いたカオスサーチ法の性能調査,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 124, no. 432, NLP2024-125, pp. 85-89, 2025.
[82] 吉田しおん，澤田和弥，池口徹，”閾値を変化させたリカレンスプロットによるフリーラン予測の性能評価,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 124, no. 432, NLP2024-146, pp. 193-198, 2025.
[83] 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対するメタヒューリスティック解法,” 2024 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会, N-1-16, 2024.
[84] 澤田和弥，池口徹, “テンポラルネットワークからの非線形ダイナミクスの抽出,” 2025 年電子情報通信学会 総合大会，NI-1-02, 2025.
[85] 郭豊愷，松浦隆文，木村貴幸，池口 徹, ”PSO を用いたカオスサーチのパラメータ調整法,” 2025 年電子情報通信学会 総合大会，N-1-07, 2025.
[86] 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.
[87] R. Shibutani and T. Kimura, “Grey wolf optimizer with adaptive large neighborhood search for the traveling salesman problems,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, pp. 1022–1041, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.1022
[88] F. Kumagai, T. Inaba, and T. Kimura, “An effective probabilistic routing strategy based on gravitational centrality in complex networks,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, pp. 1042–1058, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.1042
[89] T. Inaba and T. Kimura, “Effective routing method using congestion information for the next generation vehicles in transportation networks,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, pp. 583–600, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.583
[90] K. Nakajima, T. Matsuura, and T. Kimura,

"Performance investigation of a new chaotic search method for vehicle routing problem with drones," Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 1322, pp. 169–178, 2025. DOI: 10.1007/978-981-96-1535-3_18

[91] R. Shibutani, T. Kimura, and N. Itoh, "Optimizing last-mile delivery with time windows and multiple deliverymen," Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 730–733, 2025.

[92] R. Shibutani and T. Kimura, "Performance investigation of grey wolf optimizer with POPMUSIC metaheuristic for the large-scale traveling salesman problems," Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 253–256, 2024.

[93] 渋谷陸斗，木村貴幸，"巡回セールスマン問題に対する k-means++法を用いた ALNS-GWO の評価,"電子情報通信学会ソサイエティ大会，N-1-15，2024.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[1] T. Orima and Y. Horio, "Digital filter with a cubic nonlinear characteristic for active reflectionless transmission-line model," Sixth Joint Meeting, Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Paper# 2pSP1, 2025.

[2] A. Lagarrigue, K.V. De Zoysa, S. Varaganti, S. Kanai, S. Moriya, S. Sato, Y. Horio, H. Ohno and S. Fukami, "Analog magnetic tunnel junctions with antiferromagnet/ferromagnet stack controlled by spin-orbit torque for neuromorphic computing," in Proc. The 16th Joint Conf. on Magnetism and Magnetic Materials and Intermag, 2025.

[3] S. Moriya, H. Yamamoto, M. Ishikawa, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, and S. Sato, "Design of mixed-signal LSI with analog spiking neural network and digital inference circuits for reservoir computing," in Proc. IEEE World Congress on Computational Intelligence, paper# 15709994422 (6 pages), 2024. DOI: 10.1109/IJCNN60899.2024.10649999

[4] S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. 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] H. Yasuda, T. Mitsui, A. Li, K. Aihara, and M. Hasegawa, "Decentralized TDMA for IoT networks based on synchronization theory with intermittent communication," Discover Artificial Intelligence, 2026. (Accepted)

[6] M. Horiuchi, T. Fujiwara, F. Peper, K. Leibnitz, N. Wakamiya, M. Arai, D.I. Noh, W.J. Hwang, J. Nakazato, and M. Hasegawa, "Improving performance of asynchronous pulsecode multiple access by machine learning-based pulse detection," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 2026. (Accepted)

[7] S. Naganuma, M. Arai, A. Li, J. Nakazato, M. Hasegawa, "Power distribution optimization in MU-MIMO using spherical mode expansion," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 2026. (Accepted)

[8] H. Ando, H. Asano, T. Mihana, M. Arai, J. Nakazato, and M. Hasegawa, "Dynamic wireless resource allocation using ultra-high-speed decision making via laser networks," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 2026. (Accepted)

[9] M. Horiuchi, T. Fujiwara, F. Peper, K. Leibnitz, N. Wakamiya, M. Arai, D.I. Noh, W.J. Hwang, J. Nakazato, and M. Hasegawa, "CNN-based receiver design for chirp-based asynchronous pulse code multiple access for massive IoT," IEICE Communications Express, 2026. DOI: 10.23919/comex.2026XBL0036

[10] 野村 玲於奈, 磯谷 亮介, 吉田 宜史, 安田 裕之, 金 成主, 新井 麻希, 長谷川 幹雄, "バンディットアルゴリズムを用いた bluetooth low energy beacon の省電力化手法と実装評価," 電子情報通信学会論文誌, 2026. (Acepted)

[11] R. Nagazawa, H. Ota, K. Sanada, K. Nguyen, H. Torikai, M. Hasegawa, H. Sekiya, "Evaluation of APCMA and CSMA/CA in wireless brain-inspired computing," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 17, no. 2, pp. 583-596, Apr. 2026. DOI: 10.1587/nolta.17.583

[12] Y.S. Kim, S. Byeon, D.H. Kim, M. Hasegawa, and J.D. Kim, "Chirp-aware self-attention for robust LoRa preamble detection under ultra-low SNR," IEEE Internet of Things Journal, 2026. DOI: 10.1109/JIOT.2026.3662734

[13] M. Arai, M. Hasegawa, "Fast path analysis by geometric-difference calculation for beamforming network with luneburg lens," IEICE Communications Express, vol. 15, no. 3, pp. 54-58, 2026. DOI: 10.23919/comex.2025XBL0151

[14] R. Yasudo, M. Koibuchi, and M. Hasegawa, "Photonic Ising machine using parallel bandit architecture based on laser chaos," IEEE Access, vol. 13, pp. 211981-211995, 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3642946

[15] T. Inagaki, J.H. Huh, M. Arai, J. Nakazato, and M. Hasegawa, "Optimal wireless network selection based on machine learning for reliable communication in cybernetic avatar remote control," Journal of Signal Processing, vol. 29, no. 6, pp. 209-213, 2025. DOI: 10.2299/jsp.29.209

[16] Ikeda, K. Oshima, M. Arai, J. Nakazato, M. Hasegawa, "Route optimization in satellite-to-satellite optical communication networks with deep reinforcement learning," Journal of Signal

Processing, vol. 29, no. 6, pp. 215-219, 2025. DOI: 10.2299/jsp.29.215
[17] J. Lin, R. Nagazawa, K. Nguyen, H. Torikai, M. Hasegawa, W.J. Hwang, and H. Sekiya, “Biological mimesis based on the WiBIC platform: Modeling of Pavlovian conditioning,” IEICE Nonlinear Theory and Its Applications, vol. 16, no. 4, pp. 806-816, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.806
[18] R. Ariyoshi, A. Li, M. Hasegawa, and T. Ohtsuki, “Energy-efficient resource allocation scheme based on reinforcement learning in distributed LoRa networks,” Sensors, vol. 2025, no 25(16), 4996, 2025. DOI: 10.3390/s25164996)
[19] J.H. Huh, T. Inagaki, J. Nakazato, M. Arai, K. Yano, and M. Hasegawa, “Graph neural network-based multi-metric performance modeling in urban multi-RAT wireless networks,” ICT Express, vol. 11, no. 5, pp. 957-962, 2025. DOI: 10.1016/j.icte.2025.07.004
[20] H. Asano, M. Arai, and M. Hasegawa, “Fast beam tracking in massive MIMO by laser chaos decision maker,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, no.3 , pp. 495-505, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.495
[21] M. Arai, T. Yamagami, T. Mihana, R. Horisaki, and M. Hasegawa, “Two-dimensional beam selection by multi-armed bandit algorithm based on a quantum walk,” IEEE Transactions on Quantum Engineering, vol.6, Article Sequence Number 3100916, 2025. DOI: 10.1109/TQE.2025.3555145
[22] S.G. Jeong, P.D.A. Duc, Q.V. Do, D.I Noh, N.X. Tung, T.V. Chien, Q.V. Pham, M. Hasegawa, H. Sekiya, W.J. Hwang, “Quantum annealing-based sum rate maximization for multi-UAV-aided wireless networks,” IEEE Internet of Things Journal, 2025. DOI: 10.1109/JIOT.2025.3546645
[23] M. Fujita, Y. Shimada, T. Kimura, and T. Ikeguchi, "A heuristic method for solving the Steiner tree problem in graphs using network centralities," PLoS ONE, vol. 19, no. 6, e0303764, 2024. DOI: 10.1371/journal.pone.0303764
[24] 市川槙人, 藤田実沙, ハルトノピトヨ, "生成ニューラルネットワークを用いる組合せ最適化問題の解法とその解析," 第 87 回情報処理学会全国大会, 1M-03, 2024.
[25] 小室緩太, 藤田実沙, 村中崇信, "効率的なデブリ除去順序決定問題のモデル化に関する一検討," 第 11 回スペースデブリワークショップ講演資料集, pp. 545-546, 2024.
[26] K. Kato, Y. Itoh, and T. Kousaka, “Data-driven guidelines for buffer sizing: A dynamical dystem approach for throughput time-series,” IEEE Access, vol. 14, pp. 8506–8527, 2026. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3652345.
[27] K. Kato, Y. Itoh, and T. Kousaka, “Predicting bifurcation points via extreme learning machine methods trained on time-series datasets and parameters in discrete dynamical systems,” Physical Review E, vol. 112, pp. 014208-1–014208-8, 2025. DOI: 10.1103/qzl8-4c4g.
[28] N. Misago, Y. Ishii, I. Kudo, Y. Itoh, A. Ueno, and M. Adachi, “Normal-abnormal classification of ECG5000 by estimating parameters based on the bifurcation diagram reconstruction,” in Proc. 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2025.
[29] T. Gotoh, H. Kurokawa, H. Matsushita, and T. Kousaka, "Derivation of local bifurcation points in autonomous systems by using particle swarm optimization," Transactions of the Institute of Systems, Control and 3. Information Engineers, vol. 36, no. 5, pp. 121-129, 2023. DOI: 10.5687/iscie.36.121
[30] H. Matsushita, H. Kurokawa and T. Kousaka, "Non-gradient-based simultaneous strategy for bifurcation parameter detection," Chaos, Solitons & Fractals, vol. 176, 114124, 2023, DOI: 10.1016/j.chaos.2023.114124
[31] 長谷川 朝, 松下 春奈, 高坂 拓司, 黒川 弘章, "並列化された入れ子構造を持つ粒子群最適化による分岐点探索法の連続力学系への展開," 電気学会論文誌C, vol. 144, no. 12, p. 1249-1250, 2024. DOI: 0000-0002-7850-5119
[32] S. Ohara, K. Kanno, A. Uchida, and H. Kurokawa, "Prediction of intermittent chaos in a semiconductor laser with optical feedback using reservoir computing," Japanese Journal of Applied Physics, Part 1, vol. 64, no. 1, 012001, 2025. DOI: 10.35848/1347-4065/ada347
[33] S. Ohara, K. Kanno, A. Uchida, and H. Kurokawa, "Predicting transitions in intermittent chaos using reservoir computing," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. E16-N, no. 4, pp. 832-847, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.832
[34] M. Yan, Y. Xiong, H. Kurokawa and J. She, "Multimodal localization distillation method for 3D single object tracking task in intelligent transportation systems," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 26, no. 10, 17612-17623, 2025. DOI: 10.1109/TITS.2024.3520880
[35] H. Matsushita, H. Kurokawa, and 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
[36] S. Ohara, K. Kanno, A. Uchida, and 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, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C4L-33
[37] H. Kurokawa, "Performance of neural network

models without backpropagation," Proceedings of The 7th Conference on Microactuators, Microsensors and Micromechanisms, 2024.
[38] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, and H. Kurokawa, "Parallel nested-layer particle swarm optimization for bifurcation parameter detection," Proceedings of The 15th International Conference on ICT Convergence, pp. 1829-1832, 2024. DOI: 10.1109/ICTC62082.2024.10827731
[39] S. Ohara, K. Kanno, A. Uchida, and H. Kurokawa, "The study of transition for intermittent laser dynamics by reservoir computing," Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, p. 61, 2024. DOI: 10.34385/proc.92.A2L-D5
[40] K. Nakaya, S. Ohara, and H. Kurokawa, "Offload instruction optimization for teconfigurable RISC-V/CGRA processors," Proc. of the 16th International Workshop on Information Technology and Control Applications, pp.43-48, 2025.
[41] C. Wang, Y. Sato, S. Ohara, and H. Kurokawa, "An improved lightweight μ-forward-forward neural network based on Hash mapping," Proc. of the 16th International Workshop on Information Technology and Control Applications, pp.85-91, 2025.
[42] C. Wang, Y. Sato, S. Ohara, and H. Kurokawa, "Improvement of Lightweight CNNs Utilizing the μ-FF Algorithm," Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.24-27, 2025.
[43] S. Ohara, K. Kanno, and H. Kurokawa, "Evaluation of information processing performance in a reservoir with mixed activation functions," Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, p.142, 2025.
[44] K. Sawada, Y. Shimada and T. Ikeguchi, “Detecting causality based on state space reconstruction from interspike intervals for neural spike trains,” Physical Review E, vol. 112, iss. 1, 014222, 2025. DOI: 10.1103/t2jb-vvx9
[45] K. Sawada, Y. Shimada and T. Ikeguchi, “Detecting causality for spike trains by modifying convergent cross mapping,” Proceedings of XLV Dynamics Days Europe 2025, p. 273, 2025.
[46] K. Sawada, Y. Shimada and T. Ikeguchi, “Detecting causality using predictability of spike trains,” Proceedings of 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 421, 2025.
[47] K. Sawada, Y. Shimada, and T. Ikeguchi, “Detecting causality between neural spike trains by mutual prediction of inter-spike intervals,” Proceedings of the 2024 International Conference on Mathematical Neuroscience, 2024.
[48] Y. Tsukamoto, H. Tsukada, M. Tsukada, and T. Ikeguchi, “Outstanding pattern discrimination ability of spatiotemporal learning rule,” Proceedings of the 2024 International Conference on Mathematical Neuroscience, 2024.
[49] K. Sawada and T. Ikeguchi, “Analysis on nonlinear dynamics of temporal networks,” Proceedings of 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 89-90, 2024.
[50] T. Ikeguchi, “Establishing a mathematical linguistic framework by deriving meta-grammar rules,” Proceedings of 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 333, 2024.
[51] M. Fukuya, T. Matsumoto, Y. Shimada and T. Ikeguchi, “Centrality and community of emotional concepts in colexification networks,” Proceedings of 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 339-342, 2024.
[52] M. Fukuya, T. Matsumoto, Y. Shimada, and T. Ikeguchi, "Central emotions and hubs in a colexification network," Scientific Reports, vol. 13, 21823, 2023, DOI: 10.1038/s41598-023-48922-8
[53] 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. DOI: 10.1587/nolta.14.677
[54] 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. DOI: 10.1587/nolta.14.215
[55] F. Guo, H. Tsushima, T. Matsuura, T. Kimura, 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, 6157, 2023.
[56] 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, 6036, Sep. 2023.
[57] K. Sawada and T. Ikeguchi, "Nonlinear dynamics of temporal network," Proceedings of 2024 Dynamics Days US, p. 7, 2024.
[58] 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.
[59] 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.
[60] 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.
[61] 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.
[62] M.U. Kobayashi, K. Nakai, Y. Saiki, "Lyapunov analysis of data-driven models of high dimensional dynamics using reservoir computing: Lorenz-96 system and fluid flow," Journal of Physics: Complexity, vol. 5, 025024, 2024.
[63] H. Kato, M. U. Kobayashi, Y. Saiki, J.A. Yorke, "Laminar chaotic saddle within a turbulent attractor," Physical Review E, vol. 110, L052202, 2024.
[64] Y. Sato and M.U. Kobayashi, "Minimal model for reservoir computing," Physica D, vol. 470, 134360, 2024.
[65] M.U. Kobayashi, K. Takehara, H. Ando and M. Yamada, "Mathematical analysis of the Wiener processes with time-delayed feedback", AIP Advances, vol. 14, 095219, 2024.
[66] M. Inubushi, Y. Saiki, M.U. Kobayashi, and S. Goto, "Characterizing Small-Scale Dynamics of Navier-Stokes Turbulence with Transverse Lyapunov Exponents: A Data Assimilation Approach," Physical Review Letters, vol. 131, 254001, 2023.
[67] P. Gautam, Y.H. Lee, R. Takahashi, and A. Castellazzi, "A study of pulse density modulation to GaN Y-inverter," Proc. of the 10th International Power Electronics and Motion Control Conference - ECCE Asia, pp. 4498–4503, 2024. DOI: 10.1109/IPEMC-ECCEAsia60879.2024.10567707
[68] T. Matsuura, "Tabu search for solving vovering salesman problem with nodes and segments," Lecture Notes in Computer Science, vol. 14753, pp. 93-99, 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-62912-9_9
[69] T. Matsuura, "Chaotic neural network for solving covering salesman problem with nodes and segments," Proc. of the 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 343-345, 2024. DOI: 10.34385/proc.92.B4L-A5
[70] T. Matsuura, "Heuristic method by using tabu search for solving min-max multiple bike sharing system routing problem," Proc. of the 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 198-201, 2024.
[71] T. Matsuura, "A local search method for solving multiple depots covering salesman problem with nodes and segments," Proc. of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 610-613, 2023. DOI: 10.34385/proc.76.C4L-23
[72] T. Matsuura, "Local search method for solving min-max multiple bike sharing system touting problem," Proc. of the 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 368-371, 2023.
[73] R. Fukuzaki, T. Noguchi, and H. Ando, ``Harvested reservoir computing from road traffic dynamics," Scientific Reports, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-30016-2
[74] M.U. Kobayashi, K. Takehara, H. Ando, M. Yamada,``Mathematical analysis of the Wiener processes with time-delayed feedback," AIP Advances, vol. 14, 095219, 2024.
[75] T. Aita, H. Ando, Y. Katori, ``Computation harvesting from nature dynamics for predicting wind speed and direction," PLOS ONE, 2023. DOI: 10.1371/journal.pone.0295649
[76] K. Koyama, H. Ando, K. Fujiwara, ``Functional improvement in β cell models of type 2 diabetes using on-demand feedback control," AIP Advances, vol. 13, 045317, 2023.
[77] R. Shigemi, H. Ando, K. Wada and R. Mukai, ``Predicting traffic breakdown on expressways using linear combination of vehicle detector data," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. E14-N, no. 2, pp. 416-427, 2023.
[78] K. Kato and Y. Shimada, "Relationship between network structure and the maximum and minimum levels of homophily," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, no. 3, pp. 573-582, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.573
[79] T. Ban, M. Kimura, R. Nomura, Y. Shimada, "Analysis of the effect of music on audience behavior at a concert," vol. 28, no. 4, pp. 191-195, 2024.
[80] T. Kimura , Y. Shimada, "A routing method with adaptively adjusting memory information based on local routing history," PLoS ONE, vol. 18, no. 4, e0283472, 2023. DOI: 10.1371/journal.pone.0283472
[81] 芦沢 泰希，島田 裕, “一般化非線形 q-voter モデルを用いた複雑ネットワーク上の投票ダイナミクスに関する調査,” 2026 年電子情報通信学会 総合大会予稿集, N-1-05, p. 246, 2026.
[82] 池田 一真，島田 裕, “マルチリレーショナルグラフの Prime Adjacency Matrix 表現における経路の衝突に関する調査,” 2026 年電子情報通信学会 総合大会予稿集, N-1-05, p. 246, 2026.
[83] 加藤 浩太，島田 裕, “有向ネットワークの構造的性質と同質性の関係の調査,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術研究報告，vol. 125, no. 283, pp. 33-38, 2025.
[84] 吉田 凌大，島田 裕，"コミュニティ構造検出の一貫性に基づく core-periphery 構造検出法

の改良," 電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術研究報告，vol. 125, no. 283, pp. 39-43, 2025.
[85] M. Ohira, Y. Shimada, "A preprocessing method of time series signals for the transfer entropy using the classical multi-dimensional scaling," 2025 International Conference on Mathematical Neuroscience, 2025.
[86] Y. Shimada and Y. Sakakibara, "A method for estimating network structure from time series data in the presence of unobserved nodes," in Proc. of the 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 501-502, 2024.
[87] 大平 真夢，島田 裕，“古典的多次元尺度法を用いた時系列信号の基底変換とその結合推定への応用に関する検討,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術研究報告，vol. 124, pp. 203-207, 2024
[88] K. Kato, Y. 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
[89] T. Ban, M. Kimura, R. Nomura, and Y. 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
[90] T. Ban, M. Kimura, R. Nomura, Y. 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.
[91] D. Igari and Y. Shimada, "Effect of graph distances on recurrence quantification analysis of temporal networks," The 10th International Symposium on Recurrence Plots 2023, 2023.
[92] T. Fujita, A. Li, Q.V. Do, T. Otsuka, S.G. Jeong, W.J. Hwang, H. Takesue, K. Inaba, K. Aihara, and M. Hasegawa, “Applying coherent Ising machines for enhancing communication efficiency in large-scale UAV-aided networks,” IEEE Access, vol. 12, pp. 136011-136024, 2024. DOI: 10.1109 /ACCESS.2024.3450539
[93] K. Leibnitz, F. Peper, M. Hasegawa, and N. Wakamiya, “Performance evaluation of asynchronous pulse code multiple access in massive IoT networks,” IEEE Access, vol. 12, pp. 100515-100528, 2024. DOI: 10.1109/ ACCESS.2024.3430548
[94] H. Ando, A. Li, M. Arai, and M. Hasegawa, “Primary channel selection in dynamic channel bonding using laser chaos decision maker,” IEICE Communications Express, vol.13, issue 12, pp. 454-457, 2024. DOI: 10.23919 /comex.2024COL0010
[95] M. Fujisawa, H. Yasuda, R. Isogai, M. Arai, Y. Yoshida, A. Li, S.J. Kim, and M. Hasegawa, “An efficient beaconing of bluetooth low energy by decision making algorithm,” Discover Artificial Intelligence, vol. 4, article number 26, 2024. DOI: 10.1007/s44163-024-00122-7
[96] D. Yamamoto, S. Hasegawa, Y. Shoji, M. Hasegawa, “Game theory approach for autonomous mobility-assisted Piggyback network with mm-wave links,” IEICE Communications Express, vol. 13, pp. 118-121, 2024. DOI: 10.23919/comex.2023XBL0180
[97] T. Otsuka, A. Li, H. Takesue, K. Inaba, K. Aihara, M. Hasegawa, “High-speed resource allocation algorithm using a coherent Ising machine for NOMA systems,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 73, no. 1, pp. 707-723, 2024. DOI: 10.1109/TVT.2023.3300920
[98] M. Sugiyama, T. Mihana, A. Li, M. Naruse, M. Hasegawa, “Ultrafast resource allocation by parallel bandit architecture using chaotic lasers for downlink NOMA systems,” IEEE Access, vol. 12, pp. 18073-18086, 2024. DOI: 10.1109/ ACCESS.2024.3358409
[99] T.T. Dao, D.I. Noh, M. Hasegawa, H. Sekiya, Q.V. Pham, W.J. Hwang, “VT-MCNet: High-accuracy automatic modulation classification model based on vision transformer,” IEEE Communications Letters, vol. 28, no.1, pp. 92-102, 2024. DOI: 10.1109/LCOMM.2023.3336985
[100] S.G. Jeong, Q.V. Do, H.J. Hwang, M. Hasegawa, H. Sekiya, W.J. Hwang, “Hybrid quantum convolutional neural networks for UWB signal classification,” IEEE Access, vol. 11, pp. 113726-113739, 2023. DOI: 10.1109/ ACCESS.2023.3323019
[101] I. Urabe, A. Li, M. Fujisawa, S.J. Kim, M. Hasegawa, “Combinatorial MAB-based joint channel and spreading factor selection for LoRa devices,” Sensors, vol. 2023, no. 23(15), 6687, 2023. DOI: 10.3390/s23156687
[102] T. Osada, H. Yasuda, M. Hasegawa, “Performance demonstration of decentralized TDMA based on desynchronization of nonlinear oscillators with different coupling schemes,” Journal of Signal Processing, vol. 27, no. 4, pp. 115-119, 2023. DOI: 10.2299/jsp.27.115
[103] K. Makizoe, A. Yumoto, K. Oshima, K. Suzuki, M. Hasegawa, “Applying reinforcement learning algorithms to ground station selection in satellite-terrestrial optical communication,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 14, no. 2, pp. 403-415, 2023. DOI: 10.1587/nolta.14.403
[104] W. Zhu, A. Komanaka, Y. Komiyama, K. Nguyen, H. Koizumi, and H. Sekiya, “High-frequency self-synchronized load-independent class-E rectifier using fixed-point crossing detection,” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 41, no. 1, pp. 1461-1474, 2026.

DOI: 10.1109/TPEL.2025.3604090
[105] K. Tokunaga, Y. Xiang, R. Nagazawa, R. Kameoka, K. Nguyen, J. Ma, S. Shioda, and H. Sekiya, “Pre-processing of CSI signal for Wi-Fi sensing-based motion detection,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, no. 3, pp. 506-518, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.506
[106] H.A. Tanaka, Y. Yabe, S. Suga, A. Keida, K. Maeda, F. Mori, and H. Sekiya, “Maximisation of synchronisability under low injection power,” EPL (Europhysics Letters), vol. 146, no. 5, Art. no. 52001, 2024. DOI: 10.1209/0295-5075/ad4414
[107] 慶田朗，矢部洋司，前多夏維，菅聡明，森史，関屋大雄，田中久陽，“低注入電力下での注入同期能力の最大化,” 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J107-A, no. 3, pp. 47-55, 2024. DOI: 10.14923/transfunj.2023jap1022
[108] 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, vol. 71, no. 5, pp. 2443-2456, 2024. DOI: 10.1109/TCSI.2024.3369649
[109] 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, vol. 12, pp. 23043-23056, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3361029
[110] 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, vol. 71, no. 9, pp. 10433-10443, 2024. DOI: 10.1109/TIE.2023.3333019
[111] I. Kurebayashi, K. Maeda, N. Komuro, K. Hirai, H. Sekiya, and M. Ichikawa, “Mental-state estimation model with time-series environmental data regarding cognitive function,” Internet of Things, vol. 22, Art. no. 100730, 2023. DOI: 10.1016/j.iot.2023.100730
[112] S. Haga, K. Nakajima, and T. Kimura, “Chaotic search method using effective adaptive time penalty coefficients for vehicle routing problem with time windows,” Journal of Signal Processing, vol. 28, pp. 111–114, 2024. DOI: 10.2299/jsp.28.111
[113] 小竹望未，仲島和真，木村貴幸，“情報エントロピーに基づく局所探索法を用いた蟻コロニー最適化法,” 電子情報通信学会総合大会，N-1-06，2025.
[114] 長谷隆哉，加藤海渡，木村貴幸，高坂拓司，“ネットワークシミュレータを用いた静的ルーティング手法の性能評価,” 電子情報通信学会信学技報，NLP2024-96，pp. 23–26，2025.
[115] 小竹望未，仲島和真，木村貴幸，“時間枠制約付き配送計画問題に対する即時移動戦略を採用した適応的蟻コロニー最適化法,” 電子情報通信学会信学技報，NLP2024-95，pp. 17–22，2025.
[116] 稲葉賢駿，木村貴幸，“次世代交通網に対する道路の混雑情報を用いた経路制御手法の評価”，電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会，NLS-10，2024.
[117] 渋谷陸斗，木村貴幸，“巡回セールスマン問題に対する適応的大近傍可変探索法を導入した灰色狼最適化法,” 電子情報通信学会信学技報，NLP2024-5，pp. 19–24，2024.
[118] 渋谷陸斗，木村貴幸，“巡回セールスマン問題に対する灰色狼最適化法,” 電子情報通信学会総合大会，N-1-25，2024.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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）

研究分担者
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）
佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）
桂林　秀太郎（福岡大学薬学部）
香取　勇一　（公立はこだて未来大学
複雑系知能学科）
松井　鉄平（同志社大学脳科学研究科）
正水　芳人（同志社大学脳科学研究科）

[2]研究期間

2023 年 4 月　～　2026 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、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。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する。

[4]研究計画及び内容

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。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。

こうした体制のもと、本研究は次の三段階で進める。①基板上に再構成した分散培養系におけるシナプス可塑性と学習則の評価系の確立を目指す。②任意の回路構造を設計し再構築できる人工神経細胞回路の特性を生かしてここで得られた知見をもとに、定量的な数理モデルを構築し、人工細胞神経回路の情報処理と学習則について検証する。③マルチセルラ数理モデルを構築し、人工神経細胞回路をウェットウェア計算機として応用した際の可塑性制御法を、実験と理論の両面から明らかにする。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

現在のAI技術の基盤である人工ニューラルネットワーク（ANN）やスパイキングニューラルネットワーク（SNN）を生体系に実装できれば、脳の情報処理原理に対する理解を一段と深め、さらに生体の仕組みに基づく新しい計算技術の創出につながる。

本プロジェクト研究の山本、佐藤、香取らは、マイクロ流体デバイスの中で培養した培養ラット大脳皮質ニューロンを、リザバー計算と呼ばれる機械学習に組み込む実験系を構築した。その結果、これまでANNやSNNで実現されてきた、時間とともに変化する信号を学習し自律的に生成するタスクを、生体神経回路で再現することに成功した。この成果は2026年3月にPNAS誌に掲載された。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクト研究2年目の令和6年度に、所内対応者の山本を領域代表とする大型の学術変革領域研究（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」の採択に至った。本プロジェクトメンバーを中心とした9名の計画班員に加えて、令和 7 年度には公募班員 19 名が参加し、理論、生体工学、脳神経科学、脳型ハードウェアの融合を目指した分野融合的な大型プロジェクトを立ち上げた。異分野の班員間の連携を一層強化するために夏合宿（第1回函館、第2回北広島）を企画し、共同研究のシーズ開拓を推進した。また、通研国際シンポジウム The 12th-14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer と共催して The 3rd-5th Symposium on Multicellular Neurobiocomputing を3年継続して開催し、本研究に関する最新の研究成果を報告するとともに、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ことで、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
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

The 13th 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
日時：令和7年2月27日（木）・28日（金）
東北大学とZoomのハイブリッド開催

The 14th 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
日時：令和8年2月27日（金）・28日（土）
東北大学とZoomのハイブリッド開催

また、日本生理学会大会で第101回、第102回、第103回と連続してシンポジウムを開催した。第103回では所内対応教員の山本がオーガナイザーを務め、研究分担者の平野と研究代表者の神谷が登壇した。

『投射軸索の神経生物学：デフォルトとアップデート』
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）

『サブセルラー神経生物学の新展開』
令和7年3月17日（月）幕張メッセ

『インビトロからインシリコへ：神経回路研究の階層超越的アプローチ』
令和8年3月11日（水）東京医科大学

本プロジェクト研究のメンバーの山本、佐藤、神谷を中心に Frontiers in Neural Circuits 誌、Frontiers in Neuroscience 誌、Frontiers in Computational Neuroscience 誌合同の Research Topics を編纂し国内外から 17 編の投稿を集め e-book を発刊した。

『Bridging computation, biophysics, medicine, and engineering in neural circuits.』
Kamiya, H., Soriano-Fradera, J., Yamamoto, H., Sato, S., Omori, T. (2026). Lausanne: Frontiers Media SA.
ISBN 978-2-8325-7644-1
DOI 10.3389/978-2-8325-7644-1

令和 6 年度に学術変革領域研究（A）に採択後は本プロジェクトメンバーを主体として総括班会議を月 1 回程度行い、公募班員を含めた研究交流会を随時開催することで、問題意識や技術情報の共有を図った。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を促進した。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。

[6]まとめと今後の課題

所内対応者の山本を領域代表とし、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）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た。本研究の成果を発展的に進展させることで、神経細胞の効率的なコンピューティングを革新的なウェットウェアの開発に応用し、超越的な効率の計算技術の開発に結びつけることを目指す。

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。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］

（1）成果リスト（謝辞あり）

・Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks. Hideaki Yamamoto, F. Paul Spitzner, Taiki Takemuro, Victor Buendía, Hakuba Murota, Carl Morante, Tomohiro Konno, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Anna Levina, Viola Priesemann, Miguel Muñoz, Johannes Zierenberg, Jordi Soriano, Science Advances 9, eade1755 (2023)
DOI: 10.1126/sciadv.ade1755

・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

・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

・Online supervised learning of temporal patterns in biological neural networks under feedback control
Yuki Sono, Hideaki Yamamoto, Yusei Nishi, Takuma Sumi, Yuya Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Yuichi Katori, Shigeo Sato, Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A. 123, e2521560123 (2026)
DOI: 10.1073/pnas.2521560123

・Editorial: Bridging computation, biophysics, medicine, and engineering in neural circuits. Haruyuki Kamiya, Hideaki Yamamoto, Jordi Soriano-Fradera, Shigeo Sato, Toshiaki Omori. Front. Neural Circuits 20, 1776224 (2026)
DOI: 10.3389/fncir.2026.1776224

・Editorial: Axon Neurobiology: updates in functional and structural dynamics. Haruyuki Kamiya, Dominique Debanne. Front. Cell. Neurosci. 20, 1838278 (2026)
DOI: 10.3389/fncel.2026.1838278

・Stimulus-induced bursts of hippocampal mossy fibers
Haruyuki Kamiya, The 12th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2024).

・Modeling depolarization-assisted afterdischarge of hippocampal mossy fiber
Haruyuki Kamiya, The 13th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2025).

・Modelling analysis of energy efficiency of axonal spikes of hippocampal mossy fiber
Haruyuki Kamiya, Shunsuke Ohura, The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2026).

・神谷温之: サブセルラー記録とシミュレーションによる軸索信号のエネルギー効率性の理解, 第103回日本生理学会大会 (2026).

（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)
DOI: 10.3389/fncel.2023.1154910

・Ectopic burst induced by blockade of axonal potassium channels on the mouse hippocampal mossy fiber
Haruyuki Kamiya, Front. Cell. Neurosci. 18, 1434165 (2024)
DOI: 10.3389/fncel.2024.1434165

・Modeling analysis of depolarization-assisted afterdischarge in hippocampal mossy fibers
Haruyuki Kamiya, Front. Neural Circuits 18, 1505204 (2025)
DOI: 10.3389/fncir.2024.1505204

・神谷温之: 海馬苔状線維投射の刺激誘発性バースト, 第101回日本生理学会大会 (2024).

・神谷温之: 海馬苔状線維における活動電位伝播の局所制御, 第102回日本生理学会大会 (2025).

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
重野 寛（慶應義塾大学）
加藤 由花（東京女子大学）
山口 弘純（大阪大学）
峰野 博史（静岡大学）
原 隆浩（大阪大学）
内藤 克浩（愛知工業大学）
佐藤 文明（東邦大学）
水野 忠則（愛知工業大学）
岩井 将行（東京電機大学）
川原 圭博（東京大学）
神崎 映光（島根大学）
太田 賢（宮城大学）
村山 優子（津田塾大学）
松井 加奈絵（東京電機大学）
米澤 拓郎（名古屋大学）
廣井 慧（京都大学）
内山 彰（大阪大学）

[2]研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

近年、小型マイコンの高性能化や無線技術の発達により、様々なモノがインターネットに接続される IoT 社会を迎えつつある。IoT 機器から湧出するセンサデータ（情報流）と AI 技術の実時間処理を通じて、各種サービスが創出され、人間中心のスマート社会の実現が期待されている。しかし、既存のシステムはサービスとデータが密結合しており、再利用性や連携性に乏しく、構築コストも大きいという課題があった。そこで本プロジェクトでは、これらの課題を解決し、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次世代の「自己産出型サービスプラットフォーム」の実現を目的とした。情報流の生成・処理に関わるハードウェアやソフトウェアを他と協調動作するエージェントとして抽象化し、これらを自律的に組織化するためのアーキテクチャと基盤技術の研究開発を行った。

プロジェクトの推進にあたっては、メンバー間の情報共有と研究討議を目的とした研究会を恒常的に実施した。具体的には、2023 年 11 月 17 日～19 日、2024 年 11 月 15 日～16 日、および 2025 年 11 月 14 日～15 日に、東北大学電気通信研究所において、関連するプロジェクト等と連携したハイブリッド合同研究会を開催し、各十数名の研究者が参加して深いディスカッションと成果発表を行った。

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトでは、「自己産出型サービスプラットフォームのアーキテクチャ」「IoT 機器向けエージェント技術」「自己産出型サービス流通技術」の 3 つのサブテーマを設定し、研究を推進した。

(1)アーキテクチャの検討について、各コンポーネントをエージェント化し、それらを組み合わせてボトムアップにシステムを構成する基盤を設計した。例えば内藤（愛知工業大学）らのグループは、移動透過性を備えた P2P オーバーレイネットワーク（CYPHONIC）を拡張し、専用プログラム不要の CYPHONIC アダプタの開発や、InfoFlow システムにクラウド UI を活用したビジュアルプログラミング機能を導入し、直感的な IoT サービス設計環境を構築した。

(2)IoT 機器向けエージェント技術では、エッジ AI やデータ処理等に特化した様々な規模の IoT デバイスを活用するフレームワークについて検討した。峰野（静岡大学）らのグループは、時系列データや環境情報を統合した植物の生理状態推定において、データ不均衡性の課題解決に着目した新しいリサンプリング手法（CREAMER、CSRM）を提案し、AI による学習効率と推定精度を大きく向上させた。

(3)自己産出型サービス流通技術の観点から、CYPHONIC クラウドでのシングルサインオン機

構の強化やプロセス追跡機能の導入により、サービス連携基盤の実用性やセキュリティを強化した。また、山口（大阪大学）らのグループを中心に、本プロジェクトの成果を地域社会のサイバーフィジカル空間プラットフォームへと発展させるなど、理論と実装の両面で計画を遂行した。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本プロジェクトでは、IoT 機器が生成する情報流を統合し、自律的に多様なサービスを生成するプラットフォームの基盤構築に向けて、主に以下の研究成果を達成した。

第一に、IoT 機器向けのセキュアかつ透過的な通信アーキテクチャの実現において、内藤（愛知工業大学）らのグループは、移動透過性を備えた CYPHONIC ネットワークへと IoT 機器が専用プログラムなしで参加できる CYPHONIC アダプタを開発した。さらに、InfoFlow システムにクラウド UI を活用したビジュアルプログラミング機能を導入し、直感的な IoT サービス設計や分散処理モデルを構築したほか、シングルサインオン（OIDC）の導入や各種 ID 付与によるプロセス追跡機能の強化など、スケーラブルな通信・サービス連携基盤の信頼性や利便性向上に大きく貢献した。

第二に、エッジ AI や機械学習を活用した高度なデータ処理技術について、峰野（静岡大学）らのグループは、センサ群から得られる時系列データにおける不均衡性の問題に対して抜本的な解決を図った。初期の CREAMER から発展させ、時系列データ構造を保つ前処理（RMTP）と、多数派・少数派推定結果を統合する後処理（CSM）を組み合わせたデータリサンプリング技術 CSRM（Case-Separated Resampling Method）を推進した。農業や交通等の実データを用いた検証において、全体の推定精度およびマイノリティデータの分類精度の一貫した向上に成功した。

第三に、実社会へ向けた応用システム展開と人間中心の課題抽出である。佐藤（東邦大学）のグループは、車載カメラを用いたディープラーニングによる物体検出と、バウンディングボックスのアスペクト比や背景画素の差分推移を活用したヒューリスティクスを組み合わせることで、軽量ながら高精度に飛び出し二輪車を検知可能な交通警報システムを開発した。また、村山（津田塾大学）のグループは、車いす使用者に対する情報技術支援の観点から 100 名規模の当事者・介助者向け調査を実施し、物理的・情報的パーソナルスペースに関する環境心理学的なプライバシーの新課題を提起した。

(5-2) 波及効果と発展性等

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），2021-2023 年度）を実施した．また，山口（大阪大学）らのグループでは，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），2021-2026 年度）を実施中である．さらに、山口、内山（大阪大学）らのグループは、「Integrated Sensing and Communication におけるエッジモバイルコア統合型制御方式の研究開発」（NICT 革新的情報通信技術研究開発委託研究（総額予算 282,371 千円，2024-2026 年度）を実施中である．これらのプロジェクトは、本プロジェクトの成果を基盤技術として活用し、地域社会のサイバーフィジカル空間プラットフォームの構築や、エッジモバイルコア統合型制御方式の研究開発など、理論と実装の両面で発展させることを目的としている．

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトでは、個々の IoT デバイスから湧出するセンサデータ（情報流）を円滑に処理し、多様なサービスを自律的かつ複合的に組み合わせて新たな価値を持続的に創出する「自己産出型サービスプラットフォーム」の実現に向けた基盤技術の研究開発に取り組んだ。今後の課題としては、これらの中核技術群（オーバレイネットワーク、時系列データ補完 AI、応用エージェント群）を連携させ、より広域かつ動的な実社会環境下での自律的なサービス生成・連携プロセスを完全自動化し実証することである。各デバイスの保有リソースや環境変化に応じた分散処理の最適化や、多様な利用者のプライバシーを守りながら情報を効果的に流通させるためのルール基盤の実現は、引き続き取り組むべき重要テーマと言える。今後は、本研究で培われた知見と要素開発技術を、後続する「サイバーフィジカル空間共有基盤」や「知のデジタライゼーション」等の派生プロジェクト群へと統合・発展させ、持続可能かつレジリエントな次世代のスマート社会インフラとしての実装を推進していく。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] 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), pp. 894-899, 2023.

[2] 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), pp. 997-1001, 2023.

[3] 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), pp. 990-994, 2023.

[4] 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), pp. 1141-1145, 2023.

[5] R. Nishida and Y. Kato, "A Crowd Model Evaluation Method for Autonomous Mobile Robot Simulator," Proc. of International Conference on Human System Interaction, pp. 1-6, 2024.

[6] A. Kanzaki and T. Ito, "An Efficient Data Gathering Method in UAV-Collaborative Sensing," 2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp. 1-6, 2024.

[7] 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), pp. 1116-1117, 2024.

[8] S. Nakazawa and Y. Kato, "Environment Classification Method Using Autoencoder to Select Appropriate Crowd Model for Robot Simulation," Proc. IEEE International Conference on Automation Science and Engineerin, pp. 1877-1882, 2024.

[9] G. S. Ujiie, Y. Suzuki, K. Miyamura, R. Aihata, H. Suzuki and K. Naito, "New design for CYPHONIC client program supporting multiple operating systems," Proc of 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 1114-1118, 2024.

[10] K. Miyamura, Y. Suzuki, G. S. Ujiie, H. Suzuki and K. Naito, "Single Sign-On Function of CYPHONIC for Service Linkage," Proc of 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 205-209, 2024.

[11] Y. Suzuki, M. Suda, G. S. Ujiie, K. Miyamura, H. Suzuki and K. Naito, "Effective Process Tracking in Horizontally Scalable CYPHONIC Cloud Services," Proc of 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 67-71, 2024.

[12] K. Suzuki, T. Sakai, G. Nishimiya and K. Naito, "Service separation scheme for distributed processing in InfoFlow," Proc of 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 1119-1123, 2024.

[13] S. Nakazawa and Y. Kato, "Evaluation of an Environment Classification Method for Optimal Crowd Model Selection in Autonomous Mobile Robot Simulations," Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 491-496, 2025.

[14] Y. Taniguchi, A. Kanzaki, "A DTN-based wireless sensor network for small-scale industry," Proc. of International Conf. on Consumer Technology - Pacific, 2025.

[15] A. Kanzaki, R. Ootao, "Design of a library and its management program for supporting sensor node development using mruby/c," Proc. of International Conf. on Consumer Technology - Pacific, 2025.

[16] T. Tanaka, A. Kanzaki, "Sound localization correction system using user position tracking in four laudspeakers environment," Proc. of International Conf. on Consumer Technology - Pacific, 2025.

[17] Nishida, Rio and Yuka Kato, "Evaluation of Crowd Model Suitability for Mobile Robot Simulation," Proc. of 2025 11th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pp. 1-6, 2025.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織
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
玉村　拓也、高野　巧光、原　和希、堀場　大智（鈴鹿工業高等専門学校　総合イノベーション工学専攻）

[2]研究期間
２０２３年５月　～　２０２６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、背景

ビスマス置換型イットリウム鉄ガーネット（Bi:YIG）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いる。磁気光学効果の工学的な応用に磁気光学イメージングを利用した非破壊試験があり、空間分解能が高く、簡便な試験手法として期待されている。既存のBi:YIG薄膜の成膜手法は、成膜後に700度程度の温度で結晶化熱処理を施す必要があり、耐熱性が低いアクリルやプラスチックといったフレキシブルな基板が使用できない。従って、Bi:YIG 薄膜は、その製造過程からフレキシブルに湾曲させることが困難で、非破壊試験が適用できる被検体の形状が平面に限定されるという課題がある。

そこで我々は、成膜する前に予め結晶化処理を施したパウダー状の磁性ガーネット粒子を液中に分散させて、スピンコート法により塗布して成膜する手法を開発している。本手法では、Bi:YIGの成膜後に熱処理を施す必要がないため、耐熱性の低いフレキシブルな基板上に Bi:YIG 薄膜を形成することができるようになると考えられる。

本プロジェクトでは、Bi:YIG パウダーの粒径をナノメートルオーダの超微粒子化して磁気光学塗布膜を形成し、成膜条件を調査することによって、自在に湾曲する基板上にフレキシブルな磁気光学薄膜を形成し、その磁気光学特性を明らかにすることを目的とするものである。

研究討論会・打ち合わせ等

本研究プロジェクトでは期間中の3年間で、年間2回程度、東北大学の後藤研究室を訪問し、試料の磁気光学効果の計測、研究討論、高専専攻科学生数名に対しての研究指導などを行った。

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトで用いる成膜手法は、磁性ガーネット微粒子を有機バインダ中に分散させた混合液を作製し、フレキシブル基板上に滴下して塗布する手法である。光散乱を抑制して膜の透光性を改善するために、遊星ボールミリングにより粉砕して磁性ガーネットパウダーの粒径をナノメートルオーダまで微粒子化している。

昨年度までの研究により、塗布法にスピンコートを用いて複数回の重ね塗り成膜を行うことにより、膜厚の増加に比例してファラデー回転角が増加することが確認されている。しかし、スピンコートは重ね塗りによる膜の均一性の低下や厚膜化が難しいことなどの課題があった。昨年度までに得られた膜厚は、10回の重ね塗り成膜で4 ㎛ほどであった。そこで成膜方法として、一度に厚い膜が形成できるバーコート法に着目し、バーの種類による膜厚の変化やファラデー回転角との関係について調査した。

[5] 研究成果と波及効果等
（5-1）研究成果

本研究で用いたバーの型番は、膜が乾燥する前のウェット状態の膜厚を示している。本研究では表 1 に示す、ウェット膜厚の公称値が 52 ㎛から300 ㎛までの 5 種類のバーを用いて、乾燥後の膜厚を比較した。膜厚の測定にはフィルム厚み測定機（HKT-Master0.01AA）を利用した。Bi:YIG 微粒子と有機バインダとして用いたウレタンニスの混合比率を、重量比として 8：2 で混合した。

その結果を表 1 に示す。表 1 により、ウェット膜厚におよそ比例して乾燥後の膜厚も増加していることがわかる。

いずれのバーにおいても 1 度の成膜でスピンコートによる 10 回の重ね塗り成膜を上回る膜厚が得られた。

表 2 に、乾燥後の膜厚の改善を目的として、Bi:YIG 微粒子と有機バインダの混合比率を変化させたときの膜厚との関係について示す。Bi:YIG 微粒子の混合比率を相対的に大きくしていくと、乾燥後に堆積する Bi:YIG が増加するため膜厚が厚くなり、混合比率に従ってファラデー回転角も改善した。同じ 9：1 の比率でスピンコートにより成膜した結果と比較すると、約 8 倍のファラデー回転角を示した。なお、ファラデー回転角の改善は膜厚によるものであり、表 2 に示す通り、単位膜厚あたりのファラデー回転角には大きな変化はなかった。

Bi:YIG 薄膜の膜厚とファラデー回転角の関係と、その時の透過率を測定した結果を図 1 に示す。ファラデー回転角は、東北大学の後藤研究室にて測定した。測定は波長 532 nm にて行い、磁気飽和した時の飽和回転角を示している。

表１．バーコータの番手ナンバと膜厚との関係

バーの型番	ウェット膜厚 [μm](公称値)	混合比	膜厚 [μm]
OSP-300T	300	8:2	18.6
OSP-200T	200		8.1
OSP-100T	100		6.1
OSP-80T	80		5.9
OSP-52	52		4.6

表２．Bi:YIG 微粒子と有機バインダの混合比と膜厚の関係およびスピンコート法との比較

	比率	ファラデー回転角 [deg]	膜厚 [μm]	単位膜厚当たりの回転角 [deg/μm]
バーコート OSP-300T	7:3	0.08	11.5	7.0×10^{-3}
	8:2	0.13	18.6	7.0×10^{-3}
	9:1	0.26	37.3	7.0×10^{-3}
スピンコート	9:1	0.03	4.5	6.7×10^{-3}

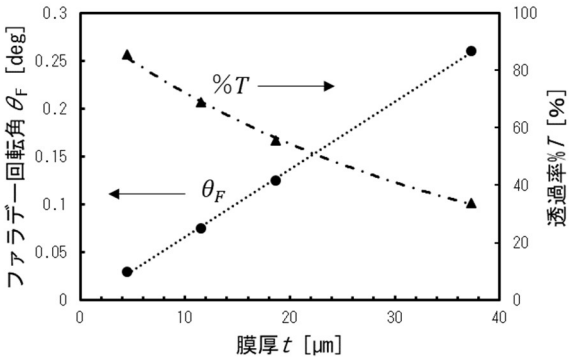


図１．乾燥後の膜厚とファラデー回転角および透過率との関係

膜厚に比例してファラデー回転角が増加していることから、バーコート法に用いるバーの型番により成膜後のファラデー回転角を制御できることを示している。なお、いずれの試料においても 30%以上の高い透過率を維持している。

本年度得られた最大の膜厚は 37.3 ㎛であった。これはスピンコートにおいて約 100 回の重ね塗りに相当する厚さであり、バーコート法により成膜プロセスを大幅に改善することができることを示唆している。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで明らかになった磁性ガーネット微粒子の塗布による成果は、ナノ粒子と薄膜形成という異分野融合型の研究領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待されている。本プロジェクトへの参画学生が通研へ進学し、通研対応教員の関連プロジェクトに参画した。次世代若手研究者育成に波及している。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトは、有機バインダ中に Bi:YIG 微粒子を分散させた塗布液を作製し、バーコート法によりアクリル基板上に塗布することでフレキシブルな磁気光学薄膜を形成した。形成した薄膜のファラデー回転角を測定した結果、ウェット膜厚に比例して回転角が増加することが確認できた。従って、バーコート法に用いるバーの型番を選択することで、ファラデー回転角の大きさを制御できることを示した。

今後は有機バインダの濃度や粘度を改善し、有機バインダの混合比率を下げることによって、Bi:YIG 微粒子の密度を相対的に向上させることで、単位膜厚当たりのファラデー回転角の改善を目指す。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・高野巧光, 玉村拓也, 橋本良介、「液相を用いたフレキシブル磁気光学膜の形成と光学特性の評価」、電気学会マグネティックス/リニアドライブ合同研究会、2025 年 6 月（口頭発表）

・橋本良介、「自在に湾曲する磁気光学薄膜開発のための磁性ガーネットナノ粒子の作製と評価」、第 35 回日本 MRS 年次大会、2025 年 11 月（口頭発表）

・堀場太智, 原和希, 高野功光, 橋本良介、「バーコート法による磁気光学薄膜形成における成膜基板の影響」、第 73 回応用物理学会春季学術講演会、2026 年 3 月（口頭発表）

・原和希, 堀場太智, 高野功光, 橋本良介、「画像解析を用いた磁気光学イメージング薄膜の光学特性の評価」、第 73 回応用物理学会春季学術講演会、2026 年 3 月（ポスター発表）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・橋本良介、玉村拓也、高野巧光、「スマートフォンを利用した磁気光学探傷像の撮影」、電気学会マグネティックス/リニアドライブ合同研究会、2025 年 6 月（口頭発表）

・神谷夏希、橋本良介、「有限要素法解析による磁気光学イメージングにおける欠陥深さと漏洩磁界強度の関係の定量的解析」、第 73 回応用物理学会春季学術講演会、2026 年 3 月（ポスター発表）

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
北　智洋（早稲田大学理工学術院）

通研対応教員：
佐藤　昭（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

2024 年 4 月　～　2025 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

Beyond 5G/6G に向けた超大容量無線通信技術の実現には、100 GHz を超えるミリ波・テラヘルツ（THz）帯の利用が重要である。しかし、従来の電子デバイスのみを用いた THz 信号の発生・変調・検出には、高周波動作、雑音特性、消費電力、実装サイズの面で課題が残されている。本プロジェクトでは、シリコンフォトニクスと化合物半導体を融合した光電子融合ヘテロジニアス集積技術により、小型・低消費電力・低雑音な THz トランシーバの実現に向けた基盤技術の確立を目的とした。特に、高安定な二波長光の差周波数を利用して THz 波を発生させるフォトミキシング型の構成に着目し、二波長可変ヘテロジニアスレーザ、シリコンフォトニクス光変調器、インライン光モニタ、およびこれらを組み合わせた THz 変調波生成技術の研究開発を進めた。これにより、300 GHz 帯 THz 変調波の生成と評価を通じて、本技術の有効性を検証した。

研究期間中には、オンラインおよび対面による研究打ち合わせ・研究討論を計 8 回実施し、THz トランシーバに必要な光源、光変調、光電変換、集積化に関する技術課題について議論を行った。また、共同プロジェクト研究発表会、国内外の学会発表、招待講演等を通じて成果を発信し、関連分野の研究者との交流を進めた。

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトでは、光領域で高安定な二波長光を生成し、その差周波数を利用して THz 波を発生させる光電子融合型 THz 送信技術の確立を目指した。従来の電子デバイスのみを用いた THz 信号発生では、高周波化に伴う損失や雑音、消費電力の増大が課題となる。そこで、シリコンフォトニクスを用いた光集積回路と化合物半導体光デバイスを組み合わせ、光源、光変調器、光モニタを集積可能な構成として検討を進めた。

THz 波発生用の光源としては、シリコンフォトニクス外部共振器と量子井戸半導体光増幅器を組み合わせたヘテロジニアス二波長可変レーザを開発した。リング共振器型波長フィルタと DBR 反射器により二つの発振波長を選択し、熱光学効果により二波長間の周波数差を制御することで、300 GHz 帯を含むミリ波・THz 帯の搬送波を光ビートにより生成することを狙った。

二波長光に情報信号を付加するため、シリコンフォトニクス光変調器の設計・試作・評価を行った。低電圧・低消費電力動作が期待できるリング共振器型変調器と、高速・広帯域動作に適した Mach–Zehnder 干渉計型変調器を対象とし、それぞれの変調特性を評価した。また、ヘテロジニアス集積光回路の安定動作に向けて、マルチモード干渉を利用した小型・低損失なインライン光モニタを開発し、光回路内の光強度や共振状態を直接モニタする手法を検討した。

これらの要素技術を組み合わせ、二波長可変レーザと光変調器を用いた THz 変調波発生実験を行った。二波長可変レーザにより 300 GHz 帯の差周波数を持つ二波長光を生成し、光変調器によってデータ信号を付加した後、フォトミキシングにより THz 帯の変調波へ変換する構成とした。シリコンフォトニクス変調器および LN 変調器を用いた強度変調信号を比較し、アイパターン観測および BER 評価を通じて、光電子融合型 THz 送信器としての有効性を検証した。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本プロジェクトでは、光電子融合ヘテロジニアス集積技術を用いた THz 送信器の実現に向けて、二波長可変レーザ、シリコンフォトニクス光変調器、インライン光モニタ、および THz 変調波生成技術の開発を行った。

THz 波発生用の光源として、量子井戸半導体光増幅器とシリコンフォトニクス外部共振器を組み

合わせたヘテロジニアス二波長可変レーザを開発した。リング共振器型波長フィルタにより二つの発振波長を選択し、ヒータ制御によって一方の発振波長を 1537.98 nm から 1546.86 nm まで掃引できることを確認した。これにより、二波長間の差周波数として最大約 1 THz に相当する広い可変範囲が得られ、THz 波発生用光源としての有効性を示した。

二波長光に情報信号を付加するため、シリコンフォトニクス光変調器の設計・試作・評価も行った。リング共振器型変調器では低電圧・低消費電力動作を目指し、Mach–Zehnder 干渉計型変調器では高速変調動作を重視した。シリコン MZI 光変調器を用いた 12.5 Gbit/s 変調では明瞭なアイパターンが得られ、THz 変調波生成に必要な高速光強度変調が可能であることを確認した。

また、集積光回路の安定動作に必要な光強度モニタとして、マルチモード干渉を利用した小型・低損失インライン光モニタを開発した。最小構造ではデバイス長 4.7 μm でありながら、挿入損失 0.1 dB 以下、100 nm 以上の広帯域動作を実現した。さらに、フォトコンダクティブ動作に基づくキャリア増幅効果により、約 340 倍のゲインと 75 mV/mW の検出感度を得た。リング共振器へ集積した評価では、透過光スペクトルと光電流スペクトルが良好に一致し、共振状態を電気的に読み出せることを確認した。

これらの要素技術を組み合わせ、二波長可変レーザと光変調器を用いた THz 変調波発生を実証した。約 278–302 GHz の差周波数を持つ二波長光に対して、シリコン MZI 変調器および LN 変調器により 12.5 Gbit/s の OOK 変調を行い、フォトミキシングにより 300 GHz 帯の THz 変調波を生成した。生成した THz 変調波では明瞭なアイパターンが観測され、BER は LN 変調器を用いた場合で 1.12×10^{-10}、シリコン変調器を用いた場合で 3.68×10^{-4}を達成した。シリコン変調器を用いた構成でも HD-FEC 限界以下の BER が得られたことから、シリコンフォトニクスを用いた小型 THz 送信器の有効性を示すことができた。さらに、LN 変調器を用いた PAM4 相当の多値変調評価では、25 Gbit/s 相当の THz 変調波においても明瞭なアイ開口が確認された。これにより、本方式が OOK 変調にとどまらず、多値変調を用いた大容量 THz 通信へ展開可能であることを示した。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで得られた二波長可変レーザ、シリコンフォトニクス光変調器、インライン光モニタ、および THz 変調波生成に関する成果は、光電子融合ヘテロジニアス集積技術を用いた THz トランシーバ実現に向けた重要な基盤技術である。特に、光領域で高安定な二波長光を生成し、フォトミキシングにより 300 GHz 帯の変調波を発生できることを示した成果は、従来の電子デバイスのみでは困難であった低雑音・周波数可変な THz 信号生成技術の発展につながるものである。

本成果を基盤として、THz 波を高出力化する新規光電融合デバイスの開発を目指す大型研究プロジェクトへと発展しつつある。具体的には、光源、光変調、光電変換、THz 波発生を一体的に扱うことで、Beyond 5G/6G に向けた高周波・大容量無線通信に適用可能な THz 送信技術への展開を図っている。今後は、チップスケールでの高出力・低雑音 THz 波発生、ならびに高効率な光電変換技術の確立を通じて、実用的な THz トランシーバ技術への発展が期待される。

本プロジェクトの成果は、MOC 2025 での発表および TeraTech 2025 での招待講演などを通じて発信され、ミリ波・THz 波工学、光通信、シリコンフォトニクス分野の研究者との交流拡大につながった。また、二波長可変レーザを用いた THz 変調波生成に関する成果は MOC 2025 Student Paper Award を受賞し、若手研究者の育成にも寄与した。さらに、インライン光モニタの成果は、THz 通信に限らず、光通信トランシーバ、LiDAR、光センシング、大規模シリコンフォトニクス回路の安定制御などへの応用も期待される。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトでは、シリコンフォトニクスと化合物半導体を融合した光電子融合ヘテロジニアス集積技術により、小型・低消費電力・低雑音な THz トランシーバの実現に向けた基盤技術の研究開発を行った。特に、二波長可変ヘテロジニアスレーザ、シリコンフォトニクス光変調器、インライン光モニタを開発し、これらを組み合わせることで 300 GHz 帯 THz 変調波の生成を実証した。12.5 Gbit/s の OOK 変調信号および PAM4 相当の多値変調信号において明瞭なアイ開口が確認され、光電子融合型 THz 送信器の有効性を示すことができた。

今後の課題は、光源、変調器、光モニタ、光電変換部をより高密度に集積し、光結合損失や雑音を低減したチップスケール THz 送信器へ発展させることである。特に、実用的な THz 通信システムに向けては、THz 波の高出力化、さらなる高速・多値変調への対応、長時間安定動作のためのフィードバック制御が重要となる。今後は、本プロジェクトで得られた成果を基盤として、新規光電融合デバイスによる高出力・低雑音 THz 波発生技術の確立を進め、Beyond 5G/6G に向けた THz トランシーバ技術への展開を目指す。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・査読付き誌上発表論文

[1] Kissho Iwanaga, Yuga Tomimura, and Tomohiro Kita, “Hybrid Laser Diode with Ultrawide Wavelength-Tunable Range using Curved Directional Couplers,” Optics Express 31, pp. 34946-34953, 2023.

[2] Kissho Iwanaga, Yuga Tomimura, and Tomohiro Kita, “Silicon photonics hybrid wavelength tunable laser diode using curved directional couplers with 145 nm tunable range,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 63, 03SP52, 2024.

[3] Kohei Iino and Tomohiro Kita, “Low thermal crosstalk silicon MZI optical switch with high speed and low power consumption,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 63, 03SP21, 2024.

[4] Yamato Misugi, Tomoki Nakano, and Tomohiro Kita, “Silicon-based high-resolution and low-power-consumption two-dimensional beam scanner integrated with hybrid wavelength-tunable laser diode,” Optics Express, Vol. 32, pp. 13746-13760, 2024.

[5] 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.

[6] Yuga Tomimura, Akira Satou, and Tomohiro Kita, “Generation of Millimeter Waves and Sub-Terahertz Waves Using a Two-Wavelength Tunable Laser for a Terahertz Wave Transceiver,” Photonics, Vol. 11, No. 9, 811, 2024.

[7] Tomohiro Kita and Kiyoharu Tsujishita, “Compact and Ultra-Low-Loss Inline Optical Power Monitor Based on Multimode Interference for Silicon Photonic Integrated Circuits,” Journal of Lightwave Technology, Vol. 44, No. 10, 4183, 2026.

[8] Risa Taniguchi, Momoka Komoda, and Tomohiro Kita, “Effective resolution enhancement of a passive optical phased array using a multi-input star coupler,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 65, 05SP10, 2026.

[9] Takeru Tsunoda and Tomohiro Kita, “A SiN/Si hybrid wavelength-tunable laser enabling megahertz-order FMCW ranging via thermo-optic phase modulation,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 65, 07SP03, 2026.

[10] Kiyoharu Tsujishita, Soma Kawano, and Tomohiro Kita, “Generation of modulated terahertz waves using a two-wavelength tunable heterogeneous laser diode and a silicon modulator based on silicon photonics,” Japanese Journal of Applied Physics, in press, 2026.

・査読付き口頭発表論文

[1] Tomohiro Kita, Raimu Sato, Takeru Tsunoda, Ayaka Nomura, Leo Mori, and Kissho Iwanaga, “Silicon Photonics Hybrid Tunable Laser Diode with Wavelength Tuning Range Exceeding 150 nm,” International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2024), USA, September 30, 2024.

[2] Yuga Tomimura, Dohyeong Lee, Akira Satou, Taiichi Otsuji, and Tomohiro Kita, “THz transmitter using silicon photonics based two-wavelength tunable laser diode and ring modulator,” Microoptics Conference (MOC 2024), Taiwan, October 1, 2024.

[3] R. Takahashi, S. Horiuchi, T.-T. Lin, C. Tang, T. Otsuji, and A. Satou, “Heterodyne Detection at 300-GHz Band by a UTC-PD-Integrated HEMT Photonic Double-Mixer with a Grating-Gate Structure,” International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2025), September 16, 2025.

[4] Momoka Komoda, Risa Taniguchi, and Tomohiro Kita, “Resolution enhancement of passive optical phased arrays using a star coupler,” Microoptics Conference (MOC 2025), Tochigi, October 13, 2025.

[5] Kiyoharu Tsujishita, Soma Kawano, and Tomohiro Kita, “Generation of modulated THz waves using a two-wavelength tunable silicon photonics heterogeneous laser diode,” Microoptics Conference (MOC 2025), Tochigi, October 15, 2025.

[6] Takeru Tsunoda and Tomohiro Kita, “[Post-deadline paper] Ultra-high repetition FMCW measurement using thermo-optic effects with SiN/Si hybrid wavelength tunable laser diode,” Microoptics Conference (MOC 2025), Tochigi, October 15, 2025.

・出願特許
[1] 北　智洋,「光検出器」, 日本, 特願 2024-147483, 2024 年 8 月 29 日出願。

・登録特許
[1] 北　智洋,「レーザビームスキャナ」, 日本, 特許第 7530099 号, 2024 年 7 月 30 日登録。
[2] 北 智洋, メンデス マヌエル,「光スイッチ」, 日本, 特許第 7491565 号, 2024 年 5 月 20 日登録。

・報道発表
[1]「光電流を従来の 340 倍に増幅する超小型光回路モニタを開発」, 早稲田大学, 2026 年 3 月 19 日。

RIEC 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 (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Research Collaborator of RIEC：
- Shuichi Sakamoto（RIEC）

Research Collaborator:
- Akira Takeuchi (Rochester Institute of Technology)

[2] Research Period

2025, April or May　～　2026, March

[3] Purpose, Background, and Overview of the Project

Last year, the project has been expanded to the development of attention decoding method by using machine learning based method. We have checked CNN (Convolutional Neural Network)-loc (locus) models (Vandecappelle, S., *et al*., 2021) and optimized the method (Takeuchi, A., *et al*., 2025-1), which is called s-AAD (spatial auditory attention decoder).

However, the CNN-loc which was optimized for fewer channels EEG headset was successful, the model was not generalized well for some participants. We hereby, employed a new s-AAD model incorporating dilated convolutional layers to improve model robustness, based on recent architectures reported by J. Sun et al. (2023) and T. Liang et al. (2023).

A new real-time s-AAD testing framework was also introduced to automatically synchronize the ground-truth attentional direction and the model's predictions. Using this framework, each model's performance was evaluated by tracking the temporal correspondence between the reference and estimated attention trajectories (Takeuchi, A., *et al*., 2026).

[4] Research Plan and Content

First, a circular 10-channel EEG sensor configuration was selected from the original 64-channel EEG dataset (Figure 1; orange circles indicate the original channels of the DSI-24, while green-marked channels indicate the proposed subset).

For comparison, an alternative 10-channel configuration centered on the parietal lobe was also proposed (Figure 2) to exclude temporal lobe channels, which are generally considered highly relevant to auditory processing (marked by red rectangles).

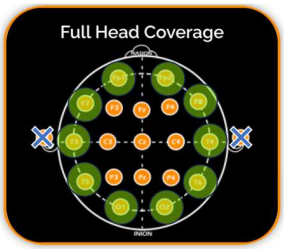


Figure 1. 10-channels circular configuration



Figure 2. 10-channels parietal configuration

Additionally, an 8-channel configuration was examined by excluding forehead-area channels (Fp1/Fp2) from 10-channels parietal configuration to reduce the influence of eye-movement artifacts.

The proposed dilated s-AAD model included additional dilated convolutional layers with dilation factors of 2 and 4 (Figure 3). These layers were expected to improve temporal feature extraction while preventing an exponential reduction in temporal resolution.

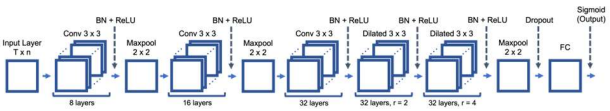


Figure 3. Dilated s-AAD CNN architecture

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

A 4-fold cross-validation analysis was conducted to evaluate the performance of the s-AAD model across the various channel configurations (Figure 4), as well as the dilated model using 18 channels (Figure 5).

Interestingly, the 10-channel and 8-channel configurations achieved higher accuracy than the baseline 18-channel configuration, while the dilated 18-channel model outperformed the standard s-AAD model, particularly when the input EEG chunk duration was shorter than 5.0 seconds in the test dataset.

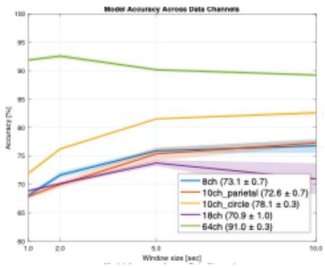


Figure 4. Accuracy and confidence interval of 4-fold cross-validation of s-AAD for various channel configurations

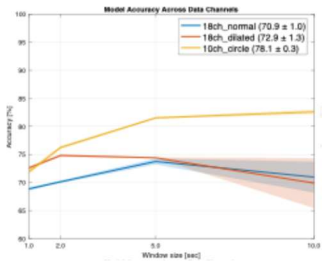
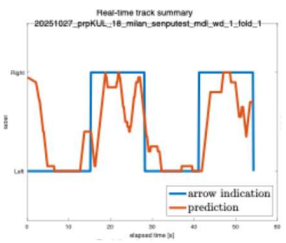
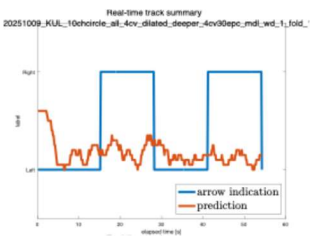


Figure 5. Accuracy and confidence interval of 4-fold cross-validation of s-AAD for 18-channel dilated model

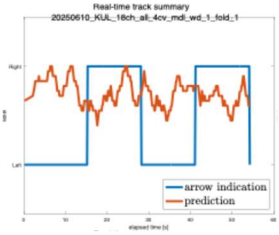
Figure 6 compares the blue line (ground truth) and red line (s-AAD model prediction) obtained from offline simulation of the real-time inference framework using EEG data recorded during the same real-time task as last year.



(a)s-AAD proposed last year



(b)10 channels circle model



(c)Dilated 10 channels model

Figure 6. Comparison of s-AAD tracking

Successful inference cases showed that the red line closely tracked the blue line, as illustrated in Figure 6(a). However, in contrast to the offline test dataset results, these updated models did not demonstrate sufficiently accurate attention tracking under the real-time framework, as shown in Figures 6(b) and 6(c).

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

Based on these findings, several limitations have been identified as priorities for future work:

- **Overfitting**
  Since the model was trained using only a single dataset, inference performance for other participants or different experimental settings may be lower than the cross-validation score suggests. Incorporating additional datasets may help improve generalizability.
- **Channel location mismatch**
  The training dataset was acquired using the BioSemi ActiveTwo 64-channel EEG system, whereas the real-time inference experiment was conducted using the Wearable Sensing DSI-24 headset. Although both systems follow the international 10–20 electrode placement system, slight differences in sensor geometry may introduce channel-location mismatches.

[6] Summary and Future Challenges

This year, the research further advanced toward practical deployment and system optimization. Reduced-channel configurations and dilated CNN architectures were systematically evaluated, demonstrating that further channel reduction is feasible without significant loss of offline decoding performance. In some cases, reduced-channel models even outperformed the baseline system in offline validation.

At the same time, the discrepancy observed between offline validation and real-time performance highlighted critical challenges related to model generalizability, overfitting, and hardware-related channel mismatch. These findings provide important direction for future work aimed at developing robust and deployable real-time neuroadaptive auditory systems.

Overall, this research contributes a scalable framework for decoding auditory attention across different cultural contexts, EEG hardware systems, and real-time application settings. The outcomes have strong potential for future applications in assistive listening devices, neuroadaptive media systems, immersive virtual environments, and attention-aware auditory interfaces.

【Appendix】

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

・Takeuchi, A., *et al*.. “Real-time Spatial Auditory Attention Decoding from Single-trial EEG.” In *Association for Research in Otolaryngology 2025 MidWinter Meeting* (session I-128), Association for Research in Otolaryngology (2025-1).

・Takeuchi, A., Shim, H., Choi, I., Kim, S., & Sakamoto, S. The role of self-construal in auditory spatial attention: neural responses to masking noise in speech-in-noise tasks. 154th Meeting of the Acoustical

Society of Japan (2025-2).
・Takeuchi, A., Shim, H., Choi, I., Kim, S., Sakamoto, S. The Effect of Cross-Cultural Self-Construal on Individual Spatial Auditory Cognitive Patterns. Proceedings of the 2025 Joint Fall Conference of the Acoustical Society of Korea and the Korean Society for Music Perception and Cognition (2025-3).
・Takeuchi, A., Shim, H., Choi, I., & Kim, S. Evaluating dry-electrode electroencephalography system for auditory neuroscience using speech-in-noise tasks. In *Proceedings of Meetings on Acoustics* (Vol. 56, No. 1, p. 050007). Acoustical Society of America (2025-4).
・Takeuchi, A., Shim, H., Choi, I., & Kim, S. Dilated CNN model for real-time spatial auditory attention decoding from a dry-electrode EEG device. 155th Meeting of the Acoustical Society of Japan (2026).

（2） List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・Vandecappelle, S., *et al*. “EEG-based detection of the locus of auditory attention with convolutional neural networks”. *Elife*, *10*, e56481 (2021).
・Das, N., *et al*. “The effect of head-related filtering and ear-specific decoding bias on auditory attention detection.” *Journal of neural engineering*, 13(5), 056014 (2016).
・Somers, B., *et al*. “A generic EEG artifact removal algorithm based on the multi-channel Wiener filter.” *Journal of neural engineering*, *15*(3), 036007 (2018).

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R05/A33

研究課題名

Emotion processing in real and cyber world

[1] 研究組織

研究代表者：

PERUSQUIA HERNANDEZ Monica（Division of Information Science, Nara Institute of Science and Technology）

通研対応教員：

Miao CHENG（RIEC）

[2]研究期間

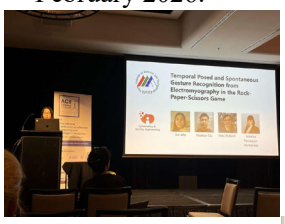
2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

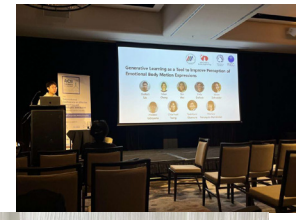
[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

The goal of this research is to investigate what messages are better understood by most perceivers. In this manner, producers will be able to express their emotions in cyberspace with a low risk of being misunderstood. Emotion expressions are ubiquitous in our lives. They are a communication message transmitted to others with the purpose of getting understood and showing understanding towards another's situation. Affective messages can be analyzed from an encoding, or production perspective, and from a decoding, or perception perspective. Whereas production is more important to understand the state of a social agent, the perception of the message is of utmost importance in the cyberworld. One of the promises of the cyberworld is that it enables us to be present in virtual spaces, represented as we want to be represented. In virtual reality, physical limitations of identity and communication can be overcome. However, to transmit a particular affective message, a clear signal is required.

We met once or twice a year during workshops and academic presentation events. For example, the RIEC annual meetings and a workshop were held in NAIST with researchers from different universities and disciplines. Prof. Kitamura gave a keynote on Nonverbal Information to Enrich Future Telecommunication — Challenges utilizing both Cyber and Real Space, and 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/

We also met at the 2025 JSRE meeting with Dr. Yabe, at ACII2025 in Australia, and members Xin Wei and Huakun Liu visited Tohoku University in February 2026.







[4]研究計画及び内容

We approached affective signal definitions from a perceiver's perspective.

(1) We generated a number of body movements randomly, and asked participants to rate what messages they understood from them. Based on these subjective ratings, reverse correlations will be used to derive movement parameters that best describe an affective message.

(2) We analyzed the onset and offsets of movements and linked their dynamics to the onset of the perceiver's recognition of the message. Temporal assessments will be done with the help of Libet clocks, and behavioral and physiological assessments.

(3) We used the results to design visualizations to provide feedback to the sender of the affective message, to indicate when the message has been correctly received. This can be done visually or through haptics.

[5] 研究成果と波及効果等

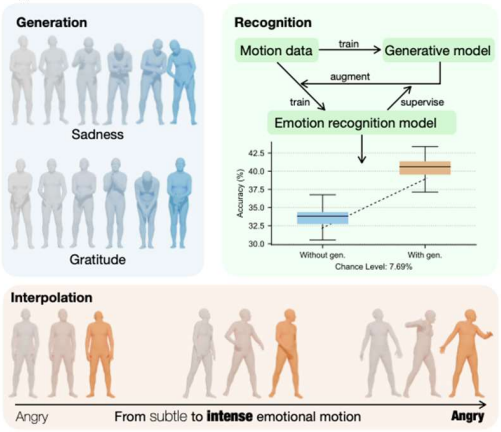
(5-1) 研究成果

With a libet clock paradigm, we explored the precedence or following of physiological responses to audio stimuli. We are currently analyzing the data, but preliminary results suggest that there is no predefined temporal precedence of behavioral cues and affective

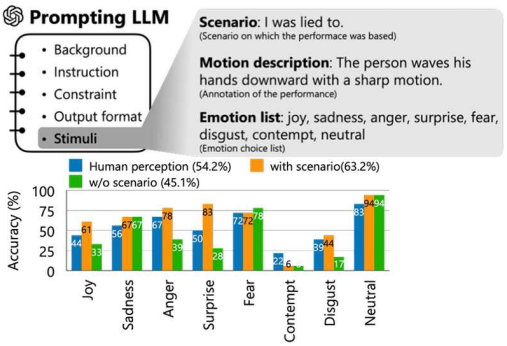
awareness.

Furthermore, we investigated whether a generative model can implicitly learn emotional body motions directly from culturally grounded motion-capture data, without explicit emotion-motion guidance. Using a dataset of emotional performances by 49 Japanese actors, we trained a Transformer-based generative model to generate expressive motions conditioned on 13 discrete emotion labels. We evaluate the generated motions from two perspectives: (1) an LSTM-based classifier to assess recognizability by machine observers, achieving a recognition accuracy of 22.80%, and (2) a human perception study with Japanese raters to assess alignment with human affective interpretations, yielding a recognition accuracy of 24.91%.

Beyond these, we evaluated the utility of generative modeling for three practical tasks: augmenting emotion recognition models, extracting representative emotion-specific motion patterns, and synthesizing smooth transitions between emotion intensities. Our findings highlight the potential of implicit, data-driven generative modeling to enhance affective computing applications and our understanding of emotion expressions.



Also, we explored the use of large language models (LLMs) to simulate humans' judgment variability and model the distribution of perceived emotions from body motion. Given textual motion descriptions derived from a multi-actor dataset covering diverse emotional contexts, we prompted LLMs to generate emotion probability distributions. We compared LLM-generated outputs with distributions of human perceptions and performer-intended emotion labels. The model showed strong perceptual alignment with human perceivers and achieved 63.2% accuracy in identifying intended emotions, comparable to that of human perceivers. We further investigated the effects of context and scoring constraints, demonstrating that both factors influence the model's scoring. Our findings suggest that LLMs can serve as effective proxies for modeling emotion perception distributions from motions, supporting scalable evaluation and generation of expressive behaviors grounded in human perception.



(5-2) 波及効果と発展性等

This project dramatically revitalized exchanges with external researchers and evolved into our project through exchanges in self-organized workshops and international academic conferences. Furthermore, the findings from this project have led to pioneering research on the use of data-driven models to improve embodied non-verbal communication and to a novel methodology for assessing the temporal relationship between physiological change and affective awareness.

[6]まとめと今後の課題

We took the first steps toward understanding affective embodiment using physiological signals and virtual avatars. In the future, we will continue to refine our machine learning models to better understand human emotion perception and production.

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・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.

・Perusquía-Hernández M., Liu, H., Cheng, M., Wei, X., Dollack, F. Minimum viable communication: emotion processing in the real and cyberworld. FY 2024 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects.

・Liu, H., Cheng, M., Wei, X., Dollack, F., Schneider, V., Uchiyama, H., Tseng, C., Kitamura, Y., Perusquía-Hernández, M. (2025). Minimum viable communication: emotion processing in the real and cyberworld. FY 2024 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects.-------

・Liu, H., Cheng, M., Wei, X., Dollack, F., Schneider, V., Uchiyama, H., Kitamura, Y., Kiyokawa, K., Perusquía-Hernández, M. Large Language Models as Perceivers of Dynamic Full-Body Expressions of Emotion. Proceedings of the International Conference on Multimodal Interaction 2025 (ICMI). 2025.

・Liu, H., Cheng, M., Wei, X., Dollack, F., Schneider, V., Uchiyama, H., Tseng, C., Kitamura, Y., Perusquía-Hernández, M. Generative Learning as a Tool to Improve Perception of Emotional Body Motion Expressions. Proceedings of the Affective Computing and Intelligent Interaction Conference (ACII). 2025.

・ Perusquía-Hernández, M., Cheng, M., Yamagishi, S., Watanabe, K., Kashino, M., Yabe, Y. The Libet Clock as a Tool for Assessing the Timing of Self-Reported Emotional Awareness. Japanese Society for the Research on Emotion.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・NA

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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]研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

○背景および目的

分散配置された収音装置からネットワークを通じて音信号を集め，深層学習などの技術に基づいて広範囲の音環境における危険や異常を自動的に検知したり，特定の音源からの信号の空間的な伝搬の様子を把握したりすることができる．このようなシステムを，「音環境自動認識システム」と呼ぶことにする．音環境自動認識システムは，個々の収音装置(ユニットと呼ぶ)とユニットからのデータを収集・蓄積するサーバを単位として，多層化することができる．また，そのための計算資源においてもエッジコンピュータから高い計算能力をもつものへ段階的に利用することができる．これらのことをふまえ，本研究は，広範囲の音環境から得られた音信号からその場の様々な状態を自動で認識するシステム，自律分散組織型の構造で構築することを目的とした．

○本プロジェクトの実施概要

本プロジェクトは，研究期間のほとんどで研究代表者，研究分担者および通研対応教員との間で電子メールを中心としたコミュニケーションを継続的に行いつつ，次のような研究打ち合わせを年に1度通研で行った．このうち，2024年度と2025年度は8月の日本音響学会および電子情報通信学会の共催で開催される聴覚/応用音響研究会の開催時期に行った．

- 2023 年度：2024 年 1 月 5 日(金)
- 2024 年度：2024 年 8 月 1 日(金)
- 2025 年度：2025 年 8 月 5 日(火)

本プロジェクトでは，通研共同プロジェクト研究発表会に毎年度参加し，ポスターセッションにおいてポスターの発表を行った．

[4]研究計画及び内容

1. マイクロホンの接続されたマイコンにおいて，特定の時間に指定の時間の長さで録音を行うソフトウェアを作成する．
2. この収音装置を用い，様々な環境で音信号を収集してコーパスとする．
3. 1 で作成された収音装置で収集された音信号を，ネットワーク上のアーカイバとなるコンピュータに蓄積できるようにする．
4. 収集された音信号を用いた音環境自動認識のためのシステムを機械学習に基づき構築する．どのような認識を行うかでシステムの構成は異なると考えられるが，本研究では次の 2 点に焦点を絞る．
   (1) 音環境における危険および異常の検知
   (2) 収集された音信号のもつ空間的情報の抽出
5. 4 で構築されたシステムについて，ニューラルネットワークを用いた部分を説明可能 AI の技術を用いて説明可能とすることを試みる．
6. 1～5 でつくられた各システムを多層化し，より広範囲の音環境の認識が行えるようにする．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

○ユニットの開発

様々な音環境で収音を行うためのユニットを構築した．2023～2024年度にはRaspberry Pi，Tinker Board，M5Stack Core2 などのエッジコンピュータを用いた開発を行った．このうち，Tinker Board ではボードと記憶装置とのデータの通信の関係で可聴周波数領域をカバーする録音に支障が生じた．その一方で，Raspberry Pi および M5Stack Core2 ではそのような問題が生じなかった．2025 年度において追加の開発を行い，Raspberry Pi では動作

するユニットについてはほぼ開発を終了した．可搬性などへの配慮が必要であるが，フィールドでの試験も行い，十分な性能をもち可聴周波数帯域をカバーする収音が可能であることを確認した．

○異常音検出と収音におけるビームフォーミング

2023 年度は，得られた音に含まれる何らかの異常を機械学習に基づいて検出するための方法として，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． 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

これらの評から，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．

2025 年度では，上記のうち GMM に基づく手法のさらなる性能向上を目指して，AE と組み合わせた DAGMM を提案した．これは，図 1 に示すように GMM におけるガウス分布のパラメータを低次元の AE を学習させ，得られた誤差をもとに最終的なパラメータを推定するもので，GMM であらかじめ必要なセグメンテーションを必要としないことも特徴である．

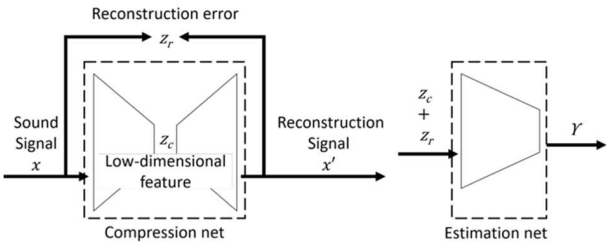


図 1 DAGMM の概略図

共通の学習用データ，テスト用データで GMM と検出性能を *F*-値などを通じて比較した結果，同等以上の性能となることがわかった．

さらに，2024 年度では音環境において収音する音を選択する，あるいは収音において不必要な音を除去するビームフォーミングについて検討を行った．単に収音したい方向に高い，したくない方向に低い重みをつけるだけではなく，その指向性にある程度の幅を許容したうえで緩やかに変化するような重みとした方が結果として高いビームフォーミングの性能が得られることが明らかとなった．さらに，決められた収音用のマイクロホンの数などに対して最適化の検討を行った．

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトにより，代表者をはじめとしたメンバーの間の交流のみならず，メンバーのそれぞれが所属する学会の研究発表会および研究会への参加が少なからず促進された．また，学外研究者との交流についても通研対応教員から示唆がなされ，本プロジェクトにおける研究の今後の発展が期待される．現時点で，他の外部資金の獲得には至っていないが，異常検出をはじめ音を通じた様々な現象の検知や認識については今後も発展が予想されるため，本プロジェクト終了後も粘り強く獲得を目指したい．

本プロジェクトの研究内容は，様々な環境で収音を行うことを基盤としたものであったが，それは環境によりそこに存在する音は物理的性質や社会的意味において異なるという認識によるものである．その一方で，大量のデータを学習させることにより万能の AI が構築できるという考えも生成 AI をはじめとした技術にはある．この考えのもとでは，手段を問わず集めたデータを学習させればそれに応じたモデルが構築されるので，収音から行う本研究内容と整合しないと考えていた．それに対して，近年では「バーティカル AI」と呼ばれる特定の分野に特化した AI が登場してきている．これをふまえれば，本研究は音を素材としたバーティカル AI を構築するものと位置付けられ，現在のニーズをふまえた発展性をもつものととらえられる．

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトは，分散型の音環境認識システムの開発を目指したものとして遂行された．収音を行うユニットの開発を行い，得られた音に対する異常検出や音を得る際のビームフォーミングについて一定の成果を得た．

今後は，本プロジェクトに基づいて様々な音環境のデータを収集するとともに，それを基盤とした，あるいは応用として適用するさらなる研究プロジェクトへと発展させていくことが課題である．

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- 高根昭一，安倍幸治，渡邉貫治，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.
- Kanji Watanabe, Ryosuke Oyashiki, Masayuki Nishiguchi, Koji Abe, "Effects of the Window Shaped Target Function in Beamforming-Based Binaural Reproduction, " Proc. 13th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024).
- Koji Abe, Ryota Aoishi, Masayuki Nishiguchi, Kanji Watanabe, “Study on the Automatic Extraction of Acoustic Features on Anomaly Detection in Daily Sounds,” Proc. 13th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024).
- 高根昭一，安倍幸治，渡邉貫治，鈴木陽一，坂本修一，「音環境認識システムのための分散自動録音システムの開発」，東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会，2025.
- 安倍幸治，「日常生活音を対象とした異常音検知手法とその性能比較」，令和 7 年度第 3 回ブレインウェア工学研究会，2025.12.
- Koji Abe, Kanji Watanabe, Shouichi Takane, Yoiti Suzuki, “Automatic extraction of acoustic features on anomaly detection in daily sounds,” 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会，2026.

(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実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A01

研究課題名

新機能原子層半導体量子デバイスの開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

研究三カ年計画の二年度である今年度は、半導体量子デバイスの候補材料である、ヤヌス遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)の合成、および原子層材料を実際に活用した量子デバイス開発としてグラフェンジョセフソン接合(Gr-JJ)の高性能化に関する研究を行った。以下にそれぞれの成果を示す。

＜ヤヌス TMD 合成機構の解明＞

ヤヌス TMD は、原子 3 個分の厚さの 2D シートから構成され、表と裏で異なる種類の元素を持つため、内部に強力な電場が生じ、光センサー、エネルギー変換素子、水素発生触媒、太陽光発電等の効率を劇的に向上させる性質を持つことが期待されている新材料である(図 1)。表と裏に同じ種類の元素を持つ通常の TMD に対して特殊なプラズマを照射することで、表側の元素のみを別のカルコゲンに置換して合成ヤヌス TMD が合成されることは報告されていたが、本来高いエネルギーを必要とする原子置換が、なぜ室温で進行するのかについては解明されていなかった。このメカニズムを理解することは、材料の品質向上や新しい機能性材料の設計において極めて重要な課題とされてきた。

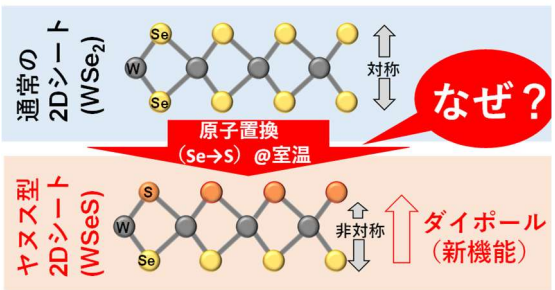


図 1.　通常の TMD とヤヌス TMD の比較。

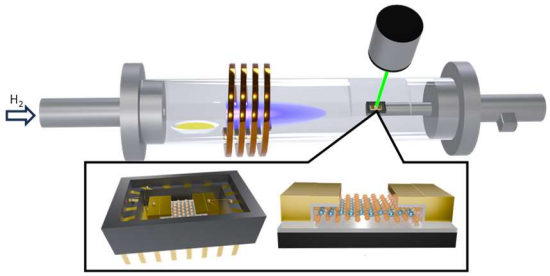


図 2.　本研究で開発した、その場（in-situ）光学・電気観測システム概略図。

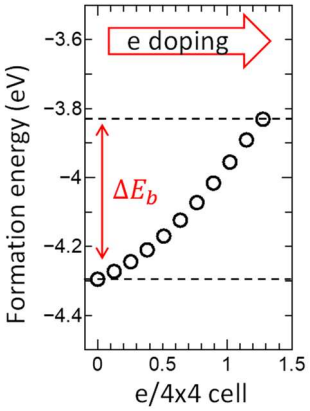


図 3.　電子ドープに伴う結合エネルギー変化に関する第一原理計算結果。

そこでヤヌス化反応の素過程を解明するため本研究では、真空中でプラズマを照射しながら材料の構造と電気特性の変化をリアルタイムで同時に直接観察できる、その場（in-situ）光学・電気観測システム(図 2)を開発した。 このシステムを用いた実験により、プラズマ照射中に材料表面や基板との界面に電子が蓄積する現象を発見した。また、第一原理計算による検証とあわせた結果、この蓄積された電子が金属原子とカルコゲン原子間の結合エネルギーを低下させ、これにより室温でも原子の入れ替えが容易に進むことを明らかにした(図 3、4)。さらに、紫外線を照射して意図的に電子蓄積を増強させることで、原子置換反応速度を 2 倍以上に高めることにも成功した。これにより、蓄積電荷の状態を制御することが、ヤヌス

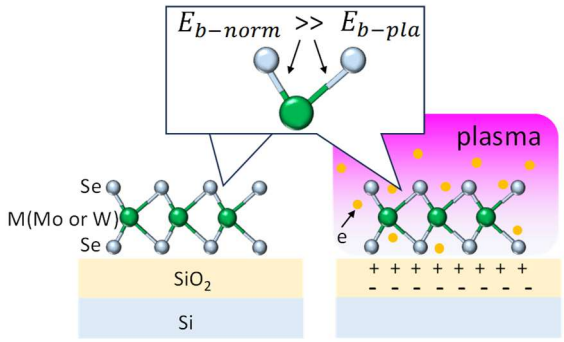


図 4. 電子ドープに伴う結合エネルギー変化に関する模式図。

TMD 合成の鍵となるという新たな反応モデルの提唱に至った。

今回の知見により、従来は経験則に頼っていたヤヌス TMD の合成を、電子蓄積状態によって制御するという新たなプロセス設計が可能になった。今後は、このメカニズムをさらに詳細に検証することで、様々な種類のヤヌス TMD 材料を自在に組み合わせた革新的なナノデバイスの創出が期待される。また、今回明らかにした熱を必要としない原子置換反応は、ヤヌス TMD に限らず、様々な材料への応用が期待でき、プラスチック基板などの柔軟な材料を用いた次世代のウェアラブルデバイスや、高効率な太陽電池の開発など幅広い分野への展開が期待される。

＜高性能グラフェンジョセフソン接合素子開発＞

グラフェンジョセフソン接合（Gr-JJ）は、2 つの超伝導電極の間にグラフェンを挟んだ構造を持つ接合であり、量子デバイス応用に向けて注目されている。本研究では、グラフェン－超伝導電極界面の品質が Gr-JJ 特性に大きく影響する点に着目し、接合界面制御に特化した研究を行った。従来広く用いられてきたグラフェンのエッジに超電導金属を接合させるエッジコンタクト構造では接触界面が一次元的であり、クーパー対の侵入領域が限定されるが、グラフェンの面方向からコンタクトをとるトップコンタクト構造では二次元的な接触界面による超伝導特性の向上が期待できると考えた。そこで、接合形状に直接的影響を与えるデバイス作製プロセスの最適化に焦点を当て研究を行った。

Gr-JJ 素子は以下のプロセスで作製した。まず、六方晶窒化ホウ素(hBN)で Gr をカプセル化(hBN/Gr/hBN)した構造を SiO_2(280 nm)/Si 基板上にドライ転写した。次に、電子ビームリソグラフィによりチャネル長 L = 400 nm の電極パターンを形成した。その後、CF_4 ドライエッチングにより上部 hBN を除去した後、超電導電極である MoRe を

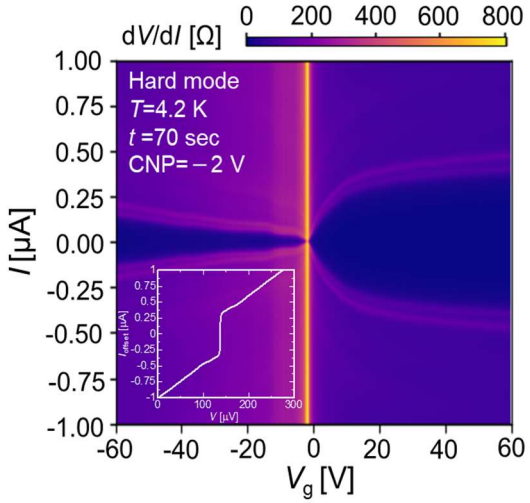


図 5. 本研究で形成した Gr-JJ の典型的な微分抵抗値 dV/dI のゲート電圧 V_g と電流 I 依存性。

製膜しリフトオフすることで Gr-JJ を作製した。この際 CF_4 ドライエッチングが Gr と超電導電極間の接合状態を決めている主要因であると考え、同プロセス条件が Gr-JJ 特性に与える効果の検討を行った。

Gr に対して微小欠陥導入を最小限に抑えるマイルドモードと、欠陥を導入するハードモードでのエッチングを比較した結果、マイルドモードでは超伝導特有のゼロ抵抗は観測されなかった。一方、ハードモードではゼロ抵抗が確認され、臨界電流 I_c = 200 nA の Gr-JJ 素子を実現した(図 4)。さらに、ハードモードにおけるエッチング時間依存性を調査したところ、接合良好度を示す特性電圧 I_cR_n も 70 秒で最大値を示した。また、短チャネル化により I_c は最大 660 nA まで向上し、臨界電流密度 J は約 800 nA/μm に達した。以上より、微小欠陥導入による界面制御とチャネル長短縮が Gr-JJ の超伝導特性向上に有効であることが判明した。

[3] 今後の研究の推進方策

今年度合成機構を明らかにしたヤヌス TMD を用いて今後新たな量子デバイス開発が期待できる。さらに本研究で開発した高性能 Gr-JJ を活用した新たな量子機能発現を目指して研究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）

・D. Bi, T. Sun, W. Lu, H. Ogura, Y. Gao, M. Maruyama, S. Okada, T. Kato, “Hidden Role of Electron Accumulation in Driving Room-Temperature Topotactic Substitution for Janus 2D Semiconductors”, ACS Materials Letters **8**, 1397-1404 (2026).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・K. Takano, K. Yamasue, T. Kato, Y. Cho, “Nanoscale carrier distribution and trap dynamics in supported and suspended WSe_2 layers studied by scanning nonlinear dielectric microscopy”, Applied Physics Letters **128**, 052101-1-6 (2026).

・T. Okonai, P. Solís-Fernández, S. Fukamachi, H. Sun, Y. Lee, Y.-C. Lin, T. Kato, S. Ryu, K. Suenaga and H. Ago, “Anomalous Raman signals in multilayer hexagonal boron nitride grown by chemical vapour deposition on metal foil catalysts”, Nanoscale Advances **7**, 7538–7546 (2025).

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　R06/A02

研究課題名

量子デバイスの放射線耐性についての研究

[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
2024 年 4 月　～　2026 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、半導体量子ドットをはじめとする半導体量子デバイスに対して電離放射線が及ぼす影響を実験的に調べ、量子デバイスの放射線耐性および放射線応答に関する基礎的知見を得ることである。量子コンピュータの実現には量子状態の可干渉性の維持が不可欠であり、その安定動作を阻害する外的要因の一つとして、環境放射線や宇宙線による電離作用が考えられる。超伝導量子ビットでは放射線の影響が指摘されている一方、半導体量子ドットにおける放射線応答の実験的知見は限られている。

本研究では、低温環境下に設置した半導体量子ドット素子に ^{241}Am からのアルファ線等を照射し、照射時と非照射時の電気的特性を比較した。特に、Coulomb Diamond 特性および固定バイアス条件下でのソース・ドレイン電流 I_{SD} の経時変化を測定し、放射線照射に伴う電流変動の有無を調べた。

[4]研究計画及び内容

本研究では、クライオスタット内に半導体量子ドット素子と小線源を設置し、外部から線源位置を回転制御することで、同一の低温・電圧条件下で照射状態と非照射状態を切り替える測定系を構築した（図１）。測定は、量子ドット素子を低温で動作させ、ゲート電圧 V_G およびソース・ドレイン電圧 V_{SD} を制御しながら、ソース・ドレイン電流 I_{SD} を取得する方法で行った。

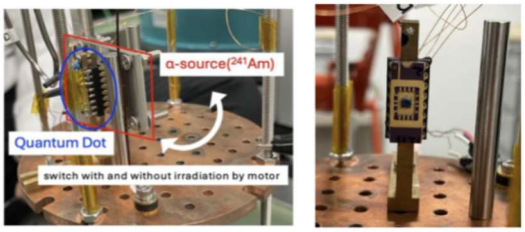


図 1：半導体量子ドット（右）に対する低温放射線照射測定系。クライオスタット内で小線源位置を制御し、照射・非照射を切り替えた（左）。

量子ドット素子の基礎特性として Coulomb Diamond 特性を取得し、量子ドットを介した電気伝導が観測される動作条件を確認した。その後、V_G および V_{SD} を固定した条件で、^{241}Am からのアルファ線照射時および非照射時の I_{SD} の経時変化を測定した。また、線種依存性を検討するため、^{55}Fe からの X 線を用いた測定も実施した。得られた時系列データについて、電流波形、直前値との差分、分散などに着目し、照射・非照射間の違いを解析した。

[5] 研究成果と波及効果等
（5-1）研究成果

本プロジェクトでは、半導体量子ドット素子に対する低温放射線照射測定系を構築し、照射時と非照射時における電気的応答の差異を調べた。クライオスタット内に量子ドット素子と小線源を設置し、外部から線源位置を制御することで、低温環境を維持したまま同一条件下で照射・非照射を比較することを可能にした。2024 年度には、^{241}Am からのアルファ線 5.4 MeV および ^{55}Fe からの X 線 5.89 keV を用い、量子ドット素子の電気的特性を測定した。具体的には、放射線による電離作用によって、量子ドット近傍に電子・ホール対が生成され、局所電場が変化することで、固定バイアス条件下の I_{SD} 変動として観測される可能性を検証した。

その結果、^{241}Am アルファ線の照射時と非照射時では、I_{SD} の経時変化に差異が見られた。特に、

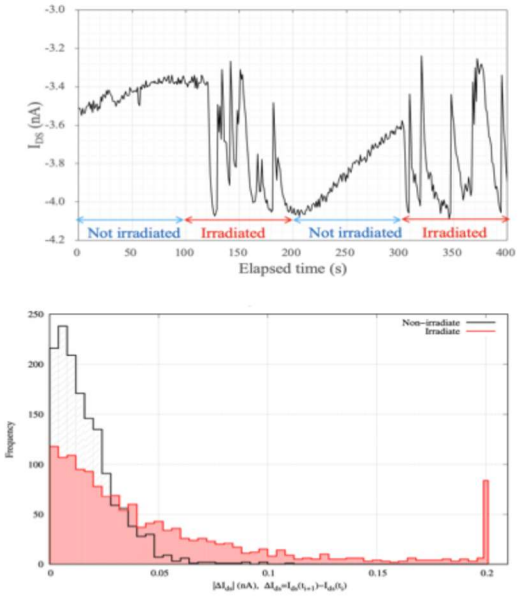


図 2: アルファ線照射時および非照射時における I_{SD} の経時変化（上）と差分の分布（下）。照射・非照射間で電流変動に差が見られる。

照射時には非照射時に比べて I_{SD} が不安定になる傾向が観測され、直前値との差分の絶対値をヒストグラム化した場合にも、照射・非照射間で分布の違いが認められた（図２）。さらに、分散を比較した解析では、照射時のデータの方が非照射時よりも大きな変動を示す傾向が確認された。

一方で、非照射時にも I_{SD} の微小変動が存在し、測定日や量子ドットの動作条件によって応答の再現性に差が見られた。このため、本プロジェクトの段階では、放射線照射が半導体量子ドットに影響を与える可能性を示す実験的兆候は得られたものの、線量依存性や線種依存性を含めた定量的結論を得るには至らなかった。今後は、測定系の安定化、線量依存性測定、および異なる線種・エネルギーによる比較測定が必要である。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで得られた照射・非照射時の応答差が今後さらに定量的に確認されれば、半導量子ドットを用いた量子デバイスが、環境放射線や宇宙線由来の放射線によってどの程度擾乱されるかを評価するための重要な指標となる。これは、半導体量子ビットの安定動作条件を検討するうえで基礎的かつ重要な知見であり、将来の量子コンピュータ開発におけるデバイス設計、遮蔽設計、材料選択などに波及する可能性がある。

[6]まとめと今後の課題

本研究では、半導体量子ドットを対象として、低温環境下で放射線照射時と非照射時の電気的応答を比較する実験を行った。クライオスタット内で小線源位置を制御することにより、同一測定条件のもとで照射・非照射を切り替える測定系を構築し、Coulomb Diamond 特性および固定バイアス条件下での I_{SD} の経時変化を測定した。

その結果、アルファ線照射時と非照射時で I_{SD} の時間変動に差異が見られ、直前値との差分や分散に着目した解析においても、照射・非照射間の違いが示唆された。一方で、非照射時にも電流の微小変動が観測され、測定日や量子ドットの動作条件による再現性にも課題が残ったため、放射線起因の効果を定量的に分離し、明確な結論を得るには至らなかった。

今後は、測定系の安定性を高めたうえで、線源と量子ドット間距離を制御した線量依存性測定、およびアルファ線・X 線など異なる線種による比較測定を進める必要がある。これにより、半導体量子ドットにおける放射線応答の物理的機構を明らかにし、量子デバイスの放射線耐性評価へと発展させる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・“Study on the response of the semiconductor quantum device to radiations”, Gen Takakusa, Sei Yoshida, Yasuhiro Kishimoto, Tomohiro Otsuka,

RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects 2025, 仙台, 2025 年 2 月 14 日

・「量子デバイスの放射線体制についての研究」, 岸本康宏, 大塚朋廣, 高草元, 吉田斉, 2025 年度東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会, 仙台, 2026 年 2 月 19 日

(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（2025 年度）

採択番号　R06/A03

研究課題名

メモリスタ&キャパシタ集積デバイスと過渡型信号伝達スパイクニューロシステム

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

木村 睦（龍谷大学先端理工学部）

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

[単体メモリスタ&キャパシタ集積デバイス]

DOI: 10.1109/JEDS.2025.3630670

メモリスタとキャパシタから構成される「メモリスキャパシタ」が提案され、実際に作製された。その利点は、広いダイナミックレンジと低消費電力を同時に実現できることである。まず、デバイス構造は非常に単純であり、具体的には、電極間に配置されたアモルファス Ga-Sn-O 薄膜がメモリスタとして機能し、SiO_2 膜がコンデンサとして機能する。次に、メモリスタのヒステリシス特性が観測された。最後に、このメモリスキャパシタによって、期待どおり積和演算が実現されることが実証された。

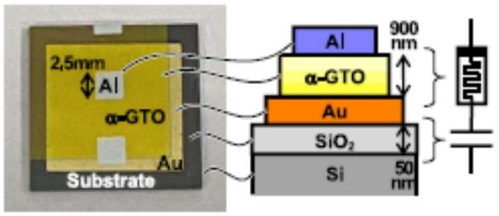


FIGURE 2. Memriscapacitor consisting of a memristor and capacitor.

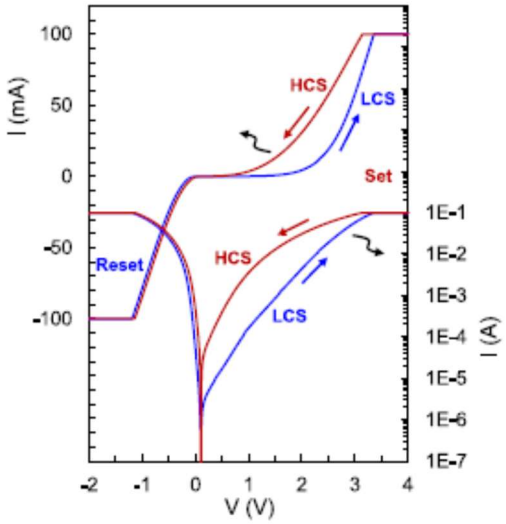


FIGURE 3. Hysteresis characteristic of the memristor.

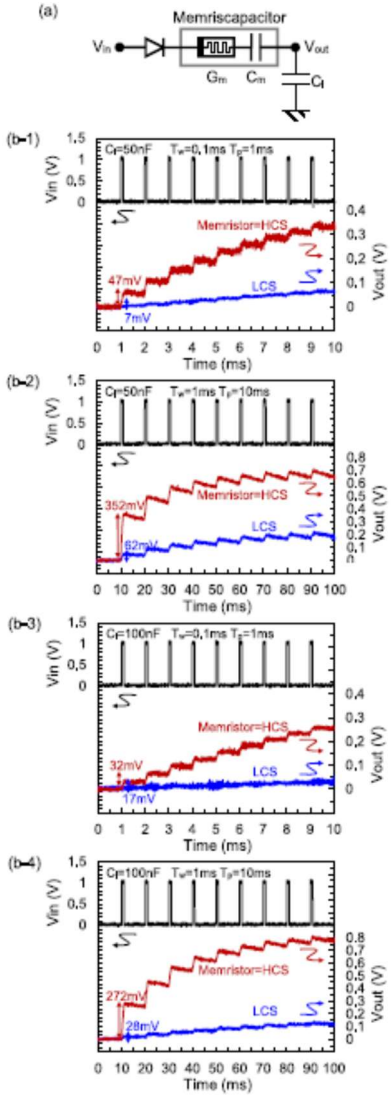


FIGURE 4. Multiply-accumulate calculation by the memriscapacitor. (a) Circuit configuration. (b) Input and output waveforms: (b-1) C_I=50nF T_w=0.1ms T_p=1ms. (b 2) C_I=50nF T_w=1ms T_p=10ms (b-3) C_I=100nF T_w=0.1ms T_p=1ms. (b-4) C_I=100nF T_w=1ms T_p=10ms.

[強誘電体薄膜トランジスタ&キャパシタ集積デバイス]

DOI: 10.1109/TED.2025.3650481

強誘電体電界効果トランジスタ（FeFET）とキャパシタを直列に接続した 1T1C 構造に基づく新しいシナプスアーキテクチャを提案し、1T1C シナプス挙動に基づく回路レベルの統合を通じて、生物学的ニューロンの膜電位に類似したアナログ応答を実現した。FeFET の伝達特性を実験的に測定・モデル化し、ニューラルネットワーク構造を模倣した回

路シミュレーションにより、196 セル（入力層から隠れ層）および 80 セル（隠れ層から出力層）を用いて、動的な膜電位（Vmem）の変化を再現した。進化的記号回帰法により、ΔVmem を ΣG および直前の Vmem の関数として表す数学モデルが導出され、これをスパイクニューラルネットワーク（SNN）に実装することで、MNIST 画像分類において 95.5%の認識精度を達成した。さらに、シナプス回路の消費エネルギーは推論 1 回あたり 239 nJ と推定され、デバイス寸法を 100 nm 領域まで縮小することで、推論 1 回あたり 3.74 pJ まで低減できることが示唆された。これらの知見は、提案されたアプローチが超低消費電力動作において極めて高い可能性を秘めていることを示しており、FeFET-キャパシタ 1T1C 構造が、高密度ニューロモーフィックシステムやエッジ AI アプリケーション向けの有望なシナプスデバイスアーキテクチャであることを示唆している。

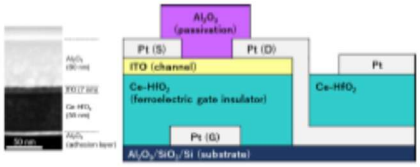


Fig. 2. Schematic illustration of the proposed 1T1C device.

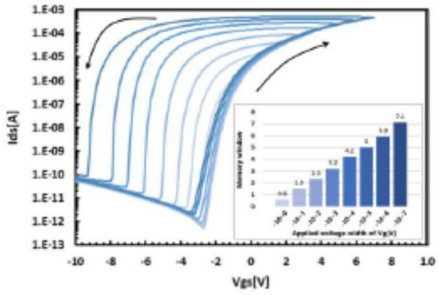


Fig. 3. Measured I_{ds}–V_{gs} characteristics.

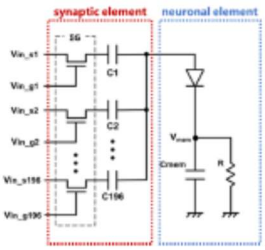


Fig. 4. Schematic of the simulation circuit.

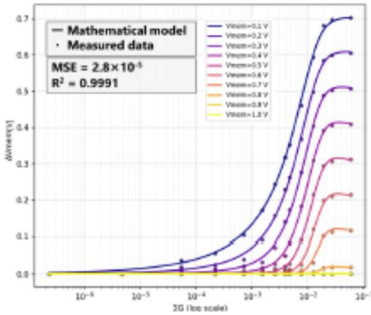


Fig. 8. Comparison of circuit simulation results and symbolic regression–derived equation

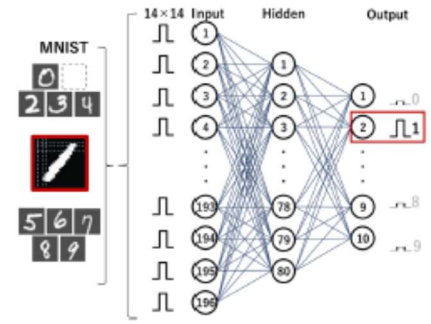


Fig. 9. Network architecture used for MNIST recognition.

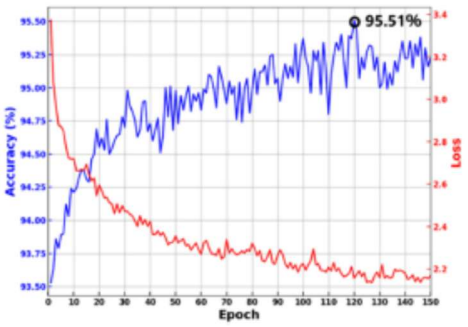


Fig. 10. Evolution of recognition accuracy and loss during training.

[3] 今後の研究の推進方策

[単体メモリスタ&キャパシタ集積デバイス]

昨年に引き続き、スパッタ装置とミスト CVD 装置の新規装置を導入したので、ダイオード集積化に挑むとともに、ダイオード特性とメモリスタ特性のさらなる改善と歩留向上を図る。特性発現モデルの考察もいったんの仮説を出したが、次は結論を出したい。

[強誘電体薄膜トランジスタ&キャパシタ集積デバイス]

上記のとおり、スパッタ装置とミスト CVD 装置の新規装置を導入したので、本項目に対しても、我々の新規装置にて強誘電体特性のさらなる改善と歩留向上を図る。

[アクティブマトリクスチャージアレイ]

昨年に引き続き、回路シミュレーションで実行したものを、実デバイスで作製・動作確認を行う。引き続き、定量的なシステムサイズやエネルギ効率などの解析も行う。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[学術論文（査読あり）]

・ Sumio Sugisaki, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Resistive Switching Characteristics of Aluminum-doped Gallium Oxide Synaptic Device fabricated using Mist Chemical Vapor Deposition, Jpn. J. Appl. Phys., To be published

・ Kazuki Sawai, Riku Horio, Rodrigo Vieira Witt, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, Takaaki Miyasako, Sanggyu Koh, Tadasu Hosokura, Reon Oshio, Takumi Kuwahara, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Hardware Emulation of Membrane Potential using a 1T1C FeFET–Capacitor Structure for Neuromorphic Applications, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 73, No. 3, pp. 1320-1325, Mar. 2026, DOI: 10.1109/TED.2025.3650481

・ [招待論文] 木村 睦, 超脳ニューロモルフィックシステムの研究動向, エレクトロニクスステージ, Vol. 1, No. 4, pp. 44-50, Jan. 2026

・ Kenta Yachida, Kazuki Sawai, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Memriscapacitor consisting of a Memristor and Capacitor, ~ The First Proposal and Fabrication with Validation of Multiply-Accumulate Calculation ~, IEEE J. Electron Devices Society, Vol. 11, pp. 1120-1124, Nov. 2025, DOI: 10.1109/JEDS.2025.3630670

[基調講演]

・ Mutsumi Kimura, Hidenori Kawanishi, Tokiyoshi Matsuda, and Yasuhiko Nakashima, Thin-Film Memdevices and Neuromorphic Computing Applications, MRM 2025, B4-O302-01, H1-P301-10, Dec. 2025

[招待講演]

・ Hidenori Kawanishi and Mutsumi Kimura, Thin-Film Analogue Memristive Devices towards 3D-Stacked Neurochips, The 32nd International Conference on Neural Information Processing, ICONIP 2025, Nov. 2025

・ Mutsumi Kimura, Ultra-Brain Neuromorphic by Material-Device-System Co-Research, The 32nd International Conference on Neural Information Processing, ICONIP 2025, Nov. 2025

・ Juan Paolo S. Bermundo, Candell Grace P. Quino, Mutsumi Kimura, Radu A. Sporea, and Yukiharu Uraoka, Oxide Semiconductors for Ultralow-Power Sustainable Electronics, EDTM 2026, Mar. 2026, To be presented

・ 木村 睦, AI をハードウェアで実現するニューロモーフィックシステム ～金属酸化物半導体デバイスとアナログコンピューティング～, 第 12 回 電子デバイスフォーラム京都, 2025 年 10 月

・ Yuma Ishisaki, Reon Oshio, Takumi Kuwahara, Michihiro Shintani, Eisuke Tokumitsu, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Analog Memcapacitor by Ferroelectric Capacitor and Its Application to Spiking Neuromorphic System, IEEE Electron Devices Society Kansai Chapter 第 25 回 関西コロキアム電子デバイスワークショップ, 2025 年 10 月

・ Kazuki Sawai, Taiga Hirano, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, Takaaki Miyasako, Sanggyu Koh, Tadasu Hosokura, and Mutsumi Kimura, Synaptic Device for Neuromorphic Systems Integrating Ferroelectric-Gate Field Effect Transistor and Capacitor, IEEE Electron Devices Society Kansai Chapter 第 25 回 関西コロキアム電子デバイスワークショップ, 2025 年 10 月

・ Mutsumi Kimura, Ultra-Brain Neuromorphic improved by Co-Research and Co-Ingenuity of Material-Device-Circuit- Architecture-System, Special Session 1, IEEE SOCC 2025, Sep. 2025

・ 木村 睦, 生成 AI のしくみ 「Transformer」, SID 日本支部 サマーセミナー, 2025 年 8 月

・ 木村 睦, 薄膜デバイスによるニューロモーフィックシステムの研究開発, IEEE EDS Kansai Chapter, 2025 年第 1 回ラウンドテーブルワークショップ, 2025 年 7 月

[学会発表（査読あり）]

・ Takumi Kuwahara, Reon Oshio, Renyuan Zhang, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima, Fusion Synapse by Memristor and Capacitor for Spiking Neuromorphic Systems - Dramatical Reduction in Circuit Area -, The 32nd International Conference on Neural Information Processing, ICONIP 2025, Nov. 2025

・ Shunsaku Takahashi, Keita Yamamoto, Hidenori Kawanishi, Mutsumi Kimura, and Tokiyoshi Matsuda, Evaluation of Electrical Conduction Properties using TLM Analysis, IMFEDK 2025, Nov. 2025

・ Takeru Aoki, Ryohei Takahashi, Atsuya Tamaru, Hidenori Kawanishi, Tokiyoshi Matsuda, Mutsumi Kimura, and Tokiyoshi Matsuda, Thickness Dependence of GTO Thin-Film Memristors Fabricated by Mist-CVD, IMFEDK 2025, Nov. 2025

・ Kosuke Oyasu, Yuma Takaki, Hidenori Kawanishi, Mutsumi Kimura, Tokiyoshi Matsuda, and Tetsuji Okuda, Solution-State Control and Electrical Stability of Ga–Sn–O With Stirring, IMFEDK 2025, Nov. 2025

・ Syunsuke Sano, Taiyo Shinoda, Ryo Oshima, Kota, Iwamoto, Hidenori Kawanishi, Mutsumi Kimura, and Tokiyoshi Matsuda, Effect of Oxygen Partial Pressure Ratio on the Electrical Properties and Electrical Conductivity of GTO-TFTs, IMFEDK 2025, Nov. 2025

・ Riku Horio, Kazuki Sawai, Hidenori Kawanishi, Tokiyoshi Matsuda, Takaaki Miyasako, Sanggyu

Koh, Tadasu Hosokura, Reon Oshio, Takumi Kuwahara, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, An FeFET-Capacitor Structure and its Application to Spiking Neuromorphic Systems, IMFEDK 2025, Nov. 2025

- Chuanjun Wu, Juan Paolo S. Bermundo, Mutsumi Kimura, Eva Bestelink, Radu A. Sporea, Kosuke O. Hara, and Yukiharu Uraoka, Simulation of Ferroelectric Multimodal Transistor (FMMT) Devices: Achieving Non-Volatile Memory and Multi-logic for Neuromorphic Computing, ITC 2026, Mar. 2025.
- メモリスタとキャパシタを統合したシナプス素子と並列接続ニューロモーフィック回路の動作と評価 , 上尾 高範, 木村 睦, 河西 秀典, 松田 時宜, 薄膜材料デバイス研究会 第 22 回研究集会, pp. 188-191, 2025 年 10 月
- ミスト化学蒸着法を用いて成膜した AlOx 薄膜デバイスのメモリスタ特性, 篠田 太陽, 杉崎 澄生, 河西 秀典, 松田 時宜, 木村 睦, 薄膜材料デバイス研究会 第 22 回研究集会, pp. 76-78, 2025 年 10 月
- Ryohei Takahashi, Sumio Sugisaki, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Electrical Characteristics of Amorphous GaOx Memristors fabricated by Fine Channel Mist CVD Method in comparison with Hot Wall Method, AM-FPD ’25 pp. 215-217, July 2025
- Takanori Ueo, Hidenori Kawanishi, Tokiyoshi Matsuda, and Mutsumi Kimura, Three-Layer GTO Thin-Film Device for Neuromorphic Systems with High Switching Ratio and Stable Operation, AM-FPD ’25 pp. 161-164, July 2025

[学会発表（査読なし）]

- 篠田 太陽, 木村 睦, 河西 秀典, RF パワーおよび成膜圧力が HfO_2薄膜の結晶性とリーク電流特性に与える影響, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会, 8p-P10-44, 2025 年 9 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実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A04

研究課題名

単一ナノ粒子トランジスタ構造における電気伝導の評価と応用

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：柴田憲治（東北工業大学工学部）

通研対応教員：大塚朋廣（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究では、様々なナノ粒子系が有する固有の物性を単一粒子レベルで見いだし、電極構造やクーロン相互作用、電子スピン相互作用、赤外光など多様な外場を用いることで電子状態を精密に制御し、新しい素子機能へと展開することを目的として研究を進めている。本年度は特に、直径 5 nm の極めて小さなコロイドナノ粒子を単一粒子トランジスタとして動作させ（図 1）、THz 光照射による単一電子制御の実証を目指した。

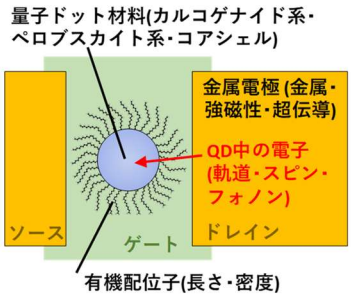


図 1: 単一コロイド量子ドットをチャネルとするトランジスタ素子の概念

THz 光はフォトンエネルギーが低く、コロイド量子ドット内部のサブバンド間遷移を利用した光電流制御や、光と電子の強い相互作用を用いたフロッケエンジニアリングによる電子状態制御が期待されている。本研究では昨年度より、THz 光と単一コロイド量子ドットの強い相互作用を実現する素子設計を進めており、本年度は素子の完成、特性評価、そして THz 光照射実験を実施した。ゲート電極には従来の p 型 Si 基板ではなく膜厚 8 nm の NiCr 電極を採用し、THz 帯域に適したボウタイアンテナ形状のナノギャップ電極間に単一量子ドットを配置した。ゲート絶縁膜には ALD により成膜した Al_2O_3 を用いた。伝導特性測定の結果、素子は単一電子トランジスタとして良好に動作しており、設計した構造が適切に実現されていることを確認した。

さらに THz 光照射下で伝導特性を測定したところ、光照射時には伝導度ピークがブロード化し、僅かながら特性変化が観測された（図 2）。これは THz 光が量子ドット内の電子状態やトンネル障壁に影響を与え、電子輸送経路を変調している可能性を示唆するものである。

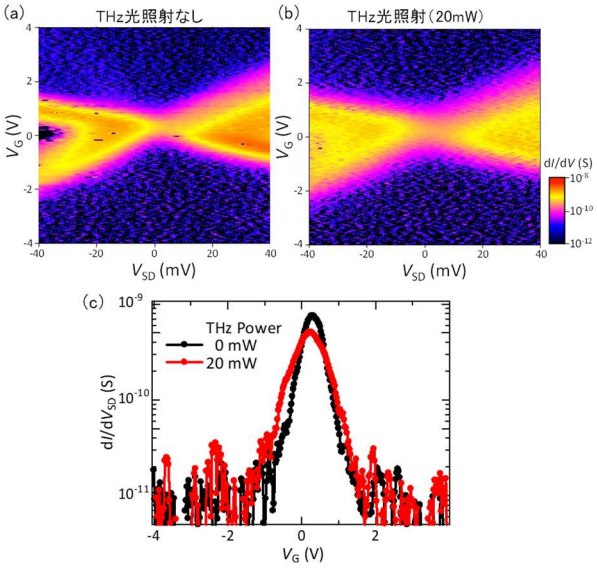


図 2: THz 光照射前（a）と照射中（b）の素子の伝導特性。(c)THz 照射による伝導特性の変化。

また、コロイド量子ドットは材料系によって多様な個性を示すため、単一電子制御の枠組みを様々な材料に適用し、それぞれの基礎物性を評価することは新規素子開発に向けて重要である。本年度は InAs、ペロブスカイト、CeO_2 など複数のコロイド量子ドット材料に対して同様の素子構造を適用し、材料固有の電子輸送特性を単一粒子レベルで明らかにした。InAs ドットでは外部磁場による伝導特性の制御性が高いことを見いだした。この成果は ACS Nano に掲載され、プレス発表も行った。ペロブスカイト量子ドットでは高温域で構造揺らぎに起因した伝導スイッチングを観測し、ノイズ測定からその起源が結晶中のイオン移動であることを明らかにした。さらに CeO_2 ナノ粒子では CO_2 ガスの表面吸着の影響を単一粒子レベ

ルで検出し、触媒作用の理解に資する知見を得た。これらの成果についても現在論文を準備しており、データを補強した上でトップジャーナルへの投稿を予定している。

[3] 今後の研究の推進方策

素子への THz 光照射実験については、伝導特性に光照射に対する応答が確かに観測され、THz 光が単一コロイド量子ドットの電子状態に影響を与えている可能性が示唆された。一方で、当初期待していたほど大きな変化は得られず、光支援による単一電子トンネル伝導で予想される明瞭な振る舞いは現時点では確認されていない。この理由として、THz 光と単一量子ドットとの相互作用が依然として十分に強く実現できていないことが考えられる。より強い相互作用を得るためには、アンテナ構造や電極配置を含む素子設計そのものを根本的に見直す必要があると判断しており、来年度はこの課題に重点的に取り組む予定である。

また、本年度はペロブスカイト量子ドットや CeO_2 ナノ粒子など、複数の材料系に対して単一粒子レベルでの伝導特性評価を進め、材料固有の電子輸送特性や外場応答に関する知見が蓄積されてきた。これらの結果は、単一電子制御の枠組みを多様な材料へ展開する上で重要な基礎データとなっており、研究の進展に大きく寄与している。これらの成果については、現在論文原稿を準備中であり、必要なデータ補強を行った上で、トップジャーナルへの投稿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）

・K. Shibata, T. Takiguchi, A. Sato, Y. Sasaki, T. Otsuka, “Magnetotransport and Coulomb Blockade in Single InAs Colloidal Quantum Dot Transistors” ACS Nano 20, 2082-2091 (2026).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・K. Shibata, T. Takiguchi, A. Sato, Y. Sasaki, T. Otsuka, “Single InAs colloidal quantum dot transistors” 30th International Conference on Low Temperature Physics (LT30), August 8, 2025, Bilbao, Spain.

・柴田憲治、滝口智稀、佐藤明、佐々木悠人、大塚朋廣「単一 InAs コロイド量子ドットトランジスタにおける電気伝導特性」応用物理学会秋季学術講演会 2025 年 9 月 7 日 名城大学

・柴田憲治、滝口智稀、佐藤明、佐々木悠人、大塚朋廣「単一 InAs コロイド量子ドットトランジスタにおける単一電子トンネル伝導」応用物理学会春季学術講演会 2026 年 3 月 16 日 東京科学大学

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A05

研究課題名

二次元物質を用いた量子ナノデバイスにおける電気伝導特性

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
原 正大（熊本大学大学院先端科学研究部）

通研対応教員：
大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

研究期間３年の２年目にあたる 2025 年度は、前年度からのナノデバイス作製方法の検討を継続するとともに、電気伝導特性の評価方法について検討を進めた。CVD 成長したグラフェンを円形の穴を掘った基板上に転写し、図１に示すような宙吊り構造を作製し、主に２つのテーマで研究を進めた。



図１：宙吊り構造

１つ目の研究テーマはグラフェン宙吊り構造における機械的共振に関するものである。直径が数 100 ナノメートルから数マイクロメートルのグラフェンドラム構造においては、共振周波数は数 10 メガヘルツから数 100 メガヘルツであることが知られている。熊本大学において電子線リソグラフィーを用いて、グラフェンドラム構造を持つ電界効果トランジスタ型の素子を作製し、電気的にグラフェンの機械的共振を検出することを試みた。直径２マイクロメートルの素子において、30 メガヘルツ程度の共振を観測することができたが、現段階においては再現性やゲートリークに関する課題が残った。

２つ目の研究テーマは原子間力顕微鏡（AFM）の探針を用いた局所陽極酸化に関するものである。2024 年度の研究において、機械的剥離で得たグラフェンドラム構造に局所陽極酸化を用いて直径 10 ナノメートル程度の孔（あな）をあけることに成功した。2025 年度は CVD 成長したグラフェンで作製したドラム構造においても図２のように孔の生成を確認することができた。また、孔の生成過程をとらえるために、陽極酸化時における AFM カンチレバーの共振周波数の変化をリアルタイムスペクトラムアナライザーによりモニタリングする実験を行った。

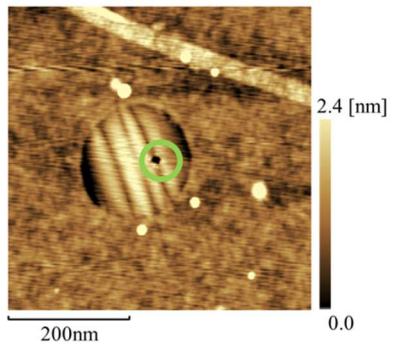


図２：グラフェンドラムに孔（緑丸部分）をあけた例の原子間力顕微鏡画像

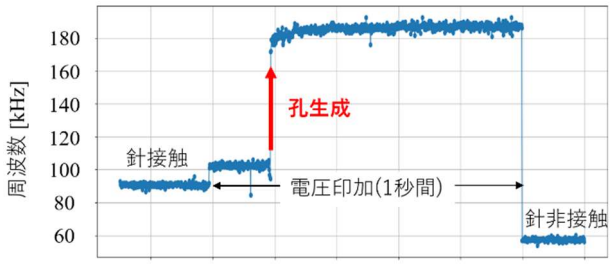


図３：陽極酸化時における AFM カンチレバーの共振周波数の時間変化

局所陽極酸化に用いた AFM カンチレバーの共振周波数は 60 kHz 程度であり、探針がグラフェンドラムに接触することで、共振周波数が増加する。図３は探針接触後に電圧を印加し、孔が生成される際の共振周波数の変化をモニターした結果である。電圧印加によりわずかに共振周波数が増加した後、約 0.2 秒後に急激に周波数が変化する様子が見られた。この変化が孔の生成に対応していることから、共振周波数の変化をリアルタイムでモニタリングすることは陽極酸化過程をとらえる有効な手段になることが分かった。

[3] 今後の研究の推進方策

2024~2025 年度の期間でグラフェンを用いたナノデバイス作製や電気伝導測定方法について共同研究を進めることができた。今後はグラフェン以外の MoS_2 をはじめとする遷移金属カルコゲナイド系の二次元物質への展開することを検討している。最終年度である 2026 年度は作製したナノデバイスを低温で測定し、特に量子的な伝導現象について着目して研究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）

・学会発表

「宙吊り CVD グラフェントランジスタの機械的共振の電気的検出」曽郁珊，田中快生，田中奎伍，柿添勇成，松井朋裕，大塚朋廣，原正大、第 131 回日本物理学会九州支部例会

「原子間力顕微鏡によるグラフェンナノポアの作製」田中奎伍，柿添勇成，松井朋裕，大塚朋廣，原正大、第 131 回日本物理学会九州支部例会

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・特に無し

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06A06

研究課題名

単結晶ｼﾘｺﾝ/多結晶ｹﾞﾙﾏﾆｳﾑｽｽﾞから成るモノリシック三次元積層デバイスの実現

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

山本 圭介

（熊本大学半導体・デジタル研究教育機構）

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

AI 技術の普及が進む中、半導体集積回路の高性能化への要求は増すばかりである。本研究では、トランジスタ層を順次積み重ねて上下層を配線接続する「モノリシック型集積回路」の実現を目指して、単結晶シリコン（Si）基板と多結晶ゲルマニウム（Ge）およびゲルマニウムスズ（GeSn）薄膜による積層型 CMOS を開発することを目標としている（図 1）。Ge は「高い正孔移動度」を有しており、p 型トランジスタに適している。また、結晶化温度が低いため、Si 上に n 型トランジスタ（FET）を形成した後でもその上に結晶成長が可能である。

令和 7 年度は前年度に引き続き、「A. Ge の低温デバイス化プロセスの開発」および「B. 多結晶 Ge n チャネル TFT の高性能化」を行った。

本研究は、代表者である熊本大学半導体・デジタル研究教育機構の山本教授グループと、東北大学電気通信研究所の櫻庭教授・室田名誉教授との連携体制のもとで推進している。

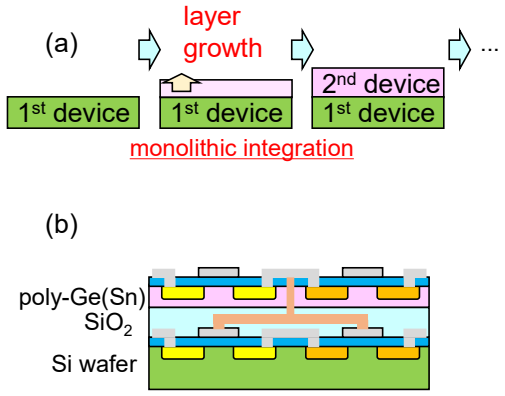


図 1.　(a)モノリシック型集積回路の形成イメージと、(b)本研究で目指す単結晶 Si/多結晶 Ge(Sn)から成る積層型 CMOS.

A.　Ge の低温デバイス化プロセスの開発

モノリシック型集積回路では、Si の上段の多結晶 Ge(Sn)の結晶成長およびデバイス化は、下地の Si に悪影響を与えることの無いように、低温で行わなければならない。本研究では、これまでに SiO_2/GeO_2 ゲートスタックを有する Ge MOS キャパシタにおいて、熱処理温度低減に伴いフラットバンド電圧（V_{FB}）が増加することを見出しており、その原因として GeO_2 のサブオキサイド化抑制に伴う SiO_2/GeO_2 界面ダイポールの減少を提案してきた。本年度は、この低温熱処理効果をさらに詳細に調査するため、熱処理温度および熱処理時間を系統的に変化させた Ge MOS キャパシタを作製し、電気特性評価を行った。

試料には、将来的に他の電気電子デバイスへの応用も考慮し、単結晶(111) 面 Ge 基板を用いた。電子サイクロトロン共鳴（ECR）プラズマプロセスを用いて SiO_2/GeO_2 ゲートスタックを形成した後、210 ℃および 450 ℃で種々の時間の熱処理を行い、MOS キャパシタの *C-V* 特性（図 2(a), (b)）から V_{FB}（図 2(c)）、ヒステリシス幅（*HT*）（図 2(d)）を評価した。その結果、450 ℃熱処理では熱処理時間を変化させても V_{FB} の変化は小さく、比較的短時間で固定電荷および界面ダイポール形成が完了していることが示唆された。一方、210 ℃の低温熱処理では、熱処理時間に応じて V_{FB} が大きく変化し、固定電荷密度や界面ダイポール状態が継続的に変調されていることが明らかとなった。また、ヒステリシス幅についても熱処理条件に強く依存し、210 ℃という低温条件においても熱処理時間を最適化することで大幅な低減が可能であることを見出した。

これらの結果は、Ge MOS デバイスにおいて低温熱処理条件を適切に制御することで、低熱予算下でも良好な界面特性および電気特性が実現可能であることを示しており、モノリシック三次元集積に向けた低温 Ge デバイス形成技術として重要な知見である。

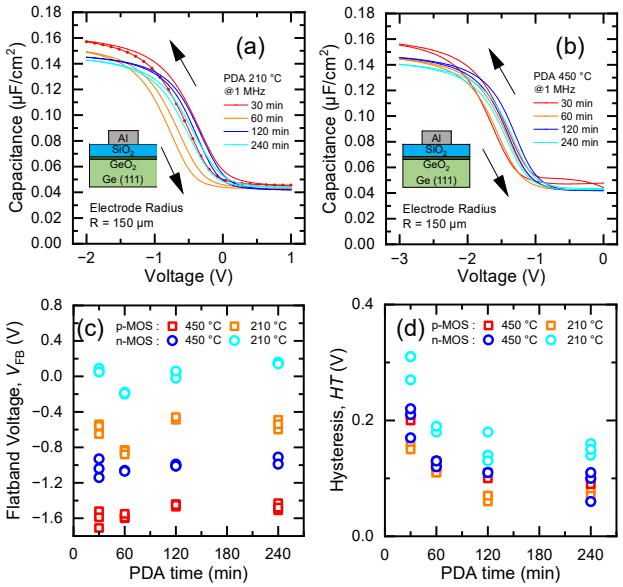


図 2. (a) 210 ℃ および (b) 450 ℃で PDA を行った Ge p-MOS キャパシタの 1 MHz *C*-*V* 特性. (c) V_{FB} および (d) *HT* の PDA 時間依存性.

B. 多結晶 Ge n チャネル TFT の高性能化

これまでに本研究では、固相成長（SPC）により形成した poly-Ge を用いて p 型・n 型 TFT および CMOS インバータを実現してきた。本年度は、特に n チャネル TFT の OFF 電流抑制と ON/OFF 比改善を目的として、チャネル形状およびチャネル幅が電気特性へ与える影響について詳細に検討した。

実験では、従来の長方形チャネル構造に加え、新たにダンベル型チャネル構造を設計し、同一基板上に形成した。これにより、材料品質やプロセス条件を一定としたまま、チャネル形状・幅の違いのみが TFT 特性へ与える影響を比較評価した。その結果、ダンベル型チャネル構造では、従来構造と比較して OFF 電流が大幅に抑制されることが確認された（図 3(a)）。また、ダンベル型チャネルにおいてチャネル幅を縮小すると、ON 電流の低下よりも OFF 電流の低減効果が顕著となり、結果として ON/OFF 比が向上することを見出した（図 3(b)）。これにより、チャネル形状およびチャネル幅の最適化が、多結晶 Ge TFT の高性能化に有効であることが明らかとなった。

さらに、多結晶 TFT に特有の結晶粒界に着目し、粒界に沿ったキャリア伝導モデルを構築した。多結晶 TFT では、単結晶 FET と異なり、粒界に沿ったリーク電流経路が OFF 電流に大きく寄与する。本研究では、「チャネルを横断する粒界数はチャネル幅に比例する」および「OFF 電流は粒界に沿ったキャリア伝導が支配的である」と仮定し、OFF 状態チャネル抵抗がチャネル幅に反比例するモデルを提案した。実験結果とモデルを比較したところ（図 4）、粒界に沿って流れるキャリアの移動度は約 20 cm²/Vs と見積もられ、多結晶 Ge 全体の移動度（約 250 cm²/Vs）より一桁程度小さいことが分かった。この結果は、多結晶 Ge TFT における OFF 電流発生機構の理解に重要な知見を与えるものであり、今後の高性能 CMOS インバータ設計指針として有用である。

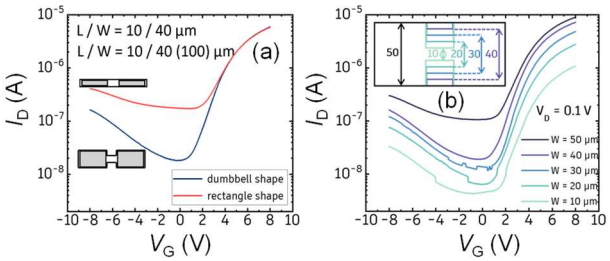


図 3. (a) 長方形チャネルおよびダンベル型チャネルを有する n チャネル TFT の I_D-V_G 特性の比較. (b) チャネル幅の異なるダンベル型 n チャネル TFT の I_D-V_G 特性.

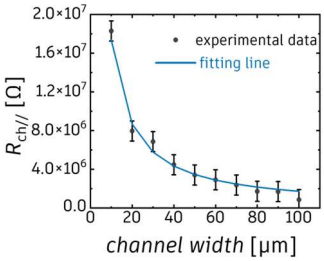


図 4. チャネル幅を変化させた際のダンベル型 n チャネル TFT の OFF 時のチャネル抵抗. 実験結果を,粒界を流れるリーク電流に基づくモデルでフィッティングしている.

[3] 今後の研究の推進方策

・GeSn および H の導入による CMOS 動作特性の改善
・S/D 形成プロセスの低温化
・単結晶 Si/多結晶 Ge(Sn)モノリシックデバイスの実現

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・K. Moto, S. Maeda, K. Igura, L. Huang, A. Morimoto, K. Yamamoto, K. Toko, High-mobility p-channel Thin-film Transistors Based on Polycrystalline GeSn, Advanced Electronic Materials, Vol. 11, No. 8, pp. 2400901 1-6, 2025.

・A. Morimoto, L. Huang, K. Igura, T. Ishiyama, D. Wang, K. Toko, K. Yamamoto, Demonstration of CMOS Inverter on Polycrystalline Ge on Glass, Mat. Sci. in Semicond. Processing, Vol. 207, No. 1, pp. 110493 1-5, 2026.

・L. Huang, K. Igura, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang, K. Yamamoto, Electrical Characteristic Impact on Channel Shape of n-Channel TFT on Solid-Phase Crystallized Polycrystalline-Ge, Extended abstract of 248th ECS Meeting, H04-1730, 2025.

・K. Yamamoto, T. Aso, H. Kuwazuru, D. Wang, Gate Stack Fabrication on Germanium Using Low Temperature Atomic Layer Deposition, Extended abstract of 248th ECS Meeting, H04-1742, 2025.

・H. Kuwazuru, T. Aso, D. Wang, K. Yamamoto, Low Temperature Annealing Effect on SiO2/GeO2 Gate Stack on Ge, Extended abstract of 248th ECS Meeting, H04-1744, 2025.

・H. Kuwazuru, D. Wang, K. Yamamoto, Low Temperature PMA Effect on SiO2/GeO2 Gate Stack for Improvement of Electrical Characteristics and its VFB Controllability, Extended abstract of 2025 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology, S3-03, 2025.

・R. Nishizaki, D. Wang, K. Yamamoto, Effect of Forming Gas Annealing for 3C-SiC n-MOSFET, Extended abstract of 2025 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology, PS-03, 2025.

・L. Huang、K. Igura、K. Toko、D. Wang、K. Yamamoto，Study on Inversion Mode N-channel TFT on Polycrystalline Ge by Solid Phase Crystallization at Low Process Temperature，International Conference on Silicon Epitaxy and International SiGe Technology and Device Meeting (ICSI/ISTDM 2025)，ThB3-3，pp. 283-284，2025.

・鍬釣 一、麻生 大聖、王 冬、山本 圭介，Ge 上ゲートスタックの低温熱処理効果，2025 年第 72 回応用物理学会春季学術講演会，2025年3月17.

・黄 林昱、居倉 功汰、都甲 薫、王 冬、山本 圭介，多結晶 Ge TFT における粒界に沿ったキャリア伝導の考察，2025 年第 86 回応用物理学会秋季学術講演会，2025 年 9 月 8 日.

・山本圭介、王冬、R. Loo、C. Porret、J. Cho、K. Dessein、V. Depauw，中空ゲルマニウム構造を用いた Ge-on-Insulator 基板の作製，2026 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会，17a-S2_201-8，2026 年 3 月 17 日.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・O. Nakatsuka, T. Maeda, D. Wang, K. Sueoka, T. Tanaka, Y. Noda, K. Yamamoto, S. Shibayama, M. Kurosawa, M. Sakashita, Material, Process, and Device Technologies of GeSn/GeSiSn Heterostructures for Optoelectronic Applications, 248th ECS Meeting, H04-1745, 2025.

・Y. Feng, G. Kuroeda, K. Yamamoto, S. Shibayama, O. Nakatsuka, D. Wang, Fabrication and Evaluation of GeSn Photodiodes with Metal-Interlayer-Semiconductor-Metal Structure Formed at an Ultra-low Temperature (200 ℃), 2025 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology (IWDTF2025), S3-05, 2025.

・T. Watanabe, R. Hashimoto, T. Kajiwara, K. Moto, K. Yamamoto, T. Sadoh, Defect Passivation by Post-Annealing for High-Mobility Sn-Doped Poly-Ge Thin Films on Insulator, International Conference on Silicon Epitaxy and International SiGe Technology and Device Meeting (ICSI/ISTDM 2025), WeP-7, pp. 195-196, 2025.

・G. Kuroeda, Y. Feng, K. Yamamoto, D. Wang, Fabrication and Evaluation of Asymmetric Metal/Ge/Metal Diodes with Al/Ge/Ultra-thin Thermally Oxidized TiOx/Al Structure, International Conference on Silicon Epitaxy and International SiGe Technology and Device Meeting (ICSI/ISTDM 2025), WeP-22, pp. 225-226, 2025.

・K. Oki, K. Yoshinari, S. Kikuoka, S. Yoshikawa, S. Watahiki, S. Obinata, A. Hattori, K. Yamamoto, K. Sawano, K. Hamaya, Observation of Spin Transport in Lateral Spin-valve Devices on GOI(111), International Conference on Silicon Epitaxy and International SiGe Technology and Device Meeting (ICSI/ISTDM 2025), ThA2-3, pp. 257-258, 2025.

・S. Ueda, K. Oki, S. Kikuoka, S. Fujii, S. Obinata, T. Usami, K. Yamamoto, K. Sawano, K. Hamaya, Magnetoresistance Effect via Band-to-Band Tunneling at PN Junctions in Ge-based Lateral Spin-valve Devices, International Conference on Silicon Epitaxy and International SiGe Technology and Device Meeting (ICSI/ISTDM 2025), ThA2-4, pp. 259-260, 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A07

研究課題名

単分子極限まで縮小化されたトランジスタの実現

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

【背景】次世代無線通信(Beyond 5G)は、Society 5.0の中核インフラとなるものである。Beyond 5Gにおける大きな課題の一つが、THz 帯以上で動作する増幅器の不在である。Si-CMOS の微細化が進むにつれ集積度は向上する一方で、短チャネル効果や寄生容量・抵抗が顕著となり、高周波特性は頭打ちとなっている。すなわち、論理集積回路よりも早く、高周波アナログ応用において、Si の微細化限界に達したということである。

Si 以外の新材料の有力候補が二次元分子薄膜である。2 nm 以下の超極薄領域では、Si のキャリア移動度は激減する（<1 cm^2/Vs）のに対し、二次元分子薄膜である WS_2 や MoS_2 は高キャリア移動度(～100 cm^2/Vs)をキープする。二次元分子薄膜の採用により、チャネルの極薄化による短チャネル効果の回避と高キャリア移動度の両立が可能となる。しかも、WS_2 や MoS_2 は、2eV 以上のバンドギャップを有し高出力化を可能にする。実際に、ゲート長を 8 nm 以下にすれば、WS_2 や MoS_2 は Si トランジスタの性能を一桁程度上回り、THz 帯で高出力動作することが理論的に示されている。

ここで問題となるのが、ゲートの極短化の方法である。通常、極微細加工では、　極端紫外光や電子ビームが用いられている。しかし、これらは、二次元分子薄膜に致命的なダメージを与え、デバイス特性を大幅に劣化させてしまう。

【目的】グラフェンと WS_2 もしくは MoS_2 を立体的に成長させることで、物理的ゲート長とチャネル厚が分子サイズまで縮小化されたトランジスタの創出を目指す。

【具体的な研究成果】

昨年度までに、単原子長ゲート構造の作製法を確立した。さらには、斜め蒸着法を確立した。この手法は、単原子長ゲート構造における微細段差をマスクとして、ソース・ドレイン間距離を 150 nm まで短縮して作製するボトムアップ的手法である。これらの成果は、単原子長ゲート・トランジスタが高効率に動作することを可能にする。

今年度は、これらの成果を用いて、単原子長ゲート・トランジスタを試作した（図 1）。

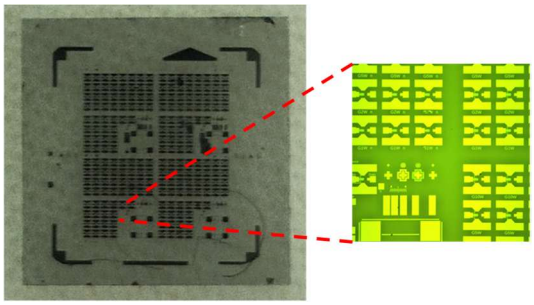


図 1 試作した単原子長ゲート・トランジスタ

このようにして作製したトランジスタの電気特性評価結果を図 2 に示す。

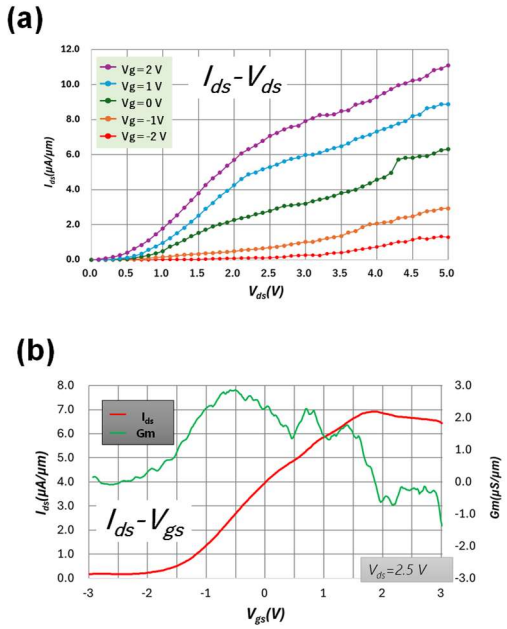


図 2 試作した単原子長ゲート・トランジスタの DC 電気特性評価　(a)出力特性、(b)伝達特性

この結果から、ドレイン電流が単原子長グラフェン・ゲートにより変調されることが明らかとなった。すなわち、試作した単原子長ゲート・トランジスタがトランジスタ動作が実証された。さらには、類似のトランジスタに比して、オン電流が一桁以上向上していることが明らかとなった。この原因は、斜め蒸着法によりアクセス領域の抵抗が削減したことに由来する。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、DC 特性を更に改善した上で、高周波特性を調べる。そして、Beyond 5G 用の高出力 THz 増幅器として妥当性を検証する予定である。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Y. Igarashi, N. Nagamura, M. Sekine, H. Fukidome, H. Hino and M. Okada, “Sparse Coding-Based Multiframe Superresolution for Efficient Synchrotron Radiation Microspectroscopy”, Discover Nano, 20, 2025, 102-1-102-20 (2025).

・M. Tone, S. Sato, S. Kunii, I. Obayashi, Y. Hiraoka, Y. Ogawa, H. Fukidome, A. L. Foggiatto, C. Mitsumata, R. Nagaoka, A. Varadwaj, I. Matsuda and M. Kotsugi, “Linking structure and process in dendritic growth using persistent homology with energy analysis”, Science and Technology of Advanced Materials: Methods, 5, 2475735−1− 2475735−12 (2025).

・Takashi Uchino, Yanjun Heng, Chao Tang, Shigenobu Kasai, Hirokazu Fukidome, Akira Satou, Shuji Ikeda, Taiichi Otsuji, “Improved sensitivity in graphene-mediated surface-enhanced Raman scattering via H_2/Ar annealing”, Journal of Applied Physics 138, 174503-1-174503-9 (2025).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A08

研究課題名

脳型エッジコンピューティングハードウェアのシステム応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトは，本年度が二年度目にあたり，本プロジェクト研究と連動する形で，「第 14 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム」を 2026 年 2 月 27 日−28 日にハイブリッド開催し、本プロジェクトの成果と課題を確認すると共に，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。本プロジェクトに関係する発表は下記の通りである。

[SS1-1] Role of temporal history in spatio-temporal learning rules, T. Ikeguchi (Tokyo Univ. Science, Japan)
[SS1-2] Memory structure analysis for single-layer feedforward neural networks with spatiotemporal learning rule synapses, T. Orima, Y. Horio (Teikyo Univ., Japan)
[SS1-3] CMOS spiking neural networks for edge computing, S. Sato, S. Moriya, T. Sakai, K. Gotsu, Y. Majima, J. Hamamoto, H. Ota, H. Yamamoto, Y. Horio, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)
[SS1-4 (Invited)] Assessment and applications of a scalable digital spiking neural integrated processor, J. Madrenas, B. Vallejo-Mancero, A. Larré, V. Torres, D. Fernández, T. Martin, M. Wang, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)
[SS1-5 (Keynote)] Real-time mixed-signal electronic circuits for understanding and implementing neural computation, G. Indiveri (Univ. Zurich / ETH Zurich, Switzerland)
[GS1-1 (Invited)] When smells fail to speak: Neurocomputational links between odors and words, P. Herman, N. Chrysanthidis, A. Lansner, T. Hörberg, E. Laukka, J. Olofsson (KTH Royal Inst. Tech., Sweden)
[GS1-2] Solving the travelling salesman problem with Kuramoto oscillators, K. Sakamoto (Tohoku Med. Pharm. Univ., Japan)
[GS1-3] Resume++ – A gradient free method for training precise spike times, I. Ramzan, L. Kang (Riken CBS, Japan)
[GS1-4] Characterizing reservoir computing behavior via in-plane miniband transport in ultrahigh-density quantum dots, S. J. Oon, Y. Naruko, K. Yamaguchi, Y. Mizugaki (Univ. Electro-Commun., Japan)
[SS4-1] 14 nm analog in-memory computing chip with phase change memory for large DNN inference, A. Okazaki, P. Narayanan, S. Ambrogio, A. Chen, C. Mackin, A. Fasoli, A. Friz, J. Luquin, M. Ishii, T. Kanamori, T. Yasuda, Y. Kohda, T. Philicelli, V. Narayanan, H. Tsai, G. W. Burr (IBM Research - Tokyo, Japan)
[SS4-2] Contact-controlled oxide semiconductor transistors for ultralow-power electronics and neuromorphic computing, J. P. S. Bermundo, P. Sihapitak, M. Ilasin, C. Wu, R. A. Sporea, M. Kimura, Y. Uraoka (NAIST, Japan)
[SS4-3] Integrated devices using memristor and capacitor and spike neurosystem using transient-type signal transfer, M. Kimura, K. Sawai, R. Horio, H. Kawanishi (Ryukoku Univ., Japan)

代表的な研究実績としては、極めて低電力で動作する SNN（スパイキングニューラルネットワーク）を用いたリザバー計算システムのアナログ回路部とエナジーハーベスティング回路を融合し、ハーベスティング電力のみでリザバー層を動作させられることを実証した。また、SNN の規模拡大に向けて、マルチチップ動作を可能にするニューロン間スパイクルーティング回路の設計に成功した。

[3] 今後の研究の推進方策

本研究は、(A)脳機能モデルの研究、(B)脳型集積デバイス・回路の開発、そして(C)システム応用から構成されており、次の方針に従って引き続き、研究を進める。(A)では、生体の神経回路が持つ豊かな情報表現や複雑ダイナミクスを少ないリソースで再現しうる数理工学モデルを構築する。(B)では、引き続きトンネルダイオードを用いた自励発振ニューロンデバイスや不揮発性メモリデバイスを組み入れたシナプスデバイスの開発などに取り組む。 (C)では(B)の成果として得られるハードウェアを用いてエッジコンピューティング用システムを構築し、具体的なタスクに応用することでその有効性を明らかにする。

［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. Onuki, Y. Suzuki, and T. Saito, "Permutation XOR Cellular Automata and Direct Stable Periodic Orbits," Neurocomputing, vol. 656, 131510, 2025. DOI: 10.1016/j.neucom.2025.131510

・T. Orima, I. Tsuda, M. Tsukada, H. Tsukada, and Y. Horio, "Fractal Memory Structure in the Spatiotemporal Learning Rule," Frontiers in Computational Neuroscience, vol. 19, pp. 1-13, 2025. DOI: 10.3389/fncom.2025.1641519

・Y. Horio, "Brainmorphic Computing: Paradigm and Hardware," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, no. 3, pp. 310-311, 2025. DOI: 10.1587/nolta.16.310

・Y. Horio, "脳型ハードウェアと最適化," オペレーションズリサーチ, vol. 71, no. 1, pp. 5-12, 2026.

・J. Chen, Y. Song, and A. Hirose, "Analysis of Nonlinear Harmonics in Exchange-Dominated Spin Waves," Physical Review B, vol. 113, 064421, 2026. DOI: 10.1103/29mw-s88k

・J. Chen, Y. Song, and A. Hirose, "Spintronic Reservoir Computing with Interpretable Nonlinearity," Physical Review Research, vol. 7, 013310, 2025. DOI: 10.1103/PhysRevResearch.7.013310

・J. Chen, Y. Song, and A. Hirose, "Analytic-Signal-Based Input-Output Modeling Inspires Passband Signal Learning for Spin-Wave Reservoir Computing," Physical Review Applied, vol. 23, 034045, 2025. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.23.034045

・S. Moriya, M. Ishikawa, S. Ono, H. Yamamoto, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, and S. Sato, "Analog VLSI Implementation of Subthreshold Spiking Neural Networks and Its Application to Reservoir Computing," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 72, no. 10, pp. 5571-5582, 2025. DOI: 10.1109/TCSI.2025.3550876

・S. Moriya, Y. Iida, A. Lagarrigue, K. V. De Zoysa, M. Ishikawa, H. Yamamoto, S. Fukami, and S. Sato, "Event-Driven Inference with Spiking Neural Networks Enhanced by Non-Volatile Analog Spin-Orbit Torque Devices," Proceedings of the 2025 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2025), pp. 1-5, 2025. DOI: 10.1109/ISCAS56072.2025.11043718

・Y. Sono, H. Yamamoto, Y. Nishi, T. Sumi, Y. Sato, A. Hirano-Iwata, Y. Katori, and S. Sato, "Online Supervised Learning of Temporal Patterns in Biological Neural Networks Under Feedback Control," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 123, no. 11, e2521560123, Mar. 2026. DOI: 10.1073/pnas.2521560123

・D. Noè, H. Yamamoto, Y. Katori, and S. Sato, "Efficient Connectivity and Intrinsic Noise Separation in Recurrent Spiking Neural Networks Trained with E-Prop," Neuromorphic Computing and Engineering, vol. 5, no. 4, 044002, Oct. 2025. DOI: 10.1088/2634-4386/ae0826

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・N. Onizawa, T. Kubuta, D. Shin, and T. Hanyu, "Energy-Efficient p-Bit-Based Fully-Connected Quantum-Inspired Simulated Annealer with Dual BRAM Architecture," IEEE Access, vol. 14, pp. 5092-5103, Jan. 2026. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3651741

・M. Natsui and T. Hanyu, "Emerging Trends in MTJ-Based Nonvolatile Logic Circuits Toward a Revolution in Computer Architecture," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 64, no. 12, pp. 12SP18-1-12SP18-5, Dec. 2025. DOI: 10.35848/1347-4065/ae268d

・S. Matsuno, Y. Abe, K. Ando, K. Nakada, E. Suzuki, K. Suda, Y. Urakawa, S. Mochizuki, Y. Terasaki, T. Sasaki, and T. Asai, "Demonstration of a Subthreshold Analog CMOS Reservoir Chip for Temporal Signal Processing," npj Unconventional Computing, vol. 3, Article No. 12, 2026. DOI: 10.1038/s44335-026-00059-3

・R. Kusunose, A. Schmid, T. Asai, T. Uemura, and T. Marukame, "Neuromorphic Computing Using High Magnetoresistance Ratios in Co2MnSi/MgO/Co2MnSi Magnetic Tunnel Junctions," Engineering Research Express, vol. 8, pp. 1-17, 2026.

・R. Toyama and T. Saito, "Analysis of Majority Binary Neural Networks Based on Simple Feature Quantities," in T. Taniguchi et al. (Eds.), ICONIP 2025, CCIS 2754, pp. 554-567, 2026. DOI: 10.1007/978-981-95-4091-4_38

・Y. Miyasaka, A. Hirose, and R. Nakane, "A Systematic Analysis on the Relationship Between Reservoir-Computing Capacities and Physical Properties of Spin Waves," APL Machine Learning, vol. 4, 016108, 2026. DOI: 10.1063/5.0308497

・Y. Hayashi, H. Shimada, and Y. Mizugaki, "Hand-Written Digit Image Recognition Using Two Parallelized Gold-Nanoparticle Reservoirs," The 10th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO2025), P3-01, 2025.

・A. Yokota, I. Kawashima, Y. Saito, H. Tamukoh, O. Nomura, and T. Morie, "Enhancing Memory Capacity of Reservoir Computing via External Structures: Delay, Passthrough, and Parallel Connections," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 17, no. 1, pp. 66-78, 2026. DOI: 10.1587/nolta.17.66

・A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, O. Nomura, K. Tateno, and T. Morie, "Environment-Specific Knowledge Acquisition System for Home Service Robots via Brain-Inspired Memory and Commonsense Knowledge," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 17, no. 1, pp. 108-123, 2026. DOI: 10.1587/nolta.17.108

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **R06/A10**

Title

Cross-Reality Collaboration with Digital Twins

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI : Principal Investigator (PI): Bernd Froehlich (Bauhaus-Universitaet Weimar)

Research collaborator of RIEC : KITAMURA Yoshifumi (RIEC)

[2] Summary of Research Results for the Year

This project aims to connect multiple on-site augmented reality (AR) users visiting a real museum with remote virtual reality (VR) participants, enabling asymmetric cross-reality collaboration for the exploration of cultural heritage sites through both physical presence and digital immersion. In the first year, the focus was on developing a flexible spatial alignment system, implementing a scalable multi-user prototype, and evaluating both through an elicitation study. Consistent with prior assumptions, the study indicated that on-site museum visitors equipped with monoscopic smartphone AR perceived their remote VR peers with a lower sense of co-presence than other physical visitors in the museum. Interestingly, however, remote VR users perceived AR and VR users with similar co-presence scores. In FY 2025, we therefore shifted our focus toward improving the experience of on-site users. Specifically, we investigated how head-mounted displays (HMDs) with pass-through capabilities, also known as mixed reality (MR) interfaces, can make remote VR participants more visible, present, and easier to coordinate with for on-site users. At the same time, pass-through MR introduces a potential representational incongruence: collocated museum visitors are perceived with higher realism through the camera-based view of the physical environment, whereas remote participants are represented as virtual avatars. We examine how this mixture of physical and virtual user representations affects mutual awareness, coordination, and co-presence.

A central research question therefore concerned the influence of remote user representation on co-presence in pass-through MR scenarios. In earlier work, co-presence was identified as a critical factor for evaluating whether asymmetric cross-reality systems effectively support collaboration between on-site and remote users. While our previous prototypes relied on handheld monoscopic AR devices, pass-through MR devices provide a substantially larger field of view and allow on-site users to perceive virtual content spatially situated in their physical surroundings. For this reason, we aim to investigate the use of MR for supporting collaboration between on-site and remote users.

Building on this, the project examines how differences between user representations affect the perceived coherence of the shared environment. Remote VR users are typically represented as stylized virtual avatars, whereas collocated on-site users remain visible through the pass-through camera view, often with their eyes and parts of their face occluded by the worn HMD. In combination with the real museum environment, this mixture of physical appearance and virtual avatar representations may reduce immersion and affect whether users perceive one another as part of a shared and consistent space. To address this, the project aims to evaluate different approaches for increasing representational coherence between local and remote collaborators.

One approach is to investigate whether virtual avatar representations should be overlaid onto collocated on-site users in certain situations, thereby reducing visual differences between local and remote collaborators. A complementary approach is to explore how the real museum, its spatially aligned digital reconstruction, and the representations of all users can be visually harmonized. For example, on-site users could transition between the pass-through view and the digital twin while retaining awareness of physically present collaborators through segmented cut-outs or similar visual cues. Although this may temporarily reduce direct access to the unaltered physical view, it could allow users to scale selected objects, reveal additional information, or animate elements of the museum environment while still perceiving the presence of other local users. Such functionality is particularly relevant for collaborative tasks in which on-site and remote users jointly identify differences, inaccuracies, or problems in the digital twin, as the virtual reconstruction may not always perfectly correspond to the real museum environment.

A further focus of the year was the extension and simplification of the spatial collocation setup for multiple on-site users. Building on the alignment work from the first project year, the system was extended for Meta Quest devices using Meta Spatial Anchors. These

anchors can be created on one device and shared with nearby MR devices via Bluetooth, enabling multiple pass-through MR users to align their local spatial coordinate systems within the same physical environment. In addition, Meta Avatars were integrated and distributed across devices to support the shared representation of users within the cross-reality environment. This provides the technical basis for studying collaboration between several on-site MR users and remote VR users in a shared cross-reality setting.

To make the setup more scalable for larger on-site groups, the project also worked toward a more automated spatial alignment procedure. The goal is to reduce manual configuration effort and make the system easier to deploy in museum environments with multiple participants. Additional functionality was added to refine the position and orientation of newly created spatial anchors, allowing the alignment to be corrected more precisely after anchor creation. These improvements support more robust spatial registration between the physical environment, the digital twin, and the distributed users participating from different devices.

Together, these developments extend the project from an initial asymmetric AR/VR collaboration prototype toward a more flexible pass-through MR and VR collaboration system. The technical improvements enable future studies on how different representations of local and remote users influence co-presence, mutual awareness, and collaboration quality in multi-user cross-reality scenarios.

[3] Future Research Promotion Measures

Future work will focus on empirically evaluating how pass-through MR devices affect co-presence and collaboration in asymmetric cross-reality museum scenarios. In particular, the planned study will investigate how on-site MR users interact with both physically present collaborators and remote VR users represented through virtual avatars. This will allow the project to assess whether representational differences between local and remote users influence mutual awareness, perceived co-presence, and the effectiveness of collaboration.

To further strengthen the international collaboration between Bauhaus-Universität Weimar and Tohoku University, a research visit of a researcher from Bauhaus-Universität Weimar to Tohoku University is planned. This visit will support the continued exchange between the VRVIS lab and the ICD lab and will contribute to the preparation and refinement of future studies on multi-user cross-reality collaboration in cultural heritage contexts.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A11

研究課題名

異種素子数サブアレイの組み合わせによる
端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの素子数削減に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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：
亀田　卓（広島大学半導体産業技術研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

従来，各サブアレイアンテナのアレイ構成は全て 4×2 であったが，部分的に 2×2 構成にするアイディアについて実際に電磁界解析モデルを作成し，昨年度は電磁界解析によるカバレッジ評価および基板実装作業を行った．図 1 及び図 2 に示すとおり，Subarray B と C を 2×2 構成にした．Subarray E は従来取りの校正である．図 3 にミキサ等の部品を基板上に実装し，合計 8 枚の多層基板を銅ボール実装後の完成アンテナの写真を示す．昨年はこのアンテナ実装まで終了していたが，2025 年度中に通研の測定環境で試作アンテナの測定を行った．本報告書では，57 GHz における測定結果について報告する．図 4 は各サブアレイを単独動作させ，素子アンテナ間の給電位相差を 3 bit でつけた場合のアンテナ利得が 10 dBi 以上となる放射方向をプロットした図である．ダイポール素子アンテナを用いる Subarray B と C はそれぞれ-x および+y 方向にカバレッジを有しており，パッチ素子アンテナを用いる Subarray E は+z 方向にカバレッジがあることから正常動作を確認できた．予想通り赤丸部ではダイポールサブアレイの素子数削減によりダイポールサブアレイ間のカバレッジがないことがわかる．そこで 2 つのサブアレイを同時に動作させ，利得の改善を図る．図 5 は例えば Subarray A と B など，2 つのサブアレイを動作させた場合のカバレッジの測定結果を示しているが，図 4 に比べてカバレッジが広がることを確認し，提案アンテナの有効性を確認できた．

[3] 今後の研究の推進方策

2026 年度はたとえばパッチサブアレイの素子数を 2×2 構成にするなど，2025 年度とは異なる組み合わせに関して電磁界解析及びアンテナ実装，測定を実施する予定である．

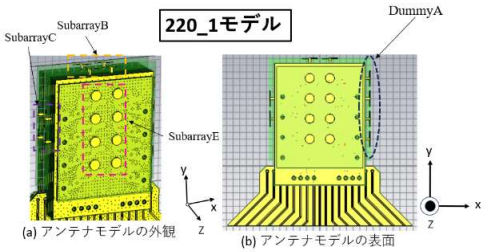


図 1：素子数削減モデル

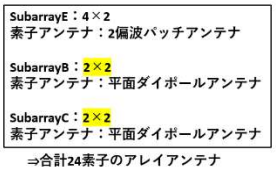


図 2：素子数を削減したサブアレイ名と全素子数

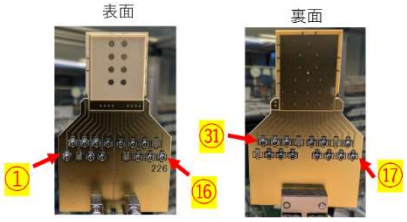


図 3：基板実装したあとの提案アンテナ

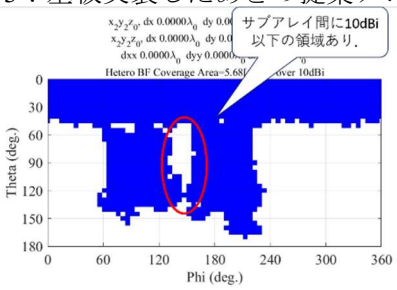


図 4：シングルサブアレイ動作時の利得 10 dBi 以上のカバレッジエリアの測定結果（57 GHz）

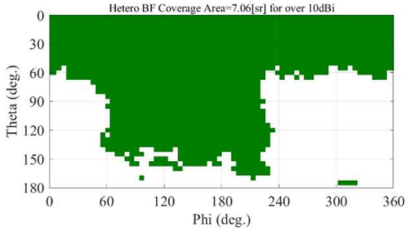


図 5：デュアルサブアレイ動作時の利得 10 dBi 以上のカバレッジエリアの測定結果（57 GHz）

［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. Yoshida, S. Kameda and N. Suematsu, "Integration of a 60-GHz-Band Wide-Coverage Beamforming Array Antenna by Subarray Switching for Three Orthogonal Beams," in IEEE Access, vol. 14, pp. 50659-50674, 2026, doi: 10.1109/ACCESS.2026.3678850.

・T. Yamaki and S. Yoshida, "Development of End-fire 60-GHz-Band 2×2 Digital Beam Forming Antenna for Built-in Mobile Devices," 2025 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Fukuoka, Japan, 2025, pp. 1-2, doi: 10.23919/ISAP63122.2025.11361855.

・S. Yoshida, “Comparison of return loss measurement method of 60 GHz band 2×2 patch array,” in Proc. IEEE AP-S Int. Symp., July 2025.

・山木健弘，吉田賢史，“ 銅ボールを用いた積層型 60 GHz 帯 4 素子アレイアンテナにおけるビームフォーミング領域の評価，” 信学技報, vol. 125, no. 25, MW2025-12, pp. 19-22, May 2025.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・K. Konno et al., "Mechanically Pattern Reconfigurable Yagi–Uda Monopole Antenna Using Magnetic Gear," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 74, no. 5, pp. 4171-4182, May 2026, doi: 10.1109/TAP.2026.3662161.

・K. Nakao, T. Yamaki, and S. Yoshida, “Ultrawideband rectifier with a large DC-cut capacitor for improvement of efficiency in low frequency band achieving 199.2% fractional bandwidth,” IEICE Electron. Express, vol. xx, no. xx, pp. xxx–xxx, 2026. /10.1587/elex.23.20260149. (in press)

・吉田賢史, “高頻度再使用宇宙機の実現に資するマイクロ波無線給電型ワイヤレスセンサ研究開発，”信学論(B)，vol. Jxx–B，no. xx，pp. x–x，2026. (in press)

・S. Yoshida, “Measurement evaluation of a 920 MHz band wireless sensor system powered by 5.8 GHz band wireless power transmission,” in Proc. URSI–JRSM 2026, p. 1, March 2026.

・T. Yamaki, K. Nakao, and S. Yoshida, “Series selection of LC components in microwave rectifier using multi-stage matching for wideband operation,” in Proc. 55th Eur. Microw. Conf., pp. 997–1000, Sept. 2025.

・H. Furukawa, and S. Yoshida, “Considerations on load power consumption in series and parallel connections of current and voltage sources for hybrid energy harvester,” Thailand-Japan Microwave Conf., Oct. 2025.

・古川大夢，吉田賢史，“ ハイブリッドエナジーハーベスタ実現に向けた電流源・電圧源の直列または並列接続時の負荷における消費電力に関する考察，” 信学ソ大， B-20-10， Sept. 2025.

・山木健弘，中尾晃大，吉田賢史，“ 周波数特性広帯域化に向けたマッチング回路に用いる素子選択の比較検討，” 信学技報, vol. 125, no. 109, MW2025-37, pp. 77-82, July 2025.

・中尾晃大，山木健弘，吉田賢史，“ ［ポスター講演］10 段の多段マッチング回路を用いたマイクロ波広帯域整流器の設計，” 信学技報, vol. 125, no. 181, MW2025-121, pp. 172-173, Sept. 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A12

研究課題名

インターネットトラヒックを想定した遅延を抑制する輻輳制御アルゴリズム

[1] 研究代表者・通研対応教員
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：
Salahuddin Muhammad Salim Zabir（福島大学理工学群共生システム理工学類）

[2] 当該年度の研究実績の概要

[目的]

インターネットトラヒックを想定するため、マルコフパケット到着を仮定した遅延ベース輻輳制御アルゴリズムである Copa [1] が 2018 年 MIT より発表された。Copa は、インターネット環境下において、CUBIC [2]、BBR [3]といった現在広くインターネットで用いられている輻輳制御アルゴリズムに比べ、優れた性能を実現できるとされている [4]。しかし、Copa を用いた場合においても CUBIC や BBR と同様に、ボトルネック回線を共有するフローが複数のとき、そのアルゴリズムの性質上、遅延が 100 msec から 1sec の単位で増大することが避けられない。そこで、本研究では、Copa と同様に、インターネットトラヒックを想定したうえで、遅延を目標値程度（例えば、バッファリング遅延を 10msec）に抑える新型の遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムを提案・開発し、そのアルゴリズムの性能を、エミュレーションまたは、実インターネット環境下での実験によって評価することを目的とする。

[1] Arun, V., & Balakrishnan, H. (2018). Copa: Practical Delay-Based congestion control for the internet. In *15th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 18)* (pp. 329-342).
[2] Ha, S., Rhee, I., & Xu, L. (2008). CUBIC: a new TCP-friendly high-speed TCP variant. *ACM SIGOPS operating systems review*, *42*(5), 64-74.
[3] Cardwell, N., Cheng, Y., Gunn, C. S., Yeganeh, S. H., & Jacobson, V. (2017). BBR: Congestion-based congestion control. *Communications of the ACM*, *60*(2), 58-66.
[4] Garg, N. (2019). https://engineering.fb.com/2019/11/17/video-engineering/copa/.

[実績の概要]

本年度は、複数の BBR フロー、Copa フローがボトルネック回線において競合する場合において、バッファリング遅延が延びる問題に着目し、その問題を解決するために、待ち行列システムモデル M/M/1 を仮定して解析的に設計された輻輳制御アルゴリズム MRCC (Multiplicity-Robust Congestion Control) を提案し、実装した。性能評価では、MRCC フローは、ボトルネック回線を共有する全フロー数 (1 - 256 フロー)にかかわらず、高いスループットを維持しつつ、低遅延と高い公平性を示した。

[研究集会]

- **場所：東北大学電気通信研究所**
- **日程：2025 年 11 月 18 日**
- **参加人数：14 名**

[3] 今後の研究の推進方策

提案方式を BBR のアルゴリズムをベースとして再設計・再実装し、提案方式によるフローだけがボトルネック回線を共有する場合だけでなく、BBR フローや CUBIC フローと競合する場合についても性能評価を実施する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）
なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
・Utsumi, S., Kano, K., Zabir, S. M. S., & Hasegawa, G. (2025). Ensuring Low Latency When Number of Flows Increases over Bottleneck Link. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2025 Posters and Demos* (pp. 1-3).（査読有）

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06A13

研究課題名

機械学習によるハードウェアセキュリティの研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究は暗号モジュールを実装し, 処理時間などの物理量を評価や相関ベースの漏洩評価の実施を行うとともに，機械学習を利用したサイドチャネル攻撃手法について知見を増やしながら, 実装した暗号モジュールに対し, 機械学習を利用したサイドチャネル攻撃手法の適用可能領域や特徴を明らかにすることを目的とする. 2025 年度はハッシュ関数および認証暗号への応用が期待される，暗号学的置換 Areion のハードウェア実装の検討を行った.

Areion はハッシュ関数および認証暗号に応用可能な permutation である．基本構造として Areion-256，Areion-512 が提案されており，それぞれ 256 ビットと 512 ビットの置換を行う．Areion の置換処理では F_i 関数が用いられており，AES (Advanced Encryption Standard) で提案されている SubBytes，ShiftRows，MixColumns，ラウンド定数と XOR をとる AddRoundConstant によって構成されている．それぞれ，SB, SR, MC, AC と表記する．F_iは次のように定義される．

$$F_0 = MC \circ SR \circ SB$$
$$F_1 = SR \circ SB$$
$$F_2 = MC \circ SR \circ SB \circ AC \circ MC \circ SR \circ SB$$
$$F_3 = MC \circ SR \circ SB \circ AC \circ SR \circ SB$$

Areion-256 はF_1, F_2で構成され，10 ラウンドで置換される．Areion-512 はF_0, F_1, F_3で構成され，15 ラウンドで置換される．

Areion-256，Areion-512 を FPGA に実装し評価を行う．回路規模とクリティカルパス遅延を評価する．続いて，回路の効率的な実装法の検討を行う．Areion-256 の基本構造を図 1 (a) に示す．F_1とF_2にx_0が入力され，x_1と$F_2(x_0)$のXORがとられる．ここで，F_2はF_0とACの組み合わせとみなすことができ，回路記述の簡単化が可能である．また，F_2は$MC \circ SR \circ SB \circ AC \circ MC \circ (SR \circ SB)$であり，過程で$F_1 \coloneqq SR \circ SB$が処理されている．よって，$F_2$を分岐させることで図 1 (a) に含まれる$F_1$を省略することができる．省略後の構造を図 1 (b) に示す．なお，Areion-512 も同様に処理過程を分岐することで，F_0とF_1，F_0とF_3を統合することができる．実装結果を表 1 に示す．効率化により，Areion-256，512 ともに回路規模が 75%程度まで削減された．遅延については大きな変化は見られなかった．Areion-512 が Areion-256 に比べ遅延が小さい理由として，Areion-512 で用いられている F_3 の段数が Areion-256 で用いられている F_2 よりも少ないことが考えられる．

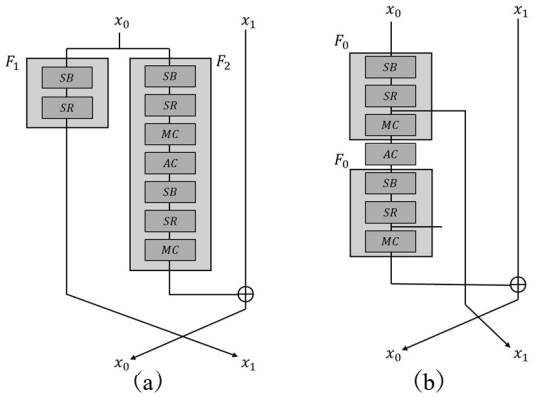


図 1　Areion-256 の構造

表 1　実装結果

	Streightforward datapath		Integrated datapath	
	Area [LUT]	Delay [ns]	Area [LUT]	Delay [ns]
Areion-256	2281	10.308	1802	10.316
Areion-512	3688	9.878	2661	9.987

[3] 今後の研究の推進方策

Areion-256 向け には軽量実装を，Areion-512 向けには高スループット実装を検討する．実装評価では，FPGA に加えて ASIC (Application Specific Integrated Circuit) のプラットフォームで実装する．ASIC 実装のための環境構築は令和 7 年度中に実施済である.

研究成果については，積極的に IEEE を始めとする主要な学会に投稿を進める. 定期的に Zoom や Teams 等のオンラインツールを使用したオンラインの打ち合わせを進めながら，電気通信研究所で実験等を行う.

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・小熊頌太郎, 小熊　博, 岸田　亮・本間尚文, ”暗号学的置換 Areion のハードウェア実装の検討,” 電子情報通信学会ハードウェアセキュリティ研究会 vol. 125, no. 248, HWS2025-61, pp. 1-6, 2025 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実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A14

研究課題名

無線ネットワークにおける AI 技術に基づく輻輳制御に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
小畑 博靖（広島市立大学大学院情報科学研究科）

通研対応教員：
長谷川 剛（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

【研究体制】
本研究プロジェクトでは、昨年度に引き続き、以下の研究体制で研究を進めている。

広島市立大学 小畑 博靖 教授：研究全体の統括と全課題の技術検討・実装・評価を実施

東北大学 長谷川 剛 教授：専門とするインターネット輻輳制御アーキテクチャの観点から検討方針と制御の妥当性について議論および助言を担当

名古屋大学 村瀬 勉 教授：専門とする無線ネットワークにおける QoS 制御の観点から検討方針と制御の妥当性について議論および助言を担当

【目的および研究実績概要】
本研究の目的は，無線ネットワークにおけるスループット性能の向上を目指して，無線ネットワーク環境の変化に自律的に対応可能な AI 技術に基づく輻輳制御の実現を目指すことである．また、本研究では、この目的を達成するため、以下の 3 つの課題を設定している。

【課題 1】 無線アクセス回線を考慮した機械学習による輻輳制御を検討
【課題 2】 無線マルチホップ通信を利用した無線中継ネットワークに対応可能な機械学習による輻輳制御を検討
【課題 3】 AI 技術に基づき自律的に制御位置と制御内容を更新する輻輳制御を検討

2025 年度では、前年度に引き続き【課題 1】と【課題 2】に関する検討を行い、以下のような成果を得た。

（1）無線ネットワークに対応した機械学習に基づく TCP-ACK 制御方式の特性評価
これまで無線マルチホップネットワーク環境においてインターネットへの接続点となる中継端末（図 1 中の Gateway）で TCP-ACK を意図的に廃棄することでシステム全体のスループット向上を目指す方式（ML-ACK 制御）を検討している。また、ML-ACK 制御では、TCP-ACK の廃棄確率を設定するために、機械学習の一種である Deep Q Network（DQN）を利用している。しかしこれまでの検討では、基礎的な性能評価に留まっていたため、スループット性能に影響を与える可能性のある制御パラメータに関する考察が不十分であった。そこで、ML-ACK 制御における制御パラメータが無線マルチホップネットワークに参加する無線端末全体の TCP スループットに与える影響を評価した。ACK 廃棄率の増加量と減少量を複数の組み合わせで変化させた結果、ACK 廃棄率の増加量を減少量よりも 2 倍大きくするとスループットが向上する傾向があることを確認している。本成果の一部は、今後、電子情報通信学会の研究会等での報告を検討している。

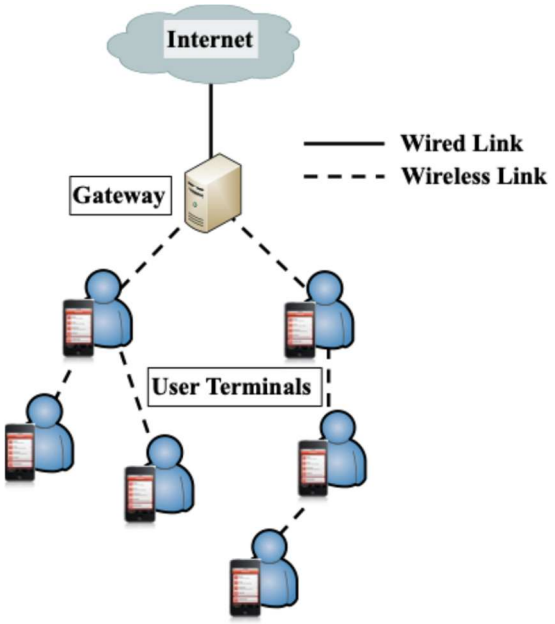


図 1　想定ネットワーク

（2）ネットワーク状況に応じた動的な TCP コネクション分割機構の改良

本研究では、通信回線の多様化に伴う通信経路の動的な変更を想定し、柔軟なトラフィック制御を実現する動的TCPコネクション分割機構を提案している。本方式では、通信経路上のパケットロス率と遅延を利用して、TCP コネクションの分割機器（分割位置）を動的に制御する。しかし、コネクション分割の判断指標がパケットロス率と遅延を統合した値であったため、それぞれの値が変化したとしても指標となる値がほとんど変化せず適切な分割ができない場合があった。そこで、本研究では、パケットロス率と遅延をそれぞれ独立して利用し分割を判断するための指標を導入した。エミューション環境において改良方式を評価した結果、従来方式ではスループットが向上できないネットワーク環境において、スループットを向上できることを確認した。本研究の成果の一部は電子情報通信学会の論文誌にて発表を予定している。

また、本プロジェクト研究に参加している研究室メンバが集まり以下のように研究発表会を実施し、関連する技術に関して議論した。

＜2025 年度共同プロジェクト研究発表会＞
日時：2025 年 10 月 29 日（水） 9:00～12:40
場所：東北大学 電気通信研究所 本館 4 階 M431 室
プログラム：
9:00- 9:30 （広島市大 1)遠北 涼「フラッシュクラウドを緩和するネットワーク上の拡散方程式に基づく負荷分散システムの実装」
9:30-10:00 （名古屋大 1)後藤 大輝「MEC 協働型 AMR における複数 AP の最適切り替えを用いた最短時間移動経路制御」
(15 分休憩)
10:15-10:45 （東北大 1)安田 翔真「ローカル 5G 環境下における無線通信資源の効率的利用に向けたエッジコンピューティング適用判断」
10:45-11:15 (広島市大 2)原 惇樹「制御区間の分割に基づくトランスポートプロトコルの検討」
(15 分休憩)
11:30-12:00 (名古屋大 2)陳 実「最適な端末アドホック構成を用いたインフラマルチホップ AP ネットワークにおける中継 AP 移動制御」
12:00-12:30 (東北大 2)田中 道志郎「ネットワーク機器の遠隔管理のためのテキストデータ圧縮技術」
12:30- 講評 （長谷川剛、小畑博靖、村瀬勉）

[3] 今後の研究の推進方策

次年度では、引き続き、【課題1】および【課題2】に関する技術の改良を中心に進めつつ、【課題3】についての検討を進める予定である。また、引き続き、得られた成果の対外発表を目指す。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

【学術論文誌】

・Hiroyasu Obata and Chisa Takano, “A Study on Wireless LAN Technologies based on Mathematical Model of Physical Phenomena,” IEICE Transactions on Communications, Invited Paper, Vol.E109-B, No.2, pp.180-189, February 2026.
(DOI 10.23919/transcom.2025CEI0005)

【国内研究会・国内大会】

・村本 章人, 小畑 博靖, 高野 知佐, “稠密な無線マルチホップ環境における通信安定性を考慮した位相シフトに基づくメディアアクセス制御,” 電子情報通信学会技術研究報告 情報ネットワーク研究会, IN2025-105, pp.260-265, March 2026.
・村本 章人, 小畑 博靖, 高野 知佐, “稠密な無線マルチホップ環境における V-SP-MAC に基づく動的バックオフ制御,” 電子情報通信学会技術研究報告 情報ネットワーク研究会, IN2025-50, pp.75-80, December 2025.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

【学術論文誌】

・遠北 涼, 高野 知佐, 小畑 博靖, 大石 恭弘, 会田 雅樹, “ネットワーク上の拡散方程式に基づくロードバランサ間の負荷分散システムの提案と実装,” 電子情報通信学会論文誌（B）, Vol.J109-B, No.3, pp.222-233, March 2026.
(DOI 10.14923/transcomj.2025GWP0006)

【国際会議】

・Ryo Enkita, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Yasuhiro Ohishi and Masaki Aida, “Performance Evaluation of Load Distribution System based on Diffusion Equation for Asymmetric Network Model,” Proc. 13th International Workshop on Computer Systems and Architectures (CSA’24), pp.8-14, November 2025.
(DOI 10.1109/CANDARW68385.2025.00010)

【国内研究会・国内大会】

・高田 啓匡, 小畑 博靖, 高野 知佐, “5G 網の QoS 特性を考慮した SRv6 による IP ネットワークの経路制御,” 電子情報通信学会技術研究報告 情報ネットワーク研究会, IN2025-94, pp. 192-197, March 2026.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A15

研究課題名

磁性ガーネット導波路を用いたスピン波変調測定システム開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
白木 英二（岐阜高専電気情報工学科）

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

本研究では、光ファイバーベースの光学系を構築し、スピン波を高感度に検出することを目的としている。今年度は、スピン波による光変調を誘起するための光学素子である、ガドリニウム・ガリウム・ガーネット(GGG)基板上に生成されたイットリウム・鉄・ガーネット(YIG) 薄膜導波路の出射端での光のビームプロファイルをナイフエッジ法により評価した。

実験装置を Fig. 1 に示す。磁性導波路は GGG 基板(5 mm)上に YIG 層(10 μm)が積層されている。導波路の横方向にはサンドブラスト加工が施されており、1 mm 幅の YIG 層に光が閉じ込められている。波長 1550 nm の増幅自然放出光源からの出射光をレンズを介して磁性導波路に入射した。出射端において、ナイフを横(もしくは縦)方向走査し、パワーメーターによりスライスした光の強度測定した(ナイフエッジ法)。取得したデータよりビームプロファイルを構築した。シングルモード光ファイバー(SMF)と磁性導波路について、出力端とナイフの距離 0~8 mm の範囲で解析を行った。

Fig. 2(a)にビーム拡がりの様子を示す。磁性導波路出力端について、縦方向走査における強度分布には左右対称なガウス分布が見られた。この結果からモードフィールド径を計算すると、光ファイバーは 10.6 μm となり、仕様値である 10.5 μm とほぼ一致した。磁性導波路では 8.0 μm と小さくなった。Fig. 2(b)に出射端から 8 mm における縦・横方向の強度分布(ビームプロファイル)を示す。なお、横方向の分布については対称と仮定して再構成した。中心から強度が減衰する楕円形状をしていた。これは導波路のサイズが縦方向の YIG 層の厚さが 10 μm と非常に小さいものの、横方向の幅が 1 mm と大きいためであると考えられる。

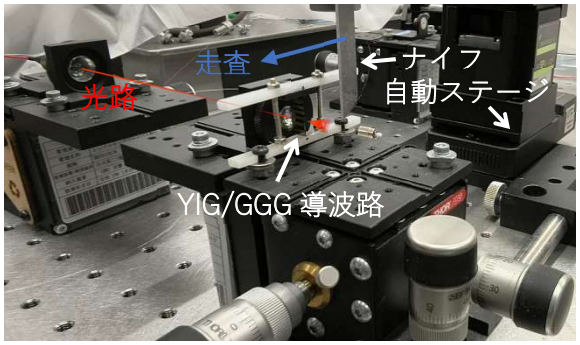
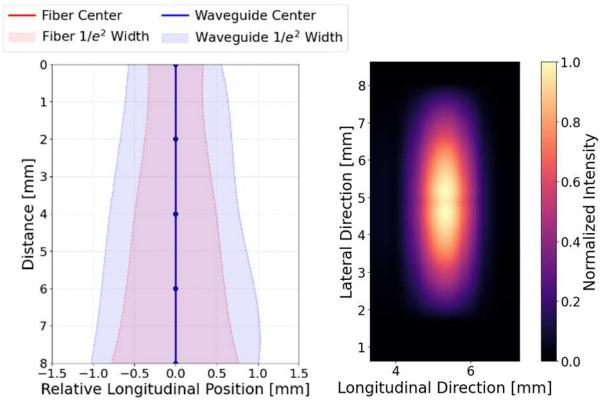


図 1 磁性導波路におけるとナイフエッジ法



(a) 縦方向のビーム拡がり(磁性導波路と SMF)　(b) 磁性導波路のビームプロファイル(距離 8 mm)

図 2 磁性導波路のビームプロファイル

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、構築した実験システムを用いてスピン波の検出を目指す。光源をモード同期 Er 添加ファイバーレーザー(波長 1550 nm)として超短パルス光を用いる。導波路に磁場を印加することでの光とスピン波の相互作用を誘起する。超短パルス光の偏光成分の変化を検出するため、出力光を偏光分岐カプラにより TE/TM モードの成分を分離し、それぞれをフォトディテクタで検出する予定である。

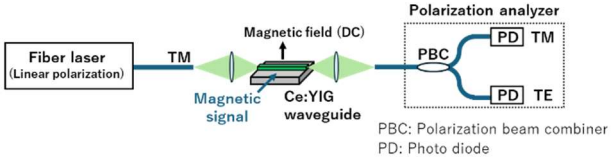


図 1 超短パルス光の偏光のスピン波による回転

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06A16

研究課題名

導波素子およびメタマテリアルによる複数 IoT 端末同時ワイヤレス給電およびその水中、海中ワイヤレス給電への応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
丸山 珠美（広島工業大学）

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）
畑沢　公陽（函館工業高等専門学校）
浦上大世（香川工業高等専門学校）
西山　真平（香川工業高等専門学校）
Yoshihide Yamada (University Technology Malaysia)

[2] 当該年度の研究実績の概要

(1) メタマテリアル応用ワイヤレス給電

Wi-Fi 通信とエネルギーハーベスティングの同時実現を目指してトランスミットアレーの設計を行い，設計方向において高い無線電力伝送効率が得られることを明らかにした[1],[2]．また，再構成可能なコンベックス型メタサーフェス反射板を用いた 3 次元ビームステアリング技術を提案するとともに[3]，フレキシブル基板を用いたメタサーフェス反射板の設計・試作に向けた検討を行った[4]．さらに，5G/6Gヘテロジニアスネットワークを対象として，バラクタダイオードを用いた再構成可能 1-bit リフレクトアレーアンテナを提案し，周波数帯域および反射方向の制御可能性を示した[5],[8]．特に，ISAP2025 で発表したリフレクトアレーアンテナに関する成果[8]は，その新規性と有用性が評価され，IEICE Communications Express（COMEX）へ推薦され採録された[5]．加えて，フレキシブル基板を用いた再構成可能コンフォーマルメタサーフェス反射板[6]や，再構成可能マルチビームメタサーフェス反射板による 3 次元ビーム制御技術[7]について，国際会議 PIERS2025 において招待講演として成果発表を行った．

(2) 受電・導波一体化レクテナアレー

提案してきた八木宇田レクテナアレーと従来の八木宇田アンテナの最適設計後の構造と特性の違いについて検討を行い国際会議 ISAP2026 で報告した[9]．また，素子をキャパシタンス装荷ループアンテナとしてFR4 基板を用いて作成し，その特性解析，およびワイヤレス電力伝送実験の結果を，MW 研究会 7 月において報告した[10]．また，これらの一連の研究に関して招待講演を依頼され，IEEERFM において報告した[11]．

(3) IoT 向け SWIPT および無線共存技術

IoT 端末向けワイヤレス給電および SWIPT 技術に関連して，M-ary PSK 変調チャープ信号を用いた SWIPT システムと 2.4 GHz 帯無線 LAN との周波数共用特性について検討を行った．その結果，チャープ信号を用いた SWIPT システムと Wi-Fi 信号との相互干渉特性を明らかにし，PIERS2025 において招待講演として報告した[12]．

(4) メタマテリアル応用融雪技術

マイクロ波融雪における電磁界制御および漏洩抑制を目的として，サーキット型漏洩導波管についてスロット開口の場所が電磁界分布に与える影響についての解析を推進し，スロット配置と放射特性を評価した[13]．この結果，導波管の端部に設置されたスロットからはそのスロットから放射されるマイクロ波のみによって概ねの電磁界分布が決定されるが，隣接するスロットからの電磁界は単独のスロットからのマイクロ波照射に対して隣接スロットからのマイクロ波放射が重畳し，場合によっては位相が逆転して相殺され重ね合わせられることによって電磁界強度が低下する現象を

確認した[13], [14]．さらに，電力分布の均一化およびマイクロ波の効率的利用を目的として，CRLH 導波管におけるゼロ次共振を用いた給電構造についても検討し，ラケット型導波管において効率的な電力供給が可能であることを確認した[24]．また，EBG 構造を活用したマイクロ波の閉じ込め構造として，雪の取り込み・融解・排水が可能な複合型の EBG 組み込み導波管構造の検討を遂行した．具体的には，JetFDTD 解析により雪および水を媒質とした場合に有効な EBG 構造を設計し，これらの組み合わせによる漏洩電磁界低減効果を確認した[15],[16]．加えて，製造誤差や EBG 高さ・土台厚さの影響を評価し，EBG 構造を構成する四角柱形状のポストの一片の大きさの誤差よりそれらの高さに関する誤差の影響が支配的であることを明らかにした．これらの結果を踏まえ，空気用 EBG 構造を樹脂 3D プリンタに金属箔を貼り付けて，および雪用 EBG 構造を金属（ステンレス）3D プリンタによって試作し，融雪実験を実施した[17].

(5)水中ワイヤレス伝送およびワイヤレス給電

従来水中における無線伝送は損失が大きく困難とされてきた．これに対して，近年スマート水産や水中ドローンを用いた探索などにおいて，水中ワイヤレス電力伝送のニーズが高まっており，様々な検討がされている．本研究では，先ず，水中・海中における電磁波利用技術に関連して，1 MHz 帯ノーマルモードヘリカルアンテナの高利得化設計について検討を行った．その結果，海中用途を想定した低周波帯アンテナの特性改善効果を確認し，PIERS2025 において招待講演として報告した[18]．次に磁界結合を用いたワイヤレス電力伝送の実現を目指して以下の検討を実施した．先ず，空中に送電部を設置し，水中に向けて送電する場合のワイヤレス電力伝送効率をモーメント法を用いて実施した．この場合，空間そのものを空気ではなく水として扱う方法と，水を有限の誘電体として扱う二つの手法が考えられる．そこで，本研究ではこれら 2 種類の解析モデルを作成し，比較した結果を，PIERS2025 において報告した[19]．水は，比誘電率が 81 と極めて大きく，波長は空中の 1/9 と小さくなる．導電率も海中では 4 S/m と大きい．このため単に無線伝送において効率を上げるのが困難となるだけでなく，特性を把握すること自体も難しい．これまでは，解析および実験で求めた S パラメータから k Q 積理論を用いてワイヤレス電力伝送効率を求めてきた．これに対して今年度は，フィルタ理論を応用し，結合係数 k と Q 値にわけて特性を抽出する試みを行った．その結果，蒸留水のように導電率がほぼ 0 となるものに対する結合係数と比誘電率の関係は，水中と空中での違いが少なくなること．一方導電率を考慮すると結合が極めて小さくなり，フィルタ理論が適用しにくくなることを明らかにし，その結果を IEEEAPWC2025 で報告した[20].水中，雪中など比誘電率が大きい媒質における磁界結合 WPT に関するこれまでの成果について，講演依頼を受け WPT 研 10 月で報告した[21]. 電磁波の媒質中における伝搬速度は，比誘電率が大きくなるについて遅くなる．このため，空気と水の境界付近では，高い電界強度で最初に到達する電磁波が，必ずしも送電部から受電部に直進する経路をとるとは限らない．本研究では，FDTD 法を用いた過渡解析によって，水面においた半波長ダイポールアンテナの伝搬経路を明らかにし，WPT 研究会および MW 研究会で報告した[22], [23].

[3] 今後の研究の推進方策

メタマテリアルについては，分担者の浦上先生，小野先生を中心に順調に成果を出せている．但し，ワイヤレス電力伝送効率に対して効果は出ているものの絶対値がまだ小さい．今後は一層の効率向上法について取り組み，導波素子応用 WPT に対しても応用する．また広義のメタサーフェスの一種である平面レンズアンテナ挿入による WPT 効率向上についても取り組む．本研究課題は 2026 年度が最終年度であり，これまでの研究成果も蓄積されている．そこで，今年度は，八木宇田レクテナアレー，マイクロ波融雪について論文投稿を中心に取り組む.

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

メタサーフェス，メタマテリアル応用ワイヤレス給電

[1] 福家穂高，浦上大世，丸山珠美，小野安季良，岡田実，“Wi-Fi 通信とエネルギーハーベスティングを同時に実現可能なトランスミットアレーの設計，” 電子情報通信学会総合大会講演論文集，B-20-14，p.540，2026 年 3 月.

[2] 福家穂高，浦上大世，丸山珠美，小野安季良，陳娜，“Wi-Fi 通信とエネルギーハーベスティングを同時に実現可能なトランスミットアレーの設計に関する一検討，” 信学技報，vol.125，no.394，MW2025-219，pp.124–128，2026 年 3 月.

[3] 佐藤綾花，浦上大世，丸山珠美，小野安季良，岡田実，“再構成可能なコンベックス型メタサーフェス反射板を用いた 3 次元ビームステアリングに関する検討，” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，B-1B-59，p.59，2025 年 9 月.

[4] 岡田哉汰，浦上大世，丸山珠美，小野安季良，岡田実，“フレキシブル基板を用いたメタサーフェス反射板の設計に関する検討，” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，B-1B-58，p.58，2025年9月.
[5] Taisei Urakami, Kanata Okada, Tamami Maruyama, Akira Ono, Na Chen, and Minoru Okada, “Reconfigurable 1-bit reflectarray antennas with varactor diode mounted multi-via mushroom-type structure for 5G/6G heterogeneous networks,” IEICE Commun. Express, vol.12, no.1, pp.1–4, 2026.
[6] (Invited) T. Urakami, K. Okada, T. Maruyama, A. Ono, N. Chen, and M. Okada, “A study on reconfigurable conformal metasurface reflector with flexible printed circuit,” Proc. 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1–7, Nov. 2025.
[7] A. Ono, A. Sato, T. Urakami, T. Maruyama, N. Chen, and M. Okada, “A study on 3D beam steering using reconfigurable convex-type multi-beam metasurface reflector,” Proc. 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1–2, Nov. 2025.
[8] Taisei Urakami, Tamami Maruyama, Akira Ono, Na Chen, and Minoru Okada, “Reconfigurable reflection direction and operating frequency band 1-bit reflectarray antenna,” Proc. ISAP2025, pp.307–308, Oct. 2025.

受電・導波一体化レクテナアレー

[9] Tamami Maruyama, Noa Ebita, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura, and Noriharu Suematsu, “A novel rectenna array inspired by the Yagi-Uda loop antenna for extended wireless power transmission distance,” Proc. ISAP2025, pp.844–845, Oct. 2025.
[10] 丸山珠美，海老田のあ，中津川征士，田村昌也，末松憲治，“八木・宇田ループアンテナに着想を得たレクテナアレーによる無線電力伝送距離の拡張，” 信学技報，vol.125，no.109，MW2025-39，pp.88–92，2025年7月.
[11] (Invited) Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, and Noriharu Suematsu, “Design explorations of Yagi-Uda-inspired rectenna arrays for wireless power transmission,” Proc. IEEE RFM2025, Sept. 2025.

IoT向けSWIPTおよび無線共存技術

[12] (Invited) Masashi Nakatsugawa, T. Iso, Hideyuki Uehara, and Noriharu Suematsu, “Evaluation of spectrum sharing between SWIPT systems using M-ary PSK modulated chirp signals and 2.4-GHz wireless LAN,” Proc. 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1–2, Nov. 2025.

メタマテリアル応用ワイヤレス給電および融雪

[13] (Invited) M. Nakatsugawa, T. Goto, T. Maruyama, and M. Omiya, “Location dependence of WPT efficiency characteristics between a circuit-shaped leaky waveguide and a λ/2 dipole antenna due to electric field distribution,” Proc. IEEE APWC 2025, pp.206–211, Sept. 2025.
[14] T. Fukagawa, M. Nakatsugawa, T. Goto, T. Maruyama, M. Omiya, and Y. Tamayama, “Electric field distribution and interference effects on wireless power transfer between a circuit-shaped leaky-waveguide and a λ/2 dipole antenna,” Proc. STI-Gigaku 2025, STI-9-59, Nov. 2025.
[15] K. Hatazawa, M. Nakatsugawa, T. Maruyama, T. Nakamura, T. Yamamoto, M. Omiya, and N. Suematsu, “Analysis of snow and water effects on EBG waveguides for microwave snow melting to prevent electromagnetic wave leakage,” Proc. 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1–2, Nov. 2025.
[16] (Invited) Tamami Maruyama, Koyo Hatazawa, Kota Unyu, Masashi Nakatsugawa, Tsunayuki Yamamoto, Keiichi Ito, Manabu Omiya, and Noriharu Suematsu, “Effects of metamaterial applications on microwave snow melting,” Proc. IEEE RFIT2025, pp.85–87, Aug. 2025.
[17] 畑沢公陽，中津川征士，中村尚彦，丸山珠美，山本綱之，大宮学，“マイクロ波融雪用電波漏洩防止EBG導波管に対する影響解析，” 2026年電子情報通信学会総合大会，B-20-12，2026年3月.

水中ワイヤレス伝送及びワイヤレス給電

[18] (Invited) Yoshihide Yamada, A. A. Badrul, M. S. F. Othman, K. Kamilia, P. Idnin, Nozomu Ishii, and Masaharu Takahashi, “High gain design of normal-mode helical antennas at 1 MHz for undersea applications,” Proc. 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1–2, Nov. 2025.
[19] Tamami Maruyama, A. Kamada, M. Nakatsugawa, M. Tamura, I. Awai, and N. Suematsu, “Method-of-moments analysis of wireless power transfer from air to underwater via magnetic coupling,” Proc. 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1–2, Nov. 2025.
[20] (Invited) T. Maruyama, A. Kamada, M. Nakatsugawa, I. Awai, M. Okamoto, and K. Nakahira, “Analysis of the effects of dielectric media on magnetic coupling WPT using filter theory,” Proc. IEEE APWC 2025, pp.276–280, Sept. 2025.
[21] （招待講演）丸山珠美，鎌田緋莉，中津川征士，田村昌也，末松憲治，粟井郁雄，“磁界結合WPTにおける複数コイル応用と水中・雪中伝送―研究成果と課題―，” 信学技報，vol.125，no.193，WPT2025-26，pp.22–24，2025年10月.

[22] 菊川優希，丸山珠美，白石迅人，大宮学，“異なる媒質境界においた半波長ダイポールの電磁界分布の過渡応答，” 信学技報，vol.125，no.373，WPT2025-64，pp.37–40，2026 年 3 月．
[23] 丸山珠美，菊川優希，白石迅人，大宮学，“高誘電媒質と空気の境界に配置した送受信ダイポールの過渡応答に基づく伝搬特性解析，” 信学技報，vol.125，no.394，MW2025-214，pp.97–101，2026 年 3 月．

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[24]（Invite）Tsunayuki Yamamoto, Peerawit Tararam, Tamami Maruyama, “Efficient Feeding Method of a Zeroth-order Resonance in a CRLH Racetrack-shaped Waveguide for a Microwave Snow Melting System,” 2025 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Chiba, Japan, PIERS 2025, vol. 1, No.1, pp.1-2 ,Nov. 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A17

研究課題名

拡張現実を用いた新たなヒューマン・ロボット・インタラクション

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
鈴木　遼（コロラド大学ボルダー校）

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

研究目的、背景及び概要

本研究の目的は、拡張現実（AR）を用いて、IoT デバイスやロボットの状態、操作、プログラム、周囲環境との関係を、現実世界に埋め込まれた情報インターフェイスとして提示・編集可能にすることである。従来、IoT デバイスやロボットの操作はスマートフォンや PC 上の 2 次元インターフェイスに依存してきたが、本研究では、AR/MR を用いて情報や操作手順を物理空間に直接重畳することで、人間と環境、ロボット、IoT デバイスのより自然なインタラクションを実現することを目指している。

2025 年度の実施内容と成果

2025 年度は、当初計画における 2 年目の実装フェーズとして、井原圭一氏の東北大学北村研究室でのインターンを通じて形成された共同研究基盤を発展させ、2 次元映像や映画・メディアを MR/AR 空間へ展開する研究を進めた。これは、現実世界に情報を埋め込み、ユーザーが物理環境の中で理解・操作できるようにするという本共同研究の目的に直接関係するものである。

具体的な成果の一つは、Video2MR に関する研究である。本研究では、通常の 2 次元ビデオを入力として、映像中の人物・物体・場面構造を解析し、MR 空間上で再構成・提示するためのパイプラインを検討した。ユーザーが映像を単に画面内で視聴するのではなく、映像内容を自分の周囲の空間に配置し、視点や距離を変えながら理解できるようにすることで、AR/MR による情報提示の新しい可能性を検討した。

もう一つの主要な成果は、CinemaWorld に関する研究である。この研究では、映画や映像コンテンツを、空間的な体験として拡張するためのインターフェイスを設計した。具体的には、映像中のシーン、登場人物、視点、空間的関係を抽出し、それらを MR 環境内に配置することで、従来のスクリーン視聴とは異なる、没入的かつ探索的な映像体験を支援することを目指した。これは、AR を用いて情報を現実世界に重畳するという本課題の研究目的を、メディア理解およびコンテンツ体験の文脈に拡張する成果である。

これらの映像・メディアを対象とした成果は、2 次元情報をユーザーの周囲の物理空間に再配置し、身体移動や視点変更を通じて理解・操作可能にする点で、本課題が対象とする AR/MR 情報提示基盤の実装例である。今後は、この空間化された情報提示の知見を、IoT デバイスやロボットの状態提示、操作手順、共同作業支援へ展開する。

また、前年度に井原氏が東北大学北村研究室で実施した AR ウィンドウデザインに関する研究も、2025 年度の成果展開に重要な役割を果たした。この研究では、AR ヘッドマウントディスプレイを用いた屋外歩行時のウィンドウ配置、サイズ、距離、透明度、アンカリングなどが、安全性、歩行行動、コンテンツ理解に与える影響を調査した。これにより、AR 情報提示を単に視覚的に重畳するだけではなく、身体動作や周囲環境との関係を考慮して設計する必要があることが明らかになった。

以上の活動により、2025 年度は、AR/MR を用いた情報提示・映像理解・空間的インターフェイスに関する共同研究を具体的なプロトタイプと論文投稿に向けた研究テーマとして発展させた。特に、東北大学北村研究室との学生交流およびインターンを通じて、共同研究の実施体制を継続的に強化できた点が大きな成果である。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、2025 年度に進めた Video2MR、CinemaWorld、および AR ウィンドウデザインの成果をもとに、AR/MR 空間における情報提示と身体・環境との関係をより体系的に整理し、国際会

議論文として発表できる形へ発展させる。特に、映像・メディアを MR 空間に展開する研究については、ユーザーがどのように空間化された情報を理解し、操作し、体験するかを評価する実験設計を進める。

また、東北大学北村研究室との学生交流を継続し、井原氏の東北大学でのインターンに続く形で、研究室間の短期滞在、共同ミーティング、プロトタイプ共有を進める。これにより、コロラド大学ボルダー校側の AR/MR インターフェイス研究と、東北大学側の VR/AR・ヒューマンインターフェイス研究を接続し、双方の強みを活かした共同研究体制を維持・発展させる。

研究内容としては、単一の映像・AR 表示に留まらず、ユーザーの周囲環境、視線、身体移動、他者との共同体験を含む複合的なインタラクションへ拡張する予定である。これにより、IoT デバイス、ロボット、メディアコンテンツが現実世界の中でどのように提示・操作されるべきかについて、より一般化可能な設計知見を得ることを目指す。

最終年度に向けては、これらの成果を国際会議への投稿・発表につなげるとともに、東北大学とコロラド大学ボルダー校の継続的な共同研究基盤として、学生交流、共同プロトタイピング、将来的な外部資金申請へ発展させていく。

[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（2025 年度内に東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の謝辞記載を確認できた論文・学会発表はない。関連成果は下記(2)に記載する。）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Keiichi Ihara, Kyzyl Monteiro, Mehrad Faridan, Rubaiat Habib Kazi, and Ryo Suzuki. Video2MR: Automatically Generating Mixed Reality 3D Instructions by Augmenting Extracted Motion from 2D Videos. Proceedings of the ACM International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI 2025), 2025.

・Keiichi Ihara, DaeHo Lee, Manato Abe, Hye-Young Jo, and Ryo Suzuki. CinemaWorld: Generative Augmented Reality with LLMs and 3D Scene Generation for Movie Augmentation. arXiv preprint arXiv:2603.08060, 2026.

・Ada Yiqin Zhao, Aditya Gunturu, Ellen Yi-Luen Do, and Ryo Suzuki. Guided Reality: Generating Visually-Enriched AR Task Guidance with LLMs and Vision Models. Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2025), 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A18

研究課題名

光ファイバネットワークを用いた地殻変動の遠隔測技術に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

[2-1]本研究の目的

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。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(図 1)。

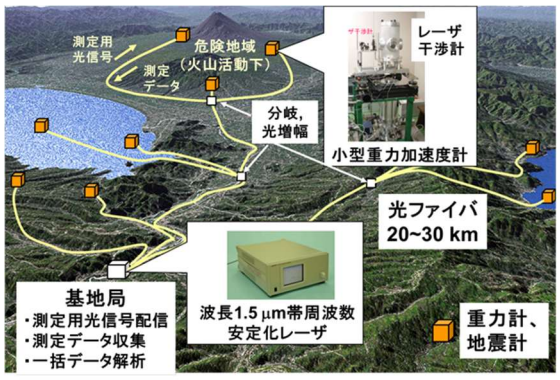


図 1. 光ファイバネットワークを用いた地殻変動の面的分布計測網

[2-2]本年度の研究開発実績

重力加速度二地点同時観測

本年度は、二地点における重力加速度の同時計測を実施した。図 2 に実験系を示す。また、図 3 に光干渉型絶対重力加速度計の構造[1,2]を示す。本稿では、絶対重力加速度計の詳細な動作原理については省略する。

通研 M002 室内に、1.5 μm アセチレン周波数安定化レーザおよび 2 台の絶対重力加速度計（TAG-1、TAG-2）を設置した。レーザ出力を二分岐し、一方を TAG-1 へ直接入力することで、基準地点における重力加速度を計測した。もう一方の光は、通研と NICT レジリエント ICT 研究センター間に敷設された約 800 m の Single-mode fiber（SMF）を伝搬させた後、M002 室へループバックし、TAG-2 へ入力した。これにより、TAG-1 とは異なる地点での重力加速度計測を模擬した。なお、SMF 800 m 伝搬後の信号光は偏波状態がランダムに変動するため、自動偏波制御回路を用いて一定の直線偏波に制御した後、TAG-2 へ入力している。本研究の最終目標は、図 1 に示すように、光ファイバネットワークを利用した重力加速度の面的多点計測システムを構築することである。今回の実験では、光ファイバネットワークを介した異なる二地点間での計測を模擬するため、図 2 に示す構成を用いた。

図 4 に測定結果を示す。青色および水色のプロットは、それぞれ TAG-1 および TAG-2 による測定結果を示している。また、オレンジ色および茶色のプロットは、同時に測定した地面振動を示す。さらに、赤色の破線は、緯度、高度、および潮汐成分などを考慮して算出した重力加速度の理論値である。実測値には比較的大きなばらつきが見られるものの、理論値に近い値が得られていることが確認できる。このばらつきは主として地面振動の影響によるものであり、今後、振動補正処理を適用することで精度向上が期待される。

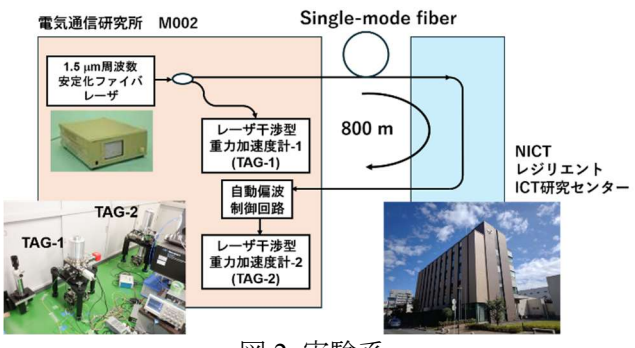


図 2. 実験系

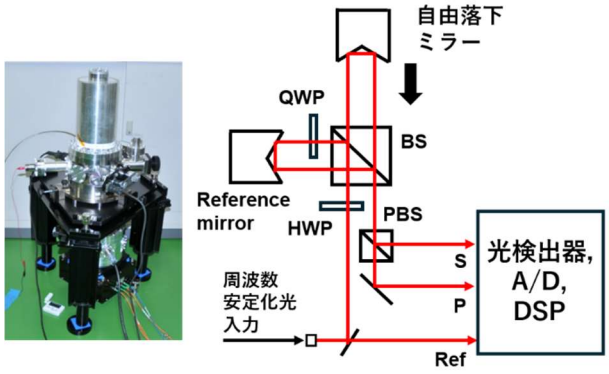


図 3. 光干渉型絶対重力加速度計（TAG-xx）

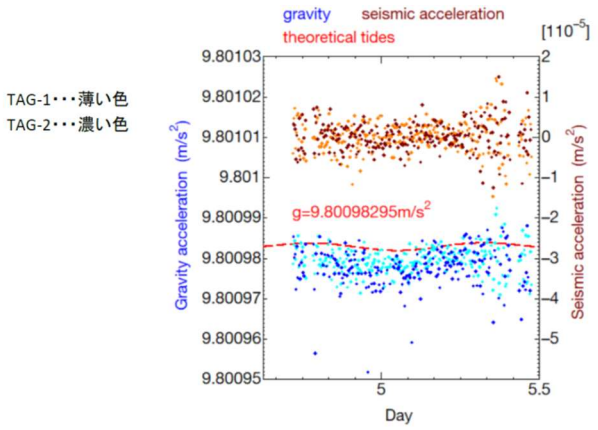


図 4. 測定結果

[1]新谷昌人, “レーザー干渉法の精密測地観測への応用,” 光技術コンタクト, 日本オプトメカトロニクス協会, vol. 56, no. 1, (2010), pp. 1-12.
[2]中沢正隆, 吉田真人, 葛西恵介,“光ファイバネットワークを利用した地殻変動および津波計測,” 測地学会誌, 光技術コンタクト, 日本オプトメカトロニクス協会, vol. 54, no. 12, (2016), pp. 22-31.

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、地面振動の補償技術を適用することで、より高精度な重力加速度計測の実現を目指す。また、波長多重伝送技術を適用し、二地点遠隔重力加速度計測システムの構築を進める。さらに、近年提案している周波数安定化光パルス信号を用いた光領域時分割多重（TDM: Time-Division Multiplexing）方式による遠隔計測システムについても、構築および評価を並行して進める予定である。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1]新谷昌人， 葛西恵介， 吉田真人， 中沢正隆, “小絶対重力計の野外多点観測へ向けた光通信・計測技術の応用”， 日本測地学会第 144 回講演会, 釧路市， 2025 年 10 月 29 日.

共同プロジェクト研究

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No.　R06/A19

Title

Cross-Cultural Dialogue on the Potential of the Sense of Smell

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

Marianne Obrist (University of College London）

Research collaborator of RIEC：

Chia-huei Tseng（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

This is the final year of the project, and the team has moved into the final stage of data collection and report writing. nts completed the Brief Infant Sleep Questionnaire-Revised (BISQ-R) online and those who habitually tracked infant sleep with a diary were invited to share the records.

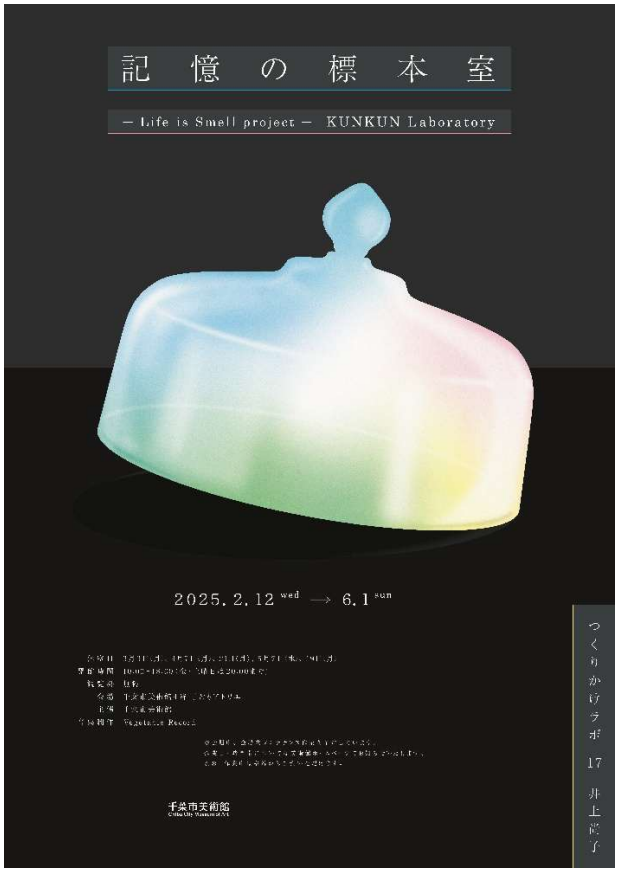
We conducted a cross-sectional online survey in the United Kingdom (UK) and Japan. The survey comprised two parts with distinct aims. In Part A (appraisal of smell-centred futures), participants evaluated “Smell Future-Worlds” created in co-design workshops in Japan, allowing us to assess how participants from the UK and Japan value these futures. In Part B (smell valuation), participants completed forced-choice trade-offs between keeping a sense and receiving a commodity, enabling cross-cultural comparisons in the value placed on smell.

We collected $N = 200$ participants in each country. Sampling was designed to be nationally representative by age and sex and regionally balanced (ITL1 regions in the UK; prefectures aggregated to major regions in Japan; see Sample construction). To maximise ecological validity, each country’s sample mirrors its own age structure rather than being age-matched to the other country. Inclusion criteria were: (a) age ≥ 20 years; (b) born in the target country (UK or Japan). Exclusion criteria were: (a) not a usual resident in the target country; (b) having lived outside the target country for more than six consecutive months at any point in their lifetime. Quotas were derived from official census at cross-classify region, sex, age, and country of birth; ages below 20 were excluded. We implemented a frame covering ages 20–69 plus an open-ended 70+ band. National targets were Women = 100 and Men = 100. Within each sex, the census-based shares for the bands (20–29, 30–39, 40–49, 50–59, 60–69, 70+) were converted to integer quotas via a deterministic largest–remainder (Hamilton) rounding rule. Within each Region × Sex, age-band targets followed that region’s within-sex age profile, with rounding applied so that all parent totals (per sex and per region) are preserved exactly.

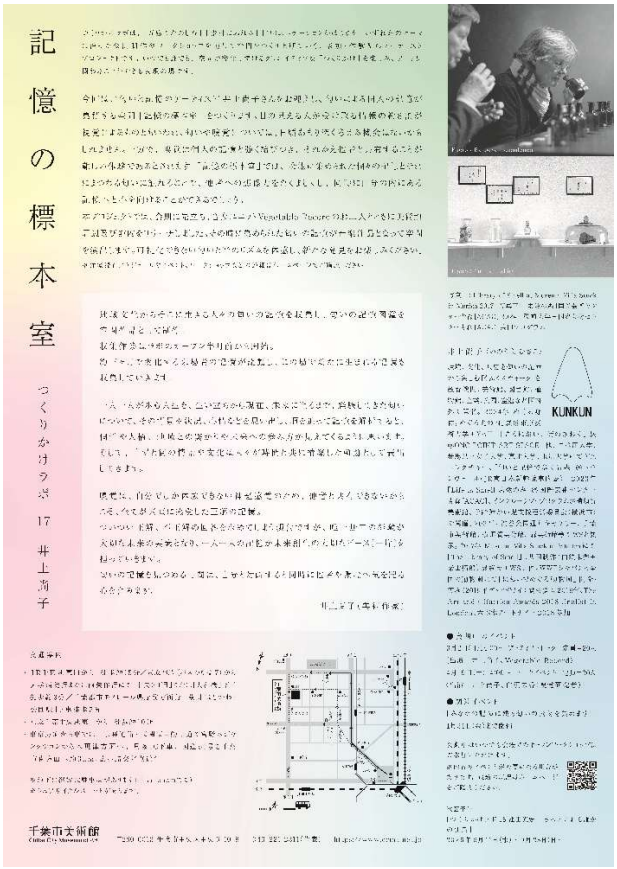
The survey included Parts A and B in addition to Participant demographics: Age (single year), sex, income, region, and education and Sensory characteristics: To contextualise outcomes and support covariate adjustment, we assessed current and lifetime sensory impairment, likelihood of seeking help for sense loss, confidence in each sense, and the perceived contribution of each sense to physical attractiveness. Part A—Appraisal of smell-centred futures. Participants evaluated the three short vignettes describing “smell- centred” futures that originated in co-design workshops in Japan and were translated into English for the UK sample. Materials were presented in the respondent’s native language (Japanese in Japan; English in the UK). For each vignette, participants rated interest/appeal, perceived usefulness/benefit, and likelihood of personal adoption on 7-point Lik- ert scales (higher scores indicate greater endorsement), and provided brief open-ended responses aspect, concerns, suggested improvements). Part B—Valuation of the senses (replication and extension). Part B replicated the core trade-off paradigm from prior work on valuation of the senses and extended the commodity set. On each trial, respondents made a forced choice between retaining one of the five basic senses (the sense label was set by a Qualtrics randomiser; cycling among vision, hearing, taste, smell, touch) versus forgoing that sense in exchange for a commodity (e.g., a smartphone, a

dream vacation, a favourite streaming service, a pet, £10,000). Participants then rank-ordered the five senses from most to least likely to forgo and completed a brief anosmia (loss of smell) knowledge item. Exact item wording is provided in the instrument.

Participants then completed Part A and Part B in counterbalanced order (A→B or B→A, randomly assigned). Within Part A, vignette order was randomised; each vignette was followed by its ratings and open-ended prompts. Within Part B, the order of senses and commodities was randomised via Qualtrics. After the trade-offs, participants rank-ordered the five senses and completed the anosmia item. At the end, participants were debriefed and redirected to the recruitment platform for confirmation. Duplicate participation was prevented using platform IDs.



In Japan, we worked with an artist to conduct smell workshops in Sendai to collect smell-related objects that induces memory. The workshop has later transformed into an exhibition at Chiba Art Museum by Hisako Inoue. (i.e. Memory specimen room - Life is smell- Kunkun Laboratory", Art Lab.vol.17 at Chiba city museum of Art, Chiba) between Feb 12-June 1, 2025.



つくりかけラボは、「五感でたのしむ」「素材にふれる」「コミュニケーションがはじまる」いずれかのテーマに沿った公開制作やワークショップを通して空間をつくり上げていく、参加・体験型のアーティストプロジェクトです。いつでも誰でも、空間が変化し続けるクリエイティブな「つくりかけ」を楽しみ、アートに関わることができる表現の場です。

今回は、'匂いと記憶のアーティスト'井上尚子さんをお迎えし、匂いによる個人の記憶が集積する空間「記憶の標本室」をつくります。目の見える人が受け取る情報の約 8 割が視覚によるものともいわれ、匂いや嗅覚については、日頃あまり深く考える機会はないかもしれません。一方で、嗅覚は個人の記憶と強く結びつき、それゆえ他者と共有することが難しい体験であるとされます。「記憶の標本室」では、会場に集められた個々の記憶とそれにまつわる匂いに触れることで、他者への想像力をたくましくし、同時に自分の内にある記憶へと心を向けることができるでしょう。

[3] Future Research Promotion Measures

Our goal for the coming year will be analyzing the cross-cultural survey results and identify a potential conference or journal to submit it to. We also will continue to seek additional funding opportunities for the next stage of collaboration.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

- Beşevli, C., Gao, L., Kemsaram, N., Brianza, G., Georgiou, O., Subramanian, S., & Obrist, M. (2025, July). SONARIOS: A Design Futuring-Driven Exploration of Acoustophoresis. In *Proceedings of the 2025 ACM Designing Interactive Systems Conference* (pp. 740-753).

- Obrist, M., Beşevli, C., Maggioni, E., Lai, M. K., & Velasco, C. (2026, April). Follow Your Nose: Experiencing Smell as a Design Material. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-3).

- Besevli, C., Brianza, G., Dawes, C., Mathur, S., Beganovic, S., Boak, D., ... & Obrist, M. (2026). Digital Intervention for Smell Training: A Real-World Study on Engagement, Adherence, and Behavioural Dynamics. *Rhinology*.

- Beşevli, C., Marques, A., Brianza, G., Dawes, C., & Obrist, M. (2025, July). Flipping Perspectives: Visualising Digital Smell Training. In *Proceedings of the 2025 ACM Designing Interactive Systems Conference* (pp. 2006-2018).

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **R06/A20**

Title

Establishing Databases of Verbal and Nonverbal Features of Human Emotions

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

Lee-Xieng Yang（Department of Psychology, National Chengchi University）

Research collaborator of RIEC：

Chia-huei Tseng（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

For exploring the verbal and nonverbal features of human emotions, Dr. Tseng and her colleagues have established the database DIEM-A, which collects body-movement videos of Japanese and Taiwanese stage actors in performing 13 emotions. In addition to body-movement videos, DIEM-A also collects the scenarios generated by the actors for performing these emotions. In the first year of this project, we analyzed the scenarios for 6 basic emotions from DIEM-A by LLMs. The results showed a higher accuracy when LLMs were trained and tested with the verbal descriptions from the same genders (Male and Female) or cultures (Japan and Taiwan). In the past year, we subsequently turned our focus to examining the nonverbal features (i.e., body movements) for emotion recognition.

Specifically, we proposed three analytical methods based on LLMs, machine-learning models, and deep-learning models to do emotion recognition through body movements. For simplifying the task, these models were evaluated on recognizing two emotions: Joy and Anger. The materials for testing these methods were the body-movement point-light animations of 50 Japanese actors. These analytical methods as well as the corresponding results are described in the following sections.

Using LLMs to predict emotions through body movements. Due to the fact that LLMs have demonstrated a great capacity for dealing with semantic and visual stimuli and LLMs can be easily prompted by human languages, we firstly tested if LLMs can be used to recognize the emotions through body movements. Thus, ChatGPT-4o was used to recognize the emotions for those point-light animations. For each animation, ChatGPT-4o was asked to recognize its emotion as Joy or Anger in 3 rounds, each in a new session. As ChatGPT-4o cannot deal with videos, we evenly split each animation into 5 images as the input materials, which can be seen in Figure 1. The prompt for ChatGPT-4o API is as follow:

"*I have given you five images of continuous human motion. The first image is the beginning of the movement, the second to fourth images show the middle of the movement, and the fifth image is the end of the movement. Please describe and explain what the person in each image is doing and then describe what you believe is the entire movement. After that, please categorize the movement as joy or anger and explain why.*"

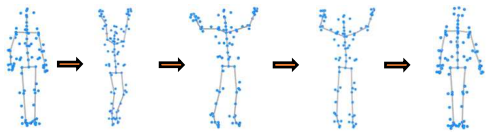


Figure 1. A point-light animation was evenly split into five images.

The overall accuracy of ChatGPT-4o for predicting Joy and Anger was not good (60.93%). Also, ChatGPT-4o performed better for Joy than Anger (75% vs. 48%), suggesting a preference for positive responses of ChatGPT-4o.

Recognizing body emotions by key features of body movements. The failure of ChatGPT-4o suggests that the segments of body movements may not be sufficient to identify emotions. Perhaps, the key to identify body emotions does not exist in particular body positions, but in the kinematics of body parts in a time period. Thus, we tried to extract the key features of body movements, which in turn were used as inputs for training the machine-learning model SVM to recognize Joy and Anger.

Visual inspection of the trajectories of body parts in the 3-D space suggested that different body parts may actually provide redundant information. For example, the right-hand trajectory is very similar to that of the left hand when an actor was performing Joy, as shown

in Figure 2.

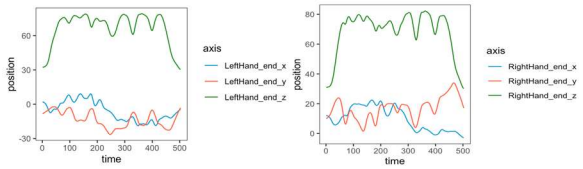


Figure 2. Trajectory of a body part in the 3-D space for Joy. Left: left hand. Right: right hand. X-, Y-, and Z-dimensions are printed in green, red, and blue colors.

Also, we noticed that the lower body did not provide as much information as the upper part. Therefore, we summarized body movements as the area size linking the body parts of head, left-hand end, right-hand end, and hip in a time period. See Figure 3.

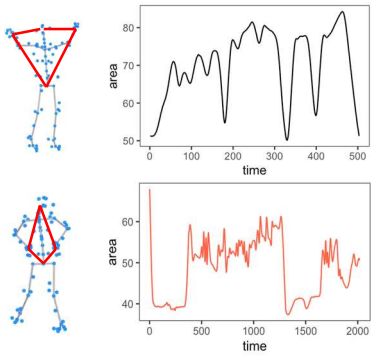


Figure 3. Trajectory of upper-body area size. Top: a trajectory of upper-body area size for Joy. Bottom: a trajectory of upper-body area size for Anger.

We extracted the features of the area size by using (1) FFT (Fast Fourier Transform) and (2) the differential equation DLO (Damped Linear Oscillator). For FFT, we found that the harmonics of top 4 frequencies would be the sensitive features. According to DLO, there exists a latent variable F for describing a wave and $\ddot{F} = \zeta\dot{F} + \eta F + e_F$. We used the latent differential equation model (LDE) to estimate all parameters in DLO for each actor. The results found that 4 parameters might be sensitive features, including the mean of F, the covariance between F and $\dot{F}$, the covariance between F and $\ddot{F}$, and the residual of DLO. Thus, we trained SVM to recognize Joy and Anger with 4 FFT harmonics and 4 parameters of DLO as inputs respectively. As the individual difference among actors was large on the upper-body area size within each emotion category, we randomly sampled actors of different numbers (i.e., 6, 12, 36, 48, and 50) as the dataset for training and testing. For each sample size, we randomly selected the actors for 10 times, in each of which the training was conducted with 6-fold cross validation and the average accuracy for the test data was the index of SVM performance. The results can be seen in Table 1. The optimal performance of SVM with features extracted by FFT or estimated by DLO and LDE is pretty much the same. However, the features estimated by DLO+LDE provide a more reliable accuracy. Nevertheless, both are higher than the performance of ChatGPT-4o.

Table 1. Accuracy of SVM for test data with the features extracted by FFT and estimated by DLO+LDE. The SD's are in paratheses.

	FFT	DLO+LDE
N = 6	**0.72** (0.00)	0.67 (0.01)
N = 12	0.62 (0.05)	**0.73** (0.01)
N = 36	0.53 (0.01)	0.68 (0.01)
N = 48	0.52 (0.01)	0.66 (0.01)
N = 50	0.50 (0.01)	0.67 (0.01)

Recognizing body emotions by key segments in body-movement point-light animations. It was suggested by the previous attempt that the stretching and shrinking of the upper body might contain information for recognizing body emotion. However, we still did not know the relationship between the change of upper body and the two emotions. To get a clearer body-movement mark for these two emotions, we asked 6 of our master students to watch each point-light animation and labeled the key segments best representing the emotion, as shown in Figure 4.

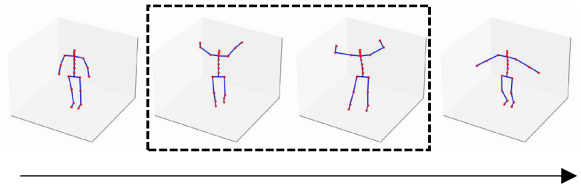


Figure 4. Example of key segments in a point-light animation surrounded by dashed lines, which were thought to best represent the emotion performed by the actor.

As SVM is not able to process the video inputs, we used the deep-learning models (i.e., RNN and GRU) and the multimodal LLM (e.g., Qwen3-VL) to recognize Joy and Anger instead. Since RNNs and GRUs are designed to process sequential inputs one step at a time, we adapted them to emotion recognition by adding an emotion-classification layer for Joy and Anger. When the last frame of the key segment was learned, the hidden state would be mapped to the emotion-classification layer to predict the emotion category. The prediction error was then back propagated from the emotion-classification layer down through the recurrent layers to adjust all associative weights. RNN and GRU were evaluated in 10-fold cross validation with 90% of the dataset as the training data and the remaining 10% as the test data. Additionally, we also wanted to examine the necessity of the key segments for emotion recognition. Thus, we

set up three conditions as (1) training and testing with full videos, (2) training with key segments and testing with full videos, and (3) training and testing both with key segments. Figure 5 shows the results. First, for no matter RNN or GRU, the best performance occurs when being trained and tested with the key segments, highlighting the importance of them for emotion recognition. Second, the best accuracy of GRU exceeds 0.80, which is the best among the performance of all models used in this report.

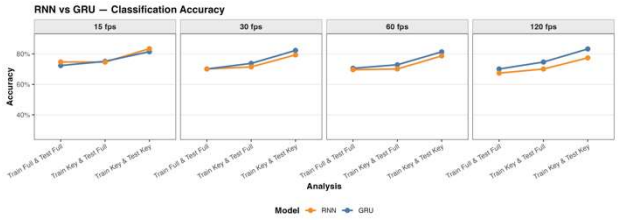


Figure 5. RNN and GRU performance for testing data with yellow and blue lines denoting RNN and GRU respectively. Three testing conditions are remarked on X-axis from left to right: train and test with full videos, train with key segments and test with full videos, and train and test both with key segments. The panels from left to right indicate the frame numbers per second of the stimuli.

We also tested the capacity of the multimodal LLM Qwen3-VL to recognize Joy and Anger through body movements. However, just like other LLMs, Qwen3-VL is a pretrained model, hence impossible to do cross validation with it. Thus, we simply used it to convert the videos to embedding vectors, which in turn were used as inputs for a 4-layered neural-network classifier for Joy and Anger. Figure 6 shows the performance of Qwen3-VL. Apparently, it performed the best when being trained and tested both with the key segments, again supporting the importance of the key segments. Also, the highest accuracy of Qwen3-VL is about 0.70, suggesting that even the multimodal LLM might have difficulty recognizing the two emotions through body movements.

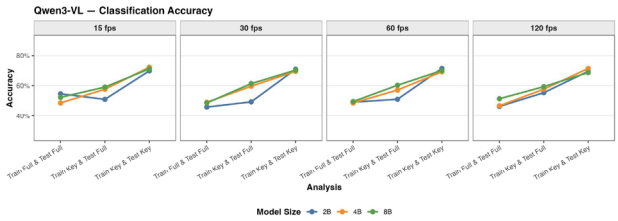


Figure 6. Qwen3-VL performance with the colors denoting the sizes of Qwen3-VL.

[3] Future Research Promotion Measures

According to the findings of this year, for the next year, we will put our focus on increasing the recognition accuracy for emotions by the use of key segments. To this end, we will (1) finish labeling the key segments for all body-movement point-light animations (at least for all Japanese actors), (2) test up to what level of accuracy GRU can predict all body emotions, and (3) combine the actors' scenarios and their body-movement videos in order to get an even better prediction for body emotions.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) Yu, Y.-T., Ma, C.-H., Yang, L.-X., Tseng, C.-H., Cheng, M. (2025, Oct). Gender differences on textual emotion expression and recognition. Multilingual and Multimodal Affective Computing at the 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, Canberra, Australia.

(2) Ma, C.-H., Yu, Y.-T., Yang, L.-X., Tseng, C.-H., Cheng, M. (2025, Oct). Cultural differences on emotional expression and emotional classification. Multilingual and Multimodal Affective Computing at the 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, Canberra, Australia.

(3) Yang, L.-X., Yu, Y.-T., Ma, C.-H., & Chan, W.-C. (2026, Feb). Emotion classification based on bodily movement: Evaluation of machine-learning and large language model approaches. Poster presentation in FY2025 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Sendai, Japan.

共同プロジェクト研究

RIEC Cooperative Research Projects Report

Grant No.　R06/A22

Title 遠隔コラボレーションを強化するための適応型アバターとスマートテレプレゼンスロボット

Adaptive Avatar and Smart Telepresence Robot to enhance Remote Collaboration

［1］Research Organization

Principal Investigator：

TEO Theophilus（University of South Australia）

Research Collaborator of RIEC：

CHENG Miao（RIEC）

Research Collaborator

TAKASHIMA Kazuki（Shibaura Institute of Technology）

［2］Research Period

2024, April　～　2026, March

［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

Mixed Reality (MR) supports remote collaboration by enabling rich verbal and non-verbal communication through virtual avatars. Prior research suggested iconic gestures can improve memory in recognition tasks, thus benefiting cognitively demanding collaborative tasks. However, most MR avatar research has focused on human-scale avatars, which are difficult to use effectively with MR headsets due to their limited field of view. Although miniature avatars have been proposed as an alternative, they often lack fidelity, particularly in supporting facial expressions.

This research studies how expressive miniature avatar can enhance remote collaboration. We proposed a technique and evaluated them through user experiments involving a virtual telepresence robot and a shared virtual environment. The system design was refined through monthly project meetings, while experiments were conducted during a research visit at Tohoku University. Results show that miniature avatars with body enhancements improve instruction clarity and understandability. The techniques also influence user attention allocation and task performance. The key contributions of this research are: (1) a novel technique using an autonomous robot driven by a miniature avatar to support MR collaboration; (2) an empirical evaluation of expressive miniature avatars supporting non-verbal communication in MR remote collaboration; and (3) exaggeration techniques designed to overcome the size limitations of miniature avatars.

［4］Research Plan and Content

The research plan is designed around two research questions: (RQ1) How does an adaptive avatar on a telepresence robot influence collaborators' emotions in MR collaboration? and (RQ2) How can an adaptive avatar on a telepresence robot enhance MR collaboration through the use of nonverbal instructions? Hartson's HCI lifecycle was applied throughout the two-year project. In the first year, we focused on evaluating the use of an expressive miniature avatar on a telepresence robot to support VR collaboration. This was examined through a VR charades task involving two users: one user knew the answer and acted it out, while the other observed and guessed the correct answer (Figure 1). The study included four task conditions that varied the virtual representation of the acting user across two factors: avatar size (life-sized or miniature) and facial fidelity (high fidelity with facial expressions or low fidelity with only mouth and eye movements). The guessing user remained life-sized throughout the experiment.



Figure 1: Dyadic VR collaboration study conducted during research visit at the Tohoku University.

In the second year, the system was revised to support body exaggeration. A miniature avatar with enlarged hands and exaggerated hand gestures was introduced into VR collaboration scenarios. The system was evaluated through a two-step study in which different exaggeration scales (hand and head sizes increased to 200%, 400%, and 800% of the original size) were tested using a 15-second pre-recorded animation (Figure 2). This was followed by a visual-based charades task comparing life-sized, miniature, and miniature-with-exaggeration avatars across three study conditions for the acting user.



Figure 2: A user watching animations of an exaggerated miniature avatar in VR.

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

We recruited 24 participants from Tohoku University, Katahira Campus to evaluate the system. Participants completed the experiment in pairs. Each condition was tested across 12 trials, resulting in four experimental conditions in total. Participants' task performance, subjective experiences, and physiological responses were recorded and analyzed. The results revealed several key findings: (1) miniature avatars improved task speed and guessing accuracy compared with general-sized avatars; (2) affective facial expressions enhanced memory, message understanding, and reduced cognitive load; (3) miniature avatars reduced facial readability, whereas general-sized avatars improved clarity but were perceived as less efficient; (4) users reported stronger feelings of dominance when collaborating with miniature avatars; and (5) miniature avatars were better suited for fast-paced or space-limited tasks, whereas general-sized and affective avatars better supported social and emotional engagement.

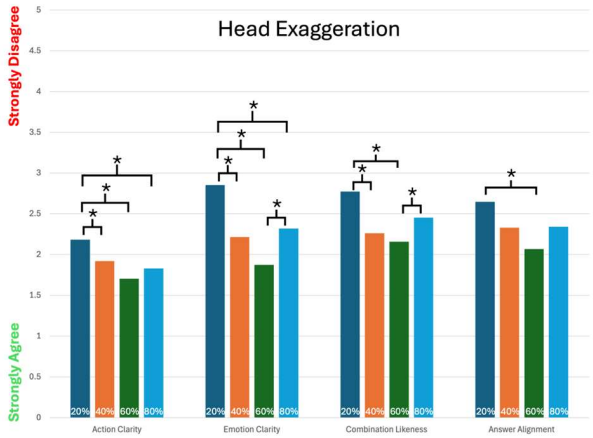


Figure 3: Various head exaggeration effects on user VR experience.

In the second year, 18 laboratory participants were recruited in pairs to evaluate the revised system using a procedure similar to the first study. Preliminary analysis suggested noticeable effects of different exaggeration scales and combinations on information clarity, accuracy, and user preference. However, these effects became more subtle when compared against life-sized and miniature avatars.

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

This project generated multiple research outcomes. The experiment conducted in the first project year was consolidated into a journal manuscript submitted to the International Journal of Human-Computer Studies and is currently under review. The findings were also disseminated through a poster presentation at the FY2024 RIEC Annual Meeting, where feedback from institutional experts informed directions for future work. The second-year experiment has concluded, and its findings were presented as a poster at the FY2025 RIEC Annual Meeting. The scientific results are currently being developed into a research paper intended for submission to an international journal such as Virtual Reality.

Additionally, this project has expanded into a new project (2026A41) titled "Adaptive Avatar Scaling Mechanisms to Support VR Collaboration", with a stronger focus on avatar representation through scaling mechanisms. This enables continued collaboration between University of South Australia (renamed Adelaide University in 2026) and Tohoku University. The new project is expected to generate similar quantity and quality of research outputs through ongoing meetings, research visits, and experimental studies.

[6] Summary and Future Challenges

This project demonstrated the potential of miniature avatars in VR collaboration scenarios with limited movement space. The ability to observe full-body gestures reduced task completion time while improving user performance and overall experience. However, the size disparity between collaborators may introduce psychological effects that influence trust and dominance-related experiences. Visibility limitations associated with smaller avatar sizes also remain a concern. To address this, the project explored partial body exaggeration techniques. Although varying exaggeration scales affected performance, the benefits were limited when evaluated across avatar sizes. These issues remain open challenges for future work. For example, future research could investigate whether attention-driven or user-controlled exaggeration mechanisms provide greater benefits when specific instructions require emphasis. Other directions include dynamic and adaptive scaling techniques based on distance, communication context, or interaction behaviors between VR collaborators.

【Appendix】

［Papers, Conference Presentations, and Related Achievements］

（1）List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

・(Submitted to IJHCS) T. Teo, M. Cheng, K. Takashima, M. Billinghurst and Y. Kitamura. Evaluations of Affective Miniature Avatar on VR Information Exchange.

・(Drafting) T. Teo, M. Cheng, K. Takashima, M. Billinghurst and Y. Kitamura. Techniques supporting VR Collaboration using Body Exaggeration on Miniature Avatar.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A23

研究課題名

高齢者の自己運動時の身体近傍空間の解明

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

・第 1 回研究打ち合わせ（2025 年 9 月 5 日 日本心理学会，於：東北学院大学）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（2026 年 2 月 19 日 共同プロジェクト研究発表会）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。

本研究では，高齢者にも適した情報システム実現に向けた基礎データを得るため，特にユーザーの動き（およびそのユーザーの身体運動機能特性）が身体近傍空間（PPS）範囲に与える影響を明らかにすることを目的としている。PPS は身体から数センチから数十センチの身体近傍の空間であり，生体が外部環境とインタラクションするうえで極めて重要な空間であるため (働きかけ，Brozzoli et al., 2010; 防御，Graziano & Cooke, 2006)，それ以外の空間とは異なる特有の脳領域が処理している。しかし，その加齢変化の詳細はわかっていない。加齢に伴い身体運動機能が低下することを考えると行為と深く結びついた PPS にも変化があるものと考えられる。

PPS は身体運動に伴い拡大することが知られている。例えば，前庭情報（Pfeiffer et al., 2018），固有感覚情報（Kuroda & Teramoto, 2022），運動指令信号情報（Kuroda & Teramoto, 2025），歩行感を誘発する足底の触覚情報（Amemiya et al., 2019），大視野視覚運動情報（Kuroda & Teramoto, 2021）など自己運動知覚を形成する主要な感覚情報がそれぞれ関わっていることが報告されている。しかし，これらは全て若年者を対象とした研究であり，加齢が自己運動時の PPS の拡大にどのように影響を与えるか明らかになっていない。

そこで本研究では，自己運動知覚に強く影響を与え，容易に応用が可能な大視野視覚運動情報に着目し，自己運動時の PPS 範囲の加齢変化について検討を行った。PPS は身体部位毎に異なって表現されていることから，本研究では体幹中心の PPS を計測した。

実験 1 には若年者 20 名（平均年齢 20.6 歳）および高齢者 22 名（同 74.5 歳）が参加した。視覚刺激はヘッドマウントディスプレイ（HMD; VIVE Pro Eye）を通して提示した。触覚刺激装置を胸部に装着させ，視覚プローブは 1.2 m, 2.4 m, 3.6 m, 4.8 m および 6.0 m の位置から 0.7 m/s の速度で 1.0 s 間実験参加者に接近させた (Fig. 1)。視覚プローブを提示しつつ触覚刺激を提示する視触覚試行に加えて，ベースライン試行として，視覚プローブを提示せずに触覚刺激のみを提示する触覚単独試行を行った。参加者の課題は視覚プローブの有無に関わらず，触覚刺激を感じたらできるだけ早くボタン押しを行うことであった。大視野視覚運動情報の影響を調べるための操作として，全画面に視覚運動刺激を提示する大視野（LF）条件と一部の視野領域に視覚運動刺激を提示する小視野（SF）条件を設け，ブロック化して実施した。この運動刺激はランダムドットであり，0.7 m/s の速度で参加者に向かって動いた。したがって，自己運動知覚誘導時には参加者は前方に動いているように感じた。自己運動知覚の強さは，各ブロック終了後にどの程度であったかを回答させた。また，プローブ位置の距離推定も各視野条件で行わせた。

Fig. 2 には実験 1 の結果を示す。値は視触覚試行の反応時間から触覚試行（ベースライン）の反応時間を引いたものであり，マイナスは視覚プローブ提示による促進効果，プラスは干渉効果を意

Figure 1
HMD 内に提示した各大視野条件の視覚刺激

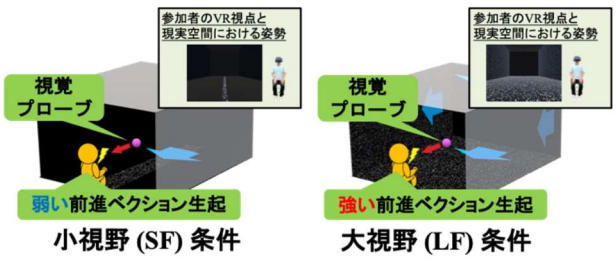
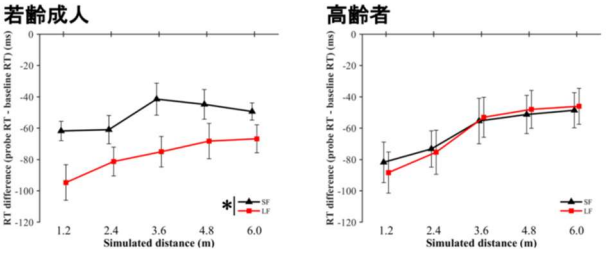


Figure 2
各視野条件での視触覚相互作用の大きさ（実験 1）



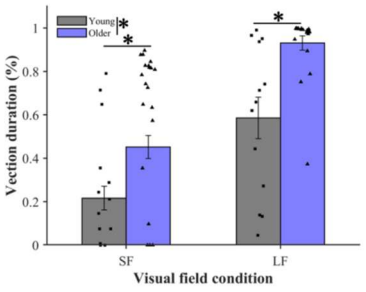
注：マイナスの値が大きいほど視触覚相互作用が大きいことを意味する。誤差棒は標準誤差を示す。

味する。両群とも距離が近いほど，視覚プローブ刺激提示による促進効果が強くなっており，典型的な PPS 内での視触覚相互作用を示していた。大視野視覚運動情報の影響に関しては，若年群は LF 条件時に SF 条件よりも有意に大きな触覚刺激検出の促進効果が得られた一方で，高齢者はそのような傾向は見られなかった。両群とも LF 条件の方が SF 条件よりも強い自己運動感覚が生起していた。視覚プローブの距離知覚には顕著な違いは認められず，視触覚相互作用の群間差を説明できる違いは本実験では確認できなかった。

そこで，実験 2 では自己運動知覚の強さの違いが群間で直接比べられるように，大視野視覚運動刺激を一定時間参加者に観察させ，その中で自己運動が知覚されていた時間（持続時間）を指標とした。若年者 13 名（平均年齢 20.2 歳）および高齢者 20 名（同 74.2 歳）が参加した。その結果，LF 条件と SF 条件いずれの条件でも高齢者の方が長時間にわたって自己運動を知覚していた（Fig. 3）。このことは高齢者に若年者よりも強い自己運動知覚が生じていたことを示唆する。

以上の結果は，2 つの解釈が可能である。1 つは，高齢者は SF 条件でも強い自己運動知覚が生じていたため，天井効果により SF 条件と LF 条件の違いを見いだせなかった可能性である。もう 1 つは，高齢者は自己運動時には PPS が拡大しない可能性である。実際，実験 1 の視覚プローブ刺激提示による促進効果について，高齢者では反応時間が長いぶんだけ視触覚相互作用による促進効果が大きくなりうることを考慮し，視触覚試行の反応時間から触覚単独試行（ベースライン）の反応時間を引いたものを，さらに触覚単独試行で除すると，両視野条件とも若年者の SF 条件と一致した。高齢者の自己運動知覚時の PPS 拡大の有無については，静止条件を導入するなどして引き続き調べる必要がある。

Figure 3
各条件での自己運動知覚の強さ



注：誤差棒は標準誤差を示す。

[3] 今後の研究の推進方策

第 1 年度は静止時の PPS の加齢変化を聴触覚相互作用を使って調べ，高齢者の特徴を見いだし，高齢者の方が若年者よりも PPS が広いこと，また，若年者は後方空間の PPS が前方空間に比べて広い一方で，高齢者は前方空間の方が後方空間に比べて広く，さらに，後方空間と側方空間においては，身体運動機能（TUG や握力）が低下している高齢者ほど PPS が広いことが示された。この高齢者の身体運動機能との関連性は手の PPS の加齢変化を調べた先行研究（Teramoto et al., 2017）と一致する。第 2 年度の結果についても，高齢者は静止時に最大限広くなっているため，自己運動情報によっては変化しない可能性がある。また，身体運動機能との関連性も明らかにしていく必要がある。

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準備中である。今後さらに心理物理学的手法のみならず，生理心理学的手法も駆使しながら，系統的に検討を加えることによって，学術的に非常にインパクトがある成果となると考えられる。また，工学的にも，情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システム実現に貢献できるものとなると考えられる。

参考文献

・Amemiya et al. (2019). Remapping Peripersonal Space by Using Foot-Sole Vibrations Without Any Body Movement. *Psychol Sci.*, 30(10), 1522-1532.
・Brozzoli et al. (2010). Action-specific remapping of peripersonal space. *Neuropsychologia*, *48*(3), 796–802.
・Graziano & Cooke (2006). Parieto-frontal interactions, personal space, and defensive behavior. *Neuropsychologia*, *44*(6), 845–859.
・Kuroda & Teramoto (2025). Motor information contributes to visuotactile interaction in trunk-centered peripersonal space during a pedaling situation. *Exp Brain Res.*, 243, 25.
・Kuroda & Teramoto (2022). Contribution of motor and proprioceptive information to visuotactile interaction in peripersonal space during bike riding. *Exp Brain Res.,* 240, 491-501.
・Pfeiffer et al. (2018). Vestibular modulation of peripersonal space boundaries. *Eur J Neurosci.*, 47(7), 800-811.
・Teramoto et al. (2017). Visuotactile interaction even in far sagittal space in older adults with decreased gait and balance functions. *Exp Brain Res., 235*(8), 2391–2405.

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・黒田尚輝，原田新也，寺本渉 (2026). 視覚ベクション知覚時の高齢者の身体近傍空間表象. 第 16 回多感覚研究会, 京都大学吉田キャンパス, 京都市，2026 年 2 月 14 日−2 月 15 日.

・寺岡 諒，黒田尚輝，寺本 渉 (2026). 加齢が聴覚の身体近傍空間の方位依存性に及ぼす影響. 第 16 回多感覚研究会, 京都大学吉田キャンパス, 京都市, 2026 年 2 月 14 日−2 月 15 日.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・黒田尚輝，原田新也，大澤茉優，寺本渉 (2025). 高齢者の手の表象の可塑性は低下しているのか―6 本目の指錯覚を用いた検討―. 日本基礎心理学会第 44 回大会，朱鷺メッセ，新潟市，2025 年 11 月 28 日−11 月 30 日.

・原田新也，寺岡諒，黒田尚輝，寺本渉 (2025). 聴覚運動弁別における周波数特性と加齢の影響. 日本基礎心理学会第 44 回大会，朱鷺メッセ，新潟市，2025 年 11 月 28 日−11 月 30 日.

・日髙聡太，黒田尚輝，寺本渉 (2025). 高齢者と若齢者における触覚大きさ残効強度の比較. 日本心理学会第 89 回大会，東北学院大学五橋キャンパス，仙台市，2025 年 9 月 5 日−9 月 7 日.

・黒田尚輝，原田新也，峰ゆり花，寺本渉 (2025). 視覚による触覚の再マッピング効果における自年齢バイアス―若年者と高齢者の比較―. 日本認知心理学会第 23 回大会，京都大学吉田キャンパス，京都市，2025 年 5 月 31 日−6 月 1 日.

・Kuroda, N., Hidaka, S., & Teramoto, W. (2025). Comparable magnitude of haptic size adaptation aftereffects between younger and older people. *Experimental Brain Research*, *243*(9), 193. 15 pages. https://doi.org/10.1007/s00221-025-07144-2

・Kuroda, N., Harada, S., Teraoka, R., & Teramoto, W. (2025). Whole-body immobilization modulates visuotactile interaction. *Experimental Brain Research, 243 (3)*, 186. 12 pages. https://doi.org/10.1007/s00221-025-07129-1

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A24

研究課題名　Psychophysical properties of body expression perception: Signal efficiency and noise tolerance

[1] 研究代表者・通研対応教員

PI：CHEN, Chien-Chung, National Taiwan University

Research collaborator of RIEC：TSENG, Chia Huei（RIEC）

[2] 当該年度の研究実績の概要

The main progress this year is on two fronts: the first is a large-scale human evaluation of more than 900 videos of body expression, and the second is the role of motion energy in body expression identification.

The first study aims to establish the ground truth for these videos through human evaluation. The Tohoku Asian Body Expression database contains videos of body expression for 12 emotion types, recorded by 97 actors, including 43 Taiwanese. In addition to the natural lighting, each video also has a point-light display version that we will use. However, at the beginning of the project, only 66 videos by Japanese performers in this database have been evaluated by human observers. Therefore, it is unclear whether the videos achieve the intended effects on human observers. Thus, our first step is to assess the perceived emotions and intensities of the videos we will use in subsequent experiments.

This study had two stages. The first stage examined all point-light display videos in the Tohoku Body Expression Database depicting joy, sadness, anger, and fear. With 97 actors or actresses across three self-reported emotion-intensity levels (high, medium, and low), the stimulus set contained 1446 videos. This stage was for us to grab the full picture of the database. There were five observers evaluating all those videos. Each observer spent 15-18 hours spread over two months to accomplish this task. In each trial, a point-light display randomly selected from the 1455 was presented at the center of a 24-in TFT-LCD display. After the video presentation, a screen displaying response instructions appeared, and the participant had to select one of the four possible emotion types shown in the video with a key stroke.

With this approach, we were able to obtain the expression recognition accuracy for each video. Figure 1 summarizes recognition accuracy for each expression type and the intensity level self-reported by the performers. In general, recognition accuracy varied with intensity level. Across all four expressions, high-intensity stimuli yielded the greatest accuracy, while

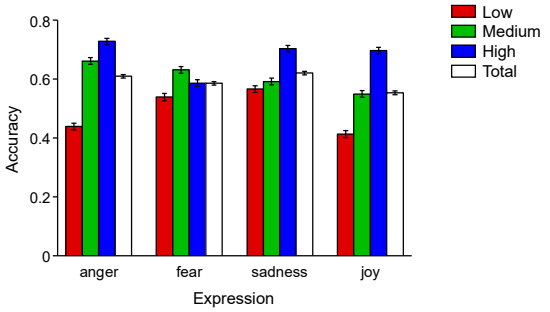


Figure 1. Recognition accuracy for each expression type and the intensity level self-reported by the performers. The error bar is 1 S.E. of measurement.

low-intensity stimuli were consistently the most difficult to recognize. This pattern was most pronounced for anger, where accuracy ranged from 0.45 (Low) to 0.73 (High), representing the largest intensity-related difference observed. Sadness showed a similar orderly gradient (Low = 0.57, Medium = 0.60, High = 0.71). Joy produced the lowest overall accuracy at low intensity (0.42), though high-intensity joy was recognized comparably well (0.70). Fear was the notable exception to the general trend: high-intensity fear (0.59) did not substantially outperform medium-intensity fear (0.64), suggesting a ceiling or categorical boundary effect specific to this expression. Combined across intensity levels, overall accuracy across expression types ranged from approximately 0.59 to 0.68, indicating moderate but consistent performance.

We then examined how the participants misclassified an expression. The confusion matrix

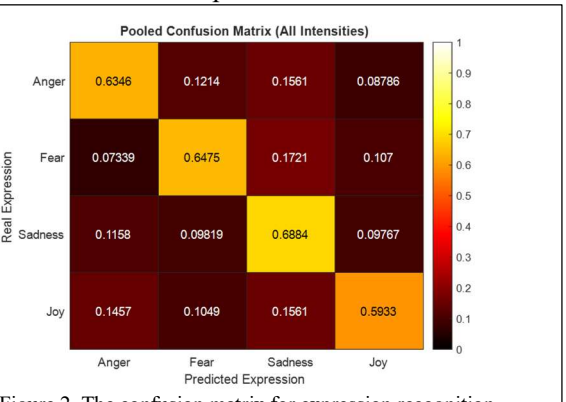


Figure 2. The confusion matrix for expression recognition.

revealed moderate classification accuracy across all four expressions. Misclassification patterns were not random; Fear was most frequently confused with

Sadness (0.17), suggesting perceptual overlap between these two negative valence expressions. Anger was similarly misclassified as Sadness (0.16), while Joy showed the most distributed error pattern, being confused with Anger (0.15) and Sadness (0.16) at comparable rates. Notably, confusion between expressions of the same valence (e.g., Fear–Sadness, Anger–Fear) was generally higher than cross-valence confusion, consistent with the hypothesis that shared affective properties contribute to recognition errors.

Next, we selected 144 videos with high self-reported intensities for each emotion category and recruited additional participants to evaluate them. The purpose was to determine the difficulty level of each video for subsequent experiments. At the moment of writing, we have recruited 26 participants. We expected to recruit at least 50 participants to increase the accuracy resolution to 2%.

Figure 3 displays the cumulative accuracy for each expression as a function of sorted image order, revealing a consistent monotonic increase across all four emotion categories. All expressions began at approximately 0.30–0.35 accuracy and rose steadily to between 0.85 and 0.92, indicating that classification performance improved progressively and reliably. The staircase pattern of the curves reflects the 4% accuracy resolution, and the near-parallel trajectories suggest that the rate of accuracy accumulation was broadly comparable across expressions.

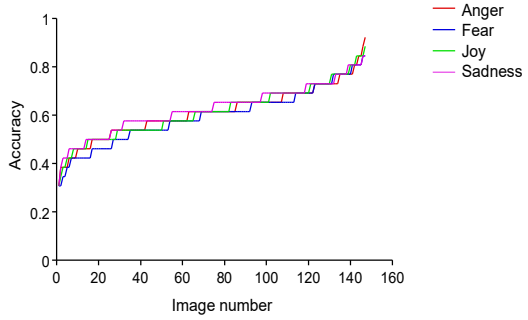
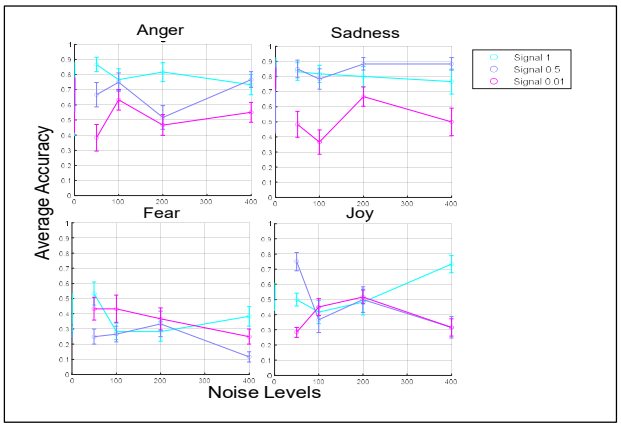


Figure 3. The accuracy distribution across four emotion type.

The second study we progressed this year was on noise masking. We continued the paradigm we established last year. That is, the observer was to detect a signal in the presence of noise. Here, the signals were derived from 32 point-light display videos with high emotion-intensity ratings from the Tohoku Body Expression Database. The signal intensity was manipulated by randomly displaying only 1% (no signal), 50%, and 100% (full intensity) of the points. The signal videos were embedded in a random dot noise display. The noise contained dots of the same size and color as the signal video but were randomly distributed in space. The velocity and motion direction of each random dot were randomly sampled from a Gaussian distribution with the same mean and standard deviation as the velocity and motion direction of the corresponding signals.

Figure 4 presents recognition accuracy as a function of noise level for three signal strengths (Signal 1, 0.5, and 0.01) across four expressions. For anger and sadness, the 0.01 signal maintained relatively stable or elevated accuracy across noise levels. For anger and sadness, the 0.01 signal was enough to achieve an accuracy of 0.5, well above the chance level of 0.25 and about half that for the full-signal condition. For fear and joy, the 0.01 signal had an accuracy level similar to that of the 0.5 and full-intensity conditions. The strong performance of the 0.01 conditions, which contained no signal, suggests that people can recognize the emotion in a video by the motion energy carried by the noise alone.



To sum up, this year's progress advances our understanding of the perception of body expression on two complementary fronts. The large-scale evaluation of the Tohoku Asian Body Expression Database established empirical ground truth for point-light display videos depicting joy, sadness, anger, and fear. Recognition accuracy generally tracked actor-reported intensity, with high-intensity stimuli yielding the most reliable identification, though fear deviated from this pattern, suggesting a categorical boundary effect specific to threat-related expressions. Confusion analyses revealed that misclassifications were systematically structured by affective valence, with within-valence errors outweighing cross-valence ones. The subsequent evaluation of 144 high-intensity videos for each expression type produced smoothly graded difficulty distributions, providing a calibrated stimulus set for future experiments.

The noise-masking study delivered a more theoretically consequential finding. Even when signal points were reduced to 1% — effectively eliminating the coherent body-motion signal — observers identified emotions well above chance for anger and sadness, and at levels comparable to full-signal conditions for fear and joy. Because the noise dots inherited the velocity and direction statistics of each expression, this result

implies that aggregate motion energy, independent of articulated body structure, carries sufficient information for emotion recognition. Together, these findings reframe body expression perception as relying substantially on low-level kinematic statistics rather than configural form alone, and they motivate next year's work on isolating the specific motion features that drive this effect.

［3］今後の研究の推進方策

Building on this year's findings, our future work will pursue several interconnected directions. First, we will recruit at least 50 participants for the video evaluation to finalize the calibrated difficulty rankings needed for downstream experiments. With this validated stimulus pool, we can systematically manipulate task difficulty while controlling for video-level idiosyncrasies in expressiveness.

Second, our current results suggest that emotion categorization is dominated by stimulus features rather than by high-level decision-making. The noise-masking results compel a deeper investigation of motion energy as an emotion-carrying signal. We plan to parametrically dissociate the contributions of velocity distribution, directional variance, and spatial dispersion by constructing noise displays in which each statistical property is independently manipulated. This will identify which kinematic dimensions are sufficient, and which are necessary, for above-chance recognition.

Third, we will examine the Cross-cultural comparisons between Taiwanese and Japanese performers to further test whether motion-energy cues are culturally invariant.

Finally, we aim to incorporate neural measurements to determine whether motion-energy-based recognition recruits the same temporal dynamics as configural body perception, or reflects a dissociable, earlier-stage mechanism.

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Yang C.C., Chen C.H., Wu C.H., Cheng M., Shioiri S., Tseng C.H.,Chen, C.C. (2025) *Noise masking effects on body expression perception*. Paper presented at the 47th European Conference on Visual Perception.

:

Yang C.C., Cheng M., Schneider V., Chen, C.C. (2026). *Evaluating the relationship between motion energy and body expression recognition*. Paper will be presented at the 18th Asia Pacific Conference on Vision.

・

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

Tseng, C.H., Chen, P. Y., Shioiri, S. & Chen, C. C. (under revision). Estimating the location- and object-based attention effects on contrast discrimination. *Journal of Vision*.

・

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R06/A25

研究課題名

不思議の国のアリス症候群の包括的な理解に向けて

[1] 研究組織

研究代表者：
高木　源（東北福祉大学 総合福祉学部 福祉心理学科）

通研対応教員：
齋藤　五大（東北大学 電気通信研究所 サイバー＆リアル ICT 学際融合研究センター）

研究分担者：
なし

[2]研究期間

2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

不思議の国のアリス症候群（AIWS: Alice in Wonderland syndrome）は、周囲の視覚空間や自己の身体に対する知覚の歪みを特徴とする知覚の障害である（Blom, 2016; Lanska & Lanska, 2013）。AIWS の典型的な視覚症状には、物体や人が通常よりも大きくあるいは小さく見えたり、遠くにあるいは近くに見えたりすることが報告される。体性感覚症状には、身体の一部や全身が通常よりも大きくあるいは小さく感じられることがあげられる。このように AIWS の中核症状は周囲の視覚空間および自己の身体知覚の変容であるため、これらの症状は多感覚統合における身体的自己の生成に関わる皮質機能に起因すると考えられる（Mastria et al., 2016 ）。そこで本プロジェクトでは、AIWS における知覚症状の諸相を理解するために AIWS 被験者の事例を収集および記述するとともに、AIWS 被験者に心理物理実験を実施した。

[4]研究計画及び内容

本研究では、AIWS 被験者を対象として（1）事例報告、（2）身体部位の位置報告課題、（3）視覚および体性感覚ラバーハンド錯覚課題を実施した。以下では、実験手続きの説明を要する（3）について、その実験方法を報告する。

ラバーハンド錯覚課題では、はじめに、被験者は閉眼のまま自身の右手人さし指で左手人さし指があると感じる位置を指した（自己受容感覚ドリフト）。次に、被験者はラバーハンドに右手で触れるように実験者によって誘導された。同時に、被験者は実験者によって被験者自身の左手を同じあるいは異なるタイミングで触れられた。その直後に、被験者は再度閉眼のまま右手で左手の位置を指した。各条件の最後に，７つの質問項目にそれぞれ０（全くそう思わない）から６（非常に強くそう思う）の尺度で回答した。質問項目の内容は，手の所有感（hand ownership）、セルフタッチ（touching own hand）、手の変形（larger left hand and longer right finger）、統制（more than one, moving hand, and not feeling hand）に関するものから構成された。

被験者は、視覚ラバーハンド錯覚課題では開眼のまま、体性感覚ラバーハンド錯覚の実験では閉眼のまま錯覚を体験した。それ以外の実験手続きは、両ラバーハンド錯覚の間で同一であった。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

第 1 に、事例研究を行い、AIWS 被験者が具体的な知覚症状のエピソード例として「他者の顔が大きく見えると声も大きく聞こえる」という体験の報告を確認した。AIWS の知覚症状として視覚と体性感覚の歪みに加えて、聴覚（および視聴覚）の歪みも含まれており、周囲の視覚物体と自己の身体知覚の構築に寄与する感覚入力であれば、聴覚の歪みも AIWS の知覚症状として特徴付けられる多感覚的な知覚の歪みとして現れる可能性を明らかにした。

第 2 に、「鼻がなくなる」と報告する AIWS 被験者に、閉眼状態で自身の鼻先位置を指さす課題を実施した。その結果、AIWS 被験者が「鼻がない」と感じている際には、統制群の被験者と比較して有意に鼻の根元側を指さすことが示された。その一方で症状のない状態ではそうした差は認められなかった。これは、AIWS の体性感覚症状が身体位置の知覚変容として行動指標上にも反映される可能性を示す。

第 3 に、「自分自身の手を大きく感じることがある」と報告する AIWS 被験者を対象に、視覚および体性感覚ラバーハンド錯覚に関する実験を行

った。その結果、同期条件では非同期条件と比較して、手の所有感の評定や自己受容感覚ドリフトに加え、「自身の手が大きく感じられる」「指が伸びたように感じられる」といった身体形状変容の評定が有意に増大した。これらの結果は、AIWSの体性感覚症状が、自己身体の所有感そのものというよりも、身体サイズや形状の知覚変容に関連する可能性を示唆する。

（5-2）波及効果と発展性等

本プロジェクトの成果の一部（Saito & Takagi, 2023）が、下畑享良（2025）「下畑享良 神経症候学 note」において引用、紹介された。

また本プロジェクトの取り組みは、日本学術振興会科学研究費助成事業・若手研究「不思議の国のアリス症候群からみる自己身体知覚の解明」の採択に至った。今後、本助成のもとで、さらなる研究課題の発展が期待される。

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトの目的は、AIWS の事例研究および実験研究を行い、AIWS の知覚的な特徴を明らかにすることであった。その結果、AIWS の知覚症状を身体部位の位置報告やラバーハンド錯覚を用いて行動レベルで明らかにすることができた。今後は、より多くの事例を対象に同様の行動指標を用いた検討を重ね、AIWS における身体知覚変容の一般性と個人差をより詳細に分析する必要がある。

[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

・Saito, G., & Takagi, G. (2023). Multisensory perceptual distortion including auditory distortions in Alice in Wonderland syndrome: a case report. *Neurocase*, *29*(2), 46-49.

学会発表

・齋藤五大・高木源(2025)．不思議の国のアリス症候群における自己身体変容体験と自己受容感覚計測，日本認知心理学会第 23 回大会，京都，日本.

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

学会発表

・齋藤五大(2024)．身体変容体験：不思議の国のアリス症候群からみる身体知覚，日本認知心理学会第 23 回感性学研究会（招待），オンライン，日本.

・Godai Saito & Gen Takagi (2025). Rubber hand illusion in Alice in Wonderland syndrome, the 47th European Conference on Visual Perception, Mainz, Germany.

・齋藤五大・高木源(2025)．不思議の国のアリス症候群における視覚および体性感覚ラバーハンド錯覚，日本認知科学会第 42 回大会，東京，日本.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A26

研究課題名

非平衡プラズマ短寿命活性種を活用したバイオデバイスの創成

[1] 研究代表者・通研対応教員
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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

Ⅰ．電界誘導二次高調波生成法による気液界面非平衡プラズマ中の電界測定

気液界面非平衡プラズマは，医療や農業などのライフサイエンス分野への応用が期待されている一方で，界面近傍で生じる物理現象には未解明な点が多く残されている．特に電界は，短寿命活性種の生成や輸送，界面での電荷蓄積などに深く関与する重要なパラメータであり，その時空間的な挙動を把握することは，気液界面非平衡プラズマの反応機構を理解するうえで不可欠である．

本研究では，高い時間分解能を有する電界誘導二次高調波生成法 (Electric Field-Induced Second Harmonic Generation: E-FISH) を用いて，大気圧非平衡プラズマおよび気液界面非平衡プラズマ中の電界計測を実施した．まず，ヘリウム＋5%窒素雰囲気中のピンーピン電極放電において電界計測を行った．その結果，放電開始後に電離波面（イオン化フロント）の接近に伴って電界が急激に増大し，その後，生成された電荷による遮蔽効果によって電界が急速に減少する様子を 0.2 ns の時間分解能で観測することに成功した．

また，大気圧空気中におけるピンー液体電極放電に対して，液面上約 0.2 mm の気相領域でオンサイト電界計測を実施した．その結果，放電初期には実測電界と計算されたラプラス電界が一致する一方で，電界が最大値に達する付近から両者の差異が顕著となり，ピーク後には実測電界が計算値を大きく下回ることが観測された．これは，放電の進行に伴うプラズマ生成によって印加電界が変調されたことを示唆している．

Ⅱ.月面農場実現に向けたオンサイト窒素固定

本研究では，空気と水から窒素肥料成分を効率的に生成する低温プラズマ技術に着目し，空気由来の五酸化二窒素（N_2O_5）を利用した植物栽培への応用を検討している．これまでに，100 W 未満の低電力で空気中の窒素や酸素を活性化し，N_2O_5 を選択的に合成する技術を開発してきた．N_2O_5 は水に高効率で溶解し，窒素肥料の主成分である硝酸イオンへ変化するため，月面農場などの現地での肥料生産に適した物質である．

本研究では，N_2O_5 を水に溶解させた N_2O_5 溶解水を用い，月レゴリス模擬土壌におけるイネ栽培試験を行った．その結果，通常の水を与えた場合と比較してイネの成長が大きく促進されることが明らかとなった．また，窒素取り込みに関与する遺伝子の発現増加も認められ，N_2O_5 溶解水が窒素栄養の供給源として機能することが示された．さらに，N_2O_5 溶解水は月レゴリス模擬土壌のアルカリ性溶出水を中和し，カリウム，マグネシウム，カルシウムなど植物成長に必要なミネラルの溶出を促進する一方で，有害なアルミニウムイオンの溶出を大幅に抑制することが明らかとなった．

[3] 今後の研究の推進方策

Ⅲ．月面農場実現に向けた循環型プラズマシステムの構築

今後の研究としては，月面農場の実現に向けて，閉鎖環境における資源循環型プラズマシステムの構築と，プラズマ活性種を利用した植物生育制御技術の確立を目指す．まず，閉鎖空間内に循環型大気圧非平衡プラズマシステムを構築し，窒素・酸素雰囲気中で生成される活性種を気相および液相でリアルタイム計測する．運転に伴い蓄積するオゾンや硝酸をプラズマ生成原料ガスとして再利用した際の活性種生成挙動を調べるとともに，窒素・酸素の物質収支を解析し，閉鎖系における元素循環機構を明らかにする．

さらに，微小重力環境を模擬するクリノスタットを用いて植物を栽培し，五酸化二窒素（N_2O_5），二酸化窒素（NO_2），オゾン（O_3）などのプラズマ生成活性種が植物の成長方向や生理応答に与える影響を評価する．

特に，植物細胞内の遺伝子発現の変化に着目し，活性種照射が重力刺激に類似した作用を示すかを検証することで，月面環境における新たな植物生育制御技術の創出を目指す予定である．

［論文，学会発表，および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・K. Takeda, S. Sasaki, K. Takashima, and T. Kaneko, “Importance of nitrite generation route via N_2O_3 at plasma-liquid interface”, Plasma Sources Science and Technology, Vol. 34, No. 8, pp. 085010-1-9, 2025.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・S. Deng, N. Takeuchi, and T. Kaneko, “Atmospheric Pressure Plasma for Carbon Material Modification and Synthesis: A Comprehensive Review”, Materials, Vol. 18, No. 24, pp. 5662-1-39, 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A27

研究課題名

導電素材印刷による高機能デバイスモジュールの開発とその応用

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
髙田崚介（神戸市立工業高等専門学校）

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：
真鍋宏幸（芝浦工業大学）
（東京電機大学）
加藤邦拓（東京工科大学）
高嶋和毅（芝浦工業大学）
Miguel Nacenta（University of Victoria）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本プロジェクトでは,モノや道具に導入可能な高機能なセンサデバイスモジュールを３D プリンタを用いて開発する方法を確立することをめざす．小型センサを様々なモノに埋め込むことができれば，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検討する．スタンドアローンで動作する小型モーションセンサモジュールを利用し，研究代表者が提案する 3D プリンタを活用した回路印刷技術を導入することで，小型でかつ高性能なセンサモジュールを開発することができる．この技術を用いて，玩具（積み木）や文具（ペン等）に応用し，その有用性を測る．

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ち合わせを実施してきた.実装物を実際に体験するため, 学会（インタラクション 2026，一橋記念講堂，東京）での打ち合わせを実施した.

- 令和 7 年 3 月 3 日-5 日
  - 参加者：
    - ✧ 髙田崚介
    - ✧ 藤田和之
    - ✧ 山本景子
    - ✧ 真鍋宏幸
    - ✧ 加藤邦拓
    - ✧ 高嶋和毅

本年度の取り組みとして，磁性導電性粒体を用いた三次元入力・触覚提示インタフェースの実現に向けた検討を行った。以下に概要を述べる。従来のペンタブレットでは水平方向の位置入力は可能であったが，垂直方向の位置推定や触覚提示は困難であった。そこで，ケース内に磁性導電性粒体を充填し，底部に配置した電極アレイと導電性ペン先間の抵抗値を計測することで，ペン先の三次元位置を推定する手法を検討した。また，外部から磁石を近づけることで粒体層の硬さを変化させ，力覚提示を行う構成とした。さらに，鉄球表面の酸化防止油に起因する抵抗値の不安定性に対しては，導電性グリスを用いて安定化を図り，位置推定精度および触覚提示特性を評価した。

また，昨年度開発した磁性導電性塗料 MagElePaint は，紙，布，皮膚など多様な素材に直接塗布でき，磁石を介して電子部品を容易に着脱できる利点を有していた一方で，塗布対象への染み込みや硬化時間，形状の再現性の点で課題があった。そこで本年度は，より扱いやすくプロトタイピングしやすい形状として，磁性導電性シートを開発した。磁性導電性シートは，鉄粉や銅粉などの導電性・磁性粉末を柔軟な樹脂基材に混合し，あらかじめシート状に硬化させたものであり，任意形状に切り出して多様な対象へ貼り付けることができる。これにより，塗布工程を介さず簡便に回路やセンサを試作可能とした。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は，磁性導電性粒体のさらなる安定化と入力エリアの拡大を進め，三次元入力インタフェースとしての実用性向上を図る。また，磁性導電性シートについては，粒体インタフェースと組み合わせたセンサデバイスモジュールへの応用を進める。さらに，長期安定性の向上と三次元造形技術への展開を目指す。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・山岸 真人, 高田 崚介, 尾山 匡浩, 柔軟かつ形状自在な磁性導電性シートの作製と評価, WISS2025, 87 巻, 3 pages.

・長谷川 巧, 高田 崚介, 力覚提示可能な三次元ペンインタフェースのための磁性導電性粒体の検証, WISS2025, 87 巻, 3 pages.

・長谷川 巧, 高田 崚介, 磁性導電性粒体を用いた触覚提示が可能な 3 次元ペン入力インタフェースの検証, HI 学会, HIS2025, 6 pages.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・大塚 晟, 高田 崚介, 服飾用ボタンと導電繊維を用いたジョイスティック, 情報処理学会,インタラクション 2026 論文集, pp. 1092 – 1096.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06A28

研究課題名

VR 技術と神経科学の融合による、自己身体認知メカニズムの包括的解明

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
濱本裕美（Northumbria University）

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

MRI実験の前段階として、MRI外で身体を見る際の視座が身体像の歪みに影響を与えるかどうかを検討した。

この実験では、MetaQuest 3 を用いて、参加者の上半身のみトラッキングしつつ、BMI が 15〜35 に変化する身体アバタを提示した。参加者は身体アバタを、首を曲げて身体を見下ろす視座(主観視座)か、目の前にある鏡で身体を確認する視座(鏡像視座)のいずれかの視座で確認し、アバタの大きさを「自分だと思う大きさ」あるいは「理想だと思う大きさ」に自分で変更した。身体像の歪みは、知覚的側面については参加者の実際の身長・体重から計測した BMI と参加者が自分だと思った身体アバタの BMI の差として数値化し、評価的側面については参加者が自分だと思った身体アバタの BMI と理想だと思った身体アバタの BMI の差として数値化した。結果、視座によって身体像の歪みの知覚的側面の大きさが異なることがわかり、さらに視座によって評価的側面の値が異なる人ほど摂食障害傾向が強いことがわかった。この研究結果について、Society for Biopsychosocial Science and Medicine 83rd Annual Scientific Meeting にて口頭発表を実施した

同様の実験を MRI スキャナ内で実施するために、MRI 対応刺激提示ゴーグルを購入し、その環境での実験プログラムの実装を進めた。

[3] 今後の研究の推進方策

2026 年度は MRI スキャナ内での課題について、上記の課題と同様のパラダイムで実施できるかどうかを検討する。具体的には、上記の課題では参加者自身が提示刺激の大きさを変えることができる調整法が用いられたが、調整にかかる時間が個人内・個人間共にばらつきが大きくなりやすく、課題時間を固定する必要がある MRI の実験パラダイムとは相性があまりよくない。そのため、ランダムな大きさの身体刺激を提示し、その大きさについて Yes/No の二択で答える恒常法という方法が取られやすい。一方で恒常法では刺激の切り替わりが頻回になるため、身体アバタに対する所有感が低下する可能性がある。まずはこの点について予備実験を実施し、使用するべき心理物理実験デザインを確定したのちに MRI 実験を実施する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Manato Murata, Kumpei Ogawa, Godai Saito, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, Yumi Hamamoto, “Inconsistent body-size perception across points of view and its association with eating disorder tendencies”, Society for Biopsychosocial Science and Medicine 83rd Annual Scientific Meeting, Chicago, USA, March 2026 (Oral)

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A29

研究課題名

災害時における「正常性バイアス」を打破する緊急避難アナウンスの開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
山高 正烈（愛知工科大学）

通研対応教員：
坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

正常性バイアスは，ストレスを回避するために機能するものであり心を平静に保つ有効な機能であるが，災害時には逆効果をもたらし，そのため正常性バイアスを克服し如何に緊迫感を伝え迅速な避難行動を喚起させるかが課題となってくる．

避難勧告アナウンスに対して正常性バイアスを打破するためには，切迫感を強調させ避難行動を喚起させる必要がある．先行研究では，切迫感や行動を喚起させる手段として既存の避難勧告アナウンスへの背景音の付加効果に着目し，様々な意味合いをもつ背景音の付加と避難勧告アナウンスとの相乗効果を調べた．その結果，背景音の持つイメージと提示音声の内容が一致した時に切迫感の相乗効果が得られやすくなることが示された．しかし， 同じ背景音でも個人によっては異なったイメージを持っており，狙った効果が得られない可能性も生じた．

本研究では，既存の緊急避難アナウンス音声を見直し，「自分は大丈夫だ」という正常性バイアスを打破して避難行動を喚起させるアナウンスシステムの構築を目的とする．そのために，既存の避難勧告音声を前景として捉え，そこに人間の深層心理に直接働きかけるイメージ音を背景音として付加することにより，人間の深層心理にダイレクトに働きかけ，聞くたびに動きたくなるような音刺激の物理特性を明らかにする．また，スマートフォンによる緊急避難アナウンスシステムを想定し，背景画像や動画の付加効果，および，ナッジ理論の導入効果についても検討する．

本年度は，差し迫った心理状況を直感的に抱かせる手段として背景動画の付加効果に着目し，よりダイレクトに現実味のある情景を提示することで行動喚起に大きな違いがみられるかを調べた．

背景情報として，前年度との比較のために前年度使用した背景画像に加え，背景動画を用意した．背景動画は東北地方整備局より二次使用の許可を頂いたものを使用した．更に，提示する情報量の効果を比較検討するために，スライドショーを背景条件として加え，全部で 3 条件とした．音声刺激は，背景画像の付加効果がはっきりしていた津波警報を使用し，津波警報音のピッチを 1.25 倍，話速を 100 ms/mora に調整した．

実験では，実験刺激をランダム順に提示し，背景動画の付加効果に着目した印象評価実験を実施した．視聴覚刺激を印象評価シートにランダム順で指定し Android スマートフォンから各実験条件を再生可能なアプリを作成した．実験においては，シェッフェーの一対比較法（浦の変法）を用いて 2 種類ごとの実験刺激を体験し，その都度どちらの実験条件がより切迫感，行動を喚起させられるかを 7 段階で評価させた．

切迫性の評価結果を，図 1 に示す．切迫性に関して分散分析および多重比較を行った結果，背景画像と比較した時，「背景動画」，「音声 high-fast＋画像」，「音声 high-fast＋動画」，「音声 high-fast＋ スライドショー」で有意差が見られた．実験結果から，背景動画の付加効果は，音声 high-fast に背景画像を付加した場合よりも高い得点を得られていることから．災害直後の情景を提示しており，災害の脅威を再認識することができたため，切迫感の向上に繋がったと考えられる．

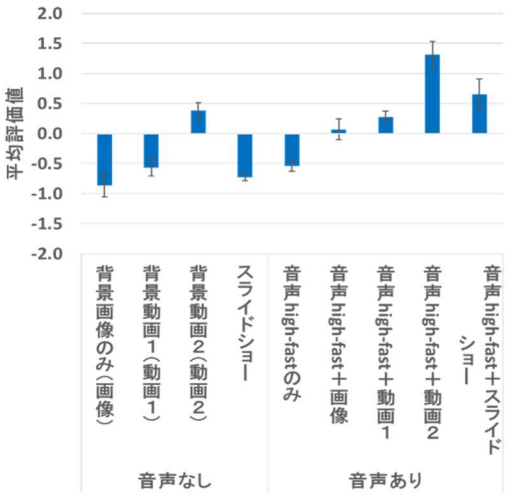


図 1　切迫性の評価結果

しかし，音声 high-fast に災害前の情景を提示した場合は，これから起こりうる災害のイメージが出来たとしても切迫性が欠如され災害の脅威を知らせるには不十分であることが分かった．また，音声 high-fast にスライドショーを付加した場合の得点が高かった．これは，災害の情景を部分的に表示したにもかかわらず脅威を認識できたということを示唆する．特定の災害状況を強調し，スライドショーに災害のストーリー性があったことから，災害の全体図をイメージしやすくなったのではないかと考えられる．結果としては，切迫感を与える点で災害直後の背景動画の付加効果が最も切迫感を感じやすくなったことがわかる．

行動喚起の結果を図 2 に示す．行動喚起の場合，切迫性と同様に動画を付加した場合の得点が最も高かった．背景動画の付加効果は，音声 high-fast に背景画像を付加した場合よりも高い得点を得られていることがわかる．これは災害直後の動画を提示することによって，災害イメージをよりダイレクトに認識することができ，思わず逃げたくなるような状況を作り出せたと考えられる．

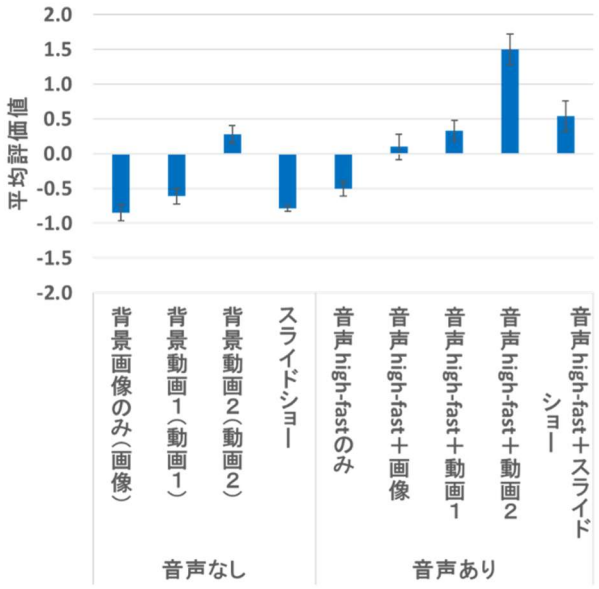


図２　行動喚起の評価結果

また切迫性と同様に，音声 high-fast にスライドショーを付加した場合の得点が高かった．特定の被害情景を提示することにより避難意思が喚起されたのではないかと考えられる．例えば，人物，物体，被害風景等特定の場面を強調して提示することで，より切迫感と行動喚起の因子を抽出できると考えられる．その理由として，共通の脅威であるモノに対して，無意識に行動喚起を促すということからナッジ理論による効果に起因するとも考えられる．例えば，近年の新型コロナウイルスのような脅威に対して，マスクの着用やソーシャルディスタンスを無意識におこなっていることもナッジ理論による効果の一例と言える．このようにナッジ理論を応用することにより，災害という脅威に対して，無意識に避難行動が喚起させられる避難警報に近づくのではないかと考えられる．

また，災害の一部しか表示していなかった静止画や災害前の動画は，起こりうる災害の被害イメージを認知しづらく災害状況を把握していたとしても脅威にはなり得なかった．災害直後の動画とストーリー性のあったスライドショーは印象評価が高く，よりダイレクトに現実味のある災害情景を提示することができていたため，災害状況をイメージしやすく行動喚起させらるものであったと考えられる．

このような考察をもとに，避難行動を無意識下で行うために，行動経済学的なメッセージ介入が避難行動の促進に有効か否かを検証し，仮想的な災害状況を想定した上でメッセージによって避難意図が異なるかを検討した．即ち，さらに避難行動を無意識下で行うために，行動経済学的なメッセージ介入が避難行動の促進に有効か否かを検証し，仮想的な災害状況を想定した上でメッセージによって避難意図が異なるかを検討した．

背景に使用した文字は，損失局面を表す情報として，「背景文字１：まわりの人が避難しています！今動かないと遅れてしまいます．後悔しない行動をとりましょう」という文字と，利得局面を表す情報として，「背景文字２：あなたが避難することでまわりの人も避難したい気持ちになります！」を使用した．損失局面は，避難しないことが後悔につながることを認知させるメッセージである．利得局面は，自らの避難行動が他人の避難行動を誘発するという外部性があることを認識させ，利他性に訴えかけるメッセージである．

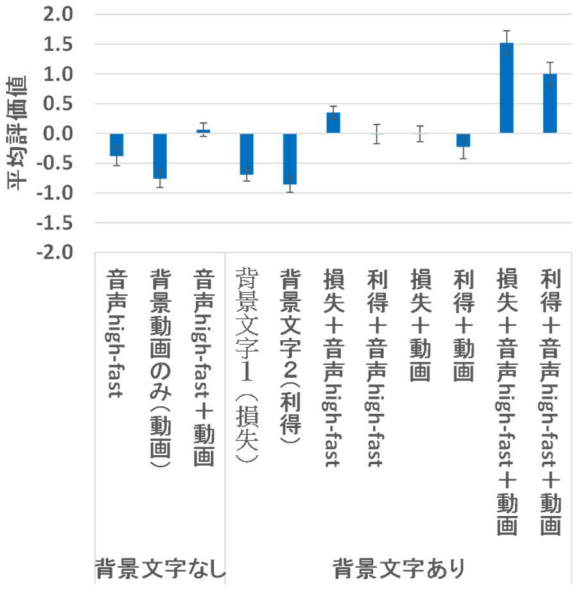


図３　ナッジメッセージによる切迫性の評価結果

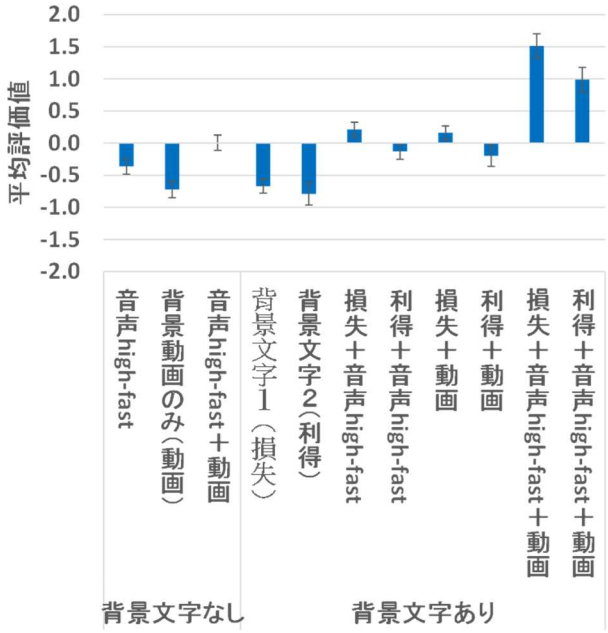


図４　ナッジによる行動喚起の評価結果

図３と図４に，ナッジメッセージの付加効果の結果を示す．切迫性の場合，「損失＋音声 high-fast＋背景動画」の評価が高かった．また，「背景文字１」の提示は損失局面を持っており，「背景文字２」の利得局面より印象の評価が強かった．これは，「損をしたくない」というごくごく自然な気持ちが，無意識に行動や選択に影響を与えるプロスペクト理論が働いたのではないかと考えられる．プロスペクト理論は，自分の選択の結果に得る利益や損失，確率が既知の状況において，人がどのような意思決定を行うかをモデル化したものである．そして利得局面との差が生まれたのは，「得を求めるよりも損を避ける」という人間の心理傾向の損失回避性があると考えられる．

行動喚起の場合，切迫性と同様に「損失＋音声 high-fast＋背景動画」の評価が高かった．これは災害直後の動画と背景文字を同時に提示することによって，災害イメージをよりダイレクトに認識することができ，思わず逃げたくなるような状況を作り出せたと考えられる．人々の利他性を刺激し，責任感をもたせるメッセージを用いることが現実的だと考えられる．ナッジメッセージは，金銭的なインセンティブを用いないで心理的なインセンティブを用いている．その際，大きな心理的コストをかけるものはナッジとしては望ましくなく，比較的小さな心理的インセンティブで人々の行動変容を促すものが望ましいと言える．その点から利得局面の実験刺激は，ナッジ理論の効果としては適性であると判断できる．理屈で考えると同じ内容でも，プラスの面を見せるのかマイナスの面を見せるのかで大きく印象が変わると考えられる．このように印象を少しずらすことで得られる効果（フレーミング効果）を言葉に加えることで，より無意識化に印象操作が行えるようになると考えられる．

［3］今後の研究の推進方策

今回は，背景文字に着目しナッジ理論の応用を考えたが，先述したストーリー性のあったスライドショーは印象評価が高く，よりダイレクトに現実味のある災害情景を提示することができていたため，スライドショーとの関係性も調べる必要がある．また，無意識に行動を喚起させられるアナウンスシステムの構築を目指して，ナッジ理論の付加効果を検討した．今後は，「思わず動きたくなる」情報提示のあり方や仕組みを解明していきたいと考えている．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・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　　R06/A30

研究課題名

感覚刺激引き込みを用いた視覚的意識に関する心理物理学的研究

[1] 研究組織
研究代表者：
竹島 康博（法政大学文学部）

通研対応教員：
齋藤 五大（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

[2]研究期間
2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

我々は，外界からの様々な感覚信号を受けとって処理を行い，その結果として周囲の環境を知覚する。この人間の感覚情報処理に関する様々な研究は，私たちの知覚意識が外界からの信号をそのまま反映するわけではないことを明らかにしている。外界の情報と知覚が不一致となる例として，視覚入力信号は存在するにもかかわらず視覚対象が見えないといったことがしばしば起こる。例えば，視覚的な刺激の鮮明さ（コントラスト）を操作することで，その刺激が見える場合と見えない場合が起こり得る。では，視覚入力は存在しても対象の知覚に変化生じる背景にはどのようなメカニズムが存在するのだろうか？

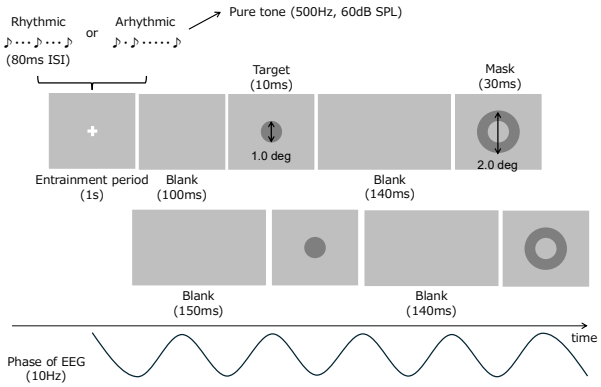
私たちの視覚意識を支えるメカニズムの説明の 1 つに，神経振動リズムとの関連が指摘されている。具体的には，Mathewson et al. (2009) はメタコントラストマスキング (Di Lollo et al., 2000) によるターゲット検出の可否が直前の α 波（8–12Hz の脳波）の強さによって予測できることを報告している。メタコントラストマスキングとは，短いターゲット（例えば，円刺激）を提示した直後にターゲットを覆わないマスク（例えば，リング状刺激）を提示すると，ターゲットの検出成績がマスクを提示しない場合よりも低下する現象である。この現象でもターゲットの視覚入力自体は消失したわけではなく，マスクによって意識的に知覚できる程度が変化しているのだが，その意識的な知覚にターゲット提示前に課題非関連に生じていた α 波の強さが関連する。

近年，一定の周波数の感覚刺激提示によって特定の周波数の脳波を惹起させる，「引き込み (entrainment) 」と呼ばれる実験手法が提案されている。例えば，Kawashima et al. (2022) は聴覚刺激を 10Hz の時間周波数で事前に提示すると，その後の注意の瞬き課題 (Raymond et al., 1992) における第 2 ターゲットの見落としが増えることを報告している。そこで本研究では，感覚刺激による引き込み手法を利用して，特定周波数の神経振動リズムが視覚意識の成立に関与することを確認し，さらに視覚意識の制御に寄与するための基礎的な知見の蓄積を目指すことを目的とする。

[4]研究計画及び内容

本研究では 2 年の研究期間に，メタコントラストマスキングを用いて感覚刺激による引き込み手法を利用したターゲット検出の制御に関する実験を実施した。1 年目は刺激のコントラストや提示時間といった実験パラメーターを検討するための予備実験を行った。メタコントラストマスキングと神経振動リズムとの関連については，上述したように Mathewson et al. (2009) はターゲット提示前の課題無関連に生じた α 波が強いほどターゲットの検出頻度が増加することを明らかとしている。Kawashima et al. (2022) を参考に，ターゲットの提示前（注視点の画面）に純音を 10Hz の時間周波数で 5 秒間提示し，その後ターゲット (10ms)，マスク (30ms) の順にメタコントラストマスキング課題の刺激提示を行った (Figure 1 を参照)。この課題をターゲットが提示されない試行も混ぜて繰り返し行い，ターゲットをどの程度正しく検出できていたかを測定した。Mathewson et al. (2012) のようにターゲットが抑制される条件だけでなく，マスクが抑制される条件，さらに統制条件としてターゲットの提示前に純音を提示しない条件を設定し，これらの条件の間でターゲットを正しく検出できた成績の比較を実施した。2 年目は，1 年目の予備実験で明らかとなった実験デザインの不備を改善して，感覚刺激の引き込みによる α 波の神経振動リズムの操作による視覚意識の制御に関する本実験を実施した。

Figure 1
1 試行の流れの説明図



注）上段はターゲットとマスクの両方が抑制されるタイミングで，両方が抑制されないタイミングで提示した場合の例を示す。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

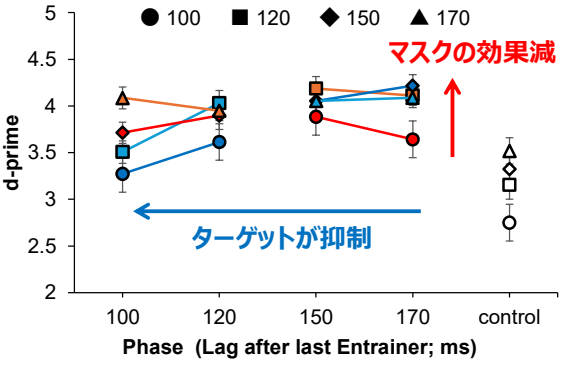
1 年目の予備実験では，Mathewson et al. (2009) と同様に α 波によって視覚刺激が抑制されるタイミングでターゲット刺激が提示されると，統制条件と比べて検出が抑制される傾向があることが確認できた。ただし，予備実験で使用したターゲットのコントラストでは全体的に検出成績が高くなっていたため，参加者ごとにコントラスト感度を測定して統制条件の検出成績を一定にする必要があることを確認できた。また，聴覚刺激の提示と α 波が生じるタイミングに若干のラグがある可能性も考慮して，本実験ではターゲットやマスクを提示するタイミングの変数を増やすこととした。

2 年目の本実験では，メタコントラストマスキングによる検出課題を実施する前に，参加者ごとに変形上下法を使ってターゲットの検出率が 70%となるコントラスト閾値を測定した。その上で予備実験と同様の検出課題を実施し，条件ごとに検出感度を算出した (Figure 2)。実験の結果，本実験でも Mathewson et al. (2009) と同様に α 波の振動リズムによってターゲットの検出が抑制されることを確認した。また，α 波の振動リズムとターゲットの提示タイミングには関連が見られたが，α 波の振動リズムとマスクの提示タイミングとの関連はターゲットの検出成績に影響しないことも確認された。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは，研究実施者にとってもこれまでの研究テーマとはやや異なる新しい研究への取り組みであった。そのため，研究の遂行にあたっては関連する研究分野の研究者から多くの助言をいただく必要があった。これにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。この繋がりにより，今後より大きな研究プロジェクトへと派生する可能性がある。

Figure 2
メタコントラストマスキング下の検出課題の結果



[6]まとめと今後の課題

本研究プロジェクトでは，脳波の神経振動のリズムによる視覚意識の制御に関わる基礎的な知見を蓄積することを目的とした。研究の遂行により，ターゲットに対する脳波の位相の操作が視覚意識の制御にとって重要であるという知見を得ることができた。

ただし，本研究プロジェクトでは視覚意識の「抑制」についてのみの検討に留まっている。視覚意識をより頑健にする「促進」についてはまだまだ検討が不十分であるため，脳波の神経振動のリズムの操作との関連の検討に着手していくことが，今後の課題といえる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・竹島 康博・齋藤 五大 (2025). 感覚引き込み刺激による α 波振動の位相の違いがターゲット検出に及ぼす影響　日本基礎心理学会第 44 回大会（ポスター発表）

(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（2025 年度）

採択番号　R06A31

研究課題名

超スマート社会の実現のためのネットワーク・エージェント基礎技術の開発

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
打矢隆弘（名古屋工業大学）

通研対応教員：
坂本修一（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

超スマート社会(Society 5.0)の実現のためには，人間の行動原理や振る舞いを理解したうえで，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．そして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，ロボットや知的システムがユーザの生活環境に広く普及・利用されている世界を想定し，都市生活でのユーザの活動支援や諸問題の解決に取り組むことを研究目的とする．具体的には，本研究グループが保有するネットワーク技術・エージェント技術をより高度化し，知的エージェントシステムの構築・評価を行う．

当該年度の研究実績

・ネットワーク技術・エージェント技術の高度化①：リポジトリ型エージェントフレームワークに対し，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群を束ねたマイクロサービスコンテナ機構を高度化し，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．

・ネットワーク技術・エージェント技術の高度化②：ロボットに搭載するソフトウェアエージェントにおけるエージェント知識処理機構の高度化や，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．

・実アプリケーション開発と実証実験：複数の実アプリケーション開発と実証実験に取り組む．

具体例：移動距離を考慮した自己組織的領域分担によるマルチエージェント巡回清掃の効率化

[研究背景] マルチエージェント巡回清掃問題において，通信や中央制御に頼らず効率的な分業を実現することは重要である．先行研究では，ごみ発生確率（PDA）を逐次学習し，他個体との間接的な相互作用により高度な通信なしで担当領域を形成する「自己組織的な領域分担」を行う手法が提案された．しかし，この手法は目標地点決定時に距離を考慮しないため，担当領域が細分化して散らばる「領域の断片化」が発生し，移動コストが清掃効率を損なう要因となっていた．そこで本研究では，評価関数に移動距離の対数コストを導入することで，領域分担の柔軟性を維持しつつ領域の集約性を高める手法を提案する．

[提案手法] 領域分担の柔軟性を維持しつつ移動コストを削減するため，提案手法では，PDA を学習する手法であり領域形成の核となる先行研究で定義された「放置優先ランダム法」および「放置優先斥力法」をベースとし，これらに移動距離による動的コストを組み込む．

近場放置優先法：従来の放置優先ランダム法を拡張した「近場放置優先法」では，ノードの放置時間の期待値を移動距離の対数で除算する．これにより，遠方のノードに対する評価値を相対的に抑制する．

近場斥力法：他エージェントとの重複を避けるための斥力法も同様に拡張する．「近場斥力法」では，他エージェントからの距離（斥力）と放置時間の積を，移動距離の対数で除算する．

[評価実験] 4 種類の PDA 分布（均一，離散，壁周り，格子状）を持つ 100 × 100 ノードの環境で検証を行う．環境のノードの PDA は，図 1 と対応し，以下のように設定した．

$$P_v = \begin{cases} 10^{-3} & (\text{赤}) \\ 5.0 \times 10^{-4} & (\text{ピンク}) \\ 10^{-4} & (\text{オレンジ}) \\ 10^{-5} & (\text{その他}) \end{cases}$$

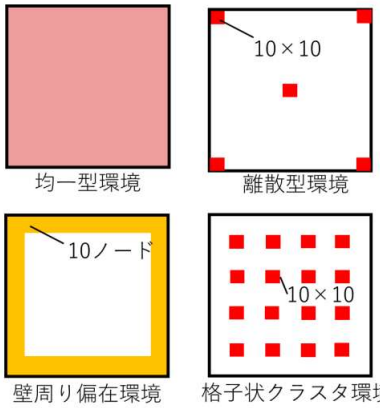


図 1: 検証に用いた 4 種類の実験環境

エージェント数 N ∈ {6, 9, 12} とし，先行研究手法，放置優先手法，および提案手法を比較した．評価指標は以下の 3 点を用いる．

· ごみの総和 (Dn)：全ノードのごみの量の和. 小さいほど効率的に清掃できていることを示す.

· ごみの累積時間の総和 (Ds)：全ノードのごみの量の時間積分値. 小さいほど効率的に清掃できていることを示す.

· 境界ノード比率 (BNR)：本評価では, シミュレーション終了後, マップ上の各ノードを「最も多く訪問したエージェント」の領域ノード（担当領域）として割り当てる. その上で, 自身の担当領域ノードのうち, 隣接（上下左右）するノードが他エージェントの領域ノードであるものを「境界ノード」と定義する. 全ノード数に対する境界ノード数の割合であり, 0 に近いほど領域が地理的にまとまっていることを示す.

4 種類の環境 × 3 パターンのエージェント数 × 3 種類の手法の全 36 条件について，各条件 150,000 ステップ 10 回ずつの試行を行い，その平均値を算出した．

[実験結果] ほとんどの環境において，提案手法は他手法に対し Dn および Ds を改善した．特に離散型環境では Ds を最大約 42.8%削減するという向上を達成した．また，BNR（境界ノード比率）の顕著な低下は，対数コストが遠方への移動を適度に抑制し，各個体が現在地周辺を重点的に清掃する「集約的な領域」が形成されたことを示している．この領域の集約化により，移動に要する時間が清掃時間へと転換され，全体効率が向上したと考えられる．

一方で，壁周り偏在環境の低密度設定（6 体）などでは，一時的に Ds が悪化する傾向が見られた．これは距離コストの導入により，初期位置から遠方の負荷領域へ到達するまでに時間を要したためである．しかし，この課題は個体数の増加に伴い，各個体の集約領域の集合が全域をカバーすることで解消されることが実証された．

[まとめ] 本研究では，巡回清掃における領域の断片化に対し，移動距離の対数コストを導入した手法を提案した．実験の結果，地理的に集約された効率的な領域分担を形成し，清掃効率を向上できることを実証した．今後は，異なる環境への適応力検証，環境負荷に応じた最適エージェント数の導出，および局所通信を併用した領域境界の高速な最適化を行う．

[3] 今後の研究の推進方策

複数研究機関の連携により研究開発を推進し，ネットワーク技術・エージェント技術の高度化に取り組む．また，実アプリケーション開発と実証実験に取り組む．

[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

・鬼頭佑季・打矢隆弘・立岩佑一郎, “移動距離を考慮した自己組織的領域分担によるマルチエージェント巡回清掃の効率化”, 合意と共創研究会 2026 年 3 月研究会, 2026.

・山本俊斗，打矢隆弘，立岩佑一郎, “動的な時間制約を考慮した MAPF アルゴリズムセレクタの構築”, 合意と共創研究会 2026 年 3 月研究会，2026.

・Naoki Matsukawawatari, Takahiro Uchiya, Yuichiro Tateiwa, “Incorporating Serendipity and Receptivity into Personalized Recommendation Systems”, Proc. of IEEE GCCE 2025, 2025.

・Sosuke Nakatsubo, Takahiro Uchiya, Yuichiro Tateiwa, “Improving Field of View Representation for Improved Safety and Efficiency of Drone Delivery Using Reinforcement Learning” , Proc. of IEEE GCCE 2025, 2025.

・Yosei Hotta, Takahiro Uchiya, Yuichiro Tateiwa, “Applying PIBT to LA-MAPF and Proposing Priority Assignment Strategies”, Proc. of IEEE GCCE 2025, 2025.

・Kazuma Oyabu, Takahiro Uchiya, Yuichiro Tateiwa, “Improving the Accuracy of User-Preferred Review Classification System Based on User Preferences” , Proc. of IEEE GCCE 2025, 2025.

・Yuta Yamato, Takahiro Uchiya, Yuichiro Tateiwa, “An Efficient Vehicle Routing Plan for Information Collection Based on Map Characteristics”, Proc. of IEEE GCCE 2025, 2025.

・Naoya Wakasugi, Takahiro Uchiya, Yuichiro Tateiwa, “Verification of Evacuation Guidance Method Using Hierarchical Grouping in Case of Fire”, Proc. of IEEE GCCE 2025, 2025.

・Yuki Kito, Takahiro Uchiya, “Efficient Solution to

the Multi-agent Continuous Cleaning Problem Considering Elapsed Time”, Proc. of INCoS 2025, 2025.
・Masanori Hashimoto, Takahiro Uchiya, “UAV Path Planning for Finding Persons in Need of Rescue After the Disaster, Proc. of NBiS 2025, 2025.
・打矢隆弘, “避難活動と救助救護活動を両立するマルチロボット防災システムの提案”, 合意と共創研究会 2025 年 6 月研究発表会, 2025.
・永沼祥吾，滝雄太郎，藤田茂, “XOR を用いた秘密分散法におけるシェア再構築時の計算量低減手法”, 情報処理学会論文誌, 66, 2, pp.201-210, 2025.
・S. Fujita, K. Sugawara, T. Gidel, C. Moulin and I. Setitra, “Recognition of Group Actions from Individual Actions in Brainstorming Sessions”, 2025 28th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, pp.1362-1367, 2025.
・藤田茂，白鳥則郎, “情報システムの持続性から社会の持続性へ向けた基盤技術――なぜエージェント指向は普及しなかったのか？――”, マルチメディア通信と分散処理（DPS）, 2025-DPS-204, 18, pp.1-6, 2025.
・藤田 茂, “秘密分散・秘密計算による仮想計算機と言語処理系の設計”, DPSWS2025，2025.
・小湊愛奈, 笹井一人, “対人コミュニケーションにおけるストレスを緩和するアバター憑依条件の検証”, 第 26 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2025)予稿集，3B2-01, 2025.
・曽我勇斗，笹井一人, “動的グラフ彩色ゲームにおける協調エージェント間の非同期相互作用に関する解析”, 第 26 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2025)予稿集，3B2-02，2025.
・伊藤優里，笹井一人, “非同期金融情報伝播モデルを用いた市場の臨界性”, 第 26 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2025)予稿集，3B2-03，2025.
・坪村春彦, 笹井一人, “対象の感情的イメージを脱色する創造的画像生成手法の提案”, 第 26 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2025)予稿集, 3B2-06, 2025.
・山地碧維, 笹井一人, “非同期プロセスの導入による弱いボットの影響と効果の分析”, 第 26 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集，3B2-13，2025.
・大場洵星, 笹井一人, “モーション動画に対する視線計測を用いた不気味の谷発生プロセスの解明”, 第 26 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2025)予稿集, 3B2-14，2025.
・Yuri Ito, Kazuto Sasai, “Asynchronous Contagion Financial Pricing Model for Temporal Criticality in Market Behavior”, Conference on Complex Systems 2025, 2025.
・Tetsuya Matsui, Kazuto Sasai, “Trilemma of human-agent interaction”, Discover Artificial Intelligence, Vol. 6, Issue 1, 2025.
・笹井一人, “普遍的臨界性を伴う非同期分散最適化について”, SIGNAC 第 43 回研究会人工知能学会合同研究会，2025.
・笹井一人, “持続的共創のための普遍的臨界とその適用可能性”, 電子情報通信学会合意と共創研究会 (Consen)，2026.
・板垣翔大, 長尾祐登, 古内利明, 福谷遼太, “HMD 上でボール盤の操作を学習できる VR 教材の開発とその評価”, 日本産業技術教育学会誌，pp.169-178，2025.
・野中陽一朗, 柴田里彩, 内田照久, 福谷遼太, 林真希, 玉瀬友美, 岩城裕之, “教職志望学生に対する附属小学校と連携した準正課活動「言葉と数の教室」―「言葉と数の教室」の 4 年間の展開を通した組織的な運営体制と学生参画の実態 ―”, 日本教育大学協会研究年報，pp.303-313，2026.
・田中遥稀, 福谷遼太, 板垣翔大, 安藤明伸, “VR 空間内での設計作業の他者参照と意見交換を可能にするマルチプレイ環境の提案”, 日本産業技術教育学会第 68 回全国大会講演要旨集，2025.
・板垣翔大, 都築駿斗, 古内利明, 小野寺隼人, 福谷遼太, 安藤明伸, “センシングデータを活用した材料と加工の授業の提案”, 日本産業技術教育学会第 68 回全国大会講演要旨集， 2025.
・柴田里彩, 野中陽一朗, 内田照久, 福谷遼太, 林真希, 玉瀬友美, 岩城裕之, “教職志望学生に対する附属小学校と連携した準正課活動「言葉と数の教室」―「言葉と数の教室」の組織的な運営体制と学生参画の実態―”, 令和 7 年度日本教育大学協会研究集会発表概要集，pp.70-71，2025.
・尾木克嘉, 福谷遼太, “小学校通級指導教室における学習支援アプリケーションの活用の試み ー「ことば」と「計算」を伴う学習領域での事例研究ー”, 第 51 回全日本教育工学研究協議会全国大会茨城つくば大会，2025.
・白石光, 明石芳文, 福谷遼太, “楠目小学校における単元内自由進度学習の実践と評価 ー5 年生を対象とした事例研究ー”, 第 51 回全日本教育工学研究協議会全国大会茨城つくば大会，1-H-5，2025.
・水川寛大, 道法浩孝, 福谷遼太, “Python を用いたビジュアル型双方向ネットワークプログラミング教材開発”, 日本産業技術教育学会第 41 回四国支部大会講演要旨集，2025.
・田中遥稀, 福谷遼太, 板垣翔大, 安藤明伸, “VR 空間内での設計作業の他者参照と意見交換を可能にするマルチプレイ環境の試作”, 日本産業技術教育学会第 41 回四国支部大会講演要旨集，2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A32

研究課題名

頭部伝達関数の多点自動計測に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

森川 大輔（富山県立大学 情報工学部 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 情報工学部 知能ロボット工学科）

[2] 当該年度の研究実績の概要

頭部伝達関数の自動計測システムには、超小型スピーカと頭部の縮小模型を用いる。超小型スピーカは通常の頭部伝達関数計測に用いられるラウドスピーカに比べて出力が低いこと、1/n 倍の縮小模型の計測は相似側に基づき n 倍の周波数で行うが超小型スピーカの周波数特性は高域で低下していくことから、計測時の SN が低下する。さらに、自動計測システムに用いるロボットアームの制約から計測環境の SN が悪化する可能性も考えられる。また、頭部伝達関数の高域には、他の周波数に比べてゲインが低下するノッチが存在する。このノッチは仰角の音の定位に重要な手がかりだが、他の周波数に比べ受音点で計測信号の音圧が低下するため、計測精度が低下する可能性がある。そこで、本研究では頭部伝達関数を得るためのインパルス応答計測信号の改良について検討した。

インパルス応答の計測には、時間引き延ばしパルス（Time-Stretched Pulse: TSP）信号が使用されることが多い。一般的な TSP 信号は振幅一定だが、超小型スピーカでは一般的なラウドスピーカに比べ周波数特性の変動が大きいため、ある周波数で音割れ等が発生し正しい計測が出来なくなる場合でも、その他の周波数ではより大きな出力音圧で計測できる。そのため、最大振幅最適化 TSP (Maximum Amplitude Optimized-TSP: MAO-TSP) が提案されている。本手法は超小型スピーカでの可聴域での伝達関数計測時に TSP 信号の振幅補正を行う物だが、本研究ではこの手法を可聴域外の高域まで拡張した。

図 1 に 1/2 縮小模型を用いて、防音室内で行った拡張 MAO-TSP を用いた頭部伝達関数の計測例と一般的な TSP 信号を用いた頭部伝達関数の計測例を示す。計測はサンプリング周波数 96 kHz で行った。縮小模型が 1/2 であることから、実寸の頭部伝達関数をサンプリング周波数 48 kHz で計測したものと理論上同じであり、図の横軸は実寸に合わせて計測周波数を 1/2 にして表示している。

同図から一般的な TSP 信号を用いて計測した頭部伝達関数に比べて、高域のノッチをより深くまで計測できたことが確認できる。したがって、SN の悪化が懸念される自動計測システムにおいても、正確な計測が可能になると考えられる。

[3] 今後の研究の推進方策

構築したシステムで複数のヒトの頭部モデルについて、従来システムでは計測されていない位置を含む多点の頭部伝達関数計測を行う。そして、計測した複数の頭部伝達関数を Audio Engineering Society によって国際標準化された Spatially oriented format for acoustics （SOFA）の形式に変換しデータベースを整備する。

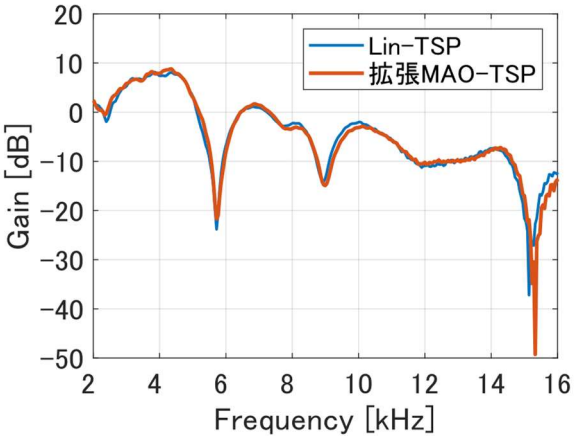


図 1: 頭部伝達関数の計測例

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・松永悠幹, 森川大輔, モクタリ パーハム, 岡崎聡, “縮小ダミーヘッドを用いた正中面における頭部伝達関数の計測, 音学シンポジウム 2026.5.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・松永悠幹, 森川大輔, “最大振幅最適化 TSP 信号を用いた高周波数帯域のインパルス応答計測,” 第 28 回 日本音響学会関西支部 若手研究者交流研究発表会, 2025. 12.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A33

研究課題名

距離に対する聴覚的注意の時空間特性の解明

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
寺岡 諒（室蘭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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

ヒトは，周囲の環境を効率的に把握するために，注意によって情報を取捨選択している。とりわけ聴覚は，360°あらゆる方向からの音を捉えることができるため，この機能がとりわけ重要な役割を担っている。しかし，従来の情報通信システムの多くは，こうした情報の受け手の注意機能を十分に考慮してこなかった。高臨場感を提供するシステムの構築にあたっては，ヒトの注意機能，とりわけ注意が向けられる際の時間的，空間的な特性（注意が及ぶ範囲や，注意を向ける前後における効果の時間変化）を知ることが肝要である。本研究課題では，注意機能による情報削減の様相を知るため，特に聴覚に対する注意（聴覚的注意）の時空間特性を系統的に検討することを目的とした。

本年度は，奥行き方向に対して自動的に向けられる聴覚的注意（外因性聴覚的注意）に着目し，その効果と空間特性を検討した。

ず特定の距離（32，96，160 cm）から 100 ms のピンクノイズ（キュー音）が呈示された後，ISI（100，200，400 ms）を経て，5 ヶ所のいずれかから標的音が呈示された。参加者の課題は，この標的音の種類を判断してそれぞれに対応するボタンを素早く押下することであった。標的音はキュー音と同じ距離（Valid）または異なる距離（Invalid）から呈示され，両条件は 50%ずつ含まれた（Invalid 条件は Valid 以外の 4 距離で各 12.5%）。

Figure 1
Schematic illustration of the experimental setup

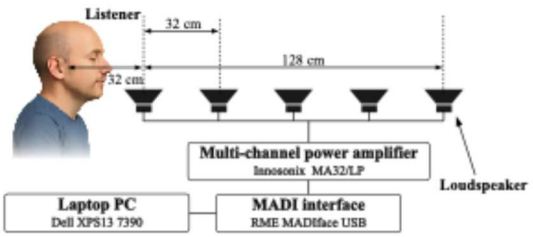
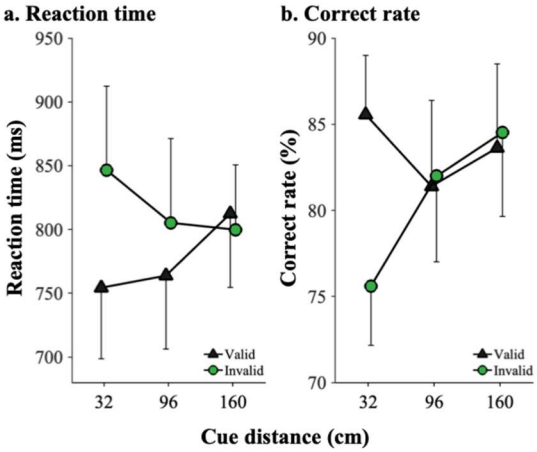


Figure 2
Reaction time (a) and correct rate (b) as a function of cue distance (32, 96, and 160 cm).



実験の結果，反応時間および正答率のいずれにおいても，キュー音と標的音の距離の一致性と，キュー音が呈示される距離との交互作用が認められた。詳しく見ると，身体近傍である 32 cm 条件では，キュー音と標的音が同じ距離から呈示された場合に反応時間が短縮し，正答率も向上した。一方，96 cm および 160 cm 条件では，同様の促進効果は明確には認められなかった。これらの結果は，奥行方向における外因性聴覚的注意効果が，身体近傍の空間で特に顕著に生じることを示している。

[3] 今後の研究の推進方策

昨年度・本年度の研究により，奥行方向に向けられる注意について，自らの意思で向ける注意である内因性注意と，自動的に向けられる注意である外因性注意という異なる側面から，その効果と空間特性を明らかにした。しかし，これまでの研究でサンプリングした距離間隔は約 32 cm であり，聴覚が有する奥行方向の空間分解能を踏まえると，注意効果の空間的広がりを詳細に捉えるには粗い可能性がある。そこで今後の研究では，距離間隔をより細かく設定し，奥行方向における注意効果の空間分布を精密に検討する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

［論文］

・**Teraoka, R.**, Tanaka, Y., & Teramoto, W. “Effects of auditory selective attention in depth direction on target sound detection,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 46(6), (2025).

［国内学会・シンポジウム等］

・**寺岡　諒**，原田新也，黒田尚輝，山下大和，寺本　渉，”恐怖を喚起させる音は聴覚探索を促進するか？” 映像情報メディア学会 ヒューマンインフォメーション研究会，那覇市 IT 創造館，沖縄県那覇市，2 月 17-18 日（2026）.

・**寺岡　諒**，黒田尚輝，寺本　渉，”加齢が聴覚の身体近傍空間の方位依存性に及ぼす影響.” 第 16 回多感覚研究会，京都大学吉田キャンパス，京都府京都市，2 月 14-15 日（2026）.

・**寺岡 諒**，中 貴一，山﨑大暉，寺本 渉，坂本修一，北川智利，”聴覚における奥行き方向に対する外因性注意効果の検討.”日本基礎心理学会第 44 回大会， 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター， 新潟県新潟市， 11 月 28-30 日（2025）.

・**寺岡　諒**，中　貴一，山﨑大暉，田中優希，北川智利，”実環境における奥行き方向に対する外因性聴覚的注意効果.”日本音響学会 2025 秋季研究発表会，東北工業大学，宮城県仙台市，9 月 10-12 日（2025）.

・金子優一朗，**寺岡　諒**，山﨑大暉，小林洋介，”音声知覚を用いた注意の前後移動特性の検討.”日本音響学会 2025 秋季研究発表会， 東北工業大学， 宮城県仙台市， 9 月 10-12 日（2025）.

・**寺岡　諒**，”加齢は聴覚の身体近傍空間をどう変えるか？[話題提供].”シンポジウム 高齢者における多感覚統合の諸相， 日本心理学会第 89 回大会， 東北学院大学， 宮城県仙台市， 9 月 5-7 日（2025）.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Harada, S., **Teraoka, R**., Kuroda, N., & Teramoto, W. “Sound-Induced Visual Motion Perception in Older Adults: Aging Enhances Audiovisual Motion Integration.” *Exp. Brain Res.*, *244*(86) (2026).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/A36

研究課題名

6G モバイルネットワークに関する次世代アーキテクチャの検討及び性能評価

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
阿部 修也（福井工業大学経営情報学部）

通研対応教員：
長谷川 剛（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、前年度に構築したシミュレータ等の環境を活用および拡張し、以下の 2 つのアプローチから次世代モバイルネットワークのアーキテクチャ検討と性能評価を実施した。

第一に、サーバレス環境及びコンテナ環境におけるマイクロサービス実装の性能比較を定量的に評価した。両環境の異なるスケーリング特性を組み込んだ統一的な待ち行列システムのシミュレータを構築し、多様な負荷条件下でシミュレーションを実施した。その結果、コンテナ環境では CPU 使用率に基づくスケーリング遅延により負荷急増時に待機時間が増加すること、サーバレス環境ではリクエスト到着頻度とアイドルタイムアウト時間のトレードオフによって待機時間が複雑に変化することを明らかにした。さらに、コンテナ環境においてリクエストのキューを各コンテナ内ではなくロードバランサに実装することで、負荷急増時の長時間の待機リクエスト蓄積が抑制され、システム応答性が大幅に改善されることを示した。

第二に、多様な通信要求を収容する 5G スライシングの効率化に向け、深層学習（GRU）を用いたトラヒック予測に基づく動的リソース制御手法を提案した。実用性の検証として、free5GC および UERANSIM を用いた OSS ベースの実験環境を構築した。ミラノの実際のトラヒックデータセットを用いた予測性能の評価実験を設計し、OSS 環境における予測ベースの動的リソース再分配の実現可能性を定量的に示した。

[3] 今後の研究の推進方策

当該年度の成果を踏まえ、今後は以下の推進方策に沿って研究を展開する。

- マイクロサービスの稼働環境について、トラヒック予測アルゴリズムをスケーリング機能に組み込んだ予測型スケーリングを実装し、負荷変動に対するコンテナ環境の応答性改善を評価する。
- 実運用を考慮し、サーバレス環境の実行時間課金やコンテナの稼働時間課金といったビジネスモデルの違いを組み入れた性能・コスト比の評価を導入する。
- 複数のサービスが連鎖する複雑なネットワークトポロジを想定し、通信遅延や依存関係を組み込んだシステム全体の性能評価を行う。
- 動的リソース制御については、構築した OSS 環境を用いて実際の自動リソース再配分を実行し、それに伴うオーバーヘッドやネットワークの安定性に関する定量的な実証実験を行う。
- 複数スライス間でのリソース競合を最適に解決するため、強化学習の導入に向けた検討を進める。

これらの研究を通じて、多様化・複雑化する通信要求に対し、最適な仮想化基盤の選択と動的運用に資する定量的な指針を引き続き提供することを目指す。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・阿部修也, 長谷川 剛, "サーバレス実装及びコンテナ実装によるマイクロサービスの性能比較," 信学技報 125(285) 115-122 2025 年 12 月 4 日.
・吉村美結, 阿部 修也, "深層学習によるトラヒック予測を活用した 5G スライシングにおける動的リソース制御の提案と実装に向けた一検討," 信学技報 125(385) 545-550 2026 年 2 月 25 日.

(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（2025 年度）

採択番号　R06/A37

研究課題名

高効率化かつ低損失な海水中非接触電力伝送システムの検討

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究では、前年度に作製したリッツ線コイルおよび単線コイルの電気特性評価結果を踏まえ、海水中非接触電力伝送システムにおける損失要因の解明と効率向上に関する検討を行った。前年度の検討により、リッツ線コイルは塩水環境においても交流抵抗を低減できることが確認されていることから、本年度はこれをシステム全体の性能評価へと展開した。まず、単線コイルおよびリッツ線コイルを用いた非接触電力伝送実験を実施し、入力電力と出力電力の関係から伝送効率を評価した。その結果、コイルにおける交流損失がシステム全体の効率低下の主要因の一つであることを改めて確認するとともに、リッツ線コイルの適用により伝送効率が向上することを示した。特に、導電性媒質中では近接効果の影響が強く現れることから、コイル構造の最適化が重要であることが示唆された。次に、伝送特性の評価指標として結合係数と品質係数の積である kQ 積に着目し、周波数特性の解析を行った。その結果、空気中とは異なり、塩水 3%においてはリッツ線コイルの kQ 積が約 85 kHz 付近で，塩水 7%においては約 50 kHz 付近で最大となることが確認され、本システムにおける高効率動作点の存在が明らかとなった（図 1）。また、この結果は、導電性媒質による損失増加と共振特性の変化が、システムの最適動作条件に大きく影響を与えることを示している。さらに、得られた kQ 積に基づき最適負荷抵抗を導出し、その有効性を検証するため海水中非接触電力伝送実験を実施した。その結果、最適負荷条件を適用することで伝送効率が向上し、特に塩水環境において最大約 7%の効率改善が得られた（図 2）。また、最適負荷を適用した条件では、海水中においても空気中と同等以上の効率が得られる場合があることを確認し、回路条件の最適化が媒質による損失増加の影響を補償できる可能性を示した。

本内容は、東北大学電気通信研究所で 2025 年 12 月 16 日に開催した共プロ合同研究会（「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」「人体領域通信用指向性伝搬特性に関する研究」と共催）において発表された。

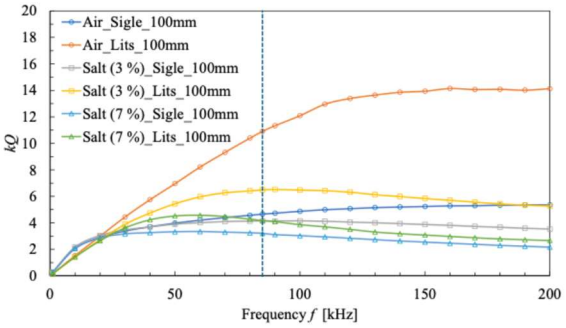


図 1 kQ 積の周波数特性（伝送距離 100 mm）

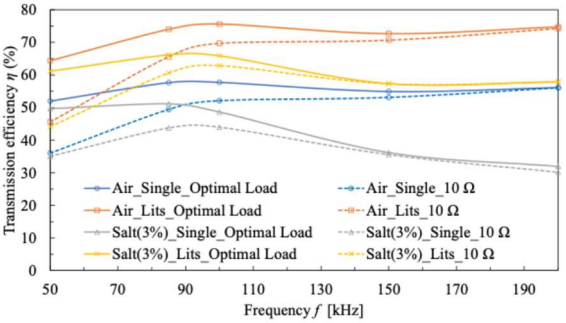


図 2　最適負荷時の伝送効率

[3] 今後の研究の推進方策

有限要素解析を用いた磁束密度分布の可視化により、導電性媒質中における電磁界変化および損失発生領域を明らかにする。さらに実環境を想定した条件下で伝送効率を評価する。導体損失の理論的評価には、従来、表皮効果および近接効果を考慮可能な Dowell の式が広く用いられているが、非導電環境を前提として導出されたものであり、海水のような導電性媒質中にそのまま適用することが難しい。そこで、Dowell の式を基準モデルとして位置付け、導電性媒質中での実験結果および解析結果との差異を評価し、海水環境に適した経験的モデルの構築を行う。また、本研究で得られた実験・解析結果を整理・統合し、リッツ線による交流損失低減効果および導電性媒質中における周波数依存損失の特性を体系化することで、水中非接触電力伝送システムの設計指針を提示する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

A. Mizota, T. Furuhashi, H. Tanaka, H. Sugino, M. Inamori, “Evaluating Salinity Effects on Wireless Power Transmission Efficiency in Marine Environments,” Discover Applied Sciences, volume 7, article number 758, July 2025.

・S. Anzai and M. Inamori, “Loss Analysis of Wireless Power Transfer System Using Litz Wire Coil in Seawater”, in Proc. ISAP 2025, Oct. 2025.

・Y. Watanabe, S. Anzai, and M.Inamori, “Antenna Evaluation for Wireless Power Transfer System in Seawater", in Proc. Joint Workshop of TJMW&AWPT 2025, Oct. 2025.

・S. Anzai, Y. Watanabe, and M.Inamori, “Loss Analysis of Wireless Power Transmission System Using Litz Wire in Seawater", in Proc. Joint Workshop of TJMW&AWPT 2025, Oct. 2025.

・M. Inamori and S. Anzai, “[Invited] Experimental Investigation of Underwater Wireless Power Transmission System”, in Proc. RFIT2025, Aug. 2025.

・安齊 空, 矢野 貴之, 稲森真美子, “海水中非接触電力伝送と通信統合に向けたアンテナ特性の基礎検討,” 電子情報通信学会総合大会，2026 年 3 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　　R06/A38

研究課題名

視聴覚における注意の特性の検討

[1] 研究組織
研究代表者：
山本 浩輔（早稲田大学理工学術院総合研究所）
通研対応教員：
齋藤 五大（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
寺岡 諒（室蘭工業大学）
坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間
2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

人間の視覚と聴覚における注意の働きについて，特に空間的注意と特徴的注意の特性の違いを明らかにするため，心理実験により検討することを目的とした。

感覚情報処理における注意とは，刺激の情報に予め注意を向けることでその情報の受容時に処理を促進する機能および現象である。注意は主に刺激の空間位置に対する注意と特徴に対する注意について検討されており，特に空間的注意については視聴覚に共通の制御メカニズムの存在が示唆されている(Fritz et al., 2007; Shinn-Cunningham, 2008)。特徴的注意についても，視覚と聴覚それぞれにおいて空間的注意とは異なる神経的基盤の関与が明らかになっている。一方で，両感覚モダリティにおける空間的および特徴的注意がそれぞれどのような関連があるのか，例えば両注意の優先性やトレードオフについては未だ明らかになっていない。先行研究では，視覚においては特徴的注意よりも空間的注意が優先的に機能することが示唆されているが，聴覚については両タイプの注意の特性の違いについて報告された例はなく，また両感覚モダリティについて同一の実験事態を用いた注意タイプの比較検討は今までなされていなかった。

本プロジェクトではこれらを明らかにするため，電気通信研究所本館に配備の無響室および三次元スピーカーアレイ（図 1）を用いて実験心理学的手法による検討を行った。

[4]研究計画及び内容

初年度には聴覚実験のための実験デザイン策定，環境の整備および予備実験を実施した。刺激音の到来方向への注意による実験課題成績の変動について検討するため，三次元スピーカーアレイ上の複数方向のスピーカーから音刺激を呈示し，スピーカー上に設置した LED による光刺激によって注意が誘導された方向と刺激音の方向との一致不一致を操作した（図 2）。刺激特徴への注意としては，先行研究でも用いられている純音の音高が上昇・下降・ランダムに変化する音列パターン（Arbogast & Kidd, 2000）を用い，標的音のパターンと刺激音のパターンの一致不一致を操作することで，パターン判断の精度や反応時間に対する特徴的注意による反応促進効果について検討した。さらに両タイプの注意を組み合わせた条件では，特定の方向のスピーカーから呈示される特定の特徴の音にのみ反応を求める課題により，空間的・特徴的注意の複合による反応促進効果について検討した。空間のみ，特徴のみ，空間と特徴に対する複合注意の 3 条件における反応促進効果を比較することで，聴覚においてどのタイプの注意がより有効に機能しているのかについて検討した。実験の他には，電気通信研究所での打ち合わせおよび実験環境整備を 3 回，オンラインでの打ち合わせを 2 回行った。



図 1.　本実験で使用した刺激呈示

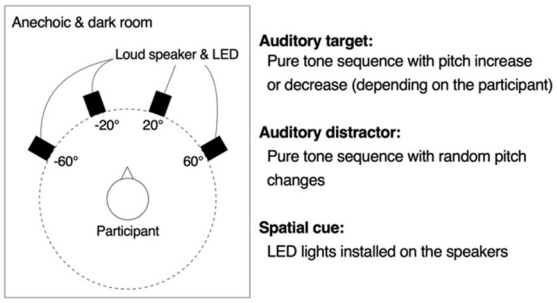


図 2.　刺激呈示図

次年度には前年度の予備実験で得た知見をもとに実験計画を精緻化し，本実験を実施した。計24 名の実験参加者によるデータを収集し，得られた結果について電気通信研究所本館にて議論を行った。実験の他には電気通信研究所での打ち合わせおよび実験環境整備を 3 回行った。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

実験では一試行に手がかり刺激と空間的，特徴的または複合的に一致する後続刺激を検出する課題を行い，音の空間情報に注意を向ける条件，特徴情報に注意を向ける条件および複合的に注意を向ける条件の間で反応時間および信号検出理論による弁別精度指標を比較した。また，複数音源中の検出対象となる刺激以外の妨害刺激の数による影響について分析を行った。

反応時間は空間条件と特徴条件に比べ複合条件で最も遅いが，空間条件では妨害刺激の数が増えると顕著に反応時間が増加することが明らかになった（図 3）。次に，判断精度の指標として d'を条件間で比較したところ，空間条件に比べ複合条件で有意に高い精度であり，特徴条件では両条件の中間であった。精度について妨害音数による Hit 率と False alarm 率への影響を分析したところ，False alarm 率は空間条件でのみ妨害音が増えると増加し，精度が低下することが明らかになった（図 4）。さらに，複合条件で手がかり刺激と後続刺激が一致しない試行群は空間的な不一致試行，特徴的な不一致試行および複合的な不一致試行で構成されるが，これらの試行における反応時間および False alarm 率を比較した。反応時間は複合不一致，特徴不一致，空間不一致の順に遅くなった。また False alarm 率は複合不一致試行でのみ有意に低く，判断が正確であった。このことは，聴覚において空間情報の処理がより時間を要することを示唆している（図 5）。

以上の結果から，聴覚における空間的注意と特徴的注意の処理の特性として，特に検出の標的となる刺激以外の音源がノイズとして多く存在する場合には，空間的注意による検出の速度および精度が阻害されることが示唆された。一方で特徴的注意については空間的注意に比べノイズによる影響が小さいことが明らかになった。

これらの研究成果について，国際学会 1 件および国内学会 1 件の発表を行った。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトは実験心理学や情報工学を専門とする若手研究者 3 名が主導するものであり，学会や共同プロジェクト研究発表会での発表を通じて，若手研究者のネットワーク拡大に貢献するものであった。

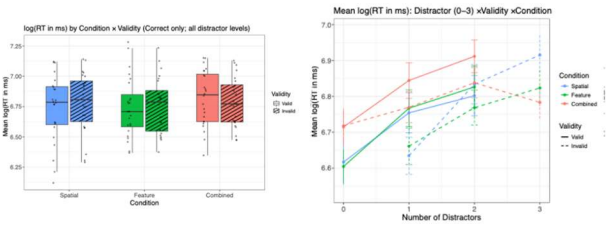


図 3.　各条件における反応時間の平均値

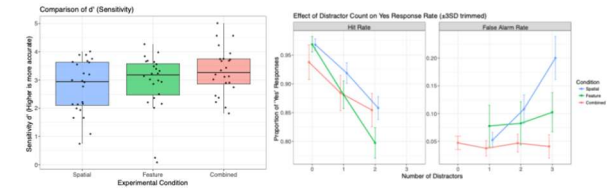


図 4. 各条件における d', Hit および False alarm 率

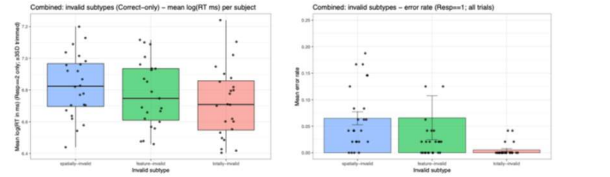


図 5. 複合条件の空間不一致・特徴不一致・複合不一致試行における反応時間と False alarm 率

本プロジェクトで行った実験のフォローアップ研究，および発展的研究を実施するため，2026 年度から 3 年間の新たな共同プロジェクト研究「視聴覚のターゲット検出における注意の特性の検討」を遂行中である。

[6] まとめと今後の課題

本研究プロジェクトでは人間の視覚と聴覚における注意の働きについて，空間的注意と特徴的注意に焦点を当て検討を行った。先行研究で一定の示唆がある視覚に比べ知見が少ない聴覚について，電気通信研究所の設備を活用した実験を行い，注意の特性について一定の示唆が得られた。

一方で，本プロジェクト期間内で実施できた実験では統制できなかった変数が結果に影響を与えている可能性を排除できず，フォローアップ実験が必要である。後続となる共同プロジェクト研究課題ではこの点について考慮した実験を実施し，雑誌論文の投稿・出版を目標とし研究を進める予定である。

また，本プロジェクトの当初の計画には聴覚実験と同様の課題を視覚に置き換えた実験や，両感覚モダリティの相互作用に関する実験が含まれていたが，プロジェクト期間内では実現できなかった。今後，前述の聴覚研究の完了後にこれらの発展的テーマによる実験を実現できるよう，実験デザインを現在計画中である。

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

該当なし

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

- Yamamoto, K., Teraoka, R., Saito, G., and Sakamoto, S. (2025). Differential effects of spatial and feature-based attention on auditory target detection. Sixth Joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (Honolulu).
- 山本浩輔・寺岡諒・齋藤五大・坂本修一 (2025). 聴覚ターゲット検出における空間的注意と特徴的注意の特性の検討 日本基礎心理学会第 44 回大会（新潟県新潟市）

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A01

研究課題名

直流スピン軌道トルクによる局所領域磁化歳差運動制御の検討

[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

強磁性薄膜局所領域で磁化の歳差運動を励起すると、周囲にその運動は伝搬し、スピン波とよばれる磁化運動の波が誘起される。スピン波同士の干渉効果や伝搬先にある波源との相互作用等による非線形な特性は、物理現象を利用して機械学習を実行する物理リザバーコンピューティングへの応用が期待されている。しかし、入力信号をスピン波に変換する技術やスピン波の特性を制御する技術の確立が必要である。そこで本研究では、強磁性薄膜の磁化のねじれ構造を利用した、スピン波の局所的励起および特性制御を可能とする技術に向けた検討を行う。

今年度は磁化のねじれ構造を実現するために、強磁性絶縁体薄膜上に一部を Pt で構成する高周波伝送路を形成した試料を作製しその特性評価を行った。この高周波伝送路に直流電流を印加すると Pt 領域を流れる伝導電子にはスピン軌道トルク（SOT）が強磁性層に印加されるため、Pt 領域直下近傍のみ、局所的に磁化方向を変えられることが期待される。

図 1 には本研究の試料素子の構造を示す。強磁性層として磁気ダンピング定数が著しく小さくスピン波伝搬距離が mm オーダーと非常に長いことが知られているイットリウム鉄ガーネット（YIG）単結晶薄膜を用いた。非磁性層として、スピン軌道相互作用が大きく耐食性にも優れる Pt を選択し、YIG/Pt 積層膜を用いて実験を行う。積層膜から後述する高周波伝送路の信号線の一部を Pt/YIG 積層膜とする試料素子を作製し、面内磁場印加型の高周波プローバを利用して評価した。ねじれ構造が発生するとその領域の有効磁場が増加する。そのため、一定周波数の高周波電力を素子に印加した場合、大きく高周波電力が吸収される強磁性共鳴の励起に必要な外部磁場は低

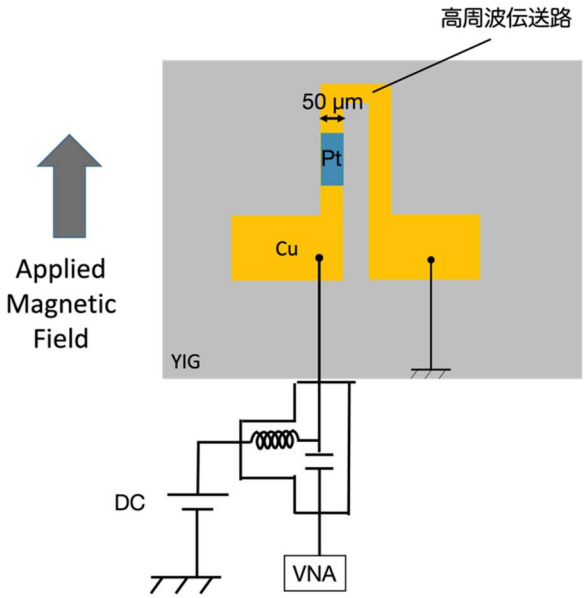


図 1　測定試料構造及び測定方法

磁場側にシフトすることになる。しかしながら、今回の実験においては期待される強磁性共鳴条件の変化は検出されなかった。この原因として、Pt 層から強磁性絶縁層にスピン軌道トルクが加えられていない可能性がある。そこで、本素子においてスピン軌道トルクの有無を確認するために ST-FMR 測定を実施した。結果を図 2 に示す。スピン軌道トルクが加えられていると信号に対称成分が現れる。本試料においても対称成分が検出され

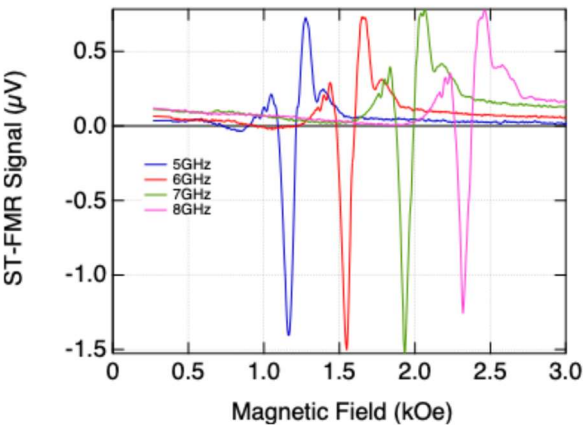


図 2　ST-FMR 測定結果

ており、期待通り Pt からスピン軌道トルクが磁性層に加えられていると考えられる。したがって、期待される変化が検出されていない主な原因はスピン軌道トルクの大きさが弱く、磁化のねじれを生じさせられていないことが考えられる。

[3] 今後の研究の推進方策

今年度は強磁性薄膜の局所領域にスピン軌道トルクを加えることで磁化のねじれを誘起することを検討したが想定される局所領域の強磁性励起条件変化が検出されなかった。そこで、次年度は局所領域の磁化のねじれを異なる素子構造で誘起することを検討する。具体的には希土類遷移金属合金と強磁性合金積層膜を作製し、その界面で遷移金属磁気モーメント間の交換結合を利用する。マイクロマグネティクスを用いた数値計算では希土類遷移金属の組成を制御することによって磁化のねじれ構造が作製できることが示唆されている。次年度はこの試料の作製と高周波応答を実施する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・点波源生成に向けたスピン軌道トルクで励起される局所磁化ダイナミクスの励起電流密度および距離依存性数値シミュレーション
神田哲典, 中川 碧, 室賀 翔, 遠藤 恭, 石橋隆幸
第 49 回日本磁気学会学術講演会 2025 年 9 月 18 日

共同プロジェクト研究

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **2025A02**

Title **Emergent spin-orbit torques in 2D all van der Waals heterostructures for quantum spin-orbitronics**

[1] Principal Investigator (PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：Dr. Samik DuttaGupta, Associate Professor (E), Saha Institute of Nuclear Physics (SINP)

Research collaborator of RIEC：Prof. Dr. Shunsuke Fukami, RIEC, Tohoku University

[2] Summary of Research Results for the Year

Two-dimensional (2D) van der Waals (vdW) materials have drawn significant attention owing to their prospect for 2D magnetism, spintronic and quantum device applications. Quasi two-dimensional metallic ferromagnet (FM) Fe_3GeTe_2 (FGT), an archetype 2D FM, has gathered significant attention owing to its relatively high Curie temperature, large anomalous Hall effect (AHE), significant uniaxial magnetic anisotropy, controllable Curie temperature (T_C), heavy fermion behavior, and unconventional magnetic ground state, down to the atomic limit. Previous investigations in single-crystalline bulk have demonstrated the existence of complicated spin configurations including labyrinth domains, bubble domains as well as topologically protected skyrmion-like spin structures in this centrosymmetric system. In this context, thickness dependent studies entail a critical aspect of their behavior, leading to the emergence of unconventional properties with reduction in layer number. First principles calculation at reduced dimension predicts the existence of geometrically frustrated spin configuration, manifesting in an intraplanar antiferromagnet (AFM) state while the interplanar exchange interactions stabilize the overall FM ground state. Intuitively, the presence of these competing interactions is expected to lead to non-zero scalar spin chirality (SSC), resulting in an effective pseudo-magnetic field through the quantum mechanical Berry curvature in momentum space or can also serve as scattering sources for conduction electrons, phonons etc., leading to non-trivial electronic properties. Consequently, for a material system like FGT, the competitive yet intricate balance between the various interactions along with thermal fluctuations might lead to fascinating effects at low dimensions compared to bulk.

Single crystals of FGT and $(Co_{0.25}Fe_{0.75})_3GeTe_2$ ($Co_{0.25}$FGT, hereafter) were grown by chemical vapor transport method with a temperature gradient of 750/650º C. We first exfoliated the flakes from bulk single crystals using a scotch tape method. Next, the exfoliated flakes were transferred to a viscoelastic polydimethylsiloxane (PDMS) stamp and subsequently transferred to the Cr/Au prepatterns on Si/SiO_2 substrates using a dry transfer technique. Cr/Au layers were fabricated using a lift-off photolithography technique. Transverse and longitudinal resistance measurements on the nanoflake devices under H applied parallel or perpendicular to the surface of the exfoliated flakes were carried out using a Quantum Design physical property measurement (PPMS) system.

Figure 1(a) shows the optical micrograph of a typical exfoliated device used for magnetotransport measurements. Figure 1(b) shows the atomic force microscopy image of the exfoliated flake devices, where the orange line indicates position of the line scan for flake thickness determination. From the height profile, we obtain a thickness of ~28.3 nm for $Co_{0.25}$FGT, and ~ 32.6 nm for FGT, respectively (Fig. 1(c)). To clarify for any variation of electronic properties compared to their bulk counterparts, we measure the longitudinal resistance (R_{XX}) versus T for $Co_{0.25}$FGT and FGT (Fig. 1(d)) in a four-probe geometry. Both $Co_{0.25}$FGT and FGT nanoflakes exhibit metallic behavior along with a hump-like feature (indicated by arrows) around T_C, in good agreement with the magnetization measurements. Figures 1(e), (f) show the experimental results of transverse resistance (R_{XY}) under applied H_Z (|| c-axis) and current I (|| ab-plane), *i.e.*, magnetic field applied along the magnetic easy-axes. For this configuration, we observe a sizable Hall resistance, previously attributed to anomalous Hall effect (AHE), possibly originating from topological nodal lines in the band structure with the magnetization pointing along the easy axis. For FGT nanoflake devices, we observe a virtually square-shaped hysteresis with coercive field (H_C) ~ 94.7 mT at T = 50 K, reminiscent of the hard magnetic behavior originating in the single domain regime. For $Co_{0.25}$FGT, we also observe a similar square-shaped hysteresis curve with a much-reduced H_C ~ 35 mT at T = 50 K. These differences between FGT and $Co_{0.25}$FGT can be attributed to the weakening of exchange and anisotropy interactions associated with Co-doping, consistent with our previous results.

Interestingly, for applied field along the x direction (H_X || I ⊥ c-axis), we observe a significantly different behaviour leading to the emergence of a prominent cusp-like feature (Figs. 1(g) and (h)). The

finite value of R_{XY} at zero field corresponds to AHE with the magnetization along the z-direction followed by a cusp-like feature, insensitive to H_X direction, while a further increase of H_X results in a subsequent reduction of R_{XY} magnitude.

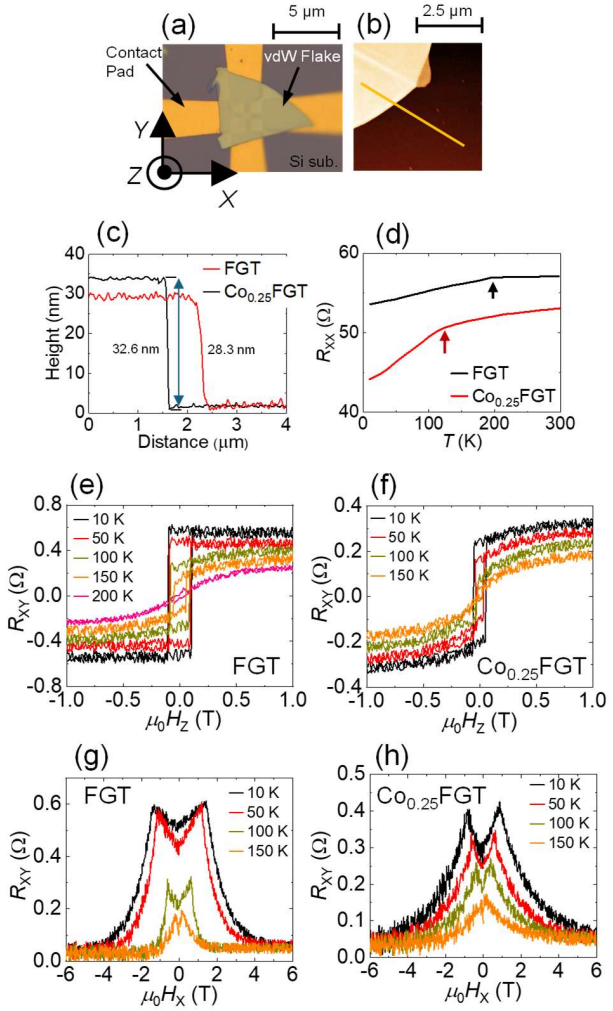


FIG. 1: (a) Optical micrograph of FGT device showing the pre-patterned contact pads with the exfoliated flake on top. Scale bar is 5 μm. (b) Atomic force microscope (AFM) image of FGT nanoflake at the edge. The orange line shows the position of the line scan for determination of FGT flake thickness. Scale bar is 2.5 μm. (c) Height versus distance obtained from AFM image analysis for FGT and $Co_{0.25}FGT$. (d) Experimental results of T dependence of longitudinal resistance (R_{XX}) for FGT and $Co_{0.25}FGT$. The black arrows correspond to the magnetic ordering temperature (T_C) in the nanoflake devices. (e) Experimental results of transverse resistance (or Hall resistance) (R_{XY}) versus H_Z (|| c-axis) for FGT nanoflake devices at T = 10, 50, 100, 150 and 200 K. (f) R_{XY} versus H_Z (|| c-axis) for $Co_{0.25}FGT$ nanoflake devices at T = 10, 50, 100, 150 K. (g), (h) Experimental results of Hall resistance (R_{XY}) versus H_X ($\perp c$-axis) for FGT and $Co_{0.25}FGT$ nanoflake devices at T = 10, 50, 100, 150 , respectively.

Note that unlike topological or unconventional Hall effect arising from underlying topologically protected spin textures which reverses it sign upon reversal of the magnetic field ($\perp$ c-axis) direction, R_{XY} is invariant with respect to the direction of H_X, regardless of Co-doping, indicating a different mechanism for the observed behaviour. Complementary atomistic calculations reveal cancellation of symmetry-breaking interactions among adjacent monolayers, while competitive AFM, FM interactions result in thermally assisted frustrated spin configuration manifesting in a non-zero SSC, leading to the observed behavior. Considering this intrinsic origin of SSC, we believe that a further reduction of FGT (or $Co_{0.25}FGT$) thickness towards the ultrathin regime might qualitatively preserve the cusp-like behavior, while the position of the cusp-maximum is expected to be sensitive to any variations of the underlying interactions *viz*. magnetic anisotropy, demagnetization energy, and Zeeman energy. The present study hereby signifies the critical role of magnetic frustration and/or fluctuation effects on unconventional magnetotransport phenomena in few-layer vdW FMs, offering a compelling avenue for understanding of non-collinear spin-configurations in 2D magnets for development of advanced spintronic devices.

[3] Future Research Promotion Measures

The emerging field of 2D spintronics 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 2D magnets enabling clarification and enunciating new routes towards control and manipulation of magnetism down to the 2D limit. In the next year, we plan to extend our achievements and investigate (1) spin-dependent electronic transport in vdW FM/non-magnet (NM) heterostructures, and (2) current-induced control of magnetic order and/or spin textures in vdW FM/NM mesoscopic devices which might enunciate new avenues in magnetism and spintronics. The obtained results would bear substantial implications for the development of future spintronic devices for conventional and unconventional computing architectures.

Appendix

(1) Papers:

Rajeswari Roy Chowdhury *et al.*, Applied Physics Letters **127**, 012409 (2025).

(2) Conference Presentations:

(1) **S. DuttaGupta**, "Unusual magnetic and magnetotransport characteristics of two-dimensional van der Waals magnets", Symposium on Magnetism and Spintronics, January 21st-24th 2026, IIT Hyderabad (invited talk).

(2) Sachin Majee, **S. DuttaGupta** *et al.*, "Cluster-driven exchange bias in an intercalated van der Waals antiferromagnet", Advances in Quantum Materials Using Synchrotron Techniques (AQMUST2026), February 24th-27th 2026, Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata (poster presentation).

(3) **S. DuttaGupta**, "Magnetic and magnetotransport characteristics of two-dimensional van der Waals magnets", IIT(BHU)-NIMS Joint Workshop on Trends in Quantum Materials, March 24th 2026, IIT BHU (invited talk).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A03

研究課題名

大規模量子技術の開発に向けた自動制御・自動最適化に関する研究関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
福原 武（早稲田大学 大学院先進理工学研究科）

通研対応教員：
大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

冷却原子系における量子技術制御へ自動制御・自動最適化技術を適用し、その性能および汎用性を向上させることが本研究の目的である。当該年度は、量子気体顕微鏡実験における測定後の冷却パラメータの自動最適化に取り組んだ。

量子気体顕微鏡を用いることで、光格子中の原子を単一原子・単一格子サイト分解能で観測することができる。一方で、通常の蛍光測定では原子が加熱され振動励起を受けるため、同一サンプルに対する繰り返し測定が困難であるという課題があった。そこで本研究では、測定後にラマンサイドバンド冷却を適用し、原子を再び振動基底状態へ冷却することで、サンプルを繰り返し利用可能とする技術開発を行った。ラマンサイドバンド冷却では複数のレーザー光を用いるため、それぞれの強度や周波数を適切に最適化する必要がある。しかし、各パラメータ間には強い相関が存在するため、個別にパラメータを調整する従来手法では最適条件を効率よく探索することが困難であった。そこで、ベイズ最適化を用いた冷却パラメータの自動最適化を実施した。

本最適化において最も重要となるのは、各パラメータ条件に対する冷却性能を定量的に評価するための“スコア”（損失関数）を適切に設計することである。冷却が十分機能している場合には、繰り返し測定を行っても原子が同一格子サイトに留まる確率が高くなる（図 1）。そのため、本来は各画像において原子位置を同定し、原子移動率の低い条件を高評価とするスコアが望ましい。しかし実験では、測定ごとに光格子位置がわずかにドリフトすることや、原子蛍光強度が変動することにより、通常の画像解析では安定した評価が困難であった。

そこで当該年度は、まず画像中の特定領域における蛍光量を積算し、1 枚目と 11 枚目のその値の比をスコアとして用いる手法を採用した。このスコアは原子移動を直接評価するものではないが、冷却後に光格子深さを下げて加熱の影響を顕著化することで、冷却性能を反映する有効な指標となることを見出した。これにより、ベイズ最適化を通じてラマンサイドバンド冷却パラメータを効率的に最適化し、測定後においても約 80%の原子を振動基底状態まで再冷却することに成功した。

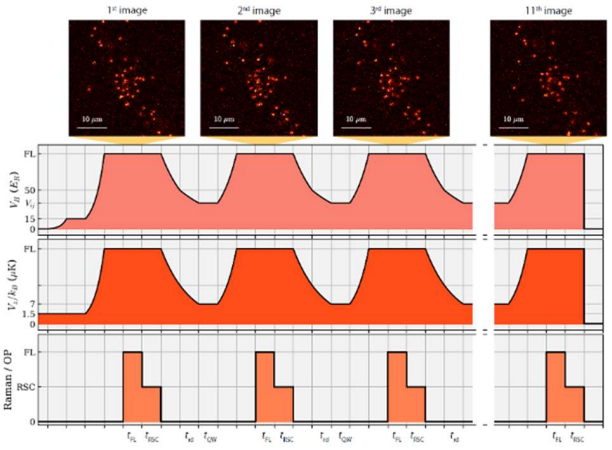


図 1：蛍光イメージを 11 回繰り返し行った際の画像と実験シークエンス。

さらに、この結果を用いることで、1 回の実験において 11 枚の連続画像取得を実現した。得られた連続画像の差分解析から時間発展後の原子分布を再構成し、光格子中を運動する単一原子の量子ウォーク観測を実現した（図 2）。

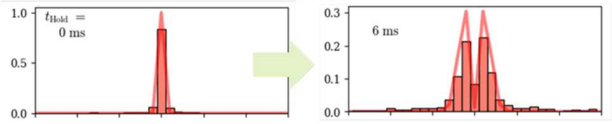


図 2：単一原子の量子ウォークの観測。連続する画像の差分から、ダイナミクス時間後の原子分布を再構成した（左下：0 ms、右下：6 ms）。

[3] 今後の研究の推進方策

当該年度では、画像中の特定領域における蛍光量をスコアとして用いることで、ラマンサイドバンド冷却パラメータの自動最適化を実現した。一

方で、この方法は原子移動そのものを直接評価する指標ではなく、適用可能な条件にも制約がある。そのため、今後はより汎用性の高い自動最適化を実現するために、量子気体顕微鏡画像から原子分布を高速かつ安定的に同定する画像解析技術の開発を進める。

その具体的手法として、ニューラルネットワーク、特にオートエンコーダーを用いた画像解析の導入を検討している。量子気体顕微鏡画像では、光格子位置のドリフトや蛍光強度の揺らぎが存在するため、従来型の閾値処理や単純なフィッティングでは安定した解析が困難である。一方、ニューラルネットワークを用いることで、これらの変動に対して頑健な特徴抽出や原子配置推定が可能になると期待される。これにより、原子移動率や励起状態生成率を直接スコア化し、より高精度かつ汎用的なベイズ最適化へ発展させることを目指す。

また、通研対応教員の研究室では、ニューラルネットワークを用いた量子ドット系の電荷状態推定技術などが既に実現されており、機械学習を実験データ解析へ応用するための知見やノウハウが十分蓄積されている。今後は議論を通じて、既存技術の冷却原子実験への適用可能性を検討し、画像解析および自動最適化技術の高度化を進める予定である。さらに、将来的には本研究で構築した自動最適化技術を、冷却条件のみならず、量子状態生成や量子シミュレーション実験全体の自律制御へ拡張し、冷却原子実験における実験パラメータ探索の効率化と再現性向上につなげていく。

［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

招待講演

・“Quantum Simulation of Frustrated Systems with Bosonic Atoms in Triangular Optical Lattices”, Takeshi Fukuhara, New Frontiers of Geometry and Topology in Condensed Matter Physics, The Institute for Solid State Physics, Kashiwa, Japan, 29 January 2026.

・“Quantum Simulation of Frustrated Systems with Bosonic Atoms in Triangular Optical Lattices”, Takeshi Fukuhara, 2025 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium (Chiba PIERS 2025), Chiba, Japan, 8 November 2025.

学会発表

・「単一原子観測による加熱の抑制および観測後の振動基底への冷却」、山本隆太、福原武、日本物理学会 第 80 回年次大会、広島大学、2025 年 9 月 17 日

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A04

研究課題名

超高速光回折計算システム応用を目指した磁性ガーネットの探求

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
中村雄一（豊橋技術科学大学工学研究科）

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

希土類サイトを 4 種類の異なる希土類元素と Bi が等モル比となるように置換した希土類鉄ガーネット膜をパルスレーザー堆積(PLD)法で作製し、その磁気光学特性などを評価した。今回はガドリニウムガリウムガーネット(GGG)単結晶基板とのミスフィットや結晶の内部歪みの観点から、希土類サイトに入れる元素の平均イオン半径に着目し、GGG 基板と格子定数の近い$(Bi,Y,Gd,Dy,Yb)_3AlFe_4O_{12}$ および$(Bi,Y,Ho,Er,Yb)_3AlFe_4O_{12}$、平均イオン半径の小さな$(Bi,Tb,Dy,Ho,Er)_3AlFe_4O_{12}$、平均イオン半径の大きな$(Bi,La,Nd,Sm,Gd)_3AlFe_4O_{12}$ の 4 種類の組成について検討した。各組成となるように酸化物原料粉を混合・焼結して、PLD 用ターゲットを作製し、基板温度 700–800℃で KrF エキシマレーザーを用いて GGG(111)基板上に膜厚 200–400 nm のガーネット膜を成膜した。

XRD 結果から、すべての組成で(111)配向したガーネット膜が得られた。また XRD の評価結果から格子定数を評価した結果、格子定数は希土類サイトの平均イオン半径に応じて大きくなっていることがわかった。磁気光学および吸収率特性を評価した結果、いずれの試料も比較的類似したファラデー回転角スペクトルおよび吸収率スペクトルが得られ、希土類サイトの置換によっても基本的な回転角特性および吸収特性は変わらないことが示唆された。ただし回転角の絶対値を比較すると、$(Bi,Y,Gd,Dy,Yb)_3AlFe_4O_{12}$ の組成の試料が比較的大きなファラデー回転角を示したのに対し、希土類サイトの平均イオン半径の大きな、$(Bi,La,Nd,Sm,Gd)_3AlFe_4O_{12}$ や $(Bi,Tb,Dy,Ho,Er)_3AlFe_4O_{12}$ の試料では回転角の絶対値がおよそ 1/2 以下と小さいことがわかり、希土類サイトに入れる元素の違いにより、ファラデー回転角の大きさが大きく異なることがわかった。一方、波長 532 nm におけるファラデー回転角ループから保磁力を評価した結果、この波長における保磁力は、0.03–0.04 kOe で大きな差はないことがわかった。

[3] 今後の研究の推進方策

2025 年度においては、種々の薄膜試料を作製し、その基本的な構造や磁気光学特性などを評価するにとどまった。2026 年度は、まず逆格子マップなどにより作製した薄膜試料の構造について、より詳細に明らかにする。その上で、VSM などによる磁化特性の評価、希土類サイトに含む各元素の持つ磁歪、磁気モーメントが作製した膜の磁化特性、磁気光学特性に及ぼす影響について、詳細に評価を進める。

さらにそれらの結果を踏まえ、多元素置換した際の置換元素が、作製した磁性ガーネット膜の特性に及ぼす影響を明らかにし、保磁力ならびに残留ファラデー回転角が大きくなるような希土類元素の組み合わせを明らかにするとともに、超高速光回折計算システム応用を目指して、磁性ガーネット膜の開発を進める。

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　2025A05

研究課題名

λ計算の代数と幾何

[1] 研究組織
研究代表者：
五十嵐　淳（京都大学大学院情報学研究科）
通研対応教員：
中野　圭介（東北大学電気通信研究所）
研究分担者
佐藤　雅彦（京都大学大学院情報学研究科）

[2]研究期間
2025 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

λ計算は，チューリング機械と同等の計算能力をもつ基本的な計算モデルであり，高階関数を扱うプログラミング言語や定理証明支援系の理論的基盤として重要な役割を果たしている．一方で，通常のλ計算の構文では，束縛変数名，代入，α変換，および抽象下の合同性を表すξ規則の扱いが本質的に煩雑であり，λ項を代数的対象として自然に扱う上で障害となることがある．特に，束縛変数の名前の取り替えに依存しない形でλ項の構造を記述し，β簡約をより内在的な操作として理解するためには，従来の構文とは異なる観点からλ計算を再定式化する必要がある．

本プロジェクトでは，束縛変数名に依存しないλ項の構造に着目し，λ計算を代数的・幾何的観点から再定式化するための基礎を検討した．具体的には，研究分担者である佐藤雅彦教授が進めてきたλ計算の新しい表現に関する着想を出発点として，従来のλ計算と対応しつつ，α規則やξ規則に依存しない形式体系を構築することを目指した．また，単に構文上の定義を与えるだけでなく，定理証明支援系 Rocq（旧称 Coq）を用いた形式化を通じて，定義の正当性を確認することも目的とした．

本年度は，研究代表者・研究分担者を中心として，2025 年 6 月 24 日，11 月 21 日，2026 年 1 月 30 日に研究打合せを行い，体系の定義，従来のλ計算との対応，および Rocq による形式化の方針について継続的に検討した．また，2026年3月25日から 26 日にかけて電気通信研究所本館に萩谷昌己教授を招聘し，参加者 4 名で研究討論を行った．この討論では，λ 計算を基礎とするプログラミング言語の超循環評価器，機械学習アルゴリズム，および現在の証明支援系への応用可能性について意見交換し，本研究の位置づけをより広い計算理論・形式化研究の文脈から検討した．

[4]研究計画及び内容

当初の計画では，従来のλ計算における束縛変数・自由変数の扱いを整理した上で，α規則およびξ規則に依存しない形式体系を構築し，その基本性質を Rocq で確認することを目指した．第一段階として，通常のλ計算に現れる変数，関数適用，関数抽象の役割を見直し，束縛変数の列を明示的な文脈として扱うλ計算を中間表現として導入した．このλ計算により，関数抽象を独立した構文規則として扱うのではなく，文脈の作用として捉えることが可能になる．

第二段階として，λ*計算の α 同値類の標準代表に相当するΛ計算を定義し，束縛変数の名前ではなくレベルによってλ項の構造を表現する方法を検討した．Λ 計算は de Bruijn level 表現と近い考え方をもつが，抽象を明示的に宣言しない点に特徴がある．このため，従来のλ計算では明示的に必要であったα規則やξ規則を，体系の外部に置かずに扱える可能性がある．

研究期間中は，Λ計算における変数レベルの定義，λ計算からΛ計算への変換，Λ計算からλ計算への変換，およびβ簡約を通常の代入操作ではなく二項演算として与える定義を中心に詳細を詰めた．特に，β簡約において変数捕獲を避けるための名前変更をどのように不要にするか，また従来のλ計算におけるβ簡約と新しい体系上の操作がどのように対応するかを重点的に検討した．一方で，形式化を進める過程で，η規則，合流性（Church-Rosser 性），型や評価順序を含む拡張については，基礎定義をさらに安定させた上で扱う必要が明らかになったため，今後の継続課題として整理した．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本プロジェクトの主な成果は，λ計算の構文を代数的・幾何的に捉え直すための基礎体系を具体化し，その一部を Rocq により形式化した点にある．まず，従来のλ計算と対応する中間体系として λ*計算を定義し，束縛変数の列を文脈として

扱う枠組みを整理した．この枠組みにより，通常のλ計算で関数抽象として表される構造を，文脈の作用として記述できるようになり，λ項の構文構造をより代数的に扱うための足場が得られた．

次に，Λ計算をλ*計算における α 同値類の標準代表とみなす構成を与えた．従来のλ計算では，束縛変数名の違いをα同値として同一視する必要があるが，Λ計算では束縛変数をレベルによって表すことで，名前の取り替えに依存しない表現を得ることができる．このことにより，α 変換を外部の同値関係として明示的に扱うのではなく，構文そのものの中に標準的な代表を選ぶ形で整理できる．

さらに，Λ計算ではβ簡約を通常の代入操作ではなく，レベル付きΛ式上の二項演算として定義した．通常のλ計算における代入では，変数捕獲を避けるために束縛変数の名前変更を慎重に扱う必要があるが，Λ計算ではレベルの調整と式の置換により対応する簡約を記述できる．この点は，本研究が目指す「代数として自然なλ計算の表現」に向けた重要な進展である．

Rocq による形式化では，京都大学数理解析研究所の講究録において報告した主要定理を証明した．具体的には，Λ式からλ*式への変換とその逆変換の対応，およびΛ計算上のβ簡約と従来のλ計算におけるβ簡約との対応を形式的に確認した．また，講究録中で述べた定理に加えて，従来の λ 計算におけるβ簡約との対応関係についても証明を行った．形式化結果は今後公開する予定であるが，公開時期および公開範囲については現在整理中である．

（5-2）波及効果と発展性等

本プロジェクトの成果は，先述の通り京都大学数理解析研究所の講究録において整理されている．この成果は謝辞付きの成果物ではないため別紙では関連成果として扱うが，内容的には本プロジェクトで進めた研究と強く関連している．また，関連する内容について，研究分担者の佐藤雅彦教授が定理証明と支援系に関する国内研究集会 21st Theorem Proving and Provers Meeting（TPP 2025, 東北大学）において発表を行っている．

本研究は現時点では基礎的段階にあり，直ちに応用面を強く主張するものではない．しかし，λ計算，定理証明支援系，プログラミング言語理論を結ぶ基礎的研究として，今後の発展可能性をもつ．特に，形式化を前提としてλ計算の構文と簡約を再検討することは，証明支援系上で扱いやすい計算体系の設計や，プログラミング言語の意味論の整理に資する可能性がある．今後，内容をさらに深めた上で，国際会議または国際ジャーナルへの投稿を目指す．

また，本プロジェクトを通じて，京都大学と東北大学電気通信研究所の間で，λ計算，証明支援系，プログラミング言語の基礎理論に関する継続的な共同研究の基盤が形成された．萩谷教授との研究討論により，評価器の理論，機械学習アルゴリズム，証明支援系の応用に関する接点を確認できたことも，今後の研究展開に向けた有益な機会となった．研究に関心を示す学生も複数名おり，将来的な教育・人材育成への波及も期待できる．さらに，2026年に9月にドイツで開催される証明と計算に関する集中講義（Autumn School on Proof and Computation）において，本研究に関連する内容の講義を依頼されており，国際的な研究交流への発展も見込まれる．

[6]まとめと今後の課題

本プロジェクトは1年間の試験的な共同研究として実施したものであるが，λ計算を代数的・幾何的に再定式化するための基本的な構成を明確化し，Rocq による形式化を伴う具体的成果に結びつけることができた．特に，λ*計算とΛ計算を介して従来の λ 計算を捉え直し，β 簡約を代入ではなく二項演算として記述する方向性を具体化したことは，今後の研究の基盤となる成果である．

一方で，形式化を進める中で，η規則，合流性，型付け，評価順序などの基本性質については，定義の細部を慎重に詰めながら体系的に扱う必要があることも明らかになった．これらは当初計画に含まれていた重要な課題であるが，1 年間という限られた期間では十分に展開することが難しく，基礎体系の整備と形式化を優先した．その結果，今後取り組むべき課題がより明確になったといえる．

このため，次年度以降は本研究をさらに発展させる3年プロジェクトとして継続することを申請済みである．今後は，Λ計算の基本性質の証明を拡充し，η 規則や合流性との関係，型付き体系への拡張，評価順序の導入可能性について検討する．あわせて，Rocq 形式化の公開範囲を整理し，研究成果を国際会議または国際ジャーナルでの発表につなげることを目標とする．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Masahiko Sato and Keisuke Nakano, Algebra and Geometry of the λ-calculus, RIMS Kôkyûroku, No. 2334, Feb. 2026.

・Masahiko Sato, Algebra and Geometry of the λ-calculus, 21st Theorem Proving and Provers Meeting (TPP 2025), Tohoku University, Dec. 2025, https://tpp2025.blogspot.com/

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A06

研究課題名

超伝導共振器におけるマイクロ波損失の実験的、理論的側面からの理解

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

成瀬雅人　（埼玉大学大学院理工学研究科）

通研対応教員：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

トランズモン型量子ビットを構成する超伝導回路や、超伝導検出器、超伝導加速器など多くの分野でマイクロ波超伝導共振器が利用されている。それらの性能を制限している理由の一つにマイクロ波損失による共振Q値の低下があげられる。損失の種類として、放射損失、誘電体損失、伝導損失などがあるが、本研究の目的は超伝導体内の準粒子による伝導損失の起源を解明するとともに、共振Q値を向上させる条件を理論、実験の両側面からアプローチすることである。

本年度が本プロジェクトの採択初年度であるため、まず国内の各研究機関の研究者と広く技術討論及び情報共有を行った。具体的には東北大学電気通信研究所において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研究会を 2025 年 11 月 7 日に開催した。研究会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約 30 名の参加があった。２件の招待講演の中で、超伝導伝送線路の損失機構における理論・実験を紹介頂いた。また、一般公演では新規材料を用いた超伝導ジョセフソン接合の特性、超伝導共振器を用いた検出器による高エネルギー粒子検出、量子コンピュータの読み出し回路用高感度電流コンパレータ、低消費電力班磁束量子回路による論理ゲート設計など超伝導エレクトロニクス分野の研究発表が広く行われた。研究成果の発表に対する意見交換が活発に行われるとともに、超伝導伝送線路における損失機構に関する知識を深めることができ有意義な研究会となった。

また、本プロジェクトに関連する研究成果として、DC バイアスを印加した超伝導伝送線路の非線形応答を利用し、共振器を用いずにマイクロ波周波数を識別する手法を提案し、機械学習により高精度な周波数推定を実証し、査読付き論文として発表した。

本共同プロジェクトに関連する実績として、研究代表者を含む複数の研究分担者が参画する形で、NEDO のポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業／量子コンピュータの産業化に向けた開発の加速（クライオ電子回路システムの開発）に採択されたことが挙げられる。本共同プロジェクトが、超伝導エレクトロニクス分野における連携体制の強化に寄与している証左と言える。とりわけ、本共同プロジェクトで取り組んでいる超伝導共振器におけるマイクロ波損失の機構解明は、低損失かつ高性能なクライオエレクトロニクスデバイスの実現に不可欠であり、量子コンピュータの技術基盤の高度化に直接的に寄与する。このように、本研究は基礎的理解の深化を通じて応用展開にも貢献している。

[3] 今後の研究の推進方策

本研究の今後の推進にあたっては、まず研究組織内での継続的な議論と成果共有を強化するため、超伝導エレクトロニクス研究会と連携した共同研究会を定期的に開催する。これにより研究の進展状況を共有するとともに、周辺分野の知見を取り入れるための招待講演も企画し、学際的視点からの理解を深化させる。実験面では、超伝導伝送線路に直流バイアスを印加した状態でマイクロ波帯の伝導損失を精密に測定する系を構築し、Higgs モードが複素電導度に与える影響を実験的に明らかにする。そのために必要なデバイスの設計・作製・評価を一体的に推進する。デバイス作製においては、研究代表者の所属機関に整備されたクリーンルーム設備を基盤としつつ、より高度なプロセスが求められる場合には東北大学電気通信研究所のクリーンルームの利用も視野に入れ、最適な作製環境を確保する。これらの取り組みにより、実験と理論の両面からマイクロ波損失の起源解明を加速する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・R. Ito, Y. Kamei, T. Taino, S. Mima, T. Taira, H. Odaka, C. Otani, "Development of Phonon-Mediated Lumped Element Kinetic Inductance Detectors With Surface Activated Bonding," IEEE Trans. Appl. Supercond. 36, 2400506 (2026).

・Y. Kamei, R. Ito, T. Taino, K. Ishidoshiro, Y. Nakajo, T. Omae, C. Otani, "Performance Evaluation of Kinetic Inductance Detector on Yttria-Stabilized Zirconia Substrates With Tuned Yttria Concentrations," IEEE Trans. Appl. Supercond. 36, 2400705 (2026).

・Ryota Ito, Tohru Taino, Satoru Mima, Yuto Kamei, Chiko Otani, "Study on Microwave Kinetic Inductance Detector with Lithium Niobate Substrate," J. Phys.: Conf. Ser. 3054, 012023 (2025).

・M. Naruse, K. Yamaguchi, H. Myoren. “High-Resolution Microwave Frequency Identification via BiasTuned Superconducting Transmission Lines,” AIP Advances, 15(11), 115317 (2025)

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **2025A07**

Title **Exploring the spintronic potential of novel high-entropy alloys with excellent mechanical properties: a pathway merging engineering and physics**

[1] Principal Investigator (PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：Dr. Samik DuttaGupta, Associate Professor (E), Saha Institute of Nuclear Physics (SINP)

Research collaborator of RIEC：Prof. Dr. Shunsuke Fukami, RIEC, Tohoku University

[2] Summary of Research Results for the Year

High-entropy alloys (HEAs) have recently gathered immense attention in the fields of condensed matter physics and materials science, owing to their superior mechanical, anticorrosion, hydrogen storage capability, and thermophysical properties. In contrast to conventional alloys, where different elements are added to a principal element for improving physical and chemical properties, HEAs are typically defined as alloys containing five or more principal elements in equiatomic or nearly equiatomic concentrations ranging between 5 and 35 atomic percent (%). Magnetic HEAs based on 3d-transition metals (Fe, Mn, Co, Ni) exhibit soft magnetic properties with a potential impact on the development of next-generation motors and transformers. Interestingly, multielement magnetic HEAs with simple BCC, FCC, and HCP structures exhibit interesting magnetic behavior, indicating an amalgamation of exciting physical and chemical properties. The search for optimum materials with high saturation magnetization, negligible magnetic hysteresis, and a high Curie temperature along with superior mechanical properties has driven the development of the CoCrFeNiGa HEA system, which exhibits intriguing structural and magnetic behavior as a function of Ga composition. Apart from the focus on the microstructure and mechanical properties of these HEA systems, an understanding of the underlying interactions and spin-dependent transport and correlation to key parameters such as soft ferromagnetic behavior and anomalous Hall effect (AHE) has remained elusive and is crucial for evaluating the viability of this material for future spin-based nanoelectronic devices.

Nanocrystalline CoCrFeNiGa bulk HEA was successfully produced by SPS at 1073 K of HEA powders prepared by HEBM. Our XRD study reveals that CoCrFeNiGa possesses a combination of BCC and FCC structures. The magnetic properties of CoCrFeNiGa were investigated as a function of temperature (T) in the range of $4 \leq T \leq 1000$K and external magnetic field (H) of $-7 \leq \mu_0 H \leq 7$ T. Figure 1(a) shows the T dependence of magnetization (M) under field-cooled-cooling cycle (FCC). With the reduction of T from ~1000 K, we observe a change in slope around ~ 872 K, followed by an increase in M, indicating the onset of ferromagnetic ordering in the HEA system. To further probe the impact of coexisting BCC and FCC phases, we conducted a detailed investigation of the T-dependent magnetization in zero-field-cooled (ZFC), field-cooled-cooling (FCC), and field-cooled-warming (FCW) sequences (Fig. 1(b)). The ZFC M (T) curve shows a change in slope around 200−220 K, followed by another sharp change in M around ~60 K. Below T ~ 60 K, M increases, followed by a cusp at ~ 20 K and subsequent decreases down to the lowest temperature. We attribute this low-temperature behavior to a spin-freezing phenomenon, possibly arising either from the randomness of the spins corresponding to multi-magnetic elements in this magnetically concentrated system and/or frustration, similar to that observed in other HEA systems. Figure 1(c) shows the M (T) dependence following the same sequence of measurements under a high magnetic field of $\mu_0 H$ = 1 T. The bifurcation of the ZFC and field-cooled M (T) curves observed at ~300 K for 0.01 T gets suppressed under 1 T, indicating a preferential alignment of magnetic moments toward the magnetic field, leading to an overall dominant ferromagnetic order in the system. The application of $\mu_0 H$ = 1 T also led to the suppression of the cusp, along with a crossover of the FCC and the FCW conditions above T ~ 220 K. Figure 1(d) shows the magnetic hysteresis curves at different T. The isothermal M (H) curves exhibit a rectangular step-like characteristic, with magnetization reaching its saturation state at low magnetic field and negligible hysteresis, indicating a soft ferromagnetic behavior in the measured T range. To get a deeper understanding of the magnetic properties and their impact on the electronic transport in HEA systems such as CoCrFeNiGa, we investigated the transverse resistivity (ρ_{XY}) of the material under variation of applied H and T. The inset of Fig. 1(e) shows a schematic diagram of the measurement configuration. As one can see, the H (H_Z) dependence of transverse resistivity (ρ_{XY}) exhibits a rapid increase succeeded by an almost constant behavior at higher H, attributed to anomalous Hall effect (AHE). Figure 1(f) shows the T dependence of anomalous Hall resistivity

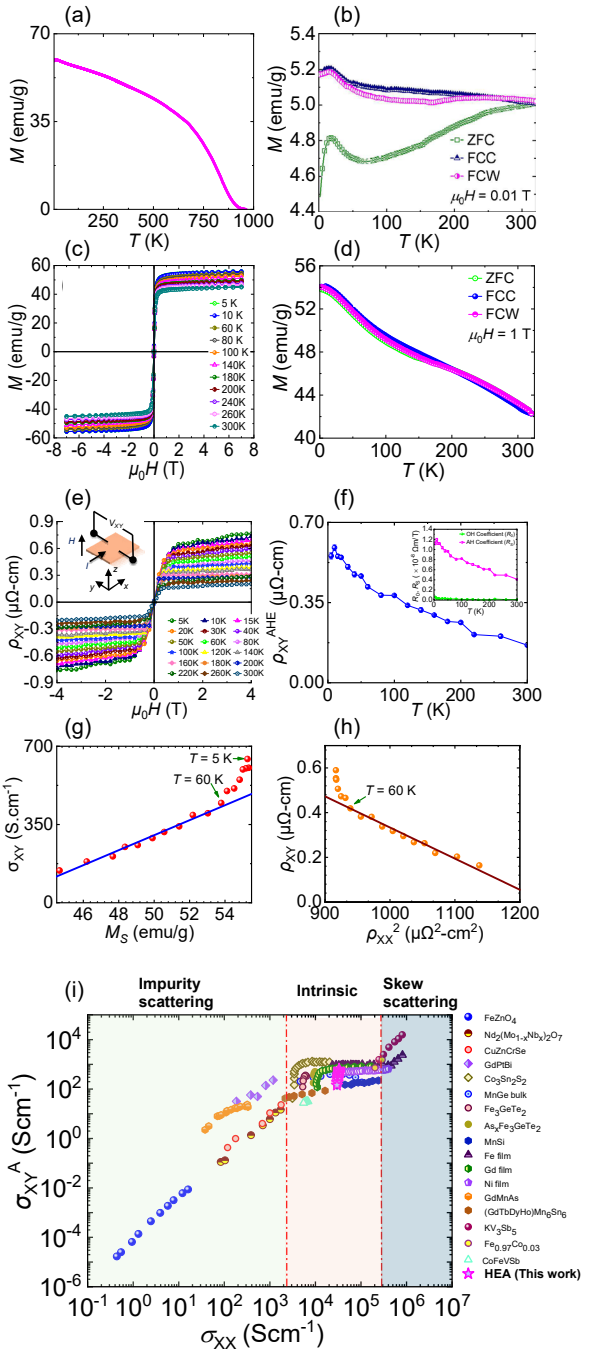


FIG 1. (a) Experimental results of magnetization (M) versus temperature (T) for CoCrFeNiGa. (b) M (T) in zero-field-cooled (ZFC) and field-cooled (FC) conditions under applied external field $\mu_0 H$ = 0.01 T. (c) Experimental M (T) under similar ZFC and FC conditions recorded under $\mu_0 H$ = 1 T. (d) Experimental results of M (H) in the range for $5 < T < 300$ K. (e) Experimental results of applied magnetic field ($\mu_0 H$) ($H \perp I$) dependence of transverse resistivity (ρ_{XY}) at various temperatures (T). Inset shows the schematic of the measurement configuration. (f) T dependence of anomalous Hall resistivity (ρ_{XY}^{AHE}). Inset shows the obtained results of the ordinary and anomalous Hall coefficients from experimental data in (e). (g) Karplus−Luttinger (KL) theory fitting of anomalous Hall conductivity (σ_{XY}^{AHE}) versus saturation magnetization (M_S). (h) Plot of ρ_{XY}^{AHE} versus ρ_{XX}^2 along with the linear fit. (i) Universal plot for σ_{XY}^{AHE} versus longitudinal conductivity (σ_{XX}) showing intrinsic origin of AHE in CoCrFeNiGa, compared to a plethora of other materials.

(ρ_{XY}^{AHE}). Starting from the lowest T, ρ_{XY}^{AHE} initially increases and then shows a gradual decrease up to 300 K. The inset of Fig. 1(f) shows the magnitude of ordinary Hall coefficient (R_0) and anomalous Hall coefficient (R_S) versus T, clearly establishing a significantly higher contribution of AHE to the total transverse resistivity. Figure 1(g) shows the results of anomalous Hall conductivity (AHC) (σ_{XY}^{AHE}) versus M_S, along with the linear fit of the experimental data. σ_{XY}^{AHE} shows a linear variation, suggesting that the AHE of CoCrFeNiGa is dominated by the intrinsic contributions at $T > 60$ K. Figure 1(h) shows the plot of ρ_{XY}^{AHE} versus ρ_{XX}^2, exhibiting a linear behavior between 60 and 300 K hinting toward an intrinsic or side-jump origin of the observed AHE. Finally, the outstanding anomalous Hall response in CoCrFeNiGa, viz., σ_{XY}^{AHE}, is plotted versus the longitudinal conductivity (σ_{XX}) and compared to a wide variety of material systems (Fig. 1(i)). Our magnetotransport results demonstrate CoCrFeNiGa as a multicomponent HEA material exhibiting large intrinsic σ_{XY}^{AHE}. The combination of large AHE, significantly high T_C, along with coexisting excellent mechanical properties in a single material system opens up a new paradigm merging complex physics of multiprincipal element-based HEAs for their applicability in functional resilient future nanometric spintronic devices. Future research focusing on the intricate role of composition, nanocrystallinity, and precisely controlled crystallite sizes on the electronic and magnetotransport properties is expected to enunciate a new direction toward rational material design based on HEAs and its utilization for future spintronic nanodevices.

[3] Future Research Promotion Measures

The emerging field of HEAs, merging condensed matter physics, materials science and engineering possess multidisciplinary character and is expected to have significant importance in areas requiring exceptional mechanical and corrosion-resistant properties such as data storage under extreme conditions, superconductivity, electrical-power transmission, magnetic levitation trains etc. The investigation of magnetism and magnetotransport in HEAs along with theoretical investigations are expected to shed novel insights into the origin of fascinating magnetic properties exhibited by this highly disordered system, clarification of the origin of AHE as well as provide novel directions towards tuning of electronic band structures in disordered alloys. In the next year, we plan to grow thin films of CoCrFeNiGa using magnetron sputtering, investigating the spin-dynamic properties of HEA. Furthermore, our plan towards demonstration of current-induced switching in HEA system and development of non-magnetic multi element HEA are also expected to provide novel avenues for discovery of novel routes towards spin-current generation beyond the standard spin-orbit interaction, crucial for next generation spin-orbit

memory applications.

Appendix

(1) Papers:

Rajeswari Roy Chowdhury *et al.*, ACS Nano **19**, 32967 (2025).

(2) Conference Presentations:

(1) **R. Roy Chowdhury**, "Large Anomalous Hall Effect in a Room Temperature Magnetic High Entropy Alloy", International Conference on Recent Trends in Materials Science & Devices (ICRTMD-2026), April 6-8th 2026, J.V.M.G.R.R. College, Haryana, India (invited talk).

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **2025A08**

Title

Construction and Optimization of Multi-modal XR Interaction Ecosystem: From Gaze-Pinch Enhancement to AI-driven Adaptive Interface

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：
LIANG Hai-Ning (The Hong Kong University of Science and Technology (Guangzhou))

Research collaborator of RIEC：
KITAMURA Yoshifumi (RIEC)

[2] Summary of Research Results for the Year

This research project aims to construct and optimize a comprehensive multi-modal interaction ecosystem for extended reality (XR), evolving from the optimization of fundamental Gaze + Pinch techniques toward an adaptive, AI-driven interaction framework. With XR head-mounted displays now reaching commercial deployment (e.g., Apple Vision Pro), Gaze + Pinch has emerged as a leading non-contact input paradigm that uses eye gaze for target acquisition and a pinch gesture for confirmation (Pfeuffer et al., 2024).

Despite this commercial momentum, Gaze + Pinch remains constrained by three persistent challenges: 1) selection accuracy on small targets, where gaze noise and mid-air hand tremor jointly degrade precision; 2) efficiency in text entry, where the dwell-and-pinch workflow is prohibitively slow for sequential character input; and 3) ergonomic strain during prolonged use, particularly arm and wrist fatigue from sustained pointing (Lystæk et al., 2022; Hincapié-Ramos et al., 2014). Compounding these issues, prior VR text-entry research has been heavily concentrated on Latin-alphabet QWERTY layouts, leaving non-Latin script users, who together constitute a substantial portion of the global XR audience, largely underexplored.

The first year of this project (corresponding to the Fundamental Optimization stage of our three-year plan) was devoted to building a shared experimental platform and conducting an initial investigation of multi-modal text input. In close cooperation between HKUST(GZ) and Prof. Kitamura's laboratory at RIEC, we implemented a unified evaluation environment on Meta Quest 3 using Unity and the Meta XR All-in-One SDK. The platform integrates head-gaze tracking, hand tracking, and pinch gesture recognition within a single framework, and supports detailed logging of behavioral metrics such as keystroke sequences, inter-event timings, and error patterns, which serve both the present analysis and future machine-learning model training. As the joint research planning with the RIEC group progressed, we revisited the design space of first-year evaluation in light of two complementary considerations.

First, the field had matured rapidly during the planning period: several recent studies began addressing layout-level optimization of Latin-alphabet QWERTY and T9 keyboards for Gaze + Pinch input, so we judged that a more impactful contribution would address an open and underexplored question rather than incrementally refine an actively-studied one. Second, the international cooperative nature of this project, together with access to native Japanese-speaking participants through RIEC, opened a particularly compelling line of inquiry: how multi-modal input behaves under writing systems that diverge fundamentally from the Latin-alphabet QWERTY paradigm, which has dominated VR text-entry research. Japanese flick input, which encodes the consonant-vowel structure of kana into a compact 12-key layout via directional gestures, was an especially natural target because its directional gestures align with the pinch-plus-direction paradigm we sought to study, and because reusing existing user motor skills was likely to surface design implications that generalize beyond a single script.

Building on these considerations, we designed an asymmetric division-of-labor framework in which head-gaze handles coarse targeting of the consonant key group, while the hand performs the directional flick that selects the vowel and commits the character. The motivation for this design is that sustained mid-air hand pointing amplifies tremor and induces arm fatigue, whereas head movement is comparatively stable and consumes less energy (Kytö et al., 2018). Within

this framework, two confirmation mechanisms were prototyped and compared against a hand-only baseline under controlled conditions: one based on a whole-hand displacement vector, and the other based on subtle thumb-to-index micro-gestures.

A formative study with a small group of native Japanese-speaking participants was first conducted to identify the practical challenges of bare-hand flick input in mid-air. This surfaced two recurring bottlenecks: imprecise targeting due to sustained hand-ray casting, and ambiguous confirmation due to the lack of tactile commitment cues at pinch release. Building on these observations, we conducted a comparative user study that combined objective performance metrics such as input speed, error rates, and keystroke efficiency, alongside subjective measures including the NASA-TLX workload questionnaire, the System Usability Scale, and ranking-based preferences.

The results provided initial validation of the division-of-labor framework: head-gaze enhanced targeting paired with a high-signal hand-motion confirmation outperformed both the hand-only baseline and the micro-gesture variant in input speed, accuracy, and perceived usability. By contrast, the micro-gesture confirmation, although ergonomically attractive in principle, was constrained by tracking-precision limitations inherent to current consumer-grade XR hardware, which led to repeated retries and elevated correction behavior. These findings yielded actionable design implications for robust multi-modal input in mid-air XR settings, particularly for writing systems whose input methods rely on directional gestures. A manuscript reporting the above outcomes has been submitted to a top-tier HCI venue and is currently under peer review.

[3] Future Research Promotion Measures

Building on the first-year findings, the project will continue along the broad three-year trajectory outlined in the original plan, with continued cooperation with RIEC throughout. Specific scopes and timelines will be revisited each year in light of team composition, intermediate results, and the evolving state of the field. The intended direction for the immediate next year and the longer-term agenda are summarized below.

The immediate focus is to broaden the input modality space beyond head-gaze and pinch confirmation. Candidate directions include hand-region segmentation for fine-grained gesture recognition, wrist and forearm motion for menu navigation, and eye-hand coordination mechanisms for precise target selection, complemented by real-time multi-modal feedback to reduce confirmation uncertainty. The aim is to move toward a more natural and less fatiguing interaction experience while preserving the precision benefits established in the first year; the specific subset of directions pursued in any given year will depend on team capacity and emerging findings.

In subsequent years, we plan to draw on the interaction logs accumulated through our platform to explore machine-learning models capable of recognizing individual interaction patterns and adjusting input sensitivity, timing thresholds, and modality weights. Longitudinal user studies are envisioned to assess adaptation behavior, predictive selection accuracy, and long-term usability, with the scale and protocol to be finalized in light of intermediate results. The later stage of the project aims toward a more hardware-independent interaction framework and an associated developer toolkit, with prototype-level reference applications in domains such as education and healthcare. Cooperation with Prof. Kitamura's group at RIEC will continue throughout, supported by annual on-site visits, regular online meetings, joint experimental design, and mutual participant recruitment. Outcomes will be disseminated through HCI venues and journals as the results mature.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

[Under review]

・ Yan, X., Ogata, Y., Hu, X., Zhao, G., Liang, H.-N., & Kitamura, Y. "Focus, Flick, Flow: Toward Efficient and Ergonomic Head-Gaze Flick Typing Non-Latin-Alphabet Characters in VR." *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (submission under review).

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

・ N/A

共同プロジェクト研究

RIEC Cooperative Research Projects Report

Grant No. 2025A09

Title 機械学習の活用によるオンライン文章の解析

Research on Analysis of online text using machine learning

［1］Research Organization

Principal Investigator：

ZABIR Salahuddin Muhammad Salim (Fukushima University)

Research Collaborator of RIEC：

HASEGAWA Go (RIEC)

［2］Research Period

2025, May ～ 2026, March

［3］Purpose, Background, and Overview of the Project

In the last few years, we have been working on the development of a new generation IoT platform that we call KIBAN (Fig. 1).

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 continuation of 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.

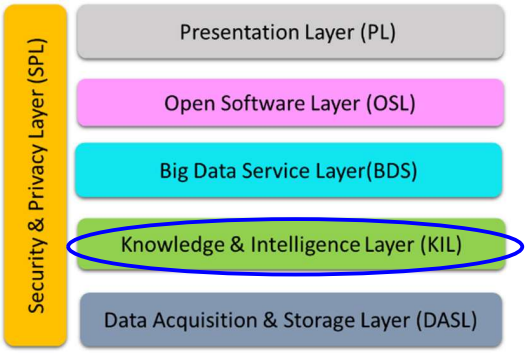


Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

In recent years, we have been conducting research on analysis of online texts in different languages like Japanese, Bengali and Thai languages. In this year of the project, we explored the requirements imposed by analysis of Thai language text to improve the accuracy while analyzing sentiment expressed in online Thai language texts. In this report, we present the outcome of our research.

The principal investigator (PI) along with the students of the ubiquitous intelligence (UI) lab led by the PI at Fukushima University 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.

［4］Research Plan and Content

A. Research objectives

In our previous research, we have observed that the use of machine learning for sentiment analysis of online Thai language texts can achieve around 85% accuracy for two class (positive and negative) detection. Adoption of deep learning methods can improve the accuracy figures only by a few percentage points for two class scenarios. However, the figures do not reach the level of 90%. In previous research, we used the well-known Thai language text dataset called Wisesight dataset. Also, we have so far attempted use of simple machine learning as well as deep learning methods and their combinations. During the current year, we aimed at improving the accuracy through (i) extension in the learning dataset, (ii) refinement of the dataset, and (iii) attempting the use of Transformer models and check the corresponding impact on number classes in which the decisions should be divided into.

B. The Challenges of Thai Language

In written form, the Thai language has 44 consonants, 21 vowels, with 32 different voices and 4 tone marks. Normally, Thai messages are constructed horizontally from left to right without the interval between words to form a sentence. Hence separating them correctly to identify words often poses a big challenge. In addition, use of irony can make understanding of the real meaning of the sentence difficult. Furthermore, in SNS media, language used is often distorted that makes it more difficult to understand the emotion of the poster. In this research, we produce a Machine learning model to proceed with the text message to extract the sentiment of the user in a message.

C. Dataset Creation

We extended our corpus for training and testing datasets containing 124,999 samples of data. We removed ambiguous samples resulting in a dataset with sentences belonging to either positive or negative

categories. We also removed stop words and non-Thai characters as well as numbers and special characters.

The processing of the data involves word tokenization, text vectorization, word embedding (Fig. 2).

D. Word Tokenization

It is the method to separate the word in the sentence. As mentioned above, in Thai language written sentences, every word in the sentence is adjacent. While in English, each word in a sentence is separated by spacing. Thus, we need to extract each word in every sentence in order to prepare the dataset for the next stage of processing. For this task, we apply the Thai NLP library called PyThaiNLP which has the tokenizer to deconstruct the sentences into words.

E. Text Vectorization

It is the preprocessing layer that maps text features after applying word tokenization into an integer sequence. Text vectorization from TensorFlow is one of the vectorization techniques that we employ for this work.

F. Word Embedding

The TensorFlow Word Embedding layer provides a way to convert the data into a dense vector of floating-point values.

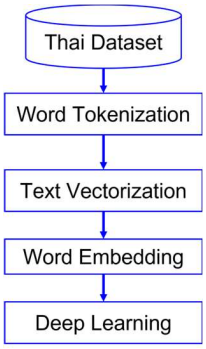


Fig. 2: Different steps of Thai text sentiment analysis

G. Machine/Deep Learning methods

Different machine learning and deep-learning methods were then applied to learn from the data and their performances were tested. In addition, we used transformer model to check whether use of transformer model can improve the accuracy of the sentiment analysis of Thai language sentences for two and three class decisions. With a view to achieving better accuracy, we deploy Bi-directional LSTM (Bi-LSTM), Bi-directional GRU (Bi-GRU), CNN and their combinations as well as transformer model, RoBERTa in addition to conventional machine learning methods.

[5] Research Results and Ripple Effects

(5-1) Research Results

We examined the increase in accuracy as a result of expanding the training and test dataset as well as the refinement of dataset by removing some features that do not have direct relations with sentiment analysis of Thai language texts. We also examined the amount of time necessary for conducting the experiment while using Google Colab Pro Plus A100 GPU. Fig. 3 Shows the outcome of our experiments for two classes (positive and negative).

Model	Accuracy (%)	Training Time (minutes)*
Decision Tree	80.85	1.65
Random Forest	87.16	5.03
CNN	86.47	4.1
Bi-LSTM	89.3	11.7
BI-LSTM- CNN	89.21	17.05
BI-GRU+CNN	88.62	21.7
RoBERTa	**90.85**	116.7

Fig. 3: Accuracy vs training time requirements while conducting sentiment analysis of Thai language online text

The extension of the dataset has led to increase in the accuracy of the analysis. Also, with transformer-based language model, RoBERTa, the accuracy figures have crossed the 90% value.

However, when the number of classes is increased to three (e.g., negative, neutral and positive), the accuracy decreases. It should be noted that RoBERTa still achieves the highest accuracy at 73.61% (Fig. 4).

Model	Accuracy (%)	Training Time (minutes)
Decision Tree	58.12	2.96
Random Forest	67.79	13.24
CNN	68.14	5.33
Bi-LSTM	71.45	16.65
BERT	69.72	193.55
DistillBERT	71.45	104.27
RoBERTa	73.61	156.68

Fig.4. Accuracy and training time comparison to multiclass classification (negative, neutral, and positive sentiment).

(5-2) Ripple Effects and Developmental Potential

The research conducted during the FY 2025 reveals that even with dataset extension along with refinement of the dataset, increase in the number of classes may lower accuracy while analyzing text in Thai language. The knowledge is likely to be useful for application in case of other Asian and Indo-European languages.

The extended version of the current research is expected to be submitted to international journal or international conferences for potential publication.

[6] Summary and Future Challenges

We observed that even though accuracy can increase with better dataset, increase in the number of classes may lead to degradation of the accuracy even with the use of transformer model, RoBERTa in case of Thai language. In the coming days, we aim to improve accuracy further. Also, we plan to attempt to use these methodologies for analysis of texts written in other languages.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A10

研究課題名

Beyond CFET 情報通信用原子層デバイスの集積化に向けた界面先端分析

［1］研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
永村直佳 (物質・材料研究機構)
通研対応教員：
吹留博一 (東北大学電気通信研究所)

［2］当該年度の研究実績の概要

本研究では、GAA 構造、CFET 構造に続く次世代半導体ロジック半導体への採用が期待されている、2 次元原子層物質の遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)に着目し、喫緊の課題である寄生抵抗の制御に向けて、マルチモーダル計測・解析により TMD/半金属超薄膜接合系の構造・電子状態を明らかにすることを目的としている。

2025 年度は、サファイア基板上に MO-CVD 法で成長させた単層 MoS_2 の上に、Bi を分子線エピタキシー(MBE)法で成膜し、構造と電子状態の膜厚依存性について評価した。

反射高速電子回折(RHEED)観測から、初期成長の段階では、Bi のバルクに見られる六方晶(HEX)構造とは異なる回折パターンが見られた(図 1)。これは、Si(111)$\beta\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 上の Bi 成長初期でも報告されている黒リン型(BP)構造と考えられる。成長初期では島状成長が示唆されるが、X 線回折から、膜全体平均で 4 nm 程度の膜厚まで BP 構造が保持されていることが明らかになった。

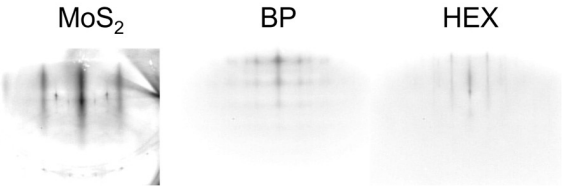


図 1. RHEED 観測で見られた回折パターン。

In-situ X 線光電子分光観測では、MoS_2 と Bi の界面に化学結合の状態は見られず、相互作用の小さい系であると考えられる。ラマン分光分析では、Bi の膜厚によらず A1g ピークの低波数シフト成分が観測され、Bi から MoS_2 への電子ドープが確認された。

機械学習を活用したデータ解析も進めている。Bi/MoS_2 の RHEED 画像データセットに比負値行列因子分解(NMF)を適用し、構造分類と各構造が最も大面積となる蒸着時間の推定を、属人性なく自動的にできるようになった。フェルミ面データセットの自動分類プロトコル開発、走査型顕微分光の計測時間を短縮するためのマルチフレームスパースモデリング超解像技術の開発なども実施した。

［3］今後の研究の推進方策

論文化にあたり、細かい膜厚依存性での構造や電子状態の評価、構造相転移の膜厚決定、蒸着レートや成膜時の基板温度といった合成条件による再現性確認を実施していく。

BP 構造 Bi の電子状態を明らかにするために、*in-situ* 放射光角度分解光電子分光(ARPES)で実測する。現場の試料準備槽で低速電子回折(LEED)観測と膜厚計から成膜する必要があるため、その準備を進める。

また、実際にデバイスにおける電極の膜厚依存性も評価する予定であり、そのために共用設備の微細加工施設の利用練習を進める。通研のナノスピン実験施設クリーンルームも活用する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[学会発表]

・(招待講演) N. Nagamura
“Surface and Interface Analysis Integrating Multi-dimensional Spectromicroscopy and Machine Learning”
Japan-Korea Rigaku International Workshop for Materials Science in Wakayama 2026
2026 年 3 月 27 日　和歌山大学

・(招待講演) 永村直佳
「計測インフォマティクスが可能にする multi-scale, multi-dimension, multi-modal 表面分析科学」
東京大学物性研究所短期研究会「現代表面科学の到達点とフロンティアを超えて」
2026 年 2 月 17 日　東京大学柏の葉キャンパス

・N. Nagamura, R. Gotoh, K. Oishi
“*Operando* Raman imaging analysis of semiconductor device structures with micro-four-point probes”
Materials Research Meeting 2025 (MRM2025)
2025 年 12 月 10 日　パシフィコ横浜

・N. Nagamura, R. Gotoh, Y. Suwa, T. Iwasaki, M. Kotsugi
“Direct observation of charge transfer in Graphene field effect transistors using multi-tip *operando* Raman microscopy”
HQSN2025 & HQMST2025
2025 年 10 月 27 日　松江くにびきメッセ
・大澤 俊郎, 長田貴弘, 佐久間芳樹, 竹澤伸吾, 小嗣真人, 永村直佳
“MBE growth and characterization of ultrathin Bi films on monolayer MOCVD-MoS_2”
2025 年 日本表面真空学会学術講演会
2025 年 10 月 21 日　つくば国際会議場
・(招待講演) 永村直佳
「機械学習データ解析による多次元顕微分光計測の超効率化」
日本物理学会 2025 年第 80 回年次大会シンポジウム「データサイエンスで切り拓く表面・界面研究の最前線」
2026 年 9 月 17 日　広島大学
・(招待講演) 永村直佳
「データ駆動型多次元顕微分光による表面界面分析
日本表面真空学会第 8 回若手研究会＆関東支部 10 周年記念シンポジウム
2025 年 4 月 17 日　新潟朱鷺メッセ

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
[論文]
・Y. Nakayasu, S. Sokabe, N. Nagamura, C. Ooka, T. Yamada, K. Kobayashi, M. Watanabe
“Supercritical CO2-Induced Quinone Confinement and Interfacial Polarization in Microporous Carbon Electrodes for Aqueous All-Organic Batteries”
ACS Appl. Mat. Int., 18, 14947 (2026).
・S. Takezawa, M. Riva, F. Dörr, M. Schmid, T. Sasaki, T. Hiroto, M. Kotsugi, K. Yaji, Y. Sakuraba, N. Nagamura
“Initial Growth Process of Cu Thin Films on bcc-FeCo/MgO (100) via Molecular Beam Epitaxy”
e-J. Surf. Sci. Nano. Tech. 24, 21 (2026).
・E. O. Nyangau, H. Abe, K. Haga, C. Ooka, K. Hayashida, N. Nagamura, K. Takeyasu, M. Watanabe, Y. Nakayasu
“Highly active and stable Fe-N4 catalyst from unused natural resources for oxygen reduction reaction in acidic to alkaline medium”
J. Power Sources, 653, 237784 (2025).
・T. Dinh Phan, S. Tsuda, R. Goto, N. Nagamura, O. Cretu, K. Kimoto, K. Yaji
“Structural and electronic properties of transferred graphene on yttrium iron garnet (111)”
J. Applied Physics, 138, 064301 (2025).
・Y. Igarashi, N. Nagamura, M. Sekine, H. Fukidome, H. Hino, M. Okada
“Sparse coding-based multiframe superresolution for efficient synchrotron radiation microspectroscopy”
Discover Nano, 20, 102 (2025).
・H. Kii, N. Nagamura, R. Nouchi
“Plasma treatment of MoS2 field-effect transistors using solid-state fluorine source”
Nano Express, 6, 025008 (2025).

[学会発表]
・石川大地, 福健太郎, 三浦良雄, 五十嵐康彦, 岩﨑悠真, 桜庭裕弥, 矢治光一郎, Lira Foggiatto Alexandre, 山崎貴大, 永村直佳, 小嗣
真人
「教師なし機械学習を用いた ARPES データからのトポロジカル電子物性の自動解析」
第 39 回 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
2026 年 1 月 9 日　仙台国際センター
・髙瀬颯一, 石川大地, 福健太郎, 三浦良雄, 五十嵐康彦, 岩﨑悠真, 桜庭裕弥, 矢治 光一郎, Lira Foggiatto Alexandre, Arpita Varadwaj, 山崎貴大, 永村直佳, 小嗣真人
「Co 基ホイスラー合金における異常輸送特性のフェルミ面データ駆動型解析」
第 39 回 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
2026 年 1 月 9 日　仙台国際センター
・S. Takase, D. Ishikawa, K. Fuku, Y. Miura, Y. Igarashi, Y. Iwasaki, Y. Sakuraba, K. Yaji, L. F. Alexandre, A. Varadwaj, T. Yamazaki, N. Nagamura, M. Kotsugi
“Predicting Spin-Dependent Properties from Spin-Unresolved Fermi Surface Data via Machine Learning”
2025 MRS Fall Meeting&Exhibit
2025 年 12 月 4 日　Boston Hynes Convention Center

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A11

研究課題名

OTFS 変調のドップラー・遅延耐性と FHSS 方式の干渉耐性を活かした深宇宙通信の高信頼化

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
三宅 正尭（広島大学半導体産業技術研究所）

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

本年度は、地球・火星間の深宇宙通信を対象として、OTFS（orthogonal time frequency space）変調の適用可能性を評価するための基礎的な MATLAB シミュレーション環境を構築した。具体的には、地球および火星の公転運動を簡略化したモデルに基づき、惑星間距離、伝搬損失、相対視線速度、ドップラーシフトの時間変動を算出し、深宇宙通信における物理層評価に必要な基礎条件を整理した。

また、軌道力学モデルに基づくドップラー事前補償、自動周波数制御（AFC: automatic frequency control）、位相同期処理（PLL: phase-locked loop）等を適用した後にも残り得る周波数オフセット残差を想定し、OTFS および OFDM（orthogonal frequency division multiplexing）のビット誤り率特性を比較評価するためのシミュレーションを行った。さらに、自由空間伝搬損失を考慮したリンクバジェット評価を組み合わせ、送信 EIRP（等価等方放射電力）、受信 G/T（アンテナ利得対雑音温度比）、帯域幅等の通信システムパラメータが通信可能条件に与える影響を検討した。

これらの検討により、単一の見通し深宇宙リンクでは、ドップラーシフトの多くは事前補償や AFC/PLL 等の従来技術により補償可能である一方、低信号対雑音比（SNR: signal-to-noise ratio）下での追尾誤差、周波数オフセット残差、将来の多ノード・多中継構成におけるリンク間差分が、OTFS の有効性を左右し得ることを整理した。以上より、深宇宙通信における OTFS の有効性を、単なる大ドップラー環境への適用としてではなく、従来方式で十分な条件と OTFS のロバスト性が有効となる条件を切り分ける課題として位置付けた。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、本年度に構築した解析・シミュレーション環境を発展させ、OTFS 変調および FHSS（frequency hopping spread spectrum）方式が深宇宙通信において有効となる条件を明確化する。深宇宙通信では、単一の見通しリンクを前提とする場合、ドップラーシフトの大部分は軌道予測に基づく事前補償、自動周波数制御、位相同期処理等により補償可能であると考えられる。そのため、今後は従来の OFDM または単一キャリア方式で十分な条件と、OTFS の遅延・ドップラー領域におけるロバスト性が有効となる条件を切り分けることを重視する。

特に、将来の高データレート深宇宙通信を想定し、地球–月間、地球–火星間等の長距離主リンクと、月・火星周回衛星、探査機、惑星面端末等を含む近傍アクセスリンクを区別して評価する。長距離主リンクについては、主として事前補償、AFC、PLL 等による周波数追尾後の残差周波数オフセットや低 SNR 下での追尾誤差を評価し、従来方式で十分な条件と OTFS が有効となる条件を明らかにする。一方、近傍アクセスリンクについては、周回衛星と複数端末の間で生じるリンク間の遅延・ドップラー差や同期誤差が伝送品質に与える影響を評価する。これにより、LEO（low Earth orbit）衛星通信や NTN（non-terrestrial network）向けに検討してきた OTFS 技術を、深宇宙ネットワーク内の各リンクへ適用した場合の有効性と限界を明らかにする。

FHSS 方式については、深宇宙主リンクに常時存在する干渉への対策としてではなく、将来の深宇宙ネットワークにおける一時的なリンク品質劣化、短時間の電波干渉（RFI: radio frequency interference）、周波数共用、特定帯域の一時的な使用不能に対する周波数ダイバーシチ技術として位置付ける。常時ホッピングを前提とするのではなく、深宇宙通信に適した低頻度・低複雑度の周波数切替方式として OTFS との組み合わせを評価し、通信信頼性の向上効果、実装上の課題、および適用限界を明らかにする。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

なし。

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・R. Arimura, M. Miyake, S. Kameda, “Performance Comparison of OTFS and OFDM in High Mobility Q/V-Band LEO Satellite Communication,” 2025 Sixteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Lisbon, Portugal, Jul. 2025.

・有村 凌, 三宅 正尭, 亀田 卓, “OTFS を用いた LEO 衛星向けアップリンク通信の性能評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-3-01, 岡山, 2025 年 9 月.

・川口 賢亮, 有村 凌, 三宅 正尭, 亀田 卓, “Q/V 帯を用いた低軌道衛星通信におけるマルチパス環境下での OTFS 性能評価,” 電子情報通信学会革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA 2025), 那覇, 2025 年 9 月.

・K. Kawaguchi, R. Arimura, N. Nakai, M. Miyake, S. Kameda, “Performance Evaluation of LEO Satellite DDMA Uplink Communication with Beam-Center-Based Delay Pre-Compensation,” 2026 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2026), C2-4, Chofu, Tokyo, Mar. 2026.

・有村 凌, 中井 希, 川口 賢亮, 三宅 正尭, 亀田 卓, “GNSS 遅延補償による LEO 衛星 DDMA アップリンク通信の性能評価,” 2026 年 電子情報通信学会総合大会, B-3-19, 福岡, 2026 年 3 月.

共同プロジェクト研究

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A12

研究課題名

ミリ波帯における人体領域通信用電波伝搬特性

[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 7 年度では動的環境におけるミリ波帯での人体領域の伝搬特性を 60 GHz 帯で実測し，WBAN 間干渉の電波伝搬特性を明らかにした．

図 1 に測定系を示す．歩行時を想定し，向かい合って置かれた送受信アンテナ間を人体が遮る際の受信電力変動を測定する．ここで Tx を送信アンテナ，Rx を受信アンテナとする．人体遮蔽による影響を主に観察するため，アンテナ指向性による影響を低減する目的で，Tx-Rx 間距離を 2 m とし，アンテナの高さを腰部高さの 0.94 m および頭部高さの 1.56 m に設定した．被験者は色マーカーを装着した状態で，Tx-Rx 間を横切るように歩行し，被験者の歩行動作をカメラにより撮影した．色マーカー位置を画像解析により取得した．測定は成人男性 1 名に対して，各条件 10 回ずつ実施した．

図 2，図 3 にそれぞれ腰，頭の高さで遮蔽する場合の測定結果を示す．横軸がアンテナ間を結ぶ直線を原点とした腰のマーカーの位置，縦軸が受信電力である．人体位置と受信電力を対応付けた結果，人体位置に応じて受信電力が変化することを確認した．特に人体がアンテナ間中央付近を通過する際に大きな減衰が生じた．また，x=−240 mm 付近の小さな減衰は腕による遮蔽の影響であり，大きな減衰は胴体および腕による遮蔽の影響である．ミリ波帯は波長が短く回折の影響が小さいことを明らかにした．

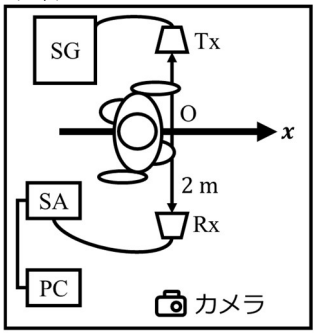


図 1　動的環境における人体遮蔽の測定系

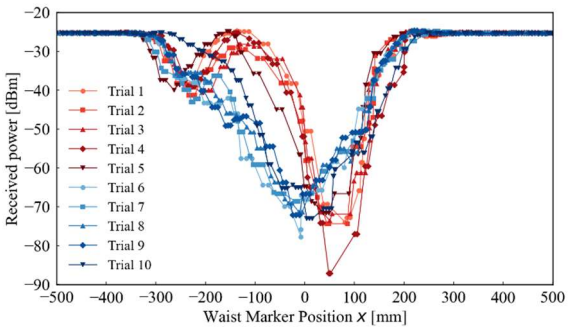


図 2 腰の高さの人体遮蔽の測定結果

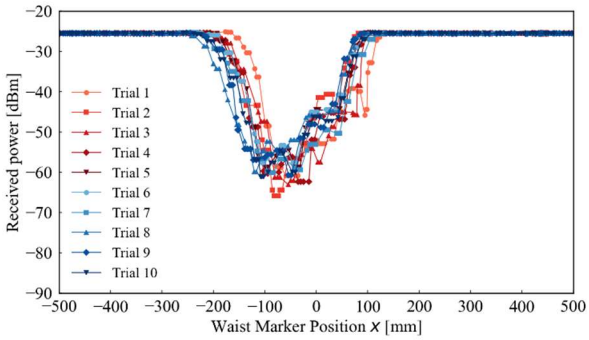


図 3　頭の高さの人体遮蔽の測定結果

[3] 今後の研究の推進方策

実測データに基づき動的環境における人体遮蔽効果をモデル化し，複数ユーザが密集する環境におけるミリ波帯 WBAN の WBAN 間干渉抑制効果を検証する．そのため今後は複数ユーザにおける人体遮蔽の測定を計画している．

［論文、学会発表、および関連成果等］

・鈴木謙信，秋元浩平，戸花照雄，「WBAN のための画像解析を用いた胴体・腕遮蔽モデル」電気関係東北支部連合大会，2D1-02 (2025.9)
・三田圭祐，秋元浩平，戸花照雄，「ミリ波帯 WBAN のための生体等価ファントム曲率の反射受信電力の評価」電気関係東北支部連合大会，2D1-06 (2025.9)
・鈴木謙信，秋元浩平，戸花照雄，「ミリ波帯 WBAN のための画像解析を用いた動的環境における胴体遮蔽の測定」，IEEE EMCS Sendai Chapter 学生発表会, EMCSS223-8 (2026.3)
・三田圭祐，秋元浩平，戸花照雄，「ミリ波帯 WBAN のための皮膚厚の異なる生体等価ファントムを用いた反射受信電力の測定」，信学総大，B-17-01，九州産業大学(2026.3)
・鈴木謙信，秋元浩平，戸花照雄，「ミリ波帯 WBAN のための画像解析を用いた動的環境における人体遮蔽の測定」，信学総大，B-17-02，九州産業大学(2026.3)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・太田晴大，秋元浩平，戸花照雄，「60GHz 帯端末間通信における伝搬距離の人口密度特性」電気関係東北支部連合大会，2D1-03 (2025.9)
・小澤常直，秋元浩平，戸花照雄，「都市環境における端末間通信のためのさらされ端末問題抑制可能な時分割分散アクセス制御方式」電気関係東北支部連合大会，2D1-07 (2025.9)
・太田晴大，秋元浩平，戸花照雄，「ミリ波帯端末間通信における送信機会均等性の評価」，IEEE EMCS Sendai Chapter 学生発表会, EMCSS223-7 (2026.3)
・秋元 浩平，“高密集環境に対応したミリ波帯人体領域通信システム，”第 223 回 EMC 仙台ゼミナール，EMCSS223-9，2026 年 3 月．（招待公演）

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A13

研究課題名

ミリ波・テラヘルツ通信におけるチャネルモデリングとビームフォーミング

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
夏 斯傑（広島大学半導体産業技術研究所）

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

本年度は、ミリ波帯通信を想定したビームフォーミング（BF）の基礎検討を行った。具体的には、単一セル環境において、ユーザおよびアクセスポイント（AP）をランダム配置したクラスタ中心型システムモデルを構築し、近隣ユーザを単位としたクラスタごとにマルチユーザ Multiple-Input Multiple-Output（MU-MIMO）伝送方式を適用した。また、クラスタごとの総アンテナ素子数および配置中心を一致させた条件下で、従来の分散アンテナ構成と小規模アレイアンテナ構成の比較評価を実施した。

次に、全方位に対して柔軟なビーム形成が可能な等間隔円形アレイ（UCA: Uniform Circular Array）を採用し、各ユーザの出発角（AoD: Angle of Departure）に基づくアレイ応答ベクトル、パスロス、シャドウイング、およびレイリーフェージングを考慮したチャネルモデルを構築した。さらに、MRT（Maximum Ratio Transmission）および MMSE（Minimum Mean Square Error）プリコーディングを適用し、各アレイが所属クラスタ内のユーザに対して独立に BF を行う「クラスタ中心型 BF 方式」と、複数アレイが協調して同一ユーザへ複数のビームを向ける「ユーザ中心型ビーム協調方式」を比較し、ビーム利得向上およびクラスタ間干渉抑制効果について評価した。

評価の結果、分散アンテナ構成では、ユーザとの距離短縮に伴うパスロス低減効果により高い通信容量が得られることを確認した。一方、小規模アレイアンテナ構成においては、ユーザ中心型ビーム協調を導入することで通信容量を改善できるものの、アレイ素子数が少ない場合には BF の自由度不足により、その協調効果が限定的となることが明らかになった。以上の検討を通じて、高周波帯通信におけるアンテナの分散配置およびビーム協調の重要性に関する知見を得た。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、本年度に構築したシステムモデルおよび BF 評価環境を発展させ、より現実的な高周波帯通信環境を考慮した検討を進める。まず、関連文献調査を継続し、ミリ波帯およびテラヘルツ帯通信におけるチャネルモデル、アレイアンテナ構成、および機械学習を用いたビーム制御方式に関する知見を整理する。特に、高周波帯通信では、伝搬損失および高指向性ビームによる遮蔽問題が通信品質へ大きく影響するため、これらを考慮した現実的な評価環境の構築を進める。

チャネルモデルについては、現在の単純化した二次元伝搬モデルからより現実的な三次元チャネルモデルへと拡張を図る。具体的には、光線追跡（Ray Tracing）シミュレーションを適用し、屋内環境における反射波、回折波、および散乱波を考慮した精緻な伝搬特性解析を行う。また、高周波帯通信では遮蔽による通信品質劣化が大きな課題となるため、直接波だけではなく、反射波を含む遅延波を活用した BF 方式についても検討を行い、遮蔽環境下における通信品質向上の可能性を評価する。

アレイアンテナ構成については、現在検討している UCA に加え、平面アレイや円筒アレイ等のより複雑な構造についても検討を進める。これにより、三次元空間における BF 特性およびビーム追従性能への影響を明らかにする。また、ミリ波帯とテラヘルツ帯を対象として、同一環境下における伝搬特性および BF 性能の比較を行い、周波数帯域の違いによる特性差を明確化する。さらに、送信電力、ビーム利得、および通信容量の関係についても評価を行い、高周波帯通信における通信品質とエネルギー効率の両立可能性について検討する。

さらに、これらの検討をベースとして、ユーザ移動を考慮した動的環境への拡張を行い、ビーム追従およびアレイ間協調制御方式について検討する。その後、屋外の高速移動環境や遮蔽環境において、機械学習を活用した低演算量な BF 制御およびビーム切替アルゴリズムを検討し、信号処理に伴う演算量と通信品質のトレードオフを定量的に評価することで、高周波帯分散型通信システムに適した現実的なビーム制御方式を確立する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・K. Ogata, S. Xia, M. Miyake, S. Kameda, and F. Adachi, “Array-Antenna-Based Cluster-Centric Cell-Free Massive MIMO: Interference Suppression and Cost Reduction by Hybrid Beamforming,” *IEEE 102nd Vehicular Technology Conference (VTC2025-Fall)*, Chengdu, China, Oct. 2025.

共同プロジェクト研究

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No.　2025A14

Title

Management and performance evaluation of 5G systems.

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

Gustavo Pedroso Cainelli (ifak Institut für Automation und Kommunikation e.V., Magdeburg, Germany)

Research collaborator of RIEC：

Noriharu Suematsu

[2] Summary of Research Results for the Year

Industry 4.0 requires communication networks capable of dynamically adapting to the varying demands of industrial applications. In this context, this work proposes the use of Asset Administration Shells (AAS) and the EmKoI4.0 orchestrator to enable dynamic configuration of industrial 5G networks according to application requirements.

The project is developed through an international collaboration between the Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University, Sendai, Japan, the Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak), Magdeburg, Germany, among other partners.

The implementation of the research activities in 2025 was divided into four main parts: (1) project planning and definition of experimental scenarios, (2) implementation and commissioning of the experimental setup at the RIEC laboratory, (3) execution of experiments using different 5G network configurations, and (4) partial analysis of the obtained results and initial scientific dissemination.

1 - Project Planning

During the initial stage, the experimental strategies, test scenarios, and possible configurations of the RIEC 5G network were defined. The EmKoI4.0 orchestrator was designed to dynamically adapt the 5G network according to industrial application requirements, avoiding manual reconfigurations and enabling higher operational flexibility. The integration between the AAS and the EmKoI4.0 orchestrator was also investigated in industrial intralogistics and crane automation scenarios.

2 - Experimental setup implementation

In March 2025, the experimental setup was installed at the RIEC laboratories with the objective of reproducing the industrial environment originally deployed in Germany. The overall architecture of the implemented system is presented in Figure 1. Two i.MX development boards were used, equivalent to those employed in real industrial cranes emulating the data traffic of the use case from Germany. The experimental environment also included devices responsible for video transmission emulation, transmission time measurements, and network monitoring.

The setup consisted of the RIEC 5G network and 5G user equipment (UE), crane emulation devices, and camera/video emulation systems.

3 - Experimental Execution

After installation and preliminary validation, the experimental system remained in continuous operation from March to October 2025, during which several experiments were conducted. The tests involved different 5G network configurations, mainly related to uplink (UL) and downlink (DL) timeslot allocation, aiming to evaluate the impact of these configurations on data rate and transmission time. The EmKoI4.0 orchestrator used information provided by the AAS models to suggest suitable network configurations according to application requirements.

Selected timeslot configurations were evaluated, with two representative configurations presented in this report for detailed analysis: a downlink-dominant configuration (Config 1 = 1UL:3DL) and a balanced configuration (Config 2 = 1UL:2DL). In addition to network parameters, different video transmission rates were also configured in the emulation system to represent scenarios equivalent to SD and HD video streaming, allowing evaluation of the impact of multimedia traffic on network performance metrics.

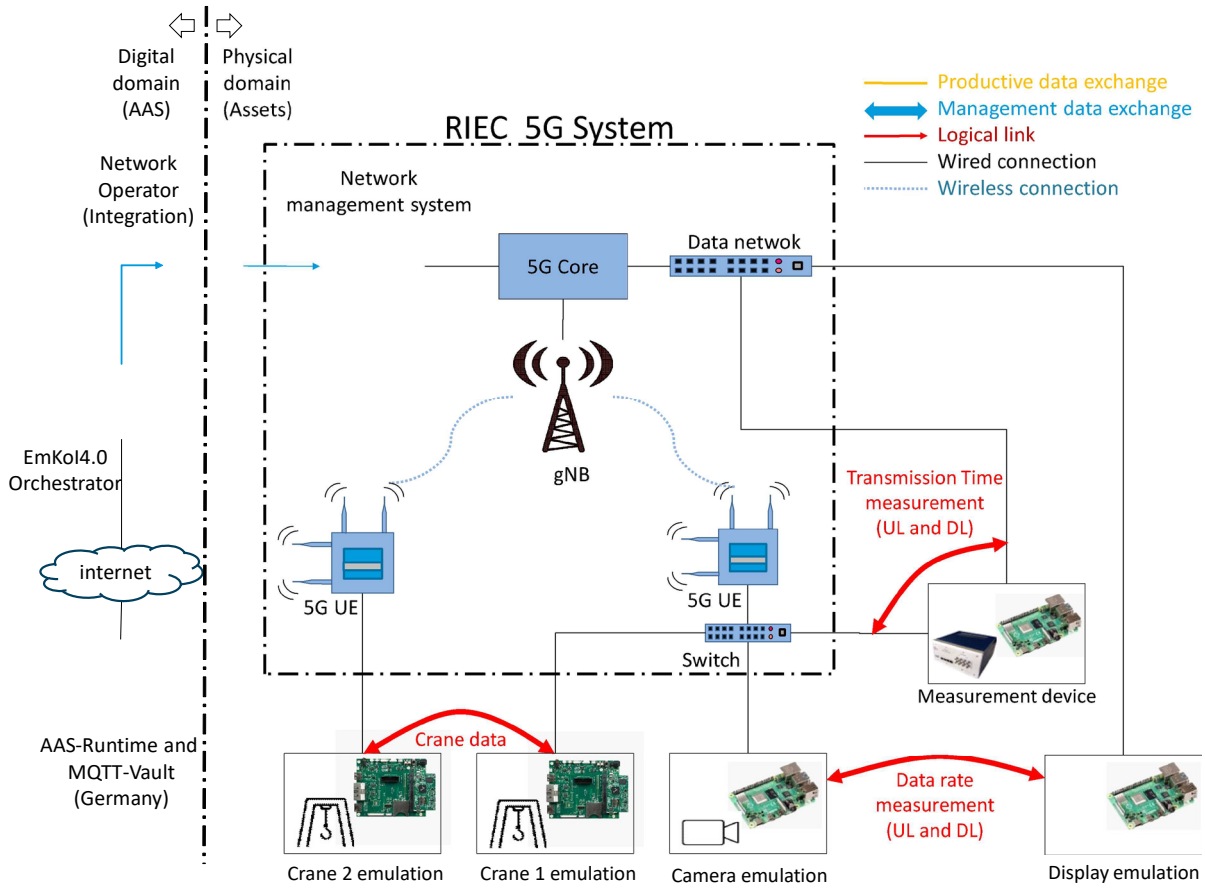


Fig.1: Experimental setup implemented at RIEC.

4 - Analysis of Results

The collected results were used to perform a comparative analysis between different uplink and downlink configurations. Figure 2 presents the transmission time results for the two evaluated configurations.

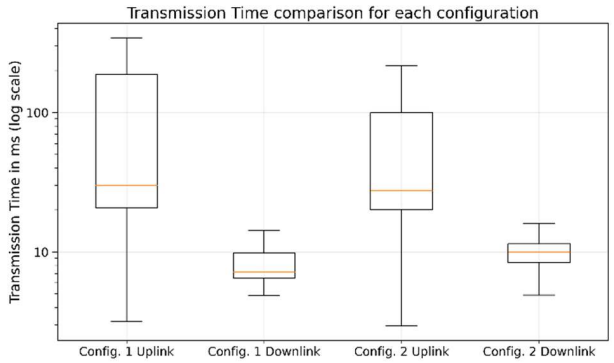


Fig. 2: Transmission time comparison in uplink and downlink for configuration 1 and configuration 2.

The results show that uplink transmission times presented higher variability in both configurations, especially in the downlink-dominant configuration due to the reduced availability of uplink resources. In contrast, the balanced configuration showed more stable behavior and improved uplink performance. Downlink results exhibited lower dispersion and greater stability in both cases.

The analysis demonstrates that industrial applications can significantly benefit from dynamic 5G network reconfiguration. The experiments also indicate that the AAS-based model efficiently represents both application communication requirements and network capabilities, enabling the EmKoI4.0 orchestrator to automatically adapt network configurations according to operational demands.

Part of the obtained results was presented at the RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, while additional results are currently under preparation for future scientific publications. So far, the obtained results demonstrate the feasibility of combining AAS models and the EmKoI4.0 orchestrator for dynamic management of industrial 5G networks, indicating strong potential for future applications in intelligent industrial environments and private 5G networks.

[3] Future Research Promotion Measures

Future work will extend the evaluation of configurable 5G network parameters beyond the TDD timeslot allocation analyzed in the present project. In particular, upcoming experimental activities may investigate the

impact of different Radio Link Control (RLC) operation modes on communication performance in industrial applications. The study is expected to compare the standard acknowledged mode (RLC_AM), which performs packet retransmissions to ensure data integrity, with unacknowledged mode (RLC_UM_BIDIRECTIONAL), where retransmissions are disabled in order to reduce transmission time. This analysis will focus on understanding the trade-off between reliability and real-time responsiveness in industrial wireless systems.
The proposed experiments will particularly target real-time video transmission scenarios associated with remote crane operation applications. The objective will be to evaluate whether lower-transmission time video streams with occasional frame losses provide operational advantages when compared with higher-reliability streams that may introduce buffering and increased delay due to retransmission mechanisms. Experimental validation may be conducted using controlled traffic generation tools as the ones presented in Figure 1 such as iperf to emulate HD and SD video traffic under different RLC configurations. Key performance indicators including data rate, message loss ratio, and end-to-end transmission time are expected to be analyzed in order to assess the suitability of each RLC mode for Industry 4.0 use cases requiring low-transmission time stable wireless communications.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

Ota, K.; Cainelli, G. P.; “Management and Performance Evaluation of 5G Systems.” Presented at the “RIEC Annual Meeting,” Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University, Sendai, Japan, February 19, 2026.

Soler Perez Olaya, S.; Kankanamge, H. K. P.; Cainelli, G. P.; Itaya, S.; Ohori, F.; Nakajima, T.; Osuga, T.; Suematsu, N.; Shiba, T.; Wollschlaeger, M. “Intelligent 5G Communication with Smart Resource Flow and EmKoI4.0 Orchestrator.” Proceedings of the IEEE WFCS 2025 – Workshop on Factory Communication Systems, May 2025.

Kankanamge, H. K. P.; Yazdani, P.; Shiba, T.; Cainelli, G. P.; Soler Perez Olaya, S.; Wollschlaeger, M.; Suematsu, N. “Flexible Transmit Power Reconfiguration in Private 5G Networks using the Asset Administration Shell.” Proceedings of the GPECOM 2025 – International Conference on Electrical, Electronics, Computer and Communication Engineering, June 2025.

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

Soler Perez Olaya, S.; Cavegn, D.; Braunisch, N.; Ristin, M.; Sadurski, M.; Van De Venn, H. W.; Wollschlaeger, M. “Digital Twin in Industrie 4.0 Implementation for Embedded Systems.” Proceedings of the 2025 IEEE 21st International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), August 2025.

Kankanamge, H. K. P.; Gneuß, T.; Wollschlaeger, M. “Deep Learning aided Continuous Development of AAS Submodel Templates.” Proceedings of the VDI-Kongress AUTOMATION 2025, July 2025.

Cainelli, G. P.; Jumar, U.; Pereira, C. E.; “Leveraging Asset Administration Shells to Model Application Requirements and Data Traffic Parameters in Industrial Automation.” Proceedings of the LatinIoT 2025 – First Latin American Conference on Internet of Things, Fortaleza, Brazil, April 2025.

Cainelli, G. P.; Underberg, L.; Pereira, C. E.; Jumar, U. “Dynamic Reconfiguration of Application and Communication in Industry 4.0 with Digital Twin for Enhancing Flexibility.” at – Automatisierungstechnik, De Gruyter, February 3, 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A15

研究課題名

高周波ダイヤモンドトランジスタの高性能化に向けた基礎研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
金子　純一（北海道大学大学院工学研究）

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：
星川　尚久（北海道大学大学院工学研究科）
森　皓平（北海道大学大学院工学研究科）
臼田　奏太（北海道大学大学院工学研究科）

[2] 当該年度の研究実績の概要

GaN や Ga_2O_2、ダイヤモンドのようなワイドギャップ/ウルトラワイドギャップ半導体は高い絶縁破壊電界と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こと(Fig 1)から、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 p 型の二次元キャリアガス層である‘表面電荷層’とするために水素終端させ、70 nmのゲート長でもトランジスタ動作を確認できた[1]ためにゲート長の小型化に向いている材料であるといえる。

標準的なセルフアライメントゲートを用いた Au/CaF_2/ダイヤモンドの金属-絶縁体-半導体電界効果トランジスタはエレメンタルテクノロジーを取り込むために製造された。

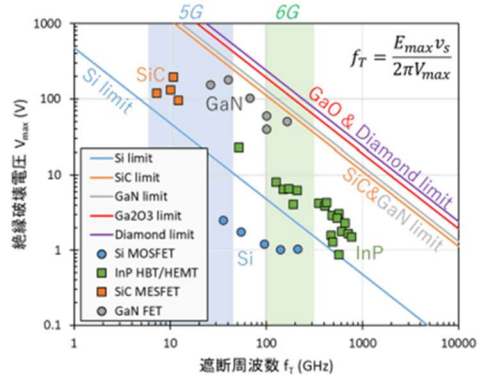


Fig 1 ワイドギャップ/ウルトラワイドギャップ半導体の JFoM(Johnson’s Figure of Merit)

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。
今回は以下のような条件で素子を作製した。

1. 1GHｚから 10ＧＨｚでの使用を想定し作製を行った。その時のゲート長はそれぞれ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.5 ㎛であって、ゲート幅はすべて 50 ㎛である。
2. セルフアラインの手法を利用するため、金を電極として使用した。抵抗加熱蒸着によってこの層を蒸着させた。(Fig.2 Fig.3)
3. リフトオフによるゲート部を作成するために、ゲート金属として Ti を採択し、電子ビーム(EB)蒸着により製膜した。(Fig.2 Fig.3)

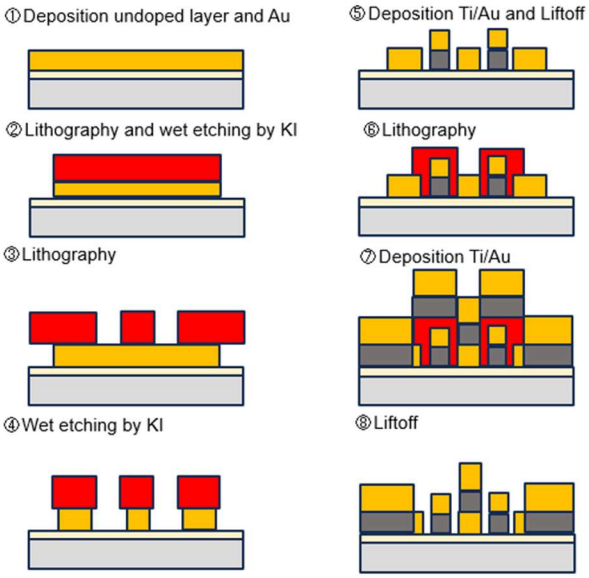


Fig.2 作製プロセス

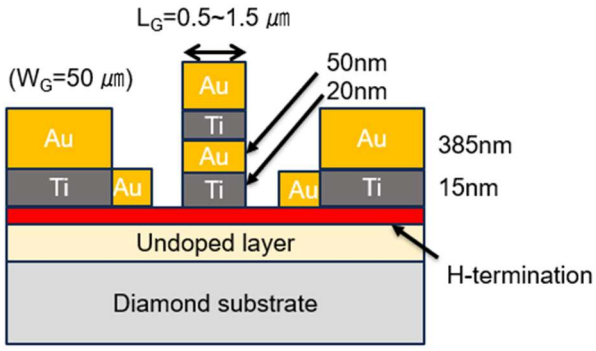


Fig.3 作製した FET の断面図

素子作製後は当研究室で IV 測定を行い、トランジスタ動作をしていることを確認した。その後、東北大学で RF 測定を行った。

RF 測定時には周波数は 10 MHz から 40 GHz まで 10 kHz ずつで変化させ、V_g は-5.0 V から-10 V まで 1.0 V ずつ変化させた。Fig. 4 に示す VNA(Rohde & Schwarz ZVA 67)を用いて測定を行った。

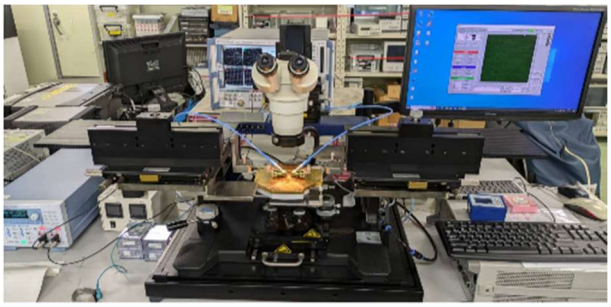


Fig. 4 測定系外観

我々はゲート長 0.7~1.5 μmのデバイスの作製に成功した。Fig.5 にゲート長が 0.7 μmの IV 測定の結果、Fig.6 にゲート長が 0.7 μm、ゲート電圧-7.0 V における RF 測定結果を示す。この結果から 10 MHz で S_{21} が負であることから、トランジスタとして動作をしていないことが読み取れる。しかし IV 測定結果からはトランジスタとしての動作が確認できるため、設計上で高周波動作を妨げる要素があったことが考えられる。

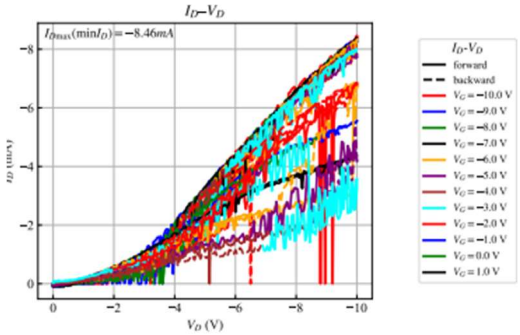


Fig.5 ゲート長 0.7 μmにおける IV 測定結果

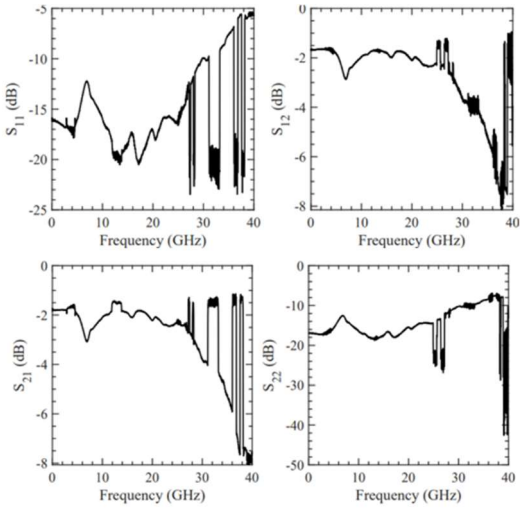


Fig.6 ゲート長 0.7 μm、ゲート電圧-7.0 V における RF 測定結果

[3] 今後の研究の推進方策

今回の結果では高周波帯でのトランジスタ動作が確認できなかったため、その要因の特定を行い、次回試作するデバイスでの改善を行う。また、遮断周波数を向上させるための別のアプローチとして、ソース・ゲート間抵抗（Rsg）の低減が挙げられる。R_{sg} を低減することで本来の目的である水素終端ダイヤモンド FET 高性能化のためのシート抵抗低減を進めていく。

[参考文献]
[1] H. Umezawa et al, MRS Proceedings, vol. 680, E8.2 (2011)

[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
・該当なし

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A16

研究課題名

二次元材料を用いた光電子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）

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

最初に、裏面に銀ナノ構造を形成した原子レベルで平坦なマイカ基板上にグラフェンを転写した試料を用いて R6G のラマン分光測定を行った（図 1）。その結果、グラフェンによる表面増強ラマン散乱（SERS）が確認された。これは、グラフェンの蛍光クエンチング効果によりラマン信号のバックグラウンドが低減したことに加え、グラフェン独自の化学的増強、および裏面の銀構造からの反射光による再励起が相乗的に作用したためと考えられる。また、平坦なマイカ基板上で SERS 信号が確認されたことから、グラフェンのリップル構造が SERS に与える影響は限定的であることが示唆された。

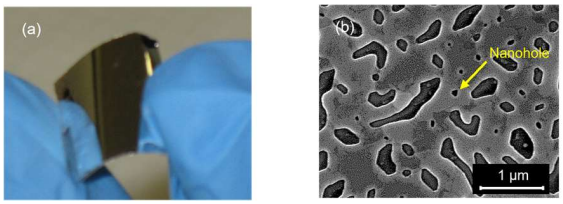


図 1（a）測定試料の外観、（b）銀構造の SEM 写真

次に、グラフェン上にサンドイッチ ELISA を構築し、牛の乳房炎に関連するサイトカインの IL-6 の検出を行った。その結果、50 pg/mL の IL-6 を検出することができた（図 2）。

そして、銀／マイカ基板の幾何学的増強効果について解析した。マイカ基板側からレーザーを入射すると、銀ナノホール側から入射した場合と比べて R6G（10^{-6} M）の SERS 信号強度が約 2 倍大きくなった（図 3）。この結果を FDTD 法によるシミュレーションを用いて解析した結果、レーザー光がマイカ基板を通過するとマイカと空気の屈折率の違いにより、局在電磁場が強くなることがわかった。

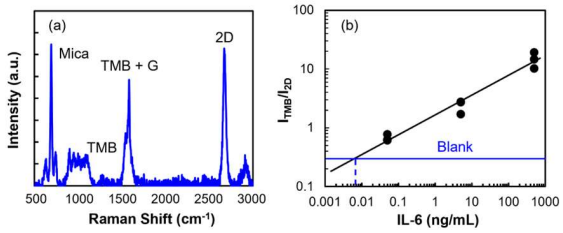


図 2（a）IL-6 の SERS スペクトル、（b）IL-6 の検量線

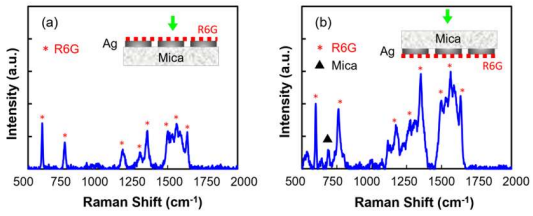


図 3 R6G の SERS スペクトルの試料配置による違い
（a）銀構造上向き 、（b）銀構造下向き

最後に、グラフェン自体の SERS 感度の改善を検討した。その結果、グラフェンに H_2 アニール処理を施すことにより、金ナノ構造 SERS 基板を上回る増強因子が得られることがわかった。この要因として、転写時に生じた PMMA 残渣の除去に加え、グラフェン表面から酸素が除去され、水素が吸着したことで表面の疎水性が向上し、分子やタンパク質が吸着しやすくなったことが考えられる。さらに、H_2 アニール処理を施したグラフェン基板を用いることで、PCR 検査の検出限界を凌駕する 0.5 pg/mL という極めて低濃度の IL-6 の検出ができることがわかった。以上の結果から、H_2 アニール処理を施したグラフェン SERS 基板と ELISA を組み合わせた本手法により、さまざまな分子やタンパク質を高感度に検出できることが示唆された。

[3] 今後の研究の推進方策

本研究で得られた成果をもとに、グラフェン SERS 基板の実用化を目指し、民間企業と共同研究を開始した。今後は、助成金への申請を行い、基板の高性能化および実用化に向けた研究を加速する。具体的には、銀ナノ構造の最適化、グラフェン表面処理の最適化、および基板構造の改良等を行い、さらなる高感度化を図る。また、量産プロセスの確立に取り組むとともに、実試料を用いた評価により実用性を検証する。さらに、ELISA

との統合による多項目同時検出や、他の炎症マーカーおよびバイオマーカーへの応用展開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）

・T. Uchino, Y. Heng, C. Tang, S. Kasai, H. Fukidome, A. Satou, S. Ikeda, and T. Otsuji, “Improved sensitivity in graphene-mediated surface-enhanced Raman scattering via H_2/Ar annealing,” J. Appl. Phys, 138 (2025) 174503.

・T. Uchino, Y. Heng, R. Kumagai, S. Kasai, C. Tang, H. Fukidome, A. Satou, T. Otsuji, and S. Ikeda, “Graphene-based flexible SERS substrates with Ag nanohole structures for biochemical sensing,” Next Nanotech. 9 (2026) 100384.

・T. Uchino, Y. Heng, C. Tang, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, “Rectifying and Photoconductive Responses in Graphene–Double-Insulator–Graphene (GI^2G) Structures,” C−J. Carbon Research 12 (2026) 18.

(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（2025 年度）

採択番号　2025A17

研究課題名

ナノスケール観測に基づくパワー半導体デバイスの動作限界の解明

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
佐藤 宣夫（千葉工業大学 工学部）

通研対応教員：
山末 耕平（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

パワー半導体デバイスは電源回路の中心部品であり，FA 機器・電気自動車・鉄道車両等に加え，生成 AI 普及に伴うデータセンターや半導体工場などへ適用が拡大している。省エネルギー化のため電源回路の高効率化（高耐圧化／大電流容量化＝低オン抵抗化／高速スイッチング化）が要求され，ワイドバンドギャップ半導体の導入により性能向上が進展している。一方，信頼性確保が課題であり，現状対策は安全係数（余裕度）の設定に留まり，根本的な故障防止に至っていない。そのため，動作中内部状態の可視化に基づく故障要因解明が必要である。

本研究は，形状・電位・微分容量・欠陥箇所・電流経路の 5 種類の情報を同一箇所・同時に取得できる多機能走査型プローブ顕微鏡（Multi-purpose SPM）を開発，(1) デバイスの理論的動作限界を定量的に導出する手法の確立，(2) 劣化模擬試料の観測＋シミュレーションに基づく等価回路モデル構築を行う。得られた知見を基にソフトスイッチング回路設計論を提案し，故障を未然に防ぐ「予防工学」領域の創出を目指す取り組みである。

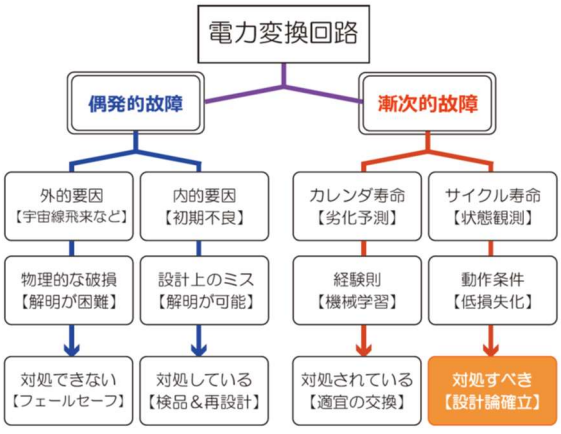


図 1. 電力変換回路における故障分類と対処

具体的な成果として，パワー半導体（対象：MOSFET）のナノスケール領域で表面形状・電位・微分容量を同時観測できる装置は開発済みである。現在，欠陥位置特定と電流経路の可視化機能を追加するための装置改良を継続している。

観測対象試料については，断面露出であっても半導体特性を失っていないことを確認，多機能 SPM による観測が十分可能であることを確認した。さらに，マクロな絶縁破壊電圧計測とデバイス内部のドリフト層の膜厚測定によって絶縁破壊電界を算出できたことから，キャリア濃度の推定が完了した。これにより，観測領域内のすべての位置でキャリア濃度を推定するための指針が得られた。

また電流経路可視化に向けて，デバイス動作の ON/OFF に応じた磁界強度の差分をゲート電極近傍で取得し，磁界検出自体の成立を確認した。一方で，観測信号にはリーク電流等の寄与が含まれる可能性も示唆されるため，再現性検証を目的として観測データの蓄積を継続していく。

[3] 今後の研究の推進方策

SPM による 5 つの情報を同一箇所・同時取得し，観測データ主導でシミュレーション・等価回路モデル化へ接続することで，動作限界の定量議論と劣化予防設計へ橋渡しする。最終的には，劣化を反映した等価回路モデルと，ソフトスイッチング回路設計の指針（評価プロトコルを含む）を提示する。具体的には，以下を推進していく。

1. オペランド観測データをシミュレーションへ反映し，理論動作限界を導出する。
2. 熱加速で劣化を模擬した試料の観測＋シミュレーションにより，劣化現象を再現できる等価回路モデルを確立する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・該当なし.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・T. Shiono, N. Satoh, “Development of an Isolated Class-Φ_2^2 DC-DC Converter with Bidirectional Operation”, *IEEJ Journal of Industry Applications*, vol. 14, pp. 529-534, (2025).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A18

研究課題名

心像の個人差と多様性

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

目の前に存在しない対象を頭のなかで思い浮かべることを「心的イメージ」と呼んでおり，近年になってアファンタジア（イメージが浮かばない特質）の存在が指摘されるようになった（Zeman et al., 2015）。

現在，アファンタジア研究は実験的検討の段階に入っているものの，そもそもアファンタジアを同定するためのツールや基準が確定しているとは言い難い。本研究の目的は，アファンタジアを同定するためのツールと基準について，特に質的観点から検討を行うものである。

本年度は，アファンタジアを対象とした質的調査の実施および回答傾向の解析を行った。

（方法）

対象者　アファンタジア群（アファンタジアの自覚がある 80 名，およびアファンタジアの自覚はないが基準を超えている 46 名），統制群 300 名であった。アファンタジアの同定基準としては，VVIQ ≦ 32（Dance et al., 2022）を用いた。

質問紙　アファンタジアの同定に関連して「視覚イメージ鮮明性質問紙」（VVIQ：Marks, 1973），多感覚イメージに関連して「イメージ鮮明性質問紙」（QMI：Betts, 1909）の短縮版（Sheehan, 1967），認知スタイルに関連して「言語型―視覚型質問紙」（VVQ：Richardson, 1977）を用いた。全てについて日本語版であった。

質的質問項目として，“休日や記念日など過去の印象的な出来事を視覚的に思い出すことはできますか？”，“イメージすることの難しさは，日常生活に影響を及ぼしていますか？”や“イメージすることの難しさは，勉強や仕事に影響を及ぼしていますか？”などを設定した（Zeman et al. [2015] を参照した）。回答は，「はい・いいえ」の 2 件法，あるいは「はい・いいえ・わからない」の 3 件法であった。

（結果と考察）

まず，アファンタジア群（自覚がある群），アファンタジア群（自覚がない群），統制群の 3 群において，アファンタジア同定に用いる VVIQ の評定値を比較した。結果から，アファンタジア群（自覚がある群）< アファンタジア群（自覚がない群）< 統制群の順序で VVIQ 評定値が高くなった。つまり，アファンタジア群（自覚がある群）の VVIQ 評定値が最も低かったといえる。

次に，アファンタジア群（自覚がある群），アファンタジア群（自覚がない群），統制群の 3 群において，各質的質問項目への回答割合を算出して，カイ二乗検定により解析を行った。結果から，アファンタジア群（自覚がある群）は，他の 2 群と比較して，感情的な影響や自伝的記憶の困難など，アファンタジアに関連する経験を頻繁に報告することがわかった。また，これらの報告の背景には，アファンタジア群（自覚がある群）における多感覚イメージの欠如（QMI の結果），言語的認知スタイルを用いた代償作用（VVQ の結果）が影響している可能性を推測した。

これらの結果から，イメージ欠如の程度が極端なレベルに達した場合にのみ（つまり，本研究におけるアファンタジア群［自覚がある群］），アファンタジアに関する主観的な認識が引き起こされ，それが明確な質的経験として現れる可能性があると考えた。

[3] 今後の研究の推進方策

以上より，統制群と比較して，アファンタジア群における日常生活のエピソードの質的違いが明らかとなった。特に，それはイメージ鮮明度が極端に低い場合に生じる可能性もわかった。今後は，

- より多くの日常生活のエピソードについて解析を進めること
- アファンタジアによる影響が見られやすい / 見られにくいエピソードを区別すること

などについて，調査と解析を進める予定である。そのうえで，2026 年度中には論文投稿を目指す。

本研究の知見を得ることで，社会におけるアファンタジアの理解が促進され，認知的多様性を認められる社会の構築へ寄与できると考えている。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・2026 年度に論文投稿および学会発表を予定

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Takahashi, J., Omura, K., and Sugimura, S. (2026). Age differences in visual and multisensory imagery: Notes on distributions of aphantasia and hyperphantasia in individuals aged 20s–70s. Neuropsychologia, 226, 109433.

・髙橋純一・杉村伸一郎・行場次朗 (編著) (2025). イメージの〈ない〉世界に生きる　アファンタジア, 北大路書房.

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　2025A19

研究課題名

高機能軟磁性合金の多結晶組織と特性の評価

[1] 研究組織

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）

研究分担者
栃修一郎（東北学院大学工学部）
丹野健徳（東北大学電気通信研究所）
阿部真帆（東北大学電気通信研究所）
千葉雅樹（東北大学多元物質科学研究所）

[2]研究期間

2025 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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も含む）等には軟磁性材料（鉄合金など）が用いられ、それらの材料にはデバイスでの高いエネルギー変換効率などが求められる。その特性向上のために、これまで申請者は鉄合金単結晶の特性（軟磁性、磁歪）の方位依存性などを調べてきた。さらに通研の共同プロジェクトでは東北大学の技術職員（丹野、阿部、千葉：分析・評価・ 観測群）とともに週 1 回程度のセミナーを開催し、そこでは育成した鉄合金単結晶に僅かに変形を加えたときの磁歪特性へ影響、磁化過程への影響などについて明らかにしてきた（Mater. Trans. 63(2022), 502- 507 など）。

さらに、軟磁性材料のアクチュエータへの応用などにおいては、様々なデバイスの特性に合わせた材料が求められており、そのニーズに応えるのに軟磁性材料の特性発現に関わる集合組織などの知見を設計に活用することが重要である。一方、最近では希少元素を低減した合金への社会的ニーズが高いものの、磁気的特性などに及ぼす集合組織などの影響については不明な点が多い。申請者らの実績を基盤に、今回は面心立方構造（FCC）と体心立方構造（BCC）からなる二相ステンレス鋼板（Ni 量を低減した希少元素節約型鋼板）の力学的特性などに影響する機構を解明することを目的とした。実験では、X 線回折法を用いてミクロ組織を測定し、鋼板に残留する応力の評価も行った。これらの結果と巨視的な力学的特性との関連性を調査することとした。

[4]研究計画及び内容

東北大学の技術職員とのセミナーにおいては、走査電子顕微鏡付属の電子後方散乱回折装置（SEM-EBSD）や X 線回折装置（XRD）による集合組織の解析についての研究基盤の高度化などを行う。それに関連し、これまで XRD による方位分布関数解析法、EBSD による四元数表示法の高度化などを行い、研究基盤の構築とともに各種磁気的特性に影響する因子などを議論してきた。今回の実験では、SEM を用いた試料の結晶方位解析を行い、XRD と SEM の解析結果の比較などから、方位変化（単結晶での測定）と残留応力の方向（多結晶での測定結果）との相関などを示す。

試料としては、二相ステンレス鋼（NS ステンレスより提供：21Cr-2Ni-3Mn-Cu-0.17N (mass%)）を用いて、2 つの相からなる鉄合金のミクロ組織の解析を行う。各相内のミクロ組織および残留応力が、これらの力学的特性などに影響を及ぼすので、それらと残留応力との関係性に着目した実験を行った。

[5] 研究成果と波及効果

（5-1）研究成果

図 1 は、二相ステンレス鋼中の BCC 相の 110，200，211 の正極点図を示している。これらの結果は、通常の冷間圧延した BCC 構造の薄鋼板の集合組織と類似している。一方、図 2 は二相ステンレス鋼中の FCC 相の 111，200，110 の正極点図を示しており、これらも一般的な FCC 構造の鋼板の集合組織と似ている。

各相の集合組織から各相の Young 率を推定でき、さらに二相ステンレス鋼板全体の Young 率も見積もることができる。図 3 は、その方位依存性を三次元的に表現した結果である。これらの結果は、共振法により求められる試料全体の Young 率の測定結果とほぼ対応づいていた。

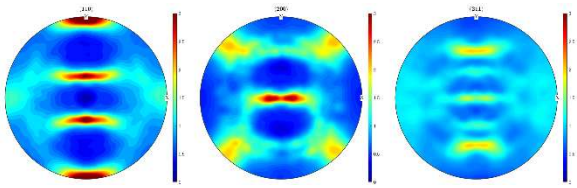


図 1　二相ステンレス鋼中の BCC 相の 110（左），200（中），211（右）の正極点図

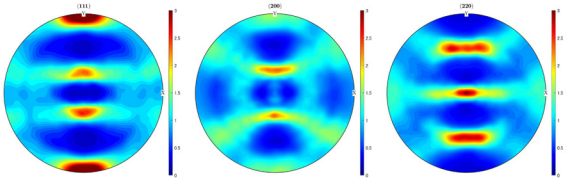


図 2　二相ステンレス鋼中の FCC 相の 111（左），200（中），110（右）の正極点図

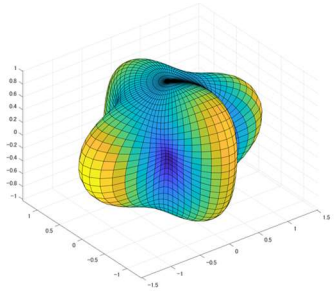


図 3　全体的な Young 率の方位依存性

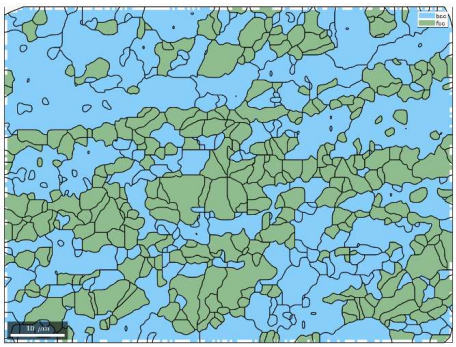


図 4　二相ステンレス鋼中の IPF マップ（青色：BCC；緑色：FCC）

図 4 は、今回の二相ステンレス鋼における BCC 構造のフェライト相および FCC 構造のオーステナイト相の逆極点図（IPF）マップを示している。高温では FCC 構造のオーステナイト相の方が安定であり、このミクロ組織は冷却した時に形成したものと考えられる。また、BCC 構造のフェライト粒の結晶粒が大きく、これはフェライト相中での置換型元素の拡散係数が大きいことが影響していると思われる。

(5-2) 波及効果と発展性

共同研究プロジェクトでは、主に鉄合金単結晶などの EBSD と XRD を用いた多面的な解析技術の基盤を構築してきた。本研究では、予備的なデータがある程度揃っている鉄基二相合金の板材などについて、ミクロ組織や集合組織などの力学的特性（Young 率など）への影響を明らかにしてきた。さらに、今回の鉄基二相合金については、異なる磁気的特性も実測しており、それらへのミクロ組織の影響なども明らかにしてきた。一方で、モーターなどでの電磁誘導などの現象においては、磁気的特性に対する有効な弾性異方性などの影響も十分把握できていなかった。このため、各種の合金の磁気的特性や弾性に係る異方性に影響する集合組織などに関する詳細な情報が得られれば、それらの因子が多結晶鉄合金の特性にどのように作用しているかが解明されることが期待される。このように、本研究で得られた知見は、軟磁性鉄合金のモーターなどのデバイスでの電磁誘導特性などの向上への活用の分野にも展開し、高効率のデバイスを設計する上での重要な指針となる可能性がある。

なお、本共同研究プロジェクトと関係し、つくばグローバルイノベーションアリーナ推進機構（TIA かけはし）のプロジェクト（代表：筑波大学谷本久典先生准教授）にも採択されており、2026 年度の科学研究費補助金奨励研究（千葉雅樹技術主任：応力テンソルと結晶方位に依存する弾性率の数理解析および結晶粒の変形機構解明）にも採択された。

[6]まとめと今後の課題

希少元素であるニッケル添加量を節約した二相ステンレス鋼板における各相の集合組織を求めることができた。各相の Young 率と集合組織の測定結果などから、試料全体の Young 率を推定することができた。また、試料全体的な異方性 Young 率は、周波数を変えたときの振動応答法による共振周波数から求められ、それらは概ね妥当な対応が付いていた。

次世代においては各種の希少元素の節約が求められており、今回の共同プロジェクト研究のように複数の相が共存する材料でのミクロ組織や構造解析に関する課題が増えてくる可能性がある。そこでは、力学的特性や磁気特性が、異方性のあるミクロ組織、残留応力などと密接な関係を持つため、それらの評価が重要になることが予想される。次の課題としては、今回の研究などで構築してきた技術をそれらの分野の課題にも展開する予定である。

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・鈴木茂, 丹野健徳, 阿部真帆, 千葉雅樹, 佐藤成男, 谷本久典, 石山和志：「希少資源節約型の二相鉄合金における 集合組織と残留応力の解析」日本金属学会春期講演大会 2026 年 3 月 12 日,

・鈴木茂，谷本久典：「次世代の動的構造体における振動制御とエネルギー変換」アグネ技術センター・金属, 95(2025), 910.

(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（2025 年度）

採択番号　2025A20

研究課題名

生成 AI と XR・メタバースが拓く次世代型遠隔教育

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

林　雅子（東北大学高度教養教育・学生支援機構 言語・文化教育センター）

通研対応教員：

北村喜文（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究では、生成 AI、XR、メタバースを活用し、異なる言語的・文化的背景を有する学修者が遠隔環境において協働的に学ぶ次世代型教育モデルの構築を目指した。2025 年度は、これまでに形成してきた国際連携の基盤を踏まえ、XR・メタバースを用いた国際協働学修を継続的かつ再現可能な形で実施するための教育支援基盤の整備を中心に研究を進めた。

具体的には、学修者向けに、メタバースおよび HMD の操作方法に関するチュートリアル資料を日本語・英語の二言語で整備し、授業参加前に事前学修できる環境を構築した。また、英語字幕付きの動画教材や、学修者に提示する資料の種類・参照順序・重要度を整理した一覧表を作成し、初めてメタバースを利用する学修者や海外学生が、必要な情報へ段階的にアクセスできるようにした。これにより、授業参加前の不安を軽減し、円滑な参加を支える教育支援環境を整備することができた。

次に、教員・TA 向け支援として、XR・メタバース HyFlex 授業の実施手順、教材活用上の留意点、技術的対応事項等を整理した。これにより、授業当日の役割分担、トラブル対応、学修支援の流れを可視化し、授業運営の安定化と教育の質向上に資する体制を整えることができた。メタバースを活用した HyFlex 型授業は、通常のオンライン授業以上に複層的な支援を必要とするため、こうした整理は、今後の継続実施を支える基盤の一つとなった。

また、学生によるメタバースワールド作成における生成 AI の利用が、自律的な創作活動を支援し、教員・TA の支援負担を抑えながら学修活動を促進する可能性を検討した。特に、学生がメタバースワールドを作成し、それを国際協働発表に活用する実践を通じて、学修者の情報リテラシー、異文化理解、協働的な表現活動を支援する教育方法としての有効性を検討した。

さらに、メタバース型国際協働学修における教育効果をより客観的に把握するため、VRChat 上の行動ログを用いた評価指標の探索を進めた。具体的には、発表活動中の学修者の総移動距離を算出し、能動的参加および異文化理解の深化に関する自己評価との関連を分析した。その結果、総移動距離は能動的参加と中程度の正の相関を示し、異文化理解の深化に関する自己評価とも正の関連を示した。これにより、メタバース空間内の行動ログが、国際協働学修における学修者の参加度や学修経験を把握するための補助的な客観指標として活用できる可能性を示した。今後は、今回得られた知見を踏まえつつ、生成 AI による学修支援や多言語コミュニケーション支援の研究と接続し、XR・メタバース型国際協働学修の教育効果を多面的に検討する。

成果発信としては、本共同プロジェクトを含む関連研究成果として、iLRN 2025（International Conference of the Immersive Learning Research Network）において、Metaverse World Creation Package（MWCP）の導入により、学生のメタバースワールド作成参加率および HMD 対応ワールドの割合が大きく向上したことを示し、国際協働学修における技術的障壁を低減する教育支援パッケージとしての有効性を報告した。

また、本共同プロジェクトを含む関連研究成果として、ICCE 2025（International Conference on Computers in Education）では、学生主導による協働的メタバースワールド作成を通じて、情報リテラシーおよび異文化コンピテンスの向上が示された研究成果を Full Paper として発表した。同研究では、学修者が XR 環境を受動的に体験するだけでなく、自ら文化的内容を調査・構成・表現し、国際協働発表に活用する過程が、技術的スキル、協働的表現力、異文化理解を統合的に育成し得る点を示した。

以上のように、2025 年度は、教育補助コンテンツの開発、授業運営体制の整備、生成 AI を活用した学修支援、学生主導のメタバースワールド作成を支える教育方法の検討、ならびに行動ログに基づく客観的評価指標の探索を進めた。これに

より、生成 AI と XR・メタバースを統合した遠隔国際協働学修の実践基盤を強化するとともに、次年度以降の教育効果測定と国際展開に接続する研究的基盤を構築した。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、XR・メタバースを活用した国際協働学修について、2025 年度に得られた知見を踏まえ、教育効果の検証と実践モデルの改善を継続する。具体的には、学修者を対象とした質問票調査による異文化理解、学修意欲等の評価に加え、必要に応じてメタバース空間内の行動ログ等を補助的に参照しながら、学修者の参加状況や学修経験を多面的に把握する方法を検討する。2025 年度の検討では、本検討の範囲において、総移動距離が能動的参加や異文化理解の深化に関する自己評価と正の関連を示す可能性が確認されたため、今後はこの成果を踏まえ、主観的評価と客観的データを適切に組み合わせた教育効果測定のあり方を整理する。

その際、学修者に関わるデータの取得・分析については、研究倫理、個人情報保護、同意取得、匿名化に十分配慮し、教育実践の改善と学術的検証の双方に資する形で慎重に活用する。特に、教育実践の現場で取得されるデータについては、学修者の不利益が生じないよう、取得範囲、管理方法、分析目的を明確にした上で扱う。

また、生成 AI については、学修者のワールド作成支援、多言語コミュニケーション支援、教材作成支援への応用を中心に検討を進める。これにより、海外協力校を含む多様な教育環境において、教員・TA の負担を過度に増やすことなく、持続的に運用可能な遠隔国際協働学修モデルの構築を目指す。特に、生成 AI を活用した事前学修支援、発表準備支援、言語面の支援を通じて、学修者が安心して国際協働学修に参加できる環境づくりを進める。

加えて、多言語コミュニケーション支援の観点から、生成 AI による翻訳、発話内容の整理、学修者の表現活動を支える支援などの活用可能性を検討する。これらの支援を、教員の教育的判断を補助するツールとして位置づけることで、XR・メタバース空間における対話の活性化と、言語的・心理的負担の軽減に資する教育実践の発展を目指す。

[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．論文掲載

1. “How Student-Led Collaborative Metaverse World Creation Fosters Information Literacy and Intercultural Competence: A Quantitative Analysis of a Synchronous International Virtual Exchange”
掲載誌等：Jiang, B. et al. (Eds.) (2025). Proceedings of the 33rd International Conference on Computers in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education
年月日：2025 年 12 月 1 日
概要：学生主導による協働的メタバースワールド作成が、情報リテラシー及び異文化コンピテンスの向上に与える効果を定量的に分析した。
2. “The Benefits and Impact of Introducing a Metaverse World Creation Package in International Virtual Exchange”
掲載誌等：2025 11th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN) Proceedings - Selected Academic Contributions
年月日：2025 年 6 月 14 日
概要：国際バーチャル交流におけるメタバースワールド作成パッケージ導入の教育的効果と意義について検討した。
3. 「オーディエンスエンゲージメントのためのメタバースの可能性の探求 ―国際的オンライン協働学習における定量的比較―」
掲載誌等：東北大学高度教養教育・学生支援機構『高等教育実践論集』vol.1
年月日：2025 年 12 月 3 日
概要：国際的オンライン協働学習において、メタバース活用が聴衆のエンゲージメントに与える影響を定量的に比較検討した。
4. 「異文化理解におけるメタバースワールド作成の効果－メタバース VE 国際協働学習におけるマルチメディアの比較分析－」
掲載誌等：『東北大学 言語・文化教育センター年報』11 号
年月日：2025 年 12 月 20 日
概要：メタバース VE 国際協働学習における各種マルチメディアの比較を通じ、異文化理解に対するメタバースワールド作成の効果を分析した。
5. “Objective Evaluation Metrics from Behavioral Logs in Metaverse-Based International Virtual Exchange: Total Movement Distance and Learners’ Self-Reported Intercultural Understanding”
掲載誌等：Jiang, B. et al. (Eds.) (2025). Proceedings of the 33rd International Conference on Computers in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education
年月日：2025 年 12 月 1 日
概要：メタバース型国際交流における行動ログを用い、移動距離と学習者の自己評価による異文化理解との関連を検討した。（Manato ABE, Masako HAYASHI, Yoshifumi KITAMURA による共同研究成果）

２．講演

1. 「生成 AI と XR・メタバースを活用した国際共修による日本語学修」【基調講演】（招待講演）
学会等の名称：第 8 回 AI と日本語教育国際シンポジウム
年月日：2025 年 4 月 12 日
概要：生成 AI と XR・メタバースを取り入れた国際共修の実践を紹介し、日本語教育への応用可能性と今後の展望について講演した。（講演スライドにおいて謝辞を記載）

３．学会発表

1. “How Student-Led Collaborative Metaverse World Creation Fosters Information Literacy and Intercultural Competence: A Quantitative Analysis of a Synchronous International Virtual Exchange”
学会等の名称： ICCE 2025: The 33rd International Conference on Computers in Education
年月日：2025 年 12 月 3 日
概要：学生主導による協働的メタバースワールド作成が、情報リテラシー及び異文化コンピテンスに及ぼす効果について、定量的分析の結果を発表した。
2. “The Benefits and Impact of Introducing a Metaverse World Creation Package in International Virtual Exchange”
学会等の名称：iLRN 2025, 11th International Conference of the Immersive Learning Research Network
年月日：2025 年 6 月 18 日
概要：国際バーチャル交流におけるメタバースワールド作成支援パッケージの導入効果と教育的意義について発表した。
3. 「XR・メタバースを活用した国際協働学修の実践と日本語学習支援―生成 AI・XR 技術を活用した新たな日本語学習環境の設計―」
学会等の名称：第十六届汉日对比语言学研讨会
年月日：2025 年 8 月 23 日
概要：XR・メタバース技術を活用した国際協働学修の実践と、その日本語学習への応用可能性について発表した。 （発表スライドにおいて謝辞を記載）
4. 「XR・メタバースを用いた国際協働学修における日本語学習支援と教育効果に関する実践報告」
学会等の名称：第十六届汉日对比语言学研讨会
年月日：2025 年 8 月 23 日
概要： XR・メタバースを用いた国際協働学修における日本語学習支援の方法と、その教育効果に関する実践成果を報告した。（林雅子、由志慎、阿部真成斗、鈴木竹洋による共同発表。発表スライドにおいて謝辞を記載）
5. “Objective Evaluation Metrics from Behavioral Logs in Metaverse-Based International Virtual Exchange: Total Movement Distance and Learners’ Self-Reported Intercultural Understanding”
学会等の名称： ICCE 2025: The 33rd International Conference on Computers in Education
年月日：2025 年 12 月 3 日
概要：行動ログに基づく客観的指標を用い、メタバース型国際交流における学習効果測定の可能性について発表した。（Manato ABE, Masako HAYASHI, Yoshifumi KITAMURA による共同研究成果）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

1.“Potential of Synthetic Voice in Multilingual Educational Environments: Utilizing Generative AI in XR and Metaverse-Based International Virtual Exchange”
掲載誌等：Jiang, B. et al. (Eds.) (2025). Proceedings of the 33rd International Conference on Computers in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education
年月日：2025 年 12 月 1 日
概要：多言語教育環境における合成音声の活用可能性を、生成 AI と XR・メタバースを用いた国際交流実践を通じて検討した。（Marvin EDER, Masako HAYASHI による共同研究成果）

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A21

研究課題名

身体に関連した音の距離感とその認知的影響の研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
山﨑 大暉（京都大学大学院文学研究科）

通研対応教員：
齋藤 五大（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

2025 年度には，2 月 19 日に通研で開催された共プロ発表会においてポスター発表を行った。音の距離感の認知的影響に関する予備的結果を報告し，心理学や音響の専門家からフィードバックを得た。2 月 20 日には研究打ち合わせを実施し，聴覚的認知や身体認識に関する知見の共有を行った。また，3 月 11 日～12 日にかけて，通研に集まって研究打ち合わせを行い，次年度以降の実験実施に向けて議論を進めることができた。

[3] 今後の研究の推進方策

2025 年度末に通研対応教員の機関異動に伴う組織変更を行ったが，次年度も継続して協働を行い，本実験の構築と実施を目指す。音の距離感をバイノーラル録音技術によって操作した予備的検討において，録音された音の自然さや距離間の個人差が問題となった。そのため，本実験では，聴取者から異なる距離に設置したスピーカから音声刺激を呈示し，音声の知覚的属性を判断して回答する課題を実施する予定である。

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **2025A22**

Title

DEEM: International Collaboration Project on Annotation of the Dynamics of Emotionally Expressive movement (DEEM) Using Laban Effort Shape and Prosodic Theory

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

Asaf Bachrack（Le Centre national de la recherche scientifique, France）

Research collaborator of RIEC：

Chia-huei Tseng（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

(1) We conducted a workshop on Feb 19, 2026 for data collection at RIEC New Building. The participants included researchers and students. The physical experiences from Japanese and overseas cultures have brought new insights for the next directions.

"Dance with Onomatopoeia"



One of the defining features of the Japanese language is its rich and varied onomatopoeia. It's amazing how diverse the variety is and how expressive it is—a power that makes conversation almost impossible. And when we use onomatopoeia to describe states, situations, and emotions, our bodies seem to respond in unique ways.

In this workshop, you will reaffirm the connection between onomatopoeia and the body/movement, and then by deconstructing it, you will also attempt to create new onomatopoeia!!!

「オノマトペと踊ろう」

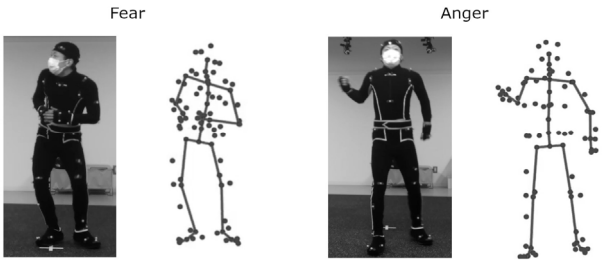
日本語の特徴の一つ、豊富で多彩なオノマトペ。その種類の多さと共に、なくては会話が進まないほどの表現力に驚きを感じます。

そしてオノマトペで状態や状況、感情を表現するとき、私たちの身体もそれぞれ固有に反応しているようです。

ワークショップでは、オノマトペと身体・動きの結びつきを再確認し、さらに一度解体することによって、新しいオノマトペの創造！！！にも挑んでみましょう。

(2)

We have also identified the critical designs for the research to start. We will work with dance notation experts to annotate only the pivotal moments of each sequence – the gestures or poses that most strongly convey the emotion, and their intrinsic qualities. The body parts positioning in space as well as their energy and acceleration will be mathematically computed based on joints rotations data.



We have created the experiment platform to allow annotations both expert-grounded and perception-based, capturing the *essential moments and gestures* of emotional expression.

[3] Future Research Promotion Measures

We will recruit annotations using the Laban Movement Analysis system to describe the intrinsic quality of the movement, as well as the Labanotation system for the description of the body parts positioning in space. Preliminary research has shown that those systems are correlated with emotions and useful for teaching robots how to move.

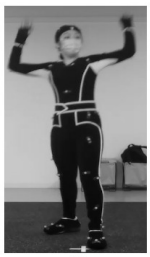
[A]

Labanotation

Body Part	Direction	Level
Head	LeftFront	Middle
Body	RightBack	Middle
Right Arm	Right	High
Left Arm	Left	High
Right Leg	RightBack	Low
Left Leg	In Place	Low

LMA

Shape	Qualities	Spreading, Retreating
	Directional	Arc like
Effort	Time	Sudden
	Flow	Bound



emotion: surprise

Labanotation

Body Part	Direction	Level
Head	Front	High
Body	In Place	Middle
Right Arm	Right	High
Left Arm	Left	High
Right Leg	In Place	Low
Left Leg	In Place	Low

LMA

Shape	Qualities	Spreading, Rising
	Directional	Direct
Effort	Time	Sustained
	Flow	Bound



emotion: joy

Using the annotated data, we can then perform statistical analysis and feature selection to identify the links between movement's components and emotions. We will also train an AI model with an attention mechanism on the annotated data. By visualizing where the attention weights are highest, it is possible to find which information were the most important for the model to correctly classify the emotion expressed in a sequence. Aggregating those results will give us the minimal features of body motion that convey specific emotions across cultures: the Motion Units system.

[Appendix]

[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

- Xiaoyue Yang, Miao Cheng, Ken Fujiwara, YangYang Cai, Yoshifumi Kitamura, Chiahuei Tseng. Culture Matters in Humanness Recognition for Human Body Motion. CHI (Computer-Human Interaction), Yokohama, Japan. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-8).

- Xiaoyue Yang, Miao Cheng, Ken Fujiwara, YangYang Cai, Yoshifumi Kitamura, Chiahuei Tseng. Culture Matters in Humanness Recognition for Human Body Motion. CHI (Computer-Human Interaction), Yokohama, Japan. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-8).

- M. Cheng, Z. Dai, V. Schneider, K. Ozawa, Y. Cai, K. Fujiwara, Y. Kitamura, and C.-h. Tseng (2026) Friend or foe? benchmarking human perception and st-gcn decoding of embodied social intention. *In 2026 IEEE 20th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG)*

- (under review) Same Accuracy, Different Verdict: Comparing Two Skeleton-GCN Interpretability Mechanisms Against Human Annotations

- Embodied Emotion in Human Body Movements 日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究(B) to Chia-huei Tseng

- 日本学術振興会 科学研究費助成事業 若手 to Victor Schneider

RIEC Nation-wide Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **2025A23**

Title **Large Language Model-Powered Virtual Assistants for In-situ Secondary Language Acquisition**

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：Jason Orlosky (School of Computer and Cyber Sciences Augusta University)

Research collaborator of RIEC: Yoshifumi Kitamura (RIEC)

[2] Summary of Research Results for the Year

Intelligent Tutoring Systems are seeing a growing presence in mixed reality scenarios. Current methods usually rely heavily on content generation from large language models. These systems already stood to benefit heavily from implementing state-of-the-art intelligent tutoring system principles like constraining the content generator with effective tutoring policies that are modeled from real learners.

This led to us proposing a system that can take advantage of in-situ context and similar user interactions from their augmented environment. The system uses a multimodal LLM and Retrieval Augmented Generation to inject the user's context into the prompt along with their answer or question. The goal of this project was to develop a virtual agent that has an in-depth understanding of the user's environment and proficiency in a language to create personalized responses potentially improving learning in a target language.

(A) (B)



Fig. 2 Final *user interface of LangLearn with visualized responses of our offline speech–LLM–TTS pipeline for a mixed-reality language tutor.*

We implemented that main system consisting of the entire speech-LLM-TTS pipeline seen in figure 1. This system met one of our constraints that it runs completely locally, allowing for easier reproducibility of the system. We were able to inject relative user proficiency per target word for L2 acquisition, but this came with many limitations of the system. Below is our final system in action showing the feasibility of a fully local speech-LLM-TTS pipeline with in-situ interaction capabilities.

The First limitation of the system was the need of an orchestrator LLM and a LLM to generate responses. Having to use an LLM first to parse the prompt, then generate a response based on user-context and initial prompt and finally creating a TTS response was too computationally costly. The user would see the first token in the generated sequence in roughly 15 seconds. But this does not include using the orchestrating LLM to inject proficiency of the user for target words or to generate speech from the ITS's response. As a baseline this system became too complex, and we think that learning would not be engaging with the time required between interactions.

The second limitation we found at the time was that even once user proficiency was injected the LLM would not be able to build structured language learning conversations and lacked the ability to scaffold learning.

Due to these two limitations, we decided that this system would either require expert knowledge to build structured lessons or improvements in fine-tuning the model on language learning data that currently does not exist. Therefore, we propose a shift in direction that avoids these two issues by removing the need for orchestrating LLM and the TTS portion. As well as removing the requirement for full lesson scaffolding in favor of a more passive feedback system.

The old full ITS system (LangLearn) will now shift to LangAssist, which instead of being a teacher acts more like a second conscious for the user. It corrects conversational speech as it happens and targets single error feedback, rather than building a lesson plan or learning direction from a single prompt. This allows for computational and overall system complexity to be reduced while allowing users to internalize minor feedback in a way like passive listening.

The system augments the user's real-world interactions rather than replacing them with structured lessons. This approach is grounded in focus on form learning, where brief contextualized attention is highlighted during conversations without obstructing the natural flow of that conversation.

[3] Future Research Promotion Measures

We propose LangAssist, a framework that creates the opportunity for incidental learning interactions by correcting conversational speech as it happens. The system provides adaptive corrective salience and supports multiple focus-on-form techniques with variable obstruction to allow users to maintain conversational flow.

The system is designed to preserve conversational flow, avoid overwhelming users, respect disfluencies as contextual, and enable user agency. It targets single-error correction and constrains LLM responses to ensure feedback remains relevant and minimal.

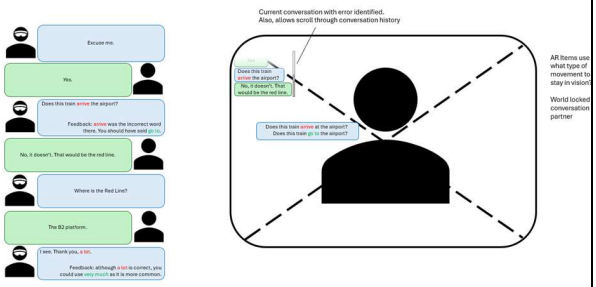


Fig. 2 Above is the conceptual diagram for LangAssist and shows how feedback will be delivered in-situ to the user in AR.

Current work focuses on showing system functionality rather than learning gains. We are currently trying to measure the LLM's identification accuracy, error prioritization, overcorrection behavior, and disfluency preservation. Evaluation will use controlled sentence data sets to ensure the model correctly identifies when corrections are necessary and applies them appropriately.

At this stage, learning gains and user studies are premature, and interaction robustness is the appropriate evaluation lens.

Since the system can be language agnostic, future evaluation can be conducted across different language contexts. In collaboration with Tohoku University, the system can be evaluated using participants who are proficient in English as a second language. This enables comparison between system performance in native language interaction and second language interaction. Which we believe will be a major contribution to the system performance due to the current ability of STT on foreign pronunciation. This provides a controlled setting to evaluate interaction quality while maintaining natural conversational ability.

This will allow us to measure how obstructive the system is during real-time conversation and whether the feedback improves user speech. Because participants are already capable of conversational English, this setup provides a controlled way to evaluate system behavior by avoiding the difficulty of heavily structured beginner level L2.

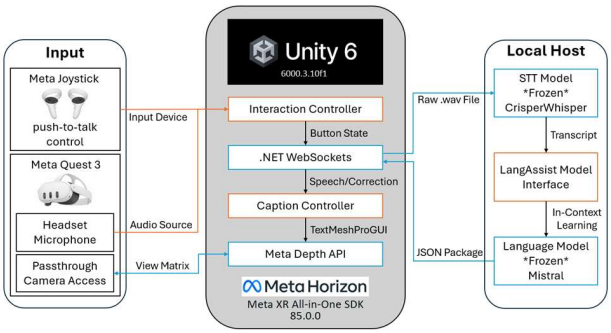


Fig. 3 This is the current design for the full system pipeline we plan to use. Most importantly there is a single LLM model that generates text and no STT is required, this will lead to significantly fast processing time.

[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

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **2025A24**

Title

Pre-verbal infant sleep and social-cognitive development

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

Esther Lau（The Educational University of Hong Kong）

Research collaborator of RIEC：

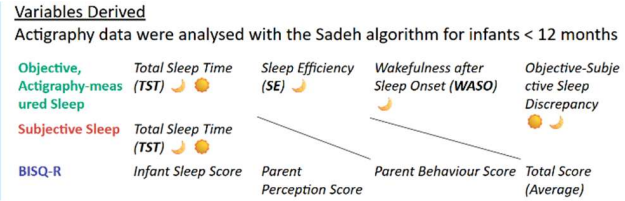
Chia-huei Tseng（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

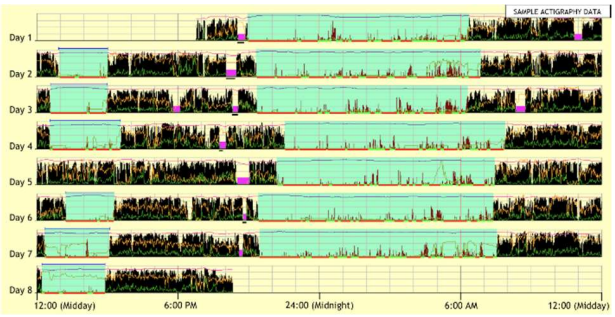
Dr. Esther Lau visited RIEC on March 17-24, 2026 and we discussed to identify our research aim to establish a valid and rigorous protocol to study the association of infants' sleep and socio-cognitive development. We would like to build on the success to extend our success to the next stage with the following goals in our plan. (1) To develop an accurate and rigorous protocol in measuring infants' sleep with a combination of actigraphic measures and parental report. (2) To examine parental factors (e.g. demographic background, psychological factors and sleep) and their attitudes towards infant sleep monitoring. (3) To validate a battery of objective and short measures of preverbal infants' socio-cognitive development. Additionally, to establish some preliminary associations between infants' sleep and socio-cognitive development.

Our major progress this year includes (1) set up the new infant behavioral lab at the new building of RIEC in December 2025. (2) We have started to test infants and adult control for eye-tracking experiments. (3) We have approached Tohoku University Hospital Pediatrics to explore the possibility to include parents into the study.

Twelve infants aged between 2-12 months (M = 7.82, SD = 3.91; 5 female and 7 male) from Sendai city, Japan, participated in the study. Their sleep was continuously monitored for at least over a week (min. 7 nights, 8 days) using an actigraphy (Micro Motionlogger ®, Ambulatory Monitoring Inc.) with their sleep data analysed by the Sadeh algorithm, with metrics such as total sleep time (TST), sleep efficiency (SE) and wakefulness after sleep onset (WASO) derived. All parents completed the Brief Infant Sleep Questionnaire-Revised (BISQ-R) online and those who habitually tracked infant sleep with a diary were invited to share the records.



83.33% of the participants reported having a regular habit of tracking their infant's sleep. According to actigraphy measurements, on average, infants spent 52.78% (SD = 4.38) of their time asleep. The sample's mean nighttime sleep duration per night was 10 hours 30.76 minutes (SD = 61.83) and napping duration per nap was 1 hour 20.39 minutes (SD = 34.47). Average nighttime SE was at 92.54% (SD = 4.10), and WASO was 50.16 minutes (SD = 35.74). 75% of parents underestimated durations of nighttime sleep, at around 3.90% (i.e. 24.60 minutes, SD = 5.17%). However, parents were equally as likely to overestimate and underestimate durations of naps - where on average, parents overestimated the durations of naps by 2.16% (i 1.74 minutes, SD = 10.96%). With nighttime and daytime sleep combined, 75% of parents



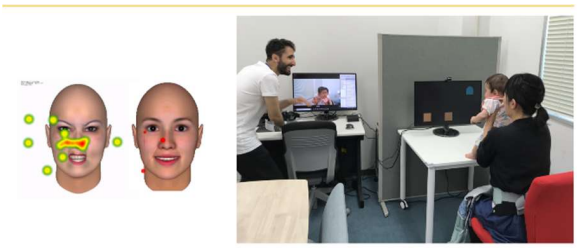
underestimated their infant's sleep duration, at around 4.36% (i.e. 236.94 minutes, SD = 6.06%).

Correlational analysis revealed that better actigraphic sleep efficiency (SE) was positively correlated with healthier parent-reported sleep patterns (BISQ-R infant subscale), r = .746, p = .013. Parents' sleep monitoring confidence positively correlated with average napping durations per nap, both measured by the actigraphy, r = .756, p = .030, and reported by the parent, r = .688, p = .028, suggesting that parents' higher sleep monitoring confidence was associated with longer naps of their infants.



[3] Future Research Promotion Measures

Our goal for the coming year will be analyzing the eye-tracking experiment results and relate them to the sleep measures that we have recorded.



At Tohoku University, we established the first interdisciplinary infant research group in the Tohoku Region, combining expertise in developmental psychology, neuro-linguistics, and public health. To overcome the absence of self-report in infants and inaccuracies in parents' reports, we plan to adopt objective measures (i.e. actigraphy watches) and modern Internet of Things (IoT) tools (i.e. digital sleep diary) to comprehensively examine the sleep characteristics of infants. In terms of socio- cognitive development, we will build on our previous work in an eye-tracking paradigm to automate coding and analysis in 4 frequently-used experimental tasks to provide short (each test takes less than 5 minutes) and objective assessments across the developments in the first year of birth with limited verbal and motor abilities. These are all state-of-the-art measures being newly-combined to create a robust methodology.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

- Nap right: A longitudinal day-to-day investigation of bidirectional sleep-mood associations in young adults with subclinical insomnia, depression, and anxiety using ecological momentary assessment and electroencephalography by HMRF - Health and Health Services Research Grant to Lau
- Hinako Kojima, Sacchiko Kiyama, Esther Y.Y. Lau, Chiahuei Tseng. (2025) A Pilot Study of Infant Sleep Measurements in Japan, World Sleep Conference
- Meng, R., Huang, M., Miller, C. B., Fong, D. Y. T., Gregory, A. M., Pakpour, A. H., ... & Espie, C. A. (2025). Global perspectives on the Sleep Condition Indicator for DSM-5 insomnia disorder: a COSMIN and STARD systematic review of psychometric and diagnostic performance. *BMC medicine*, *23*(1), 542.
- Wang, W., Ma, H. Y. D., Chiu, M. M., Cheung, S. F., Hui, C. H., Wong, M. L., ... & Lau, E. Y. Y. (2026). From barriers to benefits: A personalized sleep intervention enhances sleep duration and emotional health in chronic short sleepers. *British Journal of Psychology*.
- Chow, K. M., Leung, A. W. Y., Hui, L. L., Yeung, K. H. T., Lau, E. Y. Y., Rollins, N. C., & Nelson, E. A. S. (2026). Factors associated with exclusive breastfeeding at 6 months postpartum: a prospective mixed-method cohort study. *Pediatric Research*, 1-11.
- Lau, E., Wang, H. H., Wang, Y., Han, S., Huang, J., Jin, P., ... & Horton, R. (2026). Winner of the 2025 Wakley–Wu Lien Teh Prize: beyond precision medicine. *The Lancet*, *407*(10527), 477-478.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A25

研究課題名

Multimodal Multilingual Affective Computing : Database and Algorithms

［1］研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
Woan-Shiuan Chien[1], Huan-Yu Chen[1], Shu-Ying Liu[2], Yuan-Liang An[3], Ching-Shin Hsiao[3],
Yangyang Cai[4], Victor Schneider[4], Miao Cheng[4], Chia-Huei Tseng[4], Chi-Chun Lee[1]
[1]Department of Electrical Engineering, National Tsing Hua University, Taiwan
[2]Department of Early Childhood Education, National Tsing Hua University, Taiwan
[3]Independent Theatre Artist, Taiwan
[4]Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan
通研対応教員：
Chia-Huei Tseng (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan),
Chi-Chun Lee (Department of Electrical Engineering, National Tsing Hua University, Taiwan)

［2］当該年度の研究実績の概要

This project investigated the limitations and future potential of multilingual and multimodal interaction datasets for next-generation human-centered AI systems. The research focused on realistic conversational interaction modeling, where speech, facial expressions, gestures, and contextual dynamics jointly contribute to socially adaptive communication. Through systematic analysis of representative datasets, the study identified major challenges related to interaction transferability, diversity, and granularity.

The research found that many existing datasets are designed for isolated tasks such as emotion recognition or gesture generation, rather than natural human interaction modeling. In particular, the lack of parallel interaction scenarios across diverse participant groups limits the analysis of how language, culture, and personal traits influence communication behaviors. The study also identified biases caused by homogeneous participant groups and insufficient representation of nonverbal cues such as gaze, posture, and subtle facial dynamics.

To address these limitations, the project proposed fine-grained multimodal annotation frameworks incorporating communicative intentions, behavioral signals, and temporal interaction dynamics. Overall, the project provided important conceptual and methodological foundations for constructing more inclusive, adaptive, and socially aware multimodal interaction datasets for future conversational AI and human-agent interaction research.

［3］今後の研究の推進方策

Future research will focus on developing next-generation multilingual and multimodal interaction datasets that better capture the complexity and diversity of real-world human communication. The objective is to establish interaction-centered frameworks that support more adaptive, socially aware, and human-centered AI systems while addressing current limitations in interaction transferability, diversity, and granularity.

One important direction is the implementation of parallel interaction task designs, where identical interaction scenarios are conducted by participant groups with different languages, cultural backgrounds, genders, and communication styles. This approach will support systematic analysis of how individual attributes influence interaction behaviors and improve the generalizability of interactive AI models. Future research will also expand the diversity of interaction scenarios by incorporating disagreement, misunderstanding repair, hesitation, persuasion, collaborative problem solving, and open-ended discussions to capture more natural and spontaneous communication patterns.

Another major focus is the collection and annotation of fine-grained multimodal interaction signals, including turn-taking, emotional transitions, synchronization, and multimodal alignment. Future studies will further investigate personalized and trait-aware interaction modeling by incorporating participant-level metadata such as personality, sociolinguistic background, and emotional tendencies. In addition, the integration of large language models and multimodal generative AI technologies is expected to support more adaptive, empathetic, and socially intelligent interaction systems for real-world communication environments.

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Woan-Shiuan Chien, Huan-Yu Chen, Shu-Ying Liu, Yuan-Liang An, Ching-Shin Hsiao, Yangyang Cai, Victor Schneider, Miao Cheng, Chia-Huei Tseng, and Chi-Chun Lee,
“Rethinking Multilingual and Multimodal Interactive Datasets: Challenges, Limitations and Potentials,” Proceedings of the International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII) Workshop, 2025.

(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（2025 年度）

採択番号　2025A26

研究課題名

音の身体性が認知情報処理に与える影響の解明

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
北川 智利（立命館大学 BKC 社系研究機構）

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

頭部近傍に提示される音の認知処理にどのような影響を与えるかを検討した。

まず、聴覚による空間的注意に関する実験では、先行音がどんな距離に提示されたとしても、ターゲット音が耳元に提示された時に、弁別の反応時間が早くなった。この結果は、内発的注意が異なる距離にそれぞれ注意を向けることが可能であったことと異なるものであった。内発的注意が意図的にある場所に注意を向けるのに対して、外発的注意は感覚事象によって注意が引き寄せられる現象である。どこで音が鳴ったとしても、まずは自分の身体のすぐ近くに注意を向けることは生態学的に妥当だと推察できる。現在、国際誌に投稿中である。

音声の個人性の記憶に音声の提示距離が及ぼす影響について調べた。声を記憶する（記銘）時に、音声が近距離に提示された時の方が、遠距離に提示された時よりも記憶成績が良いことがわかった。また、記銘時ではなく、再認する時の音声提示距離は再認成績に影響しないことを確認しており、記銘時の提示距離が再認成績に影響していることが示唆された。この研究は、音声を聞くときの距離が、音声の記憶に影響を与えることを示す初めての研究であり、現在、英語論文を執筆中である。

[3] 今後の研究の推進方策

研究成果の応用的な側面についても検討をしていきたい。頭部近傍に提示された音の注意のひき方、あるいは、記憶のされやすさ、あるいは、情動反応の引き起こしやすさなどが明らかになれば、現実場面において、目的に応じて音の提示方法などに、その成果を利用できるだろう。

また、下方空間からなる音についての検討を初めている。下方から提示される音が、人にどのように知覚されるか、どのような印象を与えるか、どのように行動を変化させるかを検討する予定である。これまで、下からの音についての研究は、全くと言っていいほど行われていない。しかし、高所を体験する機会が増えていることを考えると、下方からの音に対する、知覚・認知・情動反応の研究が今後必要になると考えている。吊り橋などでフィールド・レコーディングを初めており、今後音響分析を行う予定である。電気通信研究所の無響室なども利用して研究を進めたい。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

論文

・高野衛, 山﨑大暉, 中貴一, 森田磨里絵, 孫悦, 寺岡諒, 北川智利, 安藤大地. 移動音像が身体動作と主観的印象に及ぼす影響. 芸術科学会論文誌, 印刷中, 2026.

・高野衛, 山﨑大暉, 中貴一, 森田磨里絵, 孫悦, 北川智利, 安藤大地. 高さ方向の腕の動作に周波数変化を用いた音響フィードバックが動作印象に与える影響. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌， Vol. 30，No. 1，pp. 45-54, 2025.

招待講演

・北川智利だまされる心理 —特殊詐欺の被害にあわないために—, 島根県大田地区金融関係機関防犯協力会総会, 島根, 2025.

学会発表

・中貴一， 山﨑大暉， 寺岡諒， 北川智利，〃高所における音環境特性の予備調査,〃第16回多感覚研究会， 京都大学， 2026 年 2 月 15 日.

・山﨑大暉・孫悦・森田磨里絵・北川智利. 音声の再認記憶における音源距離の影響. 第16 回多感覚研究会，京都，2026 年 2 月 14 日.

・山﨑大暉・孫悦・森田磨里絵・北川智利. 音声の再認記憶における音源距離の影響. 日本基礎心理学会第 44 回大会， 新潟， 2025 年 11 月 30 日.

・寺岡 諒，中 貴一，山﨑大暉，寺本 渉，坂本修一，北川智利，〃聴覚における奥行き方向に対する外因性注意効果の検討.〃 日本基礎心理学会第 44 回大会，朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター， 新潟県新潟市，11 月 28-30 日 (2025).

・寺岡 諒，中 貴一，山﨑大暉，田中優希，北川智利，〃実環境における奥行き方向に対する外因性聴覚的注意効果.〃 日本音響学会 2025 秋季研究発表会， 東北工業大学， 宮城県仙台市，9 月 10-12 日 (2025).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A27

研究課題名

持続可能材料を用いたスピントロニクス実用素子と創発現象の導出

[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

本研究では，二次元材料，ホイスラー合金，遷移金属窒化物などの持続可能元素を基盤としたスピントロニクス材料に着目し，それらの磁気・電子・スピン輸送特性の解明と，低消費電力かつ高速動作可能な次世代電子デバイスへの応用可能性について検討を行った．特に，従来の重元素系材料に依存しない新たなスピン変換機構や界面創発現象の解明を目的として，放射光計測を活用した電子状態解析およびスピン輸送特性評価を推進した．

まず，二次元 MXene 材料を用いたスピン軌道トルク（SOT）デバイスに関する研究では，Cr_2N MXene/強磁性体積層構造における外部磁場フリー磁化反転機構の解明を進めた．これまでの研究において，本積層構造では軌道流に起因するスピン流生成により，外部磁場を印加することなく磁化反転が可能であることを報告している．本年度は，この磁化反転機構における界面電子状態の役割を明らかにするため，放射光施設 NanoTerasu において X 線磁気円二色性（XMCD）測定および深さ分解硬 X 線光電子分光（HAXPES）測定を実施した．その結果，Cr 元素に由来する磁気分極が確認された一方で，表面敏感条件およびバルク敏感条件のいずれにおいても Cr 2p 内殻準位の顕著な変化は観測されなかった．この結果は，界面における単純な電荷移動ではなく，Cr 磁気分極や軌道流を介したスピン変換が磁化反転に重要な役割を果たしている可能性を示唆している．本成果は，低消費電力磁気メモリに向けた二次元スピントロニクス材料設計に重要な知見を与えるものである．

次に，$Co_2Mn(Ga_{1-x}Ge_x)$ホイスラー合金に関しては，異常ホール効果（AHE）を利用した電子輸送特性評価を実施した．Co 系フルホイスラー合金は高スピン分極率を有することから，高効率スピントロニクス材料として注目されている．本研究では，Ga サイトを Ge で置換した組成系について評価を行い，電子状態変調と異常ホール応答との相関について検討した．組成制御を通じたバンド構造変調は，スピン依存輸送特性やスピン流生成効率の最適化に有効であり，今後の高性能磁気センサや不揮発性磁気メモリ材料への応用が期待される．

さらに，遷移金属窒化物 Fe_4N 薄膜を用いた熱電変換特性の研究では，持続可能元素のみから構成されるスピントロニクス材料としての有効性を検討した．Fe_4N は比較的大きな異常ネルンスト効果（ANE）を示すことが知られており，本研究では[Fe_4N(t)/MgO]N 多層膜および単層 Fe_4N 薄膜を作製し，膜厚および積層数依存性について詳細に評価した．その結果，薄膜化した多層膜および単層膜では，界面スピン軌道相互作用の増強に起因して ANE 係数が向上することを確認した．一方で，過度な格子歪み導入はバルク由来の寄与を低下させることも明らかとなった．これらの結果から，熱電変換性能向上には界面効果と結晶構造制御を両立した材料設計が重要であることが示された．本成果は，廃熱利用型スピン熱電変換デバイスの高効率化に向けた基盤技術として期待される．

加えて，Fe_4N の電子状態解明を目的として，HiSOR 放射光施設においてスピン・角度分解光電子分光（Spin-ARPES）測定を実施した．理論計算では Fe_4N のフェルミ準位近傍において負のスピン分極状態が予測されており，これは逆トンネル磁気抵抗（inverse TMR）特性の起源として注目されている．本研究では，Γ-M 高対称方向に沿った明瞭なバンド分散を観測するとともに，少数スピンバンド由来の電子状態を実験的に確認した．さらに，スピン偏極マッピングからフェルミ準位近傍で負のスピン偏極状態が示唆され，理論計算結果との良好な一致が得られた．これにより，Fe_4N が新規スピン注入材料や磁気トンネル接合素子への応用可能性を有することが明らかとなった．

以上のように，本研究では持続可能元素を活用したスピントロニクス材料群において，界面創発現象，軌道流を介したスピン変換機構，およびスピン依存電子状態の理解を進展させた．特に，二次元 MXene 材料による外部磁場フリー磁化反転，Fe_4N における高効率スピン熱電変換および負スピン分極状態の直接観測など，次世代不揮発性磁気メモリやエネルギーハーベスティングデバイスへの応用に向けた重要な成果を得た．これらの成果は，持続可能社会に向けた低消費電力情報デバイス技術の発展に貢献すると期待される．

令和７年度の成果報告会を２０２６年３月６日に東北大通研にて開催した．１２名の参加者があり，７件の報告が行われた．

[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．今後も引き続き多層膜，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. P. Kumar, S. Tsuda, K. Yaji, and S. Isogami, Origin of two-dimensional MXene / ferromagnetic interface evaluated by angle-dependent hard X-ray photoemission spectroscopy, STAM. 26, 2551484 (2015).
2. S. Nakada, A. Sakuma, M. Oogane, S. Kokado, and M. Tsunoda, The 72nd JSAP Spring Meeting, 15p-K303-4 (2025).
3. K. Nakanishi, M. Kakoki, K. Ohwada, K. Kuroda, K. Sumida, H. Sato, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Isogami, K. Masuda, Y. Sakuraba, and A. Kimura, Visualizing bulk band structure in Fe_4N thin-films by spin- and angle-resolved photoelectron spectroscopy, Phys. Rev. Res. Accepted (2026).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A28

研究課題名

磁性酸化結晶膜作成効率化に向けた成膜装置システム開発

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：

西原孝義（吉川トレーディング株式会社）

※旧：アールエムテック株式会社

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

磁性デバイスでは、磁性材料の特性が組成・膜厚・温度に大きく依存するため、従来の開発手法では年単位の期間を要している。近年では組成や膜厚が意図的に不均一な試料を作製し、その分布を含めて評価する『コンビナトリアル合成法』が開発され、従来の開発期間の大幅な短縮を実現している。しかしながら、スピントロニクスデバイスや磁気光学デバイスで注目を集める『磁性酸化結晶膜』は、高温・酸素雰囲気下での成膜が必要であり、そのため酸素分圧や成膜時の温度制御、昇温・冷却速度などの評価項目が加わることで、依然として開発に膨大な時間を要している。本研究では、磁性酸化結晶膜の開発時間を従来の 100 分の 1 に短縮できる新規成膜装置システムの実現を目指し、基礎的な物性評価の理解を深め、さらにその知見を活用した成膜装置内の要素技術の確立を目的とする。

今年度は「成膜時圧力のダイナミックレンジの変化に伴う成膜速度の調整と磁気特性の制御」についての研究を行った。

実験方法は、イオンビーム成膜装置に真空ポンプ（ターボ分子ポンプ）を増設し、成膜時圧力のダイナミックレンジを拡大し、磁性ガーネット膜の特性を比較した。

結果、真空ポンプの増設により熱陰極型電離真空計を用いた測定にて成膜時の圧力に変化が認められ、磁性ガーネット膜の特性比較にて、増設ポンプ有の場合において磁化特性、ファラデー回転角、透過率が大きくなった。また、真空ポンプ増設により、真空引き時間の短縮も副次的に実現した。

[3] 今後の研究の推進方策

今年度の実験にて用いた熱陰極型電離真空計は、気体の電離現象を利用したもので、フィラメント（熱陰極）から放出された熱電子を気体分子に衝突させてイオン化し、そのイオン電流の大きさを読み取ることで圧力換算しており、気体の種類によって電離のしやすさが異なるため、測定するガス種に応じた感度補正が必要になる。ガス種の影響を受けにくい絶対圧力が測定可能な真空計として、圧力によって生じるダイアフラム（薄膜）の物理的なたわみを電極間の静電容量の変化として読み取る機械式のキャパシタンス真空計を増設し、成膜時の圧力を厳密に管理し、磁性ガーネット膜の特性の変化との関係を位置付けたいと考える。

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A29

研究課題名

次世代パワエレに向けた新奇軟磁性材料の創製とその高周波磁気特性評価

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
阿加 賽見（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：
石山 和志（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

パワーエレクトロニクス分野では，電子機器の小型化・省エネルギー化に対する要望が高くなっている。特に，パワーデバイスのスイッチング素子の高周波化が進み，トランスやリアクトル等の鉄心材料として幅広く用いられる電磁鋼板においては，高周波損失（鉄損）の低減が強く求められている。本研究の目的は，高透磁率と低鉄損を同時に実現できる超極薄 Fe/Fe-Si 薄帯材料の創製である。本研究では具体的に，0.005 - 0.050 mm 厚の高純度電解鉄箔を用いて CVD 浸珪法による鉄箔の表面に Fe-Si 合金化して電気抵抗を高めることにより，厚みと抵抗の両方向から低鉄損・高飽和磁束密度の実現に挑戦する。

2025 年度は，当初予定していた CVD 浸珪処理による Fe/Fe-Si 薄帯の創製に関して，浸珪処理による表層に Fe-Si の生成は可能であることがわかった。しかしながら，薄帯において最適浸珪処理実験条件の探索には課題が残された。その原因は Fe 薄帯の表面には自然酸化膜があると考えられ，還元処理せずには均一な Fe-Si 相の形成は困難であることがわかった。また，薄帯面内において粒径が 100 μm 以上にもあり，Si の拡散が抑制されたと推察される。一方，純 Fe 粉末における浸珪処理は熱処理温度依存（700℃～1000℃）で表層には傾斜組成の Fe-Si 相を生成するに成功した。薄帯と粉末試料における結果の違いはスタート材料の素特性が大きく関わっていると考えられる。薄帯は圧延試料のため，粒径の大きさや粒界の数の少なさにより，Si の拡散サイトが不足と考える。

Fe-1,2,3 wt.%Si 薄帯において比較研究を実施した。その結果，Si 量が多いほど，鉄損が抑えられ，特に高周波帯域での動的損失抑制効果があることが明らかになった。さらに，Fe-B 系微粒子からなるコアの高周波磁気特性を測定したところ，一定の磁束密度において，鉄損は高周波帯域（4 MHz まで）一定値を保つことができた。これは粒子サイズが小さくになるにつれ渦電流損失を抑えられ，動的損失が小さくなったと考えられる。しかしながら，粒子サイズが小さくなることに由来し，透磁率の低下やヒステリシス損失の増加傾向が明らかになった。

上述の結果から，パワーエレクトロニクスにおいて高周波帯域動作可能な受動素子に向けた高機能な軟磁性材料に関して，ヒステリシス損失と動的損失のバランスが重要とわかった。これらを制御するには，軟磁性材料のマテリアルエンジニアリング，コア作製工程の探索および正確な鉄損を評価するための高周波計測技術の確立の三要素が不可欠である。

[3] 今後の研究の推進方策

次年度は，2025 年度に引き続き，Fe 薄帯における熱 CVD による浸珪処理を行い，表面が Fe-Si 相内部が Fe 相からなる Fe-Si/Fe からなる複相軟磁性材料の作製を継続し，熱処理プロセスの制御による条件探索と特性の向上を目指すとともに，複相磁性粒子からなる磁心を作製し，磁心における損失メカニズムの解明に挑む。

［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
［論文］
・Saijian Ajia, Takumi Takasu, Sho Muroga, Yasushi Endo, Influence of heat-treatment on structure and magnetic properties of 10 μm-thick Fe-1,2,3 wt.%Si foils, *AIP Advances* **16** (2026) 025112.

・Saijian Ajia, Chihiro Masumoto, Yudai Kodama, Takamichi Miyazaki, Sho Muroga, Yasushi Endo, Fabrication of soft magnetic cores composed of amorphous Fe-B particles for next generation magnetic passive components, *AIP Advances* **16** (2026) 025325.

・Yudai Kodama, Saijian Ajia, Yudai Kodama, Sho Muroga, Yasushi Endo, Influence of annealing temperature and compaction pressure on the magnetic properties of dust cores composed of iron spherical particles and silicone, *J. Magn. Magn. Mater.* **646** (2026) 173983.

［学会発表］
・高須匠，阿加賽見，室賀翔，遠藤恭，異なる Si 組成の極薄 Fe-Si 薄帯における静・高周波磁気特性の熱処理温度依存性，電気学会マグネティックス研究会，2025 年 11 月 13 日−14 日。

・高須匠，阿加賽見，三上慎太郎，平城智博，室賀翔，遠藤恭，熱処理を施した 10 μm 厚の Fe-1wt.%Si 箔における構造と磁気特性，第 49 回日本磁気学会学術講演会，2025 年 9 月 16 日−19 日。

・阿加賽見，室賀翔，遠藤恭，Fe-6.5wt.%Si 薄帯の構造と磁気特性に及ぼす熱処理の影響，第 49 回日本磁気学会学術講演会，2025 年 9 月 16 日−19 日。

・児玉雄大，阿加賽見，宮崎孝道，室賀翔，遠藤恭，粒子形状の異なる圧粉磁心における磁気特性の作製条件による影響，第 49 回日本磁気学会学術講演会，2025 年 9 月 16 日−19 日。

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A30

研究課題名

SiGe/Si 積層膜における選択エッチングと表面の欠陥評価に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
牧原克典（名古屋大学大学院工学研究科）

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）
今井 友貴（名古屋大学大学院工学研究科）
宮﨑 誠一（広島大学）
東 清一郎（広島大学大学院 先進理工系科学研究科）

[2] 当該年度の研究実績の概要

初年度は、$Si_{0.7}Ge_{0.3}$/Si/$Si_{0.7}Ge_{0.3}$ 積層膜において、CF_4/H_2 プラズマを用いて SiGe 層の選択エッチングを行い、Si ナノシートの形成を試みた。

n-Si(100)基板上に高 H_2 希釈 SiH_4 および GeH_4 ガスを用いた減圧 CVD により、各膜厚~50nm の $Si_{0.7}Ge_{0.3}$/Si/$Si_{0.7}Ge_{0.3}$ 積層膜をエピタキシャル成長させた。その後、フォトリソグラフィにより幅~0.1mm のレジストパターンを形成した後、基板バイアス(200W)を印加して CF_4(87%)/H_2(13%)プラズマを照射することで SiGe/Si/SiGe 層を縦方向にエッチングし、引き続き同一チャンバ内で、無バイアス下で CF_4/H_2 プラズマを照射した。尚、エッチング時の総ガス流量および基板温度は 100sccm、20ºC で一定とし、水素希釈率は 5%および 10%とした。

縦方向エッチング後の断面 SEM 像から、バイアス印加により横方向へのエッチングが抑制された異方性エッチングが確認できる(Fig. 1(a))。その後、引き続き無バイアス下において、H_2 希釈量 10%の CF_4 プラズマを照射した結果、$Si_{0.7}Ge_{0.3}$ 層の選択エッチングは僅かに認められるものの、エッチングレートが極めて遅いことが分かった(Figs. 1(b, b'))。CF_4/H_2 プラズマ照射においては、SiGe 表面に比べ Si 表面への FC(Fluorocarbon)膜の堆積量が多いことから横方向エッチングにおいて Si 層側面の FC 膜が保護膜として働くものの、H_2 希釈率の増加により F ラジカルが指数関数的に減少するため、F ラジカルの減少がエッチングレート低下の律速要因になっていると考えられる。H_2 希釈率を 5%にした場合では、10 分照射で明瞭な選択エッチングが認められ、照射時間の増加に伴い Si ナノシートの形成が明瞭になる(Figs. 1(c, c'))。この結果は、Si-Ge 結合の結合エネルギーが Si-Si 結合の結合エネルギーよりも低いことを考慮すると、F ラジカルが Si-Si 結合よりも Si-Ge 結合を切断する活性種として効果的に作用するとともに、Si 表面に堆積した FC 膜が保護層として働いていることが示唆される。また、H_2希釈率~5%でエッチングした試料の表面形状像を評価した結果(Fig. 2)、Si ナノシート表面の RMS ラフネスは~0.41nm であった(Figs. 2(b, b'))。別途作成した Si/$Si_{0.7}Ge_{0.3}$/n-Si(100)構造の表面 RMS が~0.11nm であることから(Fig. 2(c))、Si ナノシート形成時に僅かに表面荒れが認められるものの、比較的平坦なナノシートの形成が実現できていることが分かった。

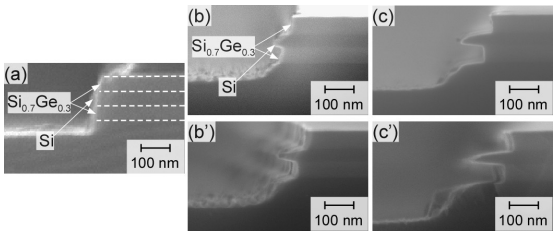


Fig. 1 Cross-sectional SEM images taken after (a) vertical etching with 13% H_2 diluted CF_4 plasma subsequent lateral etching with (b, b') 10%, and (c, c') 5% H_2 diluted CF_4 plasma for (b, c) 10, and (b', c') 20 min.

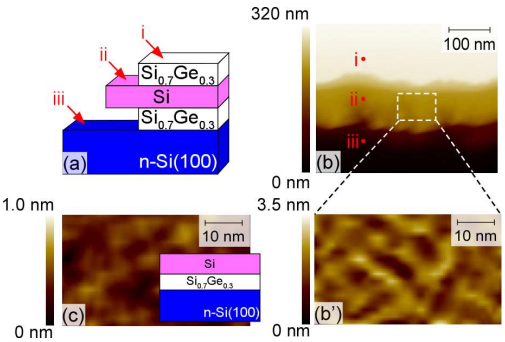


Fig. 2 Schematic illustration of the sample after lateral etching, and (b, b') AFM topographic images taken after lateral etching with 5% H_2 diluted CF_4 plasma. (c) Schematic illustration and AFM topographic image of ~50nm-thick Si layer epitaxially grown on $Si_{0.7}Ge_{0.3}$/n-Si(100) are also shown as a reference.

[3] 今後の研究の推進方策

次年度以降では、形成した Si ナノシートにおいて導電性 AFM 探針を用いた二次元電流像測定により欠陥密度を定量するとともに、光電子収率分光法（PYS）を用いて電子占有欠陥評価を評価する。PYS は、光電子放出を原理とするため、金属電極形成等の特別な試料構造を必要せず、試料作製の各過程で電子状態や欠陥密度の変化をモニタすることが可能であり、欠陥準位密度は価電子帯上端部の状態密度を考慮することで、微分スペクトルで定量可能である。また、プラズマ条件を精査することで、Si 層の選択エッチングにも取り組み、真空一貫プロセスによる CFET 実現に挑戦する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- Y. Imai, S. Tanida, Y. Yamamoto, N. Taoka, and K. Makihara, "Formation of Ultrathin Single-Crystalline $NiSi_2$-on-Insulator by RTA of a-Si/Ni Stacked Films Formed on SOI Substrates", 16th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-02 (Sendai, Nov. 17-18, 2025).
- H. Kubota, J. Baek, Y. Imai, N. Taoka, and K. Makihara, "Charge Transport Properties through Multiple-Stacked Si Nanodots", 16th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-06 (Sendai, Nov. 17-18, 2025).
- I. Saburi, Y. Imai, T. Tsutsumi, K. Ishikawa, Y. Yamamoto, W. -C. Wen, and K. Makihara, "Radical Effects on Si and $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ during CF_4/H_2 Plasma Exposure", 16th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-07 (Sendai, Nov. 17-18, 2025).
- K. Ozaki, Y. Imai, Y. Imai, T. Tsutsumi, K. Ishikawa, Y. Yamamoto, W. -C. Wen, I. Saburi, and K. Makihara, "Evaluation of Si-Nanosheets Formed by CF_4/H_2 Plasma Etching of $Si_{0.7}Ge_{0.3}/Si/Si_{0.7}Ge_{0.3}$ Stacked Structures", 16th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-08 (Sendai, Nov. 17-18, 2025).
- W. -C. Wen, K. Makihara, A. Mai, B. Tillack, and Y. Yamamoto, "Control of Localized SiGe Nanodot Formation in Si/SiGe superlattices via Strain Engineering", 16th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-06 (Sendai, Nov. 17-18, 2025).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

- K. Ozaki, Y. Imai, T. Tsutsumi, Y. Imai, N. Takada, K. Ishikawa, Y. Yamamoto, W.-C. Wen and K. Makihara, “Study on dry etching of epitaxially grown $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ and Si using H_2 diluted CF_4 plasma”, Jpn. J. Appl. Phys. 64, 07SP10 (6 pages) (2025).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025A31

研究課題名

ヒトの身体性を表現する環境ロボット群テレプレゼンス

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
高嶋和毅（芝浦工業大学システム理工学部）

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

コミュニケーションにおいて身体性は重要な要素の一つである．しかし，一般的なビデオカメラに基づくリモートコミュニケーションでは，遠隔話者の手の動き，身長や体の方向といった身体の情報を立体的に伝送できないため現地で実在感を表現することが難しい．また，身振り手振り（ジェスチャー）などの基本的な非言語情報も伝えづらく，コミュニケーションの質も低下する．

そこで本研究では，環境にもともと存在する家具をモジュールロボット化し，それを用いて遠隔話者の身体性を現地にて等身大で表現し，豊かな非言語的コミュニケーションを実現するテレプレゼンスシステム MorphCubes を提案する．図 1 に本提案システムのコンセプト図を示す．このシステムでは，移動や変形機能を有する複数の環境ロボットに対して動的プロジェクションマッピングを適用し，遠隔話者の胴体や手の動きを視覚と実体で再現し，あたかも遠隔話者が現地に存在して対話しているかのような体験を提供する．現地のユーザから見ると，その環境や場に存在する家具に遠隔話者が乗り移った（憑依した）かのようになり，その話者と同一空間で対面しているようなインタラクションを体験することができる．また，遠隔コミュニケーション終了後に家具として元の形態に戻るため，環境の柔軟性やコスト効率が高い点も特徴であり，動的空間としての利用価値もある．

本研究課題では，提案手法を実現するにあたってのプロトタイプの改良と，そのプロトタイプを用いて，代表的な応用シナリオである遠隔交流，遠隔ソーシャルタッチ，共同作業における効果を検証することを目的とする．



図 1 MorphCubes の概要

MorphCubes の先行研究ではプロトタイプを提案した一方で，物理的身体表現が遠隔コミュニケーション中の社会的存在感や共存感にどのような影響を与えるのかは十分に評価できていなかった．そこで本研究では，MorphCubes を実験に耐えうるよう技術的改良を施したうえで，実寸大の映像投影のみの提示（PO: Projection-Only）と，映像投影に加えてモジュールロボットが物理的に身体表現する提示（PR: Projection + Robot）を比較し，物理的身体表現が遠隔コミュニケーションにおける社会的存在感および空間参照（指差し）に与える影響を評価した．この二つの条件を図 2 に示す．主にローカルユーザが遠隔ロボットと会話を含むインタラクションをする場面である．

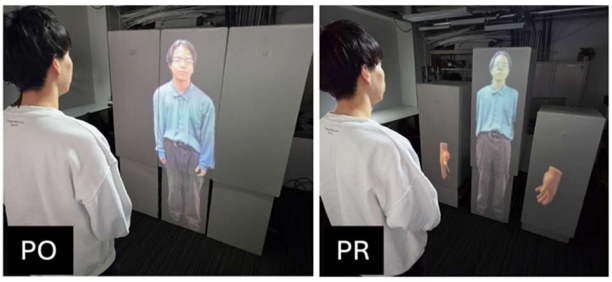


図 2 PO 条件（ベースライン）と PR 条件

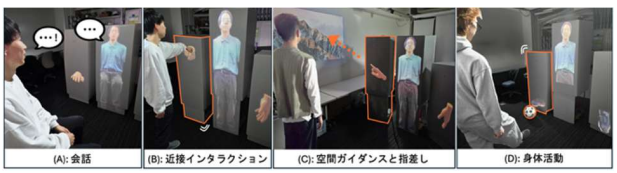


図 3 実験で使用した 4 つの遠隔インタラクション

実験では，図 3 に示す 4 種類のインタラクションシナリオ（A: 会話（自己紹介，相づち，うなず

き等），B：近接距離での身体的インタラクション（例：グータッチ），C：空間的ガイダンスと指差しによる参照，D： 協調的身体活動（例：物体共有（サッカーボール）を介したサッカー）を実施した．

実験参加者は，本研究に関する知識のない大学生（20〜25 歳，男性 6 名）が参加した．各実験セッションの所要時間は約 60 分であった．

実験デザインは被験者内実験とし，参加者は 2 条件（PO/PR）を両方体験した．条件順は参加者間でカウンターバランスをとった．

タスクと手続きにつては，参加者は各条件において，図 3 に示す 4 種類の事前定義シナリオを順に体験した．シナリオは，（A）会話（自己紹介，うなずき等），（B）近接距離での身体的インタラクション（例：グータッチ），（C）空間的ガイダンスと指差し，（D）協調的身体活動（例：ボールを蹴る動作）から構成される．各条件の終了後に質問紙への回答を求め，最後に，全体の印象やについての半構造化インタビューを実施した．

図 4 に質問紙評価結果（PO / PR 条件）を示す．PR は PO と比較して，共在感，注意の向き，および共存感において高い傾向を示し，平均で約 0.6--1.3 ポイントの差が見られた．一方で，メッセージ理解，自然さ，指差し理解は差が小さく，条件間の分布も重なった．非言語的手がかりについては，距離感について最も多く分かりやすいという回答が得られた．サッカー等の身体活動シナリオで近さや距離感が伝わったという回答が 3 名から得られた．そのほか，手足の実体が加わることで空間を共有している感覚があったという回答が 1 名から得られた．身振りについては意見が分かれ，スクリーンの方が分かりやすいという回答が 1 名からあった一方で，手足が独立して動くことで平面投影より分かりやすいという回答も 1 名から得られた．指差し理解についても意見が分かれ，PR 条件で指し示す位置が分かりづらいという回答が 3 名からあった一方で，PR 条件の方が具体的な位置が分かりやすいという回答は 1 名から得られた．
会話しやすさについては意見が分かれ，PO が会話しやすいという回答が 3 名，PR が会話しやすいという回答が 2 名からあった．残り 1 名は，PO では次に何をすべきかのタイミングを考えていた一方で，PR では動きがあるためタイミングを計らずにやり取りできた，など条件ごとの違いに言及した．また PR 条件では，動作を待つ必要がある，タイムラグや動作の遅さが気になるといった回答が 5 名から得られた．注意の向きとしては，ロボットの動きや駆動音，手の見え方に意識が向きやすいことや，急な回転が違和感だったという回答があった．

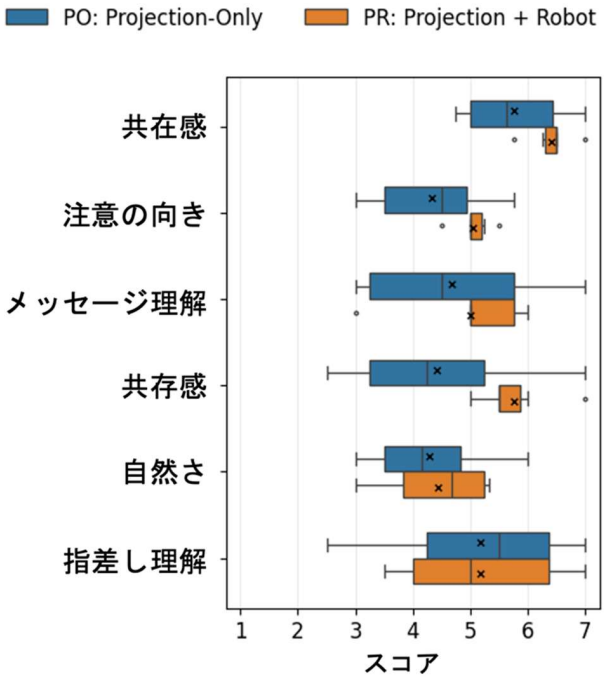


図 4　遠隔インタラクションの主観評価結果

以上の結果から，全体の傾向として，PR（Projection + Robot）は PO (Projection-Only) と比較して，遠隔コミュニケーションにおける社会的存在感を高めうる可能性が示唆された．質問紙では PR が共在感・注意の向き・共存感で上昇傾向を示し，インタビューでも，距離感や空間共有の感覚といった観点で PR 条件に肯定的な言及が得られた．

[3] 今後の研究の推進方策

実験を通して，指差し理解の改善は限定的であったことが判明している．今後は，指差し理解を補助するために，床面など環境側への投影を用いて参照対象や指差し方向を強調するなど，環境側への投影提示による補助が有効になり得る．

また，身体部位が一つの存在として統合されない場合，提示の解釈が難しくなり，相互行為が破綻し得ることが示唆された．インタビューでは，手と身体が分離して見える，手の見え方が不自然で注意が向く，といった回答が得られた．本研究のように身体部位を複数の提示要素（投影とロボット）に分けて提示する場合，胴体と手足が同一の身体として知覚されるよう，身体部位間の整合性（配置・向き・同期）を満たすことが重要である．

本実験で用いた MorphCubes システムは 3 台のモジュールロボットに身体部位を分けて配置する構造であるため，設置自由度は高い一方で，身体部位間の連携性や連続性を保つことが難しい．この点については，身体性の一致を追い求める方向と，一致していなくても成立する条件を探索する方向という，二つのアプローチが考えられる．身体性の一致を追い求める方向では，観察者が動き回る状況も含めて視点依存の提示を行い，床面など環境側への投影による補助提示も併用しながら，胴体と手足の相対配置・向き・同期が一貫して知覚される条件を検討する．第二に，一致していなくても成立する条件を探索する方向では，例えば，Scrambled Body(Kondo, 2020)では，身体部位の相対配置を崩すことで，全身としての知覚と部位としての知覚が分かれ得ることが示されている．ただし，自己身体所有感に関する知見をそのまま他者身体の提示に適用できるとは限らない．一方で，身体部位の分離を前提としても社会的存在感が損なわれにくい条件や，人間拡張として成立するタスク条件を探索することは，分散的な身体表現として捉えたときの設計空間を広げる上で重要である．

上記のような研究方策で進めていくが，同時に，ロボットの運動を洗練させることや質問紙項目と分析方法を見直し，さらには，実験参加者規模を大きくするなど，研究成果を強化するためのデータ取得を進め，ジャーナル投稿を目指す．

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Naoshi Aoyama, Kazuki Takashima. Exploring Robotic Armrest for Supporting Mid-air Interactions in Room-Scale VR, In Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Daegu, Republic of Korea, pp.1181-1182 （ポスター発表）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・北田 章伍，髙嶋 和毅，遠隔話者の身体性を表現するロボット群テレプレゼンスシステムの評価，情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告，2026-HCI-217，6，p. 1-7，2026-03-02，ISSN，2188-8760

・根本 健伍，小川 郡平，藤田 和之，髙嶋 和毅，ルームスケール VR におけるロボットキャンバスを用いた筆記作業時のリダイレクション，情報処理学会インタラクション 2026 インタラクティブ発表，130-133.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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）

研究分担者
秋元 浩平（秋田県立大学）
安達 宏一（慶應義塾大学）
荒井 伸太郎（岡山理科大学）
有吉 正行（NEC）
安在 大祐（大阪公立大学）
石川 直樹（横浜国立大学）
石橋 功至（電気通信大学）
伊藤 孝弘（広島市立大学）
稲毛 契（東京都立産業技術高等専門学校）
衣斐 信介（同志社大学）
岩田 大輝（国際電気）
梅林 健太（東京農工大学）
太田 真衣（工学院大学）
大野 光平（明治大学）
大和田 泰伯（情報通信研究機構）
金子 めぐみ（国立情報学研究所／東京大学）
亀田 卓（広島大学）
木下 雅之（千葉工業大学）
小澤 佑介（茨城大学）
須藤 克弥（電気通信大学）
田久 修（信州大学）
田谷 昭仁（東京大学）
タン ザカン（東京工業大学）
土田 輝（三菱電機）
天間 克宏（国際電気通信基礎技術研究所）
中村 聡（神奈川大学）
夏秋 靖（東京大学）
成枝 秀介（九州工業大学）
成来 義哲（東京大学）
西尾 理志（東京科学大学）
藤井 威生（電気通信大学）
三宅 裕士（三菱電機）
山本 高至（京都工芸繊維大学）
平井 健士（大阪大学）
川本 雄一（東北大学）
谷尾 真明（NEC）
三宅 正尭（広島大学）
夏 斯傑（広島大学）

[2] 研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

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 などの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．

[4] 研究計画及び内容

年 1 回の研究会を計画した．境界のない無線ネットワーク設計をはじめとする今後の無線通信技術のあり方を率直に議論する場として本研究会を捉えており，インフォーマルな環境でより深い議論を行うことが重要なため，原則，クローズドかつ対面開催の研究会とした．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

本研究期間の間，毎年度 1 回研究会を実施した．以下，それぞれの年度の開催状況をまとめる．

■ 2023 年度

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．

■ 2024 年度

2024 年 12 月 17 日(火) 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 17 名
（うち，現地参加 12 名，オンライン 5 名）

○ プログラム

・適応的実験計画法とその無線システム設計への応用
佐藤 光哉（電気通信大学）
・CSI センシングと圧縮に向けたスパース最適化による遅延波解析
田谷 昭仁（東京大学）
・反射板技術による電波伝搬環境改善
川本 雄一（東北大学）

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．

■ 2025 年度

2024 年 12 月 15 日(月) 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 26 名
（うち，現地参加 17 名，オンライン 9 名）

○ プログラム

・レーダリモートセンシングにおける偏波を利用した不要波の検知
夏秋 嶺（東京大学）
・浅海可視光ワイヤレス給電通信における複数波長を用いたカラーシフトキーイング方式
小澤 佑介（茨城大学）
・スタートアップによる体内医療機器位置計測技術の事業化への取り組み
安在 大祐（大阪公立大学）

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．

(5-2) 波及効果と発展性等

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）

[6]まとめと今後の課題

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。

今後は国際的なコミュニティー形成へ向けて，継続的に活動を進める必要がある．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・R. Suzuki, A. Hirose and R. Natsuaki, ″Comparison of PN-Sequence Multiplied FM-Chirp Signals,″ 2025 9th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), Matsue, Japan, 2025, pp. 1-3, doi: 10.23919/APSAR64635.2025.11392318.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・佐藤光哉, ″[チュートリアル] 次世代無線通信システムに向けた電波マップ構築技術の動向：測位系から見える研究課題と関連領域への接続,″ 信学総大 2026, BT-1, 2026 年 3 月.

・Koya Sato, ″Mitigating the Impact of Location Uncertainty on Radio Map-Based Predictive Rate Selection via Noisy-Input Gaussian Process,″ 2025 IEEE GLOBECOM Workshops: Workshop on Radio Maps for Communications
and Sensing, Taipei, Taiwan, Dec. 2025.

・佐藤光哉, 神崎昂紀, ″[招待講演] 電波マップ構築における測位依存の低減技術とその活用法,″ 電子情報通信学会無線通信システム研究会, 2025 年 5 月.

・R. Suzuki, A. Hirose and R. Natsuaki, ″SAR Waveform Diversity Using PN-Sequence and Its Optimization With Genetic Algorithm,″ in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 19, pp. 919-929, 2026, doi: 10.1109/JSTARS.2025.3631900.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
亀田 卓（広島大学半導体産業技術研究所）

通研対応教員：
末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
小熊 博（富山高等専門学校）
飯塚 昇（鈴鹿工業高等専門学校）
谷藤 正一（沖縄工業高等専門学校）
山形 文啓（釧路工業高等専門学校）
秋元 浩平（秋田県立大学）
古市 朋之（東北大学）
平井 健士（大阪大学）
三宅 正尭（広島大学）
夏 斯傑（広島大学）
ほか 上記 機関所属の学生 28 名

[2] 研究期間

2023 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

Beyond 5G は 2030 年代の実用化を目指し，超高速・大容量，超低遅延，超多数同時接続などの実現が目標とされている．このうち，超多数同時接続の実現により，膨大な数のノードから得られた多種多様なビックデータの解析により新たな価値を生み出す “Massive Connect IoT” へ進化し，ネットワークそのもののインテリジェンスが向上することで，交通・農業・電力など様々な分野において社会基盤となると考えられる．Massive Connect IoT における無線通信システムは，これまでの周波数資源の高効率利用に加え，低機能なノード（センサ搭載端末など）から頻繁にパケットが発生するためにアクセス制御技術の簡素化や高効率化，さらには低消費電力化が高い水準で求められる．

このような 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なのかを長期的視野で議論する必要があると考えられる．本研究会では最新技術動向を常に探りながら Massive Connect IoT 時代に求められる無線通信技術の研究開発のアプローチについて俯瞰的な議論を進めるとともに，多種多様な要求条件のある Massive Connect IoT における無線通信システムとハードウェア技術の双方について，社会実装を意識した具体的な検討を行う．

[4] 研究計画及び内容

毎年度，研究会を通研にて対面・オンライン併用で開催する計画である．原則，提案書に記載の研究組織に含まれる研究代表者，通研対応教員，研究分担者（各大学・高専の大学院生・専攻科生を含む）が参加する形とし，少人数の参加者で時間をかけてより深い議論を行う研究会運営を行う．

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

本研究期間の間，毎年度 1 回研究会を実施した．以下，それぞれの年度の開催状況をまとめる．

■ 2023 年度

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

■ 2024 年度

2024 年 12 月 10 日(火) に「人体領域通信用指向性伝搬特性に関する研究」「高効率かつ低損失な海水中非接触電力伝送システムの検討」の 3 研究課題の共催で，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．

○ 参加教員・学生（7 大学・高専，25 名）

・広島大学: 教員 3，学生 7
・東北大学: 学生 2
・大阪大学: 教員 1，学生 2
・東海大学: 教員 1，学生 2
・秋田県立大学: 教員 1，学生 2
・富山高等専門学校: 教員 1，学生 1
・鈴鹿工業高等専門学校: 教員 1，学生 1

■ 2025 年度

2025 年 12 月 16 日(火) に「人体領域通信用指向性伝搬特性に関する研究」「高効率かつ低損失な海水中非接触電力伝送システムの検討」「OTFS 変調のドップラー・遅延耐性と FHSS 方式の干渉耐性を活かした深宇宙通信の高信頼化」「ミリ波・テラヘルツ通信におけるチャネルモデリングとビームフォーミング」の 5 研究課題の共催で，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．

○ 参加教員・学生（7 大学・高専，27 名）
・広島大学: 教員 3，学生 4
・東北大学: 教員 1，学生 2
・大阪大学: 教員 1，学生 3
・東海大学: 教員 1，学生 2
・秋田県立大学: 教員 1，学生 2
・富山高等専門学校: 教員 1
・鈴鹿工業高等専門学校: 教員 1
・仙台高等専門学校: 教員 1，学生 4

○ プログラム
・スマートファクトリ実現に向けた屋内実環境の可視化に関する研究　大森 達稀（広島大学）
・同期 SS-CDMA の受信タイミングずれに関する検討　金澤 将（広島大学）
・LEO 衛星通信における OTFS 変調方式の BER 特性に関する検討　中井 希（広島大学）
・マイクロ波による乳がん検出精度向上に向けた有効誘電率の最適化に関する検討
山田 修平（広島大学）
・デジタルツインに基づく地震発生時の人流および 3D モデルを用いたドローン基盤
西井 太晟（大阪大学）
・海上センサネットワークにおける高度制御可能なバルーンと海上基地局
福井 菜月（大阪大学）
・陸空の Access Point を用いた Cell-Free massive MIMO における無線フロントホール
馬場 京助（大阪大学）
・LAN ケーブル上の通信パケットを可視化するブリッジの開発と性能評価
橋本 柚季（仙台高専）
・1bit-DAC の高周波化・高出力化に関する研究
神尾 駿介（東北大学）
・無線 LAN による屋内位置推定の精度向上
小熊 博（富山高専）
・WBAN のための画像解析を用いた動的な人体遮蔽の測定　鈴木 謙信（秋田県立大学）
・60 GHz 帯端末間通信システムに関する研究
太田 晴大（秋田県立大学）
・深層学習を用いたキャリア周波数オフセット推定手法の検討　高橋 隼太（東海大学）
・海水中無線電力伝送システムにおける電力と情報の同時伝送の検討
Chong Ruey Seong（東海大学）
・屋内ナビゲーションシステムのための Wi-Fi Probe パケットのデータベース
小野 陽夏（仙台高専）
・モバイル端末上の軽量サーバを用いた可搬型モニタリングシステムの研究
ガンボルド バトビルド（仙台高専）
・汎用デバイスを用いた可視増通信受信機の開発
安中 聖人（仙台高専）
・ミリ波帯公帯域用偏波アンテナの検討
佐藤 元斗（東北大学）

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究会では，大学・高専の枠を超えて若手教員や学生が一堂に会し，少人数による密度の高い議論を行うことで，学生間の相互刺激と研究意欲の向上が期待される．特に，本研究会では大学院生だけでなく，高専専攻科生や学部学生も参加対象としているため，早い段階から高度な研究活動や大学院レベルの議論に触れることができる．これにより，研究活動への興味・関心を高め，博士課程後期への進学意欲を喚起する効果が期待される．実際に，本研究会に参加した学生 2 名（広島大学）が博士課程後期に進学するなど，実績も生まれつつある．

加えて，本研究会を継続的に開催することで，大学・高専間の人的ネットワークが形成され，共同研究や学生交流へと発展する可能性がある．その結果，Massive Connect IoT や Beyond 5G 分野における研究コミュニティーの活性化と，次世代無線通信分野を担う研究人材の育成につながることが期待される．

[6] まとめと今後の課題

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したと考えている．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．

［論文、学会発表、および関連成果］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・亀田 卓, “［特別招待講演］時空間同期を活用する無線端末多数同時接続技術, ”信学技報, vol. 125, no. 174, CS2025-35, pp. 10-10, 2025 年 9 月.

・亀田 卓, “［招待講演］時空間同期を活用した無線通信システムの研究動向と将来展望,” 信学技報, vol. 125, no. 394, MW2025-205, pp. 51-51, 2026 年 3 月.

(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　　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] 研究組織

研究代表者：
井上 崇（産業技術総合研究所）

通研対応教員：
廣岡 俊彦（東北大学電気通信研究所）

[2]研究期間

２０２４年4月　～　２０２６年3月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

5G 以降の未来社会に向けて、より安全・安心で高度に情報化・知能化された社会基盤の構築が進められている。この中で、光ネットワークはさらなる広帯域化が求められ、無線通信技術においてはミリ波、テラヘルツ波などへの高周波化が進められている。このような動きに対応するためには、光・電子技術が融合あるいは集積された新規デバイスをもとに、光と無線を融合し、制御を自律分散化したネットワークが必須である。

一方、計測標準分野においては、高精度な時間同期技術のキーデバイスとなる光周波数コムの広帯域化、高機能化が進められている。光波領域で規定される時間標準を通信やセンシングに利用するためには、光波の高純度なコヒーレンスを保持したまま、周波数をマイクロ波帯に変換する必要がある。また 5G 以降の分散処理システムにおいては、高精度な時間標準を広く配信して共有する技術の普及がこれまで以上に求められている。

本研究では、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所の研究者の間で、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討論を行い、将来の方向性を議論することで、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。

[4]研究計画及び内容

計画として、２０２４年度と２０２５年度に各１回、１２～２月頃に電気通信研究所において、外部の招待講演者を含めた公開の研究会を開催する。具体的には、光・マイクロ波キャリア周波数変換、光・マイクロ波統合コヒーレント光伝送、キャリア周波数変換デバイス、光周波数コムによる光・マイクロ波接続、自律分散協調ネットワーク等について研究討論を行う。

実績として、2025 年 2 月 17 日に東北大学電気通信研究所において、共同プロジェクト研究会を開催した。東北大学、産業技術総合研究所、学習院大学、金沢大学、横浜国立大学、東邦大学などから 40 名を超える研究者が参加し、2 件の招待講演と 9 件の一般講演が行われ、活発な議論が行われた。

さらに、2026 年 2 月 13 日に東北大学電気通信研究所において、共同プロジェクト研究会を開催した。東北大学、産業技術総合研究所、NTT、情報通信研究機構、横浜国立大学などから 40 名を超える研究者が参加し、3 件の招待講演と 6 件の一般講演が行われ、活発な議論が行われた。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

プロジェクトの目的に即した様々な成果が得られ、各年度の研究会において報告がなされた。以下に一般講演の具体的なタイトルを記す：

（２０２４年度）

・セルフホモダイン・ナイキスト OTDM によるデータセンターネットワークの高ボーレート化

・水中 FMCW-LiDAR へ向けた青色 DFB レーザの周波数雑音・変調特性の評価

・デュアルコムファイバレーザーの高性能化と応用展開

・Twin-field quantum key distribution に向けたファイバー長制御

・半導体型可飽和吸収体を用いた相対線幅 1 Hz 級 Er ファイバーコムの開発

・光コムを使った国家計量標準と国際単位系における光コム

・長尺光ファイバループ中の超高速コヒーレント光パルス伝搬とデジタル非線形を用いた大容量フォトニックイジングマシンの提案とその計算機解析

・IF 30 GHz における 108 Gbit/s-64 QAM 信号の SMF 10 km、無線 10 m フルコヒーレント伝送

・IF 125 GHz における 108 Gbit/s-64 QAM 信号の SMF 10 km、無線 10 m フルコヒーレント伝送

（２０２５年度）
・I/Q デジタルコヒーレントイジングマシン

・λ/4 phase shift-free HR DFB LD を用いた偏波無依存注入同期回路

・長距離量子通信に向けた３波長を用いたファイバー長安定化手法の提案と実証

・超狭線幅外部微小共振器型レーザーを用いたファイバー干渉計の位相安定化

・経路切替可能な疑似光通信網での光周波数伝送と精度評価

・2 コアファイバにおける GAWBS 位相雑音の相関測定

(5-2) 波及効果と発展性等

研究会において報告ならびに議論された内容をもとに、参加する各研究者が継続して研究を進めている。また本活動をもとにして、2026 年度から新たに共同プロジェクト「光・マイクロ波コヒーレント統合基盤による革新的通信・コンピューティング・ 計測システムに関する研究」が開始されることになった。本プロジェクトでは、これまで検討してきたコヒーレント光・マイクロ波統合型高機能通信・計測システムに加えて、近年発展が著しい量子技術や AI 関連技術に代表される新たなコンピューティング技術の取り込みも視野に入れて、今後のさらなる発展を志向するものとして位置付けている。

[6]まとめと今後の課題

共同プロジェクト「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」に関する活動内容を報告した。

今後は新たなプロジェクト「光・マイクロ波コヒーレント統合基盤による革新的通信・コンピューティング・ 計測システムに関する研究」において、新たな研究の展開を狙っていく。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・T. Kurosu et al., ″Self-homodyne 2-OTDM for doubling the baud rate in low-energy optical interconnect,″ Opt. Express 33, 3451-3465 (2025).

・杉山他, “一光子干渉による量子もつれ共有に向けたファイバー長制御”, 日本物理学会 第79回年次大会, 17pN304-15 (2024).

・杉山他, “遠隔地の量子もつれ共有に向けたファイバー長制御”, レーザー学会学術講演会 第45回年次大会, 17pN304-15 (2025).

・T. Kashimura et al., ″Development of a 1 Hz relative linewidth Er:fiber comb utilizing a semiconductor saturable absorber mirror″, Jpn. J. Appl. Phys. 64, 02205 (2025).

・H. Inaba, “Advances in optical frequency comb technology and its impact on atomic and molecular sensing,” Quantum Innovation 2024, SE-06-03 (2024).

・M. Nakazawa and T. Hirooka, ″An Oscillator-Less Photonic Ising Machine With Digital-Nonlinearity-Based Bifurcation and Its Simulated Application to a 1 Million-Node Fully Connected Max-Cut Problem,″ in Journal of Lightwave Technology, vol. 43, no. 12, pp. 5579-5600, 15 June15, 2025, doi: 10.1109/JLT.2025.3552250.

・渡部他, “IF 30 GHz における 108 Gbit/s-64 QAM 信号の SMF 10 km、無線 10 m フルコヒーレント伝送” 信学ソ大, B-10B-23, 2024.

・城市他, “IF 125 GHz における 108 Gbit/s-64 QAM 信号の SMF 10 km、無線 10 m フルコヒーレント伝送” 信学総大, B-10B-18, 2025.

・M. Nakazawa and T. Hirooka, ″I-, Q-, and I/Q-simultaneously bifurcated photonic Ising machines with Kerr nonlinearity,″ Opt. Express 33, 51513-51533 (2025).

・K. Kasai et al., ″Novel Polarization-Dependence-Free Optical Injection-Locking Circuit Using λ/4 Phase-Shift-Free HR DFB LD at 1.5 μm, *2025 European Conference on Optical Communications (ECOC)*, Copenhagen, Denmark, doi:10.1109/ECOC66593.2025.11263060.

・Y. Sugiyama et al., ″Phase stabilization with triple wavelength bands for single-photon interference in quantum communication,″ Opt. Express 34, 295-307 (2026).

・吉田他「2 コアファイバにおける GAWBS 位相雑音の相関測定」電子情報通信学会 2026 年総合大会、B-13-32.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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）
研究分担者
石崎 俊雄（龍谷大学）
伊藤 信之（岡山県立大学）
大久保 賢祐（岡山県立大学）
岡崎 浩司（東京情報デザイン専門職大学）
亀田 卓（広島大学）
河合 邦浩（NTT ドコモ）
河合 正（兵庫県立大学）
川崎 繁男（JAXA）
九鬼 孝夫（国士舘大学）
佐藤 潤二（パナソニック（株））
谷口 英司（三菱電機（株））
中津川 征士（函館工業高等専門学校）
楢橋 祥一（摂南大学）
西川 健二郎（鹿児島大学）
西野 有（（株）BaSAI）
平野 拓一（東京都市大学）
藤島 実（広島大学）
藤本 竜一（キオクシア（株））
古市 朋之（東北大学）
吉田 賢史（龍谷大学）

[2]研究期間

2023 年 5 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本研究会は、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する。

次世代の高度なデジタル社会に向け、高速・大容量・低遅延・多数同時接続・低消費電力・セキュアな通信技術が期待されている。この周波数帯の利用は、エレクトロニクス技術やフォトニクス技術双方にとって難しい領域であり、デバイス・回路・アンテナなどのハードウェアに加えて、材料開発や材料計測に関する様々な技術的課題がある。これらの課題の克服に向け、本研究会は、産学が協力して 6G システムの実現に向けてどのような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。

[4]研究計画及び内容

1 年目では「6G システムの展望」 とし、システム全体像を俯瞰し、必要な要素技術や課題について理解を深める。これに引き続き 2 年目、3 年目では「6G システムを支える基盤技術」とし、高速・大容量・低遅延・多数同時接続・低消費電力・セキュアな通信技術を実現するための基盤要素技術について、その課題や方向性を議論する。

研究会は、深堀した議論を展開するためにインフォーマルな情報も取り扱うこととし、原則としてクローズドな形態での開催とする。参加者は、研究代表者、通研対応教員および研究分担者の計 22 名の他、必要に応じて開催テーマに応じた研究会メンバー以外の講演者を招聘する。これにより、6G システム実現のための技術研究開発の方向性をまとめる。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

今年度は、最終年度として、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、6G システムの実現に向けた、ミリ波帯・テラヘルツ波帯の基盤技術について、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ための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: 2026 年 1 月 30 日(金)　13:30-16:20 (研究会)、19:30-20:40 (ナイトセッション)
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 M153 (研究会)
秋保温泉 篝火の湯 緑水亭 (ナイトセッション)
プログラム【研究会】
13:30-13:40 研究代表者挨拶 真田篤志 (大阪大学)

13:40-14:10 アナログ RF 集積回路の微細化　藤島実 (広島大学)
14:10-14:40 準ミリ波帯を用いた無線電力伝送システム　石崎俊雄 (龍谷大学)
14:40-15:00 コーヒーブレイク
15:00-15:30 非相反 CRLH 線路における順/逆方向伝搬および定在波について 大久保賢祐 (岡山県立大学)
15:30-16:00 60GHz 帯 3 次元デジタルビームフォーミングアンテナの試作測定　吉田賢史 (龍谷大学)
16:00-16:20 総合討論
移動後【ナイトセッション】
19:30-20:00 誘電体基板 LCR 直列共振回路による誘電率測定と FDTD 法による移動境界の解析　平野拓一 (東京都市大学)
20:00-20:30 サブテラヘルツ帯 OAM 多重通信用無反射メタサーフェス 真田篤志 (大阪大学)
20:30-20:40 ラップアップ
参加者(敬称略) 大久保賢祐、平野拓一、岡崎浩司、藤島 実、吉田賢史、石崎俊雄、西川健二郎、真田篤志、末松憲治、古市朋之、川﨑繁男(研究会のみ)
研究会では、研究代表者の大阪大学大学院基礎工学研究科 真田篤志教授の挨拶の後、最初に、広島大学大学院先進理工系科学研究科 藤島 実教授より、「アナログ RF 集積回路の微細化」と出してご講演頂いた。300GHz 帯フェーズドアレイの高集積化に向けた CMOS 設計におけるトランシーバ回路の実装上の課題として、電源配線、熱対策、集積度の限界について問題提起がなされた。その解決策として Power Panel の概念が提案され、Power Panel の各セルが小さなインフラユニットとして機能し、設計効率・モジュール性・スケーラビリティが向上することが示された。さらに、応用例として広帯域・周波数特性可変アンプの設計例とその特性が示され、本概念の有効性と 300 GHz 高密度フェーズドアレイの実現可能性が示された。これにより次世代テラヘルツ波無線通信の実現性に対する現状と課題に関する知見を得た。

続いて、龍谷大学先端理工学部の石崎俊雄教授より、「準ミリ波帯を用いた無線電力伝送システム」と題して講演があった。制御局から電波を用いて情報とエネルギーの双方を送信し、センサは受信したエネルギーを用いてセンシングし、その情報を制御局へ送り返すシステムである無線情報エネルギー伝送システムの概念が紹介され、そのための 24GHz 帯アレイアンテナや送電モジュールの特性測定結果が紹介された。また開発したアクティブ集積アンテナを用いたミリ波電力伝送実験結果も紹介された。次世代の無線電力伝送方式の実現に対する課題が明確となった。

続いて、岡山県立大学情報工学部大久保賢祐教授より、「非相反 CRLH 線路における順/逆方向伝搬および定在波について」と題して講演があった。ジャイレータを用いた非相反 CRLH 線路である G-CRLH-TL の概念が紹介され、その非相反伝搬特性が理論的に示された。また、偶数・奇数セルで構成された G-CRLH-TL 上の定在波が、境界条件によりその存在が左右され、その存在条件が示された。これにより新たな非相反人工材料に対する新たなデバイス応用への知見を得た。

さらに、龍谷大学先端理工学部の吉田賢史准教授より、「60GHz 帯 3 次元デジタルビームフォーミングアンテナの試作測定」と題してご講演頂いた。60 GHz 帯両偏波対応ビームフォーミングアレイの設計例が示され、360 度をカバーするデジタルビームフォーミングの試作評価結果が紹介された。近距離・高伝送レート無線通信のための回路設計および実装技術の重要性が議論された。

またナイトセッションでは、東京都市大学理工学部電気電子通信工学科平野拓一教授より、「1 次元問題による移動媒質の FDTD 法解析に関する基礎検討」「SDR-Based Propagation Measurements in Indoor Corridors」および「液体の誘電率測定のための誘電体基板 LCR 直列共振回路の設計」の多岐にわたる話題提供があった。移動する境界条件における周波数変換や非相反性に関する数値計算結果が示され、その現象や応用について議論された。また、無線端末や医療診断用レーダー設計用生体ファントムの複素誘電率の簡易測定のための誘電体基板 LC 共振回路が紹介され、その特性および小型化の可能性が議論された。また、SDR 端末と COTS を用いた計測による屋内伝播伝搬測定結果が示され、802.11g プリアンブルの Legacy-LTF を用いた SCS 測定の SNR 計測との等価性と、これを用いたリアルタイム受信ヒートマップの計測結果が紹介された。これにより、電磁界理論、高周波計測、およびシステム評価にわたる幅広い知見を得た。

最後に、大阪大学大学院基礎工学研究科真田篤志教授より、「サブテラヘルツ帯 OAM 多重通信用無反射メタサーフェス」と題して話題提供があった。140 GHz 帯における OAM 多重無線通信用透過型メタサーフェスの設計例が示され、反射特性が平均 –30 dB の 140 GHz 帯高効率メタサーフェスの設計事例が紹介された。これにより新たな人工材料応用に関する知見を得た。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで共有された次世代無線通信を支える多岐にわたるハードウェア技術に関する知見や課題を基に、新領域の開拓や展開が期待できる。

[6]まとめと今後の課題

6G に向けたミリ波・テラヘルツ波技術を支える、幅広い分野の研究者のネットワークが形成され、

貴重な情報や課題が共有されるとともに交流が深まった。今後も継続したこのような異分野技術交流が望まれる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

【国内会議口頭発表】

[1] 河合正，石田飛翔，“920 MHz 帯 LC はしご形分配／合成器を用いた N 方向電力分配器,” 電気学会通信研究会，vol. CMN-26-016，2026 年 1 月．

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

【論文】

[1] 尾崎史朗，平野拓一，岡本直哉，中舎安宏，多木俊裕，原直紀，“サブテラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナの実現に向けたヘテロジニアス集積技術,” 電気学会論文誌 C，vol. J108-C，no. 7，pp. 155-163，2025 年 7 月．

[2] G. L. Bulaong and T. Hirano, “Spatial Characterization of Indoor Wi-Fi Propagation Using an Embedded System with Optical 2-D Marker-Based Positioning,” IEICE Communications Express，vol. 14，no. 11，pp. 386-389，Nov. 2025．doi: 10.23919/comex.2025XBL0085

[3] 尾崎史朗，平野拓一，中舎安宏，多木俊裕，原直紀，“サブテラヘルツ帯増幅器一体型アレーアンテナの放熱改善に向けたハイブリッド基板構造,” 電子情報通信学会和文論文誌 B，vol. J108-B，no. 7，pp. 420-422，2025 年 7 月．

[4] 耳野裕，平野拓一，岡本直哉，尾崎史朗，原直紀，“マイクロストリップラインベンドの幾何形状による透過位相の近似評価,” 電子情報通信学会和文論文誌 C，vol. J108-C，no. 4，pp. 77-79，2025 年 4 月．doi: 10.14923/transelej.2024PJF0001

[5] N. Itoh, K. Miyazaki, M. Miyake, K. Komoku, and J. Furuta, “920-MHz Fully-Integrated LNA Operated in Moderate-Inversion Region,” IEICE Transactions on Electronics，vol. E108-C，no. 10，pp. 555-561，Oct. 2025．doi: 10.1587/transele.2024CTP0004

[6] 伊藤信之，瀬口慎一郎，小椋清孝，古田潤，鈴木恭宜，“三帯域同時受信ワンチップ LNA の検討,” 電子情報通信学会論文誌 C，vol. J109-C，no. 1，pp. 2-12，2026 年 1 月．doi: 10.14923/transelej.2025MWI0002

【国際会議口頭発表】

[1] K. Okubo, M. Kishihara, and K. Sakaguchi, “A Study on Dispersion Characteristics of a Gyrator-Loaded CRLH-TL with an Even Number of Unit Cells,” 2025 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT)，pp. 52-54, Kagoshima, Japan，Aug. 25, 2025.

[2] E. Morimoto, K. Seki, Y. Kato, Y. Nakata, and A. Sanada, “Beam Steering Characteristics of a 300 GHz Stretchable RIS with Dual-Polarization Capability,” Proceedings of 2025 IEEE Radio-Frequency Integration Technology，vol. 1，pp. 214-215，Aug. 27, 2025.

[3] Y. Tankawa, Y. Kato, Y. Nakata, and A. Sanada, “Stretchable Reconfigurable Intelligent Surfaces with Dynamic Reflection Beam Width Control Functionality at Terahertz Frequency Band,” Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation 2025，vol. 1，3C4-4，pp. 539-540，Fukuoka, Japan, Oct. 29, 2025.

[4] S. Oe, Y. Tankawa, Y. Kato, Y. Nakata, and A. Sanada, “300 GHz Stretchable RISs with Dynamic Reflection Beam Control,” Proceedings of 2025 Asia-Pacific Microwave Conference，vol. 1，TF1-4，pp. 253-255，Dec. 4, 2025.

[5] G. L. Bulaong and T. Hirano, “LiDAR-Based SLAM for RF Propagation Measurement,” 2025 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA)，M03，Antibes Juan-les-Pins, France，Nov. 18–20, 2025.

[6] T. Hirano, “Radio Propagation Simulation for Manhole Communication,” Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS)，Session 2A3a，Chiba, Japan，Nov. 5–9, 2025.

[7] G. L. Bulaong and T. Hirano, “SDR-Based Propagation Measurements in Indoor Corridors,” The 2025 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2025)，Session 3C4 [OS22]，pp. 543，Fukuoka, Japan，Oct. 27–31, 2025.

[8] Y. Mimino, T. Hirano, and S. Ozaki, “Geometrical Optimization Approach of MSL Bend Shapes to Minimize Reflection Coefficient,” The 2025 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT 2025)，pp. 22-24，Kagoshima, Japan，Aug. 25–27, 2025.

[9] N. Itoh, K. Komoku, J. Furuta, and Y. Suzuki, “Study on MOSFET’s Operating Region for Fully-Integrated Sub-1-GHz LNA Under Scaling,” 2025 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT)，2025.

[10] H. Kishimoto, K. Komoku, J. Furuta, Y. Suzuki, and N. Itoh, “25-28 GHz Push-Push VCO with Flicker Noise Suppression Circuits,” International Conference on Analog VLSI Circuits (AVIC 2025)，pp. 29-32，Matsue, Japan，Oct. 2025.

[11] H. Kishimoto, K. Komoku, J. Furuta, Y. Suzuki, and N. Itoh, “A 26-GHz CMOS Push-Push Oscillator,” Proceedings of 2025 Asia-Pacific Microwave Conference，WA1-4，pp. 10-12，Jeju Island, Korea, Dec. 2025.

[12] Y. Suzuki, K. Komoku, J. Furuta, and N. Itoh, “Theoretical Analysis of High Efficiency Power Amplifier with Double Injected Envelope Components,” Proceedings of 2025 Asia-Pacific Microwave Conference，P1-085，pp. 1-3，Jeju Island, Korea, Dec. 2025.

【国内会議口頭発表】

[1] 大久保賢祐，岸原充佳，坂口浩一郎，“非相反 CRLH 線路における定在波に関する一考察,” 信学技報，vol.125，no.247，pp.1-5，2025.
[2] S. Oe, Y. Nakata, and A. Sanada, “Experimental Verification of Dynamic Reflection Beamwidth Control of Stretchable RISs at 300 GHz Band,” IEEE MTT-S Kansai Chapter 18th Kansai Microwave Meeting for Young Engineers，Jun. 28, 2025.
[3] 丹川優希，中田陽介，真田篤志，“両偏波対応 140 GHz 帯異常反射ビーム幅制御ストレッチャブル RIS の反射特性について,” 2025 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，岡山市，Sep. 10, 2025.
[4] 森本絵要瑠，加藤悠人，中田陽介，真田篤志，“非局所最適化による 300 GHz 帯両偏波対応異常反射ストレッチャブル RIS の高効率化,” IEEE AP-S Kansai Joint Chapter and IEEE MTT-S Kansai Chapter 合同若手技術交流会，京都市，Dec. 20, 2025.
[5] 河合正，“28 GHz 帯方形平面回路型 90 度カプラの設計法,” 電気学会通信研究会，vol.CMN-25-048，Jun. 2025.
[6] 河合正，石田飛翔，“LC はしご形分配／合成器を用いた 5 方向電力分配器の構成法,” 2025 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，C-2B-10，Sep. 2025.
[7] 河合正，“Ka 帯矩形平面回路形 90 度カプラ,” 信学技報，vol.125，no.247，pp.61-65，Nov. 2025.
[8] T. Kawai, “Design of Rectangular Planar Circuit Quadrature Coupler at Ka-Band,” The Papers of Technical Meeting on Communications, IEE Japan, vol.CMN-26-025，pp.15-19，Mar. 2026.
[9] 植田碧，平野拓一，“多層基板を用いたマイクロストリップ線路接続の基礎検討,” 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会，東京都市大学世田谷キャンパス，Mar. 7, 2026.
[10] 山地陽，平野拓一，“オンチップアンテナとマイクロストリップ線路の相互干渉の解析,” 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会，東京都市大学世田谷キャンパス，Mar. 7, 2026.
[11] 安田美尊，平野拓一，“T 行列による周期構造の近似計算,” 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会，東京都市大学世田谷キャンパス，Mar. 7, 2026.
[12] G. L. Bulaong and T. Hirano, “RF Propagation Mapping Using LiDAR-Based SLAM,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，B-1A-10，岡山大学（岡山県），Sep. 9, 2025.
[13] 篠原大紀，平野拓一，“プリント八木・宇田型ダイポールアンテナ下部のシリコン基板の影響,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，B-1B-44，岡山大学（岡山県），Sep. 12, 2025.
[14] 宮本聖大，平野拓一，“双指向性を有するマイクロストリップ線路グランドスロット 4 素子アレーアンテナの設計,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，B-1B-06，岡山大学（岡山県），Sep. 9, 2025.
[15] 耳野裕，平野拓一，“SMA コネクタの基板実装時のビア配置とはんだ量の影響,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集，C-2B-15，九州産業大学（福岡），Mar. 12, 2026.
[16] 平野拓一，松本凪菜，“1 次元問題による移動媒質の FDTD 法解析に関する基礎検討,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol.125，no.357，pp.6-9，名工大，名古屋，Feb. 19, 2026.
[17] 高橋うらら，耳野裕，平野拓一，“液体の誘電率測定のための誘電体基板 LCR 直列共振回路の設計,” 電気学会電子デバイス研究会，vol.EDD-25-093，Dec. 12, 2025.
[18] 山内啓多，平野拓一，“［ポスター講演］円弧状アレー配置によるビームスキャン時のグレーティングローブ抑圧,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol.125，no.181，pp.165-166，東京農工大学（東京都），Sep. 18, 2025.
[19] 篠原大紀，平野拓一，“［ポスター講演］プリント八木・宇田型ダイポールアンテナ下部のシリコン基板の影響,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol.125，no.181，pp.155-156，東京農工大学（東京都），Sep. 18, 2025.
[20] 宮本聖大，平野拓一，“［ポスター講演］双指向性を有する 4 素子マイクロストリップ線路グランドスロットアレー,” 電子情報通信学会技術研究報告，vol.125，no.181，pp.163-164，東京農工大学（東京都），Sep. 18, 2025.
[21] 平野拓一，“無限反射を考慮した THz-TDS による複素誘電率測定の後処理,” 電子情報通信学会無線端末・アンテナシステム測定技術研究会，AMT2025-06，北大（北海道），Jul. 31, 2025.
[22] 鈴木恭宜，古田潤，小椋清孝，伊藤信之，“包絡線成分注入による電力増幅器の高効率線形増幅の可能性,” 2025 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，C-2A-10，岡山大学，Sep. 10, 2025.
[23] 岸本日和，小椋清孝，古田潤，鈴木恭宜，伊藤信之，“Push-Push 発振器の FTR と動作モードに関する検討,” 2025 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，C-12-04，岡山大学，Sep. 10, 2025.
[24] 岸本日和，小椋清孝，古田潤，鈴木恭宜，伊藤信之，“薄膜 MOS バラクタによる Push-Push 発振器の特性検討,” 2025 年度（第 76 回）電気・情報関連学会中国支部連合大会，R25-12-09，山口大学，Oct. 25, 2025.
[25] Y. Suzuki, K. Komoku, J. Furuta, and N. Itoh, “Efficiency Analysis of Power Amplifier with Double Injected Envelope Components,” 2026 URSI-Japan Radio Science Meeting，The University of Electro-Communications，Mar. 2–3, 2026.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
塚原 直樹（株式会社 CrowLab）

通研対応教員：
北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
藤田　和之（東北大学電気通信研究所）
菊池　勇吾（東北大学電気通信研究所）
末田　航（阪南大学）
青山　真人（宇都宮大学）
相野谷　叶乃（宇都宮大学）
高嶋　和毅（芝浦工業大学）
加納　剛史（はこだて未来大学）
井上　理哲人（産業技術総合研究所）
安藤　隆寛（中部電力株式会社）
津田　その子（中部電力株式会社）
永田　健（株式会社 CrowLab）
長谷山　聡也（株式会社 CrowLab）

[2]研究期間

2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

カラスが市街地をねぐらとすることで、糞害が国内外で発生している。申請者が代表を務める CrowLab では、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 2023 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。議論は、電気通信研究所において、10 月 13 日に 8 人、2 月 15 日に 6 人で行った。

2 年目の 2024 年度は、研究の進捗を確認するとともに、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。議論は、電気通信研究所において、9 月 9 日に 7 人、2 月 14 日に 6 人で行った。

3 年目の 2025 年度は、研究の進捗を確認するとともに、今後の展開について議論した。議論は、電気通信研究所において、7 月 17 日に 5 人、2 月 19 日に 5 人、3 月 11 日に 8 人で行った。

[4]研究計画及び内容

2023 年度は以下に取り組んだ。

遠距離にわたっての誘導のため、ドローンを使った誘導方法を検討した。また、人口集中地区でも飛行可能なドローン係留装置を用いることで、航空法の制限を回避し、繰り返し実験できる体制を整えることとした。

さらに、ピンポイントの定着のため、剥製ロボットを使った誘導方法を検討した。まずは、飼育下のカラスを用いて、剥製ロボットへの反応を確認することとした。

そして、実際に市街地でねぐらが形成されるフィールドにおいて誘引効果がある音声を再生し、カラスの反応を確認することとした。

2024 年度は以下に取り組んだ。

ドローンについては、気仙沼漁港および中部電力技術開発本部での実験を繰り返し、課題の抽出を試みることとした。

剥製ロボットについては、見た目がより精巧なロボットを開発し、飼育下のカラスの反応を確認することとした。

フィールドでの試験については、カラスの飛来に合わせて、任意のタイミングで音声の再生・停止を行うことのできる遠隔操作を可能とする装置の開発を行うこととした。また、その際のカラスの反応を確認することとした。

2025 年度は以下に取り組んだ。

ドローンについては 2024 年度の議論の結果、

ドローンへの法的規制などの情勢に伴い、開発を縮小することとした。

剥製ロボットについては、2024 年度に引き続き、見た目がより精巧なロボットを開発し、飼育下のカラスの反応を確認することとした。

フィールドでの試験については、遠隔操作を可能とする音声再生システムの改良に加え、新たなフィールドでの試験を実施し、カラスの反応を確認することとした。

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

3 年間の取り組みの成果は、以下の通りである。

ドローンの研究開発については、スピーカーを搭載し安定飛行させるドローン（図 1）を実装することができた。また、係留装置を用いることで、ドローンに対する法的規制を回避した研究開発を可能とした。



図 1. スピーカーを搭載したドローン

剥製ロボットについては、今回のプロジェクトでは、見た目が精巧な剥製ロボット（図 2）を開発することができた。しかし、飼育下のカラスを用いた実験では、見た目以外にも動きの精巧さも重要であることがわかった。



図 2. カラスの剥製ロボット

フィールドでの実験では、誘引効果がある音声を使って、カラスの就塒前集合やねぐら入りの行動に繰り返し影響を与えることが確認できた。しかし、カラスの動きとは関係のないタイミングで音声の再生と停止が行われたためか、複数回繰り返すことでカラスの反応が薄れることが課題であった。そこで、遠隔で任意のタイミングで音声の再生と停止が可能なシステム（図 3）を開発した。そのシステムを用いた実験により、繰り返し音声を再生しても反応が持続することを確認できた。また、カラスの群れが居る方向にスピーカーを向けること、ある程度の音量が必要であること、音源の場所を隠す遮蔽物などがある環境が必要であること等の知見が得られた。

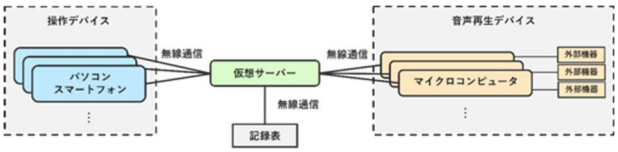


図 3. システム全体の構成図

【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・長谷山氏を招聘した。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。また、長谷山氏より、フィールドでの実験の際の音声の再生方法に関する助言を受けた。

(5-2) 波及効果と発展性等

本プロジェクトで行われた実証試験の成果は、別紙の通り、多数のメディアに取り上げられた。野生動物と音声によるコミュニケーションを行うといった新たな切り口の社会課題の解決法に興味を持たれたと推測される。

本プロジェクトは、動物行動学とコンピュータサイエンスの異分野融合型の研究課題であり、それぞれの研究分野に対し、新たな手法の提案や新たなアプリケーション例の提案の面で、一石を投ずることが期待される。また、本システムが開発されれば、野生動物と人の摩擦といった社会的課題を解決することにも貢献できる。

[6] まとめと今後の課題

3 年間の取り組みにより、スピーカーを搭載したドローン・カラスの剥製ロボット・遠隔で任意のタイミングで音声の再生と停止が可能なシステムを開発できた。また、カラスの誘導技術の実用化のため、基礎的な知見が得られた。

その一方で、ドローンを活用する際の法的規制に伴う開発の難しさ・音声再生を繰り返すことでのカラスの反応の薄れなどの再生方法の改善等の課題が明らかとなった。

［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】
・塚原直樹、カラスの音声コミュニケーションを利用した行動制御、騒音制御 49 巻 4 号、pp. 165-171、2025 年 8 月

【著書】
・塚原直樹、ヒトとカラスの知恵比べ: 生理・生態から考えたカラス対策マニュアル、化学同人、2024 年 5 月

【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・長谷山聡也、市街地を集団ねぐらとするカラスは夜間に移動することがある、日本鳥学会 2024 年度大会、2024 年 9 月
・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、意外と知らない身近なカラスの生態、えびす大学、2026 年 2 月
・塚原直樹、意外と知らない身近なカラスの生態、令和 7 年度 栃建交友会講演会、2025 年 7 月
・塚原直樹、カラスを探究し続けたら日々面白いことに、群馬県率大間々高等学校 令和 6 年度 探究成果発表会、2025 年 2 月
・塚原直樹、カラスの音声コミュニケーションを利用した行動制御、日本騒音制御工学会 2024 年秋季研究発表会シンポジウム、2024 年 11 月
・塚原直樹、ブルー・オーシャンを泳ぐ　〜競争しない生き方のススメ〜、群馬県立桐生高等学校 令和 6 年度 開校記念式 記念講演、2024 年 4 月
・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】
・2026 年 4 月 6 日 日本テレビ「ZIP!」
・2026 年 4 月 2 日 日本テレビ「news every」
・2026 年 3 月 29 日 読売新聞
・2025 年 12 月 31 日 福島民報社
・2025 年 12 月 3 日 RKK 熊本放送
・2025 年 6 月 20 日 朝日新聞
・2025 年 1 月 25 日 鶏鳴新聞
・2024 年 7 月 16 日 ダイヤモンドオンライン
・2024 年 7 月 14 日 ダイヤモンドオンライン
・2024 年 7 月 14 日 産経新聞
・2024 年 7 月 13 日 週刊東洋経済
・2024 年 7 月 12 日 ダイヤモンドオンライン
・2024 年 7 月 4 日 読売 KODOMO 新聞
・2024 年 6 月 24 日 日経サイエンス 8 月号
・2024 年 2 月 10 日 NHK WORLD「BIZ STREAM」
・2024 年 1 月 16 日 NHK 「おはよう日本」
・2023 年 12 月 11 日 NHK ラジオ 「NHK ジャーナル」
・2023 年 11 月 9 日 テレビユー福島
・2023 年 11 月 7 日 福島民友
・2023 年 11 月 6 日 福島テレビ
・2023 年 11 月 6 日 FKB 福島放送
・2023 年 7 月 1 日 KBS（韓国の公共放送局）「特派員報告、世界は今」
・2023 年 7 月 1 日 新潟日報
・2023 年 6 月 30 日 BSN 新潟放送
・2023 年 6 月 29 日 朝日新聞
・2023 年 4 月 15 日 NHKE テレ「ヴィランの言い分」

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織
研究代表者：
池口徹 (東京理科大学工学部)
通研対応教員：
佐藤茂雄 (東北大学電気通信研究所)
研究分担者
塚田稔 (玉川大学脳科学研究所)
塚田啓道 (中部大学 AI 数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 (東京大学大学院医学系研究科)
加藤秀行 (大分大学理工学部)
澤田和弥(東京理科大学工学部)

[2]研究期間
2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
デジタルコンピュータが採用しているアドレス方式とは全く異なる方式が，人間の脳における記憶方式として用いられている．外界から与えられた感覚情報（時空間パターン）にさまざまな情報が付加されることで記憶は形成されるが，脳では，これらの情報を神経回路網のダイナミクスを用いて神経細胞間の荷重に写像し記憶を形成する．どのように神経細胞間の荷重に写像されるかを学習則と呼ぶが，本研究プロジェクトでは，どのような学習則により写像が実現されているのか，また，その学習則はどの程度の能力を有するのか，さらには，記憶された時空間情報はどのように読み出されるのかを多様な側面から解析することで，記憶形成と読み出しに関する情報処理原理を明らかにすることを目的とする．

また，2026 年 11 月 29 日−12 月 1 日に東北大学 電気通信研究所　ナノスピン実験施設にて，**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を開催した．

[4]研究計画及び内容
単一層神経回路網に Hebb 学習則 （とその発展学習則） と時空間学習則(とのその拡張則)を適用した場合についての議論を行う．具体的には，記憶された時空間パターンの分離能力などを解析する．LTP および LTD の影響度，学習速度，時間履歴といった要素が時空間学習則におけるパターン分離能力との関係を調査する．分離能力の定量化には，学習後のシナプス結合の分布，出力パターンの種類，ロバスト性などを用いる，また、これい関連してカルシウムイメージング解析、神経雪崩など周辺の関連する内容についてもす研究を遂行した。

[5] 研究成果と波及効果等
(5-1)研究成果
① 短期記憶の場・海馬神経回路網における生理実験結果に基づいて構築した時空間学習則(STLR)について、数理モデル解析・確率オートマトン表現の結果、人間のパターン認識に関する次の２つの重要な情報表現が明らかとなった。まず，記憶事象はランダムにではなくフラクタル構造で埋め込まれる。次に，記憶の信号安定性と選択性の観点では自己組織化のシナプス荷重変化についてヘブ則は線形的変化し不安定化かつ無選択性であるが、STLR は非線形で安定性と選択性を実現できることを明らかにした。
②STLR は連続入力間の差分を学習することで文脈を識別する機構を有し、類似入力を統合する Hebb 学習則とは異なる情報処理特性を持つことを示した。STLR の理論解析から、カルシウム濃度依存的な LTP/LTD 切替に対応する非線形更新則が内在することが示された。この観点から Bienenstock-Cooper-Munro 理論を再検討した結果、両者に共通する学習原理が存在する可能性が示唆された。
③STLR に関して，時間履歴の有無により，どのようにパターン分離能力が変化するのかを調査した．また，相互結合型の神経回路網において，興奮性細数値実験の結果，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した．
④生体の脳内での発火の時空間パターンを観測するために、カルシウムイメージング解析の基礎技術の研究を行なった。シミュレーションから人工かルシウムイメージングデータを生成し、そこからネットワーク構造推定を行なった。Hawkes 解析と相関解析を組み合わせることにより 80%の精度で構造を推定できた。
⑤神経雪崩がシナプス可塑性により自発的に組織化するスパイキングニューラルネットワークモデルから得られる神経活動データに対して，雪崩の規模や継続期間のみではなく，雪崩の待ち時間や静寂期間，さらに，臨界性などの統計的性質の解析を行い，待ち時間や静寂期間では２つのベキ分布が混在したような分布が見られ，実際の神経システムのデータが再現された．また，s 臨界分岐パラメータがほぼ 1 となり，臨界状態であることが示された．

さらに，従来の STDP 則と STLR の統合理論を構築するために，電位依存 STDP 学習則の解析を開始した．ま

ず，電位依存 STDP 学習則が既存の STLR の特性を有するのかを検討するために，STLR と同様のプロトコルにて学習させることで，STLR の学習後のネットワークの出力と同様の出力が得られるのかを検討した．その結果，電位依存 STDP 則が，STLR の機能を再現できることを示唆する結果を得た．

⑥エコーステートネットワークにおける入力再構成を教師なし学習として定式化し，力学系複製やノイズ除去への応用可能性を示した．また，拡散モデルによる相互作用推定や，EEG 状態遷移解析による感情理解手法を提案した．

⑦神経回路網で観測される複数のスパイク列のみを用いて，神経細胞間の結合を推定する手法を提案した．提案手法は，時系列データに対する因果性検出手法をスパイク列に適用可能となるように拡張し，サロゲートデータ法により，結合性を統計的に検定するが、少数の神経細胞間の結合を高精度に検出可能なことを明らかにした．

（5-2）波及効果と発展性等

①STLR については，実験的・理論的研究を短期記憶のシステムの部分と全体の視点から人間の脳のような新しい省エネシステムに向けて実用化の研究へと発展させる。

海馬における時空間情報処理機構を対象として、新しい時空間学習則（Extended Spatiotemporal Learning Rule:）の理論構築と計算論的解析を進めた。本研究により、従来の Hebb 型学習則では困難であった高類似時空間パターンの識別や差分情報の学習機構を説明可能であることが示され、神経回路における記憶形成・系列学習機構の新たな理解へとつながった。本研究を通じて、基盤 B の共同研究へと発展した。

②カルシウムイメージデータ解析については現在シミュレーションデータを用いているが、今後の展開として実データへの応用が可能である。したがって、実験研究者とのコラボレーションへの発展が期待される。

③神経雪崩のモデリングに関して本研究で得られた結果は，神経雪崩の形成機構を明らかにするための大きな知見であり，一定の波及効果があると考えられる．また，既存の STDP 則と STLR は異なる機能を有することが知られている．そのため，統一理論が構築できれば，これらの機能を一つのモデルで実現することができる．これは，局所神経回路の状態により実現される機能が異なることを示唆するものであり，脳の学習における新たな知見であり，新たな研究につながると考えられる．

④教師データに依存しない時系列学習や脳情報解析の基盤技術として期待される．医療・BMI・複雑系解析などへの応用可能性に加え，脳型情報処理原理の理解にも寄与すると考えられる．

⑤提案したスパイク列間の因果性・結合性検出手法は，神経回路網の構造を明らかにすることに寄与し，脳内で用いられている学習則を理論的に解明する基盤となるため，今後の発展が期待される．

[6]まとめと今後の課題

海馬における時空間情報処理機構の解明を目的として、新規時空間学習則を中心とした理論・数理的研究を推進した。従来の Hebb 学習則との比較解析を通じて、STLR が類似した時空間入力パターン間の差異成分を効率的に抽出・学習できる特性を有することを明らかにした。また、海馬回路における情報分離・記憶形成との関連性について検討を進め、時空間情報処理に関する新たな知見を得た。今後の課題として、提案した学習則をより生理学的妥当性の高い神経回路モデルへ拡張するとともに、実験データとの比較検証を進める必要がある。また、海馬のみならず大脳皮質を含めた広域神経回路への適用を検討し、時空間情報処理の脳全体における役割を明らかにすることが重要である。さらに、疾患モデルや人工知能分野への応用可能性についても検討を進め、脳型情報処理技術への展開を目指す。また，時空間学習則の性能についてはパターン分離能力の調査にこだわることなく，リザバーコンピューティングにおける学習に用いるなどが考えられる．

さらに，時空間学習則の解析により得られた結果を踏まえ、ニューロモルフィックチップへの実装への諸問題を解決する。現在の AI のエネルギー問題を解決すべく、省エネ学習システムへの応用、産学共同へのアプローチを提案する。

人工カルシウムイメージングデータからの構造推定については一定の成果を得たが、より高い精度が求められる。今後は複数の手法の組み合わせなどに取り組む予定である．

神経雪崩のモデリングについては，継続時間が実データと比較し短い傾向がある．これを克服するため，遅いシナプス電流を導入することで，モデルの改善を諮る．また，電位依存 STPD における研究では，実験プロトコルを再検討し，モデルの基本的機能のさらなる解析に取り組む．

教師なし・解釈可能な時系列解析手法については，その有効性を確認したが，今後は，大規模データや実環境データへの適用，リアルタイム処理や医療応用への展開を進める予定である．

神経回路網で観測される複数のスパイク列のみから，神経細胞間の結合性を推定する手法は高精度に結合性を検出可能となることを示した。神経回路網の結合形態は学習により変化するため，動的な結合性推定技術の開発が挙げられる．また，多次元スパイク列の詳細な解析手法の開発および，因果性解析技術の開発により，脳内で実際に用いられている学習則を同定し，メカニズムを明らかにすることも重要な将来課題である．

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] T. Orima, I. Tsuda, M. Tsukada, H. Tsukada, Y. Horio, Fractal memory structure in the spatiotemporal learning rule. Front. Comput. Neusci., Vol.19, 2025.

[2]M. Tsukad, 時空間学習則の新しい展開. 2025年度東北大通研共同研究プロジェクト研究会, 2025.

[3]加藤秀行,神経の集団活動における瞬時発火率推定法の一検討, NOLTA ソサイエティ大会論文集 NLS-17, 2025.

[4] H. Kato, S. Tanaka, T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, Impact of lattice modular structures on spontaneous activities in mathematical model of cultured neuronal networks, Proceedings of International Symposium on the Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), 188-191, 2025.

[5]H. Kato, Spontaneous Organization of Criticality in Plastic Spiking Neural Networks, Proceedings of 2026 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP), 370-373, 2026.

[6]F. Guo, T. Matsuura, T. Kimura, T. Ikeguchi, A metaheuristic strategy for solving capacitated vehicle routing problem by using chaotic dynamics, Nonlinear Theory and its Applications, IEICE, vol.17, No.1, pp.279-294, 2026

[7]澤田和弥, 池口 徹, 再帰定量化解析を用いたテンポラルネットワークダイナミクスの同定, 信学技報, vol. 125, no. 418, NLP2025-133, pp. 27-32, 2026.

[8]百瀬光一郎, 澤田和弥, 池口 徹, 非線形予測を用いたテンポラルネットワークの時間発展の解析,信学技報, vol. 125, no. 418, NLP2025-134, pp. 33-38, 2026.

[9]石塚亮羽, 澤田和弥, 池口 徹, 興奮性・抑制性ニューロン比率が発火活動の周波数特性に与える影響, 信学技報, vol. 125, no. 418, NLP2025-135, pp. 39-44, 2026.

[10]後藤柊太, 澤田和弥, 池口 徹, スケールフリーネットワークの次数分布に対するスケーリング領域とべき指数の自動推定, 信学技報, vol. 125, no. 283, NLP2025-62, pp. 48-53, 2025.

[10]郭豊愷, 松浦隆文, 木村貴幸, 池口 徹, CVRP に対するカオスダイナミクスを用いたハイブリッドメタヒューリスティック手法, 信学技報, vol. 125, no. 190, NLP2025-34, pp. 1-6, 2025.

(2)関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[1]M. Tsukada, H. Tsukada and, S. Nara, A Stochastic Markovian Model for Sequence Discrimination by Hebb and Spatiotempral Learning Rule. International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications.

[2] M. Tsukada, H. Tsukada and S. Nara, New Developments in Spatiotemporal Learning Rules, The 16th International Workshop on Neural Coding Ascona, 2025 (招待公演)

[3] S. Nara, H. Tsukada and M. Tsukada, A Stochastic Viewpoint of Hebbian Learning Process in Neural Network Consisting of A Large Number of Binary Neurons, The 16th International Workshop on Neural Coding Ascona, 2025.

[4] M .Tsukada, Characteristics of self-organization of spatiotemporal learning rules, The 3rd International Symposium on Cognitive Neuroscience and Intelligent Application held Oct. 26~27.(招待講演).

[5] M. Tsukada, 神経回路網の自己組織化と数理モデル。日本神経回路学会誌、Vol.32,No.4,177-180. 2025.

[6] H. Tsukada, Mathematical Approaches to Brain Disorders: Nonlinear Dynamics of Visual Hallucinations in Dementia with Lewy Bodies and Multimodal Marmoset Connectomic Networks, The 3rd International Symposium on Cognitive Neuroscience and Intelligent Application, 2025/10/26, 中国, 招待講演

[7] 塚田啓道,脳疾患研究への数理的アプローチ, 第41回創発セミナー, 2025/5/15, 中部大学, 招待講演

[8] K. Sawada, Y. Shimada, T. Ikeguchi, Detecting causality based on state space reconstruction from interspike intervals for neural spike trains,Physical Review E, Vol. 112, Iss. 1, 014222, 2025.

[9] S. Amano R. Hosaka, Prediction of Soccer Penalty Kick Direction from Single-Joint Kinematics Using the Echo State Network, onlinear Theory and its Applications, IEICE, Vol. 17, No.3, July, 2026,in press.

[10] 加藤秀行, 保坂亮介, ″興奮抑制均衡と神経活動,″ オペレーションズ・リサーチ, Vol. 71, No. 1, pp.21--27, 2026.

[11]S. Amano, R. Hosaka, Predicting penalty kick direction with the Echo State Network and joint vectors, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.180-183, 2025.

[12]S. Nabatame, R. Hosaka, Comparative evaluation of network inference methods using simulated calcium imaging data, The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, P-23, Tohoku Univ, 2/27-28, 2026.
[13]程昊, 保坂亮介,注意機構を組み込んだ CNN-LSTM モデルによる EEG からの視覚的注意の予測, 信学技報, vol. 125, no. 344, NLP2025-114, pp. 133-138, 2026 年 1 月
[14]天埜脩也, 保坂亮介, ESN を用いたペナルティキック予測, NOLTA ソサイエティ大会, NLS-23, 岡山, 2025.
[15]越智皐乃介, 保坂亮介, 強化学習環境における大規模言語モデルを用いた模倣学習, NOLTA ソサイエティ大会, NLS-42,岡山, 2025.(poster)
[16]草野友太, 保坂亮介, 抑制性シナプスに STDP 学習をもつ相互結合型神経回路, NOLTA ソサイエティ大会, NLS-7, 岡山, 2025.
[17]生天目聖, 保坂亮介, GLMCC の性能評価:τ・γ パラメータによる実行特性の解析, NOLTA ソサイエティ大会, NLS-45, 岡山, 2025.
[18]松本昂大, 保坂亮介, Autoformer を活用した来場者数の時系列予測, NOLTA ソサイエティ大会, NLS-57,岡山, 2025.
[19]天埜脩也, 保坂亮介, ESN を用いたペナルティキック予測,人工知能学会全国大会, 2E1-GS-10-01,大阪, May 27-39, 2025.
[20]碓井結夢, 保坂亮介, CNN を用いた特徴点マッチングの精度向上,人工知能学会全国大会, 3N5-GS-7-03,大阪, May 27-39, 2025.
[21] T. Sumi, A.M. Houben, H. Yamamoto, H. Kato, Y. Katori, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, Modular architecture confers robustness to damage and facilitates recovery in spiking neural networks modeling in vitro neurons, Frontiers in Neuroscience, 19, 2025.
[23] Anubhav, K. Fujiwara, Uncovering Emotion Correlates to Transitions in EEG Energy Landscapes, Transactions on Artificial Intelligence, 2 (1), 15-25, 2026.
[25] T. Yamada, Y. Katori, K. Fujiwara, Unsupervised Learning in Echo State Networks for Input Reconstruction, Neural Computation, 38 (2): 198-227, 2026.
[24] S. Zheng, Z, Li, K. Fujiwara, G. Tanaka, Diffusion Model for Relational Inference in Interacting Systems, IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 1-15, 2025.
[25] Anubhav, K. Fujiwara, Energy Landscape Analysis for Wearable EEG Emotion Recognition: A Multi-Dataset Evaluation, the 14th International Winter Conference on Brain-Computer Interface, 2026
[25] T. Yamada, Y. Katori, K. Fujiwara, Numerical Evaluation of a Weakly Supervised Filtering Method Based on Echo State Networks, Proc. The 57th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS25), 2025
[26] K. Fujiwara, Comprehensive Database Construction for Medical and Mathematical Collaborative Research, International Conference on Nonlinear Science and Medicine 2025
[27] Anubhav, Y. Li, Tzu-Ling Liu, Z. Chao, K. Aihara, K. Fujiwara, Resting-State Brain Flexibility Predicts Creative Potential: Insights from EEG Energy Landscape Analysis, Abst. Society for Neuroscience, 2025
[28] Anubhav, K. Fujiwara, Unimodal vs Multimodal Coupling in Emotion Recognition: An Explainable Framework using Physiological States and Transitions, Proc. Workshop on Multimodal, Affective and Interactive eXplainable Artificial Intelligence (MAI-XAI 2025) co-located with the 28th European Conference on Artificial Intelligence 25-30 October 2025 (ECAI 2025), 2025
[29] Anubhav, K. Fujiwara, Uncovering Emotion Correlates to Transitions in EEG Energy Landscapes, Proc. of The Workshop of Artificial Intelligence for Time Series Analysis (AI4TS): Theory, Algorithms, and Applications, 2025
[30] Z. Li, R. S. Fong, K. Fujiwara, K. Aihara, Gouhei Tanaka, Structuring Multiple Simple Cycle Reservoirs with Particle Swarm Optimization, Proc. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2025
[31] H. Tamura, K. Fujiwara, K. Aihara, G. Tanaka, Online classification of multivariate time series data through Gaussian Reservoir State Analysis (GRSA), Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2025

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

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：長谷川 剛
（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
岡部 寿男（京都大学）
吉廣 卓哉（和歌山大学）
白石 陽（公立はこだて未来大学）
安本 慶一（奈良先端科学技術大学院大学）
塚本 昌彦（神戸大学）
東野 輝夫（京都橘大学）
渡辺 尚（大阪大学）
藤田 茂（千葉工業大学）
乃村 能成（岡山大学）
白鳥 則郎（中央大学）
岡田 謙一（慶應義塾大学）
福田 晃（九州大学）
太田 賢（宮城大学）

[2]研究期間

2025 年 4 月 ～ 2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

本プロジェクトは、Society 5.0 の実現に向け、人と社会に関わる異種データを統合的にセンシングし、個人と社会の双方を多面的に理解することを目的とする。蓄積されたデータの厳密な検証から得られた知見を、人々の行動および社会のダイナミズムを良い方向に変化させる「介入」として実装・検証することで、人・社会のセンシングと介入を一気通貫で支える基盤技術の確立を目指している。背景として、ウェアラブル・空間センシング技術の高度化およびエッジ計算・分散処理基盤の進展により、人々の日常を連続的に観測しうる環境は急速に整いつつある。一方で、得られたデータをいかにプライバシーを侵すことなく、また持続可能なエネルギー条件下で利活用し、社会的に意味のある「介入」へと結びつけるかは依然として未解決の課題群である。これに応えるべく、本プロジェクトでは、(i) デジタル説得・行動変容の科学（Digital Persuasion）、(ii) AI／ロボティクスによる Well-being 支援、(iii) 空間とネットワーク基盤（Infrastructure: Space and Network）の三本柱を設定し、各テーマに分担者を配置して並行的に推進している。

2025 年 11 月 14 日（金）～15 日（土）に東北大学電気通信研究所本館 6 階大会議室（M601）にて、荒川・北形・大西の三プロジェクト合同研究会を開催した（Zoom 併用のハイブリッド開催、計 19 件の研究発表、うちオンライン 3 件）。初日午後には進捗総括・フリーディスカッションを実施し、二日目午前にはプロジェクト別討論を行った。これに加え、分担者間の打ち合わせはオンラインで随時実施し、テーマ横断の議論を継続した。

[4]研究計画及び内容

本プロジェクトは、三本柱に沿って分担者を配置し、要素技術の高度化と実環境実証を並行的に進める計画とした。

(A) Digital Persuasion（デジタル説得・行動変容の科学）では、荒川（九大）が中心となり、ウェアラブル機器を介した人間活動認識および行動可視化技術の高度化、ならびにエッジ計算上での効率的・プライバシー保護的な実装に取り組む計画とした。太田（宮城大）は習慣化デザインの理論を地域コミュニティの行動変容支援システムに実装する計画とし、東野（京都橘大）はウェルビーイング指標の客観的計測に資するセンシング手法の検討を担う計画とした。

(B) Well-being with AI and Robotics（AI／ロボティクスによる Well-being 支援）では、安本（NAIST）がエッジ環境下での AI 推論（Edge AI）の効率化および適用範囲の拡大、塚本（神大）がゲーミフィケーションを活用した社会課題解決（スペースデブリ除去ゲームの設計・開発）、藤田（千葉工大）・白鳥（中央大）がマルチエージェントシステムの能力限界とシステム全体としての持続性に関する理論的検討を担当する計画とした。

(C) Infrastructure: Space and Network（空間とネットワーク基盤）では、岡部（京大）が OpenRoaming／Cityroam を基盤としたセキュアでオープンな公衆無線 LAN の広域展開、およびロ

ーミング利用者情報のプライバシーに配慮した地域間データ連携を担う計画とした。吉廣（和歌山大）はLoRaWANを含む長距離低消費電力センサ網（LPWA）の高度化を、通研対応教員である長谷川（東北大）はネットワーク輻輳制御をはじめとするネットワークおよび分散処理基盤の研究を担当する計画とした。

[5] 研究成果と波及効果等

（5-1）研究成果

R7年度は、三本柱のすべてにおいて、要素技術の高度化と実環境実証・社会実装の両面で具体的な進捗を得た。

(A) Digital Persuasionでは、荒川グループ（九州大学）が、ウェアラブル機器を介した活動認識のプライバシー保護とエッジ実装に関する3件の国際ジャーナル論文を発表した。Fujimotoらの圧縮匿名化オートエンコーダC-AAEはACM Transactions on Computing for Healthcareに、Aritaらの異種エネルギーハーベスタを統合するネットゼロエネルギーlifelogging システムZEL+はPervasive and Mobile Computingに、Hiraokaらの画像キャプション介在型のプライバシーフィルタEdgeVLMはIEEE Accessにそれぞれ掲載された。これらはいずれも本柱の核心である「個人の行動を可視化・理解しつつ、本人のプライバシーと持続可能性を損なわずに行う」というセンシング・介入の基盤を一段階前進させるものである。あわせて、太田は習慣化デザインの地域コミュニティ実装、東野はウェルビーイング指標センシングの検討を進めた。

(B) Well-being with AI and Roboticsでは、安本がEdge AIの効率化と適用範囲拡大、塚本がスペースデブリ除去ゲームの設計・開発、藤田・白鳥がマルチエージェントの能力限界と持続性に関する理論検討を進めた。Zhaoらによる無線ネットワーク上の隠匿通信における監視者間共謀の影響解析（共著者: 白鳥）が、IEEE Transactions on Information Forensics and Securityに採録され、本柱の通信信頼性に関する理論的知見を与えた。

(C) Infrastructureでは、岡部グループのOpenRoaming／Cityroamが、2025年大阪・関西万博の会場無線LANインフラの一翼として採用された。期間中の認証ログを分析した結果、最終日（10月13日）に日次認証回数 約231万回（ピーク値+50.1%）、ユニーク端末数比率 20.7% を記録するなど、社会実装の実証スケールを大幅に拡張した。あわせて、京都市・神戸市・北九州市・長野市・姫路市・成田市・和泉市・小清水町・西海市・沖縄市など複数の自治体・地域への展開も継続している。吉廣グループは、Oshimaらとして、LoRaWANにおける既存機器との共存を考慮したマルチゲートウェイ・スケジューリング手法をICDCN2026 併設の MUSICAL2026 ワークショップで発表した。長谷川グループは、Kunimiらによる固定・移動センサを併用する都市マイクロ気候推定の時空間 Kriging 手法を ICDCN2026 Companionに、横尾らによる多様な規模の組織に応じた学習分析のための動的分散処理手法を情報処理学会論文誌にそれぞれ発表した。

（5-2）波及効果と発展性等

本プロジェクトで蓄積した「人・社会のセンシング × 介入」の知見は、R7年度内に2件の大型外部プロジェクトへ発展した。第一に、JST ERATO「鳥海情報ウェルビーイングプロジェクト」（研究総括: 鳥海 不二夫氏）が新規採択・開始され、荒川が分担者として参画した（本共プロの(A)(B)柱と直接連続）。第二に、科研費基盤研究(S)「ワーク・エンゲイジメント：概念の再構成に向けた学際的検討」（代表: 島津 明人 慶應義塾大学教授、2026年4月〜2031年3月）が新規採択され、荒川が分担者として参画した。本プロジェクトのウェアラブル／行動センシング技術を学際的検討の実用基盤として接続する。合同研究会では北形・大西 PJ との連携テーマも議論され、各分担機関の博士・修士課程学生が主著者となる成果（Oshima、Fujimoto、Arita、Hiraoka、横尾、Kunimi 等）が複数誕生、ICDCN2026 の MUSICAL Workshop／Companion Track 等に複数件が採択された。岡部グループの OpenRoaming／Cityroam の 2025 年大阪・関西万博採用は社会実装の波及効果として特筆される。

[6]まとめと今後の課題

を継続的に推進し、プライバシー保護活動認識（C-AAE、EdgeVLM）、ネットゼロエネルギーlifelogging（ZEL+）、LoRaWANマルチゲートウェイ・スケジューリング、都市マイクロ気候の時空間 Kriging 推定、学習分析動的分散処理、隠匿通信の理論解析等、国際ジャーナル・国際会議双方で複数の成果を結実させた。OpenRoaming／Cityroamの万博採用は社会実装の実証スケール拡大（日次認証230万回超）を実現した。今後の課題は、(1) 実証フィールドの拡大、(2) マルチモーダルデータ統合解析の高度化、(3) デジタル介入のロバストな評価指標確立、(4) プライバシーと有用性を両立する Edge AI 基盤の社会実装拡充、(5) 若手研究者の交流促進と研究者ネットワーク拡大、である。これらを上記 JST ERATO・科研費基盤研究(S) との連携を通じて推進し、知見・基盤技術を社会実装と学際融合の両面で発展させる。

[論文、学会発表、および関連成果]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・H. Oshima and T. Yoshihiro, “A Multi-Gateway Scheduling Approach for LoRaWAN that Accounts for Coexistence with Legacy Devices,” MUSICAL2026 in ICDCN2026, pp.1-6, Jan. 2026.

・S. Zhao, J. Liu, Y. Shen, X. Jiang, T. Taleb, N. Shiratori, “On the Impact of Warden Collusion on Covert Communication in Wireless Networks,” IEEE Transactions on Information Forensics and Security, Vol.20, pp.2297-2312, 2025.

・Frodouard Minani, Makoto Kobayashi, Takuya Fujihashi, Md. Abdul Alim, Shunsuke Saruwatari, Masahiro Nishi, and Takashi Watanabe, “Channel Prediction and Fair Resource Allocation for NTN Uplinks by LSTM and Deep Reinforcement Learning,” IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 24, No. 10, pp. 8311-8330, 2025.

・Frodouard Minani, Makoto Kobayashi, Takuya Fujihashi, Md. Abdul Alim, Shunsuke Saruwatari, Masahiro Nishi, and Takashi Watanabe, “Resource Allocation for Semantic Communication in NTN Downlinks,” IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, 2025.

・Enping Zhou, Makoto Kobayashi, Takuya Fujihashi, Md. Alim, Shunsuke Saruwatari, Masahiro Nishi, Takashi Watanabe, “Dynamic-Cluster Multicast Routing for Walker Delta LEO Satellite Mega-Constellations,” IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2026. (accepted)

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・W. Kunimi, Y. Ito, L. Guillen, T. Abe, T. Suganuma, “Spatio-Temporal Kriging for High-Resolution Urban Microclimate Estimation with Fixed and Mobile Sensors,” ICDCN2026 Companion, pp.114-119, Jan. 2026.

・横尾晟希，髙橋晶子，大河雄一，趙秀敏，三石大，菅沼拓夫,「多様な規模の組織に応じた学習分析のための動的な分散処理手法」，情報処理学会論文誌，Vol.67，No.2，pp.462-472，2026年2月.

・R. Fujimoto, M. Hadano, Y. Nakamura, Y. Arakawa, “C-AAE: A Compressive Anonymizing AutoEncoder for Privacy-Preserving Activity Recognition on Edge Devices,” ACM Transactions on Computing for Healthcare, Vol. 7, Iss.2, No.30, pp.1-26, 2026.

・M. Arita, Y. Nakamura, S. Ishida, Y. Arakawa, “ZEL+: Wearable net-zero-energy lifelogging using heterogeneous energy harvesters for sustainable context sensing,” Pervasive and Mobile Computing, Volume 117, 2026.

・K. Hiraoka, Y. Nakamura, Y. Arakawa, “EdgeVLM as a Privacy Filter: Towards Privacy-Aware Activity Recognition from Wearable Camera Using Image Captions,” IEEE Access, vol. 14, pp. 22445-22456, 2026.

共同プロジェクト研究報告書

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）
Sayan Sarcar (Birmingham City University)
Sabah Boustila (Manchester Metropolitan University)

[2]研究期間
2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要
視線はユーザの関心領域を自然に示し，これまで有用な入力手段の 1 つとして活用されてきた．視線入力は，画面上のポインティングのような 2 次元平面を対象としたものだけでなく，近年では 3 次元空間への適用も検討されている．例えば，作業空間でのデバイスの切り替えや VR 空間のオブジェクト操作などが挙げられ，不特定多数の関心対象のある屋内空間（ルームスケール環境）における視線入力の応用が幅広く検討されてきた．
本プロジェクトでは，スマートフォンを用いたルームスケール環境における視線トラッキング手法の実現に向けて検討を進めてきた．さらに，この考え方に着想を得た関連技術として，テキスト情報を視覚（テキストの表示）と聴覚（テキストの読み上げ）との間でシームレスに切替え可能な AR/MR 読書インタフェースの検討も並行して進めてきた．具体的には，ユーザの視線情報に基づき現在ユーザが読んでいるテキストの位置を推定するとともに，モダリティ切り替え時には現在の読み位置を視覚と聴覚の両方で提示することにより，読み位置のコンテキスト保持をサポートする．
本共同プロジェクト研究では，視覚・聴覚によるマルチモーダルインタフェース，およびアクセシビリティに関する専門家である研究分担者らと，主にオンラインでの意見交換を継続的に実施してきた．

[4]研究計画及び内容
本共同プロジェクトでの議論の成果として，視聴覚間のシームレスなモダリティ切替えによる AR/MR 読書インタフェースの研究を当所で進めた．まずは，Meta Quest Pro を用い，視線データに基づきモダリティ切り替え時に読んでいるテキストをハイライト表示しながら音声を同時再生するインタフェースを実装した．このインタフェースのパラメータ調整スタディ（N=8）では，切り替え時の詳細な挙動の設計をユーザの意見をもとに決定した．続いてユーザスタディ（N=16）では，このインタフェースがスクロール位置ベースで切替えを行うベースライン手法よりも読書速度を向上させ，最も好まれることを実証した．最後に，アプリケーションスタディ（N=12）では，手動と歩行連動型の 2 種類によるモダリティ切替え手法を比較し，歩行連動型が歩行速度を向上させ安全に寄与する一方，ユーザによる制御も重要であるため両者を組み合わせたハイブリッド手法が有効であると結論付けた．

[5] 研究成果と波及効果等
（5-1）研究成果
この研究成果は，国際会議論文に投稿中である．
（5-2）波及効果と発展性等
本プロジェクトによって確立される技術は，これまで視覚に頼っていた情報提示のあり方を変え，視線情報をうまく活用することで，状況に応じた視覚・聴覚間の相補的なインタラクションを実現できる可能性を秘めている．この領域に関する新たな共同プロジェクトの模索や，大型外部資金の獲得を目指したい．

[6]まとめと今後の課題
本プロジェクトでは，視線情報を活用した AR/MR 読書インタフェースを実装し，視覚と聴覚の間で読み位置の文脈を保ちながら情報提示を切り替える手法の有効性を確認した．今後は，より多様な利用状況やユーザ特性を対象に評価を進め，アクセシビリティ支援や屋内空間での情報提示応用へ展開するための設計要件を明確化する．

[論文、学会発表、および関連成果]
(1) 成果リスト（謝辞あり）
なし
(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
Sabah Boustila, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura. TOVRIA: Supporting Motor Accessibility in Virtual Reality through Smartphone-Based Touch and Orientation Interactions, *2025 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Oct. 2025.

共同プロジェクト研究報告書

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] 研究組織

研究代表者：
羽生貴弘（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：
羽生貴弘（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
Wai Tung Ng（カナダ・トロント大学）
P. Glenn Gulak（カナダ・トロント大学）
Ali Sheikholeslami（カナダ・トロント大学）
Warren Gross（カナダ・マギル大学）
Vincent C. Gaudet（カナダ・ウォータールー大学）
松岡　浩（一般財団法人 日本海事協会）
齋藤　寛（会津大学）
富岡　洋一（会津大学）
鈴木　大輔（会津大学）
夏井　雅典（東北大学）
鬼沢　直哉（東北大学）
Vincent Gripon（フランス・IMT Atlantique）
Mathieu Leonardon（フランス・IMT Atlantique）
伊藤　孝（ルネサスエレクトロニクス株式会社）

[2]研究期間

2024 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

情報量の急速な増大に加え，デジタルデバイドが急増することによる現代情報社会の危機的状況を回避するためには，その膨大な情報を効率的かつ瞬時に処理する新しいコンピューティングパラダイムを構築することが重要　である．このような新しいコンピューティングパラダイムは，従来型のコンピュータアーキテクチャとは全く異なり，ハードとソフトの発想を一新し，人間的な知的処理機能を取り込んだ柔軟かつ超低消費電力なハード・ソフト融合型　集積回路「新概念脳型　LSI」を研究開発することが必要となる．　このような萌芽的研究開発を推進する上で，ハードとしての LSI 技術のみならず，人間，あるいは人間の脳が行っている認識・学習，あるいは自律分散制御といった高次の情報処理技術を如何に融合し，開発目標である「脳型 LSI」をいかに実現していくかを検討する必要がある．そこで，本研究開発に関連する研究分野を専門とする国内外　の著名な研究者らを交えた意見交換を，継続的かつ積極的に行っていく必要がある．　以上の理由により，人間的判断の実現に向けた新概念脳型　LSI　の研究開発を推進するための国際共同研究を　行うことを目的とする．

[4]研究計画及び内容

本研究会は，人間のような認識・学習をするメカニズムの解明，環境に適応して歩行制御する人間的な自律分散　制御のメカニズムの解明，これらの人間的判断を瞬時に，かつ効率的に実行する集積回路技術等の研究分野における具体的な基礎検討・調査を行いながら，新しい　LSI　に基づくシステム実現を展開する．例えば，Healthcare に関連した先行研究に取り組んでいる研究者を招へいし，現有システムの問題点・改善点に関する知見等を共有し，当　研究チームの特異性を明確化していく．特に，本プロジェクト研究に参画する海外研究者らは，biomedical　分野・healthcare 分野の LSI 実現に関して先行した研究開発に取り組んでおり，彼らとの研究討論や意見交換を，年間を　通じて適宜実施すると共に，各種の基礎検討・調査結果のまとめを，年間１回程度の国際ワークショップ形式で相互　に発表し合いながら，脳型　LSI　の実現に向けた研究開発を推進する．

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

コロナウィルス禍による人的交流が大幅に制約された経緯も乗り越えて，2022　年下旬頃より，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現況となっている．直近の国際交流の実績としては以下の通りである．
○Warren Gross 教授（カナダ・McGill 大学）と

の意見交換
・日時：令和７年６月６日（金）16:00～17:00
・場所：カナダ・McGill 大学にて対面で意見交換
・内容：カナダ・McGill 大学にて開催された国際会議（IEEE ISMVL2025）に出席した機会に，当該研究組織のメンバーが現地に集い，研究交流を行った．特に，元々カナダ・McGill 大学に所属していた学生（Sean Smithson 氏）を令和７年4 月から本学電気通信研究所にて，博士後期課程学生として受け入れた経緯もあり，当人が取り組む研究テーマ等を中心に，その具体的な展開等について意見交換を行った．
〇Vincent Gripon 教授，Mathieu Leonardon 准教授（フランス・IMT Atlantique）との意見交換
・日時：令和７年２月 24 日（月）9:00～17:00
・場所：フランス・IMT Atlantique 大学にて対面で意見交換
・内容：2025 年２月 24 日に，現地（フランス・IMT Atlantique）へ羽生教授，鬼沢准教授に学生２名を加えて訪問し，意見交換を実施．羽生教授は 24 日終日の会議終了後に帰国．その翌日に鬼沢准教授も帰国．学生２名はその後一週間程度現地に滞在し，現地の研究者と研究交流を引き続き実施した．彼らが帰国してからも，研究開発に関する意見交換を，令和７年度中も継続して実施した結果，その成果を IEEE ICASSP2026 へ投稿し，2026 年 １月に採択が決定．2026 年５月の発表へ向け，現在，その準備を進めている状況である（ICASSP は信号処理系の学術誌として第３位．国際シンポジウムとしては第１位．h5-index：137）．Shuhei Tsuyuki, Naoya Onizawa, Mathieu Leonardon, Vincent Gripon, Reda Bensaid, Jeremy Morlier, and Takahiro Hanyu, "Efficient few-shot learning for edge AI knowledge distillation on mobileViT," Proc. 2026 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), May 2026 (accepted).

このように，計上した研究チームメンバーを交えた意見交換を通じて，世界的に著名な国際会議論文に共著で採択されるなどの実績があり，脳型 LSI 研究のさらなる応用展開に取り組んでいく準備が出来ている．加えて，上記以外でも国際共著論文等を継続的に進めており，このプロジェクト企画により，国際交流活動がより一層加速される状況である．

(5-2) 波及効果と発展性等

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．

[6]まとめと今後の課題

国際会議等への出席を通じて，海外研究者との意見交換を行うことで，共プロ予算の制約下でも効率的な国際人材交流・意見交換が実施できたものと確信している．

今後も，競争的資金の獲得をベースに，予算の制約下でも有意義な国際交流・意見交換が実施できるように努める．なお，オンライン形式での会議は，時差の関係で海外研究者との間で行うことが難しいことも実感しており，特に，新しい研究テーマに関して共同研究を始めるか否かなど，慎重な判断が必要な案件は，オンライン形式での会議には適さない．その意味で，今後も対面での会議が実施できるような工夫（予算面＆国際会議等の日程面などの調整）を図っていくことが重要である．

加えて，国際会議（ISMVL2026）を，ここ通研をシンポジウム会場として開催し，その際に参画メンバーも多数出席するので，この国際交流を継続的に実施する予定である．

［論文、学会発表、および関連成果］

Naoya Onizawa, Taiga Kubuta, Duckgyu Shin, and Takahiro Hanyu, "Energy-Efficient p-Bit-Based Fully-Connected Quantum-Inspired Simulated Annealer with Dual BRAM Architecture," IEEE Access, 2026. (accepted) Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2026.3651741

Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "Emerging Trends in MTJ-Based Nonvolatile Logic Circuits Toward a Revolution in Computer Architecture," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), Volume 64, Number 12, pp.12SP18-1_12SP18-5 (5pages), Dec. 2025. DOI: 10.35848/1347-4065/ae268d

Masanori Natsui, Tomoo Yoshida, and Takahiro Hanyu, "Reference-Load Sharing Scheme: An Area and Energy-Efficient Nonvolatile Register Design Using MTJ Devices," IEEE Journal of Exploratory SolidState Computational Devices and Circuits, vol. 11, pp. 90-98, 2025. DOI: 10.1109/JXCDC.2025.3611365

Fangcen Zhong, Masanori Natsui, and Takahiro Hanyu, "Design of a Single-Capacitor-Based Threshold-Adjustable Power Management Circuit for Task-Aware Waste-Minimized Energy Harvesting," IEICE Electronics Express (ELEX), Vol.21, No.1, pp.1-6, 2025. DOI: 10.1587/elex.22.20250395

Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of an FPGA-based emulator for rapidly prototyping a nonvolatile system-on-a-chip," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol.64, No.4, pp.04SP06-1~04SP06-10 (10pages), April 2025. DOI: 10.35848/1347-4065/adba6d

Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "Design of an Intermittent-Computing-Oriented Nonvolatile Register with a Switching-Probability-Aware Store-and-Verify Scheme," IEEE ACCESS, vol. 13, pp. 38104-38114, Mar. 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3546590

N. Onizawa and T. Hanyu, "GPU-accelerated simulated annealing based on p-bits with real-world device-variability modeling," Scientific Reports, 15(1), 6118, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-90520-3

N. Onizawa and T. Hanyu, "Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems," Scientific Reports, 14(1), 1339, (2024).

T. Yoshida, M. Natsui, and T. Hanyu, "Design of an Energy/Area-Aware MTJ-Based Nonvolatile Register with a Reference-Load Sharing Scheme," In 2024 IEEE 67th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) (pp. 1257-1261). IEEE, (2024, August).

N. Onizawa and R. Sasaki, D. Shin, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Stochastic simulated quantum annealing for fast solution of combinatorial optimization problems," IEEE Access (2024).

Naoya Onizawa, Ryoma Sasaki, Duckgyu Shin, Warren J. Gross, Takahiro Hanyu, "Stochastic Simulated Quantum Annealing for Fast Solution of Combinatorial Optimization Problems" IEEE Access, vol.12, pp.102050-102060, 2024.

DoI: 10.1109/ACCESS.2024.3431540

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, vol.E107-D,no.8,8pages,April 2024.

DOI: 10.1587/transinf.2023LOP0007

N. Onizawa and T. Hanyu, "Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems," Scientific Reports 2024, Vol.14, pp.1-14 (14 pages).

DOI: 10.1038/s41598-024-51639-x

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B01

研究課題名

新奇な軌道磁性の学理探求による実験・計算システムの構築

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
岡林 潤（東京大学 大学院理学系研究科）

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

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物性の直観的理解を、薄膜作製・放射光分光によるスピンと軌道の測定・第一原理計算を融合させて議論することである。特に、スピンのみでなく軌道角運動量を利活用した新しい機能性を有す「軌道磁性」を示す物質系の基盤研究へと展開することにより、新規なスピン・オービ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、スピンの流れのみでなく軌道角運動量の流れを用いたスピン・オービ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。

具体的には、高性能薄膜作製技術によるデバイス作製、磁気抵抗効果や異常ホール効果などの磁気輸送特性解析、高輝度放射光を用いた物質の軌道磁気モーメントを定量評価できる X 線磁気・光電子分光測定、さらに第一原理計算および摂動モデル計算による磁気物性・スピン輸送特性の理論解析を融合させて、薄膜の界面を中心とした結晶磁気異方性・磁気抵抗効果・スピン(軌道)ホール効果およびこれらの電界やひずみによる効果などの研究を進めた。そのために、それぞれの専門分野（薄膜作製・磁気物性解析・放射光分光解析・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った。

この目的において、本研究に関する研究集会を 2025 年度に 3 回開催した。(8/8-9@東北大通研, 12/21@東大, 1/31-2/1@山形大)　主な議論内容は、スピン軌道物性、トンネル磁気抵抗、交代磁性、磁気異方性、トポロジーなどであった。これらの研究会における概要を以下に記す。

【第 1 回研究会　2025 年 8 月 8 － 9 日】

三谷誠司（NIMS）　界面スピン軌道研究の軌跡

界面スピン軌道研究のこれまでの軌跡と今後の展望について議論した。界面における新規物性の開拓にむけて、界面を正確に捉えるための試料、測定、計算が揃ってきたと考えられる。Fe/MgO 界面から派生して、今後は、岩塩構造以外の界面も面白いと考えられる。そして、界面を「有限系」ととらえることでさらなる進展が見込める可能性を論じた。(代理発表：岡林)

増田啓介（NIMS）　交換相互作用とトンネル伝導特性の関連性について

最近出版された TMR 振動に関する理論論文について、これまでの経緯と本質的な物理がどこにあるかを議論した。Up, down スピン状態から成る Δ_1、Δ_2 対称性バンドの波数が必要であり、ハーフメタルホイスラー合金では振動は起こらないこと、などを論じた。

中野貴文（東北大工）【招待講演】　生体磁場の検出に向けたトンネル磁気抵抗センサ

TMR を用いた生体磁場計測に関する基礎から実際のデバイス作製まで説明された。TMR 素子構造、層の元素を工夫することにより高感度化を達成しつつある。心磁場、脳磁場計測の現状について説明され、サブ pT の微弱磁場計測の現状について解説された。

萩原健太（東大工）【招待講演】　円二色性光電子分光により明らかにしたカイラル物質の軌道テクスチャー

Momentum Microscopy (MM) による実空間、波数空間の両方を測定できる顕微光電子分光システムについて紹介された。スピン分解 MM を用いて、$Fe_{0.9}Pd_{1.1}$ 原子層の磁性について紹介された。そして、円二色性 MM を用いた B20 型 CoSi におけるカイラル軌道テクスチャーの観測と、トポロジー的な理解について説明された。Γ 点と R 点におけるバンド交差が軌道モノポールを形成し、その間をフェルミアークの表面状態が結ぶチャーン数 2 の状態を形成し、右手系、左手系で形状が異な

ることを示した。Weyl 系よりも安定であることも説明された。

介川裕章（NIMS） 低バンドギャップ TMR バリア

高エントロピー酸化物を MTJ のバリアに用いることを報告された。$MgGa_2O_4$ に着目し、Ga の拡散を防ぐことから着想され、LiTiMgAlGaO バリアの作製について報告された。

荒木康史（JAEA）ワイル半金属のカイラルゲージ場に関する話題

Weyl Fermion の k 空間における湧き出しと吸い込みのカイラリティを説明された。そして、ワイル点の外的摂動による変化をゲージ場として理解し、クリフォード代数（γ_5）をもちいて表現できることを解説された。カイラルゲージ場が磁壁などに及ぼす仮想磁場、仮想電場を定義され、それらの値を見積もった。

坂本祥哉（東北大金研）【招待講演】 非共線反強磁性体 Mn_3Sn における X 線磁気円二色性とスピントルクダイオード効果

Mn_3Sn の特異な磁気構造とタングステンとの界面状態について、XMCD を用いた議論をされた。そして、反強磁性体における歳差運動、スピントルクダイオード効果について報告された。

中村浩次（三重大） XMCD/XMLD の第一原理計算

第一原理計算の結果から、XMCD, XMLD スペクトルの計算を行うためのプログラム開発について説明された。Fe, Fe/MgO, MnGa について、スペクトル形状を実験と比較し、相違点、類似点を議論した。

千葉貴裕（山形大）トポロジカル半金属における磁気近接効果と関連現象

α-Sn へ Fe および FeAs の堆積を行い、界面近接効果を利用して、トポロジカル表面状態のバンド反転を起こさせる理論計算について報告された。

【第 2 回研究会 2025 年 12 月 21 日】

岡林潤（東大理）XMLD から見た交替磁性・今後の展望

横磁場印加による XMLD 法を開発し、構造由来の XLD とスペクトルを分離する方法について議論した。Fe/MgO MnGa などで実証し、磁気成分の抽出を行った。反強磁性体では、Neel 温度以上にて XLD を測定することで XMLD と分離する必要がある。そして、交替磁性の弾性変調について紹介した。その後、ポリイミド上の GdFeCo における応力による磁気異方性の変化を XMCD から調べた研究を紹介し、議論した。

鈴木博人（東北大）【招待講演】共鳴非弾性散乱による交替磁性の研究

共鳴非弾性Ｘ線散乱(RIXS)の原理について紹介され、スピン波分散を観測できること RIXS が非エルミート過程であることを説明された。交替磁性体 MnTe の磁区について RIXS-CD を用いて決定できることを示された。また、NanoTerasu の新しい装置についても紹介があった。

Zenchao Wen (NIMS) SSMR and TMR effects using altermagnets

RuO_2 を用いた Spin-split Magnetoresistance について、最近の成果および文献や arXiv について紹介された。また、RuO_2 を用いた TMR についても紹介され、界面構造について議論があった。

小泉洸生（東北大） d 波交替磁性体の制御と検出手法

d 波交替磁性体である RuO_2 のドメイン制御とその検出について、3 次の非線形ホール効果と傾斜磁場を用いた手法が紹介された。得られた 3 次の非線形ホール信号と測定の難しさについて議論された。

三浦良雄（京都工繊大） 交替磁性 RuO_2 の磁気特性の電子数依存性に関する理論研究

RuO_2 における Ru 欠損（ホールドープ）と酸素欠損（電子ドープ）による磁気モーメントの変化について説明された。他にも、表面局在化による磁気モーメントの増大や Coulomb 相互作用、ひずみによる変化について議論された。

【第 3 回研究会 2026 年 1 月 31 日 - 2 月 1 日】

柳原英人（筑波大） 反応性スパッタリングによる酸化鉄薄膜成長と発光スペクトル解析

反応性スパッタ法による鉄酸化物の結晶成長において、酸素量に応じてメタルモード(マグネタイト)、遷移領域、化合物モード（マグヘマイト）が生じる。特に、遷移領域の解析に成長中のプラズマ発光スペクトルを用いることについて説明された。主成分分析を用いた統計解析により、生成物を分類できうることを説明された。また、逆位相欠陥の生成についても議論された。

鈴木龍之介（東北大 D1） マグノンの非摂動的回路量子電磁力学

まず、エンタングルおよびエンタングルエントロピーについて説明された。次に、マグノン―ポラリトンの結合について説明された。そして、スクイズド状態を説明し、FMR の周波数シフトとして観測されうることを議論した。散逸過程があるとどうなるか、なども議論した。

山根結太（東北大）　ノンコリニア反強磁性体/非磁性体ヘテロ構造における界面 DM 相互作用

Mn_3Sn 薄膜において、カゴメ面が界面に平行と垂直の場合を作り分けることができ、カゴメ面が垂直の場合には、スピン流の注入の際に界面 DMI により Mn スピンがカゴメ面内にて回転することを説明された。界面 DMI は、バルク DMI とは表記が異なり、磁気異方性の寄与もあり 120° のスピン配列からわずかにずれて有限の磁気モーメントが生じることについても議論した。

名和憲嗣（AIST）バンド折り畳みがもたらす TMR の制御

$MgAl_2O_4$(MAO)では MgO のユニットから 2 倍になり、Fe と MAO の接合においてバンドの折り畳みが生じることについて説明された。その結果、Δ_1 バンドのハーフメタル性が崩れてしまう。一方、バイアス依存性は MgO よりも向上する。これらの長所を組み合わせるために、MgO/MAO/MgO をバリアとするモデルにおける理論計算について説明され、この対称構造が有用であることが示された。

増田啓介（NIMS）TMR の電圧依存性に関する考察

Fe/MgO/Fe をはじめ様々な MTJ の平行磁化配置において観測される微分コンダクタンス（$V - \mathrm{d}I/\mathrm{d}V$）曲線の極小構造（±0.3 V 程度に観測される）が議論された。Simmons 理論では再現できず、スピンフリップトンネル過程を考える必要がある点が議論された。

――

これら 3 回の研究会は、「界面スピン軌道研究会」と称して、他プロジェクトとの合同研究会として開催した。





（写真）研究会中の様子と集合写真.
(2025/8/9)

[3] 今後の研究の推進方策

スピントロニクスにおける軌道自由度の操作について議論をさらに深めることにより、基礎学理の構築、スピン軌道伝導デバイス応用に繋げていく。まず、スピン角運動量は補償しているが軌道角運動量のみが有限となる特殊な軌道磁性体の創出が見込み、その検討と議論を行う。次に、スピンに比べて軌道角運動量の計測、操作、機能化については研究が進んでいないため、本研究会にてその突破口を見出すことができ、世界的に軌道磁性に関する分野をリードしていくための礎を築くことができる。そのためには、放射光を用いた X 線磁気円・線二色性(XMCD/XMLD)、スピン・軌道分解光電子分光、メスバウアー分光が重要な役割を果たす。また、軌道ホール効果やトンネル磁気抵抗素子の高効率化への指針を見出すことができる。

本研究会にて創出が期待される成果と波及効果について図 1 のように図示できる。試料作製、伝導特性、放射光分光、理論計算の研究者が集結することにより、軌道磁性の新展開が狙える。各研究者が成果を論文発表するのは当然として、本研究プロジェクトでの議論をまとめた冊子体の発行まで行えるように進めていく予定である。



図 1, 本研究会「軌道磁性研究会」からの波及効果.

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

Cong He Zhenchao Wen*, Jun Okabayashi*, Yoshio Miura, Tadakatsu Ohkubo, Takeshi Seki, Hiroaki Sukegawa, and Seiji Mitani, Evidence for single variant in altermagnetic RuO_2(101) thin films, Nature Communications, 16, 8235 (2025).

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・Keisuke Masuda, Thomas Scheike, Hiroaki Sukegawa, Yusuke Kozuka, Seiji Mitani, Yoshio Miura, Theory for tunnel magnetoresistance oscillation, Physical Review B 111, L220406 (2025).

・Jun Okabayashi, Orbital multiferroics probed by X-ray magnetic spectroscopies, 日本磁気学会スピントロニクス専門研究会 イマドキの角運動量の物理（2025.6.京都大）

・岡林潤、X線磁気線二色性による Ru02 の交代磁性の検出、日本磁気学会研究会「交代磁性」(2025.10. お茶の水)

・岡林潤、放射光を用いてスピントロニクス材料の電子・磁気状態を見る、応用物理学会スピントロニクス研究会　入門セミナー（2025. 10. 東北大）

・三浦良雄、磁性スピントロニクスの基礎+理論、応用物理学会スピントロニクス研究会　入門セミナー（2025. 10. 東北大）

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B02

研究課題名

多様な最適化問題に対する非線形力学系理論の適用性に関する実証的研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
木村　貴幸（東京都市大学 情報工学部）
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

本研究では，種々の組合せ最適化問題に対する決定論的非線形性を用いた解探索アプローチの提案と，その効果の解明を目的としている．これにより，さらに効率的な新たな解探索アルゴリズムの開発が期待される．

当該年度における代表的な研究成果として，まず，容量制約付き配送計画問題（Capacitated VRP）に対し，カオスダイナミクスを活用したメタヒューリスティック探索手法を提案し，数値実験によりその性能を評価した．本手法では，カオスニューロンの非線形動的特性を活用することで，探索空間の多様な領域を効率的に探索することが可能であり，従来のメタヒューリスティック手法と比較して高い解の品質を達成できることを確認した．また，粒子群最適化法（PSO）を用いてカオスサーチのパラメータを自動調整する手法についても検討し，探索性能のさらなる向上を実現した．

次に，巡回セールスマン問題（TSP）に対し，Grey Wolf Optimizer と適応的大近傍可変探索法（ALNS）を組み合わせた新たな解法を提案した．大規模なTSPベンチマーク問題に対して高精度な解探索が実現可能であることを示し，決定論的非線形性の探索促進効果を確認した．

さらに，複雑ネットワーク上のルーティング問題として，重力中心性に基づく確率的ルーティング戦略を提案した．正弦関数を用いた重力中心性の定式化により，スケールフリーネットワーク上での輸送容量を向上させることが可能であることを理論的・実験的に示した．加えて，渋滞情報を活用した次世代車両向けルーティング手法の提案や，連続最適化問題に対する情報エントロピーを導入した蟻コロニー最適化手法についても成果を得た．

[3] 今後の研究の推進方策

当該年度の研究成果から，容量制約付き配送計画問題や巡回セールスマン問題など，多様な組合せ最適化問題に対して，決定論的非線形性を利用した手法が高い性能を示すことが明らかとなった．また，ネットワーク上での最適化問題においても，非線形性に基づくルーティング戦略の有効性が確認された．これらの知見を踏まえ，今後は時間枠制約や EV トラックのバッテリー制約を加えた，より複雑な配送計画問題への適用と評価を進める予定である．また，ReLU カオスニューラルネットワークなど新たなカオスモデルを用いた解探索手法の開発に取り組み，探索性能の向上を図る．さらに，蟻コロニー最適化や粒子群最適化などのメタヒューリスティック解法への非線形効果の導入についても継続的に検討するとともに，ベクトル可視グラフや重力中心性を用いた時系列分割手法の発展についても引き続き取り組む予定である．

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・F. Guo, T. Matsuura, T. Kimura, and T. Ikeguchi, "A metaheuristic strategy for solving capacitated vehicle routing problem by using chaotic dynamics," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 17, no. 1, pp. 279–294, 2026.

・R. Shibutani and T. Kimura, "Grey wolf optimizer with adaptive large neighborhood search for the traveling salesman problems," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, pp. 1022–1041, 2025.

・F. Kumagai, T. Inaba, and T. Kimura, "An effective probabilistic routing strategy based on gravitational centrality in complex networks," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, pp. 1042–1058, 2025.

・T. Inaba and T. Kimura, "Effective routing method using congestion information for the next generation vehicles in transportation networks," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 16, pp. 583–600, 2025.

RIEC Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No. **R06/B03**

Title

Quantum Circuits Accelerator based on Stochastic Computing

[1] Principal Investigator(PI)・
Research Collaborator of RIEC

PI：Martin Lukac, Graduate School of information science, Hiroshima City University

Research collaborator of RIEC：Naoya Onizawa, RIEC

[2] Summary of Research Results for the Year

This year our team achieved several steps in our project.

First, we implemented a simulator of simple quantum circuits based on bi-polar stochastic encoding. This served as a base line evaluation of the proposed approach.
Second, using this simulator we published a paper at the IEEE ISMVL conference
Third, an advanced version of the simulator was built using the Integral Stochastic Computing.
Fourth, currently a journal paper is in preparation

[3] Future Research Promotion Measures

The stochastic computing shows promise as a precision elastic tool for simulating noisy processes. Therefore in the future we plan to use the implemented simulators to simulate, noisy models of physical qubits.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]

(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)

- Martin Lukac, Noaya Onizawa, Shinobu Nagayama, A Stochastic-Computing-Based Framework for Quantum Circuit Simulation, IEEE ISMVL 2026
- Naoya Onizawa, Martin Lukac, Shinobu Nagayama, Takahiro Hanyu, Precision-Elastic Persistent Stochastic Execution for Quantum Circuit Simulation, Entropy, In preparation

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B04

研究課題名

光のモード学に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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：

葛西　恵介（東北大学電気通信研究所）

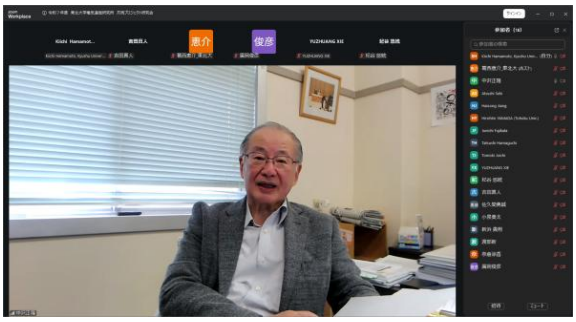
[2] 当該年度の研究実績の概要

本共同プロジェクトは、光の最後の情報資源と言われる空間モードに関する東北大学の光通信システムに関わる研究成果と九州大学のデバイスに関わる研究成果について討議を進め、将来の“空間モード学”ともいうべき新しい学術領域を切り開くことを目的とするもので、以下のような成果報告会を行った。

会期　2026 年 3 月 23 日（月）
場所　WEB 会議

本年度は，上記日程にて東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会を開催した。講演内容は以下の通りである。

プログラム：



研究会の様子 1

13:30 - 13:35　開会挨拶
東北大学　吉田 真人

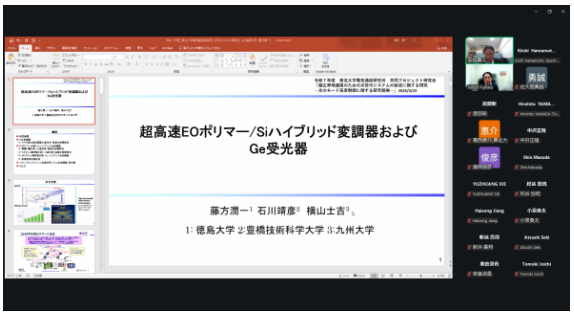
13:35 - 14:20　招待講演 1
位相同期されたアレイ VCSEL とその原子時計や核融合への応用研究
九州大学　総合理工学研究院
教授　濱口 達史

14:20 - 14:40　一般講演 1
ナノピクセルを用いたモード光スイッチ実現に向けた研究
九州大学　大学院総合理工学府
謝　禹庄、、姜 海松、浜本 貴一

14:40 - 15:00　一般講演 2
216 Gbit/s 光・無線偏波多重フルコヒーレント伝送
東北大学　電気通信研究所
渡部 新、佐久間 勇誠、
城市 知輝、葛西 恵介、
吉田 真人、廣岡 俊彦、中沢 正隆

15:00 - 15:20　一般講演 3
ダイレクトサンプリング方式を用いた 126 Gbit/s−128 QAM 信号の SMF 10km、無線 10 m フルコヒーレント伝送
東北大学　電気通信研究所
佐久間 勇誠、渡部 新、城市 知輝、
葛西 恵介、吉田 真人、
廣岡 俊彦、中沢 正隆

15:20 - 15:25　休憩



研究会の様子 2

15:25 - 16:10　招待講演 2
シリコンフォトニクス・デバイスと光演算への応用研究
徳島大学　ポスト LED フォトニクス研究所
教授　藤方 潤一

16:10 - 16:25 一般講演４
長尺光ファイバループを用いた大容量デジタルコヒーレントリザバーコンピューティングの提案
東北大学　電気通信研究所
廣岡 俊彦、中沢 正隆

16:25 - 16:55 一般講演５
光アンプアシスト法を用いた呼気センシングシステムにおける感度向上に関する検討
九州大学　工学部融合基礎工学科
紀谷 悠統、姜 海松、浜本 貴一

13:30 - 13:35 開会挨拶

［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

[1] Chae Yoon Shin, Bo Sung Shin, and Kiichi Hamamoto, “Molecular Dynamics-Based Modeling of Infrared Absorption in Acetone under Varying Concentrations,” Tech. Dig. MOC, PO-4, pp. 52- 53, 2025
[2] Yuto Kiya, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Fundamental research on waveguide layout to realize long (50 cm) optical path integration,” Tech. Dig. MOC, PO-65,pp. 174-175, 2025
[3] Yuzhuang Xie, Peijyun Lin, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “Demostration of Ultra-compact Nano-pixel Optical Mode Switch,” Tech. Dig. MOC, F-4, pp. 230-231, 2025
[4] Yuzhuang Xie, Haisong Jiang, and Kiichi Hamamoto, “SOI-based nano-pixel mode coupler for TE0 and TE1 optical mode switch,” Japanese Journal of Applied Physics, **65**, 07SP29, 2026

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B06

研究課題名

衛星コンステレーションの品質推定と安定化手法に関する会合の実施

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
柏崎　礼生 (近畿大学)

通研対応教員：
長谷川　剛 (東北大学)

[2] 当該年度の研究実績の概要

自然災害で被災した人々に対して情報を伝達する際、被災した地域の既存の通信インフラストラクチャが破壊されて情報を伝達できないことがある。電気通信事業者が提供する有線、無線の通信インフラストラクチャに続き、第三の通信インフラストラクチャとして目されているのが衛星コンステレーションサービスである。衛星コンステレーションのメリットとして、低軌道を周回する衛星群を用いるため比較的小型のアンテナで送受信が可能であり、電力消費も比較的少ない点が挙げられる。一方で現在、能登半島地震に複数台の Starlink が導入されているが、トラフィック要求に対するスループットが当初想定していたほど出ず、実用に供さないケースも散見されている。衛星コンステレーションはサービス提供者がまだ少数の寡占状態であり、サービスの内部構造がブラックボックスである点に問題がある。

研究代表者らは地理的に分散した複数の衛星コンステレーションを利用者視点で計測・監視を行い、その結果を収集・解析することにより内部構造を明らかにしようとしている (図 1)。本研究提案では、この研究をより広範に認知させる、以下の 3 点を目的としたワークショップを開催することを目的とする。

1. 技術的なアプローチによる衛星コンステレーションの通信品質の向上
2. 衛星コンステレーションの減災・防災への貢献可能性
3. 衛星コンステレーションの国内外における利用動向

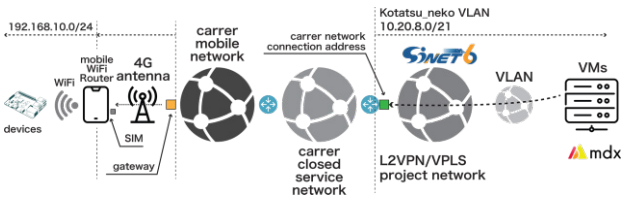


図 1：提案手法の模式図

ワークショップにおける研究組織を構成する各人の役割は以下の通りである。

- 柏崎礼生: Distcloud と衛星コンステレーションに関する発表、および関連研究発表者の招へい。
- 長谷川剛:　衛星コンステレーションの情報通信ネットワークに関する発表、および関連研究発表者の招へい。
- 佐藤大: 防災・減災と衛星コンステレーションに関する発表、および関連研究発表者の招へい。
- 和泉諭: DTN と衛星コンステレーションに関する発表、および関連研究発表者の招へい。

2025 年度のワークショップ「RIXX-RIEC workshop 2025」は 12 月 18 日に開催され、上記研究組織を構成する各人が他研究者を呼ぶ形でプログラムを編成することとした。発表タイトル、発表者および概要は以下の通りである。

- 柏崎礼生 (近畿大学) 「Distcloud update 2025/Q4」
- 大森幹之 (鳥取大学) 「低軌道衛星向け輻輳制御について」
- 長谷川剛 (東北大学) 「ネットワーク内輻輳制御と衛星コンステレーションネットワークへの応用可能性」
- 和泉諭 (仙台高等専門学校) 「LLM を用いたサイバー攻撃の検知」
- 小川康一（広島大学） 「災害時の避難所に求められる情報インフラとは」

[3] 今後の研究の推進方策

2026 年度は最終年度となるので、より大規模なワークショップを開催することを検討している。また単独でワークショップを開催するのではなく、情報処理学会の災害コミュニケーションシンポジウムとジョイントするといったことも検討中である。

[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

- Zewei Han and Go Hasegawa: ‘‘Overcoming Fairness and Latency Challenges in BBR with an Adaptive Delay Detection,’’ IEEE Access, Vol. 13, pp. 37318-37327, Feb 2025.
- Y. Tabuchi and G. Hasegawa, "Low latency data forwarding at in-Network Congestion Control nodes," 2025 30th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Osaka, Japan, 2025, pp. 1-6, doi: 10.23919/APCC64555.2025.11279738 (2025).
- M. Ohmori, K. Ogawa, H. Kashiwazaki and T. Ikenaga, "A Discussion on Periodic Communication Disruption in LEO Satellite Constellations," 2025 1st International Conference on Consumer Technology (ICCT-Pacific), Matsue, Shimane, Japan, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCT-Pacific63901.2025.11012871.
- K. Ogawa, N. Hamamoto, M. Ohmori, H. Kashiwazaki and T. Ikenaga, "StarUDP: Kernel-level UDP Optimization for Starlink Handover," 2025 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan), Kaohsiung, Taiwan, 2025, pp. 33-34, doi: 10.1109/ICCE-Taiwan66881.2025.11207984.
- K. Ogawa and H. Kashiwazaki, "A User-Centric Method for Wi-Fi QoE Visualization and Prediction Using Smartphone Measurements," 2025 25th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Kaohsiung, Taiwan, 2025, pp. 1-4, doi: 10.23919/APNOMS67058.2025.11181342.
- 小川 康一, 佐藤 大, 柏崎 礼生: 避難所における非侵襲型センシングを用いた人流状態把握手法の検討, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2026-IOT-72, No. 56, pp. 1--8 (2026)
- 寺西 奎人, 小川 康一, 柏崎 礼生: 低軌道衛星通信の通信状態に関する定常計測と比較可視化基盤の設計と実装, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2026-IOT-72, No. 9, pp. 1--8 (2026)
- 大森 幹之, 小川 康一, 柏崎 礼生, 池永 全志: 低軌道衛星通信網中のバッファが端末での輻輳制御に与える影響について, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）, Vol. 2025-IOT-70, No. 3, pp. 1--5 (2025)

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　R06/B07

研究課題名

電磁波工学分野における新しい研究領域の開拓

[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

2024 年 4 月　～　2026 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電磁波工学における新技術の開発や最新の知見の共有を行い，電磁波工学における新たな研究領域を開拓することである．

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てきた．主なメンバーは，代表者である東北大の今野佳祐准教授，豊橋技科大の羽賀望准教授，龍谷大の吉田賢史講師，NICT のチャカロタイ・ジェドヴィスノプ主任研究員，東北工大の袁巧微教授，東北大の室賀翔准教授の 6 名である．この 6 名のメンバーを中心とし，以下のような研究課題に取り組み，その知見を議論・共有しながら，新たな研究領域の開拓を行った．

・マルチスケールの電磁界数値解析法の研究(今野)
・低周波無線電力伝送用アンテナの電磁界数値解析法(羽賀)
・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(吉田)
・次世代無線通信のための高機能散乱体の研究(ジェド)
・MIMO-WPT システムを用いた無線電力伝送法の研究(袁)
・機能性材料を利用した電磁ノイズ低減の研究(室賀)

[4]研究計画及び内容

本共同プロジェクト研究会は 2 年間に亘り実施され，主に研究集会の開催を中心に進められた．その間の研究活動状況の概要は下記の通りである．

【オンラインミーティング】
議題：新規研究テーマの開拓，競争的資金の申請トピック，アウトリーチ活動等

第一回：2024 年 5 月 14 日(火) 10:30-12:00
第二回：2024 年 6 月 17 日(月) 13:00-15:00
第三回：2024 年 8 月 1 日(木) 09:00-11:00
第四回：2024 年 9 月 17 日(火) 09:00-11:00
第五回：2024 年 11 月 1 日(金) 09:00-11:00
第六回：2025 年 1 月 29 日(水) 10:30-11:30
第七回：2025 年 3 月 14 日(金) 14:00-16:00
第八回：2025 年 4 月 16 日(水) 18:00-19:00
第九回：2025 年 4 月 25 日(金) 18:00-19:00
第十回：2025 年 5 月 2 日(金) 18:00-19:00

【通研共同プロジェクト研究会】
第一回 通研共同プロジェクト研究会
-電磁波工学分野における
新しい研究領域の開拓-

日時　　：2024 年 12 月 5 日(木) 13:00～18:00
　　2024 年 12 月 6 日(金) 09:00～12:00
会場　　：電気系 1 号館 612 会議室他
議題　　：研究内容の共有，進捗報告，新規研究テーマの開拓，競争的資金の申請トピック，アウトリーチ活動等

第二回 通研共同プロジェクト研究会
-電磁波工学分野における
新しい研究領域の開拓-

日時　　：2025 年 12 月 22 日(月) 10:00～12:00,
　　13:00～17:00
　　2025 年 12 月 23 日(火) 09:00～12:00

会場　：電気系 1 号館 612 会議室他
議題　：研究内容の共有，進捗報告，新規研究テーマの開拓，競争的資金の申請トピック，アウトリーチ活動等

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

これら一連の活動を通して，Reconfigurable Intelligent Surface のある環境の電波伝播モデルの確立，2 次元無限周期構造上にあるアンテナの数値解析法の高度化，低周波における海中アンテナの回路モデリング法の確立，磁石や 3D プリンタを用いたリコンフィギャラブルリフレクトアレーの設計技術，リフレクトアレーのためのレドーム技術，磁気ギアを用いたリコンフィギャラブルアンテナ技術，導波路を用いた RIS の高機能化，等の様々な研究成果が得られた．中でも，磁気ギアを用いたリコンフィギャラブルアンテナ技術のテーマは，電力工学の技術である磁気ギアを用いて，通信工学の技術であるアンテナを駆動するという異分野融合技術であり，これまでのリコンフィギャラブルアンテナ技術の範疇に収まらない新しい研究領域の開拓に成功している．

これらの成果は，査読付き学術論文 7 編，査読付き口頭発表 16 件(うち招待講演 4 件)，査読なし口頭発表 24 件(うちキーノート講演 1 件)，にまとめられた(謝辞あり)．これらの研究成果が評価されて，筆頭著者・共著者の学生が学術賞を 7 件受賞した．

また，研究成果のアウトリーチのため，科学情報出版社の月刊 EMC にて，【無線通信における EMC 設計の基礎と実践】と題した連載を開始した．この連載は，本共同プロジェクト研究会のメンバーによる分担執筆であり，2024 年度と 2025 年度にそれぞれ 5 回分の記事が掲載された．

(5-2) 波及効果と発展性等

本研究活動を通して新しい研究テーマの開拓が進められ，以下の競争的資金への応募を行ったところである．

・東北大学　若手リーダー海外派遣プログラム(研究代表者　今野　佳祐，派遣先　英国 University of Surrey)　採択

・日本学術振興会　科研費　基盤研究 B　“磁気ギアを用いたリコンフィギャラブルリフレクトアレーの研究” (研究代表者　今野　佳祐，研究分担者　陳　強，研究協力者　室賀　翔，Gabriele Gradoni)　採択

・日本学術振興会　科研費　挑戦的研究(萌芽)(研究代表者　今野　佳祐)　審査中

これらの競争的資金では，University of Surrey の Gabriele Gradoni 教授らとの共同研究を行う予定であり，本共同プロジェクト研究会で実施された，磁石や 3D プリンタを用いたリコンフィギャラブルリフレクトアレーの設計技術，磁気ギアを用いたリコンフィギャラブルアンテナ技術，導波路を用いた RIS の高機能化，などの研究を主に実施予定である．

また，本共同プロジェクト研究会の代表者らが以下のシンポジウムを主催し，当該シンポジウムに研究会メンバーが参加した．

会議名　：IC and mmWave Platforms and Advanced Circuit Technologies for 6G Communications (IMPACT-6G)
日時　：2025 年 11 月 3 日
開催場所　：東北大学青葉山キャンパス 復興記念ホール
参加人数　：20 名

[6]まとめと今後の課題

本共同プロジェクト研究会では，2 年間に亘り研究集会を中心に活動を行い，その結果として学術論文をはじめとする多数の成果が生まれた．また，磁気ギアを用いたリコンフィギャラブルアンテナ技術のような新たな研究領域の開拓にも成功している．

今後は，得られた競争的資金をベースとして，本共同プロジェクト研究会で開拓した研究領域をさらに発展させる予定である．

【別紙】

[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

[1] K. Konno, S. Terranova, Q. Chen, and G. Gradoni, ``Generalised Impedance Model of Wireless Links Assisted by Reconfigurable Intelligent Surfaces," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 72, no. 10, pp.7691-7699, Oct. 2024 (Top 50 most frequently accessed papers of IEEE Trans. Antennas Propag in Oct. 2024, Open Access).

[2] N. Haga, J. Chakarothai and K. Konno, "Circuit Modeling of Near-Field Coupled Undersea Antennas Using Impedance Double Expansion Method," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 72, no. 12, pp. 9378-9391, Dec. 2024.

[3] T. Yamaki, K. Nakao, and S. Yoshida, ``Compact and wideband rectifier using a multi-stage type matching circuit for microwave wireless power

transmission system,” IEICE Commun. Express, vol. 14, no. 1, pp. 34‑37, Jan. 2025.

[4] S. Yoshida, S. Kameda, and N. Suematsu, ``Integration of a 60-GHz-band wide-coverage beamforming array antenna by subarray switching for three orthogonal beams,” IEEE Access, vol. 14, pp. 50659‑50674, 2026.

[5] K. Konno, S. Yoshida, S. Muroga, N. Haga, J. Chakarothai, Q. Chen, and G. Gradoni, ``Mechanically Pattern Reconfigurable Yagi-Uda Monopole Antenna Using Magnetic Gear," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. -, no.-, pp.-, 2026 (In press, Open Access).

[6] K. Nakao, T. Yamaki, and S. Yoshida, “Ultrawideband rectifier with a large DC-cut capacitor for improvement of efficiency in low frequency band achieving 199.2% fractional bandwidth,” IEICE Electron. Express, vol. xx, no. xx, pp. xxx‑xxx, 2026. (in press)

[7] 吉田賢史, “高頻度再使用宇宙機の実現に資するマイクロ波無線給電型ワイヤレスセンサ研究開発,” 信学論(B), vol. Jxx‑B, no. xx, pp. x‑x, 2026. (in press)

口頭発表(査読あり)

[1] Sho Muroga, Akira Ito, Motoi Kawamura, Tomonaga Ueno, Kishio Hidaka, Motoshi Tanaka, Osamu Kawasaki, and Yasushi Endo, ``Investigation on Electromagnetic Wave Absorbing Mechanism of CNT-based Ultralight Materials," 2024 IEEE Joint Int'l Symp. EMC/Asia-Pacific Int'l Symp. EMC, WedAM1A.3, May. 2024.

[2] Sho Muroga, Seiji Kumagai, Tomonori Arakawa, Motoshi Tanaka, Shinichi Yodokawa, Shigeyoshi Yoshida, and Yasushi Endo, ``Transmission Attenuation of Noise Suppression Sheet Composed of Carbonized Rice Husk," 2024 IEEE Joint Int'l Symp. EMC/Asia-Pacific Int'l Symp. EMC, WedAM2A.2, May. 2024.

[3] K. Konno and Q. Chen, ``Efficient Modeling of Two-Dimensional Infinite Periodic Structures and Its Application to Method of Moments," Proc. ACES-China, pp. 1-3, Aug. 2024 (Invited).

[4] K. Konno and Q. Chen, ``Numerical Analysis of Finite Antennas Over Two-Dimensional Infinite Periodic Structures Using Method of Moments," Proc. ICEAA2024, p. 43, Sept. 2024 (Invited).

[5] K. Konno and Q. Chen, ``Enhancement of Scattering Field Strength of Reflectarray Elements by Dielectric Superstrate," Proc. ISAP2024, pp.1-2, Nov. 2024.

[6] J. Chakarothai, K. Takeya, J. Shibayama, Y. Suzuki, and K. Fujii, "FDTD Analysis of Electromagnetic Scattering Sheet Using Surface Impedance Method," 2024 IEEE iWAT, 15-18 April 2024, pp. 245-246.

[7] S. Yoshida, “Comparison of return loss measurement method of 60 GHz band 2×2 patch array,” in Proc. IEEE AP-S Int. Symp., July 2025.

[8] N. Haga, ``Impedance Expansion Method —Circuit Modeling Technique Based on Method of Moments—," Proc. PJWWRAT2025, pp. 1-4, Sept. 2025 (Invited).

[9] K. Konno, A. Hu, and Q. Chen, ``On a Study of Single-Bit Height Tunable Reflectarray Using Electrtomagnets, " Proc. PJWWRAT2025, pp. 1-3, Sept. 2025 (Invited).

[10] T. Yamaki, K. Nakao, and S. Yoshida, ``Series selection of LC components in microwave rectifier using multi-stage matching for wideband operation,” Proc. 55th Eur. Microw. Conf., pp. 997‑1000, Sept. 2025.

[11] T. Yamaki and S. Yoshida, ``Development of end-fire 60-GHz-band 2×2 digital beam forming antenna for built-in mobile devices,” pp. 533-534, Proc. ISAP2025, Oct. 2025.

[12] K. Konno and Q. Chen, ``Cubic Yagi-Uda Array Antenna for 500 MHz Band Rectenna," Proc. ISAP2025, pp. 846-847, Oct. 2025.

[13] N. Haga, J. Chakarothai, K. Konno, ``Frequency Characteristics of Circuit Model of Undersea Loop Coupler Derived by Impedance Double Expansion Method," Proc. ISAP2025, pp. 974-975, Oct. 2025.

[14] K. Konno, N. Haga, J. Chakarothai, and Q. Chen, ``Mesh-Free Modeling of Two-Dimensional Infinite Periodic Structure Using Green's Function for Method of Moments, " Proc. ISAP2025, pp. 976-977, Oct. 2025.

[15] K. Konno and Q. Chen, ``500 MHz Band Rectenna Using Cubic Yagi-Uda Array Antenna," Proc. URSI-JRSM 2026, p. 1, March 2026.

[16] S. Yoshida, “Measurement evaluation of a 920 MHz band wireless sensor system powered by 5.8 GHz band wireless power transmission,” in Proc. URSI‑JRSM 2026, p. 1, March 2026.

口頭発表(査読なし)

[1] Ao Hu, Keisuke Konno, Qiang Chen, ``On the Design of a Highly Efficient Reflectarray Antenna Using Electromagnets," 第 647 回伝送工学研究会, 2024 年 5 月.

[2] 今野　佳祐，羽賀 望，Chakarothai Jerdvisanop, 陳 強，``二次元無限周期構造上にあるアンテナの数値解析のためのモーメント法，" 計算工学講演会，vol. 29, F-06-01, pp. 1-6，2024 年 6 月 (キーノート講演).

[3] 羽賀 望，今野　佳祐，Chakarothai Jerdvisanop, ``インピーダンス展開法による電磁波散乱解析，" 計算工学講演会，vol. 29, F-06-02, pp. 1-6，2024 年 6 月.

[4] 鎌野瑛斗，室賀 翔，宮澤 安範，阿加 賽見，遠藤 恭，熊谷 誠治，田中 元志，淀川 信一，``GCPW 上に配置したもみ殻炭からなる複合材料の損失発生機構に関する一検討，" 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会（EMCJ） 若手研究者発表会，EMCJ2024-26，2024 年 7 月.

[5] 入山　大暉，今野　佳祐，陳　強，``磁石を用いたリコンフィギュラブルリフレクトアレーに関する研究，" 信学技報，vol. 124， no. 206，AP2024-62，pp. 32-33，2024 年 10 月.

[6] 佐藤 聖将，今野佳祐，陳強, ``素子間相互結合を用いた多層型リコンフィギャラブルリフレクトアレーに関する研究," 第 652 回伝送工学研究会，2024 年 11 月.

[7] 今野 佳祐，``2 次元無限周期構造上にあるアンテナの数値解析法，" MWE2024 ワークショップ，2024 年 11 月.

[8] 細村　祥平，今野　佳祐，陳　強, ``帯域通過レドームを装荷したリフレクトアレー," 第 653 回伝送工学研究会，2024 年 12 月.

[9] 今野　佳祐，胡　奥，陳　強，``電磁石を用いた 1 ビットリコンフィギャラブルリフレクトアレーの研究，" 信学技報，vol. 124， no. 341，AP2024-182，pp. 80-84，2025 年 1 月.

[10] 吉田　賢史，“マイクロ波ワイヤレス給電により動作する無線センサシステムの測定評価事例，” (第 24 回)AMT 研チュートリアルワークショップ，Jan. 2025.

[11] 吉田　賢史，“これでできる！スミスチャートを活用してマイクロ波整流器の回路を設計しよう，” (第 8 回)WPT 研ワークショップ，Jan. 2025.

[12] 山木　健弘，中尾　晃大，吉田　賢史，“2 素子マッチングと多段マッチング回路を用いた際における周波数特性の比較，” 信学総大， CK-2-02， March 2025.

[13] 今野　佳祐，羽賀　望，チャカロタイ　ジェドヴィスノプ，陳　強，``グリーン関数形式による 2 次元無限周期構造のメッシュフリーモデリングとそのモーメント法への応用，"信学技報，vol. 125， no. 1，AP2025-9，pp. 46-51，2025 年 4 月.

[14] 羽賀　望，今野　佳祐，チャカロタイ　ジェドヴィスノプ，``インピーダンス二重展開法 ～海中ループ結合器の回路モデリングへの応用 ～," 信学技報，vol. 125， no. 1，AP2025-10，pp. 52-57，2025 年 4 月.

[15] 山木　健弘，吉田　賢史，“ 銅ボールを用いた積層型 60 GHz 帯 4 素子アレイアンテナにおけるビームフォーミング領域の評価，” 信学技報, vol. 125, no. 25, MW2025-12, pp. 19-22, May 2025.

[16] 山木　健弘，中尾　晃大，吉田　賢史，“ 周波数特性広帯域化に向けたマッチング回路に用いる素子選択の比較検討，” 信学技報, vol. 125, no. 109, MW2025-37, pp. 77-82, July 2025.

[17] 羽賀　望，今野　佳祐，チャカロタイ　ジェドヴィスノプ，``インピーダンス二重展開法による海中無線電力伝送用結合器の回路モデリング," 信学技報，vol. 125， no. 122，WPT2025-20，pp. 1-6，2025 年 7 月.

[18] 古川　大夢，吉田　賢史，“ ハイブリッドエナジーハーベスタ実現に向けた電流源・電圧源の直列または並列接続時の負荷における消費電力に関する考察，” 信学ソ大， B-20-10， Sept. 2025.

[19] 桐原　敦，今野　佳祐，陳　強，``磁石を用いた素子間隔可変アレーアンテナ，’’ 信学技報，vol. 125， no. 180，AP2025-108，pp. 145-146，2025 年 9 月.

[20] 高橋　洸輔，今野　佳祐，陳　強，上坂　昂司，渡辺　光，高橋　徹，``コンフォーマルアレーの散乱/放射特性設計法の一検討，" 信学技報，vol. 125， no. 180，AP2025-93，pp. 86-88，2025 年 9 月.

[21] 中尾　晃大，山木　健弘，吉田　賢史，“ ［ポスター講演］10 段の多段マッチング回路を用いたマイクロ波広帯域整流器の設計，” 信学技報, vol. 125, no. 181, MW2025-121, pp. 172-173, Sept. 2025.

[22] 入山 大暉，今野 佳祐，陳 強，``磁石を用いたリコンフィギュラブルリフレクトアレーに関する研究," 第660回伝送工学研究会，2025年10月．

[23] 梅本圭汰，今野 佳祐，陳 強，``導波路によるリコンフィギャラブルリフレクトアレーの高機能化," 第661回伝送工学研究会，2025年11月．

[24] 桐原 敦，今野 佳祐，陳 強，``磁石を用いた素子間隔可変アレーアンテナの研究," 第663回伝送工学研究会，2026年1月．

雑誌連載記事
[1] 今野　佳祐，無線通信における EMC 設計の基礎と実践①　EMC 設計のための電磁界数値解析法(1) -モーメント法による高周波電磁界解析-，科学情報出版，月間月刊 EMC，no. 435，2024 年 7 月．

[2] 羽賀　望，無線通信における EMC 設計の基礎と実践②　EMC 設計のための電磁界数値解析法(2) -モーメント法による低周波電磁界解析-，科学情報出版，月間月刊 EMC，no. 442，2025 年 2 月．

[3] 吉田　賢史，無線通信における EMC 設計の基礎と実践③　マイクロ波電力伝送が無線通信システムに与える影響の実験的評価，科学情報出版，月間月刊 EMC，no. 443，2025 年 3 月．

[4] 今野 佳祐，``EMC 設計の実例 -電磁界の逆問題-，" 科学情報出版株式会社 月刊 EMC，no. 444，pp. 99-117，2025 年 4 月号．

[5] 袁 巧微，唐 云翀，“AR 技術を用いた電磁界の可視化，”科学情報出版株式会社 月刊 EMC，no. 453，pp.103-112，2026 年 1 月号．

受賞
[1] 鎌野　瑛人，電子情報通信学会環境電磁工学研究専門委員会 環境電磁工学研究会若手研究発表会若手奨励賞，2024 年 7 月 18 日，(口頭発表(査読なし) [4]による受賞)

[2] 入山　大暉，アンテナ・伝播研究会 優秀ポスター発表賞，2024 年 10 月 16 日-18 日，(口頭発表(査読なし) [5]による受賞)

[3] 山木　健弘，Best Poster Award，IEEE AP-S KJC 若手技術者交流会　学生ポスターセッション (吉田　賢史との共著発表による受賞)，2024 年 12 月．

[4] 電子情報通信学会 ComEX Top Downloaded Letter Award 受賞（学術論文[3]が 2025 年 1 月の月間ダウンロード数トップとなったことによる受賞,)，2025 年 4 月．

[5] 山木　健弘，Best Poster Award，IEEE AP-S KJC 若手技術者交流会　学生ポスターセッション (吉田　賢史との共著発表による受賞)，2025 年 12 月．

[6] 唐 云翀, 2025 年度電気関係学会東北支部連合大会 IEEE Sendai Student Session の The Best Paper Prize を受賞 (口頭発表[19]による受賞，査読なし)

[7] 山木　健弘，電子情報通信学会　マイクロ波研究会　2025 年度　学生研究発表奨励賞(吉田　賢史との共著発表による受賞)，2026 年 3 月．

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果
学術論文
[1] 袁　巧微，武　晋泰，加藤　陽向，“【招待論文】E-MIMO によるアレーアンテナのビームフォーミング,” 電子情報通信学会論文誌 B，vol.J108-B, no.11, pp.511-519, Nov. 2025.

口頭発表(査読あり)
[1] Y. Murakami, L. Hamada, J. Chakarothai, and K. Fujii, ``Scattering Characteristics of a Metamaterial-based Thin Electromagnetic Scattering Sheet," Proc. ISAP2025, pp. 303-304, Oct. 2025.

[2] L. Hamada, Y. Murakami, J. Chakarothai, and K. Fujii, ``Prototyping of the Electromagnetic Scattering Sheet in 300 GHz band," Proc. ISAP2025, pp. 602-603, Oct. 2025.

[3] Jintai Wu and Qiaowei Yuan, “Beamforming Performance of E-MIMO Approach from near-Field to Far-Field in Array Antennas,” Proc. ISAP2025, pp. 722-723, Oct. 2025.

[4] D. Suzuki, K. Hidaka, S. Ajia, Y. Endo, M. Tanaka, S. Takahashi, T. Ueno, T. Osato, and S. Muroga, ``A Material Design Guideline for Millimeter-Wave Absorbers Derived from 3D Visualization of Target Permittivity and Conductivity,`` 37th Asia-Pacific Microwave Conference, WE1-2, Dec.2025.

[5] E. Kamano, S. Kumagai, Y. Abe, T. Miyazaki, S. Ajia, M. Tanaka, Y. Endo, and S. Muroga, ``Sheet Impedance Dependence on Conductive Noise Suppression Performance of Composite Sheet with Carbonized Rice Husk,`` 37th Asia-Pacific Microwave Conference, WE2-4, Dec.2025.

[6] S. Muroga, D. Suzuki, K. Hidaka, S. Ajia, Y. Endo, M. Tanaka, S. Takahashi, and T. Ueno, ``An Ultra-Lightweight CNT-Aerogel Absorber for Broadband Noise Suppression on High-Speed Packages,`` IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems, Session 6-4, Dec.2025.

口頭発表（査読無し）

[1] 唐 云翀，袁 巧微，武 晋泰，“Compensating for Front-End Non-Linearities in Low-Cost SDRs for High-Precision Magnetic Field Measurement，” 2025年電気関係学会東北支部連合大会，1F1-08，2025 年 9 月 2 日．【The Best Paper Prize，IEEE Sendai Session】

[2] 室賀 翔，``電波吸収体の材料設計支援に向けた AI 活用の可能性,`` MWE2025 ワークショップ, WE5B-4，2025 年 11 月．

[3] 袁　巧微，``行列を用いたレトロディレクティブアレーアンテナ受信電圧推定手法の提案と評価,” 信学技報, vol. 125, no. 319, WPT2025-46, pp. 40-42, 2026 年 1 月．

プレスリリース

[1] 今野 佳祐，プレスリリース 高機能反射板による電波伝搬環境の改善効果を容易に予測できる技術を開発 - 次世代無線通信技術 Beyond 5G の実現加速に期待 -, https://www.eng.tohoku.ac.jp/news/detail-,-id,2926.html, 2024 年 7 月 10 日．

[2] 今野 佳祐，プレスリリース 磁気ギアによる革新的なアンテナ駆動技術を実現―次世代無線システム用の基盤技術として期待―, https://www.eng.tohoku.ac.jp/news/detail-,-id,3487.html，2026 年 2 月 16 日．

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B08

研究課題名

6G 通信技術に向けたネットワーキング技術

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
小畑 博靖（広島市立大学大学院情報科学研究科）

通研対応教員：
長谷川 剛（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究プロジェクトでは、昨年度に引き続き、以下のような体制で 6G 通信に向けて実現が必要な諸技術についての議論を実施した。

【研究グループ体制】
グループリーダ(研究代表者):
広島市立大学 小畑 博靖 教授
サブリーダ(RIEC 担当教員):
東北大学 長谷川 剛 教授
サブリーダ:
名古屋大学 村瀬 勉 教授
メンバー:
NII 計宇生 教授
電気通信大学 策力木格 教授
早稲田大学 甲藤 二郎 教授
朝日大学 矢守 恭子 教授
大阪公立大学 阿多 信吾 教授
神戸大学 太田 能 教授
千葉大学 塩田 茂雄 教授
千葉大学 関屋 大雄 教授
千葉大学 グエン キエン 准教授
芝浦工業大学 新熊 亮一 教授
（順不同）

2025 年度は 10 月 17 日（金）～18 日（土）の期間にて 6G 通信技術に向けたネットワーク技術に関する会合を実施した。なお、本会合は、昨年度に引き続き大学 ICT 推進協議会における高品質・セキュリティ ICT 部会会合との共催イベントとしても実施している。そのため、6G 通信技術に限らず周辺技術に関しての講演および議論が行われた。

＜2025 年度会合プログラム＞
2025 年 10 月 17 日(金)
13:00～13:02　開会挨拶 小畑 博靖（広島市立大学 教授）
13:02～13:32　小室 信喜（千葉大学 准教授）「モバイル端末のセンサを用いた屋内歩行軌跡推定」
13:32～14:02　新熊 亮一（芝浦工業大学 教授）「3 次元 LiDAR センサネットワークによるリアルタイム高次デジタルツインの研究と社会実装」
14:02～14:12　休憩
14:12～14:42　園田 健太郎（デロイト・トーマツ・サイバー シニアマネジャー）「サイバーセキュリティ動向と偽情報対策」
14:42～15:12　小畑 博靖（広島市立大学 教授）「移動 AP を利用した情報配信技術に関する研究」
15:12～15:22　休憩
15:22～15:52　長谷川 剛（東北大学 電気通信研究所 教授）「ネットワーク内輻輳制御ノードにおけるデータ転送手法」
15:52～16:22　矢守 恭子（朝日大学 情報教育研究センター 教授）「ガバメントクラウド思想を適用した大学 ICT 基盤の構築」
16:22～16:32　休憩
16:32～17:02　村瀬 勉（名古屋大学 情報基盤センター 教授）「医療情報収集のための BAN アドホックネットワーク」

2025 年 10 月 18 日(土)
13:00～13:30　策力木格（電気通信大学 教授）「低遅延映像セマンティック通信による遠隔運転の高度化」
13:30～14:00　甲藤 二郎（早稲田大学 教授）「IP マルチキャスト放送の無線伝送に向けた技術開発」
14:00～14:10　休憩
14:10～14:40 計 宇生（国立情報学研究所 教授）「強化学習を利用したセルフリー Massive MIMO システムの電力制御」
14:40～15:10　塩田 茂雄（千葉大学 大学院情報学研究院 教授）「ポアソン・ボロノイ分割におけるゼロセルバイアスーその統計的特徴とセルラ通信への影響」
15:10～15:20　休憩
15:20～15:50　太田 能（神戸大学 教授）「情報指

向ネットワークにおける地域的局所性を考慮したキャッシュポリシに関する一検討」
15:50〜16:20　阿多 信吾（大阪公立大学 大学院情報学研究科 教授）「大阪公立大学におけるスマートキャンパスの実現〜物理層からアプリケーション層まで」
16:20〜16:30　休憩
16:30〜17:00 グエン キエン（千葉大学 准教授）「A Research on Reducing Latency in IoT Blockchain Network」
17:00〜17:02　閉会挨拶　小畑 博靖（広島市立大学 教授）

[3] 今後の研究の推進方策

次年度も引き続き、6G に向けて実現が必要な要素技術に関する議論を進めつつ、応用技術に関する検討も実施する。また、研究成果をグループの各メンバーが学会などで発表するとともに、RIEC に集合して集中ディスカッションすることにより引き続き、成果の展開を目指して活動を行う。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

【学術論文誌】

・Hiroyasu Obata and Chisa Takano, “A Study on Wireless LAN Technologies based on Mathematical Model of Physical Phenomena,” IEICE Transactions on Communications, Invited Paper, Vol.E109-B, No.2, pp.180-189, February 2026.
(DOI 10.23919/transcom.2025CEI0005)

・池田 優子, 小畑 博靖, 村瀬 勉, 石田 賢治, “情報鮮度と拡散率の向上を目指した情報フローティングに基づく情報配信制御方式,” 電子情報通信学会論文誌（B）, Vol.J108-B, No.5, pp.240-253, May 2025.
(DOI 10.14923/transcomj.2024NSP0004)

【国内研究会・国内大会】

・小畑 博靖, “移動端末を用いた無線 LAN 技術に基づく情報配信制御に関する研究,” 電子情報通信学会技術研究報告, 無線通信システム研究会（依頼講演）, RCS2026-7, p.35, May 2026.

・村本 章人, 小畑 博靖, 高野 知佐, “稠密な無線マルチホップ環境における通信安定性を考慮した位相シフトに基づくメディアアクセス制御,” 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク研究会, IN2025-105, pp.260-265, March 2026.

・村本 章人, 小畑 博靖, 高野 知佐, “稠密な無線マルチホップ環境における V-SP-MAC に基づく動的バックオフ制御,” 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク研究会, IN2025-50, pp.75-80, December 2025.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

【学術論文誌】

・遠北 涼, 高野 知佐, 小畑 博靖, 大石 恭弘, 会田 雅樹, “ネットワーク上の拡散方程式に基づくロードバランサ間の負荷分散システムの提案と実装,” 電子情報通信学会論文誌（B）, Vol.J109-B, No.3, pp.222-233, March 2026.
(DOI 10.14923/transcomj.2025GWP0006)

・Xiaoqing Zhang, Van An Le, Megumi Kaneko, John C.S. Lui, Yusheng Ji, "Multi-Agent Deep Reinforcement Learning-based Uplink Power Control in Cell-Free Massive MIMO with Mobile Users", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 74, Issue 11, pp. 17796-17811, Nov. 2025.
(DOI: 10.1109/TVT.2025.3577682)

【国際会議】

・Ryo Enkita, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Yasuhiro Ohishi and Masaki Aida, “Performance Evaluation of Load Distribution System based on Diffusion Equation for Asymmetric Network Model,” Proc. 13th International Workshop on Computer Systems and Architectures (CSA’24), pp.8-14, November 2025.
(DOI 10.1109/CANDARW68385.2025.00010)

【国内研究会・国内大会】

・高田 啓匡, 小畑 博靖, 高野 知佐, “5G 網の QoS 特性を考慮した SRv6 による IP ネットワークの経路制御,” 電子情報通信学会技術研究報告 情報ネットワーク研究会, IN2025-94, pp.192-197, March 2026.

・白崎 陽一郎, フィネルティ パトリック. 朱致儀, 太田 能, “情報指向ネットワークにおける地域的局所性を考慮したキャッシュポリシに関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告, ネットワークシステム研究会, vol.125 no.58 pp.37-42, June 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B09

研究課題名

磁界共鳴無線電力伝送システムにおける電力・通信同時伝送

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
関屋大雄（千葉大学大学院情報学研究員）

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

本研究では、高周波磁界共鳴型無線給電システムにおいて、電力と通信の同時伝送（SWPDT）技術について検討する。SWPDT は国内ではほとんど検討されておらず、特に周波数シフトキーイング方式を採用したものはほとんど検討されていないことがサーベイの結果明らかとなった。そこで、2025 年度は、周波数シフトキーイング方式の SWPDT 設計に注力した。高周波無線電力伝送(WPT)システムの回路としての過渡応答と通信としての周波数変動の関係をモデル化することにより、「電力・通信同時伝送システム」の開発を進めた。さらに、これまで開発してきた「負荷非依存技術」の適用することで、世界初の負荷変動にロバストな FSK-SWPDT システムの構築を目指す。

WPT 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。2025 年度は WPT における FSK 通信方式およびその特徴について調査を進めた。調査の結果、FSK-SWPDT の研究は既に存在するものの、周波数の変動によって受電電力が変化する問題が発生することが明らかとなった。さらに、負荷変動に対しての対応が取られておらず、制御システムが未実装であった。このことから、負荷非依存技術適用の意義とインパクトを説明することができ、受電電圧を一定化する SWPDT 技術の提案につながった。

以上の調査結果は[1]-[6]として、非線形ワークショップにて発表した。このワークショップは東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に採択されている、【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をはじめとする４つのプロジェクトと本プロジェクトの合同で開催されたものであり、分野横断型研究領域である無線電力伝送の研究の理解の深化を促進することができた。また、この調査結果をもとに振幅シフトキーイングの電力・通信同時伝送方式を提案し、原著論文[5]としての掲載が決定している。さらに、周波数シフトキーイング向けの伝送回路を国際会議論文[6]として発表するに至った。

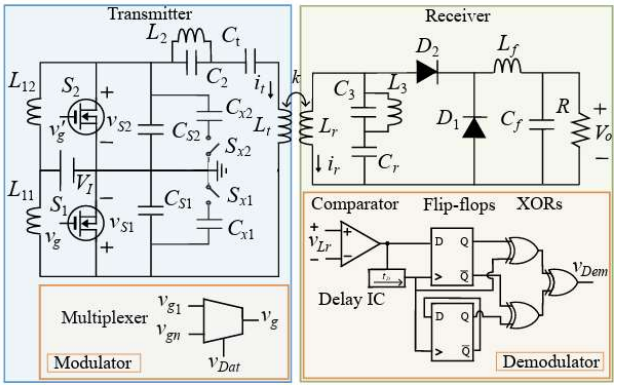


図１：FSK-SWPDT システム

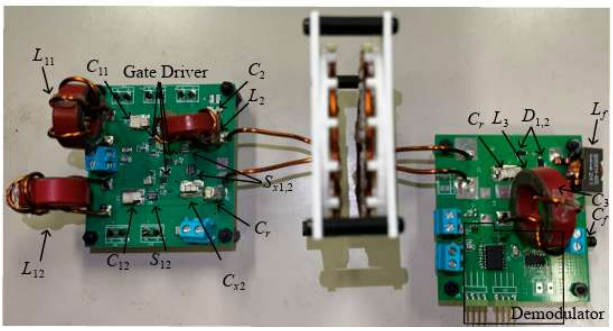


図２：実装回路

[3] 今後の研究の推進方策

最終年度３年目の課題として、負荷変動への対応としての負荷非依存動作の導入およびロボットアームへの応用をテーマとし、議論を進めていく。2026 年度も年１回のワークショップ開催を計画し、メンバが関連する自身の研究成果やアイディアをオープンにすることから議論を進め、具体的な技術展開へとつなげる。また、外部から講師を招くなどして、メンバ内では不足する知見を補いながら目標達成に向けて活動していく。

［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. 関屋大雄, “電力・通信同時伝送の考え方,” 非線形ワークショップ, 2025 年 11 月
2. 駒中綾乃, “バッテリー充電向け高周波 CC/CV 無線電力伝送システム,” 非線形ワークショップ, 2025 年 12 月
3. 塩野友也，“E 級スイッチング条件外における EF 級インバータの動作解析” 非線形ワークショップ, 2025 年 12 月
4. 福田 直輝，“遺伝的アルゴリズムを用いた E 級インバータのトポロジー・素子値同時最適化，” 非線形ワークショップ, 2025 年 12 月
5. 金磯 凜大郎，“遺伝的アルゴリズムを用いた LLC コンバータの設計，” 非線形ワークショップ, 2025 年 12 月
6. 小林 巧弥，“負荷変動と位置ずれにロバストな電界結合型無線電力伝送システム，” 非線形ワークショップ, 2025 年 12 月

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

7. C. D. Pham, N. Ha-Van, M. T. Le, K. Nguyen, and H. Sekiya, “Comparative experiment of conventional and dynamic theories for wireless power transfer,” IEEE Microw. Wireless Technol. Lett., vol. 35, no. 9, pp. 1428–1431, Sept. 2025, doi: 10.1109/LMWT.2025.3568399.
8. N. Fukuda, Y. Komiyama, W. Zhu, Y. Xie, A. Komanaka, A. Konishi, K. Nguyen, and H. Sekiya, “ML-based fully-numerical design method for load-independent class-EF WPT systems,” IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 72, no. 12, pp. 7490–7502, Dec. 2025, doi: 10.1109/TCSI.2025.3579127.
9. Y. Komiyama, W. Zhu, A. Konishi, K. Nguyen, and H. Sekiya, “Analysis and design of load-independent class-E zero-voltage switching power oscillator,” IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 73, no. 1, pp. 721–734, Jan. 2026, doi: 10.1109/TCSI.2025.3594362.
10. W. Zhu, A. Komanaka, Y. Komiyama, K. Nguyen, H. Koizumi, and H. Sekiya, “High-frequency self-synchronized load-independent class-E rectifier using fixed-point crossing detection,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 41, no. 1, pp. 1461–1474, Jan. 2026, doi: 10.1109/TPEL.2025.3604090.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B10

研究課題名

計算機による知的生産性の評価とその向上手法の検討

[1] 研究代表者・通研対応教員

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：
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

アイデアソンやブレーンストーミングに代表されるような，複数人が知識や経験を持ち寄り，新たな知を創出する活動においては，その成果や過程を集団の知的生産性として捉えることができる。本研究では，このような集団による知的生産活動の場に着目し，コンピュータによってその状況を取得・解析するとともに，知的生産性の向上につながる情報提示や空間制御を行うシステムの実現を目指している。特に，情報工学的なセンシング・解析技術と，社会心理学的な実験・評価手法を組み合わせることで，集団の知的生産性を支える要因を明らかにし，そのモデル化を進めることを目的としている。

具体的には，知的生産活動に従事する参加者の体動，表情，発話音声などを各種センサによって取得し，体動の分散やパワースペクトル，発話におけるターンテイクのタイミングなど，集団内コミュニケーションの特徴量を抽出する。さらに，これらの客観的な計測データを，参加者の主観評価や作業成果と照合することで，知的生産性の推定モデルを構築することを検討している。また，構築したモデルを用いて，社会心理学的な実験を通じた妥当性の検証を行うことを想定している。加えて，知的生産活動の場にプロジェクタスクリーンや，物理的に空間を動的に分節・隔絶可能なパーティション等を導入し，情報提示や空間変容が集団の知的生産性に与える影響についても検討する。

このように本研究は，社会心理学と情報科学・工学の密接な連携を必要とする学際的な研究である。そのため，関連分野で活躍する若手研究者を中心とした研究会を開催し，各分野の強みや課題を共有するとともに，分野横断的な視点から研究課題を整理し，新たな研究構想の立案につなげることを目指している。また，要素技術や評価手法を体系化することで，今後の共同研究や外部資金申請に向けた基盤を整備することを目的としている。

本プロジェクトでは，年 1 回から 2 回程度の研究会を，東北大学電気通信研究所，または同研究所と VR 空間を組み合わせたハイブリッド形式により開催することを想定している。研究会は 2〜3 日程度の日程で実施し，参加者間の情報交換に加えて，ワークショップ形式，自由討論形式，ハッカソン形式など，議論の深化に適した方法を柔軟に採用する。また，得られた知見については，メタ研究として発表可能な水準まで整理することを目指す。なお，活発な議論を促すためには少人数での実施が有効であると考えられることから，参加人数を絞る，あるいは複数の小グループに分かれて議論を行うなどの実施方法についても検討する。

本年度は下記の日程で CREST 等の大型研究費の獲得を見据えた共同研究の方向性および将来的な研究ビジョンについて議論を行った。

日時： 令和 8 年 3 月 31 日
参加者 伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）
高嶋 和毅（芝浦工業大学 システム理工学部）
藤田 和之（東北大学電気通信研究所）

内容と議論：

はじめに，各メンバーが昨年度から今年度にかけて取り組んできた研究内容とその進捗について報告した。伊藤からは，人の状態を本人に意識させることなく取得し，さらに人の行動や状態を無意識的に変容させる「無意識コンピューティング」の実現に向けた要素技術として，床パネル型センシング装置に関する研究，ならびに複数感覚を組み合わせることで新たな感覚体験を生み出すクロスモーダルインタラクションに関する最新の研究成果について報告した。次に藤田からは，実空間における人の移動や行動を制御するため，バーチャル空間内での移動に制約や変換を加えることで知覚的な錯覚を生じさせるリダイレクション技術に関する研究報告があった。最後に高嶋からは，小型ロボットを現実空間に配置し，ロボットに搭載したアクチュエータを用いて，バーチャル空間内のユーザに触覚を提示するシステムに関する報告があった。

これらの報告を踏まえ，各自が有する基礎技術をどのように組み合わせることで，新たな知的生産性のセンシングや創出につなげられるかについて意見交換を行った。特に，無意識的なセンシング，

空間内行動の制御，実空間と仮想空間をまたぐ触覚提示といった技術を統合することで，集団の知的活動を支援・拡張する新たな研究テーマを構想できる可能性について議論した。最終的に，各自が大型研究費の獲得に向けた具体的な研究テーマを継続的に検討し，今後の共同研究の立案につなげることを確認して閉会した。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は，各メンバーが有するコア技術をどのように組み合わせることで，研究上のシナジーを最大化できるかについて，継続的に議論を進める。まずは，科研費・挑戦的研究（開拓）等への応募を視野に入れ，申請書作成に向けた具体的な研究課題，研究方法，役割分担の整理を行う。その過程で，無意識的センシング，空間制御，クロスモーダル・触覚提示，バーチャル空間における行動誘導といった各要素技術を統合し，集団の知的生産性を高めるための新たな研究構想として具体化していく。

さらに，科研費等への申請を通じて研究計画を精緻化しつつ，CREST 等のより大型の外部資金獲得に向けた議論を継続する。あわせて，研究会で得られた知見や議論の内容を体系的に整理し，学術的な位置づけや社会的意義を明確化することで，今後の共同研究の発展につなげる。

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B11

研究課題名

コミュニケーションの基盤としてのヒトの知覚・運動・認知・情動特性の理解

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
筒井健一郎（東北大学大学院生命科学研究科）

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

2025 年 6 月 3 日に、土谷尚嗣博士（豪・モナシュ大学 心理科学部・教授）を招き、セミナーを開催するとともに、6 月 4 日～5 日に、本研究会メンバーの研究室を対象にラボ訪問とディスカッションを行った。

研究会の概要

Is My ‘Red’ Your ‘Red’?: Evaluating Correspondences Between Qualia Structures Using Unsupervised Alignments”

本研究会では、土谷尚嗣教授により、主観的経験、すなわちクオリアを、経験間の関係性からなる構造として捉え、その対応関係を数理的に評価する新しい意識研究の枠組みについて講演が行われた。「私の赤はあなたの赤と同じなのか」という古典的な哲学的問いを、心理物理学、神経科学、数理解析、機械学習的手法を用いて実証的に扱おうとする意欲的な内容であった。

講演の背景には、従来の意識研究、とくに neural correlates of consciousness（NCC）を探索する研究プログラムの限界がある。これまで多くの研究では、「見えた／見えなかった」、「刺激 A か刺激 B か」といった二値的・選択式の報告に基づき、意識経験に対応する神経活動を同定しようとしてきた。しかし、この方法では、意識経験の有無や大まかな内容は扱えても、クオリアの質的な違いや、経験どうしの豊かな関係性を十分に捉えることが難しい。

これに対して、土谷教授らのアプローチは、個々のクオリアを孤立した対象として扱うのではなく、クオリア相互の類似性や距離関係からなる「クオリア構造」として捉える点に特徴がある。たとえば、「赤とは何か」を直接定義するのではなく、赤がピンク、橙色、青、緑などとどの程度似ているか、あるいは異なるかを測定し、その関係の全体から色経験の構造を推定する。このように、主観的経験を関係構造として表現することで、従来は哲学的思弁にとどまりがちであった問いを、経験科学の対象として扱う道が開かれる。

講演で特に重要であったのは、クオリア構造の個人間対応を評価するために、教師なしアラインメントを用いるという方法論である。従来は、同じ刺激に対して同じ言語報告がなされれば、同じ経験が生じていると仮定されがちであった。しかし、それでは「私の赤はあなたの赤か」という問いを真に検討することはできない。教師なしアラインメントでは、刺激名や色名をあらかじめ対応づけるのではなく、それぞれの被験者における経験間の内部構造だけを用いて、二つの構造がどのように対応しうるかを探索する。これにより、言語ラベルや外的刺激の対応に依存せず、経験構造そのものの類似性を評価することが可能になる。

この枠組みは、色覚だけでなく、視覚運動、音、身体感覚、情動など、さまざまな意識経験に拡張できる可能性をもつ。講演要旨でも、色、視覚運動、音などのクオリア構造と、それらに対応する神経活動や構造的結合との関係を明らかにする試みが紹介された。重要なのは、単一の経験と単一の神経活動を対応づけるのではなく、経験空間全体の構造と、神経活動空間あるいは神経結合構造との対応を問う点である。これは、意識理論に対して、単なる「意識の有無」の説明を超え、なぜある経験が別の経験に近く、第三の経験から遠いのかを説明することを要求する。

一方で、このアプローチには今後の課題もある。類似性判断が本当にクオリアそのものの構造を反映しているのか、あるいは言語、文化、記憶、判断方略の影響をどの程度受けているのかは慎重に検討する必要がある。また、群レベルで構造の対応が見られたとしても、それが個人レベルの経験の対応をどこまで保証するのかも重要な問題である。さらに、クオリア構造と神経活動・神経結合との対応を明らかにするには、心理物理データと神経データを同一の構造的枠組みで扱う理論的・方法論的整備が必要となる。

総じて、本講演は、意識研究が新たな段階に入りつつあることを強く印象づけるものであった。土谷教授らのクオリア構造パラダイムは、主観的経験を単なる報告内容としてではなく、経験間の関係性からなる構造として捉え、その構造を神経基盤と対応づけようとするものである。「私の赤はあなたの赤か」という問いは、完全に解決されたわけではないが、本講演は、この問いを経験科学として扱うための具体的な方法論を示した点で、大きな意義をもつ。意識のハードプロブレムに対して直ちに最終解答を与えるものではないとしても、主観的経験の科学を一歩前進させる重要な研究方向を示すものであった。

研究室訪問先

土谷尚嗣教授が、以下の研究室を訪問し、研究内容の紹介をうけるとともに、それに基づいて議論を行った。

小泉政利・木山幸子（文学研究科）
坂井 信之（文学研究科）
齋藤 玲 先生（情報科学研究科）
杉浦 元亮 （加齢医学研究所）
坂本 修一 （電気通信研究所）
塩入 諭（電気通信研究所）
筒井 健一郎（生命科学研究科）

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B12

研究課題名

複雑ネットワーク理論に基づく多言語文書の言語横断的解析法に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
島田 裕（埼玉大学大学院理工学研究科）
通研対応教員：
佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究では，複雑ネットワークの観点から言語の文法構造を定量的に解析する手法に着目し，多言語に共通する普遍的な構造を探究する．多言語に共通の言語的性質を明らかにすることは，自然言語処理技術等の性能向上につながると期待される．

前年度の研究によって，単語の共起ネットワークの骨格構造と単語間の係り受けに密接な関係があることを明らかにした．具体的には，Disparity filter と呼ばれる手法を用いて重要な役割を担う単語間のつながり(ネットワークの骨格構造)を推定・抽出し調査した結果，抽出された単語の共起ネットワークの骨格構造には，係り受け関係にある頂点対が多く含まれることが明らかとなった．この傾向は小説作品に限らず，構文構造コーパスを用いた実験でも同様の傾向が見られた．しかし，解析対象の文書の数が数件と少なく，他のデータでも同様の傾向が再現されるかを検証する必要があった．2025 年度においては，データ数を増やして実験を行い，同様の傾向が見られるのかを詳しく調査した．その結果，小説作品および構文構造コーパスの両方で，同様の傾向が見られることを確認した．さらに，神戸大学図書館が公開する戦前の日本の新聞記事データ等も解析対象に含め，同様の傾向が見られることを確認した．

[3] 今後の研究の推進方策

これまでに得られた結果は，文章の特徴から，文法構造に関する情報を教師データ無しで抽出できる可能性を示しており，この点について今後詳しく調査する．

また，神戸大学図書館が公開する戦前の日本の新聞記事データや多言語で記述された小説，国連議事録などの様々なテキストデータを対象として，単語の共起ネットワークの骨格構造と単語間の係り受けの関係をさらに詳しく調査する．その際，多言語から得られる単語の共起ネットワークの骨格構造に共通する構造についても調査を進める．また，これまでの研究過程で，新聞記事データに見られる文章表現の変化から，ナショナリズムの高まりが検出できる可能性があるという知見が得られており，この点についても詳しく調査する予定である．

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Shodai Tazawa and Yutaka Shimada, "Relationship between syntactic dependency and backbone structure of word co-occurrence networks," Vol. 16, Issue 3, pp. 704--714, 2025.

・Kota Kato and Yutaka Shimada, "Relationship between network structure and the maximum and minimum levels of homophily," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 16, Issue 3, pp. 573--582, 2025.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・加藤 浩太，島田 裕「有向ネットワークの構造的性質と同質性の関係の調査」電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術研究報告，Vol. 125, No. 283, pp. 33--38, 2025 年 12 月

・吉田 凌大，島田 裕「コミュニティ構造検出の一貫性に基づく core-periphery 構造検出法の改良」電子情報通信学会 非線形問題研究会 技術研究報告，Vol. 125, No. 283, pp. 39--43, 2025 年 12 月

・池田 一真，島田 裕「マルチリレーショナルグラフの Prime Adjacency Matrix 表現における経路の衝突に関する調査」2026 年電子情報通信学会 総合大会予稿集, N-1-05, p. 246, 2026 年 3 月 12 日

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B13

研究課題名

ユビキタスコンピューティング技術によるライフサイエンス基盤の創出と社会実装

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
大西 鮎美（神戸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] 当該年度の研究実績の概要

2025 年度における本共同プロジェクト研究「ユビキタスコンピューティング技術によるライフサイエンス基盤の創出と社会実装」では，ウェアラブルセンシング，感覚拡張，行動認識，ヒューマンインタフェース，IoT 応用を中心として，多様なユビキタスコンピューティング技術の研究開発を推進した．特に，人間の行動・知覚・身体状態に寄り添うセンシングとフィードバック技術，および日常環境への社会実装可能性に着目した研究成果が得られた．

ウェアラブルセンシング分野では，A. Ohnishi らが瞬目誘発スマートグラスやランニングフォーム支援システムを提案し，人間状態に応じた適応的フィードバック手法に関する知見を得た．また，F. Ahmad らによる身体的・精神的疲労の統合推定や，R. Kotera らによるスマートウォッチを用いた装着位置推定など，ウェアラブルデバイスを活用した人間状態理解技術が進展した．これらの成果は，人間の状態を継続的に把握し，個人に適応した支援を実現する基盤技術として期待される．

感覚提示・ヒューマンインタフェース分野では，D. Mayumi らによるレトロネーザル嗅覚提示システムや，Y. Matsuda らによる VR 空間における視覚刺激と音量知覚の関係分析など，人間の知覚特性を活用したマルチモーダルインタフェース研究が進展した．また，Y. Hoji らによる耳道圧変化を用いたサイレントスピーチ認識や，H. Watanabe らによるヒアラブルデバイスに対する超音波攻撃の研究は，新たな入力手法やセキュリティ評価の可能性を示した．これらは，人間とコンピュータのより自然で安全なインタラクションの実現につながる成果である．

行動認識・AI 応用分野では，K. Hiraoka らがプライバシ保護と行動認識を両立する EdgeVLM を提案したほか，R. Tada らによる調理行動認識精度向上手法，Y. Ueji らによるヨーヨー技能解析など，日常行動や身体活動の理解・支援技術が進展した．さらに，T. Yanagisawa らによる UAV を活用した養殖施設支援システムや，H. Takahashi らによる分散避難支援システムなど，社会課題解決に向けた IoT 応用研究も推進された．

これらの研究成果は，センシング，知覚拡張，行動認識，AI，社会実装といった複数の観点から，ユビキタスコンピューティング技術の基盤深化と応用展開に寄与するものである．特に，人間状態の理解と適応的支援，感覚・行動の拡張，および実社会への展開を横断的に扱うことで，ライフサイエンス分野への応用可能性を広げる成果が得られた．

[3] 今後の研究の推進方策

今後の研究推進では，人間状態理解と環境理解を統合したユビキタスコンピューティング基盤の高度化を進めるとともに，社会実装を見据えた応用展開を推進する．

まず，ウェアラブルデバイスによる生体・行動センシング技術を発展させ，複数モーダル情報を統合したリアルタイム人間状態推定を実現する．疲労や知覚特性，行動意図などを推定し，ユーザ状態に適応した提示・介入技術への展開を目指す．次に，プライバシ保護と AI 活用を両立するエッジコンピューティング基盤を強化する．ウェアラブル機器や IoT デバイスを用いた継続的センシングにおいて，安全かつ効率的な情報処理技術を検討する．さらに，視覚・聴覚・嗅覚などを対象とした知覚拡張技術を発展させ，ユーザ体験や QoE（Quality of Experience）を考慮した適応的な提示手法の実現を目指す．加えて，防災，医療福祉，スポーツ，エンタテインメントなど多様な応用領域において実証研究を進め，企業や自治体との連携を通じて社会受容性や実用性の検証を行う．

以上のように，センシング，AI，知覚拡張，社会実装を統合した人間中心型ユビキタスコンピューティング基盤の構築を推進していく方針である．

［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

・K. Hiraoka, Y. Nakamura, Y. Arakawa: "EdgeVLM as a Privacy Filter: Toward Privacy-Aware Activity Recognition From Wearable Camera Using Image Captions," IEEE Access, Vol. 14, pp. 22445–22456 (2026).

・D. Mayumi, Y. Nakamura, Y. Matsuda, K. Yasumoto: "BubblEat: Designing a Bubble-Based Olfactory Delivery for Retronasal Smell in Every Spoonful," Proc. of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA 2025), Article 118, pp. 1–8 (2025).

・Y. Ueji, K. Kaji: "Skill Analysis of Yo-Yo Performance Using a Ring-Type Sensing Device," Proc. of the 15th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2025) (Best Demo Award) (2025).

・R. Tada, K. Kaji, K. Mizuno, A. Naito, N. Chujo, T. Mizuno: "Method for Improving Cooking Activity Classification Accuracy Using Location Information and Procedure Documents," Proc. of the 15th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2025) (Best Poster Award) (2025).

・K. Fuseya, K. Kaji: "Rhythm Rally: Entertainment Sport Combining Table Tennis and Rhythm Game," Proc. of International Workshop on Informatics (IWIN 2025) (Best Presentation Award) (2025).

・K. Hayashi, K. Kaji: "Propose of Visit Promotion System Based on Visit Prediction and Common Topics," Proc. of International Workshop on Informatics (IWIN 2025) (2025).

・T. Yokoyama, K. Murao: "A Contactless Operating Method for a Smartphone by Irradiating Resonant Frequency Sound to a Built-in Capacitive Accelerometer," Proc. of 20th International Conference on Tangible Embedded and Embodied Interaction (TEI 2026), No. 83, pp. 1–6 (Mar. 2026).

・R. Kotera, K. Murao: "Estimating the Position of a Wearable Device Using Pulse Wave Peak Time Differences with a Smartwatch," Proc. of the 29th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2025), pp. 61–67 (Oct. 2025).

・T. Yanagisawa, H. Takahashi, D. Togawa, K. Fukae, K. Arai, T. Imai, H. Miyajima, M. Hattori, T. Kobayashi: "Design of an Autonomous Feeding Support Mechanism for Aquaculture Facilities Using UAVs," Proc. of the 2026 IEEE 2nd International Conference on Consumer Technology (ICCT-Pacific), pp. 419–422 (Mar. 2026).

・H. Takahashi, M. Sasaki, K. Sugiyasu, N. Yokota: "SNS-Based Support System for Evacuation Behavior and Awareness in Distributed Evacuations," Proc. of the 2025 IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2025), pp. 855–856 (Sep. 2025).

・H. Watanabe, T. Terada: "UltrasonicWhisper+: Ultrasonic Attacks Generate Phantom Sounds in Your Hearable," Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol. (IMWUT), Vol. 10, No. 1, Article 21, 33 pages (Mar. 2026).

・Y. Matsuda, T. Kobayashi, H. Watanabe, K. Yasumoto: "Effects of Visual Stimuli on Perceived Sound Volume in Virtual Reality Spaces," Proc. of the 27th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2025), pp. 286–299 (May 2025).

・Y. Hoji, H. Watanabe, Y. Takegawa: "Silent Speech Recognition Using Ear Canal Pressure Changes," Proc. of the 23rd International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia Intelligence (MoMM 2025), pp. 108–121 (Dec. 2025).

・F. Ahmad, A. Ohnishi, T. Terada, M. Tsukamoto: "Evaluating Wearable Sensors for Combined Physical and Mental Fatigue Assessment," Journal of Bioinformatics and Neurosciences (JBINS), Vol. 12, No. 1, pp. 637–649 (Dec. 2025).

・A. Ohnishi, S. Utsumi, T. Terada, M. Tsukamoto: "Don’t Blink at the Wrong Time: Smart Glasses Inducing Timely Blinks," IEEE Access, Vol. 13, pp. 95163–95163 (May 2025).

・R. Nakamura, A. Ohnishi, T. Terada, M. Tsukamoto: "System to Support Acquiring Midfoot Strike Running through Intermittent Feedback of Foot Pressure Balance," Proc. of the 23rd International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2025), pp. 40–52 (Dec. 2025).

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B14

研究課題名

深層学習における表現学習に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

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：

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

当該年度の研究では、深層学習モデルの内部で形成される表現が、どのような階層性、選択性、幾何構造、不変性を持つのかを明らかにすることを目的として、画像分類モデルおよび言語モデルを対象とした複数の解析を行った。これらの研究は、単に分類精度や検出精度の向上を目指すものではなく、深層学習モデルが入力データをどのような特徴空間へ写像し、その表現をどのように分類・転移・識別に利用しているのかを解明するものである。したがって、研究全体は、深層学習における表現学習の構造的理解を進めるものとして位置づけられる。

第一に、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）における階層的な特徴形成の解析を行った。この研究では、CIFAR-10 および CIFAR-100 を対象とし、superclass 分類と fine-grained 分類で学習した CNN の内部表現を比較した。具体的には、CKA を用いて同一アーキテクチャ・同一データセットで異なるラベル粒度により学習されたモデル間の層ごとの表現類似度を評価し、さらに t-SNE を用いて各層における潜在表現の分布を可視化した。その結果、CNN の浅い層では、superclass 分類と fine-grained 分類の違いにかかわらず類似した特徴表現が形成されることが確認された。一方、深い層に進むにつれて、fine-grained 分類を行うモデルでは、粗いカテゴリに基づいてまとまっていた特徴が、より細かいクラス単位へ再編成されることが示された。特に CIFAR-10 では、初期層において「動物」と「乗り物」のような粗いグループが形成され、その後、犬、猫、馬、自動車、船、飛行機といった個別クラスへ分離していく過程が観察された。これは、CNN の表現学習が、入力画像を一度に最終クラスへ対応づけるのではなく、視覚的に粗い構造から細かな識別構造へと段階的に表現を形成していることを示す結果である。

さらに、CIFAR-100 においては、人間が定義した superclass が、必ずしも CNN 内部で形成される視覚的特徴空間の構造と一致しないことが示された。そこで、最終畳み込み層などの潜在表現に基づいてクラス間のコサイン類似度を計算し、階層的クラスタリングによりデータ駆動型の feature-based superclass を構成する方法を提案した。その結果、人間の意味的分類ではなく、CNN が実際に獲得した特徴表現に基づく superclass を用いることで、より一貫した階層的クラスタ構造が得られることが分かった。また、VGG16 のような逐次的な特徴抽出構造を持つモデルでは階層的な表現形成が比較的明瞭に観察される一方、ResNet のように skip connection を持つモデルでは、層ごとの段階的な分離が見えにくくなることも確認された。これは、表現学習の階層性がデータやラベルだけでなく、ネットワークアーキテクチャにも依存することを示している。

第二に、事前学習済み CNN を用いた転移学習において、Batch Normalization（BN）パラメータがどのように特徴選択に関与するかを解析した。この研究では、ImageNet で事前学習された CNN の畳み込み層を凍結し、新たに挿入した BN 層のパラメータと分類器のみを学習することで、少数の学習パラメータにもかかわらず Full fine-tuning に近い性能が得られる理由を調べた。特に、BN のスケーリングパラメータである γ に着目し、γ が事前学習済み特徴チャネルの重要度を反映する適応的特徴選択器として機能するという仮説を検証した。論文では、ablation 解析、γ 分布解析、overlap rate 解析、相関解析を組み合わせ、γ の大きいチャネルを削除すると分類性能が大きく低下する一方、γ の小さいチャネルを削除しても性能低下が小さいことを示している。また、γ の選択パターンはデータセットごとに異なるが、同一データセット内では乱数シードを変えても再現性が高いことが示された。

この結果は、転移学習を表現学習の観点から解釈する上で重要である。すなわち、転移学習とは、事前学習済みモデルの全特徴を一様に利用する過程ではなく、新しいタスクに有用な特徴チャネル

を選択し、不要な特徴チャネルを抑制する過程である。BN の γ は、各チャネルの出力を乗算的に制御するため、特徴の強調・抑制を直接的に担うことができる。したがって、γ は単なる正規化パラメータではなく、事前学習モデルが持つ汎用的な視覚表現を、対象タスクに適合するよう再構成する軽量な表現制御パラメータであると解釈できる。この研究により、表現学習における「特徴の獲得」だけでなく、「獲得済み特徴の選択と再利用」という側面が明確になった。

第三に、低次元特徴空間における分類器の幾何構造を解析した。Neural Collapse 理論では、十分に学習された分類モデルにおいて、クラス平均特徴ベクトルと分類器重みベクトルが Simplex ETF 構造に近づくことが知られている。しかし、この構造が成立するためには、特徴次元がクラス数に対して十分である必要がある。具体的には、クラス数を (C)、特徴次元を (d) とすると、Simplex ETF 構造を形成するには少なくとも (d \geq C-1) が必要である。これに対し、本研究では、(d < C-1) となる dimension-deficient setting において、分類器の決定領域がどのような幾何構造を形成するかを理論的・実験的に解析した。

この研究では、低次元制約下で現れる代表的な構造として、Even-angle Structure、Island Class Structure、Unargmaxable Class Structure を整理した。Even-angle Structure は、低次元制約下でも可能な限り対称性を保つ構造である。Island Class Structure は、一部のクラスが原点近傍に有界な内部決定領域を形成する構造であり、分類器重みとバイアス項の相互作用によって生じる。Unargmaxable Class Structure は、あるクラスがいかなる入力に対しても最大 logit を取れず、実質的に決定領域を失う構造である。実験では、MNIST、CIFAR-10、CIFAR-100 を用い、Island Class Structure が低次元制約下で再現性を持って出現することを確認した。また、Island Class Structure は完全な決定領域喪失ではなく、対称的なクラス配置と決定領域喪失の中間的な幾何状態として位置づけられることが示された。

この成果は、表現学習における潜在空間の次元設計の重要性を示している。特徴次元を小さくすることは、単なる圧縮ではなく、クラス間の幾何的配置可能性を制約する操作である。低次元特徴空間では、全クラスを対称的に配置することができず、一部のクラスが幾何的に不利な決定領域を持つ場合がある。したがって、表現学習によって得られる潜在表現は、分類器の決定境界と不可分であり、潜在次元、クラス数、分類器重み、バイアス項の関係によって、その有効性が決定される。この研究は、表現空間の幾何構造が分類性能やクラス間の公平性に直接関係することを示すものである。

第四に、AI 生成文検出における表現学習の解析を行った。この研究では、従来の AI 生成文検出器が内容語、すなわちトピックや意味内容に依存しやすく、未知ドメインでは性能が低下するという問題に対し、機能語の文脈依存表現に着目した。内容語は分野や話題によって大きく変化するが、前置詞、助動詞、接続詞、代名詞などの機能語は文法構造を担うため、トピック依存性が相対的に小さい。本研究では、RoBERTa を用いて機能語に対応する隠れ状態ベクトルを平均化する FW-RoBERTa と、機能語に限定して Pseudo-Log-Likelihood を計算する FW-PLL を提案した。これにより、内容語に含まれる意味情報を意図的に除去し、文法的・構造的な典型性を特徴量として抽出する枠組みを構築した。

実験では、arXiv、XSum、WritingPrompt といった複数ドメイン、および GPT 系、Llama 系、Gemma 系、さらに最新の生成モデルを含む複数の生成器を対象に評価を行った。その結果、通常の RoBERTa 検出器は In-Distribution 環境では高精度を示すものの、Out-of-Distribution 環境では大きく性能が低下することが確認された。一方、FW-RoBERTa および FW-PLL は、未知ドメインや未知生成モデルに対しても比較的高い頑健性を示した。これは、AI 生成文と人間執筆文の違いが、単に語彙や意味内容に現れるのではなく、機能語の使い方や文脈内での典型性に構造的な差として現れることを示している。

この研究は、言語モデルにおける表現学習の観点からも重要である。RoBERTa の隠れ状態は文脈依存的な単語表現であり、機能語のみを取り出したとしても、その表現には周囲の文脈との関係が反映されている。したがって、FW-RoBERTa は単なる機能語頻度の利用ではなく、機能語が文脈内でどのように配置され、どの程度典型的に用いられているかを捉える表現学習手法である。これは、画像分類において意味ラベルではなく特徴空間の構造を解析した研究と対応しており、言語においても意味内容から独立した構造的特徴を抽出できることを示している。

以上の研究を総合すると、当該年度の成果は、深層学習における表現学習を多面的に解析したものとしてまとめられる。CNN の階層的グルーピング解析では、入力画像が浅い層で粗い視覚カテゴリとしてまとめられ、深い層で細粒度クラスへ分化する過程を明らかにした。BN を用いた転移学習の研究では、事前学習済み特徴のうち、対象タスクに有用なチャネルが γ パラメータにより選択されることを示した。低次元分類器の研究では、潜在特徴空間の次元不足が分類器の幾何構造を制約し、Island Class のような非対称な決定領域を生

じさせることを明らかにした。AI 生成文検出の研究では、内容語ではなく機能語の文脈依存表現に注目することで、ドメインに依存しにくい構造的特徴を抽出できることを示した。

したがって、当該年度の研究成果は、深層学習モデルの内部表現が、データ、ラベル構造、ネットワーク構造、転移先タスク、特徴次元、生成過程の違いに応じて、階層的に形成され、選択され、幾何的に配置され、不変特徴として抽出されることを示した点に意義がある。これらの成果は、表現学習を「高精度な特徴を自動的に得る技術」としてではなく、「モデル内部における特徴空間の形成・再構成・制約・利用の過程」として捉えるための基盤を与えるものである。今後は、これらの知見を統合し、深層学習モデルがどのような条件下で汎用的で解釈可能な表現を獲得し、どのような条件下で表現の偏りや幾何的破綻が生じるのかを体系的に明らかにすることが重要である。

[3] 今後の研究の推進方策

これまでの研究により、深層学習モデルの内部表現は、入力データやラベル構造に応じて階層的に形成されるだけでなく、転移学習時には事前学習済み特徴の中からタスクに有用な特徴が選択され、さらに特徴次元や分類器構造の制約によって幾何的な偏りや破綻が生じることが明らかとなった。また、画像分類に限らず、AI 生成文検出においても、意味内容ではなく機能語の文脈依存表現に着目することで、ドメインに依存しにくい構造的特徴を抽出できることが示された。これらの成果を踏まえ、本年度以降は、深層学習における表現学習を、階層性、選択性、幾何構造、不変性の観点から統合的に理解することを目的として研究を推進する。

第一に、CNN における階層的表現形成の解析をさらに発展させる。昨年度の研究では、浅い層で粗いカテゴリ構造が形成され、深い層で細粒度クラスへ分化する傾向が確認された。一方で、CIFAR-100 のように人間が定義した superclass がモデル内部の特徴空間と一致しない場合があることも示された。そこで今後は、データ駆動型に構成した feature-based superclass を用い、CNN がどのような基準でクラス間の類似性を形成しているのかをより詳細に解析する。特に、VGG 型、ResNet 型、Vision Transformer 型など、異なるアーキテクチャにおける層ごとの表現変化を比較し、ネットワーク構造が階層的表現形成に与える影響を明らかにする方針である。これにより、深層モデルが人間の意味的カテゴリではなく、視覚的・統計的特徴に基づいてどのような内部階層を形成するのかを体系的に理解する。

第二に、転移学習における特徴選択機構の解析を進める。昨年度の研究では、Batch Normalization の γ パラメータが、事前学習済み特徴チャネルの重要度を反映し、対象タスクに応じた適応的特徴選択器として機能することを示した。本年度以降は、この知見を発展させ、BN パラメータによる特徴選択がどの層で強く生じるのか、また対象データセットの性質によって選択される特徴チャネルがどのように変化するのかを解析する。さらに、γ 値と特徴可視化、クラス間分離度、Neural Collapse 指標、Within-class variance および Between-class variance との関係を調べることで、BN による特徴選択が最終的な表現空間の幾何構造にどのような影響を与えるかを明らかにする。これにより、転移学習を単なる精度向上手法としてではなく、事前学習済み表現の再構成過程として理論的に位置づける。

第三に、低次元特徴空間における分類器幾何の解析を深化させる。昨年度は、特徴次元がクラス数に対して不足する dimension-deficient setting において、Neural Collapse で想定される Simplex ETF 構造が成立せず、Island Class Structure のような非対称な決定領域が生じることを示した。本年度以降は、特徴次元、クラス数、データ分布、バイアス項、分類器重みの関係をより詳細に解析し、どのような条件で Even-angle Structure、Island Class Structure、Unargmaxable Class Structure が生じるのかを理論的・実験的に整理する。また、MNIST、CIFAR-10、CIFAR-100 に加えて、より複雑な自然画像データセットや不均衡データを用いることで、低次元制約下における表現空間の破綻が実問題においてどの程度生じるのかを検証する。これにより、潜在次元の設計やボトルネック構造の設計に対する実践的な指針を得ることを目指す。

第四に、画像表現とテキスト表現を横断する不変特徴抽出の研究を進める。AI 生成文検出の研究では、内容語ではなく機能語の文脈依存表現に注目することで、ドメインに依存しにくい特徴を抽出できることが示された。この考え方は、画像分類におけるデータ駆動型 superclass や BN による特徴選択とも共通している。すなわち、タスクやドメインに依存する表層的特徴を除去し、より本質的で安定した構造的特徴を抽出するという点で共通性がある。今後は、画像・言語の双方において、どの特徴がタスク固有であり、どの特徴がドメインを超えて利用可能な不変表現であるのかを比較検討する。これにより、表現学習における汎化性や頑健性の要因を、データ形式を超えて理解することを目指す。

第五に、これらの研究を統合するための評価指標と解析基盤を整備する。これまでの研究では、CKA、t-SNE、コサイン類似度、階層的クラスタ

リング、BN の γ 分布、overlap rate、相関解析、Neural Collapse 指標、決定領域の可視化など、複数の解析手法を用いてきた。本年度以降は、これらを個別に用いるだけでなく、共通の解析フレームワークとして整理する。具体的には、層ごとの表現類似度、クラス間分離度、特徴選択の再現性、低次元射影における幾何構造、ドメインをまたいだ特徴の安定性を統一的に評価できる実験環境を構築する。これにより、異なるモデル、データセット、タスク間で表現学習の性質を比較可能にする。

以上の方策により、本年度以降の研究では、深層学習モデルの内部表現がどのように形成され、どの特徴が選択され、どのような幾何構造を取り、どの条件で汎化可能な不変表現となるのかを明らかにする。最終的には、表現学習をブラックボックス的な特徴獲得過程として扱うのではなく、データ構造、ネットワーク構造、学習条件、特徴次元、分類器幾何の相互作用として理解する理論的・実験的基盤を構築することが目標である。この研究の推進により、高精度であるだけでなく、解釈可能で、転移可能で、次元制約やドメイン変化に対して頑健な深層学習モデルの設計指針を得ることが期待される。

【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）

・Masato Izumi, Kenya Jin'no, "Exploring latent spaces: A visual comparison of sentence-BERT and GPT-2 models", NOLTA, IEICE, vol. E16-N, no. 2, pp.233-249, April, 2025.
(DOI: 10.1587/nolta.16.233)

・Sora Togawa, Kenya Jin'no, "Understanding Convolutional Neural Networks Through Z-transform: Frequency Domain Analysis of Kernel Feature Extraction", NOLTA, IEICE, vol. E16-N, no. 4, pp. 878-895, Oct., 2025. (DOI: 10.1587/nolta.16.878)

・Mizuki Dai, Kenya Jin'no, "Feature Generalizability in Shallow Layers of CNN and Its Applicability to Transfer Learning", HCI International 2025, 27TH International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2025), in Proc. of HCI International 2025, vol. 70 LNCS 16333 HCI International 2025 - Late Breaking Papers: Part III, pp. -, Gothia Towers Hotel and Swedish Exhibition & Congress Centre, Gothenburg, Sweden, 22 - 27 June 2025.

・Mizuki Dai, Kenya Jin'no, "Quantitative Evaluation of the Effects of Layer Depth and Channel Width on Representation Similarity in CNNs", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 28-31, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・Chika Obata, Kenya Jin'no, "Analysis of the Relationship Between Manifold Structure and Latent Space Capacity of Input Data Using VAE", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 32-35, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・Hiroki Tamegai, Kenya Jin'no, "Analysis of Feature Behavior in Continual Learning with Fixed Regular Simplex Weights", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 93-96, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・Haruki Wakasa, Kenya Jin'no, "Interpreting the Feature Space of LLMs for Classifying Human and Machine-Generated Text", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 156-159, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・Wataru Nakano, Kenya Jin'no, "Examination of the Transformer Model's Learning Process with Synthetic N-Gram Data", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 160-163, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・Jirayus Lapamnuaypol, Kenya Jin'no, "A Study on How Hierarchical Grouping Affects Feature Extraction in CNNs", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 364-367, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・Sora Togawa, Kenya Jin'no, "Impact of Batch Normalization on Transfer Learning in CNNs", 2025 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2025), pp. 372-375, Okinawa, Japan, Oct. 27-31, 2025.

・小端 千佳、神野 健哉, "深層学習における多様体仮説の検証と次元削減手法の評価", 2025 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2025), 1Win4-02, 大阪国際会議場, 大阪, 2025. 5.27 - 5.30

・外川 宙、神野 健哉, "層深度に着目した CNN の重みの特性に関する調査", 2025 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2025), 2Win5-03, 大阪国際会議場, 大阪, 2025. 5.27 - 5.30

・代 美月、神野 健哉, "CNN の中間層における特徴の汎化性と転移学習への応用", 2025 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2025), 2Win5-56, 大阪国際会議場, 大阪, 2025. 5.27 - 5.30

・大和田 拓海、神野 健哉, "拡散モデル生成画像の検出における局所領域への注目の有効性の検討", 2025 年度 人工知能学会 全国大会 (JSAI2025), 3Win5-46, 大阪国際会議場, 大阪, 2025. 5.27 - 5.30

・小端 千佳、神野 健哉, "局所および大域構造に基づく潜在次元数最適化手法の検討", 2025 年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-4, 岡山市 能楽堂ホール tenjin9, 岡山, 2025. 6.13 - 6.14

・若狭 春輝、神野 健哉, "生成文章の識別と生成確率調整による LLM 特徴量の分析", 2025 年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-

24, 岡山市 能楽堂ホール tenjin9, 岡山, 2025. 6.13 - 6.14
・外川 宙、神野 健哉, "転移学習における Batch Normalization の活用に関する調査", 2025 年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-27, 岡山市 能楽堂ホール tenjin9, 岡山, 2025. 6.13 - 6.14
・代 美月、神野 健哉, "SoftMax による画像分類モデル出力の線形分離超平面形成", 2025 年度 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-56, 岡山市 能楽堂ホール tenjin9, 岡山, 2025. 6.13 - 6.14
・若狭 春輝, 神野 健哉, "大規模言語モデル生成文の識別と特徴量の分析", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 24 回情報科学技術フォーラム (FIT2025), E-001, (北海道科学大学, 2025. 9. 3)
・小端 千佳, 代 美月, 神野 健哉, "非線形次元推定と生成品質評価に基づく VAE ボトルネック次元の検討", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 24 回情報科学技術フォーラム (FIT2025), F-011, (北海道科学大学, 2025. 9. 3)
・代 美月, 小端 千佳, 神野 健哉, "CNN 分類器と自己符号化器の再構成特徴に基づくドメイン別特徴抽出の検証", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 24 回情報科学技術フォーラム (FIT2025), F-040, (北海道科学大学, 2025. 9. 4)
・外川 宙, 神野 健哉, "CNN における Batch Normalization のドメイン適用への活用に関する調査", 電子情報通信学会/情報処理学会 第 24 回情報科学技術フォーラム (FIT2025), H-050, (北海道科学大学, 2025. 9. 4)
・神野 健哉, "深層学習分類器における重みベクトルの正則単体構造と学習ダイナミクス", 電子情報通信学会 2025 年ソサイエティ大会, N-1-01, （岡山大学, 2025. 9. 10）
・小端 千佳, 神野 健哉, "深層オートエンコーダと Isomap 埋め込みの幾何・トポロジー類似性検証", 電子情報通信学会 2025 年ソサイエティ大会, N-1-02, （岡山大学, 2025. 9. 10）
・清水 楓音, 神野 健哉, "CNN における Batch Normalization が中間表現とクラス分離性に与える影響の分析", 電子情報通信学会 2025 年ソサイエティ大会, N-1-04, （岡山大学, 2025. 9. 10）
・Lapamnuaypol Jirayus, Jin'no Kenya, "A Study on How Hierarchical Grouping Affects Feature Extraction in CNNs", 電子情報通信学会 2025 年ソサイエティ大会, N-1-08, （岡山大学, 2025. 9. 10）
・爲ヶ井 大樹, 神野 健哉, "固定正則単体重みによる継続学習中の特徴空間変動の解析", 電子情報通信学会 2025 年ソサイエティ大会, N-1-09, （岡山大学, 2025. 9. 10）
・白田 咲樹, 神野 健哉, "クラスタ中心導出による簡易データセット蒸留の提案と評価" 電子情報通信学会 2025 年ソサイエティ大会, N-1-11, （岡山大学, 2025. 9. 10）
・神野 健哉, "生成的・識別的表現学習の特徴量の階層的・幾何学的分析", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2025-49, （名古屋大学, 2025. 10. 3）
・白田咲樹, 神野健哉, "平均基点の角度クラスタリングによる軽量データセット蒸留", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2025-64, （高知城歴史博物館, 2025. 12. 11-12）
・佐々木優斗, 神野健哉, "Lookback Ratio 特徴量を入力とした二値分類器が contextual hallucination の有無を分類できる原因の解明", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2025-65, （高知城歴史博物館, 2025. 12. 11-12）
・小倉理子, 神野健哉, "潜在次元が β-VAE による顔画像異常検知に与える影響の評価 ", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2025-66, （高知城歴史博物館, 2025. 12. 11-12）
・神野健哉, "深層学習の潜在空間の位相的・幾何学的構造解析", 2025（R7）年度 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会, （東北大学電気通信研究所, 2026. 2.19）
・代 美月, 神野健哉, "低次元 Softmax 分類器におけるバイアス項と重みノルムが決定境界に与える影響の幾何学的解析", 電子情報通信学会 2026 年総合大会, N-1-23（九州産業大学, 2026. 3.13）
・白田 咲樹, 神野健哉, "クラス間類似度に着目したデータセット蒸留における代表点設計の検討", 電子情報通信学会 2026 年総合大会, N-1-24（九州産業大学, 2026. 3.13）
・清水 楓音, 神野健哉, "Pre-activation 構造における Batch Normalization のアフィン変換が初期層の Effective Rank に与える影響", 電子情報通信学会 2026 年総合大会, N-1-25（九州産業大学, 2026. 3.13）
・Hiroki Tamegai, Kenya Jin'no, "The Relationship between Feature Space and Images in Image Classification Tasks Using CNN", NOLTA, IEICE, vol. E17-N, no. 2, pp. 455-471, April, 2026. (DOI: 10.1587/nolta.17.455)

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B15

研究課題名

ヒューマン・ワークスペース・インタラクションの新展開

[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

本プロジェクトの目的は，将来のオフィス・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」「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」から引き続き 14 年目となる．

本年度は，2025 年 3 月 30-31 日にかけて，共同プロジェクト研究会を実施し，青山学院大学の伊藤雄一教授と芝浦工業大学の高嶋和毅教授が参加した．各者から直近の取り組みを紹介し，その後，新たなテーマの創出に関して議論した．議論の中で，電磁誘導方式タッチパネルを用い，机や壁のような物理的支持と 3 次元トラッキングを両立するシステムや，MR/AR 環境におけるインタラクティブなパーティションシステムなどが有望なテーマとして挙がった．

上記に加えて，本共同プロジェクトでの議論により端を発した研究テーマのいくつかが成果に繋がった．1 つ目に，Screen-Directed Stretching の研究が挙げられる．この研究では，XR ワークスペースにおいて，作業を中断することなく頸部ストレッチを支援する手法を提案した．ユーザが注視しているバーチャルスクリーンを一時的に移動させることで，ヨー・ピッチ・ロール方向への頭部回旋と一定時間の姿勢保持を自然に誘導し，作業中でも頸部の筋伸張を促すことを実現した．2 つ目に，柔らかさを動的に制御可能な座面デバイスの研究が挙げられる．このデバイスは，ジャミング転移現象を用い，ポリスチレンのビーズを充填して密閉したバッグの内部空気圧を，真空ポンプを用いた空気の流入・流出により制御することで柔らかさの制御を実現した．

[3] 今後の研究の推進方策

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．将来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．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、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

Ryo Sasaki, Kazuyuki Fujita, Yudai Tanaka, Ryo Takahara, Kumpei Ogawa, Yoshifumi Kitamura. Screen-Directed Stretching: Supporting Ergonomic Neck Stretching in XR Workspaces, P*roc. of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2026)*, Apr. 2026.

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・大岡凌，藤田和之，中本葉奈，横須賀佑介，北村喜文．柔らかさを動的に制御可能な座面デバイス．第 33 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 '25) 論文集, 2025 年 12 月．対話発表賞（プログラム委員）．

・佐々木涼，藤田和之，田中雄大，髙原良，北村喜文．バーチャルスクリーンの移動による XR ナレッジワーク中の頸部ストレッチング誘導手法．日本バーチャルリアリティ学会第 30 回大会論文集，pp. 3D2-04，2025 年 9 月．

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B16

研究課題名

多感覚統合過程としての自己運動知覚

[1] 研究代表者・通研対応教員

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）

[2] 当該年度の研究実績の概要

〔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るが，これらの感覚が視覚や聴覚とどのように統合されるのかが，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。

〔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」という多感覚研究における二つの重要な問題に焦点を絞り，以下の 2 点を目的とする。第 1 は，これらの問題の解明に取り組む国内の研究者が集い，コミュニティを形成・維持し，海外の若手研究者の参画も促進することである。第 2 は，このコミュニティを基盤として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の獲得を目指すことである。

〔講演会および研究会の開催状況〕

本年度は，オンライン配信を併用したハイブリッド形式で研究会および講演会を開催した。

研究会（2025 年 9 月 5 日）

東北大学電気通信研究所に隣接する東北学院大学五橋キャンパスを会場として日本心理学会第 89 回大会が開催された。大会準備期間に本プロジェクトのメンバーによって「バーチャルリアリティ（VR）と心理学：基礎から臨床までの試み」の題目でシンポジウムを企画し，共同プロジェクト研究との連携企画として申請したところ，大会企画シンポジウムとして採用され，開催費用の一部を日本心理学会から支給された。

このシンポジウムには，昨年度の研究会にオンラインで参加いただいたオーストラリアの Juno Kim 教授を講演者として招聘した。シンポジウムでの対面交流により，本プロジェクトの研究協力をさらに活性化させることができた。加えて，本研究プロジェクトおよび電気通信研究所の活動の知名度向上にも寄与できた。



講演者と講演題目：

原澤賢充（NHK 放送技研研究所）「最適な HMD 設計のための視覚特性計測」

Juno Kim (UNSW, Sydney, Australia)「知覚の VR と眼医学臨床応用」

山本哲也（徳島大学）「VR と AI エージェントを活用したメンタルヘルスケア」

杉本麻樹（慶應義塾大学）「バーチャル環境における身体拡張と認知」

企画代表者・司会：北崎充晃（日心，VR 会員，共同プロジェクト研究分担者）

司会：坂本修一（通研対応教員）

指定討論者：櫻井研三（共同プロジェクト研究代表者），蒲池みゆき

場所：東北学院大学五橋キャンパス押川記念ホール

企画趣旨：バーチャルリアリティ（VR）は知覚・認知の理解を深化させる研究手法として，また臨床心理学への応用手段として注目を集めてい

る。本シンポジウムでは，VR と心理学の融合領域における最新の知見を，基礎から臨床まで幅広く紹介する。理想的な HMD 設計に必要な知覚特性の計測，VR を用いた視覚研究と眼科的応用，VR を用いたセルフカウンセリング手法，バーチャル環境での身体拡張とその認知に関する研究など，国内外から多様な専門家が登壇する。VR による人間理解の可能性と課題を俯瞰し，心理学における VR 活用の未来を多角的に議論することで，基礎と応用をつなぐ学際的連携を促進することを目的とする。

講演会（2026 年 3 月 5 日）

自己運動知覚の基盤となる両眼立体視の生理学的機序の研究で著名な，大阪大学の藤田一郎先生にご講演いただいた。



講演者：藤田一郎（大阪大学大学院生命機能研究科/立命館大学総合科学技術研究機構/関西大学総合情報学部）

場所：東北大学電気通信研究所 本館 4 階 M431

講演題目：二つの目，二つの視覚系で見る３Ｄ世界：両眼立体視の大脳生理学的基盤

講演要旨：多くの人にとって，両目で見る世界は，片目で見る世界とは質的に異なる３Ｄ感を持つ。「個々の物体は立体的な形と容積を持ち，空間内の特定の奥行き位置を占め，物体と物体の間には何もない空間が存在する」と感じる。この感覚は，網膜に投影される外界像が左右の目で水平方向にわずかにずれていることに起因する。その位置ずれ（両眼視差）の大きさと向きは物体の面，輪郭，模様，角などの奥行き位置によって決まるため，このずれに基づき脳はその奥行き位置を算出し，立体感覚を生み出している（両眼立体視）。

両眼視差の最初の検出は一次視覚野で行われるが，奥行き知覚の成立には，さらに視覚連合野での情報処理を必要とする。かつて，この機能は頭頂葉経路が担うと考えられていたが，側頭葉経路と頭頂葉経路の両方がこの情報処理に関わる。側頭葉経路は，相対視差の算出，細かい奥行き知覚，面や３Ｄ物体の認識に関わり，頭頂葉経路は，絶対視差の伝達，粗い奥行き知覚，反射性輻輳開散運動の制御に関与する。サルにおいては，側頭葉経路中段の V4 野の細胞は，反応に時間がかかるものの両眼対応問題を解決した信号を伝えており，頭頂葉経路中段の MT 野の細胞は，素早く反応するものの両眼対応問題を解決しておらず，偽の両眼対応の信号も送っている。このように二つの経路は，両眼立体視において相補的な役割を果たし，それぞれの相対的貢献度は、視覚環境や視覚刺激に依存して変化する。

［3］今後の研究の推進方策

プロジェクト 3 年目（最終年度）の 2026 年度は，7 月 1〜4 日にニュージーランドのオークランドで開催される APCV（Asia-Pacific Conference on Vision）において，Juno Kim 教授が主催する SPInet との共催で会員企画シンポジウム「XR in Multisensory Perception」が採択されている。本プロジェクトの代表者として櫻井がこのシンポジウムに登壇し，講演する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・北﨑 充晃, 櫻井 研三, 原澤 賢充, Kim Juno, 山本 哲也, 杉本 麻樹, 蒲池 みゆき, 坂本修一　【日本バーチャルリアリティ学会・東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究・日本心理学会連携企画】バーチャルリアリティ（VR）と心理学：基礎から臨床までの試み, 日本心理学会第 89 回大会発表論文集, 2025, https://doi.org/10.4992/pacjpa.89.0_10

(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（2025 年度）

採択番号　R06/B19

研究課題名　二値化畳み込みニューラルネットワークモデルを対象とした ランダムフォレストによる近似探索手法と FPGA 実装

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
齋藤　寛（会津大学コンピュータ理工学部）

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

AI モデルの推論基盤として，GPU，CPU，FPGA 等が利用されている．GPU は高性能ではあるが消費電力が高く，CPU は GPU と比べ消費電力は低いが性能も低い．FPGA は，専用回路を実現することで高速化と低消費電力化の両立が期待される．しかし，大規模な AI モデルを実装するためには，量子化や近似が欠かせない．これまでに様々な近似手法が提案されているが，手法によって最適解の探索の仕方が異なる．

本研究では，二値化畳み込みニューラルネットワーク（BCNN）モデルのような量子化が済んだ CNN（QCNN）モデルを対象に，ランダムフォレスト（RF）による近似探索手法を提案すると共に，FPGA への実装を通じて提案手法の評価を行う．提案手法は，要求推論精度・性能・回路面積を基に探索を行うことで，要求を満足する最適な近似 QCNN モデルを生成する．

今年度は，提案手法により得られた近似 QCNN モデルを FPGA に実装し，性能，回路面積，消費電力を評価することを目的に，研究を行った．

まず，4 つの CNN モデル（LeNet，AlexNet，ResNet-14，および MobileNet）に対し，量子化を行った．なお，MobileNet については，２パターンの量子化（MobileNet_b と MobileNet_q）を準備した．次に，３パターンの要求推論精度（R1 は厳しく，R3 は緩く，R2 はその中間）を与え，提案手法にて QCNN の層を近似した．

次に，各層をパイプライン的に動作するようパイプラインアーキテクチャを定義し，機能毎に Verilog ハードウェア記述言語にて回路モデルを準備した．なお，RF を構成する決定木は，マルチプレクサと比較器でモデリングした．

最後に，Intel Stratix IV FPGA を対象に，Intel Quartus Prime 23.1 Standard Edition と Questa-Intel FPGA 23.1*を用いて回路合成と機能検証を行った．合成後の回路面積，実行時間，消費電力，および消費エネルギーは表１，2，3，4 の通りである．回路面積，実行時間，動的消費電力，および消費エネルギーはそれぞれ，Quartus Prime のレポート，シミュレーションによる画像１枚の推論時間，シミュレーションデータを用いた電力解析，および実行時間と動的消費エネルギーの積より得た．

表 1　回路面積.

Models	Circuits	ALUTs	Ratio [%]
LeNet	QCNN	66,589	100
	R1	66,453	99
	R3	17,722	27
AlexNet	QCNN	—	—
	R1	—	—
	R3	336,198	—
ResNet-14	QCNN	417,070	100
	R1	358,665	86
	R3	348,558	84
MobileNet_b	QCNN	494,462	100
	R1	494,462	100
	R3	428,843	88
MobileNet_q	QCNN	391,054	100
	R1	402,801	103
	R3	315,277	81

表 2　実行時間.

Models	Circuits	CT [ns]	Cycles	Time [ns]	Ratio [%]
LeNet	QCNN	13	591	7,683	100
	R1	13	591	7,683	100
	R3	9	591	5,319	69
AlexNet	QCNN	—	—	—	—
	R1	—	—	—	—
	R3	29	1,143	33,147	—
ResNet-14	QCNN	18	4,336	78,048	100
	R1	18	4,336	78,048	100
	R3	19	4,336	82,384	106
MobileNet_b	QCNN	18	1,282	23,076	100
	R1	18	1,282	23,076	100
	R3	17	1,282	21,794	94
MobileNet_q	QCNN	24	1,282	30,768	100
	R1	25	1,282	32,050	104
	R3	14	1,282	17,948	58

表 3　動的消費電力.

Models	Circuits	Power [mW]	Ratio [%]
LeNet	QCNN	27	100
	R1	27	99
	R3	13	48
AlexNet	QCNN	—	—
	R1	—	—
	R3	218	—
ResNet-14	QCNN	519	100
	R1	370	71
	R3	280	54
MobileNet_b	QCNN	963	100
	R1	963	100
	R3	885	92
MobileNet_q	QCNN	353	100
	R1	340	96
	R3	488	138

表 4　消費エネルギー.

Models	Circuits	Energy [nJ]	Ratio [%]
LeNet	QCNN	204	100
	R1	202	99
	R3	65	32
AlexNet	QCNN	—	—
	R1	—	—
	R3	7,227	—
ResNet-14	QCNN	40,520	100
	R1	28,926	71
	R3	23,029	57
MobileNet_b	QCNN	963	100
	R1	963	100
	R3	885	92
MobileNet_q	QCNN	10,856	100
	R1	10,916	101
	R3	8901	82

提案手法を用いない QCNN に対し，提案手法を用いた R1 と R3 は，要求精度に応じて消費エネルギーが削減されることを確認した．特に，R3 の場合，最大で 68%の削減につながった（LeNet）．

[3] 今後の研究の推進方策

QCNN の精度が要求精度に近い場合，近似できる可能性が減る．この問題を解決するため，残差量子化の適用を考える．また，出力に対する影響が少ない層とチャネルの近似を行うことで，要求精度の範囲で効率的に近似を行う．

[論文，学会発表，および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Y. Suzuki, H. Saito, S. Semba, Y. Tomioka, and T. Hanyu. “Random Forest-Based Approximation for Quantized CNNs on Edge FPGAs”, In Proc. of IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC), 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　R06/B20

研究課題名

確率的コンピューティングアルゴリズムに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員
研究代表者：
越田俊介（八戸工業大学工学部工学科）
通研対応教員：
鬼沢直哉（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：
藤岡与周（八戸工業大学工学部工学科）

[2] 当該年度の研究実績の概要

今年度ではまず、昨年度の研究にて重点的に検討したノード数 4 のグラフに対する最大カット問題において、確率ビットを用いた並列 Simulated Annealing アルゴリズム（pSA アルゴリズム）を実行した場合の収束特性をさらに詳しく解析した。その結果として、ハミルトニアンの特性をさらに詳しく把握することができた。具体的には、pSA アルゴリズムの動作開始から十分に時間が経過した後、エネルギーの値がプラス方向で一定値を示すという現象が確認された。この現象を見ると、pSA アルゴリズムに対するエネルギーが最小化されていなくても収束はしているように思えるが、各スピンは時間の経過とともに反転動作を続けているので、結論として、エネルギーが一定値を示しても pSA アルゴリズムが安定な状態に収束しているわけではないことが明らかになった。

また今年度では、グラフすなわち隣接行列の要素を他の様々なパターンに変更した場合の pSA アルゴリズムの特性についても検討した。隣接行列の与え方は無限に存在するため、現時点でははっきりとした結論は得られていないが、実験的には、隣接行列を変更してもほとんどの場合において pSA アルゴリズムが発散するという結果が得られた。

[3] 今後の研究の推進方策

今後の研究では、当初の目標としていた理論的な解析を進めていく。具体的には、pSA アルゴリズムにおける確率ビットの更新規則をひとつの非線形なシステムとして捉え、そのダイナミクスを数学的に解析して、pSA アルゴリズムが安定して動作するための理論的な条件を明らかにすることを目指す。

この解析にあたって、本研究では、最大カット問題を具体的な題材として扱い、外部からの直接的な影響を考慮しない条件下での挙動を検討する。各ビットの次時刻の状態は、現在の他のビットからの入力値の総和と、内部で生成されるランダムな信号の組み合わせによって決定される。このとき、入力の総和に対して非線形な応答を返す関数（tanh 関数）を用いることで、ビットの状態変化を確率的に記述する。この一連の動きを、システム全体の振る舞いを記述する状態方程式として定義し、解析の基盤とする。

今後は、以下の 3 つの段階に分けて解析を進める。

＜手順 1：平均的な振る舞いの導出＞
個々のビットが持つ確率的な不確実性を直接扱う代わりに、ビットが特定の状態を取る「平均的な期待値」に着目する。そして、更新規則の両辺で期待値をとることにより、確率に依存しない決定論的な動きを記述するモデル（平均場モデル）へと変換する。

＜手順 2：安定状態近傍での線形近似＞
この手順では、システムが落ち着いた状態（固定点）を想定し、その周辺で発生するごく小さなずれ（摂動）がどのように伝わっていくかを検討する。複雑な非線形の関係式を、この摂動の範囲内で線形な変化として近似することで、行列計算を用いた解析を可能にする。

＜手順 3：安定動作条件の特定＞
手順 2 によって導出した行列の性質を詳しく調べることで、上述の摂動が時間とともに消えて安定していくのか、あるいは拡大して不安定な振動につながるのかを判定する。この判定によって、pSA アルゴリズムが発散せずに正常に動作するための具体的なパラメータの範囲や条件を導く。

本研究では上述の理論的な解析を進めるとともに、その理論の妥当性を、計算機実験によって実証する。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・花松学，花松憲光，岡山透，越田俊介，石山武，“統合型深層時系列モデルと一次元近赤外拡散反射分光による食品中非金属異物の非破壊識別，” 八戸工業大学紀要（査読有），vol. 45，no. 1，pp. 16-26，Dec. 2025.

・越田俊介，“制御・信号処理の分野横断技術の高度化に関する調査専門委員会の総括，”電気学会研究会，June 2025.

・花松学，花松憲光，岡山透，越田俊介，石山武，“近赤外分光法と Attention 統合深層学習モデルによる非金属異物(毛髪)検出の高精度化，”電気学会研究会，June 2025.

・渡部元基，越田俊介，“サンプリング周期の観点から考察するオイラー法の安定性について，”電気学会研究会，June 2025.

・清水達也，鬼沢直哉，越田俊介，“確率ビットを用いたシミュレーテッドアニーリングの最大カット問題における挙動の観測，”電気学会研究会，Nov. 2025.

・渡部元基，越田俊介，“むだ時間要素を加えた一次遅れ系に対する信号処理のサンプリング 周期の観点からのオイラー法の安定性について，”電気学会研究会，Nov. 2025.

・渡部元基，越田俊介，“信号のサンプリング周期に基づいた一次遅れ系の微分方程式に対するオイラー法の安定性について，”音楽音響研究会，Jan. 2026.

・越田俊介，工藤史也，“コード進行に基づく楽曲の情報量解析に関する一検討，”音楽音響研究会，Jan. 2026.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025B01

研究課題名

不揮発 FPGA エミュレータとその IoT 応用に関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
鈴木　大輔（会津大学）

通研対応教員：
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）

研究分担者
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）
齋藤　寛　（会津大学）
富岡　洋一（会津大学）

[2] 当該年度の研究実績の概要

2025 年度は、2024 年度に実装した基本モジュールおよびツールフローをベースに、任意規模の不揮発 FPGA SoC を FPGA ボード上に実装するためのツールフローの構築を行った (図 1)。

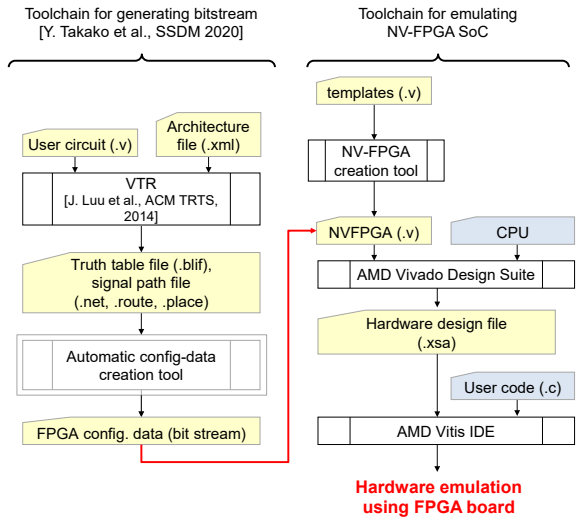


図 1: 不揮発 FPGA エミュレータ実装フロー

本ツールフローにおいては FPGA の規模を Python スクリプトにより任意規模に拡張可能な機能が追加されている。また、個々の基本モジュールに対して、電源のオン/オフ状態を保持するレジスタを追加し、稼働状況に応じた電源制御、すなわち不揮発 FPGA SoC の省電力化のための機能の追加を行った。

また不揮発 FPGA SoC の低消費電力性を活かした IoT アプリケーションを想定し、センサから有効な入力が来ない場合は演算処理をスキップする機能を備えた IoT デバイスを考案した (図 2)。本デバイスでは予め設定されたサイクル時間でデータを取得、そのデータが有効なものであればシステムを起動しデータの処理を実行、無効であれば演算自体をスキップするというものであり、したがって動的電力の削減も可能となる。

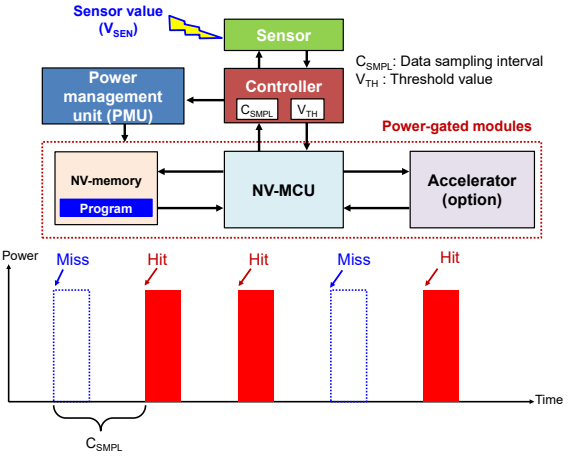


図 2: センサ入力駆動型 IoT デバイス

本提案技術の動作実証のため、Digilent 社の温度センサ Pmod TMP2 と同社の FPGA ボードを用いた簡易的な IoT センサノードを作成した (図 3)。

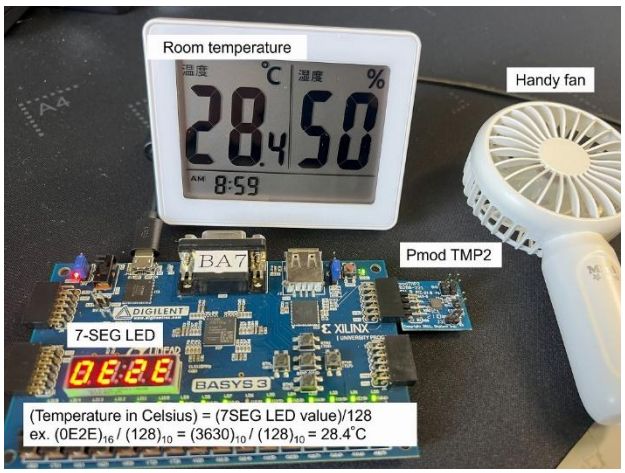


図 3: TMP2 および Basys3 を用いた IoT センサノード

実装したセンサノードにおいて「しきい値として28.2℃を設定し、それを超えた場合のみ有効データ数として加算する」という処理を実行したところ、図 4 ように 28.2℃を超えたところから有効データ数の加算が始まり、ハンディファンで 28.2℃以下に冷却することで、加算が止まることを確認、提案手法の実機動作を確認した。

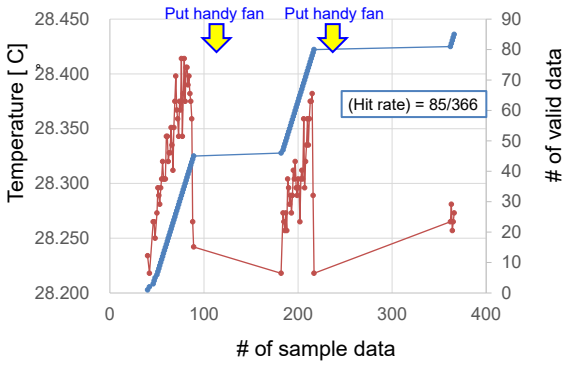


図 4: 測定結果 (しきい値を超えたデータのみ有効データとして加算)

[3] 今後の研究の推進方策

本年度は、不揮発 FPGA エミュレータの実装フローの構築と、その IoT 応用に向けた要素技術の開発を行った。2026 年度はこれらの知見をベースに、不揮発メモリ素子の特性ばらつきや、書込み/読出し電力のモニタ機能など、より実際の不揮発 FPGA に近い評価ができるよう、基本モジュールの改良を行うとともに、大規模化を行う。また不揮発メモリをデジタル回路としてエミュレートするだけでなく、システムメモリの一部を実際の不揮発メモリを置き換えた「リアルな」不揮発ハードウェアの実装も行い、上記エミュレータとの比較などを行っていく。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・D. Suzuki, A. Tamakoshi, T. Yoneda, M. Natsui, Y. Takako, T. Hanyu, ``An FPGA-Based Rapid-Prototyping Platform for Spintronics-Based Edge-Computing Hardware," Proc. IEEE 55th Int. Symp. Multiple-Valued Logic, pp. 71-73, June 2025.

・D. Suzuki and T. Hanyu, ``A Nonvolatile IoT Sensor Node Based on Input-Data Driven Power-Gating Scheme and Its Emulation Using FPGA and Temperature Sensor," Proc. IEEE Int. Symp. Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC), pp. 570-573, Dec. 2025.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025B02

研究課題名

量子技術と物質科学の融合による次世代デバイスの創製

[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

2025 年 10 月 8 日（水）～9 日（木）の日程で、研究会を開催した（開催場所：宮城県宮城郡松島町「松島センチュリーホテル」）。2 日間にわたる研究会では、大学・企業・公的研究機関に所属する研究者による計 20 件の講演が行われ、量子センシング、スピントロニクス、交替磁性体、トポロジカル物性、フォノニクス、超伝導デバイス、モアレ量子系、量子コヒーレンス制御、非平衡ナノスケール計測など、多岐にわたる最先端の研究成果が紹介された。

特に、ダイヤモンド NV 中心を用いた量子スピン顕微鏡や量子センシング技術に関する研究が大きく進展した。量子スピン顕微鏡においては、ダイヤモンド内部で生じる光学収差を考慮した厳密な回折モデルを構築し、広視野磁場イメージングにおける空間分解能やコントラストの定量評価を行った。その結果、ダイヤモンド厚さが空間分解能に与える影響を明らかにするとともに、高分解能化に向けた設計指針が得られた。また、NV 中心を用いた広帯域スピン波イメージングや非線形スピン波ダイナミクスの可視化を実現し、四マグノン散乱を含む非平衡スピンダイナミクスに関する定量的知見を得た。さらに、ナノダイヤモンド量子センサを利用した高圧環境下での圧力分布イメージングや、hBN 中ホウ素空孔欠陥を利用した動的核スピン分極の研究など、量子センシングの適用範囲拡張に関する成果が得られた。加えて、局所電磁場環境を制御することで量子ビットのコヒーレンス時間やラビ周波数を制御する研究も進展し、量子コヒーレンス制御技術への応用可能性が示された。

また、トポロジカル磁性体および反強磁性体に関する研究として、走査型 NV 中心顕微鏡を用いたカゴメ反強磁性体 Mn3Sn の磁区・磁壁観測が行われ、磁壁内部のカイラリティや八極子秩序の可視化に成功した。これにより、従来はマクロ測定では困難であった反強磁性磁気テクスチャのナノスケール観測が可能となり、カイラル反強磁性体の理解に向けた重要な知見が得られた。加えて、強スピン軌道相互作用を有する酸化物 SrIrO3 を用いたスピンホール磁気抵抗研究では、高抵抗率スピン流生成物質における縦スピン流の重要性を明らかにし、トポロジカル物質や酸化物量子材料を用いたスピン流デバイス設計に対する有益な知見を得た。

そのほか、表面弾性波を利用した電荷密度波薄膜デバイスにおける Shapiro step の観測、マグノン・フォノン結合系におけるマグノンポーラロン生成、量子コヒーレンス制御などについても活発な議論が行われた。特に、マグノン・フォノン混成系においては、表面弾性波共振器を利用した強結合状態の実現が報告され、量子ダイナミクス制御への応用可能性が示された。研究会期間中には講演後や懇親会も含めて分野横断的な討論が継続的に行われ、量子技術と物質科学を融合した次世代デバイス創製に向けた共同研究の方向性や応用可能性について議論を深めた。また、本年度は新規プロジェクトの初年度として、大学・企業・研究機関の研究者間の連携強化を進めるとともに、若手研究者・学生を含めた研究コミュニティ形成を推進した。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、量子センシング、スピントロニクス、量子輸送、トポロジカル物性などの研究分野間の連携をさらに深化させ、量子物質に特有の物理現象を利用した新原理デバイス創製へ展開することを目指す。特に、交替磁性体や反強磁性体におけるスピン制御、強スピン軌道相互作用系における非平衡輸送、マグノン・フォノン結合系、量子コヒーレンス制御などを中心として、基礎物理とデバイス応用をつなぐ研究を推進する。また、大学・企業・研究機関間の継続的な交流を通じて、新たな共同研究テーマの創出と若手研究者育成を進め、量子技術と物質科学を横断する研究コミュニティの発展に貢献したい。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

[1] K. Fujiwara, T. Kawada, N. Nikaido, J.-H. Park, N. Jiang, S. Takada, and Y. Niimi, “Observation of Shapiro Steps in the Charge Density Wave State Induced by Strain on a Piezoelectric Substrate”, Phys. Rev. Lett. **135**, 256304 (2025).

[2] N. Jiang, S. Suzuki, I. Sasaki, K. Yamada, R. Kawahara, S. Takada, Y. Shimamoto, H. Shoji, Y. Kousaka, J. Ohe, Y. Togawa, and Y. Niimi, “Spin-phase detection by spin current in a chiral helimagnet”, Phys. Rev. B **112**, L180402 (2025).

[3] M. Tokuda, F. Matsumoto, N. Maeda, T. Higashihara, M. Nakao, M. Watanabe, S.-H. Lee, R. Nakamura, M. Maeda, N. Jiang, D. Yue, H. Narita, K. Aoyama, T. Mizushima, J. Ohe, T. Ono, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi, “Observation of the crossover from quantum fluxoid to half-quantum fluxoid in a chiral superconducting device”, Sci. Adv. **11**, eadw6625 (2025).

[4] Shunsuke Nishimura, Moeta Tsukamoto, Kento Sasaki, and Kensuke Kobayashi, “Investigations of optical aberration on quantum diamond microscopy toward high spatial resolution and sensitivity”, Rev. Sci. Instrum. **96**, 053706 (2025).

[5] Kensuke Ogawa, Moeta Tsukamoto, Yusuke Mori, Daigo Takafuji, Junichi Shiogai, Kohei Ueda, Jobu Matsuno, Jun-ichiro Ohe, Kento Sasaki, and Kensuke Kobayashi, “Quantitative imaging of nonlinear spin-wave propagation using diamond quantum sensors”, Phys. Rev. B **112**, 224411 (2025).

[6] Kensuke Ogawa, Moeta Tsukamoto, Yusuke Mori, Daigo Takafuji, Junichi Shiogai, Kohei Ueda, Jobu Matsuno, Kento Sasaki, and Kensuke Kobayashi, “Wideband wide-field imaging of spin-wave propagation using diamond quantum sensors”, Phys. Rev. Appl. **23**, 054001 (2025).

[7] Ryotaro Suda, Kenshin Uriu, Kouki Yamamoto, Misaki Sasaki, Kento Sasaki, Mari Einaga, Katsuya Shimizu, and Kensuke Kobayashi, “GPa Pressure Imaging Using Nanodiamond Quantum Sensors”, J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 124707 (2025).

[8] Moeta Tsukamoto, Zhewen Xu, Tomoya Higo, Kouta Kondou, Kento Sasaki, Mihiro Asakura, Shoya Sakamoto, Pietro Gambardella, Shinji Miwa, YoshiChika Otani, Satoru Nakatsuji, Christian L. Degen, and Kensuke Kobayashi, “Observation of chiral domain walls in an octupole-ordered antiferromagnet”, Phys. Rev. B **112**, L020404 (2025).

[9] Yuki Nakamura, Shunsuke Nishimura, Takuya Iwasaki, Shu Nakaharai, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Kento Sasaki, and Kensuke Kobayashi, “Systematic investigation of dynamic nuclear polarization with boron vacancy in hexagonal boron nitride”, Phys. Rev. B **111**, 195404 (2025).

[10] Shintaro Nomura, Hideyuki Watanabe, Susumu Sasaki, Satoshi Kashiwaya, “Controlling quantum spin coherence using a microscopic metallic structure”, Appl. Phys. Express **19**, 034001 (2026).

[11] Yujun Wang, Shunzhen Wang, Masashi Kawaguchi, Jun Uzuhashi, Akhilesh Kumar Patel, Kenji Nawa, Yuya Sakuraba, Tadakatsu Ohkubo, Hiroshi Kohno, and Masamitsu Hayashi, “Significant electron-magnon scattering in layered ferromagnet Cr2Te3”, Commun. Phys. **8**, 262 (2025).

[12] Yuta Kobayashi, Arata Mitsuzuka, Haruo Kondo, Makoto Shoshin, Jun Uzuhashi, Tadakatsu Ohkubo, Masamitsu, and Masashi Kawaguchi, “Light-Programmable Reorientation of the Crystallographic c Axis of Tellurium Thin Films”, Nano Lett. **26**, 104 (2026).

[13] Daiki Hatanaka, Motoki Asano, Megumi Kurosu, Yoshitaka Taniyasu, Hajime Okamoto, and Hiroshi Yamaguchi, “On-chip magnon-polaron generation in mode-matched cavity magnomechanics”, Phys. Rev. Appl. **24**, 064053 (2025).

[14] T. Morimoto, K. Ueda, J. Shiogai, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno, “Effect of crystallinity on spin-orbit torque in 5d iridium oxide IrO2”, Phys. Rev. Mater. **9**, 054409 (2025).

[15] S. Hori, K. Ueda, J. Shiogai, and J. Matsuno, “Longitudinal spin current absorption in bilayers composed of ferromagnetic and highly resistive non-magnetic layers”, Jpn. J. Appl. Phys. **64**, 103002 (2025).

(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（2025 年度）

採択番号　2025B03

研究課題名

マイクログリッドのネットワーク化に向けた強化学習とゲーム理論の融合アプローチ

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
ショウ シュン（豊橋技術科学大学）

通研対応教員：
長谷川 剛（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、IoT エネルギーシステムにおける自律的 AI エージェントの信頼性確保に関する研究を進めた。近年、分散型のエッジ環境において、機器が自律的に意思決定を行い、資源をめぐって相互に交渉する場面が増えつつある。こうした状況では、エージェントが効率的に振る舞うだけでなく、真正かつ予測可能な形で行動することが重要となるが、観測に雑音が含まれ、計算資源が限られる現実的な条件下では、その担保が容易でないという課題がある。

本年度は、この課題に対して、近似的なメカニズム設計と即時的な是正的措置を組み合わせる枠組みに着目し、その理論的な性質を一定の条件下で整理した。あわせて、戦略的な逸脱を抑制するために必要となる条件について、解析的な観点から検討を加えた。

また、理論と実装上の挙動とを結びつけるため、学習型エージェントを用いた評価環境を構築し、近似精度や監視の信頼性といった要因が全体の挙動に与える影響を観察した。これと並行して、本研究テーマの基盤をなす機械学習や強化学習をはじめとする各種の学習手法についても、一般的な観点から継続的に学習・整理を進め、最新の研究動向の把握に努めた。

これらの取り組みを通じて、計算資源やセンシング精度が限られる状況においても、軽量な仕組みによって戦略的な逸脱を抑制しうる方向性について一定の知見を得た。得られた成果の一部は、関連分野の学術論文としてとりまとめを進めている。

[3] 今後の研究の推進方策

今後は、本年度に得られた知見をさらに発展させ、より現実的な IoT 環境を想定した検討を進める予定である。特に、監視の不確実性や参加者の動的な変化、通信環境の変動といった要因が、エージェントの学習挙動や市場全体の安定性に与える影響について、多面的に分析を深めていきたいと考えている。また、本年度の検討では単一の時点における枠組みを中心に扱ったが、今後はより長期的・連続的な相互作用を想定した拡張についても、可能性を探っていく方針である。

こうした検討を着実に進めるうえでは、関連する専門的知見を有する東北大学の担当教員との継続的な打ち合わせが必要不可欠であると考えており、定期的な議論を通じて、研究の方向性、評価設計、ならびに理論的な前提の妥当性について丁寧に精査していきたい。とりわけ、評価環境の設計や得られた結果の解釈にあたっては、多角的な視点からの助言が研究の質を高めるうえで重要な役割を果たすと見込まれる。

加えて、本研究テーマと密接に関わる機械学習・強化学習等の学習手法についても、引き続き一般的な観点から研究・調査を継続し、得られた知見を本研究の枠組みへ反映させていく。こうした連携と継続的な学習を基盤としつつ、理論面と実証面の双方から検討を補強し、成果の対外的な発信についても積極的に取り組んでいく方針である。研究全体としては、信頼性の高い自律的 AI エージェントの実現に向けて、着実かつ柔軟に研究を推進していきたいと考えている。

［論文、学会発表、および関連成果等］

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Xun Shao, Aoba Otani, Kohsuke Yamakawa, Yuto Hirasuka, Cheah Wai Shiang, “Objective Mismatch in Federated Learning under Missing Class Support,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol: E109-A(11), no:11, pp: 1-10, Nov 2026

・Xun Shao, Kohsuke Yamakawa, Otani Aoba, “HeteroSense-FL: A Multimodal Simulation Testbed for Modality-Heterogeneous Federated Learning,” Elsevier SoftwareX, DOI: 10.1016/j.softx.2026.102689, 2026

・Xun Shao, Runji Cai, Sumire Yoneno, Go Hasegawa, “Topology-Aware and SLA-Oriented Reinforcement Learning for Service Function Chain Placement Using GAT-Based PPO,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, DOI: 10.1587/transfun.2025eap1227, 2026

・Bingyi Liu, Haoxiang Zhao, Weizhen Han, Mengwei Li, Shihong Cui, Xun Shao*, “Socially-Aware Collaborative Learning Framework for Robust and Adaptive V2V Communication in CDSs,” IEEE Transactions on Computational Social Systems, DOI: 10.1109/tcss.2026.3665256, 2026

・Xun Shao, Ryuuto Shimizu, Zhi Liu, Kaoru Ota, Mianxiong Dong, “Truthful and Trustworthy IoT AI Agents via Immediate-Penalty Enforcement under Approximate VCG Mechanisms,” IEEE Internet of Things Journal, DOI: 10.1109/jiot.2026.3695126, 2026

(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 Cooperative Research Project
Research Implementation Report（FY2025）

Grant No.　2025B04

Title

Reducing Perceptual and Physical Fatigue in Virtual Reality

[1] Principal Investigator(PI)・Research Collaborator of RIEC

PI：

TAG, Benjamin（School of Computer Science and Engineering, UNSW Sydney）

Research collaborator of RIEC：

KITAMURA Yoshifumi（RIEC）

[2] Summary of Research Results for the Year

During the first year of the project, our activities focused on consolidating the scientific foundations required to investigate perceptual and physical fatigue in virtual reality systems. While formal collaborative studies between UNSW Sydney and Tohoku University have not yet commenced, progress has been made through ongoing research efforts that directly support the project's objectives.

A major contribution has been the continued investigation of ergonomic interaction techniques for immersive environments. Building upon previous work on quantifying muscle fatigue in virtual reality, research activities have further advanced methods for measuring and modelling physical strain during prolonged mid-air interactions. This work contributes directly to Objective 2 of the project, which seeks to minimize musculoskeletal strain and prevent fatigue during extended VR use. Our current research activities focus mainly on neck muscles.

Recent research has focused on fatigue-aware evaluation methodologies, including improved metrics for estimating muscular endurance and recovery during immersive interaction tasks. These studies provide empirical foundations for understanding how interaction design influences physical workload and user comfort, generating knowledge that can inform future ergonomic intervention techniques and adaptive VR systems.

In parallel, ongoing work on visual fatigue mitigation in immersive environments has continued through collaboration with researchers at Tohoku University. This includes investigations into gaze-based techniques for reducing visual strain during immersive reading tasks. These efforts align with the broader project objective of reducing both perceptual and physical fatigue in virtual reality and provide an initial basis for future joint studies. This has led to a publication at ACM CHI 2026.

The first project year has therefore established a strong research foundation by consolidating expertise in fatigue measurement, ergonomic assessment, and fatigue mitigation strategies. These outcomes will inform the design of collaborative studies planned for subsequent project phases and support future grant applications and joint research initiatives.

The research themes explored within this project are also gaining broader international recognition. In March 2026, Dr. Benjamin Tag organized a Dagstuhl Seminar "Exertion and Fatigue in Body-Based Interactive Systems" (Seminar 26172), which brought together leading researchers in Human-Computer Interaction, biomechanics, ergonomics, and cognitive psychology to examine fatigue in body-based interactive technologies.

[3] Future Research Promotion Measures

The project partners have maintained communication regarding research directions and opportunities for collaboration. Due to scheduling and research commitments during the first project year, the planned joint research seminar and exchange activities have been deferred to the second year of the project.

A research visit to the Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University, is currently planned for 2026. The visit will involve Dr. Benjamin Tag and a postgraduate research student from UNSW Sydney. The objectives of the visit are to strengthen the collaboration between the participating institutions, present ongoing research related to physical and perceptual fatigue in virtual reality, identify opportunities for joint experimental studies, and develop future funding applications.

The seminar and research exchange will provide an important platform for integrating expertise in VR

ergonomics, visual perception, display latency, and fatigue mitigation. Outcomes from the visit are expected to contribute directly to the next phase of the project, including the development of collaborative user studies and the refinement of fatigue-aware design approaches for immersive systems.

Building on the international momentum generated through the Dagstuhl Seminar “Exertion and Fatigue in Body-Based Interactive Systems,” the project team is exploring the organization of a future NII Shonan Meeting focused on perceptual and physical fatigue in virtual and extended reality systems. The collaboration between UNSW Sydney and RIEC provides a strong foundation for this initiative, which would further strengthen international research networks and create opportunities for future collaborative projects, publications, and funding applications.

[Appendix]
[Papers, Conference Presentations, and Related Achievements]
(1) List of Papers and Conference Presentations (with acknowledgements)
・Hongyue Xu, Kazuyuki Fujita, Yi Li, Benjamin Tag, Guanghan Zhao, and Yoshifumi Kitamura. 2026. EyeXRciser: Guiding Eye Exercises without Task Interruption in Virtual Workspaces. In Proceedings of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '26). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 456,1–22. https://doi.org/10.1145/3772318.3790688
・

(2) List of Papers and Conference Presentations (without Acknowledgements), and Related Achievements
・n.a.
・

共同プロジェクト研究報告書

採択番号　　2025B05

研究課題名

幾何代数に基づく高次元ニューロ情報処理

[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：
礒川　悌次郎（兵庫県立大学）
Marcos Eduardo Valle (University of Campinas)
Danilo Mandic (Imperical College London)
Eckhard Hitzer (国際基督教大学)
金城　光永　（琉球大学）
橘　完太　　（工学院大学）
田中　剛平　（名古屋工業大学）
山田　功　　（東京工業大学）
山根 敏志　　（日本アイ・ビー・エム）
中川　八穂子（日立製作所）
黒江　康明　（同志社大学）

[2]研究期間

2025 年 4 月　～　2026 年 3 月

[3] 本プロジェクトの目的、背景や概要

背景と目的は以下のとおりである。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。これは高度に成熟した Si-LSI 技術に支えられている。一方、パターン認識や学習など、従来型処理方式が苦手としていた問題も、脳型情報処理を実現するニューラルネットワークが現代的な人工知能(AI: artificial intelligence)の基盤となることで、効果的に解くことができるようになってきた。まさに AI の時代である。

ニューラルネットワークは人間の脳の理解に基づく技術である。その発展モデルのひとつとして複素ニューラルネットワークや量子ニューラルネットワークなどの高次元ニューラルネットワークが提案されており、その物理的な波動的性質との整合性を利用して、パターン認識、画像処理、時系列予測等への応用がなされている。 代表者はこうした複素ニューラルネットワークの特徴にいち早く注目し、レーダ画像の画像処理などセンシング・イメージング等へ応用しその有効性を明らかにしており、本分野において世界的に主導的役割を果たしてきている。またスピン波を利用するリザバーコンピューティング・ハードウエアを提案・推進するなど、脳型デバイス面でも新たな展開を推進してきた。

高次元化ニューラルネットワークの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。このような枠組みは Geometric Algebra （幾何代数）ともよばれている。そして現実物理と処理数理の間を取り結ぶところで有用な幾何代数に基づくニューラルネットワークの基礎を探求し利用を促進することに多くの期待が集まっている。

人間理解に基づく超知的システムの創出を進めるためにも、上記のように人や環境を含む現実物理とニューロ適応処理の数理とを密に結びつけることが必要不可欠であり、そこでは幾何代数に基づくニューラルネットワークが大きな役割を果たすと期待される。本プロジェクトの目的は、幾何代数に基づくニューラルネットワークの基礎の構築とその利用システムの実現である。

以下に概要を記す。本年も年 1 回の研究会を行った。特に今年度（2025 年度）は、この分野の最高の国際会議 IEEE/INNS IJCNN 2025 Rome が開催されたことに同期して、General Chair の Danilo Comminiello と代表者が研究打ち合わせを行った。当該エリアのスペシャルセッションを開催したことも、研究活性化につながった。このように海外メンバを含んだ取り組みを行った。

[4]研究計画及び内容

まず、IEEE および INNS の旗艦国際会議である、IJCNN 2025 Rome では、複素および高次複素ニューラルネットワークのスペシャルセッションを開催し、多くの参加者を得た。これには当該国際会議の General Chair であり同じ分野の研究者である Danilo Comminiello も参加し、充実した議論となった。

東北大通研で開催した研究会では、幾何代数に基づくニューラルネットワークのニューロダイナ

ミクスを力学系の理論を用いて評価した。その中で、特に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，時系列バターン認識の観点から見た最適なニューロダイナミクスを議論した。時空間リザバー、ラムダ型磁気ナノワイヤリザバー、パウリ代数やディラック代数との関係、説明可能複素ファジーモデリングなどについて議論した。当日の様子を次のウェブにまとめた。
https://www.eis.t.u-tokyo.ac.jp/news/NNTC_CVNN/

[5] 研究成果と波及効果等

(5-1) 研究成果

研究会における発表の一つは、新たな四元数リザバーコンピューティングによる地表の時空間分類であった。四元数は、偏波情報を統一的に表現することができ、偏波合成開口レーダー（PolSAR）データ処理で広く利用されている。PolSAR データの量が増加するにつれて、空間的な変化だけでなく時間的な変化も推定することがますます重要になる。そこで、四元数リザーバコンピューティング（QRC）を用いた時空間 PolSAR データ解析を提案した。また高次元ニューラルネットワークの理論的な広がりについて、パウリ代数、ディラック代数、オオクボ代数などにも言及しながらクリフォード代数と四元数に関する概観と議論も行った。応用面では生リングのための風の利用方法に関して、説明可能複素ファジイモデリングの有効性を示した。またハードウエアではラムダ型の磁気ナノワイヤを用いるリザバーコンピューティングについてその基本特性を議論した。研究会における議論も、理論から応用まで多岐にわたり、その広がりが実感できるものであった。

(5-2) 波及効果と発展性等

このように、本研究は「幾何代数に基づく高次元ニューロ情報処理」という基盤的な研究であると同時に応用も見据えており、研究成果の波及効果と発展性は極めて高い。今後もそのような展開を進める予定である。また、今回の成果を踏まえ、2026 年度の国際会議 WCCI 2026 Maastricht においてもスペシャルセッションを提案して採択されており、本共プロからのメンバー発表も行われる予定である。

[6]まとめと今後の課題

次年度（2025 年度）も関連国際会議があり、サテライト的にそこでの対面討論も行いながら、通研にける研究会にもそれが活かされるよう、計画を進めている。これによって、より一層国際化を進めてゆく予定である。

［論文、学会発表、および関連成果］

（1）成果リスト（謝辞あり）

[1] K.Kawai B.Konishi R.Natsuaki A.Hirose
Quaternion Reservoir Computing for Spatiotemporal Analysis in Polarimetric Synthetic Aperture Radar Neurocomputing 658 (2025) 131633 10.1016/j.neucom.2025.131633

[2]J.Chen Y.Song A.Hirose
Spintronic reservoir computing with interpretable nonlinearity [OpenAccess]
Physical Review Research 7 (2025) 013310 10.1103/PhysRevResearch.7.013310

[3] J.Chen Y.Song A.Hirose
Analytic-signal-based input-output modeling inspires passband signal learning for spin-wave reservoir computing
Physical Review Applied 23 (2025) 034045 10.1103/PhysRevApplied.23.034045

[4] Y.Otsuka R.Natsuaki A.Hirose
ROPOSAL OF A CONTEXT-AWARE POLSAR FILTER BASED ON QUATERNION WAVELET SHRINKAGE FOR EFFICIENT LAND COVER CLASSIFICATION
Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2025 Brisbane
Proc. (Aug. 3-8, 2025, Brisbane) TU2.P10.2

[5] K.Kawai R.Natsuaki A.Hirose
Spatiotemporal PolSAR Analysis Using Quaternion Reservoir Computing
Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2025 Brisbane
Proc. (Aug. 3-8, 2025, Brisbane) TU1.M2.2

（2）関連リスト（謝辞なし）と関連成果

[6] Nektarios A. Valous, Eckhard Hitzer, Dragoş Duşe, Rodrigo Rojas Moraleda, Ferdinand Popp, Meggy Suarez-Carmona, Anna Berthel, Ismini Papageorgiou, Carlo Fremd, Alexander Rölle, Christina C. Westhoff, Bénédicte Lenoir, Niels Halama, Inka Zörnig, Dirk Jäger, *Computational workflows for natural and biomedical image processing based on hypercomplex algebras*, Patterns Vol. 6, 101388**,** 1+32 pages, published online 15 Oct. 2025. Open Access. DOI: , https://doi.org/10.1016/j.patter.2025.101388, URL: https://www.cell.com/patterns/fulltext/S2666-3899(25)00236-3, Preprint: https://arxiv.org/abs/2502.07758

[7] E. H., *Properties of the Geometric Product of Two Oriented Points in Conformal Geometric Algebra*, In: Magnenat-Thalmann, N., Kim, J., Sheng, B., Deng, Z., Thalmann, D., Li, P. (eds): Advances in Computer Graphics, CGI2024 Proceedings Part III, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 15340, pp. 377-389, Springer, Cham (First Online: 25 February 2025), Chapter 29, ISBN: 978-3-031-82023-6, Article DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-82024-3_29. Preprint: https://doi.org/10.5281/zenodo.15043692

[8] E.H., *On Clifford Geometric Space-Time Algebras and Symmetries*, in N. Faustino, M. dos Santos Ferreira, U. Kaehler, N. Vieira (eds.), *Hypercomplex Analysis and Its Applications - Extended Abstracts of the International Conference Celebrating Paula Cerejeiras 60th Birthday*, Trends in Mathematics, Research Perspectives Ghent Analysis and PDE Center 9, SpringerNature/Birkhaeuser, Berlin, Chapter 9, 8 pages, 25 May 2025. DOI: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-86858-0_9, ISBN: 978-3-031-86857-3. Preprint: https://doi.org/10.5281/zenodo.15043646

[9] Fukino Go and Tachibana Kanta, A convolution-based asymmetry metric for intersegmental synergistic coordination in sagittal 2d gait analysis, J. of Science and Technology, Vol.23, No.10B, pp.1-6, 2025

[10] Fujii Shunpei and Tachibana Kanta, On a Dissimilarity Metric for Analyzing Body Synergistic Coordination in Non-Periodic Motion, ENGAGE Workshop, 2025

[11] Tachibana K., Explainable Modeling of Windfoiling Takeoff and Touchdown with Fuzzy , 2025 International Symposium on Novel and Sustainable Technology

[12] Chen Zhengwei and Tachibana Kanta, Viewing Angle Estimation of Castles Using Only Images of Their Lower Structures, 2025 International Symposium on Novel and Sustainable Technology

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025B06

研究課題名

サイバーとフィジカルの連携による高機能マルチメディアに関する研究

[1] 研究代表者・通研対応教員

研究代表者：
菰田光太郎（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
2026 年 1 月日（20 名参加）
・研究発表会，6 回開催
2025 年度（5 月，7 月，9 月，11 月，1 月，3 月，各参加者 20 名程度）

1 月に東北大学電気通信研究所にて，研究会を実施し，各研究分担者の研究進捗を共有するとともに，分野の最先端をゆく研究者を招聘して招待講演を聴講，また今後の研究の方向性について討議する機会を設けた．

令和 8 年 1 月日，東北大学電気通信研究所にて，研究会を行った．招待講演 2 件，口頭発表講演 件

本プロジェクトでは，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にて毎年度小特集号を設けており，本プロジェクト研究分担者を中心とした編集委員会を組んでいる．

- 2026 年 4 月号 ”Special Section on Multimedia Information Security and Enrichment - Further linkages between cyber and physical – “
  - 投稿受付：招待論文 1 件，レター論文 1 件，一般論文 2 件
- 2027 年 4 月号 ”Special Section on Enriched Multimedia - Toward Intelligent and Multimodal Media in the Era of Generative AI -“
  - 現在編集中

[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．当研究プロジェクトの課題はこのような生成物の多機能化を先導しており，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．

[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. 高橋知弘・藤本忠博（岩手大），「LSTM を用いたカードマジックのルーティンの生成」
2. Candy Olivia Mawalim・Yutong Wang,・Aulia Adila・Shogo Okada・○Masashi Unoki（JAIST），``Multilingual Audio Deepfake detection: A Robust and Generalizable Hybrid Model Approach’’
3. Nopparut Li・Candy Olivia Mawalim・○Masashi Unoki（JAIST），``Signal Modification Techniques in Protecting Voice Personae Against Speech Synthesis Systems’’
4. ○Khalid Zaman・Yasufumi Uezu・Shunsuke Kidani・Masashi Unoki（JAIST），`` Study on Acoustical Features Related to Auditory Perception for Imitated Speech Detection’’
5. ○井上叶典・小嶋徹也（東京高専），「背景 ROI 領域を活用した新しい印刷耐性データハイディング方式」
6. ○森田耀斗・小嶋徹也（東京高専），「印刷耐性データハイディング手法における誤り分布の分析」
7. ○森　奎壱・川村正樹（山口大）「プルーニングに堅牢な連想電子透かし法による CNN 保護手法」

8. ○嘉藤祐作・今泉祥子（千葉大），「柔軟な復元を実現するブロック歪みを回避した EtC 画像の可逆情報埋込み法」
9. ［招待講演］[Invited Talk] ○Simying Ong（Universiti Malaya），``The Unconventional Data Hiding in Images”
10. ○齋藤華和・藤本忠博（岩手大），「視点依存実背景投影プロジェクションマッピングの全周化」
11. ○野田真太郎・桂井麻里衣（同志社大），「衣服領域抽出モデルのための訓練データ拡張方法の検討」
12. ○下坂幸太・桂井麻里衣（同志社大），「検索クエリの美的属性に着目した LLM に基づく画像検索手法の検討」
13. ［招待講演］○綿岡晃輝（SB Intuitions），「大規模基盤モデル開発における安全性対策」
14. ○村田晴美（中京大）・山本華帆（湘南工科大）・荻原昭夫（近畿大），「ベースフレーズを用いた音楽電子透かし法の検討」
15. ○河畑則文（金沢大），「プライバシー保護のためのスクランブル処理による画像の暗号化とその復元に関する基礎的検討」

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025B07

研究課題名　誰もが安全に楽しくセーリングにアクセスできる「人船一体」のインタラクション研究会

[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）

研究分担者：
大西　淳児(筑波技術大学)
デルゲルバヤル エルデネサンブー(筑波技術大学)
松尾政輝(筑波技術大学)
坂尻正次(筑波技術大学)
三浦 貴大(産業技術総合研究所)

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究は、視覚障害者を含む多様な利用者が安全かつ主体的にセーリングへ参加できる環境を実現するため、帆走技術と支援インタラクションをユニバーサルデザインの観点から再構成するものである。とくに、艇・セイラー・支援者・環境情報が相互に補完し合う「人船一体」の状態を、海洋スポーツにおけるインクルーシブな水上モビリティとして位置付け、視覚情報に依存しがちな帆走判断を聴覚・触覚等の代替的なフィードバックへ変換する方法を検討した。

2025 年度は、研究会の初年度として、視覚障害者向け帆走支援デバイス SoundTelltales を中心に、支援インタラクションの設計思想、実装条件、実証方法の整理を進めた。具体的には、セール上のテルテールが示す風の流れを、単なる視覚情報の置換ではなく、操船者が次に取るべき帆走操作へ結び付くタスク指向の音響フィードバックとして再設計した。風向・風速、セールの迎角、艇の姿勢などの情報をどの粒度で提示すべきか、また、競技性・楽しさ・主体性を損なわない支援のあり方について、共同研究者およびセイラビリティ関係者との意見交換を行った。

実装面では、センサーから得られる帆走状態の情報をリアルタイムに処理し、適正トリムへの近さや修正方向を音で提示するプロトタイプを改良した。とくに、視覚障害セイラーが自らセールトリムの良否を把握しやすくなるよう、過剰な言語指示に依存しない非音声フィードバックと、必要に応じた最小限の言語支援を組み合わせるハイブリッドな支援方式を検討した。併せて、通信断やセンサーデータ欠落時には明確な警告音を出し、人的支援へ切り替える運用上の安全方針を整理した。

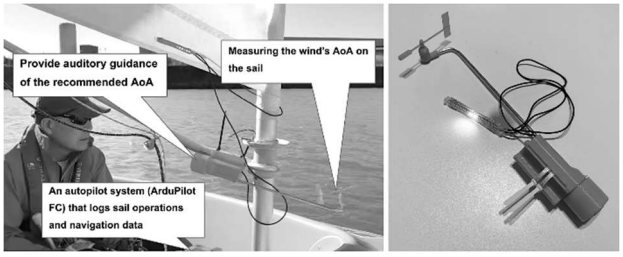


図 1 感覚代行デバイス「SoundTelltales」

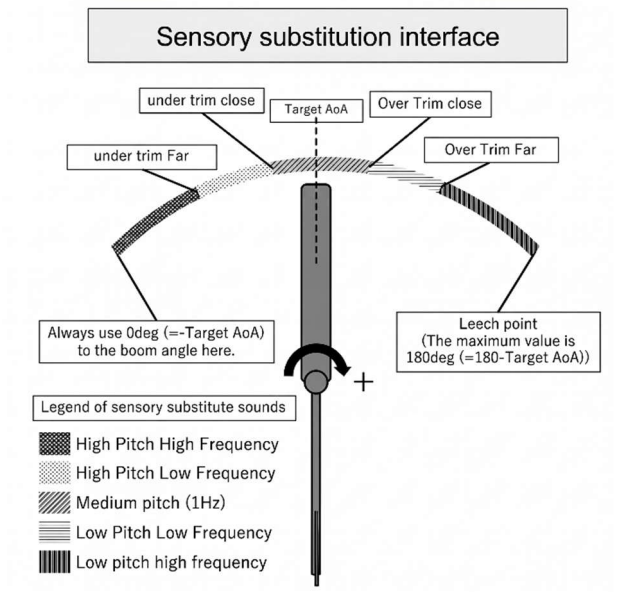


図 2　感覚代行フィードバックの概要

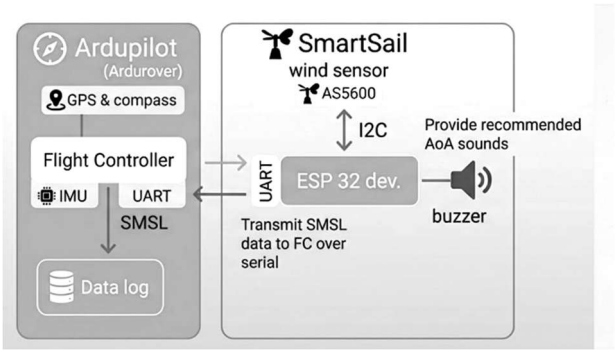


図 3　OSS を活用した帆走記録支援システム

社会実装面では、2025 年 11 月に開催された全国ハンザクラスブラインドセーリング大会 2025 におい

て、SoundTelltales を大会艇へ装着し、実競技に近い環境での利用可能性を確認した。これにより、実験内の評価にとどまらず、ブラインドセーリングの現場で実際に運用可能な支援技術として、装着方法、音の聞き取りやすさ、支援者との役割分担、競技運営上の課題を具体的に把握することができた。



図 4　全国ハンザクラスブラインドセーリング大会 2025 の様子

研究成果の発信としては、視覚的テルテール情報を迎角ベースの聴覚フィードバックへ変換する方法をまとめた論文 “Auditory Sensory Substitution for Inclusive Sailing: Real-time Sail Trim Feedback based on Angle of Attack” が ICCHP 2026 に採択され、2026 年 7 月に発表予定である。本成果は、セーリングにおける暗黙的・身体的な「風との対話」を、視覚障害の有無を問わず共有可能な感覚モダリティへ再符号化する試みとして位置付けられる。

[3] 今後の研究の推進方策

次年度以降は、初年度に整理した設計要件と現場フィードバックを踏まえ、SoundTelltales の信頼性向上と評価設計の具体化を進める。第一に、風向・風速、迎角、艇体姿勢等の計測値を安定して取得し、帆走状況に応じた音響提示へ変換する処理を精緻化する。とくに、強風・微風、リーフの有無、艇種やセール形状の違いにより最適トリム条件が変化するため、固定的な閾値ではなく、現場で調整可能な設計とする。

第二に、評価面では、従来の人的な言語支援と、提案する音響支援の役割を明確に分け、視覚障害セイラーの主体的な判断、操作のタイミング、安心感、楽しさ、技能習得への影響を検証する。単に晴眼者と同等の速度や順位を目指すのではなく、セイラー自身が帆走状態を理解し、独立性と安全性を両立しながら参加できるかを主要な評価観点とする。

第三に、東北大学電気通信研究所の知見を生かし、センサー情報処理、インタラクション設計、遠隔・自動支援を含む水上モビリティ技術との接続可能性を検討する。将来的には、ブラインドセーリングだけでなく、高齢者、初心者、身体機能に制約のある利用者にも応用可能な、ユニバーサルデザインに基づく帆走支援インタフェースとして展開する。

また、セイラビリティ団体、日本セーリング連盟関係者、アクセシビリティ研究者との連携を継続し、実証実験、研究発表、教育・普及活動を一体的に進める。これにより、海洋スポーツにおけるインクルーシブな参加機会の拡大と、「人船一体」のインタラクション研究の社会実装に向けたロードマップを具体化する。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・Sueda, K., Miura, T., et al.: *Auditory Sensory Substitution for Inclusive Sailing: Real-time Sail Trim Feedback based on Angle of Attack*. ICCHP 2026 (accepted, to appear), July 2026.

(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（2025 年度）

採択番号　2025B08

研究課題名

自然とオープンソースを活かしたインクルーシブな「探究」STEAM プログラム研究会

[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）

研究分担者：
塚原 直樹（株式会社 CrowLab）
七田 麻美子（埼玉大学）
福島 大吾（一般社団法人まめな）
松本 友哉（合同会社とびしま）
林 剛史（一般社団法人 Thank 総合研究所）

[2] 当該年度の研究実績の概要

本研究会は、「自然とオープンソースを活かしたインクルーシブな『探究』STEAM プログラム研究会」として、地域に残る自然・文化資産と、OSS（オープンソース）技術を組み合わせ、学習者の探究力や問題解決能力を高める教育モデルの仕組み化・パッケージ化を検討するものである。とくに、瀬戸内海や山形等の離島地域に残る島舟・みかん船等の海洋文化資産の課題を、単なる地域課題ではなく、一次情報に基づく STEAM 探究の教材資源として再構成することを目指した。

2025 年度は、研究会の初年度として、海洋 STEAM プログラムと生態観察プログラムの双方について、現場での実践可能性と教育的価値を整理した。海洋分野では、広島県呉市・大崎下島を中心に、柑橘産業や島内移動を支えてきた木造運搬船等の文化的背景を踏まえ、船の保存・再生、オフグリッド化、OSS 水上ドローン技術の活用可能性を検討した。これにより、廃棄寸前の船を、地域住民・学生・来訪者が関わる学びと観光のハブとして再生する方向性を具体化した。
また、現在まで中学・高校の探究学習の支援を行ってきた経験から、大学教員等が探究科目関わる際の課題を洗い出した。またそれを踏まえて高等学校の教員などからの聞き取りを行い、探究科目の実施に関する課題を整理した。その結果、指導体制の強化のためにも指導自体にマネタイズの可能性を見出す必要性があることが分かった。具体的な指導方法に関しての課題としては、探究活動のもととなる問いの立て方に関する指導方法、論文の執筆そのものに関する指導方法が挙げられた。また、生徒の探究活動の時間的制約などが課題として上がった。そこで、カラスの生態観察を例に、短期間で実施可能な教育プログラムについて検討を行った。



図　1 広島大崎下島で実施した STEAM ワークショップ



図 2　ワークショップのテーマとなった島内唯一現存のみかん船とアップサイクルの検討

2026 年 1 月 6 日に実施した研究会では、今夏に広島・山形の中山間部で実施した「海の暮らし」をテーマとする STEAM ワークショップの報告に基づき、探究学習支援事業としての展開可能性を議論した。ドローンや OSS 等の普及性の高いリソースを活用し、現場ニーズの高い探究課題遂行基礎力を養成すること、さらに PROG 等の客観評価ツールと組み合わせることで、教育効

果の質保証を伴うパッケージ化や、全国展開に向けた人材確保を進める方向性を共有した。

また、活動内容を整理するため、「地域の資産喪失」と「探究学習の指導難」への同時解をテーマとする発表用ポスター案を作成した。ポスターでは、瀬戸内の「みかん船」の DX アップサイクルを、海と山のケーススタディとして対比的に示し、自然・文化（Analog）とデジタル（Digital）を融合させることで、地域資産をインクルーシブな STEAM 教材へアップサイクルする研究会の全体像を可視化した。これにより、研究会メンバー間で、教育効果、地域連携、事業化可能性、外部資金申請へ向けた論点を共有する基盤が整った。

[3] 今後の研究の推進方策

次年度以降は、初年度に整理した実践知と現場課題を踏まえ、海洋 STEAM と生態観察 STEAM を統合した「地域資産アップサイクル探究パッケージ」の設計を進める。第一に、瀬戸内・山形等の海洋文化資産を対象としたプログラムでは、島舟や廃船の構造・歴史・利用文化を調査する人文的探究と、ソーラーパネル、蓄電池、センサー、OSS 水上ドローン等を用いる工学的探究を組み合わせ、地域の記憶を保存しつつ、学習・観光・地域交流の場として再活用する実施手順を整理する。

第二に、カラスの生態観察の短期間の探究学習プログラムについて、実施内容を具体的に整理し、モデルケースの実施に向けた調整を行う。

第三に、探究的な学習活動の教育効果の評価については、学校教育の現場においても、質的、量的な評価方法を求める声も多い。そこで本プログラムでも上記の学習活動を単なる体験イベント的なものとして終わらせるのではなく、PROG 等の客観的評価ツールを活用し、課題発見力、協働力、自己効力感、Agency 等の変化を可視化していく。これにより、探究活動を大学入試の総合型選抜やキャリア形成にも接続し得る学習成果として整理し、導入校や連携自治体に対して説明可能な質保証の枠組みを構築する。

第四に、持続可能な運営体制の確立に向けて、学校向けのカリキュラム・評価パッケージ、企業の CSR/CSV や技術実証との接続、オフタイムの船活用等による観光・地域収益化を含めた複線的な収益モデルを検討する。補助金のみに依存しない事業モデルを構築することで、研究会が産学官民連携のハブとなり、他地域へ横展開可能な教育・地域振興モデルへ発展させる。

さらに、次年度以降の RISTEX 等の外部資金獲得に向け、海と山の実践を統合した研究計画、評価設計、連携体制、社会実装シナリオを具体化する。局所的なワークショップや個別事例にとどめず、自然・文化・ICT を融合した探究学習の社会共通基盤として、指導者育成、教材公開、オンラインコンテンツ化、事業化・法人化の可能性も含めて検討を進める。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

ホームセンターからはじまる地域 STEAM：分散型ファボラボによる自然体験×デジタル探究の社会実装に関する研究　助成金額 2,000 千円
https://cainz-dif.or.jp/grant/2025/

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025B09

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膜タンパク質のイオンチャネルを対象に，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。

2025 年 10 - 12 月にかけて，ナノ，バイオ，エレクトロニクスに関連する分野の著名な外国人研究者を招いての研究会を，本共同プロジェクト研究会の共催として電気通信研究所において対面で開催した。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。

【開催した研究会】

①The 8th FRIS-TFC Collaboration Event「Interdisciplinary seminar on advanced bioelectronics at the interface of engineering and life sciences 工学・生命科学融合セミナー：先端バイオエレクトロニクスの展望」

日時：2025 年 10 月 20 日（月）　10:00-11:30
会場：東北大学知の館

ドイツ・アーヘン工科大学（RWTH）Institute of Materials in Electrical Engineering 所長の Sven Ingebrandt 教授を招聘し，バイオセンサー及びバイオエレクトロニクスにおける材料とデバイス応用に関する講演が行われた．あわせて，東北大学の研究者による発表も実施され，研究交流が行われた．

プログラム：

10:00-10:50	Sven Ingebrandt 教授 Material and Scaling Aspects for Biosensors and Cell–Device Interfacing with Micro– and Nanoelectronic Devices
10:50-11:15	山本英明准教授（東北大学通研） Bioengineering platforms for constructing and probing neuronal computations
11:15-11:30	Etienne Le Bourdonnec （東北大学大学院医工学研究科） Development of a magnetic μCoil fiber for minimally invasive and highly precise neuromodulation

②共同プロジェクト研究

第 150 回ナノ・スピン工学研究会および学術変革(A)「バイオ超越」 第 5 回領域セミナー

日時：2025 年 12 月 2 日（火）　11:00-12:00
会場：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟カンファレンスルーム

2025 年 12 月 2 日開催．バルセロナ大学 Department of Condensed Matter Physics, Institute of Complex Systems の Albert Diaz-Guilera 教授を招聘し，社会科学や生物学，神経科学とも密接に関連する多層ネットワークにおけるダイナミクス解析に関する講演が行われた．これにより，分野横断的な議論が展開された．

プログラム：

11:00-12:00	Albert Diaz-Guilera 教授 Dynamics on Multiplex Networks

[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。大豆由来の組成脂質である asolectin は膜タンパク質の無細胞合成や機能解析に広く用いられている。グリセロリン脂質の phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), phosphatidylinositol (PI)をおよそ等量ずつ含み、そのほとんどが不飽和脂質であることから，示差走査熱量計測(DSC)では 0 - 50 ℃の範囲では明確な相転移を示さないことが報告されている我々はこれまでに均一に混合していると考えられていた asolectin の脂質二重膜で水相中のイオンにより誘起されるドメイン形成現象を報告した。2025 年度は，asolectin 二重膜内に誘起されるドメイン形成現象の解明を目的として，ドメイン形成のイオン種・濃度への依存性，ドメイン形成を誘起する脂質種の同定およびドメイン形成の温度依存性について調べた。

イオンチャネルなどの膜タンパク質は，神経疾患や代謝異常などに関わることから創薬の主要ターゲットタンパク質であり，人工脂質二重膜系を活用した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。

[論文、学会発表、および関連成果等]

(1) 関連リスト（謝辞なし）と関連成果

・J. Bando and R. Tero, "Ion-induced Domain Formation in a Bilayer Membrane of Soybean-derived Lipids", *e-J. Surf. Sci. Nanotechnol.*, 23, 256-261 (2025).

<招待講演>

・手老 龍吾, "2 次元流体材料内での分子拡散と相分離：脂質二重膜の物性と構造", 日本表面真空学会中部支部学術講演会, 2025 年 12 月 13 日，名古屋・名古屋大学.

共同プロジェクト研究実施報告書（2025 年度）

採択番号　2025B10

研究課題名

多感覚におけるオブジェクト認知の研究

[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

初年度の実績として，2 日間にわたり下記の要領で研究会を開催した．

令和 7 年度，第 1 回研究会
期日：12/14(日)，12/15(月)
場所：東北大学 電気通信研究所 本館 4 階 M401

12/14(日)
14:00-15:00　坂本修一・下田陽太「音脈の知覚体制化の全方位における方位依存性の検討」
15:10-16:10　森川大輔・水谷瑠都「単耳受聴時の音像分離に必要な周波数帯域」
16:20-17:20　岡嶋克典「顔表情認識におけるヒトと機械の比較と融合」
17:30- 意見交換会

12/15(月)
09:30-10:10　栗木一郎・青木 総「色課題による脳活動パタンの変容について」
10:30-11:30　永井岳大・花田郁人「抽象画の色彩選好における色分布の稀有性の役割〜機械学習による解析〜」

この研究会で得られた主な知見について，以下に概要を報告する．

坂本は，周波数・音圧の異なる 2 つの音が繰り返し呈示される刺激に対して，音脈が単一の音像として聞こえるか，２つの音脈が並列に聞こえるかの 2 つの状況が生じる．2 音を発する音源の位置を前方 2 箇所／後方 2 箇所の場合で様々な設置位置（方位角）の組み合わせにおいて実験を行った．得られた実験結果について，注意の移動や仮現運動（見かけの点の移動が動きに見える現象）との関連などについて意見交換を行った．

森川は，片耳で音を聞く状況における音像定位の特徴について，音像の呈示位置と頭の向きの関係をさまざまに変化させた実験を行った．具体的には，閉塞した耳の側と頭の動く方向の組み合わせを変えて，どこの音源で音像の分離が生じやすいかデータを分析した．

岡嶋は，マスク着用時の顔表情の認識について，人間と機械学習による結果を比較する研究を報告した．人間はマスク着用した人の表情について表情を認識することができるが，機械学習でも同様の認識を行う試みについて報告した．通常の表情認識モデル（正答率約 90%）を，マスクを装着した顔画像に対して用いると正答率が大きく低下する（約 50%）．これに対し，マスクの部分の画像に加工を加えると，65%程度まで改善するという結果を報告した．人間も，マスクの部分に対して無意識の「補間」をして表情認識を行っている可能性について議論が行われた．

栗木は，異なる色課題を与えた状況下で色刺激が生じる脳活動（fMRI）の測定結果について，voxel（fMRI 画像の画素）の色選択性特徴の帯域幅に着目して行った解析について報告した．先行研究では，色名呼称課題と文字課題を行った場合，色課題を実施中の帯域幅が狭いと報告した．本研究では，色選択性および帯域幅について 10 名の観察者の fMRI 実験データの解析を行ったところ，顕著な差を見出すことができなかった．特に評価する色の差の細かさ（色名／色相スケーリング）によって帯域幅が変化すると予想されたが，視覚野の voxel では有意な違いが見られなかった．課題に伴う変化は，視覚野での情報表現ではなく，それを回答に変換する「読み出し」の過程で生じるのでは，などの議論が行われた．

永井は，絵画における色の好みの傾向について，自然環境の色分布の統計量との関係に着目した研究を行った．画像の色統計量の操作が人為的な偏りを持つことを回避するための方法として，機械学習の特徴量次元で操作する方法を用いて検討を行った．その結果，事前の仮説とは逆に，稀有性が上がると好まれる傾向が得られた．色相回転や

好まれる色彩特徴（明度／彩度／色相コントラストが高い）と稀有性は正の相関があると報告した．

［3］今後の研究の推進方策

本研究課題では，まずは視聴覚の 2 つのモダリティを中心に脳内における外界の表現（オブジェクト認知）について現状について意見交換を行った．さらに次年度以降の研究会では触覚や身体知覚に関する研究者を招聘し，関係する感覚モダリティを拡張していくことを計画している．ただし，視聴覚を比較しただけでも，センサ次元の構成の違いが知覚特性に顕著に影響していることが明らかになった．具体的には，視覚が空間解像度に優れているのに対して時間解像度が低く，聴覚は時間解像度が非常に高いが空間定位の解像度が低い，など得意／不得意とする次元が異なることにより，外界情報を脳内で再構成して知覚を形作る際の方略に根本的な違いがあることも見えてきている．例えば，注意や自然統計の使用法は視聴覚で大きく異なる．

一方で，最終的に統合された外界の知覚を得ていることを考えると，こうしたモダリティ間の違いが脳内の情報表現に及ぼす影響も考慮した上で，何らかの調整が行われていると考えるのが自然と思われる．この「調整」がどのような形で行われているかについて，他の感覚モダリティの知見も参考にしながら研究を進めていく必要があると考える．

［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

・青木 総，清川宏暁，栗木一郎．視覚皮質の色相選択性における知覚課題の影響．*日本視覚学会 2025 年夏季大会*．2025/9/11

・I. Hanada, & T. Nagai: The role of color distribution rarity in color preferences for abstract paintings: a machine learning analysis. The 17th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV 2025), Australia, June 17, 2025.

・R. Hanaki, D. Morikawa, P. Mokhtari, S. Okazaki: Effect of sound image spatial splitting caused by interaural differences on speech intelligibility. 25th International Congress on Acoustics (ICA 2025), New Orleans, May 19, 2025.

・下田陽太，坂本修一．音源間角度を操作した音脈の知覚体制化に聴覚空間注意が及ぼす影響．*日本音響学会 2025 年秋季研究発表会*．2025/9/11

採択番号：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

廣岡　俊彦（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）
横田　信英（静岡大学電子工学研究所）
加瀬　裕貴（静岡大学電子工学研究所）
都木　克之（静岡大学電子工学研究所）
廣岡　俊彦（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）
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　　21 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 7 年 12 月 15 日、東北大通研にて 21 名の参加を得て研究会を開催。同研究会では口頭発表 7 件とポスター発表 8 件が行われ、活発な討議を通して横断的な研究交流が図られ、また若手人材の交流が推進された。また、令和 8 年 2 月 19 日、共同プロジェクト研究発表会では静大電研の越水正典教授が「有機無機ハイブリッド材料を用いた放射線計測用蛍光体の開発」をテーマにポスター発表を行った。

［3］成果

(3－1) 研究成果

【静岡大学・根尾研究室】輝度最大の電界放射と大電流放出が可能な熱放出の優位性を有する熱ー電界放射陰極の開発に成功した。ナノメートル台の微小領域から 20mA までの大電流が安定して放出可能であり、空間電荷制限に達する。この電子放射メカニズム解明のため、放射電子のエネルギー分布を測定した。その結果、電子放出とともに W-FE は加熱状態になる。一方 Ga/W-FE は冷却状態になっている事を解明した。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】レーザーを用いた素子内部電界解析により、電界分布と X 線検出素子の時間安定性との関連についての研究に着手した。また、AI 入力に適した高精度物理量データの有効性を示し、3 次元 X 線 CT におけるセグメンテーション精度の顕著な向上を達成した。時間・位相情報取得についても、デバイス高度化と AI 融合による発展が期待される。

【静岡大学・佐々木研究室】添加剤による晶癖制御結晶成長によりサイズ及び面方位を制御した単結晶作成を実現し、これに対して偏光分光スペクトル測定を適用して得られた結果を、密度汎関数法による量子化学計算から得られる分子振動理論値と比較・照合し、良好な結果を得た。

【静岡大学・小野篤史研究室】金ナノ粒子単層集積膜を PDMS 透明樹脂に内包したプラズモニックカラーフィルムを作製。市販の金コロイドから液層還元法により合成した粒径 50nm の金ナノ粒子コロイドを用いて移流集積法により金ナノ粒子単層集積膜を作製。PDMS 透明樹脂基板に転写後、集積膜の上にさらに PDMS を塗布することで金ナノ粒子を内包した結果、マゼンタ色を呈するプラズモニックカラーフィルムが得られた。

【静岡大学・佐藤研究室】熱散逸を防ぐため空洞を設けた表面プラズモンアンテナ付シリコン光導波路を試作。pn 接合型フォトダイオードをシリコン光導波路内に形成しシリコンの光吸収に関る光感度と、冷凍機により低温の光感度の温度依存性を測定、光感度が最大となる波長がシフトし、理論通りの結果を得た。また室温よりも高温側の変調効果を調査し、金属細線の表面プラズモンアンテナに電流を流すことでジュール熱を発生させ細線の抵抗変化を測定。その結果、金属細線の加熱機能を実験的に確認した。

【静岡大学・庭山研究室】今年度は間接 ToF 計測値と生体内光路長の関係性をより詳細に解析した。その結果、生体組織からの拡散反射光の立ち上がり時間に着目することで簡便な間接 ToF 測定系でより精

度のよい散乱係数推定が可能であることが明らかになり、ToF と空間分解法を利用した光学定数計測法の高精度化を一歩前進させることができた。

【静岡大学・小野行徳研究室】今年度は前年度までの結果を基に、負性容量の高温での挙動を調べ、応用可能性の可否を判断するとともに、界面準位がエネルギー損失に関与する supercollision モデルの定式化を行った。

【静岡大学・川人研究室】今年度は、令和2年度に最初の試作を行い令和 3〜5 年度に再試作を行って改良を重ねてきた1画素に6タップを有する VGA クラスの ToF イメージセンサとハイパワー近赤外レーザ光源を用いて、ToF イメージセンサの新しい駆動方法により再帰反射材からの強い反射光に対応した広ダイナミックレンジの中長距離の距離画像計測が可能であることを実証した。

【静岡大学・原・小南研究室】BCl_3 と NH_3 を原料とする減圧化学気相法でｃ面サファイア基板上に作製した試料について X 線回折による評価を行ったところ、多形としては菱面体晶および六方晶（または Bernal 晶、b-）の BN が混在して形成され、前者が支配的であることがわかった。発光評価からは、b-BN の存在が確認されたが、b-BN では自由励起子が直接遷移を示すことが理論的に予測されていることから、BN の深紫外光源応用に向けて有望と言える。

【静岡大学・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、モノリシック集積された光負帰還狭線幅半導体レーザを開発し、これを用いた並列3次元計測技術について検討が進んだ。

【東北大学・廣岡・葛西研究室】（実施計画：参考）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す。

【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）を用いた半導体の微視的評価手法の開発を進めた。Al_2O_3/OH 終端ダイヤモンドの局所容量-電圧（CV）特性測および局所 DLTS 同時測定に成功した。また、原子層半導体やその積層構造の評価への応用を進めた。さらに、八坂・吉田・横田研究室との共同研究として，光支援 SNDM の開発に着手した。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、添加剤による晶癖制御結晶成長によりサイズ及び面方位を制御した単結晶作成を実現し、これに対して偏光分光スペクトル測定を適用して得られた結果を、密度汎関数法による量子化学計算から得られる分子振動理論値と比較・照合し、良好な結果が得られた。コヒーレント光の時空間制御に関する研究は、液層還元法で合成した金ナノ粒子コロイドを用いて移流集積法による金ナノ粒子単層集積膜を作製。PDMS 透明樹脂基板に転写し、集積膜の上に更に PDMS を塗布し金ナノ粒子を内包することでマゼンタ色を呈するプラズモニックカラーフィルムが得られた。表面プラズモンアンテナ付シリコン光導波路の応用研究では、熱散逸を防ぐために空洞を設けた表面プラズモンアンテナ付シリコン光導波路を試作した。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、これまで試作・改良を重ねてきた1画素に6タップを有する VGA クラスの ToF イメージセンサとハイパワー近赤外レーザ光源を用いて、ToF イメージセンサの新しい駆動方法により再帰反射材からの強い反射光に対応した広ダイナミックレンジの中長距離の距離画像計測が可能であることを実証した。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、間接 ToF 計測値と生体内光路長の関係性をより詳細に解析し、生体組織からの拡散反射光の立ち上がり時間に着目することで簡便な間接 ToF 測定系でより精度のよい散乱係数推定が可能であることを明らかにした。モノリシック集積された光負帰還狭線幅半導体レーザに関する成果は掲載論文誌の表紙に採用され、高効率な狭線幅化技術としての発展が期待される。

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）

N. Yokota and H. Yasaka, “Monolithically Integrated Narrow-Linewidth Optical-Negative-Feedback Lasers,” IEEE J. Quantum Electron. 61,2000707 (2025).

(2) 関連リスト（謝辞なし）

中野 颯斗、竹村 晃、青山 涼太、平岡 晃輔、原 和彦、小南 裕子、「層状構造 BN の減圧 CVD 成長における多形形成」、発光型／非発光型ディスプレイ合同研究会、2026 年 1 月 29 日（発表予定）

尾崎潤羽、佐々木哲朗「p-acetansidide 単結晶を用いたテラヘルツ周波数帯分子振動解析」、シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端 XII」Symposium on Frontier of Terahertz Science XII(S-FTS 2025)、徳島大学、徳島、2025 年 10 月 15-17 日

Hiroki Sato, Yoichiro Neo and Jonghyun Moon, ″Characterization of a new field emission cathode with both self-heating and compensation operatable in space charge limited current region”, 20A-1-2 MNC 2025 Tokyo 11/20

Hiroki Sato, Yoichiro Neo, Jonghyun Moon, “Energy Analysis of Field Emission Electron Sources using Liquid Metal”, MEETp2-3, IDW2025 Hiroshima 12/4

磯谷 隆斗、文 宗鉉、根尾 陽一郎, ″転写モールド法微小突起型陰極アレイによる誘電体バリア放電特性評価″, 9p-N403-1, 2025 年第 86 回応用物理学会秋季学術講演会

佐藤 宏樹、根尾 陽一郎、文 宗鉉, ″液体金属を用いた電界放射電子源のエネルギー分析″, 9p-N403-62025 年第 86 回応用物理学会秋季学術講演会

佐藤宏樹・根尾陽一郎・文　宗鉉, ″空間電荷制限領域で動作する電界放出電子源のエネルギー分析″, 信学技報　ED2025-45, 2025/12/12 ウィンク愛知

磯谷隆斗・文　宗鉉・根尾陽一郎, ″誘電体バリア放電における転写モールド法微小突起型電極の影響″, 信学技報　ED2025-51, 2025/12/12 ウィンク愛知

T. Okuyama, H. Sugimura, G. Alcade, S. Ageishi. H-W Kwen, D-X. Lioe, K. Mars, K. Yasutomi, K. Kagawa, S. Kawahito, “A Six-Tap iToF Imager with Wide Signal Intensity Range Using Linearization of Linear－Logarithmic Response”, Sensors, Sensors2025,25, 7551, pp1-21, IF3.5, 12025.12.12

T. Okuyama, H. Sugimura, G. Alcade, S. Ageishi, H-W Kwen, D-X. Lioe, K. Mars, K. Yasutomi, K.Kagawa, S. Kawahito, “A Short-Pulse Indirect ToF Imager Using Six-Tap Pixel with Backside Illuminated Structure for High-Speed Demodulation”, Sensors, Sensors2025, 25(24), pp1-16, IF3.5, 2025.12.13

K. Yanagiya, S. Sakamoto. S. Jung, “Sound field recording and reproduction method using distributed spherical microphone arrays based on kernel ridge regression”, The 25th International Congress on Acoustics, 3pSP4, 2025/5/21

井坂 晃大、横田 信英、山末 耕平、「光支援走査型非線形誘電率顕微鏡による機械剥離 WSe2 の局所 CV 特性測定」、8a-N206-2、2025 年第 86 回応用物理学会秋季学術講演会

井坂 晃大、横田 信英、山末 耕平、「光支援走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と WSe2 の局所容量電圧特性測定への応用」、通研共同プロジェクト研究（R05/S01）令和 7 年度研究会 ～先端的コヒーレント波技術の応用研究～、東北大学電気通信研究所、Dec. 15 (2025)

井坂 晃大、横田 信英、山末 耕平、「走査型非線形誘電率顕微鏡による SiO2/SiC の光支援局所容量-電圧特性測定に関する実験的検討」、16a-M_B104-6、2026 年第 72 回応用物理学会春季学術講演会

平永良臣,「強誘電体ナノキャパシタの C-V 曲線の電極サイズ依存性」, 13pm-04, 第 42 回強誘電体会議, 2025 年 6 月 13 日

平永 良臣, 長 康雄,「ナノ電極 C-V 測定による強誘電特性評価」, 9p-N201-5, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会, 2025 年 9 月 9 日

Kohei Yamasue and Yasuo Cho, “Local DLTS study of SiO2/SiC by time-resolved SNDM at elevated temperatures”, 23rd International Vacuum

Congress (IVC23), Sydney Masonic Centre, Sydney, Australia, Sep. 15-19 (2025)

Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho, “Dependence of capacitance - voltage curve of ferroelectric nanocapacitor on electrode size”, Jpn. J. Appl. Phys. 64, 09SP06 (2025)

Yoshiomi Hiranaga, “C-V Measurement of Ferroelectric Nanocapacitors”, 2025 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, 3389, 2025/7/14

採択番号：**R06/SI01**

人間科学に基づく AI 技術とそのハードウェア実現
AI & Communication Technology Based on Human-Centered Science and Its Hardware Implementation

[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)：
羽生　貴弘（RIEC）
研究分担者(Project Member List)：
（東北大学電気通信研究所）
Li-Chen Fu (NTU/Electrical Engineering)
Hsiu-Ping Yueh (NTU/Bio-Industry Communication and Development)
Po-Jang Hsieh (NTU/Psychology)
Shu-Kai Hsieh (NTU/ Graduate Institute of Linguistics)
Yu-Ling Chang (NTU/Information Science)
Joshua Goh (NTU/Neuroscience)
Tai-Li Chou (NTU/Psychology)
An-Yeu (Andy) Wu (NTU/Electronic Engineering)
Chee Wee Liu (NTU/Electronic Engineering)
Tzi-Dar Chiueh (NTU/Electronic Engineering)
羽生　貴弘（東北大学 電気通信研究所）
木村　喜文（東北大学 電気通信研究所）
鯉田　孝和（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）
曾 加蕙（東北大学 電気通信研究所）
佐藤　茂雄（東北大学 電気通信研究所）
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）
塩入　諭（東北大学 総合知インフォマティクス研究センター）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

Purpose of the research and the reasons requiring collaboration between organizations: AI applications in industry, business, medical treatment and human science are the most remarkable and forward-looking research areas. The purpose of the collaboration is to accelerate the research of AI technology related to human sciences to create a sustainable society, which is one of the most important target fields of future AI technologies. For the organizations in this proposal, it is a shared goal to develop based on the available infrastructure and extend individual organization's capacity to world-class research. The proposed study area, human-centered AI and communication technology will create synergy based on the strength of the two research institutes. The AI and advanced robotic center at NTU consist 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. After having joint symposiums to exchange information of research activities, we started the Type SI project in 2018, focusing on research topics of Social Robotics, AI & Consciousness, AI & Education, AI & Robots for the Aging Society, Natural Language and Basic Cognitive Functions, Ethics and Law in AI, Yotta Informatics and AI. The first term project accelerated collaboration in some of the above topics and further support is helpful for further development of the topics through discussions during annual symposiums.

Details of the research: The two teams have identified the following topics for joint researches for the second term.

(1) Social Robotics: We are entering a robot-human co-existing society. The major challenge for robot design nowadays is to develop its social nature so that it could provide a customized experience at institutes (e.g. senior home, hospitals) and households. The design of socially functional robotics is the next generation manufacture goal.

(2) AI & Consciousness: The implementation of consciousness of AI design. The conscious experience we have is the last frontier of brain research. While AI approaches the learning outcome as human experts, how the conscious experience should be carried and registered in a machine brain is valuable in both scientific pursuit and industrial application.

(3) Natural Language and Basic Cognitive Functions: The AI together with big data and cloud provide an opportunity for us to advance our understanding of these high-functions such as attention, language, memory, and reasoning. New insights are made available by utilising the strength of human study power and engineering talents from the two sides.

(4) Ethics and Law in AI: The heavy leverage of robotics and AI will accompany new responsibility and challenges from

the users, designers, and law-makers. We will form an interest group to discuss the setup of policy and regulations to harness a safe and ethical society with AI and advanced robotics.
(5) Yotta Informatics and AI: Information overloading is a general challenge faced by many communities. We propose new solutions to recruit AI to most effectively and efficiently help systems and individuals to re-structure and re-interpret the information for smart use.
(6) Interactive ICRT and AI: The both Japanese and Taiwanese societies have been hoping technologies to assist elderly people or patients. Developing assistive robotics and systems where the robots work harmonically with people who need help, such as for rehabilitation training.
(7) AI for Understanding Human Mental Functions: Human mental or brain functions have been modeled as theoretical models. The recent development of AI technology provides another approach. In the approach, a neural network is trained with big data to simulate a certain brain function and internal structure of the networks are investigated as candidates of actual functions of brain neurons. The two approaches are combined to understand brain functions for early to middle level visual processing.
(8) AI technology in real-world problems: In order to utilize AI technology in the real world (especially in edge sides), it is necessary to achieve high processing performance under a limited power supply. This project will also research and develop circuit technology and system architecture to overcome the above trade-offs of edgeAI hardware. To accelerate the collaboration, we plan to hold an international symposium in November at the AI and advanced robotic center at Tohoku U, where each of the topic above will be discussed. In addition to the discussion among all groups at the symposium, the core members inside each research group plan to have internet and/or face to face meetings within each group.

［3］成果等

(3-1) 研究成果

The two research institutes have co-organized symposia. The First NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies was held for 9 times: on December 23, 2017 (NTU Taipei, Taiwan), November 24, 2018 (Tohoku Univ., JP), November 16, 2019 (NTU Taipei, Taiwan), March 12-13, 2021 (online), March 19, 2022 (online), February 26-27, 2023 (Tohoku Univ., JP), March 2, 2024 (NTU, Taipei, Taiwan), March 1, 2025 (Tohoku Univ., JP), Nov. 23-24, 2025 (NTU, Taipei, Taiwan). The 10th will be held on FY2026 (Tohoku Univ., JP). The contributors of symposium included researchers of Graduate School of Information Sciences, of Graduate School of Medicine, of Graduate School of Engineering, of Graduate School of Education and of Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences. From the initial preparation and execution, the two teams have established several possible collaboration research lines as well as joint research plans. Through the first term of the project, 'Human sciences with AI technologies', from 2018 to 2020, some of them have started actual collaborative researches. The first collaborative topic is 'AI & Robots for the Aging Society.' Both Taiwan and Japan are entering a super-aging society. Together with the change of demographic profiles, the support and care system developments for ageing society is never more urgent than ever. Experts from two teams started to investigate this endeavor. The second collaborative topic is 'AI & Education.' Many educational theory and application developments with AI technology are made possible with the progression of hardware and software. Experts from two teams started to build on available infrastructure and explore creative and innovative educational approaches for future students and learners. Following the successful developments of the projects, we proposed the second term of the project, 'Human sciences with AI technologies' in 2021, to facilitate research collaboration of other topics that have been identified as important topics for joint researches between the two teams. From FY2024 onward, in addition to AI technologies, we have further promoted research collaboration in AI hardware technologies. Symposia were held in March 2025 (at Tohoku University) and November 2025 (at NTU). In particular, the 2025 meeting was over two days (November 22, 23) in order to enable more in-depth research discussions within each research field. By taking an overarching view of both AI technologies and AI hardware research themes, this international collaboration is continuing to expand broadly and develop further. Two members have applied and succeeded in obtaining the 2026 Tohoku University–National Taiwan University Joint Seed Fund (titled "Human-Robot Interaction (HRI), Robot/AI Ethics, Social Robotics" by Prof. Hsiu-Ping Yueh (NTU) and Prof. Yasuhisa HIRATA (TU).

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

The project aims to progress the research in the fields of human-centered AI and communication technology 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 for the use of many of these applications, and AI could provide troubles in the society without human sciences. 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

Hou, D., Sun, S., Hatori, Y., Tseng, C. H., & Shioiri, S. (2025). Task-constrained self-initiated attention shifts are indexed by frontal-midline theta ramping. *Frontiers in Human Neuroscience*, *19*, 1708257.

Yang, X., Cheng, M., Fujiwara, K., Cai, Y., Kitamura, Y., & Tseng, C. (2025, April). Culture Matters in Humanness Recognition for Human Body Motion. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-8).

Cheng, M., Tseng, C.H., Fujiwara, K., Schneider, V., Kitamura, Y. (2025 October). Asian Emotional Body Movement Database: Diverse Intercultural E-Motion Database of Asian Performers (DIEM-A). In *2025 13th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. IEEE.

Yeh, S. L.*, Li, S. H., Lee, H. H., Kao, Y. W., Goh, J. O. S., Li, J. L., & Tsai, A. C. H. (in press). Cortical representation of motion sequence processing in younger and older adults: An fMRI study. *Scientific Reports*.

Yeh, S. L.*, Hung, T. F., Hsieh, T. Y., & Tseng, C. H. (2026). Social bonding through expressed needs: Insights from an identity-shape matching task. *Computers in Human Behavior, 178*, 108917.

Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of an FPGA-based emulator for rapidly prototyping a nonvolatile system-on-a-chip," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol.64.
DOI: 10.35848/1347-4065/adba6d

Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "Design of an Intermittent-Computing-Oriented Nonvolatile Register with a Switching-Probability-Aware Store-and-Verify Scheme," IEEE ACCESS.
DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3546590.

Naoya Onizawa, Taiga Kubuta, Duckgyu Shin, and Takahiro Hanyu, "Energy-Efficient p-Bit-Based Fully-Connected Quantum-Inspired Simulated Annealer with Dual BRAM Architecture," IEEE Access, 2026. (accepted)
Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2026.3651741

Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "Emerging Trends in MTJ-Based Nonvolatile Logic Circuits Toward a Revolution in Computer Architecture," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), Volume 64, Number 12, pp.12SP18-1_12SP18-5 (5pages), Dec. 2025. DOI: 10.35848/1347-4065/ae268d

Masanori Natsui, Tomoo Yoshida, and Takahiro Hanyu, "Reference-Load Sharing Scheme: An Area and Energy-Efficient Nonvolatile Register Design Using MTJ Devices," IEEE Journal of Exploratory SolidState Computational Devices and Circuits, vol. 11, pp. 90-98, 2025. DOI: 10.1109/JXCDC.2025.3611365

Fangcen Zhong, Masanori Natsui, and Takahiro Hanyu, "Design of a Single-Capacitor-Based Threshold-Adjustable Power Management Circuit for Task-Aware Waste-Minimized Energy Harvesting," IEICE Electronics Express (ELEX), Vol.21, No.1, pp.1-6, 2025. DOI: 10.1587/elex.22.20250395

Daisuke Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of an FPGA-based emulator for rapidly prototyping a nonvolatile system-on-a-chip," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol.64, No.4, pp.04SP06- 1~04SP06-10 (10pages), April 2025. DOI: 10.35848/1347-4065/adba6d

Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "Design of an Intermittent-Computing-Oriented Nonvolatile Register with a Switching-Probability-Aware Store-and-Verify Scheme," IEEE ACCESS, vol. 13, pp. 38104-38114, Mar. 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3546590

N. Onizawa and T. Hanyu, "GPU-accelerated simulated annealing based on p-bits with real-world device-variability modeling," Scientific Reports, 15(1), 6118 (2025). DOI: 10.1038/s41598-025-90520-3

N. Onizawa and T. Hanyu, "Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems," Scientific Reports, 14(1), 1339 (2024).

T. Yoshida, M. Natsui, and T. Hanyu, "Design of an Energy/Area-Aware MTJ-Based Nonvolatile Register with a Reference-Load Sharing Scheme," In 2024 IEEE 67th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) (pp. 1257-1261), IEEE (2024, August).

N. Onizawa, R. Sasaki, D. Shin, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Stochastic simulated quantum annealing for fast solution of combinatorial optimization problems" IEEE Access, (2024).

Wang, C. H., Chen, H. W., Chen, Y., Hsiao, P. Y., & Fu, L. C. (2024). VoPiFNet: Voxel-pixel fusion network for multi-class 3D object detection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

Cheng, B. H., Ho, P. S., Hsu, C. C., Chen, F. L., Chen, M. A., Kabasawa, Y., & Huang, H. L. (2024). Effectiveness of the lay health advisor program on oral function and quality of life in aboriginal older adults: A randomized controlled trial. Journal of Oral Rehabilitation, 51(5), 840-850.

Chang, H. L., Wai, T., Liao, Y. S., Lin, S. Y., Chang, Y. L., & Fu, L. C. (2025). A Dual-Modal Fusion Framework for Detection of Mild Cognitive Impairment Based on Autobiographical Memory. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics.

Renjun Miao, Haruka Kato, Yasuhiro Hatori, Yoshihiko Sato and Satoshi Shioiri, "Analysis of Facial Expressions to Estimate the Level of Engagement in Online Lectures," in IEEE Access, vol. 11, pp. 76551-76562, 2023

Guan-Yun Wang, Hikaru Nagata, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, Chia-Huei Tseng, 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, pp. 331-335 (2023)

Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “On the Success Rate of Side-Channel Attacks on Masked Implementations: Information-Theoretical Bounds and Their Practical Usage,” The 29th ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS 2022), pp.1521-1535, Los Angels, CA, USA, November 2022.

Kotaro Saito, Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “One Truth Prevails: A Deep-learning Based Single-Trance Power Analysis on RSA—CRT with Windowed Exponentiation,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2022(4), pp.490-526, 2022.

Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, “Perceived Information Revisited: New Metrics to Evaluate Success Rate of Side-Channel Attacks,” IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2022(4), pp.228-254, 2022.

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, 2022. DOI: 10.1109/TNNLS.2022.3159713

Chang, Y. L., Luo, D. H., Huang, T. R., Goh, J. O. S., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2022). Identifying mild cognitive impairment by using human-robot interactions. Journal of Alzheimer's Disease, 85(3):1129-1142.

Chen, Y. C., Yeh, S. L., Huang, T. R., Chang, Y. L., Goh, J. O. S., & Fu, L. C. (2021). Social robots for evaluating attention state in older adults. Sensors, 21(21), 7142.

Huang, T. R., Liu, Y. W., Hsu, S. M., Goh, J. O. S., Chang, Y. L., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2020). Asynchronously embedding psychological test questions into human–robot conversations for user profiling. International Journal of Social Robotics, 13(6), 1359-1368.

Chuang, Y. S., Hung, H. Y., Gamborino, E., Goh, J. O. S., Huang, T. R., Chang, Y. L., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2020). Using machine theory of mind to learn agent social network structures from observed interactive behaviors with targets. 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN).

Lo, S. Y., Lai, Y. Y., Liu, J.C., & Yeh, S. L.(2022). Robots and sustainability: Robots as persuaders to promote recycling. International Journal of Social Robotics,1-12.

Liu, J. C., Li, K, A., Yeh, S. L., & Chien, S. Y. (2022). Assessing perceptual load and cognitive load by fixation-related information of eye movements. Sensors, 22(3), 1187.

Chen, Y. T., Lee, H. H., Shih, C. Y., Chen, Z. L., Beh, W. K., Yeh, S. L., & Wu, A. Y. (2022). An effective entropy-assisted mind-wandering detection system using EEG signals of MM-SART database. IEEE journal of biomedical and health informatics, 26(8), 3649–3660.

Jingling L. and Shioiri S. (2022), Testing the effect of display organization in the collinear search impairment, Perception, vol. 51, no. 9, pp. 658-671

Shioiri S., Sasada T., and Nishikawa R. (2022), Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information, Cereb Cortex Commun, vol. 3, no. 1, p. tgac005, 2022, doi: 10.1093/texcom/tgac005.

Wu W., Kobayashi K., Hou D., Ono S., Sato Y., Hatori Y., Tseng C., Shioiri S. (2022), Critical brain states related with self-initiated attentional shift, Journal of Vision 22 (14), 3883-3883

Shioiri S. (2022) New Informatics Paradigm to Manage Quality and Value of Information, Interdisciplinary Information Sciences, 28 (1), iv-iv

Sato Y., Horaguchi Y., Vanel L., and Shioiri S. (2022), Prediction of Image Preferences from Spontaneous Facial Expressions., Interdisciplinary Information Sciences 28 (1), 45-53

Raevskiy A., Bubnov I., Chen Y. C., and Sakai N. (2022) Differences in Color Representations of Tastes: Cross-cultural Study Among Japanese, Russian and Taiwanese, In: Rau, PL.P. (eds) Cross-Cultural Design. Interaction Design Across Cultures. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13311. Springer, Cham.

Chang, Y. L., Luo, D. H., Huang, T. R., Goh, J. O. S., Yeh, S. L., & Fu. L. C. (2022). Identifying mild cognitive impairment by using human-robot interactions. Journal of Alzheimer's Disease.

Lo, S. Y., Lai, Y. Y., Liu, J.C., & Yeh, S. L.* (2022). Robots and sustainability: Robots as persuaders to promote recycling. International Journal of Social Robotics.

Liu, J. C., Li, K, A., Yeh, S. L.*, & Chien, S. Y. (2022). Assessing Perceptual Load and Cognitive Load by Fixation-Related Information of Eye Movements. Sensors, 22(3), 1187.

Pan, J., Yan, M., & Yeh, S. L.* (2022). Accessing Semantic Information from above: Parafoveal Processing during the reading of vertically presented sentences in Traditional Chinese. Cognitive Science, 46(2), e13104.

採択番号：**R06/SI02**

VR の快適性向上による没入型遠隔コミュニケーションの改善
Improving Immersive Telecommunication by Increasing Comfort in Virtual Reality

［1］組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：
Robert W. Lindeman (HIT Lab NZ, U. of Canterbury)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)：
Yoshifumi Kitamura (RIEC, Tohoku University)

研究分担者 (Project Member List)：
Heide Lukosch (HIT Lab NZ, U. of Canterbury)
Stephan Lukosch (HIT Lab NZ, U. of Canterbury)
Susanne Schmidt (HIT Lab NZ, U. of Canterbury)
Donald Degraen (HIT Lab NZ, U. of Canterbury)
Tham Piumsomboon (Product Design, U. of Canterbury)
Aluna Everitt (CS-SE, U. of Canterbury)
Shuichi Sakamoto (RIEC, Tohoku University)
Chia-Huei Tseng (RIEC, Tohoku University)
Kazuyuki Fujita (RIEC, Tohoku University)
Miao Cheng (RIEC, Tohoku University)
Godai Saito (RIEC, Tohoku University)
Yumi Hamamoto (RIEC, Tohoku University)
Guanghan Zhao (RIEC, Tohoku University)
Yuki Onishi (RIEC, Tohoku University)

延べ参加人数（total no. of participants）30 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)

Virtual reality (VR) has been an “emerging” technology for more than 30 years. Industry leaders are convinced that VR (and the related augmented reality, AR) will revolutionize our lives, with diverse applications in training and education, architecture and urban planning, tourism, healthcare, scientific research and entertainment. VR has particularly great potential for physically remote people to carry out rich communication experiences. Billions of dollars have been spent on VR technology advances, and reduced costs have increased consumer accessibility. Yet, VR has barely crept past the early adopter stage and when people do use VR, an average session lasts only 20 minutes, making it impractical for many of its proposed uses. Why is VR not living up to its potential? How can we make it more widely usable? We have identified several non-technical shortcomings of VR that we believe prevent it from delivering on its promise. Our unifying word for these shortcomings is discomfort, mainly fatigue, cybersickness and worry. These three aspects are multidimensional; they involve interactions between body, mind and technology, and affect our thoughts, feelings, decisions and actions. Finding solutions to VR discomfort requires a multidisciplinary team, and it is important for multicultural aspects to be addressed. This project will bring together a diverse team of computer scientists, psychologists and social scientists from different cultures, providing the necessary lenses to achieve success.

［3］成果等 **(Results)**

（3-1）研究成果 **(Research Results)**

Several collaborative visits took place during this term of the collaborative grant. Each visit is outlined below, along with relevant details of the specific activities that were carried out.

—

Dates: April 10-11, 2025

Location: RIEC

Visitor: Dr Donald Degraen (Lecturer, HIT Lab NZ, University of Canterbury)

Talk Title: Enhancing and Designing Haptic Interaction to Enhance Virtual Reality Experiences

Abstract:

Virtual Reality (VR) is becoming an integral part of our daily lives. While current VR technology has greatly advanced in their visual and auditory aspects, a key challenge to create immersive and convincing experiences lies with simulating detailed and realistic touch sensations. This remains challenging due to the complexity of our haptic senses, a lack of processes and methods to design touch experiences, and a deficiency of generalizable haptic hardware and software.

In this talk, I will outline our recent publications for enhancing and designing haptic interactions for VR. In terms of experience, we proposed Spatial Haptics, a sensory substitution method that uses haptic cues to communicate the location of distal virtual objects. Through motion-coupled asymmetric vibrations, we investigated the rendering of pseudo forces for simulating tactile and kinaesthetic sensations in VR, while in winDirect, we evaluated multi-sensory feedback using wind to increase the detection threshold of hand redirection in VR. In the context of design

approaches, we studied the collaborative design process of vibrotactile patterns using CollabJam. Lastly, in TactStyle, we used generative AI to apply tactile textures onto digital models for 3D-printing.

Visit Details: Dr Degraen gave a research talk, presented a research demonstration, and met with several RIEC lab members to discuss possible research collaboration. Dr Degraen also visited the acoustics lab of Prof Shuichi SAKAMOTO.

Demonstration Title: Demonstrating Spatial Haptics: Detecting Distal Objects through Tactile Cues

Description:

We present Spatial Haptics, a sensory substitution method for representing locations of remote objects in 3D space via haptics. Spatial Haptics imitates auditory localization processes to enable vibrotactile localization abilities similar to those of some animal species. Two implementations of the localization method were developed, that modulate the vibration amplitude of the controllers relative to a target object in Virtual Reality. In Ear-Based Localization, vibrations are modulated based on the relative locations of the ears to the target, while in Hand-Based Localization, the amplitude is determined based on the relative locations of the hands to the target. In this interactive demonstration, users can experience the vibrotactile localization approaches in an interactive VR mini-game. Their task is to locate the target object in a scene consisting of multiple moving objects. By experiencing spatial localization using haptics hands-on, participants can evaluate the benefits of this sensory substitution approach for detecting distal objects.

Project Discussion 1: 3D-Printed Tactile Dentistry

Members: Yuhui WANG, Associate Prof. Kazuyuki FUJITA

Associated Projects:

- VirtuEleDent (https://doi.org/10.1109/VR59515.2025.00097)
- Capturing Tactile Properties (https://doi.org/10.1145/3472749.3474798)
- Enhancing Texture Perception (https://doi.org/10.1145/3290605.3300479)

Description:

VirtuEleDent proposes a compact XR tooth-cutting training system which employs a passive haptic approach using a 3D-printed physical teeth model and a three-dimensionally tracked handpiece. In our previous work, we investigated different 3D-printing approaches to influence the tactile sensations fabricated objects provide by varying the printed material, internal structure and digital design. Our insights can extend VirtuEleDent by enabling the design and fabrication of 3D-printed physical teeth models that vary in terms of hardness and roughness to simulate different dental conditions.

Project Discussion 2: Multi-Sensory Redirection

Members: Yukai HOSHIKAWA, Associate Prof. Kazuyuki FUJITA

Associated Projects:

- Redirected Drawing (https://doi.org/10.1109/VR59515.2025.00073)
- winDirect (Poster at IEEE VR)

Description:

Redirected Drawing proposed a novel methodology that applies visual manipulation to the user's drawing movement in VR to expand the perceived surface size required for the drawing experience. In our work, winDirect, we investigated multi-sensory feedback to increase the detection threshold for hand redirection. Using the setup as proposed in Redirected Drawing, we aim to investigate multi-sensory feedback to increase the redirection range while drawing.

Project Discussion 3: Digital Fabrication of Underfoot Haptics

Members: Kumpei OGAWA, Associate Prof. Kazuyuki FUJITA

Associated Projects:

- PseudoJumpOn (https://doi.org/10.1109/VR51125.2022.00084)
- Prototyping Surface Slipperiness (https://doi.org/10.1145/3701571.3701589)

Description:

PseudoJumpOn proposed a novel locomotion technique that allowed step-up jumping movements using actual jumping motions on a flat floor with a common VR setup. In our previous work, Prototyping Surface Slipperiness, we showed that by adding physical textures underneath the soles of shoes, we can simulate different surface materials and environments in VR. By combining foot augmentation with jumping in VR, can we aim to simulate different surfaces upon take-off or landing.

Project Discussion 4: Applying Redirection during VR Cycling

Members: Kumpei OGAWA, Associate Prof. Kazuyuki FUJITA

Associated Projects:

- RedirectedDoors+ (https://doi.org/10.1109/VR51125.2022.00066)
- CycleRedirection (unpublished)

Description:

RedirectedDoors+ proposed a robot-based system that permits consecutive door-opening redirection with haptics. Our ongoing project, CycleRedirection, investigated a novel approach to redirect cyclists while cycling in a MR environment. With the insights gained from RedirectedDoors, we aim to investigate how our redirection mechanism can be applied to improve redirection while biking.

Dates: September 23-25, 2025

Location: HIT Lab NZ, University of Canterbury

Visitor: Dr Yumi Hamamoto (Assistant Professor, Tohoku University)

Talk Title: Why some of us don't like our own bodies?

Abstract:

Body image disturbance is difficulties in self-body perception, including misestimation of one's own body size and extreme dissatisfaction toward one's body. Previous studies suggested that there are two components in body image disturbance, perceptual and affective disturbances, however, neurological differences between these two components remained unclear. Dr Hamamoto will talk about two fMRI experiments that investigated the neural basis of these two components of body image disturbance. Then she will introduce her current research projects using VR to examine body image disturbance.

Visit Details: Dr Hamamoto gave a research talk and met with several students and staff. She also experienced several demos by current HIT Lab NZ members.

—

Dates: December 8-9, 2025

Location: RIEC

Visitors: Rob Lindeman (Professor, HIT Lab NZ, University of Canterbury), Dr Yasas Wickramasinghe (Post-doctoral Fellow, HIT Lab NZ, University of Canterbury)

Talk Title: Towards Sustainable Conferences: Distributed Academic Conferences

Speaker: Rob Lindeman (Professor, HIT Lab NZ, University of Canterbury)

Abstract:

In this talk I will discuss some recent work we are leading on addressing the problem of running international academic conferences more sustainably. The main question is how to continue to promote the important exchange of ideas that face-to-face academic conferences provide, but in a more environmentally sustainable way.

Our approach uses a combination of immersive technologies (e.g., VR), geographically-distributed regional hubs, and organisational change. I will present some of the preliminary ideas around this topic, including dealing with global time zones and financial models, and hope to have a rich and wide-ranging discussion of how to improve and preserve this important mode of human communication.

--

Talk Title: Remote Multiplayer Interaction and Spatial Collaboration in Location-Based AR Games

Speaker: Dr Yasas Wickramasinghe (Post-doctoral Fellow, HIT Lab NZ, University of Canterbury)

Abstract:

This talk presented findings from PhD research exploring how AR game mechanics, spatial representations, and display modalities shape player experience, engagement, and decision-making in location-based AR games (LBARGs). Through a series of controlled user studies, the research investigated mechanics such as remote location visualisation, evaluated using mixed-methods approaches including questionnaires, eye tracking, and interviews. Key findings, design implications, technical insights, and future research directions for remote AR collaboration in games and beyond were discussed.

Dates: February 23-25, 2026

Location: HIT Lab NZ, University of Canterbury

Visitor: Yoshifumi Kitamura (Professor, RIEC, Tohoku University)

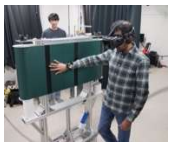
Prof Kitamura visited the HIT Lab NZ to discuss upcoming opportunities for international grant proposal submissions. He was also shown several research demonstrations of current projects by HIT Lab NZ students and staff.

—

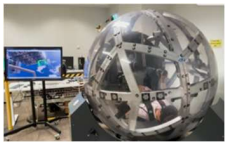











(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など
(Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

Prof. Rob Lindeman took the lead in submitting two applications for competitive research funding in New Zealand within international collaborative research frameworks. The first was a three-year programme entitled "**Comfortable VR: Improving the User Experience to Support Long-term and Repeated Use of Virtual Reality for Training and Entertainment**" and included researchers from RIEC, U of South Australia and other New Zealand Universities in addition to the HIT Lab NZ. The second was a five-year programme entitled "**The Betterverse: Enabling Long-term Virtual Reality Use for Training and Beyond**" and included researchers from RIEC, U of South Australia, U of Hamburg (Germany), Mississippi State U (USA) and other New Zealand Universities in addition to the HIT Lab NZ. Unfortunately, neither proposal was successful.

[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)

- G. Zhao, Y. Cai, K. Fujita, R. W. Lindeman and Y. Kitamura, "BlanchTouch: Bringing Fingertip Blanch Detection into Mixed Reality for Touch Input on Flat Surfaces," 2026 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 2026, pp. 294-304. DOI: 10.1109/VR67842.2026.00051.

(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)

採択番号：R06/SI03

XR による非言語コミュニケーションの支援
Support Nonverbal Communication with XR

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者（Principal Investigator）：
Bruce Thomas (University of South Australia)

通研対応教員(Research Collaborator of RIEC)：
Yoshifumi Kitamura (RIEC, Tohoku University)

研究分担者(Project Member List)：
Mark Billinghurst (University of South Australia)
James Walsh (University of South Australia)
Andrew Cunningham (University of South Australia)
Gun Lee (University of South Australia)
Aaron Quigley (CSIRO)
Matt Adcock (CSIRO)
Rui Wang (CSIRO)
Mingze Xi (CSIRO)
Shuichi Sakamoto (RIEC, Tohoku University)
Noriharu Suematsu (RIEC, Tohoku University)
Naofumi Homma (RIEC, Tohoku University)
Chia-Huei Tseng (RIEC, Tohoku University)
Kazuyuki Fujita (RIEC, Tohoku University)
Miao Cheng (RIEC, Tohoku University)
Godai Saito (RIEC, Tohoku University)
Yumi Hamamoto (RIEC, Tohoku University)

延べ参加人数（total no. of participants）30 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)

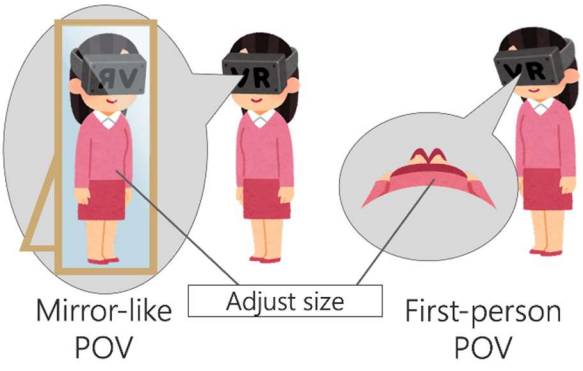
We wish to develop stronger collaboration between our organizations in the research domain of nonverbal communication with XR. The University of South Australia has a world-recognized research record in user interaction with XR (augmented reality, virtual reality, and mixed reality). Data61 has a world-recognized in industrial-focused XR research. The are three major reasons for the collaboration between organizations:

1. We wish to co-write research grants between RIEC, Tohoku University with the University of South Australia and CSIRO/Data61.
2. Develop research projects with complementary skill sets of the different organizations.
3. Explore further synergies between the three organizations. We have identified these research strengths within the different organizations that can contribute to productive and innovative research projects: empathic computing, XR remote collaboration, affective computing, human/AI interactions, cognitive psychology, XR user interactions, XR visualization of simulations, virtual/physical reconfigurable workspaces, and haptics for XR.

[3] 成果等 (Results)
(3-1) 研究成果 (Research Results)

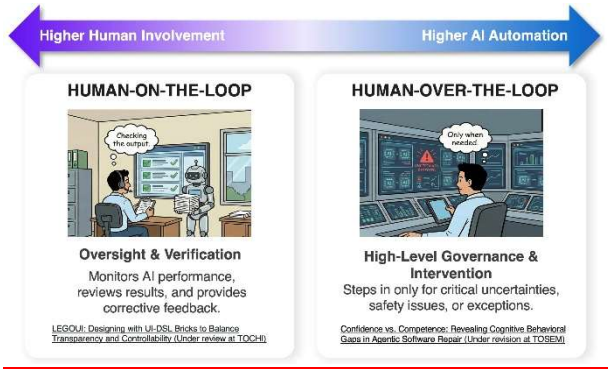
VR-Based Body Size Perception Examination: Cultural Comparison

Dr Hamamoto visited UniSA 2025/08/15 - 2025/10/31 and conducted a user study to investigate body size perception using VR, recruiting East Asian women living in Australia. She collected the data with Ms Du and Dr Cunningham at Adelaide University. They are analysing the data to compare results from the Japanese sample.



An Empirical Cognitive–Behavioral Study of Agentic Software Repair

Mingyue Yuan visited Tohoku University (July to September 2025) to advance interdisciplinary research bridging AI for Software Engineering and HCI, with an emphasis on human–AI collaborative reasoning, generation, and repair. During the visit, she collaborated with Prof. Yoshifumi on an empirical cognitive–behavioural study of agentic software repair (under revision at TOSEM). She also initiated the LegoUI collaboration with the ICD Lab on transparent, controllable human–AI co-creation for UI design (under review at TOCHI), while actively engaging in lab meetings and VR-related user studies to strengthen ongoing research exchange.

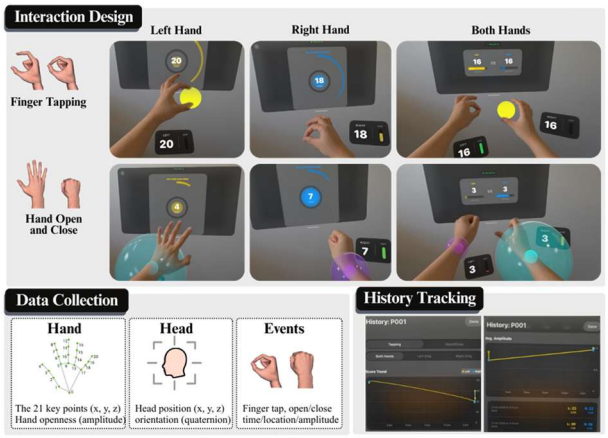


Exaggeration in Miniature Avatars

Theophilus Teo visited Tohoku University from November 2025 through 14 Feb 2026. Dr Teo ran a collaborative study examining how exaggeration in miniature avatars (e.g. heads and hands scaled to 2x) can support virtual collaboration. A user study was conducted during the exchange, where 18 participants were recruited in dyads to complete an image-based charades task. The results show differences in gaze attention and perceived social presence when users receive verbal and non-verbal instructions from general-size, miniature, and exaggerated miniature avatars.

AR Game Based Hand Movement Assessment for Early-Stage Dementia

Kaining Zhang visited Tohoku University from November 2025 to January 2026. Kaining Zhang investigated hand movement assessments such as finger tapping and hand open close tasks are widely used in clinical and research contexts to investigate motor function changes associated with dementia and related neurodegenerative disorders. The aim was to improve usability and engagement while enabling the capture of fine grained, multimodal user behavioural data, including hand movement kinematics, interaction events, and head motion.



MoreOverleaf

Hyunwoo Cho visited Tohoku University from 08 Aug 2025 through 28 Nov 2025. This collaborative project developed 'MoreOverleaf,' an adaptive Extended Reality (XR) interface that integrates physiological sensing (EEG) to enhance asynchronous collaborative writing. The system spatialises document comments as interactive 3D objects and visualises remote collaborators as avatars to investigate their impact on social presence and parasocial interaction. A multimodal analysis environment was established to validate whether these spatial cues and embodied avatars reduce cognitive load and improve review efficiency compared to traditional 2D interfaces

（3−2）(Visit Summary)

Here is a summary of the visits to RIEC:

PhD Candidates from UniSA staying at Tohoku U
Hyunwoo Cho　August 8 2025 - November 30
Kaining Zhang　November 1 2025 - January 30, 2026

PhD candidate from CSIRO/UNSW staying at Tohoku U
Mingyue Yuan　July 22 2025 - September 30.

Faculty members from UniSA staying at Tohoku U
Theo Teo　November 19 2025 - February 13 2026

Faculty members from Tohoku U staying at UniSA
Yumi Hamamoto　August 15 2025 - October 31

Researchers moved from UniSA to Tohoku U
Eunhee CHANG　June 16 2025 -

Short Visits
CSIRO, Canberra. October 13, 2025. Yoshifumi Kitamura, Chia-Huei Tseng, Miao Cheng
UniSA, October 17 and 18, 2025. Yoshifumi Kitamura
UniSA, October 22. Miao Cheng and Victor Schneider
Tohoku University, February 18-21, Bruce Thomas

［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)

Teo, T., et al. *Decode the Avatar Face: Affect Recovery in Dyadic VR* (Submitted to VRST 2026)

Teo, T., Shin, H. Lee, Y., Gil, Y., Billinghurst, M., Lee, G. *EmpathicMirror: Adaptive Mirror for Sharing Emotions through Reflections in Virtual Reality* (Submitted to VRST 2026)

(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)

Mingyue Yuan, Jieshan Chen, Dehai Zhao, Gelareh Mohammadi, Yoshifumi Kitamura, Aaron Quigley, Qinghua Lu, Zhenchang Xing. "Confidence vs. Competence: Misalignment in Judgment and Performance for Agentic Software Repair." **accepted by ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM).**

Jinbo Yang, Mingyue Yuan, et al. "HPG-Diff: Hierarchical physics-guided diffusion with differentiable connectivity constraints for topology optimization." Applied Soft Computing (**under major revision**)

Teo, T., Jing, A., Zhang, C., Frederick, M., Shin, H., Lee, Y., ... & Lee, G. A. (2026). The effect of facial cue placement in virtual collaboration. *Virtual Reality*.

Visconti, A., Lamberti, F., Teo, T., Lee, G. A., Jing, A. K., Kiyokawa, K., & Simeone, A. L. (2026, April). Shaping Future Human Connection: Social Augmentation through XR Technologies. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-6).

Cho, H., Teo, T., Chang, E., Lee, S., Lee, G., & Billinghurst, M. (2025). MoreOverleaf: A Mixed Reality Solution for Collaborative Document Workflows. In *SIGGRAPH Asia 2025 XR* (pp. 1-2).

Cho, H., Chang, E., Yuan, B., Lee, G. A., Piumsomboon, T., & Billinghurst, M. (2025). Bridging time and space: A novel cross-reality interface for asynchronous task guidance. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *41*(24), 15529-15550.

採択番号：R06/T12

スピントロニクス・CMOS 脳型回路研究会

省エネルギー高性能ニューロモルフィック・プロセッサ開発のための スピントロニクスとインメモリコンピューティング技術の融合

[1] 研究組織

研究代表者：

遠藤　哲郎（東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター）

通研対応教員

羽生　貴弘（東北大学 電気通信研究所）

主査

池田　正二（東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター）

幹事

李　涛（東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター）

研究分担者

張　力（東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター）

王　勇成（東北大学・工学研究科・工学部）

Kim　Joonsoo（東北大学・工学研究科・工学部）

宋　毅然（東北大学・工学研究科・工学部）

蔦　政陽（東北大学・工学研究科・工学部）

吉田　竣（東北大学・工学研究科・工学部）

高橋　悠介（東北大学・工学研究科・工学部）

[2] 研究目的

近年、人工知能処理の高度化に伴い、従来のフォン・ノイマン型計算機アーキテクチャでは、メモリと演算部間のデータ転送に起因する遅延および消費電力の増大が深刻な課題となっている。特に、エッジ AI や産業 IoT 向けの知能処理システムにおいては、低消費電力、低遅延、高信頼性を同時に満たす新たな計算基盤の確立が強く求められている。

本研究では、このような課題に対応するため、STT-MRAM を用いた全デジタル型 Computing-in-Memory（CiM）アーキテクチャに着目し、バイナリニューラルネットワーク（BNN）向けの高信頼・高速な脳型認識プロセッサの実現を目的とした。従来の STT-MRAM ベース CiM の多くは、MTJ のアナログ特性を利用した演算方式を採用しているが、トンネル磁気抵抗比（TMR）の制約、読み出し時のセンスアンプや ADC への依存、プロセスばらつきや寄生素子の影響による演算精度の低下といった問題を有している。

そこで本研究では、4T2M 差動型 STT-MRAM セルを基盤とし、記憶素子内に保持された重み情報と入力活性値との間で、デジタル論理による XNOR 演算を直接実行する新規 CiM 方式を提案した。これにより、従来のアナログ演算型 CiM が抱える信頼性上の課題を解決しつつ、高速性、低消費電力性、および高い出力安定性を両立させることを目指した。

最終的には、本研究を通じて、高信頼・高速度・低消費電力を特徴とする STT-MRAM ベースの全デジタル脳型プロセッサ技術を確立し、今後のエッジ AI 向け不揮発性インメモリコンピューティング技術の発展に資することを目的とする。

[3] 研究成果等

（1）成果等

本研究では、バイナリニューラルネットワーク向け全デジタル STT-MRAM ベース CiM アーキテクチャを提案し、その有効性を回路レベルで検証した。提案手法では、従来のアナログ型 CiM とは異なり、演算を論理的に実装することで、センスアンプや ADC を用いずに高信頼なメモリ内演算を実現した。

具体的には、上部に 4T2M 差動型 STT-MRAM 構造を配置して重み情報を保持し、下部に論理乗算回路を配置することで、記憶された重みと外部入力活性値との間で XNOR 演算を実現した。BNN においては、重みと入力活性値の二値乗算が XNOR 論理と等価であるため、本構成によりメモリ内で直接バイナリ演算を実行することが可能となる。これにより、演算時のデータ移動を最小化し、高速かつ省電力な推論処理が期待できる。また、提案アーキテクチャに基づき、論理

乗算部の実装方式として以下の 4 種類の CiM セル構造を設計・比較した。

- 2 個の NMOS を用いた構造
- 2 個の PMOS を用いた構造
- 2 個の CMOS transmission gate を用いた構造
- 2 個の NMOS と外部充電回路を組み合わせた構造

これら 4 種類のセルについて NS-SPICE による回路シミュレーションを実施した結果、NMOS 型および PMOS 型ではしきい値電圧損失の影響により出力電圧が大きく劣化し、デジタル CiM に必要な十分な出力振幅を確保できないことが明らかとなった。一方、transmission gate 型および charge-type 型では、出力が VDD から GND までのフルスイングを実現でき、高い演算信頼性が得られることを確認した。

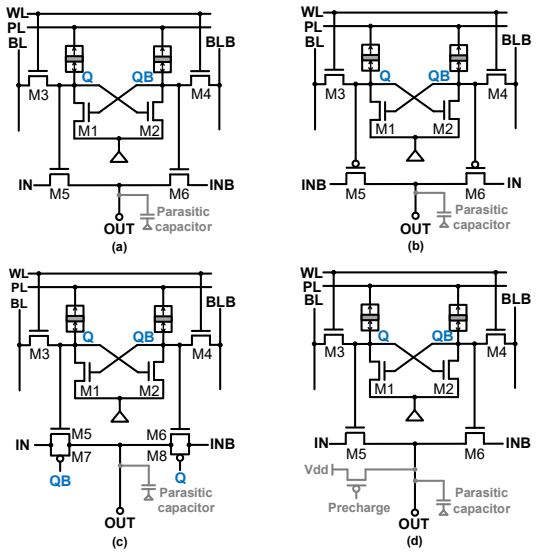


図 1: 提案するデジタル CiM セルの回路構成図

さらに、55 nm CMOS プロセスおよび実測校正済み MTJ モデルを用いて、提案セルの性能評価を行った。電源電圧 1.0 V において、提案する charge-type デジタル CiM セルは、比較対象の既存 STT-MRAM ベース CiM 構造に対して、計算遅延を 43.5%低減した。また、期待トグル率 50%の条件では、計算時消費電力を 14.3%削減できることを示した。加えて、TMR が 50%の条件下でも、提案手法は比較手法に対して 3 倍の出力スイングを達成し、TMR 変動、プロセスコーナ変動、および寄生容量変動に対しても高いロバスト性を有することが確認された。

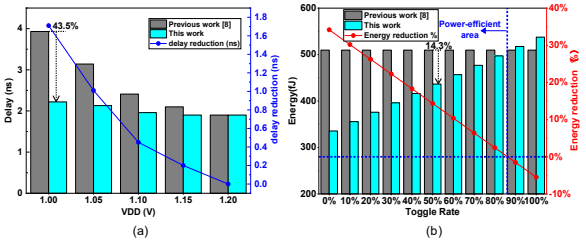


図 2: 提案手法と従来手法の性能比較。

以上の結果より、本研究で提案した全デジタル STT-MRAM ベース CiM アーキテクチャは、従来のアナログ型 CiM に比べて、高信頼性・高速性・低消費電力性を兼ね備えた有望な構成であることが示された。本成果は、エッジ AI 向け高効率アクセラレータや不揮発性脳型プロセッサの実現に向けて重要な技術的基盤を提供するものである。

（2）開催した研究会

[1] 2025 Spintronics Workshop on LSI, June 9, 2025, RIHGA Royal Hotel Kyoto, Japan.

[2] 11th CIES Technology Forum, 2026 年 3 月 23 日-24 日, Muromachi Mitsui Hall & Conference.

◆ 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）

•

（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）

[1] Y. Wang, T. Li and T. Endoh, "A High-Reliable and High-Speed All-Digital STT-MRAM-Based Computing-in-Memory for Binary Neural Networks," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 62, no. 3, pp. 1-5, March 2026, Art no. 3400505.

[2] Wang, Yongcheng, Tao Li, Li Zhang, and Tetsuo Endoh. "A High-speed and High-reliable Fully Digital STT-MRAM Based Computing-in-Memory for Binary Neural Network." In 2025 IEEE 36th Magnetic Recording Conference (TMRC), pp. 1-2. IEEE, 2025.

採択番号：2025T01

伝送工学研究会
6G に向けた光波・電波伝送技術

［1］研究組織

研究代表者：
陳　強（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）

研究参加者：
西山 大樹（東北大学 大学院工学研究科）
松浦 祐司（東北大学 大学院工学研究科）
吉田 真人（東北大学 大学院工学研究科）
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）
佐藤　弘康（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

本研究会では，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った．

研究会は合計 11 回開催され，一般講演 20 件，特別講演 4 件の計 24 件の発表があった．研究会のプログラムは以下の通りである．

次年度も引き続き，年間 10 回程度の研究会の開催を予定している．

（2）開催した研究会

特別講演会

2025 年 4 月 14 日（月）17:00~
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室
共催：電子情報通信学会東北支部

【特別講演】
AI-Native Networks: Revolutionizing 6G Performance, Security, and Efficiency
YangHan Lee
Tamkang University

参加者：22 名

第 656 回

2025 年 5 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

【一般講演】
656-1.
液晶 DUT 同軸線路を用いた GHz 帯の液晶材料物性測定
藤澤 宣, 佐藤 弘康, 藤掛 英夫, 陳 強
東北大学大学院工学研究科

656-2.
Beam Synthesis in Reflectarray: Beam Broadening and Quantization Error Reduction
Ke Peng, Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

参加者：38 名

第 657 回

2025 年 6 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

【一般講演】
657-1.
導体反射板付ダイポールメタサーフェスを用いた計算イメージングの基礎的検討
河田 なな穂, 陳　強
東北大学大学院工学研究科

657-2.
Enhancing the Decay Time of Liquid Crystal Reflectarray Using Chiral Dopant
Yuhao Shang, Fujisawa Toru, Hiroyasu Sato, Qiang Chen, Hideo Fujikake, Masakazu Nakatani
Graduate School of Engineering, Tohoku University

参加者：37 名

第 658 回

2025 年 7 月 15 日（火）14:40~
電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室

【一般講演】
658-1.
セルラ分散 MU-MIMO システムにおけるジョイント送受信ダイバーシチの適用効果
高橋　領 1)2)，陳　強 1)，安達　文幸 3)

1)東北大学大学院工学研究科，2)株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所，3)東北大学災害科学国際研究所

658-2.
Implementation of directional antennas in cluster-centric cell-free massive MIMO
Zhengnan Hu, Fumiyuki Adachi, Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

658-3.
近赤外吸収分光法による眼球表面の水分量測定の試み
松田海生、松浦祐司
東北大学大学院工学研究科

658-4.
Wireless Power Transmission with Fractal Array Patch Antenna with High Gain Single Shunt Rectifier
Robin AURIAC, Esteban HUBERT, Keisuke KONNO, Hiroyasu SATO, QIang CHEN
Graduate School of Engineering, Tohoku University

参加者：42 名

第 659 回
2025 年 9 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

【一般講演】
659-1.
Implementation of sector switchable antennas in cluster-centric cell-free massive MIMO
Zhengnan Hu1), Fumiyuki Adachi2), Qiang Chen1)
1)東北大学大学院工学研究科 2)東北大学災害科学国際研究所

参加者：35 名

第 660 回
2025 年 10 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
共催： EMC 仙台ゼミナール，IEEE EMC-S Sendai Chapter
協賛： 電子情報通信学会東北支部

【特別講演】
放送用アンテナの歴史
正源 和義
（株）放送衛星システム (B-SAT)

【一般講演】
660-1.
A Evaluation of a 2D near-field focusing approximation method and 3D printing implementation
Jialu Wang, Wenyi Shao, Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

660-2.
磁石を用いたリコンフィギュラブルリフレクトアレーに関する研究
入山 大暉，今野 佳祐，陳 強
東北大学大学院工学研究科

参加者：46 名

第 661 回
2025 年 11 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
共催： EMC 仙台ゼミナール，IEEE EMC-S Sendai Chapter
協賛： 電子情報通信学会東北支部

【特別講演 1】
任意数 1 次元直交ビーム切替回路の数値設計とミリ波 2 次元回路への応用
廣川 二郎
東京科学大学

【特別講演 2】
生成 AI を活用した電波伝搬推定における機械学習アプローチと損失関数設計の役割
廣瀬 幸
九州工業大学

【一般講演】
661-1.
UHF 帯 RFID タグアンテナを用いた砂の充填レベルセンサーの検討
落合 紗弥, Jasmin Grosinger, 陳 強
東北大学大学院工学研究科

661-2.
導波路によるリコンフィギャラブルリフレクトアレーの高機能化
梅本 圭汰, 今野 佳祐, 陳 強
東北大学大学院工学研究科

参加者：32 名

第 662 回
2025 年 12 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

【一般講演】
662-1.
中赤外光音響分光法による間質液吸収スペクトル取得の試み

武田侑純，木野彩子，松浦祐司
東北大学大学院工学研究科

662-2.
プライベートモバイルネットワークにおける消費電力低減に向けた計算資源の負荷配置手法の提案
菊地海斗，西山大樹
東北大学大学院工学研究科

662-3.
海中電波伝送路に結合する高効率アンテナの研究
六名壮太，佐藤弘康，陳強
東北大学大学院工学研究科

参加者：28 名

第 663 回
2026 年 1 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

【一般講演】
663-1.
磁石を用いた素子間隔可変アレーアンテナの研究
桐原　敦，今野　佳祐，陳　強
東北大学大学院工学研究科

参加者：33 名

第 664 回
2026 年 2 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

【一般講演】
664-1.
Deep Learning–Based Inverse Design of Yagi–Uda Antennas
Xiaohan Liu, Chang Ge, Qiang Chen
東北大学大学院工学研究科

664-2.
Simulation-Based Evaluation of Beamforming Performance of the E-MIMO Approach in the Near-Field and Far-Field Regions of an Antenna Array
Jintai WU,Qiaowei YUAN
Graduate School of Engineering, Tohoku Institute of Technology

664-3.
浮体式洋上風力の環状コンクリートを利用した海水中電磁波伝搬特性に関する研究
大和紀仁，袁　巧微
東北工業大学院　通信工学専攻

参加者：25 名

採択番号：2025T02

音響工学研究会
聴覚情報処理過程への深い理解に基づく高度な音響・音声コミュニケーションシステムに関する研究発表

［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，2025 年度末までに 397 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。

2025 年度は研究会 3 回（第 395～397 回）が開催された。会場は，第 395 回は東北大学電気通信研究所で，第 396 回は電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室とオンライン形式のハイブリッドで，第 397 回は電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室でそれぞれ実施した。なお，第 395 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，東北大学総合知インフォマティクス研究センターとの共催で，第 396 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 395 回は 2025 年 8 月 4 日および 5 日に開催され，招待講演 1 件を含む研究発表 10 件，参加者は 2 日間で延べ 32 名であった。第 396 回は 2026 年 1 月 22 日に開催され，研究発表 7 件，参加者は 53 名であった。第 397 回は 2026 年 3 月 9 日に開催され，研究発表 9 件，参加者は 29 名であった。また，第 397 回で発表した 2 名の発表者に優秀発表賞を授与した。

（2）開催した研究会

第 395 回音響工学研究会

2025 年 8 月 4 日，5 日に東北大学電気通信研究所にて開催した。本研究会では，巨大な高速フーリエ変換に基づく標本化周波数変換方法の実装と信号安全化への応用について，交通騒音測定におけるセミ鳴き声除去のための半教師あり非負値行列因子分解における教師基底の検討，発声時における軟骨伝導音の伝達経路の調査，周波数スペクトルの最小二乗誤差規範に基づく信号の開始点推定法に用いる最適なパラメータの検討，情景想起に用いる感覚情報の違いが聴覚オブジェクト認知におけるシーン整合性効果に与える影響，高速な分離行列更新と低ランク音源モデル更新によるオンライン音源分離の進展，2 次系常時推定の利点と注意点，複数の参照マイクロホンを用いた Sliding DFT によるコヒーレンス選択型 ANC システムの検討，三次元音響再生評価法のリスニング時使用に向けた音楽信号による計測への対応と計算量削減，分散球状マイクロホンアレイを用いたカーネルリッジ回帰に基づく音場収音法の提案に関する研究発表が行われた。

第 396 回音響工学研究会

2026 年 1 月 22 日に東北大学電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室およびオンラインにて開催した。本研究会では，半球型アレイトランスデューサ及び多波長レーザーを用いた ArsenazoIIIの光音響信号定量評価，パラボリックアレイ超音波センサによるマイクロ波誘導熱音響トモグラフィの原理検証，音響模型実験における 12 面体スピーカとレーザー音源の特性比較，対話システムにおける過去対話記録検索に用いる対話コンテキスト長に関する検討，言語に依存しない話声－歌声変換，畳み込みニューラルネットワークを用いた正中面音像定位におけるスペクトル特徴量の影響に関する検討，マトリックスアレイによる 3D セクタ波送信を用い

た 2C-3D 流速ベクトルの時間分解可視化に関する研究発表が行われた。

第 397 回音響工学研究会

2026 年 3 月 9 日に電子情報システム・応物系 1 号館 2 階大会議室にて開催した。本研究会では，劣化レコード音源修復のためのブラインド帯域拡張に関する検討，複数話者存在下における音声の出現・消失位置が検出特性に及ぼす影響，季節・天候・時間の変化を捉えた複数地点の環境音データセットの構築に関する検討，バイノーラル 3 次元収音再生法 SENZI の PC 上でのリアルタイム実現に向けた検討，日本語による Audio Captioning モデルの構築に関する検討，近距離頭部伝達関数合成法を用いた音像定位に関する検討，クラウド障害時における車載音声対話システムの検討，頭部伝達関数の高精度測定に向けたマイクロホン及び頭部の位置調整法に関する検討，Normalizing Flow に基づく Any-to-Many 声質変換における Whisper 特徴量利用の検討に関する研究発表が行われた。

共同プロジェクト研究

採択番号：2025T03

東北プラズマフォーラム
非平衡プラズマの物理と材料・バイオ応用

［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）
主査
金子俊郎（東北大学・大学院工学研究科）
幹事
加藤俊顕（東北大学・大学院工学研究科）

研究分担者
佐々木渉太（東北大学・大学院工学研究科）
小倉宏斗（東北大学・大学院工学研究科）
高橋和貴（東北大学・大学院工学研究科）
岡田健（東北大学・大学院工学研究科）
茂田正哉（東北大学・大学院工学研究科）
宗岡均（東北大学・大学院工学研究科）
杉本真（東北大学・大学院工学研究科）
大西直文（東北大学・大学院工学研究科）
佐藤岳彦（東北大学・流体科学研究所）
高奈秀匡（東北大学・流体科学研究所）
K. Barman（東北大学・大学院工学研究科）
畢定坤（東北大学・大学院工学研究科）
李卓群（東北大学・大学院工学研究科）
孫田依姍（東北大学・大学院工学研究科）
中濵友吾（東北大学・大学院工学研究科）

［2］研究目的

本研究会は，低温プラズマから高温核融合プラズマといった広範なパラメータ領域にわたるプラズマの物理現象を解明し，半導体プラズマプロセス，新規デバイス材料創製，材料表面改質，プラズマ医療・農業機器，電気推進機，核融合プラズマ加熱機器など多方面の応用に関連する最新の研究成果に関して，特別講演及び特別企画を開催するとともに，活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

［3］研究成果等

（1）成果等

2025 年度は，大学院生によるプラズマ加熱装置，プラズマ推進機，プラズマナノ材料合成，ナノデバイス，プラズマ気液界面，プラズマ生物応用に関する最新の研究発表会を 1 回開催した。また，学部学生による最新の研究紹介を 2 回開催した.

さらに、国内, 国外研究者による気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成およびプラズマ精密計測・制御による材料合成に関する研究会を 1 回開催した。

他分野との融合や新展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し，最新の研究成果を持ち寄り討論することで情報交換を行い，共同研究展開も含めて有用な知見を得た.

以上の研究会参加者は，学内外合わせて常時 40 名前後であった.

（2）開催した研究会

東北プラズマフォーラム
日時：2025 年 5 月 29 日 16:30 ～ 18:30
2025 年 6 月 4 日 16:30 ～ 18:30
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
プログラム：
森下 裕貴(電気情報物理工学科, 金子研)
大谷 祐貴(電気情報物理工学科, 高橋研)
鈴木 蒼七(電気情報物理工学科, 金子研)
和田 一輝(電気情報物理工学科, 金子研)
刈屋 瑛嗣(電気情報物理工学科, 高橋研)

東北プラズマフォーラム
日時：2025 年 10 月 30 日 9:00 ～ 15:30
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 306 講義室
プログラム：
・内海　亮（電子工学専攻）
「電界誘導二次高調波生成法による気液界面プラズマの特性評価」
・月舘　悠斗（電子工学専攻）
「高性能グラフェンジョセフソン接合素子の開発」
・田村　侑真（電気エネルギーシステム専攻）
「デュアルイオンエンジン開発へ向けた酸素プラズマ中負イオンの生成特性」
・松井　敦寛（電子工学専攻）
「グラフェン-流動相界面における運動量とキャリア輸送」

・山本　純平（電気エネルギーシステム専攻）
「リモートプラズマ生成を用いた双方向噴射型高周波プラズマスラスタの長尺化」
・盧　衛子（電子工学専攻）
「1 次元原子層ナノスクロールの創製」
・管 稜弥（電気エネルギーシステム専攻）
「高周波プラズマ中和を用いたホールスラスタ作動の原理実証」
・中田 翔伍（電子工学専攻）
「電解質溶液の流動によってグラフェンに誘起される電気伝導」

東北プラズマフォーラム
日時：2026 年 2 月 17 〜 18 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
プログラム：

- Akitoshi Okino (Institute of Biomedical Engineering, Institute of Science Tokyo)
  「Analysis of trace drugs and single cells using atmospheric plasmas」
- Katsuyuki Takahashi (Faculty of Science and Engineering, Iwate University)
  「Chemical reactions induced by pulsed discharges over water surface and their applications」
- Si Shen (Technion - Israel Institute of Technology)
  「Plasma-Enabled Pathways Toward Controlled and Sustainable Energy Systems」
- Takafumi Okuma (Panasonic Industry Co., Ltd. / Kyushu Univ.)
  「Sputtering Technology / Career Design for Students」
- Yuya Yamashita (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))
  「Vibrational and Rotational Temperatures Nonequilibrium of Neutral Nitrogen Molecules in a Quasi-Atmospheric-Pressure Nitrogen Plasma Jet Generated by a Plasma-Enhanced Metalorganic Chemical Vapor Deposition Apparatus」
- Ryo Utsumi (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
  「Electric Field Measurement of Gas-liquid Interface Plasma Using Electric Field-Induced Second Harmonic Generation」

共同プロジェクト研究

採択番号：2025T04

コンピュータサイエンス研究会
プログラミング言語理論を中心とする計算機科学とその応用

［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）
　西田　雄気（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 1 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 187 回コンピュータサイエンス研究会
日時: 2025 年 7 月 10 日（木）14:40〜15:40
場所: 東北大学 青葉山キャンパス 電子情報システム・応物系 3 号館 206 号室およびオンライン
講演者: Prof. Sven-Bodo Scholz (Radboud University, the Netherlands)
題目: Type Pattern ― Between Types and Correctness by Construction

2）第 188 回コンピュータサイエンス研究会
日時: 2025 年 9 月 5 日（金）15:30〜16:30
場所: 東北大学 青葉山キャンパス 電子情報システム・応物系 1 号館 2B 講義室

講演者: Prof. Md. Saidur Rahman (Department of Computer Science and Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology)
題目: Relating Planar Graph Drawings to Planar Satisfiability Problems

採択番号：2025T05

システム制御研究会
システム制御に関する理論と応用

［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）
市地　慶（東北大学 大学院医学系研究科）
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）
鈴木　朱羅（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）による運動制御において、エネルギー効率と制御精度とのトレードオフを解決することは重要な課題であり、運動中の拮抗筋対の共収縮レベルを動的に調整することで、改善可能であることが報告されている。この方法では，共収縮レベルと現在の手先位置から算出される目標角度に基づいてルックアップテーブルを利用して刺激強度を決定する。本研究では、この FES 制御法について、問題点と制御性能の検証を、リーチング運動の FES 制御のモデルシミュレーションにより行った。これらの結果、この制御法は、ある程度の誤差を補正しながらリーチング運動を実現できることを確認したが、制御可能範囲がリーチング運動の開始点と目標点間の距離によって制限されること、制御誤差によっては制御不能になる可能性があることが確認された。また、共収縮レベルが高いほど、急激な変化を抑えつつ目標点に接近できることが示唆された。

②機能的電気刺激（FES）による動作制御において、筋の電気刺激応答は、非線形性と時変性を持つため、正確かつ決定論的な制御を実現することは困難である。そこで、比例積分（PI）制御器と確率的極値探索アルゴリズムから構成される適応型フィードバック制御器の適用をモデルシミュレーションにより検討した。異なる非線形特性を有する筋骨格モデルで、複雑な運動パターンの制御により検証した結果、適応型制御器は、固定 PI 制御器と比較して、性能面で改善を示したが、性能や再現性、安定性でばらつきも見られた。これは、適応型制御器のパラメータ調整が確率的プロセスによって調整されるためである。しかしながら適応アルゴリズムは、確立された調整要件がないにもかかわらず、非線形環境において PI 制御器を効率的に適応させる能力を有することが確認された。

③単一の慣性計測装置（IMU）を用いた 3 次元下肢関節角度の推定を実現するため、センサの装着位置（足、下腿、大腿）および再帰型モデル（BiGRU、BiLSTM）の利用を検討した。検証は、健常者 1 名で光学式モーションキャプチャシステムで測定した膝関節角度の推定と、健常者 6 名で 16m 歩行における通常歩行と片麻痺模擬歩行で計測した下肢関節角度の推定により行った。センサの装着位置によらず、BiGRU は BiLSTM に比べて、より低い計算コストで、より低い誤差とより高い R^2を達成した。モーションキャプチャ計測の結果では、足部に装着した IMU が最も高い膝関節角度の推定精度を達成した。16m 歩行計測の結果では、BiGRU は通常歩行において 3.97°～4.08°、片麻痺模擬歩行において3.76°～5.05°の RMSE 値となり、足関節角度の予測において最も高い推定精度が得られた。また、片麻痺模擬歩行では、左右の RMSE 差が 1.25°であった。これらの結果から、BiGRU が実用的な 3D 関節角度推定において有効になると考えられる。

④座位時間の長い生活様式の普及に伴い、腰痛の有病率が上昇しており、近年、姿勢改善のための姿勢モニタリングやフィードバックシステムが研究されている。しかし、体幹の回旋や複

雑な屈曲運動を含む場合については十分に検討されていないため、本研究では、単一の慣性計測装置（IMU）を用いて、座位時の体幹傾斜角の軌跡および重心（CoM）位置の軌跡を推定する方法を検討した。複数の体幹運動に加え、体幹回旋を含む運動を対象として、推定精度を検証した。体幹回旋角 0°、±20°、±40°での体幹前項屈運動を、2 つの動作速度で実施した結果、体幹回旋が加わった場合でも、推定誤差は先行研究で江北されている許容範囲内に収まることが示されたが、回旋角度が大きくなるにつれて推定誤差が増加する傾向が見られた。また、全般的に移動速度が低いほど推定精度は高かった。体幹回旋を含む場合の推定精度の低下について、センサ位置の影響を検討したが、原因については、さらなる調査が必要であった。

⑤VR 利用時に生じる VR 酔いは動揺病に近い症状を呈するが、その客観的な評価手法は未だ確立されていない。本研究では、眼球運動の変化から VR 酔いの重症度を定量的に評価することを目的として、頭部運動と注視点座標を入力として眼球運動を出力する眼球運動制御モデルを構築した。さらに、このモデル出力が眼球運動の実測値と一致する際の制御パラメータを同定し、その変化を分析することで、VR 酔いが中枢神経に及ぼす影響を評価した。

被験者 29 名を対象とした実験のデータを解析した結果、VR 酔い発生時において、眼球運動の特定の制御パラメータが VR 酔いの重症度に関連する可能性が示唆された。

⑥ウェアラブルデバイスで計測可能なインピーダンス脈波振幅値と光電容積脈波から得られる脈波伝搬時間を用いて血圧変動を推定するモデルを提案した。推定対象を血圧の絶対値から変化率へ変更することでセンサーゲインの影響を抑制し、皮膚接触状態などの変化に対してロバストな推定手法の構築を目指した。

被験者 12 名のデータを用いて提案手法の精度を検証した結果、血圧の初期基準値に依存しないモデルにおいて平均絶対誤差が 8.83±4.65mmHg となった。また、腕の高さ変化によって生じる血管内圧変化でモデル係数を校正し、これを冷水負荷時のデータに適用したところ、血圧の推定精度が著しく低下した。このことから、血圧変動の背景にある生理学的メカニズムの違いが推定精度に大きな影響を与えることが明らかとなった。

⑦室内の Wi-Fi 電波のチャネル状態情報（CSI）を用いた生体行動認識は、計測する環境や個人が変化するドメインシフトによって性能が大きく低下する。本研究では、先行研究で提案された SHARP フレームワークで得られるドップラースペクトログラムを用いた生体行動認識について、体格、運動速度、および動作時間の違いを擬似的に作り出す強度スケーリング、速度軸スケーリング、時間軸スケーリングの 3 つのデータ拡張手法を提案し、ドメインシフトによる精度低下を抑制することを目的とした。

公開データセットを用いた検証の結果、提案手法によるデータ拡張はドメインシフトによる精度低下を抑制できる可能性が示された。特に、複数のデータ拡張を組み合わせた方が単一の拡張よりも効果が高くなる傾向があり、複数の変動要因を同時にモデリングすることが汎化性能の向上に有益であることが示された。

（2）開催した研究会

① 第 120 回システム制御研究会
令和 7 年 6 月 25 日（水）16:30～18:10

- A study on Model Simulation Test of FES Control Method with Dynamic Co-contraction Modulation of Reaching Movement
- Hybrid Functional Electrical Stimulation (FES) and Exoskeleton Rehabilitation for Multi Joint Movement Restoration with Fuzzy Coactivation Model
- A Model Simulation Test of Extremum Seeking-based Adaptive Feedback Controller on FES Control of the Elbow Joint
- Design and Development of a Non-Contact Indoor Navigation Assistance Device Based on Ultra-Wideband Radar for Visually Impaired Individuals with A* Algorithm.

① 第 121 回システム制御研究会
令和 8 年 1 月 21 日（月）16:30～18:10

- Prediction of Freezing of Gait (FoG) in Parkinson's Disease Using Multichannel Accelerometer Data
- A Basic Study on Estimating Trunk Tilt Angle and Center of Mass Trajectory including Trunk Twist in Seated Position
- Development of Practical Fuzzy FES Control for Hip-Knee Movement Restoration of Hemiplegic Gait: The Cycle-to-Cycle Control Method with Telerehabilitation Facility
- A Test of IMU–Based 3D Lower-Limb Joint Angle Estimation in Healthy and Hemiparetic Gait

◆ 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）

・佐藤，渡邉，“歩行評価のためのクラスタリングを用いた健常者歩行基準の作成法に関する検討”，第 64 回日本生体医工学会大会，2025.
・安藤，渡邉，“歩容変化に影響を及ぼした歩行評価指標の推定：機械学習と単一慣性センサを用いた実現可能性の検証”，第 64 回日本生体医工学会大会，2025.
・舩井，渡邉，“双方向長・短期記憶ネットワークによる慣性センサを用いた体重心位置推定における歩行の左右非対称の影響”，第 64 回日本生体医工学会大会，2025.
・伊藤，渡邉，“手関節閉ループ FES 制御における前腕姿勢に応じたゲイン可変制御法の有効性検証”，第 64 回日本生体医工学会大会，2025.
・L. Yamada, T. Watanabe, “Evaluating Catchlike-Inducing Pulse Train in Angle Production During Simulated Slow-Speed Walking for Foot Drop Correction by Functional Electrical Stimulation,” Advanced Biomedical Engineering, Volume 14, Pages 340-346, 2025.
・ R. Sato and T. Watanabe, "Data-Driven Gait Phenotyping in Older Adults via Clustering of Raw Signals: Links to Fall History," 2025 IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Osaka, Japan, 2025, pp. 235-237.
・ K. Nakayoshi and T. Watanabe, "Validation of Functional Electrical Stimulation Control Method with Dynamic Co-Contraction Modulation: Influence of Control Errors on Reaching Movements," 2025 IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Osaka, Japan, 2025, pp. 437-440.
・R. Sato, T. Watanabe, “Data-Driven Phenotyping from Foot-Mounted IMU Waveforms: Elucidating Phenotype-Specific Fall Mechanisms,” Sensors 25, no. 24: 7503, 2025.
https://doi.org/10.3390/s25247503
・伊藤，渡邉，“手関節閉ループ FES 制御における前腕姿勢情報を用いた適応型ゲインチューニング手法の検証”，第 46 回バイオメカニズム学術講演会, 2025.

(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）

・ L. Xinyue, T. Watanabe, “A Preliminary Study on Effect of IMU Placement on 3D Knee Angle Estimation during Gait,” 第 59 回日本生体医工学会東北支部大会, 2025.
・ 佐藤，渡邉，“足部 IMU 波形の被験者間非類似度に基づく高齢者の歩行フェノタイプ別特徴量重要度の解析”，第 59 回日本生体医工学会東北支部大会, 2025.
・ 安藤，渡邉，“単一慣性センサによる下肢関節角度を用いた歩容変化検出の実現可能性の検証”，第 59 回日本生体医工学会東北支部大会, 2025.
・ 仲吉，渡邉，“人運動速度パターンに基づく FES リーチング運動制御における PD 制御器使用時の共収縮変調効果の検証”，第 59 回日本生体医工学会東北支部大会, 2025.
・杉田, “ウェアラブル”レス”な生体モニタリング”, 第 98 回日本産業衛生学会, 2025.
・佐藤, 杉田, 志賀, 花木, 相澤, “顔映像を用いた血圧変動推定に関する研究”, 第 64 回日本生体医工学会大会, 2025.
・吉澤, 杉田, 酒井, 則竹, 伊藤, “映像脈波の位相情報推定方法の比較”, 第 64 回日本生体医工学会大会, 2025.
・相澤, 杉田, 佐藤, 吉田, 吉澤, “新生児に対する非接触モニタリングに関する研究”, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 2025.
・花木, 杉田, “フォトプレチスモグラフィと生体インピーダンス信号を合わせた血圧推定モデルに関する研究”, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 2025.
・齋藤, 杉田, 小宮山, 佐藤, “眼球運動の制御モデリングによる VR 酔い症状の定量的な評価”, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 2025.
・佐藤，杉田，齋藤，小宮山，吉澤, “VR 体験における主体感の定量的評価”, 計測自動制御学会東北支部 第 357 回研究集会, 2026.
・荒川，曾，張，周，杉田，本間, “MRI モダリティーを用いた 2D/3D 深層学習モデルによる脳腫瘍セグメンテーション性能の比較評価”, 計測自動制御学会東北支部 第 357 回研究集会, 2026.
・阿部，市地，杉田，吉澤, “Wi-Fi チャネル状態情報を用いた活動推定における人・環境差のデータ拡張による影響低減”, 令和 8 年電気学会全国大会, 2026.

共同プロジェクト研究

採択番号：2025T06

情報バイオトロニクス研究会
バイオ・ナノハイブリッドシステムに基づく次世代バイオデバイス創製

［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）
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）
五十嵐 アン（東北大学工学研究科）
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）
野本 達也（東北大学医工学研究科）
室田 白馬（東北大学工学研究科）
渡邉 啓太（東北大学工学研究科）
WU Jingxuan（東北大学医工学研究科）

［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について討論してきた．本年度は，後述の通り，工学・生命科学融合セミナーおよびナノ・スピン工学研究会の計 2 件の研究会を開催した．両研究会では，関連分野の著名な研究者を海外から招聘し，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 8th FRIS-TFC Collaboration Event「Interdisciplinary seminar on advanced bioelectronics at the interface of engineering and life sciences 工学・生命科学融合セミナー：先端バイオエレクトロニクスの展望」
2025 年 10 月 20 日開催．ドイツ・アーヘン工科大学（RWTH）Institute of Materials in Electrical Engineering 所長の Sven Ingebrandt 教授を招聘し，バイオセンサー及びバイオエレクトロニクスにおける材料とデバイス応用に関する講演が行われた．あわせて，東北大学の研究者による発表も実施され，研究交流が行われた．

- 共同プロジェクト研究（区分 T）第 150 回ナノ・スピン工学研究会および学術変革(A)「バイオ超越」 第 5 回領域セミナー
2025 年 12 月 2 日開催．バルセロナ大学 Department of Condensed Matter Physics, Institute of Complex Systems の Albert Diaz-Guilera 教授を招聘し，社会科学や生物学，神経科学とも密接に関連する多層ネットワークにおけるダイナミクス解析に関する講演が行われた．これにより，分野横断的な議論が展開された．

採択番号：2025T07

スピニクス研究会
磁性材料、磁気計測および磁気デバイス応用に関する研究開発

［1］研究組織

研究代表者：
遠藤　恭（東北大学 大学院工学研究科）

通研対応教員：
石山　和志（東北大学 電気通信研究所）

主査：
遠藤　恭（東北大学 大学院工学研究科）
幹事：
桑波田　晃弘（東北大学 大学院工学研究科）
室賀　翔（東北大学 大学院工学研究科）
研究分担者：
サイモン　グリーブス
（東北大学 電気通信研究所）
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）
阿加　賽見（東北大学 大学院工学研究科）
藪上　信（東北大学 医工学研究科）
中村　健二（東北大学 大学院工学研究科）
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）
後藤太一（東北大学 電気通信研究所）

［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）成果等

本研究会では、電子スピンを基礎とするスピニクスおよび磁気工学のさらなる発展を目指し、今年度は計 9 回（第 220 回～第 228 回）の研究会を開催した。全日程を対面形式で実施し、産学官から延べ 375 名の参加者を集め、活発な情報交換と討論を行った。本プロジェクトを通じた研究者間・学生間の情報交換は、基礎的な学理の探求から次世代デバイスへの応用展開に至るまで、次世代の磁気工学を牽引する共同研究や技術革新の創出に寄与するものである。

（2）開催した研究会

第 220 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter, IEEE Sendai Section）
日時：2025 年 4 月 3 日(木)15:00-16:30
場所：東北大学工学部電気系 1 号館講義室 2D
形式：対面
参加者：20 名
講演：25-1-1 Prof. Nian Sun

第 221 回スピニクス研究会（共催：磁気学会ナノマグネティックス専門研究会、電気学会光・熱・電気と磁気の相互作用の活用技術調査専門委員会、IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter）
日時：2025 年 6 月 6 日(金)13:30-16:45
場所：東北大学電気通信研究所本館 6 階大会議室
形式：対面
参加者：15 名
講演：
25-2-1「誘電体記録の熱アシスト再生」長 康雄（東北大）
25-2-2「スピントルク熱アシスト磁気記録方式の原理検証」 磯上慎二（NIMS）
25-2-3「テープストレージの最新技術および市場動向」 武者敦史（富士フイルム）
25-2-4「FePt グラニュラー薄膜の PhaseField 計算の進展」 松岡佑亮（NIMS）

第 222 回スピニクス研究会（共催：電気学会東北支部）
日時：2025 年 6 月 18 日(水)14:40-16:10
場所：東北大学工学部復興記念ホール
形式：対面
参加者：80 名
講演：
25-3-1「磁性材料およびその応用製品の開発動向」諏訪部 繁和（日本ボンド磁性材料協会）

第 223 回スピニクス研究会（共催：電気学会ナノマグネティックス専門研究会、IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter）
日時：2025 年 6 月 30 日(月)15:15-17:15
場所：東北大学工学部電気情報系 1 号館大会議

室
形式：対面
参加者：15 名
講演：
25-4-1「ナノ析出物制御による強度と軟磁気特性の両立」森田敏之氏 （大同特殊鋼株式会社）
25-4-2「数 MHz の交流磁場中でのフルヒステリシス測定手法の開発」柳原英人（筑波大学）

第 224 回スピニクス研究会（共催：電気学会ナノマグネティックス専門研究会、IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter）
日時：2025 年 7 月 25 日(金)14:40-16:30
場所：東北大学工学部電気情報系 1 号館大会議室
形式：対面
参加者：20 名
講演：
25-5-1「磁性ナノ粒子の磁気緩和解析によるがん診断治療への展開」大多哲史氏（静岡大学）
25-5-2「機能性磁性ナノ粒子の創製と医療技術への応用」金子真大氏（名古屋大学）

第 225 回スピニクス特別研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter, IEEE Sendai Section）
日時：2025 年 10 月 23 日（木）、24 日（金）
場所：山形大学工学部工学部百周年記念会館
形式：対面
参加者：27 名
講演：
25-6-1 「バースト信号を用いた YIG 導波路中のスピン波伝搬の可視化」,壬生田慎治、後藤太一、石山和志（東北大学）25-6-2 「磁気ギヤによる SR モータのトルクリプル抑制機構の実機検証」,岩城圭悟、中村健二（東北大学）25-6-3 「小型 EV 用アキシャルギャップ型 SR モータの磁気的相互作用を考慮したモータモデルに関する基礎検討」,永澤慎太郎、中村健二（東北大学）25-6-4 「2 つの最適化手法を用いた磁束変調型磁気ギヤの磁石使用量削減に関する検討」,角貴則（東北大学）、立谷雄一 （東北大学、プロスパイン）、中村健二（東北大学）25-6-5 「磁気ハイパーサーミアにおけるダイヤモンド量子センサを用いた磁性ナノ粒子の温度計測」,荒川佑奈、井上昌成、藪上信、桑波田晃弘 （東北大学） 25-6-6 「気固反応による FeSi 軟磁性ミクロン/ナノ粒子への酸化被膜の形成」,中新田弘幸、西倉温弘、大西昴、村上泰斗、飛世正博、斉藤伸 （東北大学） 25-6-7 「低磁歪を有す軟磁性 Fe-B-N グラニュラー薄膜の形成」,大竹充、磯貝直希、今村光佑 （横浜国立大学） 25-6-8 「【招待講演】強磁性共鳴の情報科学的展開：カオスとエンタングルメント」,千葉貴裕 （山形大学、東北大学）25-6-9 「【特別講演】単結晶薄膜による基本磁気特性評価と磁気記録への応用」,稲葉信幸（山形大学）25-6-10 「【招待講演】交換結合ナノコンポジットハード磁性体のモデル形成」,小池邦博 （山形大学） 25-6-11 「有限温度下における交換結合型 Sm(FeCo)12/FeCo/Sm(FeCo)12 積層ナノコンポジット粒子の減磁過程」,小林翔大、稲葉信幸、加藤宏朗（山形大学）、板倉賢（九州大学）、中野正基 （長崎大学）、大久保晋、太田仁（神戸大学）、小池邦博 （山形大学） 25-6-12 「Nd2Fe14B/FeCo/Nd2Fe14B ナノコンポジット粒子の減磁過程の印加磁場角度依存性」,清水優斗、稲葉信幸、加藤宏朗（山形大学）、板倉賢（九州大学）、中野正基 （長崎大学）、大久保晋、太田仁（神戸大学）、 小池邦博（山形大学）25-6-13 「Fe 基合金で側面被覆された交換結合型 CeZrFe11 ナノコンポジット粒子の減磁過程」,間野優奈、稲葉信幸、加藤宏朗（山形大学）、板倉賢 （九州大学）、中野正基 （長崎大学）、大久保晋、太田仁 （神戸大学）、小池邦博 （山形大学） 25-6-14 「交換結合型 CeZrFe11/FeCo 積層ナノコンポジット磁石粒子の減磁過程」,小林篤司、稲葉信幸、加藤宏朗 （山形大学）、板倉賢（九州大学）、中野正基（長崎大学）、大久保晋、太田仁 （神戸大学）、小池邦博 （山形大学） 25-6-15 「単一バルクダイヤモンド量子センサを用いた磁場検出のためのグラジオメータ」,井上晶成、荒川佑奈、藪上信、桑波田晃弘（東北大学）25-6-16 「酸化鉄粒子の in-situ 還元度評価のための露点計測法の提案」,高橋快周、西倉温弘、中新田弘幸、小川智之、齊藤伸（東北大学）25-6-17 「PLD-LIFT 法によって形成された Nd-Fe-B シングルドットの磁気特性」,大川貴弘（山形大学）、板倉賢（九州大学）、中野正基（長崎大学）、小池邦博（山形大学）25-6-18 「球状コア/シェル構造をもつ Nd-Fe-B/α-Fe ナノ粒子の減磁過程」,五十川優、大川貴弘 （山形大学）、板倉賢（九州大学）、中野正基 （長崎大学）、小池邦博（山形大学）25-6-19 「粒径の異なるサブミクロン Fe-Ni 微粒子における磁気特性」,劉浩東、阿加賽見、宮崎孝道、室賀翔、遠藤恭（東北大学）25-6-20 「異なる温度で熱処理した極薄 Fe-1 wt.%Si 箔の構造および磁気特性が鉄損におよぼす影響」,髙須匠、阿加賽見、室賀翔、遠藤恭（東北大学）、三上慎太郎、平城智博（東邦亜鉛）25-6-21 「液体急冷法による作製した Fe-6.5wt.%Si 薄帯の磁気特性に及ぼす熱処理の影響」,阿加賽見、室賀翔、遠藤恭（東北大学）

第 226 回スピニクス研究会（主催：東北大学産学連携先端材料研究開発センター、共催：東北大学バルク軟磁性材料研究拠点、協賛：IEEE Mag. Soc. Tokyo Chapter、IEEE Mag. Soc. Sendai/Sapporo Chapter 、IEEE Mag. Soc. Nagoya Chapter）

日時：2025 年 11 月 10 日(月)13:00-17:00
場所：東北大学工学部復興記念ホール
形式：対面
参加者：138 名
講演：
25-7-1 「高周波磁気損失を掘り下げる」,岡本聡（東北大学）25-7-2 「磁歪と過剰損失の関係に基づくナノ結晶軟磁性合金の高効率化指針」,鈴木清策（Monash 大学）25-7-3 「軟磁性薄膜における磁化ダイナミクスと磁歪に関する研究、および軟磁性材料における磁歪計測法の開発」,遠藤恭（東北大学）25-7-4 「鉄損における磁歪効果の理論研究」,塚原宙 （東北大学） 25-7-5 「軟磁性フェライトの高周波磁区ダイナミクス」,小笠原剛（産総研）25-7-6 「高周波（MHz 領域）フルヒステリシス M-H 測定の開発と実測例」,柳原英人 （筑波大学） 25-7-7 「パワエレ回路設計者からの軟磁性材料への期待」,青木弘利（タムラ製作所）25-7-8 「パワーエレクトロニクス用バルク軟磁性材料研究のありかたを語る」,パネリスト：登壇者 7 名、モデレータ：谷口卓也（東北大学）

第 227 回スピニクス研究会（IEEE DL 講演会）（共催：IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter、IEEE Sendai Section）

日時：2025 年 11 月 14 日(金)16:00-17:00
場所：東北大学 電気通信研究所 本館 3 階
形式：対面
参加者：20 名
講演：25-8-1 「Artificial Intelligence-Assisted Design and Fault Diagnosis of Electric Motors for Green Transportation」Professor Min-Fu Hsieh (National Chen Kung University, Taiwan)

第 228 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter、IEEE Sendai Section）

日時：2026 年 1 月 21 日(水)15:00-16:00
場所：東北大学 工学研究科 総合研究棟 110 号室
形式：対面
参加者：40 名
講演：25-9-1 「インバータモータの解析と開発における今後の一方向性」井出一正 （名古屋大学）

共同プロジェクト研究

採択番号：2025T08

ニューパラダイムコンピューティング研究会
AI 時代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 1 回の研究会が開催され，半導体産業における産学連携の取り組みについて紹介された．その中で，国際卓越研究大学に認定された東北大学とルネサスエレクトロニクスとの間で進んでいる産学連携の密な取り組みについて詳細な解説があり，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 121 回ニューパラダイムコンピューティング研究会
日時：2025 年 11 月 29 日
会場：ローズホテル横浜 3F ロータスルーム B
講演者：中島雅美（ルネサスエレクトロニクス株式会社/東北大学）
題目：「半導体における産学官連携の取組について」

参加者：30 名

採択番号：2025T09

超音波エレクトロニクス研究会
超音波技術の基礎から応用に関する研究発表および討論

［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 大学院医工学研究科）

研究分担者
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）
荒川　元孝（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）
鈴木　陸　（東北大学 大学院医工学研究科）
西前　大亮（東北大学 大学院医工学研究科）
金子　悦久（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・圧電体物性、およびそれらの応用に関する研究発表および討論を通して、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

第 115（超音波研究会との共催研究会）、116、117、118 回の研究会において、それぞれ 2 件、7 件、5 件、3 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 115 回超音波エレクトロニクス研究会
日時：2025 年 8 月 5 日（火）13:15-15:15
場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1 号館大会議室

第 116 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
日時：2025 年 10 月 22 日（木）13:00-16:35
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 117 回超音波エレクトロニクス研究会
日時：2025 年 12 月 18 日（木）13:00-15:45
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 118 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：2026 年 1 月 22 日（木）13:00-15:00
場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1 号館大会議室／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)

・A. Bhatti, T. Ishii, M. Lafond, Y. Saijo, “Volumetric visualization of the dermal vasculature with signal and image-based feature extraction on a high-frequency ultrafast ultrasound dataset,” Ultrasound Med.Biol., Vol. 51, pp. 1514-22 (2025.9).
・Y. Soejima, E. Onishi, M. Yamauchi, M. Arakawa, “Phantom experiment for thoracic spine gap delineation using steering-transmitted ultrasound to assist epidural anesthesia,” J. Med. Ultrason., in press, (2026.1).
・H. Niiyama, N. Masauzi, S. Yashiro, Y. Ishigaki, M. Arakawa, “Optimization of focal-region width to estimate the size of red blood cell aggregates using ultrasound backscatter characteristics,” Acoust. Sci. Technol., Vol. 47, pp. 197-201 (2026.3).
・Y. Soejima, M. Arakawa, T. Ishii, H. Saito, E. Onishi, M. Yamauchi, Y. Saijo, “Thoracic spine imaging method for epidural anesthesia using steering-transmitted ultrasound: in vivo study,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 65, 048002 (2026.2).
・Y. Kaneko, H. Igarashi, H. Yagishita, A. Bhatti, T. Sasaki, Y. Saijo, T. Ishii, “A framework for rapid three-dimensional visualization of whole cerebral vasculature in mice using high-frequency ultrafast ultrasound with continuous mechanical scanning and ensemble size optimization,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 65, 06SP04 (2026.3).
・R. Kobayashi, M. Arakawa, T. Ishii, K. Kobayashi, Y. Saijo, “Measurement method for sound speed and attenuation of blood vessel tissue using acoustic microscope with a high-frequency range probe,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 65, 07SP30 (2026.3).
・N. Iso, S. Mori, S. Yoshizawa, “Investigation of quantitative temperature monitoring method during high-intensity focused ultrasound sonication by thermal strain imaging using effective tissue-dependent coefficients,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 65, 05SP34 (2026.3).
・Y. Yaguchi, S. Sato, S. Mori, H. Okamoto, Y. Endo-Takahashi, Y. Negishi, S. Yoshizawa, “Acoustic and optical observation of nonlinear oscillation of nanobubbles exposed to focused ultrasound,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 65, 05SP35 (2026.3).

（学会発表）

・R. Suzuki, I.G.E. Sulistyawan, T. Ishii, Y. Saijo, “Development of photoacoustic imaging system to visualize microvascular properties,” The 20th Congress of World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (2025.5).
・T. Ishii, K. Takakusagi, K. Mitsui, K. Yambe, R. Suzuki, Y. Saijo, “Development of vector flow imaging frameworks for visualization of aortic blood flow,” The 20th Congress of World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (2025.5).
・Y. Kaneko, H. Yagishita, A. Bhatti, Y. Saijo, H. Igarashi, T. Ishii, “Three-dimensional Imaging of Rodent Brain Vasculature using Ultrafast Highfrequency Ultrasound with Continuous Mechanical Scanning,” The 20th Congress of World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (2025.5).
・Y. Kaneko, H. Yagishita, A. Bhatti, Y. Saijo, H. Igarashi, T. Ishii, “Effects of microbubbles on rodent brain vasculature imaging using high-frequency ultrasound,” The 48th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (2025.7).
・Y. Kaneko, H. Igarashi, H. Yagishita, A. Bhatti, T. Sasaki, Y. Saijo, T. Ishii, “Evaluation of Microbubble Effectiveness for Micro- Doppler Imaging,” International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE 2025) (2025.9).
・K. Takakusagi, T. Ishii, K. Mitsui, Y. Saijo, “Archimedean-Spiral Wave Vector Flow Imaging Using a Curvilinear Array Transducer,” IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2025) (2025.9).
・S. Kawakami, T. Ishii, Y. Saijo, “Myofascial 2D Motion Tracking by Multi-Scale Speckle Tracking with Kalman Filtering for Functional Assessment of Swallowing-Related Muscles,” IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2025) (2025.9).
・I.G.E. Sulistyawan, R. Suzuki, T. Ishii, Y. Saijo, “SynthNet: A Real-Time RF Signal Synthesis for Sparse and Bandlimited Photoacoustic TomographyUsing Sine-Activated UNET Without Anatomical Prior,” IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2025) (2025.9).
・R. Suzuki, I.G.E. Sulistyawan, T. Ishii, Y. Saijo, “Visualization of Changes in Inflammatory Vascular Properties Using Photoacoustic Imaging,” IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2025) (2025.9).
・Y. Mizuguchi, M. Shimizu, D. Nishimae, T. Ishii, Y. Saijo, “Evaluation of quantitativeness of a multi-wavelengthphotoacoustic tomography system,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・A. Oue, D. Nishimae, I.G.E. Sulistyawan, R. Suzuki,

T. Ishii, Y. Saijo, “Fundamental Validation of Microwave-InducedThermoacoustic Tomography Using a HemisphericalArray Sensor,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・Y. Kaneko, H. Igarashi, H. Yagishita, A. Bhatti, T. Sasaki, Y. Saijo, T. Ishii, “High-frequency ultrafast ultrasound imagingof whole cerebral vasculature in mice,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・H. Niiyama, M. Arakawa, T. Ishii, S. Yashiro, Y. Ishigaki, Y. Saijo, “In Vivo Measurement of Ultrasound Attenuation in Dorsal HandVein Considering Blood Flow,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・Y. Soejima, M. Arakawa, T. Ishii, E. Onishi, M. Yamauchi, Y. Saijo, “A study on enhancement of delineation of thoracic spinegap using steering-transmitted ultrasound,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・T. Ishii, K. Kaga, H. Nahas, B. Yiu, A. Yu, Y. Saijo, “A novel application of ultrasound vector flow imaging: Assessment of flow dynamics in the urinary tract,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).
・R. Suzuki, I.G.E. Sulistyawan, T. Ishii, Y. Saijo, “A photoacoustic imaging approach for high-resolution visualization and characterization of superficial microvasculature,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).
・K. Maruyama, T. Ishii, R. Suzuki, Y. Saijo, “Utilization of raw radio frequency signals of intravascular ultrasound for vascular lumen segmentation and three-dimensional modeling,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).
・T. Ishii, Y. Kaneko, H. Igarashi, H. Yagishita, T. Sasaki, Y. Saijo, “High-frequency ultrasound imaging of the cerebral blood vessels in rodent models,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).
・S. Mori, S. Yoshizawa, T. Yamaguchi, H. Hachiya, “Effectiveness of non-speckle signals removal for envelope-statistics based quantitative imaging of liver tissue characteristics,” The 20th Congress of World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (2025.5).
・S. Yoshizawa, “Ultrasound-guided focused ultrasound treatment using cavitation bubbles,” The 20th Congress of World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (2025.5).
・Y. Ono, S. Mori, S. Yoshizawa, “Analysis of HIFU pressure field containing reflected and refocused HIFU waves by optical method,” International Symposium on Therapeutic Ultrasound (ISTU) 2025 (2025.6).
・K. Ito, S. Mori, S. Yoshizawa, “Ultrasound imaging method of cavitation bubbles with high sensitivity in HIFU focal region by superimposing HIFU pulse,” International Symposium on Therapeutic Ultrasound (ISTU) 2025 (2025.6).
・S. Mori, K. Kodama, S. Yoshizawa, “Estimation of heat source distribution by acoustic radiation force imaging immediately after HIFU sonication,” International Symposium on Therapeutic Ultrasound (ISTU) 2025 (2025.6).
・S. Mori, S. Yoshizawa, P.-H. Tsui, T. Yamaguchi, H. Hachiya, “Modified Nakagami Parametric Imaging for Liver Tissue Characterization by Removing High-intensity Non-speckle Signals,” IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS2025) (2025.9).
・N. Iso, S. Mori, S. Yoshizawa, “Investigation of Temperature Monitoring Method Using Thermal Strain Imaging in Tissue Mimicking Phantom Exposed to High-Intensity Focused Ultrasound,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・Y. Yaguchi, S. Sato, S. Mori, H. Okamoto, Y. Endo-Takahashi, Y. Negishi, S. Yoshizawa, “Acoustic and optical observation of nonlinear oscillation nanobubbles exposed to ultrasound,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・K. Ito, S. Mori, S. Yoshizawa, “Relationship between the intensity of focused ultrasound superimposed on ultrasound imaging pulse and cavitation bubble detection sensitivity,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・S. Mori, S. Yoshizawa, “Investigation of Selective Removal Method for High-intensity Non-speckle Signals Originating from Acoustic Structures,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・Y. Ono, S. Mori, S. Yoshizawa, “Optical measurement of high-pressure acoustic field generated by high-intensity focused ultrasound exposure involving multiply reflected waves,” The 46th Symposium on UltraSonic Electronics (USE 2025) (2025.11).
・Y. Ono, S. Mori, S. Yoshizawa, “Optical measurement of transient change in high-intensity focused ultrasound fields by interference with multiply reflected waves,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).
・S. Mori, “Quantitative tissue characterization of liver fibrosis based on envelope statistics,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).

・S. Mori, S. Yoshizawa, “Estimation of focal region of high-intensity focused ultrasound by acoustic radiation force imaging just before therapeutic sonication,” The Sixth Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (2025.12).

採択番号：2025T10

ブレインウェア工学研究会
生物の適応的情報処理システムのリバースエンジニアリング

［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）

［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7年7月22 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：

「不揮発ロジック LSI 技術に基づく新概念コンピューティング」（夏井雅典、東北大学）

「Gallop 歩容における trailing limb と leading limb の機能分化」（前田友絵、東北大学）

「Exploring brain mechanisms of self-initiated attention shift: Simultaneous recording of EEG and eye movements」（HOU Dengzhe、東北大学）

第二回ブレインウェア工学研究会を令和 7 年 11 月 4 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 15 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：

「場の相互作用を用いた集団システムの自律分散型制御」（折金悠生、東京科学大学）

「組込み不揮発メモリのトレンドとルネサスでの開発、エッジ AI 半導体への展開」（伊藤孝、ルネサスエレクトロニクス（株））

「日常生活音を対象とした異常音検知手法とその性能比較」（安倍幸治、秋田県立大学）。

共同プロジェクト研究

採択番号：2025T11

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技術の展開

［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）
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）
林　宗澤（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）
土肥昂尭（東北大学 電気通信研究所）
唐　超　（東北大学 電気通信研究所）
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）
Davide Noè（東北大学大学院 工学研究科）
武藤由依（東北大学大学院 工学研究科）
室田白馬（東北大学大学院 工学研究科）
野本達也（東北大学大学院 医工学研究科）
佐藤佑磨（東北大学大学院 工学研究科）
若林　駿（東北大学大学院 工学研究科）
門間信明（東北大学大学院 工学研究科）
金子遥南（東北大学大学院 工学研究科）
河原真斗（東北大学大学院 工学研究科）
Victor Huet（東北大学大学院 工学研究科）
渡邉啓太（東北大学大学院 工学研究科）
野呂康介（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

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ことを目的として、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145回2025年7月29日、2025年度理研RAP＆東北大学第 1 回連携ワークショップ（詳細省略）
・第146回2025年8月4日、第97回スピントロニクス専門研究会／第 2 回人工知能磁気応用専門研究会（詳細省略）
・第147回2025年9月4日、2025年度ナノ・スピン実験施設研究発表会、ナノ・スピン実験施設研究発表会、「カイラル反強磁性体における量子幾何誘起非線形ホール効果の観測と制御」、内村友宏（深見・金井研究室、D3）、”Measurement of tiny magnetization for future spintronics”、Katarzyna Gas（深見・金井研究室、助教）、「エピタキシャルグラフェン FET を用いたテラヘルツ波検出素子の高感度化・高速応答化に関する研究」、工藤大佳（(廣岡)佐藤(昭)・林研究室、M2）、「高速テラヘルツ無線通信に向けたプラズモニック検出素子の高性能化に関する研究」、永津将希（(廣岡)佐藤(昭)・林研究室、M2）、「二次元材料ヘテロ障壁構造のデバイスプロセス技術とその高周波/光デバイス応用に関する研究」、濱田葵生（(廣岡)佐藤(昭)・林研究室、M2）、「微小グラファイト電極を用いた MoS2 デバイスの低温動作特性」、計良雄太（大塚准教授研究室、M2）、「グラフェン超極短ゲートを用いたトランジスタの試作」、田中陽來（佐藤(茂)吹留研究室、M2）、「人工細胞膜実験と分子動力学シミュレーションによる脂質二分子膜の電界応答の評価」、陰山弘典（平野研究室、D3）、「人工神経細胞回路の損傷・修復特性を解析するためのレーザーマイクロダイセクション実験系の

構築」、渡邉啓太（平野研究室、D1）、「SiC 半導体界面制御のための原子層ドーピングプロセスに関する研究」、上野哲弥（佐藤・櫻庭・山本研究室、M2）、「負性微分抵抗発現に向けた pn 接合トンネルダイオード製作プロセスと電気特性評価に関する研究」、佐藤盛磨（佐藤・櫻庭・山本研究室、M2）、「高閾値 MOSFET を用いた超低消費電力スパイキングニューラルネットワーク回路の実装と分類課題応用」、酒井哲汰（佐藤・櫻庭・山本研究室、M2）、「クリーンルーム改修、および新規マスクアライナー導入について」、小野力摩（共通部、技術職員）

・第 148 回 2025 年 11 月 27 日、”Programmable THz Hardware for 6G/Beyond-6G: Spatial Coding, Topological On-Chip Integration, and Time-Domain Modulation,” Lan WANG（中国電子科技大、准教授）

・第 149 回 2025 年 11 月 21 日、4th Chicago-Tohoku Quantum Alliance Seminar、Sara Carin Gavin（シカゴ大学、博士研究員）

・第 150 回 2025 年 12 月 2 日、学術変革(A)「バイオ超越」第 5 回領域セミナー、Albert Diaz-Guilera（バルセロナ大学、教授）

・第 151 回 2025 年 12 月 16 日-17 日、ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム（詳細省略）

共同プロジェクト研究

採択番号：2025T12

EMC 仙台ゼミナール
電磁環境工学の基礎と応用に関する研究発表

［1］研究組織

研究代表者：
室賀　翔（東北大学大学院工学研究科）
通研対応教員
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
主査
室賀　翔（東北大学大学院工学研究科）
幹事
今野 佳祐（東北大学大学院工学研究科）
阿加 賽見（東北大学大学院工学研究科）

研究分担者
松浦 昌志（東北大学大学院工学研究科）
チャカロタイ ジェドヴィスノプ
（東北大学大学院工学研究科・情報通信研究機構電磁波研究所）
三上 貴大（情報通信研究機構電磁波研究所）
川又 憲（東北学院大学工学部）
石上 忍（東北学院大学工学部）
佐藤 健（小山高専電気電子創造工学科）
戸花 照雄（秋田県立大学知能メカトロニクス学科）
高橋 翔太郎（名古屋工業大学大学院工学研究科）
田中 元志（秋田大学情報データ科学部）

［2］研究目的

EMC（電磁環境工学）は，電磁ノイズと信号の電磁干渉（EMI）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野である。今日では，電気工学分野の研究者と技術者は，何らかの形で EMC 問題に関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もなく，1977 年 2 月に，「EMC 仙台ゼミナール」が発足し，EMC にいかに取り組むべきかを調査し，学問として体系化する目的で活動してきた。この活動は，誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え，世界に EMC 研究の方向を示し，実践してきた。また，ここで討論された先進的な研究は，我が国や世界の EMC 研究において，牽引力の役割を果たしており，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001 年からは，IEEE の EMC Society で仙台 Chapter が設立され，連携して活動している。

［3］研究成果等

（１）成果等

今年度は、IEEE EMC Society Sendai Chapter 等との共催・協賛体制のもと、計 5 回（第 219 回～第 223 回）の研究会を開催した。対面およびハイブリッド形式を柔軟に活用することで、産学官から延べ 166 名の参加者を集め、先進的な課題に関する活発な議論を行った。本年度の活動は、本ゼミナールの設立目的を達成するものであり、今後の EMC 分野の発展と研究成果の創出に寄与するものである。

（２）開催した研究会

第 219 回 EMC 仙台ゼミナール（共催：IEEE EMC Sendai Chapter）

日時: 2025 年 9 月 25 日(木)13:30-17:30,
場所：東北大学工学部電気系 1 号館講義室 2D
形式：対面（ハイブリッド）
参加者：19 名
講演：
EMCSS219-1 「5G 通信のためのアンテナと建築外装材の一体化に関する基礎研究」,高橋光地 (アイジー工業)、室賀翔、日髙貴志夫 (東北大学)、鈴木陽平、廣田侑大 (アイジー工業) EMCSS219-2 「CNT を含む超軽量材料を配置した MSL の近傍磁界分布に関する検討」,府金大雅 (秋田大学)、鈴木暖、室賀翔 (東北大学)、上野智永 (名古屋大学)、髙橋翔太郎、田中元志 (秋田大学) EMCSS219-3 「厚さ方向の磁束分布を考慮した磁性ノイズ抑制シートの損失推定に関する基礎検討」,神谷康友、阿加賽見、遠藤恭、室賀翔 (東北大学) EMCSS219-4 【招待講演】「スピノーダル分解した Fe-Cr-Co 合金粉末の電磁波吸収体への展開」,阿加賽見、佐藤光晴、松浦昌志、杉本諭 (東北大学)

伝送工学研究会 第６６０回講演会/第 220 回 EMC 仙台ゼミナール/IEEE EMC-S Sendai Chapter 合同研究会

日時: 2025 年 10 月 21 日(火)14:40-17:30,
場所：東北大学工学部電気系 1 号館講義室 2D
形式：対面（ハイブリッド）
参加者：45 名

講演：
660-1「A Evaluation of a 2D near-field focusing approximation method and 3D printing implementation」Jialu Wang, Wenyi Shao, Qiang Chen（東北大学）660-2「磁石を用いたリコンフィギュラブルリフレクトアレーに関する研究」入山　大暉，今野　佳祐，陳　強（東北大学）

伝送工学研究会 第６６１回講演会/第 221 回 EMC 仙台ゼミナール/IEEE EMC-S Sendai Chapter 合同研究会

日時: 2025 年 11 月 18 日(火)14:40-17:30,
場所：東北大学工学部電気系 1 号館講義室 2D
形式：対面（ハイブリッド）
参加者：35 名
講演：
【特別講演 1】「任意数 1 次元直交ビーム切替回路の数値設計とミリ波 2 次元回路への応用」廣川　二郎（東京科学大学）【特別講演 2】「生成 AI を活用した電波伝搬推定における機械学習アプローチと損失関数設計の役割」廣瀬　幸（九州工業大学）

光環境 DX 研究学会 第 4 回年次学術研究発表会/第 222 回 EMC 仙台ゼミナール/IEEE EMC Sendai Chapter 合同特別研究会

日時：2026 年 1 月 27 日(火)10:00-17:30
場所：秋田大学手形キャンパス研究・イノベーション拠点２号館
形式：対面
参加者：47 名
講演：
OpDX1 「円形孔電極液晶レンズにおける電圧・周波数制御による応答特性の改善」,須田崚介、河村希典 (秋田大学) OpDX2 「液晶レンズアレイにおけるレンズ間干渉の抑制とレンズパワー向上」,鈴木羽薫、齋藤穂、河村希典 (秋田大学) OpDX3 「画像評価に基づく液晶レンズの動的制御における電圧制御手法の検討」,竹脇僚哉、河村希典 (秋田大学) OpDX4 「Lamé モードの Lamb 波を用いたボルト締結された平板からの 2 次高調波検出」,片山颯太、加藤陽介、西平守正、福田誠 (秋田大学) OpDX5 「色が異なる間接照明空間における脳波成分に関する検討」,後藤隆貴、田中元志、久米裕、齊藤勝俊 (秋田大学、サイカツ建設) OpDX6 「ＭＲ空間内に提示した衣類画像を好み評価させたときのスキャンパスに関する検討」,三好裕隆、田中元志 (秋田大学) OpDX7 「マイクロ波アシスト磁化反転におけるクラスターサイズ」,渡邊新理、作並浩太、菊池伸明 (秋田大学) OpDX8 「熱揺らぎ存在下でのマイクロ波アシスト磁化反転の磁場印加条件依存性」,川戸俊輝、菊池伸明 (秋田大学) OpDX9 「固体プラズマを用いたミリ波およびサブミリ波帯アンテナの印加磁界依存性」,齊藤祐美吉、越高潤哉、倉林徹、淀川信一 (秋田大学、放送大学) OpDX10 「固体プラズマを挿入した二層構造導波管のサブミリ波帯非可逆伝搬特性」,堀井友翔、越高潤哉、倉林徹、淀川信一 (秋田大学、放送大学) OpDX11 「機械的および熱的損傷を与えたセルロースナノファイバーのテラヘルツ分光分析」,巖菜々美、越高潤哉、淀川信一、倉林徹 (秋田大学、放送大学) OpDX12 「方形パッチ周期構造による 30GHz 帯 FSS の設計と試作」,瀬下颯斗、田中将樹、伊藤桂一 (秋田高専) OpDX13 「筐体開口部からの漏洩に対する超軽量電波吸収体の遮蔽効果の評価」,小石川悠悟、鈴木暖、日髙貴志夫、阿加賽見、遠藤恭、室賀翔 (東北大学) OpDX14 「等価磁気回路解析を用いた磁性シートによる伝導ノイズ抑制効果の推定」,神谷康友、阿加賽見、遠藤恭、室賀翔 (東北大学)
【特別講演】「感性価値に基づくマルチセンサリーデザイン」,柳川舞 (一般社団法人 KANSEI Projects Committee) 【特別講演】「ビジネスチャンスについて～ライフサイエンス分野の動きなども踏まえて」,尾崎典明 (S factory & Co.、筑波大学、TX アントレプレナーパートナーズ)

第 223 回 EMC 仙台ゼミナール（共催：東北大学 EMC 仙台ゼミナール、協賛：エレクトロニクス実装学会 回路・実装設計技術委員会）

日時：2026 年 3 月 4 日(水)13:30-17:25

場所：東北大学工学部電気系 1 号館講義室 2D
形式：対面（ハイブリッド）
参加者：20 名
講演：
EMCSS223-1 「導電性複合シートにおける伝導ノイズ抑制性能の評価指標に関する検討」,鎌野瑛斗、阿加賽見、遠藤恭、室賀翔 (東北大学) EMCSS223-2 「カーボンナノチューブを用いたミリ波帯用電波吸収体の設計指針に関する検討」,鈴木暖、阿加賽見、遠藤恭、室賀翔 (東北大学) EMCSS223-3 「導波管測定と伝送理論解析を用いた超軽量平板型電波吸収体の電磁特性の簡易推定方法に関する検討」,荒井真世 (秋田大学)、鈴木暖、室賀翔 (東北大学)、上野智永 (名古屋大学)、髙橋翔太郎、田中元志 (秋田大学) EMCSS223-4 「2.4 GHz 帯 DoA 推定のための複数台 SDR におけるサンプリング同期」,上條滉斗、秋田敏宏 (八戸工業高等専門学校)、川上雅士 (大阪工業大学) EMCSS223-5 「半無限平板モデルにおける人体皮膚解析モデルの作成と精度評価」,

有賀樂、佐藤健 (小山工業高等専門学校) EMCSS223-6 「開放端グラウンド付コプレーナ線路間の非接触信号伝送に関する研究」,瀬賀柊弥、戸花照雄、秋元浩平 (秋田県立大学) EMCSS223-7 「ミリ波帯端末間通信における送信機会均等性の評価」,太田晴大、秋元浩平、戸花照雄 (秋田県立大学) EMCSS223-8 「ミリ波帯 WBAN のための画像解析を用いた動的環境における胴体遮蔽の測定」,鈴木謙信、秋元浩平、戸花照雄 (秋田県立大学) EMCSS223-9 【招待講演】「高密集環境に対応したミリ波帯人体領域通信システム」,秋元浩平 (秋田県立大学)

第 5 章　シンポジウム・国際会議等

The 14th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

第 14 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：2026 年 2 月 27 日（金）～28 日（土）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所本館（ハイブリッド開催）
参加人数：164 名（うち外国人参加者人数 13 人）

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。14 回目となる今回のシンポジウムでは、アメリカ、スウェーデン、スイス、シンガポール、スペインから 6 名の海外招待講演者を迎え、26 件の口頭発表と 59 件のポスター発表が行われた。また科研費・学術変革領域研究 A「バイオ超越」の企画による 5th Symposium on Multicellular Neurobiocomputing など、3 件の特別セッションを実施した。

今年の新たな試みとして、神経倫理（ELSI）に関する招待講演を取り入れ、ニューロテクノロジーの社会的・倫理的側面についても学際的な議論の幅を広げた。ポスターセッションでは、シニア研究者による審査に基づいて Best Poster Award (4 件)および Best Student Poster Award (10 件)を授与し、若手研究者や学生の成果を表彰した。口頭発表セッションは例年通り、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 14 回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムの様子

国際シンポジウム

11th CIES Technology Forum

開 催 日：2026 年 3 月 23 日（月曜日）～24 日（火曜日）（2 日間）
開催場所：室町三井ホール＆カンファレンス
参加人数：476 名（うち外国人参加者人数 24 人）

第 11 回 CIES テクノロジーフォーラムを開催した。初日、本学 冨永 悌二総長による主催者挨拶、SEMI ジャパン浜島 雅彦代表、文部科学省 坂本 修一局長、経済産業省 今村 亘大臣官房審議官（イノベーション・環境局担当）、特許庁 仁科 雅弘審査第四部長による来賓挨拶の後、遠藤 哲郎センター長・教授により、2025 年度の CIES 活動報告を行った。続いて、産学共同研究、大型国家プロジェクト及び地域連携プロジェクトからなる CIES コンソーシアムにおける成果報告を行った。2 日目には、本学 小林 広明教授、TSMC Eric Wang 氏、キオクシア 初田 幸輔氏、IBM Daniel Worledge 氏、NTT 池尻 雄一氏、ETH Zurich Johann W. Kolar 教授、TU Wien Uwe Drofenik 教授、デンソー 門口 卓矢氏を招待講演者に迎え、CIES のコア技術であるスピントロニクス半導体、及びパワーエレクトロニクスにかかる最先端の技術、および動向に関する国際シンポジウムを開催した。延参加者は 318 名、うち民間企業は約 6 割、海外は約 1 割であった。

なお、電気通信研究所との共催、内閣府、文部科学省、経済産業省、特許庁、日本学術振興会、科学技術振興機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構、工業所有権情報・研修館の後援により開催した。





ウェブサイト：http://www.cies.tohoku.ac.jp/11th_forum/

国際シンポジウム

16th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Satellite workshop of ICSI/ISTDM 2025)

第 16 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
（ICSI/ISTDM 2025 サテライトワークショップ）

開 催 日：2025 年 10 月 17 日（月曜日）～18 日（火曜日）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：51 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、組織委員として櫻庭政夫准教授（組織委員長）と佐藤茂雄教授が参加した。日本、ドイツ、ベルギーの各国拠点代表者らの発表を含む招待講演 14 件、一般講演 6 件、ポスター講演 23 件の総数 43 件の講演（内、東北大学通研の関係する発表 3 件）が行われ、活発な討論が行われた。世界の半導体産業の活性化のためにも、本国際ワークショップの開催は重要であり、今後、世界規模での研究連携のきっかけとなることにより、本学問分野が大きく展開すると期待される。特に本年度は、Si エピタキシーと SiGe テクノロジー＆デバイスに関する国際会議 ICSI/ISTDM（2025 年 10 月 10 日（火曜日）～13 日（木曜日）、東京科学大学すずかけキャンパス）と連結されたサテライト Workshop として開催された。

第 6 章　通研教員が中核的役割を果たす他部局組織等

高等研究機構　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：55 名（専任教員：12 名、兼務教員：35 名、客員教員：8 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。

＜2025 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 5 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を挙げた若手研究者 1 名に、スピントロニクスコアリサーチクラスター賞を授与した。

・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／スピントロニクス研究拠点合同国際シンポジウム（2025 年 11 月）を初めとして、複数の国際会議等を共催・後援した。

総合知インフォマティクス研究センター（So-Go-Chi）

＜施設の概要＞

設　　置：令和 6 年 4 月設置
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ヨッタインフォマティクス研究センターの後継組織として設置された。

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：53 名（文学研究科、教育学研究科、経済学研究科、工学研究科、農学研究科、国際文化研究科、情報科学研究科、生命科学研究科、医工学研究科、加齢医学研究所、電気通信研究所、災害科学国際研究所、学術資源研究公開センター、国際集積エレクトロニクス研究開発センター、未踏スケールデータアナリティクスセンター、サイバーサイエンスセンター、学際科学フロンティア研究所、応用認知神経科学センター）

目　　標：情報の価値づけに関する人文社会科学を含む多様な学問分野で培われてきた総合知と近年著しい発展を遂げているデータ科学の知見を融合し、最適な価値評価を実施することを可能とするシステムの構築を目指す。

研究内容：本センターは 6 部門（人文データ科学部門、社会データ科学部門、数理データ科学部門、AI アルゴリズム部門、AI ハードウエア技術部門、総合知データ分析支援室）からなり、情報の価値づけに関する人文社会科学を含む多様な学問分野で培われてきた総合知と近年著しい発展を遂げているデータ科学の知見を融合することで、多様で大量のデータから目的、分野、対象に最適な価値評価を実施することを可能とするシステムの構築を目指す。また多くの情報が生成直後に消失する現状から、情報の価値評価は情報生成時に（エッジで）行うことが必要になる。そのために、情報の価値付けアルゴリズムを実現するハードウエアの開発が本組織の研究成果の普及に大きく貢献できる。それによってデータの蓄積、伝送、処理コストの大幅な削減が可能となる。これらの知識や技術を統合するため、更なる部局横断組織を整備し、異なる分野のデータを共通の枠組みで捉えることを第一の目的とする。それから、それらの情報の優先付けを実現するデータ科学的手法を開発する。

＜2025 年度の主な成果＞

1. 総合知データ分析支援室を整備し、センター内での共同研究を推進するために、データ科学を専門とし、学際研究に積極的な 4 人の外国人（内 2 名女性）教員を任用した。
2. 人文社会科学系とデータ科学とをつなぐ総合知研究として、18 件のプロジェクトを採択し支援を行った。
3. AI So-Go-Chi Symposium を主催したほか、日本心理学会第 89 回大会にて大会企画シンポジウム「意思決定パートナーとしての人工知能-より良い生活のための人間と人工知能の協働の可能性を拓く-」を共催するとともに、電子情報通信学会 HIP 研究会との共催研究会なども実施した。

国際集積エレクトロニクス研究開発センター(CIES)

＜施設の概要＞

設　　置：2012 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。2013 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:78 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。

＜2025 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、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（内閣府、文科省、経産省、NEDO、JSPS、JAXA)、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。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。

本学は 2024 年に国際卓越研究大学として第一号に認定され、3 つのコミットメント：①Impact（未来を変革する社会価値の創造)、②Talent（多彩な才能を開花させ未来を拓く)、③Change（変革と挑戦を加速するガバナンス）を掲げている。本センターは、半導体分野における革新技術開発と産学連携の高度化スキームを原動力として、これらに全方位で貢献を目指している。具体的には、国際産学研究開発活動に加えて、文部科学省 X-nics 事業「スピントロニクス融合半導体創出拠点」として、国内の 14 大学と連携しながら高度人材育成を進めている。加えて、「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）に中核拠点として参画しており、米国大学の訪問受入れや、特別講義を実施する活動を継続した。産業界と日米大学の連携により、革新的な半導体の研究開発、製造、サプライチェーン、人材育成に取り組んでいる。さらに、東北半導体エレクトロニクスデザインコンソーシアム(T-Seeds) にセンター

長が顧問として参加し、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。2025 年には、全学をあげて半導体教育を統合化し、推進するために、「東北大学半導体クリエイティビティハブ（S-Hub)」が発足し、グローバルフロンティア人材育成部門の部門長をセンター長が拝命した。これらの活動を通じて、カーボンニュートラルな社会の実現、経済成長と経済安全保障の確保、そして、それらを担う高度人材の育成に寄与する。

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。具体的には、300mm ウェハ CMOS 集積回路技術に融合した 次世代磁気メモリ SOT-MRAM 素子技術をさらに進化させ、10 年データ保持特性と超高速データ書込み性能を維持しながら、新たに書込み動作電力をこれまでより 35%削減した世界最少の低消費電力の動作実証に成功した。AI のための消費電力低減に寄与するメモリ技術に道筋を付ける成果である。加えて、CMOS／スピントロニクス融合技術を活用したエッジ AI 向け実証チップの開発に成功し、従来比 50 倍以上のエネルギー効率改善を実証システムで確認した。OS やアプリの起動用途とメインメモリ用途を兼ねた内蔵メモリとして CMOS／スピントロニクス融合技術を活用した、エッジ AI 向けアプリケーションプロセッサ搭載チップの開発は世界初となる。パワーエレクトロニクス技術では、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 EV 駆動インバータ用次世代パワーモジュール技術、超高速デジタル制御技術および高機能データセンター用電源技術の研究開発を進めている。超小型両面冷却パワーモジュール開発において出力密度 3 倍のめどを立てたことが高く評価された。この成果に基づき、パワーエレクトロニクス・パワー半導体分野の研究活動推進に向けて 「富士電機×東北大学先端技術共創研究所」を設置した。高効率な小型パワーモジュールや電源・駆動システムの研究を行うとともに、脱炭素社会の実現に貢献する、新たな価値創出に向けた共同研究テーマを探索する取組に着手した。さらに、素材開発から社会実装まで一気通貫した研究活動により新たな価値を創造するために、「住友ベークライト×東北大学 次世代半導体向け素材・プロセス共創研究所」を設置し、活動を開始した。加えて、パワーエレクトロニクス市場において新たな価値を創造する素材、材料、デバイス、モジュールの研究開発を推進することを目的に、「タムラ製作所×東北大学　先端パワーエレクトロニクス共創研究所」を設置した。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 AI/IoT/DX に資する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 9 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、岩手県、山形県、東北経済産業局等との協力を得て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。

引き続き、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。

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：冨永悌二（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。

＜2025 年度の主な成果＞

2025 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 15 名を輩出した。AIE 卓越大学院の独自科目の PBL(Project Based Learning)科目については、2025 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。この科目は協賛企業 7 社と大学教員が共同で構築・実施するもので産学連携教育の中核を成すものである。さらに、AIE 講演会を 4 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、プログラム生が英語での研究発表を行った。この他、第 8 期生の募集と選抜を行い、新規プログラム生 10 名（新Ｍ１　9 名、新Ｄ１　1 名）を決定した。