



東北大学
電気通信研究所
研究活動報告

第28号(2021年度)

Annual Report 2021

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University



目 次

【本編】

第1章 はじめに	1
第2章 組織・運営	
1. 組織図	3
2. 運営協議会委員名簿	4
3. 共同研究組織	5
4. 教育組織	6
第3章 研究活動	
1. 情報デバイス研究部門の目標と成果	7
(1) ナノフォトエレクトロニクス研究室	8
(2) 固体電子工学研究室	10
(3) 誘電ナノデバイス研究室	12
(4) 物性機能設計研究室	14
(5) スピントロニクス研究室	16
(6) ナノ集積デバイス・プロセス研究室	18
(7) 量子デバイス研究室	20
2. ブロードバンド工学研究部門の目標と成果	22
(1) 超高速光通信研究室	24
(2) 応用量子光学研究室	26
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室	28
(4) 情報ストレージシステム研究室	30
(5) 超ブロードバンド信号処理研究室	32
(6) 量子光情報工学研究室	34
3. 人間情報システム研究部門の目標と成果	36
(1) 生体電磁情報研究室	39
(2) 先端音情報システム研究室	41
(3) 高次視覚情報システム研究室	43
(4) 情報コンテンツ研究室	45
(5) 実世界コンピューティング研究室	47
(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室	49
4. システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果	51
(1) ソフトウェア構成研究室	54
(2) コンピューティング情報理論研究室	56
(3) コミュニケーションネットワーク研究室	58
(4) 環境調和型セキュア情報システム研究室	60
(5) ソフトコンピューティング集積システム研究室	62
(6) 新概念 VLSI システム研究室	64
5. ナノ・スピン実験施設	66

6. ブレインウェア研究開発施設	70
(1) 認識・学習システム研究室	72
7. 21世紀情報通信研究開発センター	74
(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	77
(2) 学際連携研究部 情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト	80
(3) 萌芽研究部 ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発	82
(4) 萌芽研究部 安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発	84
8. 安全衛生管理室	86
9. やわらかい情報システムセンター	88
10. 研究基盤技術センター	90
11. 機動的な研究グループ	92

第4章 共同プロジェクト研究

1. 共同プロジェクト研究の理念と概要	93
H 3 1 / A 0 1 Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures	98
H 3 1 / A 0 4 Si-Ge 系量子ドットの規則配列と電子輸送制御に関する研究	101
H 3 1 / A 0 5 Quantifying the role of crystal and magnetic structure to spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnetic heterostructures	103
H 3 1 / A 0 6 2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピン輸送機構解明と 高効率磁化反転素子の開発	105
H 3 1 / A 0 7 量子検出のための高 Q 値マイクロ波共振器に関する研究	108
H 3 1 / A 0 9 光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製	111
H 3 1 / A 1 0 直流励起マイクロ波発振素子に向けたスピン軌道トルクと スピン波媒介位同期による強磁性ダイナミクス制御の検討	114
H 3 1 / A 1 1 傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた光変調器駆動高速化の研究	116
H 3 1 / A 1 2 視覚モデル共有環境の構築	118
H 3 1 / A 1 3 マルチモーダル感情誘発システムに関する研究	121
H 3 1 / A 1 8 利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現	124
H 3 1 / A 1 9 Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy	127
H 3 1 / A 2 1 ラピッドプロトタイピングのためのソフトウェア無線機の同期性能の検討	129
H 3 1 / A 2 3 学習支援のための追体験システムの構築	132
H 3 1 / A 2 4 インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析	135
H 3 1 / A 2 6 Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications	138
H 3 1 / A 2 8 人体領域通信用無線伝搬路に関する研究	140
R 0 2 / A 0 1 Development of graphene based devices for terahertz applications	143
R 0 2 / A 0 2 人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化	146
R 0 2 / A 0 3 二次元材料を用いた光電子デバイスの開発	149
R 0 2 / A 0 4 Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets	152
R 0 2 / A 0 5 新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究	154
R 0 2 / A 0 6 微小領域における圧電定数の分布計測装置の開発	156
R 0 2 / A 0 7 スパッタリングプロセスを用いた β -Ga ₂ O ₃ 薄膜とデバイス形成	157
R 0 2 / A 0 8 負の透磁率を利用した移動体通信機器内の電磁クロストーク抑制に関する研究	160

R 0 2 / A 0 9	金属ナノ接合における量子伝導の制御と機能性素子への応用	163
R 0 2 / A 1 0	high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明	165
R 0 2 / A 1 1	単結晶グラフェン機能デバイス	168
R 0 2 / A 1 2	Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging	170
R 0 2 / A 1 3	8K 高精細画像センシング向け超低遅延動画画像符号化方式	172
R 0 2 / A 1 4	ワイヤレス Massive Connect IoT の研究	175
R 0 2 / A 1 5	超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究	177
R 0 2 / A 1 6	3D プリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究	180
R 0 2 / A 1 9	モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発とその応用	183
R 0 2 / A 2 0	ミニマルブレインの理解と再構築	185
R 0 2 / A 2 1	耳介の 3 次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究	188
R 0 2 / A 2 2	新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究	191
R 0 2 / A 2 3	Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices	194
R 0 2 / A 2 4	Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system	195
R 0 2 / A 2 5	人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤	196
R 0 2 / A 2 7	色名に関する文化差および個人差の多言語での研究	199
R 0 2 / A 2 9	Cultural-background and auditory selective attention	201
R 0 2 / A 3 0	循環調節を介した予測的な視触覚の感度調整に関する研究	203
R 0 2 / A 3 1	非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開	205
R 0 2 / A 3 2	多感覚音空間知覚の規定因に関する研究	213
R 0 2 / A 3 3	脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ / メモリコンピューティング基盤の研究	215
R 0 3 / A 0 1	宇宙応用へ向けたスピントロニクスデバイスの放射線影響に関する研究	218
R 0 3 / A 0 2	Si・Ge 混合プラットフォーム上への異種機能混載集積回路の実現	221
R 0 3 / A 0 3	非磁性体中におけるスピンドायナミクスの制御に関する研究	224
R 0 3 / A 0 4	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成	227
R 0 3 / A 0 5	不揮発性磁気メモリへの応用に向けた磁性トポロジカル物質の電界制御に関する研究	230
R 0 3 / A 0 6	量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究	232
R 0 3 / A 0 7	原子層量子デバイスの開発	234
R 0 3 / A 0 8	光機能化を目指したナノカーボンのナノ光電子物性解明	237
R 0 3 / A 0 9	超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究	240
R 0 3 / A 1 0	RTD の非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用	243
R 0 3 / A 1 1	端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究	246
R 0 3 / A 1 2	5G・IoT のためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	249
R 0 3 / A 1 3	広帯域光電子機能集積デバイスを用いた低遅延かつシームレスなアクセスネットワークに関する研究	252
R 0 3 / A 1 4	現実世界に重畳された情報インターフェイスを用いた IoT デバイスおよびロボットの操作・可視化技術	255
R 0 3 / A 1 5	外界とのインタラクションを実現する再構成可能な頭部搭載型ディスプレイ	258
R 0 3 / A 1 6	聴覚的注意の時空間特性に関する研究	261
R 0 3 / A 1 7	バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究	264

R 0 3 / A 1 8	オンライン学習者の生理心理学的データに基づく 心的状態認識に関する基礎研究	267
R 0 3 / A 1 9	認知パフォーマンス向上のための立位誘導の有効性評価	270
R 0 3 / A 2 0	薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム	272
R 0 3 / A 2 1	マルウェアに起因する暗号化通信の分類に関する研究	276
R 0 3 / A 2 2	IoT セキュリティの研究	278
R 0 3 / A 2 3	先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発	280
R 0 3 / A 2 4	酸化チタンナノチューブ型高感度一酸化炭素センサの開発	283
R 0 3 / A 2 5	デバイス・インフォマティクス創成と Beyond5G デバイスへの応用	286
R 0 3 / A 2 6	実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究	290
R 0 3 / A 2 7	遠距離における非接触電力伝送の検討	293
R 0 3 / A 2 8	空間知覚の身体性：異方性と個人差	296
R 0 3 / A 2 9	高機能軟磁性合金の評価とエネルギー関連デバイスへの応用	299
R 0 3 / A 3 0	視聴覚情報からの高臨場感ハイブリット振動作成	302
R 0 3 / A 3 1	光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究	304
R 0 3 / A 3 2	脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用	307
R 0 3 / A 3 3	仮想現実空間のためのキャラクター動画生成	311
H 3 1 / B 0 1	物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現	313
H 3 1 / B 0 2	固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓	316
H 3 1 / B 0 3	次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究	319
H 3 1 / B 0 4	HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展	321
H 3 1 / B 0 6	質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究	324
H 3 1 / B 0 8	地域活性化のための UAV 利活用技術とその社会実装に関する研究会	327
H 3 1 / B 0 9	マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ実用化研究の新展開	329
H 3 1 / B 1 1	動的言語の静的解析技術とその実用化に関する研究	331
H 3 1 / B 1 2	複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース	333
H 3 1 / B 1 3	固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御	334
H 3 1 / B 1 5	多機能マルチメディア生成技術に関する研究	336
H 3 1 / B 1 6	型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成	338
H 3 1 / B 1 7	PSDL2+: Advanced Physical Security of Deep Learning 2	340
H 3 1 / B 1 8	モバイルエッジコンピューティングにおける動的サービス制御技術	342
R 0 2 / B 0 2	コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究	345
R 0 2 / B 0 3	将来無線のレイヤレスデザインとその応用	348
R 0 2 / B 0 4	Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索	351
R 0 2 / B 0 6	人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザインタフェース	354
R 0 2 / B 0 7	異種データ融合による人・社会センシング基盤	356
R 0 2 / B 1 1	音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発	359
R 0 2 / B 1 2	脳型 LSI とその関連技術国際共同研究	362
R 0 2 / B 1 4	3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	365
R 0 2 / B 1 5	半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と 膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発	367
R 0 3 / B 0 1	スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓	370
R 0 3 / B 0 2	光のモード高度制御に関する研究開発	373
R 0 3 / B 0 3	知的生産性場のモデル化と生産性向上のための計算機による介入手法の検討	375

R03/B04	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	377
R03/B05	高次元・時空間ニューロダイナミクスとそれに基づくシステム構築への展開	379
R03/B06	制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装	382
R03/B07	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	385
R03/B08	進化計算の機械学習への適用に関する研究	387
R03/B09	社会行動の脳内機序解明にむけたヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討	391
R03/B10	深部体温変動検出を用いたVR酔いによる主観的不快感の推定手法	393
R03/B11	アファンタジア (aphantasia) に関する心的イメージ情報処理特性の検討	395
R03/B12	持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究	398
R02/S01	先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用	402
R03/SI01	人間科学とAI技術	406
R02/U01	オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討	410
R03/U01	オンライン環境におけるアンサンブル演奏の遅延の影響の検討	413
R03/U02	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	415

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	417
(1)	2021 Spintronics Workshop on LSI	417
(2)	RIEC International Symposium : The 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2021)	418
(3)	1st Online RIEC International Workshop on Spintronics	419
(4)	RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction	420
(5)	The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	421
(6)	The 12th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics	422
(7)	Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022	423
(8)	6th & 7th CIES Technology Forum	424
2.	工学研究会	425
(1)	伝送工学研究会	426
(2)	音響工学研究会	426
(3)	東北プラズマフォーラム	427
(4)	EMC仙台ゼミナール	427
(5)	コンピュータサイエンス研究会	428
(6)	システム制御研究会	428
(7)	情報バイオエレクトロニクス研究会	429
(8)	スピニクス研究会	430
(9)	ニューパラダイムコンピューティング研究会	430
(10)	超音波エレクトロニクス研究会	431
(11)	ブレインウェア工学研究会	431
(12)	情報・数物研究会	432
(13)	生体・生命工学研究会	432
(14)	ナノ・スピン工学研究会	433
3.	通研講演会	
(1)	吉野 元 「深層パーセプトロンネットワークにおける学習の統計力学」	434
(2)	吉村 哲 「高性能・超低消費電力次世代磁気デバイスへの応用に向けた磁気特性に優れた高品位強磁性・強誘電薄膜の探索・作製」	434

(3) 安井 卓也	「Design Technology Platform in TSMC Cutting edge semiconductor technology」	435
(4) 高橋 昂	「疑似ラベルに基づく半教師あり学習の統計力学的解析」	435
(5) 江里口浩二	「窒化ホウ素膜のナノスケール物性解析手法」	436
(6) 西口 正之	「秋田県立大学における音に関する研究の概要紹介」	437

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	439
(1) 高等研究機構 新領域創成部 多感覚情報統合認知システム研究室	439
(2) 高等研究機構 新領域創成部 スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室	441
(3) 先端スピントロニクス研究開発センター (CSIS)	444
(4) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター (CIES)	445
(5) 電気通信研究機構 (ROEC)	447
(6) スピントロニクス学術連携研究教育センター (CSRN)	448
(7) ヨッタインフォマティクス研究センター	449
2. 参画する事業・プログラム	450
(1) 博士課程教育リーディングプログラム	450
(2) イノベーション戦略推進本部 革新的イノベーション研究機構	451
(3) スピントロニクス国際共同大学院プログラム	452
(4) 卓越大学院プログラム	453

第7章 評価と分析

運営協議会報告	455
---------	-----

【資料編】

第1 人事	483
①教員 ②客員外国人教員 ③客員教員 ④非常勤研究員 ⑤各種研究員 ⑥客員外国人教員 (外国人研究員) ⑦学術研究員 ⑧学振特別研究員 ⑨教員以外の研究員 (ポスドク) の転出先 ⑩支援職員	
第2 予算	488
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	490
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	497
①研究成果の掲載・公表状況 ②トピックス一覧 ③科学研究費助成事業採択一覧 (令和3年度研究代表者) ④競争的資金状況 ⑤受賞・表彰件数 ⑥受賞・表彰者一覧 ⑦発表論文数	
第5 共同プロジェクト研究	505
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	513
①電気通信研究所国際シンポジウム ②本研究所教員が編集委員をしている国際ジャーナル	
③組織委員をつとめた最近の国際会議 ④国際学会における招待講演数	
⑤国際共同研究の実施状況 ⑥国際共同研究一覧 ⑦外国人研究者の招へい状況	
⑧研究者の海外派遣状況 ⑨国際学術交流協定一覧	
第 7 社会貢献	527
①東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台フォーラム参加者数 ②通研一般公開参加者数	
③学会名誉会員及びフェローの状況 ④学会名誉会員及びフェロー一覧 ⑤学会役員の状況	
⑥学会役員一覧 ⑦各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献	
第 8 産学官連携	530
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	531
付 録 職員	532

第 1 章 はじめに

はじめに

「人間性豊かなコミュニケーションの実現」が、電気通信研究所のミッションです。コミュニケーションが人間社会にとって持つ意味は計り知れません。情報通信技術は、コミュニケーションのあり方を大きく変え、人間の持つ限界を超えた情報交換を実現してきました。現代におけるコミュニケーション、情報通信は、人と人から人とモノ、モノとモノとその対象を広げ、また空間的・時間的限界を超え拡張し続けています。ポストコロナ、ニューノーマルで求められる社会像においても、情報通信分野の研究への期待は今後さらに大きくなると予想されます。本研究所は、時々の社会の要請に耳を傾けつつ、将来の豊かな情報社会の実現を目指し、我が国の学術と社会の繁栄に、また広く人類社会の福祉に貢献することを目的として活動を続けます。

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

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

び医工学研究科の本学電気情報系と密接に連携し、幅広い最先端研究分野をカバーすると共に、優れた研究者、技術者を輩出するための体制を整えています。

本研究所はまた、文部科学省から情報通信共同研究拠点として、共同利用・共同研究拠点の認定を受けています。2021年度は第2期の最終年度であり、期末評価の結果、第3期への継続が認定されました。運営費交付金が減少する中、国内外の情報通信コミュニティのさらなる発展に資する役割はますます重要になります。このため、産官学の外部研究者・技術者との共同プロジェクト研究を組織的に進めています。

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

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

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

令和4年5月

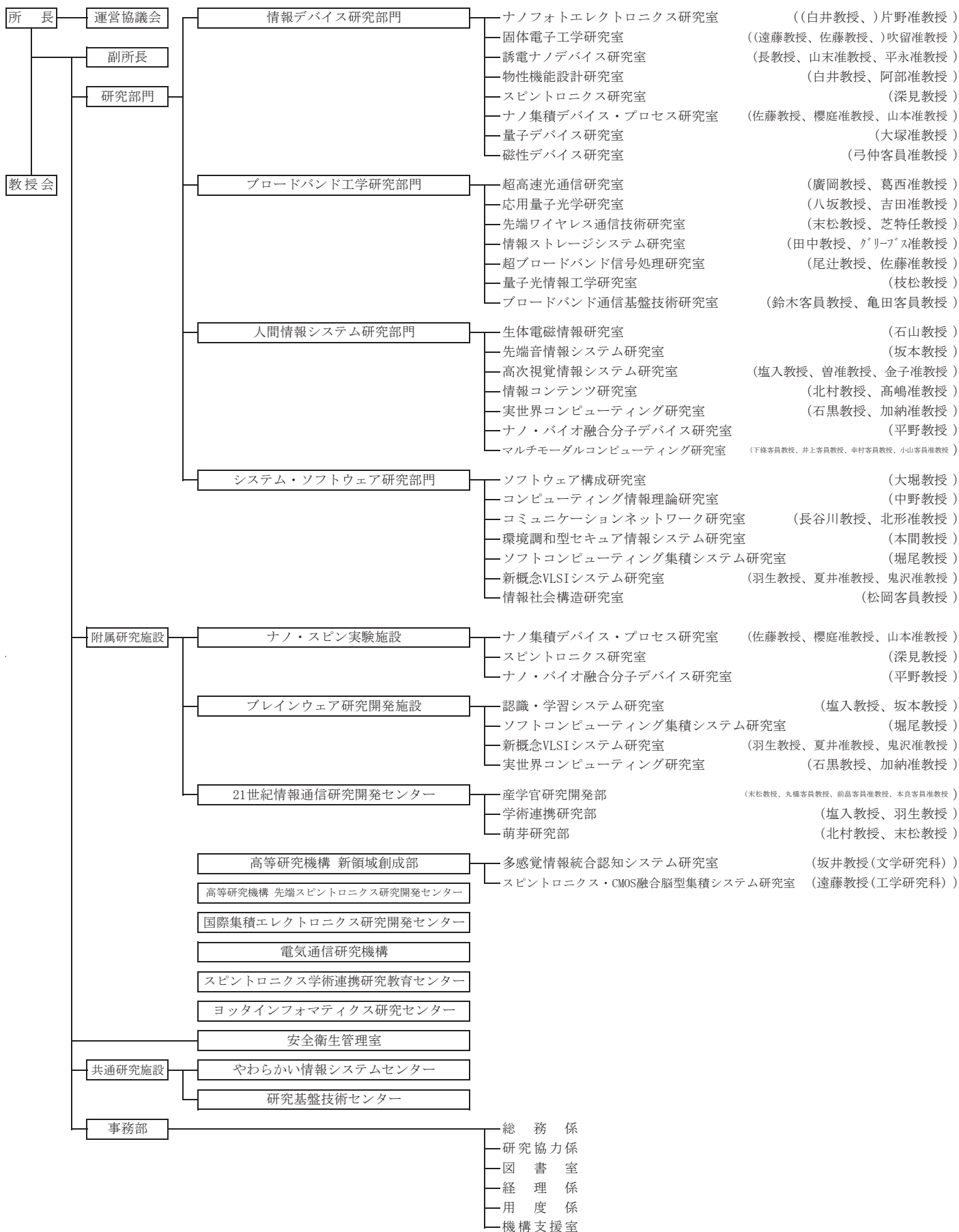
電気通信研究所 所長

羽 生 貴 弘

第 2 章 組織・運営

2. 1 組 織 図

R4. 3. 31現在



2. 2 運営協議会委員名簿

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

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

2. 3 共同研究組織

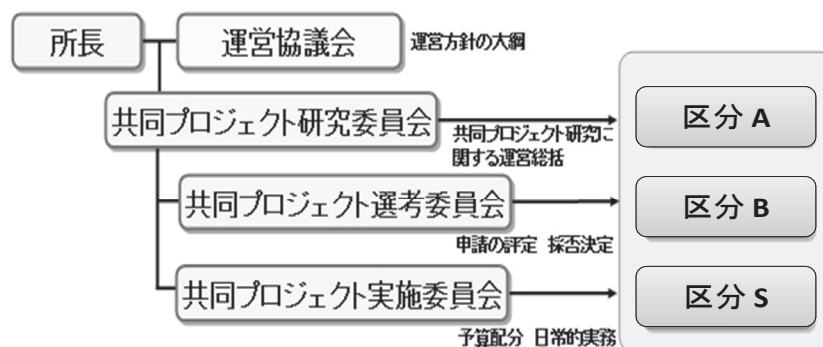
本研究所は平成 6 年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、無線通信、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成 26 年 4 月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の 2 施設として設備を充実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

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

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

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

平成22年度以降の体制



2. 4 教育組織

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

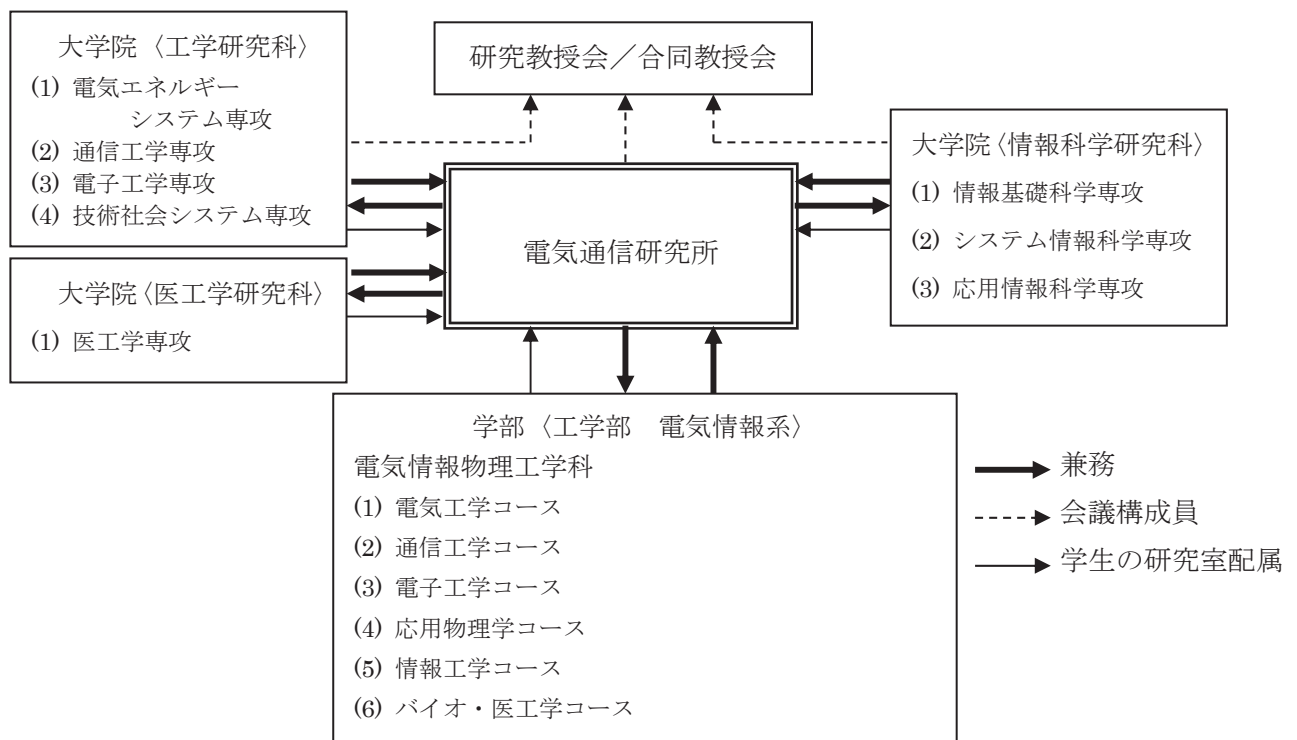
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004年、電気・情報系4学科は応用物理学科と合同の大学科、電気情報・物理工学科となった。2007年には情報知能システム総合学科と改称し、そのなかの6コースが電気・情報系と位置づけられている。2012年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2021年度には通研の25研究室のうち2研究室が大学院工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、6研究室が同研究科通信工学専攻に10研究室が同研究科電子工学専攻に、2研究室が大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4研究室が同研究科システム情報科学専攻に、1研究室が同研究科応用情報科学専攻に、さらに3研究室は大学院医工学研究科医工学専攻にもそれぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は172名、学部生は60名となっている。

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

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

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



第 3 章 研究活動

3. 1 情報デバイス研究部門の目標と成果

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

目標に到達するために、下記の8研究室が研究開発を行っている。

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

各分野の目標ならびに2021年度の研究活動の成果の概要を、次ページ以降に記述する。

ナノフォトエレクトロニクス研究室

ナノ構造体の光電子物性解明と応用

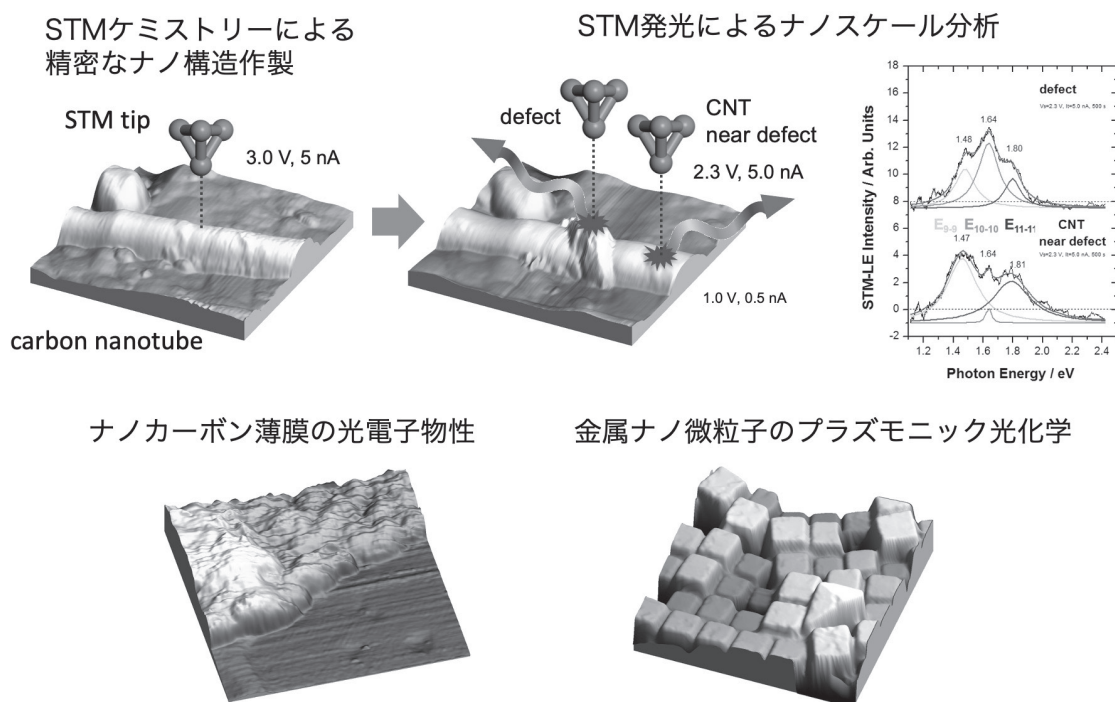


図1 走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いたナノ構造体の光電子物性研究

ナノ光分子エレクトロニクス研究分野 准教授 片野 諭

<研究室の目標>

本研究室の研究目標は、ナノメートル領域における光と電子の関わる物理・化学現象の解明である。また、高度光情報通信の発展に必要な新しいナノ情報デバイス材料を創製する基礎的な研究課題にも取り組んでおり、高機能かつ高効率な次世代光エレクトロニクスデバイスを原子レベルで制御可能な精密技術により実現する研究を推進している。光と電子の作用場としてのナノ構造に着目し、(1) 走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いた局所分光 (走査トンネル分光、STM発光分光) やレーザー分光などの高感度な測定手法、(2) 分子蒸着や自己組織化現象などを利用した精密なナノ構造作製手法、(3) 理論計算による物質解析手法、を組み合わせる一つの原子・分子、そしてナノ構造の有する光電子物性を解明する研究に取り組んでいる。また、STMを用いることにより、固体表面上の個々の原子や分子を自在に配置し、さらにそれらに化学反応を誘起したりすることができる。このような極限の微細加工技術を利用して、ナノ構造の化学的、物理的、光電子的な特性を高度に制御する研究を行う。このようなナノサイエンスに関わる研究を通して、近い将来にエレクトロニクス技術が直面するダウンサイジングの限界を突破するための次世代の電子デバイスの加工と動作の原理を開拓する。

<2021 年度の主な成果>

1. 酸化グラフェンのナノスケール光電子分光

酸化グラフェン(GO)の光電子物性は、導電性の sp^2 ドメインと、酸素官能基が接続された絶縁性の sp^3 ドメインで構成されるナノ構造で支配される。特に sp^2 ドメインのサイズや空間分布は、電気伝導や発光などGOの機能性を決定する主要な要因となるが、それらナノドメインを微視的に評価できない問題を抱えていた。本研究では、一つ一つの原子や分子の特性を個々に調べることができる

STMスペクトロスコピーを駆使して、これまで不明だったGOのナノ光電子物性を解明する研究を行った。具体的には、試料基板として用いる有機単分子膜の構造と化学状態の評価を高分解能電子エネルギー損失分光法で行った。またSTMや原子間力顕微鏡を用いて、GOの吸着構造を調べた。STMによるトンネル分光 (STS) により、GO内に局在した電子状態を明らかにした。

2. 密度汎関数法を用いた振動状態解析による分子薄膜の化学状態評価

第一原理計算を用いた振動状態解析により、ポリビニルピロリドン(PVP)高分子薄膜の化学状態を評価した。PVP中に含まれるカルボニル基の伸縮振動は吸着系によって異なる振動エネルギーをとることがこれまで報告されているが、その理由が不明であった。我々は、分子膜内および金属基板に吸着したPVPを単純な分子に置き換えてモデル化した。密度汎関数法 (DFT) による構造・振動エネルギー解析により、分子-分子間および金属-分子間の相互作用に異方性があることを明らかにし、これら化学的な相互作用と振動エネルギーに相関があることを見出した。

3. 放電を用いたカルコゲナイド半導体の相変化現象

Ge-Sb-Teに代表されるカルコゲナイド半導体は、外部刺激によってアモルファスと結晶の状態間を可逆的に遷移させることができる。このような構造変化によって光学的、電気的性質が大きく変わることを利用した相変化型不揮発性メモリーの実現が期待されている。通常、パルスレーザーやパルス電源により二状態間遷移が実現されているが、より簡便な方法による相変化の確立が求められている。そこで本研究では放電処理による局所加熱によってGe₂Sb₂Te₅ (GST) 薄膜の相変化を誘起することができないか検証した。Si基板上にマグネトロンスパッタ法で厚さ100 nmのGST層を堆積し、アモルファスGST薄膜の試料基板を得た。室温、大気中の環境で帯電させた鋼鉄製の針をGST薄膜基板に近づけ放電を起こし、試料を加熱した。コンデンサに電圧を印加して電荷を蓄積し放電処理を行ったところ、針直下の試料表面に直径3 mmの領域で色相が変化し、GST薄膜の熔融と凝集が起こった。Raman分光より、GSTの局所的な加熱によってアモルファスから結晶への相変化することを明らかにした。

<職員名>

准教授 片野 諭 (2012年より)

<プロフィール>

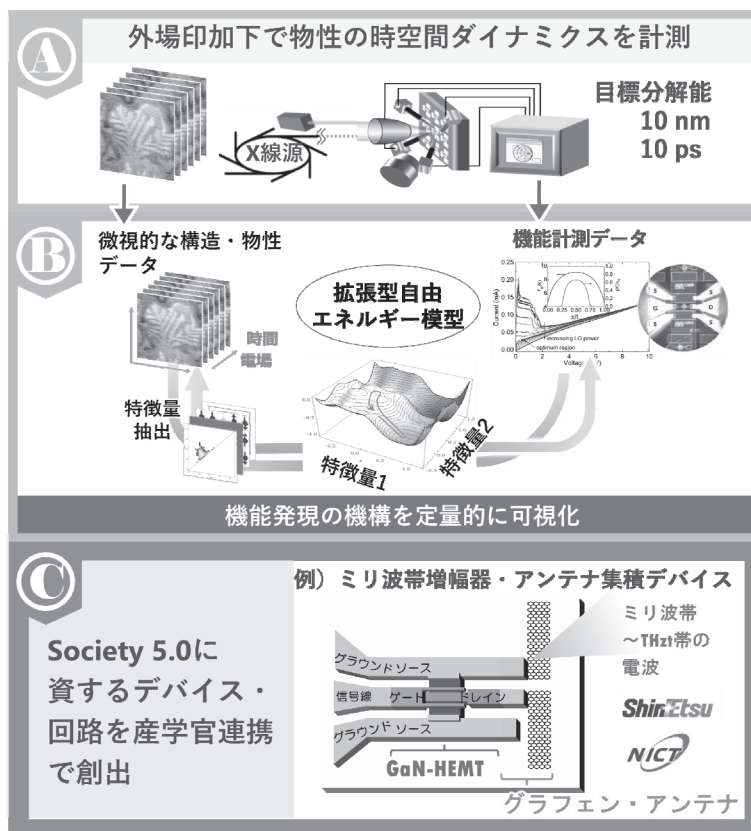
片野 諭 2003年3月 東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士後期課程修了。2003年4月 独立行政法人 理化学研究所中央研究所 博士研究員。2006年8月 東北大学電気通信研究所助手。2007年4月 同助教。2012年5月 同准教授、現在に至る。固体表面における吸着原子・分子の表面物理化学・ナノ光物性研究に従事。第23回応用物理学会講演奨励賞 (2008年)、石田實記念財団研究奨励賞(2018年)。

<2021年度の主な発表論文等>

1. T. Iwahori, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano*, "Thermally and photoinduced structural and chemical changes of a silver nanocube array on Au(111)", *RSC Adv.*, **11**, 15847-15855 (2021).
2. S. Morita, J. Sakai, M. Kuwahara, and S. Katano*, "Phase Transition-induced Structural Change of Ge₂Sb₂Te₅ Surface", *29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29)*, online, December 9th (2021).
3. S. Katano*, T. Sasajima, and R. Kasama, "Nanoscale Observation of Light Emission from Reduced and Unreduced Graphene Oxide", *29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29)*, online, December 9th (2021).
4. 片野諭*, 図説 表面分析ハンドブック “走査トンネル顕微鏡発光”, 朝倉書店, 2021.

固体電子工学研究室

Society 5.0 に資する次世代デバイスの学理に基づく研究開発



固体電子物性工学研究分野 准教授 吹留 博一

＜研究室の目標＞

きたるべき Society 5.0 の実現に向けて、低環境負荷な物質のポテンシャルを極限まで引き出して機能化する研究を推進している。そのために、新材料の探索だけでなく、その物性・機能を超高分解能で計測する革新的計測法を創出し、得られた物性情報データからデバイス機能を極限まで引き出す素子設計を可能にするデバイス・インフォマティクスの創成を目指している。そして、基礎研究成果を基に、産・官と緊密な連携による社会実装にも取り組んでいる

＜2021 年度の主な成果＞

1. 高性能グラフェン・トランジスタの高性能化

我々は、独自のゲート絶縁膜作製技術を構築し、ドレイン電流の飽和を達成した。これにより、実用的ゲート長 100 nm で、THz 帯で動作し得る高周波特性を得た。現在、社会実装に取り組んでいるところである。

2. 時空間オペランド X 線分光の開拓

高時空間分解能 (<100 ns, 100 nm) を有するオペランド (=動作下) X 線分光を開拓した。この手法は、高速で動作しているデバイスの電子状態変化の観測を可能にする。現在、この手法を用いて、Beyond 5G に資するデバイスの動作機構解明および高性能化を図っているところである。

3. デバイス・インフォマティクスの創成

機械学習を援用して、得られた物性情報データと実際の機能を架橋するデバイス・デバイス・インフォマティクスの創成を目指している。本年度は、高速フーリエ変換や最新の位相幾何学であるパーシステント・ホモロジーにより物性画像データの幾何学定量化に成功した。

<職員名>

准教授 吹留 博一 (2008年より)

技術補佐員 波入 久美

技術補佐員 鈴木 美沙子

技術補佐員 佐々木 文憲

<プロフィール>

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

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] 吹留博一, “デバイス用基板上SiC単結晶薄膜を用いた超高品質グラフェンと高周波デバイスの廉価な製造法の創出”, 表面と真空, 64 (2021), pp. 306-311.
- [2] Y. Fukaya, Y. Zhao, H.-W. Kim, J.-R. Ahn, H. Fukidome, and I. Matsuda, “Atomic arrangements of quasicrystal bilayer graphene: Interlayer distance expansion”, Physical Review B, 104 (2022), pp. L180202-1-L180202-5.
- [3] Y. Zhao, T. Suzuki, T. Iimori, H.-W. Kim, J.-R. Ahn, M. Horio, Y. Sato, Y. Fukaya, T. Kanai, K. Okazaki, S. Shin, S. Tanaka, F. Komori, H. Fukidome, and I. Matsuda, “Environmental effects on layer-dependent dynamics of Dirac fermions in quasicrystalline bilayer graphene”, Physical Review B, 105 (2022), pp. 115304-1-115304-8.
- [4] T. Otsuji, S. A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, H. Fukidome, T. Watanabe, T. Suemitsu, A. A. Dubinov, V. V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur, and V. Ryzhii, “Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors”, Nanophotonics, (2022), accepted. Doi: 10.1515/nanoph-2021-0651.
- [5] 発明者: 吹留博一, 末光哲也, 渡邊一世, 川原実, 飛坂優二, 秋山昌次, 川合信, “アンテナモジュールおよびその製造方法”, 特願 2021-207486, 出願者: 信越化学工業, 東北大学, 出願日: 2021. 12. 16

誘電ナノデバイス（長・山末・平永）研究室

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

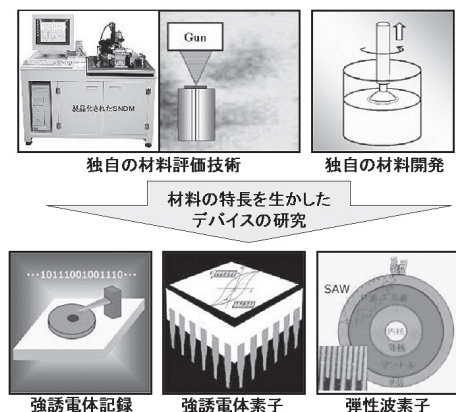


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

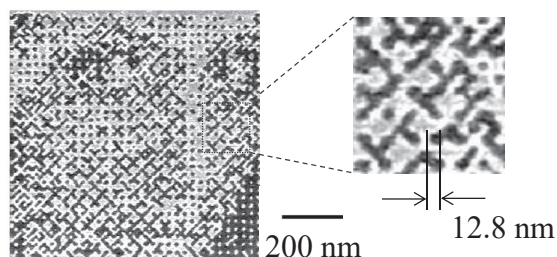


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch² の密度で記録されたデジタル情報

誘電ナノデバイス研究分野 教授 長 康雄

誘電ナノ物性計測システム研究分野 准教授 山末 耕平

誘電物性工学研究分野 准教授 平永 良臣

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

SNDM による強誘電体記録デバイスの研究では次の成果を得た：(1) データ書き込みに伴う分極反転ドメインのナノスケール成長ダイナミクスを理解するための時間依存 Ginzburg-Landau 方程式に基づくシミュレーション手法を開発 (2) デジタイザと SNDM の併用ならびにポスト信号処理の導入により、30 次に及ぶ超高次高調波成分を含む C-V カーブの再合成や主成分分析を用いたノイズ除去を導入した高精度局所 C-V マッピング法を実現 (3) 同手法を記録媒体として期待される強誘電性 HfO₂ 膜の局所的な分極スイッチングダイナミクスの解析に応用し、データセットからの C-V カーブ特徴量抽出およびその 2 次元マッピングを通じた解析を実現。次に SNDM に基づく半導体材料・デバイス評価に関する研究では以下の成果を得た：(1) 絶縁膜-半導体界面のナノスケール評価を可能

とする局所 DLTS・CV 特性同時測定を時間分解 SNDM で実現 (2) 同手法をシリコンウェハや代表的なパワー半導体材料である SiC ウェハなどのナノスケール評価に応用し、バイアスストレスが界面に及ぼす影響評価や界面特性ゆらぎのナノスケール・実空間評価を実現 (3) 絶縁膜付探針を援用した SNDM の MoS₂/h-BN など複合原子層構造への適用可能性を実証 (4) ダイヤモンドなどパワー半導体材料の評価に関する共同研究を推進。以上に加えて、間欠接触 (Peak-force tapping) 方式の SNDM で信号-雑音比を大幅に向上可能なボックスカー平均法を用いた間欠接触 SNDM の理論と原子層半導体への応用に関する論文を発表した。

<職員名>

教授 長 康雄 (2001年より)

准教授 山末 耕平 (2016年より) 平永 良臣 (2020年より)

<プロフィール>

長 康雄 1980年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1986年3月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1985年4月 同大電気通信研究所助手。1990年3月 山口大学工学部助教授。1997年10月 東北大学電気通信研究所助教授 2001年7月 同教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡及び超高密度強誘電体記録の研究開発に従事。市村学術賞功績賞受賞 (2004年)、藤尾フロンティア賞受賞 (2005年)、ドコモ・モバイル・サイエンス賞 (2006年)、ISIF² 2009 OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD 受賞 (2009年)、服部報公賞 (2014年)、文部科学大臣表彰 科学技術賞 (開発部門) (2015年)、応用物理学会論文賞 (2018年)。

山末 耕平 2002年3月 京都大学工学部電気電子工学科卒業。2007年3月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。2007年4月 同大ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー研究員。2008年8月 同助教。2010年4月 東北大学電気通信研究所助教。2016年7月 同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率ポテンシオメトリの開発とその電子材料・デバイス評価への応用に関する研究に従事。石田實記念財団研究奨励賞 (2021年)。

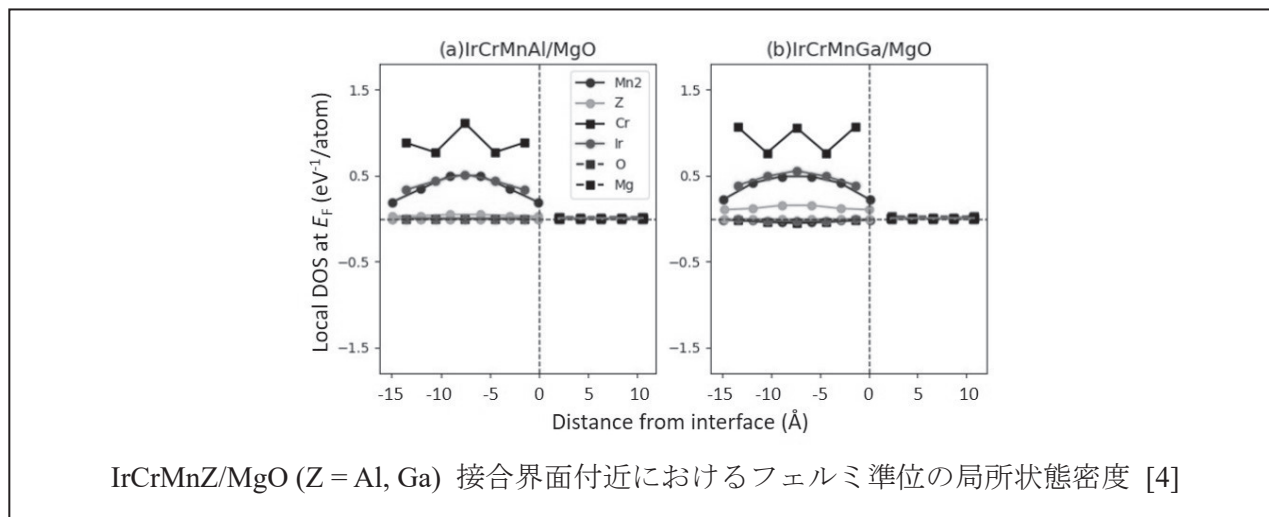
平永 良臣 2001年3月 東北大学工学部退学 (但し、大学院飛び入学制度の為)。2006年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2006年4月 同大電気通信研究所助手 (2007年より助教)。2020年11月 同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録の開発に従事。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Hiranaga, T. Mimura, T. Shimizu, H. Funakubo and Y. Cho, "High-precision local C-V mapping for ferroelectrics using principal component analysis," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 60, SFFB09(1-8), 2021
- [2] K. Yamasue and Y. Cho, "Local capacitance-voltage profiling and deep level transient spectroscopy of SiO₂/SiC interfaces by scanning nonlinear dielectric microscopy," 2021 IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA), pp. 1-6, 2021
- [3] K. Yamasue and Y. Cho, "Local capacitance-voltage profiling and high voltage stress effect study of SiO₂/SiC structures by time-resolved scanning nonlinear dielectric microscopy," Microelectron. Reliab., Vol. 126, 114284(1-6), 2021
- [4] K. Suzuki, K. Yamasue, and Y. Cho, "Nanoscale capacitance-voltage profiling of DC bias induced stress on a high- κ /SiO₂/Si gate stack," Microelectron. Reliab., Vol. 126, 114278(1-5), 2021
- [5] K. Fukuzawa, Y. Hiranaga, and Y. Cho, "Simulation of nanoscale domain growth for ferroelectric recording," AIP Advances, Vol. 11, 115117(1-9), 2021
- [6] K. Yamasue and Y. Cho, "Boxcar averaging scanning nonlinear dielectric microscopy," Nanomaterials, Vol. 12, No. 5, 794(1-19), 2022

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



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。

<2021 年度の主な成果>

1. 半導体ナノ構造中における強磁性と巨大磁気抵抗効果

InAs は高速トランジスタや長波長光デバイスに用いられる半導体である。東京大学の実験グループと共同で、InAs 中に FeAs 原子層を高密度に配置した FeAs/InAs 超構造の構造・磁気特性を第一原理計算に基づき調べた。その結果、FeAs/InAs 超構造では高い強磁性転移温度が得られるだけでなく、500%もの巨大磁気抵抗効果が得られることが明らかになった。さらに、磁気抵抗効果はゲート電圧で変調できることを示した。このように FeAs/InAs 超構造はスピントロニクス应用到非常に有望な材料である[5]。

2. 第一原理計算と機械学習を組み合わせたデータ駆動型材料探索

高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的として、第一原理計算と機械学習を組み合わせたデータ駆動型材料探索に取り組んでいる。その結果、新規ホイスラー合金 IrCrMnAl と IrCrMnGa が酸化マグネシウムを障壁としたトンネル磁気抵抗素子の電極材料として有力な候補であることを理論的に提案した[4]。

3. 高圧水素化合物

炭化水素 CH に関してはこれまで、グラフェンを水素で終端した形状の二次元的構造が提案されている。本研究では、これとは異なる新たな二次元的 CH 相が可能であることを、第一原理ランダム構造探索法により示した。この相はダイヤモンドに似た構造を有しており、グラフェン類似 CH 相と同様、バンドギャップが数 eV 程度の絶縁体である。ダイヤモンド類似 CH 相が安定化されるには、約 10 GPa の圧力が必要とされる。しかしながら、圧力を下げても虚振動数フォノンは現れず力学的安定性を保つことから、常圧での実現も可能ではと予測している。

<職員名>

教授 白井 正文 (2002 年より) 准教授 阿部 和多加 (2017 年より) 助教 辻川 雅人
助教 新屋 ひかり 特任助教 (研究) Tufan Roy 学術研究員 井上 順一郎

<プロフィール>

白井 正文 1988 年 3 月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程中退。同大学基礎工学部助手・助教を経て、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。

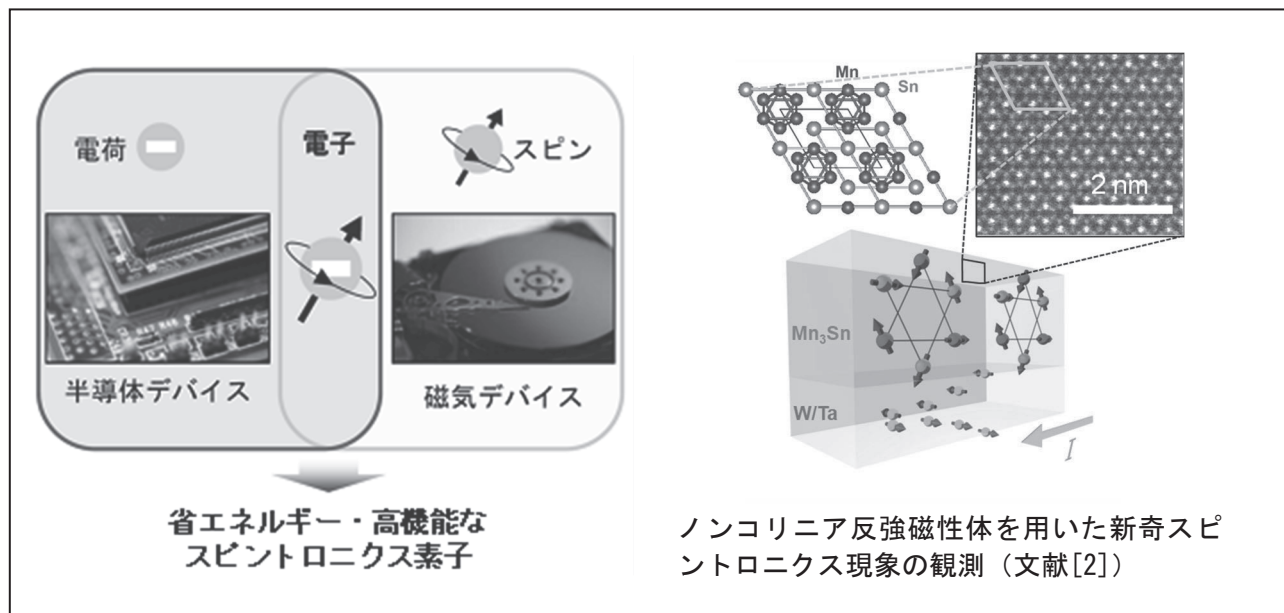
阿部 和多加 1998 年 3 月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。大阪大学基礎工学部非常勤講師、高輝度光科学研究センター協力研究員、日本学術振興会海外特別研究員、Cornel University Postdoctoral Fellow、東北大学電気通信研究所助手・助教を経て、2017 年 4 月 同准教授、現在に至る。博士 (理学)。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Goto, H. Kura, M. Tsujikawa, M. Shirai, K. Ito, T. Suemasu, K. Takanashi, and H. Yanagihara, "Synthesis and magnetic properties of tetragonally ordered Fe₂Ni₂N alloy using topotactic nitriding reaction," J. Alloys Compd., Vol. 885, Article no. 161122, pp. 1-5, 2021
- [2] K. Elphick, K. Yoshida, T. Roy, T. Ichinose, K. Kunimatsu, T. Tsuchiya, K. Z. Suzuki, M. Tsujikawa, Y. Nagai, S. Mizukami, M. Shirai, and A. Hirohata, "Lattice softening in metastable bcc Co_xMn_{100-x} (001) ferromagnetic layers for a strain-free magnetic tunnel junction," Phys. Rev. Appl., Vol. 16, Article no. 054052, pp. 1-10, 2021
- [3] K. Kunimatsu, T. Roy, J. Okabayashi, T. Tsuchiya, T. Ichinose, M. Tsujikawa, M. Shirai, and S. Mizukami, "Structure and magnetism in metastable bcc Co_{1-x}Mn_x epitaxial films," J. Magn. Magn. Mater., Vol. 548, Article no. 168841, pp. 1-8, 2022
- [4] T. Roy, M. Tsujikawa, and M. Shirai, "IrCrMnZ (Z = Al, Ga, Si, Ge) Heusler alloys as electrode materials for MgO-based magnetic tunnel junctions: A first-principles study," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 55, Article no. 125303, pp. 1-12, 2022
- [5] L. D. Anh, T. Hayakawa, Y. Nakagawa, H. Shinya, T. Fukushima, M. Kobayashi, H. Katayama-Yoshida, Y. Iwasa, and M. Tanaka, "Ferromagnetism and giant magnetoresistance in zinc-blende FeAs monolayers embedded in semiconductor structures," Nat. Commun., Vol. 12, No. 4201, pp. 1-10, 2021
- [6] A. Masago, H. Shinya, T. Fukushima, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, "A novel method for generating p-type wide- and ultrawide-bandgap III-nitride by doping with magnetic elements," Appl. Phys. Express, Vol. 14, Article no. 091007, pp. 1-4, 2021
- [7] H. N. Nam, K. Suzuki, T. Q. Nguyen, A. Masago, H. Shinya, T. Fukushima, and K. Sato, "Low-temperature acanthite-like phase of Cu₂S: Electronic and transport properties," Phys. Rev. B, Vol. 105, Article no. 075205, pp. 1-11, 2022
- [8] H. Naganuma, M. Nishijima, H. Adachi, M. Uemoto, H. Shinya, S. Yasui, H. Morioka, A. Hirata, F. Godel, M.-B. Martin, B. Dlubak, P. Seneor, and K. Amemiya, "Unveiling a chemisorbed crystallographically heterogeneous graphene/L1₀-FePd interface with a robust and anisotropic orbital moment," ACS Nano, Vol. 16, No. 3, pp. 4139-4151, 2022
- [9] K. Abe, "Metallic silicon subhydrides at high pressures studied by *ab initio* calculations," Phys. Rev. B, Vol. 103, Article no. 134118, pp. 1-7, 2021

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



ナノスピ材料デバイス研究分野 教授 深見 俊輔

<研究室の目標>

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

<2021年度の主な成果>

1. ノンコリニア反強磁性体のカイラルスピン構造の電流制御を実証
ノンコリニア反強磁性体からなるヘテロ構造に電流を導入したときにスピン軌道トルクで誘起されるカイラルスピンの恒常回転という新奇物理現象を発見 (文献[2])
2. 高周波スピントロニクス素子を用いた Wi-Fi の周波数帯の電波による環境発電の原理実証
Wi-Fi の周波数帯の 2.4 GHz 付近の電磁波に対して共鳴する高周波スピントロニクス素子を作製し、それを連結させた構造において LED を点灯する原理実証実験に成功 (文献[3])
3. オングストローム半導体世代向け高性能磁気トンネル接合素子を開発
極微細磁気トンネル接合において用いる積層構成によって緩和時間を制御し、直径 10 nm を下回る素子において 10 ns 以下の電流パルスでの書き込み動作に成功。(文献[8])

<職員名>

教授 深見 俊輔 (2020年より)

助 教 金井 駿, Justin Llandro

<プロフィール>

深見 俊輔 2005年名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻博士前期課程修了。博士(工学)。2005年日本電気株式会社、2011年東北大学助教、2015年より東北大学准教授。2020年より東北大学教授。2012年応用物理学会論文賞、2013年RIEC Award 東北大学研究者賞、2014年船井研究奨励賞、2014年応用物理学会講演奨励賞、2015年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2015年原田研究奨励賞、2016年DPS Paper Award、2017年ImPACT Symposium – Best Poster Award、2017年青葉工学振興会賞受賞、2018年Asian Union of Magnetism Societies, Young Researchers Award、2018年日本磁気学会優秀研究賞、2019年田中貴金属記念財団貴金属に関わる研究助成金ゴールド賞。2019年応用物理学会優秀論文賞。2021年丸文研究奨励賞。2022年稲盛科学研究機構(InaRIS)フェロー。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE会員。

<2021年度の主な発表論文等>

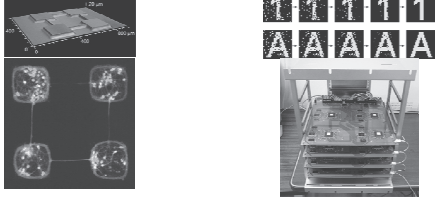
- [1] G. Wolfowicz, F. J. Heremans, C. P. Anderson, S. Kanai, H. Seo, A. Gali, G. Galli, and D. D. Awschalom, "Quantum guidelines for solid-state spin defects," *Nature Reviews Materials* **6**, 906-925 (2021).
- [2] Y. Takeuchi, Y. Yamane, J. Yoon, R. Itoh, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Chiral-spin rotation of non-collinear antiferromagnet by spin-orbit torque," *Nature Materials* **20**, 1364-1370 (2021).
- [3] R. Sharma, R. Mishra, T. Ngo, Y. Guo, S. Fukami, H. Sato, H. Ohno, and H. Yang, "Electrically connected spin-torque oscillators array for 2.4 GHz WiFi band transmission and energy harvesting," *Nature Communications* **12**, 2924(1)-(10) (2021).
- [4] J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, Y. Yamane, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Correlation of anomalous Hall effect with structural parameters and magnetic ordering in $Mn_{3+x}Sn_{1-x}$ thin films," *AIP Advances* **11**, 065318(1)-(6) (2021).
- [5] T. Dohi, S. Fukami, and H. Ohno, "Influence of domain wall anisotropy on the current-induced hysteresis loop shift for quantification of the Dzyaloshinskii-Moriya interaction," *Physical Review B* **103**, 214450(1)-(9) (2021).
- [6] K. Kobayashi, W. A. Borders, S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, "Sigmoidal curves of stochastic magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," *Applied Physics Letters* **119**, 132406(1)-(5) (2021).
- [7] M. Zahedinejad, H. Fulara, R. Khymyn, A. Houshang, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Åkerman, "Memristive control of mutual spin Hall nano-oscillator synchronization for neuromorphic computing," *Nature Materials* **21**, 81-87 (2021).
- [8] B. Jinnai, J. Igarashi, T. Shinoda, K. Watanabe, S. Fukami, and H. Ohno, "Fast Switching Down to 3.5 ns in Sub-5-nm Magnetic Tunnel Junctions Achieved by Engineering Relaxation Time," 67th Annual IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM2021), pp. 2.6.1-2.6.4 (2021).
- [9] J. Kaiser, W. A. Borders, K. Y. Camsari, S. Fukami, H. Ohno, and S. Datta, "Hardware-Aware In Situ Learning Based on Stochastic Magnetic Tunnel Junctions," *Physical Review Applied* **17**, 014016(1)-(12) (2022).
- [10] Y. Takeuchi, R. Okuda, J. Igarashi, B. Jinnai, T. Saino, S. Ikeda, S. Fukami and H. Ohno, "Nanometer-thin $L1_0$ -MnAl film with B_2 -CoAl underlayer for high-speed and high-density STT-MRAM: Structure and magnetic properties," *Applied Physics Letters* **120**, 052404(1)-(5) (2022).

ナノ集積デバイス・プロセス研究室

ナノ集積化技術の深化と脳型計算機の開発

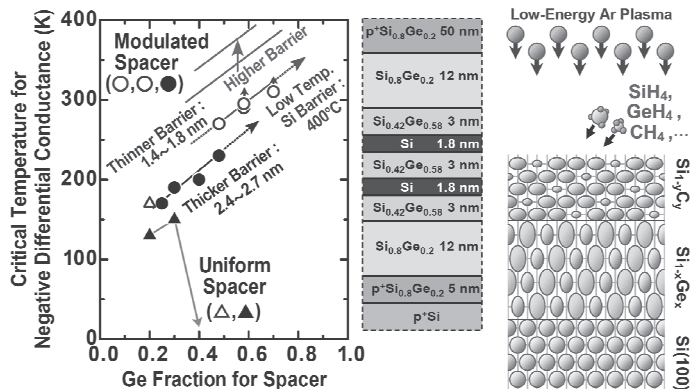
Brain Computer Inspired by Neuronal Networks

Understanding of information processing in the brain and development of hardware technology are necessary for implementation of a brain computer being functional in a real world. In this laboratory, we study on brain functions in biological neuronal networks and apply findings to develop a brain computer utilizing advanced nanoscale devices and process.



Biological Neuronal Networks Brain Computer

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。

<2021 年度の主な成果>

1. ナノ集積デバイス

脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し極低電力で動作するスパイクニューロンから構成されるリカレントニューラルネットワーク LSI を製作した。弱反転領域を利用するアナログ MOS 回路が正確に動作すること、本ネットワークが入力信号に依存して多様な反応を示すことを電気測定により確認した。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

低エネルギープラズマ化学気相成長法を用いることによって化学量論比組成に近い Si 窒化膜形成を可能とするとともに、熱酸化 SiO₂ 絶縁膜の下部の半導体基板表面にナノメートル厚の Si 窒化膜を堆積させておくことにより半導体基板表面の熱酸化を抑制できることを実験的に明らかにした。

3. ナノ集積神経情報システム

機械学習の一方式である強化学習の専用ハードウェアの開発を目的として、状態遷移が確率的な環境モデルにおいて、Q 学習を処理する専用回路をレジスタ転送レベルで設計し、回路リソースの削減と学習性能の関係を明らかにした。

<職員名>

教授 佐藤 茂雄 (2012 年より)
 准教授 櫻庭 政夫 (2002 年より)
 准教授 山本 英明 (2020 年より)
 学術研究員 守谷 哲 (2020 年より)

<プロフィール>

佐藤 茂雄 1989 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業。1994 年 12 月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、1996 年 4 月 同大電気通信研究所助手。2002 年 10 月 同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月 同准教授。2012 年 4 月 同教授、現在に至る。脳型計算機や量子計算機に関する研究に従事。IEICE 論文賞受賞 (2000 年)、石田記念財団研究奨励賞受賞 (2005 年)、応用物理学会優秀論文賞 (2019 年)、日本神経回路学会優秀研究賞 (2019 年)。

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

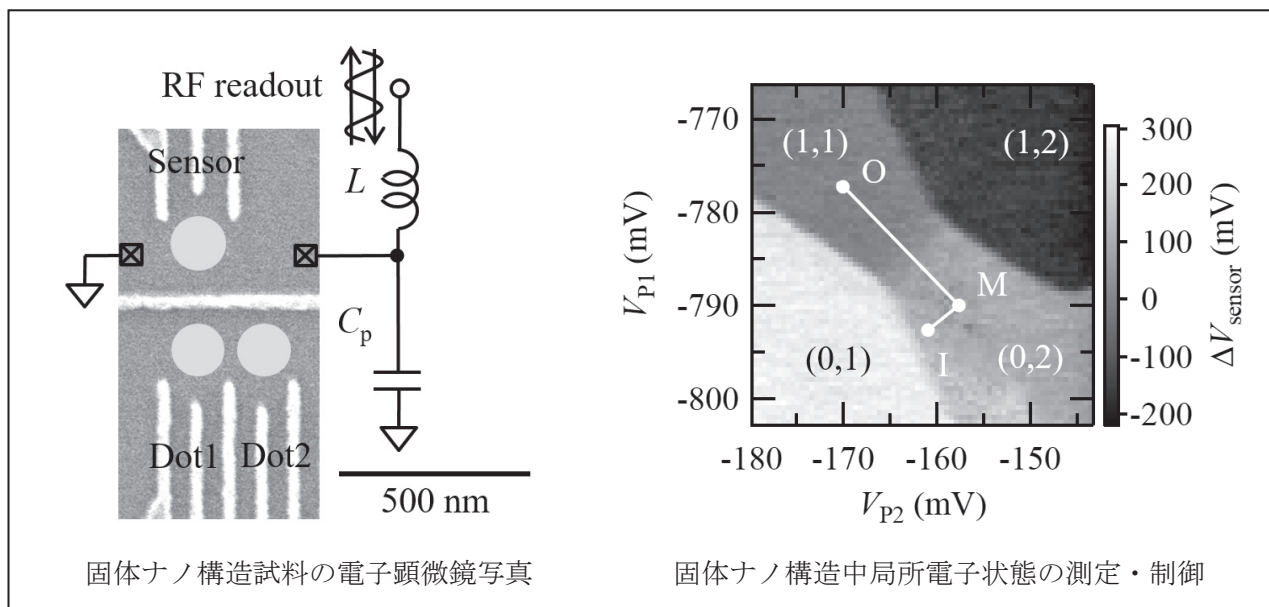
山本 英明 2005 年 3 月 早稲田大学理工学部電子・情報通信学科卒業。2009 年 3 月 同大学院先進理工学研究科ナノ理工学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員、早稲田大学高等研究所助教、東北大学学際科学フロンティア研究所助教、同大材料科学高等研究所助教を経て、2020 年 1 月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。JST さきがけ研究者 (兼任)。神経細胞ネットワークの構成論的研究に従事。トーキン科学技術振興財団奨励賞受賞 (2017 年)。青葉工学研究奨励賞受賞 (2017 年)。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas “Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay”, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 12, 685-694, 2021.
- [2] S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model”, Lecture Notes in Computer Science (ICANN 2021), 12895, 177-181 (2021).
- [3] D. Oguchi, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, “An investigation between numerical precision and performance of Q-learning for hardware implementation”, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 13, 427-433, 2021.

量子デバイス研究室

固体ナノ構造の物性解明とデバイス応用



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氣的な精密高速測定、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。

<2021 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マイ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。高周波測定技術の改良や、データ科学手法を活用した解析等、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定、制御する手法について研究を行った[4]。

2. 固体ナノ構造中の局所電子状態の研究

固体ナノ構造中の局所電子状態およびそのダイナミクスは、物性物理等の基礎科学やデバイス応用等の観点から注目を集めている。我々は電氣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。半導体量子ドットデバイスにおける単一電子ダイナミクスや、新材料における電子物性についてその詳細を解明した[3, 5]。

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の研究を行った。量子ビット操作、読み出しに関する研究とともに、量子システムのスケールアップに向けた研究を行った[1, 2]。

<職員名>

准教授 大塚 朋廣 (2018年より)

技術補佐員 熊坂 武志、佐藤 彰一、出崎 一石

事務補佐員 善積 利佳子

<プロフィール>

大塚 朋廣 2005年3月 東京大学理学部物理学卒業。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ディングイッシュトリサーチャー (2020年)。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Kojima, T. Nakajima, A. Noiri, J. Yoneda, T. Otsuka, K. Takeda, S. Li, S. D. Bartlett, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Probabilistic teleportation of a quantum dot spin qubit”, *npj Quantum Information* 7, 68 (2021).
- [2] T. Otsuka, M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, T. Ito, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Noise analysis of radio-frequency reflectometry for single spin and charge detection in quantum dots”, 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics, Online, Nov. 18, 2021.
- [3] T. Abe, T. Kitada, N. Ito, T. Tanaka, K. Nakahara, and T. Otsuka, “Quantum dots formed in GaN/AlGaIn FETs and channel length dependence”, International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Online, Nov. 2, 2021.
- [4] M. Shinozaki, Y. Muto, T. Kitada, S. Nagayasu, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, S. Li, T. Ito, S. Tarucha, and T. Otsuka, “Error rate analysis of charge sensing in quantum dots by Bayesian approach”, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 27, 2021.
- [5] A. Sharma, T. Otsuka, and Y. P. Chen, “Improving low temperature contact resistance of 2D semiconductors using semimetal”, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, Oct. 27, 2021.

3. 2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

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

(1) 超高速光通信研究室

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

(成果) 1チャンネルあたり 1.28 Tbit/s の信号を 8 波長多重した 10.2 Tbit/s 光ナイキストパルスの OTDM-WDM 伝送実験を行い、2100 km の長距離伝送に成功した。これにより、1チャンネルあたり 1 Tbit/s を超える WDM 伝送において世界最長となる伝送距離を初めて実現した。さらに、光・無線融合フルコヒーレント伝送において高利得なアンテナを用いることにより無線伝送距離の拡大を図り、64 Gbit/s, 256 QAM 信号の光ファイバ 10 km、無線 (60 GHz 帯) 40 m フルコヒーレント伝送に成功した。

(2) 応用量子光学研究室

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

(成果) 提案した混合変調半導体レーザ光源の共振器長短尺化による素子応答速度の高速化の検討を進め、DFB 領域長を 100 μm 、共振器内部損失変調領域長を 50 μm とした混合変調半導体レーザで、小信号 E/O 応答帯域を 130 GHz 以上に拡大でき、100 Gbit/s NRZ 信号による動的単一モード動作が可能であることを数値解析で明らかにした。また、狭線幅光負帰還半導体レーザ光源の FMCW 方式 LiDAR システムへの適用性の検証実験を進め、光負帰還半導体レーザ光源を用いることで高 SNR 測距システムが実現できることを実証した。

(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 社会の実現を目指し、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) デジタル信号処理部と送信アンテナユニット間を市販の QSFP28 モジュールを用いた 25GbE 用光ファイバ伝送系により接続した、光ファイバ伝送 1-bit バンドパス $\Delta\Sigma$ 変調方式ダイレクトデジタル RF 送信機を試作し、25GbE 光ファイバ伝送系の上限周波数であるナイキスト周波数 (12.5GHz) を超える 20GHz 帯の RF 信号送信が可能であることを実証した。また、サブ THz 帯 RFIC の高利得化を目指して、正帰還によるトランジスタ利得の向上と整合回路の低損失化に取り組み、130GHz 帯 CMOS 増幅器を試作し、その有効性を実証した。

(4) 情報ストレージシステム研究室

(目標) IT技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。高密度・高性能のストレージに対する需要の高まりに応え、次世代垂直磁気記録の研究を行う。高性能データインテンシブ解析に向け、コンピューティングとストレージを融合一体化したコンピューショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行う。

(成果) 複数の個別の記録層を持つ記録媒体に対して選択的に多重記録することを可能にする、新しい3次元エネルギーアシスト記録技術を開発した。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)において、実効的で最適な多重記録条件を見出した。この技術の実現によりHAMR方式において、データ保存量を2倍に高めることが出来る可能性を検証した。また、PB級大規模ストレージにコンピューション機能を近接化した「コンピューショナルストレージシステム」を構築し、オブジェクト分散ストレージCephを実装した。蛍光顕微鏡で撮像データを使ったニューロン構造3次元可視化ツールの実アプリに対するデータアクセス性能を検証した。

(5) 超ブロードバンド信号処理研究室

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

(成果) 単原子層炭素材料：グラフェンを利得媒質とし、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタにより、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9%のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した(2020.07. プレスリリース; 国際会議招待講演16件)。また、InGaAsチャネルを有するプラズモニク・テラヘルツ検出素子の開発を進め、光起電圧のゲート読み出し方式において、電子トンネリングに起因するダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された”三次元整流効果”を、正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来の負ゲート電圧印加時よりも一桁向上させることに成功した。

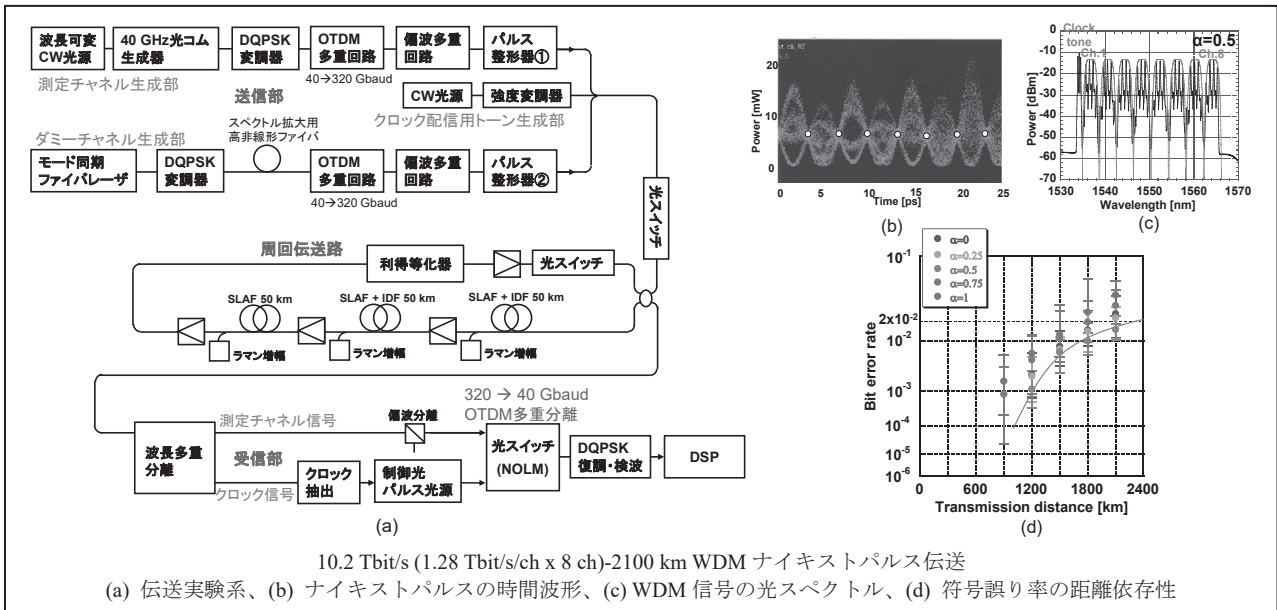
(6) 量子光情報工学研究室

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

(成果) (1) 2量子ビット系のスピン積の非局所・強度可変一般化計測方法を開発。(2) 多周期擬似位相整合構造による高精度周波数無相関光子対光源を開発。(3) 水中のナノ光ファイバ近傍へのナノ・マイクロ粒子の捕捉、輸送の観測に成功、ナノ光ファイバ上の金ナノ粒子・半導体量子ドット複合体によるプラズモン増強単一光子源を開発。

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



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。

<2021 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。2021 年度は、光ナイキストパルスの高速性を活かし、ナイキストパルスの帯域を定めるロールオフ率を最適化することにより、1 チャネルあたり 1.28 Tbit/s の信号を 8 波長多重した 10.2 Tbit/s OTDM-WDM 伝送実験を行い、2100 km の長距離伝送に成功した。これにより、1 チャネルあたり 1 Tbit/s を超える WDM 伝送において世界最長となる伝送距離を初めて実現した。

2. コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究室では、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。2021年度は、光・無線融合フルコヒーレント伝送において高利得なアンテナを用いることにより無線伝送距離の拡大を図り、8 Gbaud, 256 QAM (64 Gbit/s)信号の光ファイバ 10 km、無線 (60 GHz 帯) 40 m フルコヒーレント伝送に成功した。さらに本方式が従来のセルフヘテロダインと呼ばれる方式と比較してロスバジェットを 6 dB 拡大できることを明らかにした。

<職員名>

教授 廣岡 俊彦 (2018年より)

准教授 葛西 恵介 (2019年より)

<プロフィール>

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

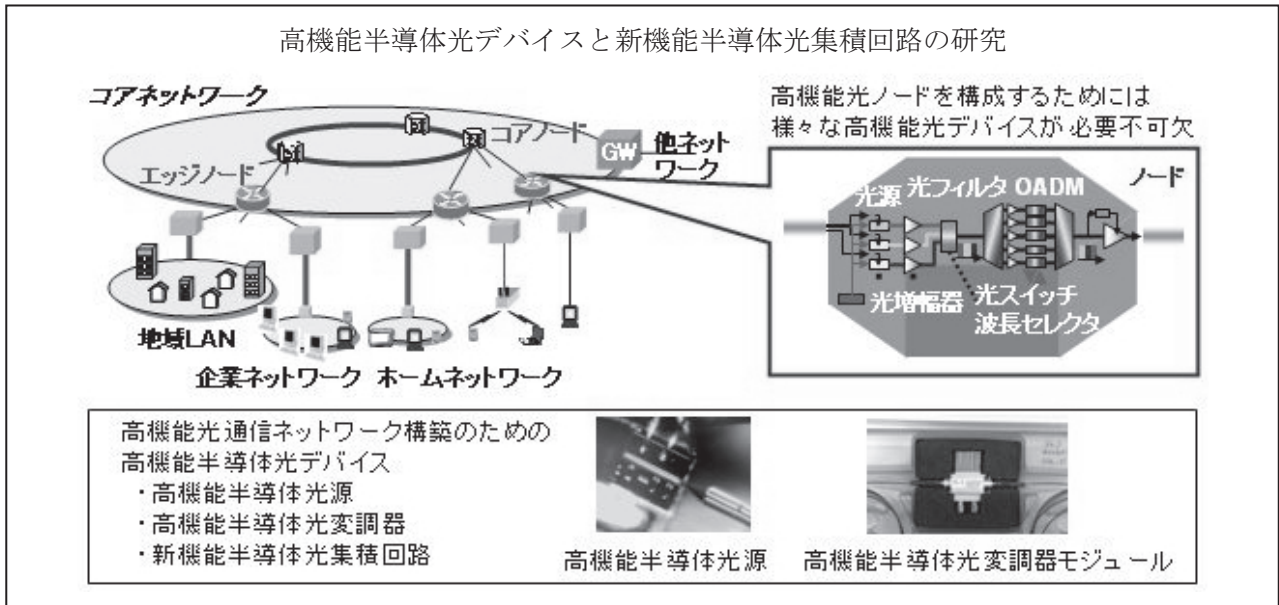
葛西 恵介 2008年3月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2009年4月日本学術振興会特別研究員 (PD)。2012年11月東北大電気通信研究所助教。2019年8月同准教授、現在に至る。光波位相制御技術、デジタルコヒーレント光通信の研究開発に従事。電子情報通信学会 ELEX Best Paper Prize (2008年)、電子情報通信学会論文賞 (2012年) など受賞。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Recent progress and challenges toward ultrahigh-speed transmission beyond 10 Tbit/s with optical Nyquist pulses," IEICE Electron. Express (invited paper), vol. 18, no. 7, 20212001, April (2021).
- [2] M. Nakazawa and T. Hirooka, "A Generalized Mode-locking Theory for a Nyquist Laser with an Arbitrary Roll-off Factor PART I: Master Equations and Optical Filters in a Nyquist Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 57, no. 3, 1100117, June (2021).
- [3] M. Nakazawa and T. Hirooka, "A Generalized Mode-locking Theory for a Nyquist Laser with an Arbitrary Roll-off Factor PART II: Oscillation Waveforms and Spectral Characteristics," IEEE J. Quantum Electron., vol. 57, no. 3, 1100215, June (2021).
- [4] K. Kasai, T. Sato, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "64 Gbit/s, 256 QAM Transmission Through Coherent Optical-Wireless Link at 61 GHz Using Simple and High OSNR Carrier Frequency Converter," OFC 2021, Tu6E.2, June (2021).
- [5] T. Kan, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Broadband Dynamic Injection-Locking Performance of Fabry-Perot LD and Its Application to Coherent Homodyne Receiver," OFC 2021, F2A.5, June (2021).
- [6] A. Watanabe, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-Channel 1.28 Tbit/s Optical Nyquist Pulse Transmission over 3000 km with Roll-off Factor Optimization," OECC 2021, T4B.6.
- [7] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Theory of AM Mode-Locking of a Laser as an Arbitrary Optical Function Generator," IEEE J. Quantum Electron., vol. 57, no. 6, 1300320, December (2021).
- [8] K. Sato, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS noise correlation between cores in multi-core fibers," Opt. Express, vol. 29, no. 26, pp. 42523-42537, December (2021).
- [9] K. Kasai, T. Sato, K. Shirahata, T. Hirooka, M. Yoshida, M. Nakazawa, "Performance comparison between injection-locked carrier frequency conversion and self-heterodyne detection methods in coherently-linked optical and wireless transmission for 6G," ICETC 2021, B1-3.
- [10] M. Yoshida, K. Sato, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Precise Measurements and their Analysis of GAWBS-Induced Depolarization Noise in Multi-Core Fiber for Digital Coherent Transmission," IEICE Trans. Comm., vol. E105-B, no. 2, pp. 151-158, February (2022).

応用量子光学研究室

革新的光通信用高機能半導体光デバイスの創出に関する研究



高機能フォトニクス研究分野 教授 八坂 洋

高精度光計測研究分野 准教授 吉田 真人

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

1. 超高速半導体レーザ光源

超高速・超大容量光通信ネットワークを構築する上で、100Gb/s 以上の動作速度を有する高機能半導体光源の実現が必須である。本光源では、光ファイバ伝送を考えた際に高速直接変調時に動的単一モード動作することが実システムへ適用する上で必須である。半導体レーザの応答帯域拡大に向け、半導体レーザ共振器損失と注入電流量を同時に変調可能な混合変調半導体レーザの研究を進め、共振器長短尺化による素子応答速度の高速化の検討を進めた。DFB 領域長を 100 μm 、共振器内部損失変調領域長を 50 μm とした混合変調半導体レーザで、小信号 E/O 応答帯域を 130 GHz 以上に拡大でき、100 Gbit/s NRZ 信号による動的単一モード動作が可能であることを数値解析で明らかにした。最適動作条件で、アイ開口部の消光比を 3.5 dB 以上確保できることが確認できた。

2. 小型狭線幅半導体レーザ光源

近年注目されているデジタルコヒーレント光通信システムへの適用を目指し、簡便な構成の光学的負帰還回路による半導体レーザの線幅狭窄化の研究を継続して進めた。本光負帰還半導体レーザ光源において、位相雑音低減帯域を拡大するために、被制御半導体レーザに混合変調半導体レーザを適用することで、従来のDFBレーザでの位相雑音最大低減帯域（全低減帯域）が70 MHz (7 GHz)程度であったものを1 GHz (50 GHz)にまで拡大できる可能性のあることを数値解析で明らかにした。さらに、狭線幅光負帰還半導体レーザ光源のFMCW方式LiDARシステムへの適用性の検証実験を進めることで、光負帰還半導体レーザ光源が直接電流変調による周波数変調時にも狭線幅特性を保持でき、構成したFMCW方式LiDARシステムで450 m程度の測距実験においても30 dB以上の高いSNRを保持したビートスペクトルが観測できることを検証実験で明らかにした。

<職員名>

教授 八坂 洋 (2008年より)
 准教授 吉田 真人 (2018年より)
 助教 横田 信英

<プロフィール>

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

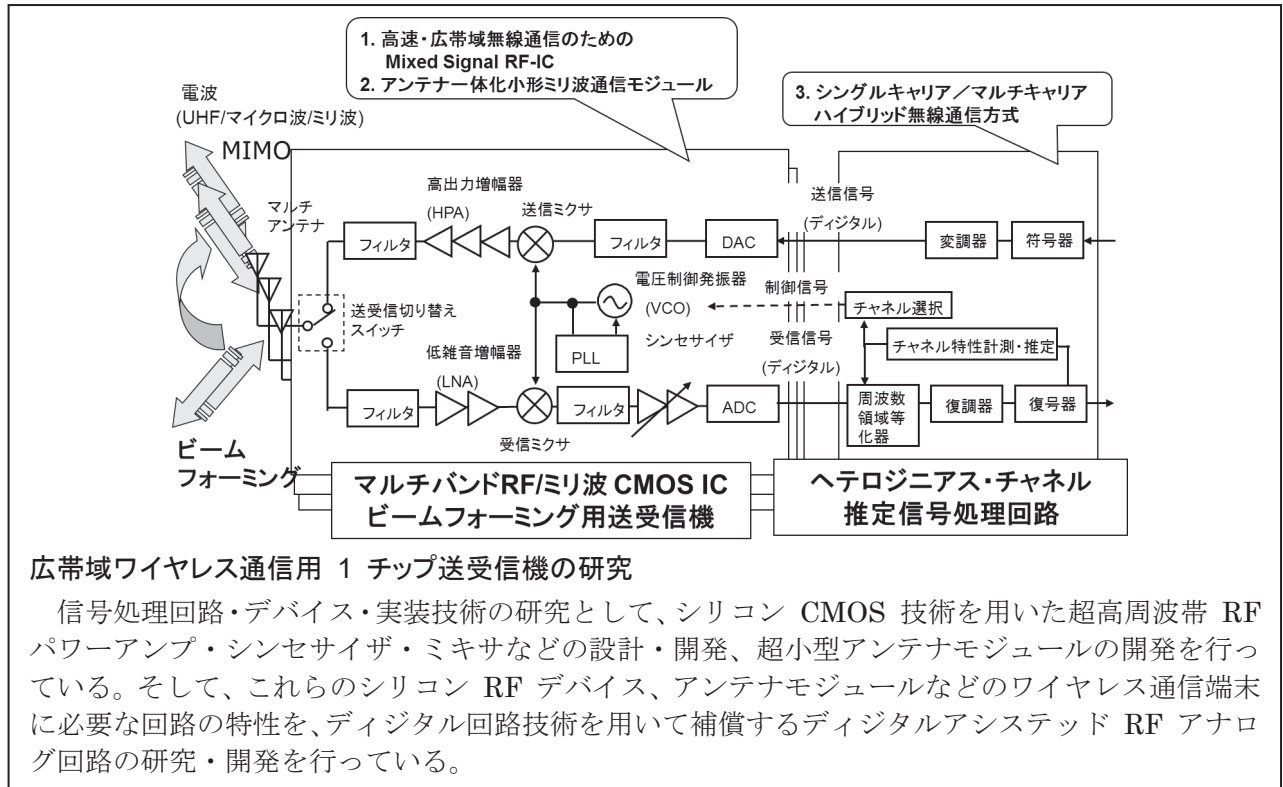
吉田 真人 1997年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。2001年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期課程修了。2001年4月 同大電気通信研究所助手。2011年7月 同准教授、現在に至る。ファイバレーザおよびそれを用いた光計測の研究開発に従事。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] N. Yokota, K. Ikeda, and **H. Yasaka**, "Spin-Injected Birefringent VCSELs for Analog Radio-Over-Fiber Systems," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 33, No. 6, pp. 297-300, 2021.
- [2] 島卓未、吉田真人、横田信英、**八坂洋**、"混合変調レーザの広帯域小信号応答特性の評価"、2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-3/4-20、2021.
- [3] 横田信英、木内啓生、八坂洋、"光負帰還狭線幅半導体レーザとその測距光源への応用(招待講演)"、2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会、CI-2-2、2021.
- [4] N. Yokota, H. Kiuchi, and H. Yasaka, "Low-phase-noise optical negative feedback laser for long-distance ranging with high signal-to-noise ratio," 27th International Semiconductor Laser Conference (ISLC), WA1.3, 2020.
- [5] 吸坂直樹、横田信英、八坂洋、"光負帰還混合変調レーザによる周波数雑音低減帯域拡大"、2022年電子情報通信学会総合大会、C-3/4-41、2022.
- [6] 内山香、横田信英、小林亘、**八坂洋**、"混合変調半導体レーザの100-Gbit/s NRZ 動的単一モード動作"、2022年電子情報通信学会総合大会、C-3/4-42、2022.
- [7] N. Yokota, H. Kiuchi, and **H. Yasaka**, "Directly modulated optical negative feedback lasers for long-range FMCW LiDAR," Optics Express, vol. 30, No. 7, pp. 11693-11703, 2022.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信ネットワークの実現へ向けて



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。

<2021 年度の主な成果>

1. ミリ波ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機 S/H 回路の開発

ミリ波(60 GHz)帯でダイレクト RF アンダーサンプリング受信機を実現するために、必要となるサンプルホールド(Sample and Hold, S/H)回路を開発した。数 GHz の低い周波数のクロックで、ミリ波帯の高い周波数の RF 信号を直接アンダーサンプリングする高次アンダーサンプリングを行う場合について、クロック信号の特性がサンプリング動作に与える影響を明らかにした。この結果に基

づき、高速立ち下がりクロック生成回路とこれを備えた S/H IC を設計・試作し、60 GHz 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機として良好な特性が得られることを確認した。

2. 25GbE 光ファイバ伝送系を用いたフルデジタル方式デジタルビームフォーミングアンテナ
デジタル信号処理部と送信アンテナユニット間を市販の QSFP28 モジュールを用いた 25GbE 用光ファイバ伝送系により接続した、光ファイバ伝送 1-bit バンドパス $\Delta\Sigma$ 変調方式ダイレクトデジタル RF 送信機を試作し、25GbE 光ファイバ伝送系の上限周波数であるナイキスト周波数(12.5GHz)を超える 20GHz 帯の RF 信号送信が可能であることを実証した。

3. 130GHz 帯 CMOS 増幅器の高利得化技術の開発

サブ THz 帯 RFIC の高利得化を目指して、正帰還によるトランジスタ利得の向上と整合回路の低損失化に取り組み、130GHz 帯 CMOS 増幅器を試作し、その有効性を実証した。デジタル信号処理部と送信アンテナユニット間を市販の QSFP28 モジュールを用いた 25GbE 用光ファイバ伝送系により接続した、光ファイバ伝送 1-bit バンドパス $\Delta\Sigma$ 変調方式ダイレクトデジタル RF 送信機を試作し、25GbE 光ファイバ伝送系の上限周波数であるナイキスト周波数(12.5GHz)を超える 20GHz 帯の RF 信号送信が可能であることを実証した。この成果により、3 大マイクロ波国際会議の 1 つである Asia Pacific Microwave Conference (APMC) において、Best paper award に相当する APMC2021 Prize を受賞した。

<職員名>

教授 末松 憲治

研究員 ジャン・テンガ

技術補佐員 富澤 幸恵 山田 かおり

<プロフィール>

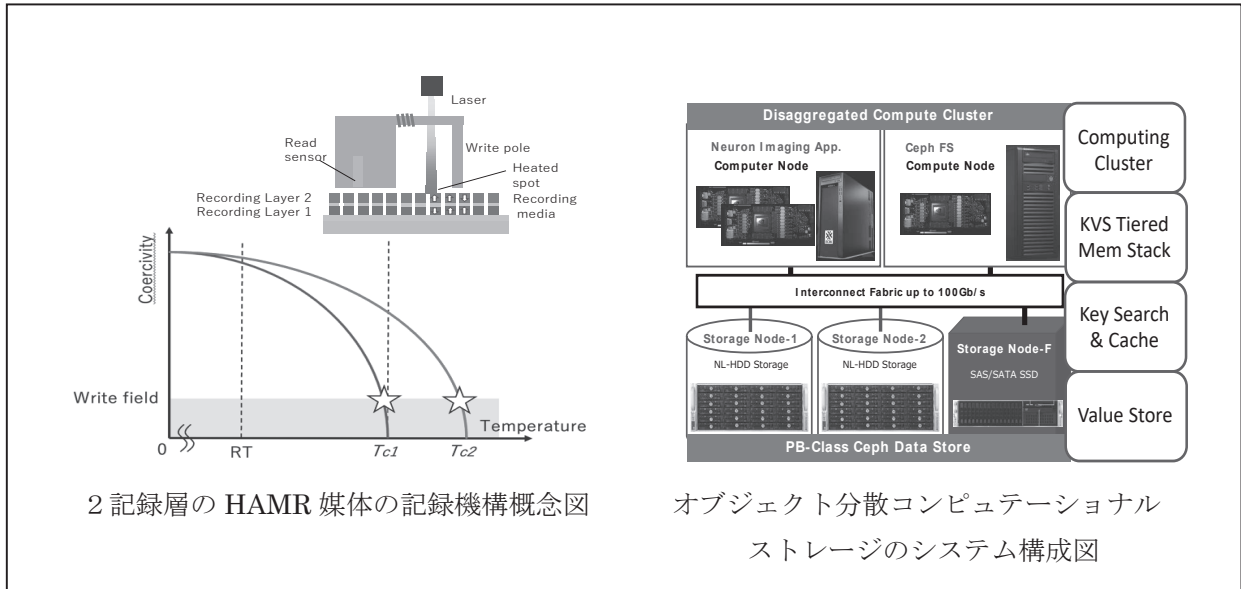
末松 憲治 1987 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。博士 (工学) (2000 年)。1987 年 4 月三菱電機 (株) 入社。1992 年 9 月～1993 年 9 月英国リーズ大学客員研究員。2008 年 4 月～2010 年 3 月東北大学電気通信研究所客員教授。2010 年 4 月教授。1997 年、2006 年、2009 年関東地方発明表彰発明奨励賞、2002 年第 50 回電気科学技術奨励賞 (オーム技術賞)、2009 年文部科学大臣表彰科学技術賞 (開発部門)、2012 年電子情報通信学会エレクトロニクス賞各受賞。電子情報通信学会フェロー、IEEE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

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] J. Zhang, M. Kazuno, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Image Enhancement in 26GHz-Band 1-Bit Direct Digital RF Transmitter Using Manchester Coding," IEICE Transactions on Communications, Vol. E104.B, No. 6, pp. 654-663, Jun. 2021.
- [2] T. Machii, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Gain Boosted D-Band CMOS Amplifier Using a Radial Stub for Source AC Grounding," 2021 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), pp.190-192, Nov.2021.
- [3] T. Chida, S. Kameda, N. Suematsu, "Fundamental Investigation of Backoff Control Method for Fair Communication Opportunity of mmW WBAN in Overcrowded Environment," 13th Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), vol. 120, no. 405, pp. 1953-1957, Dec. 2021.
- [4] T. Furuichi, N. Yoshino, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "A 60 GHz-band S/H CMOS IC for Direct RF Undersampling Receiver," 2022 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Jan. 2022.

情報ストレージシステム研究室

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



情報ストレージ・コンピューティングシステム研究分野 教授 田中 陽一郎
記録理論コンピュータショナル研究分野 准教授 サイモン グリーブス

<研究室の目標>

IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。この膨大な情報の蓄積を担うのがデータセンターであり、その中心的な技術がハードディスク装置 (HDD) を代表とする磁気記録ストレージである。増大する情報量に対応するために高記録密度化による HDD の記録容量増加の努力が続けられており、本分野では超高密度情報ストレージデバイスを目指し研究を進めている。コンピュータシミュレーションによる記録及び再生理論の検討と、今後の高速データ転送速度と高い面記録密度を実現するためのエネルギーアシスト垂直磁気記録再生方式の確立に取り組んでいる。さらに、高性能データインテンシブ解析に向け、コンピューティングとストレージを融合一体化してインテリジェンス性を高めたコンピュータショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行っている。

<2021 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トル領域を加熱する熱アシスト磁気記録 (HAMR) 方式について、多重記録による記録密度 2 倍増を目指した研究を実施した。異なるキュリー温度 T_c を有する記録層に対し、ヒートスポットの温度の組み合わせを最適化することで選択的に多重記録することが可能であることを示した [1][2]。多重記録に用いる複数の記録層媒体と記録の条件を最適化する研究を行なうことにより、HAMR 方式においてデータ保存量を 2 倍に高めることが出来る可能性を検証した。

大規模ストレージとコンピューテーション機能を近接化して PB 級データセットの解析を行うコンピューテーショナル・ストレージの研究を推進している。今年度は、2PB 大規模ストレージにコンピューテーション機能を近接化した「コンピューテーショナルストレージシステム」を発展させ、オブジェクト分散ストレージシステム Ceph を実装した。蛍光顕微鏡で撮像した Drosophila (Fruit-fly) や Mouse 等のニューロン構造データを使ったニューロン構造 3 次元可視化ツールの実アプリに対するデータアクセス性能を検証した[3][4][5][6]。コンピューティング機能と大容量垂直磁気記録 HDD クラスタに NVMe-oF 型 All-Flash 超高速ストレージを組み込んだ「コンピューテーショナルストレージシステム」にオブジェクト分散ストレージ機能を実装して、高い性能のアクセスパフォーマンスを検証した。本研究に対し、2020 年度より科研費基盤研究 (B) 20H02194 の助成を受けている。

<職員名>

教授 田中 陽一郎 (2019 年より)

准教授 サイモン グリーブス (2003 年より)

<プロフィール>

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

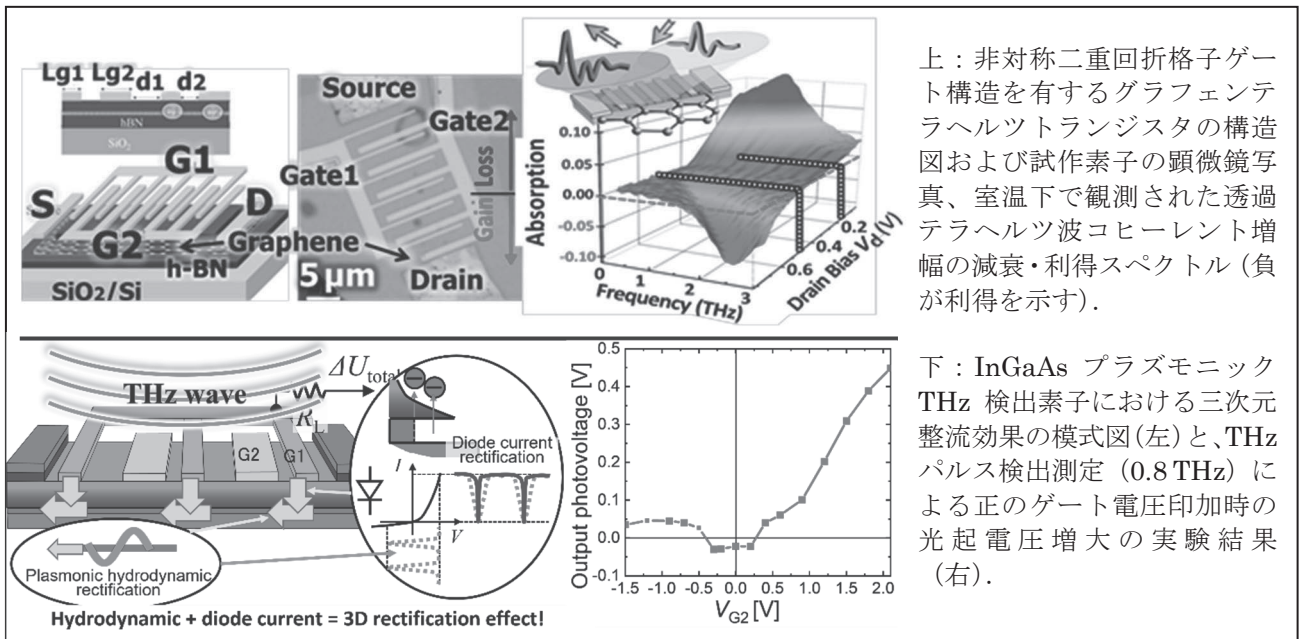
サイモン グリーブス 1993 年英国サルフォード大学大学院物理学博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Yamane, S. Greaves, Y. Tanaka, “Heat-Assisted Magnetic Recording on Dual Structure Bit Patterned Media”, IEEE Trans. Mag. Vol. 57, No.2, 3200706-1-6, 2021
- [2] H. Yamane, S. Greaves, Y. Tanaka, “Optimising the Thickness and Diameter of Dual Structure Patterned Media Dots for Heat Assisted Magnetic Recording”, MMM-Intermag 2022, IPA-04, 2022
- [3] Yoichiro Tanaka, Computational Storage Platform for Brain Neural Structure Analytics、ヨッタ国際シンポジウム、2022
- [4] Yoichiro TANAKA, In-Storage/Memory Computing Platform for Brain Neuro Science, FY 2021 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects “Compass for Next-Gen ICT” Program, 2022
- [5] Yoichiro Tanaka, Data Storage Consideration in Brain Inspired Computing, Joint Seminar “Brain Inspired Computing; Physics, Architecture, Materials, Applications (BICPAMA)”, C-2, December 2021
- [6] 川田悠貴, 田中陽一郎, 脳神経細胞構造可視化アプリケーションを用いた大容量ストレージシステムのデータアクセス性能の評価検討、2021 年度電気関係学会東北支部連合大会資料 88-88、2021
- [7] A. Aboutaleb, A. Sayyafan, K. Sivakumar, B. Belzer, S. Greaves, K. S. Chan and R. Wood, “A perspective on deep neural network-based detection for multilayer magnetic recording”, Appl. Phys. Lett. 119, 010502-1-11, 2021
- [8] S. Honda, Y. Sonobe and S. J. Greaves, “Transforming domain motion for 3D racetrack memory with perpendicular magnetic anisotropy”, J. Phys. D. 54(13), 135002-1-7, 2021

超ブロードバンド信号処理研究室

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



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

＜研究室の目標＞

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

＜2021 年度の主な成果＞

1. 超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、単原子層炭素材料:グラフェンを利得媒質とする新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイスプロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9%のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した（2020.07. プレスリリース；国際会議招待講演 16 件）。

2. 超ブロードバンドデバイス物理研究分野

新規材料・動作原理に基づくミリ波・テラヘルツ波デバイスの創出を目指し、デバイス内の電子輸送現象・光電子物性の理論的解明や実験的実証を行なうとともに、超高速無線通信や光電子融合ネットワークへのデバイス実用化に向けた研究開発を進めている。今年度は、InGaAs チャンネルを有するプラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発を進め、光起電圧のゲート読み出し方式において、電子トンネリングに起因するダイオード電流非線形性がプラズモン流体非線形性に重畳された”三次元整流効果”を、正ゲート電圧印加によって発現させ、検出感度を従来の負ゲート電圧印加時よりも一桁向上させることに成功した。

<職員名>

教授 尾辻 泰一 (2005年より)
 准教授 佐藤 昭 (2017年より)
 助教 渡辺 隆之 (2017年より)
 学術研究員 RYZHII Victor, TANG Chao 秘書 上野 佳代

<プロフィール>

尾辻泰一 1982年3月九州工業大学工学部電子工学科卒業。1984年3月同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1994年2月博士(工学)取得(東京工業大学)。1984年4月電電公社厚木電気通信研究所入所。1999年4月九州工業大学情報工学部助教授。2001年9月同教授。2005年4月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。テラヘルツデバイスとその超ブロードバンド信号処理への応用に関する研究開発に従事。文部科学大臣表彰科学技術賞(研究分野)受賞(2019年)、IEEE GaAs IC Symposium Outstanding Paper Award受賞(1997年)。IEEE Electron Device Society Distinguished Lecturer, IEEE Fellow, OSA Fellow, JSAP Fellow, IEICE シニア会員, MRS, SPIE, 各会員。

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

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] T. Otsuji, S.A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, H. Fukidome, T. Watanabe, T. Suemitsu, A.A. Dubinov, V.V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors," *Nanophoton.*, vol. 11, iss. 9, pp. 1677-1696, Feb. 2022. DOI: 10.1515/nanoph-2021-0651 (invited, review)
- [2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Ballistic Injection Terahertz Plasma Instability in Graphene n + -i-n-n + Field-Effect Transistors and Lateral Diodes," *Physica Status Solidi A: Appl. and Mat. Sci.*, vol. 219, iss. 1, pp. 2100694-1-8, Jan. 2022. DOI: 10.1002/pssa.2021006 (Top cover highlighted)
- [3] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Effect of Coulomb carrier drag and terahertz plasma instability in p+-p-i-n-n+ graphene tunneling transistor structures, *Phys. Rev. Appl.*, vol. 16, pp. 064054-1-10, Dec. 2021. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.16.064054
- [4] Stephane Albon Boubanga-Tombet, Akira Satou, Deepika Yadav, Dmitro B But, Wojciech Knap, Vyacheslav V Popov, Iliya V Gorbenko, Valentin Kachorovskii and Taiichi Otsuji, "Paving the way for tunable graphene plasmonic THz amplifiers," *Frontiers in Physics*, vol. 9, pp. 726806-1-10, Oct. 2021. (invited, review) DOI: 10.3389/fphy.2021.726806
- [5] V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Coulomb electron drag mechanism of terahertz plasma instability in n+-i-n-n+ graphene FETs with ballistic injection," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 119, iss. 9, pp. 093501-1-5, Aug. 2021. DOI:10.1063/5.0061722
- [6] V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "S-shaped current-voltage characteristics of n+-i-n-n+ graphene field-effect transistors due the Coulomb drag of quasi-equilibrium electrons by ballistic electrons," *Phys. Rev. Appl.*, vol. 16, iss. 1, pp. 014001-1-12, July 2021. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.16.014001
- [7] T. Negoro, T. Hosotani, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Otsuji, and A. Satou, "3D rectification effect on plasmonic THz detection by InP-based dual-grating-gate high-electron-mobility transistor," *IRMMW-THz: 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*, Chengdu, China, Aug. 29-Sep. 3, 2021. DOI: 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567650
- [8] K. Nishimura, T. Hosotani, D. Nakajima, T. Suemitsu, K. Iwatsuki, T. Otsuji, A. Satou, "Optical-to-wireless carrier frequency down-conversion by UTC-PD- integrated HEMT: dependence of conversion gain on UTC-PD mesa size," *2021 Conference on Lasers and Electro-Optics/Europe – European Quantum Electronics Virtual Conferences*, Munich, Germany, Jun. 21-25, 2021. DOI: 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542735
- [9] A. Satou, Y. Omori, K. Nishimura, T. Hosotani, K. Iwatsuki, and T. Otsuji, "Unitraveling-carrier-photodiode-integrated high-electron-mobility transistor for photonic double-mixing," *J. Lightwave Technol.*, vol. 39 (10), pp. 3341-3349, May 2021. DOI: 10.1109/JLT.2021.3060795
- [10] T. Hosotani, A. Satou, and T. Otsuji, "Terahertz emission in an InGaAs-based dual-grating-gate high-electron-mobility transistor plasmonic photomixer," *Appl. Phys. Exp.*, vol. 14(5), pp. 14 051001-1-5, April 2021. DOI: 10.35848/1882-0786/abf02a

量子光情報工学研究室

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

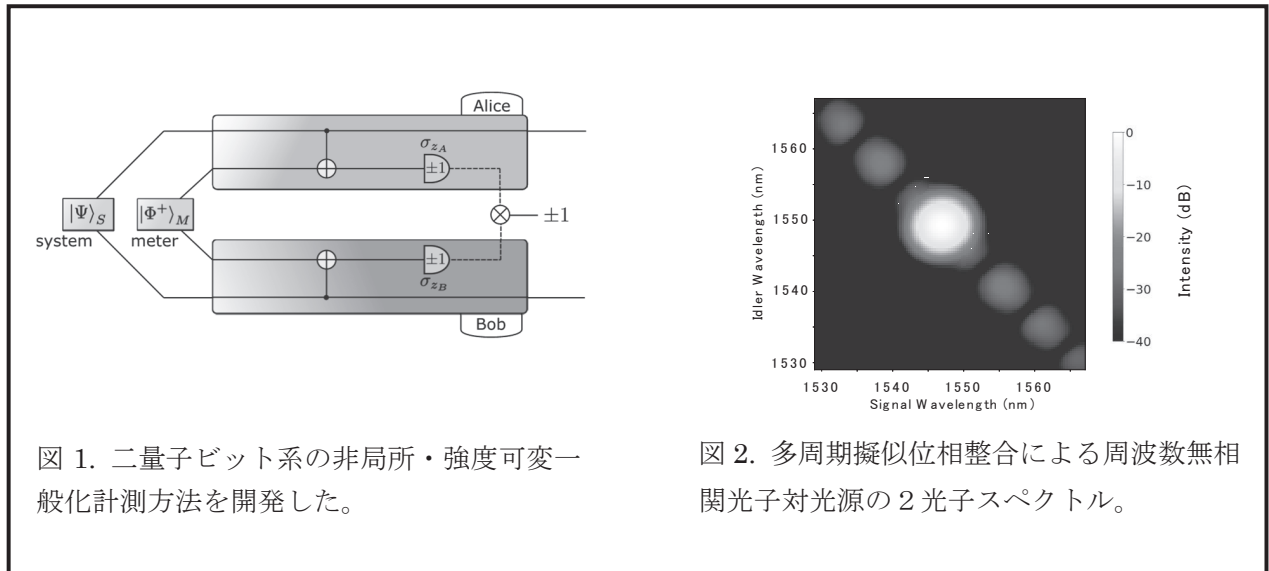


図 1. 二量子ビット系の非局所・強度可変一般化計測方法を開発した。

図 2. 多周期擬似位相整合による周波数無相関光子対光源の 2 光子スペクトル。

量子光情報工学研究分野 教授 枝松 圭一

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

(1) 2 量子ビット系の非局所・強度可変一般化計測方法の開発

2 量子ビット系のスピン積について、その量子もつれを破壊せず、非局所的かつ強度可変で計測する新たな手法を開発・提案した (図 1)。

(2) 多周期擬似位相整合構造による高精度周波数無相関光子対光源の開発

量子もつれ光子や伝令付単一光子を生成する光子対光源として理想的な、多周期擬似位相整合による高精度周波数無相関光子対光源を開発した (図 2)。

(3) ナノ光ファイバを用いた単一光子光源、ナノフォトニクスデバイスの開発

水中のナノ光ファイバ近傍へのナノ・マイクロ粒子の捕捉、輸送の観測に成功した。また、ナノ光ファイバ上の金ナノ粒子・半導体量子ドット複合体によるプラズモン増強単一光子源を開発した。

<職員名>

教授 枝松圭一 (2003年より)

助教 金田文寛 (学際科学フロンティア研究所, 2018年より)

助教 BAEK, Soyoung (2018年より)

事務補佐員 渋谷美奈子

<プロフィール>

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

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] P. Vidil and K. Edamatsu, “Nonlocal generalized quantum measurements of bipartite spin products without maximal entanglement”, *New J. Phys.* **23**, 043004/1-10 (2021).
- [2] M. Sadgrove, T. Yoshino, M. Sugawara, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, “Optically Induced Sieve Effect for Nanoparticles near a Nanofiber Taper”, *Phys. Rev. Applied* **16**, 044034/1-9 (2021).
- [3] F. Kaneda, J. Oikawa, M. Yabuno, F. China, S. Miki, H. Terai, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “Generation of spectrally factorable photon pairs via multi-order quasi-phase-matched spontaneous parametric downconversion”, arXiv 2111.10981 [quant-ph] (2021).
- [4] B.H. Le and K. Edamatsu, “Error-disturbance uncertainty relations in Faraday measurements”, arXiv 2112.14028 [quant-ph] (2021), to appear in *Phys. Rev. A*.
- [5] M. Sugawara, Y. Xuan, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, and M. Sadgrove, “Plasmon-enhanced polarized single photon source directly coupled to an optical fiber”, arXiv:2203.01591 [quant-ph] (2022).

3. 3 人間情報システム研究部門の目標と成果

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

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

2020年度の各分野の研究目標と成果の概要を以下に示す。

(1) 生体電磁情報研究分野

(目標) 磁氣的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行した。

(成果) 超高感度センシングシステムに関して、磁歪の逆効果を検出原理として開発した超高感度ひずみセンサを動的に活用し、20kHzまでの高周波振動を高感度に検出できることを民間との共同研究により明らかにした。橋梁などインフラの健全性診断への適用が期待されている。高周波磁界計測に関しては、磁気光学効果を利用した手法で高周波回路内の電流分布の可視化に成功した。漏洩電磁波対策として期待されている。IoT機器の電源問題を解決する小型振動発電機構に関する研究では、磁性材料の相変態に立脚する新たな方式を提案し、良好な発電特性を有することを明らかにした。特殊かつ高価な材料が必要な逆磁歪型振動発電に対して優位なエネルギー変換素子となりうることを実証した。

(2) 先端音情報システム研究分野

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

(成果) 聴覚・多感覚情報処理過程の解明に注力して研究を進めた。全身振動情報を加えた多感覚コンテンツから想起される臨場感、迫真性などの高次感性の知覚過程を明らかにしたほか、音空間の知覚に寄与することが知られている頭部回転運動について、頭部回転中には

音空間知覚精度は低下するという興味深い結果を得た。聴覚の空間的注意に関する研究も医学研究科との共同研究が進めている。また、デジタル信号処理に基づいた3次元音空間收音技術の開発も進め、バイノーラル音空間收音・再生技術において、実装法の違いによって生じる再現音空間の精度について分析し、使用可能なリソースに基づいて最適な実装法を決定する設計指針を提案した。

(3) 高次視覚情報システム研究分野

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

(成果) 2021年度は、以下の成果を得た。1) 注意効果には意識して向けるトップダウンの注意と明るい対象など目立つ刺激に向けられるボトムアップ注意のほか、手の周りなどの刺激に対する注意効果の存在も知られている。我々は、手が見えない条件でも手の位置が視覚処理を促進する注意効果が生じることを明らかにし、また、視覚刺激の提示位置を固定しトップダウン注意が特定の場所に向けられていたことから、意識的に向ける注意とは別のメカニズムの働きであることを示した。2) 我々は、視覚探索における **collinear search impairment (CSI)** を調査し、それが視覚の初期レベル処理の結果ではないことを示した。CSIは目立つ刺激(共線構造)であるが、視覚探索においてそこに標的刺激がある場合に、その検索を損なう現象である。この現象がなぜ生じるかを検討している中で、刺激の輝度のコントラストレベルに関係なくCSIが生じることを明らかにした。これは、CSIを、コントラストレベルが知覚を変えると考えられる初期視覚のメカニズムによって説明できないことを意味する。

(4) 情報コンテンツ研究分野

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

(成果) 本年度は、人の手や身体等の動きを連続して死角なく滑らかに正確に計ることが可能なロボットアーム設置型磁気式3次元手指モーションキャプチャシステム、人の立位をさりげなく促す姿勢誘導オフィスチェア、HMDによる没入感の高いVR体験を確保できるようにしつつ必要に応じて外界とのアドホックなインタラクションが可能なVR HMD、VR内での開扉動作や跳躍運動を利用したルームスケールVRにおけるリダイレクション、モバイルARを用いてタッチ操作でドローンの飛行を制御することができるドローン操縦インタフェース等について検討を進めた。

(5) 実世界コンピューティング研究分野

(目標) 生物が示すしなやかかつレジリエ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) 2021年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1) 四脚動物の高速走行時における脚の運動調整メカニズムを明らかにした。(2) トカゲ様歩行における体幹-脚の協調メ

カニズムを明らかにした。(3) ヒモ状の身体構造を持つ動物の遊泳における力覚フィードバックに基づく自律分散制御則を明らかにした。(4) 昆虫における適応的な脚間協調メカニズムを明らかにした。(5) ムカデの不整地歩行における柔軟な身体と脚の協調メカニズムを明らかにした。

(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野

(目標) ナノテクノロジーとバイオ・有機材料との融合により固体チップ上に多様な生体機能を再構成し、これらに基づく種々の電子・イオンデバイスを開発し、健康社会のための新技術として展開することを目指している。

(成果) 2021 度は、細胞膜中に膜に平行な電圧の印加を可能とする膜プラットフォームを構築し、膜平行電圧によるイオンチャネルの開口促進や、フラレン含有膜における光誘起電流の増幅といった新現象を見出した。また、マイクロ加工基板やマイクロ流体デバイスを用いて生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御する技術を 1 つのコアとして、科研費・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」を立ち上げた。この他、ナノポーラス構造体を用いたガスセンサの作製やナノバブル水の調製を行い、混合ガス中に含まれる微量な一酸化炭素の検出や、ナノバブル水による大腸菌の殺菌に成功した。

(7) 多感覚情報統合認知システム研究分野

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

(成果) 2021 年度は、咀嚼時の口腔内音や咀嚼筋の筋電図などと、食感表現オノマトペとの相関に関する研究、聴覚刺激に対して生じる快不快の背後にある脳メカニズムに関する研究などを実施した。また、並行して、聴覚が両眼視野闘争に及ぼす効果や視聴覚間での注意機能の違いの検証の研究を開始した。食物知覚における食感(口腔内触覚と運動感覚との統合)の役割に関する研究、味覚や聴覚と視覚のイメージに関する研究、商品における色と香りの相互作用に関する研究結果についてまとめることができた。

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

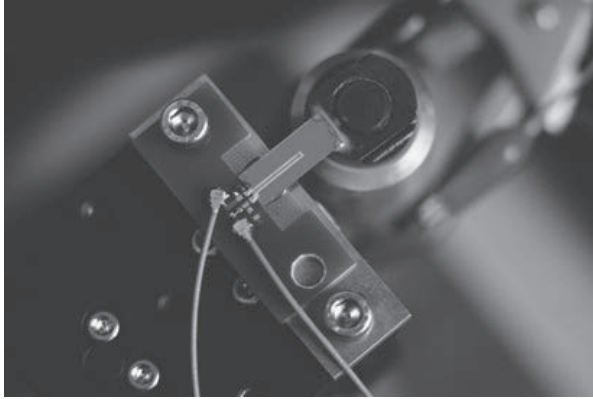


図 1 磁歪薄膜の逆磁歪効果を利用した振動センサ素子(@ 20kHz)

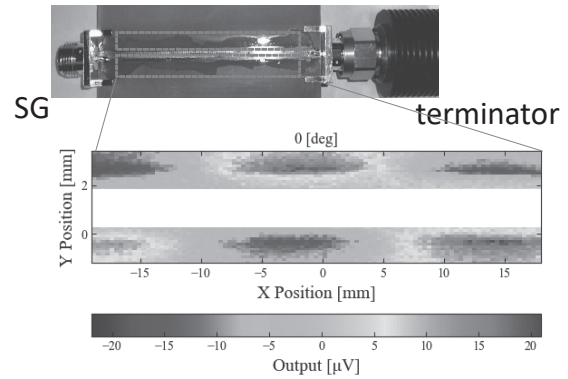


図 2 定在波の立ったマイクロストリップライン周辺の高周波磁界分布計測結果(@5GHz)

生体電磁情報研究分野 教授 石山 和志

＜研究室の目標＞

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

＜2021 年度の主な成果＞

1. 高感度ひずみセンサを用いた微小振動計測システムとその振動センサ応用に関する研究

磁性体の特徴の一つである逆磁歪効果と、本研究室で開発した磁気異方性の誘導技術を適用することで、磁性薄膜型高感度ひずみ・振動センサ素子を実現した。磁歪薄膜の磁気異方性の誘導方向が、基板を含む素子の構成材の機械的特性に依存することを利用して、Si ウエハまたは薄ガラス基板のいずれにおいても高感度特性を示すことを明らかにし、市販のひずみセンサに比べて約 10000 倍の感度を持つことを実証した。またこのセンサを動的ひずみ計測に適用することで、20kHz までの振動に対しても DC と同じ感度を有することを示した。これにより老朽化する橋梁やトンネルなどの健全性診断における打音検査に代わる新たな診断を実現するための新しいセンサを実現できた。

2. 高周波磁界計測に関する研究

磁性ガーネットの磁気光学効果とパルスレーザを用いた高周波磁界測定システムにおいて、被測定対象回路から取り出した信号を基準とする同期手法の実現により、汎用の電子機器内部回路に対する本システムの適用の可能性を示した(図2)。さらに数十mm程度の範囲を掃引して計測することにより、磁界分布を可視化でき、マイクロストリップライン内の電流の可視化に成功した。これらの成果は、電子回路やLSI内部の電流分布の可視化やそこから生じる不要電磁波の検出を可能とするものである。

3. 新たな振動発電方式に関する研究

振動をエネルギー源として微小な電力を取り出す振動発電の新たな方式として、磁性材料の相変態を利用する方法を提案した。超弾性材料の持つ相変態特性により、ひずみを与えることにより磁性を失う材料がある。この材料を用いて磁性-非磁性の変態を外部ひずみにより生じさせ、ここから電気エネルギーを取り出すことに成功した。多くの方式が提案されている振動発電において新たな方式として今後の発展が期待される。

<職員名>

教授 石山 和志 (2007年より)

<プロフィール>

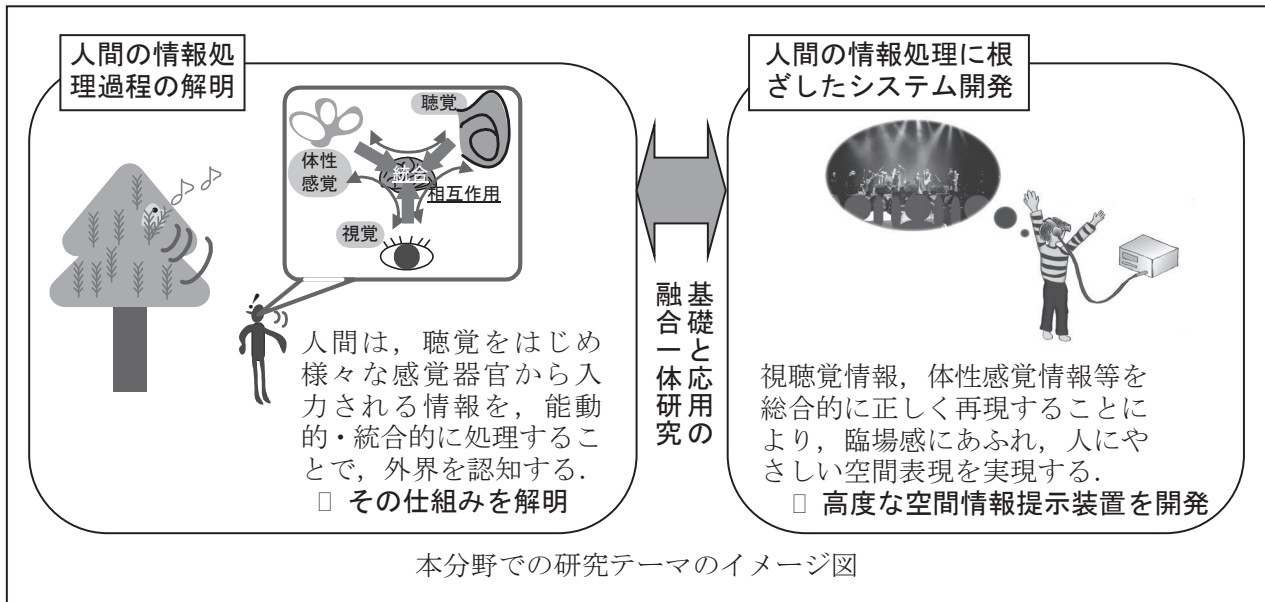
石山 和志 1986年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1988年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1988年4月 同大電気通信研究所助手。1993年1月 博士(工学)学位取得。2003年1月 同助教授。2003年4月から2005年3月まで内閣府総合科学技術会議事務局参事官補佐(兼務)。2007年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。磁気工学ならびに磁気応用に関する研究開発に従事。電気学会優秀論文発表賞(1991)、原田研究奨励賞(1996)、Best Paper Award on International Conference on Ferrites (2000)、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

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Taku Okada, Shun Fujieda, Shuichiro Hashi, Kazushi Ishiyama, Shigeru Suzuki, Satoshi Seino, Takashi Nakagawa, Takao A. Yamamoto, Vibration Power Generation Property of U-Shaped Unimorph Device Using Grain-Oriented Electrical Steel, MATERIALS TRANSACTIONS, 2021, 62 巻, 12 号, p. 1798-1801. doi: 10.2320/matertrans.MT-M2021079 .
- [2] T. Mikami, S. Muroga, M. Tanaka, Y. Endo, S. Hashi and K. Ishiyama, "Estimation of Noise Suppression in MSL With Co-Zr-Nb Film Considering Impedance Matching," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 58, no. 2, pp. 1-5, Feb. 2022, Art no. 6100205, doi: 10.1109/TMAG.2021.3087257.

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



先端音情報システム研究分野 教授 坂本 修一

＜研究室の目標＞

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

＜2021年度の主な成果＞

1. 聴覚および聴覚を含む多感覚情報処理過程の解明

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

2021年度は、多感覚情報処理過程として知られている音空間知覚について、頭部運動に起因する多感覚情報の入力変化が、音空間知覚にどのような影響を及ぼすかについて研究を進めた。これまでに我々の研究グループは、音空間の知覚精度の向上に寄与すると知られている頭部回転運動に関し、頭部回転自体は音空間知覚精度を低下させるという知見を報告してきた。今回はその知見をさらに細かく分析し、精度低下が頭部回転速度に依存しないだけでなく、極低速回転でも精度低下を引き起こすという興味深い知見を得た。さらにその精度低下は実際の頭部回転だけでなく、頭部回転によって引き起こされる視覚情報の変化によってももたらされるという結果も得た[1,2]。

そのほかにも、機能性難聴者への適切な補聴処理を行うための基礎データとして有用なラウドネス関数の特性を明らかにした[5]ほか、全方位における聴覚の空間的注意の空間特性の測定などにおいても興味深い結果が得られている。

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録・再生技術は、高臨場感など高次の感性情報に基づくコミュニケーションシステムを構築するうえで、重要な要素技術である。その中でも、音源位置から耳までの音響伝達特性である頭部伝達関数は、バイノーラルにて音空間を提示する際の最も重要な要素の一つであり、これまでに多くの研究者がその形状や合成法について研究を行ってきた。2021年度は、特に近距離頭部伝達関数の合成法について研究を進めた。球面調和関数を用いた頭部伝達関数の合成では、球座標系の原点に位置する頭部を中心とした合成が行われる。しかし、実際に音が到来する両耳は頭部中心から離れているため、合成精度が低下していた。そこで、球面波を用いて合成時の対象を両耳に移動することで、合成精度の低下を抑えることが可能となることが明らかとなった[3]。

そのほかにも、音響ホールなどの評価において、これまで水平方向の特性のみを考慮していた音声伝達特性や音楽の聴取環境の評価に代わり、仰角方向を含めた 4π 空間を対象として評価を行うことでより詳細な特性の分析が行える可能性を示した[4]ほか、球状マイクロホンアレイを用いた音空間収録技術についても、多くの成果を得た。

<職員名>

教授 坂本 修一 (2019年より)

<プロフィール>

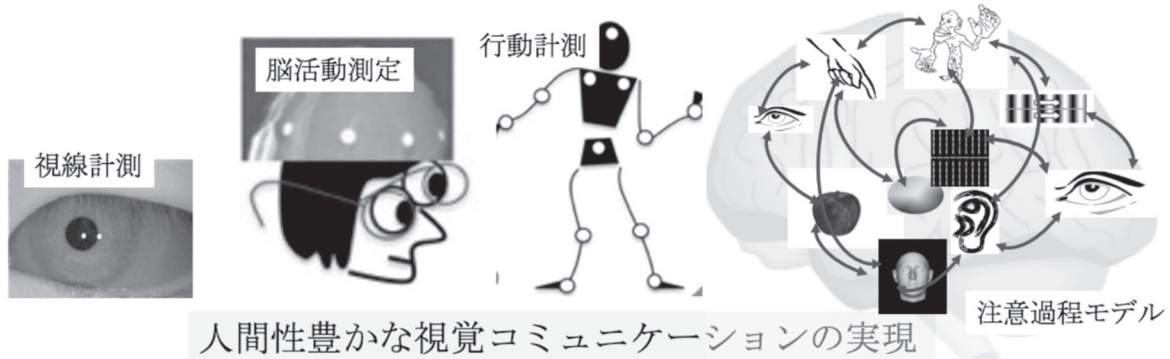
坂本 修一 1995年3月 東北大学工学部情報工学科卒業。1997年3月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士前期課程修了。2000年10月 東北大学電気通信研究所助手、2011年7月同准教授、2019年8月同教授、現在に至る。この間、2004年3月に東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士後期課程修了。2007年 McGill University 客員研究員。聴覚を含む複数感覚情報処理過程の解明、および、その工学応用に関する研究に従事。日本音響学会栗屋潔学術奨励賞(2005年)、同佐藤論文賞(2017)、同論文賞佐藤賞(2022)受賞。日本音響学会理事(2016年6月～2020年5月、2021年5月～)。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Effects of visually induced self-motion on sound localization accuracy
A. Honda, K. Maeda, S. Sakamoto and Y. Suzuki
Applied Sciences, 12(1), 173 (2022).
- [2] Auditory subjective-straight-ahead blurs during significantly slow passive body rotation
A. Honda, S. Tsunokake, Y. Suzuki, and S. Sakamoto
iPerception, 13(1), 1-5 (2022).
- [3] Ear centering for near-distance head-related transfer functions
A. Urviola, S. Sakamoto, and C. D. Salvador
Proc. International Conference on Immersive and 3D Audio (8 page manuscript) (2021).
- [4] Directional early-to-late energy ratios to quantify intelligibility: A case study in a large auditorium
A. Campos, S. Sakamoto, and C. D. Salvador
Proc. International Conference on Immersive and 3D Audio (9 page manuscript) (2021).
- [5] Loudness functions for patients with functional hearing loss
S. Shiraki, T. Sato, R. Ikeda, J. Suzuki, Y. Honkura, S. Sakamoto, Y. Katori, and T. Kawase
International Journal of Audiology, 61(1), 59-65 (2022).

高次視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



ヒトの脳の視覚処理系を探求し、その成果を人間工学、画像工学などへ展開し、人間性豊かな視覚コミュニケーションの実現を目的とする。そのために心理物理学の実験を中心に脳機能測定やコンピュータビジョン的アプローチを利用して、視覚による立体認識、運動認識、色認識、注意や眼球運動による選択機構の研究を行い、

高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭

注意・学習研究分野 准教授 曾 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の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。

<2021 年度の主な成果>

1. 手添えるだけで視覚処理は促進される -手の周囲の無意識的注意効果とその利き手との関連に関する発見-

注意効果には意識して向けるトップダウンの注意と明い対象など目立つ刺激に向けられるボトムアップ注意のほか、手の周りなどの刺激に対する注意効果の存在も知られている。我々は、手が見えない条件でも手の位置が視覚処理を促進する注意効果が生じることを明らかにし、いわゆる体性感覚による手の位置が視覚処理の促進をもたらしていることを突き止めました。また、視覚刺激の

提示位置を固定しトップダウン注意が特定の場所に向けられていた条件で手が近傍にある場合遠隔にある場合よりも視覚処理が促進されることを示したことから、意識的に向ける注意とは別のメカニズムの働きであることを明らかにしたと言える。さらにこの効果は、左利きよりも右利きのほうが大きいということも見出された。脳波を用いた注意効果の計測から、左利き被験者の手の周辺の注意効果はトップダウン注意と関連している可能性があることも示され、利き手と身体性注意の脳機能との関連を指摘した点でも興味ある研究成果といえます。

2. 目立つことが処理を抑制する視覚現象(collinear search impairment, CSI)の研究

我々は、視覚探索における collinear search impairment (CSI)を調査し、それが視覚の初期レベル処理の結果ではないことを示した。CSIは目立つ刺激（共線構造）であるが、視覚探索においてそこに標的刺激がある場合に、その検索を損なう現象である。この現象がなぜ生じるかを検討している中で、刺激の輝度のコントラストレベルに関係なくCSIが生じることを明らかにした。これは、CSIを、コントラストレベルが知覚

<職員名>

<職員名>

教授 塩入 諭(2005年より)、准教授 曾 加蕙(2016年より)、助教 羽鳥 康裕(2018年より)
助教、(兼任)SUN Sai(2020年より)、特任助教(兼任)佐藤 好幸(2018年より)、秘書 永島 亜未、准教授
(クロスアポイントメント) 金子沙永(2021年より)

<プロフィール>

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

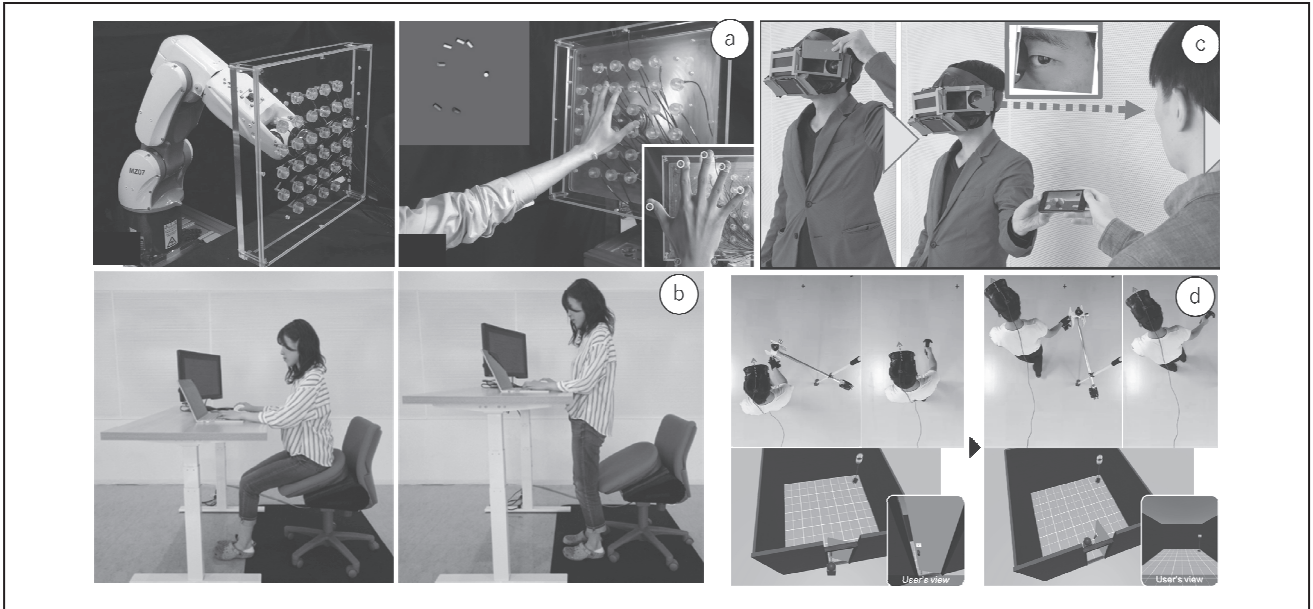
曾 加蕙 台湾国立大学で学士号および修士号を取得後、カリフォルニア大学アーバイン校にて博士号を取得。その後、米国ラトガース大学認知科学センター視覚研究室で博士研究員。多くのアジアの都市でコミュニティへの参加を促すために科学アウトリーチ活動を行っている。また、香港で乳児科学者プログラムと乳児研究施設の所長を務める。台湾と香港で大学教員を務めた後、2016年より東北大学電気通信研究所准教授。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] 1. S. Shioiri, T. Sasada, R. Nishikawa, Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information. *Cereb Cortex Commun* **3**, tgac005 (2022).
- [2] 2. C. H. Tseng, H. M. Chow, J. Liang, S. Shioiri, C. C. Chen, Collinear search impairment is luminance contrast invariant. *Scientific reports* **11**, 11507 (2021).
- [3] 3. S. Shioiri, K. Matsumiya, C. H. Tseng, Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Scientific reports* **11**, 3995 (2021).
- [4] 4. A. Saita *et al.*, Crispness, the Key for the Palatability of "Kakinotane": A Sensory Study with Onomatopoeic Words. *Foods* **10** (2021).

情報コンテンツ研究室

インタラクティブコンテンツを実現する技術の研究開発



インタラクティブコンテンツ研究分野 教授 北村 喜文

ヒューマンコンテンツインタラクション研究分野 准教授 高嶋 和毅

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

1. どんな向きでも測れる 3次元手指モーションキャプチャ

人の手や身体等の動きを連続して死角なく滑らかに正確に計ることが可能なロボットアーム設置型磁気式3次元手指モーションキャプチャシステムを開発しました（図 a, [2]）。

2. 人の立位をさりげなく促す姿勢誘導オフィスチェア

オフィスチェアの座面を自動的に前傾させることで、ユーザの姿勢を滑らかに誘導する TiltChair を提案しました（図 b, [5]）

3. 周囲とのインタラクションが可能な VR HMD

HMD ユーザの没入感の高い VR 体験を確保できるようにしつつ、必要に応じて外界とのアドホックなインタラクションを実現するために、モジュラー機構を用いて再構成可能な新たな HMD（図 c, [4]） と、様々な可視化技術[3]を提案しました。

4. ルームスケール VR における視触覚リダイレクション

VR 内での開扉動作（ドアを開ける動作）を利用した、視触覚型の進行方向操作（リダイレクション）手法を提案しました（図 d, [1]）。

5. 位置制御型ドローン操縦ユーザインタフェース

モバイル AR を用いて、タッチ操作にてドローンの飛行を制御することができる操縦インタフェースを開発しました[6].

<職員名>

教授 北村 喜文

准教授 高嶋 和毅

助教 藤田 和之 池松 香 程 苗

<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。同年キャノン株式会社，1992年ATR通信システム研究所，1997年大阪大学大学院工学研究科／情報科学研究科 助教授／准教授。2010年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。博士（工学）。1997年電子情報通信学会論文賞，2006年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007年・2020年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008年・2017年情報処理学会インタラクシオン ベストペーパー賞などを受賞。日本バーチャルリアリティ学会フェロー。国際会議 ACM CHI, SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE, EuroVR等でいろいろな役割を務めてきた。例えば SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair, CHI 2021 General Chair 等。IFIP TC-13 日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等で Chair を務める。日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている。

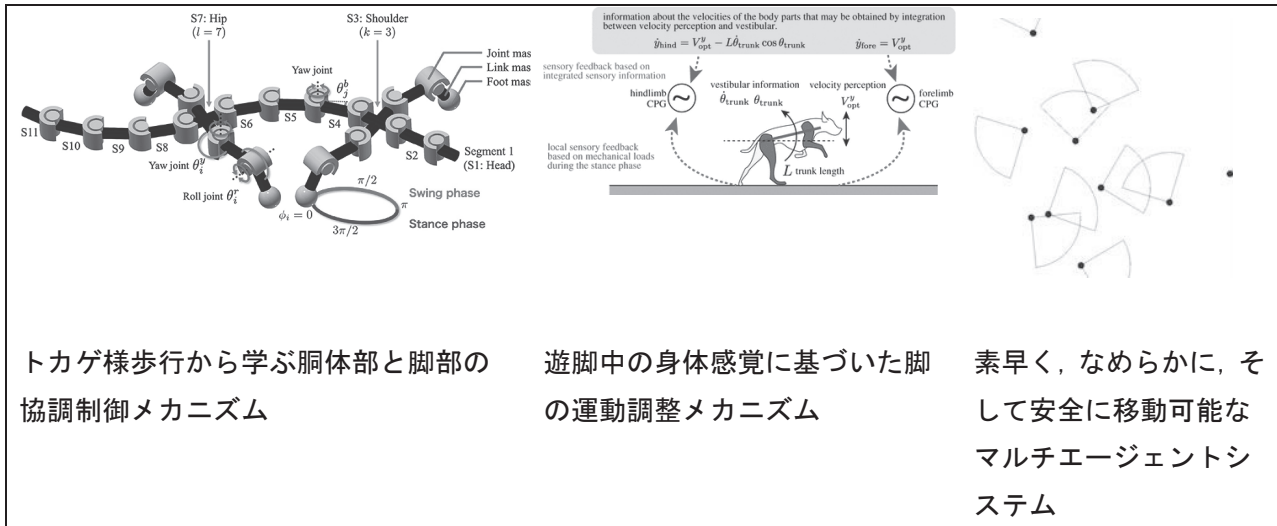
高嶋 和毅 2008年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年大阪大学大学院国際公共政策研究科助教（兼任：情報科学研究科），2011年東北大学電気通信研究所助教，2018年東北大学電気通信研究所准教授，現在に至る。博士（情報科学）。2008年情報処理学会インタラクシオン ベストペーパー賞 DIS 2016 Honorable Mention Award, 2017年情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文等を受賞。

<2021年度の主な発表論文等>

1. Yukai Hoshikawa, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, Yoshifumi Kitamura, RedirectedDoors: Redirection While Opening Doors in Virtual Reality, Proc. IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 464-473, March 2022 [Honorable Mention Award].
2. Pascal Chiu, Jiawei Huang, Yoshifumi Kitamura, Enabling Robot-assisted Motion Capture with Human Scale Tracking Optimization, Proc. Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 32:1-32:6, December 2021.
3. Yoshiki Kudo, Anthony Tang, Kazuyuki Fujita, Isamu Endo, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, Towards Balancing VR Immersion and Bystander Awareness, Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 5, ISS, Article 484, 22 pages, November 2021 [Best Paper Award].
4. Isamu Endo, Kazuki Takashima, Maakito Inoue, Kazuyuki Fujita, Kiyoshi Kiyokawa, Yoshifumi Kitamura, ModularHMD: A Reconfigurable Mobile Head-Mounted Display Enabling Ad-hoc Peripheral Interactions with the Real World, Proc. Symposium on User Interface Software and Technology, 100-117, October 2021.
5. Kazuyuki Fujita, Aoi Suzuki, Kazuki Takashima, Kaori Ikematsu, Yoshifumi Kitamura, TiltChair: Manipulative Posture Guidance by Actively Inclining the Seat of an Office Chair, Proc. Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 228, 14 pages, May 2021.
6. Linfeng Chen, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, PinpointFly: An Egocentric Position-control Drone Interface using Mobile AR, Proc. Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 150, 13 pages, May 2021,

実世界コンピューティング研究室

生き物のようにレジリエントな知能システムの創成



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、コンティニューム」な知的人工物システムの創成を目指す。

<2021年度の主な成果>

1. トカゲ様歩行から学ぶ胴体の複数関節に渡る屈曲運動と足並みの協調制御メカニズム

両生類や爬虫類などの四脚動物は、四肢の運動のみならず胴体の横方向の屈曲伸展運動を動員することで、適応的な歩行運動を示す。こうした振る舞いを生み出す制御方策を理解するため、本研究では、これまでの動物の適応的な足並みを再現可能な分散制御メカニズムを脚と胴体との協調運動へと拡張し、ロボット実機実験によってその有用性の検証を進めてきた。複数関節を有する胴体へ従来モデルを拡張した結果、ロボットの脚や胴体に生じる力学的な負荷情報に基づいた運動調整則によって、動物のような胴体屈曲と足並みの柔軟な協調運動が創発されること、また運動周期に応じた胴体部と脚部の協調運動の変化を再現することができた。こうした成果は、動物の全身に及ぶ協調運動に内在する制御メカニズムの理解へとつながることが期待できる。

2. 支持脚中の運動負荷と遊脚中の身体感覚に基づいた四脚走行の脚間協調制御則

四脚動物は、走行中における遊脚中に足の接地タイミングを適切に調整することで、適応的な移動を実現している。従来モデルが床反力情報を活用した支持脚中の運動調整メカニズムに着目する一方で、遊脚中の身体の上下動の感覚に基づく運動調整則を提案した。その結果、動物が示すような身体的特徴に応じた走行パターンや高所からの落下への適応を実現した。こうした結果は、実世界を適応的に動き回る四脚ロボットのために制御基盤技術に資するものと期待できる。

3. マルチエージェントシステムのためのアクティブセンシングを導入した衝突回避制御

複数の移動体が「安全に」「素早く」「滑らかに」各々の目的地へ移動することのできる自律分散制御システムは、未来の物流システムにとって重要な基盤技術である。歩行者流を再現する social force モデルを基盤に、各移動体が自らに衝突する危険がある移動体に優先して注意を向けるアクティブセンシングを導入することで、安全で、素早く、なめらか移動を、低い計算量で実現した。この成果は、人の多い街なかのような不特定多数の移動体が縦横無尽に行き交うような環境下でも活躍できる自動宅配ロボットのような移動システムへ資すると期待される。

<職員名>

教授	石黒 章夫	(2011年より)
准教授	加納 剛史	(2016年より)
助教	福原 洸	(2018年より)
助教	安井 浩太郎	(2020年より)
秘書	門間 いずみ	(2021年より)

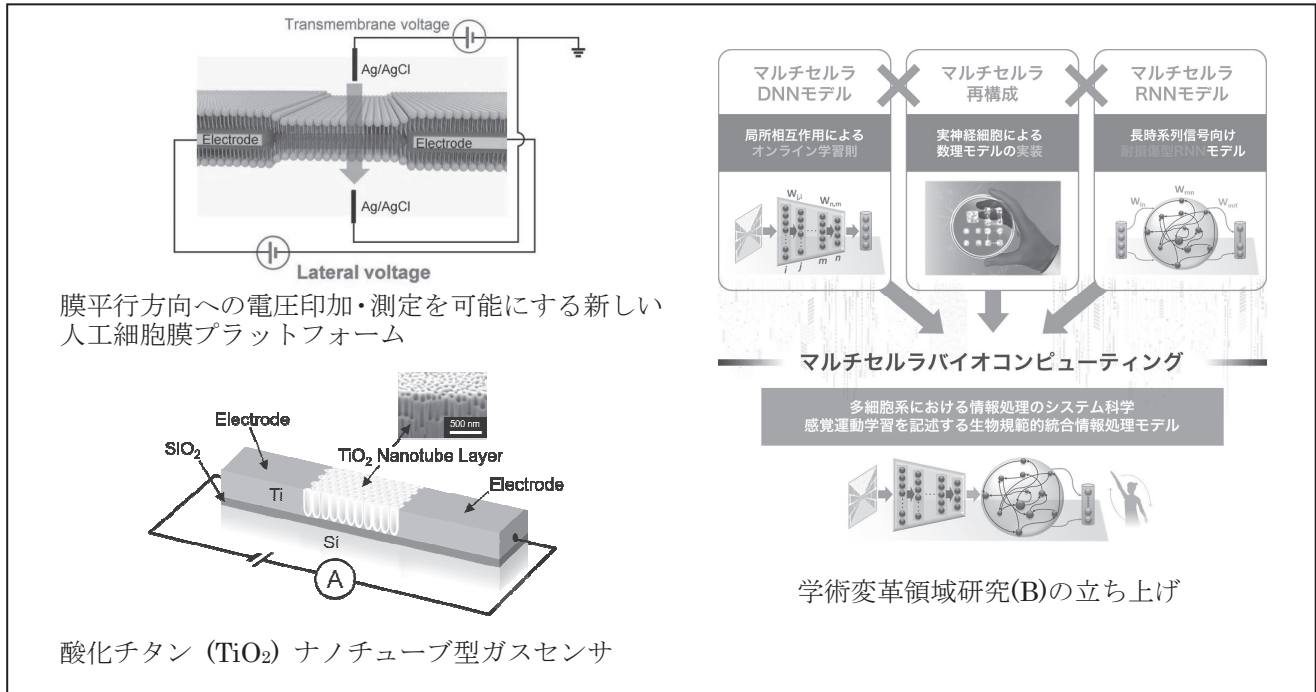
<プロフィール>

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)。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Suzuki, S., Kano, T., Ijspeert, A. J., & Ishiguro, A. (2021). Spontaneous Gait Transitions of Sprawling Quadruped Locomotion by Sensory-Driven Body-Limb Coordination Mechanisms. *Frontiers in Neurorobotics*, 15.
- [2] Fukuhara, A., Koizumi, Y., Baba, T., Suzuki, S., Kano, T., & Ishiguro, A. (2021). Simple decentralized control mechanism that enables limb adjustment for adaptive quadruped running. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1962), 20211622.
- [3] Kano, T., Iwamoto, M., & Ueyama, D. (2021). Decentralised control of multiple mobile agents for quick, smooth, and safe movement, *Physica A: Statistical Mechanics and its Application*, 572, 12, 125898.

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

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。

<2021年度の主な成果>

1. 膜平行方向への電圧印加・測定を可能にする新しい人工細胞膜プラットフォームの構築

細胞膜を模した脂質二分子膜中にイオンチャネル等の膜タンパク質を包埋した人工細胞膜系は、1962年の初めての報告以来、膜タンパク質の機能性評価のための優れた膜系として広く用いられてきた。従来、人工細胞膜系に包埋されたイオンチャネルの機能評価は、膜に直交する向きに電圧を印加した際に観測される膜貫通方向の電流を記録することで行われてきた。我々は、膜タンパク質の機能評価の新機軸として、膜に平行な向きに電圧「膜平行電圧」を着想し、この印加を可能とする膜プラットフォームの構築を試みた。その結果、膜平行電圧によるイオンチャネルの開口促進や、有機ナノ粒子であるフラーレン含有膜における光誘起膜貫通電流の増幅効果といった全く新しい現象を見出した。これらの結果は、膜貫通電流が膜平行電圧によって増強されるという新しい制御様式を示しており、新規デバイスの創成に繋がる重要な成果である。以上の成果を国際誌 Faraday Discussions に発表した。

2. マイクロ加工基板を用いた神経回路機能の in vitro 再構成

マイクロ加工基板やマイクロ流体デバイスを用いて生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御する技術を1つのコアとして、科研費・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」を立ち上げた。当該プロジェクトのメンバー間の共著論文として国際誌 *Electrochemistry* に発表した論文では、マイクロ加工基板上に培養した神経細胞に対して局所的な刺激を印加するための新しい電極技術を開発した。

3. ナノポーラス構造体を用いたガスセンサの開発／ナノバブルによる殺菌作用の解明

酸化チタン (TiO₂) ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサを開発した。ニューラルネットワークに基づく機械学習解析の導入により、混合ガス中に含まれる微量な一酸化炭素を、市販の電気化学式センサと同等以上の精度で検出することに成功した (国際誌 *Sens. Act. B* に発表した)。また、二酸化炭素 (CO₂) ガスを、ナノポーラス構造体であるポーラスアルミナ (Al₂O₃) 薄膜フィルタに通し生成させた CO₂ ナノバブルが、モデル細菌の大腸菌に対して殺菌効果をもたらし、かつ、ナノバブル水中で生成される活性酸素が殺菌に寄与することを見出した (国際誌 *Langmuir* に発表した)。

<職員名>

教授 平野 愛弓
 助教 但木 大介
 助教 小宮 麻希

<プロフィール>

平野 愛弓 1998 年 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士 (理学)。1998 年日本学術振興会特別研究員 (PD), 2001 年 日本大学文理学部助手, 2003 年 日本学術振興会海外特別研究員, 2005 年 英国国立医学研究所博士研究員, 2006 年 東北大学電気通信研究所助手, 2008 年同大大学院医工学研究科准教授, 2016 年 同大電気通信研究所教授, 現在に至る。微細加工技術に基づく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。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Ma, M. Sato, M. Komiya, K. Kanomata, T. Watanabe, X. Feng, R. Miyata, D. Tadaki, F. Hirose, Y. Tozawa, A. Hirano-Iwata, "Lateral voltage as a new input for artificial lipid bilayer systems", *Faraday Discuss.*, **233**, 244–256 (2022).
- [2] K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, "Selective stimulation of a target neuron in micropatterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes", *Electrochemistry*, **89**, 348–354 (2021).
- [3] M. Yamaguchi, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, Y. Watanabe, H. Kanetaka, H. Fujimori, E. Takemoto, M. Niwano, "Bactericidal activity of bulk nanobubbles through active oxygen species generation", *Langmuir*, **37**, 9883–9891 (2021).
- [4] K. Iwata, H. Abe, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, S. Suda, M. Niwano, "Application of neural network based regression model to gas concentration analysis of TiO₂ nanotube-type gas sensors", *Sens. Act. B: Chemical*, **361**, 131732 (2022).
- [5] M. Sadgrove, A. Suda, R. Matsuyama, M. Komiya, T. Yoshino, D. Yamaura, M. Sugawara, M. Niwano, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, A. Hirano-Iwata, "Liposome manipulation using the evanescent field of an optical nanofiber", *Optics InfoBase Conference Papers, OSA Technical Digest (Optica Publishing Group)*, paper AW4D.4 (2021).

3. 4 システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果

システム・ソフトウェア研究部門は「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかもリアルタイムでコミュニケーションできるユビキタス環境の構築を目的としている。本部門は、2016年度の改組により、通信とコンピュータを融合した高度なシステム・ソフトウェア・コンテンツに関して高信頼・高機能ソフトウェアの研究を行うソフトウェア構成研究室、新しいソフトウェアの基礎理論の研究を行うコンピューティング情報理論研究室、共生コンピューティングの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究室、安全な情報通信システムの研究を行う環境調和型セキュア情報システム研究室、脳型コンピュータハードウェアの研究を行うソフトコンピューティング集積システム研究室、ポストバイナリコンピューティングの研究を行う新概念 VLSI システム研究室の 6 基幹研究室と情報社会構造研究室（客員）から構成される。以下、基幹研究室における 2021 年度の研究活動成果の概要を述べる。

（1）ソフトウェア構成研究室

本研究室では、高信頼プログラミング言語の基礎理論、さらに基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指し、理論と実践の両面から研究を行ってきた。最終年度である 2021 年度は、基礎理論研究の継続に加え、これまでの研究の集大成として、2003 年以来開発を続けてきた SML# の完成と普及を目指した研究開発活動を行った。SML# は、研究室での幅広い基礎理論研究成果を体現する新しい関数型言語である。従来の関数型言語では困難であったデータベース問い合わせ言語のシームレスな統合や C 言語との直接連携を基礎とする軽量スレッドなどのシステム機能を実現している。本年度は、並列・並行 GC や動的型付け機能などのこれまでの基礎研究の継続・発展に加え、SML# を GitHub を通じて広く公開し、また、SML# の幅広い普及をめざし、SML# プログラミングの教科書（「SML# で始める実践 ML プログラミング：大堀・上野著、共立出版」）および SML# を通じて学ぶコンパイラの教科書（「コンパイラ原理と構造：大堀著、共立出版」）を出版した。

（2）コンピューティング情報理論研究分野

昨年度に引き続き、ソフトウェアの動作を保証する理論的基盤となる形式言語理論に加え、データ同期やデータ共有に応用される双方向変換技術について研究を進めた。研究成果の一つは昨年度発見した木トランスデューサのクラス同士の関係についてである。形式言語理論における木構造データ上の変換モデルである木トランスデューサは、記述仕様によってさまざまなクラスに分類されているが、それらのクラスは木構造データの表現方法によって木変換型とストリーム処理型の 2 種類に大別される。2021 年度の研究においては、異なる型のクラス間における表現力の同一性の証明を改良し、さらに従来の研究成果について系統的にまとめることで、本研究の位置づけの明確化に成功した。また、双方向変換とよばれるデータベース間

の同期を行う技術については、その基盤となる冪等関数に対する計算モデルを発見した。チューリング機械に構文的な制約を付加したこの計算モデルは、冪等となる計算可能関数を過不足なく網羅するもので、その万能性についての証明にも成功している。この計算モデルは昨年度発見した対合関数に関する計算モデルと組み合わせることで、双方向変換に特化したプログラミング言語の特徴づけにも応用が期待できる。

(3) コミュニケーションネットワーク研究室

人々の多様な活動を支える情報ネットワークシステムとその応用に係る以下の研究を推進した。インターネットフローの公平性に関する研究では、機械学習技術を応用し、競合フローの輻輳制御アルゴリズムを推定した上で、自フローのアルゴリズムの切り替えやパラメータ調整を行う手法を提案した。また、デジタルツイン構築のための情報収集におけるエネルギー最適化の研究では、センサやカメラなどから情報を収集し、エッジやクラウドコンピューティング環境で認識処理などを行うデジタルツインシステムにおいて、ユーザ要求を満足しながら、消費エネルギーを最小化する手法を提案した。さらに、エージェント型 IoT とその応用に関する研究では、小型 IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの試作と評価を行った。また、ネットワーク機器のアウトオブバンド管理に LPWA を用いるための、通信量削減手法の検討を行った。

(4) 環境調和型セキュア情報システム研究室

次世代情報通信技術の恩恵を誰もが安全に享受できる社会の実現を目指して、セキュア情報通信システムの基礎理論と実装技術の研究に取り組んでいる。本年度は、量子コンピュータにも耐性をもつ耐量子計算機暗号 (PQC) をソフトウェアやハードウェアで物理的にも安全に実装する技術を開発した。開発した技術は、PQC の国際標準候補 9 種類中 8 種類に有効な技術であり、今後の PQC 搭載製品の安全性向上に資する。また、ハードウェアに挿入された不正な機能 (ハードウェアトロイ) を高速かつ漏れなく検知する技術を開発し、これまで困難だった大規模で複雑な IC 設計データにも適用できることを実証した。さらに、機械学習用ハードウェアの構造やパラメータを副次的な消費電力や放射電磁波から推定され得る脅威を示し、その対策手法を明らかにした。

(5) ソフトコンピューティング集積システム研究室

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフィックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度は、1) 相互結合型で内部ダイナミクスを持つカオスニューラルネットワークリザーバーをサイクリック状態更新方式により 2 層ニューラルネットワークのみで実装する方法を提案した。これを、Through Silicon Via と Micro Bump を用いた 3 次元積層 LSI の実証チップとして実装し、その特性を実験およびエミュレータにより評価した。2) これまでに提案したスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理・回路モデルを、集積回路設計および学習ニューラルネットワーク設計のために改良した。3) リザーバーニューラルネットワークを実時間追加学習させ

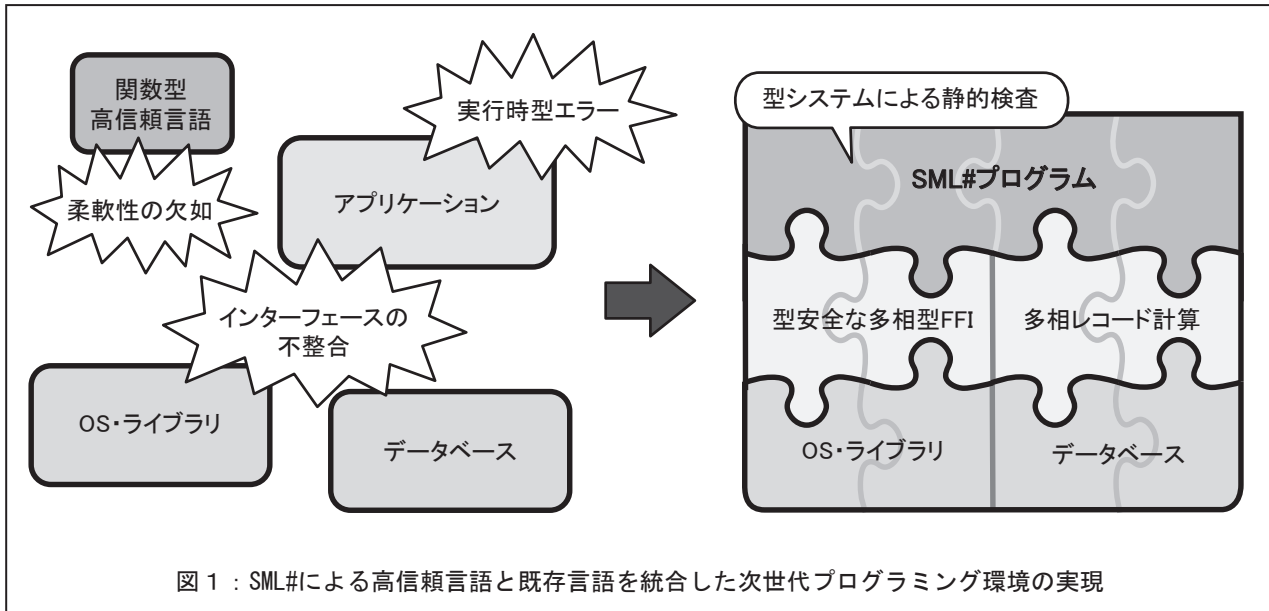
るためのオンライン学習則を6種類提案し、その有効性をシミュレーションにより比較・評価した。4) カオスニューラルネットワークリザバーの局所的な記憶(不応性)パラメータや出力関数の最大ゲインパラメータと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により明らかにした。

(6) 新概念 VLSI システム研究室

現在の VLSI (Very Large Scale Integration) においては、素子間の配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネック、プロセス微細化に伴うリーク電流がもたらす消費電力の増大、および材料特性ばらつきに起因する信頼性の低下といった様々な要因がシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている。これらの問題を全く新しい視点から解決する新概念 VLSI コンピューティングパラダイムを拓く研究を行っている。本年度の主な成果は、まず、(a) スピントロニクス/半導体融合集積回路技術に基づく高性能不揮発メモリの実現に成功したことである。不揮発記憶性を有しつつ、高い耐久性ならびに高速なデータ読み書きを可能とする次世代メモリとして、3 端子型のスピントロニクス素子 (SOT-MTJ 素子) を使用したメモリを、世界初となるデュアルポート構造で実現することにより、60MHz 書込みおよび 90MHz 読出し、並びにそれらの同時並行動作を実証した。(b) また、膨大なデータの組合せから最適解を求める問題として知られる組合せ最適化問題において、量子アニーリングで知られている D-Wave Systems 社のマシンと比較し、約 16 倍の大規模な組合せ最適化問題を解くことに成功した。確率的計算技術としては stochastic logic と呼ばれる方法である。これは、一般的な古典コンピュータで利用可能なアルゴリズムでありながら、最適解への収束率を比較的に高めることに成功した成果であり、極低温動作を必須とする量子アニーリングマシンを実用性の面で大幅に上回る性能を実証したこととなる。上記を含めた本年度の研究成果は、最先端集積回路技術として権威のある国際学術ジャーナル誌 IEEE Journal of Solid-State Circuits, 最先端 neural-network 回路・システム関連分野の最高峰の学術論文誌 (IF 値: 10.451) の一つである IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems に掲載 (オンライン版; 2022 年 3 月 30 日付) をはじめ、学術論文 12 編、査読付国際会議論文 4 編、招待講演 3 件 (うち国際会議 3 件) にて報告した。

ソフトウェア構成研究室

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装



ソフトウェア構成研究分野 教授 大堀 淳

高信頼ソフトウェア開発研究分野 准教授 上野 雄大 (2021年9月まで)

<研究室の目標>

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

<2021年度の主な成果>

1. SML#コンパイラの開発

SML#は、当研究室で設計・開発している高信頼プログラミング言語であり、(1) 多相型レコード演算やランク 1 多相等の先端機能を初めて実現、(2) C などの既存言語やデータベースなどのシステムとの高い相互運用性、(3) Standard ML と上位互換性、などを含む特徴を持つ。これらの特長および SML#コンパイラに含まれる諸機能は、我々の基礎研究成果によって可能となった最先端のものと評価されている。研究室最終年度である本年度は、並列・並行 GC や動的型付け機能などの基礎研究の継続・発展に加え、2003 年以来続けてきた研究開発の集大成として、SML#を GitHub を通じて広く公開し、また、SML#の幅広い普及をめざし、SML#プログラミングの教科書[3]および SML#

を通じて学ぶコンパイラの教科書[4]を出版した。

2. 書き換えシステムに基づくプログラム検証のための基礎理論

項書き換えシステムは、等式に基づく柔軟な計算と効率的な推論を与える数学的理論であり、関数型言語のプログラムのモデルとしても用いられる。項書き換えシステムに基づくプログラム検証の基礎となる帰納的定理の証明手法として潜在帰納法があり、その適用のためには合流性と局所十分完全性が本質的であるということが、前年度までの研究により明らかになっている。本年度は、局所十分完全性の特別な場合を判定するための導出システムを新たに提案した[2]。この導出システムを用いた手続きにより、停止性を持たない項書き換えシステムに対する既存研究の手法では扱えないいくつかの例について、十分完全性の成立を判定できることを確認した。また、局所十分完全性の特別な場合として、シグネチャ制限による局所十分完全性とソート分割による局所十分完全性について、それぞれに対応する導出システムを用いることにより判定手続きが得られることも示した。

<職員名>

教授 大堀 淳 (2005年より)

准教授 上野 雄大 (2016年より 2021年9月まで)

助教 菊池 健太郎 (2018年より)

<プロフィール>

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

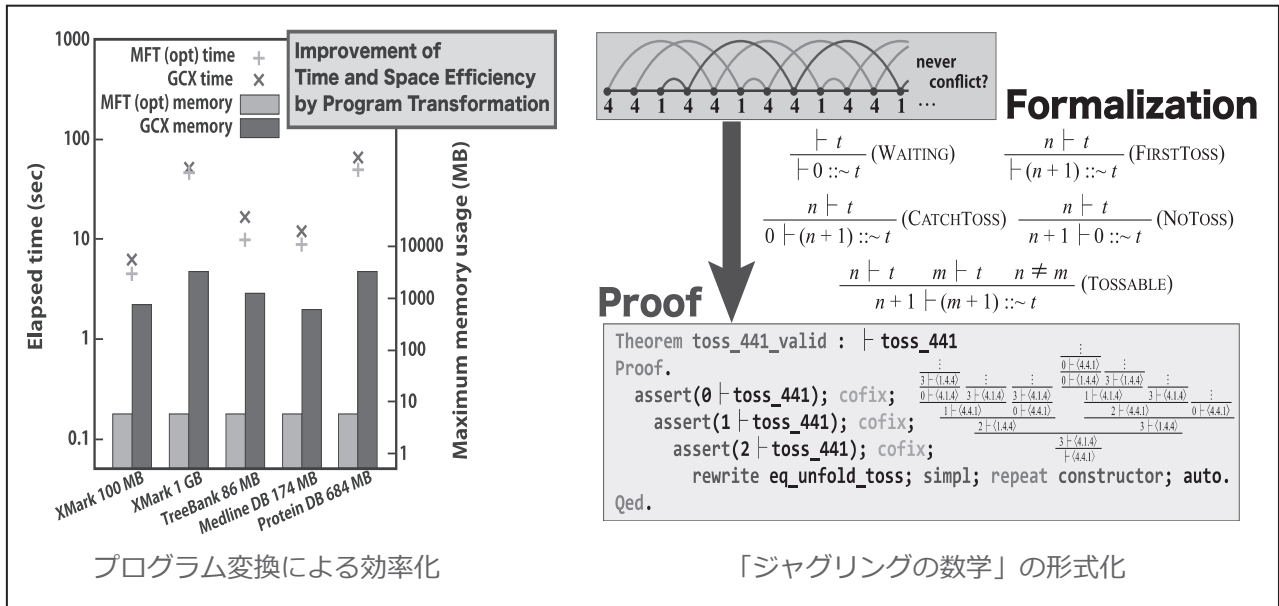
上野 雄大 1981年生。2009年3月東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了。2009年4月同大学電気通信研究所助教。2016年6月から2021年9月まで同准教授。プログラミング言語理論およびコンパイラ実装技術に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞(2011年)、トーキン財団奨励賞受賞(2016年)。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Atsushi Ohori, Katsuhiko Ueno: A Compilation Method for Dynamic Typing in ML. In Proceedings of the 19th Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS'21), LNCS 13008, pp. 140-159, 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-89051-3_9.
- [2] Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto: Simple Derivation Systems for Proving Sufficient Completeness of Non-Terminating Term Rewriting Systems. In Proceedings of the 41st IARCS Annual Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS'21), LIPIcs 213, pp. 49:1-49:15, 2021, DOI: 10.4230/LIPIcs.FSTTCS.2021.49.
- [3] 大堀 淳, 上野雄大: 「SML#で始める実践 ML プログラミング」, 2021年4月, 242 ページ, 共立出版, ISBN:9784320124714.
- [4] 大堀 淳: 「コンパイラ -原理と構造-」, 2021年9月, 196 ページ, 共立出版, ISBN:9784320124783.

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



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。

<2021 年度の主な成果>

1. 双方向変換言語の理論的基盤となる計算モデルの拡充

異なる環境におけるデータベースの同期や保守を行うことを目的として、双方向変換理論の研究が盛んに行われている。双方向変換とは、異なるデータベース間の相互変換のことであるが、互いに情報量が異なる環境においてはその相互変換にある種の一貫性が必要となる。本年度は、この一貫性を保つために提案されたプログラミング言語が十分な表現力をもつか検証するための基盤とし

て、計算可能な冪等関数を過不足なく網羅する計算モデルを発見し、その万能性についても証明に成功した。このモデルは、昨年度開発した対合関数の計算モデルと組み合わせることにより、双方向変換言語を特徴づけるモデルの一部となることが期待される。

2. 双方向変換の満たすべき一貫性法則の体系的整理

上述の双方向変換理論における一貫性は用途や目的に応じて異なり、既存の研究において様々な定式化が独自になされてきたため、双方向変換が満たすべき規則が乱立していた。本年度の研究では、これらの乱立した12個の規則間の関係を精査し、ある規則が別の規則を包含することや複数の規則の組合せが別の規則と等価になることなどを網羅的に発見することに成功した。本研究で提示した規則間の関係は完全であり、他の規則間にはそのような性質がないことも証明されている。この成果は、双方向変換や双方向変換言語の設計を容易にする手がかりとなることが期待される。

3. 線形構造に着目したモデル検証・プログラム意味論

プログラムは引数の複製をすることによって複雑さを増すため、複製の仕方を分析する線形論理はプログラム意味論やプログラム検証において非常に重要な技術となっている。本年度ではこの方向性において2つの研究を行った。一つはパリティゲームを要素還元的（合成的）に解くモデルを線形論理のモデルから構築したものである。この手法を用いた検証器の実装や実験を継続している。二つ目は量子計算など線形な計算構造を備えたプログラミング言語の研究であり、本年度ではその基盤的な理論として、線形論理のこれまで知られてきた多くのモデルを内包する線形代数的手法に基づいた意味論の統一的フレームワークを与えた。この手法をさらに発展させることで量子プログラミング言語の最新のモデルも内包できることが期待できる。

<職員名>

教授 中野 圭介 (2018年より)

助教 浅田 和之

<プロフィール>

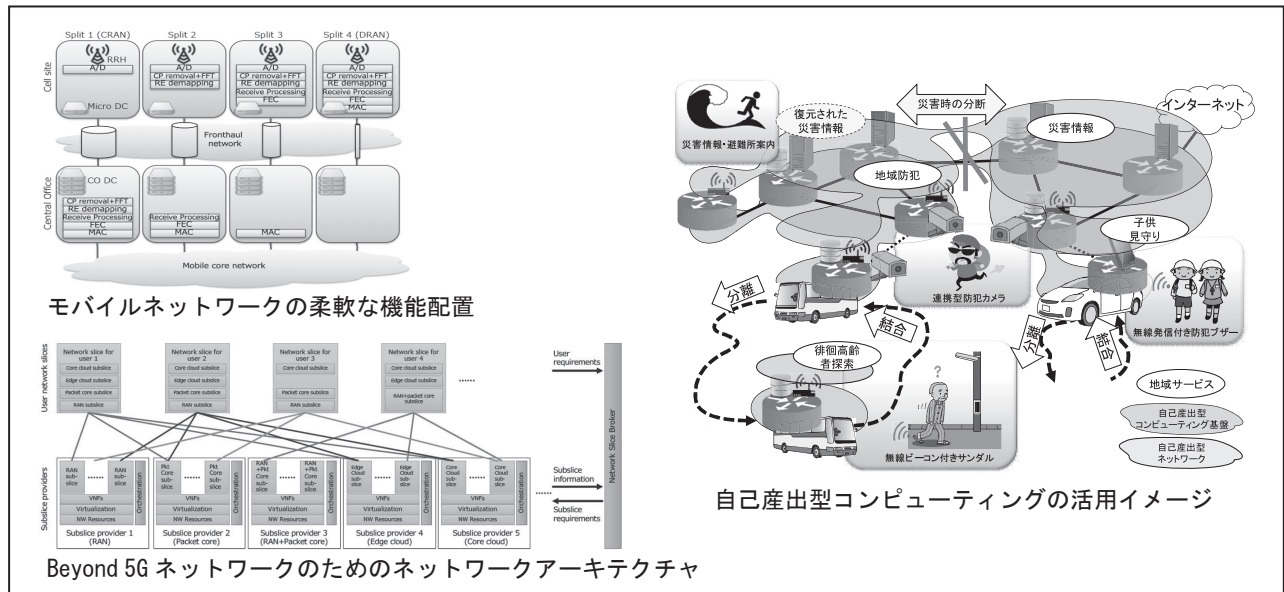
中野 圭介 1997年東京大学理学部数学科中退。2003年京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻数理解析系博士後期課程単位取得退学。東京大学大学院情報理工学系研究科産学官連携研究員、電気通信大学先端領域教育研究センター特任助教、同大大学院情報理工学研究科准教授を経て、2018年4月より東北大学電気通信研究所教授。関数型プログラミング、形式言語理論、証明支援系に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会、ACM各会員。博士（理学）。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] Keisuke Nakano. Time-symmetric Turing machines for computable involutions, *Science of Computer Programming*, Volume 215, 1 March 2022, 102748.
- [2] Idempotent Turing Machines, 46th International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS 2021), Tallin, Estonia (hybrid), August 2021.
- [3] Keisuke Nakano. A Tangled Web of 12 Lens Laws, *Proc. of 13th International Conference on Reversible Computation (RC 2021)*, Nagoya, Japan Online, July 2021.
- [4] Kazuki Watanabe, Clovis Eberhart, Kazuyuki Asada, and Ichiro Hasuo. A Compositional Approach to Parity Games, *Proc. 37th Conference on the Mathematical Foundations of Programming Semantics (MFPS 2021)*, Salzburg (online, hybrid), EPTCS 351, 2021, pp. 278-295

コミュニケーションネットワーク研究室

IoT 社会を支える情報ネットワークアーキテクチャ



情報ネットワークアーキテクチャ研究分野 教授 長谷川 剛
 インテリジェントネットワーク研究分野 准教授 北形 元

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

1. モバイルネットワークアーキテクチャに関する研究

5G ネットワークの主要課題の 1 つである、大量の IoT (Internet of Things) 端末を効率的に收容するための制御プレーン負荷に着目したモバイルコアネットワーク設計、モバイルトラヒックのベースバンド処理における効率的な機能分割戦略の導出、デジタルツイン構築のためのセンサデータ収集・処理の効率化、等に関する研究を行った (文献[5][8][9][10][12])。

2. ネットワークスライシングアーキテクチャに関する研究

本研究では、User-Oriented Network slicing Architecture (UONA) と呼ぶ新しいネットワークアーキテクチャを提案した。その特徴は、サービス/アプリケーション毎ではなく、ユーザ毎にネットワークスライスを構築・提供することにより、多様な要求に応えること、ネットワークスライスを構築するプロセスを、部分的なネットワークに対応するサブスライスの構築と、サブスライスを組み合わせることでネットワークスライスを構築する 2 つに分割すること、及び、端末のモビリティ、要求品質の変化に応じて動的にスライスを再構成すること、にある。本研究では、UONA の全体アーキテクチャの詳細を提示し、その利点と実現にあたっての課題をまとめた (文献[2])。また、ネットワークスライスの資源最適化のためのモバイルトラヒック予測に関する研究を遂行した (文献[11])。

3. インターネット輻輳制御技術に関する研究

複雑・大規模化するインターネットにおける理想的な輻輳制御技術の追求に関する研究を遂行し

た。具体的には、現在のインターネットで主に用いられている複数の輻輳制御アルゴリズム間の公平性の改善 (文献[1][7])、現在のインターネットでの輻輳制御とは全く異なる、ネットワーク内制御を前提とした新たな輻輳制御パラダイムに関する研究 (文献[6])などを行った。

4. 自己産出型コンピューティングに関する研究

自己産出型コンピューティングの基礎技術として、マルチホップ型の LPWA 網のように、低速ながら広域をカバーできる無線通信網の活用を目指し、IoT 機器向けの省データ型移動エージェントフレームワークの試作と評価を行った (文献[4])。本成果は、情報処理学会 DPS Workshop 2021 にて優秀論文賞を受賞するなど、高い評価を受けた。

<職員名>

教授 長谷川 剛 (2019 年より)

准教授 北形 元 (2012 年より)

事務補佐員 永島 亜未

<プロフィール>

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

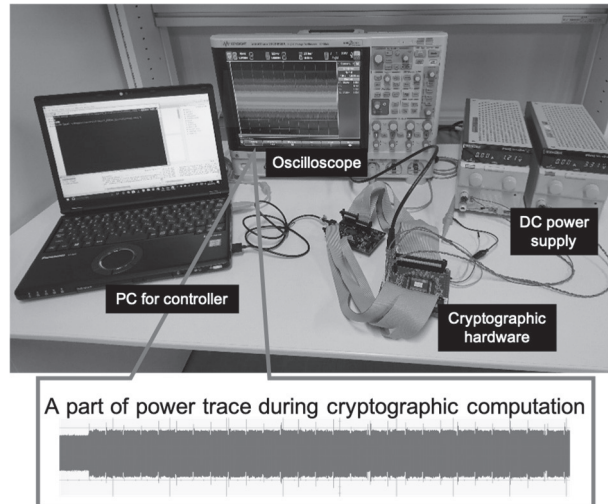
北形 元 2002 年 3 月 東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年 4 月、東北大学電気通信研究所助手。2007 年 5 月 同准教授。現在に至る。博士 (情報科学)。エージェント指向コンピューティング、やわらかい情報システム、インテリジェントネットワークの研究に従事。平成 13 年度電子情報通信学会学術奨励賞。平成 18 年度 情報処理学会山下記念研究賞。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] Satoshi Utsumi and Go Hasegawa, Refining Calculation Algorithm for Packet Pacing Rate of BBR, Proceedings of IEEE CQR 2021, May 2021.
- [2] Go Hasegawa, Satoshi Hasegawa, Shin-ichi Arakawa, and Masayuki Murata, UONA: User-Oriented Network slicing Architecture for beyond-5G networks, Proceedings of IEEE ICC 2021, June 2021.
- [3] 松山優気, 北形元, 長谷川剛, "実環境を想定したモバイルコアネットワークノードの資源利用の効率化手法," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 2, NS2021-1, pp. 1-6, 2021 年 4 月. [Link](#)
- [4] 坂本和也, 中屋悠資, 北形元, 長谷川剛, "小型 IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの提案," 情報処理学会 DPS ワークショップ, 2021 年 10 月. [Link](#)
- [5] 長谷川剛, 村田正幸, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, 阿多信吾, "ローカル 5G サービスのためのトラフィック処理機能配置の最適化," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 263, CQ2021-63, pp. 1-6, 2021 年 11 月. [Link](#)
- [6] 長谷川剛, "エンド間・ネットワーク内制御に基づく輻輳制御アーキテクチャの提案," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 299, IN2021-22, pp. 22-27, 2021 年 12 月. [Link](#)
- [7] 前田馨人, 北形元, 長谷川剛, "公平性改善のための競合フローの輻輳制御アルゴリズム推定に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 299, IN2021-23, pp. 28-33, 2021 年 12 月. [Link](#)
- [8] 長谷川剛, 村田正幸, "エッジコンピューティングを考慮した無線ネットワーク資源の占有時間モデル," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 357, CQ2021-76, pp. 1-6, 2022 年 1 月. [Link](#)
- [9] 長谷川剛, "5G/B5G のためのモバイルネットワークアーキテクチャ," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 350, PN2021-39, pp. 35-40, 2022 年 1 月. [Link](#)
- [10] 長谷川剛, 大和田泰伯, 徐蘇鋼, "生化学及び生物機構に着想を得た階層化情報ネットワークシステムの冗長構成手法," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 421, CQ2021-107, pp. 37-42, 2022 年 3 月. [Link](#)
- [11] 長谷川剛, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, "モバイルトラフィック推定に基づくネットワークスライス資源最適化に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 433, NS2021-123, pp. 7-12, 2022 年 3 月. [Link](#)
- [12] 長谷川剛, 下西英之, 村田正幸, "サイバーシステム構築のためのセンサデータ収集・処理における消費電力最適化に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 433, NS2021-160, pp. 224-229, 2022 年 3 月

環境調和型セキュア情報システム研究室

安心・安全な社会を支える情報セキュリティ技術の創出



環境調和型セキュア情報システム研究分野 教授 本間 尚文
 助教 上野 嶺

＜研究室の目標＞

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

＜2021年度の主な成果＞

暗号実装および情報システムへの能動的攻撃手法の解析と対策手法の開発

公開鍵暗号は秘匿通信や鍵交換、電子署名などに基づく現代の情報セキュリティシステムに必要不可欠な技術である。現在主流の公開鍵暗号（RSA暗号や楕円曲線暗号）は大規模なゲート型量子計算機により効率的に解読されてしまうことが知られている。そこで、量子計算機を用いても買得が困難とされる公開鍵暗号である耐量子計算機暗号（PQC: Post-Quantum Cryptography）が次世代の情報セキュリティを実現する公開鍵暗号として盛んに研究開発されている。本年度は、PQCを安全に計算・実装する技術の研究開発に取り組んだ。PQCは様々な実現方式があるが、高い安全性を実現するために共通して利用する機構が存在する。本年度の主な成果として、この機構を実装する際に不可避の脆弱性があることを発見し、実機実験によって現実的に秘密情報が漏洩する可能性があることを示した[1,2]。同時に、発見した脆弱性への対策も検討し、同様に実機実験によって対策の有効性を確認した。本成果は、今後利用の拡大が期待されるPQCを様々な環境下における安全な実装の実現に大きく貢献するものである。

加えて、本年度はモダンプロセッサのセキュリティ機構の実装安全性の評価も実施した。RISC-V と呼ばれるオープンソースの命令セットアーキテクチャに基づくプロセッサを対象として評価を行い、そこで用いられている資源分離と呼ばれるセキュリティ機構に物理的な脆弱性があることを報告した[3]。さらに、発見した脆弱性に対する低コストな対策手法の開発も併せて実施した。

これらの他にも、電力解析攻撃対策済み暗号回路の自動合成・検証システムの開発や、深層学習を用いた暗号実装のセキュリティ評価手法の開発、PQC を高効率に実行するためのハードウェアアーキテクチャの開発、暗号が正しく実装されていることを高速かつ数学的に証明するシステムの開発等を実施した[5, 6]。

<職員名>

教授 本間 尚文 (2016 年より)

助教 上野 嶺 (2018 年より)

<プロフィール>

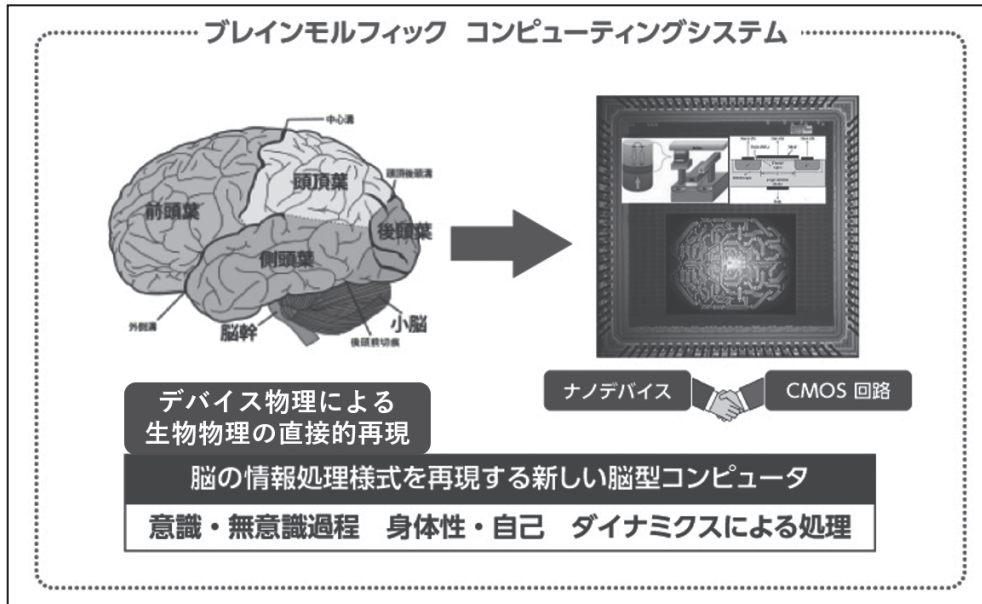
本間 尚文 1997 年 3 月 東北大学工学部情報工学科卒業。2001 年 9 月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。2001 年 10 月 同大学院助手/助教。2009 年 4 月 同大学院准教授。2016 年 6 月 同大電気通信研究所教授、現在に至る。博士 (情報科学)。2009-2010 年/2016-2017 年 国立パリ高等情報通信大学客員教授。RIEC Award (2012 年)、IEEE EMC Best Symposium Paper Award (2013 年)、IACR CHES Best Paper Award (2014 年)、SCIS 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

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Xagawa *et al.*, “Fault-Injection Attacks against NIST’s Post-Quantum Cryptography Round 3 KEM Candidates,” In *ASIACRYPT*, pp. 33–61, 2021.
- [2] R. Ueno *et al.*, “Curse of Re-encryption: A Generic Power/EM Analysis on Post-Quantum KEMs,” *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, Vol. 2022, Issue 1, pp. 296–332, 2021.
- [3] S. Nashimoto *et al.*, “Bypassing Isolated Execution on RISC-V using Side-Channel-Assisted Fault-Injection and Its Countermeasure,” *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, Vol. 2022, Issue 1, pp. 28–68, 2021.
- [4] A. Ito *et al.*, “Imbalanced Data Problem in Deep-Learning Based Side-Channel Attacks: Analysis and Solution,” *IEEE Transactions on Forensics & Security*, Vol. 16, pp. 3790–3802, 2021.
- [5] R. Ueno *et al.*, “A Systematic Design Methodology of Formally-Proven Side-Channel-Resistant Cryptographic Hardware,” *IEEE Design & Test*, Vol. 38, Issue 3, pp. 84–92, 2021.
- [6] A. Ito *et al.*, “Efficient Formal Verification of Galois-Field Arithmetic Circuits Using ZDD Representation of Boolean Polynomials,” *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol. 41, Issue 3, pp. 794–798, 2021.

ソフトコンピューティング集積システム研究室

ブレインモルフィックコンピューティングハードウェアの開発



ソフトコンピューティング集積システム研究分野 教授 堀尾 喜彦

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

1. カオスニューラルネットワークリザバーの研究

相互結合型で内部ダイナミクスを持つカオスニューラルネットワークリザバーをサイクリック状態更新方式により2層ニューラルネットワークだけで実装する方法を提案した。これを、Through Silicon Via と Micro Bump を用いた3次元積層LSIの実証チップとして実装しその特性を実験で確認した。さらに学習ネットワークを構成した時の特性を回路レベルエミュレータにより評価した。

2. スピントロニクスニューロンおよびシナプスデバイスの数理モデルの開発

これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理モデルを、集積回路として実装するために必要な回路レベルモデルと、学習ネットワークを設計するために用いるネットワークレベルモデルへと拡張した。

3. リザーバーニューラルネットワークのオンライン学習則に関する研究

リザーバーニューラルネットワークを実時間で追加学習させるためのオンライン学習則を6種類提案し、その有効性をシミュレーションにより比較・評価した。

4. カオスニューラルネットワークリザーバーのパラメータ設計に関する研究

カオスニューラルネットワークリザーバーの局所的な記憶（不応性）パラメータや出力関数の最大ゲインパラメータと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により明らかにした。

<職員名>

教授 堀尾 喜彦（2016年より）

<プロフィール>

堀尾 喜彦 1982年3月 慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1987年3月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。1987年4月 東京電機大学工学部助手。1991年4月 同講師。1993年10月 同助教授。2000年4月 同教授。2016年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。2021年4月より、ナノ・スピン実験施設長。非線形アナログ集積回路、ニューラルネットワーク集積回路、複雑工学システムの研究に従事。安藤博記念学術奨励賞受賞（1990年）、IEEE Myril B. Reed Award 受賞（1991年）、NCSP Best Paper Award 受賞（2005年、2007年、2008年、2013年、2020年）、IEEE NDES Best Paper Award 受賞（2005年、2007年）、ICSI-ISIS Best Paper Award 受賞（2008年）、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ特別功労賞受賞（2016年）、電子情報通信学会フェロー（2018年）、応用物理学会優秀論文賞受賞（2019年）、NOLTA2020 Best Paper Award 受賞（2020年）、東京電機大学 名誉教授（2020年）。

<2021年度の主な発表論文等>

- [1] K. Fukuda and Y. Horio, "Analysis of dynamics in chaotic neural network reservoirs: Time-series prediction tasks," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 639-661, DOI: 10.1587/nolta.12.639, October 1, 2021.
- [2] S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 685-694, DOI: 10.1587/nolta.12.685, October 1, 2021.
- [3] K. Fukuda, Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Cyclic reservoir neural network circuit for 3D IC implementation," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 309-322, DOI: 10.1587/nolta.12.309, July 1, 2021. (Invited Paper)
- [4] S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, "A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model," in *Artificial Neural Networks and Machine Learning*, I. Farkaš, P. Masulli, S. Otte, and S. Wermter eds., *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12895, Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-030-86383-8_14, September 7, 2021.
- [5] T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of chaotic neural network reservoir using improved cyclic neuron circuit for stacked 3D integrated circuit," in *Proc. The 2021 Nonlinear Science Workshop*, p. NLSW-9, Online, December 6-8, 2021.
- [6] Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Implementation of a chaotic neural network reservoir on a TSV/ μ bump stacked 3D cyclic neural network integrated circuit," in *Proc. 2021 IEEE International 3D System Integration Conference*, paper number 5b (4 pages), Online, November 16-19, 2021.
- [7] K. Kiyoyama, Y. Horio, T. Fukushima, H. Hashimoto, T. Orima, and M. Koyanagi, "Design for 3-D stacked neural network circuit with cyclic analog computing," in *Proc. 2021 IEEE International 3D System Integration Conference*, paper number 5a (4 pages), Online, November 16-19, 2021.

新概念 VLSI システム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

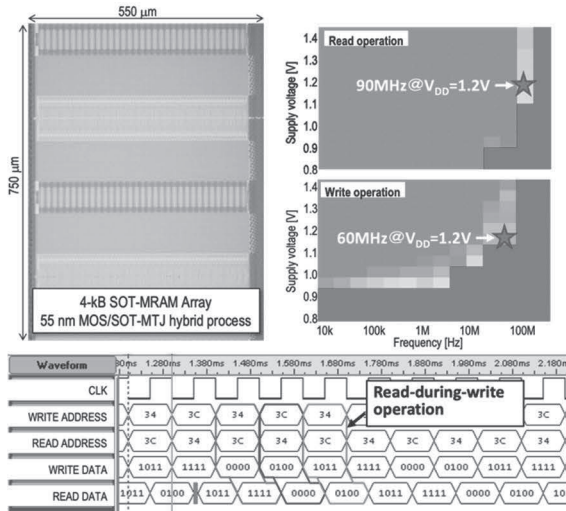


図1. 3端子スピントロニクス素子を用いたデュアルポート型不揮発メモリ(SOT-MRAM)を試作し、高速読み書きおよびその同時並行動作を実チップ上で実証

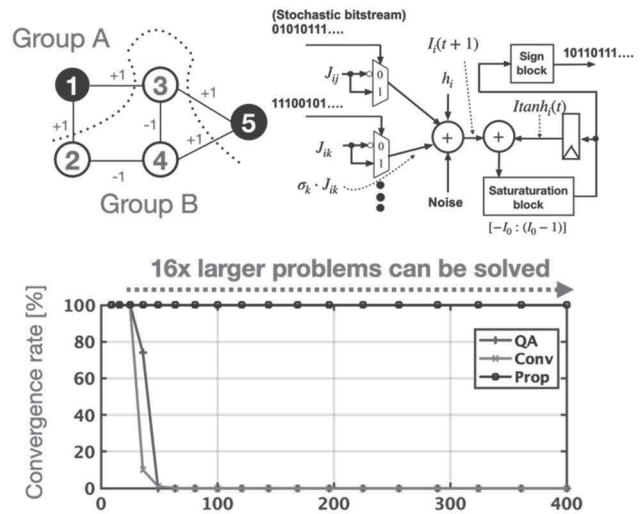


図2. 確率的演算の活用により、組合せ最適化問題において量子アニーリング技術として知られるD-Waveと比較して、約16倍大規模な問題の解くことに成功。

新概念 VLSI システム研究分野 教授 羽生 貴弘
 新概念 VLSI デザイン研究分野 准教授 夏井 雅典
 新概念 VLSI コンピューティング研究分野 准教授 鬼沢 直哉

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

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

フラッシュメモリのような不揮発記憶性を有しつつ、高い耐久性ならびに高速なデータ読み書きを可能とする次世代メモリの試作に成功した。書込みと読出しの電流経路が異なる 3 端子型のスピントロニクス素子 (SOT-MTJ 素子) の構造を活用し、スピントロニクス素子を使用したメモリとしては世界初となるデュアルポート構成で設計することにより、60MHz 書込みおよび 90MHz 読出し、ならびにそれらの同時並行動作を実証した。この研究成果は、集積回路技術分野における最高峰の学術論文誌である IEEE Journal of Solid-State Circuits (April, 2021) に採録された。

2. 大規模な組み合わせ最適化問題を解く確率的計算技術を開発 (図2)

膨大なデータの組合せから最適解を求める問題として知られる組み合わせ最適化問題において、量子アニーリングで知られる D-Wave Systems 社のマシンと比較して、約 16 倍の大規模な組み合わせ最適化問題を解くことに成功した。開発した確率的計算技術は、一般的な古典コンピュータで利用可能なアルゴリズムでありながら、最適解への収束率を比較的に高めることに成功し、極低温動作を必須とする量子アニーリングマシンを実用性で大幅に上回る性能を実証した。本研究成果は 2022 年 3 月 30 日付で米国の科学誌「IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems」(インパクトファクター10.451) でオンライン公開された。

<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 月同大デイスティング イッシュリサーチャー、現在に至る。確率的演算とその応用に関する研究に従事。令和 2 年度科学技術分野文部科学大臣表彰・若手科学者賞 (2020 年) などを受賞。IEEE Member。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] N. Onizawa, K. Katsuki, D. Shin, W. Gross, and T. Hanyu, "Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing," IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems, 2022 (to appear).
- [2] N. Onizawa and T. Hanyu, "CMOS Invertible Logic: Bidirectional Operation Based on Probabilistic Device Model and Stochastic Computing," IEEE Nanotechnology Magazine, vol. 16, issue 1, pp. 33-46, Feb. 2022.
- [3] M. Natsui, A. Tamakoshi, H. Honjo, T. Watanabe, T. Nasuno, C. Zhang, T. Tanigawa, H. Inoue, M. Niwa, T. Yoshiduka, Y. Noguchi, M. Yasuhira, Y. Ma, H. Shen, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, T. Hanyu, "Dual-Port SOT-MRAM Achieving 90-MHz Read and 60-MHz Write Operations under Field-Assistance-Free Condition" IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 56, no. 4, pp.1116-1128, April 2021.

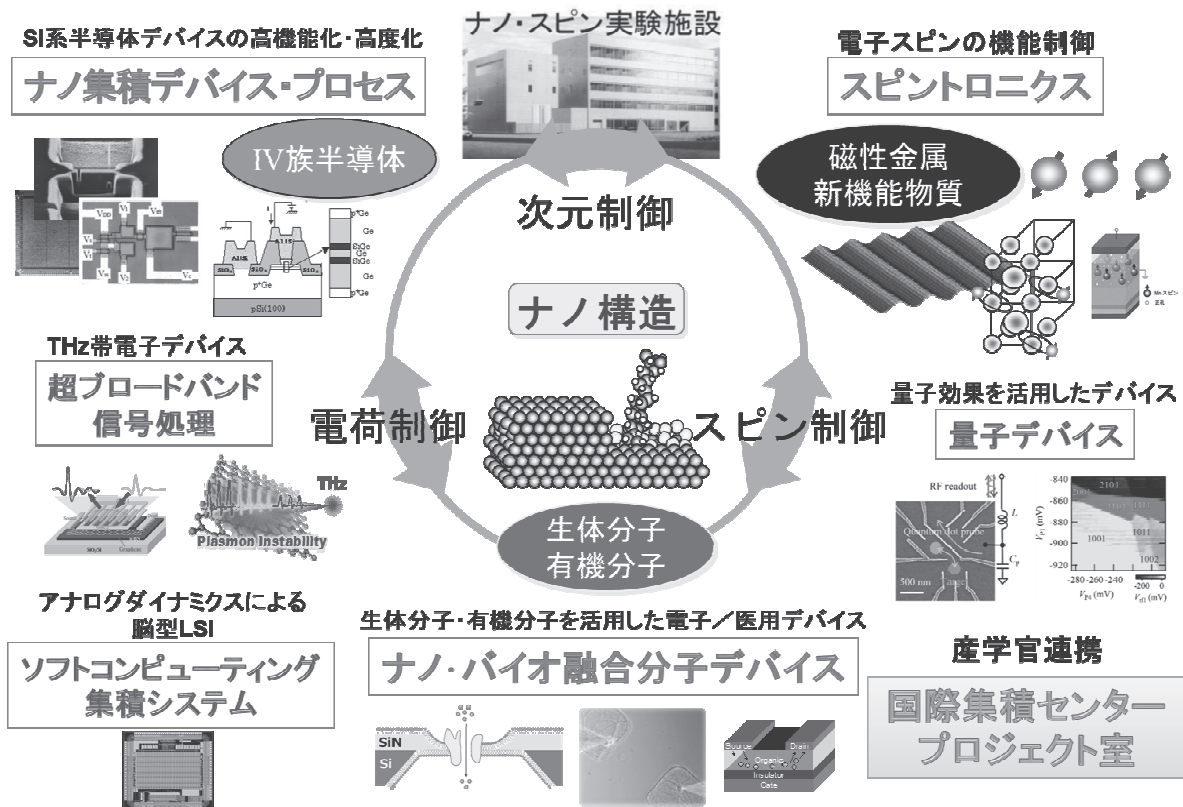
(他 学術論文 9 編)

3. 5 ナノ・スピン実験施設

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

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

～情報通信を支えるナノ・スピン基盤技術の創生～



以下に、施設研究部と利用研究室の令和3年度の研究成果のハイライトを記す。

ナノ集積基盤技術関連

● ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

- (1) 脳型計算ハードウェアの開発を目的として、多様な神経パルスを再現し極低電力で動作するスパイキングニューロンから構成されるリカレントニューラルネットワーク LSI を製作した。弱反転領域を利用するアナログ MOS 回路が正確に動作すること、本ネットワークが入力信号に依存して多様な反応を示すことを電気測定により確認した。
- (2) 低エネルギープラズマ化学気相成長法を用いることによって化学量論比組成に近い Si 窒化膜形成を可能とするとともに、熱酸化 SiO₂ 絶縁膜の下部の半導体基板表面にナノメートル厚の Si 窒化膜を堆積させておくことにより半導体基板表面の熱酸化を抑制できることを実験的に明らかにした。
- (3) 機械学習の一方式である強化学習の専用ハードウェアの開発を目的として、状態遷移が確率的な環境モデルにおいて、Q 学習を処理する専用回路をレジスタ転送レベルで設計し、回路リソースの削減と学習性能の関係を明らかにした。

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフィックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度の主な成果を以下にまとめる。

- (1) 相互結合型で内部ダイナミクスを持つカオスニューラルネットワークリザバーをサイクリック状態更新方式により 2 層ニューラルネットワークだけで実装する方法を提案した。これを、Through Silicon Via と Micro Bump を用いた 3 次元積層 LSI の実証チップとして実装しその特性を実験で確認した。さらに学習ネットワークを構成した時の特性を回路レベルエミュレータにより評価した。
- (2) これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理モデルを、集積回路として実装するために必要な回路レベルモデルと、学習ネットワークを設計するために用いるネットワークレベルモデルへと拡張した。
- (3) リザバーニューラルネットワークを実時間追加学習させるためのオンライン学習則を 6 種類提案し、その有効性をシミュレーションにより比較・評価した。
- (4) カオスニューラルネットワークリザバーの局所的な記憶（不応性）パラメータや出力関数の最大ゲインパラメータと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により明らかにした。

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）

固体中の電子の電荷とスピンの自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現を目的としてスピントロニクス物理、材料、素子に関する研究を行っている。令和 2 年度は主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) 量子ビット応用に適した固体中のスピン中心の物性と、今後ブレイクスルーが期待される物性や材料を系統的に示した。(2) 確率ビット応用に適したストカスティック磁気トンネル接合の新たな構造としてダブルフリー層構造を提案し、数値計算によりその時間領域特性、時間平均特性を明らかにした。(3) ノンコリニア反強磁性体からなるヘテロ構造に電流を導入することでスピン軌道トルクによって誘起される新奇スピントロニクス現象であるカイラルスピン構造の恒常回転を発見・実証した。(4) Wi-Fi の 2.4 GHz 周波数帯の電磁波と共鳴する高周波スピントロニクス素子を開発し、それを連結した構造における環境発電でも実験を行い、LED を点灯させることに成功した。(5) ノンコリニア反強磁性 Mn₃Sn 薄膜の結晶構造、磁気特性、磁気輸送特性の Mn-Sn 組成依存性、温度依存性を詳細に測定し、異常ホール効果等のトポロジカル物性が決まる機構に関する重要な知見を得た。(6) ジャロシンスキー・守谷相互作用の簡便な定量測定手法として広く用いられている電流誘起ヒステリシスループシフト実験の解析において見過ごされている要素を明らかにし、正しい解析手法を提案した。(7) 垂直磁界容易軸を有するストカスティック磁気トンネル接合の磁場や電流に対する時間平均応答特性を

系統的に評価し、その特性を決める物理的な機構を明らかにした。(8) 人工ニューロンとしての利用が期待されるスピンホールナノ振動子と人工シナプスとしての利用が期待されるメモリスタを連結した構造を作製し、神経回路網の基本動作と類似する、振動子の発振特性の不揮発制御を実証した。(9) オングストローム半導体世代向けの高性能磁気トンネル接合に関し、積層構造の設計による緩和時間の制御により、直径 10 nm を下回る素子において 10 ns 以下のパルスでの書込み動作を実証した。(10) ストカスティック磁気トンネル接合からなる確率ビットを用い、ボルツマン機械学習の原理実証に成功した。

● 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・佐藤昭)

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

1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザーの創出

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。我々は、グラフェンを利得媒質とする新しい動作原理による電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイス・プロセス技術の開発を進め、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する試作素子により、室温下でプラズモン不安定性を由来とする最大利得9%のテラヘルツ帯コヒーレント増幅に成功した(2020.07.プレスリリース；国際会議招待講演 16 件)。

2. プラズモニック・テラヘルツ検出素子の開発

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

● 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。高周波測定技術の改良や、データ科学手法を活用した解析等、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定、制御する手法について研究を行った。

(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。半導体量子ドットデバイスにおける単一電子ダイナミクスや、新材料における電子物性についてその詳細を解明した。

(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態の精密高速測定・制御技術を活用して、半導体量子ビット等の量子デバイスの研究を行った。量子ビット操作、読み出しに関する研究とともに、量子システムのスケールアップに向けた研究を行った。

ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連

● ナノ・バイオ融合分子デバイス (平野愛弓)

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

(1) 膜平行方向への電圧印加・測定を可能にする新しい人工細胞膜プラットフォームの構築

細胞膜を模した脂質二分子膜中にイオンチャネル等の膜タンパク質を包埋した人工細胞膜系は、1962年の初めての報告以来、膜タンパク質の機能性評価のための優れた膜系として広く用いられてきた。従来、人工細胞膜系に包埋されたイオンチャネルの機能評価は、膜に直交する向きに電圧を印加した際に観測される膜貫通方向の電流を記録することで行われてきた。我々は、膜タンパク質の機能評価の新機軸として、膜に平行な向きの電圧「膜平行電圧」を着想し、この印加を可能とする膜プラットフォームの構築を試みた。その結果、膜平行電圧によるイオンチャネルの開口促進や、有機ナノ粒子であるフラーレン含有膜における光誘起膜貫通電流の増幅効果といった全く新しい現象を見出した。これらの結果は、膜貫通電流が膜平行電圧によって増強されるという新しい制御様式を示しており、新規デバイスの創成に繋がる重要な成果である。

(2) マイクロ加工基板を用いた神経回路機能の *in vitro* 再構成

マイクロ加工基板やマイクロ流体デバイスを用いて生きた神経細胞による自己組織的なネットワーク形成を人工的に制御する技術を1つのコアとして、科研費・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」を立ち上げた。当該プロジェクトのメンバー間の共著論文として国際誌 *Electrochemistry* に発表した論文では、マイクロ加工基板上に培養した神経細胞に対して局所的な刺激を印加するための新しい電極技術を開発した。

(3) ナノポーラス構造体を用いたガスセンサの開発／ナノバブルによる殺菌作用の解明

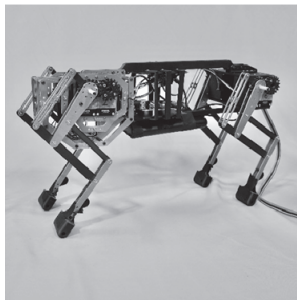
酸化チタン (TiO_2) ナノチューブ薄膜を検出媒体とする高感度ガスセンサを開発した。ニューラルネットワークに基づく機械学習解析の導入により、混合ガス中に含まれる微量な一酸化炭素を、市販の電気化学式センサと同等以上の精度で検出することに成功した。また、二酸化炭素 (CO_2) ガスを、ナノポーラス構造体であるポーラスアルミナ (Al_2O_3) 薄膜フィルタに通し生成させた CO_2 ナノバブルが、モデル細菌の大腸菌に対して殺菌効果をもたらし、かつ、ナノバブル水中で生成される活性酸素が殺菌に寄与することを見出した。

3. 6 ブレインウェア研究開発施設

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

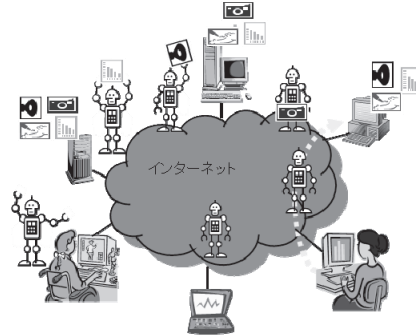
この施設は、適応的認知行動システム研究部（認識・学習システム研究室）、自律分散制御システム研究部（実世界コンピューティング研究室）、脳型LSIシステム研究部（新概念VLSIシステム研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室）、ブレインアーキテクチャ研究部の4研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。

身体性を持つ動的・適応的ハードウェア

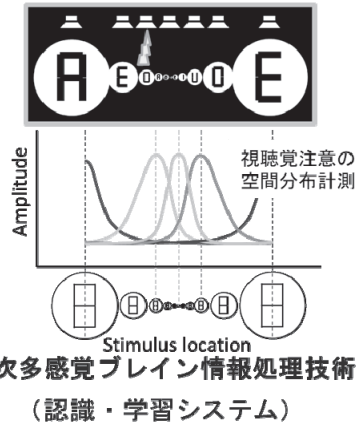


・実世界・動的知能構成技術
(実世界コンピューティング)

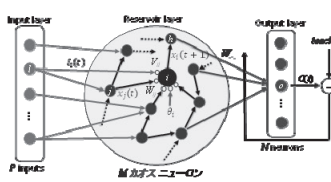
・超現実空間構成技術
(ブレインアーキテクチャ)



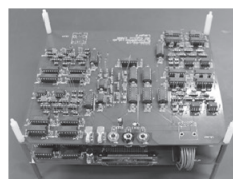
実世界と電脳世界のシームレスな融合 マルチモーダルコンピューティング



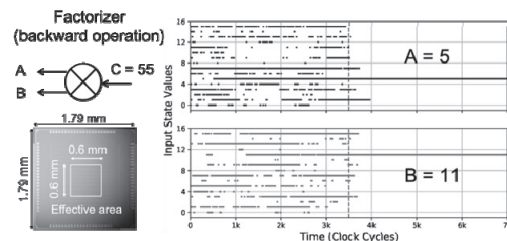
超並列ブレインLSIによるハードウェア



カオスニューラルネットワークリザパー



3D LSI実装検証用基板



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

・脳型LSI実現に向けた確率的双方向演算器
(新概念VLSIシステム)

<施設の目標>

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

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

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

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

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

<2021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、2021年度の下記研究成果は、本目標に向けた重要な前進である：

- ・トカゲ様歩行における脚・胴体協調メカニズムを解明

(実世界コンピューティング研究室)

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2021.645731/full>

- ・確率的演算 (stochastic logic) の活用により、組合せ最適化問題において D-wave マシン (量子アニーラ) と比較し、約 16 倍の大規模な問題の解法に成功

(新概念 VLSI システム研究室)

<https://doi.org/10.1109/TNNLS.2022.3159713>

<https://doi.org/10.1109/MNANO.2021.3126094>

- ・「ヨッタスケールデータ社会の情報質インフォーマティクス」に関する研究を報告 (認識・学習システム研究室)

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9401161>

- ・サイクリック状態更新カオスニューラルネットワークリザバー3次元積層LSIのPoCチップを実装し、その有効性を実験により実証

(ソフトコンピューティング集積システム研究室)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/nolta/13/2/13_306/_article/-char/en

https://www.jstage.jst.go.jp/article/nolta/12/3/12_309/_article/-char/en

なお、各研究室のより詳細な研究成果については以下の通りである：

実世界コンピューティング研究室：

(人間情報システム研究部門実世界コンピューティング研究室を参照)

新概念VLSIシステム研究室：

(システム・ソフトウェア研究部門新概念VLSIシステム研究室を参照)

認識・学習システム研究室：

(人間情報システム研究部門高次視覚情報システム研究室を参照)

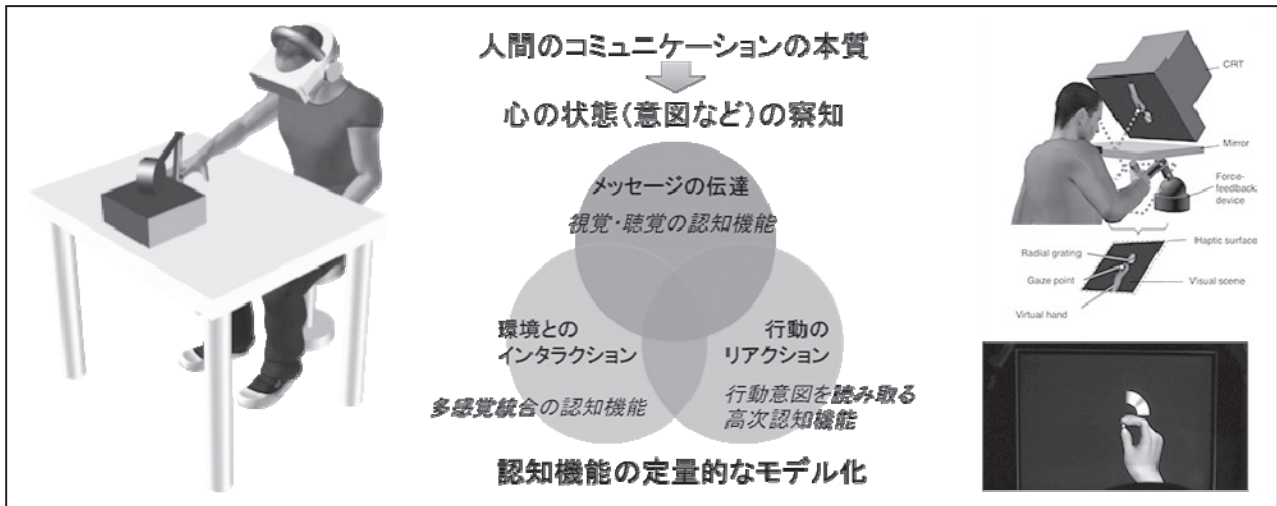
(人間情報システム研究部門先端音情報システム研究室を参照)

ソフトコンピューティング集積システム研究室：

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

認識・学習システム研究室

人間の認識・学習機構の理解



(高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭)
 (先端音情報システム研究分野 教授 坂本 修一)

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

1. 人間の好み判断に基づく情報の価値評価推定

情報の蓄積は人間の知識生産に不可欠であり、情報技術はデータ蓄積の速度を加速させている。それによる大きな問題は、そのようなビッグデータを蓄積する記録装置が不足していることである。この問題を解決するためのアプローチをとって、人間の主観評価を顔表情から推定する方法を提案した、対象はインターネット上の画像で、お弁当画像と風景画像として検索したもので、それに対して好ましい（「いいね」をクリックする）かどうかを推定し、一定の成果を上げた。被験者が各画像を評価している間の顔映像を取得し、その顔から Action Unit (AU) として定義される顔特徴を抽出した。AU を利用し、機械学習によって被験者が好むと判断したかそうでないかを予想し結果、AUC という指標で 0.7 程度(ランダムな選択の場合 0.5 で完全に予測できると 1.0)の成績を得た。評価した画像特徴による推定も行ったところ、顔表情の方が高い精度となることが示された。

2. 聴覚的注意の全方位空間特性

人間は周囲から到来するたくさんの音の中から聴きたい音を選択的に聴取することができる。これはカクテルパーティ効果と呼ばれ、これまで様々な研究者によってそのメカニズムの解明が進められてきたが、現在でも未解明な部分が多い。

本研究では、このカクテルパーティ効果の生起要因の一つである聴覚的注意、特に、空間に関する聴覚的注意に着目し研究を進めている。これまでに聴覚の空間的注意によって形成される空間窓の形状の測定を行ってきており、2021年度は、全方位における空間窓の形状測定に取り組んだ。実験の結果、いずれの方向に対しても注意を向けた角度付近を中心とした空間窓が観測された。ただし観測された形状は方向によって異なり、前後に関しては正面と真後ろを除き、耳軸を中心に前後で比較の対象な形になっていたほか、聴取者正面に関しては正面をピークとした非常に鋭い形状であるのに対し、側方に行くにしたがってピークが目立たなくなり平坦な形になっていた。この結果は、音像定位の精度が高いと空間的注意の分解能も高くなる可能性を示唆するものである。このほかにも、視線によって観測された空間窓の形状がどのように変化するのかを調査した。

これらの聴覚の空間的注意に関する知見は、聴きたい音を選択的に聴取することが困難である聴覚情報処理障害の患者の聴覚特性を明らかにする上での基礎データとなり得るものであり、実際に耳鼻科医との共同研究により、この知見を生かした形での聴覚情報処理障害の特性の新しい測定法の開発に関する研究も進めている。

<職員名>

教授（兼） 塩入 諭（2005年より）

教授（兼） 坂本 修一（2019年より）

- [1] 1. S. Shioiri, T. Sasada, R. Nishikawa, Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information. *Cereb Cortex Commun* **3**, tgac005 (2022).
- [2] 3. S. Shioiri, K. Matsumiya, C. H. Tseng, Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Scientific reports* **11**, 3995 (2021).
- [3] 富松智志, 坂本修一, 川瀬哲明, CHAIT Maria, “聴覚的注意の空間特性の方向依存性に関する検討”, *電子情報通信学会技術研究報告 of America*, SP2021-37, 66-70, 2021.

3. 7 21世紀情報通信研究開発センター

産学官連携による実用化技術の研究開発

<センターの目標>

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

<2021年度の主な成果>

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

(A) 2プロジェクト

- ・情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト（代表者：塩入 諭 教授）
- ・スピントロニクス・CMOS融合脳型集積システムの研究プロジェクト（代表者：羽生 貴弘 教授）

(B) 2プロジェクト

- ・ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発
(代表者：北村 喜文 教授)
- ・安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレスIoT基盤技術の研究開発
(代表者：末松 憲治 教授)

なお、2019年度に採択した(B)の1件のプロジェクト「スピントロニクス・CMOS融合脳型集積システムに関する研究」は、本年度で当初の研究期間の3年となるが、2022年2月に開催された「研究成果報告会」の結果を踏まえて、最大2年間の延長を認められた。

これまでの産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部においては、2002年度から2006年度まで、文部科学省ITプログラム（RR2002）のプロジェクトとして、「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し、研究開発を進めてきたが、モバイル分野においては2007年度～2014年度はこれらの研究成果を発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」、2015年度からはさらに「低炭素社会に貢献する情報通信用高効率送信電力増幅モジュールの開発」を実施、またストレージ分野においては2012年度から東日本大

震災で明らかになったストレージの耐災害性の不備を向上させる「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」を実施してきた。2017年度から2020年度に、総務省のプロジェクトとして、電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」を受託し、実施した。さらに、2019年度からは、総務省のプロジェクトとして、電波資源拡大のための研究開発「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」を受託・実施し、2021年度で終了予定である。また、2020年度からは、NEDOのプロジェクトとして、ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業「新規結晶成長製造技術と、それを用いた高出力 GaN デバイスの研究開発」を受託し、これらの概要と2020年度の成果を以下に示す。

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

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

・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

B5G で注目されている 28GHz 帯およびサブ 10GHz 帯の Si RFIC 送信系増幅器を RF SOI CMOS プロセスで試作した。さらに、B5G 用 1-bit バンドパス $\Delta \Sigma$ 変調器の検討を進めている。

<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
客員教授	亀田 卓
客員教授	鈴木 恭宜
客員教授	丸橋 建一
客員准教授	本良 瑞樹
客員准教授	前畠 貴

学際連携研究部

情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト

代表・教授(兼)	塩入 諭
教授(兼)	坂井 信之
助教(兼)	山本 浩輔

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの研究プロジェクト

代表・教授（兼） 羽生 貴弘
教授（兼） 遠藤 哲郎
助教（兼） 馬 奕涛

萌芽研究部

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

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

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

運営委員

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

産学官研究開発部

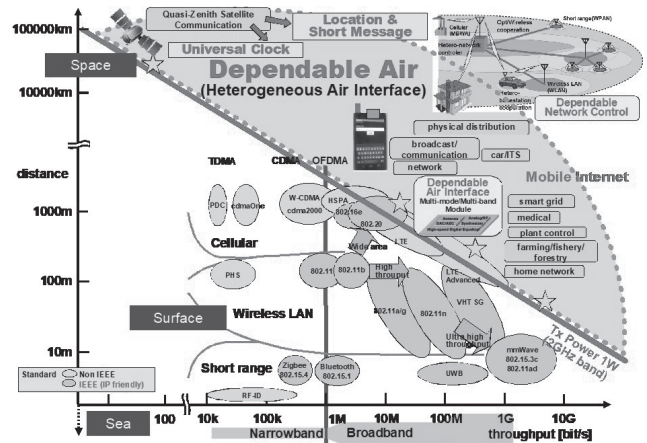
ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト

ディペンダブル・エアの実現へ向けて

図面説明：

ディペンダブル・エア

現在規格化されている無線通信システムの通信速度と通信距離の関係を示したものである。通信距離に応じて、広域系・無線 LAN 系・近距離系の三種類のシステムが存在する。ユーザ端末には、電池の容量や人体への影響から 1W の送信電力制限があると考え、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ディペンダブルな小型・低消費電力無線通信端末用ハードウェア（ワイヤレス Information and Communication Technology (ICT) プラットフォーム）の実現を目指す



代表・教授（兼） 末松 憲治
特任教授 芝 隆司

<研究室の目標>

ユーザをネットワークに接続するアクセス回線技術としてのモバイルワイヤレス通信技術は、光ファイバによる超高速バックボーンネットワークとともに、ICT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界の移動通信のリーダー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有のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」のプロジェクトを実施しており、稼働物体との高信頼無線通信技術の開発を行っている。さらに、2020年度からは、NEDOポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業「新規結晶成長製造技術と、それをを用いた高出力 GaN デバイスの研究開発」のプロジェクトを実施しており、B5G向け Si RFICの開発を行っている。

<2021年度の主な成果>

1. 稼働物体との高信頼無線通信技術の開発

製造現場や医療現場等、異種の無線システムや産業機械等が共存する環境下においても、信頼性のある無線通信を可能とするため、稼働物体との高信頼無線通信技術の確立に向け、研究開発を行っている。高速に移動、回転(例えば 1,000rpm)する産業機械可動部に取り付けたセンサやアクチュエータ等はダイナミックに位置が変化するため、固定して設置されている(産業機械の本体あるいは産業機械周辺に設置されている)アクセスポイントとの間の無線通信を行おうとすると、指向性の低いアンテナを使うため、通信距離に比べて送信電力を高め設定する必要があった。また、工場などの産業機械が密集して設置されている環境においては、他の産業装置に取り付けた無線機器あるいは電磁ノイズを発生する産業装置との間の干渉も問題となり、通信効率の低下、リアルタイム性の劣化を引き起こすことになる。そこで、高速かつダイナミックに位置が変化するセンサ等とアクセスポイント間の電波の送受信を高効率化する技術を開発した。本年度は、回路簡略化のため、WiFi信号を用いたバックスキャッタシステムにより、センサーノードと最適ビームの組み合わせを瞬時に判断し、簡易ビームフォーミングにより高信頼性送受信が可能な全体システムの試作を行った。さらに、試作装置を用い、稼働するロボットアームに取り付けたセンサーノードと固定されたアクセスポイント間での実証実験を行い、高信頼性通信を達成した。

2. B5G向け Si RFIC

B5Gで注目されている28GHz帯およびサブ10GHz帯のSi RFIC送信系増幅器をRF SOI CMOSプロセスで試作した。さらに、B5G用1-bitバンドパス $\Delta\Sigma$ 変調器の検討を進めている。

<職員名>

教授（兼） 末松 憲治
特任教授 芝 隆司

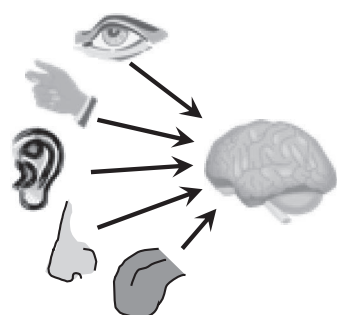
<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] 末松憲治, 枝松航輝, 町井大輝, ジャンテンガ, 本良瑞樹, 亀田卓, 芝隆司, "Wi-Fi バックスキャッタを用いた 5GHz 帯簡易ビームフォーミング無線 IoT 通信," 信学論(C), Vol. J105-C, No. 1, pp. 2-10, Sep. 2021.
- [2] T. Shiba, T. Furuichi, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "A Spectrum Regeneration and Demodulation Method for Multiple Direct Undersampled Real Signals," IEICE Transactions on Communications, Vol. E104-B, No. 10, pp.1260-1267, Oct. 2021.
- [3] N. Suematsu, K. Edamatsu, T. Machii, M. Motoyoshi, S. Kameda, T. Shiba, "5GHz Simplified Beam Forming Wireless IoT Communication using Wi-Fi Backscatter," 2021 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), Aug. 2021.
- [4] J. Temga, M. Motoyoshi, T. Shiba, N. Suematsu, "A 5.5GHz Band 2-D Beamforming Network Using Broadside Coupled Stripline Structure," 2021 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), Aug. 2021.
- [5] J. Temga, T. Machii, T. Shiba, N. Suematsu, "28GHz-Band 2x2 Patch Antenna Module Vertically Integrated with a Compact 2-D BFN in Broadside Coupled Stripline Structure," 2021 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.73-75, Nov. 2021.
- [6] J.Temga, M. Motoyoshi, T. Shiba, N. Suematsu, "A 5.5GHz-Band 2x2 Array Antennas Module Based on Compact 2-D Beamforming Network in Broadside Coupled Stripline," 2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Mar. 2022.

学際連携研究部

情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト

視覚、聴覚、触覚、味覚、五感情報処理研究
嗅覚情報処理の研究



文学研究科

電気通信研究所

人間
判断

情報
評価

情報
通信

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

教授 塩入 諭

教授 坂井 信之

助教 山本 浩輔

<研究室の目標>

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

<2021年度の主な成果>

2021年度は、以下の成果を得た。

- 1) 感覚間のマッチングを利用して、様々な感覚を色を使って表現する手法を開発した。味覚や口腔内体性感覚など、イメージの共有が難しい感覚についても、色イメージを介することで、他者と共有ができることが明らかとなった。また、この手法を日本人、台湾人、ロシア人に実施した研究から、文化知識や経験に依存する部分と感覚間マッチングに依存する部分があることが示唆された。
- 2) 増大する情報から適切なデータの優先付をするためには、情報の価値を評価することが必要不可欠である。価値は主体、目的によるため、人間の評価機構に関する基礎研究を継続している。その一つは、脳の選択機構である注意の研究であり、脳波を用いた注意計測手法によって、視聴覚、視触覚の複合感覚注意の感覚間相互作用を明らかにした。もう一つは、画像特徴および評価時の顔表情特徴から画像に対する好ましさ評価の推定手法の開発に関する研究である。それにより、顔表情は好み評価に利用できるが、個人ごとに異なる表情を利用する必要があることなどを明らかにした。

＜職員名＞

教授 塩入 諭 (2018年より)
 教授 坂井 信之 (2018年より)
 助教 山本 浩輔 (2018年より)

＜プロフィール＞

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

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

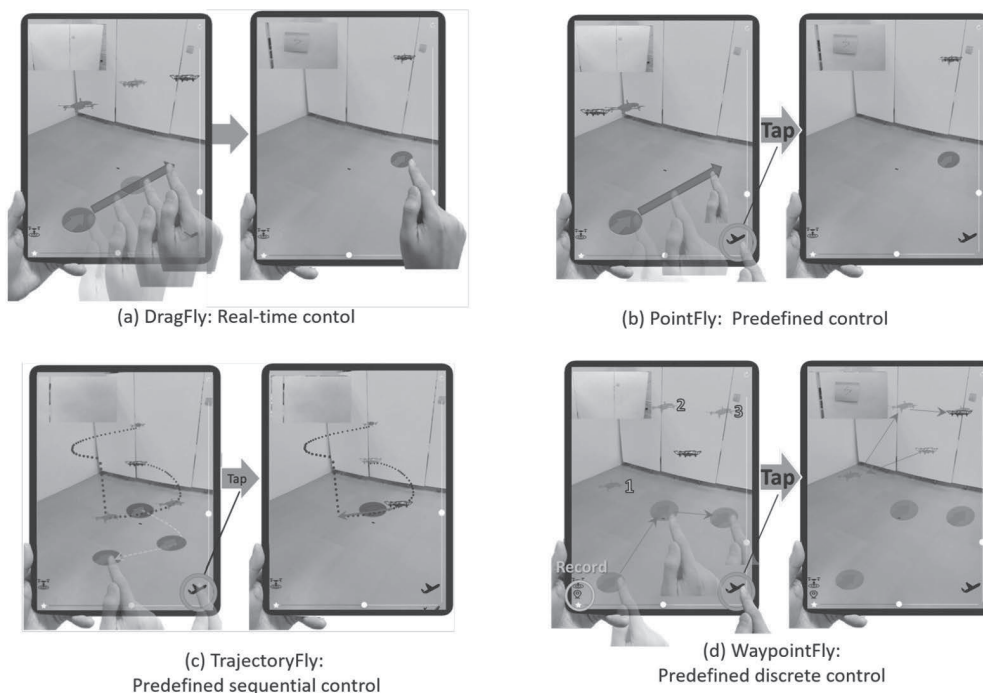
＜2021年度の主な発表論文等＞

- [1] 坂井信之 “「見た目」と「香り」に騙される味覚”, 保健の科学, 63(4), 243-247, 2021
- [2] Tomoko Hasegawa and Nobuyuki Sakai, “Comparing Meal Satisfaction Based on Different Types of Tableware: An Experimental Study of Japanese Cuisine Culture”, Foods, 10, 1546, 2021
- [3] SAITA Atsuhiko, YAMAMOTO Kosuke, TAKEI Ryo, WASHIO Hideaki, SHIOIRI Satoshi, SAKAI Nobuyuki “Crispness, the Key for the Palatability of “Kakinotane”: A Sensory Study with Onomatopoeic Words”, Foods, 10, 1724, 2021
- [4] ラエフスキー アレクサンドル 陳 奕全 坂井信之, “味覚の色イメージに関する文化比較研究 - 日露台の比較 -”, 信学技報, IEICE Technical Report HIP2021-52 (2021-12), 23-26, 2021
- [5] 佐々木 尚之 前川修太 坂本修一 坂井 信之, “サウンドの再生方法の違いによる frisson と ASMR の比較”, 信学技報, IEICE Technical Report HIP2021-51 (2021-12), 17-20, 2021
- [6] Raevskiy A., Sakai N., “Japanese onomatopoeic words: psychological view of the linguistic phenomenon”, MSU Vestnik. Series 13. Oriental Studies, № 3, pp. 84-97, 2021.
- [7] Satoshi Shioiri, Shin Ono, Wei Wu, Shuichi Sakamoto, Ryo Teraoka, Yoshiyuki Sato, Yasuhiro Hatori, Chia Huei Tseng, Ichiro Kuriki, “Audiovisual interaction for spatial attention”, Perception, p.16, 2021
- [8] W Wu, Z Li, Y Sato, Y Hatori, C Tseng, I Kuriki, S Shioiri, “The visual attention at the hand-movement goal independent of the top-down attention”, Journal of Vision 21 (9), 2113-2113, 2021
- [9] S Shioiri, Y Sato, Y Horaguchi, H Muraoka, M Nihei, “Quali-informatics in the society with yotta scale data”, 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 1-4, 2021
- [10] 塩入 諭、笹田拓臣、西川遼太, “手の周囲の注意過程の右利き被験者と左利き被験者の差異”, VISION, 33(4), p.200, 2021

萌芽研究部

ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発

ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発



モバイル AR 技術を用いたユーザ視点・位置制御型のドローン操縦インタフェースの概要

代表・教授（兼）北村 喜文

<研究室の目標>

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

<2021 年度の主な成果>

従来のドローン操縦インタフェースではドローン座標系で操作がなされ、かつジョイスティック等を用いてドローンの移動速度を制御するメカニズムが採用されていた。そのため、操縦を習熟するために膨大な時間と労力が必要であった。本研究では、モバイル AR を用いて、タッチ操作にてドローンの飛行を制御することができる新たなインタフェースを開発した。これにより、従来のインタフェースより遥かに高精度の操作や撮影ができることが分かった。この成果の論文は、ヒューマンコンピュータインタラクションのトップ国際会議である ACM CHI 2021 にフルペーパーが採択され、口頭発表した[1]。

＜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。同年キャノン株式会社，1992年ATR通信システム研究所，1997年大阪大学大学院工学研究科／情報科学研究科 助教授／准教授。2010年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。博士（工学）。1997年電子情報通信学会論文賞，2006年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007年・2020年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008年・2017年情報処理学会インタラクシオン ベストペーパー賞などを受賞。日本バーチャルリアリティ学会フェロー。国際会議 ACM CHI, SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE, EuroVR等でいろいろな役割を務めてきた。例えば SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair, CHI 2021 General Chair 等。IFIP TC-13 日本代表，ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等で Chair を務める。日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている。

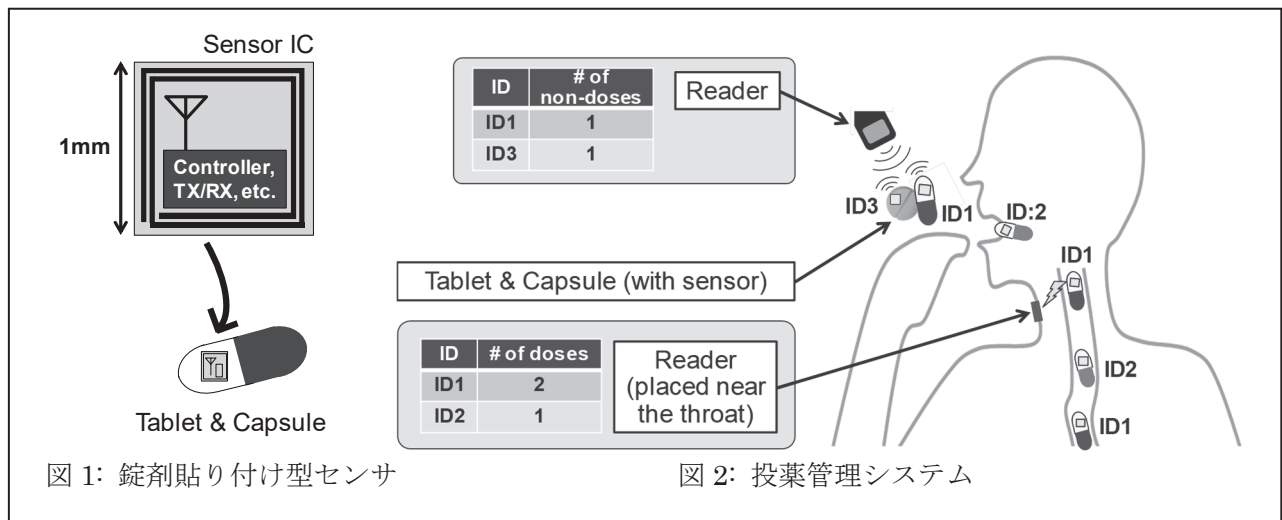
＜2021年度の主な発表論文等＞

- [1] Linfeng Chen, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, PinpointFly: An Egocentric Position-control Drone Interface using Mobile AR, Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), Article 150,13 pages, May 2021,
- [2] 塚原直樹, カラスをだます, NHK 出版, 2021年2月.

萌芽研究部

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

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



- 代表・教授（兼） 末松 憲治
 教授（兼） 羽生 貴弘
 教授（兼） 石山 和志
 教授（兼） 本間 尚文
 教授（兼） 陳 強（大学院工学研究科）
 客員教授 亀田 卓（広島大学）
 客員准教授 本良 瑞樹（静岡理科大学）

<研究室の目標>

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

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

<2021 年度の主な成果>

● 錠剤貼り付け型センサ用低消費電力送信機の開発

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

投薬管理システムにおいて重要となるのは上記の通りセンサ側回路であるが、特に通信の主体を考えると送信機と考えられる。これまでミリ波送信機の低消費電力化を目指し、コアとなるミリ波発振器について 60GHz 帯で 130 μ W での動作を実現した。また、ASK 送信機の低消費電力化を実現するため、従来用いられていたバッファアンプや外部変調スイッチを不要とした構成を提案してきた。発振器を直接オンオフすることで ASK 信号を直接生成し、かつ発振器のオンチップ共振器をループアンテナとしても用いることで、消費電力 180 μ W の低消費電力動作とチップから 15cm 距離での無線通信を実現した。

昨年度からは、通信距離の延長について検討を行ってきた。シリコン集積回路上のアンテナでの最大の懸念事項はシリコン基板の損失である。シリコン基板は比誘電率が 4.3 程度ありアンテナから数 μ m 程度しか離れていないため、アンテナから放射する電力が基板に誘導され大きな損失となる。そこで、基板損失の低減が期待できる高抵抗基板を用いる SOI プロセスの利用について検討した。更に、ループアンテナと基板間に同一形状から構成された無給電反射器を装荷することで利得を向上させることを目指した。本年度は、Global Foundries 社の 45nm SOI プロセスを用いて、提案回路を試作し、その評価を行った。図 3 左は従来の Bulk CMOS プロセスを用いての試作評価結果、図 3 右が今回の試作評価結果である。消費電力および通信距離を同一にしたとき、回路からソースフォロワバッファアンプを経由して直接信号を取り出した $P_{Probe\ out}$ が +4dB の出力向上を示したのに対し、提案アンテナを経由した出力 $P_{Ant\ out}$ は +9dB の出力向上を示した。この結果よりアンテナ性能が 5dB 向上したと考えられ、これは電磁界シミュレーションでの利得向上結果を合うものであった。この性能向上により通信距離が 27cm まで延長できると考えられる。

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

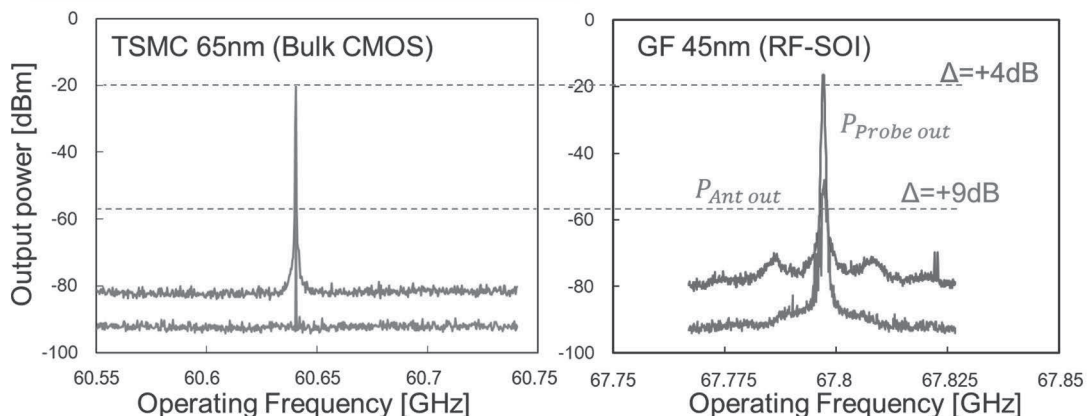


図 3: 試作評価結果

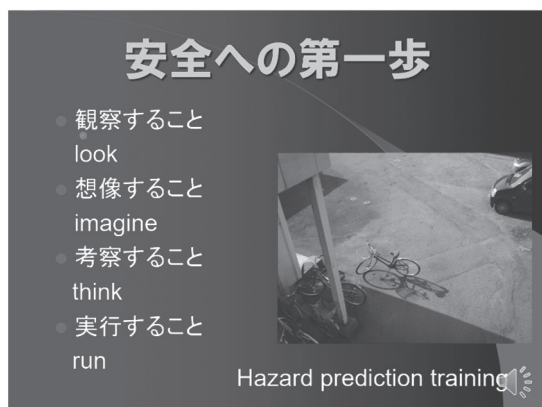
3. 8 安全衛生管理室

安全で快適な環境の実現と維持による研究支援

通研安全講習会2021

日時：2021年4月

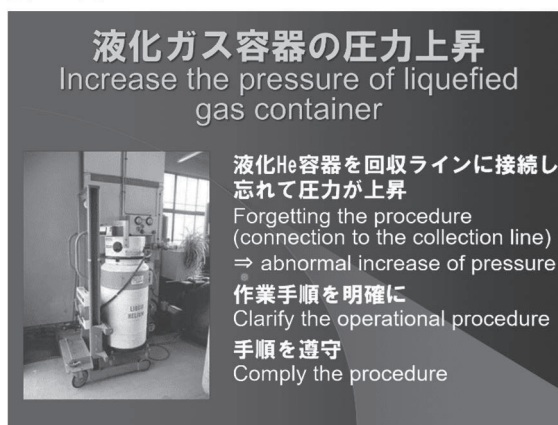
主催：安全衛生管理室



安全衛生講習会（Web 開催）

通研安全講習2021 高圧ガスの安全な取扱い

日時：2021年4月



高圧ガス保安講習会（Web 開催）

<安全衛生管理室の概要>

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

<研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割>

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

＜安全衛生管理室の活動内容＞

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

- 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会の Web 開催（参加者 438 名）
- 高圧ガス保安講習会の Web 開催（参加者 133 名）
- 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援
- 局所排気装置の定期自主点検の支援
- 危険物質総合管理システムの管理、支援
- 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集
- 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供
- 学内の他部局や監督官庁との連絡調整
- Web ページによる関連情報の提供
- 新型コロナウイルス感染防止対策の実施（消毒液の配布、Web ページによる情報提供など）

＜職員名＞

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

3. 9 やわらかい情報システムセンター



図1 電気通信研究所サーバールームの様子

図2 システムログ分析および可視化

<やわらかい情報システムセンターの概要と役割>

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

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

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

<やわらかい情報システムセンターの活動内容>

電気通信研究所ネットワーク・情報システムの管理・運用

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

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

- ・情報システムのアカウント管理
- ・通研 Web サイトの構築・更新
- ・通研に関連するイベント・カンファレンスの動画コンテンツ作成と公開
- ・所外に持ち出すモバイル機器のセキュリティ対策チェック
- ・計画停電時の予備電力によるシステム運用

<職員名>

(1) 運営委員会

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

(2) 職員

センター長(教授) 長谷川 剛
 教授(兼) 菅沼 拓夫
 准教授(兼) 北形 元
 技術職員 太田 憲治
 技術職員(兼) 丸山 由子
 技術補佐員 首藤 睦
 技術補佐員 大泉 璃歩

3. 10 研究基盤技術センター

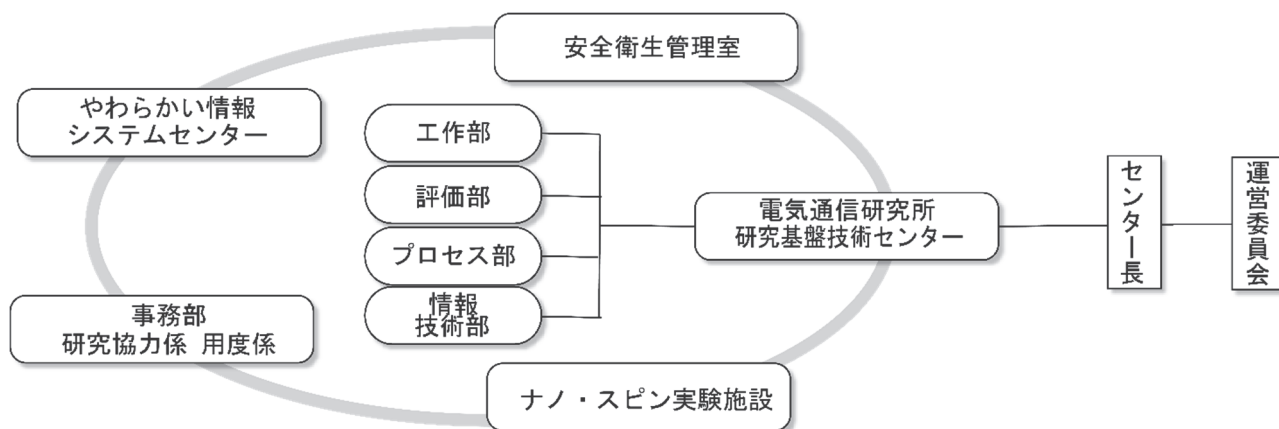


図1 研究基盤技術センター 組織図

<分野の目標>

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

<2021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、103件の依頼工作を提供した。この中で約8%は研究所外からの要求に応じたものである。図2は工作部所有の工作機械の一例である。

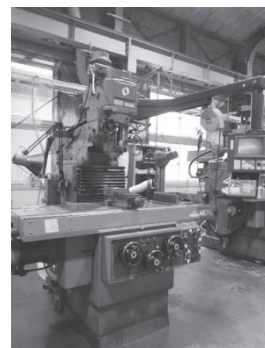


図2 MAKINO製NCフライス

2. 評価部

評価部では共通利用計測機器の提供、ガラス工作技術の提供、寒剤（液体ヘリウムと液体窒素）の供給を担っている。図3は提供している計測機器の例である。23の研究室が共通利用計測機器を利用した（総使用時間は2048時間）。58リッターの液体窒素を供給し、3研究室での液体ヘリウム利用において技術的支援を行った。また、事務部並びに安全衛生管理室と連携して研究所の安全維持に携わった。

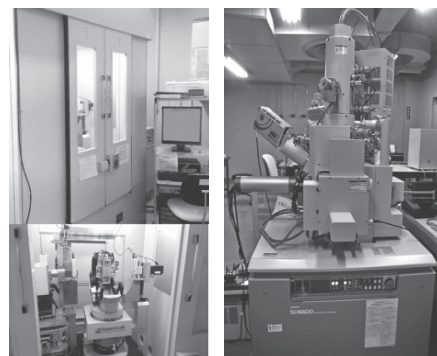


図3 評価部保有の分析装置
(左：X線回折装置、右：電子ビーム蛍光X線元素分析装置)

3. プロセス部

プロセス部はナノ・スピンの実験施設 共通部と協力して電子ビーム露光技術(図4)とフォトマスク作製技術(図5)、およびイオンビーム加工分析技術(図6)を提供している。今年度は271件の電子ビーム露光サービスと、27件のフォトマスク提供、およびイオンビーム加工解析サービスは5件であった。関連して、ナノ・スピン実験施設の附帯設備およびクリーンルームの維持・管理を支援している。

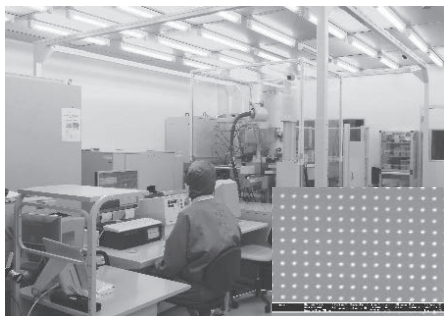


図4 電子ビーム露光装置



図5 フォトマスク作製装置



図6 イオンビーム加工解析装置

4. 情報技術部

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

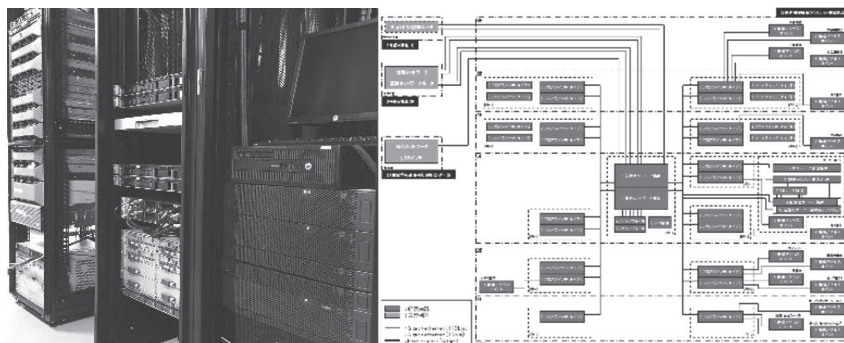


図7 通研ネットワークシステム (左：システムの様子、右：構成図)

<職員名>

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

3.1.1 機動的な研究グループ

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

<多感覚注意研究グループ>

複雑で動的な世界で生きるためには、注意による認識対象の選択と的確な行動の選択が不可欠である。膨大な数の注意研究の大半は認識に関連したもので、行動選択と注意の関係についてはほとんど理解されていない。本研究グループは、複合感覚を統合した空間表象（統合空間）における注意が行動選択に関わるとの作業仮説に基づき、行動に関する注意（行動注意）の解明を目指す。代表者らが開発した視覚的注意の計測方法を複合感覚（視聴覚）注意の計測に応用し、視覚注意過程の聴覚処理への影響を明らかにした。また、2019年度に採択された科研費基盤研究(A)「自発的注意による視聴覚空間注意の制御」において、自発的注意の計測方法の検討を開始した。

<サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ>

IoT、M2M、CPSといった次世代情報通信基盤のため、ソフトウェア構成理論、システムセキュリティ、ハードウェアセキュリティ、回路アーキテクチャおよび次世代プロセッサなどを専門とする多様な研究者による垂直統合的なアプローチにより、膨大かつ多様な情報発生源（センサ端末などのデバイスハードウェア）のレベルからシステムの安全性・信頼性を担保する新しい情報セキュリティ技術の確立を目指す。2021年度は、セミナー・勉強会を数回開催するとともに研究の方向性を検討・確認した。

<脳型ナノデバイス・回路研究グループ>

近年、脳型ハードウェアの研究が盛んであるが、未だ真の脳型には程遠く、大きなブレークスルーには至っていない。この研究グループは、脳の最新の生理学的知見に基づき、特に脳における生物物理やダイナミクスを、ナノデバイスや微細低消費電力集積回路の物理とダイナミクスを活用して再現する、新しい脳型情報処理アーキテクチャの開発とその集積回路による実装を目指している。本年度は、脳科学、スピントロニクスデバイス、アナログ及びデジタル集積回路、培養神経回路、非線形複雑ダイナミクスなどの幅広い観点から、ブレインモルフィックコンピューティングの研究を推進するため、JST CREST 佐藤プロジェクト、および、本研究グループが全面的に申請を支援して採択に至った学術変革領域研究(B) 山本プロジェクトへの協力、東北大学知のフォーラムにおける堀尾テーマプログラム Designing the Human-Centric IoT Society への参画、さらに 2021 Nonlinear Science Workshop との合同企画特別セッションへの協力などを行った。

<AI クローン研究開発グループ>

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

第 4 章 共同プロジェクト研究

4. 1 共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE (Center of Excellence) として、その成果をより広く社会に公開し、また研究者コミュニティ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「人間性豊かなコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては、公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会が設置されている。

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

今年度のテーマは、令和3年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の4テーマを取り上げることにした。

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

○令和3年度共同プロジェクト研究

令和3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、116件(A:79件, B:35件, S:1件, S国際1件)が採択された。なお、区分Aは各々の研究課題について行う研究であり、79件のうち71件が外部よりの提案、区分Bは短期開催の研究会形式の研究で、35件のうち32件が外部よりの提案のものである。また民間の研究者が参加している研究は区分Aの8件、区分Bの13件である。

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

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

また、新型コロナウイルス感染拡大の影響とそれにより発生する諸課題に取り組むために、令和2年度より緊急の共同プロジェクト研究(共プロU)の3件採択した。

共同プロジェクト研究

○共同プロジェクト研究の公募，実施について

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

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

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

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

令和3年度共同プロジェクト研究採択一覧

採択番号	採択回数	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分		特別支援 国際・若手
						旅費	物件費	
H31/A01	3	国際	Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures	MITIN Vladimir	尾辻 泰一	336,000	96,000	100,000
H31/A04	3	先端	Si-Ge系量子ドットの規則配列と電子輸送制御に関する研究	宮崎 誠一	佐藤 茂雄	328,000	96,000	0
H31/A05	3	萌芽・先端・国際	Quantifying the role of crystal and magnetic structure to spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnetic heterostructures	TRETIKOV/Oleg	深見 俊輔	214,000	96,000	100,000
H31/A06	3	萌芽	2d軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピン輸送機構解明と高効率磁化反転素子の開発	磯上 慎二	白井 正文	160,000	96,000	0
H31/A07	3	先端	量子検出のための高Q値マイクロ波共振器に関する研究	猪股 邦宏	佐藤 茂雄	348,000	96,000	0
H31/A09	3	萌芽	光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製	坂井 稔	片野 諭	178,000	96,000	0
H31/A10	3	先端	直流励起マイクロ波共振素子に向けたスピン軌道トルクとスピン波媒介同期による強磁性ダイナミクス制御の検討	神田 哲典	石山 和志	172,000	0	0
H31/A11	3	萌芽	傾斜型フィールドプレート付InGaAs HEMTを用いた光変調器駆動高速化の研究	椋田 洋太郎	佐藤 昭	130,000	96,000	0
H31/A12	3	萌芽	視覚モデル共有環境の構築	酒井 宏	塩入 諭	174,000	96,000	0
H31/A13	3	萌芽	マルチモーダル感情誘発システムに関する研究	田中 章浩	坂本 修一	187,000	96,000	0
H31/A18	3	萌芽・先端	利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現	松田 信幸	枝松 圭一	0	96,000	0
H31/A19	3	萌芽・先端・国際	Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy	Eli Christopher Inocencio Enobio	深見 俊輔	311,000	96,000	100,000
H31/A21	3	先端	ラピッドプロトotypingのためのソフトウェア無線機の同期性能の検討	山田 洋士	末松 憲治	255,000	96,000	0
H31/A23	3	萌芽・国際	学習支援のための追体験システムの構築	塩入 諭	塩入 諭	263,000	96,000	100,000
H31/A24	3	先端	インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析	内海 哲史	長谷川 剛	64,000	96,000	0
H31/A26	3	国際	Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications	AMINE El Moutaouakil	尾辻 泰一	348,000	96,000	100,000
H31/A28	3	萌芽	人体領域通信用無線伝搬路に関する研究	秋元 浩平	末松 憲治	138,000	96,000	0
R02/A01	2	国際	Development of graphene based devices for terahertz applications	MEZIANI Yahya Moubarak	尾辻 泰一	348,000	96,000	100,000
R02/A02	2	国際	人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化	谷井 孝至	山本 英明	348,000	96,000	100,000
R02/A03	2	先端	二次元材料を用いた光電子デバイスの開発	内野 俊	尾辻 泰一	0	96,000	0
R02/A04	2	国際	Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets	Singh Ravi Prakash	深見 俊輔	247,000	96,000	100,000
R02/A05	2	萌芽・先端・国際	新IV族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究	櫻庭 政夫	櫻庭 政夫	405,000	96,000	100,000
R02/A06	2	先端	微小領域における圧電定数の分布計測装置の開発	小田川 裕之	長 康雄	90,000	96,000	0
R02/A07	2	萌芽	スパッタリングプロセスを用いたβ-Ga2O3薄膜とデバイス形成	今泉 文伸	末松 憲治	241,000	96,000	0
R02/A08	2	萌芽・先端	負の透磁率を利用した移動体通信機器内の電磁クロストーク抑制に関する研究	室賀 翔	石山 和志	117,000	96,000	0
R02/A09	2	萌芽	金属ナノ接合における量子伝導の制御と機能性素子への応用	柴田 憲治	大塚 朋廣	0	96,000	0
R02/A10	2	萌芽・先端	high-k/Ge構造における界面物理構造のプロセス依存の解明	王谷 洋平	佐藤 茂雄	148,000	96,000	0
R02/A11	2	萌芽・先端	単結晶グラフェン機能デバイス	永瀬 雅夫	尾辻 泰一	277,000	96,000	0
R02/A12	2	国際	Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging	DMITRY Ponomarev	尾辻 泰一	348,000	96,000	100,000
R02/A13	2	先端	8K高精細画像センシング向け超低遅延動画符号化方式	松村 哲哉	尾辻 泰一	92,000	90,000	0
R02/A14	2	先端	ワイヤレスMassive Connect IoTの研究	小熊 博	末松 憲治	391,000	96,000	0
R02/A15	2	先端・国際	超100GHz帯光ファイバ給電ダイレクトデジタルRF送受信機の研究	末松 憲治	末松 憲治	336,000	96,000	100,000
R02/A16	2	萌芽	3Dプリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究	伊藤 桂一	末松 憲治	178,000	96,000	0
R02/A19	2	萌芽	モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発とその応用	真鍋 宏幸	高嶋 和毅	182,000	96,000	0
R02/A20	2	大型	ミニマルブレインの理解と再構築	神谷 温之	平野 愛弓	304,000	96,000	0
R02/A21	2	萌芽	耳介の3次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究	伊藤 仁	坂本 修一	138,000	96,000	0
R02/A22	2	萌芽・先端	新世代IoTプラットフォームの開発に関する研究	ザビル サラウッディンムハマド サリム	北形 元	96,000	96,000	0
R02/A23	2	若手	Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices	SAYAN Sarcar	藤田 和之	117,000	96,000	50,000
R02/A24	2	国際	Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system	CHINTAKOVID/Thip paya	北村 喜文	358,000	96,000	100,000

共同プロジェクト研究

R02/A25	2	先端	人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤	峰野 博史	北形 元	359,000	96,000	0
R02/A27	2	国際	色名に関する文化差および個人差の多言語での研究	徳永 留美	羽鳥 康裕	250,000	96,000	100,000
R02/A29	2	萌芽・国際	Cultural background and auditory selective attention	KIM Sungyoung	坂本 修一	231,000	96,000	100,000
R02/A30	2	若手	循環調節を介した予測的な視触覚の感度調整に関する研究	石井 圭	羽鳥 康裕	96,000	96,000	50,000
R02/A31	2	先端	非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開	堀尾 喜彦	堀尾 喜彦	355,000	96,000	0
R02/A32	2	先端	多感覚音空間知覚の規定因に関する研究	本多 明生	坂本 修一	142,000	96,000	0
R02/A33	2	先端・国際	脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ/メモリ コンピューティング基盤の研究	田中 陽一郎	田中 陽一郎	355,000	96,000	100,000
R03/A01	1	萌芽・先端	宇宙応用へ向けたスピントロニクスデバイスの放射線影響に関する研究	渡部 杏太	深見 俊輔	241,000	97,000	0
R03/A02	1	先端	Si・Ge混合プラットフォーム上への異種機能混載集積回路の実現	山本 圭介	櫻庭 政夫	333,000	97,000	0
R03/A03	1	若手	非磁性体中におけるスピンダイナミクスの制御に関する研究	石原 淳	金井 駿	151,000	97,000	50,000
R03/A04	1	国際	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成	金子 俊郎	平野 愛弓	277,000	97,000	100,000
R03/A05	1	萌芽・先端・若手	不揮発性磁気メモリへの応用に向けた磁性トポロジカル物質の電界制御に関する研究	千葉 貴裕	辻川 雅人	123,000	84,000	50,000
R03/A06	1	萌芽	量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究	岸本 康宏	大塚 朋廣	117,000	97,000	0
R03/A07	1	先端	原子層量子デバイスの開発	加藤 俊顕	大塚 朋廣	130,000	97,000	0
R03/A08	1	先端	光機能化を目指したナノカーボンのナノ光電子物性解明	片野 諭	片野 諭	155,000	97,000	0
R03/A09	1	先端	超広帯域通信のためのTHzオンチップアレイアンテナに関する研究	金谷 晴一	末松 憲治	155,000	97,000	0
R03/A10	1	萌芽	RTDの非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用	前澤 宏一	尾辻 泰一	247,000	97,000	0
R03/A11	1	先端	端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究	吉田 賢史	末松 憲治	266,000	97,000	0
R03/A12	1	先端・国際	5G・IoTのためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	丸山 珠美	末松 憲治	260,000	97,000	100,000
R03/A13	1	先端	広帯域光電子機能集積デバイスを用いた低遅延かつシームレスなアクセスネットワークに関する研究	吉本 直人	尾辻 泰一	193,000	97,000	0
R03/A14	1	国際	現実世界に重畳された情報インターフェイスを用いたIoTデバイスおよびロボットの操作・可視化技術	鈴木 遼	北村 喜文	214,000	97,000	100,000
R03/A15	1	萌芽	外界とのインタラクションを実現する再構成可能な頭部搭載型ディスプレイ	清川 清	北村 喜文	185,000	97,000	0
R03/A16	1	萌芽・先端	聴覚的注意の時空間特性に関する研究	寺岡 諒	坂本 修一	166,000	97,000	0
R03/A17	1	先端・国際	パノラマノイズ抑制条件の音空間知覚に関する研究	森川 大輔	坂本 修一	364,000	97,000	100,000
R03/A18	1	先端	オンライン学習者の生理心理学的データに基づく心的状態認識に関する基礎研究	小俣 昌樹	北形 元	181,000	97,000	0
R03/A19	1	国際	認知パフォーマンス向上のための立位誘導の有効性評価	Tag Benjamin	北村 喜文	138,000	97,000	100,000
R03/A20	1	先端	薄膜MEMキャパシタを用いたニューロモフィックスシステム	木村 睦	堀尾 喜彦	391,000	97,000	0
R03/A21	1	萌芽	マルウェアに起因する暗号化通信の分類に関する研究	佐藤 彰洋	北形 元	196,000	97,000	0
R03/A22	1	先端	IoTセキュリティの研究	小熊 博	本間 尚文	231,000	50,000	0
R03/A23	1	先端	先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発	打矢 隆弘	坂本 修一	317,000	97,000	0
R03/A24	1	先端	酸化チタンナノチューブ型高感度一酸化炭素センサの開発	木村 康男	平野 愛弓	80,000	97,000	0
R03/A25	1	萌芽・先端	デバイス・インフォマティクスの創成とBeyond5Gデバイスへの応用	吹留 博一	吹留 博一	229,000	97,000	0
R03/A26	1	萌芽・先端	実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究	志賀 元紀	大塚 朋廣	221,000	97,000	0
R03/A27	1	先端	遠距離における非接触電力伝送の検討	稲森 真美子	末松 憲治	321,000	97,000	0
R03/A28	1	萌芽・先端	空間知覚の身体性:異方性と個人差	寺本 渉	坂本 修一	234,000	97,000	0
R03/A29	1	先端	高機能軟磁性合金の評価とエネルギー関連デバイスへの応用	鈴木 茂	石山 和志	0	97,000	0
R03/A30	1	先端	視覚情報からの高臨場感ハイブリッド振動作成	山高 正烈	坂本 修一	214,000	97,000	0
R03/A31	1	先端	光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究	新谷 昌人	葛西 恵介	151,000	97,000	0
R03/A32	1	先端・国際	脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用	佐藤 茂雄	佐藤 茂雄	405,000	97,000	100,000
R03/A33	1	国際	仮想現実空間のためのキャラクター動画生成	幸村 琢	北村 喜文	214,000	84,000	100,000
H31/B01	3	萌芽	物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現	古閑 一憲	佐藤 茂雄	301,000	0	0
H31/B02	3	萌芽・先端・産学	固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓	小林 研介	深見 俊輔	345,000	0	0
H31/B03	3	萌芽	次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究	今野 佳祐	末松 憲治	214,000	0	0
H31/B04	3	国際	HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展	坂本 大介	北村 喜文	368,000	0	100,000
H31/B06	3	産学	質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究	岡嶋 克典	羽鳥 康裕	292,000	0	0
H31/B08	3	国際	地域活性化のためのUAV利活用技術とその社会実装に関する研究会	末田 航	北村 喜文	399,000	0	100,000
H31/B09	3	先端	マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ実用化研究の新展開	近木 祐一郎	八坂 洋	296,000	0	0
H31/B11	3	萌芽・産学	動的言語の静的解析技術とその実用化に関する研究	松本 行弘	上野 雄大	162,000	0	0

H31/B12	3	若手・国際	複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース	藤田 和之	藤田 和之	170,000	0	150,000
H31/B13	3	先端・大型	固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御	好田 誠	金井 駿	291,000	0	0
H31/B15	3	萌芽・先端・国際	多機能マルチメディア生成技術に関する研究	園田 光太郎	坂本 修一	405,000	0	100,000
H31/B16	3	萌芽	型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成	森畑 明昌	上野 雄大 大堀 淳	172,000	0	0
H31/B17	3	国際	PSDL2+: Advanced Physical Security of Deep Learning 2	BHASIN Shivam	本間 尚文	178,000	0	100,000
H31/B18	3	先端	モバイルエッジコンピューティングにおける動的サービス制御技術	ショウ シュン	長谷川 剛	155,000	0	0
R02/B02	2	先端	コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究	井上 崇	廣岡 俊彦	303,000	0	0
R02/B03	2	萌芽・先端・産学	将来無線のレイヤレスデザインとその応用	石橋 功至	末松 憲治	405,000	0	0
R02/B04	2	国際・産学	Beyond-5Gの実現に向けた高周波技術の探索	九鬼 孝夫	末松 憲治	405,000	0	100,000
R02/B06	2	若手・国際・産学	人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザインタフェース	山本 豪志朗	高嶋 和毅	304,000	0	150,000
R02/B07	2	先端	異種データ融合による人・社会センシング基盤	岡部 寿男	尾辻 泰一	403,000	0	0
R02/B11	2	萌芽・国際・産学	音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発	塚原 直樹	北村 喜文	288,000	0	100,000
R02/B12	2	萌芽・国際	脳型LSIとその関連技術国際共同研究	羽生 貴弘	羽生 貴弘	395,000	0	100,000
R02/B14	2	国際	3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	櫻井 研三	坂本 修一	401,000	0	100,000
R02/B15	2	萌芽	半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発	手老 龍吾	平野 愛弓	158,000	0	0
R03/B01	1	先端	スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓	三浦 良雄	白井 正文	218,000	0	0
R03/B02	1	大型	光のモード高度制御に関する研究開発	浜本 貴一	吉田 真人	260,000	0	0
R03/B03	1	萌芽	知的生産性場のモデル化と生産性向上のための計算機による介入手法の検討	伊藤 雄一	高嶋 和毅	280,000	0	0
R03/B04	1	国際	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	廣瀬 文彦	平野 愛弓	397,000	0	100,000
R03/B05	1	大型	高次元・時空間ニューロダイナミクスとそれに基づくシステム構築への展開	廣瀬 明	佐藤 茂雄	356,000	0	0
R03/B06	1	萌芽・先端	制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装	関屋 大雄	堀尾 喜彦	249,000	0	0
R03/B07	1	若手・産学	アフターコロナ時代の適応型ワークスペースに関する研究	藤田 和之	藤田 和之	214,000	0	50,000
R03/B08	1	萌芽・先端	進化計算の機械学習への適用に関する研究	神野 健哉	堀尾 喜彦	315,000	0	0
R03/B09	1	国際	社会行動の脳内機序解明にむけたヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討	筒井 健一郎	塩入 諭	391,000	0	100,000
R03/B10	1	萌芽	深部体温変動検出を用いたVR酔いによる主観的不快感の推定手法	湯田 恵美	北村 喜文	80,000	0	0
R03/B11	1	萌芽	アファンタジア(aphantasia)に関する心的イメージ情報処理特性の検討	高橋 純一	坂本 修一	183,000	0	0
R03/B12	1	先端	持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究	石田 繁巳	北形 元	391,000	0	0
R02/S01	2		先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用	三村 秀典	八坂 洋		1,000,000	
R03/SI01	1		人間科学とAI技術	Su-Ling Yeh	塩入 諭		1,000,000	
R02/U01	-		オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討	塩入 諭	塩入 諭	178,000	97,000	-
R03/U01	-		オンライン環境におけるアンサンブル演奏の遅延の影響の検討	樋田 浩一	山本 浩輔	122,000	44,000	-
R03/U02	-		Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	CHEN Chien-Chung	Chia-hei Tseng	231,000	97,000	-

採択番号 (Grant No.) : H31/A01

Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures

[1] 組織 (Research Organization)
University at Buffalo, SUNY, USA
研究代表者 (Principal Investigator) :
Prof., Dr. MITIN, Vladimir
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :
Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC, Tohoku Univ.)
研究分担者 (Project Member List) :
Assoc. Prof. SATOU Akira (RIEC, Tohoku Univ.)
延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 3人

[2] 研究経過 (Summary)
We propose and developed theory [1] of injection driven thermal light emitters (IDLEs) based on the vertical hexagonal boron nitride layer/graphene layer/ hexagonal boron nitride layer (hBNL/GL/hBNL) heterostructures and analyze their dynamic response. Also, we report on the modulation characteristics of the uncooled terahertz (THz) and infrared (IR) detectors using uniform graphene layers (GLs) and perforated graphene layers (PGL). Our analysis [2] shows that the PGL detectors could have more than an order of magnitude smaller dark current compared to more conventional GL reversed biased photodetectors operating in the same frequency range. Heat capacity is very important for the optimization of different GL-based high-speed devices. Therefore, we analyzed the statistical characteristics of quasi-nonequilibrium two-dimensional electron-hole plasmas [3] and demonstrated that heat capacity of the weakly pumped intrinsic or weakly doped GLs normalized by the Boltzmann constant is equal to $c_{GL} = 6.58$ instead of $c = 1$ as it is true for classical two-dimensional carriers. In a series of papers [4-6] we proposed and developed theory of new devices based on Coulomb electron drag. These results were also presented in three presentations [7-9] and one of those [8] was invited presentation. Also, our paper [6] was highlighted on the cover of the journal. Major results are highlighted below in the short texts, Figures and Figure captures. The details are in cited references [1-9]

[3] 成果 (Results)
(3-1) 研究成果 (Research Results)

We developed theory [1] of injection driven thermal light emitters (IDLEs) based on the vertical hexagonal boron nitride layer/graphene layer/ hexagonal boron nitride layer (hBNL/GL/hBNL) heterostructures and analyze their dynamic response. The operation of the IDLEs is associated with the light emission of the hot two-dimensional electron-hole plasma (2DEHP) generated in the GL by both the lateral injection from the side contacts and the vertical injection through the hBNL (combined injection) heating the 2DEHP. The temporal variation of the injection current results in the variation of the carrier effective temperature and their density in the GL leading to the modulation of the output light. An effective heat removal enables a large modulation depth at the modulation frequencies about dozen of GHz in contrast to the standard incandescent lamps. We compare the IDLEs with the combined injection under consideration and IDLEs using the carrier Joule heating by lateral current. The obtained results can be used for the IDLE optimization. Figure 1 shows the schematic views of the IDLEs based on the hBNL/GL/hBNL heterostructures with the combined (vertical-lateral) and double vertical injection. Figure 2 shows the spectral dependence of the output radiation $S_{h\nu}$ for different normalized injection current densities i_0 . Figure 3 presents the output power P versus the normalized injection current density i_0 for the same parameters as in Fig. 2. As follows from Figs. 2 and 3, the IDLEs can be effective sources of near-infrared and visible light.

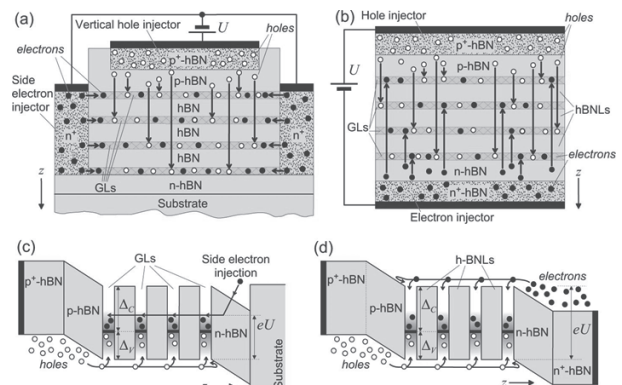


Figure 1 Schematic views of the IDLE based on heterostructures (a) with the top p+-p-hBN vertical hole injector and the GLs separated by the hBNLs and supplied with the n+ side contacts and (b) with the top p+-p-hBN hole

and bottom n+n-hBN vertical injectors and the band diagrams of (c) the IDLE with vertical-lateral injection and (d) vertical double injection under applied voltage U . Opaque and open circles correspond to electrons and holes, respectively. Arrows show the carrier movement directions.

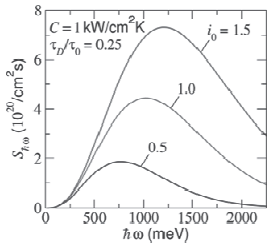


Figure 2. Emitted radiation spectral characteristic $S_{h\omega}$ for different normalized injection current densities i_0 ($\Delta_j = 1210$ meV, $\tau_D/\tau_0 = 0.25$, and $T_0 = 25$ meV).

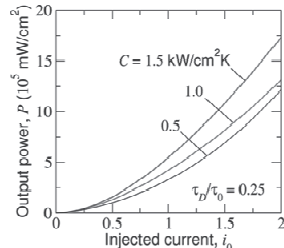


Fig. 3. Output radiation power (per unit of square) as a function of normalized injection current densities i_0 for different values of the thermal conductivity C . ($\Delta_j = 1210$ meV, $\tau_D/\tau_0 = 0.25$, and $T_0 = 25$ meV).

We report on the modulation characteristics of the uncooled terahertz (THz) and infrared (IR) detectors using uniform graphene layers (GLs) and perforated graphene layers (PGL). Our analysis [2] shows that the PGL detectors could have more than an order of magnitude smaller dark current compared to more conventional GL reversed biased photodetectors operating in the same frequency range. The modulation mechanism for the simulated photodetectors is the variation of the density and effective temperature of the two-dimensional electron-hole plasma with the varying intensity of the THz or IR radiation. Our simulations predict a reasonable modulation depth up to the modulation frequencies of 50 GHz for the impinging radiation frequencies up to the mid-IR range. Figure 4 shows the structures and the band diagrams of the devices under study. The obtained results were explained by a change in the phase shift between the quasi-Fermi and the effective temperature oscillations with a change of the modulation frequency.

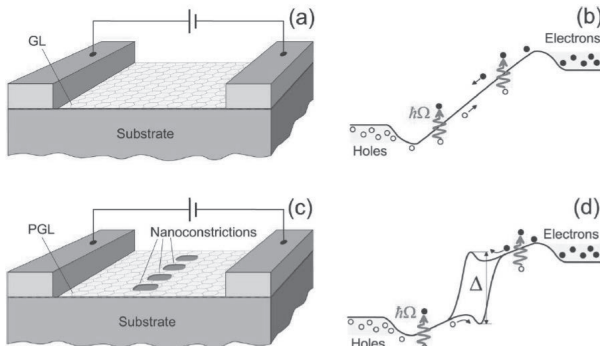


Fig. 4. Schematic view of the device structures and their band diagrams: (a) and (b) for a GL photoreistor with a uniform GL channel and (c) and (d) for a PGL photodiode with the barrier-limited carrier transport via the perforated GL region (with the barrier heights in the nanoconstrictions $\approx \Delta/2$). Vertical wavy arrows indicate the interband absorption of photons with energy $h\Omega$.

We analyzed the statistical characteristics of quasi-nonequilibrium two-dimensional electron-hole plasmas in graphene layers (GLs) and graphene bilayers (GBLs) and evaluate their heat

capacity [3]. The GL heat capacity of the weakly pumped intrinsic or weakly doped GLs normalized by the Boltzmann constant is equal to $c_{GL} = 6.58$. With varying carrier temperature, the intrinsic GBL carrier heat capacity c_{GBL} changes from $c_{GBL} = 2.37$ at $T = 300$ K to $c_{GBL} = 6.58$ at elevated temperatures. These values are markedly different from the heat capacity of classical two-dimensional carriers with $c = 1$. The obtained results can be useful for the optimization of different GL- and GBL-based high-speed devices.

We demonstrated [4] that a lateral n+i-n+n-graphene field-effect transistors (GFETs) (see Fig. 5) might lead to a substantial Coulomb drag of the quasiequilibrium electrons (QE) due the violation of the Galilean and Lorentz invariance in the systems with a linear electron dispersion. The electron drag lead to negative real part of the resistance ($\text{Re } Z_x < 0$), and its imaginary part ($\text{Im } Z_x$) changes its sign turning zero at the plasmonic resonance [5], see Fig. 6. This effect can result in S-shaped current-voltage ($I-V$) characteristics (Fig. 7). The resulting negative differential conductivity enables the hysteresis effects and current filamentation that can be used for the implementation of voltage-switching devices. Due to a strong nonlinearity of the $I-V$ characteristics, the GFETs can be used for an effective frequency multiplication and detection of terahertz radiation.

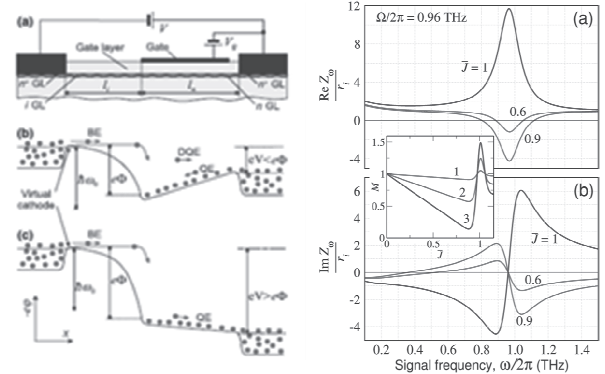


Figure 5.

Figure 6.

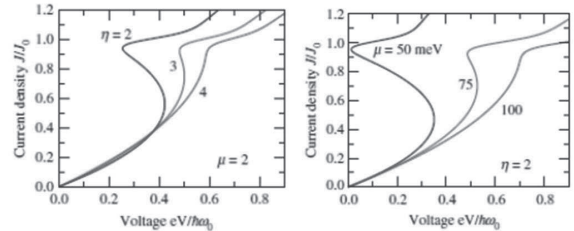
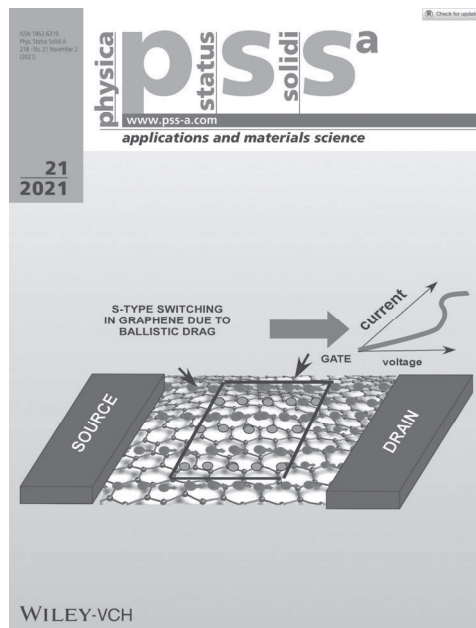


Figure 7. GFET normalized $I-V$ characteristics (I / J_0 versus $eV/h\omega_0$) for the Fermi energy $\mu = 60$ meV and different η (left) and different μ (right).

We demonstrated that the drag effect exhibits a maximum in certain values of the Fermi energy (i.e., the gate voltage and density of the remote donors) and the temperature [6]. We calculated parameter

determining the shape of the current–voltage characteristics (monotonous or S-shaped). The obtained results can be used for the optimization of the structures under consideration for different devices, in particular, voltage- and current-driven switches, frequency multipliers, and terahertz emitters.

This paper [6] was highlighted on the cover of the journal with the image that is shown below.



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc.) In the collaboration the theory of new and efficient THz devices was developed. This is an important contribution to terahertz devices in general and especially to plasmonic enhancement of device performance and it places the group of Prof. Taiichi Otsuji on the front line of world specialists in THz devices that operate at elevated temperatures. In our future research a special attention will be paid to enhancement of efficiency of graphene-based devices and search for new operation principals.

[4] 成果資料 (Publications)

- [1] “Theoretical analysis of injection driven thermal light emitters based on graphene encapsulated by hexagonal boron nitride,” V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. G. Leiman, P. P. Maltsev, V. E. Karasik, V. Mitin, and M. S. Shur, *Opt. Mater. Express* 11(2), 468-486 (2021), <https://doi.org/10.1364/OME.412973>.
- [2] “Modulation characteristics of uncooled graphene photodetectors,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Leiman, V. Mitin, and M. S. Shur, *J.*

Appl. Phys. 129, 214503 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0046215>.

[3] “Heat capacity of nonequilibrium electron-hole plasma in graphene layers and graphene bilayers,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M. S. Shur, *Phys. Rev. B* 103, 245414 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.245414>.

[4] “S-Shaped Current-Voltage Characteristics of n+-i-n-n+ Graphene Field-Effect Transistors due to the Coulomb Drag of Quasiequilibrium Electrons by Ballistic Electrons,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, *Phys. Rev. Applied* 16, 014001 (2021), DOI: 10.1103/PhysRevApplied.16.014001.

[5] “Coulomb electron drag mechanism of terahertz plasma instability in n+-i-n-n+ graphene FETs with ballistic injection,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur, and T. Otsuji, *Appl. Phys. Lett.* 119, 093501 (2021); doi: 10.1063/5.0061722.

[6] “Coulomb Drag by Injected Ballistic Carriers in Graphene n+-i-n-n+ Structures: Doping and Temperature Effects,” V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M. S. Shur, *Phys. Stat. Sol. (a)* Vol. 218, No. 17, 100535, 2021

<https://doi.org/10.1002/pssa.202100535> +Front Cover

[7] “Current driven plasma instability in graphene-FETs with Coulomb electron drag,” M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M. S. Shur, *International Conference on Microwaves, Communications, Antennas, Biomedical Engineering & Electronic Systems, IEEE COMCAS 2021, Tel Aviv, Israel, November 1-3, 2021, Book of abstracts RF3 10.*

[8] “Plasma Instability and Generation of THz Radiation using Graphene-based Field-effect Transistors and Lateral Diodes with the Coulomb Electron Drag,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin, and M. Shur, invited talk at the 9th Russia–Japan–USA–Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies "RJUSE TeraTech-2019," November 1-4, 2021, Tohoku University, Sendai, Japan, book of Abstracts, pp. 6-7.

[9] “Coulomb drag in graphene FETs with the ballistic electron injection,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M. Shur, T. Otsuji, *Proceeding of the 12th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference, PRGR2021, October 10-14, 2021, Yonsei University, Seoul, Korea, p. 437.*

採択番号： H31/A04

Si-Ge 系量子ドットの規則配列と電子輸送制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

宮崎 誠一 (名古屋大学大学院工学研究科)

通研対応教員：

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

牧原 克典 (名古屋大学大学院工学研究科)

室田 淳一 (東北大学マイクロシステム
融合研究開発センター)

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

大田 晃生 (名古屋大学大学院工学研究科)

東 清一郎 (広島大学大学院先進理工系科学
研究科)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

従来理論検討に留まっているセル・オートマトンや量子コンピュータに代表される量子情報処理デバイスの開発は、近年ますますその重要性を増している。

本プロジェクトでは、少数電子系の量子物性が顕在化する Ge コア/Si シェル構造を持つシリコン-ゲルマニウム系半導体量子ドット (シリコン系スーパーアトム構造) の多重連結構造を形成する上で必須となる、ドットを一次元、二次元および三次元に高密度・近接規則配列するためのプロセス技術を開発する。これにより、ドット間距離と配置パターンを精密制御して形成したドット多重連結構造において、ドット間の結合状態 (波動関数の重ね合わせ状態) やクーロン相互作用を反映した荷電状態や電子輸送現象を明らかにし、シリコンプラットホーム上での実現が期待されている量子情報処理デバイスへ展開する。

初年度の研究では、SiO₂ 膜表面の OH 結合終端領域に、Si 量子ドットを同一基板内の酸素終端領域に対して選択比~58 で選択成長させることができ、さらに~50nm 幅の OH 終端領域において、SiGe 量子ドットを一次元配列することに成功した。2年度目は、Si 系量子ドットで生じる離散化した帯電状態の理解とその制御に向け、縦積み連結ドットを低密度形成し、個々の連結ドットにおける帯電状態および連結ドット内での電荷移動を AFM/ケルビンプローブモードにより評価した結果、縦積み連結ドットの上部ドットに

単一電子注入した場合、一旦上部ドットにおいて保持された後、下部ドットに移動し、下部ドット内で安定保持されることを明らかにした。最終年度は、Si 系量子ドットの一次元配列制御技術に関する研究を実施し、~30nm 幅の OH 終端 SiO₂ ラインパターン上において Si 量子ドットを一次元配列することに成功した。

また、最終年度は、本共同プロジェクトを推進するために、Web 会議 (5 回) 実施し、共同研究分担体制を築くと共に、本プロジェクト分担者の室田淳一名誉教授が中心的に組織・運営した"240th ECS Meeting (オンライン開催, Oct. 10-14, 2021)"での講演や意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、SiO₂ 表面に局所的に Si-OH 結合を形成することで、Si 量子ドットの配列制御を試みた。具体的には、p-Si(100)基板上に 1000°C で膜厚~3.0nm の SiO₂ 膜を形成後、EB リソグラフィーおよび RIE による dry エッチングにより、線幅~30nm (スペース幅~50nm) の SiO₂ ラインパターンを形成した。その後、0.1%HF 処理を行うことで、SiO₂ ライン表面を OH 終端、Si 表面を H 終端した後、O₂ 中雰囲気において 800°C で熱酸化した。800°C の熱処理においては、表面 Si-OH 結合は安定保持される一方、H 終端 Si 表面には Si-O-Si 結合で終端された膜厚~1nm の SiO₂ 膜が形成される。これにより同一基板内にライン状に OH 終端した SiO₂ パターンが形成される。その後、同一チャンバ内で大気に曝すことなく、pure-SiH₄ の LPCVD(550°C、90Pa) による Si 量子ドットの自己組織化形成を行った。

SiO₂ ライン&スペースパターン形成後の SEM 像から、~30nm の SiO₂ ラインの形成が確認できる(Fig. 1)。表面 OH 終端した SiO₂ 薄膜(パターン形成無し)上に SiH₄-LPCVD を行った場合、Si 量子ドットが高密度・一括形成(~10¹¹cm⁻²)が認められるものの、SiO₂ ライン&スペースパターン上に SiH₄-LPCVD を行った場合では、SiO₂ ラインパターン上でのみ Si 量子ドットの形成が認められることから、酸素終端領域のドット密度は極めて抑制されていることが分かる。これは、反応活性な OH 終端表面には高密度に核形成されるが、酸素終端領域では、SiH₄-LPCVD において核発生が抑制

されることに加え、ドット成長において臨界サイズに達しない初期核が熱解離するためと考えられる。

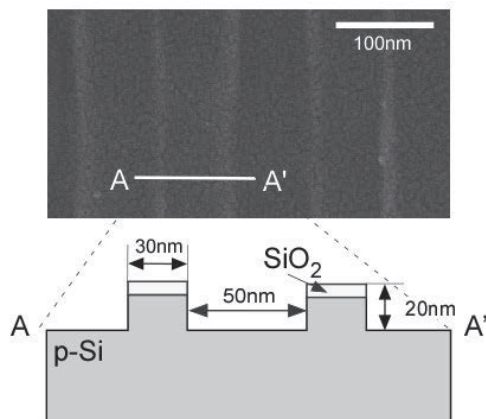


Fig. 1 SEM image and schematical illustration of line and space patterned ~ 3.0 nm-thick $\text{SiO}_2/\text{p-Si}(100)$.

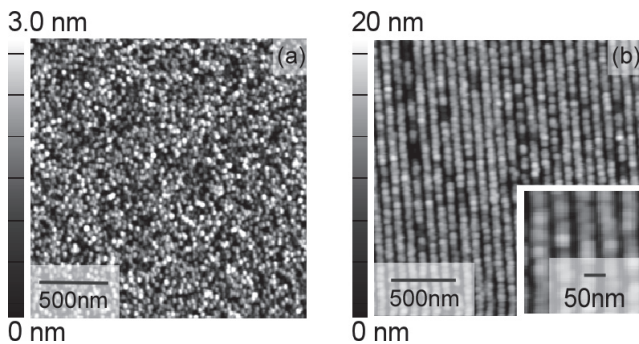


Fig. 2 AFM topographic images taken after SiH_4 -LPCVD on (a) SiO_2 layer, and (b and b') line and spaced SiO_2 surface.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで得られた成果は、電子相関を動作原理とした量子演算ユニットの開発に具体的な指針を与える。

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

採択番号 (Grant No.) : H31/A05

Quantifying the role of crystal and magnetic structure to spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnetic heterostructures

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Dr. Oleg A. Tretiakov (UNSW)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. Dr. Shunsuke Fukami

研究分担者 (Project Member List) :

1. Dr. Samik DuttaGupta (RIEC)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

The capability to utilize antiferromagnets (AFMs) as multifunctional components of spintronic devices has opened new avenues for future spintronic devices. Previous works utilizing antiferromagnetic heterostructures have demonstrated promising characteristics suitable for AFM-based memories, AFM/ferromagnet (FM) spin-orbit torque (SOT) device for spintronics-based neuromorphic hardware, and skyrmion-based computing. Realizing the full potential of antiferromagnetic spintronics requires AFM-based components, which can complement the essential functions of existing FM-based spintronics devices. To achieve this objective, the capability to electrically record and retrieve information from an antiferromagnetic material is of paramount importance. Mn-based binary metallic alloys correspond to a class of specialized materials, utilized in spin-valve structures owing to their capabilities of significant exchange bias field, low processing temperatures, and compatibility with Si-based electronics. The favorable combination of room temperature ordering, high thermal stability, significant uniaxial magnetic anisotropy and magnetoresistive effects in PtMn for reading renders this material feasible for future antiferromagnetic spintronic devices.

Here, we show electrical writing of information in polycrystalline AFM/heavy-metal

(HM) structures. Electrical measurements supplemented by magnetic dichroism imaging show a deterministic reversal of the antiferromagnetic Néel vector in the metallic AFM PtMn. Comparison of electrical measurements of antiferromagnetic heterostructures with and without HM layer clarifies the underlying role played by SOTs in switching. The present experimental results demonstrate the prospect of metallic AFMs for future antiferromagnetic spintronic devices.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

The stack structures are deposited by magnetron sputtering on highly-resistive Si substrates with a natural oxidation layer. We utilize sub./Ta(3)/Pt(3)/MgO(2)/Pt_{0.38}Mn_{0.62}(10)/Pt(5)/Ru(1) (PtMn/Pt, hereafter), where the numbers in parentheses are the nominal thicknesses in nm (Fig. 1(a)). The obtained results are compared to sub./Ta(3)/Pt(3)/MgO(2)/Pt_{0.38}Mn_{0.62}(10)/Ru(1) (PtMn/Ru, hereafter). The deposited films are patterned into star-shaped structures by photolithography and Ar ion milling. After fabrication, we anneal the structures at 300 °C for 2 hours.

Figures 1(b)–(e) shows the electrical switching measurement procedure. Ten current pulses are sourced along the horizontal arm (A→B) followed by ten pulses along the vertical arm (C→D). We measure R_{Hall} after each pulse, enabling us to detect possible changes in Néel vector under the application of current. Figure 1(f) shows the results of PtMn/Pt for different current density amplitudes. The application of pulse “1” results in a high-resistance state while pulse “0” corresponds to a low-resistance state. We also compare the experimental results for PtMn(10)/Pt with similar measurements on

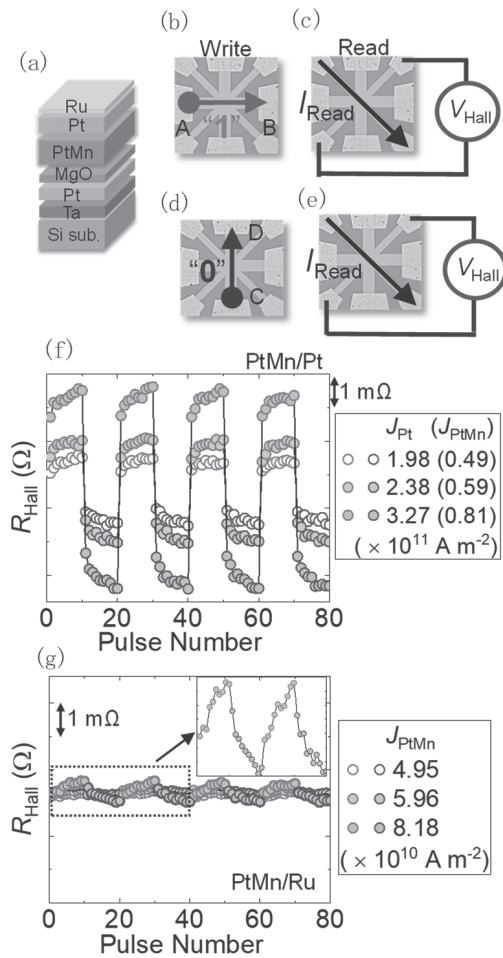


Fig. 1. (a) Schematic diagram of the stack structure. (b)–(e) Optical micrograph of the device structure and schematic diagram of the measurement set-up. Write currents are sourced along the paths from A(C) to B(D), respectively. Reading is achieved by measuring transverse Hall voltage (V_{Hall}) under the application of read current (I_{Read}) along the arm aligned at 45° to the write channel. (f) Experimental results of current-induced manipulation of PtMn/Pt under varying current densities through the stack. (g) Results of current-induced manipulation of PtMn/Ru under varying current densities through the stack. Inset shows a magnified view of R_{Hall} vs pulse number for the area bounded by the rectangular box.

PtMn(10)/Ru at identical device dimensions (Fig. 1(g)). As opposed to distinct reversible R_{Hall} states in PtMn(10)/Pt, we observe a gradual change of R_{Hall} in PtMn(10)/Ru, with a much smaller magnitude. Our experimental results demonstrate the possibility of current-induced switching of antiferromagnetic PtMn by SOTs, relevant for AFM-based future spintronic devices. The present study also shows that uniaxial

metallic antiferromagnets are suitable candidates for antiferromagnetic spintronics.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc.)

The momentum in the research of AFMs is immense, however a lot remains to be understood. Manipulation of antiferromagnetic order parameter by current forms the core of the development of next generation antiferromagnetic spintronic architectures. Our primary goal is the clarification of underlying physics for current-induced manipulation of AFMs. The obtained results demonstrate novel ways to storage and transfer of information using AFM heterostructures. The proposed research offers novel insights bearing potential to introduce new concepts in the field of spintronics.

[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)

- (1) S. DuttaGupta, O.A. Tretiakov *et al.*, Nature Commun. **11**, 5715 (2020).
- (2) R. Roy Chowdhury, S. DuttaGupta, O.A. Tretiakov *et al.*, Sci. Rep. **11**, 14121 (2021).
- (3) S. DuttaGupta *et al.*, “Electrical switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures”, National Conference on Low Dimensional Materials, June 2nd–4th 2021, UM-DAE Center for Excellence in Basic Sciences, Mumbai, India (**online presentation**).
- (4) S. DuttaGupta, “Metallic Antiferromagnetic Spintronics”, Jan 22nd, 2021, Condensed Matter Physics Webinar organized by IIT Goa (**invited presentation**).
- (5) S. DuttaGupta *et al.*, “Metallic Antiferromagnets for spintronics”, Oct. 20th–25th 2019, International Workshop–Spintronics 2019, Olliyantaytambo, Peru (**invited presentation**).
- (6) S. DuttaGupta *et al.*, “Current-induced switching of antiferromagnet/non-magnet metallic structures”, Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Nov. 4th– 8th 2019, Las Vegas, USA.

採択番号：H31/A06

2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピントランスポート機構解明と 高効率磁化反転素子の開発

[1] 組織

研究代表者：

磯上 慎二 (物質・材料研究機構)

通研対応教員：

白井 正文 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

浅野 秀文 (名古屋大学 工学研究科)

末益 崇 (筑波大学 数理物質系)

角田 匡清 (東北大学 工学研究科)

古門 聡士 (静岡大学 工学部)

羽尻 哲矢 (名古屋大学 工学研究科)

伊藤 啓太 (東北大学 金属材料研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

磁気記録デバイスなどの高速化・省エネルギー化に関する研究は、近年ますますその重要度を増している。本プロジェクトでは、超高速・省エネルギー素子を実現するため、遷移金属磁性元素に窒素などの軽元素を添加した新しいスピントロニクス材料の創成、試作素子における磁化反転の実証、第一原理計算と理論モデルを併用した磁気輸送特性の微視的理解を目的として、研究を実施した。

本プロジェクトは本年度で最終となる。これまでは、遷移金属窒化物薄膜の構造歪みと低温での異方性磁気抵抗の関連の解明、遷移金属窒化物を用いた素子における磁気構造の反転閾値電流密度の低減、遷移金属窒化物細線における高速磁壁移動の実証といった研究成果を得た。本年度は、将来的に量子情報ストレージで重要な技術になると言われているスキルミオン磁気構造、熱電発電に寄与する遷移金属窒化物の開発、金属元素添加を通じた磁性制御など、さらに実用性の高い技術革新をめざした基礎研究を展開した。

研究活動状況の概要は、新型コロナウイルス感染症の拡大防止の観点から、対面で研究打合せ等を実施することができなかったため、研究活動は本プロジェクトに参加している研究者それぞれの所属機関において遂行した。成果報告会はディスカッションの充実化を図るため、オンラインセミナー形式で分散開催した。

(第一回) 令和4年3月2日(水) 16:00-19:00

(第二回) 令和4年3月9日(水) 16:00-18:00

(第三回) 令和4年3月11日(金) 16:30-17:30

いずれも7名。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

電流誘起磁化反転に要する臨界電流密度 (J_c) の大幅な低減のため、Mn 基窒化物薄膜の開発と反転特性評価実験を行った。当初はスピントラックトルクによる電流誘起磁化反転を狙うため、Ptなどのスピントラック材料とのヘテロ接合素子を用いた計画であったが、スピントラック材料を不要としMn 基窒化物薄膜単一層にて磁化反転できることを本材料系で新しく実証した(期待を上回る成果)。また、電流誘起磁化反転素子で標準となっているCoFeB 磁性膜の場合に比べて約1桁程度小さい 1 MA/cm^2 以下の J_c で磁化反転できることを実証した。これは磁気メモリ素子を想定した場合、ヘテロ接合素子あるいは強磁性トンネル素子などのデバイスが不要となるため、従来に無いシンプルな構造で高集積性の向上に直結する意義のある成果である。単一磁性層の自己誘導トルクに関しては、反強磁性層、強磁性層、フェリ磁性層のいずれにおいても報告されていることを鑑みると、本研究のMn 基窒化物薄膜で観測された結果は物理的に説明できる可能性がある。以上のような単一層における高効率な電流誘起磁化反転の原理を説明するため、本研究の最後に磁気構造解明を目的としたトポロジカルホール効果の測定を実施した。その結果、Mn 基窒化物薄膜の磁化過程では説明できない成分が異常ホール信号に重畳していることが判った。これはMn 磁気モーメントの面内非共線構造を裏付けていることから、このような磁気構造が高効率かつ単一層での電流誘起磁化反転を誘発

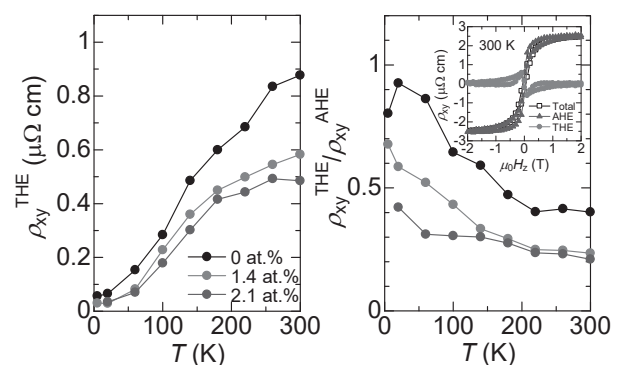


Fig. 1 Mn₄(N,B)薄膜におけるトポロジカルホール抵抗率 (ρ_{xy}^{THE}) (左), 異常ホール抵抗率に対する比 ($\rho_{xy}^{\text{THE}}/\rho_{xy}^{\text{AHE}}$) (右) の測定温度依存性。

したものと結論づけた。非共線型磁気構造はスキルミオン格子などの特異な磁区構造の発現に寄与するため、将来の大規模量子情報に対応したストレージ技術に貢献できる可能性があり、その電流制御、温度制御、ダイナミクスに関する研究が行われている。磁気特性の測定温度依存性を実験したところ、当該 Mn 基窒化物薄膜は室温から 50 K までの温度範囲に比べて、更に低温側で非共線成分の安定性が高まることを明らかにした。また、結晶配向面が (111) 面から (110) 面に変更されたサンプルでも Mn 磁気モーメントの面内非共線構造が発現することを明らかにした。最後に 2p 軽元素のひとつであるホウ素を最大 2.4 at.% まで添加したところ、面内非共線構造の安定性はホウ素組成量の増加に伴って、(111) 面配向の場合は単調減少、(110) 面配向の場合は途中で増大に転じる現象を観測した。これは、わずかな軽元素添加でありながら、効率的に Mn の磁気構造を制御可能であることを示唆している。よって今後の発展として、スキルミオン格子技術に応用し、効率的なスキルミオン制御が可能になるものと期待される。

以上の成果に加えて反強磁性薄膜の磁化反転デモンストレーション、異常ネルンスト効果の実験、異方性磁気抵抗効果の理論解析を行いそれぞれ以下のような成果を得た。

(i) 窒化物反強磁性薄膜 (Mn₃GaN) における高効率磁化反転実証

面内非共線型 Mn 基窒化物薄膜に対して、他の化合物についても同様の検討を行った。Mn₄N 結晶のコーナーサイトを Ga で置換したところ、(111) 面内で反強磁性配列した磁気構造が得られることを明らかにした。非共線型 Mn₄N と異なるのは、磁気モーメントが補償することで面直方向に磁化が生じない点にあることを磁気測定から確かめた。Ta とのヘテロ接合にて、スピン軌道トルクによる電流誘起磁化反転を確かめたところ、Fig.2 で示されるように、パルス幅が長くなるにつれ、大きな J_cが必要であることが確認された。後の解析により、確認された磁化反転は熱擾乱起因ではなく、Ta から注入されたスピンによるトルクの影響が支配的であることを示した。

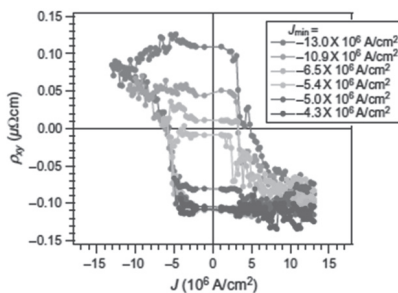


Fig. 2 Mn₃GaN/Ta ヘテロ接合における ρ_H - J カーブの反転パルス電流依存性。

(ii) 異常ネルンスト効果の基板依存性

磁性薄膜で発現する異常ネルンスト効果を用いた熱電変換技術は、フレキシビリティデバイスや熱流センサーとして期待されている。そして異常ネルンスト起電力の向上のために、強磁性、反強磁性、種々の磁性膜の開発が行われている。既存の強磁性材料と比較して Fe 基窒化物薄膜は、比較的高い効率を示すことが報告されていたが、今回は用いる単結晶基板を MgO から STO に変えることで 4 倍程度の増大が確認された。明確なメカニズムは不明であるが、STO 基板と Fe₄N 薄膜界面における表面改質、結合状態などを含めて重要な要素が含まれている可能性がある。

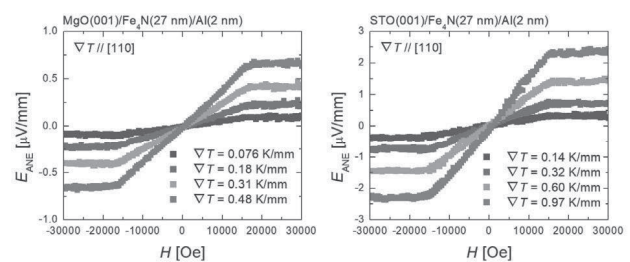


Fig. 3 異常ネルンスト電場の面内掃引磁場強度依存性

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究を通して期待されるのは、窒素に限らず高効率な磁化反転素子の実現に寄与するホウ素、炭素などの軽元素を含む化合物薄膜の開発である。本材料系にはシンプルな逆ペロブスカイト構造にて反強磁性を発現する物質が多く含まれるため、例えばデータ駆動型研究手法を用いることにより最適新材料の早急な開発につながる。また、量子情報を記憶できる大規模なストレージ技術のひとつにスキルミオン磁気構造の活用が提案されている。本材料系において既にその存在が室温かつ薄膜形態にて発見されている。以上のような高いポテンシャルを、優れたデバイス特性の導出につなげることが期待される。最終的には「軽元素を含む磁性材料」の観点で体系化させ、プロジェクトメンバー全員で取り組む大型研究に挑戦する。

派生的な国際研究体制としては、筑波大学-Spintec/グルノーブルアルプ大 (UGA, フランス) との共同研究が発足され、筑波大学-UGA とのダブルデGREEプログラムに基づき、博士後期課程の学生 1 名が筑波大学に滞在している。

(大型プロジェクト)

- プロジェクト名：電流駆動超高速磁壁移動を実現する窒化物スピントロニクス材料
- 資金制度、研究費名：科学研究費補助金国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化(B))
- 配分機関名：日本学術振興会
- 研究期間：2019-2023 年度

[4] 論文や学会発表等

(本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リスト(本年度分に限る)を掲載してください。)

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- S. Isogami, N. Rajamanickam, Y. Kozuka, and Y. K. Takahashi, *AIP Advances*. 11, 105314 (2021).
- S. Isogami, M. Ohtake, and Y. K. Takahashi, *J. Appl. Phys.* 131, 073904 (2022).
- S. Kokado and M. Tsunoda, *J. Phys. Soc. Jpn.* 91, 044701 (2022).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- T. Nishio, H. Kura, K. Ito, K. Takanashi, H. Yanagihara, *APL Mater.* 9, 091108 (2021).
- K. Ito, S. Honda, T. Suemasu, *Nanotechnology* 33, 062001 (2021).
- S. Goto, H. Kura, M. Tsujikawa, M. Shirai, K. Ito, T. Suemasu, K. Takanashi, H. Yanagihara, *J. Alloys Compd.* 885, 161122 (2021).
- T. Kubota, D. Takano, Y. Kota, S. Mohanty, K. Ito, M. Matsuki, M. Hayashida, M. Sun, Y. Takeda, Y. Saitoh, S. Bedanta, A. Kimura, K. Takanashi, *Phys. Rev. Mater.* 6, 044405 (2022).

採択番号 : H31/A07

量子検出のための高 Q 値マイクロ波共振器に関する研究

[1] 組織

研究代表者 :

猪股 邦宏 (産業技術総合研究所)

通研対応教員 :

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

神代 暁 (産業技術総合研究所)

石野 宏和 (岡山大学大学院自然科学研究科)

寺井 弘高 (情報通信研究機構)

牧瀬 圭正 (国立天文台)

日高 睦夫 (産業技術総合研究所)

水柿 義直 (電気通信大学)

美馬 覚 (理化学研究所)

明連 広昭 (埼玉大学)

吉川 信行 (横浜国立大学)

藤巻 朗 (名古屋大学)

野口 卓 (国立天文台)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

超伝導マイクロ波共振器の研究・開発は、近年、その重要性が増している。万能型量子コンピュータの本命として考えられている物理系は超伝導であり、特に、量子ビットの状態を読み出す回路には超伝導マイクロ波共振器が用いられている。一方、電波天文学、材料物性、医療などの分野においてあらゆる波長帯の電磁波を単一光子レベルで高精度に検出することが重要な課題となっているが、このような量子の検出にもやはり超伝導マイクロ波共振器は欠くことのできないデバイスとなっている。このように、超伝導マイクロ波共振器は「量子」を検出するための非常に高感度な検出器として利用されており、量子コンピュータを構成するための重要な要素としてだけでなく、X線天文学における衛星搭載用撮像素子や X線分析用エネルギー分光装置等の検出器にも組み込まれており、研究分野の垣根を越えて様々な用途に応用可能なデバイスとなっている。

このような超伝導マイクロ波共振器では共振器の内部 Q 値が重要な性能指数として議論される。この値は、共振器の内部損失を与えるパラメータである。超伝導であっても、共振器内部に蓄えられたマイクロ波パワーが有限の内部損失により消失することが知られてきたが、これまでの研究によってこの内部損失は

誘電体損が主要因であることが突き止められている。一方、この内部 Q 値は超伝導薄膜の質とも密接に関連していることが最近の研究から指摘されているものの、その関連性や各種パラメータとの相関は解明されておらず、超伝導マイクロ波共振器の内部 Q 値の更なる改善のためには、材料工学からのアプローチも急務となっている。超伝導マイクロ波共振器における内部 Q 値の改善は、量子ビットの寿命の改善や検出器における集積度の向上、SN 比の改善につながり、これらの研究分野の更なる発展をもたらす。本研究プロジェクトでは、超伝導エレクトロニクス、超伝導材料、超伝導量子物理の研究者を集め、様々な切り口、特に、材料学的な視点から超伝導マイクロ波共振器における内部 Q 値の飛躍的な改善にアプローチし、この分野における更なる発展と新たな応用分野の開拓を目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が採択 3 年目の最終年度であった。前年度は、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会との共催で通研共同プロジェクト会議研究会を開催したが、コロナ禍の影響で Web によるオンライン会議となった。会議では、招待講演 2 件の他、磁性ジョセフソン接合を含む超伝導量子ビット、超伝導体中残留準粒子の非線形伝導、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器、断熱量子パラメトロンに関する 9 件研究発表が 2020 年 11 月 25、26 日の二日間にわたり行われた。研究会には約 30 名の参加があり、進歩著しい研究成果発表に対する活発で密度の高い意見交換がなされ、有意義な研究会となった。今年度も昨年度に引き続き、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会との共催で通研共同プロジェクト会議研究会を 2021 年 11 月 15 日にオンライン開催した。会議では、招待講演 2 件を含む合計 7 件の研究成果発表があり、活発な議論がなされた。特に、本共同研究プロジェクトの首題となっている高 Q 値マイクロ波共振器に関する発表では、従来よりも一桁高い Q 値の実現に関する報告がなされ、また、窒化物超伝導体接合を用いた超伝導磁束型量子ビットに関しては、そのコヒーレンス特性が先行研究よりも一桁以上改善したことが報告され、詳細について時間の許す限り議論が交わされた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

今年度開催された研究会のトピックスと発表内容

を以下に記す。

産業技術総合研究所の猪股らは、Nb のマイクロ波共振器における内部Q の飛躍的な改善について報告した。Nb 製マイクロ波共振器の内部Q 値が、測定に使用していたサンプルパッケージのリークやスプリアスモードによって制限されていること、Nb 製マイクロ波共振器表面に形成される Nb 酸化膜の誘電損失によって制限されていることを指摘し、それぞれに対する対策を講じた。前者については、マイクロ波リークやスプリアスモードが抑制される構造のサンプルパッケージ設計と作製を行い、後者については Nb 表面酸化膜をバッファードフッ酸で完全に除去可能な新たなプロセスを立ち上げた。その結果、Nb 製マイクロ波共振器の内部Q 値が約 4×10^6 に達し、従来よりもおよそ1桁改善したことが示された。

名古屋大学の山下らは、Si 基板上に作製された窒化物系超伝導磁束型量子ビットにおけるコヒーレンス特性の大幅な改善について報告した。NbN/AlN/NbN のフルエピタキシャル成長膜から作製される窒化物系ジョセフソン接合は、NbN と格子定数がほぼ等しい MgO 基板上にしか作製することができなかった。情報通信機構の寺井らは、TiN バッファ層を用いることによって Si 基板上でも NbN/AlN/NbN 膜をエピタキシャル成長させる技術を開発した。この技術により、Si 基板上にエピタキシャル成長膜から構成される全窒化物超伝導磁束型量子ビットを作製し、そのコヒーレンス特性を評価した。その結果、MgO 基板上に作製された従来の全窒化物超伝導量子ビットと比較して、コヒーレンス特性が1桁以上改善することを示した。MgO 基板の方が Si 基板よりも高周波における誘電損失が大きく、これにより量子ビットのコヒーレンス時間が制限されていたことが今回の特性改善の主な理由である。

国立天文台の野口らは、超伝導伝送線路における常伝導度の非線形性を利用したパラメトリック増幅に関する報告を行った。超伝導共振器内部に誘起される強いマイクロ波電界によって、残留準粒子のエネルギー分布に変化が生じ、共振器の内部Q 値が共振器内部の電界強度によって変動することが見いだされている。このQ 値は超伝導体の複素伝導度実部（常伝導伝導度）に反比例するため、共振器内部の電界変動による非線形効果の存在を指摘し、この非線形効果を利用した超伝導伝送線路内部における伝送マイクロ波のパラメトリック増幅の可能性について理論的に議論した。

名古屋大学のPhamらは、Pd₉₉Ni₁₁ 弱強磁性膜を中間層とした NbN/Pa₉₉Ni₁₁/NbN 磁性ジョセフソン接合に関する研究報告を行った。PdNi 層の厚さを変えることで、接合に流れるジョセフソン電流が変調されることを

観測し、その変調周期の理論的なフィッティングにより、ジョセフソン電流が抑制される、すなわち π 接合として振る舞う PdNi の厚さを見積もった。見積もった厚さを有する NbN/PdNi/NbN 磁性ジョセフソン接合を SQUID に組み込み、SQUID に流れる超伝導電流の磁場依存性を測定したところ、その超伝導電流が π 接合の影響を受け、磁束バイアスゼロポイント（原点）において SQUID に流れる超伝導電流が最大値を示した。この結果より、作製した磁性ジョセフソン接合が π シフターとして動作することを実験的に確認した。

横浜国立大学の山栄らは、論理ゲートとして動作する可逆量子磁束パラメトロン (RQFP) が高周波数で動作することを示すために、RQFP を用いた AND (RAND) ゲートと RQFP ゲートの高周波測定に関する結果について報告した。その結果、RAND ゲートが動作周波数 3.5 GHz で正常動作することを確認したものの、RQFP ゲートは 1 GHz での動作にとどまった。この理由として、RQFP ゲートを構成している majority ゲートへの入力電流が小さいため、高周波動作において試作した回路のパラメータばらつきや熱雑音の影響による誤動作が原因であると結論づけた。

埼玉大学の船澤らは、SFQ 電流パルスによるトポロジカル量子ビットの組紐操作に関する検討について報告した。具体的には、トポロジカル量子計算 (TQC) の操作回路として、SFQ による電流パルスを入力する組紐操作可能な回路の提案を行い、 2π 周期の SFQ が束縛された擬似的な TQC アレイに対して、シミュレーション上で組紐操作が行える回路を作製し、その動作結果について検証した。実際の CNOT ゲートの手順に沿って組紐操作を行った結果、操作時間 33.6 ns 程度が見込まれるという結果となった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトでは、超伝導量子物理系、宇宙素粒子物理実験系、超伝導エレクトロニクス工学系の研究者の交流が促進されるに至り、各研究分野共通の実験ツールとして使用されている超伝導マイクロ波共振器の性能向上に関する議論、意見交換が活発になされ、異分野研究者の交流の場となっている。このように、本研究プロジェクトでは、異分野融合・横断の架け橋を担い、これまで無縁であった研究者間の交流を活性化し、新しい境界領域での研究領域開拓が可能となった。今後、大型外部予算獲得や、更なる異分野交流を促進することにより、各研究分野の発展や新奇研究分野の開拓が期待される。さらに、本共同プロジェクト会議終了後も、別の形で同様な研究プロジェクトを立ち上げ、異分野間での研究を継続する予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• “Experimental quantum teleportations of propagating microwaves”

K. G. Fedorov, M. Renger, S. Pogorzalek, R. D. Candia, Q. Chen, Y. Nojiri, K. Inomata, Y. Nakamura, M. Partanen, A. Marx, R. Gross, and F. Deppe, *Science Advances* **7**, eabk0891 (2021).

• “Enhanced coherence of all-nitride superconducting qubit epitaxially grown on silicon substrate”

S. Kim, H. Terai, T. Yamashita, W. Qiu, T. Fuse, F. Yoshihara, S. Ashhab, K. Inomata, and K. Semba, *Communications Materials* **2**, 98 (2021).

• “Beyond the standard quantum limit for parametric amplification of broadband signals”

M. Renger, S. Pogorzalek, Q. Chen, Y. Nojiri, K. Inomata, Y. Nakamura, M. Partanen, A. Marx, R. Gross, F. Deppe, and K. G. Fedorov, *npj Quantum Information* **7**, 160 (2021).

採択番号 : H31/A09

光エレクトロニクス応用に向けた 不揮発相転移酸化物素子の創製

[1] 組織

研究代表者 :

坂井 穰 (株式会社豊島製作所)

通研対応教員 :

片野 諭 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

沖村 邦雄 (東海大学工学部電気電子工学科)

桑原 正史 (産業技術総合研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

VO₂は常圧下では68°Cに斜方晶(M相)からルチル型正方晶(R相)への構造相転移温度(T_r)をもつ。この相転移に伴い、電気抵抗率や赤外領域の透過率・反射率などの特性が顕著に変化することが知られている。 T_r は電界や機械的歪みといった外部刺激によって上下するため、加熱のみならず、外部刺激の印加によってVO₂の相をMからRにスイッチさせることも可能である。この特性変化を抵抗変化型メモリや光スイッチングデバイス等に応用しようとする研究は古くから多数行われているが、外部刺激によって誘起されたR相は刺激除去と同時に消滅し、M相に戻ってしまう揮発性が課題となっていた。

本プロジェクトでは、一定温度下で不揮発的かつ可逆的なVO₂のM ⇌ R双方向相転移(T_r のその場変調)を実現することを目標とする。

上記目的のため、我々はカルコゲナイドGe₂Sb₂Te₅(GST)の結晶-アモルファス相転移に伴う体積変化に着目し、VO₂/GSTの2層薄膜試料においてGSTが結晶相かアモルファス相かでVO₂層の歪み度合いが変化し T_r が変調されると予想した。課題採択1年目には実際に作成した2層膜において、アモルファス相GSTをアニール処理により結晶化したとき、期待通りにVO₂の T_r が低下する実験結果を得た。ただしこれは両層間の原子相互拡散がもたらした結果である可能性が排除できなかったため、2年目には層間バッファ層を挿入したVO₂/SiN_x/GSTの3層薄膜試料で同様な実験を行い、原子拡散が起きない条件でも T_r の低下を確認した。一方、結晶相GSTをアモルファス化するには局所的に短時間でGST膜を融点以上にまで昇温する必要があり、その簡便なプロセスの確立のため、

点接触配置での火花放電による加熱技術の研究を開始した。3年目の本年度はこのようにして放電処理されたGST膜の詳細な分析を行うとともに、点接触配置でVO₂薄膜に局所的圧力を印加することで相転移を誘起することを試みた。

【研究打ち合わせ】本年度は東北大通研にて1回、東海大にて1回打ち合わせを行った他、オンラインでの研究打ち合わせを3回行った。

- (1) 2021年4月26日(オンライン、参加者3名)
- (2) 2021年10月19日(オンライン、参加者4名)
- (3) 2021年11月12日(於東北大通研、参加者4名)
- (4) 2021年12月17日(於東海大、参加者4名)
- (5) 2021年2月17日(オンライン、参加者4名)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

以下に示す研究成果を得た。

a. 系統的に膜厚を変化させたVO₂/GST 2層膜の作成

初年度に行ったVO₂/GST 2層膜のGST結晶化に伴う特性変化実験を、GST・VO₂各層の膜厚をより系統的に変化させて再度行った。図1aの挿入図に示すように、VO₂を堆積した後、両端部をマスクングして上部GST層を堆積した。VO₂層の両端に2端子を接触させて電気抵抗の温度依存性($R-T$)を測定した。

Table 1: List of samples

VO ₂ thickness (nm)	GST thickness (nm)	T_r change (°C)
30	200	-5
70	200	-1
30	50	-1

表1に示す3種類の試料をC面サファイヤ基板上に作成し、アニール前と後での $R-T$ 特性を比較して T_r 低下幅を求めた。いずれの試料でもアニール処理により T_r が低下する結果が得られた(図1a,b)。 T_r 低下幅は、GST膜厚が厚いほど、またVO₂膜厚が小さいほど大きい傾向にあった。これは歪みがGSTに発生してVO₂に波及する因果関係からリズナブルである。

GST(200nm)/VO₂(30nm) 2層膜のアニール前後のX線回折パターンを図1cに示す。アニール処理後に

は VO₂ (020) ピーク位置が低角側にシフトしており、VO₂ の格子が面直 (面内) 方向に伸張 (収縮) したことが示唆される。この変化は結晶化に伴う GST の体積収縮による効果と考えられる。ピークシフト幅から導かれた c_R 軸長変化を Cao らによって報告された歪 - 転移温度相関図 [1] に適用すると約 4°C の T_{tr} 低下が見積もられ、実験結果とよく一致した。

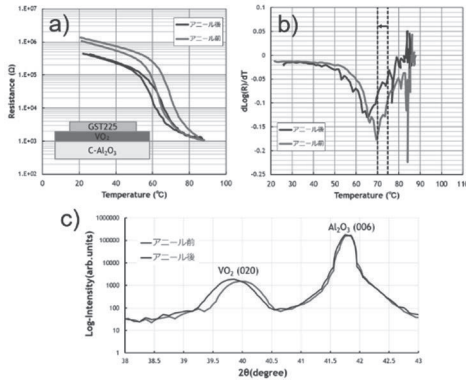


Fig. 1: (a) $R-T$ curves of a GST/VO₂ bilayer sample before and after annealing. Inset shows schematic of the sample. (b) Temperature differential curves of (a). (c) XRD profiles of a GST (200 nm) / VO₂ (30 nm) bilayer sample before and after annealing.

b. 火花放電を施した GST 膜の相の分析

シリコン基板上に堆積し、アニール処理した GST 膜 (厚さ 100 nm) の結晶-アモルファス相転移を目的として、直流電源とコンデンサにより帯電させた鋼鉄製探針 (先端曲率半径 ~20 μm) を膜表面に接近させ、火花放電を起こした。探針直下の試料表面に生じた直径 0.3 mm の色相変化領域について、顕微ラマン分光法を用いて相を同定した。

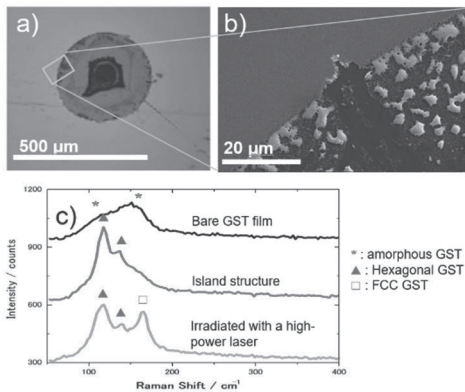


Fig. 2: (a) Optical and (b) SEM images of a spot generated on a GST film due to spark discharge through a stylus. (c) MicroRaman spectra of the GST film at various areas.

色相変化領域には島状構造が現れており (図 2b)、その組成は GST であることが EDX 分析より判明した。GST 膜の凝集が起きていることが示唆された。ラマン観測の結果、予想に反してアニール処理された

GST 膜にはアモルファス相が相当量残っており、逆に放電の結果生じた島状構造は主に結晶相にあった (図 2c)。上記結果を受けて結晶相が支配的になるような試料のアニール方法の再検討を行った。

c. 探針圧力による VO₂ 膜の相転移誘起

膜面に対して c_R 軸が立っている (図 3a) A 面サファイヤ基板上的 VO₂ 膜 (膜厚 30 nm) を試料として、膜面に垂直にタングステン製探針 (図 3b、先端曲率半径 ~4 μm) を接触させ、局所圧力を加えた際の電気特性の変化を調べた。図 3c に示すように、押しネジとバネが探針に連動しており、押しネジの回転数に比例した応力が探針に印加される機構になっている。電気抵抗値は探針と膜端部の間を 2 端子法により測定した。

図 3d に押しネジの回転数と探針 - VO₂ 膜間電気抵抗値の関係を示す。最初の 1/4 回転で急激な抵抗値の下落が見られ、その後は飽和に向かった。使用したバネのバネ定数と探針の曲率半径から、押しネジ 1 回転ごとに探針先端に発生する圧力は計算上は 10² GPa のオーダーに及ぶと見積られる。金属の弾性限界を考慮すればそのような超高压が実際に発生しているとは考え難いが、c_R 軸方向への 1 GPa の圧力印加で T_{tr} が約 10°C 低下するとの先行研究 [1] より、最初の 1/4 回転で観測された抵抗値の急落は M-R 相転移を反映している可能性がある。

[1] J. Cao *et al.*, Nano Lett. **10** (2010) 2667.

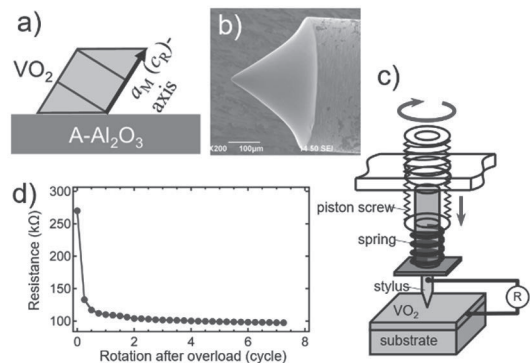


Fig. 3: (a) Schematic of a VO₂ (M) unit cell grown on a A-Al₂O₃ substrate. (b) SEM image of a tungsten stylus. (c) Schematic of the experimental setup. (d) Resistance between stylus and VO₂ film as a function of rotation of piston screw.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度は東北大ならびに東海大の学部 4 年学生各 1 名に参画いただき、卒業研究テーマとして貢献した。今後も東海大および産総研において引き続きカルコゲナイド / VO₂ 2 層膜に関する研究を発展的に継続する予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・森田 爽、坂井 穰、桑原 正史、片野 諭、「放電を用いた $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 薄膜の相変化現象」第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 22a-P04-18 (2021. 9. 22、オンライン)

・ S. Morita, J. Sakai, M. Kuwahara, and S. Katano, “Phase Transition-induced Structural Change of $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ ”, 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29) S4-27 (2021. 12. 9, online)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

該当事項なし

採択番号：H31/A10

直流励起マイクロ波発振素子に向けたスピン軌道トルクとスピン波媒介位相同期による強磁性ダイナミクス制御の検討

[1] 組織

研究代表者：

神田 哲典 (大島商船高等専門学校)

通研対応教員：

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

遠藤 恭 (東北大学大学院工学研究科)

室賀 翔 (秋田大学大学院理工学研究科)

延べ参加人数：4人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

【概要】Pt やTa に代表されるスピン軌道相互作用の大きな非磁性金属に電流を流すと、非磁性体中の伝導電子にはたらくスピン軌道相互作用によって、電流と垂直方向にスピン角運動量の流れ、すなわち、スピン流が生成する。スピン軌道相互作用の大きな非磁性金属と強磁性金属を積層させると、非磁性層に形成されたスピン流は強磁性層に流れ込むためにスピン軌道トルクとよばれる強磁性層の磁化に対してトルクを与える効果が生じ、磁気抵抗メモリ (MRAM) における磁化方向制御手法として近年注目されている。スピン流の大きさは非磁性体中の電流量で制御可能であることから、外部磁場と反対方向に磁化が反転する方向にトルクを与えると、磁化の歳差運動が誘起される。

強磁性体に局所的に磁化の歳差運動を誘起すると、歳差運動が双極子相互作用や交換結合を通じて周囲に伝搬し、スピン波と呼ばれる。我々のグループではスピン波の波長と同程度の間隔で高周波磁場を印加する局所歳差運動励起源を設けると、それぞれの励起源から発生するスピン波と励起源の磁気的な相互作用に起因する位相同期によって磁化歳差運動を増幅させることができることを見出した。

本プロジェクトでは、スピン軌道トルクとスピン波を経由した局所磁化歳差運動同士の位相同期現象を利用することで、直流電流励起による磁化歳差運動を共鳴増幅させることを最終目標とする。磁化歳差運動は局所的な磁場変動を生じるので磁化歳差運動に伴ってマイクロ波が発生する。さらに、磁性体内部には

局所歳差領域から高コヒーレントスピン波が発生する。このスピン波同士の干渉効果を利用することで論理演算素子やリザーバーコンピューティング等への活用が期待される。

【目的】以上のような理由より、本共同プロジェクト研究では、上述の非線形増幅効果を制御することで直流電流励起によるマイクロ波発振器の創生を検討する。また、この最終目標を通じて磁化ダイナミクス制御のさらなる学理構築を目指す。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

マイクロ波を発生させるための素子をイットリウム鉄ガーネット (YIG) 単結晶薄膜上に作製した。YIG は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特長である。非磁性層として、スピン軌道相互作用が大きく耐食性にも優れる Pt を選択し、YIG/Pt 積層膜を用いて実験を行う。素子の模式図を図 1 に示す。配線の一部が Pt から構成されていることが特長で、Pt 箇所では Pt から YIG にスピン軌道トルクがはたらく。スピン波が発生した場合には周囲に電磁波が発生する。そこで、試料近傍にアンテナを配置してこの電磁波を検出することにより発振状態を把握できる。

本試料の Pt 細線を含む箇所に直流電流を印加したがマイクロ波の検出はされなかった。この原因として、大きくは、素子にスピン軌道トルクが加わっていないことと、使用している素子の膜厚が 10 μm と厚いため歳差運動が誘起できていない2つの可能性がある。

スピン軌道トルクは強磁性体と非磁性金属の界面現象であり、非磁性金属中の伝導電子スピンと強磁性体の磁化間の角運動量の授受によって生じる。本試料では YIG 薄膜上に Pt 薄膜をスパッタ法によって成膜しているが、この際に界面が汚染されているとスピン軌道トルクは生じないことになる。そこで、本試料においてスピン軌道トルクが働いているか、ST-FMR 測定を用いて評価した。測定結果を図 2 に示す。信号に非対称性ピークが観測されているが、非対称性はスピン軌道トルクが働いていることを示している。つまり、スピン軌道トルクは素子に働いているものの発振状

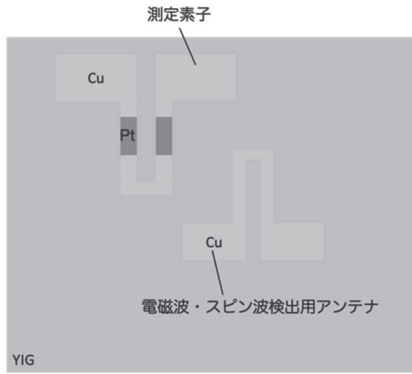


Fig.1 Schematic view of sample structure. A part of the signal line consists of Pt layer for inducing the spin orbit torque.

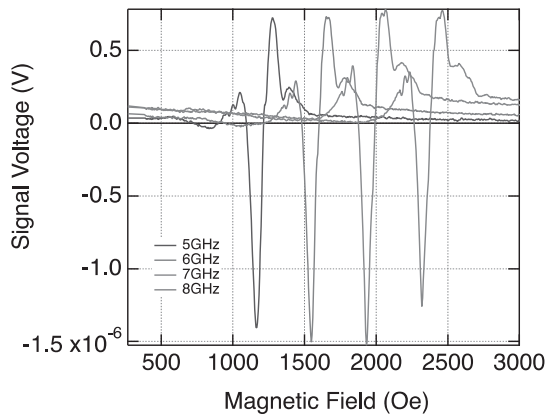


Fig.2 Input frequency dependence of ST-FMR signals.

態は生じていないと推察される。

スピン起動トルクは界面現象であることから、磁化の歳差運動を誘起するトルクは強磁性体界面の磁化のみに加わる。強磁性体の膜厚が薄ければ強磁性磁気モーメント間の交換結合を通じてこのトルクに磁化全体がその方向を変えるため、歳差運動が生じる。一方、強磁性膜厚が厚い領域では、強磁性内部の交換結合が強すぎるために界面に加わるトルクで磁化全体の方向が変化しないために歳差運動を誘起することができないと考えられる。実際、このことを確認するためにマイクロマグネティクスに基づく数値シミュレーションを実施したところ、本実験で用いた試料においては有効に歳差運動が誘起されることがわかった。この課題の解決策は強磁性層膜厚の薄膜化である。しかしながら、本試料は液相エピタキシー法を用いているために薄膜化には限界がある。今後、異なる薄膜成長方法を利用した検討を実施する。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本共同研究プロジェクトは、スピン波を介在させた磁化ダイナミクスの位相同期現象を基軸として、スピン軌道トルクを組み合わせることでスピントロニクス素子の新たな展開として、新規マイクロ波発振の創生を目指す基礎検討である。ST-FMR 測定を活用することで、磁化ダイナミクスにおけるスピン起動トルクの寄与を定量評価できることがわかった。一方、歳差運動誘起は達成できておらず、この原因が強磁性層の膜厚であることがわかった。素子の最適化によって当初目標を達成させることを目指す。これまでに得られた知見は磁気応用物性・スピントロニクスの学術的に意義深く、今後の発展が期待される。

[4] 成果資料

(1) “Evaluation of interaction between local magnetization dynamics and spin waves measured by ST-FMR” [T. Koda](#), S. Muroga, S. Hashi and Y. Endo, 2021 InterMag2021, April 26-30, 2021 FB-09.

(2) “Micromagnetic Study of Resonant Excitation of Magnetization Dynamics in Local Region Induced by the Spin-Orbit Torque” [T. Koda](#), S. Muroga, S. Hashi and Y. Endo, 第69回応用物理学会春季学術講演会 2022 24p-P01-3

採択番号：H31/A11

傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた 光変調器駆動高速化の研究

[1] 組織

研究代表者：

榎田 洋太郎（東京理科大学理工学部電気電子情報工学科）

通研対応教員：

佐藤 昭（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

末光 哲也（東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター）

齋藤 誠（東京理科大学理工学部電気電子情報工学科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

(1) 目的

InGaAs 系 HEMT は常温で最も高速なトランジスタであり、電流利得遮断周波数 f_T は 700GHz を超え、最大発振周波数 f_{max} は 1.5THz と極めて高い値が報告されている[1]。しかし、InGaAs HEMT は一般に耐圧が 5V 程度以下と低く、4V 程度の電圧振幅で駆動する必要のあるニオブ酸リチウム(LN: Lithium Niobate)変調器の駆動回路を作製するには不十分である。これに対し、近年、傾斜型フィールドプレートを用いることにより耐圧を大幅に向上させた InGaAs HEMT が報告されている[2]。しかし、この傾斜型フィールドプレート付 HEMT を用いて LN 変調器を駆動可能な大振幅駆動回路を実現した例はない。本研究は、傾斜型フィールドプレートを用いた InGaAs HEMT を用いて、従来にない高速な LN 変調器駆動回路を実現することを目的とする。

(2) 概要

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。傾斜型フィールドプレートを有する InGaAs HEMT を用いて、LN 光変調器駆動回路を作製することにより、従来にない高速な光変調器駆動を実現する。具体的な研究内容として、2019年度は、東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター（平成29年7月まで電気通信研究所所属）末光哲也教授が提案・開発を行ない、東北大学電気通信研究所佐藤昭准教授とともに性能向上の研究を進めている、傾斜型フィールドプレ

ートを有する InGaAs HEMT のマイクロ波・ミリ波特性を測定した。この際、実動作状態と同じゲートバイアスを印加したときの HEMT の寄生抵抗をマイクロ波帯で評価する手法を提案し、実測により寄生抵抗を評価した。2020年度は、新たにチャンネルの寄生容量を考慮するとともに、ミリ波までの全測定周波数を用いて寄生抵抗を抽出する高精度寄生抵抗評価法を提案し、従来方法と比較して精度が改善されることを示した[3]。2021年度は提案する寄生抵抗抽出法を適用して InGaAs HEMT の回路モデルを作成し、提案する寄生抵抗抽出法と従来の寄生抵抗抽出法を用いたときの真性 HEMT 等価回路パラメータの比較を行った。その結果、提案する寄生抵抗抽出法を用いた場合、従来の寄生抵抗抽出法を用いた場合と比べ、真性等価回路パラメータが最大で約7%変化することが示された。さらに、今後作成した回路モデルを用いて光変調器駆動回路を設計することにより、高速性と耐圧に優れた傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた場合、従来よりも大幅に高い電圧・帯域幅積を実現できる見通しを明らかにする予定である。

(3) 研究打合せの開催状況

今年度は、新型コロナウイルス感染症の拡大のため出張を伴う打合せは自粛し、文面によるやりとりにより実質的な情報の交換を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、提案する Cold FET 法を用いて傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT の寄生抵抗を抽出することにより真性 HEMT 等価回路パラメータを求めたことについて成果があった。また、提案する寄生抵抗抽出法を用いて真性 HEMT 等価回路を従来の寄生抵抗決定法を用いた場合と異なることを示した点について成果があった。

一般に、電界効果トランジスタ (FET) の等価回路をフィッティングにより作成する場合、等価回路パラメータの数が多いため収束性が悪く、精度のよい等価回路モデルを作成することが難しい。このため、あらかじめ、ドレインソース間電圧 (V_{ds}) をゼロ (Cold FET)、ゲートソース間電圧 (V_{gs}) をピンチオフ電圧以下とすることにより等価回路を単純化し、ゲート、ドレイ

ン、ソースの寄生抵抗 (R_g , R_d , R_s) を求め、これを用いて、通常のノンゼロの V_{ds} 、および動作状態の V_{gs} のとしたときの等価回路を求める方法[4]が Daembrine らにより提案されている。さらに、Alt らはこの Cold-FET 法を改良し、 V_{gs} をピンチオフ電圧以下の電圧とせず、通常動作時に使用する電圧とすることにより、動作時に近い寄生抵抗を抽出する方法[5]を提案した。しかし、この方法では、寄生抵抗の評価に低周波における1周波数のみを用いているため、ミリ波帯におけるフィッティングの精度が低下する問題があった。

本成果において昨年度は、ミリ波までの全測定周波数を用いて寄生抵抗を抽出することにより寄生抵抗抽出の精度を高める方法を提案し、実際に測定した傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT の Sパラメータを用いて、Alt らの方法と比較して精度が改善されることを示した[3]。Sパラメータの測定結果をもとに、提案する評価法を用いてSパラメータのフィッティング精度を求めたところ、従来方法の平均誤差率 7.25% に比べて、提案方法では 6.13% となり 1.13% の改善 (改善率 6.13%) がみられた。

さらに本年度は、提案する寄生抵抗抽出法を用いて InGaAs HEMT の真性等価回路パラメータの抽出を行った。その結果、提案する寄生抵抗抽出法を用いた場合、従来の寄生抵抗抽出法を用いた場合と比べ、真性等価回路パラメータが最大で 6.55% 変化することを示した。

本成果により、動作状態における傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT のマイクロ波帯における寄生抵抗抽出の精度を改善することができた。これを用いて InGaAs HEMT 回路モデルを作成することにより、回路モデルの決定精度が向上する。その結果、より精度の高い回路設計が可能となり、よい高い利得・周波数帯域積をもつ高速駆動の可能な光変調器駆動回路の設計に寄与すると期待される。

参考文献：

- [1] X. B. Mei, W. Yoshida, Z. Zhou, M. Lange, J. Lee, P. H. Liu, K. Leong, R. Lai, and W. R. Deal, "25nm InP HEMT TMIC Process with 1 THz Amplifier Circuit Gain," 2015 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM2015), pp. 1034-1035, Sep. 2015.
- [2] T. Hosotani, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "Achievement of balanced high frequency and high breakdown by InGaAs-based high-electron-mobility transistors with slant field plates," Appl. Phys. Express, vol. 9, p. 114101 (3pp), 2016.
- [3] 谷口慶伍, 細谷友崇, 榎田洋太郎, 高野恭弥, 末光哲也, 佐藤 昭, "InGaAs HEMT 寄生抵抗抽出高精度化の検討," 信学技報, vol. 120, no. 354, MW2020-88, pp. 38-43, 2021 年 1 月.
- [4] Gilles Dambrine, Alain Cappy, Fredric Heliodore, Edouard Playez, "A New Method for Determining the FET

Small-signal Equivalent circuit," IEEE Trans. Microw., vol. 36, no. 7, pp. 1151 - 1159, July, 1988.

[5] Andreas R. Alt, Diego Marti, C.R. Bolognesi, "Transistor modeling: a robust small signal equivalent circuit extraction in various HEMT technologies," IEEE Microwave Magazine, vol. 14, no. 4, pp. 83-101, 2013.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本成果により、従来の寄生抵抗抽出法を用いた場合に比べ、傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT の等価回路モデルの精度を向上することができる。その結果、提案する寄生抵抗抽出法を用いて作成した HEMT モデルを用いて精度良く光変調器駆動回路を設計することが可能となる。この設計した光変調器駆動回路を実際に作製することにより、従来よりも大幅に高い利得・周波数帯域積をもつ高速駆動の可能な光変調器駆動回路を実現できると予想される。これにより、光ファイバ通信における伝送容量を拡大し、将来の通信需要の増大に対応できることが期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ Yusuke Yokoi, Yusuke Takai, Joe Sawada, Takumi Kamo, Yohtaro Umeda, Kyoya Takano, "DAC Bandwidth Tripler with 3:1 Image-Rejection Analog Multiplexer," 2021 28th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS), Nov. 2021.

・ Keisuke Kawahara, Joe Sawada, Takumi Kamo, Yohtaro Umeda, Kyoya Takano, "A 50 Gbps 49 mW CMOS Analog Multiplexer for a DAC Bandwidth Tripler," 2022 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Jan. 2022.

採択番号：H31/A12

視覚モデル共有環境の構築

[1] 組織

研究代表者：酒井 宏
(筑波大学)

通研対応教員：塩入 諭
(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

内川恵二 (東京工業大学)
小川 正 (京都大学)
村上郁也 (東京大学)
宇賀貴紀 (山梨大学)
河原純一郎 (北海道大学)
西田眞也 (京都大学)
一川 誠 (千葉大学)
石井雅博 (札幌市立大学)
佐藤俊治 (電気通信大学)
我妻伸彦 (東邦大学)

他東北大研究員、学生 10名

筑波大学学生2名

延べ参加人数：24人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

人間生活にとって、感覚、知覚、認識機能は生物学的意味でも、社会的意味でももっとも重要なもののひとつである。現在、生理学、心理学、工学を始め様々な取り組みによって、その理解とモデル化が進んでいるが、断片的、局所的なものが多く全体の理解にはほど遠い。本研究では、特に研究が進んでいて、また学際化においても広がりを持つ視覚機能に着目し、その理解を促進するためのモデル研究の協力システムのあり方について検討を進めた。視覚のモデルとしては、色覚、時空間特性、運動視特性、立体視特性など初期視覚処理についての定量的なものが提案されており、注意や物体表象などの高次処理については多くの抽象的なものが提案されている。それらは一般に共通の環境を使用しないため、相互関連を検討することには困難が伴う。本研究では、多様な視覚機能の研究において、多数の研究者間でデータ・ドライブな議論を可能にすると共に、さらにそれら視覚機能を共通のフレームワークの上に構築可能として総合的に視覚を理解するための共通環境実質化をめざして研究を行った。

前年度は、多様なユーザを想定したプラットフォームと、低次から高次までの皮質に対応したモデルを必要とする視覚機能について議論した。本年度は、モデルに加えて、モデルと前後して実施される心理物理実験についても議論した。2022年3月28日には、オンラインで一堂に会して、環境を実現するプラットフォームと、必要となるオンライン化による共有について広範囲な議論を行った。

[3] 成果等

昨年度に引き続き、各モデルに適用する視覚機能を中心に検討を進めた。そのひとつは、注意によって視覚皮質の Local Field Potential (LFP) の γ 帯域 ($\sim 50\text{Hz}$) の動的な挙動に関するもので、それを基礎としたモデル利用の可能性についての検討である。注意が動作するとき、 γ 帯域に振動が観察されることが知られているが、この振動は非定常的であり、その挙動を理解することは注意の脳内メカニズムを理解する上で重要である。ここでは、 γ 帯域に振動を再現するプラットフォームモデルを議論した。

提案モデルは、普遍的で単純な神経振動子の集団からなる (図1参照)。ポアソン・ノイズの出現頻度と強度、それと振動子の時定数を少数のパラメータによって指定することによって振動を生じさせることができる。研究者は、パラメータの選択によって注目する振動の特徴を容易に再現することができる。例えば、動的な振動の変化に注目して、振動の出現頻度・継続時間などの特徴量を再現できる (図2参照)。これにテストしたい注意メカニズムを基礎とする入力等を付加することによって、注目する注意依存現象の再現を実験することなどが可能となる。

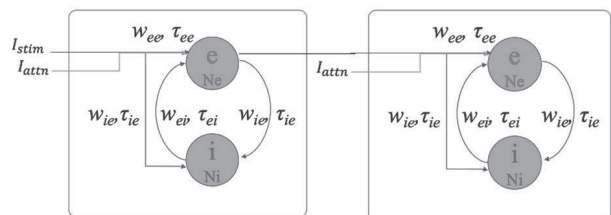


図1. 神経振動子集団による振動現象を再現する基礎モデル。ここでは、皮質領野 (図中左右の枠) 間の振動の同期を再現することができる。

注意機能に関しては、暗算中の顔表情から注意程度を推定するモデルを提案した。これは、engagement レベルあるいは注意状態に依存して計算にかかる時間が変化することを利用し、顔表情から注意状態を推定するモデルに関する研究である。心理物理実験によって、3桁あるいは4桁の加算、減算を暗算で実行する課題に要する時間を計測した。同時にカメラによって顔表情を撮影し、顔表情分析ツールである OpenFace を利用して顔表情筋肉に関わる複数のパラメータを算出した。機械学習によって顔表情パラメータから計算時間を推定するモデルを構築することで、注意状態の推定を試みた。計算時間の推定は、回帰分析の決定係数は0.8に近く、顔表情画像から注意状態の推定が可能であることがわかった(図3)。

次に、モデルのオンライン共有のために、オンライン化が始まっている心理実験のプラットフォームについて調査・議論を行なった。視覚実験刺激および実験手続きの構築環境である Psychlops との連続したシステムをはじめ、比較的高次の機能に関わる心理実験に利用される PsychoPy, jsPsych についても議論した。特に、共有環境構築に欠かせない多様な機種依存性の克服や、意図しない操作への対応などの技術的課題の調査とそれへの対応を含めて広範な議論を行なうことによって技術的問題に対する一定の解決策を導いた。本研究が目指す視覚モデル環境では、視覚科学・脳科学分野における教育目的を想定している。教育利用についても事例研究を含めて議論を行なって、オンライン教育に対応できる設計指針を導いた。Webカメラの利用や時間制御といったハードウェア的制約についても事例研究を行なった。特に、オンライン実験においては、参加者の選抜におけるクラウド・ソーシングの利用についても、その利用における具体的問題点の洗い出しと対応の議論を行なった。さらに、実験の結果として生じる個人に関わる情報の取扱等、倫理面での議論を行なった。

本プロジェクトでは、基礎と実用化の交流が活性化できた。また、異なる機能に共通の問題を発見・議論することによって、萌芽的であるが本質的な問題を提起する効果があった。

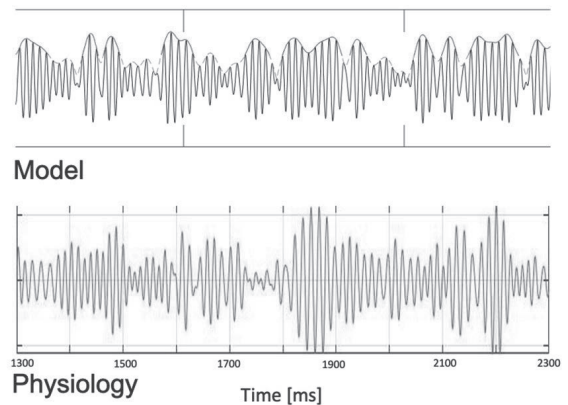


図2 (上) 神経振動子集団モデルによる LFP の再現。(下) 注意状態にある時の Local Field Potential の γ 帯域における振動の実際の様子。単純なモデルに内在するダイナミクスが LFP の動的挙動をよく再現した。

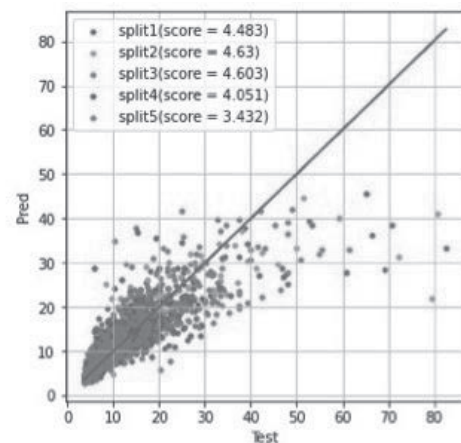


図3 実測計算時間と予測計算時間の相関。統計的に有意な相関があるといえ、決定係数は0.78である。5分割分割交差検証で評価され、異なるシンボルは各分割に対するテストデータの結果を示す。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- Interaction of surface pattern and contour shape in the tilt after effects evoked by symmetry. K. Sakai, Y. Sakata and K. Kurematsu (2021), *Scientific Reports*, 11, Article 8024, doi:10.1038/s41598-021-87429-y
- Cortical Coding of Surface Textures and Contour Shapes in the Intermediate-level Visual Area V4. I. Machida, A. Kodama, K. Kimura, M. Shishikura and Ko Sakai (2021), *Procs. International Conference on Neural Information Processing (ICONIP) 2021 Communications in Computer and Information Science (CCIS)*, vol 1517. Springer
- S. Shioiri, Y. Sato, Y. Horaguchi, H. Muraoka, M. Nihei (2021) Quali-Informatics in the society with yotta scale data. in *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp 1-4.
- S. Shioiri, K. Matsumiya, C. H. Tseng (2021), Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Scientific reports* **11**, 3995.

採択番号：H31/A13

マルチモーダル感情誘発システムに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

田中 章浩（東京女子大学現代教養学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：6人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

人間の五感情報を送受信する通信システムにおいて、情報の発信と受信の担い手は人間であり、人間の知覚特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる。近年は、高次臨場感通信など感性情報の重要性が非常に高まってきている。こうしたシステムを実現する上では、単に感情や感性情報を送受信するのみならず、ユーザに感情を誘発することも重要であると考えられる。しかし、どのような情報を呈示すれば感情を効果的に誘発できるのかは明らかでない。また、誘発された感情がどのように認知や行動に影響するのかも検討が進んでいない。

そこで本研究では、マルチモーダル情報からユーザに感情を誘発するシステムを構築するための基礎的検討として、マルチモーダル刺激を用いて、人間を対象とした心理実験を実施し、システム的设计指針を検討することを目的とする。

本プロジェクトは、平成28～30年度に共同プロジェクトとして採択された「音声の感性情報から人間の認知・行動を制御する通信システムの研究」の延長として位置づけられる。前回の共同プロジェクトでは、A) 音の緊急性が認知・行動に及ぼす影響、B) 機械の発信した音声の情動情報が認知・行動に及ぼす影響について検討した。

本プロジェクトは、前回の共同プロジェクトの成果をもとに、音声に含まれる感性情報が認知および行動に及ぼす影響のみならず、音声を含むマルチモーダル情報がユーザの感情そのものに及ぼす影響を検討することで、マルチモーダル情報からユーザに感情を誘発するシステムを実現すべく発展させるものである。

3年目にあたる本年度は、動画刺激を用いて A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響、B) マルチモーダル刺激から誘発された感情が認知・行動に及ぼす影響の検討を進めた。年度途中まではコロナ禍で研究

代表者の本務校では出張が禁止されていたことから、本年度は主としてメールで随時打ち合わせおよび議論をおこない、2022年2月に一度対面での打ち合わせをおこなった。共同プロジェクト研究発表会では1件ポスター発表をおこない、今後の研究展開、実験結果の応用可能性について議論した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、マルチモーダル刺激を用いてユーザに感情を誘発するシステムの構築に向けて、人間の心理特性について、A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響、B) マルチモーダル刺激から誘発された感情が認知・行動に及ぼす影響を中心に検討を進める。本年度はAおよびBの両方の検討を進めた。

A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響

どの感覚モダリティを用いるとどのような感情が伝わりやすいのかを把握するために、触覚（手のタッチ）、視覚（顔の表情）、聴覚（音声）での感情知覚を比較する実験を実施した（実験1）。11種類のポジティブ感情を用いた実験の結果、従来表情で検討されてきた感情（Bグループ）は表情および音声で、音声で検討されてきた感情（Cグループ）は音声で、タッチで検討されてきた感情（Dグループ）はタッチおよび表情で、それぞれ伝わりやすくなる傾向があった（図1）。

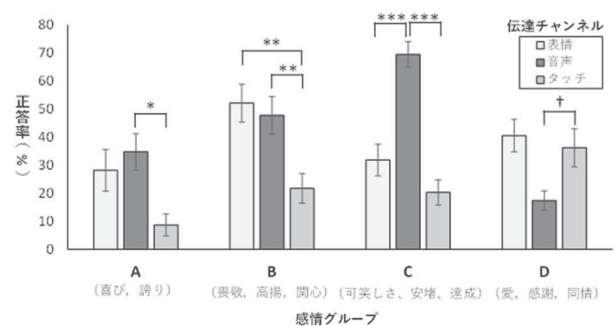


図1：実験1の結果

B) マルチモーダル刺激から誘発された感情が認知・行動に及ぼす影響

昨年度は間隔二等分課題を用いて、恐怖感情を誘発すると時間知覚が変化することを報告した。今年度は第一に、懐かしさ感情について同様の実験を実施したところ、懐かしさは時間知覚を変化させないとの結果が得られた(実験2)。原因として、オンライン実験では時間知覚に影響するほど強い感情が喚起されない可能性、また、懐かしさは喚起にも長いスパンの時間を要することから、1秒オーダーの時間知覚には影響しないが、より長いオーダー(例えば1分)での時間の評価には影響する可能性が推測された。

そこで第二に、実環境において懐かしさを誘発すると時間評価が変化する可能性について検討した(実験3)。実験は、オンライン実験や実験室実験よりも感情がより強く喚起されると想定されるフィールド実験形式で、浅草花やしき、東京ドームシティアトラクションズ等において実施した。参加者は1分という時間の長さの主観的に等しいと感じる持続時間をストップウォッチで産出した。実験時の参加者の感情は、BMISに「なつかしい気持ち」を追加した19項目とSAMを使用した。その結果、懐かしさを感じていた人は他の感情(恐怖、中立)の人よりも産出時間が短くなる(物理的に1分が経っていないくても1分経ったと感じてしまう)という結果が得られた(図2)。

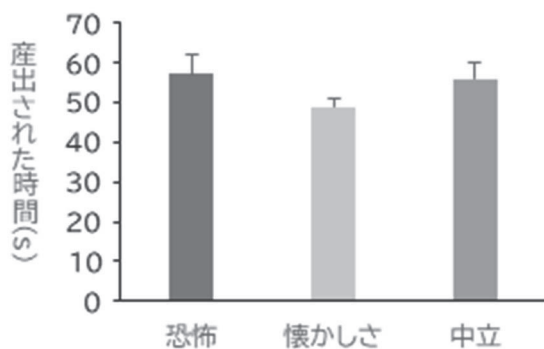


図2: 実験3の結果

第三に、上記とは別のアプローチで、他者の感情表現を観察することで自身の中に誘発される感情が自身の行動にどのような影響を与えるのかを検討した(実験4)。具体的には、他者が悲しそうにしているときに共感感情が誘発され、それによって利他行動が促進されるかどうかを調べる実験を実施した。

実験課題は独裁者ゲームと呼ばれる課題で、まず実験参加者(配分者)はゲームマネー1000円の中から相手(非配分者=サクラ)に好きなだけ配分金額を決定した。それを受けて非配分者は、ジェスチャー(喜び

または悲しみ)と声(喜びまたは悲しみ)に感情をこめて「私の取り分はそれですね」と発話した。その発話を受けて、配分者は配分額の変更を許可された。変更前後の配分額の変化を利他行動の指標とした。

実験の結果、非配分者が身体で悲しみを表現したとき利他行動が起こったが、声色で悲しみを表現しても利他行動は促進されなかった(図3)。つまり、ジェスチャーによる感情表現が他者に共感感情を誘発させ、利他行動を促進することがわかった。

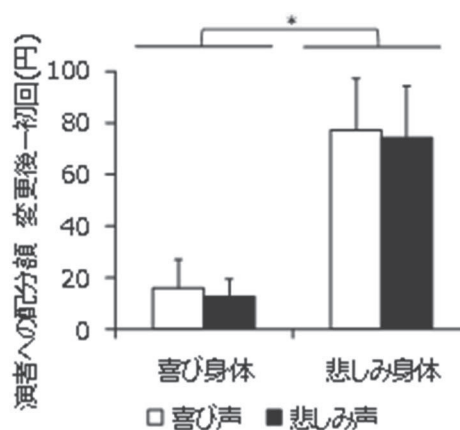


図3: 実験4の結果

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

人間がマルチモーダル情報から感情を誘発する仕組みと、誘発された感情が認知課題の遂行や社会行動に及ぼす影響を心理実験によって検討することで、マルチモーダル情報によって人間の感情・認知・行動を制御できる通信システムの設計指針を得られることを期待して、研究を進めている。

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

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

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- Oya, R., & Tanaka, A. (2022). Cross-cultural similarity and cultural specificity in the emotion perception from touch. *Emotion*, 10.1037/emo0001086. Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/emo0001086>
- Kamiloglu, R. G., Tanaka, A., Scott, S. K., & Sauter, D. (2021). Perception of group membership from spontaneous and volitional laughter. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377: 20200404. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0404>
- 田中章浩・清水大地・小手川正二郎 (2021). 顔・身体表現から探るトランスカルチャー映像情報メディア学会誌, 75(5), 614-620.
- 河原美彩子・澤田佳子・田中章浩 (2021). ヒューマノイドロボットに対する人間の多感覚的な感情認知 日本感性工学会論文誌, 20(3), 329-335. <https://doi.org/10.5057/jjske.TJSKE-D-21-00015>
- Yamamoto, H. W., Kawahara, M., & Tanaka, A. (2021). A web-based auditory and visual emotion perception task experiment with children and a comparison of lab data and web data. *Frontiers in Psychology*, 12:702106. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.702106>
- Kawahara, M., Sauter, D. A., & Tanaka, A. (2021). Culture shapes emotion perception from faces and voices: changes over development. *Cognition and Emotion*, 35(6), 1175-1186. <http://doi.org/10.1080/02699931.2021.1922361>

採択番号：H31/A18

利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現

[1] 組織

研究代表者：

松田 信幸（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

枝松 圭一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

なし

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

近年、量子計算や量子暗号通信といった、光の量子性を駆使した情報通信技術の研究が活発化している。特に、現代計算機を凌駕する高速演算が可能な量子計算は大きく注目されている。量子計算の数ある実現方法のうち、光子を用いる方式は、数十個という比較的少ない数の光子を用いた場合にも高速な計算が可能な点において、他の方式に比べて優位性がある。光子計算の実現のためには、量子干渉性の高い単一光子を発生する量子光源を複数用意することが必要となる。そのためには、個々の光源のサイズを可能な限り小型化する必要がある。

小型量子光源として、シリコン微小リング共振器が知られている。これは、シリコン光導波路によって形成された半径数十 μm 程度の円形の共振器である。共振効果により、単一光子発生のための非線形光学効果である自発四光波混合がシリコン光導波路中で効率的に誘起されるため、超小型ながらも高効率な量子光源として用いることができる。しかし実際には、リング共振器に加え、別の励起パルス光源が必要となる。さらに、光子の高い干渉性のためには、時間幅10 ps以下の光パルスを用いて非線形光学現象を誘起する必要がある。そのような短い時間幅の光パルスを得るためには、共振器長の長い固体レーザーが必要であり、このことが量子光源システム全体の小型化を困難にしていた。

そこで本プロジェクトでは、固体レーザーを短パルス発生可能な小型半導体レーザーに置き換えることで、従来よりもサイズが大幅に縮小された量子光源システムを実現することを目的とした研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が3年目であった。1年目は光源やデバイス特性の評価を行い、発生する単一光子の特性を見積もるとともに、実験系の立ち上げを

行った。また理論検討により、より干渉性の高い単一光子を発生させることのできる励起光パルスの変調方法を見出した。前年度は微小リング共振器の試料を試作し、短パルス半導体レーザー光源を励起光源とする光子対発生実験を行った結果、時間相関を有する光子対の発生に成功した。すなわち、本プロジェクトの主目標を達成することができた。本年度は、光源のさらなる性能向上を図った。光子対の取り出し効率向上やノイズ低減のための新たな素子を設計・試作し、その動作を実証した。また、微小リング共振器に基づく量子光源特有の問題を解決するため、Q値変調微小リング共振器と呼ばれる新しい微小リング共振器を新たに試作し、その量子光源としての動作実証に成功した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、開発した光源のさらなる性能向上を図った。光子対の取り出し効率向上やノイズ低減を図るための新たな素子を設計・試作し、その動作を実証した。微小リング共振器は、光導波路で形成されたリング共振器部と、リング部に光を結合させるためのバス導波路からなる（図1(a)）。光子対の発生は、主に光学非線形性の高い微小リング共振器部において生じるが、バス導波路自身も非線形性を有するため、若干の光子対を発生する。バス導波路から発生する光子対は、リング部から発生する光子対と異なる特性を有するため、リング部から発生した光子対を用いたい場合には雑音となる。

我々はこの雑音を低減するため、バス導波路の大部分を光学非線形性の低い光導波路に置き換えた。低非線形導波路として SiO_2 導波路を用いた。 SiO_2 導波路は、チップ外の光ファイバからシリコン光導波路へ光波を効率よく入出力するためのモードサイズ変換器の第二コアとして用いられている光導波路である（図1(b)）。バス導波路のうち、リング共振器に光を結合させるために最低限必要な部分のみをシリコン導波路として残し、それ以外の部分を SiO_2 導波路に置き換えた素子を試作した。この素子を用い、前年度同様、利得スイッチレーザーダイオード(GSLD)を励起光源とした光子対発生実験を行った。その結果、バス導波路から発生する光子対発生レートを、リング共振器から

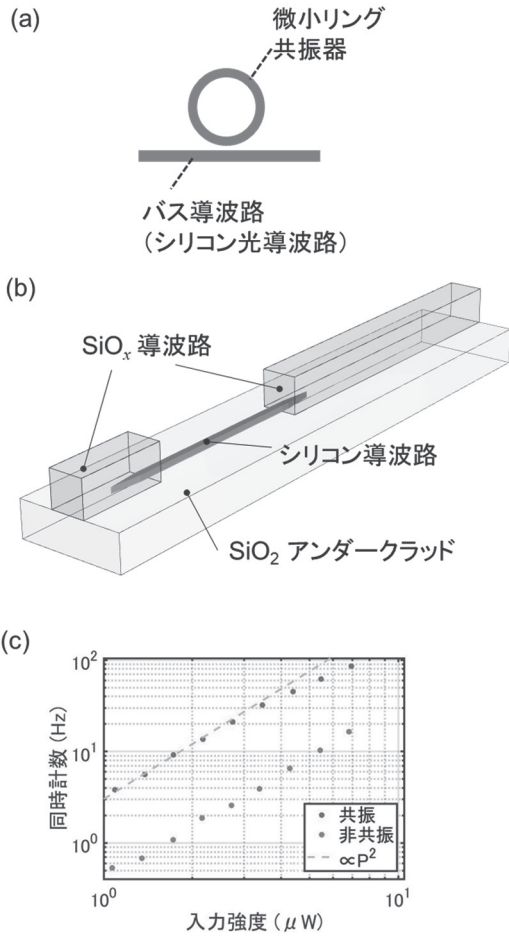


図1 (a)微小リング共振器の模式図。(b)シリコン導波路と SiO_x 導波路。(c)励起光のリング共振器への共振の有無それぞれにおける光子対同時計数測定結果。

の光子対のレートの 1/10 以下に低減することに成功した (図 1(c))。すなわち、光源からのノイズの削減に成功した。

第2に、微小リング共振器から発生する光子の特性を改善するために新規素子を試作した。単一光子の量子干渉性の指標として純度 (Purity) が挙げられる。理想的には純度 1 の光子を発生することが量子情報処理実験上望ましい。しかし、通常の微小リング共振器から生じるの光子の純度には上限値が存在し、その値は 0.92 である。この値はリング共振器の Lorentzian 型の透過強度及び位相スペクトル特性によって決まる原理的なものである。この上限値を 1 に近づけるために様々な提案があるが、我々は今回、純度向上を実現可能な素子として、リング共振器に非対称マッハツェンダ干渉計 (AMZI) を組み合わせた Q 値変調微小リング共振器と呼ばれる素子を試作し、その基本動作の検証を行った。Q 値変調微小リング共振器の模式図を図 2(a) に示す。この構造は、リング共振器の共振特性を、AMZI の波長フィルタとしての特性で変調すること

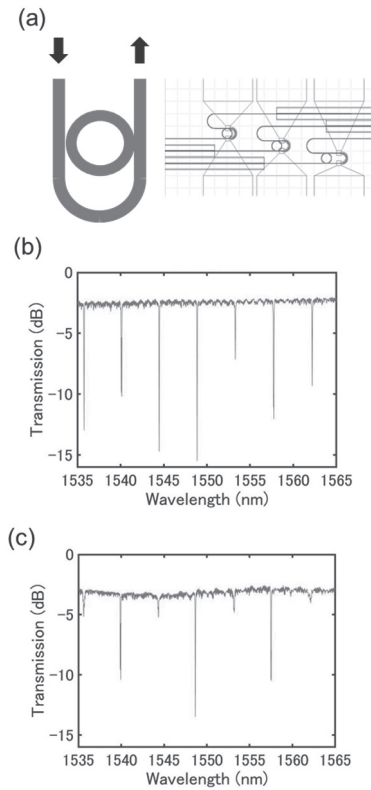


図2 (a)Q 値変調微小リング共振器の模式図と光回路レイアウト。(b)通常のリング共振器と(c)Q 値変調微小リング共振器の透過光強度スペクトル。

により、波長ごとに異なる共振スペクトル形状を実現するものである。このような共振スペクトル形状の制御により、前述の光子の純度を 1 まで高めることができることが知られている。試作した Q 値変調微小リング共振器の透過スペクトルを、通常のリング共振器の透過スペクトルとともに図 2(b), (c) に示す。Q 値変調構造の導入によって、透過スペクトルの線幅が波長位置ごとに変化していることが分かる (図 2(c))。このような結果から、我々は目的とする素子の作製に成功した。加えて、この素子から明瞭な光子対信号を観測することにも成功し、Q 値変調微小リング共振器の量子情報処理用光源としての応用可能性を示した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本プロジェクトの遂行により、量子光源システムのサイズが大幅に小型化され、光量子計算機のスケールアップにつながることを期待される。今後、出力光子の量子干渉性の解析などを継続し、素子のさらなる性能向上を図る。さらに将来的には、利得スイッチ半導体レーザ光源をシリコンチップ上に集積し、真に小型化された量子光源の実現をめざす。s

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・松田信幸, 「シリコンフォトニクスを用いた量子情報処理」, 光アライアンス, 33 巻 3 号, p. 20-24 (2022).
- ・松田信幸, 「量子コンピューティングのための光集積回路デバイス」, IEEE Sendai Life Members Affinity Group (LMAG) 第 1 回講演会, 2021 年 5 月 15 日 (招待講演)
- ・ N. Matsuda, "Quantum Information Processing Using Integrated Photonics," IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL) 2021, Invited Talk II, 2021 年 5 月 26 日 (招待講演)
- ・松田信幸, 「光集積回路による量子計算技術の現状と将来展望」, 電子情報通信学会 SNT 研究会, 2021 年 6 月 29 日 (招待講演)
- ・松田信幸, 「シリコン光集積回路を用いた量子計算」, 東北大学電気情報産学官フォーラム 2021, 技術セミナー 3, 2021 年 10 月 8 日
- ・松田信幸, 「光量子コンピューティングの最新動向」, 第 29 回フォトニックデバイス・応用技術研究会ワークショップ, 2021 年 11 月 25 日 (招待講演)
- ・ N. Matsuda, "Silicon Photonics for Quantum Information and Communication," FY2021 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Session2-1, 2022 年 2 月 17 日
- ・木村彰吾, 境野一輝, 谷澤健, 岡野誠, 竹中充, 山田博仁, 松田信幸, 「シリコン光導波路を用いた多チャネル量子光源の設計」, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-P08-1, 2022 年 3 月 24 日
- ・福永雅樹, 楊帆, 枝松圭一, 横山弘之, 山田博仁, 松田信幸, 「Q 値変調微小リング共振器を用いた相関光子発生」, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 25p-D214-8, 2022 年 3 月 25 日

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・ E. Pelucchi, G. Fagas, I. Aharonovich, D. Englund, E. Figueroa, Q. Gong, H. Hannes, J. Liu, C.-Y. Lu, N. Matsuda, J.-W. Pan, F. Schreck, F. Sciarrino, C. Silberhorn, J. Wang, K. D. Jöns, "The potential and global outlook of integrated photonics for quantum technologies," Nature Reviews Physics **4**, 194 (2022)
- ・ N. Maraviglia, P. Yard, R. Wakefield, J. Carolan, C. Sparrow, L. Chakhmakhchyan, C. Harrold, T. Hashimoto, N. Matsuda, A. K. Harter, Y. N. Joglekar, A. Laing, "Photonic quantum simulations of coupled-PT-symmetric Hamiltonians," Phys. Rev. Research **4**, 013051 (2022).
- ・松田信幸, 「シリコンフォトニクスを用いた量子情報処理」, 光アライアンス, 33 巻 3 号, p. 20-24 (2022).

採択番号 (Grant No.) : H31/A19

Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Eli Christopher Inocencio Enobio

(Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Shunsuke Fukami

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

Jade C. Jusoy

(Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 3 人

[2] 研究経過 (Summary)

A method to characterize ultrathin CoFeB-MgO magnetic tunnel junction (MTJ) structure with perpendicular easy axis by spin rectification enabled by anomalous Hall Effect [APL 105, 262404, (2014)] was established. Samples are deposited by dc/rf magnetron sputtering on Si/SiO₂ substrate with structure from the substrate side of Ta(5)/CoFeB(1)/MgO/CoFeB(1.8)/Ta(5)/Ru(5). Numbers in parentheses are nominal thicknesses in nanometers. Samples are annealed at 300 °C for 1 hour. Blanket film is cut into 2.5 mm x 3 mm stripe. Microwave signal of output power 20 dBm with amplitude modulation is sent directly into the stripe through coplanar waveguide. Fig. 1 shows the schematic of the measurement setup. For each applied rf current I_{rf} (1.5 GHz to 10 GHz), the magnitude of external DC magnetic field H_{ext} is varied.

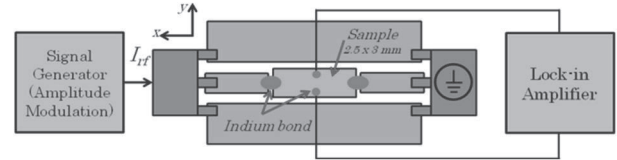


Fig. 1. Schematic of electrical detection of magnetization dynamics.

Resonant Hall voltage V_x along the longitudinal (x) direction and V_y along transverse (y) direction are measured using lock-in amplifier. Peaks are fitted by combination of symmetric and antisymmetric Lorentzian functions [PRB 84, 054423, (2011)]. Effective perpendicular anisotropy field H_K^{eff} and damping constant α are determined from resonance conditions derived from LLG equation

$$f \cong \frac{\gamma \mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{(H_R \cos(\theta_M - \theta_H) + H_K^{eff} \cos 2\theta_M)}{(H_R \cos(\theta_M - \theta_H) + H_K^{eff} \cos^2 \theta_M)}} \left\{ \left(\frac{2\pi\alpha}{\gamma} f \right)_{intrinsic} + \left(\frac{d(\omega/\gamma)}{dH_K^{eff}} \right)_{anisotropy} \Delta H_K^{eff} + \Delta H_{TMS} \right\}$$

where γ is gyromagnetic ratio, μ_0 is Bohr magneton, θ_M is magnetization direction, θ_H is external magnetic field H_{ext} direction, ΔH_{TMS} is two-magnon scattering linewidth. Vector-network-analyzer ferromagnetic resonance (VNA-FMR) measurement [IEEE Magn. Lett. 6, 5700303 (2015)] is also measured from blanket film sample for comparisons.

[3] 成果 (Results)

(3-1a) 研究成果 (Research Results)

Resonant Hall voltage V_y versus applied external field is shown in Fig. 2. Only transverse resonance voltage is detected suggesting spin rectification from anomalous Hall

Effect [APL 109, 182406, (2016)].

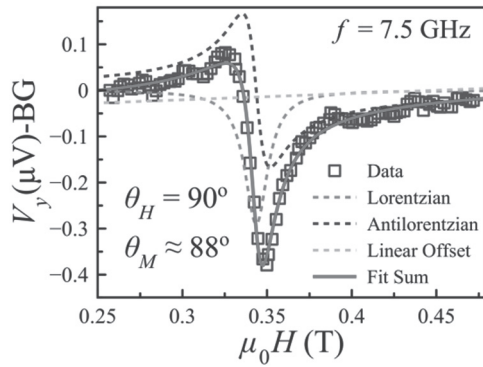


Figure 2. External magnetic field dependence of spin-rectified anomalous Hall voltage (minus background BG) with I_{rf} frequency of 7.5 GHz.

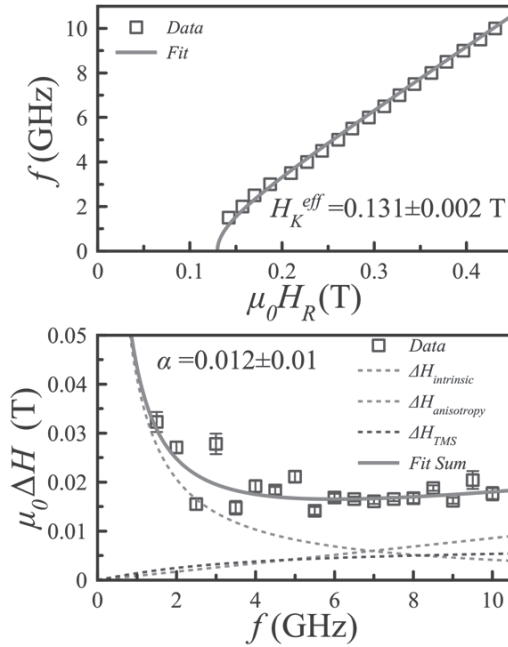


Figure 3. Frequency dependence of resonant field H_R and linewidth ΔH . Fitted H_K^{eff} and damping constant α is shown.

Figure 3 show the (a) frequency dependence of resonance field H_R and (b) linewidth ΔH . From the fitting using resonance condition derived from LLG equation. Effective anisotropy field H_K^{eff} and damping constant α of top CoFeB recording layer were determined to be 0.13T and 0.012 respectively consistent with values determined by VNA-FMR of 0.09T and 0.009 respectively.

3 – 1 b) Achievement from a view point of international collaboration

This collaborative work enhances knowledge and capability exchange between the Physics Department of Mindanao State University-Iligan Institute of Technology, Philippines, and the Laboratory of Nanoelectronics and Spintronics, Tohoku University, Japan. The Mindanao State University-Iligan Institute of Technology is pursuing to become a research university, and the exposure of its faculty and students to international cooperative researches is valuable for the development of its research capabilities.

3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

As magnetic film thickness is reduced, characterization of magnetic properties utilizing inductive method such as VNA-FMR approach measurement limits due to degradation of signal-to-noise ratio. The result established an electrical method to characterize damping constant of magnetic tunnel junction structure with perpendicular easy axis. By employing electrical method to characterize dynamic magnetic properties, the technique has no dependence on sample thickness thus offer superior capabilities in comparison to inductive method such as VNA-FMR.

Finally, from this RIEC cooperative project we published an article in Applied Physics Letters from related and previous results of Principal Investigator on the temperature dependence of VNA-FMR measurements on CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions. Analysis of data and preparation of manuscript were partly done in the Philippines.

[4] 成果資料 (Publications)

Y. Takeuchi, E. C. I. Enobio, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, H. Ohno, *Temperature dependence of intrinsic critical current in perpendicular easy axis CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions*, Appl. Phys. Lett. 119, 242403 (2021); doi: 10.1063/5.0072957

採択番号：H31/A21

ラピッドプロトタイピングのための ソフトウェア無線機の同期性能の検討

[1] 組織

研究代表者：

山田 洋士 (石川高専電子情報工学科)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

小熊 博 (富山高専電子情報工学科)

亀田 卓 (広島大学ナノデバイス・バイオ融合
科学研究所)

延べ参加人数：4名

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

ソフトウェア無線 (SDR: software defined radio) 装置の中で, パソコン(PC)と A/D・D/A 変換器を組み合わせ使用される種類の装置 (PC-SDR) は, 通信システムに関する研究開発の初期段階で迅速にプロトタイピングを行うための環境として有用であるが, 同期確立手法に課題がある。

2020 年度までの共同プロジェクト研究により, ソフトウェア無線機用インタフェース USRP (universal software radio peripheral) をオープンソースのソフトウェア無線用ツールキット GNU Radio で制御する場合を対象として, 複数の USRP を用いた場合のサンプリングタイミングの同期を実現する実装法を確立し, それらを利用して無線伝播路の高精度なインパルス応答測定を実現可能であることを示した。

本年度は, 時空間同期の実証実験を PC-SDR で行うために, 分散配置された複数の PC-SDR 間で位相同期が確立している状況の実現が必要となった。そこで, 2台のPCにそれぞれ接続された2台のPC-SDR間で, 時間および位相同期を確立するソフトウェアを実装するとともに, 同期性能の定量的評価を行うことを目的として, 研究を行った。

[研究の実施状況]

2021 年度は, 東北大通研の教員 (末松) と研究代表者・分担者 (山田・小熊・亀田) が, 5月, 6月, 9月, 10月に遠隔で打ち合わせを行った。2020年度に引き続き, 一時的に可搬型機材の貸し出しを受け, 同期性能の定量的評価を実施した。

実験を行うにあたり, プロジェクト費用で拡張ドータボードや消耗品類を購入した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

NI社のソフトウェア無線機 USRPX300 シリーズに, SBX-120 ドータボード (400MHz~4.4GHz) を装着した環境を対象として, 局部発振器(LO: local oscillator)の位相同期を確立する実装と性能評価を実施した。

先行研究として, LO 共有機能を備えたドータボードを使用する手法や, 基準となる信号を USRP で復調し, その信号との比較により位相同期を行う手法がある。後者は, 復調が必要である点が汎用性の低下をもたらしている。

USRPX300 シリーズで汎用的に使用されるドータボードである SBX-120 や UHD (10MHz~6GHz) ドータボードは, 複数のドータボード間での LO 共有を可能とする外部 LO 入力端子を有さない。そこで, ドータボード上で LO 生成用に使用されている PLL シンセサイザチップの位相再調整機構を, GNURadio に含まれるドライバソフトウェア UHD の API (application programming interface) を介して有効化することで, ボード間での LO 位相同期を確立する GNU Radio 用の同期モジュールを開発した。この同期モジュールについては, 2021 年 12 月に開催された国際会議 ICETC2021 で報告するとともに, ソースコードを GPL v3 に従い公開した。

開発・ソースコード公開を行った同期モジュールを使用した場合の LO 位相同期性能の定量的評価を実施した。図1は, SBX-120 ドータボードを装着した2台の USRP X300 を用いたコヒーレント受信機のブロック図である。本稿で言うコヒーレント受信とは, 2台の USRP で構成した2チャンネルの受信機において, チャンネル間の位相差が試行ごとにできる限り変動せず, 一定値であることを意味している。

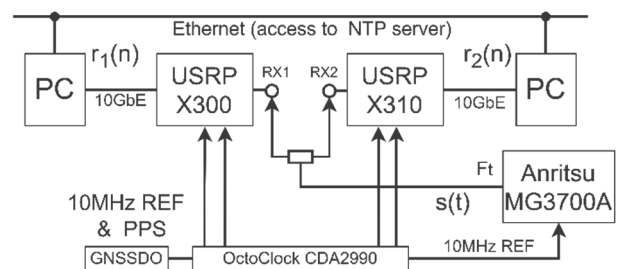


図1 実装した同期モジュールを使用した
コヒーレント受信機のブロック図

表1 評価に使用した機材

OS	Ubuntu 20.04
UHD バージョン	3.15.0.0
GNU Radio バージョン	3.8.4.0
GNSSDO	古野電気 VF-85
基準信号分配器	OctoClock CDA-2990
信号発生器	Anritsu MG3700A

表2 コヒーレント受信時の測定条件

サンプリング周波数 F_s	2MHz
ドーターボード	SBX-120
キャリア周波数	F_c
Tuning モード	Fractional / Integer
送信信号周波数	$F_c+10\text{kHz}$
信号レベル	-25dBm

図1の構成で、表1および表2に示す条件で、キャリア信号 F_c を920MHz, 925MHz, 2.4GHzに設定して0.5ms間の復調信号 $r_1(n)$ に対する $r_2(n)$ の位相差を測定した結果を、図2から図4に示す。それぞれの図では、5回の試行時の位相差測定結果を重ねてプロットしている。

図2より、 $F_c = 920\text{MHz} \cdot \text{Integer}$ モードの条件では、5回の試行における初期位相のばらつきが2度以下であることがわかる。図3の $F_c = 925\text{MHz} \cdot \text{Fractional}$ モードの条件下では、5回の試行時の初期位相のばらつきはIntegerモードである $F_c = 920\text{MHz}$ の条件よりも大きく、5度に達している。図4の $F_c = 2.4\text{GHz} \cdot \text{Integer}$ モードでは、5回の試行時の初期位相のばらつきは4度以下であることがわかる。

図5は、 $F_c = 2.4\text{GHz} \cdot \text{Integer}$ モードにおいて0.5秒間(100万点)の復調信号での位相差の頻度分布を 3σ の範囲で示している。

以上より、実装した手法で最高精度を得るには、Integerモードを利用すべきことが明らかとなった。また、Integerモードであっても、キャリア周波数を上げることで、初期位相のばらつきがより増大することを定量的に示した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

ソフトウェア無線機 USRP は市販製品ではあるが、USRP およびドーターボードの回路図は公開されており、GNU Radio はオープンソースソフトウェアとして開発されている。

USRP を用いてプロトタイプシステムを構築する際のアプリケーションソフトウェアの動作検証は、利用

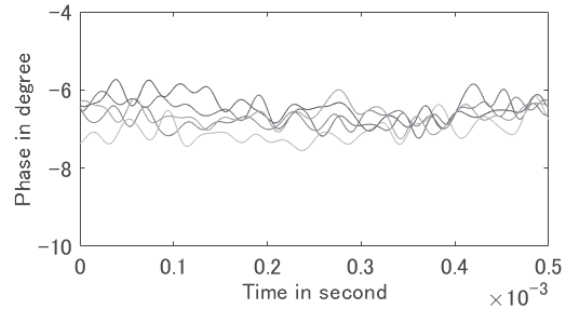


図2 $F_c = 920\text{MHz}$ (Integerモード) の位相差

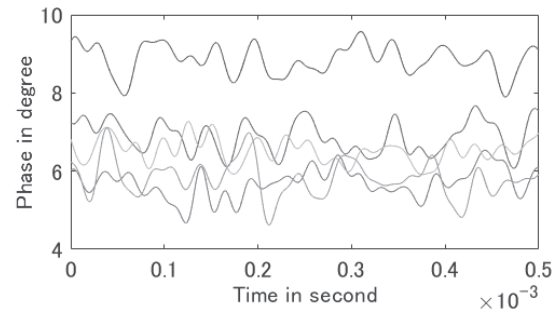


図3 $F_c = 925\text{MHz}$ (Fractionalモード) の位相差

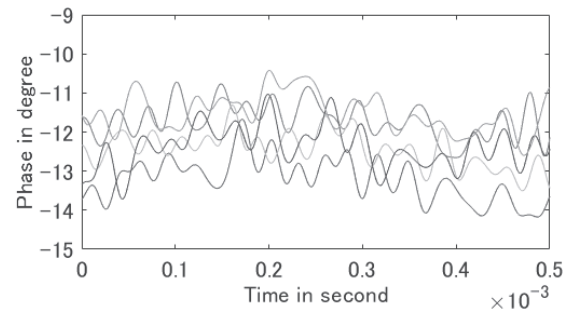


図4 $F_c = 2.4\text{GHz}$ (Integerモード) の位相差

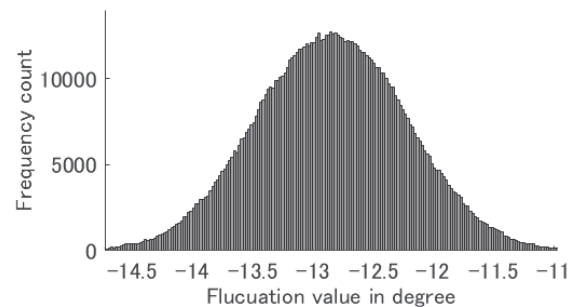


図5 $F_c = 2.4\text{GHz}$ での位相差の頻度分布

者・開発者に委ねられている。UHD APIに基づくLO位相同期を可能とするモジュールを開発・公開し、その位相同期精度を明らかにしたことは、PC-SDRを用いてシステム開発を行う技術者・研究者コミュニティに対する貢献の一つと考えている。

本プロジェクトの研究代表者を代表者とする科研費基盤(C)一般(研究期間2022~2024年度)が、本プロジェクトの成果に基づく研究計画で2022年2月に採択された。研究分担者として、本プロジェクトの研究分担者 亀田が参画しており、今後の発展が期待されている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[1]Y. Yamada, T. Nakahama and H. Nakamura, "Source Code Release of Own Functional Blocks for GNU Radio Companion that Enables Phase Synchronization of USRP N200/X300 devices," IEICE ICETC 2021, P4-9, Dec. 2021.

[2]S. Kameda, Y. Honma, N. Suematsu, S. Yasuda and N. Shiga, "USRP Implementation of Transmission Timing Control Function for Synchronized SS-CDMA Using Wireless Two-Way Interferometry (Wi-Wi)," IEEE ICUFN 2021, pp. 328-333, Aug. 2021.

[3]中村陽斗, 山田洋士, 亀田 卓, 末松憲治, "UHD による LO 位相同期を適用した USRP/ドータボード間の位相同期性能評価," 電子情報通信学会 技術研究報告 スマート無線 SR2021-69, vol. 121, no. 345, pp. 46-53, Jan. 2022.

[4]佳山隼也, 山田洋士, 亀田 卓, 末松憲治, "[ショートペーパー] ソフトウェア無線機 USRP のための単位サンプル未満粒度の遅延の実現例," 電子情報通信学会 技術研究報告 スマート無線 SR2021-68, vol. 121, no. 345, pp. 43-45, Jan. 2022.

[5]山田洋士, 中浜智也, "[依頼講演] 時間・位相同期に着目した GNU Radio/UHD による USRP の利用事例," 電子情報学会技術研究報告 スマート無線, vol. 121, no. 30, SR2021-7, pp. 48, May 2021.

[6]H. Nakamura, Y. Yamada, S. Kameda and N. Suematsu, "Performance Evaluation of USRP Software Defined Radio Devices for Rapid Prototyping with Emphasis on Phase and Time Synchronization," FY2021 RIEC Annual Meeting, Tohoku Univ., 2-P07, Feb. 2022.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・なし

採択番号：H31/A23

学習支援のための追体験システムの構築

[1] 組織

代表者：塩入 諭
 (東北大学電気通信研究所)
 対応者：塩入 諭
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：YUEH, Hsiu-Ping
 (国立台湾大学)
 分担者：Wei jane Lin
 (国立台湾大学)
 分担者：満上 育久
 (広島市立大学)
 他東北大研究員、学生5名
 国立台湾大学教員1名
 延べ参加人数：8人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容 (Summary)

本研究では、特定の課題の学習時の学習者の認知・行動特性を計測し、学習行動の AI クローンを構築することを目的とする。学習内容として分担者 Yueh らの開発した自己学習教材を利用し、対象とする認知特性・行動特性としては、計測結果に基づく無意識的判断も含めた多様な分析を計画した。2021年度は、大学生グループの課題遂行時の支援方法に関して、その的確なタイミングを知ることを目的として、研究計を進めた。分担者 Yueh らの先行研究は数人のグループで与えられた問題の解決をするものであったが、本研究では、顔表情に着目するために、個人がコンピュータ上で課題に取り組むものである。2021年度には実験の準備を行い、手法の確認実験でその有効性を確認した。実験では、被験者が与えられた問題を解決するために、必要に応じてヒントを求めることが許されていて、ヒントを要求するタイミングとそれに伴う顔表情の関連の調査を可能とする手法が開発できたと言える。

実験に用いた問題は、少数民族言語を用い与えられた訳文を参考に、新規の文章を理解するものであり、一種の言語パズルである。その解答のためには、何段階かの推測段階が必要とされ、それぞれに関連したヒ

ントが準備されている。コンピュータ上の操作で、解答を求めることで、ヒントを要求するタイミングや解答内容も記録され、同時に計測する顔表情との関連を調査することができる。

また、近未来のコミュニケーション環境として注目を集めるメタバースでの学習を想定し、VR ゴーグル着用時の視線を推定する手法や、視線軌跡から講義に対する理解度を推定する手法についても開発した。アイトラッカーを備えた VR ゴーグルは存在するが、高価なことと、PC とのケーブル接続が必要なものしか存在しないことから、受講生が気軽に使うには不向きであり、また多数の受講生のデータを収集することが困難であった。本研究により、アイトラッカーを備えていない安価なモバイル型の VR ゴーグルでも視線推定が可能となり、多くの受講生の受講行動データの収集が可能となる。

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

学習者の認知行動予測のための基礎研究を目的に、学習時の顔表情の計測結果の解析を行なった。3桁か4桁の数字の間の加減算を暗算するときを対象とした顔表情分析を進めた。顔映像から顔の特徴やその組合せによる表情予測が可能であることを確認し(図1)、検出された特徴と課題遂行との関連を検討した。

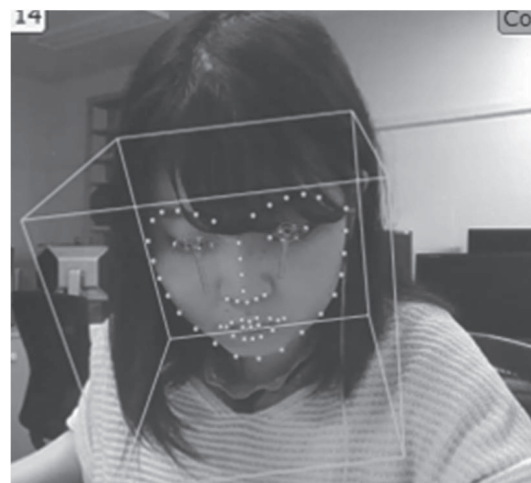


図1 OpenFace による顔特徴の解析。小さな赤四角は、眼、眉、鼻、口、顔輪郭などに関連する特徴点(赤で表現)。直方体(青で表現)によって推定された頭部方

向を表す。黒眼付近の短い線（緑で表現）は推定された視線方向を示す。

顔特徴を利用し、課題に対する集中度や注意状態を推定するために、機械学習(LightGBM)による解答時間の予測を行った。これは集中し課題に注意を向けているほど、解答に要する時間が短縮され、従って解答時間の予測は注意状態の予測であるとの仮説の上での解析である。図2に示す通り、推定値と実測値の間に相関が認められ、問題解決に対する心的負荷の大小が顔表情に現れる事が確認された。今後、この評価手法をより複雑な問題解決時に利用する。

言語パズル課題での実験を実施するにあたり、webブラウザ上で実施する実験環境を整えた。この問題を解くためには、何段階かのステップが必要で、それぞれのステップに対応するヒントを得ることができる。本年度には、課題遂行時の顔をビデオ撮影し、ヒントを必要とするタイミングとの関連、解答を入力する（解答がわかった）タイミングと関連などについて分析できる実験環境を構築し、実際にデータ取得が可能であることを確認した。

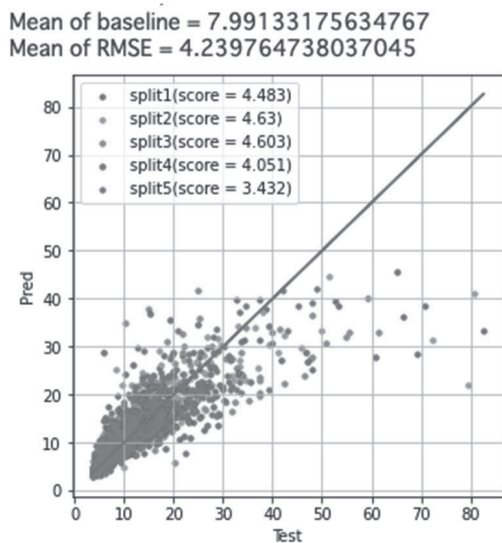


図2 解答時間の予測。Split 1～5は、実験データを5分割し、そのうち4群を学習にして、残りで行ったため、各群をテストに使ったため5回の評価があり、それぞれがSplitの番号で示されている。

アイトラッカーを備えないVRゴーグルで視線を推定する手法については、分担者満上らの先行研究である、眼球・頭部強調運動のモデル化による視線推定手法を活用した。この先行研究は、人間の自然な注視行動における眼球・頭部の運動を収集し、機械学習によりその関係をモデル化することにより、頭部運動の観測のみから視線を推定する手法である。本研究では、これをVRゴーグルの頭部運動ログに適用することに

より、視線推定を行うソフトウェアを開発した(図3)。

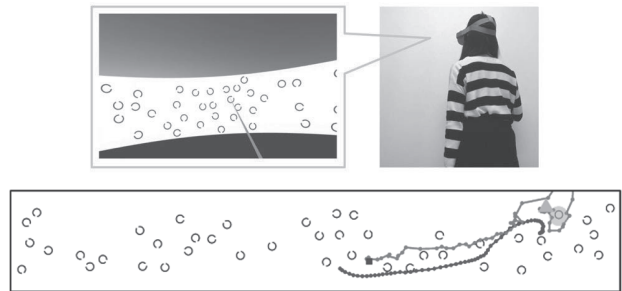


図3 眼球・頭部協調運動のモデル化による、頭部運動からの視線推定。青線がVRゴーグルにより取得される頭部軌跡、赤線が提案手法により推定された視線軌跡。

また、VRゴーグルで講義動画を視聴する受講生の視線を収集し、受講生の講義理解度の高低を視線軌跡から推定する手法も開発した。図4に示すように理解度が高い受講生と低い受講生の視線の動きを可視化し、講義中の特定の時間帯に両者に違いが生じやすいことを確認したことから、そのような時間帯を自動抽出して理解度の高低を推定する手法として実装した。



図4 アイトラッカー付きVRゴーグルを用いて収集した講義視聴中の受講生の注視点。赤点・青点はそれぞれ講義理解度が高い・低い受講生の注視点。

(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)

顔表情の分析技術は進歩していて、情報デバイスを利用した学習や遠隔コミュニケーションなどでの利用が期待されている。それらは画像処理的技術や深層学習による表情分析など多くの研究があるが、注意や集中など心的状態の計測(推定)については、十分な検討がなされていない。この点は、顔表情がどのような内的過程の表れであるかなどの原理的理解の問題となるだけでなく、心的状態の精度の高い推定のためにも大きな課題となる。本研究の問題意識は高精度の心的状態の推定と、それを顔表情から予測することであり、それにより集中度と注意状態の推定方法が確立できれば、多くの場面への展開が可能となる。本研究グループは、そのために次年度も新規の提案を申請中である。

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

•

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

1. Shioiri, S. Sasada, T. & Nishikawa R., Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information, *Cerebral Cortex Communications*, Volume 3, Issue 1, 2022, tgac005 (2022)
2. Shioiri, S. Sato, Y., Horaguchi Y. Muraoka, H. & Nihei, M. Quali-informatics in the society with yotta scale data IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 1-4 (2021)
3. Sato, Y. Matsubara, K. Wada Y. Sakai, N. & Shioiri, S. Analysis of visual subjective evaluation for qualities of food taste using machine learning techniques, *IEICE Technical Report; IEICE Tech. Rep.* 120 (418), 58-62 (2021)
4. Shioiri, S. Matsumiya, K. & Tseng, C. Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Scientific reports* 11 (1), 1-17 (2021)
5. 佐藤好幸, 洞口勇太, 塩入諭, 複数の画像ドメインにおける顔表情特徴量を用いた画像の好み推定, *人工知能学会全国大会論文集 第 35 回全国大会* (2021)
6. Lai, T.L., Lin, Y.S., Chou, C.Y., & Yueh, H-P. (2021). Evaluation of an inquiry-based virtual lab for junior high school science classes. *Journal of Educational Computing Research*.
7. 坂井美友, 世波里菜, 村上純一, 満上育久, 山岸典子, 「VR 環境下での視覚探索時間に対する人の心的状態の影響」, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.26, No.1, 2021.

8. Chen, YC., Gamborino, E., Fu, LC., Yueh, HP., Yeh, SL. Social Presence in Evaluations for a Humanoid Robot and Its Effect on Children-Robot Relationship. In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S. (eds) *HCI International 2021 - Posters*. *HCI 2021. Communications in Computer and Information Science*, vol 1419. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78635-9_27
9. W. Lin, Y. Kotakehara, Y. Hirota, M. Murakami, K. Kakusho and H. -P. Yueh, "Modeling Reading Behaviors: An Automatic Approach to Eye Movement Analytics," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63580-63590, 2021, doi: 10.1109
10. W. Lin, HC Chen, PH Yueh, Using Different Error Handling Strategies to Facilitate Older Users' Interaction With Chatbots in Learning Information and Communication Technologies, *Frontiers in Psychology* 12

採択番号 : H31/A24

インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析

[1] 組織

研究代表者 :

内海 哲史 (福島大学共生システム理工学類)

通研対応教員 :

長谷川 剛 教授 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

2016年9月Google社から、BBR(Bottleneck Bandwidth and Round-trip propagation time) [参考文献1]が発表された。BBRはスループットを最大化し、バッファリング遅延を最小化する新しいインターネット輻輳制御アルゴリズムである。BBRは、インターネットのボトルネックリンクにおいてバッファリング遅延が継続的に大きくなるバッファブローを解決する輻輳制御アルゴリズムとして期待されている。しかし、BBRがこれまで広く普及しているCUBIC TCP [参考文献2]などの従来型のロスに基づく輻輳制御アルゴリズムと競合するとき、BBRはロスに基づく輻輳制御アルゴリズムとスループットが不公平になるという問題がある。内海(研究代表者)は、これまでの研究で、BBRのアルゴリズムやパラメータを変更することによって、スループット公平性の改善に取り組んできた。本研究では、スループットを最大化し、バッファリング遅延を最小化する遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムについて、CUBIC TCPなどのロスに基づく輻輳制御アルゴリズムと競合するときの数理モデルを明らかにすることによって、スループットが不公平になる問題を根本的に解決することを目的とする。また、その数理モデルに基づく新しい遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムを提案・性能評価することも目的となる。

[参考文献1] Neal Cardwell, Yuchung Cheng, C. Stephen Gunn, Soheil Hassas Yeganeh, Van Jacobson, “BBR Congestion-Based Congestion Control,” ACM Queue, September–October 2016, pp. 20–53.

[参考文献2] Sangtae Ha, Injong Rhee, Lisong Xu, “CUBIC: A New TCP-Friendly High-Speed TCP Variant,” ACM SIGOPS Operating System Review 42(5), July 2008, pp. 64–74.

本プロジェクトは、本年度が3年度目であった。前年度までは、BBRなどの遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムのフローとCUBIC TCPフローのスループット公平性を達成するため、CUBIC TCPフローの平均輻輳ウィンドウサイズおよび平均スループットに関する数理モデルを明らかにした。本年度は、前年度までの成果を踏まえ、CUBIC TCPのスループットに関する数理モデルに基づいて、CUBIC TCPとのスループット公平性を改善する改変版BBR (BBR-FCA: Fair to CUBIC based on mathematical Analysis)を提案し、シミュレーション実験によって、その性能を評価した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) 第14回インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS 2021)

場所 : オンライン開催

日時 : 2020年11月25日~26日

題目 : 異種輻輳制御機構の競合時における性能評価 : CUBIC vs Copa vs BBR

著者 :

荻野 雅史・岡田 章吾

(福島大学大学院共生システム理工学研究科)

内海 哲史

(福島大学理工学群共生システム理工学類)

(2) 令和3年度東北大学電気通信研究所-情報通信共同研究拠点-共同プロジェクト研究発表会 (共同研究プロジェクト成果報告・ポスターセッション)

場所 : オンライン開催

日時 : 2021年2月17日

題目 : Improving Fairness among Heterogeneous Congestion Control Algorithms Based on Mathematical Analysis

著者 :

内海 哲史

(福島大学共生システム理工学類)

長谷川 剛

(東北大学電気通信研究所)

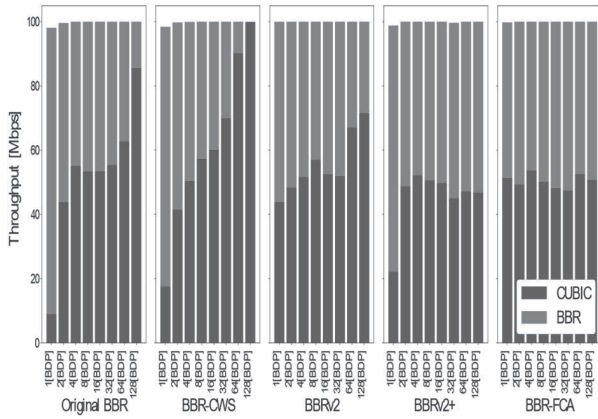


図1: 1 CUBIC フローと 1 BBR フローの競合時のスループット

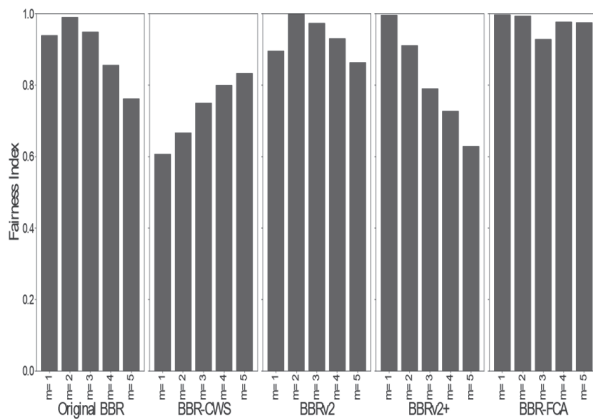


図2: m CUBIC フローと 1 BBR フローの競合時の公平性指標

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

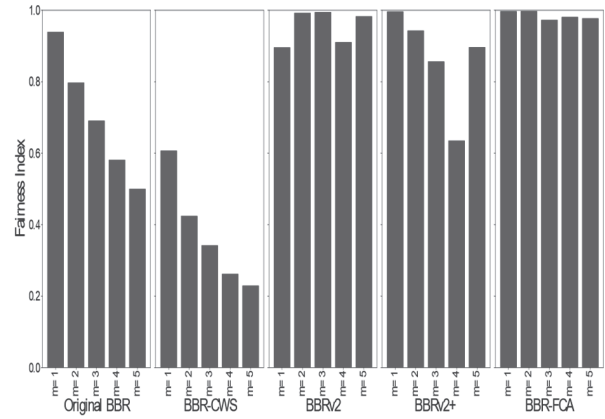
まず、第一に、前年度提案した CUBIC TCP フローの平均ウィンドウサイズおよび平均スループットを推定できる数理モデルに基づいて、CUBIC TCP とのスループット公平性を改善する BBR-FCA (Fair to CUBIC based on mathematical Analysis) を提案した。

第二に、シミュレーション実験によって、BBR-FCA フローと CUBIC TCP フローとのスループット公平性を評価した。性能評価結果は、図 1-4 のとおりである。

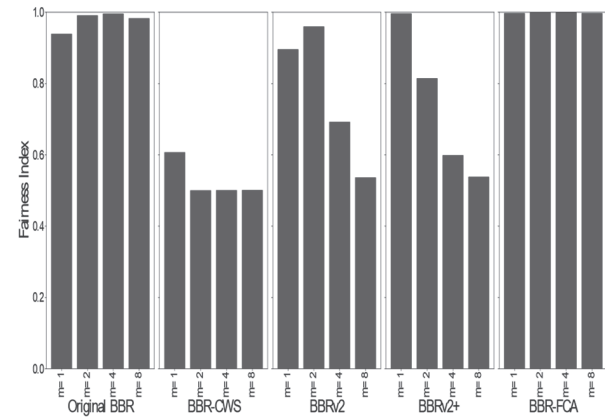
(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の波及効果と発展性、研究分野への貢献として、以下のことが挙げられる。

- CUBIC TCP などのロスに基づく輻輳制御アルゴリズムのフローの平均スループットをより正確に示す数理モデルの構築
- CUBIC TCP フローとスループットが公平となる BBR の実現
- (より一般的に) ロスに基づく輻輳制御アルゴリズムとスループットが公平となる遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムの実現



- ロスに基づく輻輳制御アルゴリズムとの公平性実現による BBR などの遅延に基づく輻輳制御アルゴリズムの普及



- インターネットにおけるバッファブロー問題の解消

本プロジェクトを発展させた課題として、次のプロジェクトが採択された。

図3: 1 CUBIC フローと m BBR フローの競合時の公平性指標

図4: m CUBIC フローと m BBR フロー競合時の公平性指標

- プロジェクト名：
ネットワークの多様性と競合フローとの親和性を考慮した機械学習による輻輳制御の探究
- 資金制度：
科学研究費助成授業・国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A)）
- 配分機関名：日本学術振興会
- 研究期間：令和4年度～令和6年度

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

Satoshi Utsumi and Go Hasegawa, “Improving Inter-Protocol Fairness Based on Estimated Behavior of Competing Flows,” International Federation for Information Processing (IFIP) Networking 2022 Conference, accepted. (査読有)

荻野 雅史, 岡田 章吾, 内海 哲史, “異種輻輳制御機構の競合時における性能評価: CUBIC vs Copa vs BBR,” 第14回インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS 2021), pp. 32-39, 2021年11月. (査読有)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号 (Grant No.) : H31A26

Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Dr. Amine El Moutaouakil (UAE University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. Taiichi Otsuji (RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者 (Project Member List) :

Asst. Prof. Takayuki Watanabe (RIEC, Tohoku Univ.)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 3 人

[2] 研究経過 (Summary)

During this collaborative project, PI Dr. Amine El Moutaouakil planned to visit the group of Research Collaborator Prof. Taiichi Otsuji to attend the RIEC technical meeting, and to conduct the experimental part of the project at RIEC facilities. Unfortunately, and due to the COVID19 pandemic and the travel restrictions imposed on air travels, the work has to be conducted online.

During the first year of this research, a theoretical study based on the plasmon dispersion model was used to understand the plasmon frequency dependency of both Graphene and MoS₂ nanoribbon patterns on the angle between the plasmon wave vector and Graphene or MoS₂ nanoribbons. During the second year, theoretical modeling of plasmon dispersion and decay phenomena in ungated Graphene ribbons, as well as the experimental investigation of these plasmons in the Terahertz range using the Attenuated Total Reflection measurement setup were conducted. During the third year, and due to the continuation of COVID19 pandemic, the PI decided to investigate another material, black phosphorus (BP), to understand its properties and its potential for photodetectors and transistors operating at the Terahertz (THz) range.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

In the first year, a theoretical investigation based on the plasmon dispersion model was used to understand the

plasmon frequency dependency of both Graphene and MoS₂ nanoribbon patterns, shown in Figure 1, on the angle between the plasmon wave vector and Graphene or MoS₂ nanoribbons.

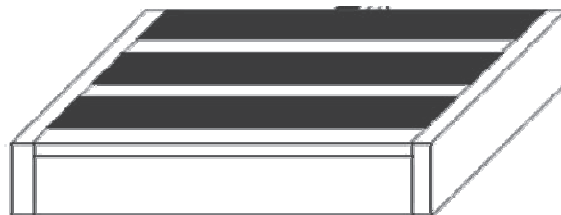


Figure 1. Schematic diagram of ungated nanoribbons

It was found that due to low electron properties compared to those in Graphene (Figure 2), the plasmon dispersion frequency is low in MoS₂, and the decay rate is lower. (Figure 3) Nevertheless, MoS₂ holds decent values that are attractive in term of the robustness, low coefficient of friction, the resistance to oxidation and the direct bandgap.

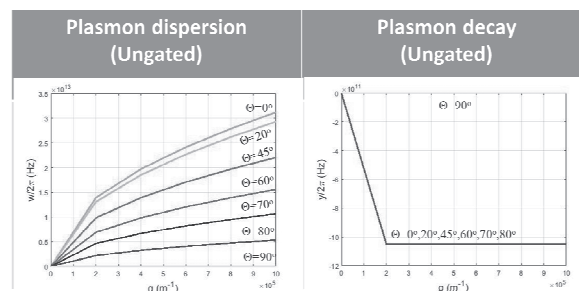


Figure 2. Plasmon dispersion $w/2\pi$ (left) and decay $y/2\pi$ (right) for ungated Graphene nanoribbons as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ and $v = 1.32 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$

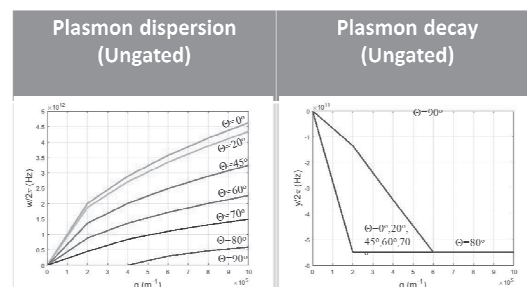


Figure 3. Plasmon dispersion $w/2\pi$ (left) and decay $y/2\pi$ (right) for ungated MoS₂ nanoribbons as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ and $v = 1.32 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$

In the second year, the developed model has been used for the experimental investigation of these plasmons in the Terahertz range using the Attenuated Total Reflection (ATR) measurement setup: We patterned an array of graphene ribbons using photolithography. The obtained ribbons have a size of $12.6 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$ and a spacing of 8.4 to $8.6 \mu\text{m}$ between ribbons.

The Graphene ribbons showed an ATR peak at 1.5 THz indicating a plasmon dispersion at that frequency, as shown in Figure 4.

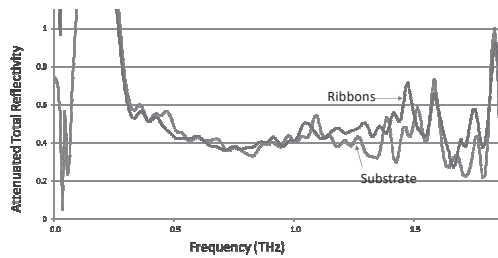


Figure 4. ATR response of Graphene ribbons (brown) and the reference substrate (blue).

The reason behind the low frequency of obtained plasmon dispersion (1.5 THz) compared to the simulation can be explained by the large width and short length of the ribbons; increasing the length of the ribbons while maintaining the width within the nanometer scale using advanced lithography processes such as E-beam lithography, will increase the plasmon dispersion frequency further toward the simulation values. Moreover, the fabricated ribbons were found to have 5-to-10 multilayer of Graphene, which limited the carrier mobility properties, and the use of mono-/bi-layer Graphene can improve the obtained frequency.

In the third year of this project, due to the difficulties to travel and make use of RIEC facilities, the focus was turned to another interesting material: BP. Two-dimensional BP has gained more interest as an active material for optoelectronic applications. It has high carrier mobility that allows for efficient free-carrier absorption of terahertz radiation, even though the photon energy is far below the bandgap energy. Our initial investigation with a liquid-based exfoliation method provides good selectivity of highly crystalline BP from mono- to multi-layers. As shown in Figure 5. Another merit of the liquid exfoliation is the possibility of further isolating the as-dispersed nanosheets from air using the exfoliation solvents, thus slowing down the degradation process significantly.

The ultrafast nonlinear and linear optical properties showed that BP can cover the band-gap range from 0.33 eV (bulk) to 1.88 eV (bilayer) and the spectrum span between visible and infrared radiation, as shown in Figure

6.

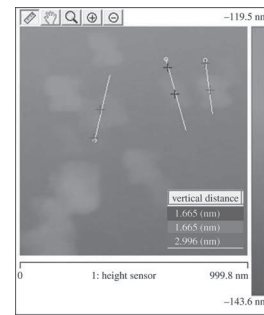


Figure 5. AFM image of exfoliated BP layers deposited on SiO_2/Si by spin coating process.

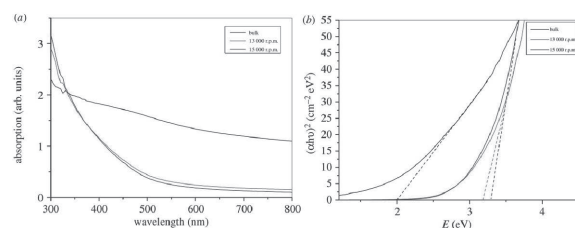


Figure 6. (a) UV/visible absorption spectrum of dispersions of BP in NMP. (b) Representative direct Tauc plots of bulk and centrifuged black phosphorus at $13,000$ and $15,000 \text{ rpm}$.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

Despite the fact that the simulated structures are expected from a theory point-of-view to show high electronic and optical properties, which will improve the sensitivity for THz detection, the experimental results show few limitations related to the degradation of the plasmon frequency due to the dimensions of the ribbon, and the degraded mobility values. Solving these issues, will promote these structures as THz devices, and can lead to a new era of low-cost and compact terahertz imaging systems and to develop ultra-high-speed THz wireless communication. Besides, it was found that there is a great potential for BP as a good alternative nanomaterial for the design of photodetectors and transistors for applications in THz technology.

[4] 成果資料 (Publications)

One journal paper under preparation

“Theoretical comparison of the plasmon dispersion and decay properties of Graphene and MoS_2 nanoribbons for THz applications,” A. El Moutaouakil, A. Hijazi, T. Otsuji,

採択番号：H31/A28

人体領域通信用無線伝搬路に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

秋元 浩平

(秋田県立大学システム科学技術学部
知能メカトロニクス学科)

通研対応教員：

末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

なし

延べ参加人数：2人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

人体領域通信 (WBAN: wireless body area network) は人体上の複数のデバイス間で通信を行うネットワークであり、個人を単位として基本的に独立して構築されるネットワークである。本プロジェクトでは、WBAN アプリケーションの高度化・多様化に伴う高スループット化の要求を満たす新しい WBAN のための人体領域の電波伝搬特性を実測により明らかにすることを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度で3年度であり、実験のためのアンテナ作成と電波伝搬の指向性に着目した実験を行った。

以下、研究活動状況の概要を示す。

(2-1) 研究会など

令和4年1月24日(月)～25日(火)にスマート無線研究会に参加し、本研究成果の発表と議論を行った。令和4年1月28日(金)に無線通信システムのレイヤレスデザインとその応用分野に関する研究会に参加し、研究内容に関する議論や関連研究を行う研究者同士の知見の交換を行った。令和4年2月14日(月)にIEEE EMC Sendai chapter/東北大EMC仙台ゼミナールに参加し、本研究成果の発表と議論を行った。令和4年2月17日(金)に本共同プロジェクト研究発表会ポスターセッションに参加し、研究進捗の報告を行った。

(2-2) 共同実験および研究打ち合わせ

令和3年4月20日(火)、5月25日(火)、6月28日(月)、8月19日(木)、9月24日(金)、1

0月21日(木)の計6回、オンラインにて研究打ち合わせを行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

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。

指向性アンテナかつ人体に装着しやすい形状であることから、WBAN に適しているアンテナであるパッチアンテナを設計した。

図1に試作したパッチアンテナ、図2と図3に製作したパッチアンテナの放射パターンをそれぞれ示す。図2は電界面、図3は磁界面の放射パターンである。グラフの円周方向が角度、半径方向が最大値で規格化した相対利得である。どちらのグラフも0°(正面)付近が最大放射方向となっているため、製作したパッチアンテナは正面方向に指向性を持つことが確認できる。

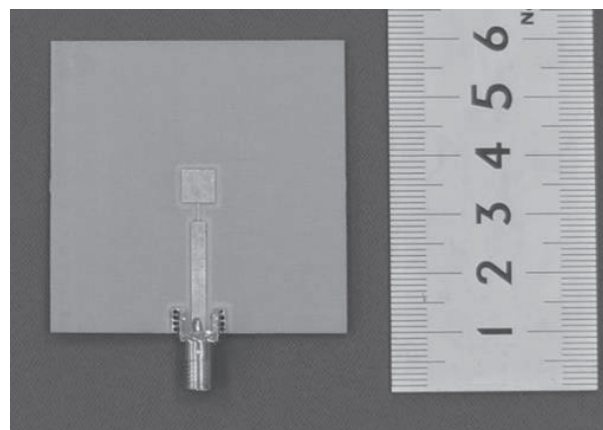


図1 試作パッチアンテナ

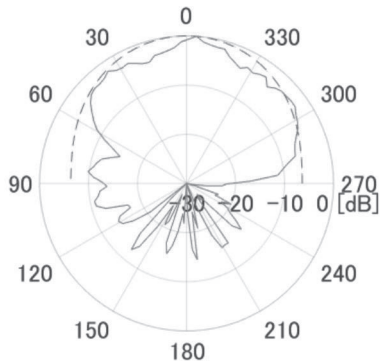


図 2 電界面の放射パターン

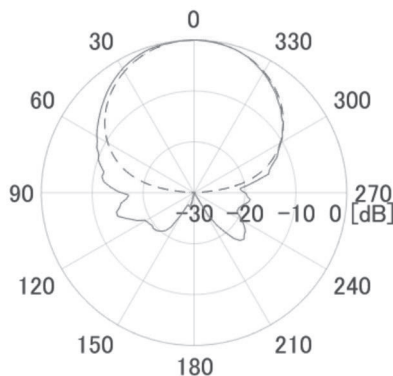


図 3 磁界面の放射パターン

図 5 に測定系を示す。製作したパッチアンテナを人体に装着し、WBAN における干渉抑制を測定にて検討する。はじめに頭部と足先に製作したパッチアンテナを装着する。次に送信電力 0 dBm, 送信周波数 16.3 GHz の無変調波を送信し、信号波の受信電力を測定する。次に送信アンテナを干渉源として離れた位置からの干渉波の受信電力を測定する。干渉波の測定も信号波と同様の無変調波を送信する。最後に測定結果である信号波と干渉波の受信電力の比較から、指向性アンテナを用いた WBAN の干渉抑制効果を確認する。

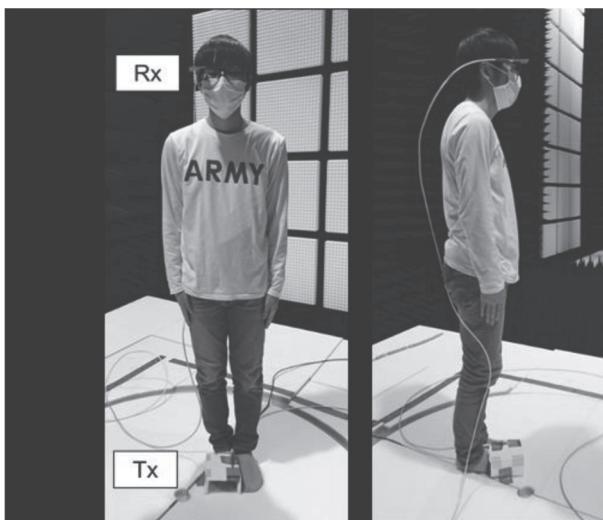


図 4 測定系

図 5 に測定結果として信号波と干渉波の受信電力を示す。また信号波に対する干渉波の抑制効果の目標値を赤破線、雑音電力を黒破線で示した。測定の結果、干渉源から 100 cm までの距離の場合、信号波に対する干渉波の抑制効果の目標値を満たさない。このため、100 cm 以下の距離でアンテナの指向性によって信号波と干渉波を分離する場合、パッチアンテナよりさらに強い指向性をもつアンテナが必要となる。また、300 cm 離れた場所からの干渉波の受信電力は雑音電力とほとんど変わらない値となったため、信号波と干渉波の分離ができている。

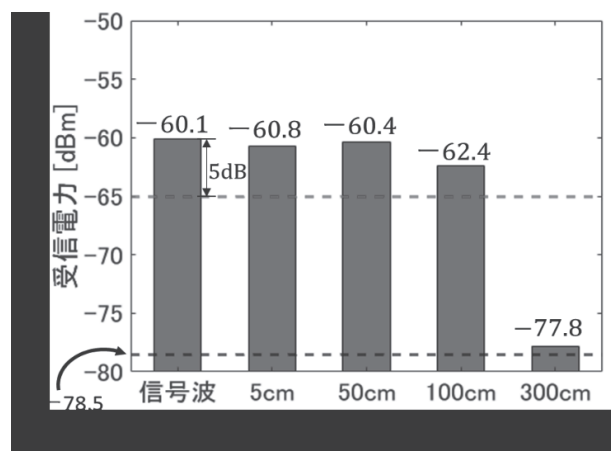


図 5 信号波および一定距離離れた干渉波の受信電力実測結果

以上より、本研究では、WBAN に適しているパッチアンテナを設計・製作し、製作したパッチアンテナを用いた WBAN における干渉抑制を測定により検討した。パッチアンテナを用いた WBAN の干渉抑制効果として、300 cm 以上離れると信号波と干渉波の分離が可能になることが確認できた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで明らかになった人体領域の電波伝搬特性およびその測定手法は、単一の人体領域で完結する WBAN のみならず、人体間通信 (Body-to-body network) の分野に発展することが期待できる。Body-to-body network は、次世代移動通信システム (5G) のリレー中継手法や、スポーツ・医療などの個人間の情報の伝送に非常に有効な無線通信システムであり、本プロジェクトで得られる電波伝搬特性はそのシステムを構築する上での基礎となる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・福井蓮太, 秋元浩平, 戸花照雄, “指向性WBANの立位状態における伝搬減衰量の実測評価,” 信学技報, vol. 121, no. 345, SR2021-80, pp. 102-102, 2022年1月.

・福井蓮太, 秋元浩平, 戸花照雄, “指向性アンテナを用いたWBANの立位状態における受信電力の実測評価,” IEEE EMCS 仙台 Chapter 学生研究発表会・東北大学 工学研究会 EMC 仙台ゼミナール, No. 5, 2022年2月.

採択番号 (Grant No.) : R02/A01

Development of graphene based devices for terahertz applications

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Prof. MEZIANI Yahya Moubarak (サラマンカ大学
応用物理学専攻)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. OTSUJI Taiichi (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

Prof. VELAZQUEZ J.E. (サラマンカ大学)

Mr. DELGADO J.A. (サラマンカ大学)

Mr. CLERICO V. (サラマンカ大学)

Mr. Abidi El Hadj

Assist. Prof. WATANABE T. (東北大学電気通信研
究所)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 7 人

[2] 研究経過 (Summary)

The aim of this project is to investigate the detection and emission of terahertz radiation by using graphene-based devices with asymmetric dual grating gates. The devices were fabricated and characterized under terahertz excitation of 0.15 - 0.60 THz. The measurements were performed at different temperatures in the range of 4 to 300K. To enhance the mobility of the device, the graphene (Gr) layer was sandwiched between two layer of hexagonal boron Nitride (h-BN). The technique used is based on the hot pick-up method. The fabricated vertical double heterostructures (h-BN/Gr/h-BN) were deposited on a doped silicon substrate with a SiO₂ top layer (Si/SiO₂). Due to pandemic situation, it was not possible to fulfill the exchange of students as intended and, eventually, the planned measurements were eventually performed at Salamanca University.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

① Asymmetric Dual Grating Gates Graphene based FET (ADGG-GFET).

An exfoliated graphene was sandwiched between two h-BN layers. The hot pick-up technique was used for the fabrication of the double heterostructure (h-BN/Gr/h-BN) and Raman spectroscopy was used to ensure the presence of the graphene layers as well as the h-BN layers. Asymmetric grating gates were deposited on the h-BN top layer as shown in Fig. 1. Recently, we have introduced a graphite layer on the top of the SiO₂ one that was used as a back gate. This significantly

enhances the control of the carriers in the channel. Different devices were fabricated with different geometries including bowtie antennas and number of fingers for each top gate (TG) - Fig. 1.

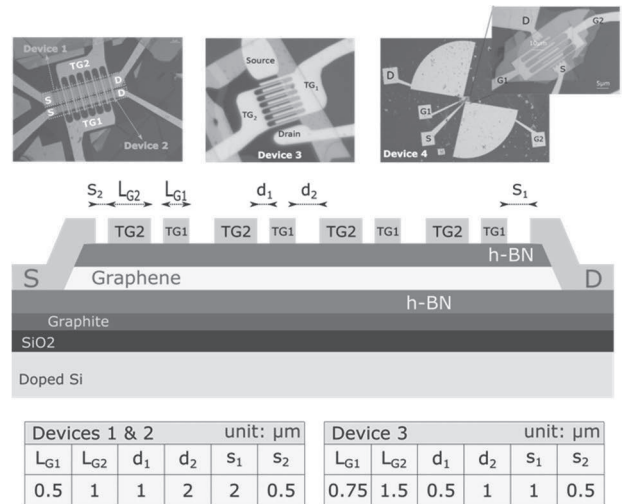


Fig. 1. Microscope photos of the new ADGG-GFETs schematic description of the structure, and the geometrical parameters of the fabricated devices.

② Detection of terahertz radiation using the ADGG-GFET. The fabricated devices were characterized electrically at different temperatures to extract the carrier's mobility of the devices ($\mu_c \sim 78000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ @ 4K) as shown in figure 2.

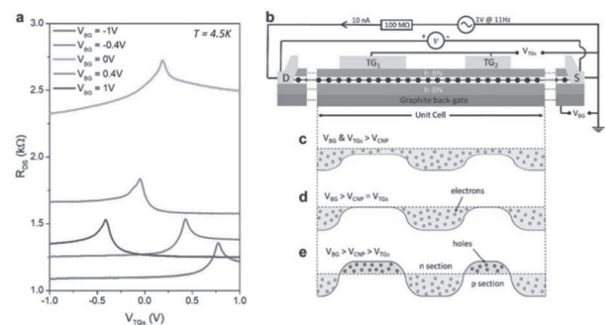


Figure 2: Electrical characteristics of the ADGG-GTeraFET. (a) Two-terminal resistance (RDS) of the ADGG-GTeraFET as a function of the top gates (TG1 and TG2) bias voltage for different back-gate voltages at $T = 4.5 \text{ K}$. (b) Schematic electrical circuit of the ADGG-GTeraFET for the transport measurements, where a 10 nA pseudo-dc current at 11 Hz, generated by an AC voltage source in series with a 100 M Ω resistance, was injected into the drain contact (current flow is indicated by the arrow) and the voltage drop (v) was measured between drain and source contacts. Only the asymmetric unit cell was included for simplification. (c)-(e) Energy-band diagrams of the graphene channel in the asymmetric unit cell showing the charge distributions at zero drain current [1].

The device was subsequently excited by terahertz radiation at a frequency of 0.3 THz from 4K up to room temperature. The ADGG-GFET FETs were placed inside an optical cryostat and then excited using an electronic source at 0.3 THz. The photoresponse was measured using the lock-in technique with a chopping frequency around 298Hz. No DC bias current was applied to the device. Figure 3-(a) shows the measured photoresponse versus the TGs bias at different temperatures (The inset shows the one at 300K). Figure 3-(b) shows the enhancement factor G (ratio between maximum values of the measured photocurrent (Signal) for non-zero and zero BG voltages, respectively) as a function of the back gate bias. It was found a clear enhancement of the photoresponse was observed with a gain G up to 6 for $V_{BG} = -1$ V at 4.5 K.

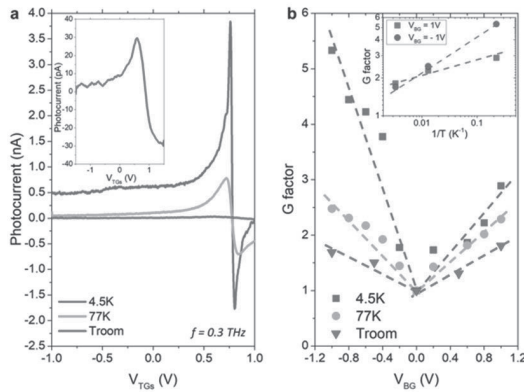


Figure 3: Temperature dependent THz photodetection. (a) Experimental photocurrent as a function of the TGs bias voltages at $V_{BG} = -1$ V for different temperatures (4.5 K, 77 K and room temperature). The top inset in panel (a) shows the photocurrent at room temperature. (b) Maximum experimental G factor (enhancement factor) as a function of the BG voltage at different temperatures. The top inset in panel (b) shows the G factor as a function of the temperature for two different values of BG bias, $V_{BG} = -1$ V and 1 V [1].

The enhancement of the photoresponse can be related to the changes of the channel resistance induced by the TGs and the BG bias voltages through the creation of multiple abrupt potential barriers along the graphene channel (Figure 2(c)–(e)). Also, interband tunneling between the channel’s dual- and single-gated regions may play a significant role when the gates are reversely biased.

Figure 4 shows the response obtained from the device 4 with bowtie antennas at 4.5K and under excitation of 0.3 and 0.6 THz. It shows that under excitation of 0.3THz (Fig.4(a)), an enhancement up to 6mV was observed for $V_{BG} \sim -6$ V, $V_{TG2} = -1$ V and for biasing of $V_{BG} < -10$ V, $V_{TG2} = 1$ V. However, under excitation of 0.6 THz (Fig. 4-(b)) similar behaviour was observed for the two top gate 2 voltages ($V_{TG2} = \pm 1$ V) with a maximum of around 1.3 mV at $V_{BG} \sim -6$ V. Due to the biasing of the different gates, there exist different regions along the

channel with different carrier types and concentration: (i) regions under the top gate 1 controlled by $V_{TG1} = 0$ V and by the V_{BG} (ii) regions under the top gate 2 controlled by V_{TG2} and by the V_{BG} and (iii) ungated regions controlled only by the V_{BG} . We observed a different behaviour of the photoresponse with the excitation frequency which can be related to plasmon inside the different regions, with different sizes. The rectification under excitation could be related to the regions under both top gates and the one under 0.6THz to the ungated regions.

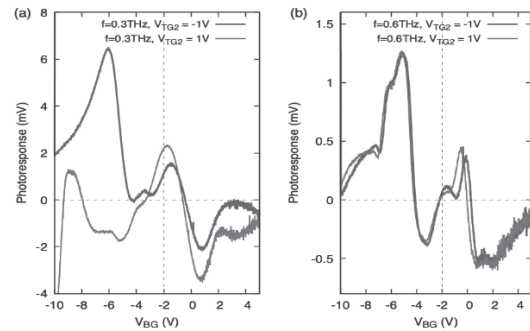


Figure 4: Photoresponse measurements obtained using the device 4 versus both back gates bias at 4 under excitation of 0.3 THz (left) and 0.6 THz (right) and for two top gate biases ($V_{tg} = 1$ & -1 V)..

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

- Both groups are gaining strategic experience in the processing and the fabrication of graphene-based devices as well in their characterization.
- New devices were fabricated in Salamanca. There are only a few groups in the world that can fabricate this type of devices. The group of Manchester University led by the Nobel laureate A. Geim is one of them.
- Investigation of plasma oscillations using novel devices based on new 2d material like graphene is of great importance for the fundamental physics as well as for the development of real applications like terahertz detectors/emitters.

[4] 成果資料 (Publications)

[1] J.A. Delgado-Notario, W. Knap, V. Clericò, J. Salvador-Sánchez, J. Calvo-Gallego, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, V. V. Popov, D. V. Fateev, E. Diez, J.E. Velázquez-Pérez, and Y.M. Meziani, ‘Enhanced terahertz detection of multigate graphene nanostructures’ *Nanophotonics* 11, 519 (2022).

[2] Y. M. Meziani ‘2D Material-Based Devices for Terahertz Technology’ Invited at the 2nd edition of the workshop Modeling of Electronic Structure in Material Science, June 11th, 2021, Casablanca, Morocco.

- [3] A. Delgado-Notario, V. Clericò, J. Calvo-Gallego¹, E. Diez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji, Jesús E. Velázquez-Pérez and Y. M. Meziani ‘Encapsulated graphene devices for terahertz technology’ Invited at 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2021) – online due to COVID restriction-, November 1-4, 2021, Sendai, Japan.
- [4] J. Calvo-Gallego, J. A. Delgado-Notario, M. Ferrando-Bataller, K. Fobelets, Y. M. Meziani and J. E. Velázquez-Pérez, "Electromagnetic Simulation of the Sub-THz Radiation Coupling to n-channel strained-silicon MODFETs," 2021 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz), 2021, pp. 1-2, doi: 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9566877.
- [5] Juan A. Delgado-Notario, Vito Clericò, Juan Salvador-Sanchez, Jesús E. Velázquez-Pérez, Jaime Calvo-Gallego, Enrique Diez, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Taiichi Otsuji, Yahya M. Meziani and Wojciech Knap, ‘Enhancement of THz detection by using an Asymmetric-Dual-Grating-Gate Graphene FET’ 7th NANO Boston Conference (Virtual), October 18-20, 2021 (<https://nanoworldconference.com>).

採択番号：R02/A02

人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化

[1] 組織

研究代表者：

谷井 孝至（早稲田大学理工学術院）

通研対応教員：

山本 英明（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所・
材料科学高等研究所）

久保田 繁（山形大学・大学院理工学研究科）

Jordi Soriano（University of Barcelona,
Institute of Complex Systems）香取 勇一（公立ほ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）

守谷 哲（東北大学電気通信研究所）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

複数の神経細胞の活動を同時記録する技術が進歩したことで、神経間の結びつきを *in vivo* で詳細に調べることが可能になった。その結果、神経同士の解剖学的な結びつきを表す構造的結合関係と、発火相関から導かれる機能的結合関係とは必ずしも一致しないことが明らかとなった。構造的結合は、学習や発達による回路のリモデリングによって、数時間あるいは数日といった遅い時間オーダーで調整されるのに対し、機能的結合は、動物が行う実験課題の内容や外部からの感覚刺激に応じて、数百ミリ秒という速い時間スケールで切り替わる。シナプス回路の構造的変化は、神経間の機能的結合とその結果として生じるシナプス可塑性を通じて、回路構造に再びフィードバックされるため、脳の構造と機能の関係を一体として解析することが、現象の包括的な理解に不可欠である。

早大メンバーは集束イオンビームおよびリソグラフィを用いたガラス基板表面のマイクロパターンニング技術（細胞接着領域と非接着領域の作り分け）を開発してきており、これまでに単一細胞の極性制御、興奮性・抑制性神経細胞の非標識判別、少数個の神経細胞間の接続制御といった独自技術を構築してきた。

一方、東北大メンバーは、ダイナミックパッチクランプ法や発火パターンのリアルタイムイメージングに代表される神経細胞回路の活動制御および計測技術で世界をリードしている。本申請グループのメンバーは、そのようにして接続構造を制御した実神経細胞

回路の発火パターン計測結果を、Barcelona 大および山形大メンバーが持つ数値解析法と融合することにより、シナプス接続強度とその時間発展といった、実験では直接的に露わにすることが難しい神経回路の状態との突合も行ってきた実績を有する。これらは、構造と機能との両面から構成論的に少数個の神経細胞回路から始めて徐々に回路規模を拡大させ、神経回路網の持つ特異な情報処理様式にアプローチできる方法論を具体化できていることを意味する。

本申請研究では、単一または少数個の実神経細胞回路のガラス基板上的再構成と発火パターンの解析、および、その数理モデル化を通して、回路が創出する局所的な活動表現と大域的な活動表現との関係を、実験と理論の双方から検討することを目的とし、脳の複雑ネットワーク構造と機能との相関を、体系的に理解するための新しい理論的枠組みを構築することも目指して進められた。初年度となる 2020 年度には、新型コロナウイルスの感染拡大防止の観点から、国や県を横断しての移動を自粛した。そのため、各機関においてシミュレーションを中心とした研究を推進した。2 年目の 2021 年度においても、国や県を横断しての移動の自粛を継続したが、個々の機関で実験を進められるようになり、シミュレーション結果と合わせて、個別に得られた結果をオンラインミーティングを通して共有し、学会発表や論文発表を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

2021 年度では、実験と理論の両面からのアプローチとして、①マイクロパターンニングによるオータプスのみを有する単一神経細胞の構造的帰還接続制御、②マイクロパターンニングによる複数細胞を介する帰還接続制御と自発発火パターン計測、③単一神経細胞同士の構成論的接続制御、として計画した。

①に関しては、シミュレーションにおいて進展があった。2020 年度に、マイクロパターン上でオータプス培養した単一神経細胞の数理モデルにスパイクタイミング依存性可塑性を組み込んだ数理モデルを構築し、伝搬遅延によってオータプスが時間発展的に選別されるという新しい現象が起きることを見出した（同年の日本神経回路学会にて大会奨励賞を受賞）。この数理モデルでは、単一神経細胞の軸索が自己の樹状突起と接続して帰還ループを形成することを仮定したが、見出した現象は、上記の通り、スパイクタイミング依

存性可塑性関数に則って、オータプスにおける伝搬遅延時間に依存して、オータプス接続強度の増強または抑圧が起きるといえる。これは、接続強度の増強または抑圧が、帰還接続の種別一すなわちオータプスであるかどうか一に依らないことを示唆していた。言い換えれば、前年度に見出したシナプス可塑性に関する選択則が、単一神経細胞のオータプスだけでなく、複数細胞を経由する一般的な帰還接続においても成立することを示唆していた。そこで、シミュレーション上で2細胞からなる帰還接続を構成し、シナプス接続強度の増強または抑圧が帰還ループにおける伝搬遅延時間に依存して起こるかどうかを検証した。予想通りのシミュレーション結果を得ることができ、この成果を日本神経回路学会にて発表した。

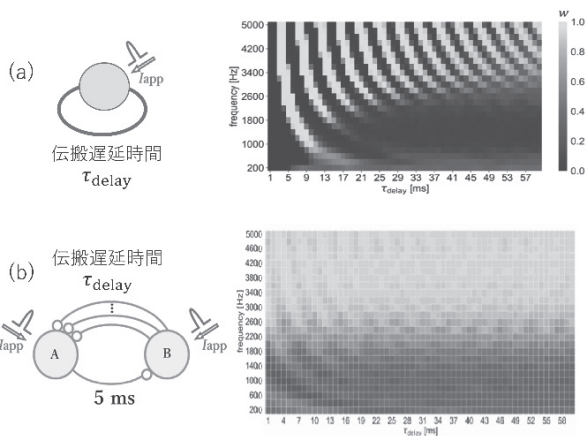


図1 (a) 単一神経細胞における伝搬遅延時間に対応したオータプス接続強度の増強と抑圧 (2020年度の成果). (b) 2細胞からなる帰還接続モデルにおけるシナプス接続強度の増強と抑圧 (2021年度の成果).

②に関しては、2019年度までに実験的に取得していたモジュール構造を有する人工神経細胞回路の自発発火パターン (H. Yamamoto, *Science Advances* 4 (2018) eaau4914) に対して、2020年度に構築した2針電極刺激法 (K. Hattori, *Electrochemistry* 89 (2021) 348) により電気刺激を与えて、自発発火パターンを変調させる実験で進展があった。モジュール構造を有する人工神経細胞回路 (ラット大脳皮質、初代培養、培養18日目) が、その接続形態に応じて、異なる自発発火パターンを示すことを見出していたが、2針電極刺激を印加できるようにマイクロパターン形状を変更したところ、おおよそ10秒程度の周期で自発的にバースト発火することをCaイメージングにより確認した。その後、モジュールの中心に位置する単一の標的神経細胞に2針電極を用いて一定の間隔で10回の刺激を印加し、その後の自発発火パターンがどのように変化するかを観察した。興味深いことに、刺激導入前の自発的バースト発火の間隔 (約10秒) よ

り短い間隔で電気刺激を加えた場合には、その後の自発的バースト発火頻度が減少すること、刺激導入前の自発的バースト発火の間隔と同程度の10秒間隔で電気刺激を加えた場合には、その後の自発的バースト発火頻度が増加すること、より長い時間間隔で電気刺激を加えた場合には、刺激導入後の自発発火頻度が再び減少することを見出した。これは、2針電極刺激法により、刺激を印加した標的神経細胞、さらには、その標的神経細胞が投射する周囲のモジュール構造内の神経細胞回路の内部状態を制御できる可能性を示唆している。この成果発表を春季応用物理学会にて行った。

③の単一神経細胞同士の構成論的接続制御については、マイクロパターンングにより単一神経細胞同士を接続できる手応えを得たところであるが、コロナ感染症蔓延防止の観点から実験室に入室できる人数を制限しながら実験を進めたため、そのようにして構成した少数個の神経細胞からなる人工神経細胞回路の活動計測には至らなかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

大きな成果は、本申請メンバーを中心とするプロジェクト「脳神経マルチセルラバイオコンピューティング」が科研費・学術変革領域研究(B)に採択されたことである。

Grant-in-aid for transformative research area B

<p>A01 Information and Mathematical Sciences</p> <p>Y. Katori (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>K. Inada (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>H. Kato (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p>	<p>A02 Bioengineering</p> <p>H. Yamamoto (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>T. Saito (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>A. Hironaka (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>S. Saito (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p>	<p>A03 Molecular and Cellular Physiology</p> <p>T. Matsui (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>S. Kato (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>S. Kitahara (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p>	<p>A04 Systems Neuroscience</p> <p>Y. Masamizu (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>H. Kambe (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p>
<p>Advisors</p> <p>T. Masuda (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>W. Hara (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>T. Imai (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>J. Soriano (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>V. Petro (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>T. Kikuno (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p> <p>E. Nemoto (Osaka U. Institute of Materials and Chemical Process Engineering)</p>			

図2 学術変革領域研究(B)領域構成. 赤枠は本共同プロジェクト研究Aのメンバー.

この科研費の採択を受けて、人工神経回路網の解析に関する本共同プロジェクト研究Aをベースとして、脳型計算応用を含む、より広範な研究に発展することが可能になった。10月8日、11月12日、12月17日、1月19日、3月3日には本共同プロジェクト研究Aのメンバーを含めて研究交流会を開催した。さらに2月18日には通研国際シンポジウム The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer の特別セッションを開催し、山本、佐藤、平野、香取、Soriano が研究成果について紹介した。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani: Selective Stimulation of a Target Neuron in Micropatterned Neuronal Circuits Using a Pair of Needle Electrodes, *Electrochemistry* 89 (2021) 348-354.
- R. Hasani, G. Ferrari, H. Yamamoto, T. Tani, E. Prati: Role of Noise in Spontaneous Activity of Networks of Neurons on Patterned Silicon Emulated by Noise-activated CMOS Neural Nanoelectronic Circuits, *Nano Express* 2 (2021) 020025.
- H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Ultrasoft silicone elastomer as a biomimetic scaffold for neuronal cultures, *European Materials Research Society (E-MRS) 2021 Spring Meeting*.
- H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Ultrasoft polydimethylsiloxane as a biomimetic scaffold for neuronal cultures, 8th Japan-China Nanomedicine Meeting (2021).
- 山本英明, 竹室汰貴, 住 拓磨, 佐藤有弥, 守谷哲, 平野愛弓, 佐藤茂雄, J. Soriano: 神経回路機能の in vitro 操作のためのバイオ界面制御技術, 第 44 回日本神経科学大会 (2021).
- 竹室汰貴, 山本英明, 脇村 桂, 住 拓磨, 金野智浩, 佐藤茂雄, J. Soriano, 平野愛弓: マイクロパターン培養神経回路に対する光擾動系の構築, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021).
- 佐藤有弥, 山本英明, 竹室汰貴, 住 拓磨, 酒井原一守, 谷井孝至, 佐藤茂雄, 平野愛弓: 多点電極アレイ上でのモジュール構造型培養神経回路のパターニング, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021).
- 鞍掛碧流, 望月直樹, 池田 翔, 岸野颯馬, 小熊奏一郎, 藤原 彩, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至: 人工神経回路への 2 針電極による刺激と応答計測, 日本神経回路学会全国大会 (JNNS2021) .
- 望月直樹, 石田実穂子, 鞍掛碧流, 池田翔, 服部晃平, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至: 帰還接続における伝搬遅延による STDP シナプスの選別, 日本神経回路学会全国大会 (JNNS2021) .
- 山本英明, 平野愛弓, 佐藤茂雄: バイオ界面制御による神経回路機能の人工再構成, 薄膜材料デバイス研究会第 18 回研究集会 (2021).
- H. Yamamoto, T. Takemuro, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of mesoscale neuronal networks, 14th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2021).
- 山本英明, 平野愛弓, 佐藤茂雄: Dynamical richness defined by modular organization in engineered neuronal networks, 第 99 回日本生理学会大会 (2022).
- H. Yamamoto, T. Sumi, T. Takemuro, S. Moriya, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Artificial reconstitution of neuronal network functions with living cells, The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (2022).
- 岸野颯馬, 鞍掛碧流, 望月直樹, 平野愛弓, 山本英明, 谷井孝至: 電気刺激による神経細胞回路の自発発火頻度の変調, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- M. Montalà-Flaquer, K. Ide, C. Fernández-López, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, J. Soriano: Tuning synchrony in living neuronal networks through neuroengineering, *DynamicsDays 2021*.

採択番号：R02/A03

二次元材料を用いた光電子デバイスの開発

[1] 組織

研究代表者

内野 俊 (東北工業大学工学部電気電子工学科)

通研対応教員

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

佐藤 昭 (東北大学電気通信研究所)

吹留 博一 (東北大学電気通信研究所)

唐 超 (東北大学電気通信研究所)

田村 紘一 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：6人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

グラフェンなどの二次元材料は、次世代電子材料として、近年ますますその重要性が増している。そこで、本プロジェクトは、二次元材料を用いて高効率太陽光発電が期待される光レクテナや局在表面プラズモン増強効果を応用した光電子デバイスを開発することを目的として、実施した。2年目の本年度は、デバイス高性能化に必要な大面積の MoS_2 膜を得るために、 MoS_2 の CVD 成長技術に関する研究を行った。

単層 MoS_2 はバンドギャップ $E_g=1.8$ eV を持ち、そのトランジスタの電流オン/オフ比が約 10^8 になるため、高性能トランジスタへの応用が期待されている。CVD 法は、二次元材料を大面積に成長させるのに最も適した技術として認知されているが、これまで数 $10 \mu\text{m}$ 程度の大きさの結晶しか得られなかった。しかし、近年 NaCl などのアルカリハライドが二次元層状物質の成長プロモーターとして働くことが報告され、良質な単層膜が得られるようになった。そこで、本年度は簡便な常圧 CVD 法を用いた NaCl アシスト大面積 MoS_2 膜の成長技術を検討した。次に、 MoS_2 膜の品質を FET の電気特性から評価した。

MoS_2 膜の CVD 成長は以下の手順で行った。図 1 に示すように、ボート 1 上に基板として用いる Si/SiO₂ (膜厚 90 nm) を MoO_3+NaCl から数 cm 離して、鏡面を上向きにして配置した。また、ボート 2 上に S (70 mg) を SiO₂ 基板から 25 cm 風上側に置き、それぞれのボートの温度を独立に制御できるようにした。石英管内を Ar ガス (200 sccm) で置換した後、20 分かけて 540°C まで

加熱し、15 分保持した (Ar150 sccm) 後、成長温度まで 25 分かけてボート 1 を加熱した。ボート 2 はボート 1 が 540°C になったときにヒーターを ON にして、40 分間かけて 200°C まで加熱した。

表 1 に CVD の成長条件を示す。成長時間は 10 分間で、Ar の流量と成長温度を変えて、成長条件の最適化を行った。成長後は、すぐにヒーターの電源を切り、急速に冷却した。図 2 に示すように、#1 と #2 には基板上にソースとドレイン電極 (Au/Ti/Au) を作製した。ゲート電極には高濃度 Si 基板 (N 型 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) を用いた。基板裏面からゲート電圧を印加することにより、FET の電気特性を評価した。 MoS_2 薄膜の層数はラマン分光装置 NRS-2000 (パワー 10 mW, レーザー波長 532 nm) を用いて評価した。

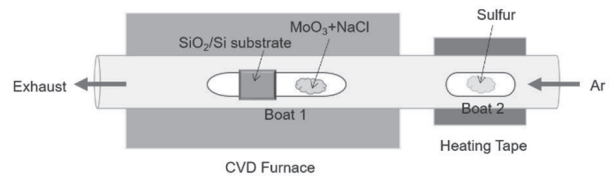
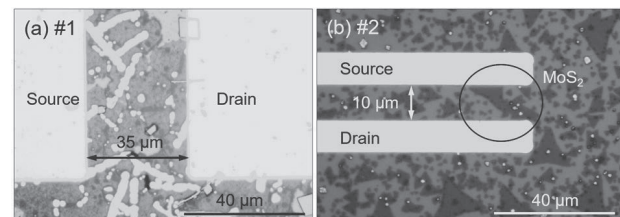


図1 常圧 CVD 装置の概要

表1 MoS_2 膜の CVD 成長条件

Sample	MoO ₃ (mg)	S (mg)	NaCl (mg)	Growth Temp (°C)	Sulfur Temp (°C)	Ar (sccm)
#1	25	70	5	750	200	60
#2	15	70	3	750	200	60
#3	15	70	3	700	200	60
#4	15	70	3	750	200	20

図2 CVD- MoS_2 膜を用いて作製した FET の光学顕微鏡写真

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。まず第1に、図3の試料表面の光学顕微鏡写真が示すように、#1には MoS_2 の連続膜、#2には三角形の MoS_2 ドメインが成長することがわかった。一方、#3と#4には MoO_3 などが付着していて、 MoS_2 は成長していなかった。

図4にラマン分光測定の結果を示す。#1と#2に MoS_2

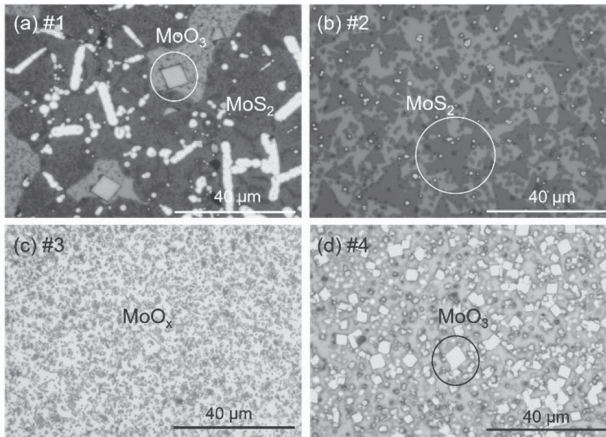


図3 試料表面の光学顕微鏡写真

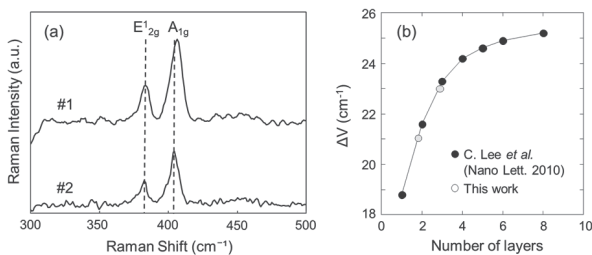


図4 (a) 試料#1と#2のラマンスペクトル, (b) ラマンピーク差とMoS₂膜の層数の関係

由来のピークが波数 380 cm⁻¹ と 405 cm⁻¹ 付近に観測された。A_{1g} と E'_{2g} のピーク位置の波数差から MoS₂ 膜の層数を調べた結果、#1 は 3 層、#2 は 2 層であることがわかった。層数からバンドギャップを推定すると、それぞれ 1.3 と 1.5 eV になる。

第2に、図5、6に示すように、バックゲートFETのI-V特性を得ることができた。#1ではゲート電圧が10V、#2では25V変化するとドレイン電流が3桁変わることがわかった。同じ二次元材料のグラフェンと比較すると、ON電流が3桁低い代わりに電流変化率が3桁大きいことがわかった。これはグラフェンよりもMoS₂

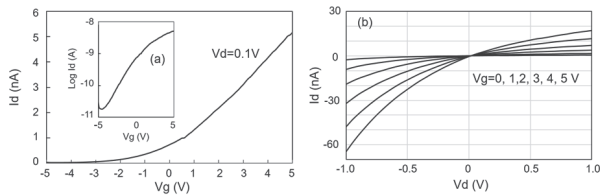


図5 試料#1で作製したバックゲートFET (Lg=11 μm) の(a) サブスレッショルド特性と (b) 出力特性

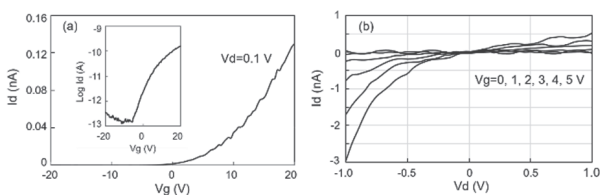


図6 試料#2で作製したバックゲートFET (Lg=10 μm) の(a) サブスレッショルド特性と (b) 出力特性

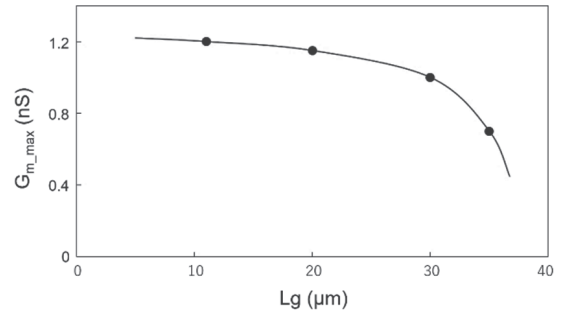


図6 試料#1で作製したバックゲートFETの最大相互コンダクタンスのゲート長依存性

のバンドギャップが大きいことに起因している。#1のドレイン電流は、#2と比較して約100倍大きかった。これは、#1の活性領域や電極との接触面積が大きいことに起因する。図6に#1の最大相互コンダクタンスのゲート長依存性を示す。ゲート長20 μm以下で電流が飽和することがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

二次元材料は安価で持続可能なクリーンエネルギーを実現する次世代電子デバイス材料として注目されている。特に、MoS₂はシリコンと同等の移動度を示すほか、柔軟性や耐久性に優れていることからグリーンエレクトロニクス材料として有望視されている。

今年度の研究成果は、MoS₂膜を用いた光電子デバイスを開発する上で必要不可欠な大面積で、結晶性の良い二次元材料を作製する技術と関連しており、来年度から開始する二次元材料を用いた光レクテナの開発へとつながる成果である。

他に、昨年度に実施した「表面増強ラマン散乱を利用したバイオケミカルセンサーチップの開発」が以下の共同プロジェクトへと発展した。表面増強ラマン散乱は、通常の検査に使用されているフォトルミネッセンスと比べて数10倍の高感度を持つ。このことから、表面増強ラマン散乱を応用した高感度バイオケミカルセンサーチップは、医療機関、検査機関、研究所などで分子レベルの分析への応用が期待できる。表面増強ラマン散乱によって、検査感度が向上すると、検査時間の短縮や信頼性の向上が期待できる。また、開発するバイオケミカルセンサーチップは製造工程が容易なので、製造コストを従来の10分の1にすることができる。

- ・プロジェクト名；表面増強ラマン散乱を利用した超高感度バイオケミカルセンサーチップの開発
- ・資金制度、研究費名；A-STEP トライアウト
- ・配分機関名；JST
- ・研究期間；2020年11月2日 - 2021年10月29日

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- 材料技術・環境調和型実装技術委員会 第2回公開研究会 (2022 オンライン) “カーボンナノ材料を用いたエネルギーハーベスティング用デバイス,” 内野 俊

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- 特願 2021-157928 “光学デバイス及びその製造方法” 内野 俊, 本間孝治
- 内野 俊、他, “メタマテリアルの作製、応用技術と最先端研究動向,” 技術情報協会 (2022. 3. 30)
ISBN : 978-4-86104-876-0

採択番号 (Grant No.) : R02/A04

Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Prof. Dr. Ravi Prakash Singh (IISERB)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. Dr. Shunsuke Fukami

研究分担者 (Project Member List) :

1. Dr. Rajeswari Roy Chowdhury (IISERB)
2. Dr. Samik DuttaGupta (RIEC)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

The demand for high-performance and energy efficient electronic devices along with the ever-increasing quest for continuous miniaturization have garnered significant attention towards development of new materials with novel functionalities at reduced dimensions. Spintronic devices based on magnetic 2D van der Waals (vdW) materials open a wide range of possibilities offering an attractive route for creation of unique heterostructures and novel devices. Metallic Fe_3GeTe_2 is a promising candidate owing to its relatively high Curie temperature (~ 220 K), large anomalous Hall effect (AHE), and significant uniaxial magnetic anisotropy, down to the atomic limit. The competition between magnetic exchange, dipole-dipole interaction, relativistic band structure effects, and magnetic frustration manifest in an unconventional Hall effect anomaly whose origin is heavily debated and attributed to a multitude of factors, including the formation of in-plane skyrmions, non-co-planar spin configurations, or multi to single-domain transformations under applied magnetic fields. An understanding of the factors determining the origin of the unusual magnetotransport and its possible correlation to the underlying domain or topological spin textures is essential for the subsequent development of 2D vdW FM-based spintronic devices. One of the possible ways to achieve this objective pertains to the chemical substitution

of the magnetic (Fe) or non-magnetic (Ge) site by a different element, expected to modify the underlying interactions and enable understanding of the factors contributing to the unconventional magnetotransport behavior. Our results demonstrate an unexplored novel pathway towards controlling spin-spin interactions by perturbing the Fe or Ge site of a 2D vdW FM, prospective for topological magnetism, and future spintronic devices.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

Single crystalline samples of $(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_3\text{GeTe}_2$ (Co_xFGT , hereafter), $\text{Fe}_3(\text{Ge}_{1-x}\text{As}_x)\text{Te}_2$ (As_xFGT , hereafter) and a reference sample of the parent compound Fe_3GeTe_2 (FGT, hereafter) were grown by chemical vapor transport (CVT) method (at IISERB).

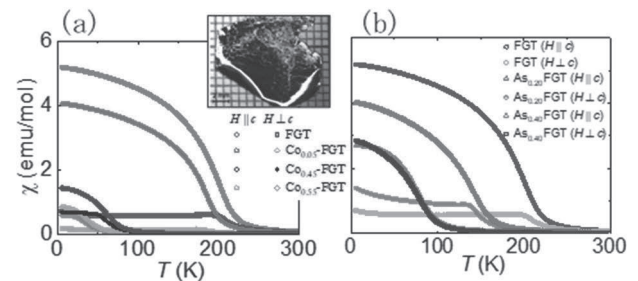


Fig. 1. (a), (b) Magnetic susceptibility (χ) vs. temperature (T) under magnetic field $\mu_0 H = 0.5$ T applied parallel to or perpendicular to c -axis for the doped (Co_xFGT , As_xFGT) and reference FGT. Inset in (a) shows the optical microscope image of a FGT single crystal.

Figures 1(a), (b) show temperature (T) dependence of magnetic susceptibility (χ) for Co_xFGT , As_xFGT and FGT under an applied magnetic field $\mu_0 H = 0.5$ T ($\mu_0 =$ permeability of vacuum), applied parallel (\parallel) and perpendicular (\perp) to the c -axis. For FGT, there is a significantly large bifurcation in χ - T between $H \parallel c$ and $\perp c$ -axis, representative of strong magnetic anisotropy of the parent compound. This bifurcation is considerably weakened with increasing x , indicative of a significant

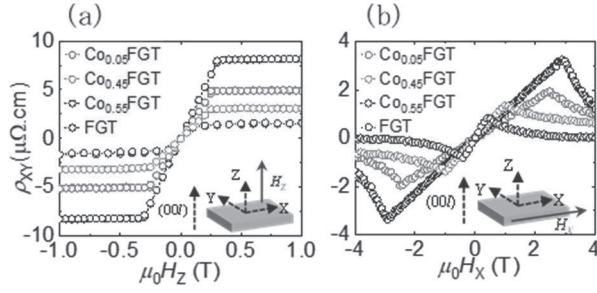


Fig. 2. (a) Hall resistivity (ρ_{XY}) versus H ($\parallel c$ -axis) for $\text{Co}_{0.05}\text{FGT}$, FGT at 100K and $\text{Co}_{0.45}\text{FGT}$, $\text{Co}_{0.55}\text{FGT}$ at 10 K. (b) ρ_{XY} versus H ($\perp c$) for $\text{Co}_{0.05}\text{FGT}$, FGT at 100K and $\text{Co}_{0.45}\text{FGT}$, $\text{Co}_{0.55}\text{FGT}$ at 10 K. Insets in (a), (b) shows the measurement geometry.

reduction of magnetic anisotropy. Figure 2a shows the experimental results of Hall resistivity under application of external H ($\parallel c$ -axis), attributed to originate from sizeable AHE, possibly originating from topological nodal lines in the band structure with the magnetization pointing along the easy axis. The magnitude of AHE decreases with the increase of x , owing to the reduction of spontaneous magnetization with increasing Co/As concentration. On the other hand, for applied H ($\perp c$ -axis), we have observed a reduction of ρ_{XY} along with the emergence of prominent cusp-like feature (Fig. 2b).

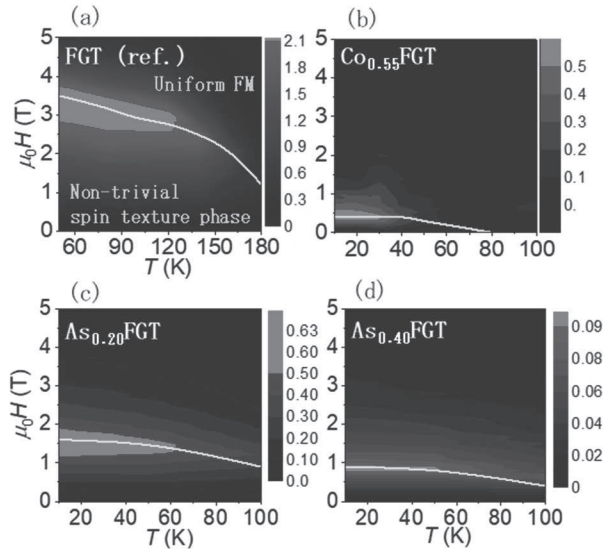


Fig. 3. (a)–(d) Contour mapping of extracted unconventional Hall effect as a function of the applied magnetic field (H) and temperature (T) for reference FGT, $\text{Co}_{0.55}\text{FGT}$, $\text{As}_{0.20}\text{FGT}$, and $\text{As}_{0.40}\text{FGT}$, respectively.

Figures 3(a)–(d) shows the modification of the unconventional ρ_{XY} contribution with/without doping at the Fe or Ge site of FGT. We attribute the modification of the cusp-like feature in our

magnetotransport measurements to the emergent field from the underlying spin textures, owing to the variation of the total flux quantum contained in these structures. The present study offers a route towards the realization of new-concept spin textures in vdW ferromagnets, promising for non-collinear spin texture-based physics and spintronic devices.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc.)

This work aims at experimental investigations in this technologically relevant field of vdW spintronics. Several high-quality single crystalline 2D vdW materials (ex. Fe_3GeTe_2 , Fe_5GeTe_2 , NiPS_3 , $\text{TaFe}_{1.25}\text{Te}_3$, etc.) have been successfully grown. Using magnetotransport and optical investigations, we revealed several interesting results which enables understanding of the underlying interactions necessary for the realization of a variety of unconventional spin textures using 2D magnetic materials.

[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)

- (1) R. Roy Chowdhury *et al.*, Phys. Rev. Materials **6**, 014002 (2022).
- (2) R. Roy Chowdhury *et al.*, Sci. Rep. **11**, 14121 (2021).
- (3) R. Roy Chowdhury, S. DuttaGupta *et al.*, “Unconventional Hall effect and its modification in 2D van der Waals Fe_3GeTe_2 ”, Symposium on Magnetism and Spintronics (SMS), Nov 27th–29th 2021, NISER Bhubaneswar, India (**poster**).
- (4) S. DuttaGupta, R. Roy Chowdhury *et al.*, “Topological spin texture-mediated unconventional Hall effect in 2D ferromagnet Fe_3GeTe_2 ”, The 82nd JSAP Autumn Meeting, Sep 10th–13th 2021, Meijo University, Japan (**online presentation**).
- (5) R. Roy Chowdhury, S. DuttaGupta, *et al.*, “Unconventional Hall effect in van der Waals Fe_3GeTe_2 ”, 2021 IEEE Around-the-Clock-Around-the-Globe Conference, Aug 27th, 2021 (**online presentation**).

採択番号：R02/A05

新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究

[1] 組織

研究代表者

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

室田 淳一

(東北大学マイクロシステム融合研究開発センター)

鷺尾 勝由 (東北大学大学院工学研究科)

財満 鎮明 (名古屋大学大学院工学研究科)

中塚 理 (名古屋大学大学院工学研究科)

宮崎 誠一 (名古屋大学大学院工学研究科)

高木 信一 (東京大学大学院工学研究科)

鳥海 明 (東京大学大学院工学研究科)

奥村 次徳 (首都大学東京理工学系)

伊藤 利道 (大阪大学大学院工学研究科)

酒井 朗 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

野崎 眞次 (電気通信大学電子工学科)

田部 道晴 (静岡大学電子工学研究所)

佐道 泰造

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

須田 良幸

(東京農工大学総合メディアセンター)

塩島 謙次 (福井大学大学院工学研究科)

阿部 孝夫 (信越半導体 (株))

国井 泰夫 (KOKUSAI ELECTRIC CORP.)

Bernd Tillack (ドイツ・IHP)

Matty Caymax (ベルギー・IMEC)

Roger Loo (ベルギー・IMEC)

James Sturm (米国・プリンストン大学)

Eugene Fitzgerald

(米国・マサチューセッツ工科大学)

Joerg Schulze

(ドイツ・シュトゥットガルト大学)

Vinh Le Thanh (フランス・マルセイユ大学)

Stefano Chiussi (スペイン・ビゴ大学)

Dan Buca

(ドイツ・ユーリッヒ研究センター)

Detlev Grützmacher

(ドイツ・ユーリッヒ研究センター)

Chee Wee Liu

(国立台湾大学 (中国) ・フォトニクス
& オプトエレクトロニクス研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

[目的] 従来の Si 半導体デバイスや大規模集積回路の高性能化・新機能化を推し進めるために、Si とは異なる多様な元素を含む新 IV 族半導体材料やそのナノ構造、並びに、デバイス応用の研究開発が進められている。特に、Si 結晶と親和性の高い Ge や Sn などの新しい異種元素を導入した新 IV 族半導体材料の薄膜形成、ドーピング制御、ナノ構造形成、デバイス製作技術の開発が進められつつある。その中で、新 IV 族半導体材料における拡散・偏析現象を制御し、ナノメートル・原子オーダーでの界面構造や局所的な不純物導入の精密制御を実現することが重要な研究課題として残されている。本研究では、これまでの化学気相成長法 (CVD) による Si-Ge 系原子層積層の研究成果を基盤として、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造における異種原子の拡散・偏析現象を系統的に明らかにするとともに、新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスの開発を目標とする。そして、界面制御による半導体デバイス高性能化の観点から、新しい半導体デバイスプロセスの基盤技術構築に貢献するものである。

[概要] 本年度は、Si 酸化膜/SiC 界面に SiC の熱酸化を阻止する極薄 Si 窒化膜を導入することで界面の欠陥生成を根本的に排除し、より高性能なゲート絶縁膜を実現することを目的として、Si 窒化膜形成について実験を進めるとともに、Si 窒化膜が Si 基板の熱酸化を阻止するかどうかについて実験的に研究を進め、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造を適用した高性能・新機能デバイスの高集積化のための重要な基盤技術となりうる知見を得た。

[研究集会等の開催状況] 本研究プロジェクトメンバーが中心となり、以下のオンライン国際会議を開催するとともに発表論文の Proceedings 特集号を発刊して、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造に関する新たな知見を共有する場と今後の国際共同研究への発展に資する機会を提供した。

- ・半導体プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. G02: Semiconductor Process Integration 12, 240th Meeting of the Electrochem., Orland,

FL, USA, Soc., Oct. 10-14, 2021, Online,
シンポジウムオーガナイザー：室田淳一，
Invited 25 件, Regular Oral 12 件，
<https://www.electrochem.org/240/> :
Proceedings 特集号, ECS Transaction Vol.104,
No.4 (2021), Editors: J. Murota, Y. Cao, C.
Claeys, S. Deleonibus, H. Ishii, H. Iwai, A. Mai,
Y. Zhao,
論文数 22 件 (Invited Paper 16 件,
Regular Paper 6 件)
(<https://iopscience.iop.org/issue/1938-5862/104/4>).

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、近年、高温環境で安定動作をする次世代の高耐圧・低損失のパワー半導体デバイスの材料として注目が集まっている SiC 半導体に関連して、Si 酸化膜/SiC 界面に SiC の熱酸化を阻止する極薄 Si 窒化膜を導入することで界面の欠陥生成を根本的に排除し、より高性能なゲート絶縁膜を実現することを目的として、SiC 基板の代わりに Si 基板を用い、その上に Si 窒化膜を形成し、Si 窒化膜が Si 基板の熱酸化を阻止するかどうかについて研究を進めた。

まず第 1 に、SiC の熱酸化阻止層として期待している Si 窒化膜層は低エネルギープラズマ CVD の Ar プラズマ照射下での SiH₄ と N₂ の分解反応を用いて成膜する実験を行い、化学量論比組成に近い Si 窒化膜形成が可能であることを明らかにした。

第 2 に、Si 窒化膜の上に再びプラズマ CVD を用いて非晶質 Si 層を成膜した後に、高真空熱処理炉の酸素雰囲気にて 900°C のドライ酸化を行って Si 酸化膜を形成した。その後、分光エリブソメトリーを用いて Si 窒化膜の屈折率と膜厚や Si 熱酸化膜の膜厚を測定するとともに、X 線光電子分光法 (XPS) を用いた Si 2p スペクトルの測定、バッファード HF (BHF; HF (50%) : NH₄F (40%) = 1:10) を用いたエッチング速度の測定を行った。その結果、熱酸化 SiO₂ 絶縁膜の下部の半導体基板表面にナノメートル厚の Si 窒化膜を堆積させておくことにより半導体基板表面の熱酸化を抑制できることを実験的に確認することに成功し、SiC デバイスのキャリア移動度低下を引き起こす捕獲準位などの発生を抑制するための重要な基盤技術となりうることを見いだした。以上の成果は学術講演会で発表済である。(渋谷凱政, 佐藤茂雄, 櫻庭政夫, 「電界効果トランジスタ高性能化のためのプラズマ窒化絶縁膜形成に

関する研究」, 2021 年応用物理学会東北支部第 76 回学術講演会, Abs.No.3a-A-5-3, pp.64-65, 2021 年 12 月 2~3 日, オンライン開催)

本研究プロジェクトは国際共同研究推進型であり、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造に関連した研究・開発分野での国際共同研究への発展を促進することを目的とし、本年度は前述のオンライン国際会議を開催するとともに発表論文の Proceedings 特集号を発刊した。例年、本プロジェクトに関連した国際シンポジウム等を複数開催しているが、今年度は新型コロナウイルス禍のため、例年のような対面での会合を開くことが出来なかった。しかしながら、それぞれの拠点での研究に取り組むとともに、制約がある中で研究者間でのオンライン・メールベースなどで今後の国際共同研究への展開について協議を進めている。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者との交流の活性化によって先端的・萌芽的な研究成果を得て、本分野の研究推進により新 IV 族半導体材料の薄膜・ナノ構造における物理現象に関わる学問分野の発展を目指すものであり、新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス分野の新領域開拓にもつながると期待される。2022 年度以降には以下に示すような関連国際会議・国際ワークショップの開催が決定、あるいは、計画されている。

- 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 10, 242nd Meeting of the Electrochem., Atlanta, GA, USA, Oct. 9-13, 2022, シンポジウムオーガナイザー：室田淳一, エピタキシー部門委員：櫻庭政夫, <http://www.sigesympoium.org/>)
- 新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ (14th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 開催時期調整中, 組織委員長：櫻庭政夫, プログラム委員長：室田淳一)
- SiGe テクノロジー&デバイス国際会議と Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議の合同会議 (3rd Joint Conf. of 11th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) & 13th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI), 開催時期調整中, 国際諮問委員：室田淳一)

採択番号：R02/A06

微小領域における圧電定数の分布計測装置の開発

[1] 組織

研究代表者：

小田川 裕之

(熊本高等専門学校企画運営部)

通研対応教員：

長 康雄 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

圧電材料は、5G などの移動通信用フィルタ、自動運転やロボットのセンサやアクチュエータ、医療用トランスジューサなど幅広く実用化されているが、デバイスの高性能化のためにより高い圧電定数を有する材料が求められている。圧電定数は、一般には、ある程度広い面積での平均値として求められているが、実際に用いられている圧電材料には、セラミックスや配向膜など、内部に分極構造を有する材料が多い。よって、マクロな平均値として圧電定数を求めるのではなく、微細な構造の領域ごとの圧電定数を定量的に評価することができれば、材料開発への有用な情報が得られると考えられる。

本プロジェクトでは、走査型非線形誘電率顕微鏡法 (SNDM) を応用し、試料面内の微小領域 (原理的にはナノ領域) の圧電定数を分布計測する措置のプロトタイプを開発するものである。昨年度は、探針と試料表面の距離を制御して、プローブの発振周波数を測定する装置と制御プログラムの作製を行ったが、本年度はその改良を行い、圧電定数の測定を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

具体的に SNDM を応用した測定について説明する。図 1 に示すとおり、2 つの方法が考えらる。(a) は試料表面に電極膜を蒸着し、試料台との間で電圧を印加して圧電による伸縮を測定する方法で、(b) は試料には電極を蒸着せず、試料台と探針の間に電圧を印加する方法である。(a) は原理が単純だが、厚さ方向での平均を測定するため、試料を薄く加工する必要がある。また、検出原理として探針下の静電容量に起因した信号を検出するので、圧電性の弱い材料では試料の伸縮量が小さく感度が不足する恐れがある。一方、(b) の方法は、試料内に侵入する電界が引き起こす非線形誘電率による容量変化 (距離に敏感) を検出するもので、距離感度も空間分解能も格段に高い。その反面、圧電による伸びによる静

電容量の変化と非線形誘電率による容量変化を解析して分離する必要があり、複雑である。ここでは、(a) の方法について計測法を説明する。

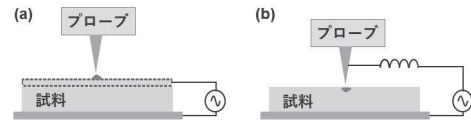


図 1 測定法

- ① 逆圧電効果で試料を伸縮されるための、交流電圧 V_a を試料に印加する。(z 軸のアクチュエータが追従できるように十分低い周波数とする)。
- ② V_a を印加すると圧電性により探針—サンプル表面間の距離が変化するため、FM 復調器から出力信号が得られる。
- ③ この状態で、z 軸アクチュエータを動作させ出力信号がゼロ (即ち、探針—サンプル表面間の距離が一定) となるようにサーボをかける。この時に z 軸アクチュエータに印加された電圧から、試料の厚み変化 Δh を求める。
- ④ これより、圧電定数 $d_{33} = \Delta h / V_a$ を求める。

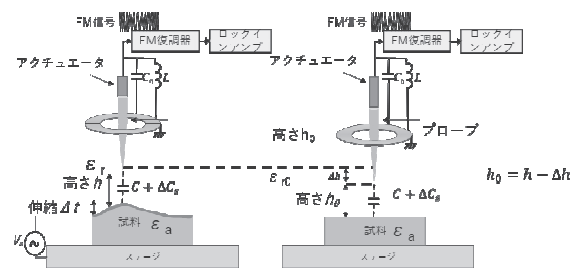


図 2 測定原理

図 3 は開発した装置である。本装置を用いてカタログ値 $d_{33} = 296$ [pC/N] の PZT セラミックスを測定したところ、240 [pC/N] の値を得た。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の装置により、微小領域の圧電定数の分布計測ができれば、グレイン間での特性の違いやグレイン境界の特性の影響など、局所的な議論することができるようになり、圧電材料の開発に有益な情報を提供できる。

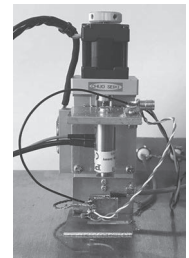


図 3 開発した装置

[4] 成果資料

投稿準備中

採択番号：R02/A07

スパッタリングプロセスを用いた β -Ga₂O₃ 薄膜とデバイス形成

[1] 組織

研究代表者：

今泉 文伸 (小山工業高等専門学校機械工学科)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

亀田 卓 (広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所)

小熊 博 (富山高等専門学校電子情報工学科)

五十嵐 大夢 (小山工業高等専門学校機械工学科)

長尾 健史 (小山工業高等専門学校機械工学科)

久田 和輝 (小山工業高等専門学校機械工学科)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

現在、世界的な課題として革新的な省電力技術の開発が求められている。このような社会事情から、現状のシリコン(Si)よりも更に高耐圧で低損失なパワーデバイスの実現が期待できる SiC、GaN といったワイドギャップ半導体材料が注目され、日本はもとより米国、欧州といった諸外国においても活発に研究開発が進められている。表 1 に示すように、Ga₂O₃ は、SiC、GaN よりも更に大きなバンドギャップ (4.4~5.3eV) をもつ材料である。その物性から、パワーデバイスに応用した場合、より一層の高耐圧で低損失なデバイス特性の実現が期待できると考えられている。また近年では、携帯電話基地局の高出力送信機向けトランジスタや、高周波 RF 電源への応用が期待されており、IoT モジュール向けの無線通信・デバイスの社会実装を強く意識した研究開発が求められている。

また、Ga₂O₃ はバルク材料としての研究は多くされているが、バルク材料としてのデバイス研究開発に比べて、薄膜の物性やデバイスの研究は少ないのが現状である。薄膜の作製方法としては、化学的気相成長法、ゾルゲル法、ミスト CVD 法等があげられるが、スパッタリングを用いた成膜技術や、ドーパントに関する研究は少ない。これらの方法により、典型的なワイドバンドギャップ材料よりも高いバンドギャップを有する Ga₂O₃ 薄膜を形成することが可能であると考えられる。

	β -Ga ₂ O ₃	GaN	4H-SiC
バンドギャップ E _g (eV)	4.9	3.4	3.3
臨界電界強度 E _c (MV/cm)	~8(推定)	~3.5	2.8
電子飽和速度 v(cm/s)	1.8~2 × 10 ⁷	2.7 × 10 ⁷	2.2 × 10 ⁷
電子移動度 μ _e (cm ² /Vs)	300	~1000	1000
結晶形成	◎	○	△

表1. パワーデバイス用半導体の物性の比較

材料として Ga₂O₃ は 5 種類の結晶構造を持つ。この中で準安定な α-Ga₂O₃ 相は、最も大きなバンドギャップ (5.3eV) を有し、多くの研究が行われている。また α-Ga₂O₃ の n 型の導電性は、スズをドーピングすることで制御できることが報告されている。さらに、α-Ga₂O₃ は、スズ、シリコン、フッ素をドーピングすることで、n 型の導電性を制御できることも報告されている。α-Ga₂O₃ は、サファイア (α-Al₂O₃) と同じ構造であるコランダム構造を有しており、サファイア基板にこのような構造をもつ高品質な α-Ga₂O₃ エピタキシャル薄膜が形成されている。α-Al₂O₃ 基板上に高品質な α-Ga₂O₃ エピタキシャル薄膜を成長させることができている。次に、準安定な κ-Ga₂O₃ 相は ε-Ga₂O₃ と呼ばれ、他の結晶構造とは異なり強誘電性を示すことが特徴である。κ-Ga₂O₃ の強誘電性は、自発的な分極により発現することが報告されており、この κ-Ga₂O₃ の強誘電性は、ヘテロ電界による 2 次元電子ガスの形成を可能にすると予測されている。κ-Ga₂O₃ の強誘電性は、ヘテロ電界効果トランジスタにおいて、κ-Ga₂O₃ の自発的な強誘電性により、2 次元電子ガスが自発的に分極して形成し、将来的には、ヘテロ電界効果トランジスタへの応用が期待されている。

このような薄膜を形成するためには、基板の選択も重要である。現在、Ga₂O₃ 基板の製品化が開始されているが、製造方法が高度であり基板の製作費が高額である。そのため Ga₂O₃ の薄膜形成として安価な基板として MgO や Al₂O₃ 基板等を用いた研究が多く行われている。α-Al₂O₃ と α-Ga₂O₃ はどちらもコランダム結晶構造であり、様々な研究が α-Al₂O₃ 基板を用いて行われてきている。本研究では、κ-Ga₂O₃ 薄膜の形成を目標とするが、α-Al₂O₃ 基板は κ-Ga₂O₃ との格子定数のミスマッチが大きいため、薄膜の選択的な形成が難しい

と考える。そのため最近では、LiNbO₃基板用いた研究が報告されている。LiNbO₃基板はコランダムに近い構造をもち、格子定数の不整合が小さいことが特徴である。本研究では、スパッタリングを用いてLiNbO₃基板上にGa₂O₃薄膜を形成し、結晶構造について分析を行った。LiNbO₃基板の簡単な結晶構造を図1に示す。3方向の軸をもっているが、本研究では(0001)面のLiNbO₃基板にGa₂O₃をスパッタリング法で成膜した。またLiNbO₃基板は、圧電性、焦電性、非線形光学効果などを利用して、圧電素子、表面弾性波素子、レーザ素子などの各種基板としても使用されている。

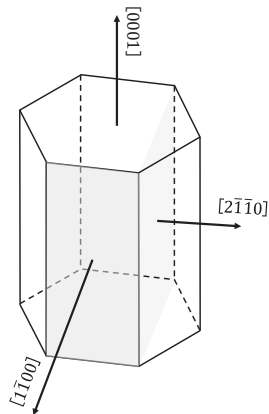


図1 LiNbO₃基板の結晶軸

本研究では、Ga₂O₃の薄膜での成膜に関する問題点を明らかにし、プロセス技術を改善させGa₂O₃の高品質化とデバイスの作製、構造評価を目的とする。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

最初の実験としてノンドープのGa₂O₃ターゲットを準備し、13.56MHzのRFスパッタリング装置を用いて、Ga₂O₃の成膜を行った。基板のアルコール洗浄後にGa₂O₃はSiO₂/Si上に成膜した。スパッタリングの条件は、基板温度は常温で、Ar/O₂=100/20sccm、圧力は4.0Pa、RFパワーで20Wである。その後、酸素雰囲気中で、600度と1050度でアニール処理を行い、薄膜の配向性について、XRDを用いて評価を行った。

次に(0001)面のLiNbO₃基板を準備し、同様に13.56MHzのRFスパッタリング装置を用いて、Ga₂O₃の成膜を行った。基板のアルコール洗浄後にGa₂O₃はスパッタリング成膜を行った。スパッタリングの条件は、基板温度は常温で、Ar/O₂=100/20sccm、圧力は4.0Pa、RFパワーで30Wである。その後、酸素雰囲気中で、500度で5時間のアニール処理を行い、薄膜の配向性について、XRDを用いて評価を行った。また、電子顕微鏡を用いて薄膜の断面形状について確認した。XRDで測定したGa₂O₃薄膜の結果を図2に示

す。600度のアニールでは、Ga₂O₃に起因するピークは見られなかったが、1050度までアニール温度を上昇することで、β-Ga₂O₃の(400)、(002)のピークが検出されて、Ga₂O₃に配向性が揃っていることがわかる。アモルファスであるSiO₂上でも、熱処理の温度を上昇させることで、Ga₂O₃の結晶性が進むことが分かった。

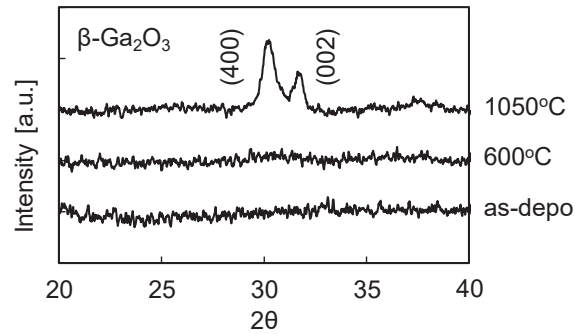


図2 アニール温度の違いによるGa₂O₃薄膜のXRD測定結果

図3にLiNbO₃基板上に成膜したGa₂O₃基板のXRD測定結果を示す。ピークを確認するために2θ-ω測定を38度から40度の狭い範囲で行った。

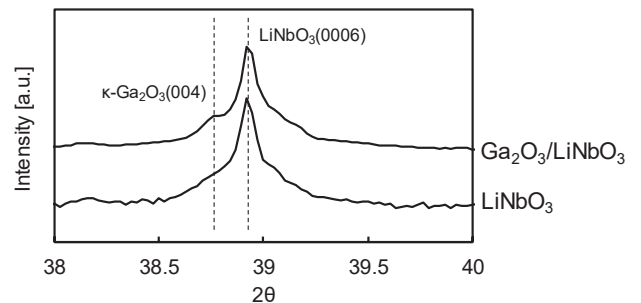


図3 LiNbO₃基板上に形成された、Ga₂O₃薄膜の2θ-ω測定結果

LiNbO₃基板に起因する(0001)のピークが2θ=39.9度付近に観測されているのがわかる。その後Ga₂O₃を成膜し、500度で5時間の熱処理を行ったところ、2θ=38.7度付近に弱いピークが観測された。この弱いピークがκ-Ga₂O₃に起因するピークと考えられる。また、電子顕微鏡において薄膜の断面形状も評価し、平坦な薄膜が形成されていることを確認している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究においてε-Ga₂O₃とκ-Ga₂O₃の薄膜形成に成功した。特にκ-Ga₂O₃については、強誘電性が報告されており、メモリなどの新規デバイスへの発展性が期待できる。今後、ワイドバンドギャップ材料の様々な応用が望まれる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・今泉文伸, スパッタリング法を用いて形成した酸化ガリウム薄膜の基礎評価, 電子情報通信学会技術研究報告 シリコン材料・デバイス 121(212) 5-7 2021年10月

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・長尾健史, 今泉文伸, 静電駆動型 MEMS スイッチの新規設計並びに作製, 日本機械学会関東学生会第 61 回学生員卒業研究発表講演会 503 2022年3月

・久田和輝, 今泉文伸, RF スパッタリング法を用いた BiFeO₃ 薄膜形成と圧電性の検証, 第27回 高専シンポジウムオンライン J-05 2022年1月

・五十嵐大夢, 今泉文伸, 静電容量型微小変位センサに関する基礎研究, 第82回応用物理学会秋季学術講演会 10a-N302-6 2021年9月

・今泉文伸, 仲田陸人, DyScO₃ 基板上への BiFeO₃ 薄膜形成と基礎物性, 第37回強誘電体会議 01pm-07 2021年5月

採択番号：R02/A08

負の透磁率を利用した移動体通信機器内の 電磁クロストーク抑制に関する研究

Study on Electromagnetic Crosstalk Suppression in Mobile Devices
Using Negative Magnetic Permeability Materials

[1] 組織

研究代表者：

室賀 翔 (秋田大学大学院理工学研究科)

通研対応教員：

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

梶 修一郎 (東北学院大学工学部)

遠藤 恭 (東北大学大学院理工学研究科)

直江 正幸 (電磁材料研究所)

田中 元志 (秋田大学大学院理工学研究科)

延べ参加人数：6人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

機器の高密度実装化と動作周波数の高周波化に伴い、素子や配線間の意図しないクロストークの問題が深刻化している。クロストークの要因は静電結合と誘導結合である。静電結合は一般的に誘電率の高い基板内が支配的である。一方、磁束は、空気や基板の比透磁率がどちらも1であるため、空間中に広く分布する。このため、誘導結合の対策は困難である。

一般的に、誘導結合は配線間距離の増加や配線の平行部分を減らすことにより対策されている。また、高透磁率な磁性体を配線間に配置し、磁束を局所化する手法も検討されている。しかし、これらの手法には、回路レイアウト変更や部品を追加するためのフットプリントが必要である。

本プロジェクトでは、磁性膜を用いて、周波数選択的に相互インダクタンスを制御することにより、レイアウト変更やフットプリントの増加を伴わずに誘導結合を低減する手法を提案する。

本プロジェクトは昨年度から開始した。初年度は、実証実験として、パッケージレベルの配線を模擬した平行2導体マイクロストリップ線路(Microstrip Line, MSL)上に異なる磁性膜を配置し、MSL間の伝送特性を評価した。その結果、強磁性共鳴(Ferromagnetic resonance, FMR)周波数以上で磁性膜の透磁率が負となる周波数帯域において、クロストークが抑制可能であることを実験的に示した。さらに、磁気回路解析によ

り、実証実験で得られたクロストーク抑制周波数において、磁性膜の負の透磁率によって平行2導体MSL間のクロストークが抑制されることを示した[1]。しかし、磁性膜内のFMR損失や渦電流損失によって生じる挿入損失の影響については検討されていない。磁性膜のクロストーク抑制素子としての応用可能性の評価ならびに設計指針構築のためには、磁性膜のクロストーク抑制効果と挿入損失の関係を明らかにする必要がある。

そこで本年度は、Co-Zr-Nb膜を配置した場合の挿入損失を評価し、デバイスとしての設計指針の構築を目指した。Co-Zr-Nb膜の位置や寸法、抵抗率依存性を、電磁界解析を用いて算出し、挿入損失を低減するための設計指針について検討した。

以下、研究活動状況の概要を報告する。

活動状況：

研究打ち合わせ・実験

11月2日 対面 (参加人数4名)

メールやオンライン打ち合わせ 随時

研究会への参加

4月26-30日 Intermag 2021 Conference

9月1日 日本磁気学会学術講演会

10月22日 ICMR 2021 AKITA

12月16日 電気学会マグネティックス研究会

2月17日 共同プロジェクト研究発表会

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下の研究成果を得た。

まず、2本の平行マイクロストリップ線路上に、クロストーク抑制を目的にCo-Zr-Nb膜を配置した場合の挿入損失を評価した。Co-Zr-Nb膜の位置や寸法、抵抗率依存性を、電磁界解析を用いて算出し、挿入損失を低減するための設計指針について検討した。図1に、解析対象となる平行2導体MSLの構造と寸法を示す。MSLは、比誘電率10の低温同時焼成セラミックス基板を利用して試作した。2本のMSLは同一の形状、寸法である。2本のMSLのうち、一方の線路(Line 1)を

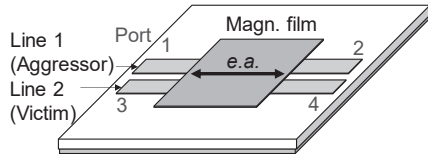


Fig. 1. Geometry of experimental model.

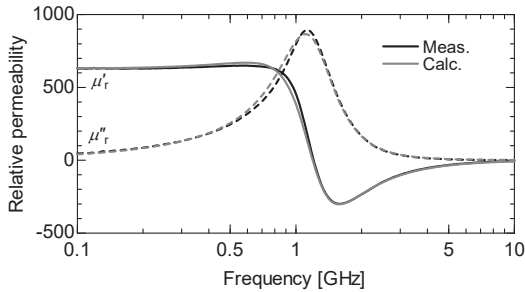
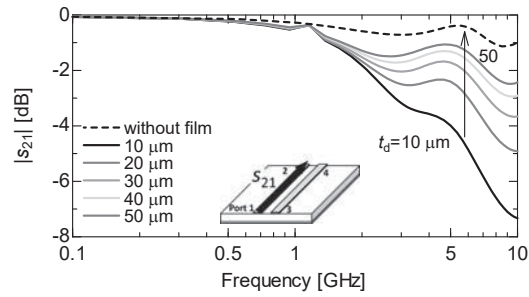
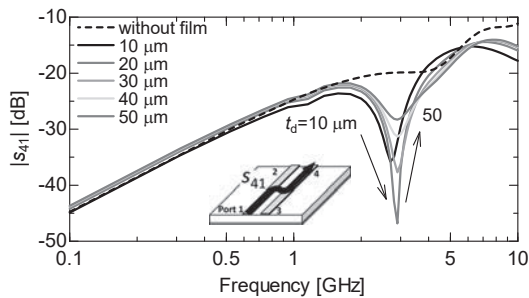


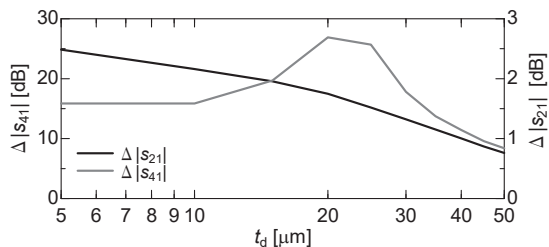
Fig. 2. Permeability of 1- μ m-thick Co-Zr-Nb film



(a) $|S_{21}|$



(b) $|S_{41}|$



(c) $\Delta|S_{41}|$ and $\Delta|S_{21}|$ at crosstalk suppression frequency

Fig.3.Crosstalk suppression and insertion loss

ノイズ源(Aggressor), もう一方(Line 2)を混入先(Victim)と仮定した。その2導体MSLの直上に、Co-Zr-Nb膜を配置した。図2に比透磁率の周波数特性を示す。Co-Zr-Nb膜とMSLの信号線間の距離 t_d は、10-50 μ mに変化させた。図3に磁性膜と信号線間の距離 t_d を変化

させた場合の $|S_{21}|$ と $|S_{41}|$ の解析結果を示す。ここで、磁性膜の配置に伴う $|S_{21}|$ の減衰量を挿入損失、 $|S_{41}|$ の減衰量を遠端クロストーク抑制効果として評価した。1 GHz以上の周波数帯域では周波数の増加に伴い挿入損失が増加した。これは、FMR損失と渦電流損失によるものである。 t_d の値を大きくすると、磁性膜配置に伴う挿入損失が単調に減少した。 $|S_{41}|$ については、磁性膜の配置によって3 GHz付近に極小値が生じた。この周波数は、磁性膜の負の透磁率によって2導体間の磁束結合が抑制された周波数とおおよそ等しい。 t_d の値を大きくすると、 $t_d=20\mu$ mの場合に $|S_{41}|$ の抑制効果が最大となった。これは、 $t_d=20\mu$ mでMSL間の伝達インピーダンスが最大となるためと考えられる。これにより磁性膜配置に伴う挿入損失とクロストーク抑制効果の発生機構が明らかになり、その基本的な設計指針を明らかにした。本成果を、日本磁気学会学術講演会[5], The 9th International Conference on Materials Engineering for Resources(ICMR 2021 AKITA)[6]にて口頭で発表し、ICMR 2021 AKITAではExcellent Poster Awardを受賞した。

次に、挿入損失の発生機構とその低減方法について検討した。電磁界解析を利用して、挿入損失の要因が渦電流損失であることを明らかにし、磁性膜内で生じる渦電流損失を低減することにより、磁性膜の挿入損失が低減可能であることを示した。本成果を、電気学会マグネティクス研究会[7]にて口頭で発表した。

以上、磁性膜の付の透磁率を利用したクロストーク抑制デバイスの開発のため、その挿入損失とクロストーク抑制効果の発生機構を明らかにし、挿入損失を低減しつつクロストークを抑制するための設計方法について検討した。

(3-2) 波及効果と発展性,研究分野への貢献など

磁性膜の負の透磁率を利用した配線間クロストーク抑制技術は、これまで対策が困難であった次世代通信用機器内の狭い空間内における高周波磁気結合の制御を実現するための、革新的なアイデアである。本技術の実現により、回路設計の自由度を向上させることが可能であり、電子機器の更なる小型・高密度、高周波、低消費電力化の進展に寄与するものと考えられる。さらに本成果は、クロストーク抑制に限らず、高周波磁性材料と高周波回路から生じる電磁界の相互作用を明らかにするために有用である。この相互作用に関する知見を、一般的に普及している電磁ノイズ対策部材である電磁ノイズ抑制体の設計法の構築に関する研究に応用し、その成果の一部を2021 IEEE International Magnetics Virtual Conference[4]にて発表し、さらにIEEE Transactions on Magnetics[2], 電気学会論文誌A[3]に投稿した。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

論文：

- [1] 室賀 翔, 田中 元志：“Co-Zr-Nb 膜の配置による平行2 導体MSL 間の誘導減結合”，電気学会論文誌 A, Vol.141, No.5, pp.301-305, May 2021.
- [2] Takahiro Mikami, Sho Muroga, Motoshi Tanaka, Yasushi Endo, Shuichiro Hashi, Kazushi Ishiyama: "Estimation of Noise Suppression in MSL with Co-Zr-Nb Films Considering Impedance Matching", IEEE Trans. Magnetics, Vol.58, No.2, #6100205(5 pages), Feb. 2022.
- [3] 正木 信駿, 室賀 翔, 三上 貴大, 田中 元志“Co-Zr-Nb 膜を配置した平行2 導体マイクロストリップ線路の差動・同相モードの伝送特性”，電気学会論文誌 A, Vol.142, No.6(to be published in June 2022).

学会発表：

- [4] Takahiro Mikami, Sho Muroga, Motoshi Tanaka, Yasushi Endo, Shuichiro Hashi, Kazushi Ishiyama: "Estimation of Noise Suppression in MSL with Co-Zr-Nb Films Considering Impedance Matching", 2021 IEEE International Magnetics Virtual Conference (Online), ER-03, Apr. 2021.
- [5] 三上貴大, 室賀 翔, 田中元志：“磁性膜を配置したMSL の磁気回路解析による回路定数の推定”，第45回 日本磁気学会学術講演会(オンライン), 01aC-9, Sep. 2021.
- [6] (Excellent Poster Award) Takuma Kobayashi, Takahiro Mikami, Sho Muroga, Motoshi Tanaka: "A Study on Crosstalk Suppression and Insertion Loss in MSLs with Co-Zr-Nb Film", The 9th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR 2021 Akita)(Online), BP-14, Oct. 2021.
- [7] 小林拓真, 室賀 翔, 田中元志, 遠藤 恭, 栢修一郎, 石山和志, 直江正幸：“Co-Zr-Nb 膜を用いたクロストーク抑制素子の挿入損失の低減に関する検討”，電気学会マグネティックス研究会(オンライン), MAG-21-136, Dec. 2021.

採択番号：R02/A09

金属ナノ接合における量子伝導の制御と機能性素子への応用

[1] 組織

研究代表者：

柴田 憲治（東北工業大学工学部電気電子工学科）
通研対応教員：

大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

伝導チャネル幅が電子の波長程度に括れた構造を有する量子ポイントコンタクト (QPC) は、超高感度の電荷検出が可能であり、これまで極低温環境のみで動作する半導体 QPC がナノ構造の量子状態の読み取りに用いられてきた。一方で、金属材料を用いた金属 QPC においては、室温でも伝導度の量子化が明瞭に観測されることから、室温動作可能な電荷検出器への応用が期待される。しかし、金属 QPC は伝導度の電界変調が困難であり、これまでデバイス応用は進んでいなかった。本研究では、金属 QPC の作製とその伝導度の電界変調を実現する実験をおこない、これを室温動作が可能な超高感度・高空間分解能電荷検出器へと応用する研究を推進した。

本プロジェクトは昨年度から開始し、本年度が2年目であった。まずは、昨年度の結果を踏まえて「金属 QPC の伝導度の電界変調技術の確立」に取り組んだ。バックゲートとして用いる p 型 Si 基板からの電界を金属 QPC 部に集中させるために、金属ナノ接合のパターンを幅 20 nm 程度まで細線化した素子を新たに作製して実験に用いた (図1参照)。また、昨年の実験結果から、金属 QPC 部を金属原子 1 個程度と極限まで微細化してしまうと、量子準位間隔が非常に大きくなることで伝導度の電界変調が困難になることが考えられた。このことから、今年度の実験では、QPC を微細化し過ぎずに、金属原子 3-5 個程度までの微細化

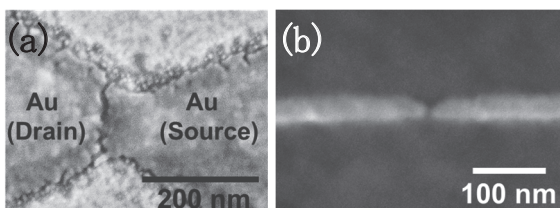


図1：電子線リソグラフィによって形成された金属 QPC の電子顕微鏡 (SEM) 像。(a)は昨年度に用いた素子。(b)は電界を集中させるために幅 20 nm 程度まで細線化を施した今年度の素子構造。

に留めた素子に対して電界変調の実験を行った。

最後に、本研究で用いる金属ナノ接合の更なる応用を探索するために、接合をトンネル伝導領域まで切断した上で、半導体ナノ粒子を表面に分散させて単一ナノ粒子の電気伝導を測定する研究をスタートさせた。具体的には、太陽電池など光デバイスへの応用が期待される PbS コロイド量子ドットを金属電極近傍に分布させ、単一 PbS 量子ドットを介した電子輸送特性を測定することを試みた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第一に、金属 QPC 試料について、バックゲートとして用いる p 型 Si 基板からの電界を金属 QPC 部に集中させるために、図 1(b)に示すように金属ナノ接合のパターンを幅 20 nm 程度まで細線化したパターンを新たに作製した。その上で、金属原子 3-5 個程度までに微細化した QPC を通電断線により作製し、その伝導度を電界変調する実験を行った。多くの試料について繰り返し実験を行った結果、バックゲートからのゲート電界のみでは伝導度の電界変調は困難であることが判明した。その結果を受けて次に、金属 QPC の量子準位が電極のフェルミ準位近傍に来るように表面から付加的な電界を印加した上で、バックゲートから電界を印加して伝導度の電界変調を実現することを試みた。その結果、図2に示すように、バックゲートからのゲート電圧に対して、階段状に伝導度が変調される様子を観測することに成功した。この結果は、金属 QPC 実現に向けた大きな一歩と考えることができるが、一方でデバイス応用に向けた十分な再現性が

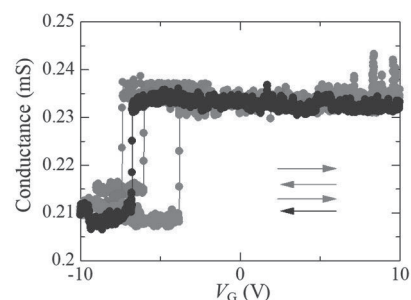


図2：繰り返し電圧の掃引を行ったときの金属 QPC 素子の伝導度のゲート電圧依存性。僅かなヒステリシスとともに、伝導度が階段状に変化する様子が観測された。

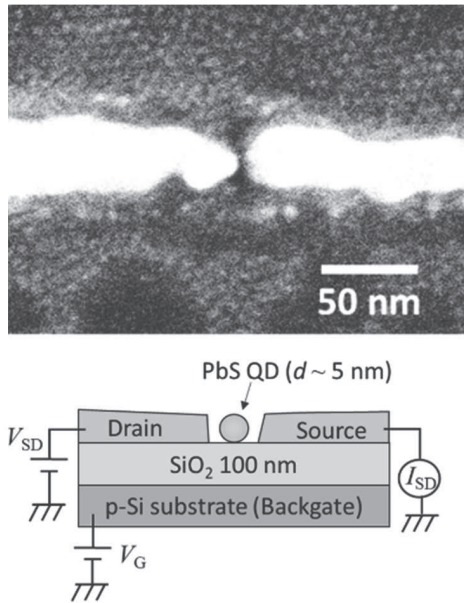


図3:(上図) 通電断線によって金属ナノ接合を切断することで形成した金属ブレイクジャンクションにPbS量子ドット溶液を滴下して分散させた素子のSEM像。(下図) 単一PbSトランジスタ素子の模式図。

確認できなかった。再現性の確立のために、より構造的に安定した金属材料の採用や、より強い電界印加手法の確立が今後の課題として残った。

次に、本研究で用いる金属ナノ接合の更なる応用を探索するために、新たな素子の開発と量子伝導の観測に関する実験を行った。金属QPCに用いた金属ナノ接合をトンネル伝導領域まで切断することでナノメートルサイズのギャップを有する金属電極対を形成し、そのギャップ間に半導体ナノ粒子を分散させることで単一ナノ粒子の電気伝導を測定する研究をスタートさせた。具体的には、半導体ナノ粒子として、太陽電池など光デバイスへの応用が期待されるPbSコロイド量子ドットを金属電極近傍に分布させ(図3参照)、単一PbS量子ドットを介した電子輸送特性を測定する実験を行った。図4に様々なゲート電圧において観測されたソース・ドレイン間の電流-電圧特性を示す。明瞭な階段状の電流-電圧特性が観測され、その様子がゲート電圧によって変調されることが分かった。この特性はPbS量子ドット中に形成された電子の量子準位を介して電子が1つずつ流れることを示しており、素子が単一電子トランジスタとして機能していることが分かった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で作製を試みた金属QPCは電荷1個の動きを検出可能な超高感度の電荷検出器への応用が考えられる。その他、超伝導金属や強磁性金属を用いるこ

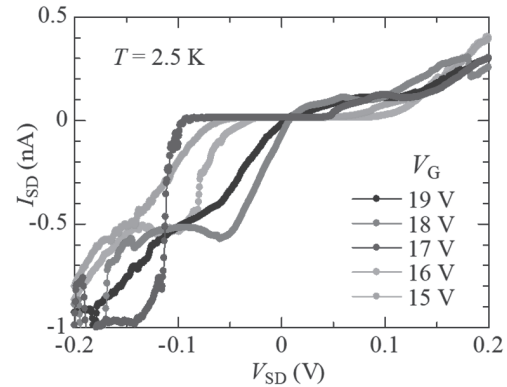


図4: 単一PbS量子ドットを活性層とする単一量子ドットトランジスタで観測された電流-電圧特性。

とで、3端子超伝導素子やメモリ素子へと展開できることも考えられ、多方面へと発展する潜在性を有する研究である。単一電子やイオンの動きの制御により量子ビットを操作する量子コンピューターの実現が期待されているが、これらの系における量子状態の読み取りが可能で、より高性能な素子を新たに提供できる可能性がある。また、走査プローブ顕微鏡の走査機構の先端に本素子を取り付けるなどすることで、ナノ構造の他、電解液中の生きた生体細胞、極性を有する分子などにおいて、電荷の分布や動きの超高空間分解能計測も可能となると考えられ、化学、バイオ分野へも貢献することが期待される。

単一PbSコロイド量子ドットを介した電気伝導の観測に関しては、PbS量子ドットを用いた紫外から赤外領域の太陽電池や光検出器などの光デバイスの実現に向けて、有用な情報を提供することが可能であると考えている。これらのデバイスの実現には光の吸収によって発生したキャリアの電気伝導の理解が必須であるが、単一量子ドットレベルで伝導特性を観測する研究はこれまでほとんど行われておらず、その理解は進んでいない状況である。また、光デバイスに限らず、量子情報デバイスへの応用を探索する研究は、コロイド量子ドットではほとんど行われていないことから、その可能性を探索する意味でも本研究には意味があると考えている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

本年度の論文発表は無かった。

学会発表:

・柴田憲治、齋藤光貴、大塚 朋廣 「ナノギャップ電極と結合したPbS量子ドットにおける電気伝導特性」第69回応用物理学会春季学術講演会 2022年3月23日 (23p-D316-6)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R02/A10

high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明

[1] 組織

研究代表者：

王谷 洋平（公立諏訪東京理科大学工学部）

通研対応教員：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

室田 淳一（東北大学マイクロシステム

融合研究開発センター）

櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）

岡本 浩（弘前大学大学院理工学研究科）

小林 康之（弘前大学大学院理工学研究科）

小野 俊郎（弘前大学大学院理工学研究科）

佐藤 哲也（山梨大学大学院総合研究部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

コンピュータ機器や携帯機器の心臓部である Si-CMOS デバイスによる VLSI が集積度の限界に差しかかっており、high-k 絶縁膜や立体構造が導入されるようになったが、さらなる高性能化、低消費電力化を目指して高移動度チャネル層の導入が検討されている。チャネル層の候補としては Si-CMOS プロセスとの整合性が良く、かつ Si に比べ電子と正孔両方の移動度が大きい Ge が最有力候補の 1 つとされている。しかしながら Ge-MOS 構造は従来の Si-MOS 構造に対し、良好な界面や高品質な絶縁膜を得ることが難しいという問題がある。近年、適切な条件下で形成された GeO_2 や GeN_x 中間層を導入することにより最も重要な課題であった MOS (MIS) 構造における界面準位密度 (D_{it}) の低減が進んでおり、提案者らのグループも ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ法やリモートプラズマ源による酸素ラジカルを用いた ALD 法 (REALD 法) による絶縁膜形成により、低い界面準位密度を有する Ge-MIS 構造を実現している。しかしながらその絶縁膜や界面の物理に関しては未だ不明な点が多々残されている。例えば課題の一つとして成膜後や電極形成後におけるアニールによる特性向上に関するメカニズムの解明が求められている。

本プロジェクトは開始二年目となるが、前回までのプロジェクト研究 (H20/A03 「ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御」、H23/A03 「原子層レベルで制御された Si 並びに Ge-MIS 構造の作製技術とその界面評価技術の開発」、H26/A03 「プラズマプロセスによる各種 high-k/Ge 構造の作製と界面近傍のト

ラップの評価」、及び H29/A09 「各種 high-k/Ge 構造において成膜後プロセスがもたらす効果の検討」) の成果である「低密度界面準位 Ge-MIS 構造の作製と界面準位密度の高精度な評価手法」、「界面近傍の絶縁膜中や半導体中に存在するトラップの評価技術」を引き継ぐものである。

本プロジェクト初年度の昨年度は、前々回プロジェクト後半から新たな知見が得られつつあった high-k 絶縁膜/Ge 構造について、これまでに検討してきた基板加熱を伴う ECR 法や ALD 法などの絶縁膜形成手法に換えて基板加熱を必要としない RF マグネトロンスパッタ法で基板加熱なしで HfO_2/Ge 構造を形成して、得られた試料の特性および得られた試料に対するアニールの効果を室温コンダクタンス法により算出した D_{it} を評価することにより行った。その結果、熱処理前の試料において、 300°C 程度の基板加熱温度で形成したこれまでの試料と比較して、1 桁程度 D_{it} が増大することを明らかにするとともに、金属電極堆積後熱処理 (PMA)、絶縁膜堆積後熱処理 (PDA) に依らず 300°C での熱処理後には、これまでの 300°C 程度の基板加熱温度で形成した試料と同様に D_{it} が 1 桁程度低減することを明らかにした。

本プロジェクト二年目の今年度は、特に RF マグネトロンスパッタ法による HfO_2/Ge 構造形成を行い試料形成時の基板温度や試料形成後の熱処理が、試料の界面特性に及ぼす影響について評価・検討を行った。

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オンライン開催された令和 3 年度共同プロジェクト研究発表会においてポスターセッション発表にて成果報告を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

今年度は、Ge 基板上に RF マグネトロンスパッタ法で基板温度を変化させて HfO_2 薄膜を堆積して、 HfO_2 薄膜堆積時の基板加熱が及ぼす影響と HfO_2 薄膜堆積後のアニールの効果を室温コンダクタンス法により算出した D_{it} を評価することにより調査した。まず、スパッタ法により広い温度領域で均質な HfO_2/Ge 構造を形成できることが確認できた。次に、 HfO_2/Ge 界面特性評価結果の一部を以下に示す。図 1 に示すように基板加熱なしでの形成と比較して、 HfO_2 薄膜堆積時の基板温

度の上昇とともに D_{it} が低減し、基板温度 400°C で HfO_2/Ge 構造を形成することにより D_{it} が 1 桁以上低減することを明らかにした。また、同試料を 10% H_2+N_2 雰囲気下において 500°C で 30 分間の PDA をした際には、図 2 に示すように HfO_2 薄膜堆積時の基板温度の上昇とともに D_{it} の低減効果が減少するのに対してフラットバンドシフトの改善効果が増大することを明らかにした。

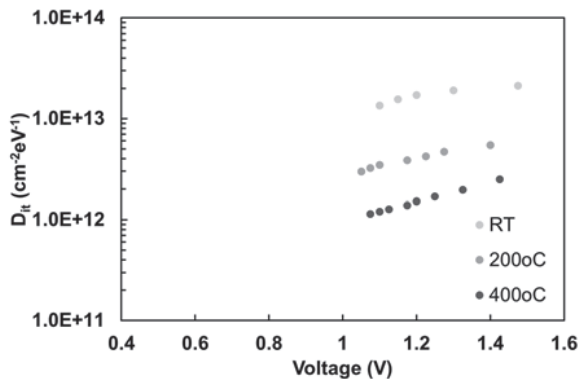


図1 熱処理前の HfO_2/Ge 構造の $D_{it}-V$ 特性

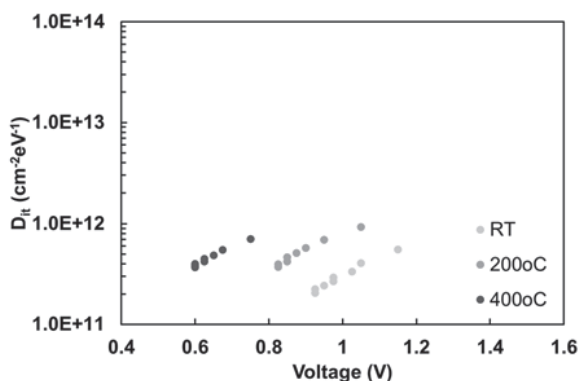


図2 PDA 後の HfO_2/Ge 構造の $D_{it}-V$ 特性

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、多様なプロセス技術による種々のゲートスタック構造による検討が可能であることが強みとなっている。

これまでのプロジェクト研究において、酸化膜系及び窒化膜系による各種の high-k/Ge-MIS 構造を複数のプロセス手法によって形成し、評価を行ってきた。そのうち以下に酸化物系絶縁膜を用いた Ge-MOS 構造の例を以下に示す。

i) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ 構造

プロセス手法: (ECR プラズマ酸化+ECR スパッタ) [1] 並びに (酸素ラジカル酸化+REALD) [2]

ii) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ ジャーマネイト/Ge 構造

プロセス手法: REALD 法による自発形成 [3, 4]

iii) HfO_2/Hf ジャーマネイト/Ge 構造

プロセス手法: REALD による自発形成 [5]

iv) HfO_2/Al ジャーマネイト/Ge 構造

プロセス手法: (REALD による自発形成+REALD) [5], (ALD+酸素ラジカル照射+ALD) [6]

これまでのプロジェクト研究においては Ge-MIS 形成手法として多く検討されている ECR 法や ALD 法で形成した試料の評価を進め、それらの試料の特性を報告してきたが、本プロジェクト研究においては Ge-MIS 形成手法としては、あまり検討されてきていないスパッタ法で形成した試料の特性評価を進め、Ge-MIS 形成手法の違いによる特性の差異や類似性を示しつつある。さらに今年度、極低温での極薄膜形成に明るい研究分担者が加わり、極低温での極薄膜試料形成も進めることができたため、次年度にはそれらの試料の評価も進めることができる予定である。これらの特性評価結果も加え、これまでに様々な形成手法を用いて形成してきた high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明が進められることが期待でき、次世代の高性能 CMOS デバイスの実現に向け、作製・評価技術、並びに Ge 界面とその近傍の物理の解明に向けた発展が期待される。

謝辞

特性評価に協力頂いた公立諏訪東京理科大学大学院生の山田大地氏に感謝致します。

[参考文献]

- [1] Y. Fukuda, Y. Yazaki, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, and T. Ono, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 57, No. 1, pp. 282-287 (2010).
- [2] Y. Fukuda, D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, and H. Okamoto, ALD 2016, 0199 (2016).
- [3] Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita, Appl. Phys. Lett. 102, 132904 (2013).
- [4] Y. Fukuda, D. Yamada, T. Yokohira, K. Yanachi, C. Yamamoto, B. Yoo, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, and H. Okamoto, J. Vac. Sci. Technol. A 34(2), 02D101 (2016).
- [5] D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, H. Okamoto, Y. Fukuda, The 6th Int. Symp. Organic and Inorganic Electron. Mat. and Rel. Nanotechnologies (EM-NANO 2017), PA4-1-2, (Fukui, Japan, 2017).
- [6] 山田大地, 王谷洋平, 山本千綾, 山中淳二, 佐藤哲也, 岡本浩, 福田幸夫, 応用物理学会 北陸・信越支部 第3回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム, (石川県政記念しいのき迎賓館, 2016).

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• Daichi Yamada, Yusuke Yamamoto, Hiroshi Okamoto, Yohei Otani, “Effects of thermal treatments on the electrical properties of sputter-derived HfO₂/Ge interfaces”, The 8th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2021), June 1-3, 2021, Virtual event.

• Yohei Otani, Daichi Yamada, Hiroshi Okamoto, Toshiro Ono, Tetsuya Sato, Junji Yamanaka, Yukio Fukuda, “Fabrication and Characterization of Ge-based MIS structures”, 240th Meeting of the Electrochemical Society (240th ECS Meeting), October 10-14, 2021, Virtual event. [Invited]

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• なし

採択番号：R02/A11

単結晶グラフェン機能デバイス

[1] 組織

研究代表者

永瀬 雅夫

(徳島大学大学院社会産業理工学研究部)

通研対応教員

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

大野 恭秀

(徳島大学大学院社会産業理工学研究部)

延べ参加人数：3人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

ナノカーボン材料であるグラフェンの研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、大面積単結晶グラフェン基板を用いて各種の新機能デバイスを創出することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。本年度はSiC上エピタキシャルグラフェンを用いた電子デバイスを作製し、その電気特性、及び、赤外放射特性に関する検討を中心に研究をすすめた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

積層接合型のデバイスを作製し、その電気特性を取得した。その結果、接合部に最大数十Vもの高電界が印加可能であることが判った。また、デバイス毎に決まっている最大電圧に達すると、接合部のコンダクタンスが大幅に上昇し低抵抗相へ可逆的に遷移することも判った。平面型の黒体輻射デバイスを作製し、その赤外放射特性をサーモカメラ、及び、赤外フーリエ変換装置 (FT-IR) にて取得した。サーモカメラを用いた角度依存性の結果より、試料水平方向 (電流方向) の放射密度が、試料垂直方向の放射密度と比較して大きいことが判った。また、昨年度、計画していた東北大学におけるテラヘルツ領域の放射スペクトル測定に関する打合せをオンラインで進め、実質、リモートになったが仙台での実験を行った。今後、データを精査して、さらに追加実験を行う予定である。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、2種類のデバイスに関する検討を行った。

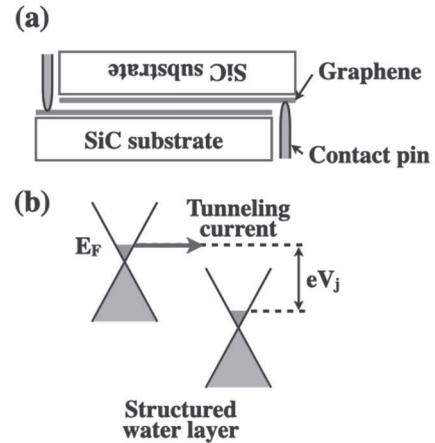


図1 (a) グラフェン積層接合の概略図
(b) バンドダイアグラム

1つめは積層接合型デバイスである、図1(a)に示すように2枚のSiC上グラフェンを対向させて直接接合させたデバイスである。試料の僅かな反りのため、本質的にポイントコンタクト型のデバイスである。昨年度までに、電圧印加によりこのデバイスから波長10 μm 付近にピークを持つ黒体輻射状の遠赤外線が放射されることを確認済である。その際に、電気特性に非線形特性が観察された。今年度はこれをより詳細に計測した。本デバイスでは四端子測定が行えるため、接合部の電圧(図1(b)中の V_j)を計測することが可能である。図2は、あるデバイスの接合部(四端子)電圧-電流特性である。接合部に一定の電圧(このデバイスでは10V弱)が印加されるまでは、接合部のコンダクタンスは低く(低コンダクタンス相)、あまり電流が

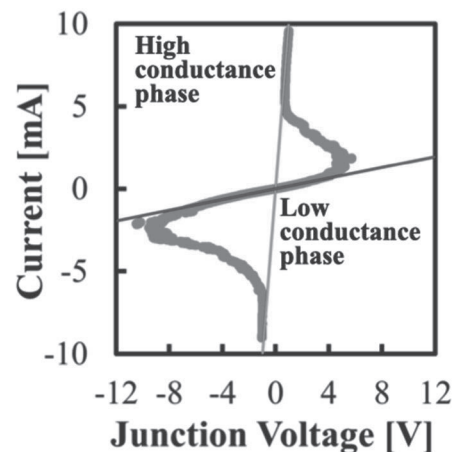


図2 積層接合の接合部電圧-電流特性

流れない。接合部電圧が一定の電圧に達すると、コンダクタンスが増大し大きな電流が流れると共に接合電圧が低下する。最終的に接合電圧は 1V 程度（二端子電圧 100V 時）となり、高コンダクタンス相に移行する。接合部のグラフェン間の距離を変えることにより、最大で8桁に及ぶ on/off 比が得られる。今後、このデバイススイッチングメカニズムの解明を目指す。

2つめのデバイスは平面型のデバイスである。図3(a)に示す様に、スプリングクリップボード上の4つの電極でグラフェン試料を固定しただけの構成である。コンタクトを安定させるために金コート電極と試料間に金箔を挟んでいる。四端子測定することによりグラフェンに印加された電力を導出することも可能である。電力を印加しながら、試料の角度を変えてサーモカメラで観察を行った。その結果、図3(b)に示すように、試料水平方向（電流方向）からの赤外線放射密度が、試料垂直方向の放射密度に比べて大きいことが判った。放射角度依存性も水平方向と垂直方向では異なり、試料垂直方向では灰体輻射的、試料水平方向では黒体輻射的（方向依存性無し）であることが判った。FT-IR で測定した赤外放射スペクトルはどちらも $10\mu\text{m}$ 付近にピークを持つ黒体輻射状であるが、垂直方向では基板の SiC の吸収が大きいことが特徴である。また、昨年度、計測した接合型デバイスの赤外放射スペクトルと同様に、そのスペクトル形状は電力量に依存しないこともわかり、その放射原理は通常の黒体輻射とは異なることが明らかとなった。

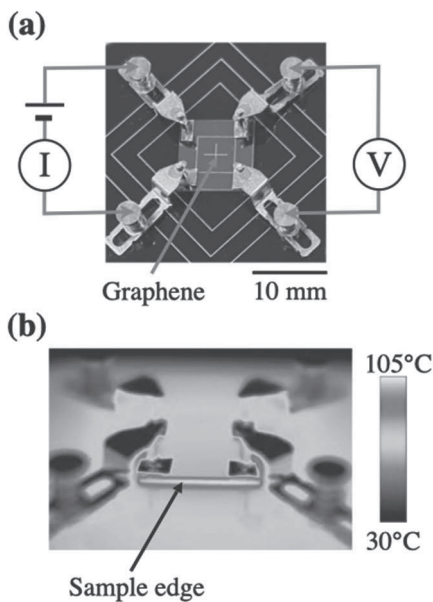


図3 (a) 平面型デバイスの概略図
(b) サーモカメラ画像（傾斜角 45 度）

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

積層接合型の SiC 上グラフェンの抵抗相変化デバイスを実現した。本来的にバンドギャップの無いグラフェンでは on/off 比が取れないことが集積化デバイス等への展開を阻害している要因であるが、これを打破する可能性を秘めた結果である。また、接合電圧は 5V 以上となり、グラフェンの π プラズモンを直接励起できる、さらには、 Γ 点の von Hove 特異点へのアクセスの可能性もあり、新たなデバイス物理の領域を拓く発展性がある。平面型のデバイスへの電流注入による遠赤外放射特性にて、電流方向への強い放射を確認したことは、単純な電流加熱による黒体輻射が放射原理ではないことを強く示唆している。グラフェン中の電流で励起されたプラズモンとフォノンのカップリングを示す結果であり、遠赤外線放射デバイスとして応用上も発展が期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・M. Nagase, "Vertically Stacked Junction Devices Fabricated Using Single-Crystal Graphene on SiC Substrate", ECS Transactions, 104, 27-31 (2021).

・T. Kataoka, F. Fukunaga, N. Murakami, Y. Sugiyama, Y. Ohno and M. Nagase, "Far-infrared emission from graphene on SiC by current injection", Jpn. J. Appl. Phys. **61** (2022) to be published. (online 11 February 2022)

(2) 関連リスト（謝辞なし）

・M. Nagase, "Vertically Stacked Junction Devices Fabricated Using Single-Crystal Graphene on SiC Substrate [invited]", 240th ECS meeting G02-0910, Online, Oct. 2021.,

・T. Kataoka, F. Fukunaga, N. Murakami, Y. Sugiyama, Y. Ohno and M. Nagase, "Far-infrared emission from graphene on SiC by current injection", 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2021) P21-1, Online, Oct. 2021.

・片岡 大治, 杉山 良輝, 村上 成汐, 福永 郁也, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫: SiC 上グラフェンへの電流注入による赤外線放射の観測, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 11a-N306-6, 2021 年 9 月.

・福永 郁也, 村上 成汐, 大井 基暉, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫: グラフェン積層接合における電流スイッチング, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 25p-E102-15, 2022 年 3 月.

採択番号 (Grant No.) : R02/A12

Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

PONOMAREV Dmitry, Prof.

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

OTSUJI Taiichi, Prof.

研究分担者 (Project Member List) :

KHABIBULLIN Rustam, Prof.,

WATANABE Takayuki, Dr.,

GLINSKIY Igor, PhD student.

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 5人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

We have demonstrated the successful experimental demonstration of the multichannel THz detection via 2D array of photoconductive antennas (PCAs). We have developed, fabricated and characterized a 2D PCA array-detector capable for multichannel THz detection. The PCA array is developed on LT-GaAs and has 8 channels with 64 pixels (8 channels of 8 pixels). A novel approach using a spatial light modulator to steer and focus the IR beam towards pixels of the PCA array is presented. Each channel records the photocurrent generated by the THz signal (amplitude and phase) separately and frequencies up to 1.4 THz can be detected. Furthermore, the parameters such as directional time delay of the THz pulse, and crosstalk between the channels were characterized. Finally, we showed that the proposed 2D PCA array design is and can be used for accelerated THz spectral image acquisition.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

Figure 1 shows the developed PCA array. On the PCB, there are 16 conductive tracks and each of them is connected to a contact pad. The two conductive tracks associated with one row of PCA are connected to a ring terminal with simple wires. A low noise cable with SMA and BNC connectors was then used to forward the signal towards the transimpedance amplifiers. This means that there are 8 detection channels and that each of them corresponds to a row of 8 PCA elements.

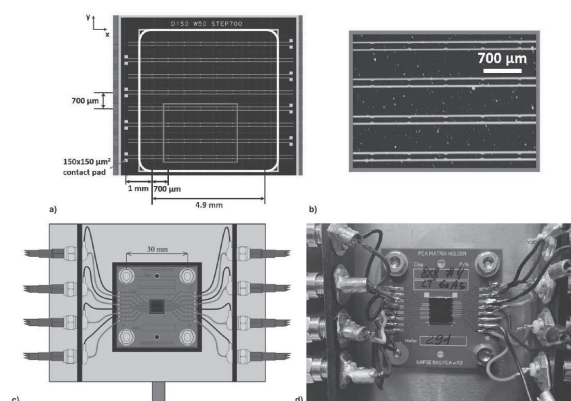


Figure 1. PCA detector array for THz time-domain imaging system. (a) Schematic of the 8x8 array comprising of dipole H-type PCAs. (b) Microscope image of a part of the complete array showing 4 channels with 5 PCAs each (c). Schematic of the PCB and holder assembly for the PCA array (d). Photograph of the PCA array detector mounted on the PCB.

A fs laser with the center wavelength of 780 nm, average power of 63 mW, pulse duration of < 100 fs and repetition rate of 100 MHz was used as the IR laser source. The laser beam was divided into pump and probe beam using a 70:30 beam splitter (19 mW for pump beam and 44 mW for probe beam) and a PCA from Menlo system was used as the THz emitter. A variable optical attenuator was used to control the power of the pump beam and a 10 mW pump power was used for the excitation of the THz emitter.

In the detector section, due to higher reflection losses in SLM, the available probe power was much lower (9 mW) for the excitation of the THz detector PCA array. The spot size of the incident probe beam on the SLM was 8 mm which covers 1000×1000 pixels. The SLM was placed 30 cm away from the PCA array and a single focal spot size of $200 \mu\text{m}$ was achieved by displaying a Fresnel lens pattern on the SLM.

Before imaging, we have performed two calibration steps of the PCA array which is shown in figure 2. The goal of the fully automated calibration process is to locate the position of the 64 PCA elements in the reference frame of the SLM. By moving the center of the Fresnel lens pattern displayed on the SLM pixel by pixel in both spatial directions (X and Y directions), the focused laser probe beam is steered to scan the whole surface of the PCA array.

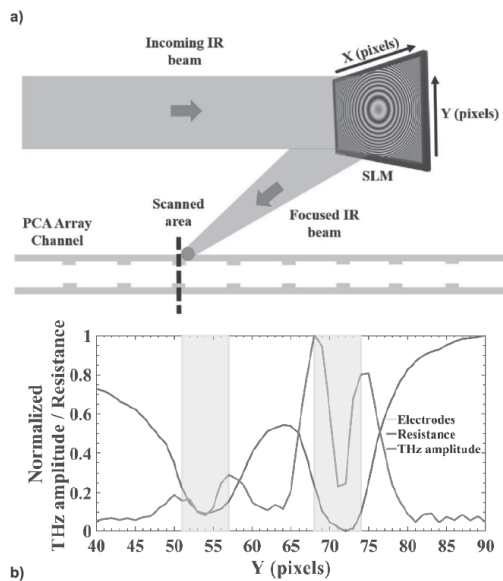


Figure 2. (a) Schematic of the probing beam path on the PCA array chip. The Fresnel lens pattern is used to focus and steer the laser probe beam of spot size 200 μm . (b) Resistance and THz amplitude of the third PCA element of channel 5.

For the visualization experiments we used two objects. The first one was the binary amplitude mask which was fabricated by printing a thin metallic sheet on paper using hot stamping technique. In the second experiment, the sample was the phase mask which was fabricated using a 3D printing technique. A plastic cross with a thickness of 700 μm was 3D printed on top of a 700 μm thick substrate using a low loss polypropylene polymer.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

- Both groups are gaining strategic experience in the processing, development and fabrication of multipixel imaging systems operating at THz frequencies as well as in their characterization.
- New devices were fabricated and characterized together with the RIEC's group of Prof. T. Otsuji and also in Moscow. There are only a few groups in the world that can fabricate these types of imaging systems and devices. Among them we should notice the groups of Profs. M. Skorobogatiy (Canada), M. Helm (Germany) and M. Jarrahi (USA). Important to notice that we also work with these groups.
- The study of 2D array PCA-detectors has a huge potential for accelerated THz spectral image acquisition, i.e. for real-time THz imaging, for instance, in biomedical, nano-optics and photonics applications.

[4] 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)

- [1] D.S. Ponomarev, T. Otsuji et al, Boosting THz photoconductive antenna-emitter using optical light confinement behind a high refractive sapphire fiber-lens, *Optics Letters*, 47(7), 1899-1902 (2022).
- [2] D.S. Ponomarev et al, Optoelectronic THz detectors using strain-induced semiconductors, 7th Nano Today Conference, Guangzhou 15-18 November 2021, China, invited talk
- [3] H. Guerboukha et al, Spectral Encoding, Super-Resolution and Antenna Arrays For Real-Time Terahertz Imaging, SPIE Photonics West 2022, 22-27 January 2022, San Francisco, California, USA.

(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)

- [1] Henri R., Nallappan K., Ponomarev D.S., Guerboukha H., Lavrukhin D.V., Yachmenev A.E., Khabibullin R.A. and Skorobogatiy M., Fabrication and Characterization of an 8x8 Terahertz Photoconductive Antenna Array for Spatially Resolved Time Domain Spectroscopy and Imaging Applications, *IEEE Access*, 9, 117691-117702 (2021).

採択番号 : R02/A13

8K 高精細画像センシング向け超低遅延動画像符号化方式

[1] 組織

研究代表者 :

松村 哲哉 (日本大学工学部)

通研対応教員 :

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

[2] 研究経過

近年、車両の自動制御や IoT (Internet of Things) 装置のための仮想現実/混合現実 (VR/MR) が盛んに研究開発されている。しかし、これらを実現し世の中に普及させるためにはシステムを構成するデバイス間での動画像転送において伝送遅延という観点で課題がある。例えば、自動運転や車両やロボットは、カメラで撮像した画像を基に車両の位置や姿勢を判定し、車体を制御していく。今後は 4K や 8K レベルの超高精細動画像を、カメラ、制御デバイス、表示デバイス間で転送しなければならない。しかし、超高精細動画像の転送にはこれまで以上に広帯域な伝送帯が必要となり、高コスト化の要因になってしまう。この問題を解決すべく動画像圧縮技術が利用されるが、MPEG-2 や H. 264 など従来の圧縮方式は矩形領域単位での圧縮を行うため、ms オーダの遅延が発生する。そのため、自動運転など低遅延での実時間処理が求められる機器に対しては対応できないという問題がある。また、4K/8K 高精細動画像に対応した符号化方式 H. 265 が標準化されている。しかし、動画像符号化技術の標準化の動向として、スマートフォンをはじめとするエッジデバイスでの高精細画像利用向けに符号化効率の改善が優先されている。しかし、従来の超低遅延動画像符号化方式ではフレーム内予測手法のみを使用しているため、圧縮率に課題があった。そこで我々はフレーム内予測手法に

加えて、フレーム間予測手法を追加適用し予測効率を改善した。しかし、従来のフレーム間予測手法は真裏位置をベースとし探索する手法を用いているため最低でも 1 フレーム分のメモリ容量が必要となる。エッジコンピューティング環境では、小型化の観点から、符号化機能は 1 チップに集積される必要がある (図 1)。そのため、従来のフレーム間予測手法はデバイスサイズの観点で集積不可能であった。また、先行研究にて、処理対象 CB のフレーム位置に依存しない 1 次元配列型マッピングによる省メモリ構造を適用した。これにより従来の $1/256 \sim 1/512$ の省メモリ化を実現したが、圧縮率の観点で十分な効果が得られていない。

本プロジェクトは、令和 2 年度からの継続プロジェクトである。本年度は高精細動画像処理の際の圧縮率向上を目標に、省メモリ構造を用いたフレーム間予測アルゴリズムを提案しその効果を検証した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。本研究では、超低遅延動画像符号化方式におけるフレーム間動き予測方式において、フレームメモリ容量を大幅に削減可能な省メモリ構造として、1 次元配列型構造と 2 次元配列型構造の 2 種のメモリマッピング構造 (図 2) を提案した。2 次元配列型構造は 1 次元型配列型構造の問題点である予測画像候補の類似度を低減するとともに予測候補選択時のマッチング回数を削減することで符号化における演算処理時間の改善を図った。また、各メモリ構造におけるマッピング方法を変更することで圧縮率及び画質に与える影響を調査した。図 2 において、1 次元配列型構造は、各 CB の輝度の平均値でカテゴリ分類を行う。また、2 次元配列型構造は、各 CB の輝度の平均値と標準偏差値を用いて 2 次元のマトリクスにカテゴリ分類する。図 3 に 1 次元配列型および 2 次元配列型における圧縮率と画質の検証結果を示す。また、2 次元配列型構造におけるメモリ構成の変更例を図 4 に示す。

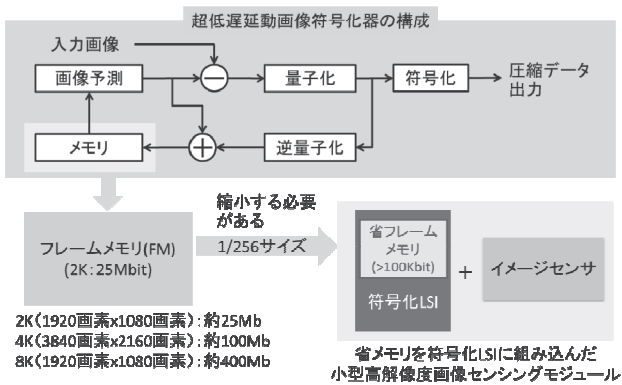


図1 符号化器の構成と省メモリ構造の必要性

	1次元配列型	2次元配列型
メモリ構成		
横軸(X)	-	1CBの画素の標準偏差値で分割
縦軸(Y)	1CBの画素の平均値で分割	1CBの画素の平均値で分割
1カテゴリへの保存可能CB数	16, 32, 64	1, 2, 4, 8, 16, 32

※ 1カテゴリへの保存可能CB数がマッピング回数に相当する

図2 1次元配列型および2次元配列型の省メモリ構造

図3においては2次元配列型における平均値4分割, 8分割, 16分割と標準偏差値2分割の組み合わせを1次元配列型と比較した. 平均値4分割においては1次元配列型の圧縮率(CR)が勝るが, 平均値8分割, 16分割においては2次元配列型のCRが勝ることが判明した. また, 2次元配列型においてメモリ構成の両軸の分割数が増加するほど圧縮率が劣化した(図3). これは分割数が増加することで1カテゴリに保存可能な予測画像候補数が減少し, フレーム間予測の選択率が減少したことが原因であると考えられる. 2次元配列型において平均値16分割・標準偏差値16分割としたパターン以外でフレーム内予測手法のみを実施した場合より圧縮率が向上していることから, カテゴリを128分類まで増加させてもフレーム間予測手法の効果が得られると考えられる. また, 平均値の分割数が多い場合において2次元配列型が1次元配列型の圧縮率を上回るパターンが存在した. これは平均値の分割数が増加する程, 1カテゴリに保存可能な予測画像候補数が減少するため類似度の高い予測画像候補が多く保存される可能性のある1次元配列型は圧縮率が大きく劣化していたと考えられる. また, 2次元配列型では平均値及び標準偏差値を用いて保存の選別を行うため, 予測画

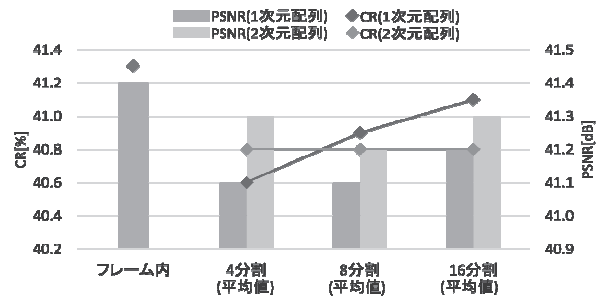


図3 1次元配列型と2次元配列型における性能比較

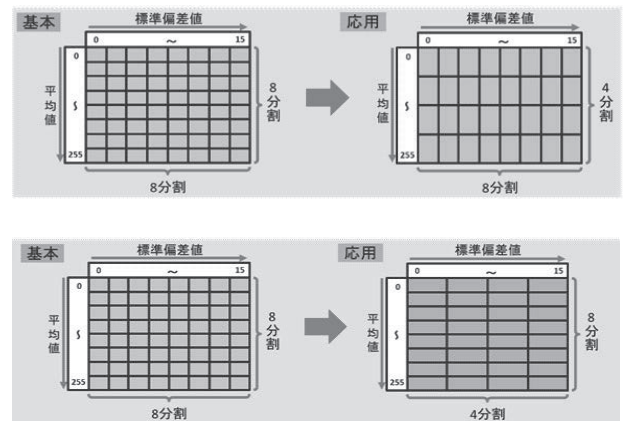


図4 省メモリ構成のマッピング変更例

像候補の類似度が低減したことで予測に用いる画像のバリエーションが増えたことが1次元配列型の圧縮率より向上した要因だと考えられる.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいては, 高精細画像における超低遅延符号化器の実装において, 今回提案した1次元配列型/2次元配列型の省メモリ構造が, 小規模なフレームメモリ容量で効率的なフレーム間予測を行い, 高画質を維持しつつ圧縮率を改善できることが判明した. 今年度は, 符号化器のベースとなるダイナミック適応量子化を用いた符号化方式に対して省メモリ構造を適用した場合を検証を実施しているが, 並行して直交変換(1次元DCT)を用いた符号化方式に対しても同様に省メモリ構造を適用し, 性能の検証を実施中である. これらの検証により, 省メモリ構造を用いた小規模回路での超低遅延動画符号化器が実現可能であることを十分に裏付ける結果が得られた. 今後は, 更なる高画質化アルゴリズム[2]の検証と圧縮率向上の施策を盛り込み, 高精細符号化器の実現に向けたアーキテクチャ設計と回路実装を行う.

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

該当なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・池野将誉, 今村幸祐, 望月誠二, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化器における省メモリ構造を用いたフレーム間予測手法”, 情報処理学会東北支部研究報告, Vol. 2021-7 No2-5, 2022 年 3 月

・山口真衣, 池野将誉, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化方式の画面間予測における省メモリ構成の最適化検討”, 令和 4 年度東北若手研究者研究発表会, YS-20-E12, 2022 年 2 月

採択番号：R02/A14

ワイヤレス Massive Connect IoT の研究

[1] 組織

研究代表者： 小熊 博
 (富山高等専門学校)
 通研対応教員：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)
 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)
 延べ参加人数：18人

[2] 研究経過

情報通信ネットワークは膨大な数のノードから得られた多種多様なビックデータの解析により新たな価値を生み出す“Massive Connect IoT”へ進化する。その中で無線通信システムは各ノードからアクセスポイント(AP)へ情報を送る上り回線の超過密化に適応するためにアクセス制御技術の簡素化や高効率化がより高い水準で求められる。本研究では、同期捕捉などのオーバーヘッドを極限まで削減する試みとしてゼロオーバーヘッド同期無線全二重通信(フルデュプレクス)アーキテクチャを提案する。各ノードは無線全二重通信を用いてAPから下り回線で送信される時刻・周波数基準信号や測距信号を基に時刻同期や位置推定を行い、その結果を基に上り回線における送信タイミングの制御を行う。各ノードが送信した上り回線信号はAP受信時点においてすでに同期捕捉が実現されているため、同期のためのオーバーヘッド削減による高効率化が期待できる。本研究の目的は、これまで提案してきた同期CDMA無線通信システムのさらなる高効率化を目指し、ゼロオーバーヘッド同期無線全二重通信アーキテクチャを実証することである。本プロジェクトは、本年度が2年度であった。令和3年度も、コロナ禍の影響を受け Massive Connect IoT に関する研究議論を Zoom による遠隔会議システムを用いて実施した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

Massive Connect IoT の応用例の1つである QZSS ロケーション・ショートメッセージ通信システム用の衛星測位信号による同期 SS-CDMA 方式を対象に、都市部での使用を想定した天空率環境下で QZSS/GPS/BeiDou の衛星信号受信誤差について評価を行った。提案システム全体の誤差である衛星到達タイミング誤差は、衛星信号を受信した際に発生する伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差および信号送信時に発生する送信タイミング制御誤差から構成される。伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差誤差の和を衛星信号受信誤差と定義し算出する。ユーザ間の信号の衛星到達タイミング誤差が約 50 ns 以内であれば、拡散符号長に対して 100 %に近いユーザ収容が可能となる。本研究では GPS/QZSS/BeiDou 受信機から得られる測位・時刻データをもとに全体のデータから平均座標と平均時刻を求め、各データとその平均値との差を伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差誤差として CDF を算出し評価した。

QZSS/GPS/BeiDou 受信機として、3 台の GNSS モジュール GT-902PMGG を用いる。各受信機から位置情報を含むログデータを取得すると同時に、オシロスコープ DSO9254A (10 GSa/s) を用いて各受信機の PPS を測定することにより、伝搬遅延算出誤差と端末時刻偏差の同時評価を行う。測定場所は富山高専射水キャンパス内とし、天空率が 39.0%および 95.3%で測定した結果を比較する。天空率 95.3%での評価結果を図 1 に、天空率 39.0%での評価結果を図 2 にそれぞれ示す。CDF=1 における衛星信号受信誤差は天空率 95.3%では 24ns に対し

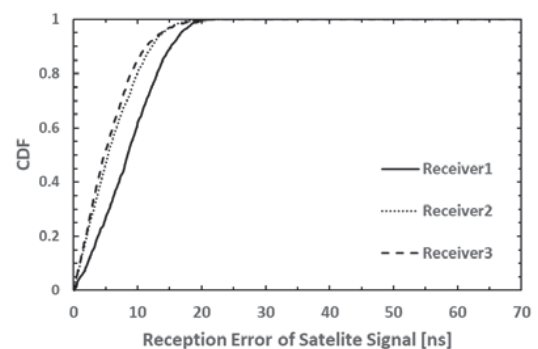


図1 衛星信号受信誤差 (天空率 95.3%)

て天空率 39.0%では 61ns と劣化した。また、各受信機の衛星信号受信誤差のばらつきに着目すると天空率 95.3%では 2ns に対し天空率 39.0%では 28ns とかなり大きくなっている。都市部を想定する場所（天空率：39.0%）においては、空が開けている場所（天空率 95.3%）での評価と比べ衛星信号受信誤差の精度が悪くなった。提案システムの使用環境など十分に検討する必要があることがわかった。また、SNR マスクや仰角マスクなどの設定条件も考慮しながら検討を進める必要があると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の成果としては、まず Massive Connect IoT の具現化が挙げられる。つまり、種々の異種無線通信システムを効率的・適応的に活用し、いかなる状況においてもネットワークへの接続性を維持し、かつ、その品質を保証できる次世代の無線通信ネットワークを実現できる。また、その途中段階においても、知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで、現状の無線通信ネットワークへの適用を推進することができる。さらに、本研究課題の成果を元に、各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い、産学連携により商用化を目指した、より大規模な研究開発へ発展させることも想定している。また、無線通信ネットワークにおいて、高精度な位置情報を活用して同期通信を行う先行研究例は見当たらず、本研究の独創性は非常に高いと考える。さらに、高精度時刻・位置情報そのものが無線通信のみならず幅広い分野に活用可能である。本研究を通じて時刻・位置情報の活用可能性を実証することで、今後の新たな学問分野の開拓のきっかけになる可能性を秘めており、通研が当該分野の研究者コミュニティの中核になり得ると考える。コロナ禍のため苦しい期間であるが、着実に研究を進めていきたい。

[4] 成果資料

○ 招待講演

(1) 亀田 卓, "Massive Connect IoT のための時空間同期を用いた同期 SS-CDMA," 信学技報, vol. 121, no. 173, CQ2021-43, pp. 35-35, 2021 年 9 月.

○ 国内大会・研究会発表

(1) 本間 優作, 亀田 卓, 末松 憲治, 安田 哲, 志賀 信泰, "Wi-Wiを用いた同期SS-CDMA送信タイミング制御機能の USRP への実装," 信学技報, SR2021-17, vol.121, no.30, pp.113-119, 2021 年 5 月.

(2) 山形 文啓, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, "釧路地域における自設置基準局による Kinematic 測位精度(2)," 信学ソ大, 2021 年 9 月.

(3) 北 寛登, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, "低天

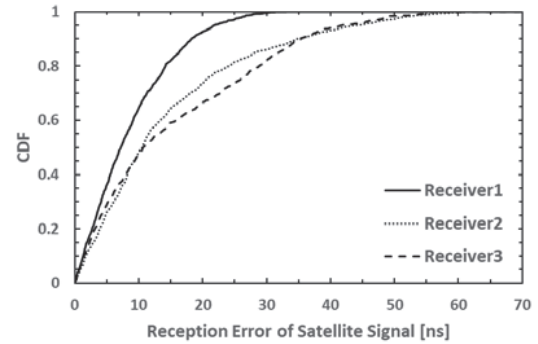


図2 衛星信号受信誤差 (天空率:39.0%)

空率環境下の GPS/QZSS/BeiDou による衛星信号受信誤差の評価," 信学総大, 2021 年 9 月.

(4) 亀田 卓, "時刻同期や時空間同期の適用による同期 SS-CDMA チャンネル利用効率改善効果の一検討," 信学総大, 2021 年 9 月.

(5) 亀田 卓, "[ポスター講演] Massive Connect IoT のための同期 SS-CDMA の実装と評価," 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 (MIKA2021), 2021 年 10 月.

(6) 山下 ちひろ, 亀田 卓, "[ショートペーパー] 時刻同期誤差の影響を考慮した同期 SS-CDMA 誤り率特性の評価," 信学技報, SR2021, 2021 年 3 月.

(7) 山形文啓, 白瀬佳就, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, "釧路地域における自設置基準局による Kinematic 測位精度(3)," 信学総大, 2022 年 3 月.

採択番号 : R02/A15

超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究

[1] 組織

研究代表者 :

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員 :

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

亀田 卓 (広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所)

太郎丸 眞 (福岡大学工学部)

谷藤 正一 (沖縄工業高等専門学校・情報通信システム工学科)

本良 瑞樹 (静岡理工科大学理工学部)

丸橋 建一 (日本電気(株) IoT 基盤開発本部)

Lucyszyn Stepan (Imperial College London, Department of Electrical and Electronic Engineering, U.K.)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究では、デジタル信号処理部と RF/アンテナ部とを接続する際に、比較的安価で、容易に入手可能な 10GbE 光通信用デバイス/モジュール/ファイバを用いる光ファイバ伝送ダイレクトデジタル RF 送受信機の実現性検討を行い、実験的な検証を行うことを目的とする。また、より高い周波数帯の開拓を目指して、28GHz を大幅に超える、100GHz 超のミリ波への適用についても検討を行う。

送信系に関して、2020 年度は、市販の 10GbE 用光ファイバ伝送路を使ったダイレクトデジタル RF 送信方式のデジタルビームフォーミング (DBF) アンテナ装置 (4 素子) を試作し、1st ナイキストゾーンでの動作とともに、2nd ナイキストゾーンでのイメージ信号 (7.5GHz 帯) による動作確認を行った。2021 年度は、この試作機を用いて、送信信号を工夫することにより、送信ビームにおける SNR を、量子化雑音をランダム化する信号処理により改善する手法について検討した。

受信系に関しては、2021 年度も 2020 年度に引き続き、超 100GHz 帯でのさらなる高速動作を目指して、45nm RF SOI-CMOS プロセスを用いて 130GHz 帯/170GHz 帯の CMOS 増幅器の改良試作を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

・送信系

試作した市販の 10GbE 用光ファイバ伝送路を使ったダイレクトデジタル RF 送信方式の DBF アンテナ装置 (4 素子) のブロック図と外観写真を図 1、図 2 にそれぞれ示す。図 3 に正面 (0°) 方向、30° 方向にビームを形成した際のビームパターンを示す。デジタル信号処理で生成したアンテナ素子間位相差に応じて、ビームが切り替わることを確認できる。

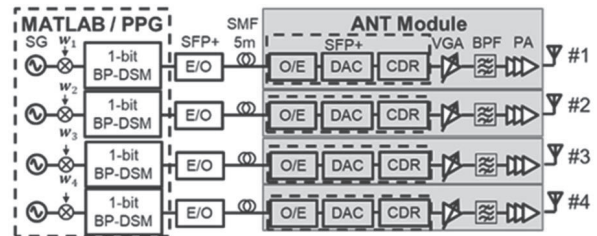


図 1 10GbE 光ファイバ伝送ダイレクトデジタル RF 送信機を用いた 4 素子 DBF アンテナ装置のブロック図

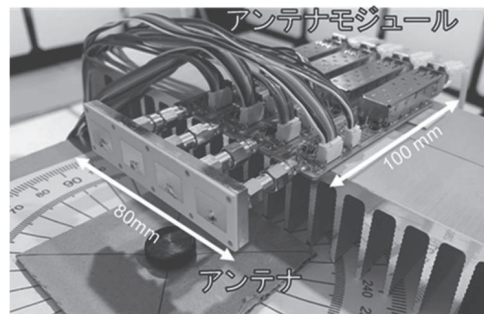


図 2 試作した 4 素子 DBF アンテナ装置の外観写真

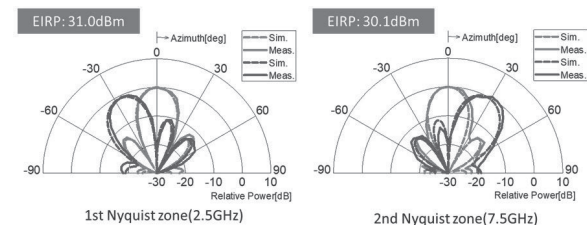


図 3 ビームパターンの測定結果 (左 : 第 1 ナイキストゾーン、右 : 第 2 ナイキストゾーン。赤 : ビーム方向 0°、青 : ビーム方向 30°。実線 : 測定、破線 : シミュレーション)

図 3 の各ビームの送信信号をそのメインビーム方向においた受信機で受信した際の信号スペクトラムを図 4

に示す。0° 方向に比べて 30° 方向にビームを向けると、EVM、ACPR とともに改善する傾向が得られ、SNR が改善されていることが分かる。これは、ビームを 0° とした場合、4 素子すべてに信号だけでなく 1-bit 化の際の量子化雑音を含めて、まったく同じ信号が印加されるため、4 素子合成しても 1 素子に比べて量子化雑音のみを考慮した場合の SNR の改善はない。一方、30° とした場合、信号成分はまったく同一であるものの、1-bit 化した際の量子化雑音は信号の位相がことなるので、相関がなくなる。このため、量子化雑音のみを考慮した SNR は 4 素子合成することで最大 6dB 改善される可能性がある。実際には、送信系の熱雑音、送信増幅器のひずみ、受信系の NF などにより、その改善効果は低減するものの、今回の測定では、ACPR で 2dB 程度の改善が得られたと考えられる。この考察をもとに、1° 方向にビームを設定した場合には、0° 方向に設定した場合に比べて、ビームや送信信号レベルにはほとんど変化がないにも関わらず、EVM および ACPR の改善が確認できた。実際の B5G、6G では、数百素子の DBF アンテナシステムが想定されており、その場合は、量子化雑音による SNR は 20dB 以上改善できることになり、極めて大きな知見を得た。

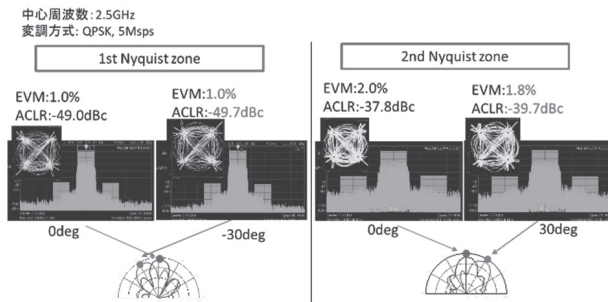


図4 DBF アンテナの受信信号スペクトラム

・受信系

100GHz を超える周波数帯では CMOS トランジスタの利得が十分に高くないため、正帰還をかけ、高利得化を図る手法が知られている。今年度は、SSF (Series series feedback) という正帰還方法に着目し、ラジアルスタブとショートスタブを並列にトランジスタのソース端子に接続することで、SSF が実現できることを示し、130GHz 帯 CMOS 増幅器に適用、試作により検証した。

図5にSSFの原理図、図6にラジアルスタブとショートスタブをトランジスタのソース端子に並列接続した130GHz帯SSF CMOS増幅器の回路図をそれぞれ示す。この回路を65nm CMOSプロセスを用いて試作し、トランジスタのソースを直接接地した従来構成との比較を行った。その利得特性(実測)の比較を図7に示す。従来構成の利得3.5dBに対し、SSF構成は5.1dBであり、1.6dBの利得向上効果が得られた。

たとえば、10dBの利得の増幅器を得ようと考えた場合、これまでは3段増幅器が必要であったところが、この構成によれば2段で済むことになり、実用上大きな成果と言える。

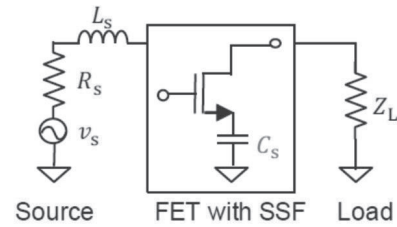


図5 SSFの原理図

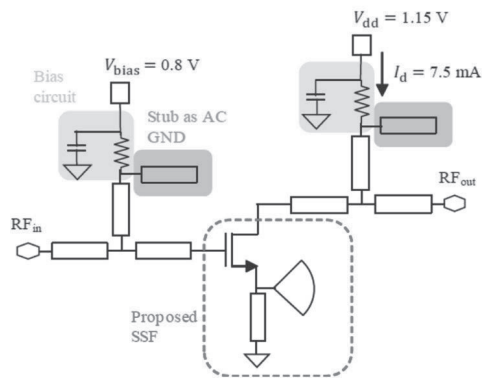


図6 130GHz帯SSF CMOS増幅器の回路図

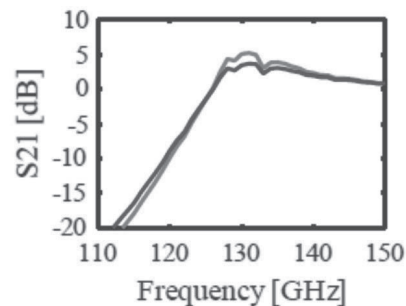


図7 試作した増幅器の利得(青: 帰還無し、赤: SSF)

なお、今年度はコロナ禍のため、対面での実施が難しく、国内に関しては、亀田先生、本良先生、丸橋様の3名のみが来所され、共同作業を実施した。英国のステファン先生とは、メールおよびリモート会議での打ち合わせを行っており、2022年4月7-8日にロンドンで、末松と対面打ち合わせを行う予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

送信系に関しては、光ファイバ伝送 DBF は注目されており、電子情報通信学会あるいは URSI-C の研究会でのセッションを企画中である。

受信系に関しては、世界3大マイクロ波国際会議である APMC2021 の Best paper award に相当する APMC Prize を受賞するなど、高い評価を得ることができた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

査読あり国際学会発表

1) Taiki Machii, Mizuki Motoyoshi, Suguru Kameda, Noriharu Suematsu, "Gain Boosted D-Band CMOS Amplifier Using a Radial Stub for Source AC Grounding," 2021 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.190-192, S2-01, Nov. 2021.

2) Ryo Tamura, Mizuki Motoyoshi, Suguru Kameda, Noriharu Suematsu, "7.5 GHz-Band Digital Beamforming Using 1-bit Direct Digital RF Transmitter with 10GbE Optical Module," 2021 51th European Microwave Conference (EuMC), April 2022 (採択済、発表予定)

国内学会発表

3) 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "ラジアルスタブを整合回路のACグラウンドとして用いた130 GHz 帯 CMOS 増幅器," 電子情報通信学会 マイクロ波研究会, vol. 121, no. 254, pp. 69-74, MW2021-79, Nov. 2021.

4) 末松 憲治, 田村 涼, 本良 瑞樹, 亀田 卓, "1-bit ダイレクトデジタルRF送信機を用いた10GbE 光ファイバ伝送 7.5GHz 帯 DBF," 電子情報通信学会 スマート無線研究会, vol. 121, no. 345, pp. 12-16, SR2021-61, Jan. 2022.

5) 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "ソース接地にラジアルスタブを用いたシリーズ-シリーズフィードバック D-band CMOS 増幅器," 電子情報通信学会 マイクロ波研究会, vol. 121, no. 303, pp. 49-54, MW2021-93, Jan. 2022.

6) 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "積層ラジアルスタブにより段間回路を小型化した 130 GHz 帯 CMOS 増幅器," 電子情報通信学会 マイクロ波研究会, vol. 121, no. 400, pp. 105-110, MW2021-130, Mar. 2022.

7) 張 俊皓, 末松 憲治, "QSFP28 光モジュールを用いた光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送信機のイメージ出力特性," 電子情報通信学会 総合大会, Mar. 2022.

受賞

- APMC2021 Prize (Best paper award に相当)

1)の論文で受賞

APMC: Asia Pacific Microwave Conference、世界3大マイクロ波国際会議の1つ

- 電子情報通信学会マイクロ波研究会学生研究優秀発

表賞

5)の発表で受賞

(2) 関連リスト (謝辞なし)
なし。

採択番号：R02/A16

3Dプリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 桂一 (秋田工業高等専門学校)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

松田 英昭 (秋田工業高等専門学校)

船木 誠哉 (秋田工業高等専門学校)

戸賀瀬 駿 (秋田工業高等専門学校)

鈴木 裕野 (秋田工業高等専門学校)

延べ参加人数：6人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

3Dプリンタを利用したマイクロ波・ミリ波デバイスの試作に関する研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、3Dプリンタフィラメントのミリ波帯における性能を明らかにし、低コストかつ高性能なアンテナ開発手法を提案することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が2年目であり、1年目から継続してメッキ条件を変えて試作と伝送特性の測定を行い、最適な試作条件に関して研究を行った。また、導波管そのものを3Dプリンタで試作し、メッキできるか確認を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1月22日に高専シンポジウムオンラインにおいて松田が発表を行った。

2月17日に令和3年度共同プロジェクト研究発表会においてポスター発表を行った。

2月28日に東北地区若手研究者研究発表会において船木が発表を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究ではミリ波部品の伝送効率を高めるメッキ条件を探索した。3Dプリンタ製部品は表面の凹凸や大きさなど完全に同一条件でのメッキの比較が難しいため、大きめに印刷し、機械加工にて高精度で凹凸のないミリ波導波路を製作してメッキをかけた。メッキ液は使用時間が1回最大90分程度であるため、昨

年度まではメッキ時間を30, 60, 90分としていたが、十分なメッキ厚が得られているか不明であった。今回はメッキ厚を厚くするためにメッキ液を2つ作製し、90分後に新しいメッキ液に入れ替え180分までメッキができるようにした。また、機械加工後にメッキの重さからメッキ量を推定できるように、メッキ前後で真空乾燥して重さを測定した。メッキ時間とメッキ量の関係を伝送効率とともに表1に示す。メッキ時間が長くなるとともに重くなっていることから、メッキが厚くなっていることを確認することができた。

表1 メッキ前後の重さ (単位はグラム)

メッキ前	洗浄後自然乾燥	4.803	4.2477	4.8125	4.1874	4.7564	4.2454
	真空乾燥後	4.7828	4.2298	4.7917	4.1702	4.7362	4.2281
水分量		0.0202	0.0179	0.0208	0.0172	0.0202	0.0173
メッキ時間		90分		135分		180分	
メッキ後	真空乾燥後	4.8332	4.2815	4.8718	4.2468	4.8524	4.3314
	メッキ重さ	0.0504	0.0517	0.0801	0.0766	0.1162	0.1033

また、伝送特性を測定した結果が図1である。90分でもメッキ時間は十分であり、135分まで増やすと約9割の伝送効率を得られた。逆に180分では低下した。この理由としてはメッキが厚くなるにつれ、メッキが盛り上がったことが原因の一つと考えられる。以上の結果より、最適なメッキ時間は135分またはその周辺であることを明らかにした。

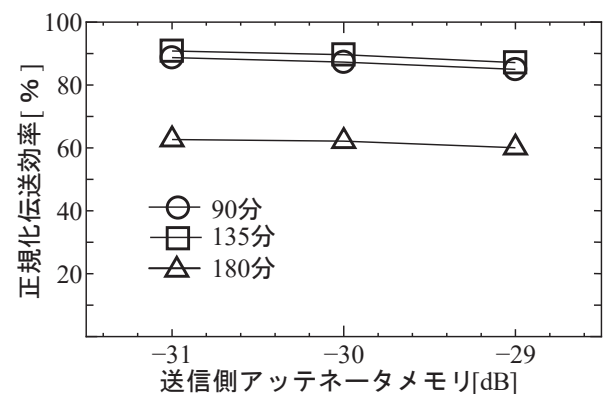


図1 メッキした曲がり導波管の伝送効率

次に、60 GHz 帯での使用を想定して WR-15 規格導波管の試作を行った。3Dプリンタで印刷した導波管をそのまま135分メッキし、伝送効率を測定した。印刷された導波管には印刷ピッチによる凹凸があり、電波が拡散し伝送効率が劣化することが想定される。既製品の50 mmの導波管を基準として比較することとし、導波管の長さに対する減衰量をみるために、図2に示

すように 20, 35, 50 mm と長さを変えて試作と測定を行った。結果は図 3 に示すように 50 mm では 7 割程度、20, 30 mm では 9 割を超えて伝送することを確認した。導波管の試作字に 3D プリントの印刷ピッチによる凸凹はあってもメッキすることにより高い伝送効率を得ることができた。今後は混合メッキなどを行い、更なる効率向上を目指す予定である。

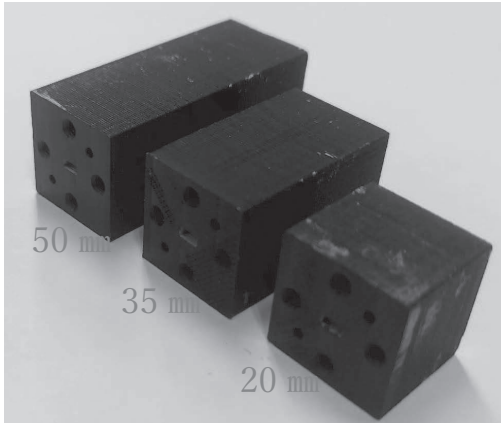


図 2 メッキされた 3D プリント製直線導波管

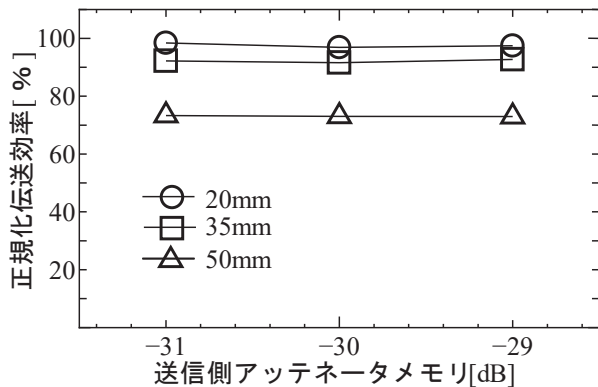


図 3 メッキした直線導波管の伝送特性

また、ミリ波デバイスの設計法に関する予備的な検討を行うために、本研究では導波管バンドパスフィルタ(以下、BPF)の設計を行った。寸法が数ミリ程度の導波管内に複雑な構造を加工するのは困難であるが、3D プリントであれば一体成型も可能である。本研究では 3.8×1.9 mm の WR-15 規格導波管を用いて 60 GHz 帯 BPF の設計を行った。BPF を実現するために①FSS (周波数選択膜, Frequency Selective Surface) のトポロジー最適化と②誘導性ポスト (ビス) と誘導性窓 (アイリス) のパラメータ最適化の 2 つの場合で設計を行った。解析領域のモデリングおよび計算は FDTD 法 (時間領域差分法, Finite Difference Time Domain method) を用いた。

図 1 に FSS を用いた BPF の解析領域を示す。WR-15 規格導波管内を設計対象としているため、解析領域は $500 \times 38 \times 19$ セル、セルサイズは 0.1 mm とした。x=200

cell に厚さ 1 cell の設計領域を配置し、管内半波長の 35 cell 間隔で計 5 個配置した。5 つの設計領域はみな同じ形状になるように設定した。波源からパルス波を放射し、観測点での透過量 S_{21} を計算し、60 GHz 帯を透過する BPF の設計を行った。

本研究では NGnet (正規化ガウス関数ネットワーク) を用いた On/Off 法によるトポロジー最適化により FSS の設計を行った。最適化における目的関数 OF は、① 60 GHz における透過量 S_{21} (60 GHz) と、② 解析領域の両端におけるレベルと S_{21} (60 GHz) の差、の両者の和とし、OF が最大になるように最適化を行った。図 5 に最適化によって得られた形状を示す。中央の金属部分が浮いてしまっているため、解析領域の設定や OF の再検討を行う予定である。

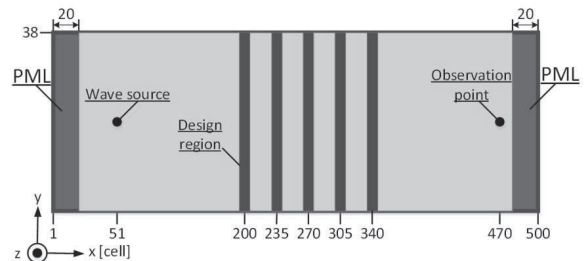


図 4 最適化モデル

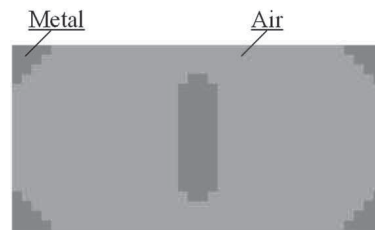


図 5 最適化結果

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の特徴および成果は、3D プリントおよびファイラメント材料は汎用品であり、メッキもラボレベルで行える簡素な装置で行っているため、誰でも高価なミリ波デバイスを試作する方法を開発していることが挙げられる。特にメッキ時間に言及した研究はこれまで少なく、貴重な参考資料として本研究の意義は大きいと考えている。

最適なメッキ条件にも目途を立てることができ、3D プリント特有の表面粗さが伝送特性に与える影響についても検討できる準備が整った。今後は両者の関係を明らかにするために貴研究所での実験を予定している。

将来的にはトポロジー最適化などの形状設計法と組み合わせることにより、3D プリントならではの微細な一体成型ミリ波デバイスの開発が可能になることが期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- 松田英昭, 野坂肇, 田中将樹, 伊藤桂一, ” 3D プリ
ンタ製導波路のミリ波伝搬特性”, 令和2年度電気・
情報関係学会北海道支部連合大会, 95,
p. 139 (2020. 11)
- 船木誠哉, 松田英昭, 田中将樹, 伊藤桂一, “ミリ波
導波管フィルタの一体成型に関する検討”, 令和4
年東北地区若手研究者研究発表会, YS-20-P23,
pp. 219-220 (2022. 2)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R02/A19

モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発と その応用

[1] 組織

研究代表者：

真鍋 宏幸（芝浦工業大学情報工学科）

通研対応教員：

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

高田 峻介（神戸市立工業専門学校）

山本 景子（京都工芸繊維大学）

藤田和之（東北大学）

研究会の概要

日時：令和4年2月14日

参加者：

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

藤田 和之（東北大学電気通信研究所）

真鍋 宏幸（芝浦工業大学）

山本 景子（京都工芸繊維大学）

高田 峻介（神戸市立工業高等専門学校）

伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

モノや道具を操る際の人の動きを正確に計測することは、運動の発達度、道具の操作性、作業中の心理状態など、様々な事柄を知るためにも必要不可欠である。しかし、様々な現場に簡単に導入可能で、長時間の正確な行動計測が可能なセンサや計測方法はこれまで確立されていない。一般的なモーションキャプチャ装置の利用も考えられるが、実験室のような理想環境でない限り、カメラの設置を工夫しても作業中には隠れが発生してしまい、安定した継続計測は難しい。日常生活の行動計測に限れば、ウェアラブルデバイスも長期間の行動データ取得に使えるが、人と道具とのインタラクションを厳密に計測しているわけではない。

そこで本研究では、モノや道具そのものをセンサ化することで、人とモノや道具との間のインタラクションの様々な行動的特長を、正確に長時間に渡って計測する新たな行動計測方法を確立する。スタンドアロンで動作する小型センサモジュールを開発し、3Dプリンタを活用してそれを様々な日用品に埋め込む仕組みを検討する。そのモノのセンサ化の効果を様々な応用を通して検証する。まず、通研担当者の高嶋らがこれまで進めて来た積木を用いた幼児の発達度を検証する臨床的研究へ応用し、その後、提案する計測方法を様々な日用品や道具に適用して実践的応用可能性（導入コスト、利点、新たな価値等）を検証する。

本年度は、一回のオンライン研究会を開催することができたので、その概要と成果を報告する。

内容と議論：

今年度は、感染防止のため、通研現地で研究会開催をせずにオンラインで情報交換をした。プログラムおよび議論の内容は次の通りである。それぞれの参加者が当該研究プロジェクトに関わる最新の研究成果を発表し、研究業界の動向や、さらなる共同研究の推進など、数時間に渡って深く議論した。

また、それぞれの発表のタイトルは以下の通りであった。

伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

「無意識コンピューティングの実現に向けた取り組み」

真鍋 宏幸（芝浦工業大学）

「3D プリンタと転写箔を用いた電子基板の製作手法」

山本 景子（京都工芸繊維大学）

「幼児の描画能力の発達段階推定のためのセンサ内蔵筆記具の提案」

高田 峻介（神戸市立工業高等専門学校）

「POP Cart: Product Recommendation System by an Agent on a Shopping Cart」

高嶋 和毅（東北大学）

「電磁誘導型スマートフォンを用いた VR 歯切削シミュレータの開発」



図1：研究会の様子

上記の発表演題からわかるように、モノのセンサ化を多様な観点から深掘りして議論を進めることができた。また、共同での科研費申請の可能性等も議論することができ、総じて有意義な研究会であった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本共同プロジェクトは今年が2年目である。今年も残念ながらモノのセンサ化の研究を具体的に通研にて進めることができなかったが、研究代表者は回路のプロトタイピングの知識をさらに深め、また分担者はペン等の文具にセンサを埋め込むデバイス開発するなど、本プロジェクトに関連する成果は個別に蓄積されている。また、オンライン研究会では、様々な観点で知見を共有することができた。具体的には、モノをセンサ化するための回路技術、センサで計測できるインタラクション種類の分類・整理について、更には、実際にモノをセンサ化してフィールド実験をする際の課題や実験結果など、一人の研究者では揃えられない貴重な情報を一度に共有することができた。いずれも実際にセンサデバイスを構築する際に考慮すべき事柄であり、これらの議論の蓄積は来年度にむけた大きな成果であると考えられる。

当初予定通りに進捗させることはできなかったものの、今年度の予算を用いて来年度に実装するための材料を一通り調達することができた。これらの材料は本プロジェクトの今後に必要なものである。そのため、今年度の準備は、来年度の本プロジェクトに大きく活かすことができると考えられる。

なお、研究代表者の研究成果は、令和4年2月17日に行われた令和3年度共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

大規模災害や戦争等、社会の大きな変化の直後は生活環境が大幅に変動するため、様々な世代の人々の心理的な負担が大きくなる傾向にある。我々はその中でも社会からの影響を受けやすく、その後の精神的成長に課題が残りやすい幼児や小学生低学年の心理的健康を支える研究を進めている。大規模災害は、震災だけではなく、2022年現在も進行しているCOVID-19のパンデミックにも当てはまる。最近で言えば、ウクライナでの戦争も同様である。それら大規模災害時には、大人だけでなく、幼児にも短期的および長期的な影響が及ぶ。

幼児は、遊びによって社会とのつながりを構築し、肉体や精神的な発達を育むが、今現在、それらの機会が外出制限等や部活動の禁止等の処置によって大幅に減っている。ただ、幼児らの心理的課題や振る舞いの変化を機敏に読み取ることは保護者であっても難しい。本研究プロジェクトは、モノのセンサ化を大きな目標に掲げているが、その中でも玩具のモーションセンサ化に着目しており、幼児の行動変化を見守るツールとして発展することを目指す。研究成果は、ヒューマンインタフェースの分野に限らず、発達臨床教育学等などの関連分野に強く貢献できるものと考えている。

採択番号：R02/A20

ミニマルブレインの理解と再構築

[1] 組織

研究代表者

神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究院)

通研対応教員

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

庭野 道夫 (東北福祉大学感性福祉研究所)

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)

桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)

香取 勇一 (公立ほこだて未来大学複雑系知能学科)

山本 英明 (東北大学電気通信研究所)

大友 康平 (順天堂大学医学部)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

ナノテクノロジーとバイオマテリアル、そしてエレクトロニクスの融合は 21 世紀の重要な科学技術分野の一つである。その発展のためには、現在の半導体微細加工技術とバイオマテリアルの融合に基づく、バイオ技術・計測の高度化や新機能の創成が必要である。特に、その多様な機能が次々と解明されつつある生体膜における情報伝達系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題であると考えられる。

本プロジェクト研究では、脳機能の基本単位、すなわちミニマルブレインの動作原理について構成論的に理解し、最先端の工学とバイオの融合的アプローチを用いてミニマルブレインの機能を人工的に再構築することを目的とする。実際の神経細胞を培地基板上で自在につながり合わせることによって人工神経回路網を構築する。さらに、この系を活かした解析的研究により、局所的な神経ネットワークの時空間ダイナミクスを数理モデルにより追及する。これらの成果に基づいて、脳型コンピュータの基礎となる並列・分散的な情報処理回路の実現のためや、脳神経回路の誤動作・異常と捉えられる精神疾患などの脳機能障害の解明のための学術的基盤を確立する。再構成系神経回路の構築とその機能解析を通して、脳の情報伝達の時空間ダイナミクスを新たな視点から学際的に探究し、理

工学分野と医学・生物系分野の融合研究を進展させる。基盤となる研究分野は、再構成神経回路の形成と計測分析を専門とする表面・界面工学、細胞工学の研究分野、実際の神経細胞の神経回路を専門とする神経生理・電気生理の研究分野、神経回路のハードウェアやニューラルネットワーク理論が研究対象のエレクトロニクス分野である。研究グループは、培養神経細胞を用いて実際の脳に近い神経回路網の形成を行い、その神経ネットワークにおける情報伝達機構を分析的・微視的な立場から計測・解析するグループと、電気生理計測技術を駆使して、再構成人工神経回路網の情報伝達ダイナミクスを明らかにするグループよりなる。

本年度は、生体の神経回路網における機能素子である神経細胞（ニューロン）の新規培養法の開発を進展させ、培養神経回路において観察される非生理的な活動を抑制する材料科学的なアプローチを提案した。これに際し、研究分担者間の共同研究も複数実施された。また、令和 4 年 2 月 18～19 日には、国際シンポジウム Web 開催し、周辺領域の研究者との交流を行うとともに、勉強の場とした。以下にその概要を示す。

The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会

The 1st Symposium on Multicellular Neurobiocomputing

日時：令和 4 年 2 月 18 日（金）・19 日（土）

Web 開催

H. Yamamoto (Tohoku Univ.)

T. Netoff et al. (Univ. Minnesota, U.S.A.)

W. Nicola et al. (Univ. Calgary, Canada)

Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)

T. Matsui (Okayama Univ., Japan)

Y. Masamizu et al. (Doshisha Univ., Japan)

K. Otomo et al. (Juntendo Univ., Japan)

S. Kondo et al. (Univ. Tokyo, Japan)

H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

S. Katsurabayashi et al. (Fukuoka Univ., Japan)

A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

T. Levi et al. (Univ. Bordeaux, France)

J. Soriano et al. (Univ. Barcelona, Spain)

K. Camsari et al. (UC Santa Barbara, U.S.A.)

S. Sato et al. (Tohoku Univ., Japan)
 T. Oka et al. (Hokkaido Univ., Japan)
 Y. Shishido et al. (Kyushu Inst. Technol., Japan)
 K. Tamai et al. (Kyushu Inst. Technol., Japan)
 A. Mizutani et al. (Kyushu Inst. Technol., Japan)
 Y. Shinji et al. (Chubu Univ., Japan)
 K. Morishita et al. (Nihon Univ., Japan)
 H. Doho et al. (Kochi Univ., Japan)
 H. Inoue et al. (Kobe Univ., Japan)
 T. Kurikawa (Kansai Medical Univ., Japan)
 A. Hirose et al. (Univ. Tokyo, Japan)
 B. Vallejo et al. (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)
 P. Herman et al. (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)

加えて、令和4年3月18日には第99回日本生理学会大会にて以下の内容の公募シンポジウムを企画した。

『計算論的神経生物学の新潮流』

“New trends in computational neurobiology”

日時：令和4年3月18日（金）

ハイブリッド開催（東北大学・Zoom）

オーガナイザー：

神谷 温之（北海道大学）

浦久保 秀俊（生理学研究所）

シンポジスト：

神谷 温之（北海道大学）

Sungho Hong（沖縄科学技術大学院大学）

大森 敏明（神戸大学）

山本 英明（東北大学）

浦久保 秀俊（生理学研究所）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究では、培養神経細胞系における脳機能発現を目指し、培養の基底となる基板表面のパターニングにより神経細胞の配置と極性制御を行い、脳内神経細胞回路網の基板上への構築を行うことにより、最小機能単位ミナルブレインの抽出を目指している。今年度は、培養神経細胞に刺激を印加するための新しい電極技術を確立し、プロジェクト参画メンバーらとの共著論文などとして発表した。また年度内には、本プロジェクト研究メンバーをコアメンバーとした大型科研費への申請に向けた打ち合わせを行った他、2月18～19日に開催された通研国際シンポジウム RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer においても、本研究に関する最新の研究成果を報告するとともに、一層の共同研究推進のための有益な情報交換を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の発展は、電子工学やコンピュータ科学分野に新たな学術研究の流れを作り出し、ナノテクノロジーを土台とした新たな将来性のあるバイオ研究を創成できる。また、再構成神経回路網の形成と制御法やナノスケール計測技術が確立されることにより、未知の神経生理メカニズムの発見が期待される。さらに、培養系で「完全に設計された」人工神経回路網を再構成し、これに実際の神経回路の動作原理を実装すれば、新たな脳型コンピュータの開発が可能になり、スマートグリッドやクラウドコンピューティングにおける各種の制御機構や情報の分散処理に適応していくことも可能となる。そのようなデバイスや神経回路網の制御機構に関する基礎的知見は、精神疾患の治療や脳の再生など医療面においても大きな波及効果が期待される。本プロジェクトを基盤として、電子工学、ニューラルネットワーク理論科学、電子回路工学、生理学、薬理学、医学の様々な分野の研究者との研究交流チームが形成され、令和3年度科研費の学術変革領域研究（B）の採択に結実した。

- ・ 研究領域名：脳神経マルチセルラバイオコンピューティング（略称：多細胞バイオ計算）
- ・ 研究費名：文部科学省科研費 学術変革領域研究（B）
- ・ 配分機関名：東北大学
- ・ 領域代表者：山本英明
- ・ 研究期間：令和3年度～令和5年度

本プロジェクトのメンバーを中心とした上記の研究領域は活発な研究交流を推進し、令和3年度はキックオフ国際シンポジウム“The 1st Symposium on Multicellular Neurobiocomputing”を国際会議 The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer の特別セッションとして令和4年2月18日に開催した。

またこれまでに2回の領域会議を令和3年10月1日と令和4年3月2日に開催した。

また理論系から実験系までの多岐にわたる背景を持つ領域メンバーの研究内容の相互理解のために研究交流会を企画し、これまでに5回の交流会を令和3年10月8日、11月12日、12月17日、令和4年1月19日、3月3日に開催し、計10名の班員が研究紹介を行い、毎回予定時間を大幅に超過して活発な議論が行われている。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。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii: Selective stimulation of a target neuron in micropatterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes, *Electrochemistry* 89 (2021) 348-354.
- H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Ultrasoft silicone elastomer as a biomimetic scaffold for neuronal cultures, *European Materials Research Society (E-MRS) 2021 Spring Meeting*.
- H. Yamamoto, T. Sumi, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Ultrasoft polydimethylsiloxane as a biomimetic scaffold for neuronal cultures, *8th Japan-China Nanomedicine Meeting (2021)*.
- 山本英明, 竹室汰貴, 住 拓磨, 佐藤有弥, 守谷哲, 平野愛弓, 佐藤茂雄, J. Soriano: 神経回路機能の in vitro 操作のためのバイオ界面制御技術, *第44回日本神経科学大会 (2021)*.
- 山本英明, 平野愛弓, 佐藤茂雄: バイオ界面制御による神経回路機能の人工再構成, *薄膜材料デバイス研究会第18回研究集会 (2021)*.
- H. Yamamoto, T. Takemuro, N. Monma, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of mesoscale neuronal networks, *14th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2021)*.
- H. Yamamoto, Y. Katori, T. Matsui, Y. Masamizu: The launch of "Multicellular Neurobiocomputing", *The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2022)*.
- H. Kamiya: Modeling subthreshold voltage signaling along axon in the hippocampus, *The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2022)*.
- 神谷温之: 計算論的アプローチによる軸索の閾値下シグナルの解析, *第99回日本生理学会大会 (2022)*.
- 山本英明, 平野愛弓, 佐藤茂雄: Dynamical

richness defined by modular organization in engineered neuronal networks, *第99回日本生理学会大会 (2022)*.

- H. Yamamoto, T. Sumi, T. Takemuro, S. Moriya, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Artificial reconstitution of neuronal network functions with living cells, *The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (2022)*.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- 該当なし

採択番号：R02/A21

耳介の3次元形状と音響伝達特性の 音源方位依存性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 仁（東北工業大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

佐藤 直行（はこだて未来大学複雑系知能学科）

延べ参加人数：4人（学生1名）

[2] 研究経過

音の空間的な知覚では、両耳に到達する音の時間差や音圧差だけでなく、頭部で生じる反射や回折による音響伝達特性の変化が重要な手がかりとなっている。この音響伝達特性の変化には、頭部形状の中でも特に耳介が主要な役割を果たすことが知られているが、耳介の形状は個人差が大きく、耳輪、対耳輪、耳垂、耳甲介、三角窩、舟状窩、耳珠、珠間切痕など耳介を構成する各部位が音響特性に及ぼす影響は明らかになっていない。

通常、このような音響特性を調べる際には、被験者の周囲に置いたスピーカーから出力したテスト信号を、外耳道に挿入したマイクロホンで収録することで得られる頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function: HRTF)が用いられる。また逆に、外耳道に挿入した小型スピーカーからテスト音を出力し、被験者の周りに置いた複数のマイクロホンで音を収録する相反法を用いてHRTFを計測することもできる。

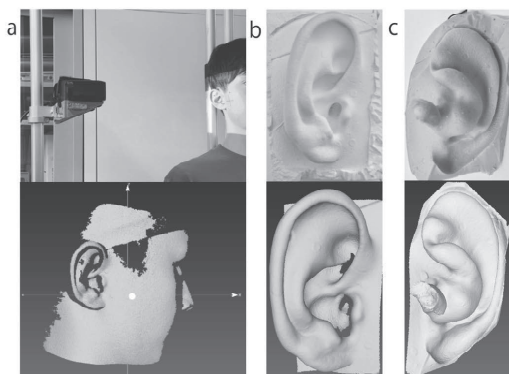


図1. 側頭部、石膏模型、アルジネートの計測

これらの手法で得られたHRTFは、そのインパルス応答を任意の音源に畳み込むことで、被験者の空間的な知覚を高い精度で再現することができる。

本研究では、耳介の形状が音の空間的な知覚に及ぼす影響を詳細に調べるために、HRTFではなく耳介単体の音響伝達特性(Pinna-Related Transfer Function: PRTF)に注目する。即ち、被験者の耳介の形状模型や、形状の一部を変更した模型を製作し、ダミーヘッドに装着して音響特性を計測する。この様にして得られるPRTFは、音源を畳み込んでも空間的な知覚を完全に再現することはできないが、耳介各部の形状が音響特性に及ぼす影響を直接的に調べることができるという利点がある。また耳介模型を装着するダミーヘッドを回転させて計測することで、任意の音源方向に対する伝達特性を効率的に計測できると期待できる。本研究の目的は、このような回転式ダミーヘッドを用いたPRTF測定系を確立し、耳介の形状が音響特性に及ぼす影響を明らかにすることである。

この目的を達成するために、2021年度の研究では被験者7名について左右の耳介形状を計測し、これらの3次元模型を作成した。形状計測には光学式の3次元スキャナを使用し、耳介の内部形状と頭部に対する位置と向きを正確に再現するために、耳介の石膏模型、雌型(アルジネード)、側頭部の計測データを位置マーカーを用いて統合する手法を採用した

(図1, 2)。また耳介形状の一部を変更した模型を作成するために必要となる形状評価法と人間のモノラル音源定位能力について検討した(研究成果参照)。

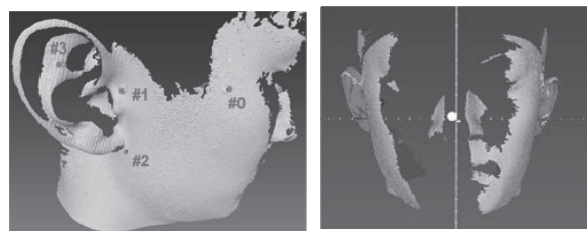


図2. 石膏模型、雌型、頭部データの統合

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2021年度の研究により、耳介の3次元形状データから、解剖学的特徴点を抽出するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、まず形状データの矢状面の断面間曲線を計算し、外耳道を特定する。外耳道は耳介から後方に曲がっているため、得られた断面曲線の中心座標が最も前となる点を探すことで、外耳道入口に対応する座標を決定できる。

図3に成人男性の右耳の外耳道について、上記の手法で定めた外耳道入口の例を示す。図3(a)と(b)は外耳道を正面から見た場合の前側と後ろ側の断面を、図3(c)と(d)は鉛直上方から見た場合の上側と下側の断面にそれぞれ対応し、図中の丸印が推定された外耳道入口の位置を示す。なおアルゴリズムの開発には、2021年度に計測した男性5名、女性2名の左右の外耳道のデータを用いており、少なくともこれらのデータに対しては、上記のアルゴリズムにより外耳道入口を安定して検出できることを確認している。

上記のように外耳道入口を決定したのち、この点を基準として、耳介形状の冠状断面を計算し、その極値を求めることで、解剖学的特徴点である最上部(Superaurale)、最下部(Subaurale)を決定することができる。さらに横断面の極値から耳介の最後点(Postaurale)、前部の上端(obs)と下端(obi)も同様に求めることができる。さらに、obsとobiを結ぶ線分上で、Postauraleと直交する点を見つけることで耳介の最前部(Preaurale)も決定できる。

図4に、成人男性の左耳に対して推定された、これらの解剖学的特徴点の例を示す。上述した全てのデータに対して同じ手法を適用し、特徴点を定量的に評価した結果、(1)同じ被験者でも頭部に対する左右の耳介の向きには大きな違いが存在すること、(2)この左右差を正規化する方法として、PostauraleとPreauraleを結ぶ線分が矢状面となす角と、obsとobiが鉛直となす角を用いて角度を揃えることが有効であることが分かった。この結果は、耳介形状の評価の前処理として、頭部に対する耳介の向きを正規化することが重要であることを示唆している。

この正規化処理を施した左右の耳介は、同じ被験者であれば非常によく似た形状となる。従って、左右の耳に入力される音の違いは、主に頭部に対する耳介の向きにより生じると考えられる。この左右差が音の空間的な知覚において機能的な意味を持つのかは不明である。

この点について明らかにするために、被験者の片耳を閉塞し、他方の耳だけで音を聞いた場合の音源定位(モノラル音源定位)能力を調べる実験を行った(図5)。移動可能なスピーカーを被験者の側面に配置し、帯域雑音を呈示した場合の音源位置を回答させるものである。その結果、被験者5名のモノラル音源定位能力には、左右の耳で有意な差が見られた。特に高周波数の帯域雑音を刺激とした条件では、音源の鉛直方向の定位能力は右耳より左耳の方が正確であった。この結果は、上述した耳介の向きが空間的な知覚において機能的な役割を果たしている可能性を示すと考えられる。

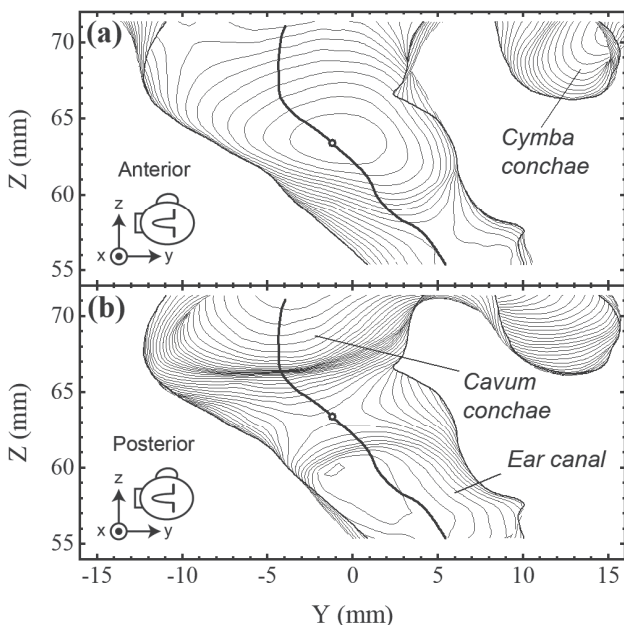
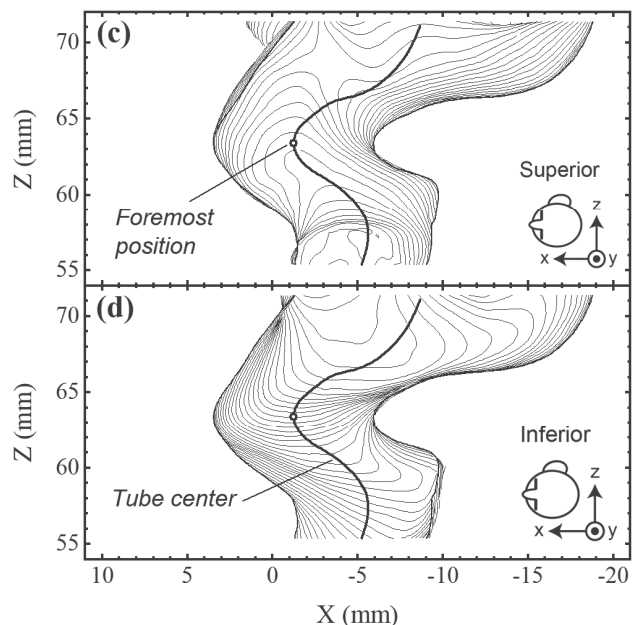


図3. 外耳道入口の推定例



(成人男性、右耳)

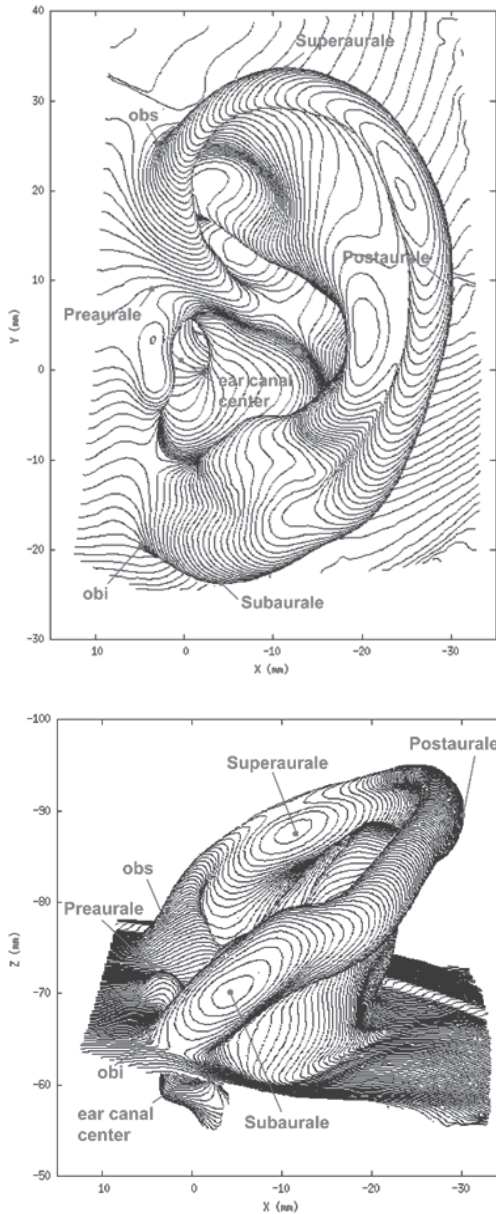


図4. 耳介の解剖学的特徴点 (成人男性, 左耳)

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の成果のひとつである外耳道の形状分析と入口の推定アルゴリズムは、被験者を用いた HRTF 計測の精度向上に貢献できる可能性がある。過去の研究の多くは、HRTF を計測する際に被験者の外耳道に型どり剤を直接注入してマイクロホンを固定しているが、この方法ではマイクロホンの位置を正確に決定することは難しい。

これに対して図3に示すように、予め被験者の外耳道の3次元形状を把握し、外耳道入口にマイクロホンを配置するための管体を3Dプリンタで作成することができれば、HRTF計測時のマイクロホンの位置を高い精度で制御することができると考えられる。

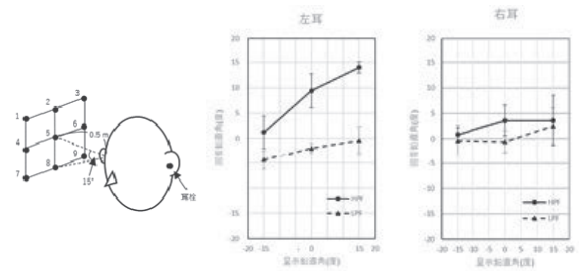


図5. モノラル音源定位実験

また耳介の解剖学的特徴点の抽出と、角度を用いた正規化手法は、耳輪、耳甲介、三角窩、舟状窩など耳介を構成する各部位の形状を分析する際の基礎となると考えられる。これらの特徴点を用いて各部位の3次元形状をモデル化することができれば、任意の部位を変形した耳介の形状模型を作成することが可能となる。この模型をダミーヘッドに搭載して音響特性を評価することで、各部位が音響特性に及ぼす影響を明らかにするために有用な知見が得られると考えられる。

この耳介形状と音響特性の関係について調べる際に、図5に示したモノラル音源定位実験の結果は、耳介の左右差が重要な手掛かりとなる可能性を示唆している。これまで、人間の耳介形状には無視できない左右差が存在することは報告されているが、それが音の空間的な知覚において機能的な役割を果たす可能性は低いと考えられてきた。だが本研究で行ったモノラル音源定位の実験結果は、これを否定するものであり、人間の聴覚情報処理のメカニズムについて新しい知見を提供できる可能性がある。

本年度の研究では、頭部における耳介の向きが左右差を生み出す要因のひとつであることを示したが、より詳細な耳介を構成する各部位の左右差については十分に検討されていない。またモノラル音源定位実験では、定位能力と耳介形状の関係が調べられていない。今後の研究では、これらについて調べることで、音の空間的な知覚に関する理解を深めていくことを目指す。

[4] 成果資料

- (1) 菅野圭佑, 伊藤仁 (2022): 3D スキャナを用いた耳介形状の計測と音響伝達特性の評価, 令和4年東北地区若手研究者研究発表会 p. 181-182.
- (2) 山本大海, 伊藤仁 (2022): モノラル受聴における音源定位能力に関する研究, 令和4年東北地区若手研究者研究発表会 p. 185-186.

採択番号 (Grant No.) : R02/A22

新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

ザビル サラウッデン ムハマド サリム
(鶴岡工業高等専門学校情報コース教授)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 2人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

In this project, we have been working on devising a novel IoT framework that we name as KIBAN with a view to rapid expansion of IoT through mass adoption by common people who do not possess specialized knowledge. We also propose a novel hierarchical edge computing architecture called Dynamic Hierarchical Edge Architecture or DHEA to overcome the potential issues with the centralized cloud based approach. We describe how KIBAN could be realized using the DHEA architecture. Because of the layered structure of KIBAN, it is possible to easily implement part of the platform even on gateways with low computing capabilities. Experiments show that such implementation can lead to faster response time and often leads to increased efficiency compared with that in a cloud based system.

In the current year of the research project, we particularly focus on implementing components of the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) for learning and interpreting texts available on the web in the form of posts in the social media, product review, articles in the web etc. Learning from the web text data and interpret the intentions of the posts leads to offer many services by the other layers of KIBAN platform (Fig.1), for example, Big Data Service Layer (BDS) efficiently.

Two researchers, the principal investigator, and Associate Professor Dr. G. Kitagata participated in this research. Most research discussions were in the form of exchange of opinions over e-mail. Also, the researchers had web based video calls on the topic when necessary.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

① Realization of components of KIBAN IoT platform

In the first year of the research, we proposed a new generation IoT platform, KIBAN, toward the rapid evolution of IoT. It consists of the following six layers.

- Data acquisition and storage layer (DASL)
- Knowledge and intelligence layer (KIL)

- Big data service layer (BDL)
- Open software layer (OSL)
- Presentation layer (PL)
- Security and privacy layer (SPL)

So far, we defined functionalities of different layers of KIBAN platform and have been implementing different elements of several of the layers. This year, we aim at assuming the gender of the poster of posts in different languages in the SNS like Facebook.

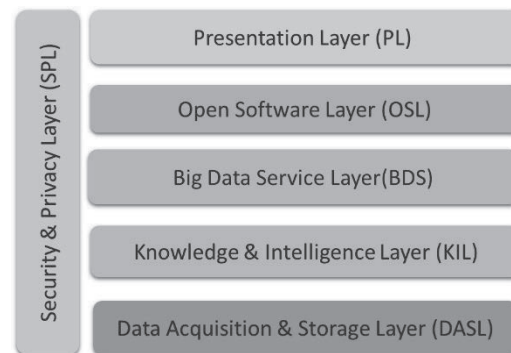


Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

② Implementation of components for the Knowledge and Intelligence Layer (KIL)

In the KIBAN platform, the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) is designed for learning from collected multimodal data and provide intelligence to the IoT platform. Toward this goal, we focus on huge data that is available in the web like the social networking services (SNS), comments or expressions in blogs, reviews in online shopping sites etc. Here, we report the outcome of our research on learning about the gender of poster from known posts on the social media and use that knowledge to estimate the gender of the poster of a post that has not been used in the learning process. In this research, we focus on Bengali language posts. Although gender identification has been studied in recent years for different languages like English, Russian, Arabic, this issue is yet to be addressed in Bengali language. Gender analysis from SNS posts has so far been done in several languages. Most of such analysis use tradition machine learning approaches while some newer works on Russian and Arabic language deploy deep learning mechanisms. The accuracy of gender identification obtained by different mechanisms for different languages has been around 80% or less. In our

research, we use Recurrent Neural Networks (RNN), for example, Long Short Term Memory (LSTM) to identify the gender of the poster of a Bengali language SNS post.

A. The Characteristics of Bengali Language

Bengali (Bangla) language is mainly a gender independent language where words do not take any specific shape form or shape depending on the gender of the first person. Hence, it is not possible to identify the gender of the poster of an SNS post in any straightforward manner. However, the way a first person tells her/ his story may be affected by factors specific to a particular gender. Also, although Bengali does not impose any usage restriction on words based on genders, there may be a tendency to use a certain combination of words depending on the gender of the poster while making posts in the SNS. In addition, in many cases, the language used in SNS post is different from the standard Bengali written language forms. As such, it is likely that some characteristics induced by the gender of the poster may be reflected in such posts. The objective of this research is to learn from such posts in the SNS and later use that knowledge to figure out the gender of an unknown poster of an SNS post.

B. Dataset Creation

We extract Facebook posts from three different facebook groups consisting of authenticated members, using selenium testing tools.

We collect Facebook posts with author names. All the facebook group is related to Bangladesh University of Engineering and Technology where there are less female students (20%-30%) than the male students. That is why, the number of female data is low in the dataset. In order to reduce the data imbalance, we manually collect some data from the Facebook profile of the female members.

We manually label the members as Male and Female. Then we assign the author gender by cross multiplying the Facebook post data with author name and labeled members' list. Thus a data-set containing authenticated user posts with gender labeling is created. We collect 3987 posts in total out of which 3035 are from male authors and 952 are from female authors.

C. Pre-processing

The texts in the member's posts of any Facebook group are generally in informal language. Here URL, image, tags, links, etc. are present in the text. So we apply various data pre-processing techniques before training. Our preprocessing includes elimination of all characters except Bangla alphanumeric characters, eliminate punctuations and URLs. We remove the images, hashtags, user tags, links also.

D. Word vector formation

We use a deep learning model in our proposed solution. To use the deep learning model, we need to convert our text to a

word vector. Conversion to word vector from text is using stylometric features and word embedding representation approaches.

E. Stylometric features approach

Stylometric features are features that capture the writing style of different authors of both genders. We have already computed a large set of stylometric features taking existing works on gender or author identifications in other languages into account.

F. Word embedding representation approach

Traditionally, bag-of-words (BOW) model is used to transform text into feature vectors in text classification. In this model, a text is represented as the bag (multiset) of its words, disregarding grammar and even word order but keeping multiplicity.

G. Machine learning using LSTM

We have implemented LSTM with stylometric features as well as word embedding features. The whole process can be shown as in Fig. 1.

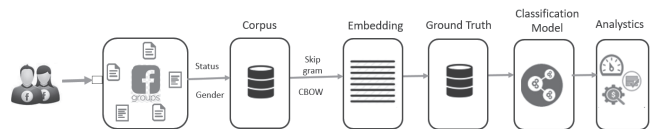


Fig. 1: LSTM for gender identification from Bengali SNS posts

H. Evaluation

We implemented deep learning models using Python Keras framework with Tensorflow. Word2vec implementation was done using Gensim. An Intel core i7, 1.8 GHz, 8GB RAM, Nvidia GeForce MX150 2GB machine was used to implement the system.

Table 1: Accuracy and F1-Score using LSTM

Model	Feature Vector	Accuracy (%)	F1-Score (%)
LSTM	Stylometric feat.	74.91	80.23
LSTM	Word embedding feat.	76.03	80.42

Table 1 shows that the accuracy obtained using either stylometric features or word embedding features are 74.91% and 76.03% respectively which are comparable to the results obtained in case of Arabic, English or Russian languages. The F1-score obtained using either method is around 80%.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

Analysis of web data for estimating the gender of the poster is expected to lead to better machine understanding of the human world. In addition, it is expected to lead to detect fake accounts in the SNS and prevent crimes that are related to impersonation of people in the social media.

[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)

(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)

- [1] Monburion, N., Zahir, S.M.S., Vechprasit, N., Utsumi, S., Shiratori, N., A Novel Hierarchical Edge Computing Solution Based on Deep Learning for Distributed Image Recognition in IoT System, in proceedings of InCIT2019, Bangkok, Thailand, 2019

採択番号(Grant No.) : R02/A23

Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices

[1] 組織

研究代表者 (Principal Investigator) :

Sayan Sarcar (Tsukuba University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Kazuyuki Fujita

研究分担者 (Project Member List) :

Kaori Ikematsu (Yahoo Japan Corporation / Tohoku University)

Taichi Tsuchida (Tohoku University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 4 人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

Touch has become the main input modality for most interactive electronic devices, providing intuitive user experience of direct manipulation of content. However, touch interaction is still limited to fewer input modalities. This often becomes a problem when task scenarios involved switching between multiple modes of operation, such as navigating in a map, drawing on a canvas, or playing a game.

In this research project, our goal is to explore low-cost and power-free interfaces that expand input vocabulary of touch devices thereby enriching user interaction with touch devices with less fatigue. In this year, we have worked on an interface to realize this concept (as described the next section).

Project members basically communicated online, with online meetings held approximately once a month. In addition, some in-person meetings were held while watching the status of COVID-19. The principal investigator (Prof. Sarcar) visited RIEC and held intensive meetings from June 15 to 17, 2021. We also held in-person meetings with the project member Prof. Ikematsu on October 20, November 25, and December 16, 2021, and January 19, 2022.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

We explored a phone-case-shaped interface named TetraForce, which enables four types of force inputs consisting of two force directions (i.e., pressure force and shear force) and two force-applied surfaces (i.e., touch surface and back surface) using the smartphone's built-in

magnetometer. We designed and implemented a proof-of-concept prototype of TetraForce, and then conducted a user study (N=12) to investigate the fundamental user performance with our interface. Results demonstrated that the input was detected as intended with a success rate of 97.4% on average for all of the four input types. We further conducted an ideation workshop with human-computer interaction experts to explore possible applications of this interface, and obtained 137 application ideas using individual input types and 51 possible scenarios using them in combination. Organizing these ideas reveals the advantages of each input type and suggest that our interface is useful for applications that require complex operations and can improve the intuitiveness through elastic feedback. We already submitted this study contents to a international journal.

Meanwhile, this project received special support (for young researchers), and this support helped us procure parts and materials for the prototype, as well as multiple face-to-face meetings at RIEC, which contributed to the smooth progress of the research.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

This work will offer end-users an extensive and easier-to-use touch interaction norm. As the device is low-cost and power-free, it has quite a high potential to be a common add-on interface that can be easily installed on any touch-based smart devices. In addition, our result will also provide new guidelines to UI designers and developers regarding touch interaction.

採択番号 (Grant No.) : R02/A24

Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Thippaya Chintakovid, Ph.D. (Assistant Professor at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Yoshifumi Kitamura

研究分担者 (Project Member List) :

Siranee Nuchitprasitchai, Ph.D. (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)

Griya Tongpasuk, Ph.D. (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 4 人

[2] 研究経過 (Summary)

The main objective of this project was to investigate cultural differences between Thai and Japanese elderly users. The project had been unable to fulfill this objective for 2020-2021 due to the COVID-19 pandemic. In 2020, the project's goal was adapted to investigate differences between two age groups, i.e., the Thai elderly group with the age of 55 years old and over and the Thai users with the age of 45-55 years old.

In 2021, the situation of the COVID-19 outbreak in Thailand was worse than in 2020. The Thai government had strictly enforced the social distancing policy, so we could not conduct any usability test with participants. Instead, we have focused on qualitative data analysis. Using a thematic analysis, we have developed a preliminary codebook for analyzing the observation notes taken during the usability tests in 2018-2020.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

The following table shows our preliminary codebook. Please note that these codes are still under development. The initial codebook consists of two levels of codes: main and auxiliary ones. The relationship between these codes is hierarchical in that the primary codes are parent nodes while the secondary codes are child nodes.

Three Thai researchers individually read a subset of the observation notes and identified issues of concern to the study. Then, the researchers discussed these issues to consolidate the codes.

The primary codes include learning from test activities, users'

suggestions, expectations of use, and users' system perception. The code 'learning from test activities' is related to statements indicating that a participant better understood how to use the program based on experiences with previous test activities. Users' suggestions refer to the participants' improvement recommendations for the program. Use expectations represent statements expressing what the participants expected from the program. They can be further assigned codes based on the sources of expectations, either familiarity/experience from other applications or understanding of user interface design elements. The code 'perception towards the system' reflects how the participants perceive the system that includes the participants' understanding of the system, questions/trial & error, positive and negative attitudes. All four auxiliary codes for the participant's perception deal with the system's functions, features, and usefulness.

Main codes	Auxiliary codes
Learning from test activities	
Users' suggestions	
Use expectations	Familiarity/experience (from other applications)
	Understanding of user interface design elements
Perception towards the system	Understanding of the system
	Questions/Trial & Error
	Positive attitudes
	Negative attitudes

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

We will conduct qualitative data analysis when the codebook finalizes. Qualitative data analysis results will provide insights into users' suggestions, expectations, and perceptions. They will help enrich the usability problems found during the tests. The quantitative and qualitative findings from the usability tests will contribute to improvement recommendations for the D-FLIP system.

参考文献 (References)

N/A

[4] 成果資料 (Publications)

N/A

採択番号：R02/A25

人間の能力を拡張する 次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤

[1] 組織

研究代表者：

峰野 博史（静岡大学情報学部）

通研対応教員：

北形 元（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

内藤 克浩（愛知工業大学情報科学部）

加藤 由花（東京女子大学数理科学科）

山口 弘純（大阪大学大学院情報科学研究科）

重野 寛（慶應義塾大学理工学部）

原 隆浩（大阪大学大学院情報科学研究科）

河口 信夫（名古屋大学大学院工学研究科）

佐藤 文明（東邦大学理学部）

水野 忠則（愛知工業大学情報科学部）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

身体, 存在, 感覚, 認知の観点で, 技術は人間の能力をさらに拡張し強化していると言える。昨今の情報社会における生活や働き方にも大きな変革をもたらしており, これまでの人間の能力を拡張する様々な製品やサービスが創出されつつある。本プロジェクトでは, このような次世代情報社会を支えるために, センサーや人間, ロボットだけでなく, 様々なサービスから絶え間なく生成される多彩なマルチモーダルデータの活用プロセス (IoT, 通信, ビッグデータ, AI, ロボット) を, シームレスに循環させフィードバックさせることのできるマルチモーダルデータ流通処理基盤に関する研究開発ならびに検討を行った。

2021年11月26~27日に, 岡部(京都大学)プロジェクトや石田(はこだて未来大学)プロジェクトと連携したハイブリッド合同研究会を開催し, 21名の参加者で議論を行った。特別講演では, 白鳥則郎(中央大学/東北大学)教授や尾辻泰一(東北大学)教授から持続可能なシステムやBeyond 5G, 6Gに向けたグラフエンTHzデバイスの最新研究動向について講演いただいた。昨今の目覚ましい発展を遂げるAI技術とシームレスにつながる世界が実現されれば, 人間の能力の目覚ましい拡張や強化を促進させることができるだけでなく, 人とロボットの協働による社会インフラ全体のスマート化や, 地方と都市圏のデジタル地域格差を解消する斬新な新サービス創出も大いに期待できる。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

多種多様なIoT機器が増加し, 複数のデータソースから収集されるマルチモーダルデータを適切に処理し, リアルタイムでのインタラクションを実現できるデバイス連携処理基盤の実現が重要となる。そのためには, データソースならびに前処理済データを実世界にフィードバックするアクチュエータまでのデータストリーム処理に関し, 処理時間の短縮や遅延時間の抑制, ならびに様々なサービスレベルへの柔軟な対応がカギを握る。前述のコンセプトに基づき, (1) マルチモーダルデータを収集・分析し仮説検証するための基盤技術, (2) プライバシ保護を考慮して情報をセキュアに集約・流通させる技術, (3) 人間の能力を拡張する知的支援技術, の3つのサブテーマを中心として定期的なミーティングを実施し, 要素技術創出に向けた研究開発を進めた。

(1) マルチモーダルデータを収集・分析し仮説検証するための基盤技術に関して, 大量に生成されるマルチモーダルデータを収集する様々な規格のデバイスやゲートウェイ, やり取りされるデータのフォーマットやプロトコルの違いに加え, 多様なデータタイプに対するタイムラグや異なるデバイス間での時間の取り扱いといった懸念を解決し, マルチモーダルデータ流通処理基盤技術の検討を深めた。特に小型IoT機器向けの移動エージェントフレームワークを研究開発し, 通信容量の小さいLPWA (Low Power Wide Area) を用いたIoTネットワークにおいて, 移動エージェントを用いてデータ処理を行うことで通信量の削減ならびに移動しながら動作することでIoT機器の動作をオンデマンドで柔軟に変更できる見込みを得ることができた。さらに, 近隣のデバイス同士が自律的に協調を図ることで, 資源を共有するとともに処理負荷を分散するサービス提供を可能とするデバイス主体の自律分散処理サービスフレームワークの研究開発も進めた。プロトタイプ開発に成功し, 本フレームワークを実現するシステムの基礎的動作を確認できた。

(2) プライバシ保護を考慮して情報をセキュアに集約・流通させる技術に関して, 個々のデータに対するリスクだけでなく, これまで把握しきれなかった背景に移る風景や音声, 行動履歴や決済情報, 位置情報を組み合わせたマルチモーダルデータによって表現さ

れうる付加情報も包括的に扱える高次元リスクモデルを検討した。人間の能力を拡張する次世代情報社会に潜むリスクの明確化に加え、保護レベルの定量化を行う手法や、それらを相互流通し活用する基盤技術の検討を進めた。

(3) 人間の能力を拡張する知的支援技術に関して、家庭や職場などにおける人とロボットの共生にも着目し、機械学習を用いて人間追従型移動ロボットの将来軌跡を予測する手法を研究開発した。既存の手法では、予測モデルを学習させるために大量の軌道データが必要であるが、一般的な公共の場でサービス提供前に十分な軌道データを収集することは困難である。そこで、大規模なデータセットから類似するデータセットを抽出し、特徴の類似したデータによって機械学習し軌跡を予測する手法を検討した。抽出されたデータセットを用いて事前に学習させた予測モデルを生成した結果、データセットの特徴を維持しつつ高い精度を持つ予測モデルを構築可能なことが確認できた。

様々なインタフェースを介して人間の能力をさらに拡張し強化していくためには、今後ますます社会システムの主要プレーヤーとなっていく人間を理解するための高度・高次センシングや知識活用が重要となっていく。社会を構成する多様な年齢層や生活環境の人々に対し、真に有用な情報を提示するシステムや技術が不可欠となるが、これまでの技術中心のアプローチにおいてはこれらが十分に実現されているとは言い難い。人間と機械が協働し、社会を豊かにする真の情報活用基盤を実現するためには、従来のセンサー計測値や位置情報といった構造化されたプリミティブなコンテキスト情報に加え、経時的かつ様々な要因で変化していくマルチモーダルデータの高度な相互連携処理が必要不可欠と考える。

さらに、スマートシティやスマートビルディング等を想定すると、人の位置や状態に加えて、その環境の設備や空間内のモノの相対関係や状況といったコンテキストを理解し、人間の社会活動や生活を支援することも重要となっていく。例えば、天気予報情報や現地の温湿度情報を組み合わせることで、熱中症警告アプリが構築できるだけでなく、時刻表と車両速度から適切なバス運行情報提供アプリといったものも柔軟に構築できる。このような高度なマルチモーダルデータの相互連携処理のためのデータ共有プロトコルの検討を進めただけでなく、プロトタイプシステムを研究開発することで、専門知識の乏しい人でもIoTサービスを容易に利活用できる仕組みの実現を目指した。今後、IoTデバイスの機能とソフトウェアコンポーネントに関するオントロジを設計・導入し、センサーやアクチュエータが現実世界に与える効果や場所の抽象的表現を検討する。家電や家具、日用品の位置や属

性といった情報までシステム側で把握できるようになれば、人の能力を拡張するような行動認識や健康生活支援、見守りといった知的IoTサービスが実現できる。オフィスや観光地、農場や工場といった場面での作業計画や業務最適化まで期待できる。引き続き人間の能力を拡張し強化する高度な協働を実現するマルチモーダルデータ流通処理基盤を構築するための技術ならびに社会システムについて議論し、その基本概念の確立を目指す。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

プロジェクトの成果を広く共有し議論を深めるため、下記の国際ワークショップ3件を開催した。

1. CDS 2021 (9th IEEE International Workshop on Consumer Devices & Systems 2021)
2021年7月12日(コロナウイルス感染症拡大防止のためにオンライン実施) IEEE COMPSACの併設ワークショップとして開催した。代表者らに加え京都大学岡部教授らとともに、コンシューマデバイスやシステムに関する研究者らとの議論の場を設けた。
2. PerFlow 2021 (International Workshop on Pervasive Information Flow 2021)
2021年3月26日、独カッセル(感染症拡大の影響でオンライン実施)、IEEE PerComの併設ワークショップとして開催。分担者の大阪大学山口教授、連携者のNAIST安本教授、マンハイム大学のベッカー教授による国際協力により組織。通研教員および分担者ら、関連分野の第一線で活躍する国際的研究者によるプログラム委員会を構成し、Pervasive Information Flowに関する研究成果議論の場を設けた。
3. PerVehicle 2021 (International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems)
2021年3月22日、独カッセル(感染症拡大の影響でオンライン実施)、IEEE PerComの併設ワークショップとして開催。分担者の慶応大学重野教授、大阪大学山口教授らにより組織し、車両活用に関しアクティブに活動する第一線の研究者を招へいしてプログラム委員会を構成した。車両など移動体からのデータストリーム処理を含むパーベイシブ処理に関し、招待講演1件、発表9件による活発な議論が行われた。

以上のように本プロジェクトを通じ、研究者間の交流が飛躍的に活性化するとともに、上記のようなプロジェクトならびにワークショップにつながっている。引き続き形成したコミュニティのさらなる拡大と連携強化を行いながら、その利益を享受するスキームを構築し、個人の能力を高めるだけでなく組織としての機能強化にもつながる社会基盤の創出を目指す。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- Rina Akabane and Yuka Kato, "Pedestrian Trajectory Prediction Based on Transfer Learning for Human-Following Mobile Robots," IEEE ACCESS, Vol.9, pp.126172-126185, DOI:10.1109/ACCESS.2021.3111917 (2021).

- Kanako Amano, Haruka Isshiki and Yuka Kato, "Autonomous Mobile Robot Navigation by Reinforcement Learning Considering Pedestrian Movement Tendencies," IEEE IECON 2021, pp.1-6, DOI:10.1109/IECON48115.2021.9589076 (2021).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- Umme Fawzia Rahim, Hiroshi Mineno, "Highly Accurate Tomato Maturity Recognition: Combining Deep Instance Segmentation, Data Synthesis and Color Analysis," ADIP2021 (2021).

- 坂本和也, 中屋悠資, 北形 元, 長谷川 剛, "小型IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの提案," 情報処理学会第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集 (DPSWS2021), pp.92-99 (2021).

- 中村藍梨, 内藤克浩, 山里敬也, "デバイス主体の自律分散処理サービスフレームワークの提案," 情報処理学会, Vol.2021-CDS-31, No.5, pp.1-6 (2021).

採択番号：R02/A27

色名に関する文化差および個人差の多言語での研究

[1] 組織

研究代表者：

徳永 留美（千葉大学大学院国際学術研究院）

通研対応教員：

羽鳥 康裕（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

栗木 一郎（埼玉大学）

内川 恵二（神奈川工科大学）

福田 一帆（工学院大学情報学部）

塩入 諭（東北大学電気通信研究所）

Delwin T. Lindsey（米国・オハイオ州立大学）

Angela M. Brown（米国・オハイオ州立大学）

Chanprapha Phuangsuwan（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター）

池田 光男（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター）

I-Ping Chen（台湾・国立陽明交通大学）

Su-Ling Yeh（台湾・国立台湾大学）

Tusei-Ju Hsieh（台湾・中国文化大学）

Youngshin Kwak（韓国・蔚山科学技術大学校）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

私達はコミュニケーション手段として色を使用する。これは、言語の壁を越えた人類共通の概念といえる。特に色名と対応した色の知覚であるカテゴリ色は、Berlin & Kay (1969) の研究によって示されたように、使用する言語によらずに共通のグループ化がなされる。そのグループは基本色と呼ばれ、白、黒、灰、赤、緑、青、黄、紫、オレンジ、茶、桃の11色がある。利用する色名の数は言語が異なっても基本カテゴリの分類から外れないため、文化や言語に依存しない色の概念分類として理解されている。一方、先行プロジェクト (H26/A16) において、日本語の”水色”のように基本カテゴリに近い特性を持つ色名の存在が示され、さらに、タイ語においても”Fa(空色)”が基本カテゴリに近い特性をもつ可能性が示された。

Lindsey & Brown (2006, 2009) らは、同一言語内の個人差は、異なる言語間に共通ないくつかのパターン（モチーフ）によって表現されることを示した。本プロジェクトの先行プロジェクトである日本の言語を対象とした色カテゴリ研究 (H29/A16) においても同様の傾向が示された。言語差（文化差）と個人差を共通のモデルで説明することができれば、カテゴリ色の利用の最適化など情報通信分野における応用も期待できる。本研究の目的の一つは、文化差および個人差に関して言語間の

比較を検討することである。本プロジェクトは、先行プロジェクトである米国、日本の言語を対象とした色カテゴリ研究 (H29/A16) を拡張し、タイ語 (H29/A16) と韓国語へ応用しようとする研究である。今年度はタイ語の研究結果の分析を実施してきた。以下、研究活動状況の概要を記す。

○打合せの詳細

1) 2021年7月15日～2021年9月10日、2021年10月29日～2021年11月17日

【参加者】塩入諭、栗木一郎、徳永留美

【内容】国際シンポジウム Issues in Japanese Psycholinguistics from Comparative Perspectives (IJPCP) の発表内容についての検討（メールにて）

2) 2022年2月6日

【参加者】Chanprapha Phuangsuwan（タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター）、徳永留美

【内容】タイ語のカラーネーミングデータ解析におけるデータの確認について（メールにて）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究では、日本語、アメリカ英語、台湾中国語に引き続き、タイ語についての検討を実施している。先行プロジェクト (H29/A16) において実施したタイ語の色カテゴリについての実験には、タイ王国の4地方 (Central, North, Northeast, South) の合計161名が参加した。被験者数はNorthエリアが42名、Northeastエリアが38名、Centralエリアが50名、Southエリアが31名であった。タイ王国は近接する隣国からの移民により、多民族から構成されているために方言が強く、その影響により、共通する色名が異なる可能性が考えられる。

本年度の分析では、先行研究 (H26/A25) で使用していたGap統計量による一連の解析を4つの地域について実施した。まず、色カテゴリのクラスタ数を解析するためにk平均法を実施した。図1にNorthエリアのクラスタ数ごとの一致率の結果を示す。図中のエラーバーは95%信頼区間を示している。結果から、一致率が1となるのはk=9の場合となり、9つのクラスタがあると推測できる。次に、9つのクラスタの色カテゴリとマンセル色票における分布を求めた。図2(b)に9つの分布を示す。各色カテゴリの分布は、図2(a)で示すカテゴリカルカラーネーミングの実験で使用した220色のマンセル

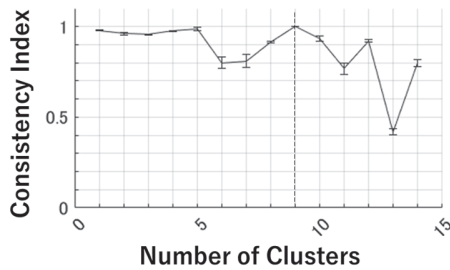


図1 The consistency index for repeated application of k-means clustering for North area.

色に対応している。ここでは、基本 11 色に含まれる白、灰、黒色を除いている。North エリアの結果において、基本 11 色に含まれていないタイ語の” Fa(sky)” が、クラスタとして導出されていることから、” Fa(sky)” が基本色名として含められることが示唆された。

ここで Northeast エリアについて同様の分析を実施した。クラスタ数として k=11 が導出された。この場合のマンセル色票における分布を図 2(c) に示す。基本 11 色に含まれていない” sky”, ” chicken egg”, ” horse feces” がクラスタとして導出された。さらに Central エリアでは k=8 となり、基本 11 色と同じ色カテゴリであった。South エリアでは k=9 となり、North エリアと同じ” Fa(sky)” が 1 つのクラスタとして導出された。

本分析によると 3 つのエリアにおいて” Fa(sky)” がクラスタとして導出されており、日本語の” 水色” と同様に、タイ語においても” Fa(sky) (空色)” が基本色名として含まれる可能性が高いことを示唆した。

(特別支援 (若手・国際・産学) に係る研究成果)

タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンターの Chanprapha Phuangsuwan 准教授、韓国のウルサン科学技術大学の Kwak 准教授を招聘予定であったが、新型コロナウイルスの影響により招聘ができなかった。その為、eメールなどでのやり取りとなった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、色名に関する文化的相違に着目したもので、複数の言語における色名の利用について、「文化差」と「個人差」を検討していくものである。これまでの国を跨ぐ一連の研究から、各言語の結果を同じ手法により直接的に比較でき、言語、文化差や個人差について、共通の概念を導き出すことが可能となる手法を確立してきている。これにより、多くの国において実験を実施し、共通の解析手法を用いて、言語間の直接比較が実現する。研究対象言語数の増加が、言語と色覚の相互作用を理解する為の手掛かりとなり、色名の研究分野へ貢献できると期待できる。さらに、色カテゴリについての

世界的なデータベースの構築、データの比較検証へ発展させることが可能である。

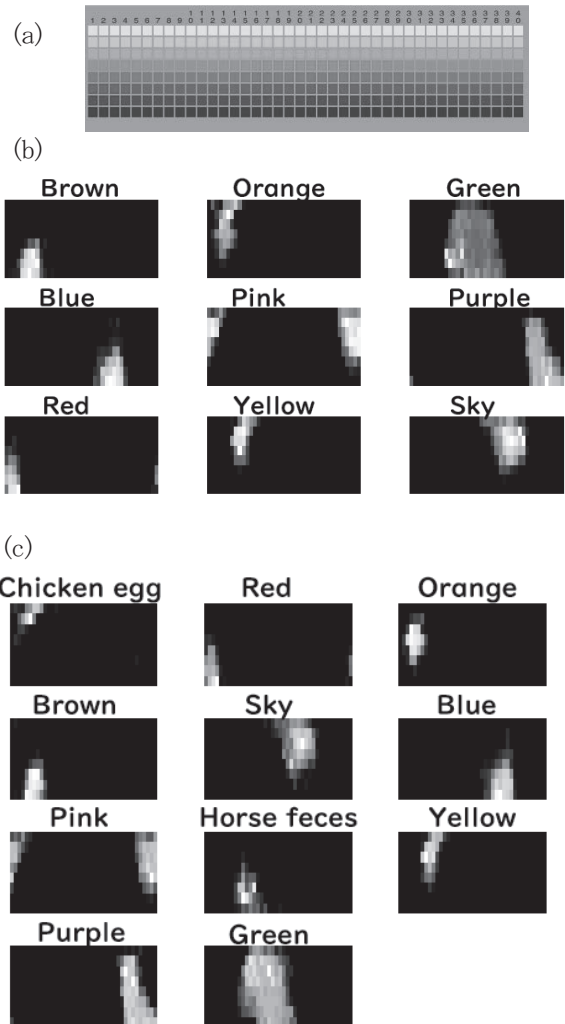


図2 (a) Each square represents the arrangement of Munsell color chip used in the World color survey. (b, c) Clusters derived by k-means clustering analysis for (b)North area and (c)Northeast area.

[4] 論文や学会発表等

[1]“Cross cultural comparison of lexical partitioning of color space”, Satoshi Shioiri, Rumi Tokunaga, Ichiro Kuriki, International Symposium on Issues in Japanese Psycholinguistics from Comparative Perspectives, 11-12 September, 2021(online).

採択番号 (Grant No.) : R02/A29

Cultural-background and auditory selective attention

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator)

Sungyoung Kim (Rochester Institute of Technology)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

大谷 真 (京都大学大学院工学研究科)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) 3人

[2] 研究経過 (Summary)

Due to the unprecedented pandemic, the PI could not visit RIEC and conduct scheduled research activities. The focus of the proposed research lies in investigating the relationship between auditory selective attention and individual socio-cognitive constructs, and the planned research activities were conducted in Rochester Institute of Technology (RIT) where the principal investigator (PI), Dr. Sungyoung Kim, belongs to. The PI used a modified Coordinate Response Measure (CRM) [Bolia et al., 2000] (as adapted for relevant studies [LeClair, 2017]) to measure a listener's spatial auditory attention. Previous studies reveal that socio-cultural differences in cognition are associated with cognitive process (analytic vs. holistic: [Nisbett and Miyamoto, 2005]) and social orientation (independent vs. interdependent: [Markus and Kitayama, 1991]). Dr. Kim has demonstrated that auditory selective attention, in terms of spatial impression, is culturally influenced specifically between Eastern Asians and North Americans [Kim and Martens, 2007; Kim et al., 2015].

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

The PI conducted a pilot study focusing on the relationship between social orientation (and sense of self) and auditory selective attention. As Figure 1 illustrates, the results reveal that when listeners were asked to focus and identify both focal and background speeches (left and middle panel), their identification correct ratios appear to significantly correlate with measured sense of self using the Self-Construal Scale (SCS, [Singelis, 1994]). Positive SCS values indicate interdependent sense of self. When asked to identify only focal speech from the background (right panel), no correlation was observed. These two test results support the notion that cognitive process (holistic / analytic) and social orientation (independent / interdependent), as two contrasting sociocultural factors, together form unique socio-cognitive constructs for a listener and influence auditory selective attention and subsequently auditory immersion. In the upcoming years, the PI want to conduct a subsequent experiment (preferably at RIEC, Tohoku University) to measure listeners' auditory experiences and relate how previous neuro-cognitive responses on auditory selective attention is related to auditory experience.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields, etc.)

Currently, little experimental data exist to support or refute the significance of cultural influences on telecommunication interactions. The increasing prevalence of videoconferencing across all sectors—from business to education, and with extensive personal uses—demonstrates the necessity for innovative research on auditory selective attention and its role in audio-visual communications. In

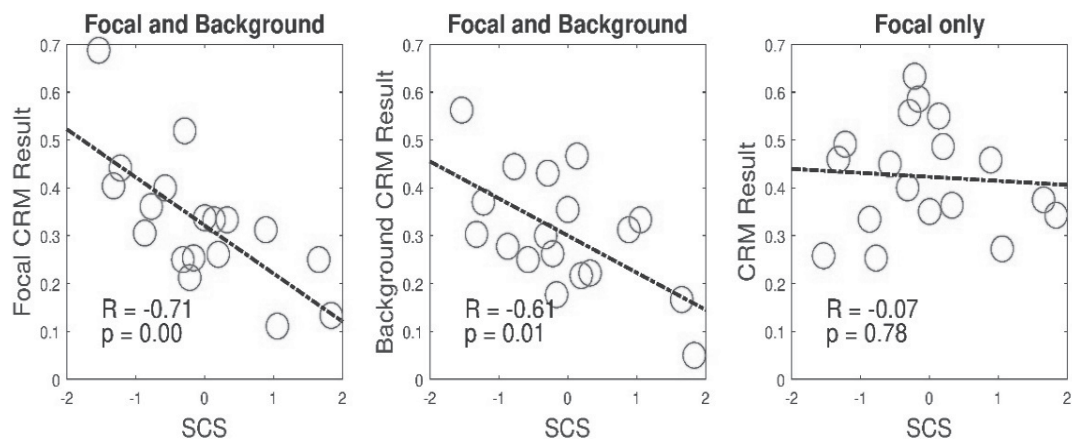


Figure 1. Preliminary data collected from 18 participants, which shows correlations between an auditory attention task (Coordinate Response Measure, CRM) and a social orientation survey (Self-Construal Scale, SCS). Positive SCS values indicate interdependent sense of self. When listeners were asked to focus and identify both focal and background speeches (left and middle panel), their identification correct ratios appear to significantly correlate with SCS. Yet, no correlation is observed when only attending to focal speech (right panel).

addition, global telecommunication applications create the impression that these technologies provide a “borderless” common communication space, yet cross-cultural differences in perception and cognition create invisible boundaries and unforeseen miscommunications. If such shared virtual interaction environments are understood and experienced differently based on cultural frameworks, communication affordances and user satisfaction with these virtual experiences vary accordingly. This proposed cross-cultural cognition research evaluates crossmodal attentional performance in videoconferencing to contribute actionable knowledge towards the improvement of virtual communication interfaces and interaction paradigms.

[4] 成果資料 (Publications)

Kim and Sato. (2022). A novel ear training game and the training influence on auditory selective attention, Accepted to present at the International Congress on Acoustics (ICA) 2022, Kyungju, Korea.

[5] References

Bolia, R. S., Nelson, W. T., Ericson, M. A., & Simpson, B. D. (2000). A speech corpus for multitalker communications research. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(2), 1065–1066.

LeClair, J. (2017). *Listening Broadly: Comparing Cultural Differences in Holistic and Analytic Auditory Attention*, Ph.D. dissertation, U.C. Santa Barbara.

Nisbett, R. E. & Miyamoto, Y. (2005). The influence of culture: Holistic versus analytic perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(10), 467-473.

Markus, H. R. & Kitayama, S. (1991). Culture and the Self:

Implications for Cognition, Emotion, and Motivation. *Psychological Review*, 98(2), 224-253.

Kim, S., Walker, K., & Martens, W. L. (2007). Cross-cultural Descriptive Analysis of Multichannel Auditory Imagery: A comparison of Japanese and English Adjectives. *Proceedings of the 13th Regional Convention of AES, Tokyo, Japan*.

Kim, S., King, R., & Kamekawa, T. (2015). A Cross-Cultural Comparison of Salient Perceptual Characteristics of Height Channels for a Virtual Auditory Environment. *Virtual Reality*, 19(3), 149-160.

Singelis, T. M. (1994). The Measurement of Independent and Interdependent Self-Construals. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 20(5), 580-591.

採択番号：R02/A30

循環調節を介した予測的な視触覚の感度調整に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

石井 圭（産業技術総合研究所）

通研対応教員：

羽鳥 康裕（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：2人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

バーチャル・リアリティ（VR）技術に代表されるように、リアリティのある情報呈示に対するニーズが高まりつつある。そのような情報呈示技術の開発には、生体の感覚情報処理メカニズムを理解することが重要である。生体に入力される感覚刺激は常に同様に処理される訳ではなく、状況に応じた感度調整が行われている。例えば、凹凸のある板を手で触る際に上肢の血流が減少する。凹凸のない板ではそのような変化が低減することから、循環調整が触覚刺激に対する感度の上昇に関与していると考えられている。

感覚刺激の入力後に感度調整が働くと仮定すると、感度調整が行われている間に次の感覚刺激が入力される。感覚情報に基づく繊細な動作（微細加工など）が必要とされる場面において、重大なエラーを引き起こす可能性がある。そのため、感度を高めるべき感覚刺激を予測し、感覚入力と感度調整の遅延を小さくするようなメカニズムが生体に備わっていると考えられる。今回のプロジェクトでは、予測に基づく身体制御の脳内メカニズムを明らかにするための第一ステップとして、視覚から予測される触覚と実際の触覚の誤差が循環調節にどのような影響を与えるかを検討する。

本年度は、昨年度構築した実験環境をもとに、プレ実験として視覚刺激や触覚刺激の提示方法を検討・確定した。具体的には、視覚情報が異なる刺激呈示方法として、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）と触覚デバイスを組み合わせる方法を検討した（図1）。HMDと触覚デバイスを組み合わせることで、物理的な刺激を使う場合よりも簡便に、視覚情報が一致しない刺激を呈示できる（図2）。視覚的に見えるが、触れることができない刺激を実験参加者に呈示する方法を検討した。

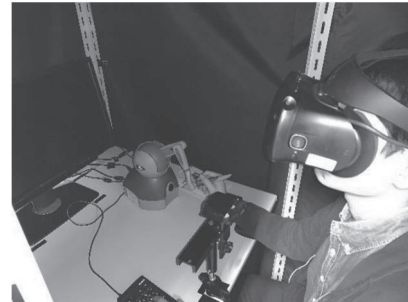


図1 実験環境

実験参加者はHMDを装着し、触覚呈示デバイスを保持する。



図2 実験に用いた刺激

実験参加者は触覚情報から凸形状（実験中は不可視）のサイズ判断を行う。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

視覚情報が一致しない刺激呈示方法の検討を行った。ペン型の触覚デバイス 3D Systems Touch を用いて、視覚的には見えないが触れる刺激や見た目と触れたときの質感が異なる刺激呈示ができることを確認した。予測的な感度調整メカニズムを検討するための予備的検討として、視覚情報が異なる刺激に触れた後と一致する刺激に触れた後の触覚刺激感度を計測した（図3）。視覚情報が異なる刺激に触れた後（図3 赤線）では、心理測定関数の傾きが小さくなっていた。これは触覚刺激に対する感度が低下したことを意味する。

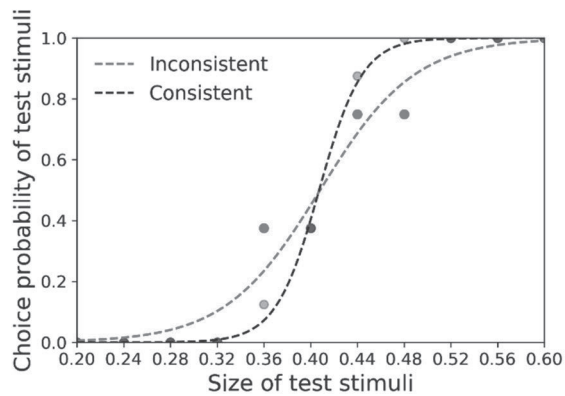


図3 触覚情報に基づく凸形状の大きさの弁別感度

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究の結果は VR 技術への応用が見込める。予測的な感度調整メカニズムが明らかになれば、あるタイミングで人間が何を予想・期待しているかを推測できる。その予測に合わせて情報呈示を行うことができれば、臨場感を高めることにつなげられる可能性がある。VR 技術に対するニーズは今度ますます高まっていくと考えられるため、本プロジェクトの成果を産業や社会に還元できる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- Matsukawa et al., “Increased prefrontal oxygenation prior to and at the onset of over-ground locomotion in humans,” *Journal of Applied Physiology* (1985), 129(5), pp.1161-1172, 2020.
- Matsukawa et al., “Central command related increases in blood velocity of anterior cerebral artery and prefrontal oxygenation at the onset of voluntary tapping,” *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, 321(3): H518-H531, 2021.
- Asahara et al., “Regional difference in prefrontal oxygenation before and during overground walking in humans: a wearable multichannel NIRS study,” *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 322(1): R28-R40, 2021.
- Wu et al. “The visual attention at the hand-movement goal independent of the top-down attention,” *Vision Sciences Society*, 2021.
- 羽鳥ら, “仮想空間内のアバターの周囲に向けられる注意の計測,” 日本視覚学会 2021 年夏季大会

採択番号：R02/A31

非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開

[1] 組織

研究代表者

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

安達 雅春 (東京電機大学大学院工学研究科)

島田 裕 (埼玉大学工学部)

菅野 円隆 (埼玉大学大学院理工学研究科)

黒田 佳織 (東洋大学情報連携学部)

麻原 寛之 (岡山理科大学工学部)

高橋 亮 (京都先端科学大学工学部)

橘 俊宏 (湘南工科大学工学部)

関屋 大雄 (千葉大学大学院融合理工学府)

加藤 秀行 (大分大学理工学部)

安東 弘泰 (筑波大学システム情報系)

藤田 実沙 (中央大学工学部)

黒川 弘章 (東京工科大学工学部)

藤原 寛太郎 (東京大学国際高等研究所 ニューロ
インテリジェンス国際研究機構)

神野 健哉 (東京都市大学情報工学部)

池口 徹, 長谷川 幹雄, リアオハン, 後藤田 浩,

伊藤 拓海, Nina Sviridova (東京理科大学工学部)

松本 朋子 (東京理科大学理学部)

木村 貴幸, 進藤 卓也 (日本工業大学工学部)

松浦 隆文 (日本工業大学先進工学部)

保坂 亮介 (福岡大学理学部)

伊藤 佳卓 (北海道科学大学工学部)

小林 幹 (立正大学経済学部)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

実在あるいは将来の非線形・複雑工学システムに対し、最新の非線形系科学、複雑系科学、ネットワーク科学の知見を応用することにより、効率的で高性能、かつ、安全で安心な工学システムを実現する技術を開発することを目的として研究を行った。同時に、これらの実工学システムから得られた知見を、基盤となる理論研究に還元することにより、理論研究と実装技術の相補的な深化をはかることも本プロジェクトの大きな目的である。

本年度が2年目となる本プロジェクトでは、昨年度の広範な複雑システムに対する成果をさらに拡張すると共に、それぞれのシステム固有な特徴を抽出し、

さらに、各要素の設計に繋がるよう非線形複雑システムの構成論的研究を推進した。

以下、研究活動状況の概要を記す。本年度も COVID-19 の影響で、スムーズな研究活動・研究会開催等ができなかったが、関連の深い2つの共同プロジェクト研究、【R03/B06】「制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」と【R03/B08】「進化計算の機械学習への適用に関する研究」さらには12大学合同の「非線形ワークショップ」との協働で下記に示す研究会をオンラインで開催した。2日間の述べ参加人数は113名で、10件の口頭発表、19件のポスター発表があった。口頭発表者及びタイトルを以下に示す。伊藤 佳卓 (北海道科学大学)「エノン写像のパラメータ空間推定と不安定集合の検出」、辻 孟 (東北大学)「離散単語認識性能に対するカオスニューラルネットワークリザバーパラメータの影響」、内野 翔太 (岡山理科大学)「独立駆動型熱電用電力変換回路の動作解析」、藤田 実沙 (中京大学)「カオスニューロダイナミクスを用いたグラフ的シュタイナー木問題の解法のカオス性の解析」、飯塚 滉介 (東京理科大学)「強制振動が与えられた Hele-Shaw cell 内に形成される伝播火炎のダイナミクス」、朱 聞起 (千葉大学)「粒子群最適化を用いた負荷非依存 EF 級 WPT システムの最適設計」、堀尾 喜彦 (東北大学)「「自分」を持つハードウェア：脳型自律ハードウェアのための動的原自己の実現に向けて」、魏 秀欽 (千葉工業大学)「負荷非依存 EF 級インバータの解析」、山仲 芳和 (宇都宮大学)

「Gravitational particle search algorithm とその応用事例」、羅 煒森 (千葉工業大学)「Φ2 級 WPT システムの解析および設計」、石井 豪 (東北大学)「カオスニューラルネットワークリザバーにおけるオンライン学習則の忘却特性の評価」、関屋 大雄 (千葉大学)「負荷非依存 WPT システムの設計論」、加藤 秀行 (大分大学)「神経雪崩モデル構築に向けたスパイクニューラルネットワークモデルの基礎検討」。

またこの機会に、各研究班及び全体の研究打合せもオンラインで行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究プロジェクトが所掌する複雑工学システムの研究分野は広範にわたり、脳の特異的情報処理様式を実現するブレインモルフィックコンピューティングハードウェアの開発、アトラクタ再構成による非線

形系のパラメータ推定、ED 級、EF 級や E² 級電力コンバータの非線形設計手法の開発、無線電力伝送システムの設計とロボットへの応用、カオス最適化や粒子群最適化のネットワークルーティングや無線通信における周波数リソース分配などへの応用、小型レーザーカオス発振デバイスとその高速暗号及び物理リザーバ計算への応用と解析、脳神経発火パターンの解析手法の提案、ロケット火炎の解析など、非線形系・複雑系理論の工学システムへの応用に関して有用な成果が得られている。ニューラルネットワーク、複雑系ネットワーク理論、複雑集積回路技術、非線形時系列解析、脳神経系理論などを応用した成果の一例として、カオスリザーバニューラルネットワークの提案と応用、ダイナミクス解析手法の提案、3 次元集積回路実装について述べる。

従来のリザーバニューラルネットワークでは、カオスダイナミクスを導入するためにニューロン間の結合重みを調整することでネットワークを不安定化させる方法が一般的であるが、エコーステートプロパティ(ESP)が破られ、実用的な処理が行えない。そこで、ESP を保持したままで、高次元のカオスダイナミクスを導入する手法として、カオスニューラルネットワークリザーバ (CNNR) (図 1) を提案した。さらに、CNNR が通常のリザーバより少ないニューロン数で高い情報処理能力を示すことを、非線形時系列予測や音声認識への応用により確認した。

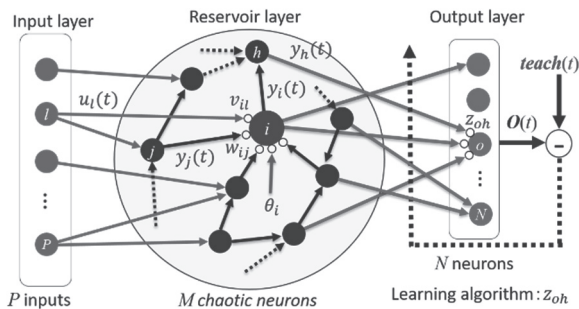


図 1 : 提案した CNNR の構成

さらに、CNNR が時系列予測タスクを実行しているときの複雑ダイナミクスを、様々な非線形動力学指標と情報理論的指標により評価し、ダイナミクスと時系列予測性能の関係を初めて明らかにした。この際、ネットワークの Memory Capacity (MC) の評価や、リザーバ層の時空間ダイナミクスの解析に加え、図 2 に示すように、横軸に時系列の複雑さの指標として順列エントロピーを、縦軸に一樣乱数との距離である Jensen-Shannon divergence の絶対値をプロットした Complexity-Entropy Causality Plane (CECP) を新たに導入し、通常では評価が困難な、時系列予測タスク実行中のダイナミクスを評価することに初めて成功した。この結果は、時系列予測タスク性能とリザーバダイナミクスの関係を初めて評価したものであり、現状では設

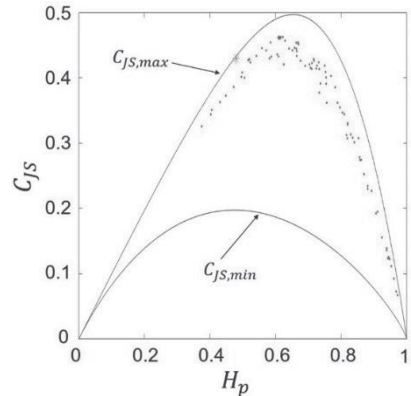


図 2 : 提案した CECP 解析の例

計指針が乏しいリザーバネットワークの有用な設計指針の一つを与える重要な成果である。

次に、CNNR の高い情報処理能力と規模の小ささを最大限に生かすため、CNNR をサイクリックで再帰的に動作する 3 次元積層集積回路として実装するための回路アーキテクチャとそのための回路を提案した。この相互結合型サイクリックニューラルネットワークアーキテクチャで CNNR を実現するための、2 層一体型カオスニューラルネットワーク集積回路を TSMC 180 nm CMOS プロセスを用いて製作し (図 3)、回路実験と MATLAB/SPICE シミュレーションにより有効性を示した。



図 3 : 3 次元積層 LSI を実装する LSI
左 : ニューロン IC 右 : 結合重みメモリ IC

(3-2) 波及効果と発展性研究分野への貢献など

本研究の学術分野への貢献として、電子情報通信学会・非線形問題研究会および複雑コミュニケーション科学研究会に大きな影響を与えると共に、国際非線形科学ワークショップにおいても多数の研究発表を行った。

また、本プロジェクト研究の成果は、科研費基盤研究(A)「ブレインモルフィックコンピューティングハードウェア基盤の構築」JSPS、R2-R6 ; 科研費挑戦的研究 (開拓) 「「自分」を持つハードウェア : 脳型自律ハードウェアのための動的原自己の実現」 JSPS、R3-R6 ; 科研費学術変革領域研究(B)「脳神経マルチセルラーバイオコンピューティング」 JSPS、R2-R4 ; 科研費基盤(B)「メタ文法規則の導出による数理言語学基盤の構築」 JSPS、R2-R6 などの採択に繋がった。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- [1] K. Fukuda and Y. Horio, "Analysis of dynamics in chaotic neural network reservoirs: Time-series prediction tasks," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 639-661, DOI: 10.1587/nolta.12.639, 2021.
- [2] T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of chaotic neural network reservoir using improved cyclic neuron circuit for stacked 3D integrated circuit," in *Proc. The 2021 Nonlinear Science Workshop*, p. NLSW-9, Online, Dec. 6-8, 2021.
- [3] Kenya Jin'no, "Analysis of particle swarm optimization by dynamical systems theory," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 2 pp. 118-132, DOI: 10.1587/nolta.12.118, 2021.
- [4] 神野 健哉, "力学系理論に基づく粒子群最適化法の解析," *電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review*, vol. 15 no. 2, pp. 70-79, DOI: 10.1587/essfr.15.2_70, 2021.
- [5] T. Fukawa, K. Jin'no, "Noise Reduction Method Focusing on Spectral Envelopment and Fine Structure of Speech," *Journal of Signal Processing*, Vol. 25, No. 6, pp. 233-237, DOI: 10.2299/jsp.25.233, 2021.
- [6] T. Saito, K. Jin'no, "Ability to generate output series for Hysteresis Reservoir Computing," *IEEE The 18th International SoC Conference*, pp. 179-180, On-line, Oct.. 6-9, 2021.
- [7] R. Takato, K. Jin'no, "A considerations for the solution search capability of PSO with micro fluctuations," *IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop*, NLSW-29, On-line, Dec. 6-8, 2021.
- [8] R. Motoki, K. Jin'no, "Estimating label of data using Fisher Criterion," *IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop*, NLSW-60, On-line, Dec. 6-8, 2021.
- [9] M. Yasumuro, K. Jin'no, "Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe," *IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop*, NLSW-44, On-line, Dec. 6-8, 2021.
- [10] T. Saito, K. Jin'no, "Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis Reservoir Computing," *IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop*, NLSW-25, On-line, Dec. 6-8, 2021.
- [11] T. Genka, K. Jin'no, "Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN," *IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop*, NLSW-59, On-line, Dec. 6-8, 2021.
- [12] R. Takato, K. Jin'no, "Training Multilayer Neural Networks with PSO," *2022 RISP International*

Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 177-180, On-line, Feb. 28-March 2, 2022.

- [13] 市川慎人, 藤田実沙, "巡回トーナメント問題に対する3種類の近傍解生成法の性能比較," *情報処理学会第84回全国大会*, 7M-03, 2022年3月5日.
- [14] 齋東龍也, 藤田実沙, "カオス時系列予測に対するカオスニューラルネットワークリザバーの性能調査," *2022年電子情報通信学会総合大会*, N-1-15, 2022年3月18日.
- [15] H. Kato, "Nonlinearity in simple phenomenological model for activity-dependent responses of target-cell specific synapses," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, Vol. 12, No. 3, pp.356-376, 2021.
- [16] 辻 孟, 堀尾喜彦, 「離散単語認識におけるカオスニューラルネットワークリザバーのパラメータの影響」, *電子情報通信学会総合大会講演論文集*, N-1-10, p. 208, March 15-18, 2022.
- [17] 石井 豪, 堀尾喜彦, 「カオスニューラルネットワークリザバーにおけるオンライン学習則の評価」, *電子情報通信学会総合大会講演論文集*, D-2-3, p. 15, March 15-18, 2022.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- [1] K. Fukuda, Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Cyclic reservoir neural network circuit for 3D IC implementation," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 309-322, DOI: 10.1587/nolta.12.309, 2021. (Invited Paper)
- [2] K. Onuki, K. Cho, Y. Horio, and T. Miyano, "Secret-key exchange through synchronization of randomized chaotic oscillators aided by logistic hash function," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers (Early Access)*, pp. 1-13, DOI: 10.1109/TCSI.2022.3140762, 2022.
- [3] S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 685-694, DOI: 10.1587/nolta.12.685, 2021.
- [4] S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, "A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12895, Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-030-86383-8_14, 2021.
- [5] Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Implementation of a chaotic neural network reservoir on a TSV/ μ bump stacked 3D cyclic neural network integrated circuit," in *Proc. 2021 IEEE International 3D*

- System Integration Conference, paper number 5b (4 pages), Online, November 16-19, 2021.
- [6] K. Kiyoyama, Y. Horio, T. Fukushima, H. Hashimoto, T. Orima, and M. Koyanagi, "Design for 3-D stacked neural network circuit with cyclic analog computing," in Proc. 2021 IEEE International 3D System Integration Conference, paper number 5a (4 pages), Online, November 16-19, 2021.
- [7] S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, "A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model," in Proc. 30th International Conference on Artificial Neural Networks, pp. 177-181, Bratislava, Slovakia, September 14-17, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-86383-8_14.
- [8] R. Hosaka, H. Watanabe, T. Nakajima, and H. Mushiake, "Theta dynamics contribute to retrieving motor plans after interruptions in the primate premotor area," *Cerebral Cortex Communications*, vol. 2, issue 4, tgab059, 2021.
- [9] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, H. Kurokawa, "An Evaluation of Parallelized Nested Layer Particle Swarm Optimization for Bifurcation Point Detection," The 53rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 1C3-1, p.42, Oct. 30, 2021.
- [10] T. Gotoh, H. Kurokawa, H. Matsushita, T. Kousaka, "Local Bifurcation Points Derivation Method in Autonomous Systems Using Particle Swarm Optimization," The 53rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 1C1-3, p.38, Oct. 30, 2021.
- [11] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, H. Kurokawa, "Bifurcation Point Detection with Parallel Nested Layer Particle Swarm Optimization," 2021 Nonlinear Science Workshop, NLSW-14, Dec. 6, 2021.
- [12] R. Adachi, H. Matsushita, H. Kurokawa, T. Kousaka, "Proposal of a Bifurcation Point Search Method Based on Differential Evolution," IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, pp.41-43, Dec. 4, 2021.
- [13] 長谷川朝, 松下春奈, 高坂拓司, 黒川弘章, "並列化 NLPSO による分岐点導出," 2021NOLTA ソサイエティ大会, NLS-35, 2021年6月12日.
- [14] 安達良, 松下春奈, 黒川弘章, 高坂拓司, "差分進化による離散力学系における分岐点探索の性能調査," 信学技報 no. NLP2021-6, pp.24-27, 2021年6月.
- [15] 川下 貴士, 松下 春奈, 黒川 弘章, 高坂 拓司, "数値微分を利用した PSO による1次元写像の分岐点探索," 令和3年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会講演論文集 no.1-14, p.14, 2021年9月.
- [16] 後藤友綺, 黒川弘章, 松下春奈, 高坂拓司, "粒子群最適化を用いた自律系の局所的な分岐点導出法," 信学技報, no. NLP2021-35, pp.1-4, 2021年11月.
- [17] 川下 貴士, 松下 春奈, 黒川 弘章, 高坂 拓司, "数値微分を利用した PSO による離散力学系での分岐点探索," 信学技報, no. NLP2021-52, pp.44-47, 2021年12月.
- [18] 平山 鷹哉, 松下 春奈, 黒川 弘章, 高坂 拓司, "改良型入れ子構造型粒子群最適化による分岐点導出法の2次元離散力学系への適用," 信学技報, no. NLP2021-53, pp.48-51, 2021年12月.
- [19] H. Tsushima, T. Matsuura, T. Ikeguchi, "Searching Strategies with Low Computational Costs for Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem," *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 5, 2675, DOI: 10.3390/app12052675, 2022.
- [20] H. Tsushima, T. Matsuura and T. Ikeguchi, "Strategy for Exploring Feasible and Infeasible Solution Spaces to Solve a Multiple-Vehicle Bike Sharing System Routing Problem," *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 16, 7749, DOI: 10.3390/app11167749, 2021.
- [21] S. Kanamaru, Y. Shimada, K. Fujiwara and T. Ikeguchi, "Performance evaluation of chaotic random numbers generated from responses of integer logistic maps," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, Vol.12, No. 3, 489-499, DOI: 10.1587/nolta.12.489, 2021.
- [22] K. Kasahara, Y. Shimada, K. Fujiwar and T. Ikeguchi, "Analysis on the mechanism of enhancing insulin secretion by TRPM2 channel in a pancreatic β -cell," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, Vol.12, No. 3, 500-511, DOI: 10.1587/nolta.12.500, 2021.
- [23] K. Sawada, Y. Shimada and T. Ikeguchi, "Possibility of Reconstructing Nonlinear Dynamical System from Marked Point Process," *Journal of Signal Processing, RISP*, Vol. 25, No. 4, pp. 127-131, DOI: 10.2299/jsp.25.127, 2021.
- [24] H. Tsushima and T. Ikeguchi, "Statistical analysis on usage history of bike sharing systems," *Proceedings of Nonlinear Science Workshop*, p.32, 2021.
- [25] K. Sawada, Y. Shimada and T. Ikeguchi, "Estimating Appropriate Parameters of State Space Reconstruction," *Proceedings of Nonlinear Science Workshop*, p.19, 2021.
- [26] K. Magishi, T. Matsumoto, Y. Shimada and T. Ikeguchi, "Investigation of Structural Features of Word Co-occurrence Network with Varying the Number of Connected Words," *Proceedings of Nonlinear Science*

- Workshop, p.48, 2021.
- [27] L. Xu, K. Sawada, Y. Shimada and T. Ikeguchi, "Analysis of the Influence of Contact Order on Information Diffusion by Surrogate Temporal Network," Proceedings of Nonlinear Science Workshop, 2021.
- [28] Y. Tsukamoto, H. Tsushima, and T. Ikeguchi, "Non-Periodic Responses of the Izhikevich Neuron Model with Periodic Inputs," Proceedings of Nonlinear Science Workshop, p.54, 2021.
- [29] M. Fujita, T. Saito, "Solving the Steiner Tree Problem in Graphs with a Chaotic Neural Networks: a Time-Series Analysis of the Objective Function Value," in Proceedings of the 53rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Oct. 2021.
- [30] 板倉弘樹, 藤田実沙, "巡回セールスマン問題に対する「共通部品」の利用が解探索性能に与える影響の調査," 情報処理学会第84回全国大会, 7M-05, 2022年3月5日.
- [31] 藤田実沙, "組合せ最適化問題を解くカオスニューラルネットワークのカオス性の解析," 2022年電子情報通信学会総合大会, 若手研究者弾丸プレゼン, 2022年3月15日.
- [32] K. Koyama, H. Ando, K. Fujiwara, "Multiple transition of synchronization by interaction of external and internal forces in bursting oscillator networks", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 545-553, DOI: 10.1587/nolta.12.545, 2021.
- [33] K. Kasahara, Y. Shimada, K. Fujiwara, T. Ikeguchi, "Analysis on the mechanism of enhancing insulin secretion by TRPM2 channel in a pancreatic β -cell", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 500-511, DOI: 10.1587/nolta.12.500, 2021.
- [34] S. Kanamaru, Y. Shimada, K. Fujiwara, T. Ikeguchi, "Performance evaluation of chaotic random numbers generated from responses of integer logistic maps", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 489-499, DOI: 10.1587/nolta.12.489, 2021.
- [35] 小山慧太, 安東弘泰, 藤原寛太郎, "膝 β 細胞の数理モデルにおけるバーストの効率的な律動化", 信学技報, vol. 121, no. 253, CCS2021-31, pp. 79-83, 2021年11月.
- [36] 品川大樹, 藤原寛太郎, 田中剛平, "教師なしパターン認識のためのスパイクニューラルネットワークにおけるスパース結合の影響", 信学技報, vol. 121, no. 444, NLP2021-140, pp. 71-76, 2022年3月.
- [37] A. Nakamura, T. Phung-Duc, H. Ando, "Queueing Analysis of a Car/Ride-Share System", Annals of Operations Research, Vol. 310, pp. 661-682, 2021.
- [38] H. Ando, H. Chang, "A model of computing with road traffic dynamics", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 12, No. 2, pp. 175-180, 2021.
- [39] T. Okamoto, H. Ando, K. Wada, R. Mukai, Y. Nishiumi and D. Tamagawa, "Predicting Traffic Breakdown in Urban Expressways Based on Simplified Reservoir Computing", Proceedings of AAAI 2021 AI for Urban Mobility Workshop, 4 pages, Online, 2021.
- [40] H. Chang, H. Ando, "Privacy-Preserving Data Sharing by Integrating Perturbed Distance Matrices", SN Computer Science, Vol. 1, No. 3, 121, 2020.
- [41] H. Kato: "Analyses on effects of target-specific plasticity in recurrent neuronal networks," Proceedings of Nonlinear Science Workshop, NLSW-55, 2021.
- [42] 川口雅斗, 加藤秀行, "ネットワークモチーフによる力学系の時系列分類法の一検討," 電子情報通信学会 2022年講演論文集, N-1-20, p.218, 2022.
- [43] 新川拓海, 加藤秀行, "リザーバーコンピューティングを用いた視覚情報処理モデルの構築に向けた階層的ネットワークの解析," 電子情報通信学会非線形問題研究会 信学技報, vol. 121, no. 444, NLP2021-130, pp. 23-28, 2022.
- [44] 清水翔, 加藤秀行, "異なる内部状態のニューラルネットワークの発達過程の解析," 電子情報通信学会 非線形問題研究会 信学技報, vol. 121, no. 444, NLP2021-138, pp. 61-66, 2022.
- [45] Y. Horiguchi, Y. Ito, A. Li, M. Hasegawa, "A Localization Method Based on Partial Correlation Analysis for Dynamic Wireless Network," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences, vol. E105-A, no. 3, pp. 594-597, DOI: 10.1587/transfun.2021EAL2038, 2022.
- [46] H. Kanemasa, A. Li, Y. Ito, N. Chauvet, M. Naruse, M. Hasegawa, "Dynamic Channel Bonding in WLANs by Hierarchical Laser Chaos Decision Maker," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. E13-N, no. 1, pp. 84-100, DOI:10.1587/nolta.13.84, 2022.
- [47] Z. Duan, A. Li, N. Okada, Y. Ito, N. Chauvet, M. Naruse, M. Hasegawa, "User pairing using laser chaos decision maker for NOMA systems," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. E13-N, no.1, pp.72-83, DOI:10.1587/nolta.13.72, 2022.
- [48] M. Shimomura, N. Chauvet, M. Hasegawa, M. Naruse, "Experimental demonstration of channel order recognition in wireless communications by laser chaos time series and confidence intervals," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 13, no. 1, pp. 101-111, DOI: 10.1587/nolta.13.101, 2022.
- [49] K. Oshima, D. Yamamoto, A. Yumoto, S. Kim, Y. Ito,

- M. Hasegawa, "Online machine learning algorithms to optimize performances of complex wireless communication systems," *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 2056-2094, DOI: 10.3934/mbe.2022097, 2021.
- [50] S.-J. Kim, H. Yasuda, R. Kitagawa, M. Hasegawa, "Resource allocation method using tug-of-war-based synchronization," *IEICE Communications Express*, vol. 10, no. 12, pp. 1021-1025, DOI: 10.1587/comex.2021XBL0165, 2021.
- [51] C. Tanaka, K. Honda, A. Li, F. Peper, K. Leibnitz, K. Theofilis, N. Wakamiya, M. Hasegawa, "Performance evaluation of pulse-based multiplexing protocol implemented on massive IoT devices," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 12, no. 4, pp. 726-737, 2021.
- [52] K. Kurasawa, K. Hashimoto, A. Li, K. Sato, K. Inaba, H. Takesue, K. Aihara, M. Hasegawa, "A High-Speed Channel Assignment Algorithm for Dense IEEE 802.11 Systems via Coherent Ising Machine," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol.10, no.8, pp.1682-1686, DOI: 10.1109/LWC.2021.3077311, 2021.
- [53] F. Peper, K. Leibnitz, C. Tanaka, K. Honda, M. Hasegawa, K. Theofilis, A. Li, N. Wakamiya, "High-Density Resource-Restricted Pulse-Based IoT Networks," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 5,no. 4, pp. 1856-1868, DOI: document/9459186, 2021.
- [54] T. Onishi, A. Li, S.-J. Kim, M. Hasegawa, "A Reinforcement Learning Based Collision Avoidance Mechanism to Superposed LoRa Signals in Distributed Massive IoT Systems," *IEICE Communications Express*, vol. 10, no.5, pp. 289-294, DOI: 10.1587/comex.2021XBL0033, 2021.
- [55] M. Sugiyama, A. Li, Z. Duan, M. Naruse, M. Hasegawa, "BER Minimization by User Pairing in Downlink NOMA Using Laser Chaos-Based MAB Algorithm," *The 4th International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication*, pp. 421-426, DOI: 10.1109/ICAIIIC54071.2022.9722683, 2022.
- [56] N. Wakamiya, K. Leibnitz, F. Peper, M. Hasegawa, "Evaluation and Optimization of Asynchronous Pulse Code Multiple Access Scheme," *Proceedings of The 2021 Nonlinear Science Workshop*, 2021.
- [57] N. Fujita, N. Chauvet, A. Röhm, R. Horisaki, A. Li, M. Hasegawa, M. Naruse, "Proposal of efficient algorithms for large scale pairing," *International Conference on Emerging Technologies for Communications*, pp. A1-4, DOI:10.34385/proc.68.A1-4, 2021.
- [58] Y. Watanabe, S. Hasegawa, M. Hasegawa, Y. Shoji, "Piggy-back Network to Enable Beyond5G Society Supported by Autonomous Mobilities: Transaction Record Management with DAG-based Distributed Ledger," *Proceedings of The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, pp. 422-427, DOI: 10.1109/WPMC52694.2021.9700435, 2021
- [59] K. Kuwata, Y. Ito, A. Li, Y. Shoji, Y. Watanabe, S. Hasegawa, M. Hasegawa, "Piggy-back Network to enable Beyond 5G Society supported by Autonomous Mobilities: Evaluation of End-to-End Throughput on Optimized Piggy-back Networks," *Proceedings of The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, pp. 433-437, DOI: 10.1109/WPMC52694.2021.9700436, 2021.
- [60] S. Hasegawa, Y. Watanabe, M. Hasegawa, Y. Shoji, "Piggy-back Network to Enable Beyond 5G Society Supported by Autonomous Mobilities: Application of MAB Algorithm for Data Synchronization Between Distributed Collaborative Robots," *Proceedings of The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, pp. 428-432, DOI: 10.1109/WPMC52694.2021.9700441, 2021.
- [61] Y. Shoji, K. Nakauchi, Y. Watanabe, S. Hasegawa, M. Hasegawa, "Piggy-back Network to enable Beyond5G Society supported by Autonomous Mobilities: Concept, Key technologies & Prototyping on a Service Robot Platform," *Proceedings of The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, pp. 416-421, DOI: 10.1109/WPMC52694.2021.9700426, 2021.
- [62] A. Li, M. Fujisawa, I. Urabe, R. Kitagawa, S.-J. Kim, M. Hasegawa, "A Lightweight Decentralized Reinforcement Learning Based Channel Selection Approach for High-Density LoRaWAN," *2021 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, DOI: 10.1109/DySPAN53946.2021.9677146, 2021.
- [63] K. Honda, F. Peper, A. Nakamura, A. Li, Y. Ito, K. Leibnitz, K. Theofilis, N. Wakamiya, M. Hasegawa, "Design and Implementation of Pulse-Based Protocol with Chirp Spread Spectrum for Massive IoT," *International Symposium on Communications and Information Technologies*, pp. 172-175, DOI: 10.1109/ISCIT52804.2021.9590587, 2021
- [64] R. Kitagawa, A. Li, Y. Ito, M. Hasegawa, S. Hasegawa, S. Kim, "Experimental Evaluation of Reinforcement Learning Based Channel Selection in Distributed IoT Systems," *MITA2021 Proceedings*, p. 211, 2021.

- [65] K. Hashimoto, K. Kurasawa, Y. Ito, A. Li, K. Sato, M. Hasegawa, K. Inaba, H. Takesue, K. Aihara, "Performance Evaluation of High-Speed Channel Assignment in Dense Wireless LANs by Coherent Ising Machine," MITA2021 Proceedings, p. 210, 2021.
- [66] T. Otsuka, K. Kurasawa, Z. Duan, A. Li, K. Sato, H. Takesue, K. Aihara, K. Inaba, M. Hasegawa, "Coherent Ising Machine Based Optimal Channel Allocation and User Pairing in NOMA Networks," International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, DOI: 10.1109/ICAIIIC51459.2021.9415221, 2021.
- [67] Z. Duan, N. Okada, A. Li, M. Naruse, N. Chauve, M. Hasegawa, "High-speed Optimization of User Pairing in NOMA System Using Laser Chaos Based MAB Algorithm," International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, pp. 073-077, DOI: 10.1109/ICAIIIC51459.2021.9415234, 2021.
- [68] H. Kanemasa, A. Li, M. Naruse, N. Chauvet, M. Hasegawa, "Dynamic Channel Bonding Using Laser Chaos Decision Maker in WLANs," International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, pp. 078-082, DOI: 10.1109/ICAIIIC51459.2021.9415227, 2021.
- [69] 北川諒真, 磯谷亮介, 安田裕之, 吉田宜史, 金成主, 長谷川幹雄, "強化学習に基づくチャネルマスクを用いた BLE アドバタイジングの低消費電力化," 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 121, no. 393 SRW2021-65, pp. 1-6, 2022.
- [70] 本多顕太郎, 中村 敦, F. Peper, K. Leibnitz, K. Theofilis, 若宮直紀, 長谷川幹雄, "CSS-APCMA 方式を実装した 500 台の送信機を用いた高密度通信の性能評価," 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, n-2, 11, p. 238, 2022.
- [71] 中村 敦, F. Peper, 本多顕太郎, L. Kenji, K. Theofilis, 若宮直紀, 長谷川幹雄, "チャープスペクトル拡散を用いた APCMA 方式の GNU Radio/USRP を用いた性能評価," 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, n-2, 12, p.239, 2022.
- [72] K. Leibnitz, F. Peper, N. Wakamiya, M. Hasegawa, "On Asynchronous Pulse Coding and Carrier Sense Multiple Access," 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, n-2, 9, p. 236, 2022.
- [73] 若宮直紀, ライプニッツ 賢治, ペーパー フェルディナンド, 長谷川幹雄, "非同期パルス符号多重通信 APCMA におけるメッセージ分割・結合による性能向上," 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, n-2, 10, p. 237, 2022.
- [74] 藤田尚輝, N. Chauvet, A. Röhm, 堀崎遼一, 李 傲寒, 長谷川幹雄, 成瀬 誠, "巡回セールスマン問題としてのペアリング最適化と高効率アルゴリズム," 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, n-2, 16, p. 243, 2022.
- [75] 藤田嗣雲, 伊藤友輔, 古閑宏幸, 長谷川幹雄, "モバイルエッジコンピューティングにおける符号化キャッシングの最適化手法に関する検討," 電気学会研究会資料(通信研究会), CMN-22, 004, pp. 15-18, 2022.
- [76] 杉山真規, 李 傲寒, 段 増朝, 成瀬 誠, 長谷川幹雄, "レーザカオスによる超高速意思決定を用いた NOMA におけるペアリング最適化," 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, 2021.
- [77] 藤澤 稔, 李 傲寒, 浦邊郁実, 北川諒真, 伊藤友輔, 金 成主, 安田裕之, 長谷川幹雄, "MAB に基づくチャネル選択アルゴリズムの LoRa デバイスへの実装と実験評価," 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, 2021.
- [78] 湯本貴裕, 大島浩嗣, 伊藤友輔, 李 傲寒, 長谷川幹雄, "長距離長遅延宇宙通信における機械学習を用いたクロスレイヤ最適化," 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, 2021.
- [79] 藤田尚輝, Nicolas Chauvet, Andre Roehm, 堀崎遼一, 李 傲寒, 長谷川幹雄, 成瀬 誠, "非直交多元接続方式 (NOMA) における探索削減アルゴリズムの提案," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会講演論文集, n-2, 6, 2021.
- [80] 桑田 和輝, 伊藤 友輔, 李 傲寒, 莊司 洋三, 渡辺 良人, 長谷川 聡, 長谷川 幹雄, "Piggy-back Network における車両割り当てと経路の最適化手法に関する検討," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, 2021.
- [81] 山本大輔, 古川穂南, 伊藤友輔, 李傲寒, 金成主, 長谷川幹雄, "大規模モバイルIoT 環境における強化学習を用いた自律分散型チャネル選択手法の評価," 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 121, no. 30, SR2021-11, pp. 73-78, 2021.
- [82] A. Komanaka, W. Zhu, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Generalized Analysis of Load-Independent ZCS Parallel-Resonant Inverter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 69, Issue 1, pp. 347-356, DOI: 10.1109/TIE.2021.3053888, 2022.
- [83] 足立 淳, 鈴木紗衣, 木村貴幸, 最適な充電方法を用いた電気トラックによる時間枠制約付き配送計画問題, 電子情報通信学会信学技報, NLP2021-4, pp. 14-19, 2021.

- [84] 足立 淳, 松浦隆文, 木村貴幸, 電気自動車による時間枠制約付き配送計画問題に対する局所探索に関する一考察, 電子情報通信学会信学技報, Vol. 121, No. 335, NLP2021-104, pp.143-148, 2022.
- [85] 平木 幸之助, 足立 淳, 木村 貴幸, トラフィックネットワークに対する複数の経路制御手法を用いた場合の性能調査, 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 121, No. 307, NLP2021-51, pp. 38-43, 2021.
- [86] C. Xuan, S. Tian, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Decentralizing Private Blockchain-IoT Network with OLSRm" *Future Internet*, vol.13, Issue 7:168, 2021.
- [87] K. Nguyen, P. L. Nguyen, Z. Li, and H. Sekiya, "Empowering 5G Mobile Devices with Network Softwarization," *IEEE Transaction on Network and Service Management*, vol.18, Issue 3, pp.2492-2501, 2021.
- [88] M. Muraguchi, R. Nakaya, S. Kawahara, Y. Itoh, and T.Suko, "Investigation of features for prediction modeling of nano-scale conduction with time-dependent calculation of electron wave packet," *Japanese Journal of Applied Physics*, DOI: 10.35848/1347-4065/ac45a5, 2021.
- [89] Y. Itoh and M. Adachi, "Reconstructing one- and two-bifurcation diagrams of all components in the Rossler equations only from time-series data sets," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol.12, no.3, pp.391-398, DOI: 10.1587/nolta.12.391, 2021.
- [90] K. Kawahara, Y. Ogra, Y. Itoh, T. Suko and M. Muraguchi, "Modeling of Quantum Electron Transmission Process in Two-dimensional Nanowire System using Recurrent Neural Network," 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, P22-2, 2021.
- [91] 山下政司, 伊藤佳卓, "緊張パフォーマンス課題と緊張緩和法に関する基礎的検討", 信学技報, 121 巻 337 号, pp.135-139, 2022 年.
- [92] 伊藤佳卓, "パラメータ空間推定による植生バイオマスモデルの臨界点予測のダイナミカルノイズに対するロバスト性の検証", 電子情報通信学会 技術研究報告, 121 巻 335 号, pp.13-16, 2022 年.
- [93] 小倉 佑斗, 河原 圭汰, 伊藤 佳卓, 須子 統太, 村口 正和, "電子密度分布の時間発展データを用いたナノスケール半導体中の不純物分布予測モデル", 令和3年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2021 年.
- [94] 深澤 大心, 北間 正崇, 山下 政司, 菊池 明泰, 横山 徹, 伊藤 佳卓, 小島 洋一郎, 清水 孝一, "内シヤント光透視における血管内径抽出の自動化に向けての基礎的検討 -機械学習モデル導入の試み-", 令和3年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2021 年.
- [95] 伊藤 佳卓, 山下 政司, "CNN を用いた血圧波解析による快・不快の感情識別の試み", 第 60 回日本生体医工学会大会北海道支部大会, 2021 年.
- [96] 山下 政司, 伊藤 佳卓, 相川 武司, 横山 徹, 北間 正崇, "異なる感覚モダリティにおける快刺激に対する生体反応の調査", 第 60 回日本生体医工学会大会・第 36 回日本生体磁気学会大会, 2021 年.
- [97] 伊藤 佳卓, "分岐図推定による植生バイオマスモデルの臨界点予測", 2021 NOLTA ソサイエティ大会, PM-1-2, 2021 年.
- [98] Y. Sakakibara and Y. Shimada, "Estimation of degrees of vertices in a network structure inference problem with unobservable vertices," *Proceedings of the 2021 Nonlinear Science Workshop, NLSW-66*, 2021.
- [99] C. Haga and Y. Shimada, "Analysis on the relationship between tissue-specific gene expression and subgraphs in gene regulatory networks," *Proceedings of the 2021 Nonlinear Science Workshop, NLSW-47*, 2021.
- [100] M. Fukuya, T. Matsumoto, Y. Shimada, and T. Ikeguchi, "An investigation of basic emotions by colexification network," *RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2022*, pp. 1-4, 2022.
- [101] Y. Nomi, H. Gotoda, S. Fukuda, and C. Almarcha, "Complex network analysis of spatiotemporal dynamics of premixed flame in a Hele-Shaw cell: A transition from chaos to stochastic state," *Chaos*, vol. 31, 123133, DOI: doi.org/10.1063/5.0070526, 2021.
- [102] H. Asahara and T. Kousaka, "Stability analysis based on monodromy matrix for switched dynamical systems," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 3, pp. 237-256, DOI: 10.1587/nolta.12.237, 2021.
- [103] 麻原寛之, 内野翔太, 高坂拓司, "排熱発電用電力変換回路," *システム/制御/情報*, vol. 65, no. 6, pp. 213-218, DOI: 10.11509/isciesci.65.6_213, 2021.
- [104] S. Uchino, T. Kousaka and H. Asahara, "Relationship of bifurcation and power conversion efficiency in DC-DC converter with TEM," 2021 IEEE International Future Energy Electronics Conference, pp. 1-6, DOI: 10.1109/IFEEEC53238.2021.9661889, 2021.

採択番号：R02/A32

多感覚音空間知覚の規定因に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

本多 明生（静岡理科大学情報学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

鈴木 陽一（東北文化学園大学工学部）

延べ参加人数：3人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

大容量通信が可能となった現在、次世代通信技術には「量」だけでなく、高臨場感が得られる「質」を兼ね備えた情報通信システムの構築が求められている。そのようなシステムを構築するうえでは、システム内でユーザが示す様々な反応から得られる情報をシステムに適切に反映させることが重要となる。

研究代表者は、上述の考えのもと、通研担当教員とともに、平成26年度から平成28年度に、東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト（先端的研究推進型・若手研究者対象型）「動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究」（採択番号：H26/A13）、平成29年度から平成31年度（令和元年度）に、東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト（先端的研究推進型・若手研究者対象型）「多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究」（採択番号：H29/A22）の助成を受けて、共同研究を行ってきた。その結果、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えばHonda et al., 2020）。この知見は、頭部運動中は、聴取者には、高精細な動的な手掛かりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており、アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行う際に応用することが可能である。したがって、これまでの共同研究からは、多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解し、それをシステムに

適切に反映させるうえで重要な研究成果を得ている。

本共同研究プロジェクト（先端的研究支援型）「多感覚音空間知覚の規定因に関する研究」（採択番号：R02/A32）では、研究代表者と通研担当教員のこれまでの共同研究を一層発展させて、多感覚音空間知覚の規定因に関する知見をまとめ、今後の展開についても検討を行う予定である。

前年度（令和2年度）は、Springer International Publishing から刊行された書籍「The Technology of Binaural Understanding」に、これまでの研究展開を包括的にまとめた論文を発表した。さらに日本音響学会誌に「頭部運動と音像定位」というレビュー論文を発表した。

本年度（令和3年度）は、未発表の状態の実験データの論文化に取り組むことで多感覚音空間知覚の規定因に関する考察を深化させることを計画した。

その結果、i-Perception 誌に「Auditory Subjective-Straight-Ahead Blurs during Significantly Slow Passive Body Rotation」、Applied Sciences 誌に「Effects of Visually Induced Self-Motion on Sound Localization Accuracy」という論文を発表することができた。

したがって、前年度と本年度の研究によって、本研究で予定していた「多感覚音空間知覚の規定因に関する考察を深化させる」という計画は高い水準で順調に達成することができたと考えている。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

- (1) 2021年5月20日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (2) 2021年6月16日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (3) 2021年7月7日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (4) 2021年8月4日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (5) 2021年9月16日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (6) 2021年10月11日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。

- (7) 2021年11月17日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (8) 2021年11月19日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (9) 2021年11月24日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (10) 2021年12月15日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (11) 2022年2月14日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (12) 2022年3月22日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行う予定である。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

人間の多感覚音空間知覚における情報処理過程に関しては依然として不明確な部分が多い。例えば、聴取者の動的手がかりと音空間知覚の関係を調べた研究からは、聴取者の頭部運動によって得られる動的手がかりが音空間知覚に効率的に寄与することが報告されているが（例えばIwaya et al., 2003）、その一方で、聴取者の頭部運動によって音空間知覚に歪みが生じることも報告されている（Cooper et al., 2008）。

研究代表者は、通研担当教員とともに、頭部運動の最中に音像を移動させた場合は、聴取者は音像の移動を検知することが困難となることを示す知見を得た（Honda et al., 2016）。さらに、共同研究を継続した結果、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（Honda et al., 2020, 2022）。2021年度の研究成果は、その抑制効果が視覚誘導性自己運動感覚によっても生じることを示すもので画期的である（Honda et al., 2022）。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究代表者は、通研担当教員とともに、世界に先駆けて、頭部運動が行われている最中に音像を移動させた場合は、聴取者は音像の移動を検知できなくなることを示した（Honda et al., 2016）。その後の研究によって、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えばHonda et al.,

2020）。

この知見は、頭部運動中は、聴取者には、高精細な動的な手がかりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており、アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行う際に応用することが可能である。例えば、研究成果を工学的に応用することによって、聴覚ディスプレイをはじめとする様々な音環境提示装置の高度化の実現やそのような装置を基盤とした高臨場感・超臨場感通信技術を創生することができるだろう。以上のように、これまでの共同研究からは、多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解し、それをシステムに適切に反映させるうえで重要な研究成果を得ている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

1. Honda, A., Tsunokake, S., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2022). Auditory Subjective-Straight-Ahead Blurs during Significantly Slow Passive Body Rotation. *i-Perception*, 13 (1), 1-5.
2. Honda, A., Maeda, K., Sakamoto, S., & Suzuki, Y. (2022). Effects of Visually Induced Self-Motion on Sound Localization Accuracy. *Applied Sciences*, 12 (1), 173.

採択番号 (Grant No.) : R02/A33

脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ/

メモリコンピューティング基盤の研究

In-Storage/Memory Computing Platform for Brain Neuro Science

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Yoichiro Tanaka

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Yoichiro Tanaka

研究分担者 (Project Member List) :

Yosuke Bando, MIT

Ed Boyden, MIT

Yoshihiko Horio, RIEC

Takahiro Hanyu, RIEC

Simon Greaves, RIEC

Yuki Kawada, RIEC

Prof. Tanaka (RIEC), and Kioxia. The visualization software has been in operation on the testbed in Tanaka & Greaves lab under license for the application performance evaluation.

(4) Research Collaboration;

Collaborative actions on computation for neuroscience between Prof. Tanaka and Synthetic Neurobiology team, Media Lab, MIT were conducted in fiscal year 2021 as a continuation part of 7-year collaboration. High resolution neural structure data of *Drosophila*'s whole brain and Mouse hippocampus was provided to Tanaka & Greaves lab. by MIT for 3D-visualization analytics.

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

The purpose was set to establish the PB-class high performance in-storage/memory computing system at the edge of data-heavy neuro-science analytics application and to contribute data-driven life science research.

Followings are the research status of this project;

(1) Building Magnetic Storage Pools;

In order to construct in-storage/memory computation testbed, five GPU/CPU-based computer nodes and seven magnetic recording storage nodes have been installed and launched in operation in Tanaka & Greaves Lab, RIEC. The total storage capacity in the testbed system was increased to about 2 PB.

(2) Installing All-Flash Storage Pools for Performance Enhancement;

In addition to magnetic storage system, an all-flash NVMe-over-Fabric storage node and an all-flash SATA-SSD storage node were installed in the storage & compute testbed system to enhance the data access performance of the testbed up to 100Gbps. Both all-flash storage nodes enable fast data access and caching through the system.

(3) 3D Visualization Analytics of Neuron Structure;

A 3D visualization software "BrainTour" was developed in collaborative project by MIT Media Lab,

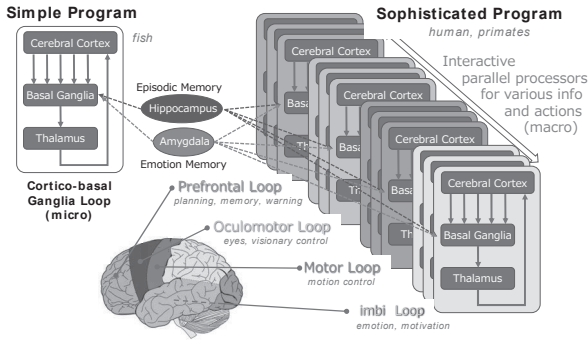
[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

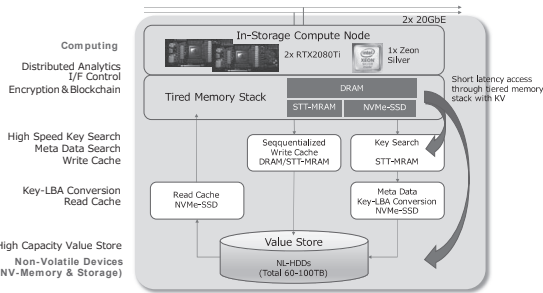
In the international collaboration between MIT Media Lab and RIEC, Tohoku Univ. on the research of the new in-storage/memory computing platform for brain neuro-science, the inter-discipline academic approach has been strongly enhanced to unveil the microscopic and multi-scale neuron topological analytics as well as the functions with intelligent in-storage/memory computation scheme. The collaboration also establishes the important academic foundation between MIT Media Lab and RIEC as opportunities of future joint research projects such as in-situ expansion sequencing computation or whole brain neuromorphic analytical computation.

Brain Inspired In-Storage/Memory Computing Architecture:

In the research project, a functional and structural similarity between real brain and in-memory/storage computation has been focused and studied. Fig.1 shows the functional structure of brain (a) and the inspired computational storage module (b) which corresponds to brain's "Cortico-basal Ganglia Loop".



(a) Parallel Cortico-basal Ganglia network as a reference for brain-inspired computing



(b) Modularized Computational Storage unit

Fig.1 Brain inspired architecture of in-memory/storage computing

In order to construct the efficient computational structure, the team has established close unification of computation and storage functions in the testbed system as shown in Fig.2 enclosing;

- Multiple GPU-based computing nodes (total 5 nodes) with total 1TB working memory space for neuro imaging
- 2 PB capacity PMR-HDD storage pools with total 9 storage nodes
- NVMe over Fabric high performance flash storage with 100Gb/s connection to compute
- Ceph-based distributed object storage function

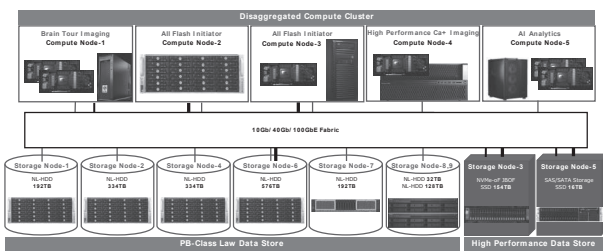


Fig.2 Diagram of constructed in-memory/storage computing testbed with 2PB storage capacity

3D-Neuron Dataset Access Performance Evaluation:

The computational storage testbed employs Ceph-based distributed object storage system with 2PB storage capacity. The data access performance was benchmarked to indicate that Ceph cluster achieved 1.2GB/s sequential write throughput as well as 9kIOPS random read/write performance depending on the Ceph configuration.

The data loading time to 3D-visualization software tool “BrainTour” for Drosophila neuron microscope images was characterized by using a network protocol analyzer as shown in Fig.3. The Ceph system showed shorter launch time than 20-drive RAID0 reference, indicating the potential room for structural optimization.

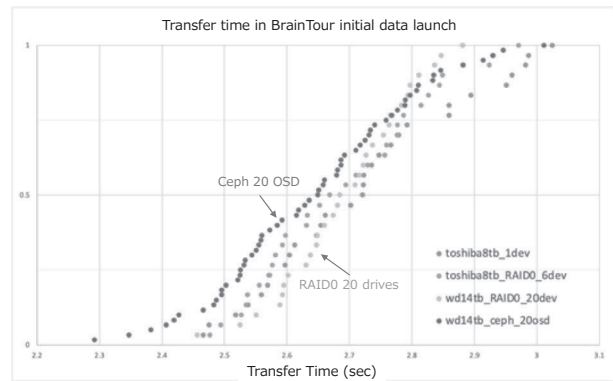


Fig.3 Cumulative probability distribution of access latency for Drosophila neuron data from disaggregated Ceph and RAID storage pool

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

The in-storage/memory computing testbed has been launched in operation and the performance was tested with big neuron structure microscope data supplied by Media Lab., MIT. The continued efforts have lead the extended research projects supported by Grant-in-Aid for Scientific Research (B) 20H02194 for joint research of neuroscience and computational storage, and Yotta Informatics research project. The constructed in-storage/memory computing platform is being applied to “The Greenest Are Project” at the edges of computational storage network.

[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)

・ Y. Tanaka, Computational Storage Platform for Brain Neural Structure Analytics, RIEC International Symposium Symposium of Yotta Informatics research Platform for Yotta-Scale Data Science, 2022

(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)

・ Y. Tanaka, Data Storage Consideration in Brain Inspired Application, Brain Inspired Computing, Physics, Architectures, Materials, and Applications (BICPAMA), C-2, 2021

・ 田中陽一郎, ライフサイエンスデータ解析に向けたコンピューショナル・ストレージ, 東北大学産学官フォーラム 2021, 2021

・ 川田, 田中, 脳神経細胞構造可視化アプリケーションを用いた大容量ストレージシステムのデータアクセス性能の評価検討, 電気関係学会東北支部連合大会, 2F05, 2021

採択番号：R03/A01

宇宙応用へ向けたスピントロニクスデバイスの放射線影響に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

渡部 杏太 (宇宙航空研究開発機構)

通研対応教員：

深見 俊輔 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

竹内 浩造 (宇宙航空研究開発機構)

陣内 佛霖 (東北大学材料科学高等研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本研究の目的は、スピントロニクスデバイスの宇宙応用へ向け、その放射線影響を評価し、メカニズムを明らかにすることである。

太陽から離れた深宇宙探査等をミッションとする宇宙機のエネルギー制約は大きく、宇宙用の集積回路 (LSI) には低消費電力であることが要求され、その解として不揮発性デバイスが注目されている。一方で、LSI への放射線入射は誤動作の原因となることが知られており、宇宙環境では高エネルギーの放射線に曝されるため、耐放射線性も求められる。

近年注目を集める次世代不揮発性デバイスの一つに磁気抵抗メモリ (STT-MRAM) があり、その中核はスピントロニクスデバイス (磁気トンネル接合) が担っている。磁気トンネル接合の放射線影響は、最小 42 nm 径 (次世代不揮発性デバイスで最小) まで調べられており、直径が 50 nm 以下の時に初めて放射線誘起の磁化反転 (ソフトエラー) を観測され、スピントロニクスデバイスの放射線影響は微細化によって初めて見えてくるということが判っている。しかしながら一方で、そのメカニズムは未解明のままとなっている。

本研究では、世界トップレベルのスピントロニクスデバイス微細加工技術を有する東北大学電気通信研究所と、半導体デバイスにおける放射線影響評価に関する研究や宇宙用 LSI 開発の実績の蓄積のある宇宙航空研究開発機構の共同プロジェクト研究として実施することで、スピントロニクスデバイスの放射線影響を評価、解明することを目的とする。

微細なスピントロニクスデバイス (磁気トンネル接合) の放射線影響評価の難しさの一つに、その素子の小ささによる、放射線を実験的に命中させることの難しさがある。本研究では、深見研究室において近年確立された実験用スピントロニクスデバイスである磁

性ナノドットアレイを用いて、この難しさの克服を試みる。スピントロニクスデバイスの放射線影響評価に磁性ナノドットアレイを用いた例はなく、本研究が初の試みとなる。磁性ナノドットアレイは、多数の磁性ナノドットが金属材料のホールバー上に形成された構造を有し、ホール抵抗測定を介してナノドットの磁化情報が得られるデバイスとなっている。磁性ナノドットアレイを用いることで放射線の命中確率を高め、放射線影響の統計的な評価を目指す。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設ならびに深見研究室が有する設備群を用いて、磁性ナノドットアレイの作製、ならびに電気特性の予備評価を行った。その後、試料を持ち帰り、放射線照射実験用の組立を行い、放射線影響の評価を実施した。具体的には、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の共同研究先である量子科学技術研究開発機構 (QST) 高崎量子応用研究所にて稼働している、イオン照射研究施設 (TIARA) の宇宙用ビームライン (HD2 ポート) にて、重粒子イオンビームの照射実験を行った。HD2 ポートの概観写真を

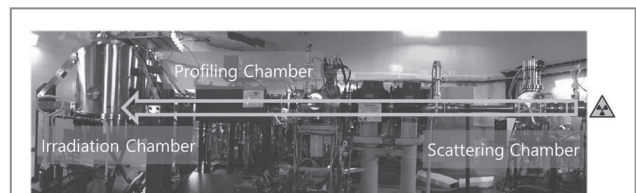


図1: ビームラインの概観

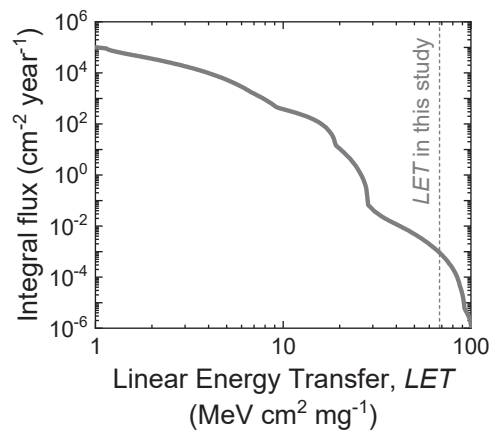


図2: 静止軌道における放射線フラックス

図1に示す。照射に用いる重イオンとしては、Xe(454 MeV)を選択した。このとき、放射線の電離作用を表す指標である Linear Energy Transfer (LET)は約 $69 \text{ MeV cm}^2 \text{ mg}^{-1}$ であり、高いLETを持つ放射線を選択している。これは、過去のスピントロニクスデバイスの放射線照射実験では、高LETの場合にのみ影響がみられていたことを参考にした。静止軌道上の放射線フラックスのプロットを図2に示す。実際の静止軌道に存在する放射線は、電子、陽子、ヘリウムから重イオンまで多岐にわたっているが、LETに対して整理することにより、このようなスペクトルが得られる。このとき、本実験に用いたXeイオンビームのLETも併せて図示した。本研究は、実際にXeイオンが入射する可能性を模擬しているのではなく、本実験と同じLETを持つ放射線が入射した場合の影響を調べるものであることを強調する。本研究で用いるLETと同等のLETを持つ放射線が入射する頻度は図2より、 1 cm^2 あたり1年に 10^{-3} 回、すなわち1000年に1回であることがわかる。このような、軌道上では極めて稀な高エネルギー(LET)を持つ重粒子を、本研究では 1 cm^2 あたり最大 10^9 個の重粒子を照射しており、これは静止軌道 10^{12} 年分に相当する加速実験として実施するものである。

ナノドットの磁化の操作(磁化反転)には、永久磁石を用いた。実験データの模式図を図3Aに示す。実験のフローは次のとおりである。永久磁石を用いてHall抵抗変化のダイナミックレンジを確認するとともに、ある方向(本実験ではHall抵抗が低い側)への初期化を行う。その後、照射チャンバの真空引きを行い、放射線を照射する。照射後、照射チャンバを大気圧に戻し、永久磁石を用いて、ナノドットの磁化状態を(破

壊的に)読みだすとともに、照射後のダイナミックレンジの確認を行う。このフロー全体を通して、Hall抵抗をモニタする。

実際の測定データを図3Bに示す。永久磁石を用いた照射前後の操作(図3Bの右側と左側)より、磁性体への顕著な影響は見ることができなかった。他方、放射線照射によって、Hall抵抗レベルの不可逆なシフトが確認された。Hallチャンネルを有するスピントロニクスデバイスにおける放射線影響の観測は前例がなく、世界で初めて観測したといえる。しかしながら本影響の原因は不明であり、その解明を今後の目標の一つとする。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

スピントロニクスデバイスに関する基礎的な研究においては、直径1桁ナノメートルの微細な素子におけるデバイス動作の実証が報告されており、半導体デバイスの微細化/高集積化に追従可能な不揮発性メモリ技術としてのスピントロニクスデバイスの重要性は更に高まるとともに、微細な最先端半導体デバイスの放射線耐性を補う必須の技術となることが予想される。本研究によって、微細化が進んだスピントロニクスデバイスへの放射線影響が明らかとなり、放射線に対して信頼性を担保するデバイス設計指針の議論が可能になることが期待される。

近年では、地上用の一般的なLSIにおいても、微細化/高性能化の進行とともに消費電力・放射線耐性は問題となっている。本研究は宇宙用LSIの高性能化のロードマップを描くだけでなく、Society5.0の実現を支える情報通信技術(ICT)全体の発展に資するものである。また、通信領域を海・空・宇宙まで拡張するとされる第6世代移動通信システム(6G)では、国際標準規格が未定であるものの、2030年頃の実用化を目標に据えた動きが始まっており、この地上と宇宙が融合した次世代ICTの実現のためには、耐放射線性・高信頼性デバイスの存在が必要不可欠であり、本研究はその実現を根幹で支える基盤技術の醸成へ貢献すると期待される。

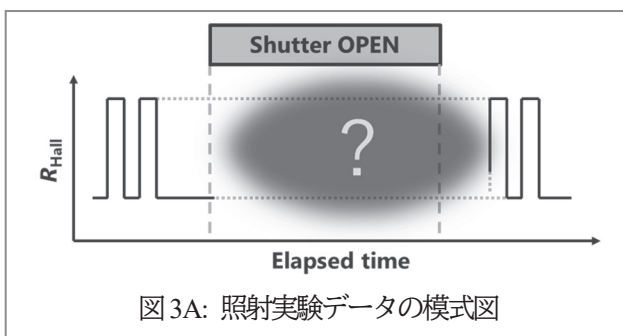


図3A: 照射実験データの模式図

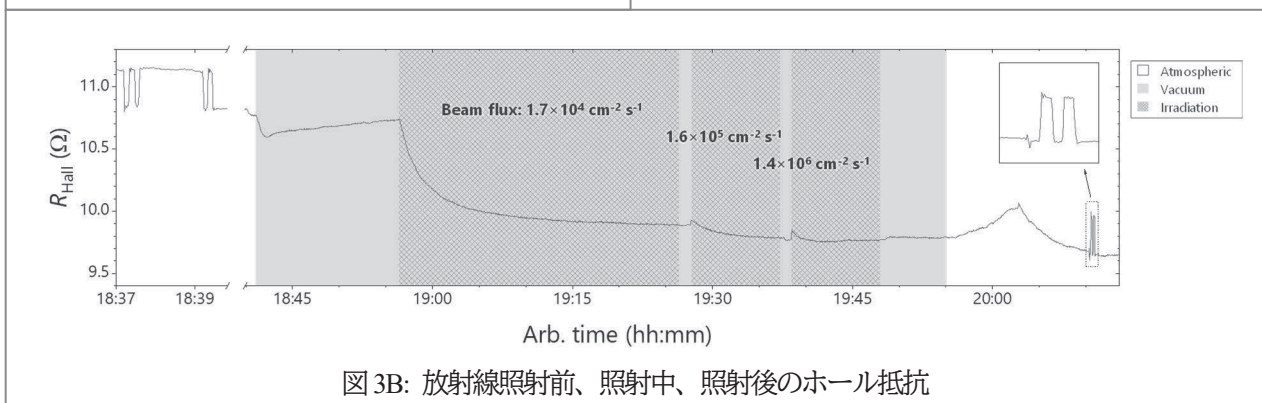


図3B: 放射線照射前、照射中、照射後のホール抵抗

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- K. Watanabe, K. Takeuchi, H. Shindo, J. Igarashi, Y. Takeuchi, B. Jinnai, and S. Fukami, “Radiation effect study on CoFeB/MgO nanodot-array,” (poster) FY 2021 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Online, 2022/02/17.
- K. Watanabe, K. Takeuchi, H. Shindo, K. V. De Zoysa, J. Igarashi, Y. Takeuchi, B. Jinnai, and S. Fukami, “Radiation tolerance of an antiferromagnet/ferromagnet spin-orbit torque device and the possible deterioration,” (in preparation).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- K. Watanabe, T. Tanigawa, S. Ikeda, T. Shinada, H. Koike, T. Makino, T. Ohshima, T. Shimada, K. Hirose, H. Shindo, D. Kobayashi, and T. Endoh, “Design and Heavy-Ion Testing of MTJ/CMOS Hybrid LSIs for Space-Grade Soft-Error Reliability,” (poster) 2022 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS), Dallas, TX, USA + Online, 2022/03/27-2022/03/31.

採択番号：R03/A02

Si・Ge 混合プラットフォーム上への 異種機能混載集積回路の実現

[1] 組織

研究代表者：

山本 圭介（九州大学大学院総合理工学研究院）

通研対応教員：

櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

室田 淳一（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）

中島 寛（九州大学グローバルイノベーションセンター）

佐道 泰造（九州大学大学院システム情報科学研究院）

王 冬（九州大学大学院総合理工学研究院）

茂藤 健太（九州大学大学院総合理工学研究院）

清水 昇（九州大学大学院総合理工学府）

松尾 拓朗（九州大学大学院総合理工学府）

永松 寛大（九州大学大学院総合理工学府）

小杉 智浩（九州大学大学院システム情報科学府）

千代蘭 修典（九州大学大学院システム情報科学府）

原 龍太郎（九州大学大学院システム情報科学府）

河原 聡（九州大学大学院システム情報科学府）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

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

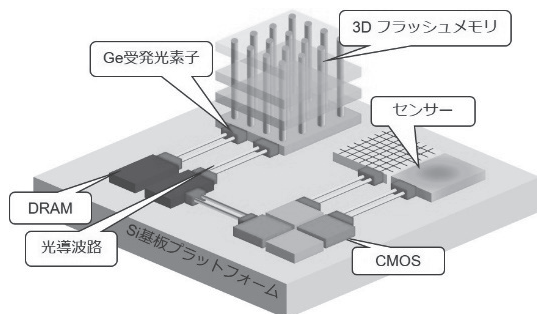


図 1. 本研究で提案する Si・Ge 混合プラットフォーム上の異種機能混載集積回路の模式図。

初年度である令和 3 年度は、L-GOI 構造形成手法の開拓および Ge の低温デバイス化技術の構築を行った。

本研究は、代表者である九大・総合理工学研究院の山本助教グループと、東北大・通研対応教員で分担者でもある櫻庭准教授・室田名誉教授との連携体制を敷いている。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

A. L-GOI 形成手法の開拓

L-GOI の作製方法として、Si-on-Insulator (SOI) の研究開発の初期段階で候補として挙げられた、「基板貼り合わせとエッチングによる薄膜化 (エッチバック)」による手法を研究計画時点より検討している (図 2(a))。この方法では、SOI で実用化されている「Smart-Cut 法」を GOI 作製に適用した場合に問題となる、残留欠陥による特性劣化から解放される。エッチバック法にて L-GOI を作製するためには、適切なエッチングレートを有し、GOI の表面平坦性を維持もしくは改善可能なエッチング方法を開発しなければならない。検討の結果、フッ酸・過酸化水素・酢酸の混合溶液が高速なエッチングレートを有し、また Ge 表面の平坦性を維持・改善することが判明した。実際に、Ge 基板の非研磨面をこの溶液で平坦化後に MOS キャパシタを作製したところ、市販 Ge 基板の研磨面上のものと比較しても遜色のない特性が得られている (図 2(b))。今後は、本手法を適用して本格的に L-GOI の作製を行う予定である。

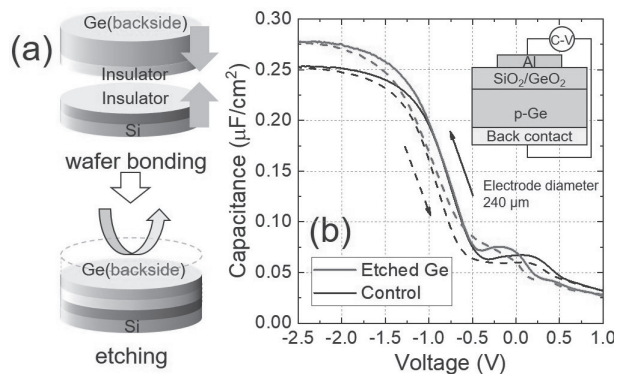


図 2. (a) 貼り合わせとエッチバックによる GOI 作製の模式図。(b) エッチング面に形成した p-Ge MOS キャパシタの容量-電圧特性。

B. Ge の低温デバイス化技術の構築とその応用

L-GOI 上に異種機能混載集積回路を実現するためには、各種デバイスを低温で形成する必要がある。しかし、Ge MOS トランジスタのゲート絶縁膜や各種パッシベーション絶縁膜は、絶縁膜/Ge 界面や絶縁膜中の欠陥低減のために一般に 400°C 以上の熱処理が必要であり、プロセスの低温化が難しい。一方で、Ge 上のゲート絶縁膜形成や金属/Ge 接合形成にプラズマ処理を組み合わせることで欠陥低減が可能との報告もなされている(但し、これらの報告では比較的高温(500°C~)の熱処理を行っている)。以上を参考に、本研究ではゲート絶縁膜形成の前処理としてプラズマ処理を施すことで、Ge MOS トランジスタの低温形成を試みた。

図 3(a)に試料の作製手順と断面模式図、および光学顕微鏡写真を示す。ソース/ドレイン(S/D)はショットキー構造とし、TiN を電極に用いた。ゲート絶縁膜形成前に反応性イオンエッチング装置を用いて Ge 表面に CHF_3 プラズマ処理を施した。ゲート絶縁膜は $\text{SiO}_2/\text{GeO}_2$ 構造とし、成膜後に 250°C で熱処理を施した。ゲート電極及び S/D コンタクト電極には Al を用いた。図 3(b), (c)に作製した MOSFET の出力特性と伝達特性をそれぞれ示す。いずれも典型的なトランジスタの動作曲線が得られており、低温で作製した Ge MOSFET が動作していることが分かる。作製した MOSFET の電界効果移動度(寄生抵抗成分を排除していない)は最大で $429 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、過去に 400°C のプロセスで作製した MOSFET のもの ($223 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) を上回る値が得られた。これは、ゲート作製前のプラズマ処理による欠陥終端や、チャネルが S/D に対して掘り込まれた構造であるリセスチャネル化による影響であると考えており、詳細な解析を進めている。

また、Ge MOS トランジスタの低温作製技術を応用し、ガラス基板上に低温合成した多結晶 Ge の薄膜トランジスタ (TFT) を作製した(図 4(a))。多結晶 Ge 薄膜(正孔密度 10^{17} cm^{-3} 台)は厚さ約 50 nm、面積 $50 \times 150 \mu\text{m}^2$ 程度に加工しており、この厚さは Ge が完全空乏化可能な膜厚である。作製した TFT はオーミック性の S/D を有する蓄積モード動作のデバイスであるが、完全空乏化が可能であるため図 4(b)に示すように良好な出力特性が得られている。Ge デバイスの低温形成技術を応用することで、ガラス以外にもプラスチック基板上の Ge 薄膜などのデバイス化が可能となり、様々な分野への応用も期待できる。

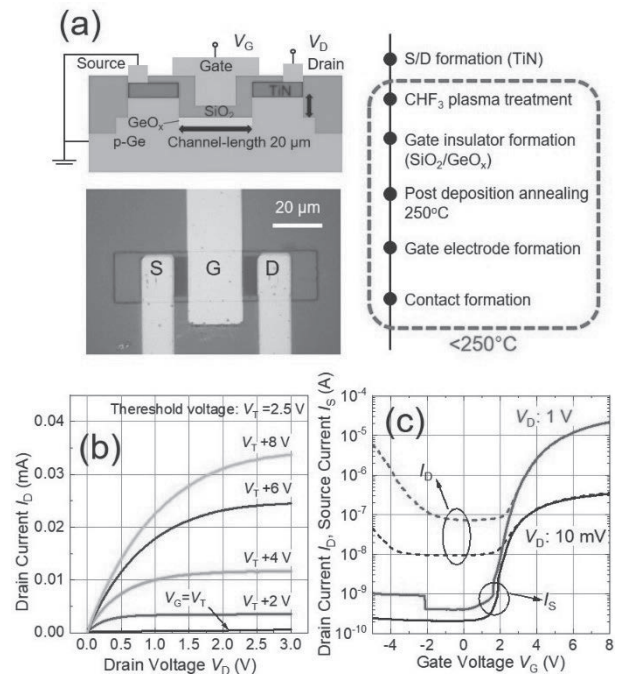


図 3. (a)本研究で実施した Ge MOS トランジスタの低温作製プロセスと模式図、および光学顕微鏡写真、作製した MOS トランジスタの(b)出力特性と(c)伝達特性。

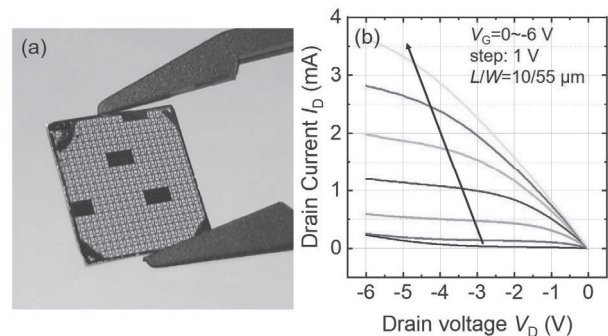


図 4. ガラス基板上に低温プロセスを用いて作製した多結晶 Ge TFT の(a)写真と(b)出力特性。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

当初は、本プロジェクト研究の前身である過去の共同研究(H30/A34(H30年度~R2年度)、代表: 中島 寛九州大学教授(当時))と同様に、本研究に関連した国際シンポジウム開催を検討していたが、新型コロナウイルス禍のため断念した。しかしながら、研究代表者と通研対応教員との間でメールベースの頻繁なやり取りは密に継続しており、すでに次年度以降の国際研究拠点形成に向けた申請や、共同研究実施に向けた取り組みをスタートさせている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- K. Moto, K. Yamamoto, T. Imajo, T. Suemasu, H. Nakashima, K. Toko, Sn Concentration Effects on Polycrystalline GeSn Thin Film Transistors, IEEE Electron Device Letters, 42, 1735-1738, 2021.
- (Invited) K. Yamamoto, D. Wang, H. Nakashima, Fabrication of Ge-on-Insulator By Epitaxial Growth and Ion-Implanted Exfoliation for Electronics and Optoelectronics Applications, ECS transactions, 104, 157-166, 2021.
- K. Moto, K. Yamamoto, T. Imajo, T. Suemasu, H. Nakashima, K. Toko, Sn Doping Effects on Polycrystalline Germanium Thin-Film Transistors on Glass, 2021 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sept. 8, 2021, online.
- K. Yamamoto, K. Iseri, D. Wang, H. Nakashima, Low-Temperature Fabrication of Ge MOS Capacitor with Wet Oxidized Yttrium Interlayer, 2021 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sept. 9, 2021, online.
- 原 龍太郎, 千代菌 修典, 茂藤 健太, 山本 圭介, 佐道 泰造, a-Si キャップ付加による界面変調Sn添加 Ge 極薄膜/絶縁基板のキャリア移動度向上, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 10 日, オンライン.
- 茂藤 健太, 山本 圭介, 今城 利文, 末益 崇, 中島 寛, 都甲 薫, 固相成長 GeSn 薄膜トランジスタにおける Sn 組成の影響, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 10 日, オンライン.
- 松尾 拓朗, 山本 圭介, 王 冬, Ge スピン MOSFET のための低温 ($\sim 250^\circ\text{C}$) デバイスプロセスの構築, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 10 日, オンライン.
- 松尾 拓朗, 山本 圭介, 王 冬, リセスチャネル化によるメタルS/D型Ge n-MOSFETの電流駆動力向上, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月 23 日, オンライン.
- 那須 新悟, 松尾 拓朗, 山本 圭介, 王 冬, Ge スピン MOSFET 実現に向けた低温 ($\sim 250^\circ\text{C}$) デバイスプロセスの構築, 2021 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2021 年 12 月 4 日, オンライン.
- 高山 智成, 茂藤 健太, 山本 圭介, 今城 利文, 末益 崇, 都甲 薫, ガラス上における多結晶 Ge 系薄膜トランジスタの作製と評価, 2021 年応用物理学会九州支部学術講演会, 2021 年 12 月 4 日, オンライン. [発表奨励賞受賞]

(2) 関連リスト (謝辞なし)

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

採択番号：R03/A03

非磁性体中におけるスピンドYNAMIKSの制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

石原 淳 (東京理科大学理学第一部)

通研対応教員：

金井 駿 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

鈴木 拓也 (東京理科大学大学院理学研究科:M2)

森 貴親 (東京理科大学大学院理学研究科:M1)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

スピントロニクス分野における応用の中心は強磁性金属をベースとした磁化制御素子にあるが、定常的にはスピン状態が表に出てこない非磁性体中においてもスピンの自由度は大きな注目を集めている。非磁性体の中でも半導体は光との相性が良く、スピンと光の偏光の相関を利用することで、容易に光-スピン変換が可能である。また、スピン軌道相互有効磁場によるスピン制御だけでなく、GaAs/AlGaAs 量子井戸といった化合物半導体の二次元構造ではスピン状態の長時間保持も実証されている。一方、半導体や絶縁体中の欠陥中心のスピンでは、孤立した電子スピンにおいて量子力学的性質が顕著に表れるため、スピンは量子情報の担体となり、量子計算機のビットとして期待されている。このように非磁性体におけるスピンの活用方法は幅広く、強磁性金属単体では実現できない多様なスピン機能デバイス創生の可能性を持っている。そこで本研究では、非磁性半導体、絶縁体、金属といった非磁性体中におけるスピン情報に着目し、そのダイナミクスを観測と制御を目指す。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。研究体制は若手研究者で構成され各々が得意とする実験技術を有している。本年度は非磁性体中のスピンドYNAMIKS制御に関して、半導体中のスピンの時空間分布の直接観測と光波による制御を試みた。また、絶縁体中の欠陥中心の発光円偏光度から定常時のスピン状態を評価し、材料探索を進めた。さらに、発光及びスピンの超高速ダイナミクスを測定するための可視域でのポンプ-プローブ光学系を構築した。

以下に研究活動状況の概要を記す。

・2021/10/20-10/21 参加人数 4人

東北大学電気通信研究所にて、光学測定系の構築を行

なった。また、研究スケジュールについて打ち合わせを行った。

・2021/12/13-12/16 参加人数 3人

東北大学電気通信研究所にて、光学測定系の構築とスピンドYNAMIKSの測定を行なった。研究経過について打ち合わせを行った。

また、上記以外にも Web 会議などを行い、研究の進捗について報告、相談した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に、光励起電子スピン密度の違いによるスピンドYNAMIKSの変化を調べた。試料には変調ドープした GaAs/AlGaAs 量子井戸構造における高移動度二次元電子系を用い、時間-空間分解カー回転測定系で光励起電子スピンの時空間分布を観察した。図 1 はスピンの一次元空間分布の時空間発展の様子であり、(a) は励起光強度が $7 \mu\text{W}$ の場合、(b) は励起光強度が $47 \mu\text{W}$ の場合の測定結果である。ここで正(赤色)はアップスピン、負(青色)はダウンスピンを示している。 $x/[1-10]$ であり、この方向に運動する電子はスピン軌道相互作用による大きな有効磁場を受けて歳差運動する。図 1(a) より励起密度が小さい場合はバリスティック運動する電子系を反映したスピン集団での拡散とスピン軌道有効磁場による歳差運動が観測されている。一方で、励起密度を大きくすると、スピン状態は拡散

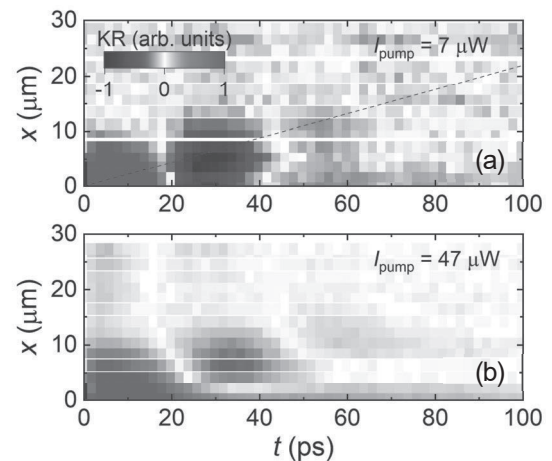


図 1 (a)励起光強度 $7 \mu\text{W}$ の場合、(b)励起光強度 $47 \mu\text{W}$ の場合のスピン分布の時空間発展。

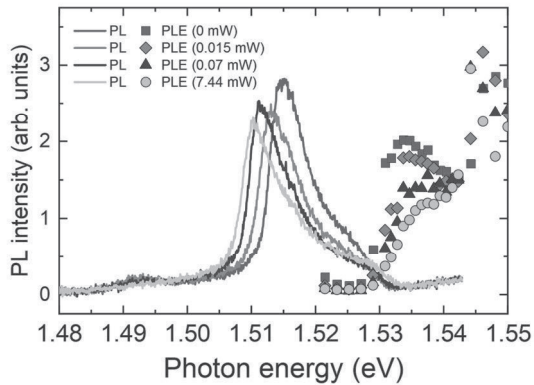


図2 各照射光強度における PL スペクトル及び PLE スペクトル。

系で特徴的にみられるような時間方向に尾を引いたような時間発展を示すことが分かった。この時 20%程度のスピン拡散速度の減少が見られた。励起密度の増大に伴い、電子-電子散乱が増強されたことでスピン拡散が低下し、スピン分布の時間発展に大きな変化を及ぼすことが明らかになった。また、シミュレーションからもスピン拡散の低下のみで、実験で得られた時空間マップの変化が再現されることが確認できた。

また、スピンを光制御するために、上述した GaAs/AlGaAs 量子井戸に励起光に加えてバンド間吸収の起きない波長の CW レーザーを制御光として照射し、その時のキャリア密度や量子井戸構造の変化を調べた。図2は各照射光強度における PL スペクトルおよび PLE スペクトルである。PL スペクトルに着目すると、制御光照射によりピークエネルギーはレッドシフトしている。一方、PL スペクトルにおける吸収端のエネルギーはブルーシフトしている。全体として制御光照射によりストークスシフト量が增大することがわかった。つまり、キャリア密度が増大したということであるが、制御光の波長は 980 nm であるためキャリアのバンド間励起は引き起こさない。したがって、キャリアはドープ層から井戸内に供給されていると考えられる。ドープ層に残存するキャリアが井戸内に流入したとすると、量子井戸の非対称性は増大していると考えられる。したがって構造の非対称性に起因するラッシュバースピン軌道相互作用が大きくなり、スピンダイナミクスも変化していると期待される。今後、スピンダイナミクスを光学的に直接観測し、光によるスピンダイナミクスの制御を実証していく。

第二に、絶縁体 YAG 結晶中の Ce カラーセンターからの発光偏光度を測定し、再結合時のスピン状態について調べた。図3に YAG 結晶にイオン注入した Ce カラーセンターからの円偏光励起時の発光偏光スペクトルおよび、算出された円偏光度スペクトルを示す。PL スペクトルより 532 nm、565 nm 付近にピークを持つ発光が観測された。これは、Ce³⁺の 5d-4f 準位間の

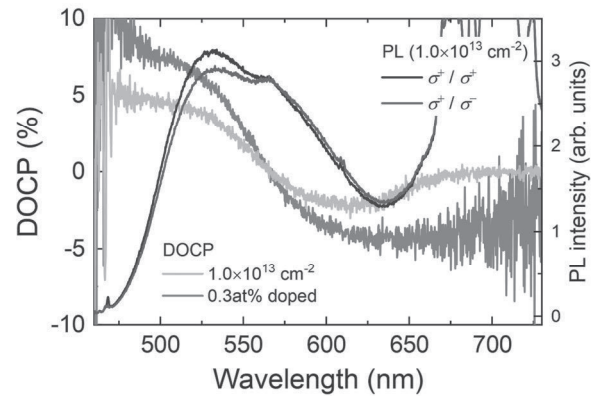


図3 YAG 中にイオン注入した Ce³⁺の発光円偏光度スペクトルおよび PL スペクトル。

遷移に相当する。左右の円偏光成分には差が見られ、発光円偏光度(DOCP)は5%程度となった。図3中の灰色のスペクトルは Ce が 0.3 原子%ドープされた市販の YAG 結晶の円偏光度を測定した結果であるが、イオン注入した試料より円偏光度が大きい。イオン注入試料では、YAG 中での Ce³⁺の偏在やイオン注入による結晶性の低下によってスピン緩和が促進された可能性がある。今年度はほかにも、YAG 結晶中のカラーセンターのスピンダイナミクスを光検出磁気共鳴によって調べた。

また、若手研究者対象型プロジェクトへの特別支援によって、欠陥中心の超高速スピンダイナミクスを測定するための2波長ポンプ-プローブ分光光学系を構築した構築を進めることができた。今後、本測定系を用いて欠陥中心の発光及びスピンの超高速ダイナミクスを調べていく。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトによって明らかになった高移動度二次元電子のスピン時空間ダイナミクスの測定結果と制御光によるキャリア密度制御は、時空間領域でのスピンの利用に関する有意な知見となる。また、本プロジェクト研究と関連した内容の科研費(21K14528)の採択にもつながった。欠陥中心スピンに関しては、発光測定、偏光状態の観測、周波磁場制御、高速ダイナミクス測定とあらゆる状態の評価が可能となったことで、材料探索がより効率的に進められるようになった。単に欠陥中心スピンの位相情報保持にだけ着目するのではなく母体材料の特性を併せて用いる新たな研究領域への展開も期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- T. Suzuki, J. Ishihara *et al.*, ISNTT2021, Online meeting, December 14-17, 2021.
- J. Ishihara *et al.*, EP2DS-24/MSS-20, Online meeting, October 31 - November 5, 2021.
- J. Ishihara *et al.*, The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science, Online meeting, October 25-28 2021.
- S. Chiba, S. Kanai, J. Ishihara *et al.*, EMS40, Online meeting, October 11-13, 2021.
- 森貴親, 鈴木拓也, 石原淳, 他, 第82回応用物理学会秋季学術講演会, オンライン開催, 2021年9月10日-13日.
- S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, M. Onizhuk, G. Galli, D. D. Awschalom, and H. Ohno, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, *in press* (2022).
- J. Ishihara, T. Suzuki, G. Kitazawa, T. Mori, Y. Ohno, and K. Miyajima, Physical Review B, *in press* (2022).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R03/A04

非平衡プラズマ活性種を活用した バイオ・医療デバイスの創成

[1] 組織

研究代表者

金子 俊郎(東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員

平野 愛弓(東北大学 電気通信研究所)

研究分担者

Cheng-Che Hsu (National Taiwan University, Taiwan)

Michael Kong (Old Dominion University, USA)

Peter Bruggeman (The University of Minnesota, USA)

Yongfeng Li (China University of Petroleum, China)

Wonho Choe (Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea)

畠山 力三(東北大学 大学院工学研究科)

加藤 俊顕(東北大学 大学院工学研究科)

高島 圭介(東北大学 大学院工学研究科)

佐々木 渉太(東北大学 大学院工学研究科)

平田 孝道(東京都市大学 大学院工学研究科)

堀 勝(名古屋大学 大学院工学研究科)

白谷 正治(九州大学 システム情報科学研究院)

浜口 智志(大阪大学 大学院工学研究科)

佐々木 浩一(北海道大学 大学院工学研究科)

佐藤 岳彦(東北大学 流体科学研究所)

延べ参加人数：80人(オンライン参加含)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

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

際共同で研究を推進する。

(研究討論会等開催状況)

日時：令和4年(2022年)2月21-22日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306 講義室(オンライン会議 zoom とのハイブリッド開催)

本研究会では、オンライン参加を含めると、学内外を含め延べ80名以上の参加者があり、講演は「気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成」を主テーマに、バイオ応用プラズマプロセス、ナノスケール材料の量子特性、気液界面プラズマ反応場の数値計算や活性種計測等の立場から、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

I. 液中プラズマを活用した高効率遺伝子導入

遺伝子や薬剤分子などの細胞外分子を生細胞内に導入する分子導入技術はiPS細胞作製や低侵襲がん治療といった要請から医療分野を始めとした幅広い分野で重要性が高まっている。これまでに様々な導入技術が開発されてきたが、細胞生存率や安全性、適用細胞種の制限といった課題が指摘されており、新規導入手法の開発が求められている現状がある。

本研究グループはこれまでに液中で微小なプラズマを生成し(液中プラズマ)、細胞に照射することで生細胞内へ薬剤模擬分子(カチオン性、分子量1300程度)やプラスミドDNA(アニオン性、分子量300万程度)が導入されることを明らかにしている。今年度は、遺伝子導入効率の高効率化を目的に実験を行った。

実験では高電圧パルス(パルス幅=100 μ s, 周波数=1 Hz)を細胞培養液中の針状高電圧電極に印加し液中プラズマ生成を行った。また液中プラズマとは独立して、パルス電場(パルス幅<10 μ s, 周波数~1kHz)を印加する処理も行った。細胞にはヒト乳がん細胞(MCF-7; 接着系細胞)を使用し、緑色蛍光タンパク質(GFP)をコードしたプラスミドDNA(pDNA)を導入物質として用いた。pDNA含有細胞培養液で満たした細胞に対して液中プラズマ、パルス電場処理を行い、24h後の細胞のGFP蛍光を、フローサイトメトリーにて測定し、pDNA導入効率を評価した。図1に処

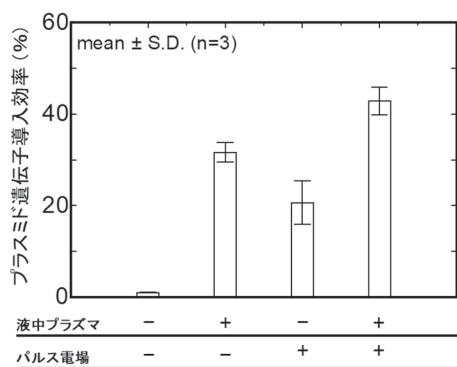


図1. 各処理での pDNA 導入効率.

理 24 h 後の各処理での pDNA 導入効率を示す. 未処理と比べ, プラズマ処理, パルス電場処理によって導入効率の向上が見られた. さらに, これら処理の複合で単体処理の結果を上回る導入効率を得られたため, 高効率導入達成には複合処理が有効であることが示された. この結果は, プラズマを活用した超高効率遺伝子導入装置の開発に向けた重要な成果といえる.

II. 空気プラズマ生成活性種を活用した植物病害防除

大気圧プラズマは空気と水から殺菌・抗菌作用を発揮する反応性の高い活性種を生成することが知られ, 植物病害防除などの農業応用が期待されている. しかし, 植物障害を抑止しつつ菌体に作用させるために重要な液相活性種を, 噴霧距離 10 cm の遠方で作用させることは容易でなかった. そこで, これまで植物体へ不可避に暴露される気相オゾンを抑止する一方, 液相オゾンの生成・消滅機序を活用し, 液相オゾン濃度を制御して輸送する液相活性種噴霧装置開発を行った.

主に, 常圧化での活性種溶解・放電装置冷却・気相オゾン分離機構を備えることにより, 植物体への気相オゾン暴露量は最大でも 10%未満に抑制し, 観測される液相オゾン濃度の最大値は 4.5 倍増加した. さらに, 従来より液滴径が大きくなるよう噴霧ノズルを変更し活性種輸送特性の向上を試みた. その結果, 病原体不活化が困難であった噴霧距離 20 cm において 5 秒間捕集した溶存オゾン濃度が 1.5 μM 以上となりイチゴ炭疽病菌分生子発芽抑制閾値濃度 (約 1 μM) を超えた. 同条件でイチゴ炭疽病菌分生子懸濁液に対する噴霧により分生子発芽率減少が実験的に確認され, これまでより遠方での分生子発芽抑制に成功した.

さらに, 液相活性種噴霧ポンプ・送液経路などの改良を施し噴霧液滴を 280 μm に増加させることで, 噴霧距離 100 cm で最大 5 μM の液相オゾン噴霧を達成し, イチゴ炭疽病菌分生子の発芽抑制には十分な濃度となった. また, シロイヌナズナへの溶存オゾン滴下試験で 7 μM 以下の溶存オゾン濃度では可視的なダメージが確認されなかった. このため, 溶存オゾン濃度

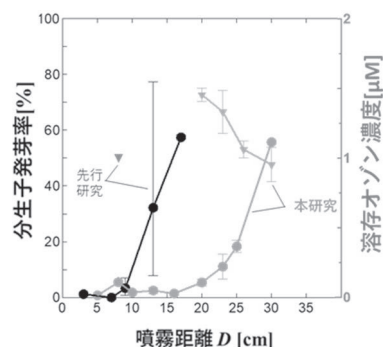


図2 : *C.gloeosporioides* 分生子発芽率・溶存オゾン濃度—噴霧距離依存性.

が 1.5 μM 以下で観測されたダメージには気相オゾンが関与していたと考えられ, 気相オゾンを分離した本装置では植物へのダメージ低減が期待できる. 溶存オゾン噴霧濃度・距離の改善と同時に, 植物ダメージ低減が実現できることは有用であり, プラズマ生成活性種を活用した農業応用の実現に向け, 有意義な成果である.

(特別支援 (国際) に係る研究成果)

今回の国際共同研究推進型の特別支援分の研究費については, コロナ渦の影響で外国人研究者を招聘することができなかったため, 研究活動で使用し, オンラインで開催した研究会において, 米国の 2 名の分担者に講演していただくとともに, 研究会後に共同研究に関する議論を行った. その議論をもとに, 2022 年度中に, 気液界面プラズマ科学分野における国際交流拠点を形成すべく, 米国の分担者 (Prof. Peter Bruggeman) の研究室に学生を派遣して, 共同研究を推進することを計画している.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

また, 本プロジェクトの成果である「プラズマライフサイエンス応用」をトピックに含む国際会議を, 下記のように 2022 年に仙台で開催することになった. 本国際会議は, 電気通信研究所の共催として開催する.

- ・ 会議名 : 11th International Conference on Reactive Plasmas / 75th Annual Gaseous Electronics Conference
- ・ 日時 : 2022 年 10 月 3 日~7 日
- ・ 開催場所 : 仙台国際センター
- ・ 参加予定人数 : 550 名 (うち海外 250 名)

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

【査読付学術論文】

1. K. Takeda, S. Sasaki, W. Luo, K. Takashima, and T. Kaneko, "Experimental detection of liquid-phase OH radical decay originating from atmospheric-pressure plasma exposure", *Applied Physics Express* 14 (2021) 056001-1-5.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

【査読付学術論文】

1. S. Kumagai, C. Nishigori, T. Takeuchi, P. Bruggeman, K. Takashima, H. Takahashi, T. Kaneko, E.H. Choi, K. Nakazato, M. Kambara, and K. Ishikawa: *Jpn. J. Appl. Phys.* 61 (2021) SA0808-1-19.
 2. T. Kaneko, H. Kato, H. Yamada, M. Yamamoto, T. Yoshida, P. Attri, K. Koga, T. Murakami, K. Kuchitsu, S. Ando, Y. Nishikawa, K. Tomita, R. Ono, T. Ito, A.M. Ito, K. Eriguchi, T. Nozaki, T. Tsutsumi, and K. Ishikawa: *Jpn. J. Appl. Phys.* 61 (2021) SA0805-1-25.

【国際・国内会議・研究会等発表】(招待講演のみ)

1. 高島圭介, 金子俊郎, “プラズマは生命活動の理解と制御の新しいツールとなりうるか”, 日本学術振興会プラズマ材料科学第153委員会第150回研究会, 東京都江東区, 2021/04/23.
 2. 佐々木 渉太, “大気圧空気プラズマを用いた五酸化二窒素の選択合成とその応用展望”, 第32回自然科学研究機構シンポジウム, Online, 2021/08/21.
 3. S. Sasaki, K. Takashima, H. Takahashi and T. Kaneko, “Selective synthesis of dinitrogen pentoxide using plasma and its biological effects”, 7th Global Plasma Forum, Online, 2021/08/30.
 4. 金子 俊郎, “プラズマは生物の敵か味方か?”, 学振153委員会研究会, Online, 2021/08/31.
 5. 金子 俊郎, “非平衡プラズマが拓くSDGs未来社会”, 名古屋大学プラズマ研究60年記念シンポジウム, Online, 2021/09/24.
 6. 金子 俊郎, 高橋 英樹, 東谷 篤志, “プラズマアグリ—機能性窒素を活用したサステナブルファーム—”, 新領域創成のための挑戦研究デュオ 公開セミナー, Online, 2021/09/28
 7. 金子 俊郎, “プラズマを使って空気のみで合成する窒素化合物の新応用技術”, 東北大学産学官フォーラム2021, Online, 2021/10/08
 8. K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko, "Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Source toward Selective Vibrational Excitation for Nitrogen Fixation", The 8th East Asia Joint Symposium on Plasma and Electrostatics Technologies for Environmental Applications, Xi'an (China),

2021/10/19.

9. 金子 俊郎, 岩本 拓仁, 佐々木 渉太, 高島 圭介, “大気圧非平衡プラズマを使って空気のみで合成する五酸化二窒素の新応用技術”, 第37回九州・山口プラズマ研究会, 長崎県佐世保市, 2021/11/06
 10. 金子 俊郎, “非平衡プラズマの生成と温度・エネルギー制御の基礎”, 第32回プラズマエレクトロニクス講習会, Online, 2021/11/12
 11. K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko, "Plasma Generation and Chemistry of Reactive Nitrogen Species for Agricultural Applications", Japan-RUB Workshop 2021, Online, 2021/11/26.
 12. K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko, "Generation of Vibrationally Excited Nitrogen in a Non-Self-Sustaining DC Discharge toward Plasma Nitrogen Fixation", 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science, Online, 2022/03/08.
 13. 金子 俊郎, 高島 圭介, “プラズマ液体スプレーにおけるプラズマ相互作用: 農業分野での応用”, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川県相模原市, 2022/03/23.

採択番号：R03/A05

不揮発性磁気メモリへの応用に向けた 磁性トポロジカル物質の電界制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

千葉 貴裕 (福島工業高等専門学校一般教科)

通研対応教員：

辻川 雅人 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

電子の電荷とスピンの2つの自由度を利用する「スピントロニクス」は、次世代を担う情報処理技術として、近年大きな注目を集めている。特に、強磁性金属層間に絶縁層が挟まれた強磁性トンネル接合(MTJ)は、不揮発性磁気メモリへの応用に向けて、世界中で精力的に研究が進められている。このような中、最近、本申請者は幾何学(トポロジー)的に非自明なバンド構造をもったワイル磁性体におけるトポロジカル電気磁気効果(TME 効果)をMTJの電圧駆動磁化反転に応用することにより、現状よりも消費電力が1桁小さく、かつ、エラー率を低減化する二方向的な磁化反転を達成できることを理論的に見出した(FIG. 1)。ここでワイル磁性体は、「ワイル点」と呼ばれる特殊なバンド構造をもった半金属であり、フェルミ準位がワイル点近傍に位置するとき TME 効果の発現が予測されている。しかしながら現時点では、電子・磁気構造の設計・制御が不十分なため、ワイル磁性体における TME 効果は理論的予測に留まっている。

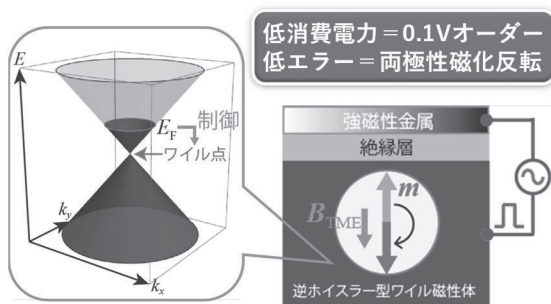


FIG.1: ワイル半金属のバンド構造(左)及びトポロジカル電気磁気効果(TME 効果)を応用した電圧駆動磁化反転(右)の模式図。

そこで、本研究では、TME 効果の発現が有力視されるチタン系逆ホイスラー合金 $Ti_2MnAl_{1-x}B_x$ に着目し、電界効果を想定した第一原理バンド計算による材料探索を行う。これにより、電圧駆動磁化反転に適した元素A,B原子の組合せ及びその組成比 x を明らかにす

ることを目的として研究を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、TME 効果の発現が有力視されるチタン系逆ホイスラー合金 Ti_2MnAl に着目して、第一原理バンド計算による材料設計を行った。以下に得られた主要な研究成果を示す。

(i) 基板からの格子歪みが Ti_2MnAl におけるワイル電子のバンド構造に与える影響を明らかにした。 逆ホイスラー合金の結晶構造は格子歪みの影響を受けやすいため、順ホイスラー構造よりも安定化する格子定数において材料設計を行う必要がある。そこで逆ホイスラー構造が安定化するように基板からの格子歪みを考慮して、 Ti_2MnAl の第一原理バンド計算を行った。その結果、FIG. 2 に示すように格子歪み ($cla=0.95$) が加わった場合においてもワイル点が安定に存在できることがわかった。さらに格子歪みがもたらす影響として、ワイル点のペアが上下に分裂することも明らかにした。ワイル点の分裂は電気伝導特性に大きな影響を及ぼす可能性があることから、今後は AI を同族

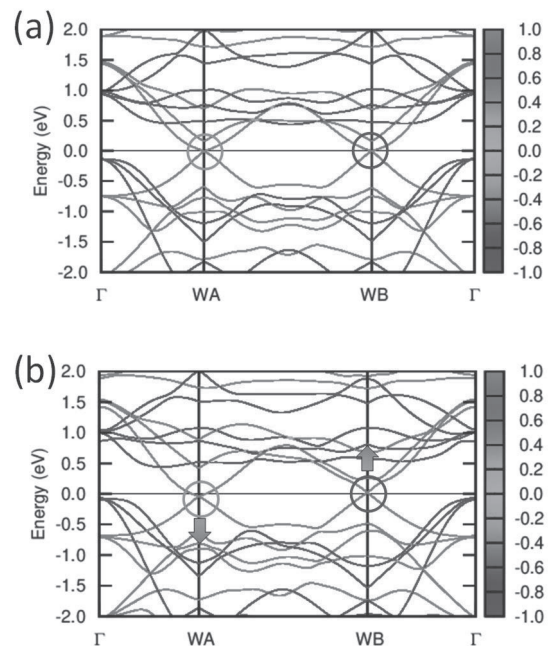


FIG.2: 逆ホイスラー型 Ti_2MnAl のバンド構造。(a) 格子歪み有、(b) 格子歪み無。カラープロットはスピンz成分の強度を表している。

のGaやInに置換した場合の調査も行っていく予定である。

(ii) 薄膜化が Ti_2MnAl におけるワイル電子のバンド構造に与える影響を明らかにした。将来的なデバイス化へ向けて電界効果を有効利用するためには薄膜を想定した材料設計を行う必要がある。またワイル磁性体はバルクのトポロジカルな電子構造を反映して、その表面に特殊な電子状態が形成されること（バルク-エッジ対応）が知られている。そこで特殊な表面状態の形成を確認するために薄膜化した Ti_2MnAl の第一原理バンド計算を行った。その結果、Ti-Al及びTi-Mnの両終端条件に対して理論的に予想される特殊な表面状態は確認されず、バルクも金属化してしまうことがわかった。FIG. 3にTi-Al終端の結果を示す。そのため今後はルク-エッジ対応の観点からバルクの金属化を引き起こしている原因を特定するとともに膜厚依存性の計算も行っていく予定である。

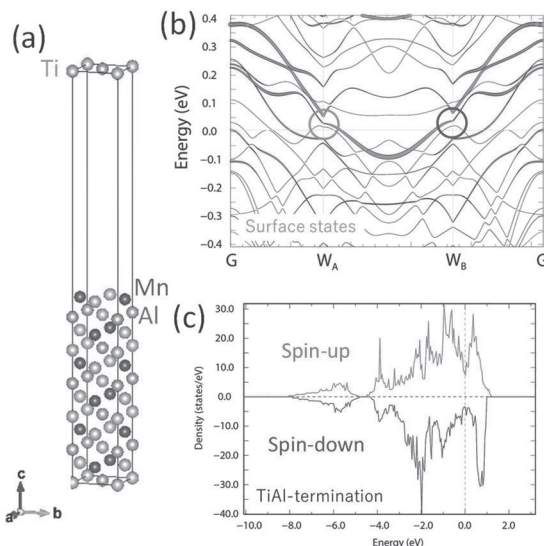


FIG.3: (a)逆ホイスラー型 Ti_2MnAl 薄膜の結晶構造. (b) 12原子層における表面バンド構造. (c)(b)に対応する状態密度.

(特別支援 (若手研究者対象型) に係る研究成果)

コロナ禍の対応により移動を伴う研究が制限されてしまったこともあり、当初予定していた短期滞在研究への予算として活用することが困難であった。そのため特別支援分の研究費を計算補助物品の使用に充てることで研究の促進に活用した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトで明らかになった(i)格子歪み及び(ii)薄膜化が Ti_2MnAl のバンド構造に与える影響は、逆ホイスラー型ワイル磁性体の実現や TME 効果の観測に向けた大きな一歩ということが出来る。将来的には、磁気メモリに加えて、磁気センサーなど多様

な素子への展開も期待できることから、次世代 IoT 技術として重要な役割を果たし、ビッグデータの取得・蓄積・解析にも貢献する。さらに格子歪みがワイル磁性体のバンド構造に与える影響として、今回ワイル点ペアの分裂を明らかにした。これはカイラル量子異常としてバルクにおける非相反電気伝導(整流効果)を引き起こす可能性があり、今後接合フリーのダイオードの開発への応用が期待される。

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
なし
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
なし

採択番号：R03/A06

量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究

[1] 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)

湯田 秀明 (大阪大学 理学部)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究は、半導体量子ドット (半導体 QD) の電離放射線耐性及び、放射線検出器用のセンサーとしての利用の可能性を調査、研究する。

半導体 QD は、超伝導量子ビットとともに、量子コンピュータの中核となる量子デバイスとして有望視されている。量子コンピュータでは、量子の可干渉性が必須であるが、半導体 QD およびその周辺からの電離放射線はこの可干渉性を破壊し、特に多数ビットの量子コンピュータの実現を阻害する要因の 1 つとなり得る。本研究では、半導体 QD の放射線に対する応答性を調査し、この問題についての研究を行う。

また、本研究では、半導体 QD が放射線に対して敏感な応答を示す場合、この点を積極的に利用した、高感度の放射線センサーへの応用を探ることを考えている。

初年となる今年度は、先ず、どのようにして半導体 QD に電離放射線を照射するかと言う点を中心に研究を進めた。

半導体 QD は、真空中の極低温下で動作するため、その極近傍に放射線ソースを設置することは容易でない。クライオスタットの外部に放射線のソースを設置する場合、非常に強い強度のガンマ線ソースを必要とし、現実的でない。

そこで我々は、量子 QD の基板が GaAs であることに着目し、Ga, As の中性子捕獲反応と、それに続くベータ崩壊事象を利用することとした。次の表に示すように、Ga, As はともに大きな反応断面積を持ち、しかも、半減期が 10 時間を超えている。従って、基板の中の、中性子捕獲反応によって生ずる放射性原子核の数が多く、かつ、中性子照射後に基板を冷却するに十分な時

間を取ることができる。しかも、数日で原子核が崩壊して放射能がなくなるので、経時変化を追うことで、放射能による影響をはっきりを見ることができると期待される。

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

この基板の放射化では、岐阜県神岡の地下実験施設の中性子源を用い、また放射化後の放射能の測定では、地下に設置した極低バックグラウンド Ge 半導体検出器を用いた。さらに、今年度は、量子 QD ではなく、量子ポイントコンタクト (量子 PC) を用いた。その理由としては、量子 PC は冷却温度が高く短時間で実験が開始できるからである。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

神岡地下において、ポリエチレン減速材とグラファイト中性子反射材で囲んだ ²⁵²Cf 中性子源 (1.1 MBq) の近傍で、GaAs 基板の放射化を行い、それに引き続き、低バックグラウンド Ge 半導体検出器に依る測定を実施した。この結果、予想された ⁷²Ga, ⁷⁶As に加え、¹⁹⁸Au (144 keV), ¹⁸⁷W (685 keV) が観測された。タングステン (W) は GaAs 基板には存在せず、周辺のパッケージ部にのみ存在するため、この原子核は利用できない。その一方で、金 (Au) は基板上で電極として使用されており (全体の約 1%), 基板周辺部でもメッキとして用いられているため、量子デバイスへの放射線応答を調べる上で、この原子核が利用できることが分かった。¹⁹⁷Au は自然存在比 100% で、反応断面積は 98.65 barn と非常に大きく、半減期も 64.66 h と長いので、非常に有効に用いることができる。

上記の結果、即ち、基板の Ga, As, 配線材などの Au を放射化することによって、電離放射線の影響を量子 PC で調べた。量子 PC 基板に 7 日間中性子を照射し、その内の半分を Ge 半導体検出器により放射能を測定し、残りの半分をクライオスタットに入れ、量子 PC の電流値を測定した。量子 PC の電流値は、短時間でスパイク的に変化することが知られている。このスパイ

ク的変化は、量子 PC 近傍にトラップされた荷電が遷移し、その遷移によって量子 PC の静電場が変化するために生じると考えられている。本研究では、放射線の電離作用によって、このスパイク現象に影響が出るのでは無いかと考え、スパイク現象の頻度を調べた。

まず、基板の放射能は以下の表の通りであった。

生成核種	放射能 (Bq)	半減期
^{72}Ga	$(1.3 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	14.1 h
^{76}As	$(2.6 \pm 0.5) \times 10^{-2}$	26.24 h
^{198}Au	1.64 ± 0.06	64.66 h

これに対し、量子 PC のスパイク現象の頻度を、中性子照射を終了してから約 30 時間後、さらに中性子照射後、1 ヶ月が経ち、放射能がなくなった後の 2 つの場合で比較した。この結果の概要は以下の通りであった。

- 放射化終了後 20～170 時間の測定
 - 放射化終了後、時定数 50 時間程度で、スパイクの頻度の急減少が見られた。
 - その後 100 時間以降では、スパイクの頻度は毎時 0.5～1.0 程度の一定値を示した。
- 放射化して 1 ヶ月経過した試料の測定
 - 測定開始後、スパイクの頻度が高かったが急減少 (時定数 10 時間程度)、毎時 3～8 の頻度が観測された。

放射化終了直後のスパイク頻度の減少は、 ^{198}Au の半減期と矛盾はないものの、放射化終了後 1 ヶ月の試料でも測定開始直後からの減少がみられ、しかも、一定値に落ち着いた後のスパイク頻度は、放射化終了直後よりも大きい。

これらのデータからは、より強い放射線強度を高め実験を行う必要があることを強く示唆している。

我々は、今後、以下の様な手段によって、放射能の強度を高め、放射線影響を詳細に調べる計画である。

- 1) 強い中性子源による放射線強度の増強：

ニュートリノ科学研究センターに強度の高い中性子源 (^{252}Cf , 3.7 Bq) を導入した。また、モンテカルロシミュレーションを用いて、グラフィックを用いた中性子の減速・閉じ込めの容器を設計した。これらの導入によって、中性子捕獲による放射能は約 20～30 倍程度増強すると期待されている。また、これまで中性子照射後、神岡から仙台に試料を移動する時間が必要であったが、この時間を省くことができるため、短寿命の放射性核種からの電離放射線も利用することができる。
- 2) ^{55}Fe の X 線 (5.9 keV) の利用：

^{55}Fe の X 線は、5.9 keV と低いため、これをクライオスタット内に設置し、その上で適切な

遮蔽(例えば、薄い鉛)を用いて、X 線を On/Off することができれば、放射線影響を明確に知ることができる。現在この機構などを検討中である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

量子コンピュータは現在のコンピュータを大きく越えた、圧倒的な処理能力を持つとされている。しかし、それを実現するためには、多数の量子系において、量子状態を長く保ち、相互に干渉させることが必須である。量子状態は、外部からの擾乱によって、容易に状態が変わってしまう。そのような擾乱の 1 つとして放射線が考えられる。実際、超伝導素子を用いた量子ビットが、放射線、とくに宇宙線ミューオンによって壊れることが示されている。半導体 QD を用いた量子ビットは、超伝導量子ビットに比べ、素子自身の体積が小さいことから、宇宙線の影響がより小さいと考えられている。しかし、これを実験的には未確認である。この点を実験的に明らかにするには、微弱放射線の測定など、素粒子物理学の知識と経験が必要である。逆に、素粒子実験物理学では、非常に微弱な信号を捉えるために、量子デバイスが注目されている。このように、量子デバイスは学際的なフロンティアとなっており、本研究は、このフロンティアの発展に貢献できると考えている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 関連リスト (謝辞あり)
なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

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

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

採択番号：R03/A07

原子層量子デバイスの開発

[1] 組織

研究代表者：

加藤 俊顕 (東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員：

大塚 朋廣 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

澁田 靖 (東京大学 大学院工学研究科)

李 秦宜 (九州大学 大学院工学研究院)

延べ参加人数：70人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

原子オーダーの厚みを有する原子層物質は、優れた基礎物性を示すことから世界中で活発な研究が展開されている。特に、半導体的性質を有する原子層物質に関する研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、これら原子オーダーの厚みをもつ半導体物質に関して、構造制御合成と新たな高性能量子デバイス応用を目的として研究を行った。

研究三ヶ年計画の初年度にあたる本年度は、半導体原子層材料である遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) に関して、量子デバイス化に向けて重要となる、高品質結晶合成に関する研究を重点的に行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究討論会等開催状況

日時：令和4年2月21-22日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟306講義室/オンライン

1. 「Characterization techniques for boron nitride films in the nano-scale regime」 K. Eriguchi (Graduate School of Engineering, Kyoto University)
2. 「Current status of plasma catalysis for renewable energy」 H.-H. KIM (¹AIST, Environmental Management Research Institute, ²AIST, Global Zero Emission Research Center)
3. 「Machine-learning-assisted synthesis of novel semiconductive metal organic frameworks (MOFs)」 D. Tanaka (School of Science, Kwansai Gakuin University)
4. 「Scientists-Augmentation」 Y. Iwasaki (National Institute for Materials Science, Research and Service Division of Materials Data and Integrated System)
5. 「Design of thermally activated delayed fluorescence materials by optimization calculations」 N. Aizawa (Department of Applied Chemistry, Graduate School of Engineering, Osaka University)
6. 「Modulation of Schottky Barrier Height between ITO and Monolayer WS₂ for High-Performance Transparent Solar Cells」 X. He, T. Kaneko and T. Kato (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
7. 「Analysis of reaction pathways and transport in plasmas interfacing with a liquid」 P. Bruggeman (Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota)
8. 「Cold Plasma: from Molecular Regulation to Therapeutic Intervention」 M. G. Kong and H.-L. Chen (Frank Reidy Research Center for Bioelectrics, Old Dominion University)
9. 「Aggregation of albumin in solution treated by low-temperature atmospheric pressure helium plasma jet」 T. Shimizu (Research Institute for Advanced Electronics and Photonics, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
10. 「Measurement, simulation, and application for cancer treatment of streamer discharge」 R. Ono (Department of Advanced Energy, The University of Tokyo)
11. 「Sustainable nitrogen fixation by atmospheric pressure plasma: Insights into the reaction mechanisms to improve the energy efficiency」 A. A. Abdelaziz and H.-H. Kim (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))
12. 「Agricultural and fisheries applications of atmospheric pressure plasma」 Y. Ikeda, K. Tange, Y. Kido, H. Motomura, S. Satoh,

- and M. Jinno (Graduate School of Science and Engineering, Ehime University)
13. 「Molecular mechanism underlying cardioprotective effect of cold atmospheric plasma-irradiated cysteine」 T. Tanaka^{1,2,3}, *et al.* (¹NINS CNSI, ²NIPS, ³ExCELLS)
 14. 「Development of High-Quality Transfection Method Using Discharge in Liquid」 R. HONDA, S. SASAKI, K. TAKASHIMA, M. KANZAKI, T. SATO and T. KANEKO (¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, ¹Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ³Institute of Fluid

本研究会では学内外を含め延べ70名以上の参加者があり、講演は「原子層量子デバイス開発」と「プラズマ医療・バイオ応用」を主テーマに、プラズマとその応用、原子層物質の合成・制御と応用、機械学習活用ナノ材料合成、バイオ応用プラズマプロセス等の立場から、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3] 成果等
(3-1) 研究成果

TMDの量子デバイス応用の第一段階として高品質TMD結晶の合成と合成機構解明を目的とし研究を行い、以下に示す研究成果を得た。

ごく近年我々が世界で初めて開発したその場観測CVD法を用いて、TMDの一種である二硫化タングステン(WS_2)成長過程初期の基板上的様子を光学的に撮影し、さらにこれにより得られた結晶成長画像を自動解析する機構を新たに開発することで、肉眼では判別が困難な初期の結晶核形成過程を詳細かつ定量的に計測することに成功した。その結果、まず気相から供給

された成長前駆体が微小液体(液滴)状態に変化し基板上を動き回り、次に複数の液滴が融合したクラスター(前駆体の中間状態)を形成した後、クラスター内部で液体-固体相転移が発生することで単層 WS_2 が成長する様子を直接観測することに成功した(図1)。一般的な古典的核形成モデルにおいては、前駆体からの核形成が中間状態を経ず一段階で進行するのに対し、このような中間クラスターを経由する現象は、非古典的核形成モデルの二段階核形成として知られている。このような非古典的な核形成に関しては、近年、高分子や微粒子等の成長過程においてその存在が報告され、新たな核形成モデルとして大きな注目を集めている。TMDの核形成がこの非古典的核形成モデルによることを実証したのは本研究が世界で初めてとなる。さらに、成長基板のみの温度を独立に制御可能な機構を取り入れることで、TMD核形成までにかかる時間(インキュベーション時間)が基板温度(≒液体前駆体温度)に依存して非線形な振る舞いをすることを明らかにし、この現象を液体前駆体の熱活性に伴う拡散能力と、液相と固相の温度差に由来する結晶成長駆動力のバランスで決定することを熱力学的に解明した。

今回明らかにした非古典的核形成機構を活用することで、今後、巨大単結晶TMDの合成や、二層TMDにおける積層方位制御など、TMD結晶の高品質化の観点で極めて重要な貢献が期待できる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究は、我々が独自に開発したその場観測合成手法を活用することで、TMDにおける新たな核発生機構を解明した研究である。本成果を活用することでさらなる高品質TMDの合成が期待できTMDを活用した高性能量子デバイス開発等への発展が期待される。

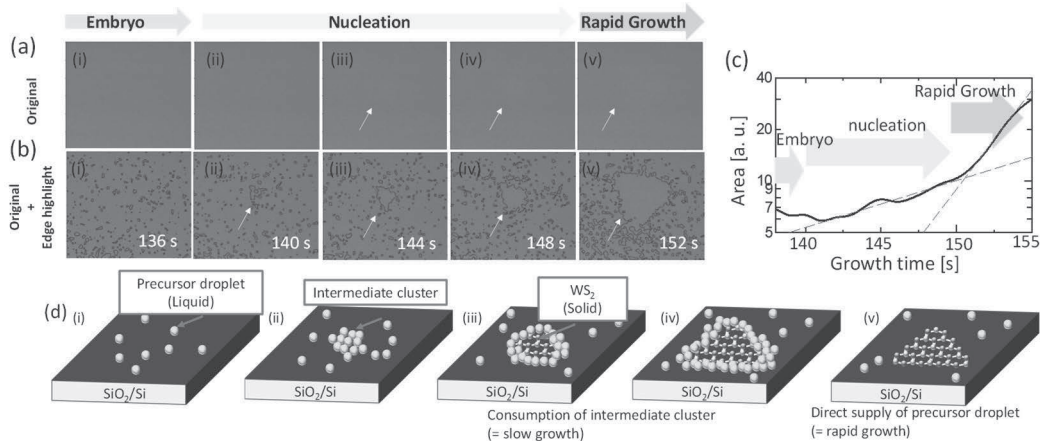


図1: その場観測CVDで観測した(a)オリジナル画像と(b)自動画像解析により結晶輪郭をハイライトした画像の成長時間発展の様子。(c)自動画像解析により抽出した単層 WS_2 結晶面積の時間発展プロファイル。(d)画像解析結果に基づく、単層 WS_2 の初期核発生機構概略図。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• Xiaoming Qiang, Yuta Iwamoto, Aoi Watanabe, Tomoya Kameyama, Xing He, Toshiro Kaneko, Yasushi Shibuta, and Toshiaki Kato “Non-classical nucleation in vapor-liquid-solid growth of monolayer WS₂ revealed by in-situ monitoring chemical vapor deposition”, Scientific Reports, **11**, 22285-1-9, 2021.

採択番号：R03/A08

光機能化を目指したナノカーボンの ナノ光電子物性解明

[1] 組織

研究代表者：

片野 諭 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員：

片野 諭 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

Izabela Irena Rzezniczka (芝浦工業大学
理工学研究科)荒船 竜一 (物質・材料研究機構国際ナノ
アーキテクトニクス研究拠点)

白木 将 (日本工業大学基幹工学部)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

高度光情報通信の発展に必須なナノ光源の材料としてナノカーボンが注目されている。例えばナノカーボンの代表であるカーボンナノチューブ (CNT) やグラフェンに光を照射したり、電流を直接流すと、可視・紫外からテラヘルツにわたる光子エネルギー領域において発光が誘起される。発光に関わるナノカーボンの電子準位は、炭素骨格の構造によって決定される。つまりボトムアップに基づく物質設計によって、高いエネルギー精度と高い空間精度を兼ね備えた発光素子の実現が期待される。しかしながら、これらナノカーボンの発光効率が低いことが問題視されている。例えば、CNT の発光効率は 1%程度と非常に低く (Piao 他, *Nat. Chem.* (2013))、実用化にあたって大幅にその発光効率を上げることが切望されている。

このようなナノカーボンの抱える問題を解決するにあたって、研究代表者らは、通研共同プロジェクト (通研共プロ) 「カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御」(H30/A08) の研究課題を実施した。その結果、酸化グラフェン (GO) のナノスケール構造を走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて世界で初めて解像し、GO 内に局在した電子状態を走査トンネル分光 (STS) により明らかにすることができた (Katano *et al.*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **20** (2018) 17977.)。これらの研究を通して、STM をベースとしたナノスペクトロスコーピーがブレイクスルー技術となり、振動・電子状態や光物性などナノカーボンの機能性に関わるナノ物性が一気に解明される見通

しを立てることができた。

本研究では、これまでの通研共プロで得られた研究の成果を土台として、ナノカーボンの機能化を実現する発展的な研究を実施する。本プロジェクトの研究目的は、局在した光電子物性制御が鍵を握るナノカーボンの光機能性を原子スケールの空間分解能を有する STM によって見出すことである。当該グループが独自に発展させた STM 発光分光によって、ナノカーボンの発光に関与する数 nm に局在した格子振動や励起子を実空間で可視化する研究を行う。また、このようなナノスペクトロスコーピー計測を通して、ナノカーボンの発光効率を決定する原子配列や化学状態を明らかにする。さらに、STM ナノケミストリーの適用によるナノ特異点導入と構造最適化によるカーボン素子の機能向上、ナノカーボンの発光ダイナミクスを微視的に制御する研究を展開する。

本課題は令和 3 年度に新規採択された研究課題である。令和 3 年度において、有機単分子膜を援用した GO の表面吸着構造に関する研究、熱および光によるナノカーボンの形成メカニズムの解明に関する研究について成果があった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

a. 有機単分子膜を援用した酸化グラフェンの表面吸着構造に関する研究

グラフェンシートをカルボキシル基、ヒドロキシル基、エポキシ基などの酸素官能基で修飾した GO は、バイオセンサーや光学素子などへの利用が期待されている。このような応用を考えた際、基板表面上の GO の吸着構造を制御することは重要な課題である。酸素官能基を有する GO は親水性を示すため、GO を固定化する基板表面の濡れ性が GO の吸着構造に大きな影響を与えると期待される。本研究では、Au (111) 基板の濡れ性を有機単分子膜で制御し、GO の吸着構造をコントロールできないか検討した。

ここでは、有機単分子膜としてオクタンチオール ($C_8H_{17}SH$) の自己組織化単分子膜 (C8S) と、強い疎水性を示すフルオロデカンチオール ($C_{10}F_{17}H_{4}SH$) の自己組織化単分子膜 (C10FS) を使用した。作製した有機単

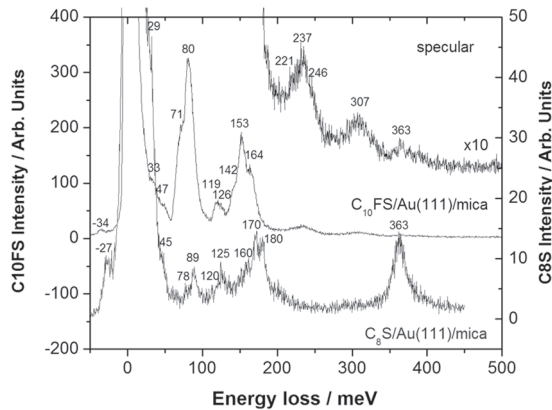


Fig. 1: High-resolution electron energy loss spectra (HREELS) of octanethiolate (C8S) and per-fluorodecanethiolate (C10FS) adsorbed on Au(111)/mica.

分子膜の吸着構造を高分解能電子エネルギー損失分光法 (HREELS) で評価した。その結果を Fig. 1 に示す。それぞれの分子の骨格に起因する振動モードが明瞭に観測された。これらの結果は、有機単分子膜を構成する分子が高い整列性を有していることを示唆している。このような有機単分子膜上に GO を吸着させたところ、分子種によって吸着構造が大きく変化することを見出した。特に C10FS 上で、GO は同一シート内で何重にも折り重なった構造で吸着することがわかった。フッ素置換基を有する C10FS は、(C8S) より強い疎水性を示し、親水性の GO との親和性が乏しい。つまり、C10FS 上ではシート状の GO が凝縮するため、GO が平面構造を保って吸着することができないと考えられる。

b. 金属ナノ微粒子上におけるナノカーボン形成および電子構造解析

金属ナノ微粒子上に被覆した高分子 (PVP) の熱反応と光反応を調べた。室温で得た Raman スペクトルでは、金属ナノ微粒子の表面増強ラマン散乱 (SERS) 効果によって PVP の分子骨格に帰属される鋭い振動ピークが観察された (Fig. 2(a))。この試料基板をアニール処理すると、微粒子の形状変化が起こり、同時に PVP がナノカーボンに変化することを見出した (Fig. 2(b)-(g))。このような熱反応によって、金属ナノ微粒子の形状変化とナノカーボンの分解脱離が促進され、金属ナノ微粒子の焼結が誘起されることを明らかにした。一方、高強度のレーザー光を金属ナノ微粒子に照射すると、微粒子形状を保持したまま PVP がナノカーボンに変化することを示した。光反応後に出現した D、G バンドが高い強度を示したことから、金属ナノ微粒子の SERS 効果が起きていると考えられる (Fig. 2(h))。ここで光反応の励起光強度依存性を計測したところ、PVP の光反応は 2 光子吸収反応によって起こることを明らかにした。ナノカーボンの電子状態を走査トンネ

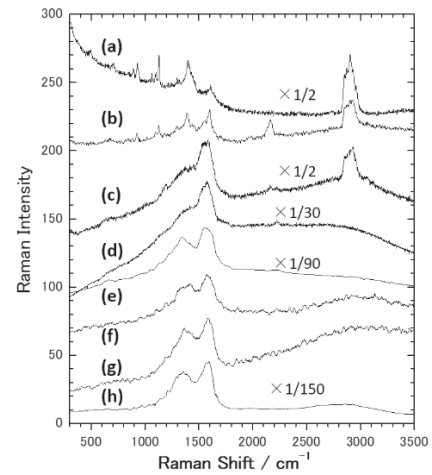


Fig. 2: Raman spectra of PVP/AgNC/Au(111) obtained at (a) RT and after annealing at (b) 111 °C, (c) 179 °C, (d) 222 °C, (e) 265 °C, (f) 395 °C and (g) 482 °C. (h) Raman spectrum obtained after the irradiation of intense laser ($\lambda=532$ nm, 4 mW/ μm^2) to PVP/AgNC/Au(111) for 4 s (2 s \times 2 times).

ル分光法 (STS) で評価した。その結果を Fig. 3 に示す。PVP のフロンティア軌道間のエネルギーギャップは、532 nm の 2 光子エネルギー (4.66 eV) におおよそ一致することから、この金属ナノ微粒子上での光反応が 2 光子吸収過程を経た分子のフロンティア軌道間の直接電子遷移により誘起されると考えられる。

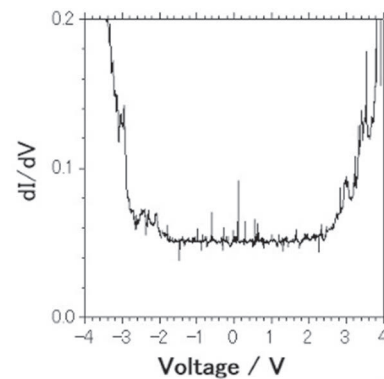


Fig. 3: STS spectrum of PVP adsorbed on Ag nanocube particle..

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・ T. Iwahori, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano, "Thermally and photoinduced structural and chemical changes of a silver nanocube array on Au(111)", *RSC Adv.*, **11**, 15847-15855 (2021).

・ S. Katano, T. Sasajima, and R. Kasama, "Nanoscale Observation of Light Emission from Reduced and Unreduced Graphene Oxide", *29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29)*, online, 12 月 09 日 (2021).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ 片野諭, "走査トンネル顕微鏡発光" 日本表面真空学会編, 図説 表面分析ハンドブック, 朝倉書店 (2021) 444-447.

採択番号：R03/A09

超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナ に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

金谷 晴一（九州大学大学院システム情報科学
研究院）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

山本 駿佑（九州大学大学院システム情報科学府）
田崎 航平（九州大学大学院システム情報科学府）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

通信トラフィックの増大に伴い、アクセスならびにインターフェースの高速無線化が喫緊の課題であり、国内外で「100Gbit/s 無線」に対するニーズが顕在化している。テラヘルツ波(THz, 300GHz~3THz)の利用は課題解決のための有力な解である。本研究テーマ「超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究」では、将来の大容量テラヘルツ通信を実現するため、アンテナ及び送受信回路を集積化するための基盤技術を確立することを目的として研究を行った。

これまで、末松 憲治 教授（東北大学電気通信研究所）と共に、Global Foundries 社 45nm SOI (Silicon on Insulator) プロセスを用いて、集積回路基板上にテラヘルツ帯で動作する超広帯域平面アンテナの設計手法を確立し、1THz 帯で動作する平面アンテナの試作及び評価を行ってきた。今回、その成果や設計・計測方法の知見を用いて、アンテナの利得向上のためのアレイ化に関する研究を実施した。なお、アンテナの設計については九州大学が所有する三次元電磁界解析ツール (HFSS, ANSYS) を用い、末松 憲治 教授と共同で、Global Foundries 社においてアンテナの試作を行った。試作アンテナの高周波特性の評価には九州大学に現有する THz 帯プローブシステムを用いた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

日時：令和3年9月7日（水）

場所：メール会議

参加者：末松 憲治、金谷 晴一

打合せ内容：IC チップ試作完了の報告、及び測定につ

いて打合せ

日時：令和2年12月8日（水）

場所：メール会議

参加者：末松 憲治、金谷 晴一

打合せ内容：本プロジェクトの予算及び物品調達に関する打合せ

日時：令和2年12月9日（木）

場所：メール会議、レポート

参加者：末松 憲治、金谷 晴一

打合せ内容：米国 Global Foundry 社に対する試作チップの評価状況に関する打合せ

成果報告会：

日時：令和4年2月17日（木）

場所：東北大学電気通信研究所

参加者：末松 憲治、金谷晴一

発表内容：超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究（ポスター発表）

その他の打合せ：

電子メールによる打合せ（多数）

打合せ内容：

- ・試作レイアウトの提出、及びデザインルールチェックの実行に関する打合せ。
- ・試作チップのレイアウト配置に関する打合せ

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一にアメリカ合衆国の世界的半導体製造企業である Global Foundries 社の 45 nm SOI プロセスを用いて、単方向スロットアンテナを設計した。本プロセスは多層基板であるが、アンテナ設計においては、一部の層間メタルを使用せず、トップメタルが厚さ 4.125 μm 、誘電体基板（層間絶縁膜）が厚さ 10.5 μm ($\epsilon_r=4.0$)、フローティングメタルが厚さ 1.2 μm とした（図1）。

本アンテナでは、従来型のスロットアンテナの裏面に電氣的に接続のないフローティングメタルを配置している。そして、表面メタルのスロットからメタル

の端の長さを2分の1管内波長とすることで、表面にのみ電界の定在波が生じ、単方向指向性を実現することができる。また、誘電体基板の厚さによる影響がマイクロストリップアンテナより小さく、薄型に設計することが可能である。

以上2つの理由から、本スロットアンテナは積層構造である集積デバイスと一体化するアンテナに適している。提案したアンテナをアレイ化することにより指向性特性の向上を行った。

図2に1×4アレイアンテナのレイアウトを示す。給電方法は並列給電回路の形式を用いた。オンチップ測定のため、GSGプローブパットを設けた。

また、今回設計したアンテナのフローティングメタルは4.5 μm×4.5 μmのメッシュ状を採用している。アンテナのフローティングメタルのデザインルールはフローティングメタルのメタル部分の密度(面積)が80%以下でなければならないというものである。10 μm×10 μmの中に4.5 μm×4.5 μmのメッシュが入っていることになるので79.75%となり、デザインルールに則っていることが分かる。

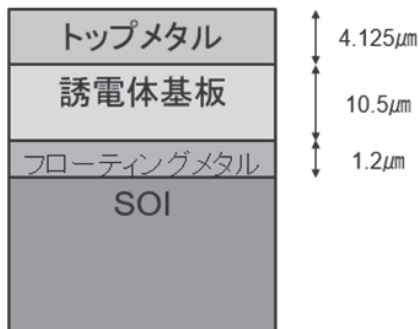


図1. アンテナの断面構造

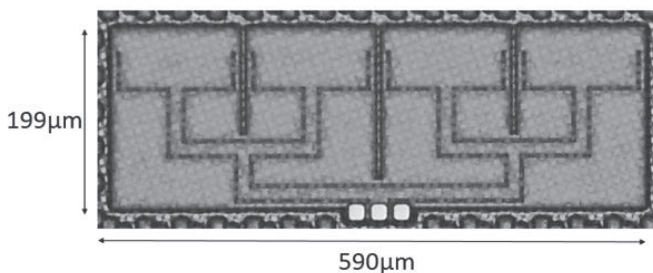


図2. 1x4アレイアンテナのレイアウト写真

第二に、設計した1x4アレイアンテナの試作及び評価を行った。周波数特性測定に関しては九州大学に現有の測定環境で行った。図3に受信電力を示す。RFオン、及びRFオフ時の受信電力の周波数特性である。図より、975 GHz付近において受信できていることが

分かる。受信電力は約-64.5 dBmであった。以上より1 THz帯での動作するアレイアンテナが実現できた。

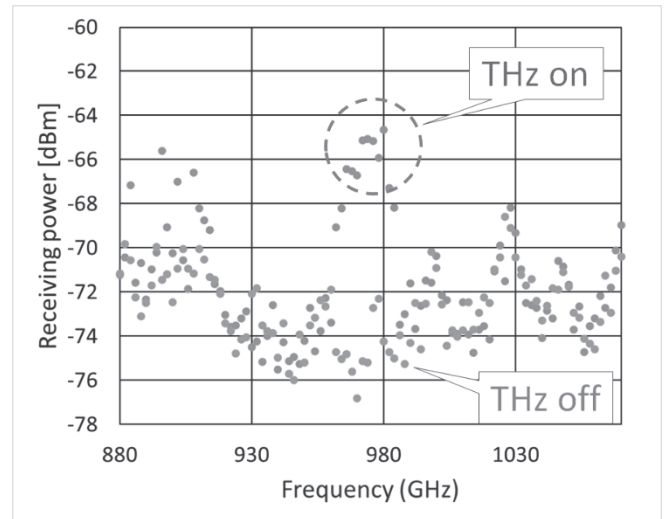


図3. 1x4アレイアンテナの受信電力の周波数依存性の実験値

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

プロジェクトで実現されたGlobal Foundries社45 nm SOIプロセスによる1 THz単方向平面アレイアンテナの研究に関する成果は、国際会議(23rd IEEE Electronics Packaging Technology Conference)において口頭にて、および国内学会(2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会)にて招待講演により発表した。特にプロセス分野やセンシング分野、および通信分野の研究者と活発な議論をすることができ、今後の異分野融合の研究分野への発展が期待できる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・” Terahertz band on-chip one-sided directional wide band slot array antenna” , Kohei Tasaki, Ryo Takigawa, Haruichi Kanaya

Proc. 23rd IEEE Electronics Packaging Technology Conference, pp. 326-329, 2021. (2021年12月)

・(招待講演) “テラヘルツ帯オンチップスロットアレイアンテナの開発”、金谷晴一、多喜川良、加藤和利、浅野種正、2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会エレクトロニクス講演論文集、p. S5-30, 2021. (2021年9月)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・” Quasi-Yagi antenna with parasitic cells and its array for 5G mm-wave operations” , Peiyi Qiu, Quanyuan Feng, Koto Miyahara, Haruichi Kanaya, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 64, pp. 117-122, 2022, (2022年1月)

・” Optically controlled THz power tuning based on interference at transmission line” , Ming Che, Haruichi Kanaya, and Kazutoshi Kato, Optics Express Vol. 29, Issue 13, pp. 20034-20044, (2021年6月)

採択番号：R03/A10

RTD の非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用

[1] 組織

研究代表者：

前澤宏一（富山大学学術研究部工学系）

通研対応教員：

尾辻泰一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

安藤浩哉（豊田高専情報工学科）

森雅之（富山大学学術研究部工学系）

Umer Frooq（富山大学大学院）

相澤一仙（富山大学大学院）

西田彬（富山大学大学院）

延べ参加人数：7人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

最近、超高速通信など、THz 周波数帯への注目が集まるに連れて、共鳴トンネル素子 (RTD) への期待も高まっている。RTD は室温で微分負性抵抗を示すヘテロ接合素子であり、THz を越える超高周波動作が特徴である。RTD の微分負性抵抗特性は発振器の基盤であり、他の固体電子デバイスでは困難であった THz 信号の室温における生成が可能である。すでに 1.98THz という高い発振周波数が報告されている。

一方、RTD には非常に強い非線形性を示すという特徴もあり、この両者を活かせば THz 領域での新しい情報処理デバイスの実現も期待できる。強い非線形性を活かす一つの応用としてカオス生成器がある。カオスは決定論的現象であるが、予測不可能な複雑な振る舞いを示し、最近、情報処理や通信への応用が模索されている。RTD を使うことにより、シンプルな回路で THz 領域のカオス生成が可能となれば、様々な応用が可能となる。本研究では、RTD 発振器を基盤としてカオス生成器を作製し、その特性を明らかにする。

本年度は、本プロジェクトの1年目であり、まず、最もシンプルなカオス回路の実現とその特性解析を目的に研究を進めた。

以下、活動状況の概要を示す。

1) 基本等価回路モデルによる動作解析

まず、共鳴トンネルダイオードのシンプルな等価回路モデルを用い、RTD 発振器に正弦波入力による摂動を加えるタイプの回路について検討した。この回路は、ダフティング方程式における3次のポテンシャル項の部分を RTD の電流-

電圧特性に置き換えたものにあたる。そのため、ダフティング方程式に類似な出力が現れることが予想できる。実際の RTD の電流-電圧特性をフィッティングしたモデル電流源を用いて、本回路のシミュレーションを行った。その結果、周期倍分岐や、カオス出力の存在を確認した。

2) カオス制御方式の検討

高周波のカオス回路の出力の観測にはサンプリングオシロスコープを使う必要があるため、様々な波形が重なった形でしか観測できない。これを観測可能とするためには、カオスの周期化が不可欠である。このための方法として我々は、カオス回路に制御端子を設け、周期的にカオスを初期化する方法を提案してきた。しかし、これまでに提案した、HEMT によるシャント回路を用いた方法は、いくつかの問題がある。一つは、シャント時に RTD の負性抵抗をマスクするためには、HEMT に大きな電流駆動能力が必要となる点である。このため、HEMT には大きなゲート幅が必要であり、これは、寄生成分を増大させ、パターン設計を難しくする。ここでは、より簡易的な方法として、RTD へ供給する DC バイアスを周期的に減少させる方法を提案した。図 1 にその回路図を示す。RTD のバイアス点に設けた抵抗はバイアス点に加えるパルスの反射を抑制し、波形の乱れを小さくするためのものである。バイアス点に周期的に反対極性のパルスを加えることにより、回路をリセットし、同じカオス波形を周期的に発生することが可能となる。

3) 個別素子による実証

回路の基本的な動作を実証するため、RTD チップを PCB 基板上に実装することにより、回路を作製した。周波数帯としては、測定の容易さと、PCB 基板の損失などを考慮し、数 GHz 程度を対象とした。RTD は、InP 基板上に作製し、2.5mm 角にカットした。PCB 基板上の伝送線路とはワイヤーボンディングで接続した。インダクタンスを低減するため、一つの接続に3本程度のワイヤを使用した。図 2 に作製した回路の写真を示す。

図 3 は使用した測定系である。正弦波入力用の信号源と周期的リセット用のパルスパターン生成器は 10MHz でロックしてある。

図 4 に入力周波数をパラメータとした、回路の分岐図の測定結果を示す。高周波帯の分岐図の実験的観測にはケーブル長の効果を補正する

必要がある。この周波数帯では、入力と出力信号の位相差には大きな周波数依存性があり、入力波の特定位相におけるサンプリングでは分岐図に短周期の振動が生じてしまう。ここでは、この効果を補正することにより分岐図を作成した。この分岐図から、5GHz 近辺に2倍周期、7-8GHz に3倍周期の特性が見られ、その間にカオスらしき領域が現れていることがわかる。

図5に本回路のカオス波形をサンプリングオシロスコープで観測した例を示す。上図は、通常の測定結果であり、下図は、周期的リセット信号により、カオス波形を周期化したものである。上図では、様々な波形が重畳されてしまっているが、下図では複雑なカオス波形がはっきりと観測できている。

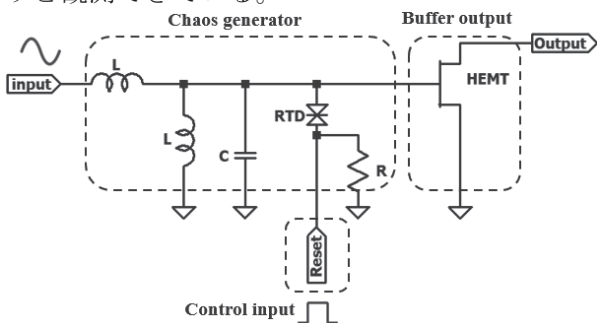


図1 RTDカオス生成器の基本回路

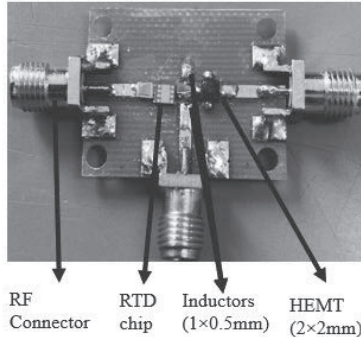


図2 RTDカオス生成器のPCB基板上への実装

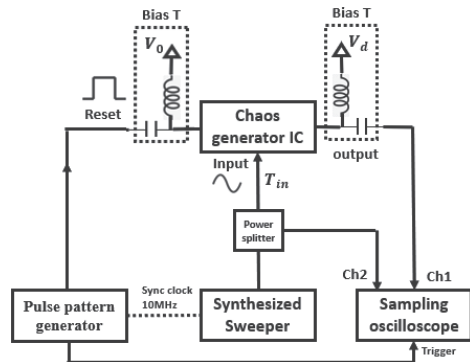


図3 測定系

4) 伝送線路 RTD 発振回路の検討

上記の検討とは別に、伝送線路を用いた高調波発振器の検討も進めた。この構造は複数の

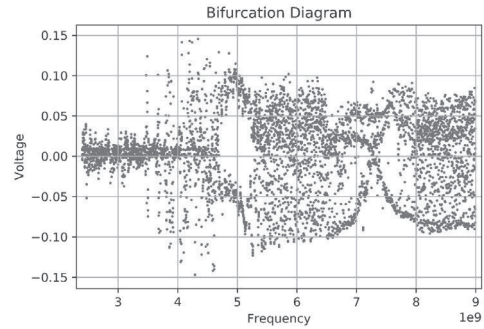


図4 周波数をパラメータとした分岐図

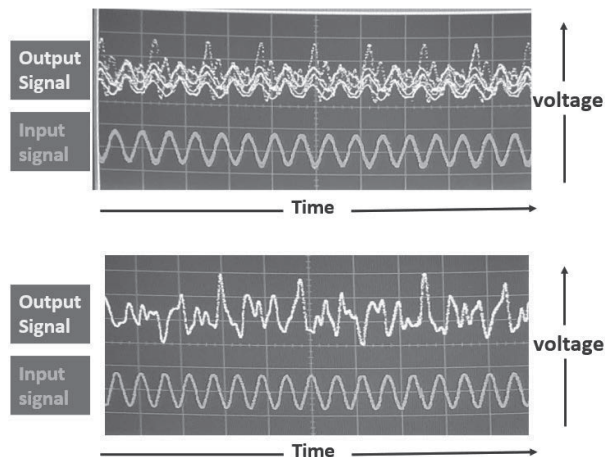


図5 サンプリングオシロスコープで測定したカオス波形 上：リセットなし、下：リセットあり

RTD を伝送線路で結合したものであり、より複雑な動作も期待できる。現在、PCB 上に回路を作製し、その特性評価を始めたところである。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第1に、ダフティング方程式に類似した外部入力付き RTD 発振器をシミュレーションにより検討し、周期倍分岐やカオス出力の存在を確認した。

第2に、カオス波形観測に必要な制御回路を検討し、シンプルで高周波回路に適した新しい回路を提案した。

第3に、PCB 基板上に InGaAs RTD とチップ部品を利用したプロトタイプ回路を作製し、上記設計回路の基本的な動作を実証した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

3-1 で述べた結果は、RTD を用いた 100 GHz 以上の超高周波領域での制御されたカオス信号の生成、及び、それによる情報処理の基盤となるものである。これにより、カオスを用いた超高速暗号化通信や、新しい情報処理アーキテクチャーに基づいた超高速集積回路など様々な応用が期待できる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[1] Koichi Maezawa, Tatsuo Ito, and Masayuki Mori, "Experimental demonstration of a hard type oscillator using a resonant tunneling diode and its comparison to a soft-type oscillator," IEICE Trans. Electron., Vol. E104-C, No. 12, pp. 685-688 (2021), DOI: 10.1587/transele.2021ECS6002.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

[1] Umer Farooq, Masayuki Mori, Koichi Maezawa, "A microwave chaos generator circuit employing a resonant tunneling diode," 2nd International Electronic Conference (IEC2021) - Enabling Nanoelectronics, Oct. 2021 On line.

採択番号：R03/A11

端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究

[1] 組織

研究代表者：

吉田 賢史（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

石崎 天斗（鹿児島大学大学院理工学研究科）

亀田 卓（広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究科）

西川 健二郎（鹿児島大学学術研究院理工学域工学系）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

5G と呼ばれる第5 世代の移動通信システムでは、マッシュ MIMO (Multi Input Multi Output) や、キャリアアグリゲーション技術に加え、今までの 4G では使われていない 28GHz 帯通信についてもサービスが開始されている。しかし、現状で市販されている 5G 端末では、すべての機種に 28GHz 帯の通信機能は搭載されておらず、ハードウェア的なハードルの高さが端末価格に反映されている。次世代の 6G や 7G においては、更なる通信の高速化のため、より高い周波数帯である 60GHz 帯の採用の可能性もあり、ソフトウェア、ハードウェアを問わず多くの分野において基礎研究を進めておくことは適切な時期が到来した際にスタートダッシュを決めて日本の技術力を示す際に重要となる。本提案では、従来のスマートフォンに、60 GHz 帯の通信システムを搭載した小型携帯端末の実現を見据え、60 GHz 帯のアンテナに着目する。マイクロ波帯に比べ電波の直進性が高く、かつ伝搬損失が大きいアンテナの利得を大きくするアレイ化が必須となる。しかし、利得を上げることはビーム幅を狭くすることであるため、レーザポインタのようにピンポイントで端末の位置や方向を調整し続けなければ安定した通信ができない。これでは実用性にかけるため、提案者らは 60 GHz 帯 3 次元指向性制御アンテナを提案している。電磁界シミュレータによる設計のみならず、試作および測定により 60GHz 帯における 3 次元指向性制御の実現性を示すことを大きな研究目的とする。

本プロジェクトは、本年度が第1年度である。今年度は、2点給電型の 2×2 構成のパッチアレイ

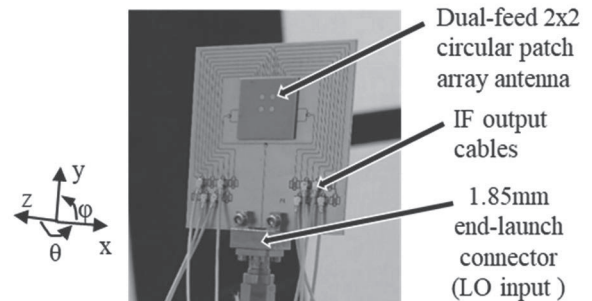


Fig. 1 The fabricated antenna.

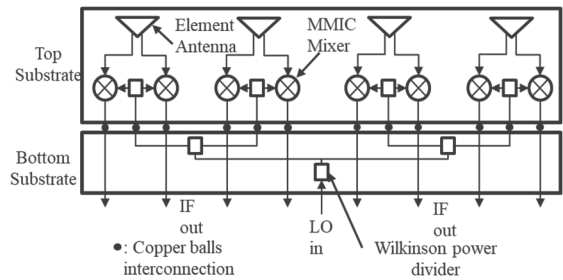


Fig. 2 The block diagram of the fabricated antenna.

テナを電磁界設計し、さらにビームフォーミングアンテナとして動作させた場合のカバレッジエリア評価を測定により行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

図1は提案アンテナの全体構造の写真である。また、図2は提案アンテナのブロック図である。提案アンテナはTop substrateとBottom substrateの多層基板2枚から構成されており、2枚の多層基板同士を銅ボール接続技術により積層した。銅ボール接続技術により、60GHz帯の信号の基板間伝送と物理的な基板支持を可能にした。Top substrateにはベアチップのGaAs MMIC Mixerが多層基板上にフリップチップ実装されている。素子アンテナが2点給電型のため、各素子に2個ずつ、合計8個のミキサチップを搭載した。提案アンテナを受信アンテナとして動作させ、受信した60GHzの信号を59.999GHzのLO信号により1MHzのIF信号に変換し、そのIF信号をオシロスコープにより観測する。そのため、Bottom substrateにはIF信号を取り出すための表面実装型

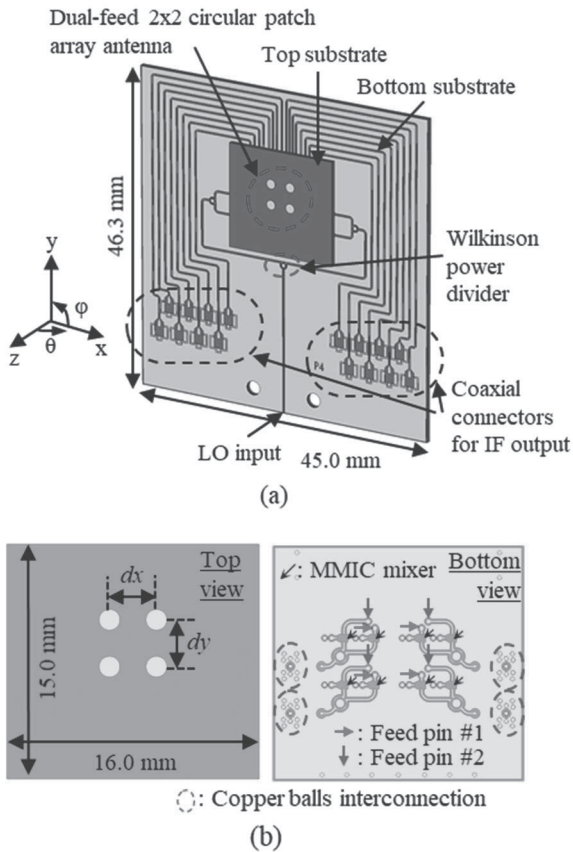


Fig. 3 The simulation model of the proposed antenna. (a) total view and (b) details of the top substrate

同軸コネクタを搭載している。また、LO信号の分配にはWilkinson dividerを用いた。

図3は提案アンテナの3次元電磁界解析モデルである。LO入力の1.85mm同軸コネクタは含まれていない。各素子アンテナのFeed pinにポートを設定し、3次元放射パターンを解析した。基板材料はMEGTRON7である。素子間隔 $dx = dy = 3.0$ mmである。

これまで提案者らにより維持管理されてきた東北大学電気通信研究所の測定系を用いて、60GHz帯における3次元放射パターン測定を行った。得られたデータはMATLABによりデータ処理を行って、利得が10dBi以上となる領域をカバレッジエリアと定義し評価する。図4は同相条件の給電信号による60GHzにおける3次元放射パターンである。測定結果は解析結果と同様にThetaが0度方向にメインビームを持つことがわかり、正常に測定できていることが確認できた。

図5は、各素子アンテナの給電位相差を45度刻みで得られる全64個の組み合わせの3次元放射パターンから10dBi以上の利得となる領域を足し合わせたカバレッジエリアである。3次元電磁界解析結果と測定結果比較すると、多少の相違は見られるが、全体的な傾向は一致したことを確認できた。これらの成果は、[4]の2つ目のIEEJ Trans.に採択された。

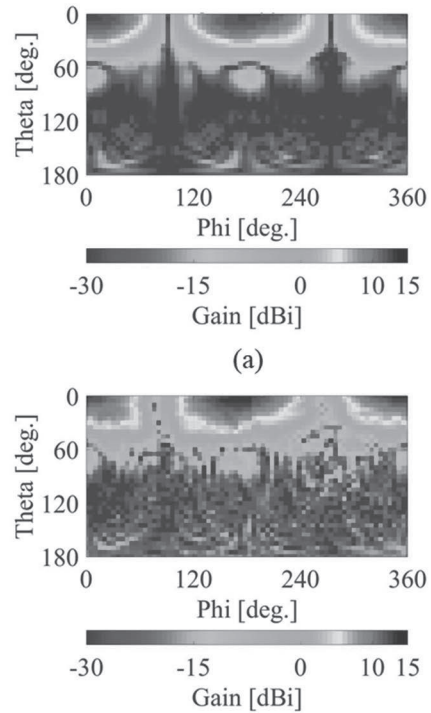


Fig. 4 One example of the 3-D radiation pattern at 60 GHz. (a) simulation and (b) measurement

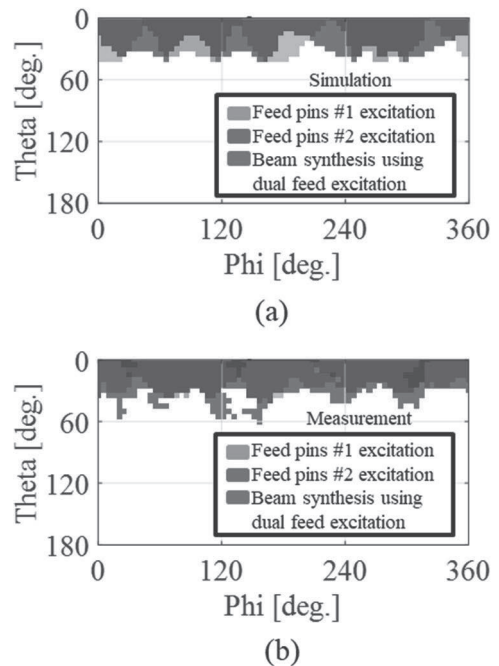


Fig. 5 Coverage area having over 10 dBi gain at 60 GHz. (a) simulation and (b) measurement

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

申請者は助教であり、比較的若手の研究者であるが、今年度新たに発足した若手研究者向けのJSTの競争的資金公募である創発的研究支援事業に応募し、最終的に採択となった。本テーマとは直接的な関係はないが、本テーマで間接的に得られた知見やノウハウが生かされている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• S. Yoshida, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, and K. Nishikawa, “Expansion of the beamforming coverage area in an elevation plane for 60 GHz band 3-D beamforming,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 20, no. 5, pp. 773-777, May 2021. doi: 10.1109/LAWP.2021.3063098.

• S. Yoshida, S. Kameda, N. Suematsu, and K. Nishikawa, “Re-evaluation of a dual-feed linear polarized 2-by-2 circular patch array antenna for 60-GHz-band digital beamforming applications,” *IEEJ Trans. Elec. Electron. Eng.*, vol. 16, pp. 1653-1655, Dec. 2021. doi: 10.1002/tee.23478.

• (INVITED) S. Yoshida and K. Nishikawa, “Expansion technique of the beamforming area for 60-GHz-band beamforming array antenna in mobile wireless terminal application,” *IEEE Global Symp. On Millimeter Waves*, May 2021.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• 特になし

採択番号：R03/A12

5G・IoTのためのエネルギーハーベストと メタサーフェス応用に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

丸山 珠美 (函館工業高等専門学校)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

中津川征士 (函館工業高等専門学校)

Chen Zhi Ning (National University of Singapore (NUS))

陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

佐藤 弘康 (東北大学大学院工学研究科)

大宮 学 (北海道大学)

[2] 本プロジェクトの目的,研究計画や内容 (目的)

近年5Gを応用したIoT(Internet of things)、すなわちあらゆる物がインターネットにつながることに関する研究開発が進んでる。しかし本当に世の中の全てのものが、スマートフォンのように充電を必要とすれば、深刻な電力不足を招いてしまう。一方、空中には、Wi-Fiや移動通信に用いるためのデータ通信の電波が常に存在している。移動通信基地局やWi-Fiのアクセスポイントから放射された電波は使用されずに減衰してしまうものも非常に多い。本研究では、通信の電波を、ワイヤレス電力伝送の技術により電波を電力に変えてIoT端末に用いられるセンサーなどの駆動に用いるエネルギーハーベストの実現を目的とする。

(概要)

本研究では、IoTのためのエネルギーハーベストを、八木宇田アンテナの原理を用いて、電力伝送距離を拡張し、メタサーフェスを応用することによって、電力伝送エリアにフレキシビリティを持たせることに成功し、これらの結果を査読付き国際会議などで発表した。

(研究打ち合わせ等の開催状況)

打ち合わせと実験について計画したが、コロナの影響があり、実現しなかった。このため主な打ち合わせは電子メールで実施した。

- (1) 8月国際会議 IEEE APWC2021の投稿内容について、末松先生、陳先生、佐藤先生、大宮先生、中津川先生、丸山の6名でメールを用いて意見交換を実施した。
- (2) 9月、12月

東北大学電気通信研究所、東北大学工学部で、メタサーフェスの放射指向特性測定と試作を実施するための打ち合わせを末松先生、陳先生、佐藤先生、中津川先生、丸山の4名で電子メールで実施した。

- (3) 12月国際会議 IEEE AP-S 2021の開催国シンガポールで Chen Zhi Ning 先生とする予定だった打ち合わせの計画について Chen Zhi Ning 先生と丸山の2名で電子メールで相談した。
- (4) 1月令和3年度の共同プロジェクト報告会で発表するポスターについて、末松先生、大宮先生、中津川先生、丸山の4名で相談した。
- (5) 2月令和4年度の研究計画について代表者および分担者全員の7名で電子メールで相談した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

空中に存在する、移動通信やWi-Fiの電波をエネルギーハーベストにより、電力として応用するため、

- (1) 通信用電波から得られる微小電力を集約し**大きな電力へ変換**するため、受電素子をアレー結合しその効果を解析により明らかにした ([1]IEEE AP-S 2022採録決定)。
- (2) 波源から離れたところで電力を受電するため、八木宇田アンテナの原理を応用し、導波素子をアレー配置することが有効であることを、ネットワークアナライザを用いたSパラ測定により明らかにした ([2]信総大2022)。Port1とPort2の間に10個の導波素子がある場合について試作したレクテナアレーの構造を図1に、測定したSパラメータから求めたワイヤレス電力伝送効率を図2に示す。ワイヤレス電力伝送効率が導波素子の設置により明らかに大きくなっていることが確認できる。

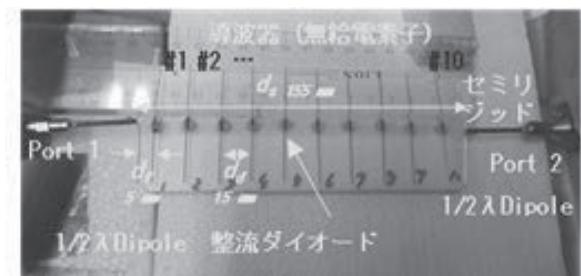


図1 試作したレクテナアレーの構造

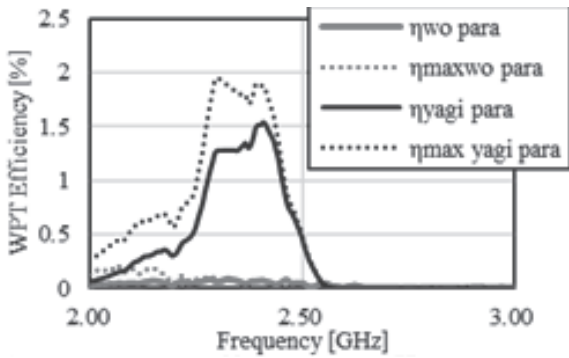
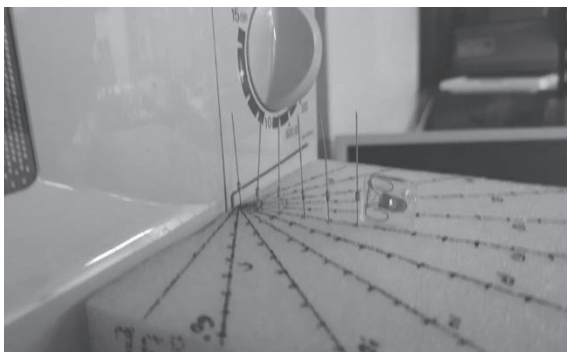
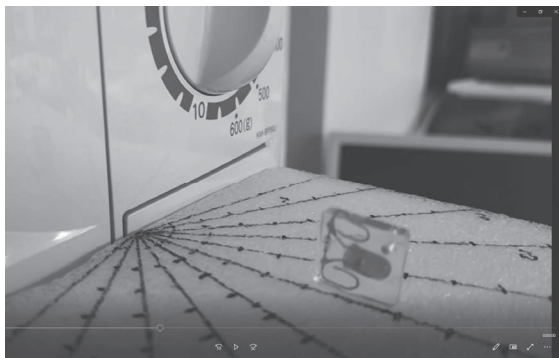


図2 ワイヤレス電力伝送効率の周波数特性

(3) 通常の八木宇田アンテナには、素子を導波器として動作させるための素子間隔と素子形状に大きな制約がある。本研究ではこの任意形状の素子で受電可能となることを明らかにした (IEEE CAMA 2021)。整流ダイオードを折り曲げて、これを誘電体に埋め込んで折り曲げダイポールレクテナを構成し、これを用いたLEDの点灯実験を行った。電子レンジを波源とした結果を図3に示す。図3(a)に示すように間に無給電素子を導波器として設置した場合はLEDが点灯するのに対して、これらを設置しない場合は図3(b)のようにLEDが点灯しないことが確認できる。



(a) With parasitic elements



(b) Without parasitic elements

図3 無給電素子の有無による、誘電体埋め込み折り曲げダイポールレクテナのLED点灯実験

(4) 八木宇田アンテナは、反射器と導波器は通常直線上に配置されており、任意の位置に配置することは困難となる。本研究では、給電素子の背面に反射素子の代わりにメタサーフェスにおいて電波の放射方向を変化させることによりエネルギーの伝搬する方向を変化できることを明らかにした ([4]IEEE APWC2021) 図4にメタサーフェスを反射器とした八木宇田レクテナアレーの構造を、図5に、各素子のワイヤレス電力伝送効率を示す。導波素子が無い場合は、#4の効率 η および最大効率 η_{max} が小さいのに対して、導波素子を設置することによって、いずれのレベルも#2と同等程度の値が得られることが確認できる。すなわち、導波素子の配列が励振素子の正面方向に無い場合も、メタサーフェスを反射素子とすることによって八木宇田構造の原理が応用できることがわかる。

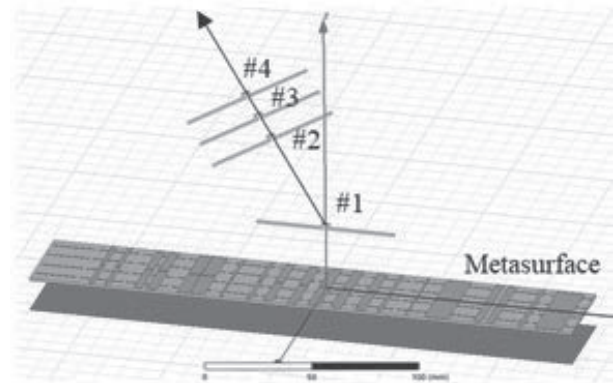


図4 メタサーフェスを反射器とした八木宇田レクテナアレーの構造

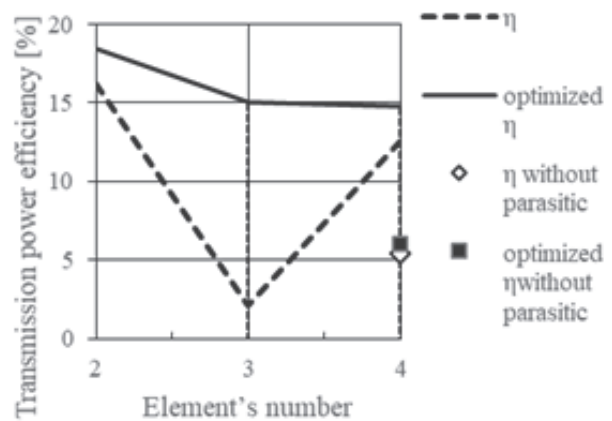


図5 各素子のワイヤレス電力伝送効率を示す。

(国際プロジェクトの招聘状況)

今回、国際共同研究の相手であった Chen Zhi Ning 先生が国際会議 IEEEAP-S の委員長を勤めており、発表する際に訪問して打ち合わせをする計画であったが、コロナの影響により実現できなかった。しかし、共同プロジェクトの発表会にオンラインでご参加いただくことができました。

[4] 論文や学会発表等

- [1] Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Yasuhiro Tamayama, Tsunayuki Yamamoto, Manabu Omiya, Keiichi Ito, Kouzoh Ohshima, Mitsuru Muramoto, and Yutaka Nasuno: "Wireless Power Transmission Efficiency of Rectenna Array Connected in Parallel," 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation
- [2] 丸山珠美, 柴田紘希, 中津川征士, 村田政隆: "八木宇田構造応用レクテナアレーのワイヤレス電力伝送効率測定," B-1-75 2022 信総大
- [3] Tamami Maruyama, Koki Shibata, Tai Kimura, Masashi Nakatsugawa: "Extension of WPT Distance for Folded Dipole Rectenna by Using Parasitic Elements as Directors," 2021 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA 2021), pp.5-6, 2021 年 11 月.
- [4] T. Maruyama, M. Nakatsugawa, N. Suematsu, M. Motoyoshi, Q. Chen, H. Sato, M. Omiya: "Novel Design of Rectenna Array using Metasurface for IOT", IEEE APWC 2021 pp.165-167 2021 年 8 月 (Invite) .
- [5] Tamami Maruyama, Tai Kimura, Masahi Nakatsugawa : "Magnetic Coupling WPT Efficiency Improvement by Inserting Relay Coil with Optimized Load Impedance," 2021 IEEE International Symposium on Antenna and Propagation (IEEE AP-S 2021) pp.455-456 2021 年 12 月.
- [6] Tamami Maruyama, Shunta Kasai, Koki Shibata, Manabu Omiya, Masashi Nakatsugawa, Yashiro Tamayama : "Novel Circuit-Shape Leaky Wave Waveguide for Microwave Snow melting," 2021 International Symposium on antennas and propagation, ISAP 2021, 220402, 2021 年 10 月 19 日.
- [7] 丸山珠美, 柴田紘希, 木村太, 中津川征士: "導波作用によるワイヤレス電力伝送距離改善法," 2021 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 通信講演論文集1 S-10-S-11 2021 年 9 月.
- [8] 丸山珠美, 木村太, 中津川征士: "装荷インピーダンスを活用した中継コイル挿入によるワイヤレス電力伝送効率の向上," 信学技報, vol. 121, no. 3, WPT2021-4, pp. 16-20, 2021 年 4 月. 121(3) 16-20 2021 年 4 月.
- [9] 丸山珠美, 柴田紘希, 中津川征士: "メタサーフェス応用八木宇田レクテナ," 信学技報, WPT 2022-3, 2022 年 3 月.
- [10] 柴田紘希, 丸山珠美, 中津川征士: "インダクタンス装荷と中継コイル挿入による磁界結合 WPT を用いた移動体 IoT のワイヤレス給電" 信学技報, WPT 2022-3, 2022 年 3 月.

採択番号 (Grant No.) : R03/A13

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

A Study of delay-sensitive access network configuration using widely frequency selectable optoelectronics devices

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

吉本 直人 (公立千歳科学技術大学)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

岩月 勝美 (東北大学電気通信研究所)

得地 咲良 (公立千歳科学技術大学)

喩 弘歴 (公立千歳科学技術大学)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

目的: 人口知能 (AI) 技術を用いて多様なデータを活用する Society5.0 時代を見据え、低レイテンシーでかつリアルタイム性の高いネットワーク基盤の実現が期待されている。また、5G の商用化に伴い、その先を見据えた beyond-5G や 6G の技術検討が開始されている。一方、実サービスにおいても、自動運転や拡張現実・仮想現実 (AR/VR) を利用したサービスにおいて、ネットワークのリアルタイム性の要求が高まっている。近年では、NTT が提唱する IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想も、この要求の実現を目指した手法のひとつである。これまでの課題として、ユーザ端末とエッジノードを結ぶアクセスネットワークにおいては、有線 (光ファイバ) と無線区間の伝送方式が独立に設計されていたため、伝送容量の増大に伴うエラー訂正や波形整形等の信号処理が全体を通して最適化されておらず、信号処理遅延が増大し、ネットワークのリアルタイム性を阻害することであった。この課題を解決するために、本研究では、近年進展著しい AI 技術のネットワークへの適用を試み、伝送路の状態や通信状況に応じて柔軟に有線・無線伝送媒体に依存せず全体最適化された信号処理技術を選択すること、また併せて、ミリ波・テラヘルツ波帯光・電子デバイスを用いることにより、信号処理遅延を大幅に削減し、高速・大容量性のみならず、低遅延・リアルタイム性を有した新しいアクセスネットワークの通信方式の実現に関する要素技術開発を行い、その有意性を世界に先駆けて実証することを目的としている。本研究における目指すべき目標は、有線

や無線、さらには地上や海中、宇宙などを意識することなく、低遅延でリアルタイム性の高い新しいアクセスネットワークの提唱とその基盤技術の確立に向けて、新しいアクセスネットワーク構成のモデル化と、そのキーとなるミリ波・テラヘルツ波帯を動作領域とする光・電子デバイスへの要求条件の明確化とその基本動作検証である。

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

今年度は以下の取り組みを行った。

(1) 検討対象サービスの絞り込みと新しいアクセスネットワーク伝送方式の提案

想定される今後のリアルタイム性の高いサービスとして、遠隔における作業ロボットの操作を取り上げ、その低遅延性を実現するためのネットワーク構成を提案した (図1)。ネットワーク構成は、光アクセスネットワーク (PON) と波長によるパス切り替え動作が可能な光ルータを用い、集線スイッチ以外は光化した準全光ネットワークとなっている。また、集線スイッチについてはカットスルー機能を用い、パケット処理遅延を極力抑えている。PON における帯域制御については固定帯域割当を用い、帯域利用効率はやや低下するものの、リソース演算による遅延の増大を抑えている。

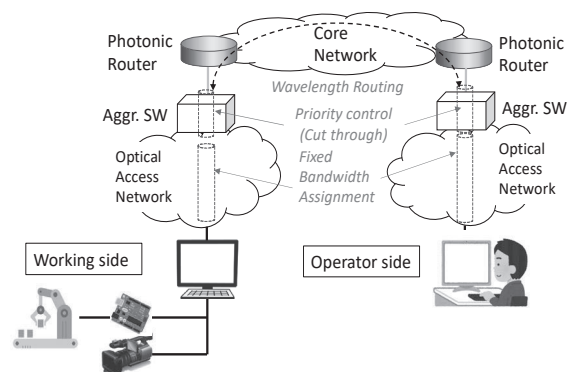


図1 ネットワークを介した遠隔ロボット制御クライアントを制御するプロトコルとして、汎用性の高さに注目し、Web ミーティングや chat アプリなどで広く活用されている Real-time Communication Protocol (RTP) を用いた。図2に検討した2つのプロトコルスタックを示す。1 つ目はネットワークの NAT

越えを実現する STUN/TURN プロトコルを用いる場合、2 つ目は全光ネットワークのようなシンプルで閉塞ネットワークを想定した Remote Desktop Protocol (RDP) である。データ転送については、双方とも差分はないが、STUN/TURN プロトコルの場合は、都度ネットワークの状態を確認する制御パケットが送出されるため、それに起因する遅延が加わるようになる。

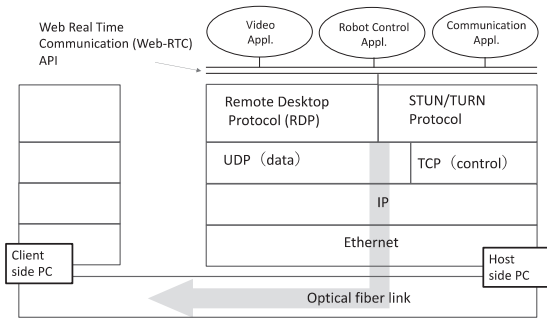


図2 低遅延サービスのプロトコルスタック

上記ネットワーク構成とプロトコルを用いてロボットの遠隔操作の検証を行った。図3に検証したネットワーク構成を示す。光ルータには 8x8 の周回性 AWG を用いた。PON 区間は、GE-PON システム (沖電気製) を用いた。拠点間の距離は約 30km とした。

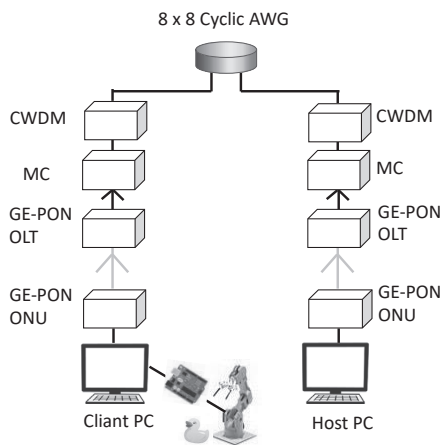


図3 ロボット遠隔操作の検証構成

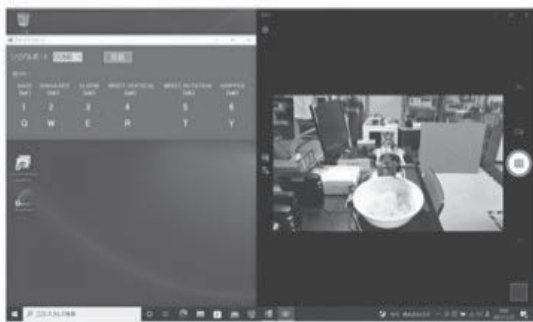


図4 遠隔にある HostPC の画面

図4に示すように遠隔にある PC 画面上に仮想のロボット制御環境を構築した。次に、公衆の光アクセス回線 (NTT フレッツ光) を用いた場合を比較対象として

ロボット作業時間と命令から作業開始までの応答時間を検証した (図5)。その結果、提案方式のほうが作業性において有意な差があることが明らかとなった。

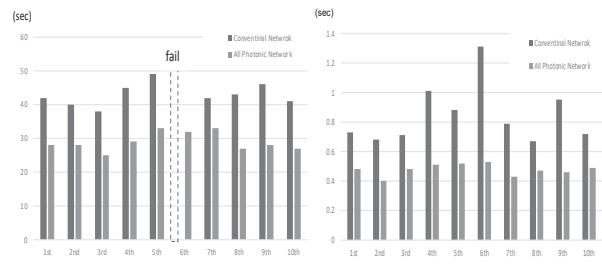


図5 左: 作業時間 右: 応答時間

また、併せてプロトコルアナライザを用いて2つのRTPのRound Trip Time (RTT)を調べたところ、どちらも約 15msec であった。すなわち、応答時間はマイコンを含めたハードウェア制御の改善によって大きく低減化できることが期待できる。

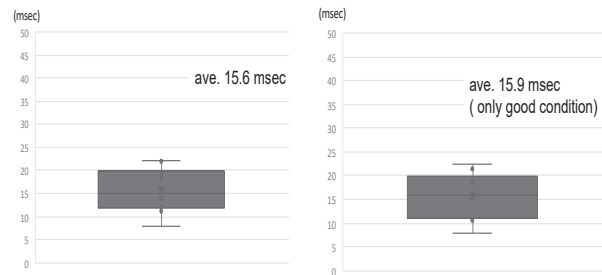


図6 RTT (左: RDP 右: STUN/TURN)

(2) シリコンフォトニクス技術を活用した光・電子機能集積モジュールの検討

高密度性と経済性が期待されるシリコンフォトニクス技術を用いた光受信デバイスと増幅回路を集積した光受信モジュールを作製・動作検証を行い、当該技術の有用性を示した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

本プロジェクトは、光アクセスネットワークの低遅延性を活かしたサービスを想定している。これは、これから本格化する次世代光・無線融合アクセス (beyond- 5G:B5G) のスコープでもあり社会的に意義がある。また、既存のネットワークも効率的に活用しながら社会実装へのスピード感を損なわないような取り組みとなっている。ネットワーク技術からデバイス技術まで、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、今後新しい研究領域 (萌芽的研究の発見) の開拓に結びつき、今後の発展が期待されている。同時に、国内外の光通信系の会議や論文への投稿について積極的に検討・準備を進めるとともに B5G 関連の研究者とも積極的に交流を深めていく予定である。

[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)

(該当無し)

(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)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

・ A. Ohta, D. A. Atlas, E. Timurdogan, S. D. Jones, M. R. Watts, M. Komoto, H. Honda, and N. Yoshimoto, “Ultra Compact Athermal 400G-FR4 Silicon Photonics Receiver with Polarization Diversity,” Optical Fiber Communication (OFC) conference, 3M2D.6, San Diego, CA, March 2022.

・ 吉本 直人, “水中光無線通信に関する研究開発動向～Aqua LAN(ALAN) コンソーシアムが拓く IoT の新世界～,” 信学技報, Vol. 121, no. 322, pp. 46-49, 2022

・ 吉本 直人, 安達文幸, “ALAN コンソーシアムの概要,” レーザ学会学術講演会, 第 42 回年次大会, S07-14a-XI-01, 2022

・

採択番号：R03/A14

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

[1] 組織

研究代表者：

鈴木 遼 (カルガリー大学)

通研対応教員：

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

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

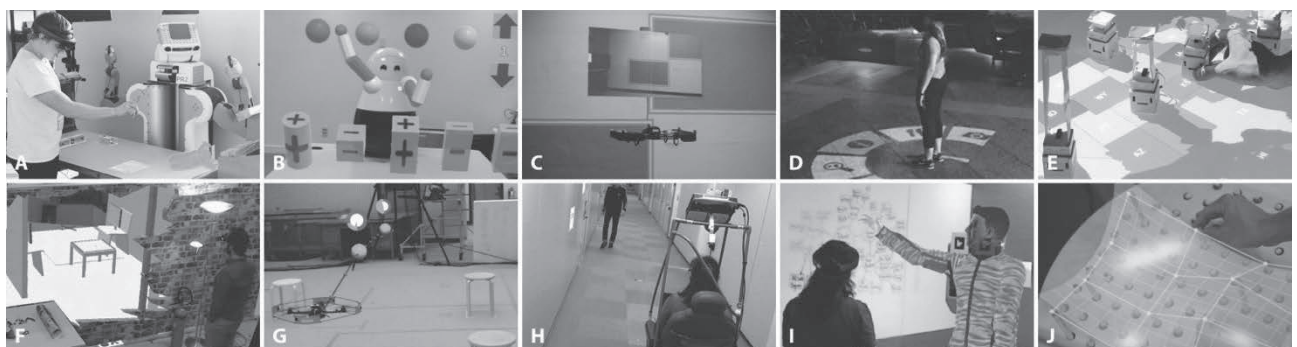
近年、IoT やロボットは急速に我々の環境に溶け込まれてきている。環境に埋め込まれた IoT やロボットを使って、部屋の温度や光量を変化させたり、自動的に掃除を行ったり、センサーを使った健康管理などはもはや当たり前前の風景になりつつある。しかし、そうした環境に埋め込まれた IoT デバイスやロボットとのインタラクションや操作が必要になると我々は未だにコンピュータディスプレイに頼らざるを得ない。例えば、スマート電球の光量や色を変化させようとする、我々はスマートフォンを探しに行き、2次元のインターフェイスで操作を行う。ロボットのプログラムにしても、コンピュータディスプレイと物理世界にあるロボットを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

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

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

一つは、IoT やロボットから得られたセンサー情報と AR をつなぐ技術である。バーチャルモデルを現実世界に投影する場合スマートフォンなどのカメラ情報のみで完結するが、IoT やロボットなど物理的なデバイスとのインタラクションを行う場合、そうした外部のデバイスのセンサー情報と AR ディスプレイの情報を統合しなければならない。外部から得られたセンサー情報をどのように可視化するか、また情報として提示するか、といった点についてはまだ大きな研究余地が残されている。

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



この新たなインタラクションを提示し、ユーザー実験を通じて評価していくことも重要な研究課題になっている。

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



[3] 成果等

(3-1) 研究成果

2021-2022 年度は、大きな成果が得られた。まず、はじめに、東北大学北村研究室とカルガリー大学の鈴木研究室で、共同研究ミーティングを行った。共同研究ミーティングでは、それぞれの学生が自分たちのデモや研究発表を行うという形式で、延べ20名前後の参加者による積極的な意見交換が行われた。

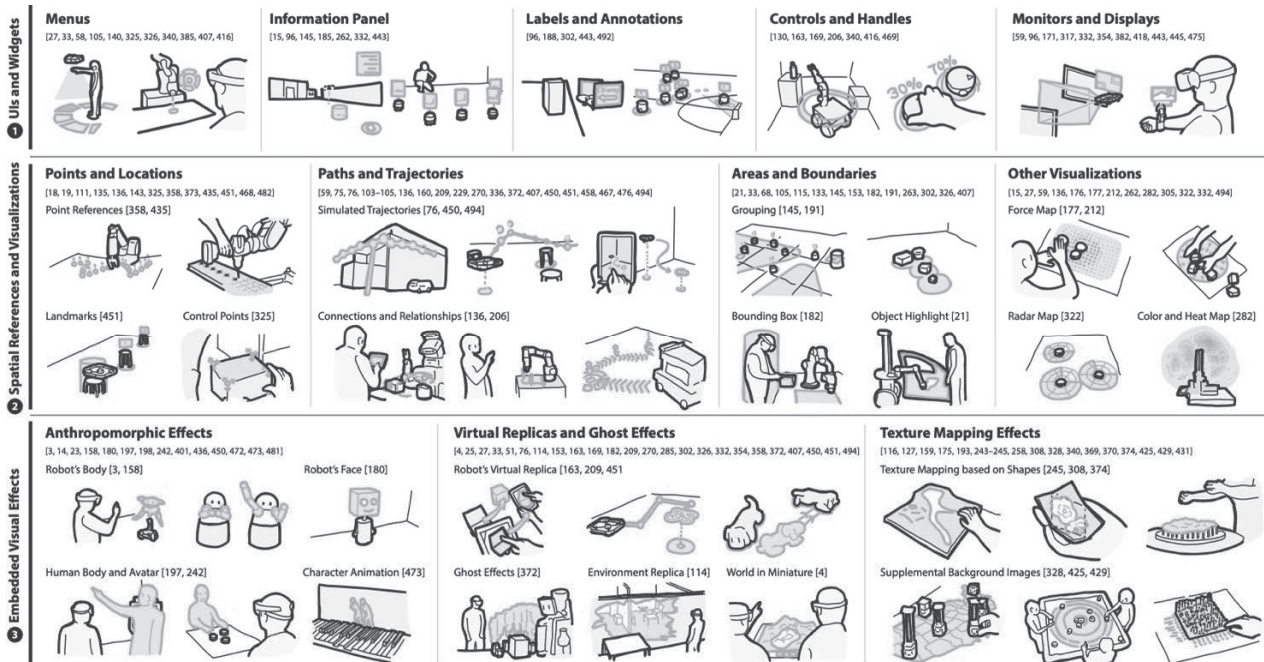
コロナ禍ということで、Zoom の形式で行われたが、非常に学生たちに高評価であり、機会がある際にまたやりたいという声を多数出た。Zoom を使うことで、多くの学生が参加する機会を得られたことは非常に大き

な意義があったと考えている。共同研究で発表された内容は、この研究計画に関わる多岐にわたる研究アイデアで、拡張現実を用いたインターフェイスのアイデアや、仮想現実世界でのロボットを用いた、触覚フィードバックデバイスの研究アイデアなどが発表された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

また、研究費で購入した物品の Hololens 2 を使い、複数のプロジェクトがカルガリー大学にて進行している。これらの研究プロジェクトは2022年4月締切の ACM UIST' 22 にて投稿予定である。

また、この研究プロジェクトのアイデアにより、カルガリー大学にて、AR and Robotics というタイトルのレビュー論文の執筆を行った。これは、過去20年間において、どのようにARがRobotics技術やインターフェイスに使われてきたかという点を様々な切り口でレビューを行った。この論文は、ACM CHI' 22 にて投稿中であり、ポスターデモでも発表を予定している。今後の予定として、引き続き Zoom を通じた学生感のコラボレーションを促していく予定であり、今年度中に少なくとも1度は、再度ミーティングを行う予定である。また、コロナが収まれば、東北大学に訪問できればと考えている。また、東北大学の学生と、具体的な共同研究のプロジェクトを行っていきたいと考えている。また、別の Mitacs というカナダのプログラムを通じて、東北大学の大学院学生を短期のインターンとして、カルガリー大学に迎え入れる準備もしている。最後に、これらの共同研究を利用して、日本またはカナダの研究助成に応募することも考えている。



[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
- (2) 関連リスト (謝辞なし)

Ryo Suzuki, Adnan Karim, Tian Xia, Hooman Hedayati, Nicolai Marquardt. Augmented Reality and Robotics: A Survey and Taxonomy for AR-enhanced Human-Robot Interaction and Robotic Interfaces. In Proceedings of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2022. (CHI ' 22, acceptance rate: 26%)

Ryo Suzuki, Eyal Ofek, Mike Sinclair, Daniel Leithinger, Mar Gonzalez-Franco. HapticBots: Distributed Encountered-type Haptics for VR with Multiple Shape-changing Mobile Robots. In Proceedings of the Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM, 2021. (UIST ' 21, acceptance rate: 25%)

採択番号：R03/A15

外界とのインタラクションを実現する再構成可能な 頭部搭載型ディスプレイ

[1] 組織

研究代表者

清川 清 (奈良先端科学技術大学院大学)

通研対応教員

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

磯山直也 (奈良先端科学技術大学院大学)

酒田信親 (龍谷大学)

高嶋和毅 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

本研究では、手動で再構成可能なモジュラー機構を用いた新たなモバイルヘッドマウントディスプレイ (HMD) を開発することを目的とする。この HMD では、HMD のフェイスカバーやヘッドベルト部を改造してモジュール化し、没入感の高い広視野 VR 体験を可能にしつつも、必要に応じてモジュールの着脱により視界周辺部での実物体や近接者とのアドホックなインタラクションを可能にする。本共同プロジェクトでは、提案手法のプロトタイプの数々の設計と実装を進め、HMD を用いたあらたなインタラクションの形態について議論を深める。

本年度は、これまでの共同研究成果をまとめ国際会議で発表する成果を得た。詳細は成果欄に記す。また、研究代表者と分担者は、メールやオンライン会議ツールを用いて研究成果のまとめ方を協議し、次年度の計画や発展形についても議論を深めた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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

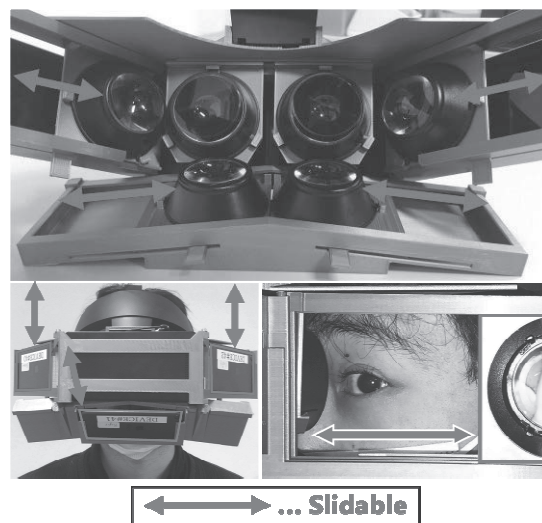


図1. 現在のプロトタイプの外観



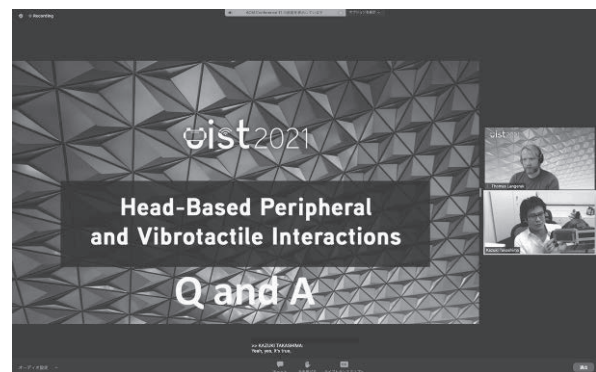
図2. ユーザの視点

図1は、本研究における現行のプロトタイプであり、小型の商用HMDの側面と底面に着脱可能な3つのディスプレイモジュールを設置している。提案するHMDの基本形態では、側面と底面の内向きのディスプレイモジュールを介して、ユーザに通常より広い視野角を提供する。もし、ユーザがVR体験中に外界に意識を向けたい時には、その対象の場所に応じて側面や底面のモジュールを取り外すことで、視界周辺部で外界を視認できる。図2はそれらモジュールの各状態によって変化するHMDユーザの視点の様子を示している。Virtual modeでは広視野のVRコンテンツを視聴することができるが、側面モジュールを物理的に取り外したRemovedモードでは、HMDを取り外さないまま、周辺視野において近くに立つ人やモノを視認することができる。

提案手法では、さらに、取り外したモジュールをインタラクションデバイスとしてHMDユーザ自身が再利用したり、近接者に貸し出したりすることも可能である。このように、モジュールを取り外し、再利用し、返却するというサイクルを作ることによって、余分なデバイスを使うことなく、HMDによる境界問題を緩和できる。

この研究の初期の成果は、ヒューマンインタフェース関連の最大の国際会議 ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems の Late-breaking work に採択され発表し、また、その発展型を、同分野のトップ会議である UIST2021 (User interface software and Technology) においてフルペーパーが採択され、今年度10月に口頭発表

した。オンライン発表には、分担者の高嶋が登壇した(発表の様子を下に示す)。



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

HMDを利用して事務的作業や教育活動を実施する日は近いと考えられる。日常にHMDが自然に溶け込むには周囲とのインタラクションもなめらかに実現することである。本研究はその課題に対してHMDの新たな設計コンセプトを提案し、根本的解決を図るものである。その中でも没入感を失わずに、かつユーザの邪魔にならないように周囲(外界)とのインタラクションをするのは難しく、本研究のようにシンプルな方法で大きな効果を得ることができれば高い注目を集めると予想される。また、代表者と分担者ともに、HMDユーザと非HMDユーザの共存のためのインタラクション手法を開発しており、本研究の成果は、双方の研究活動の発展に寄与すると期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

1. Isamu Endo, Kazuki Takashima, Maakito Inoue, Kazuyuki Fujita, Kiyoshi Kiyokawa, and Yoshifumi Kitamura. 2021. A Reconfigurable Mobile Head-Mounted Display Supporting Real World Interactions. In Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '21) Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 418, 1–7, May 2021.
2. Isamu Endo, Kazuki Takashima, Maakito Inoue, Kazuyuki Fujita, Kiyoshi Kiyokawa, and Yoshifumi Kitamura. 2021. ModularHMD: A Reconfigurable Mobile Head-Mounted Display Enabling Ad-hoc Peripheral Interactions with the Real World. In The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 100–117.

採択番号：R03/A16

聴覚的注意の時空間特性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

寺岡 諒（熊本大学大学院人文社会科学研究所）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

寺本 渉（熊本大学大学院人文社会科学研究所）

黒田 尚輝（熊本大学大学院社会文化科学教育部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

近年の情報通信技術の発展に伴い、自宅にいらしてあたかも別の場所にいる感覚をもたらす、高臨場感システムに対する需要が高まっている。このような感覚を実現するためには、情報の発信と受容の担い手である人間の知覚・認知特性を考慮した効果的な刺激呈示が欠かせない。

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

本年度は特に、奥行き方向に対する聴覚的注意に着目した。日常生活においては、自身の近くにある音と遠くにある音を聴き分け、片方の音だけを選択的に聴き取ることができる。これは、特定の距離に対して注意を向けることができることを意味している。しかし従来の研究では、特定の距離に対する聴覚的注意効果やその時空間特性については明らかになっていない。そこで本年度は、奥行き方向に対する聴覚的注意効果とその様相について検討した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、①距離に対する聴覚的注意の空間特性

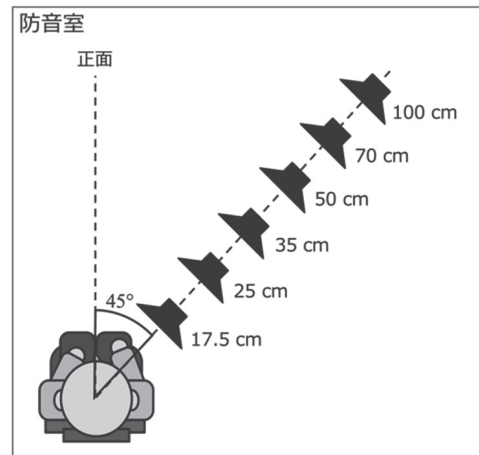


図1. 実験①の概略図。

と②接近する音像に対する聴覚的注意効果に焦点を当てて研究を行った。以下、各項目に対する成果を記述する。

① 距離に対する聴覚的注意の空間特性

本年度ではまず、聴覚的注意を特定の距離に向けた際の注意効果の定量的計測を試みた。実験では、聴取者の右斜め前方45°に対して奥行き方向に並べられた10個のラウドスピーカ（図1参照）を設置し、そこから音刺激を連続提示した。音刺激として、帯域雑音（500~50000 Hz）とホワイトノイズを使用し、それぞれ標的音と競合音とした。

この実験では、まず注意を向ける位置を教示し、参加者の注意の位置を統制した。その後、標的音と競合音を複数のラウドスピーカから連続提示した。参加者には、注意を向けた位置によらず、標的音が呈示されたら素早く反応するよう教示した。注意を向けた位置から標的音が提示された場合とそれ以外の位置から提示された場合の反応の違いを指標として注意効果を計測した。

実験の結果を図2に示す。白抜きの点、黒塗りの点はそれぞれ注意を向けた位置、向けていない位置での反応時間を示している。実験の結果、統計的に有意な差異は見られなかったものの、17.5 cmの位置と35 cmの位置でのみ、その位置に注意を向けた場合、向けなかった場合に比べて反応時間が減少することが示された。この結果は、注意を向けた位置での反応が促進される可能性を示している。

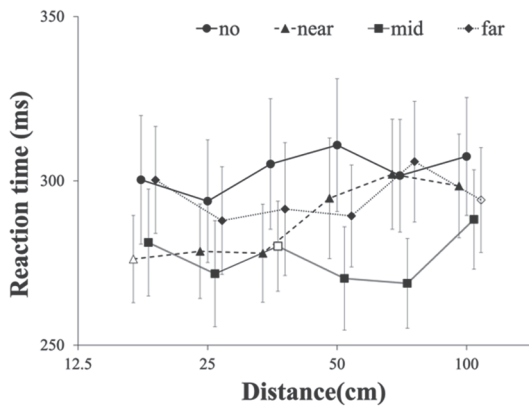


図2. 実験①の結果。縦軸と横軸はそれぞれ標的音に対する反応時間と音像位置を意味している。

② 接近する音像に対する聴覚的注意効果

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

実験では、参加者から 34 cm 離れた位置から奥行き方向にラウドスピーカを 34 cm 間隔で 5 つ (34, 68, 102, 136, 170 cm) 設置した (図 3 参照)。音刺激として 34 cm/s で接近するピンクノイズを使用した。

この実験で連続する 3 つのラウドスピーカを用いて接近移動音像を 2 秒間提示した。音像の提示開始位置は後方 3 つのラウドスピーカ (102, 136, 170 cm) の中からランダムに決定され、そこから参加者の方向に設置された 3 つのラウドスピーカを用いた。参加者には、刺激音が等速で移動し続けた場合に、その音が自身の身体に到達したと感ずるタイミングでボタンを押下するよう求めた。

この実験では、連続する 3 つのラウドスピーカを用いて接近移動音像を 2 秒間提示した。参加者には、

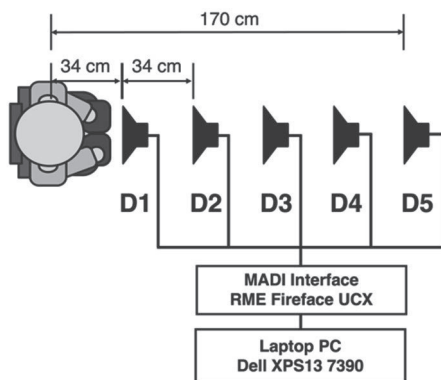


図3. 実験の概略図

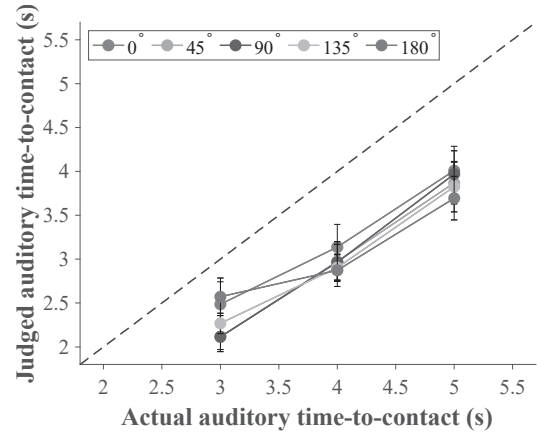


図4. 実験②の結果。縦軸と横軸はそれぞれ主観的・実際の到達時間を意味している。

刺激音が等速で移動し続けた場合に、その音が自身の身体に到達したと感ずるタイミングでボタンを押下するよう求めた。加えて、音が到来する方向の影響についても検討するため、音像に対する聴取者の向きを操作した。ラウドスピーカを正面としたときを 0° とし、0°, 45°, 90°, 135°, 180° であった。

実験の結果を図4に示す。縦軸と横軸がそれぞれ主観的な到達時間と実際の到達時間を意味している。実験の結果、後方 (180°) から到来する音に対する反応は、他の方向から到来する音に比べて様相が異なることが示された。この結果は、後方で生じる音に対する反応は、それ以外の方向で生じる音に対するものに比べて様相が異なる (すなわち方位依存性がある) 可能性を示している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

[4] 論文や学会発表等

※ 研究代表者は太字, 担当者・分担者はアンダーラインで示す

・林田侑志郎, 寺岡 諒, 寺本 涉, "聴覚接近刺激の到来方向が接触時間予測に及ぼす影響." 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP), オンライン開催, 12月23-24日 (2021).

・林田侑志郎, 寺岡 諒, 寺本 涉, "聴覚刺激の到達時間予測の到来方向依存性に関する研究." 第12回多感覚研究会, オンライン開催, 2月23日 (2022).

・寺岡 諒, 林田侑志郎, 寺本 涉, "動的に変化する音像に対する聴覚的注意効果." 学術変革領域「生涯学」第3回領域会議, オンライン開催, 3月5日 (2022).

・折原空良, 寺岡 諒, 富松智志, 坂本修一, "距離方向への聴覚的注意が標的音検出に及ぼす影響." 第386回音響工学研究会, オンライン開催, 3月14日 (2022).

・ T. Kawase, **R. Teraoka**, C. Obuchi, and S. Sakamoto (accepted) "Temporal and directional cue effects on the cocktail party problem for patients with listening difficulties without clinical hearing loss," *Ear and Hearing*.

採択番号：R03/A17

バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

森川 大輔（富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

Parham Mokhtari（富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科）

William L. Martens（University of Sydney）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

ヒトが音の到来方向の知覚に利用する主な情報は、両耳に到達する音の時間差(Interaural time difference: ITD)や音圧レベル差(Interaural level difference: ILD)、そして、音源から耳までの音響伝達関数(Head-related transfer function: HRTF)によって生じるスペクトル上の特徴(Spectral cue: SC)とされている。我々のこれまでの研究によって、両耳聴者の一方の耳を閉塞した状態であっても、閉塞した耳側に小さな入力があり、制限されたバイノーラルキューが利用できる場合には、方向知覚が可能な範囲が広がることがわかった。この知覚の成因を明らかにすることは、ヒトの聴覚メカニズムを解明する上で大きなブレイクスルーになると考えられる。本研究では音空間知覚にバイノーラルキューの制限が与える影響を明らかにすることを目的として研究を行った。

本研究では、まず受聴者本人の厳密な HRTF の計測を行った。そして、スピーカアレイを用いてバイノーラルキューを制限した条件での音像定位実験を行った。そして、計測した HRTF と音像定位実験の結果を比較・解析することで、知覚現象の成因について検討した。

以下、研究活動状況の概要を示す。

研究打ち合わせ、実験及び討論

○令和3年7月1日

オンラインで今後の研究について打ち合わせた。

○令和3年9月7日

オンラインで今後の研究について打ち合わせた。

○令和3年9月29～30日

オンラインで実験機材について議論した。

○令和3年10月21～22日

オンラインで今後の実験について打ち合わせた。

○令和3年12月7～8日

東北大学電気通信研究所にて測定実験を行うと共に、今後の研究について議論した。

○令和3年2月17日

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

○令和3年2月20～21日

オンラインで実験結果について議論した。

○令和3年2月27～28日

オンラインで研究の経過や、関連分野の最新の研究動向について共有した。

○令和3年3月10日

オンラインで今後の研究について打ち合わせた。

○令和3年3月16～18日

オンラインで今後の実験・計測方法について議論した。

なお、Martens氏はコロナ禍の影響で来仙、共同研究が実施できなかったため、メールでの議論を行い来年度に来仙して研究を実施することとなった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、耳栓を装着時の正面音源からの音の最小可聴値を測定し、計測した HRTF の対応から、バイノーラルキューを制限した条件の音像定位実験で、受聴者に各音源方向からの音の感覚レベルを算出した。図1に例として1名の受聴者の本人の HRTF と耳栓装着時の可聴域値から算出した、A 特性音圧レベル 50 dB のホワイトノイズに対する、左耳に耳栓を装着した条件での左耳の感覚レベルを、音源ごとにいくつかの周波数帯で示す。帯域幅は 1/3 オクターブである。また、中央は、同じ受聴者が左耳に耳栓を装着し、頭部を動かした際に音像位置が動いたと判断した音源位置である。矢印の始点が頭部を動かす前の音源位置、終点が頭部を動かした際の音源位置を示している。音像が動かずに知覚される音源の角度は、開放耳側もしくは低域に入力がある角度であった。また、音圧レベルが 40 dB の刺激音では、音像が動かない範囲

は開放耳側のみであった。この傾向は多くの被験者で類似していた。したがって、閉塞耳側の低域に小さな入力がある場合に計算される ITD が、バイノーラルキューが制限された条件で方向知覚可能な範囲を広げる要因となっている可能性が高いことがわかった。

第2に、バイノーラルキューを制限した条件の音像定位実験において、2方向に分離して音像を知覚する現象が生じた際の、音源方向と2つの音像方向について、本人の各方向の HRTF の関係を調べた。その結果、片耳閉塞耳に音像を2方向に分離して知覚する現象は、バイノーラルキューが完全に制限された、つまり閉塞した耳側が全く聴こえていない条件で生じやすいことがわかった。また、音像の分離現象が生じる音源方向は先行研究と類似していたが、先行研究に比べて音像の分離現象が生じる被験者数は少なかった。図3に分離現象が生じた1名の被験者の右耳の HRTF と、左耳に耳栓を装着した条件で、音像の分離が生じた音源の角度の範囲、音像の分離が生じた際の2つ音像位置 (①, ②) を示す。音源の範囲と2つの音像が知覚されている範囲の HRTF では SC の周波数は一致しなかった。しかし、音源及び①の音像方向の HRTF の1つ目のノッチと2つ目のノッチの周波数の差と、②の音像方向の HRTF の1つ目のノッチと3つ目のノッチの周波数の差は概ね一致した。そのため、この分離現象は、ノッチとノッチの周波数差を用いて音像位置を計算しようとした結果、周波数差が近い角度が複数存在したために生じた可能性が考えられる。

第3に、本プロジェクトで厳密に測定した受聴者本人の HRTF は、前プロジェクトの R30/A17 「単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究」から派生したプロジェクトである、科学研究費補助金若手研究「両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響」の実験でも活用され、音の到来方向情報による音像の分離の検知限を明らかにすることにも寄与した。この内容は成果リストに記載したいくつかの学会・研究会で報告し、一部の内容は *Acoustical Science and Technology* 誌への掲載が決まっている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

また、本プロジェクトで継続して行っている厳密な HRTF の計測に基づいて、HRTF のデータベースの構築について検討中である。これは本プロジェクトを含む立体音の知覚に関する研究や、立体音を再生する技

術に関する研究に資することから、研究分野の発展に大きく貢献できると考えられる。

さらに、本プロジェクトは、東北大学電気通信研究所と富山県立大学の共同研究に貢献するだけでなく、2大学の若手研究者の交流・育成にも繋がっている。

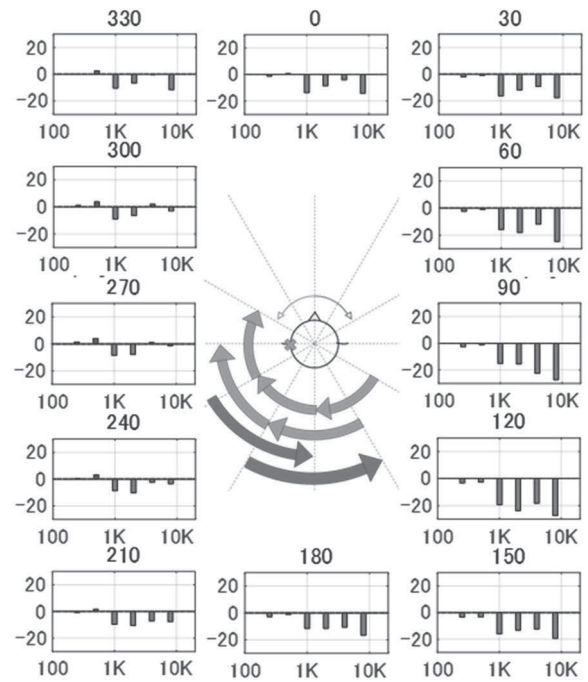


図1 音源方向ごとの刺激音の感覚レベルと、受聴者が頭部を動かした際に音像が動く方向の例

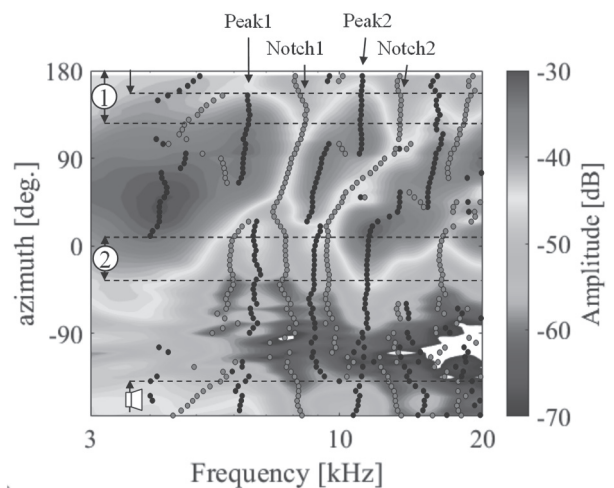


図2 頭部伝達関数(HRTF)と、音像の分離現象が生じた音源方向および知覚された音像方向の関係の例

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

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

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

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

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

・Tsubasa Sakai, Daisuke Morikawa, Parham Mokhtari
“Detection limit of sound images spatially split by synthesized binaural signals,” Acoustical Science and Technology, 43 巻3号, 213-215, 掲載予定

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R03/A18

オンライン学習者の生理心理学的データに基づく 心的状態認識に関する基礎研究

[1] 組織

研究代表者：

小俣 昌樹（山梨大学大学院総合研究部）

通研対応教員：

北形 元（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本研究の目的は、オンライン授業受講者の学習時の内的状態を電子的に記録する方法を確立することである。ここでの状態とは、学習への集中度、学習内容の理解度、および学習時の心的状態をいう。このそれぞれについて、観察および学習者自身の反応や操作によって記録できる「外的記録」と、学習者の精神面や感情などの外見では現れにくい「内的記録」が考えられる。本研究では、この内的記録について、①学習者のどのようなデータを利用できるのか、②そのデータをどのように定量化したらよいのか、③その定量化したデータをどのように解釈したらよいのか、④その解釈結果をどのように尺度化したらよいのか、という課題に取り組む。

これらの問題を解決するために、本研究では、学習者の脳波・脳血流・皮膚コンダクタンス・容積脈波・呼吸運動・筋電位などの生体信号を使用して、生理心理学的な知見から学習者の集中度・理解度・心的状態を尺度化することを提案する。生体信号は、利点として、連続的に測定できる点、学習者本人が作為的に制御しにくい点、そして、学習者自身が信号を出力するための操作をおこなう必要がない点が挙げられる。

今年度は、本プロジェクトの1年目である。内的記録と対応づけるための外的記録のデータおよびツールとして、各受講者のオンライン授業中のオフタスクの状況を把握するための質問紙調査を実施し、その調

査に基づいてオンライン動画へのうなずきを記録するソフトウェアを開発した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(2-1) オンライン授業の受講状態に関する調査

オンライン授業経験のある大学生・大学院生を対象に、受講環境とオフタスク状況を理解するための匿名質問紙調査を実施した。質問項目は、学部・学年や性別、オンライン授業の履修科目数、受講デバイスや受講場所、カメラやマイクの使用頻度、オフタスクの時間と内容、オンライン授業への意見である。標本の選出は雪だるま法を用い、52 サンプル（男性14人、女性38人）を分析した。

(2-2) うなずき入力システムの開発

前述の質問紙調査の結果に基づき、受講者がオンライン授業へ積極的に参加できる手段として、受講者がオンライン授業の内容に対する“うなずき”をスマートフォンで簡易に入力できるシステムを開発した。授業中のうなずきを入力することで、授業中の要点を意識させるきっかけを与える。

このシステムは、図1に示すとおり、スマートフォン向けアプリケーション（うなずきアプリケーション）とクラウド型データベースおよびwebブラウザで構成される。受講者は、授業を受講しながら、スマートフォンの画面中央のうなずきボタンをタップしてうなずきを入力する。このとき、入力したユーザ名とその時刻がデータベースの授業ごとのドキュメントに記録される。教員は、Webブラウザを使って、このドキュメントの情報を閲覧する。

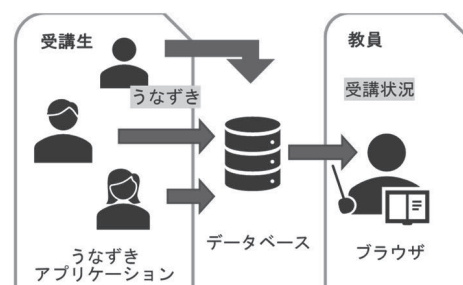


図1 うなずき入力システムの構成図

アプリケーションとwebブラウザの実装には、HTML5, JavaScript, CSS を使用した。また、アプリケーションのビルド・デプロイには Monaca を使用し、データベースには Cloud Firestore を使用した。

(2-3) 研究会の開催

本プロジェクトの代表者・対応者らが集まり、以下に示す研究会を開催し、研究内容を発表・議論した。

- 日時：2022年1月14日 13:00～15:40
- 会場：オンライン (Teams)
- 発表内容
 - ▶ 東北大学 菅沼研究室
 - ◇ 対話型コミュニケーション検出のための装着型センサに関する研究, 伊藤優樹
 - ◇ 現実・仮想空間の高度な融合による共生型インタリアデザインシステムの提案, 曾根悠生
 - ▶ 東北大学 長谷川・北形研究室
 - ◇ IoT 機器向け移動エージェントフレームワークについて, 北形元, 坂本和也
 - ▶ 山梨大学 小俣研究室
 - ◇ 映像品質劣化時における生理心理学的反応の分析と検討, 桐山奈穂
 - ◇ 視線による目的追従タスクにおける視線データの時間経過補正の検討, 岩間終人
 - ◇ 山梨大学情報系学科におけるオンライン授業の事例紹介, 小俣昌樹

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

質問紙調査の結果、回答者の約96%が、オンライン授業中にオフタスクを行っていたことがわかった。90分の授業中にスマートフォンやPCなどを使用したオフタスク時間について、10分～20分の回答が最も多く、回答者の約50%であった。そして、10分以上と回答した回答者は約83%であった。

この結果から、多くの受講者が授業以外の目的にスマートフォンやPCを使用したことで、オフタスクが増加したり授業への集中が阻害されたりしたと考える。また、対面授業に比べて、教員と受講者および受講者同士のコミュニケーションが少なくなる傾向があったため、オフタスク行動が助長されてしまった可能性が考えられる。

うなずきアプリケーションの評価のために、このアプリケーションの使用の有無の違いによるオフタスク行動の違いを比較する実験をおこなった。この実験には、大学生・大学院生30人が参加した。この参加者をうなずきアプリケーションを使用しない15人(グループA)と、うなずきアプリケーションを使用する15人(グループB)わけ、視聴中のオフタスクと動画の感想に関する質問紙調査に回答してもらった。

表1に、それぞれのグループの参加者におけるオフタスクの時間ごとの人数を示す。U検定の結果、うなずきアプリケーションを使用したグループBのオフタスク時間に減少傾向が見られた($p < 0.1$)。うなずきアプリケーションには平均で20.3回のうなずきが入力された(最大68回, 最小2回)。

表1 オフタスク行動時間ごとの人数

時間	回答者数 (人)	
	グループA	グループB
0分	1	3
1分～5分	1	4
5分～10分	0	3
10分～20分	5	3
20分以上	8	2
合計	15	15

この結果から、うなずきアプリケーションの使用によって授業動画視聴中におけるオフタスクの抑制が期待できることがわかった。グループBではグループAと比較してタスクの並行実行やスマートフォンでのオフタスクが減少したことから、集中の阻害の原因であるマルチタスクの抑制が期待できる。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究の貢献として、2020年からの新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響によって急増した大学をはじめとするオンライン授業において、教員が遠隔地の受講者の状況や状態を把握しにくいという問題、および受講者が受講内容に応答しにくいという問題の解決に貢献できると考える。

さらに、その発展として、心的な状態を電子的に記録・解釈する技術へと発展できると考えている。従来のオンライン授業では、受講者の把握のために、小テストやレポートなどの成績記録、および、アクセスログや操作ログ、フォーラムへの投稿、ポートフォリオなどの活動記録が使用されている。これらの記録については、教育や学習のエビデンスとなる記録ではあるが、教室での対面授業のような、受講者の表情、他者との会話の様子、課題への取り組みの様子などを把握することは難しい。

そして、波及効果として、オンライン授業での人間とコンピュータとの対話における「ヒューマン・イン・ザ・ループ (Human-in-the-Loop)」の中の人間(受講者や教員)が担うチャネルのひとつのために、本研究のうなずきやその発展の生体信号に基づく心的状態など、人間からさりげなく取得できるデータが有効活用されていくと考える。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- 三神堯之, 小俣昌樹, “授業動画視聴中のオフタスク抑制のためのスマートフォンによるうなずき操作,” 第183回ヒューマンインタフェース学会研究会「人工現実感, エンタテインメント, メディアエクスペリエンスおよび一般 (SIG-DeMO-11)」, pp. 133-136.
- Fangkai Zhang, Xiaofeng Fu and Masaki Omata, “Emotion Recognition on Extracted EEG Fragment Based on Self-reporting Result,” In Proc. of 2021 International Conference on Cyberworlds (CW), pp. 213-216.
- 坂本和也, 中屋悠資, 北形元, 長谷川剛, “小型IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの提案,” 第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集 (DPSWS2021), pp. 92-99. [優秀論文賞受賞]
- Jiahao Wen, Luis Guillen, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “A Hierarchy-Based System for Recognizing Customer Activity in Retail Environments,” Sensors, Vol. 21, No. 14, 4712, pp. 1-19.
- 伊藤優樹, 上野正義, 高橋大夢, 千葉慎二, 阿部亨, 菅沼拓夫, “行動認識センサによる対話型コミュニケーション検出の実験と評価,” 第20回情報科学技術フォーラム講演論文集 (FIT2021), Vol. 4, pp. 197-198.

採択番号 (Grant No.): R03/A19

認知パフォーマンス向上のための立位誘導の有効性評価 Assessing the effectiveness of sitting-standing interventions for cognitive performance improvement

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Benjamin Tag (Research Fellow at The University of Melbourne, Interaction Design Lab)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Yoshifumi Kitamura

研究分担者 (Project Member List) :

Kazuyuki Fujita (Assistant Professor, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 10 人

[2] 研究経過 (Summary)

This project proposal has two goals. Firstly, this project aims at further intensifying the existing collaboration between PI Dr. Benjamin Tag from the University of Melbourne, and PI Prof. Yoshifumi Kitamura and PI Assis. Prof. Kazuyuki Fujita of the Research Institute of Electrical Communication of Tohoku University. Secondly, this project aims at conducting a study that combines research from RIEC and from the University of Melbourne, Australia. The findings of this study will be disseminated at a CORE A* Human-Computer Interaction venue (e.g., conference: ACM CHL, journal: PACM IMWUT).

These two goals will establish the foundation to develop a collaborative research agenda for a 2022 RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects Type S application, and a 2022 grant application to the Foundation for Australia-Japan Studies, a competitive international collaboration grant scheme.

In detail:

- 1) The study meeting shall intensify the collaboration between the Tohoku University RIEC and the University of Melbourne. The meeting will be held in late Autumn 2021 (approx. November), if the current global health crisis allows for international travel. If travel cannot happen, the study meeting will be conducted in form of a series of virtual meetings. In these meetings the PIs and researchers will discuss the development and assessment of intervention techniques that support human cognition, e.g., by preventing high fatigue levels and increasing alertness of users.
- 2) The proposed study is combines research from RIEC and the University of Melbourne and aims at assessing the effectiveness

of physical interventions (PI Kitamura and PI Fujita's "TiltChair") for preventing cognitive fatigue (sensed with PI Tag's real time infrared and pupil sensing systems) in learners. We will collaboratively design a study, that will be conducted at RIEC. The data will be analyzed in close collaboration, and the results will be published with contributions made by all PIs.

The project will be located under the Advanced System and Software for Information Society subtheme and aims at further developing research conducted by PI Tag on unobtrusive alertness and cognitive workload tracking. Currently developed systems are able to sense fluctuations of cognitive workload [4, 5] as well as alertness levels [2, 3]. But, while we can detect changes in cognitive states, it is not clear if physical interventions, e.g., standing up from a desk [1], can effectively increase focus and prevent fatigue. This work will contribute to new knowledge in HCI and UbiComp research and will have implications for occupational health and safety, working from home, physical and mental wellbeing, and improved physical and mental performance.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

We held an online research exchange meeting between the Yoshifumi Kitamura and Kazuyuki Fujita's group at Tohoku University RIEC and Benjamin Tag's team at University of Melbourne on February 25, 2022.



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

This collaborative research project will be continued next year by using the same scheme of the RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects or other related project. The expected outcomes of the project are twofold:

A. A multisensory system for stationary tracking of cognitive load and alertness

B. A user study assessing the effectiveness of a physical intervention system (standing – sitting) for prolonging cognitive performance.

参考文献 (References)

- [1] Fujita, K. et al. TiltChair: Manipulative Posture Guidance by Actively Inclining the Seat of an Office Chair, Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21). Article No.: 228, Pages 1–14
<https://doi.org/10.1145/3411764.3445151>
- [2] Tag, B. et al. 2020. Inferring Circadian Rhythms of Cognitive Performance in Everyday Life. IEEE Pervasive Computing. (2020), 14–23.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MPRV.2020.2994914>.
- [3] Tag, B. et al. 2019. Continuous Alertness Assessments: Using EOG Glasses to Unobtrusively Monitor Fatigue Levels In-The-Wild. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (New York, NY, USA, 2019), 464:1–464:12.
- [4] Tag, Benjamin, et al.. “Facial temperature sensing on smart eyewear for affective computing.” ACM UbiComp’17. Maui, USA.
- [5] Tag, Benjamin, et al.. “Facial Thermography for Attention Tracking on Smart Eyewear: An Initial Study.” ACM CHI EA '17, Denver. USA.

[4] 成果資料 (Publications)

N/A

採択番号：R03/A20

薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム

[1] 組織

研究代表者：

木村 睦（龍谷大学先端理工学部）

通研対応教員：

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

浦岡 行治（奈良先端科学技術大学院大学）

古田 守（高知工科大学環境理工学群）

曲 勇作（島根大学学術研究院理工学系）

徳光 永輔（北陸先端科学技術大学院大学）

西中 浩之（京都工芸繊維大学電気電子工学系）

Sung-Min Yoon Kyung（Hee University）

中島 康彦（奈良先端科学技術大学院大学）

張 任遠（奈良先端科学技術大学院大学）

石崎 勇真（龍谷大学大学院理工学研究科）

岩城 江津子（龍谷大学大学院理工学研究科）

片桐 徹也（龍谷大学大学院理工学研究科）

澤田 篤志（奈良先端科学技術大学院大学）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

目的

人工知能は、現在も様々な応用に用いられ、未来の社会において不可欠な技術である。しかしながら、従来は、超ハイスpek的なノイマン型のハードウェアで実行される複雑で長大なソフトウェアであり、マシンサイズが巨大でエネルギー消費が膨大であるという課題があった。そこで我々は、2018～2020年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究をはじめとして、「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」の研究開発を行ってきた。脳型集積システムは、ハードウェアレベルからの生体模倣システムで、生体の脳と同様にコンパクト・低エネルギー消費・頑強動作といった特長をもつ。一方、薄膜半導体デバイスは、大面積に三次元積層構造で作製することが可能である。薄膜デバイスを利用することで、脳型集積システムの特長をさらに高めることを目的とした。その研究は、多くの成果を挙げ、おおよそその目的を達成することができた。しかしながら、新たな課題も浮き彫りになってきた。それは、抵抗変化素子やメモリスタをプロセッシングエレメントに用いるアーキテクチャでは、DC電流が定常的に流れるため、究極の低エネルギー消費が実現できないという課題である。そこで、本共同プロジェクト研究では、「薄膜メモキャパシタを用いたニューロモー

フィックシステム」の研究開発を行う。究極の低エネルギー消費を実現することを目的とする。

研究計画や内容

2018年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究での成功に倣って研究をすすめる。すなわち、本共同プロジェクト研究においても、研究代表者の木村と通研対応教員の堀尾教授との議論で、本共同プロジェクト研究における薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステムの研究開発の方向を決定する。木村と研究分担者の中島教授と張助教は、所属機関でシステム設計試作、すなわち、制御回路としてのLSIの設計試作などを行う。一方、木村と研究分担者で機能性薄膜デバイスについて多くの知見を持つ浦岡教授と古田教授は、三次元積層構造の薄膜デバイスの成膜試作などを行う。さらに、木村と研究分担者の徳光教授と西中准教授は、液相プロセスとミスTVDプロセスの薄膜メモキャパシタの成膜試作などを行う。次に、木村と中島教授と張助教が、所属機関でニューロモーフィックシステムとしての特性評価・アナログニューラルネットワークとしての動作評価・学習機能の動作確認・消費電力の詳細測定などを行う。さらに、スパイクングニューラルネットワークとの親和性などを検討する。そして、木村がその評価結果を持って、研究成果について堀尾教授と議論や考察を行うとともに、将来的にデバイスや回路を共同で開発するための準備を行い、共同研究を立ち上げるための枠組みや基盤について議論する。

開催状況

- 研究代表者と通研対応教員の電子メールによる研究打ち合わせ（コロナ禍の特別対応）
- 研究代表者と研究分担者（奈良先端科学技術大学院）の1週間に1回程度の感染対策を伴う対面による研究打ち合わせ
- 研究代表者と研究分担者（陸先端科学技術大学院大学・京都工芸繊維大学）の年間に10回程度の電子メールによる研究打ち合わせ
- 研究代表者と研究分担者（龍谷大学）のほぼ毎日の感染対策を伴う対面による研究打ち合わせ
- 研究発表会、BFBC 2022, Feb. 18-19, Special Session 2, "Brain-like Integrated System: Device, Circuit, System, etc.", S.-M. Yoon (Kyung Hee Univ.), Y. Nakashima (NAIST), R. Oshio, (NAIST), M. Kimura (Ryukoku Univ.), D. Makioka (Ryukoku Univ.)

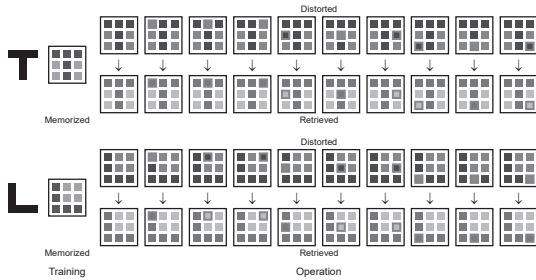
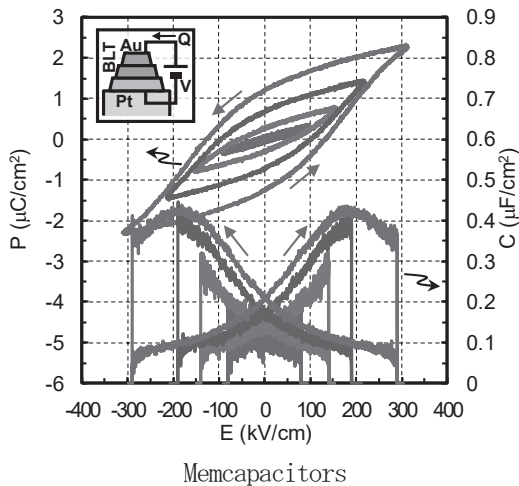
[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。論文の内容を概説する形式で紹介する。

[論文 1)]

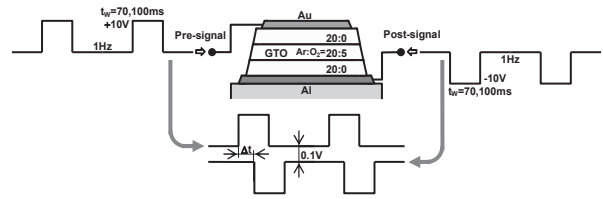
メモキャパシタと自律局所学習を用いるニューロモーフィックシステムを開発した。従来の人工知能と比べると、劇的なコンパクト化・低電力消費が期待できる。メモキャパシタとして、強誘電体キャパシタを用いることで、構造を単純なものとし、薄膜の液相プロセスを用いることで、作製プロセスも単純なものとしており、将来の高集積化が容易となる。DC 電流が無く、過渡電流も減り、電力消費が大幅に減る。自律局所学習として、メモキャパシタのヒステリシス特性を上手く利用することにより、結合強度の制御回路など無しに、ニューロモーフィックシステムに学習させることができ、やはり将来の高集積化が容易となる。



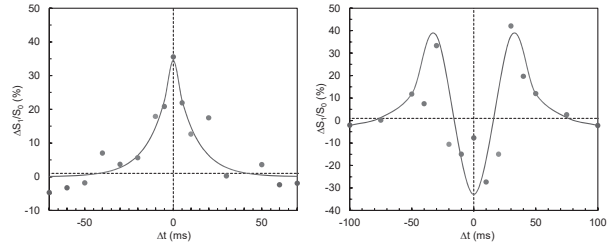
Experimental results

[論文 3)]

アモルファス Ga-Sn-O (α -GTO) 薄膜スパイクタイミング依存型可塑性 (STDP) 素子において、長期増強 (LTP) 特性と長期抑圧 (LTD) 特性の切り替え挙動を観測した。LTP 特性は短パルスによって、LTP と LTD のハイブリッド特性は長パルスによって誘起される。これは、酸素イオンと空孔のドリフト速度の違いによるものであることが示唆された。この切り替え動作は、ニューロモーフィックシステムの一般的な動作に有用であると考えられる。



α -GTO thin-film STDP device and STDP experiment



LTP characteristic hybrid characteristic
STDP characteristic

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究で、薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステムの基本的な構成や動作を確認することで、かなりの将来においては、大規模集積化や三次元積層構造により、コンパクト・究極の低エネルギー消費・頑強動作という特長を活かすことにより、世界的なエネルギー危機を回避し、すべてのモノの人工知能 (AIoE) を実現する可能性が拓くと考えられる。たとえば、人間の脳に匹敵する 100 億個以上のニューロン素子と 100 兆個以上のシナプス素子を想定すると、0.2 μ m のサイズと 20W の消費電力、すなわちこれも人間の脳と同等のものが実現できると予想される。なお、これらの成果は、2018 年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究と同様であるが、究極の低エネルギー消費をさらに高い確度で実現することが期待される。

また、本プロジェクトは、直接的・間接的に、下記のプロジェクトに、つながっている。

- 科学技術振興機構 (JST) 日本-台湾研究交流「AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術」薄膜メモデバイスとスパイク計算を用いるニューロモーフィックシステム 2022~2024 年度
- 科学研究費補助金 基盤研究 (A) (分担研究者) タンデム CGRA+確率的計算による非ノイマン計算基盤のプログラマビリティ革命 2022~2026 年度
- 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (分担研究者) 高信頼化に向けたメモキャパシタ脳型コンピュータ設計基盤 2022~2024 年度

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[論文]

- 1) Mutsumi Kimura, Yuma Ishisaki, Yuta Miyabe, Homare Yoshida, Isato Ogawa, Tomoharu Yokoyama, Ken-ichi Haga, Eisuke Tokumitsu, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic System using Memcapacitors and Autonomous Local Learning, IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst., to be published, DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3106566
- 2) Mutsumi Kimura, Yuki Shibayama, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic Chip integrated with a Large-scale Integration Circuit and Amorphous-Metal-Oxide Semiconductor Thin-Film Synapse Devices, Nature, Scientific Reports, to be published
- 3) Kazuki Morigaki, Kenta Yatida, Tetsuya Katagiri, and Mutsumi Kimura, Switchover Behavior between Long-term Potentiation and Depression in Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Spike-Timing-Dependent-Plasticity Device, Jpn. J. Appl. Phys., to be published, DOI: 10.35848/1347-4065/ac5d80
- 4) Yuki Shibayama, Yuki Ohnishi, Tetsuya Katagiri, Yuhei Yamamoto, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Amorphous-Metal-Oxide-Semiconductor Thin-Film Planar-type Spike-Timing-Dependent-Plasticity Synapse Device, IEEE Electron Device Lett., Vol. 42, No. 7, pp. 1014-1016, July 2021, DOI: 10.1109/LED.2021.3082083
- 5) Yuki Ohnishi, Yuki Shibayama, Tetsuya Katagiri, Kazuki Morigaki, Kenta Yachida, and Mutsumi Kimura, Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Crosspoint-type Spike-Timing-Dependent-Plasticity Device, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 60, No. 7, 078003, July 2021, DOI: 10.35848/1347-4065/ac0d15

[招待講演]

- Mutsumi Kimura, Development of Neuromorphic Systems and Emerging Devices, AM-FPD '22, July 2022, to be presented
- Mutsumi Kimura, Machine Learning using Thin-Film Devices for Letter Recognition, IDMC 2022, Apr. 2022, to be presented
- 木村 睦, ニューロモーフィックシステム&デバイス, IEEE Computer Society Kansai Chapter, 2021年 第2回技術講演会, ~AI 向け次世代計算技術~, 2021年12月

- Mutsumi Kimura and Yasuhiko Nakashima, Feasibility Studies of Novel Applications using AOS Devices for Flexible Electronics, MRM 2021, D6-06-05, Dec. 2021
- 木村 睦, AI の基礎の基礎 ー画像認識・分類問題ー, IDW '21 チュートリアル, 2021年11月
- Mutsumi Kimura, Sumio Sugisaki, Ayata Kurasaki, and Yuki Shibayama, - Presentation from TFMD - AI Electronics using Thin-Film Devices, ICFPE 2021, pp. 42, Sep. 2021
- Mutsumi Kimura, Yuta Takishita, Ryugo Okamoto, and Tokiyoshi Matsuda, GTO-TFT deposited using Mist-CVD, ICDT 2021, May 2021

[学会発表 (査読あり)]

- Daisuke Makioka, Kaito Hashimoto, Ryo Sumida, Shu Shiomi, and Mutsumi Kimura Investigation of Multi-level Characteristics in Ga-Sn-O Three-layered ReRAM, IMFEDK 2021, Nov. 2021
- Hiroki Umemura, Yuma Ishisaki, Daiki Matsukawa, Mutsumi Kimura, and Hiroyuki Nishinaka, Evaluation of Electrical Properties of Ferroelectric HfO₂ Thin Films for Neuromorphic Systems, IMFEDK 2021, Nov. 2021
- Kazuki Morigaki, Tetsuya Katagiri, Kenta Yachida, Norito Komai, Naoki Sahara, and Mutsumi Kimura, Characteristics of 3-layer Ga-Sn-O Thin Film Synapses for Neuromorphic Devices using Spike-Timing-Dependent Plasticity, IMFEDK 2021, Nov. 2021
- Daiki Matsukawa, Yuma Ishisaki, Hiroki Umemura, Mutsumi Kimura, Mohit, and Eisuke Tokumitsu, Memcapacitive Characteristics of Ferroelectric Capacitance for Neuromorphic Systems and Application of Y-doped HfO₂, IMFEDK 2021, Nov. 2021
- Kenta Yatida, Tetuya Katagiri, Kazuki Morigaki, Norito Komai, Naoki Sahara, and Mutsumi Kimura, Characterization of Ga-Sn-O Thin Film Synapses using Spike-Timing-Dependent Plasticity Learning Rules, IMFEDK 2021, Nov. 2021
- 福井 智貴, 中川 滉貴, 枝広 龍磨, 木村 睦, RF マグネトロンスパッタリング法で成膜した (Bi, La)4Ti₃O₁₂ 薄膜の作製条件最適化, 薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会, pp. 114-117, 2021年11月
- 片桐 徹也, 木村 睦, 森垣 和樹, 谷内田 健太, 電極により異なる特性を示す In-Ga-Zn-O 薄膜

- ReRAM, 薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会, pp. 111-113, 2021年11月
- ・角田 涼, 橋本 快人, 牧岡 大輔, 木村 睦, Ga-Sn-O 薄膜を用いた抵抗変化型メモリのメモリスタ特性の印加電圧依存, 薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会, pp. 108-110, 2021年11月
 - ・杉崎 澄生, 伊藤 良, 松田 時宜, 木村 睦, ミスト CVD 法によるニューロモルフィックアプリケーション用 $Gax-Sn_{1-x}O$ / $Gax-Al_{1-x}O$ デバイスのメモリスタ特性, 薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会, pp. 100-103, 2021年11月
 - ・石崎 勇真, 梅村 浩輝, 松川 大毅, 徳光 永輔, 羽賀 健一, 木村 睦, ニューロモルフィックシステムにおけるキャパシタ型シナプス用強誘電体薄膜の誘電特性評価と文字補正応用, 薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会, pp. 51-54, 2021年11月
 - ・岩城 江津子, 木村 睦, IGZO 薄膜を利用した3層ニューロモルフィックデバイス, 薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会, pp. 45-48, 2021年11月
 - ・Mutsumi Kimura, Yuki Shibayama, Yuki Onishi, and Yasuhiko Nakashima, Amorphous Metal-Oxide Thin-Film Memdevices and Integration to Neuromorphic Systems, MEMRISYS 2021, Nov. 2021
 - ・Mutsumi Kimura, Yoshinori Miyamae, Mitsuo Tamura, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic System using LSI Neurons and MOSFET Synapses with Autonomous Learning Rule, ICONS 2021, July 2021
- [学会発表 (査読なし)]
- ・木村 睦, 中島 康彦, 薄膜メモデバイスによるニューロモルフィックシステム, 第82回応用物理学会秋季学術講演会, 13a-S101-9, pp. 19-036, 2021年9月
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- [学会発表 (査読あり)]
- ・Reon Oshio, Atsushi Sawada, Mutsumi Kimura, Renyuan Zhang, and Yasuhiko Nakashima, Preliminary Evaluation for Multi-domain Spike Coding on Memcapacitive Neuromorphic Circuit, CANDAR 2021, pp. 114-119, Nov. 2021
 - ・Tomoya Akabe, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima, Evaluation of Narrow Bit-Width Variation for Training Neural Networks, IEEE COOL Chips 2021, Apr. 2021
- [学会発表 (査読なし)]
- ・澤田 篤志, 押尾 怜穂, 張 任遠, 木村 睦, 中島 康彦, メムキャパシタを用いたスパイキングニ
 - ューラルネットワークの開発 ~ シナプス強度とキャパシタンスの変換方式改善による認識精度のロス低減 ~, 電子情報通信学会, VLD2021-32, pp. 87-92, 2021年12月
 - ・澤田 篤志, 押尾 怜穂, 野村 武司, 張 任遠, 木村 睦, 中島 康彦, メムキャパシタを用いたスパイキングニューラルネットワークの開発, 電子情報通信学会, CPSY2021-11, pp. 59-63, 2021年7月
- [一般講演]
- ・木村 睦, 薄膜デバイスの応用—センサ・人工網膜・IoT用熱発電素子・脳型人工知能, イノベーションストーリーカンサイ 2021 展示会 龍谷大学, 2021年12月
- [著書]
- ・Mutsumi Kimura, Neuromorphic Chip using AOS Thin-Film Devices, Wiley, Amorphous Oxide Semiconductors: IGZO and Related Materials for Display and Memory, Chapter 22, May 2022, to be published
- [概説]
- ・木村 睦, アナログセルラニューラルネットワークを用いた脳型集積システム, SCAT 技術情報誌, TELECOM FRONTIER, No. 108, 2020
- [特許]
- ・特願 2021-17****
 - ・特願 2021-02****
- [TV・新聞・雑誌など]
- ・木村 睦, 龍谷大学ら 新脳型システムを開発 小型・低消費電力化に期待, 電子デバイス新聞 2021年9月16日, pp. 3, 2021年9月
 - ・木村 睦, 小型・低電力で脳模倣 龍谷大など システム開発 AI 応用に期待, 日刊工業新聞 2021年9月9日, pp. 22, 2021年9月
 - ・木村 睦, 人工知能コンパクト化 北陸先端大 電力消費を抑制, 北國新聞 2021年9月7日, pp. 26, 2021年9月
 - ・木村 睦, 研究成果発表 ニューロモルフィックシステム, 共同通信 2021年9月3日, 2021年9月, <https://kyodonewsprwire.jp/release/202109039616>, <https://www.afpbb.com/articles/-/3364669>, https://www.excite.co.jp/news/article/Dprp_50741/, <https://www.zakzak.co.jp/e-co/news/210903/pr12109030133-n1.html>
 - ・木村 睦, 【薄膜デバイスでヒトの脳を再現】 超コンパクト・省電力の未来志向な人工知能, 滋賀銀行 かけはし, Vol. 300, pp. 13-14, 知の泉 滋賀の研究 最前線, 2021年8月

採択番号：R03/A21

マルウェアに起因する暗号化通信の分類に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

佐藤 彰洋（九州工業大学情報基盤センター）

通研対応教員：

北形 元（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

中村 豊（九州工業大学情報基盤センター）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

コロナ禍におけるリモートワークの導入を背景に、私物情報端末の業務利用、すなわちBYOD(Bring Your Own Devices)が急速に浸透しつつある。高等教育の現場でも、対面と遠隔の両講義を円滑に実施するため、学生個人の端末を必携とする BYOD 体制への移行が必須となっている。その一方で、マルウェアに感染済みの端末をキャンパスネットワークに持ち込まれることが大きな課題となる。マルウェアに感染した端末は、攻撃者の指令を受けることで、ランサムウェアの拡散、フィッシング詐欺や標的型攻撃への利用など、様々な犯罪活動に加担する。大学における BYOD では、学生の専攻や研究、または出身国により用途が多岐に渡るため、端末側のみでの防御には限界がある[1]。故に、ネットワーク側で観測される通信からマルウェアの感染を検出することが求められる。

[1] F. L. Lévesque et al., “Technological and Human Factors of Malware Attacks: A Computer Security Clinical Trial Approach,” ACM Transactions on Privacy and Security, 2018.

これまではマルウェアの通信を補足するために、パケットのペイロードを参照する DPI (Deep Packet Inspection) が用いられてきた[2]。一方、米国 Cisco Systems 社によると、2017 年の時点でインターネットにおける暗号化通信の割合は 50% を超えること、それと併せて約 70% のマルウェアが通信を暗号化することが報告されている[3]。この暗号化通信の普及に伴い DPI の適用範囲が極僅かとなることから、ブラックリストやレピュテーションなど、通信先の良悪に基づく検出に頼らざるを得ないのが現状である。しかしながら、ブラックリストやレピュテーションは更新時機に

起因して大量の誤りが生じること、それによる検出結果は正誤の判断が困難であることが問題となる[4]。故に、管理者による検出原因の調査と特定が必須となるが、それら一連の作業は通信の暗号化により困難を極めることになる。

[2] Cisco Systems Inc., “Cisco Annual Cybersecurity Report 2018,” <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/cybersecurity-reports.html>.

[3] T. Nelms et al., “ExecScent: Mining for New C&C Domains in Live Networks with Adaptive Control Protocol Templates,” the USENIX Conference on Security Symposium, 2013.

[4] M. Kühner et al., “Paint It Black: Evaluating the Effectiveness of Malware Blacklists,” International Workshop on Recent Advances in Intrusion Detection, 2014.

本研究の目的は、悪性と判別された膨大な量の暗号化通信を原因ごとに分類することで、その効率的な分析を実現することである。これにより、マルウェアの感染が疑われる端末に対する迅速且つ的確な措置が可能となるため、キャンパスネットワークの堅牢性の向上が期待できる。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

暗号化通信の分類に向けた第一歩として、悪性と判別された通信とそれに付随する通信群を集約する技術を確立した。本技術の着想は次の知見、(a) マルウェアによる一連の通信は幾つかのタスクに細分化されること、(b) 悪性と判別された通信がマルウェアのタスクの一部によるものである場合、その通信の前後には同一タスクに起因する通信群が存在することから得たものである。故に、それら通信群を考慮に入れることで、原因特定の確度を飛躍的に向上させることが可能となる。

先ず、同一マルウェアに感染した複数端末の通信を調査した(図1)。その結果、同一マルウェアに感染した

端末AとBの間で、その通信先に共通性があることを確認した。この共通性に基づくことで、悪性と判別された通信とそれに付随する通信群の集約が可能となる。

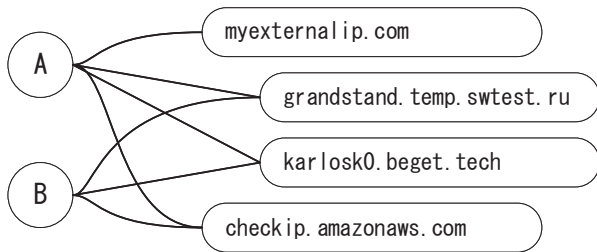


図 1 : TrickBot の通信先ドメイン

次に、DNS の名前解決におけるドメイン間の共起関係を利用することで、悪性と判別された通信と結び付きの強い通信群、すなわち同一タスクに起因する通信群の集約を自動化する技術を確立した。DNS に着目した理由は、マルウェアによる通信に先んじて名前解決が生じるため両者は密接な関係性を有することに加え、その名前解決先が学内DNS となるためクエリログから通信内容を取得可能であるが故である。具体的なアプローチは、通信におけるドメイン間の共起を文章における単語間の共起に帰着できることを踏まえ、ドメインの分散表現の導出を試みたことにある。分散表現は、自然言語処理における単語の意味解析のために考案された技術であり、その代表的なモデルである Word2Vec は“単語の意味論的相似はそれと共起する周辺語により説明可能”という仮説に基づき、ニューラルネットワークを介して単語と周辺語の関係を学習する[5]。これをドメインに適用することで、通信におけるドメイン間の結び付きの強さを測ることが可能となる。本アプローチの有用性を確認するため、九州工業大学のキャンパスネットワークにおいて実証実験を行った。その結果、ドメインの分散表現が、通信におけるドメイン間の結び付きを正確に反映することが明らかになった。現在、論文誌へ投稿すべく、この研究成果を取り纏めている段階である。

[5] T. Mikolov et al., “Distributed Representations of Words and Phrases and Their Compositionality,” the International Conference on Neural Information Processing Systems, 2013.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

総務省によると、2016年時点でセキュリティ技術者の不足数が13.2万人、2020年にはその不足数が19.3万

人を超えると推計されている。また中小企業に至っては、セキュリティ技術者が居ない、または他の業務との兼任である場合が全体の約95%である。このようにセキュリティ技術者は質的・量的に全く足りておらず、その中で如何にネットワークの堅牢性を維持するかが喫緊の課題となっている。本研究成果は、人材活用の効率化という側面から、その課題の解決に資するものである。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・Akihiro Satoh, Yutaka Fukuda, Gen Kitagata, Yutaka Nakamura, “A Word-Level Analytical Approach for Identifying Malicious Domain Names Caused by Dictionary-Based DGA Malware,” *Electronics*, Vol. 10, No. 9, 2021.

・Akihiro Satoh, Gen Kitagata, and Yutaka Nakamura, “Numerical Representation of DNS Queries for Cybersecurity,” *RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects*, 2022.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Yutaka Fukuda, Daiki Nobayashi, Takeshi Ikenaga, “An Approach for Identifying Malicious Domain Names Generated by Dictionary-Based DGA Bots,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E104-D, No. 5, pp. 669—672, 2021.

採択番号：R03/A22

IoT セキュリティの研究

[1] 組織

研究代表者： 小熊 博

(富山高等専門学校)

通研対応教員：本間 尚文

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

藤井 友哉 (富山高等専門学校)

延べ参加人数：6人

[2] 研究経過

IoT はいわゆる組み込みシステムとも考えられ、利用シーンとして自動車、医療系機器、ウェアラブル端末、産業機器、家電など多岐にわたる。さらに、組み込み機器特有に求められる要件として、「回路規模、消費電力量、低遅延」の3要素が挙げられる。この3要素を満たすため、ハードウェアセキュリティつまり IoT 用の暗号化回路の設計、実装、評価を行う必要がある。

R2 年度までのプロジェクトにおいて、世界中で安全な共通鍵暗号として認識されている AES (Advanced Encryption Standard) を対象に研究を実施してきた。AES は一定データ長ごとに繰り返し処理をして暗号化するため、ハードウェア実装のアーキテクチャには loop 型と unrolled 型がある。loop 型は繰り返し処理ごとにメモリにデータを保存し、unrolled 型は暗号化終了まで保存しない。暗号回路を、通研対応教員より指導を仰ぎ、富山高専の学生が Verilog-HDL 言語により Xilinx 社の FPGA (Field Programmable Gate Array) 上に実装し評価している。

R3 年度からのプロジェクトにおいては、マイコンに展開し種々の暗号方式を実装した。本年度は1年目にあたる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

HTTPS 通信で用いられる暗号通信プロトコル TLS において利用されている認証暗号の AES-GCM と ChaCha20-Poly1305 に着目し、処理性能やメモリの制約のもとマイコン上に認証暗号を実装し、得られた結果をもとに実行速度やプログラムサイズ、RAM 使用量、SLOC (Source Lines Of Code) などについて考察及び評価を行った。

認証暗号を実装するマイコンには、メモリサイ

ズやプロセッサ性能が異なる Arduino Uno Rev3 及び ESP32-WROOM-32 を用いる。認証暗号のマイコンへの実装は2段階に分けられる。第一段階は PC での実装であり、AES-GCM の場合は AES.h 及び GCM.h の2つの C 言語用ヘッダを実装し、PC 上でテストを行う。第二段階はマイコンへの実装であり、第一段階で実装したヘッダを include する形で認証暗号を実装する。ChaCha20-Poly1305 の場合も同様に、ChaCha20.h 及び Poly1305.h を実装し、これを include して実装する。実装時の要求仕様として、「PC-マイコン間で USB を用いたシリアル通信を行うこと」、「マイコン上で暗号化を行うこと」、「PC 上で暗号結果が確認可能であること」の3つを定め、「PC 上で起動したシリアルモニタからマイコンへ暗号化/復号化を行いたい文章を USB 接続によるシリアル通信により送信し、暗号化/復号化の結果をシリアルモニタに送信・表示する」という手法を採用する。各認証暗号アルゴリズムは、CRYPTREC が公開している暗号仕様書リストに記載された仕様書に従って実装を行う。以上の2つの認証暗号の実装後、各マイコンへ実装した際の使用メモリ量や暗号化/復号化に要する時間などを測定し評価する。加えて、各認証暗号のアルゴリズムを精査し、アルゴリズムの実現に必要な RAM のサイズを調査する。

最初に AES-GCM の Arduino への実装を行ったところ、平文が 64bytes の場合は暗号化及び復号化を行えたが、平文が 375bytes の場合では Arduino の RAM 不足により正常な暗号化が行えなかった。そこで、MB 級の RAM を有する ESP32 を対象に実装を行った。AES を Arduino へ実装しており、自作のヘッダを用いて AES-GCM を PC 及び ESP32 へ実装した。同様に ChaCha20-Poly1305 を PC 及び ESP32 へ実装する際に、Poly1305 において多倍長演算を行うため多倍長演算ライブラリ mla.h を実装した。実装後、これらの認証暗号について ESP32 上で暗号化及び復号化を行った。実行結果を表 1 に示す。続いて、各認証暗号の RAM 使用量を調査することを目的とし、保持する必要があると考えられる変数について認証暗号の仕様書及び作成したプログラムを精査することで、必要最小限の RAM 使用量を考察した。ChaCha20

では主に、内部状態 State : $4 \times 4 \times 4 = 64$ bytes, 初期 State : 64 bytes, 鍵ストリーム : 64 bytes の3つの変数を保持し、これらの合計サイズは 192 bytes である。Poly1305 では主に、nonce : 16 bytes, key : 32 bytes, aad (暗号化しない文章) : len (a), plaintext 及び ciphertext : len (p), tag : 16 bytes, mac_data : (len(a)+len(p)+32) bytes の7つの変数が必要となる。ここで、平文 (plaintext) のサイズを len(p), ヘッダ (aad) のサイズを len(a) とした。同様に、AES (鍵長=32 bytes) 及び GCM について必要最小限の RAM 使用量を算出した結果を表2に示す。表1のように AES-GCM が 9.2 ミリ秒, ChaCha20-Poly1305 が 41.4 ミリ秒となり、先行研究で示された結果と大きく異なった。原因を探るため、PC 上で ChaCha20 及び Poly1305 それぞれの実行時間を計測したところ、ChaCha20 が 6.7 マイクロ秒, Poly1305 が 4580 マイクロ秒となり、実行時間の大部分を Poly1305 が占めていることが分かった。そこで、Poly1305 において時間を要すると考えられる処理である乗算及び除算にかかる時間を計測したところ、10 ラウンド合計で乗算が 71 マイクロ秒, 除算が 4485 マイクロ秒となり、除算がボトルネックとなっていることが分かった。このような結果が現れた原因として、自作の多倍長演算ライブラリの除算アルゴリズムに問題があると考えられる。現在の除算アルゴリズムは筆算をもとにし、 M 桁 \div N 桁の計算に $O(M \cdot (M-N))$ の時間を要する。Poly1305 のアルゴリズムを見ると、除算の直前に乗算が行われており、この乗算により被除数の桁数である M は $M \div 64$ となる。また、除数は $P=2^{130-5}$ であるから、16 進数での桁数 N は $N=33$ となり、 $M \cdot (M-N) \div 1984$ である。この計算の多さが原因で実行時間が長くなっていることが考えられる。表2を見ると、ヘッダ及び平文のサイズが小さい場合は ChaCha20-Poly1305, 大きい場合は AES-GCM がもう一方の暗号化方式と比較して RAM 使用量が小さくなるのがわかる。この理由として、Poly1305 における mac_data 変数が使用するメモリ量が (len(a)+len(p)+32) bytes となっていることが挙げられる。また、mac_data に格納するデータの大部分がヘッダ及び暗号文であることから、aad 及び ciphertext 変数を削除し、mac_data を利用して認証タグ生成を行うことで、Poly1305 の RAM 使用量が $(108 + \text{len}(a) + 2 \cdot \text{len}(p))$ となる改善が見込まれる。加えて、除算アルゴリズムを改善し、再度性能評価を行うことを考えている。具体的な改善方法として、ニュートン・ラフソン法を提案する。この除算アルゴリズムを用いた場合、

除算の速度が乗算の速度に依存し、そのオーダ評価は $O(MN)$ となることが予想される。

表1 各認証暗号の実行結果

	AES-GCM	ChaCha20-Poly1305
暗号化時間[ms]	9.2	41.4
復号化時間[ms]	9.2	41.4
使用メモリ[bytes]	230,430	227,414
SLOC(行数)[行]	578	528

表2 各認証暗号アルゴリズムの RAM 使用量

	AES	GCM	ChaCha20	Poly1305
RAM消費[bytes]	556	$156 + \text{len}(a) + 2 \cdot \text{len}(p)$	192	$108 + 2 \cdot \text{len}(a) + 3 \cdot \text{len}(p)$
	AES-GCM		ChaCha20-Poly1305	
RAM消費[bytes]	$712 + \text{len}(a) + 2 \cdot \text{len}(p)$		$300 + 2 \cdot \text{len}(a) + 3 \cdot \text{len}(p)$	

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の成果としては、知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで、現状のコンピュータ資源が限定的な IoT セキュリティ領域への適用を推進することができる。さらに、本研究課題の成果を元に、各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い、産学連携により商用化を目指した、より大規模な研究開発へ発展させることも想定している。IoT のセキュリティは喫緊の重要な課題であり、今後は、本プロジェクトの研究成果を積極的に活用し、産学官連携による地元地域の拠点化に向けた取り組みへの大きな発展が期待できる。コロナ禍の影響を受けているが、適応して研究に取り組む所存である。

[4] 成果資料

○ 国内大会・研究会発表

(1) 小熊博, “Internet of Things: データ収集からセキュリティまで,” 富山大学次世代スーパーエンジニア養成コース電機システム工学特論 (メカトロニクスと AI/IoT), 2021 年 7 月.

採択番号：R03/A23

先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発

[1] 組織

研究代表者：

打矢 隆弘（名古屋工業大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

木下 哲男

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

北形 元（東北大学電気通信研究所）

笹井 一人（茨城大学工学部）

藤田 茂（千葉工業大学情報科学部）

原 英樹（千葉工業大学情報科学部）

今野 将（千葉工業大学工学部）

真部 雄介（千葉工業大学情報科学部）

顧 優輝（目白大学メディア学部）

和泉 諭（仙台高等専門学校総合工学科）

福谷 遼太（高知大学教育研究部）

延べ参加人数：13人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

今後の情報化社会において、人々とロボット/システムが共に調和し、システム側が人々に適切なサービスを提供する共生型コンピューティング環境が極めて重要になる。我々は、人・社会・情報環境を総合的な協調系と捉え、これらが共生する世界である「共生社会」の実現に向けた研究開発（共生コンピューティングの実現）を進めてきた。共生コンピューティングの概念に基づくソフトウェアを構築するために、ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境を整備した。具体的には、知的エージェントの集合で構成されるソフトウェアをボトムアップ的に設計・開発・構築し、これらをエージェントリポジトリで保持・管理する方法論の策定と、インタラクティブな開発支援ツールの構築を行い、開発面での支援を実現した。また、セキュアなエージェント間通信を可能とするエージェント運用環境を開発し、運用面での支援も実現した。さらに、エージェントで構成されるIoT(Internet of Things)デバイス連携にも成功し、環境に適応する種々のシステム開発を推進している。

本研究では、これまでの取り組みを通し得た知見を基

に、ユーザ/グループ/コミュニティと情報システム/ロボットが調和し、環境の状態を考慮して適切に人々の生活を支援するIoTシステムの設計/開発/運用支援の強化を目的とする。具体的には、過去の研究をさらに発展させ、エージェントフレームワークの開発・運用機能の充実と、エージェントシステムで構成されるIoTソフトウェアの構築・評価を行う。

現在エージェントの分野では、我々の研究グループで開発を進めているリポジトリ型マルチエージェントフレームワーク DASH やヨーロッパで多数利用されている JADE, LISP ベースの OMAS など様々なエージェントプラットフォーム(AP)が開発されている。日本国内においては、DASH が最先端の知的エージェントフレームワークとして広く認知され、複数の大学で演習教材に利用されるなど、利用機会が非常に増大している。我々の研究グループでは、この DASH を用いて過去に「高齢者の見守り支援システム」「ヘルスケアサポートシステム」など人・社会・環境と共生する情報システムの開発に成功しており、直近では「個人間広域分散バックアップシステム」「マイクログリッド型電力需給システム」「IoT(Internet of Things)デバイス連携」など、システムの対象分野を研究/教育, エネルギー, ライフサポートにまで拡大している。

DASH の特長のひとつとして、エージェントの多様性を実現していることが挙げられる。具体的には、「自律性」「協調性」「即応性」「熟考性」「学習性」「移動性」「社会性」などの性質をエージェントに付与することができる。このフレームワークに対し、各種機能拡張を行い、ソフトウェアの開発支援の充実、管理/運用支援のさらなる充実を図る。

本年度はプロジェクト1年目であり、主に開発・運用支援の強化に取り組んだ。

以下、研究活動状況(研究会)の概要を記す。

令和4年3月15日14:00～、Zoom オンライン研究会
(参加者: 打矢, 木下, 藤田, 笹井, 顧, 真部, 今野, 福谷)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果：主要研究とその成果を示す。

【DASH エージェントフレームワークへの自動交渉機構の導入】

複数エージェントで構築するシステムにおいては各エージェントの目標が同時に成立しない場合が発生する。このような場合交渉を行うことでシステム全体としての合理性を保つ必要がある。しかし実システムへの応用を想定したエージェントフレームワークである DASH には交渉機構が不足している。そこで、実システムで交渉を実現することを目指して、DASH に交渉機構を導入し、交渉の枠組みをフレームワークが開発者に提供することで、実交渉システムの開発促進を図る。

提案機構

DASH エージェントに対し、交渉に必要な「交渉ドメイン」「交渉プロトコル」「効用関数」「戦略」の要素を導入し開発者支援を行う。提案機構全体の動作を示した後、DASH エージェントへの交渉機構の導入方法を示す。

動作の流れ

提案機構全体の動作の流れを以下に示す (図 1)。

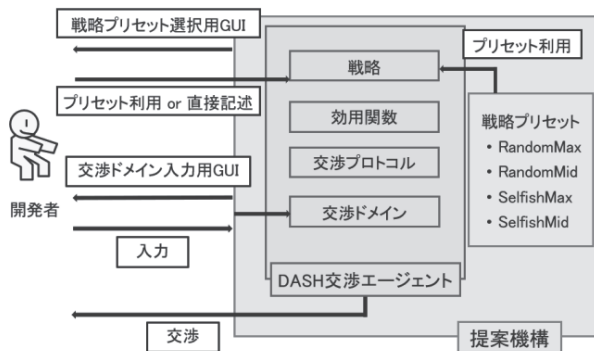


図 1: 提案機構

1. 開発者が戦略を実装またはプリセットから選択
2. 効用関数・交渉プロトコル・戦略を持つ交渉エージェント作成
3. 対象の交渉に応じて開発者が交渉ドメインを入力
4. 交渉開始

DASH エージェントへの交渉機構の導入

交渉に必要な四つの要素を DASH エージェントに導入する。「交渉ドメイン」は交渉における論点と各エージェントの選好であるため、DASH エージェントにおいて知識を保持する機構であるワーキングメモリに格納する。「交渉プロトコル」は、DASH エージェントの動作知識を格納するルール集合に if-then 型のルール型言語で実装する。「効用関数」と「戦略」は DASH のルール型言語では記述が困難である。特に戦略は開発者が開発する交渉システムによって変更が必要とな

る場合があるため、Java 言語で記述可能なベースプロセスに記述する。

実験内容

従来の DASH による記述量 (A)、プリセットを含む提案機構による記述量 (B-1)、戦略プリセットを開発者が記述したときの提案機構による記述量 (B-2) の三つの交渉エージェント作成時の記述量を定義し、(1) 式で記述量削減率を導出する。戦略プリセットは、提案方針が「ランダムに提案するもの (Random)」と「最良提案を提案し続けるもの (Selfish)」の 2 つ、承諾方針が「最良提案のみ承諾するもの (Max)」と「最良提案と最悪提案の効用値を足して 2 で割った値を閾値とするもの (Mid)」の 2 つ、合計 4 通りである。

$$\text{記述量削減率} = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \times 100 \quad (1)$$

表 1: 記述量削減率 1

戦略	A (行)	B-1 (行)	削減率 (%)
RandomMid	177	3	98.30
RandomMax	176	3	98.29
SelfishMid	179	3	98.32
SelfishMax	178	3	98.31

表 2: 記述量削減率 2

戦略	A (行)	B-2 (行)	削減率 (%)
RandomMid	177	54	69.49
RandomMax	176	53	69.88
SelfishMid	179	56	68.72
SelfishMax	178	55	69.10

表 1 からプリセットを含む提案機構により記述量が約 98%削減できており、表 2 からプリセットを開発者が実装した場合の記述量も約 69%削減できていることがわかる。よって提案機構の有効性が示された。

まとめ

実システムにおいてエージェント間の交渉を実現するために、DASH エージェントへ交渉機構の導入を行い、記述量削減率を導出することで、提案機構の有効性を確認した。今後は提案機構の改善と提案機構を用いた実システムの開発を行う。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは複数機関共同で共生コンピューティングの基盤技術の研究開発を推進し、上記以外にも多数のフレームワーク拡張・アプリケーション開発が実施できた(別紙[4])。更に、当該分野の海外研究者との議論も積極的に展開し、研究者間交流の活性化も図った。

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- ・Takahiro Uchiya, Ryo Futamura, “Consideration of Presentation Timing in Bicycle Navigation Using Smart Glasses”, Proc. of INCoS2021, 2021.
 - ・Shuhong Shi, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Emotion Recognition of Textual Session Record Based on the Voice Dialogue System of Reminiscence Therapy”, Proc. of GCCE2021, 2021.
 - ・Tomoya Kinoshita, Takahiro Uchiya, “Diversity Maintenance Method Using Multiple Crossover in Genetic Algorithm for VRPTW”, Proc. of GCCE2021, 2021.
 - ・Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “P2P File System-Based Deployment Scheme for Inter-Host Container Image Distribution”, Proc. of GCCE2021, 2021.
 - ・Zongming Zhang, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Speed of Autonomous Drones in Locating Survivors After a Disaster”, Proc. of GCCE2021, 2021.
 - ・Takahiro Uchiya, Yudai Furuta, Ichi Takumi, “Proposal of Indoor Navigation System Using Mixed Reality Technology”, Proc. of BWCCA2021, 2021.
 - ・古田雄大, 打矢隆弘, 内匠逸, “擬人化エージェントを用いた MR 屋内ナビゲーションシステムの開発”, DPS ワークショップ論文集, 2021.
 - ・Yang Kun, 打矢隆弘, “ロボットを用いた火災発生時屋内避難経路の安全性把握手法の検討”, WiNF2021 講演論文集, 2021.
 - ・Yutaro Taki, Shigeru Fujita, Norio Shiratori, “A Study on Division Impossibility in the Lightweight N-party Secure Function Evaluation for Cloud-Edge Computing Applications”, 15th International Workshop on Informatics (IWIN2021), 2021.
 - ・藤田茂, 滝雄太郎, 白鳥則郎, “システムの持続可能化技術基盤と言語処理系の開発 -共生情報システムの実現へ向けて-”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2021-DPS-188, No. 21, pp. 1-8, 2021.
 - ・滝雄太郎, 藤田茂, “軽量 N パーティ秘匿関数計算の semi-honest モデルにおける安全性の証明”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2021-CSEC-96 No. 37, pp. 1-6, 2022.
 - ・仁科京介, 藤田茂, “時系列データを対象とする Deep Recurrent Q-Network への学習時間軽減を目的とした Quasi-Recurrent Neural Network の導入”, 情報処理学会第 84 回全国大会講演論文集, 2022.
 - ・樋地正浩, 橋祐一, 菊池一彦, 藤田茂, 白鳥則郎, “個人のサイバー空間利用情報の相続機構”, 2021 年度情報処理学会東北支部研究会, [2-4], 2022.
 - ・甲斐智博, 眞部雄介, “SID と連関規則を用いた深層強化学習モデルの説明手法”, 人工知能学会第 124 回知識ベースシステム研究会, pp. 23-27, 2021.
 - ・國藤貴則, 眞部雄介, “人物周辺の状況を考慮した行動認識手法の複数人対応の試み”, 人工知能学会第 41 回社会における AI 研究会, 2021.
 - ・黒須宏道, 眞部雄介, “Fuzzy-ART を用いた Stepwise Unified HRL の提案”, 情報処理学会第 83 回全国大会講演論文集, 2021(1), pp. 441-442, 2021.
 - ・大竹知美, 眞部雄介, “2 タッチストロークを用いた 1 クラス分類器によるスマートフォンの継続認証”, 情報処理学会第 83 回全国大会講演論文集, 2021(1), pp. 263-264, 2021.
 - ・福谷遼太, 板垣翔大, 笹井一人, 安藤明伸, “情報機器の操作を支援する学生向けチャットボットの開発”, 日本産業技術教育学会第 64 回全国大会講演要旨集, p. 10, 2021.
 - ・福谷遼太, 有田凜, 永野玖美, 道法浩孝, 板垣翔大, 安藤明伸, “3D スキャン技術を用いて技術科における製作品の採点を支援するシステムの提案”, 日本産業技術教育学会第 37 回四国支部大会講演要旨集, p. A1, 2021.

採択番号：R03/A24

酸化チタンナノチューブ型高感度一酸化炭素センサの開発

[1] 組織

研究代表者：

木村 康男（東京工科大学工学部）

通研対応教員：

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

庭野 道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）

廣瀬 文彦（山形大学理工学研究科）

岩田 一樹（東北福祉大学総合マネジメント学部）

馬 騰（東北大学材料科学高等研究所）

但木 大介（東北大学電気通信研究所）

阿部 宏之（宮城県産業技術総合センター）

須田 茂明（チェスト株式会社宮城工場）

高橋 秀美（チェスト株式会社宮城工場）

高附 佑輔（チェスト株式会社宮城工場）

桜井 史敏（株式会社メムス・コア）

伊藤 一孝（株式会社メムス・コア）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトでは、金属の陽極酸化技術と半導体微細加工・集積化技術を組み合わせることにより、シリコン基板上に形成した酸化チタンナノチューブ薄膜を検出媒体とする、多成分分析・高信頼性分析が可能な、省電力・超小型・集積化・高感度ガスセンサを開発する。開発するガスセンサは、酸化チタンナノチューブ薄膜にガス分子が吸着・解離することにより膜抵抗が変化する現象を利用したセンサである。ナノチューブ表面に貴金属微粒子を触媒として担持することにより、感度・反応時間などを従来型に比べ桁以上向上できる。また、機械学習の援用により、多種類ガスの同時・実時間分析を可能にする。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

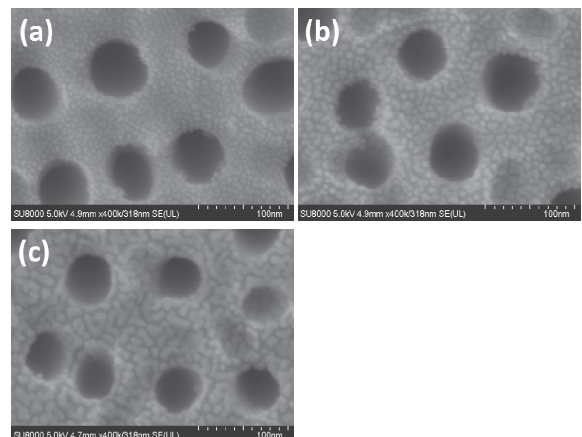
本年度の研究では、以下に示す成果を得た。

(1) 触媒金属担持技術の確立

我々はこれまでの研究で、ガスセンサの性能向上には、原子層堆積(Atomic Layer Deposition : ALD)法を用いて、感ガス部である酸化チタンナノチューブ薄膜に触媒となる金属(白金)の微粒子を均一に担持することが有効であることを示した[1]。ALD法では、微量な原料ガスと反応ガ

スが交互に導入され、基板が酸化チタンのように親水性の場合に微粒子として担持される。また、原料が気体であるため、酸化チタンナノチューブの内部に入り込み、ナノチューブ薄膜の表面だけでなく、チューブの内壁にも微粒子の担持が可能である。今年度は、原料ガス(トリメチルメチルシクロペンタジエニル白金)と反応ガス(酸素)を供給する回数(サイクル数)を変更して、白金微粒子の表面被覆率が変化することを確認した。

図1に白金微粒子を担持した酸化チタンナノチューブ薄膜の走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope : SEM)像を示した。サイクル数は、15回(a)、30回(b)、45回(c)である。黒いコントラストで示される円が酸化チタンナノチューブの穴で、その直径は約70nmである。白いコントラストで示される粒子が白金微粒子である。サイクル数が増加すると粒径が大きくなり、表面被覆率が増加することがわかった。さらに、SEM像を示していないが、原料ガスの供給時間と保持時間が長くなると粒径が大きくなり、表面被覆率が増加することもわかった。



(図 1. 白金微粒子を担持した酸化チタンナノチューブ薄膜のSEM像)

画像処理ソフトウェア Image J を用いて、SEM像から白金微粒子の表面被覆率、さらに、平均粒径と粒径分布の導出を試みたが、酸化チタンナノチューブの穴のコントラストが解析に影響を及ぼし、正確な数値を導出することができなかった。今後、穴の画像を除去するなどの前処理を行って、平均粒径と粒径分布、表面被覆率

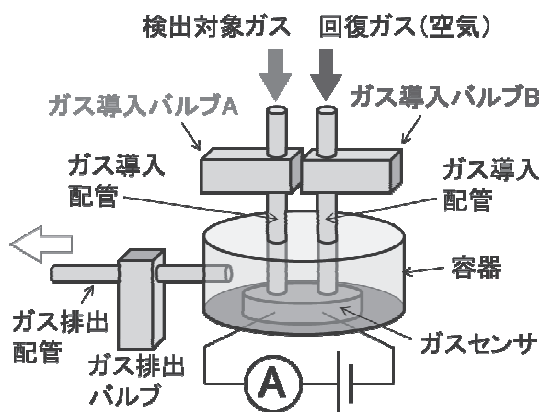
の正確な数値を導出できる手法の探索を行う予定である。

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

(2) ガスセンサへのガス供給方式の性能検証

ガスセンサの感ガス部に触媒微粒子を担持する方法だけでなく、ガスセンサへのガス供給方法でもガスセンサの性能が向上すると考えられる。そこで、我々は、開発中のガスセンサの測定時間短縮のため、新しいガス供給方式によるガス濃度測定方法を提案し、その性能を検証した。

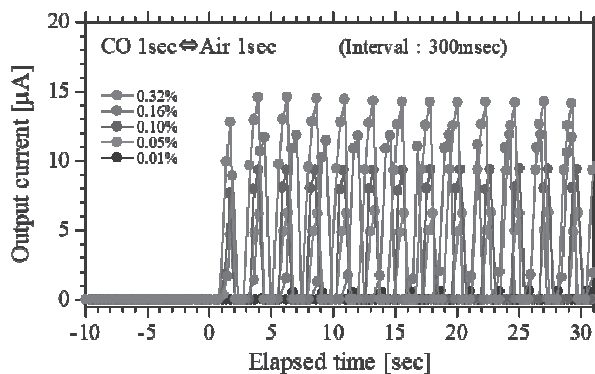
我々が新規に提案したガスセンサへのガス供給方式を実現するガス導入・排気システムの模式図を図2に示した。検出対象ガスを流すためのガス導入バルブAと回復ガス(空気)を流すためのガス導入バルブBの開閉を短時間、複数回交互に繰り返しながら、ガスセンサからの電流出力を測定する。ガス導入バルブAとBを短時間開閉することで微量な検出対象ガスと回復ガス(空気)が交互にガスセンサに吹き付けられるため、本方式をショットガス吹き付け方式と呼ぶ。センサからの出力電流値がほぼ一定になる前にセンサ出力を回復させる空気を流すため、測定時間が短く、測定に使用するガス量が少ないという長所がある。



(図2. ショットガス吹き付け方式を実現するためのガス導入・排気システムの模式図)

図3に白金微粒子を担持したガスセンサにショットガス吹き付け方式で一酸化炭素と空気を

それぞれ1秒吹き付けて測定した出力電流値の変化を示す。1秒間のガス吹き付けで、一酸化炭素濃度の違いによる出力電流値の違いが測定可能であり、最短3秒の測定で0.01%の濃度まで同定可能であることがわかった。



(図3. ショットガス吹き付け方式で測定した出力電流値の変化)

(3) 機械学習技法活用による混合ガスの多成分分析技術の開発

本プロジェクトで開発しているガスセンサは、半導体式であるため、応答の高低はあるものの、ほとんどの還元性ガスに応答する。さらに、酸素の濃度に応答が影響される。そこで、ガスセンサをアレイ化したガスセンサからの出力信号に対して、機械学習アルゴリズムとニューラルネットワークによる回帰処理を用いて、4種類(一酸化炭素、ヘリウム、酸素、窒素)が混合したガスの中で、ガスセンサが応答を示す一酸化炭素と酸素の濃度を予測した。

10個のガスセンサの出力信号を用いた場合が最も精度が高く、一酸化炭素濃度0.02%に対して0.001%以下の精度でガス濃度を予測することができた。

(3-2) 波及効果と発展性研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果である新規提案したガス供給方式による測定時間短縮と機械学習技法活用による混合ガスの多成分分析を元に、研究分担者(須田, 高橋, 高附)の所属するチェスト株式会社を研究代表者として、外部資金に申請し、採択された。

- ・プロジェクト名：JST 研究成果展開事業
- ・資金制度,研究費名：研究成果最適展開支援プログラム(A STEP)産学共同(本格型)
- ・配分機関名：東北大学, 東北福祉大学, 宮城県産業技術総合センター, チェスト株式会社
- ・研究期間：2021年10月～2024年3月

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

•

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• K. Iwata, H. Abe, T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, S. Suda, M. Niwano, Application of neural network based regression model to gas concentration analysis of TiO₂ nanotube-type gas sensors. *Sens. Act. B: Chemical*, **361**, 131732 (2022).

• 阿部 宏之, 岩田 一樹, 馬 騰, 但木 大介, 平野 愛弓, 木村 康男, 庭野 道夫, ショットガス吹き付け方式を用いたガス濃度測定 第38回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2021年11月10日, オンライン

採択番号：R03/A25

デバイス・インフォマティクスの創成と Beyond5G デバイスへの応用

[1] 組織

研究代表者：

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

尾嶋 正治（東京大学）

川合 眞紀（分子科学研究所）

渡邊 一世（情報通信研究機構）

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

舘野 泰範（住友電気）

松田 巖（東京大学）

原田 慈久（東京大学）

川原田 洋（早稲田大学）

日比野 浩樹（関西学院大学）

水口 将暉（東北大学）

小飼 真人（東京理科大学）

組頭 広志（高エネルギー加速器研究機構）

堀場 弘司（高エネルギー加速器研究機構）

永村 直佳（物質・材料研究機構）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

（背景）

新材料を用いた機能化研究が盛んである。これらの研究の多くは「物性と機能は直結する」を前提とする。しかし、現実には、この前提は成立しないことが多い。その原因を探るために、代表者は「電圧印加下でデバイスのナノ物性を元素選択的に診る」画期的分光法：*o-nXS* (*operando nano X-ray Spectroscopy*) を開拓してきた (Fukidome et al. Sci. Rep. (2014))。

さらに、今回の共同プロジェクト研究の基となった前回の共同プロジェクト研究において、代表者らは *o-nXS* を発展させ空間的だけでなく時間的にも高分解能でデバイスの物性を詳細に調べることができる *o-STXS* (*operando SpatioTemporally resolved X-ray*

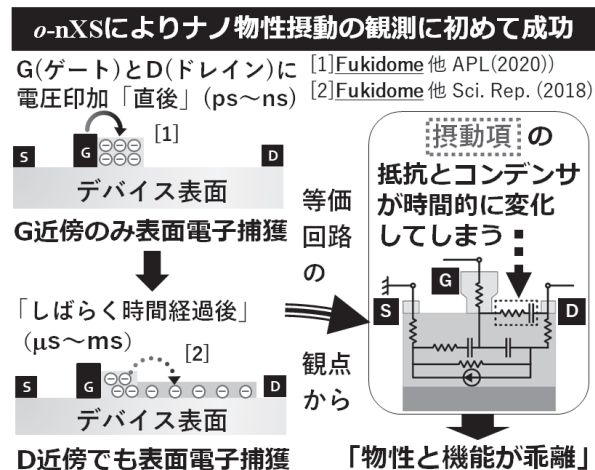


図1 ナノ物性の *o-nXS* 観測例

Spectroscopy) を世界に先駆けて開発した (Omika et al. Appl. Phys. Lett. (2020))。

代表者らは *o-STXS* を駆使して、機能発現を企図した新材料領域以外で、企図しないナノ物性摂動が電圧印加により表面・界面で起こることを *o-nXS* を用いて観測した (図1)。ここで、ナノ物性摂動の一例として、GaN 高速電子移動度トランジスタ (GaN-HEMT) の表面電子捕獲を調べた。さらに電気特性の周波数依存性に基づく等価回路の観点から洞察し、企図しないナノ物性摂動 (例：表面電子捕獲) の時空間ダイナミクスが物性と機能を乖離させると認識した。物性と機能の乖離を解消するために、機能を定量評価できる「等価回路モデリングによる可視化」に注目した。具体的には、代表者は次の学術的問いを着想した：「ナノ物性に根差した特徴量を抽出して機能を等価回路でモデリングできれば、ナノ物理学に基づいて機能を可視化して、かつ、定量的に説明することができるようになるのでは？」

（目的）

そこで、我々は、機能を等価回路モデリングにより定量的に説明する「デバイス・インフォマティクス」を創成することを目的とした研究を行う (次頁の図2)。

（概要）

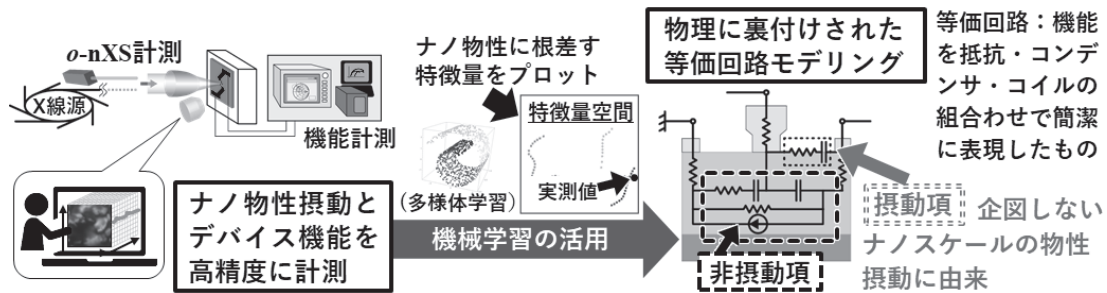


図2 本研究の概略

そのために、下記二つの研究細目を実施する。

- ① o-nXS 計測とデバイス機能計測のデータからナノ物性に根差した特徴量を抽出する。
- ② その特徴量を用いて、解釈性の高い機械学習法によりナノ物性摂動の寄与を可視化する。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

① o-nXS 計測とデバイス機能計測のデータからナノ物性に根差した特徴量を抽出する。

：InP を基板とした高電子移動度トランジスタ (InP-HEMT) の高周波特性を主成分分析し、特徴量抽出に成功した。本細目の実施にあたり、分担者である渡邊一世博士から提供された InP-HEMT の高周波電気特性を活用した。その結果、デバイス動作に関わる新たな特徴量の抽出に成功した。この特徴量は、従来の小信号回路近似では洞察できないものである。現在、この特徴量を慎重に検討しているところである。

② ①で得られた特徴量を用いて、解釈性の高い機械学習法によりナノ物性摂動の寄与を可視化する。

：オペランド計測から、デバイス中のキャリア密度・電位のナノスケール分布情報を得ることができる。

得られた情報から機能発現へと架橋するために、
 ・パーシステント・ホモロジーおよび二次元高速フーリエ変換法を用いて、デバイス中のキャリア・電位・ポテンシャルエネルギーの2D/3D分布の解析
 ・その解析から、従来の手法では隠れていたデバイス特性決定因子の抽出

を行った。

(研究打ち合わせ)

・渡邊一世博士との研究細目①に関する研究討論を、月に二回程の頻度でオンラインで行った。一回につき5人程度参加。のべ100人程度参加。

・小飼教授らをはじめとした分担者らと、研究細目①に関する研究討論を、月に一回程の頻度でオンラインで行った。一回につき5人程度参加。のべ50人程度参加。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し CREST プロジェクトに発展した。代表者は、国際会議における Special session の企画立案・開催を主導している。また、応物学会のシンポジウムにおける代表者の招待講演が高く評価された。本講演に曾根純一氏 (JST フェロー) が大きな関心を寄せ、新たな競争的資金の設立を立ち上げる動きをすると明言された。また、Beyond 5G に関するシンポジウムを開催し、総務省本省の Beyond 5G 政策を取り仕切っている方からも高い評価を受けた。

(大型プロジェクトにつながった事例)

- ・2次元ホウ素未踏マテリアルの創製と機能
- ・CREST
- ・JST
- ・R3-R8
- (国際会議・シンポジウムへの発展)
 - ・ALC20222 におけるオペランド X 線分光に関する special session の企画・開催
 - ・2022. 10. 21-22
 - ・沖縄
 - ・参加人数：100人程度

(その他)

- ・第69回応用物理学会春季講演会シンポジウム
「二次元物質を集積回路に！」
神奈川県相模原市青山学院大学
2020. 3. 24

を企画立案し、招待講演および座長を務めた。代表者の招待講演に曾根純一氏 (JST フェロー) が大きな関心を寄せ、新たな競争的資金を立ち上げるべく動く明言された。

- ・2022年度表面真空学会・企画シンポジウム
「表面真空科学の新分野萌芽の土壌としての Beyond 5G」
オンライン
2021. 11. 5

を企画立案、開催。総務省本省の Beyond 5G 政策を取り仕切っている方から高い評価を受けた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- (招待講演) SiC をプラットフォームとした Beyond 5G デバイスの創出とデバイス物理の探求 第27回電子デバイス研究会 (EDIT 27), オンライン開催, 2022. 1. 28
吹留 博一
- (招待講演) 二次元材料成膜・形成および機能発現評価の課題
2022 年第 69 回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「二次元材料を集積回路に」, 青山学院大学相模原キャンパス, 2022. 3. 24
吹留 博一

(2) 関連リスト (謝辞なし)

(論文)

- デバイス用基板上 SiC 単結晶薄膜を用いた超高品質グラフェンと高周波デバイスの廉価な製造法の創出
表面と真空, 64 (2021), pp. 306-311.
吹留 博一
- Atomic arrangements of quasicrystal bilayer graphene: Interlayer distance expansion
Y. Fukaya, Y. Zhao, H. Kim, J. Ahn, H. Fukidome, Iwao Matsuda
Phys. Rev. B 104 (2021) L180202
- Environmental effects on layer-dependent dynamics of Dirac fermions in quasicrystalline bilayer graphene
Y. Zhao, T. Suzuki, T. Iimori, H. -W. Kim, J. Ahn, M. Horio, Y. Sato, Y. Fukaya, T. Kanai, K. Okazaki, S. Shin, S. Tanaka, F. Komori, H. Fukidome, and I. Matsuda
Phys. Rev. B 105 (2022) 115304.
- Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors
T. Otsuji, S.A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, H. Fukidome, T. Watanabe, T. Suemitsu, A.A. Dubinov, V.V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii
Nanophotonics 2022, in press.
(DOI: 10.1515/nanoph-2021-0651)

(特許出願)

- 名称: アンテナモジュールおよびその製造方法
出願人: 東北大学、信越化学工業株式会社、国立研究開発法人情報通信研究機構
発明人: 吹留博一、末光哲也、川合信、渡邊一世
出願番号: 特願 2021-207486
出願日: 2021. 12. 16

(口頭発表)

- Fast terahertz detection in asymmetric dual-grating-gate graphene-channel FETs
Koichi Tamura, Daichi Ogiura, Kento Suwa, Hirokazu Fukidome, Akira Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji
DRC: 79th Annual Device Research Conference Dig., PS1.G, vol. 1, pp.1-2, Web-Online, June 21, 2021
- Controlling the parity and time-reversal symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers
T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii, H. Fukidome, and K. Narahara
AAAFM-UCLA2021: International Conference on Advances in Functional Materials, UCLA, Los Angeles, CA, USA and Online, Aug. 18-20, 2021
- THz detection by an asymmetric dual-grating-gate graphene FET
K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou
IRMMW-THz: The 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, Changdu, China, and Online, Aug. 29-Sep. 3, 2021
- Controlling the PT symmetry of graphene Dirac plasmons and its application to terahertz laser transistors
T. Otsuji, A. Satou, V. Ryzhii, H. Fukidome, M. Ryzhii, and K. Narahara
ICMNE: The 14th International Conference on Micro- and Nanoelectronics 2021, Zvenigorod, Moscow Region, Russia, and Online, Oct. 4-8, 2021
- Fast terahertz detection in an asymmetric dual-grating-gate epitaxial graphene-channel FET
D. Ogiura, A. Satou, H. Fukidome, and T. Otsuji
RPGR: Recent Progress on Graphene and 2D materials Research Conference 2021 Proceedings, C-TS3-0083, p. 398, Seoul, South Korea
- High Speed Terahertz Detection by an Asymmetric Dual-Grating-Gate Graphene FET
K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji

RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies Tech. Dig., vol. 1, pp. 12-13, Sendai, Japan (Hybrid), Nov. 1-4, 2021

- Controlling the parity and time-reversal symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers

T. Otsuji, A. Satou, H. Fukidome, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and K. Narahara

WINDS: the Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems Abstracts Booklet, vol. 1, pp. 43-44, Waikoloa Beach Marriott Spa&Resort, Hawaii, USA, Nov. 28-Dec. 3, 2021

採択番号：R03/A26

実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究

[1] 組織

研究代表者：

志賀 元紀（岐阜大学自然科学技術研究科）

通研対応教員：

大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

福原 武（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

山本 隆太（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

小沢 秀樹（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

近年、量子力学的な自由度を活用した量子技術が、高度・多機能な情報処理や通信の実現に向けて注目を集めている。小規模な量子系を用いた量子センサーや量子メモリ、さらには大規模な量子系を用いた量子計算機等のアプローチがあり、従来のエレクトロニクスの限界を超えていくための候補として盛んに研究が進められている。また一方、コンピュータの計算機能力の飛躍的向上により、大量で複雑なデータから新しい知識や、その意味を引き出す情報科学技術が大きく進展してきた。この状況をふまえ、最近では機械学習をはじめとするデータ科学手法が量子技術の研究に導入され、量子系の測定や、デバイス構造や実験パラメータの自動最適化等で成功を収めるようになってきた。

一方でこの研究の進展とともに課題も明らかとなりつつあり、量子系の実験のみではデータ科学的処理に耐えうる十分なデータを低コストで大量に用意することが難しい場合も多いことが分かってきた。そこで本研究では、実験とデータ科学手法に加えて、比較的データ収集コストの小さいシミュレーション等の理論計算データを組み合わせることにより、データ科学手法を活用する際のデータ不足の困難を克服し、有用となる量子技術を実現する、実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究を推進した。特にシミュレーションデータに基づく手法・学習が、実デバイス、システムにおいても有効となるよう、物理過程を考慮したデータ科学アプローチの設計を行い、研究を実施した。

本研究の推進にあたり、オンラインでの研究会を定期的（2か月に1回の頻度、2021年4月21日、6月9日、8月18日、10月13日、11月24日、2022年1月26日、3月10日の合計7回）に開催し、各グループ所属の研究者および学生が約10名程度参加し、最新の研究成果や技術に関するディスカッションをした。2022年3月10日に開催した年度最後の研究会では、この1年間の進捗状況に関して詳細に議論し、データ科学手法の活用方法や、実験・理論・データ科学の融合についての研究状況についての情報共有および来年度以降の課題・予定を確認した。また、本活動および研究成果を広く周知するために、ウェブHP (<https://qmbd.riken.jp/qtml/index.html>) を通じた情報公開を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

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

まず半導体量子ドット系について理論シミュレーションを活用した機械学習による量子ドット系の状態推定手法を研究した。半導体量子ドット系では、多数のゲート電圧を操作し、精密な電流測定を行う必要があるため機械学習のための大量のデータの取得が容易ではない。

この課題に対して、機械学習を活用することによって、(1) 量子ドット状態を高精度に判別する手法、(2) 所望の量子ドット状態のゲート電圧設定を効率的に探索する手法の開発に取り組んだ。まず、手法(1)の開発において、半導体量子ドットのシミュレータを活用することにより、量子ドット状態の判別を行う量込み込みニューラルネットワークのトレーニングを行うための大量のデータを低コストに用意した。ここで、一般的に量子ドット状態のシミュレーションは材料中に生じる電場や不純物のために実験結果と合わないことが多いが、これらの影響を受ける物理量を直接

的に学習するのではなく、影響を受けにくい伝導特性等の特徴的な構造を学習のターゲットとすることで実験データに対する適応性を高めた。この結果、シミュレーションデータでトレーニングしたネットワークによって実際の実験データでも精度良く状態推定ができることを実証した。また実験で避けることのできない測定ノイズについて、シミュレーションデータに擬似的にその効果を取り入れることにより（図1）、ノイズのある実験データに対しても精度の良い状態推定ができることを示した。またこれらの手法について計算量を削減するための単純化を進め、将来の拡張性を高めた手法を開発した。

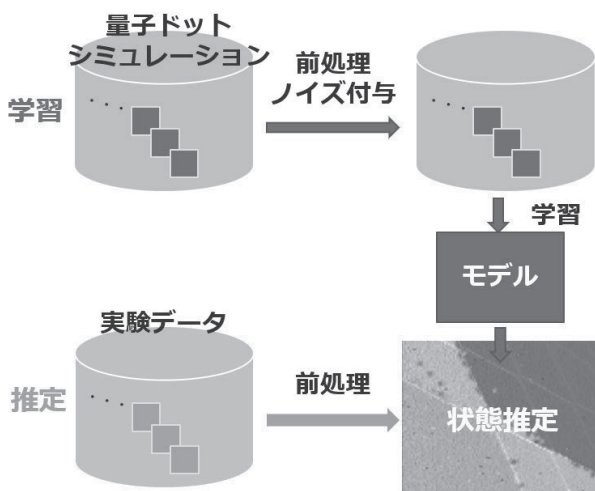


図1：機械学習による量子ドット状態の推定手法

手法（2）のために、複数のパラメータ（ゲート電圧）の中から量子ドット状態が変化する領域を効率的に自動発見する問題に取り組んだ。未探索パラメータ値付近の状態変化の確率に関する評価関数を用いる、ベイズ最適化法を検討した。このアプローチによって、変化境界の同定を試みる動作と未探索領域の積極的な開拓のバランスを自動的にとることができ、少ない試行回数で状態変化点を発見できることを図った。また、3つ以上のゲート電圧を制御する必要がある場合には状態空間を可視化できないため、人間が設定して見落とす可能性があるものの、本アプローチは機械が自動的に行うためにこういった問題を回避できる。シミュレーションおよび実計測データを用いることで、この有効性を検証した。

次に冷却原子系の実験研究において、ベイズ最適化による実験パラメータの自動最適化の効率化に取り組んだ。具体的には、実験データに加えて数値データも使い、それぞれの獲得関数に対する最適化のパフォ

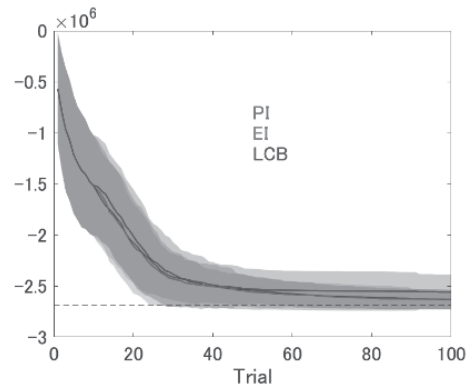


図2：冷却原子系の自動探索（縦軸は、原子数のマイナスイナス値。目的：小さい値を達成する設定の発見）

ーマンスを確認した（図2）。また、ガウス過程回帰におけるカーネルの依存性についても調べた。更に、ベイズ最適化実験で得られたデータに対し、異なるカーネルを用いて目的関数を予測し、最適候補や実験パラメータの依存性に関する評価・考察を行った。この考察によって、全探索では実験設定および計測が1000試行くらい必要であるのに対して、ベイズ最適化を用いた自動探索では約100回程程度の試行で最適パラメータ設定に到達することが示されており、大幅に実験コストを削減できることが分かった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究課題の実施を通して、情報科学と量子科学、また量子科学の中でも冷却原子量子系と半導体量子系といった、異分野の研究者の協力、連携を飛躍的に活性化することができた。この連携の中で、実験・理論・データ科学の融合による量子技術という新しい融合分野の研究を進めることができた。本技術は量子系の自動制御、自動キャリブレーション等を可能とするものであり、量子研究開発分野を推し進めるために不可欠な技術である。これにより量子センサーや量子メモリ、さらには大規模な量子計算機等に貢献し、高度・多機能な情報処理や通信への発展が期待される。また、この研究の中で取り組んでいる手法は情報科学の分野としても新しいものであり、応用分野だけでなく情報科学分野においても重要な成果となりうる。

今後は、シミュレーション（理論計算）と実験の計測コストのバランスを最適に制御するアプローチが大事と考えている。シミュレーションデータと実計測データの性質は若干異なることが多く、この差異に対して機械学習の性能が影響を受けやすい。この問題を解消するための転移学習の方法を検討することが、実機に実装するために非常に重要と考えている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・“Quantum research based on integration of experimental, theoretical and data science”, Takeshi Fukuhara, Motoki Shiga, Tomohiro Otsuka, RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects、オンライン開催、2022年2月17日 (ポスター)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・「機械学習を用いた冷却原子実験」、福原武、第3回冷却原子研究会「アトムの会」、オンライン開催、2022年8月11日 (口頭)

・「機械学習と前処理によるノイズ耐性のある量子ドット電荷状態推定」、武藤由依、中曾拓、相澤拓海、篠崎基矢、北田孝仁、中島峻、Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健太、野入亮人、Arne Ludwig、Andreas D. Wieck、樽茶清悟、兼村厚範、大塚朋廣
日本物理学会、オンライン開催、2022年3月16日 (口頭)

採択番号：R03/A27

遠距離における非接触電力伝送の検討

[1] 組織

研究代表者：

稲森 真美子（東海大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

亀田 卓（広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究科）

加藤 颯（東海大学大学院工学研究科）

高田 泰成（東海大学大学院工学研究科）

石谷 哲史（東海大学大学院工学研究科）

伊東 伸之助（東海大学大学院工学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

近年、海底資源の調査や海底での作業を目的とし海底で AUV(Autonomous Underwater Vehicle)などのロボットが稼働している。これらの機器はバッテリーにより自律航行を行っているが、充電の度に海面に浮上する必要があり、稼働範囲に制限が生じている[1]。この問題を改善するため、海水中で非接触電力伝送によりバッテリーへ充電する方法が検討されている。

非接触電力伝送の方式として磁界共振方式が盛んに研究されている。磁界共振方式では、コイルの位置ずれや伝送距離によって電力効率、電力及び磁束等が変化する。我々は先行研究において、空気中の磁界共振方式非接触電力回路の特性として、図1に示すように送信側コイルの漏れ磁束の増加により遠距離で電力効率が低下する事を報告した。また、海水を濃度3%の塩水と仮定し、塩水では送受信コイルが塩水から受ける近接効果や表皮効果の影響により、空気中よりも伝送効率が低下する事を明らかにした。しかし、塩水中の磁束密度分布、近接効果および表皮効果以外が伝送性能に与える影響は解明できていない。本研究の目的は、塩水中における非接触電力回路の伝送特性を明らかにし、塩水中での電力効率低下の要因を解明することである。海水中における遠距離での電力効率低下の要因を解明することで、長距離伝送系の設計への考察も行う。

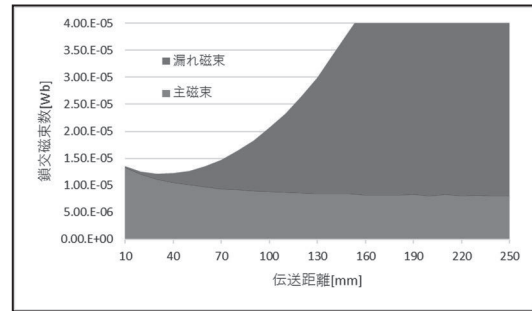


図1 伝送距離に対する主磁束および漏れ磁束の変化

初年度にあたる今年度は、耐水コイルを用いたアンテナを作成し、水中における電力伝送実験を行った。海水中における非接触電力伝送の実験結果をもとに3種類の媒質における電力効率と全損失について検討した。ここで、使用したコイルの概要を表1に示す。

表1 コイルの概要

巻き数	30 [回]
コイル幅	48 [mm]
ボビン	ポリ塩化ビニル (PVC)
ボビン直径	140 [mm]
巻線材	ポリエステル銅線 (PEW)
巻線直径	1.6 [mm]
自己インダクタンス	約 140 [μ H]
コーティング素材	シリコンゴム
コーティング厚	約 2.0 [mm]

電力伝送測定の伝送距離を 10[mm]から電力効率が0%になるまでとし、入力電流は 2[A]一定、周波数は 85[kHz]とした。伝送媒質は空気、純水、塩水とした。使用する塩水は、塩化ナトリウム濃度約 3%の水溶液であり、この水溶液を海水として模擬した。測定は伝送距離を 10[mm]毎に変化させ、電力効率がほぼ0%になるまで行った。回路における共振状態は共振コンデンサを調整することで維持する。また、負荷抵抗には合成抵抗 10[Ω]の酸化皮膜抵抗を用いる。測定項目は電力効率、入力電圧、出力電圧、入力電流、出力電流、入力電力、出力電力とした。電力効率 η は入力電力に対する出力電力の割合で定義される。また磁界解析も行った。

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

[共同プロジェクト研究発表会]

日時：令和4年2月17日（木）

場所：オンライン

参加者：石谷、伊東

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

実験結果より得られた各媒質の伝送距離を変化させたときの電力効率を図2に、入力電力および出力電力を図3に示す。

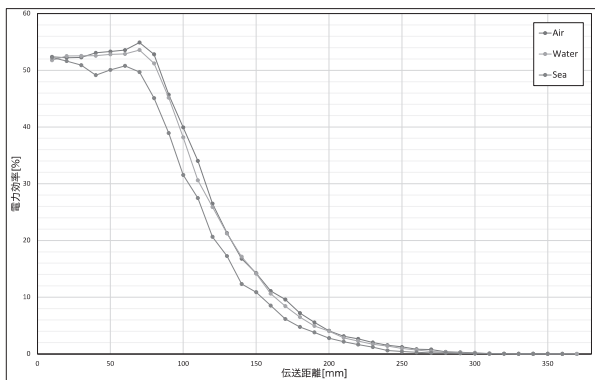


図2 媒質の違いによる電力効率の変化

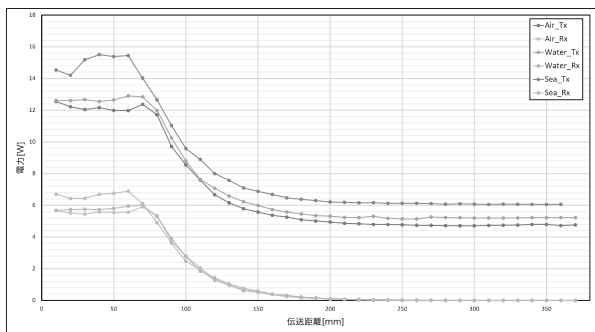


図3 媒質の違いによる入力電力及び出力電力の変化

電力効率は空気、純水では伝送距離70[mm]までは約53%でおおよそ一定であり、80[mm]以降から伝送距離に応じて徐々に低下し、370[mm]で0%になる。塩水では伝送距離60[mm]までは約50%でおおよそ一定であり、70[mm]以降から伝送距離に応じて徐々に低下し、360[mm]で0%になる。電力は塩水での入力電力が空気、純水よりも大きくなっている。これは入力電流が2[A]一定であるため、出力電圧が高いことを表している。長距離での電力効率低下の要因は入力電圧に対する出力電圧の大幅な低下であると考えられる。また、塩水での電力効率の低下の要因は入力電圧の増加であ

ると考えられる。

遠距離で電力効率が低下する要因を考察するため、伝送距離を変化させた時の磁束密度分布の解析を行った。解析は磁界解析ソフトウェア JMAG Ver.19.0.02を使用し、有限要素法を用いた2次元の軸対象周波数応答解析を行った。図4に主磁束と漏れ磁束の関係を示す。この図より遠距離では送信側の磁束が急激に増加することがわかる。受信側は空気、塩水ともに伝送距離125[mm]で最大となり、伝送距離に応じて徐々に低下していく。伝送実験では伝送距離375[mm]では電力効率0%であったが、空中での主磁束は0.18[μWb]、塩水中での主磁束は0.082[μWb]となり、受信側コイルに磁束が鎖交していることがわかる。主磁束は遠距離ではわずかに低下しているのに対し、漏れ磁束は伝送距離に応じて急激に増加している。このことから遠距離では受信側に鎖交していない漏れ磁束の急激な増加が電力効率の低下の要因であると言える。また、空気に比べ塩水での磁束が低下している。以上より、塩水では送信側コイルから発生する磁束が少ないことがわかる。そのため伝送時に鎖交する磁束が減っているといえる。このことから、塩水中でも遠距離においても受信側に磁束が鎖交しているため、送信電力を大きくすることで長距離伝送は可能であると考えられる。

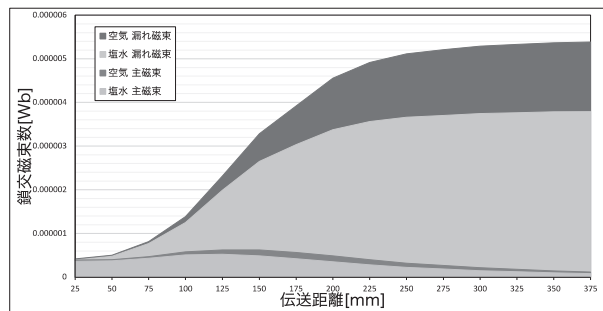


図4 塩水中と空気中における鎖交磁束数の変化

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究では、長距離における非接触電力伝送実験の結果と磁界解析を行った。長距離における電力伝送の入力電圧の低下に対して、出力電圧の大幅な低下と、磁束密度が送信側と受信側とで大きく変化していくことから、送信側の漏れ磁束のみの急激な増加が遠距離での電力効率低下の要因であると明らかになった。また、磁界解析により、遠距離でも受信側の磁束密度が一定であることが明らかになった。本プロジェクトで明らかになった遠距離での電力効率低下の要因は、塩水中で大電力を送信する非接触給電システムの構築に結びつき、次年度以降の研究成果への発展につながる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・高田泰成, 稲森真美子, “海水中非接触電力伝送の長距離化の検討”, 電子情報通信学会水中無線技術研究会, 2021年11月.

・ T. Takada, M. Inamori, "Long Distance Contactless Power Transmission in Seawater," presented in AWPT2021, Dec. 2021.

採択番号：R03/A28

空間知覚の身体性：異方性と個人差

[1] 組織

研究代表者：

寺本 渉（熊本大学大学院人文社会科学研究所）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

黒田 尚輝（熊本大学大学院社会文化科学教育部）

延べ参加人数：24人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

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

本研究は3年計画である。初年度の本年度は静止時の身体近傍空間の広がりや焦点をあて、生体力学的制約および個人の身体能力との関係を明らかにすることを目的とした。なお、身体近傍空間 (PPS; peripersonal space) とは身体から数センチから数十センチの範囲の空間である。外部対象に対する働きかけや危機回避行動を行ううえで重要な空間であり、脳内でも他とは異なる空間として表現されている (e.g., Rizzolatti et al., 1981)。また、PPS は身体部位毎に形成され、さらに、

その範囲は固定されているわけではなく、道具使用時には道具の先端まで拡大し (Iriki et al., 1997)、身体全体の運動時には進行方向側に拡大する (Noel et al., 2015; Kuroda & Teramoto, 2021) 等可塑的な変化があることが知られている。

- ・第1回研究打ち合わせ (2021年8月29日 オンライン) VR実験のパラメータについて議論を行った。
- ・第2回研究打ち合わせ (2022年2月17日 オンライン) 本年度得られた実験データを共有し、来年度の研究計画について議論を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

PPS と身体能力との密接な関わりを裏付けるものとして、身体の運動を制限した場合が挙げられる。Toussaint et al. (2018) は、参加者の腕をギプスで物理的に1日間固定し、その前後で手のPPSを計測した。その結果、ギプスで固定する前と比べて手の運動制限を経験した直後では、PPSが縮小することを報告している。一方、頭部固定時にはPPS変容がみられないとの報告もある (Vagnoni et al., 2017)。このことは、身体部位ごとに身体の行動制限がPPS表象に与える影響が異なることを示唆する。本研究では、これまでに検討が行われていない、身体全体の行動制限時のPPS変容について調べた。行動制限は、参加者を大きな箱に入れることによって行った。

<方法>

PPS範囲の計測：一般によく用いられる視触覚検出課題を用いた。視覚プローブを様々な距離から身体に向けて接近運動させ、その間に参加者の胸に触覚刺激を提示した。参加者には触覚刺激を検出したらできるだけ早く反応するように教示した。視覚プローブが提示されない条件をベースラインとして、視覚プローブによる触覚検出の促進量を距離毎に算出した。そして、視覚プローブによる検出促進が生じた最大距離をPPSと定義した。

実験参加者：健康な視触覚を有する大学生18名（うち男性9名、21.3±0.9歳）が実験に参加した。本研究は熊本大学大学院社会文化科学教育部倫理委員会の承認を得たものであり、参加者からは事前に書面によるインフォームドコンセントを得た。

実験参加者：視覚刺激はヘッドマウントディスプレイ (HMD; VIVE Pro Eye) に呈示した。バーチャル環境で

は、トンネル(11.8m[横]×10m[高さ]×21m[奥行き])の入り口から1m入った位置で1.2mの高さから刺激を観察させることでトンネルの中心にいるように知覚させた。トンネルの床、天井、壁には白黒の縞模様(奥行き方向に2.1m間隔)を常に呈示し、奥行き手がかりとした。注視点は赤色の球体(直径2cm)とし、視覚運動刺激は紫色の球体(直径2cm)を用いた。箱あり条件では、現実空間では1辺が0.9mの黒い箱を使用し、バーチャル環境でも同様の箱を呈示した(Fig. 1)。振動刺激装置は胸部に固定した。

手続き: 2箱(あり, なし)×6距離条件(D1: 50cm, D6: 300cm; 50cm刻み)の2要因参加者内計画で実験を行った。実験は、触覚刺激のみが呈示されるTセッションと、触覚刺激と同時に視覚プローブも呈示するVTセッションによって構成された。各試行では、いずれかの距離条件の1つに注視点を0.5秒間呈示し、注視点消失後、ランダムなタイミングで触覚刺激を呈示した。その際、VTセッションでは、注視点が呈示されていた付近で視覚プローブも9cm/sで1s間接近運動させた。箱条件をブロック化し、Tセッション(1回)、VTセッション(2回)、Tセッション(1回)の順で実施した。Tセッション、VTセッションはそれぞれ1セッションあたり42試行(6距離条件×7[6反復+1キャッチ試行])、42試行(6距離条件×7[6反復+1キャッチ試行])であった。どちらのセッションも刺激への反応慣れを避けるために、触覚刺激を呈示しないキャッチ試行を含み、反応してはならない試行とした。各セッションにおいて、刺激呈示順はランダムであった。箱条件の順序は実験参加者間でカウンターバランスをとった。

<結果と考察>

各箱条件のPPS境界を調べるために、各距離でT条件とVT条件との間で*t*検定を実施した(Fig. 2)。箱なし条件では、D1からD5まで視覚プローブが触覚刺激の検出を促進したが($t(17) > 0.96, p < .051$; D4は有意傾向)、D6ではその反応促進はみられなかった($t(17) = 0.78, p = .277$)。一方、箱あり条件ではいずれの距離においても視覚プローブによる触覚刺激検出促進がみられた($t(17) > 0.95, p < .059$; D6は有意傾向)。

非行動制限時には、視覚プローブが身体から遠くなるほど触覚検出の促進量は減少し、最大距離D6ではそれがみられなかったことからD5とD6間にPPS境界があると推定された。一方で、行動制限時には距離

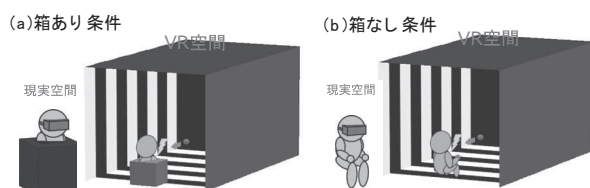


Figure 1: 実験条件

の違いによって触覚検出の促進量は変化せず、本研究で測定した全ての距離条件で触覚検出が促進された。したがって、本研究の身体全体の行動制限はPPSを拡大させることを示唆する。先行研究を踏まえると、PPSは身体部位(手、頭部、胸部)毎に表象されており、身体部位によって異なる様相を示すものと考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性研究分野への貢献など

継続的に共同プロジェクト研究を実施していることにより、東北大学電気通信研究所および熊本大学の2大学による共同研究体制を維持できている。得られた研究成果はすでに複数の研究会、学会等で発表を行い、学術論文として国際誌への投稿準備中である。また、これまでのプロジェクトの工学的応用を目指した研究については、科学研究費補助金事業基盤研究(B)「人と場の相互作用を考慮した知的感性活動を支える聴空間創出基盤技術の確立」(代表:坂本修一, 分担:寺本渉, 大谷真;平成31年度~令和4年度)のほか、新たに基盤研究(A)「人間の選択的情報処理に基づく聴空間共有型コミュニケーションプラットフォームの実現」(代表:坂本修一, 分担:寺本渉, 大谷真, 寺岡諒;令和4年度~令和7年度)として採択された。

今後さらに心理物理学的手法のみならず、生理心理学的手法も駆使しながら、系統的に検討を加えることによって、学術的に非常にインパクトがある成果となると考えられる。また、工学的にも、情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システム実現に貢献できるものとなる。

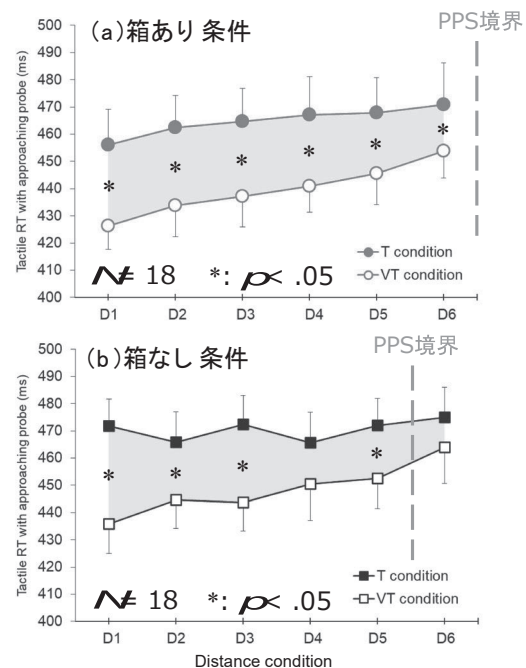


Figure 2: 実験結果

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

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

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ 黒田尚輝・成瀬香織・寺本渉 (2022). 身体の行動制限が身体近傍空間表象に与える影響. *電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会技術報告*, 121, HIP2021-72, 72-75.

・ 山高正烈・坂本修一・寺本渉 (2021). 音刺激の諸特性がベクシオン知覚時の音像定位に及ぼす影響. 第26回日本バーチャルリアリティ学会, 立命館大学 (オンライン), 2021年9月12日~14日.

採択番号：R03/A29

高機能軟磁性合金の評価とエネルギー関連デバイスへの応用

[1] 組織

研究代表者：

鈴木 茂 (東北大学マイクロシステム融合
研究開発センター)

通研対応教員：

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

戸 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] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

機能性材料とデバイスとの適合性やそれらの特性を向上させるために、この分野の研究開発は重要性を増しており、デバイスの動作に合わせた機能性材料の評価や設計、簡便な加工プロセスが求められている。本プロジェクトにおいては、優れた磁歪や軟磁性を示す Fe-Ga 合金単結晶の特性に影響する加工プロセスの影響を明らかにすることを目的とした研究を行った。特に、合金の加工プロセスにおいて生じる下部組織と磁化過程の関連性等に着目した研究を行った。

前年度までは、通研の教員や技術職員等とともに材料の構造解析技術の高度化やそれによる具体的な材料評価の計画等に関して打ち合わせを行った。本年度は、それらの実績を踏まえながら、Fe-Ga 合金単結晶の大型インゴットから切り出したウェハの磁気特性に及ぼす圧延加工の影響等に関する研究を実施した。

各種の磁歪材料や軟磁性材料を用いた振動発電は、様々な振動発電技術の中でも発電効率が高いため、各材料や発電デバイスの視点から開発が求められており、それらの材料に求められる条件としては高い透磁率や飽和磁化等の特性がある。それに適した材料としては Fe-Ga 合金単結晶があるが、大きな単結晶インゴットから効率的に加工するプロセスなどの課題があった。例えば、単結晶を育成するプロセスで、Fe-Ga 合金中に僅かな転位による弾性的ひずみが残る、それが磁区構造の割合や分布等に影響を及ぼすことで、磁気特性が変化する可能性がある。そこで本プロジェクトでは、僅かな塑性変形を加えた合金試料の磁化曲線や下部組織の関連性を調べることにした。なお、FeCo-2V 合金等も振動発電等の材料として期待されて

いるが、その組織には合金の規則度や多結晶の集合組織等が影響することが分かったため、それらは今後の課題として取り組むこととした。

本プロジェクトの出発素材としては、福田結晶技術研究所で Czochralski 法により育成した Fe-17%Ga 合金単結晶のインゴットを用いた。それらのインゴットはマルチワイヤーソーで厚さ約 1mm のウェハに切断したが、切断した表面にはワイヤーソーの痕による凹凸が残っていた。それらのウェハ上の凹凸を平滑にするために僅かな圧延を施し、それとともに塑性変形の磁気特性への影響を調べるために、室温で 0%、5%および 15%の圧延加工を行った。各試料の厚さは、約 1.0(Sample A)、0.95(Sample B)および 0.85mm(Sample C)であった。それらの圧延したウェハからマルチワイヤーソーを用いて、(100) [001] 方位を持つ円板状試料を切り出した。

試料の集合組織の測定には、通研の研究基盤技術センターが運営している X 線回折計 (PANalytical, X'Pert MRD) を用い、110, 200, 211 反射による極点図から、方位分布関数 (ODF) を求めた。また、電子後方散乱回折の測定 (株組織観察) には、通研の Oxford Instruments 社の HKL Channel 5 を付属した Hitachi SU-6600 を用いて逆極点図マップ等を表示した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Fig.1 は、Sample A, Sample B および Sample C の磁化曲線を示している。切り出したままの Sample A の磁

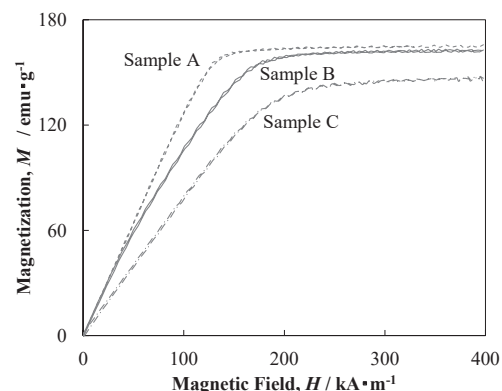


Fig.1 Magnetization curves for Samples A, B, and C.

化曲線では比較的高い透磁率を示していたが、この状態では、磁歪曲線測定の結果から異なる方向の磁区の割合が不均一であることが示唆された。このような磁区の不均一分布は、高温から凝固する際に発生する長距離の内部応力（残留応力）によって影響されていると考えられる。育成した結晶にわずかに圧延を加えた試料では、内部応力が分散され、磁区の不均一分布が矯正される。一方で、Fig.1 に示すように Sample B や Sample C では透磁率が下がり、これは磁化過程が塑性ひずみによって影響を受けていることを示唆している。すなわち、試料中に転位が導入されて、それが磁区構造に影響を及ぼしていると考えられる。

磁化過程の塑性ひずみによる変化に関連し、この合金単結晶板の圧延による集合組織の変化を、通研の XRD 装置により正極点図の測定を行った。Fig.2 は、Sample A, Sample B および Sample C に対する正極点図から推定した ODF を示している。これらの結果から、圧延前の合金単結晶の方位は、Cube 方位であり、圧延にともない Cube 方位周辺の異なる分が増えていることが示唆された。

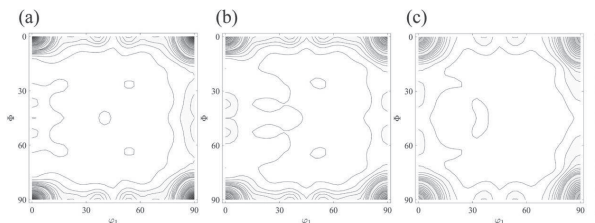


Fig. 2 ODFs at $\phi_2 = 0$ for Samples (a) A, (b) B, and (c) C.

これらの集合組織の変化に対応付けて、微視的な下部組織を検出するために EBSD 観察も行った。Fig. 3 は、EBSD による Samples A, Sample B および Sample C の逆極点図 (IPF) マップ (1 列目)、KAM (Kernel Average Misorientation) マップ (2 列目) および四元数方位差 (Q-disorientation) マップ (3 列目) を示している。IPF マップでは、いずれも Cube 方位であることを示しているが、僅かな方位ずれを検出するのが困難である。KAM マップではある程度方位ずれを検出しているが、四元数方位差マップでは方位角方向の情報も含め表示することができる。これらの結果から、合金単結晶を圧延すると亜結晶粒が形成され、その方位ずれた成分が Cube 方位の変化に寄与していると考えられる。このような方位ずれは、導入された転位が少なからず亜粒界を形成し、それらは磁壁の移動が起こりにくくなっていると考えられる。これらの磁壁移動は、結果的に磁歪や磁化などの磁気特性に影響することが推測される。

以上のような本プロジェクト研究で得られた知見は、

各種デバイス（振動発電デバイス等）に用いられる磁心材料の性能向上に活用されることが期待される。このプロジェクトでは、育成したまま結晶から切り出したウェハの磁歪曲線では、磁化に伴い不自然な挙動も見出し、これには異なる磁区の割合が不均質であることが関係していると考えた。このようなウェハに僅かな圧延加工を施すと、ウェハ表面の粗さが小さくなるとともに、不自然な形状の磁歪曲線が矯正されたことも明らかにした。しかしながら、さらに圧延を施すと、磁化曲線や磁歪曲線において特性が低下する結果が得られ、これは大きな圧延加工による塑性ひずみで発生する転位による磁壁の移動が妨げられていることが示唆された。

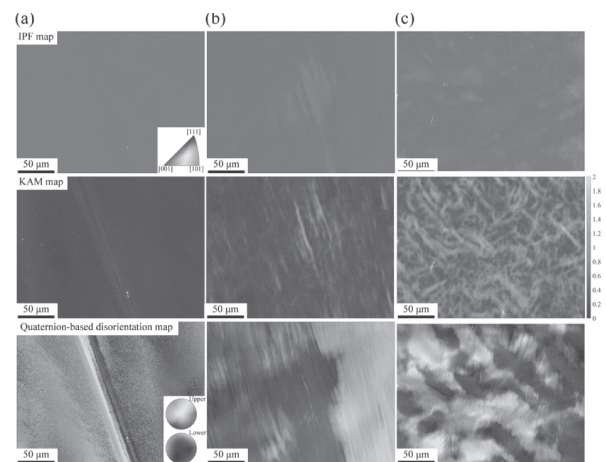


Fig. 3 KAM and Q-disorientation maps of Samples (a) A, (b) B, and (c) C obtained using EBSD.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを通じて、学内外の研究者・若手技術者との交流が活性化し、小さいプロジェクトではあるが科研費・基盤 C や奨励研究の採択に発展した。本プロジェクトでは、機能性材料の特性と構造の関連性が明らかになった成果は、研究基盤技術の高度化や新研究領域の発展につながることを期待される。

- a) ・プロジェクト名 「機能性鉄合金の強制・減衰運動応答性の多面的解析による振動制御指針」
 - ・資金制度, 研究費名 科研費・基盤研究 C
 - ・配分機関名 東北大学
 - ・研究期間 2022 年度-2024 年度
- b) ・プロジェクト名 「不均一組織を持つ材料において発生する応力の可視化技術の開発」
 - ・資金制度, 研究費名 科研費・奨励研究
 - ・配分機関名 東北大学
 - ・研究期間 2022 年度

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・ M. Chiba, T. Tanno, M. Abe, S. Hashi, K. Ishiyama, T. Kawamata, R.Y. Umestu, K. Sugiyama, S. Sato, Y. Mochizuki, K. Yatsushiro, T. Kumagai, T. Fukuda, S.-I. Tanaka, S. Suzuki: Magnetic Properties and Substructure of Iron-Gallium Alloy Single Crystals Processed from Ingot to Wafers, MATERIALS TRANSACTIONS (2022) (in press)
<https://doi.org/10.2320/matertrans.mt-m2021217>

・ 千葉雅樹, 丹野健徳, 阿部真帆, 石山和志, 栢修一郎, 鈴木茂: Fe 基合金の磁気ひずみに及ぼす塑性ひずみの影響, 日本金属学会, 秋期大会 (2021年9月オンライン開催)。

(2) 関連リスト (謝辞なし)

採択番号：R03/A30

視聴覚情報からの高臨場感ハイブリット振動作成

[1] 組織

研究代表者：

山高 正烈（愛知工科大学）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：17人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

・目的

本研究では、振動情報を手軽に入手する方法として視聴覚情報からの効果的なハイブリット振動作成法を提案・構築する。また、振動情報のあるべき「姿」を「知覚的リアルさ」という側面から分析し、本物の振動より「リアル」な振動の作成を目指す。本研究の遂行により、視聴覚コンテンツさえあれば誰でも簡単に振動情報を入手することができ、「視覚におけるHMD」や「聴覚におけるヘッドフォン」と並んで、簡単に振動提示が可能な第三の情報提示システムの実現につながると信じている。

・研究計画

超高臨場感バーチャルリアリティ（VR）システムを実現するためには、視聴覚情報だけでなく他のマルチモーダル感覚情報の提示も極めて重要であり、その中で、体全体が揺れたり動いたりするような全身振動感覚の提示は臨場感の向上に特に有効である。本研究では、近年爆発的な人気と広がりを見せつつあるVRシステムの更なる臨場感向上を目指し、本物の振動より「リアル」な振動を作ることを目的とする。そのために、世の中に溢れかえる視聴覚コンテンツに着目し、視聴覚情報からの効果的なハイブリット振動作成法を提案・構築する。

この目的を実現するために、本年度は以下の課題を実施した。

【課題Ⅰ：音情報の特徴分析】

ここでは、視聴覚コンテンツの各イベントと、それに対応する実測振動の周波数帯域を分析・整理し、印象評価実験を実施して、音情報の周波数帯域と包絡線、搬送波周波数等といった音信号の周波数特性が高次感性に及ぼす影響を明らかにする。これにより次年度に実施する予定の、音情報からの振動生成モデル構築のための音情報の諸特徴を明らかにする。

以下、研究活動状況の概要を記す。

今年度は本プロジェクト研究実施の初年度であることもあり、研究打ち合わせと実験環境の構築をメインに実施した。具体的には、2021年4/7～10日に東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行い、実験パラメータの整理と問題点を抽出した。研究打ち合わせの結果を基に、5/28～6/1日に東北大学電気通信研究所にて実験プログラムの作成と実験環境のセッティングを行った。これらの事前準備を経て、10/21～24日および、12/15～17日に、愛知工科大学の学部生延べ5人/次が被験者実験を2度に渡って実施した。

実施した実験においては、動画共有サイトVimeoから視聴覚コンテンツを収集し、それらを「非実在」、「日常・自然環境」、「スポーツ」、「パフォーマンス」、「知識・トーク」の5つのカテゴリに再分類し、最終的に20個のコンテンツを得た。次に、振動の大きさを対象とし、体験者が最適と感じる振動の大きさの調査実験を行い、最適な振動の大きさが映像、音響特徴量でどの程度説明できるかを検討した。その結果、最適と感じる振動レベルの時間変化は従来の生成法であるViLA(Vibration from Low-Frequency Audio)振動レベルの時間変化と類似すること、また、最適な振動の大きさにラウドネスやシャープネス等の音響特徴量、顕著な物体と関連するオブティカルフローの大きさ等の映像特徴量が影響を与えることを示した。更に、これらの実験により明らかになった最適振動レベル(RAVib: Regression Analysis Vibration)をパラメータに、先行研究にて収録した実測振動付き多感覚コンテンツを用いて高次感性実験を実施した。

「3」 成果等

・研究成果

多感覚コンテンツは、先行研究にて収録した線路脇から電車が通過するコンテンツとバスケット試合のコンテンツを使用した。実験は、東北大学電気通信研究所の防音シールド暗室で行い、実験条件としてOriginal, ViLA, RAVib, RAVib 3dB, RAVib 6dB, RAVib 10dB, RAVib 15dBの計7条件を設定した。実験においては、最初に被験者がモーションプラットフォームに乗り、ヘッドフォンを着用してスクリーンを見ながらコンテンツを体験し、体験時の継時評価並びに体験後の総合評価実験を実施した。総合評価は口頭にて0～6の7段階で報告させた。

電車コンテンツにおける臨場感、および、迫真性の評価結果を図1に示す。図から、事前検討・実験から導き出したRAVibを振動レベル1倍にした場合の評価が最も低く、RAVib振動強度の増加に伴いRAVib +6dBまで評価値が上昇する傾向が見られた。しかし、臨場感評価においては振動レベルが+15dBに達するまで評価値が上昇する一方、迫真性評価では、評価値が+6dB程度で飽和状態となった。このことから、先行研究と同様に、臨場感評価と迫真性評価の特徴が異なることが示された。

バスケットコンテンツにおける臨場感、および、迫真性の評価結果を図2に示す。図から、事前検討・実験から導き出したRAVib1倍の評価が一番低く、振動強度の増加に伴い評価値が上昇する傾向となった。しかし、前述の電車コンテンツと同様に、臨場感評価では評価値が+10dBまで上昇する一方、迫真性評価においては、評価値が+3dB程度で飽和状態となった。

全体的に見ると、電車コンテンツでは振動レベルが+15dBに達するまで評価値が上昇する一方、バスケットコンテンツでは評価値が下がる結果となった。このことから、コンテンツによって加える振動の最適な大きさが異なる可能性が示唆された。

・波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の実現により、「体験者に高度な高次感性を感じさせる多感覚情報の提示法」や「高次感性を促進するためのVR空間の諸条件」が明らかになると考える。これらの知見を応用することにより、将来は、無観客試合で試合が行われているにも関わらず、多感覚情報を効率よく合成して提示することで、普段と変わらない臨場感を感じられるVRシステムの構築に貢献できると考える。

本研究の遂行は、特に産業界に与えるインパクトが大きいと考える。本研究から得られる知見により、例えば、体験者は観客席にいるような臨場感を感じながらも間近でコンテンツの本物らしさを感じ取るといった「二面性」をも体験でき、実際にその場にいる以上の価値を得ることができると考えられる。本システムを通して、実際にその場に行かずともVRコンテンツを楽しむ人が増加しVRシステムの普及に大きく貢献するとともに、将来人々のライフスタイルを一変させる可能性も潜めていると考えている。また、エンターテインメント分野だけでなく、遠隔協働、教育分野に広く応用することにより、これまででない価値を提供できる可能性も考えられる。

昨今のCOVID 19等感染症が広がる情勢の中で、近い将来無観客でイベントが行われることがノーマルになることは否定できない。そのような場合においても、本研究の知見を応用することで、従来通りにコンテンツを楽しむことが強く期待される。

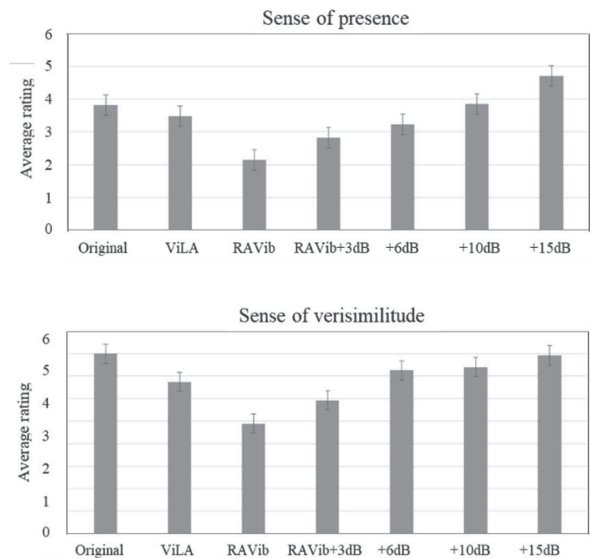


図1 電車コンテンツにおける高次感性評価結果

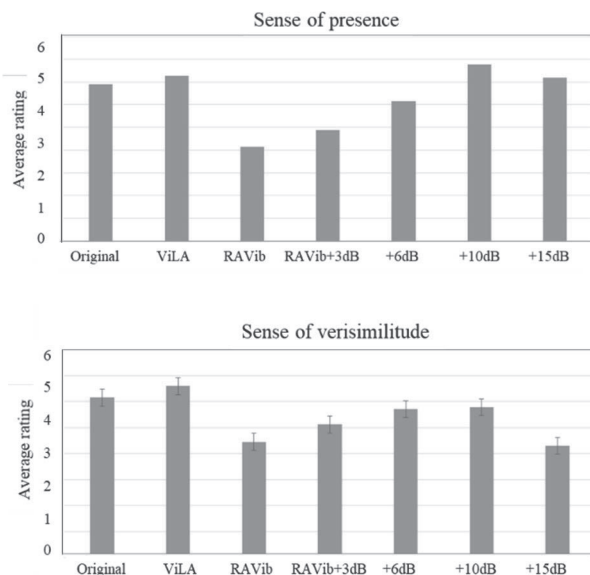


図2 バスケットコンテンツにおける高次感性評価結果

「4」成果資料

本プロジェクトの実施は、若手研究者の育成に特に役立ったと考えている。今回、愛知工科大学の学生3名が2度に渡って東北大学電気通信研究所を訪れた。東北大学電気通信研究所の学部生、および院生らと交流するとともに、実際被験者実験を実施することにより研究に興味を持つことができ、大学院への進学希望につながった。

今後、このプロジェクトを機に、愛知工科大学と東北大学電気通信研究所の若手研究者との交流が活性化し、科研費への応募にもつながるものと信じている。

採択番号：R03/A31

光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視 に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

新谷 昌人（東京大学地震研究所）

通研対応教員：

葛西 恵介（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

三ヶ田 均（京都大学大学院工学研究科）

荒木 英一郎（海洋研究開発機構）

三浦 哲（東北大学大学院理学研究科）

吉田 真人（東北大学電気通信研究所）

高森 昭光（東京大学地震研究所）

坪川 恒也（真英計測）

坂田 正治（元防災科学技術研究所）

延べ参加人数：9人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

わが国はしばしば地震や火山噴火による災害に見舞われており、それらの現象を理解することは学術的にも防災の観点からも重要である。地震や火山噴火は本質的に地下深部で起こる現象であり、発生域で直接観測することは困難である。遠隔力である重力の観測は地下深部の密度変動に感度を持ち、適切な観測網を構築すればマグマや流体の移動を地表において直接検知できると考えられる。本研究では、これまでの共同プロジェクト研究の成果を活かし、光通信技術を用いて複数の絶対重力計による観測網を展開し、火山活動時のマグマの挙動を重力変動として捉える監視技術の研究を行う。

絶対重力計は周波数安定化された高精度の 633 nm あるいは 1.5 μm 帯（光通信波長帯）等のレーザ光源の光波長を基準に、真空中の落体の自由落下運動を干渉計測し、9桁程度の確度で重力加速度を計測する装置である。光通信技術を利用し、複数の絶対重力計を安定化光源と接続し、同時に長距離伝送・配信して重力観測網を構築するための研究を行う。地震研究所で開発した小型絶対重力計（TAG-1）に廣岡・葛西研究室が所有する通信波長帯のアセチレン安定化レーザ光源を利用する。また、計測された干渉信号を少数の光ファイバに集約・多重化し伝送する実験を行なう。東北大学理学研究科の蔵王観測所での重力観測に本手法を適用し、動作実証を行なうとともに、火山活動に

伴う重力値の変動を監視する。

本研究は3年間の研究期間を想定しており、絶対重力計と 1.5 μm 帯周波数安定化レーザを用いた重力加速度の光ファイバ遠隔計測方式の確立、多点同時計測システムへの展開、総合的な性能評価および蔵王観測所での実証実験等を計画している。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、周波数安定化レーザを用いた重力加速度の光ファイバ遠隔計測方式に関する研究として、長基線光ファイバを用いた TAG-1 による重力観測、および 1.5 μm 帯レーザの周波数安定度向上に向けた検討・評価実験を行なった。

図1に示すように、TAG-1は真空容器中で自由落下させた落体（Free-fall mirror）の位置をレーザ干渉計で正確に計測し、その加速度から重力加速度の絶対値を9～10桁の確度で計測する。温度変化の激しい野外環境での測定や可搬性を向上させるために、レーザを射出する基台の部分（Optical unit）を熱膨張係数が極めて小さいスーパーインバー合金で製作し、さらに地面振動補正用の参照振り子部分（Reference mirror）を従来の7割程度のサイズに小型化した。

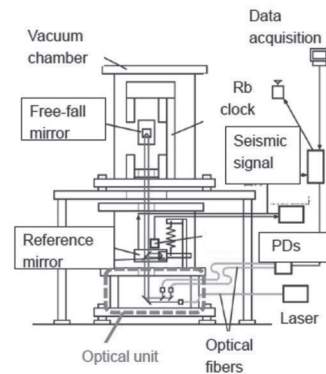


図1 TAG-1の構造

2022年1月に南極・昭和基地内の重力計室にTAG-1を持ち込み、633 nm光源を用いて観測を行なった。5 m および 50 m の光ファイバを接続して図2の観測結果が得られた。重力値（青）は地球潮汐を含めた理論重力値（赤線）と整合し、光ファイバの長短によらず正しく計測できることが確認された。

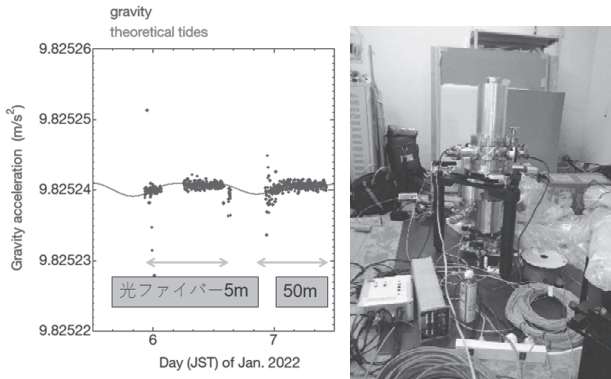


図2 南極・昭和基地の重力基準点(右図)においてTAG-1により測定された重力値(左図、青)と理論波形(同、赤線)

レーザの周波数安定化実験については、これまでアセチレン分子の線形吸収線(線幅500 MHz)を用いた絶対周波数安定化ファイバレーザを開発している。本レーザの高い周波数安定度($10^{-9} \sim 10^{-10}$)を活かし、レーザ干渉方式の絶対重力計と組み合わせることにより、 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ の精度で絶対重力加速度を計測できることを示してきた。本研究では重力加速度の測定精度向上のため、アセチレン分子の超狭線幅(線幅:~2 MHz)の飽和吸収線を用いた超高安定周波数安定化レーザを開発する。また、本安定化レーザを用いた絶対重力加速度計測方式の開発を行う。これを多点配置し、一箇所(基地局)から光ファイバを介して供給される周波数安定化光を用いて同時に重力計測を行う光ファイバ遠隔計測システムを実現する。本年度は周波数安定化レーザに用いるアセチレン分子飽和吸収セルの試作と基本特性の評価を行った。

アセチレン分子の光吸収は非常に弱いため、その飽和吸収信号を得るには、長い光路長(光と分子の長い相互作用長)と強い光強度の2つが重要な要素となる。本研究ではYoshii, et al. (2017)に記載されているアセチレン飽和吸収セル(セル長60 cm、ガス圧力30 mTorr)を参考に、マルチパス型飽和吸収セルモジュールを試作した。図3は試作したモジュールの構造である。また、外観写真を図4に示す。アセチレンガスは直径16 mm、長さ250 mmのガラス製セル内に30 mTorrの圧力で封入されている。セルの両端はブリュスター窓となっており、入出力端の光ファイバを偏波保持とすることにより単一偏光(TM偏光)で動作するようになっている。長い光路長とするためガラスセル外部にミラーを設置し、多重反射させることで250 mm×3=750 mmの光路長を実現している。挿入損失は2 dBとなっている。また、セル全体はスーパーインバーを用いた台座に設置しており、安定な温度特性が得られている。

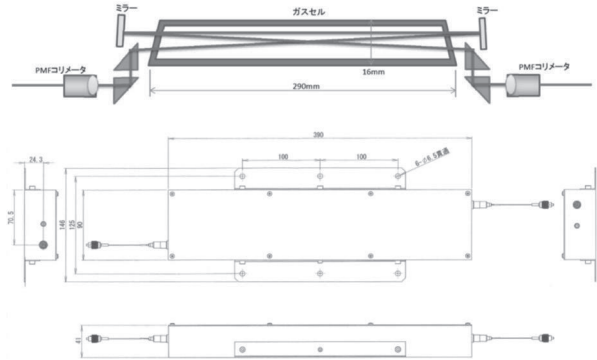


図3 マルチパス型アセチレン分子飽和吸収セルモジュールの構成

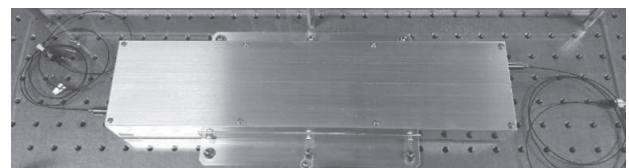


図4 マルチパス型アセチレン分子飽和吸収セルモジュールの外観写真

図5は本セルの線形吸収スペクトルである。1538.8 nm (P10)吸収線が明確に観測できていることがわかる。次年度は本セルの飽和級数スペクトルの観測とこれを用いたレーザ周波数の安定化を実施する。

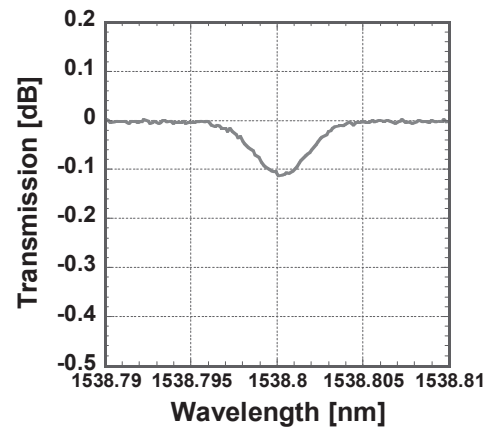


図5 線形吸収特性

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

地下深部のマグマの動きに伴う密度変化を重力計観測網で捉えることができれば、地球科学および防災・火山監視へ大きく貢献する。そのためには複数の重力計で同時観測を行ない、地下流体の移動を監視する必要がある。本研究計画で進めている遠隔地の複数の絶対重力計への光源配信や取得された信号の集約・多重化ができれば、喫緊の火山活動監視強化へ向けた具体的なシステムの立案につながる。

[4] 論文や学会発表等

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・新谷昌人, 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 27, 136-138, 2021.

・Kimura, M., N. Kame, S. Watada, A. Araya, T. Kunugi, and R. Wang, Determination of the source parameters of the 2011 Tohoku-Oki earthquake from three-component pre-P gravity signals recorded by dense arrays in Japan, *Earth, Planets and Space* 73:223, 2021.

・Araya, A., D. Oka, Y. Fukuda, Y. Aoyama, A. Hattori, J. Nishijima, J. Okuno, and K. Doi, Absolute gravity measurements conducted in the 63rd Japanese Antarctic Research Expedition, Japan Geoscience Union Meeting 2022, Chiba & Online, 1 June, SGD02-P03, 2022.

採択番号：R03/A32

脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用

[1] 組織

研究代表者

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

中尾 光之 (東北大学大学院情報科学研究科)

片山 統裕 (尚絅学院大学理工・自然部門)

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

小山内 実 (大阪大学大学院医学系研究科)

早川 美德 (東北大学教育情報基盤センター)

矢内 浩文 (茨城大学大学院理工学研究科)

浅井 哲也 (北海道大学大学院情報科学研究科)

原田 知親 (山形大学大学院理工学研究科)

廣瀬 明 (東京大学大学院工学系研究科)

斉藤 利通 (法政大学工学部)

八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)

土居 伸二 (京都大学大学院工学研究科)

森江 隆 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

佐村 俊和 (山口大学大学院創成科学研究科)

上田 哲史 (徳島大学情報センター)

西尾 芳文 (徳島大学社会産業理工学研究部)

石田 文彦 (富山高等専門学校電気制御システム工学科)

田中 敦 (山形大学大学院理工学研究科)

佐野 雅己 (上海交通大学自然科学研究院)

菅原 研 (東北学院大学教養学部)

金城 光永 (琉球大学工学部)

水柿 義直 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

鳥飼 弘幸 (法政大学理工学部)

田向 権 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

Jordi Madrenas (カタルーニャ工科大学電子工学科)

山本 英明 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

AI 技術のより一層の社会実装に向けて、脳型情報処

理を実現するハードウェア基盤を確立することが本プロジェクトの目的である。生物神経系における脳型情報処理の高効率性や柔軟性は、現 Si テクノロジーを遙かに凌駕し、次世代の情報処理システムの開発において優れたお手本である。また、脳のような大規模な集積システムを実現する手段は Si テクノロジーが最も有力であり、Si テクノロジーと脳型情報処理の融合が大きな課題となっている。課題克服のためには、長期記憶を実現する不揮発性メモリデバイス、記憶と演算を融合するシナプスデバイス、時分割処理により大規模配線を実現する回路アーキテクチャ、神経素子のダイナミックな力学特性を再現するアナログ回路モジュール、有限なハードウェアリソースで環境変化に対応しうる学習機能モジュール、モジュール競合により判断処理を行う計算機アーキテクチャなどの要素技術の整備と、これらの統合が必要不可欠である。

本プロジェクトではこれまでに得られた知見、すなわちスピントロニクス不揮発メモリ素子を用いたシナプスデバイス、モジュール構造神経回路に発現する複雑ダイナミクス、リカレントアナログ神経回路を用いたリザバーコンピューティング等をさらに発展させて、高効率かつ柔軟な脳型ハードウェアを構築すること、並びに、そうしたハードウェアをエッジコンピューティング等に应用することによりその有効性を明らかにすることを目指す。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、本プロジェクト研究と連動する形で、「第10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2022年2月18日、19日にオンライン開催し、本プロジェクトの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。以下はシンポジウムの発表リスト（口頭発表分の一部）である。

(1) Development of techniques to construct novel brain's neural circuits, Y. Masamizu, T. Ebina, Y. Tanaka, M. Negishi-Kato, H. Onoe, S. Takeuchi, M. Matsuzaki (Doshisha Univ., Japan)

(2) Demonstrations on synaptic operations of ferroelectric-gate field-effect transistors, S.-M. Yoon (Kyung Hee Univ., Korea)

(3) IMAX2: A CGRA with interface to neuromorphic and stochastic computing, Y. Nakashima (NAIST, Japan)

- (4) Multi-domain spiking neural network on analog neuromorphic hardware, R. Oshio, A. Sawada, M. Kimura, R. Zhang, Y. Nakashima (NAIST, Japan)
- (5) Neuromorphic systems using thin-film memcapacitors, M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)
- (6) Analog memristor using amorphous metal-oxide thin-film devices, D. Makioka, S. Shiomi, E. Iwagi, Y. Ishisaki, T. Katagiri, M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)
- (7) Massively parallel probabilistic computing through MRAM, K. Camsari, J. Kaiser, S. Datta, W. A. Borders, H. Ohno, S. Fukami (UC Santa Barbara, U.S.A.)
- (8) Spiking neuron circuit and efficient CMOS reservoir computing, S. Sato, S. Moriya, S. Ono, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)
- (9) Design of an energy-efficient binarized CNN accelerator using an appropriate schedule of intra-data life time, T. Oka, D. Suzuki, T. Hanyu (Tohoku Univ., Japan)
- (10) Feasibility of neuromorphic wetware using configurable polymer networks, N. Hagiwara, Y. Amemiya, J. E. Ali, T. Asai, M. Akai-Kasaya (Hokkaido Univ., Japan)
- (11) A co-design environment for computational models and circuits using PyLTSpice and its application to circuit design for reinforcement learning using reservoir computing, Y. Shishido, K. Kawazoe, K. Tamai, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)
- (12) Numerical simulation for VLSI implementation of reinforcement learning using reservoir computing, K. Tamai, K. Kawazoe, Y. Shishido, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)
- (13) A situation-dependent navigation system by brain-inspired neural networks with hippocampus, prefrontal cortex, and amygdala functions, A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, Y. Katori, K. Tateno, T. Morie (Kyushu Inst. Technol., Japan)
- (14) Physical reservoir computing frameworks utilizing optical or spin-wave dynamics, A. Hirose, H. Numata, J. B. Héroux, T. Yamane, D. Nakano, G. Tanaka, R. Nakane (Univ. Tokyo, Japan)
- (15) Flexible real-time display of SNN hardware architecture execution, B. Vallejo, C. Nader, J. Madrenas, M. Zapata, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)

- (16) Unsupervised representation learning in brain-like neural networks with Bayesian-Hebbian synaptic mechanisms, P. Herman, N. B. Ravichandran, A. Lansner (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

エッジコンピューティングでの低電力脳型処理を実現するために、専用ハードウェアの開発が急務な課題となっている。そこで、サブスレッショルド領域で動作する 65 nm CMOS 回路を用いてアナログスパイクングニューラルネットワークを構成し、その動作を検証した。その結果、8つの興奮性ニューロンと2つの抑制性ニューロン、計10ニューロンから成るリカレントネットワークが時系列信号に応じて複雑な振舞いを示すこと、また消費電力が80 nW以下であることを確認し、本回路が低電力リザーバーコンピューティングへ応用可能であることを実証した。

また、スパイクタイミング依存可塑性(STDP)学習回路の設計を行い、その動作を数値シミュレーションによって確認した。21個のトランジスタで構成されるアナログCMOS回路が、減衰特性を有するSTDP学習回路として機能することを確認した。減衰特性により実現されるシナプス刈り込み(不要なシナプスの除去すること)は、リザーバーコンピューティングにおけるリードアウト層の学習を効率化する効果がある。

さらに、本プロジェクトのメンバーのひとりであるカタルーニャ工科大学の Jordi Madrenas 氏との共同により、SIMD型デジタルスパイクングニューラルネットワークをFPGA上に実装するためのツールチェーンの開発に成功した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果は、現在の計算機システムでは克服しきれない知的処理の課題を補間する役割を果たし、次世代の情報システムの基礎となるものである。特に注力して開発を行っている脳型計算ハードウェアは、その高い電力効率から幅広くエッジコンピューティングに応用可能であり、AI技術のより一層の社会実装に向けて大きく貢献しうるものと期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, "Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 12, no. 4, pp. 685-694, 2021.

• S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, "A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model," in *Artificial Neural Networks and Machine Learning*, I. Farkas, P. Masulli, S. Otte, and S. Wermter eds., *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12895, Springer, Cham., 2021.

• Y. Song, A. Hirose, "Phasor-quaternion self-organizing-map-based ground penetrating radar systems," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, 4501611, 2021.

• T. Ichimura, R. Nakane, G. Tanaka, A. Hirose, "A Numerical Exploration of Signal Detector Arrangement in a Spin-Wave Reservoir Computing Device," *IEEE Access*, vol. 9, 72637-72646, 2021.

• R. Hasani, G. Ferrari, H. Yamamoto, T. Tani, E. Prati, "Role of Noise in Spontaneous Activity of Networks of Neurons on Patterned Silicon Emulated by Noise-activated CMOS Neural Nanoelectronic Circuits," *Nano Express*, vol. 2, 020025, 2021.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• J. A. Oltra-Oltra, J. Madrenas, M. Zapata, B. Vallejo, D. Mata-Hernandez and S. Sato, "Hardware-Software Co-Design for Efficient and Scalable Real-Time Emulation of SNNs on the Edge," 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 2021, pp. 1-5.

• D. Banerjee, T. Kotooka, S. Azhari, Y. Usami, T. Ogawa, J. K. Gimzewski, H. Tamukoh, H. Tanaka, "Emergence of In-Materio Intelligence from an Incidental Structure of a Single-Walled Carbon Nanotube-Porphyrin Polyoxometalate Random Network," *Advanced Intelligent Systems*, 10.1002/aisy.202100145, 2022.

• Y. Usami, B. van de Ven, D. G. Mathew, T. Chen, T. Kotooka, Y. Kawashima, Y. Tanaka, Y. Otsuka, H. Ohoyama, H. Tamukoh, H. Tanaka, W. G. van der Wiel, T. Matsumoto, "In-materio reservoir computing in a sulfonated polyaniline network," *Advanced Materials*, vol. 33, No. 48, p. 2102688, 2021.

2021.

• N. Fuengfusin, H. Tamukoh, "Mixed-precision weights network for field-programmable gate array," *PLoS ONE*, vol.16, no. 5, e0251329. 2021.

• R. Nakane, A. Hirose, G. Tanaka, "Spin waves propagating through a stripe magnetic domain structure and their applications to reservoir computing," *Physical Review Research*, vol. 3, 033243, 2021.

• R. Togawa, M. Nakao, N. Katayama, "Estimation of Retinotopic Map of Awake Mouse Brain Based upon Retino-Cortical Response Model," 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), pp. 4092-4094, 2021.

• N. Katayama, M. Nakao, T. Tanaka, M. Osanai, H. Mushiake, "Multimodal Functional Analysis Platform: 3. Spherical Treadmill System for Small Animals. In H. Yawo, H. Kandori, A. Koizumi, & R. Kageyama (Eds.), *Optogenetics Light-Sensing Proteins and Their Applications*, pp. 493-500, Springer, 2021.

• 虫明元, 田中徹, 片山統裕, & 小山内実. 多機能生理計測プラットフォーム ~電気生理, イメージング, マンガン造影, 小動物仮想現実. In 先端モデル動物支援プラットフォーム, マウス・ラットモデル作製・解析プロフェッショナル: あなたの研究をステップアップさせる最新・最適手技, pp.202-220. 羊土社.

• H. Tanihira, T. Fujiwara, S. Kikuta, N. Homma, M. Osanai, "Manganese Dynamics in Mouse Brain After Systemic MnCl₂ Administration for Activation-Induced Manganese-Enhanced MRI," *Frontiers in Neural Circuits*, vol. 15, 787692, 2021.

• 夏井 雅典, 羽生 貴弘, "不揮発記憶機能が拓く新概念ロジックLSI設計技術とその将来展望," *電子情報通信学会論文誌C*, vol. J104-C, no.6, pp. 185-192, 2021.

• D. Suzuki, T. Oka, A. Tamakoshi, Y. Takako, T. Hanyu, "Design framework for an energy-efficient binary convolutional neural network accelerator based on nonvolatile logic," *Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, IEICE, vol. E12-N, no. 4, pp. 695-710, 2021.

• N. Onizawa, A. Tamakoshi, T. Hanyu, "Hardware Acceleration of Large-Scale CMOS Invertible Logic Based on Sparse Hamiltonian Matrices," *IEEE Open Journal of Circuits and Systems*, vol. 2, pp. 782-791, 2021.

- Y. Yamagishi, T. Kaneko, M. Akai-Kasaya, T. Asai, "Hardware-oriented deep reinforcement learning for edge computing," *Nonlinear Theory and Its Applications*, vol. E12-N, no. 3, pp. 526-544, 2021.
- 赤井 恵, 浅井 哲也, 中嶋 浩平, "学習する有機材料: リザーバー計算に向けたニューラルネットワーク形成," *応用物理*, vol. 90, no. 8, pp. 504-508 2021.
- 浅井哲也, "Re-pioneering stochastic computing towards low-power edge-AI devices with inference and online learning abilities," *情報処理*, vol. 63, no. 3, pp. e8-e14, 2022.
- T. Urae, T. Yagai, K. Sekine, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, F. Hirose, Y. Mizugaki, "Electrical Characteristics of Single-Electron Transistors Made by Dielectrophoresis of Gold Nanoparticles with Different Diameters," *The 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021)*, P22-6, 2021.
- Y. Sakemi, K. Morino, T. Morie, K. Aihara, "A Supervised Learning Algorithm for Multilayer Spiking Neural Networks Based on Temporal Coding Toward Energy-Efficient VLSI Processor Design," *IEEE Trans. Neural Networks and Learning Systems*, Early Access, pp. 1-15, 2021.
- N. Nagamatsu, H. Murakami, S. Uenohara, T. Morie, "Robustness Evaluation of Direct Feedback Alignment Learning for Analog VLSI Neural Networks in Weight-updates," *The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW2021)*, 6PM-A-4, NLSW-12, 2021.
- H. Nakagawa, K. Tateno, K. Takada, T. Morie, "A Neural Network Model of the Entorhinal Cortex and Hippocampus for Event-order Memory Processing," *arXiv.org*, arXiv:2111.10535, 2021.
- Y. Uwate, T. Ott, Y. Nishio, "Effect of Stochastically Coupling on Frustrated Triangular Oscillatory Network," *Proc. ISCAS 2021*, DOI:10.1109/ISCAS51556.2021.9401462 (5 pages), 2021.
- T. Isozaki, Y. Uwate, Y. Nishio, "Information Transmission Focusing on Complex Networks Consisting of Oscillators," *Proc. ISOC 2021*, pp. 181-182, 2021.
- Y. Uwate, Y. Nishio, M. Engelene J. Obien, U. Frey, "Local and Global Activities of Izhikevich Neuron Model in Networks," *Proc. ISOC 2021*, pp. 219-220, 2021.
- S. Anzai, T. Suzuki and T. Saito, "Dynamic binary neural networks with time-variant parameters and switching of desired periodic orbits," *Neurocomputing*, vol. 457, pp. 357-364, 2021.
- H. Uchida, Y. Oishi and T. Saito, "A simple digital spiking neural network: synchronization and spike-train approximation," *Discrete Contin. Dyn. Syst. Ser. S.*, vol. 14, no. 4, pp. 1479-1494, 2021.
- Y. Ikeda, T. Fusauchi, T. Samura, "Balance Between Performance and Robustness of Recurrent Neural Networks Brought by Brain-Inspired Constraints on Initial Structure," In: Mantoro T., Lee M., Ayu M. A., Wong K. W., Hidayanto A. N. (eds) *Neural Information Processing. ICONIP 2021. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13109 pp. 170-180, 2021.

採択番号 (Grant No.): R03/A33

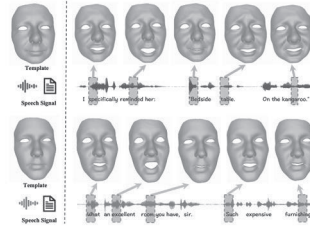
仮想現実空間のためのキャラクター動画生成 Animating characters for virtual reality

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :
幸村 琢 (香港大学 計算機科学系)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :
北村 喜文

研究分担者 (Project Member List) :
延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 5 人



[2] 研究経過 (Summary)

本研究では、仮想現実において自然な動作を行うキャラクターの動作生成を目的とする。モーションキャプチャーデータで獲得したデータや表情の変化のデータを用いてモデルの学習を行い、システム使用時に仮想現実システムを用いているユーザの入力に反応してリアルタイムに本物に近い動作を生成できるような人間モデルを構築し、遠隔での学習、会議、コミュニケーションを行えるようにする。

そのため、まず、2人の会話中の顔の表情の変化と動作を計測する。顔の表情は頭に取り付けたカメラで撮り、体の動作はモーションキャプチャーで獲得する。また会話はマイクで録音する。獲得した動作を用いてモデルを学習する。モデルは対話相手の場所や動作に反応するモデルとする。具体的には相手の立ち位置に対してどのように立つか、近づいて来た時、あるいは離れた時にどのように動くか、さらに椅子や机等の障害物に対してどのようにインタラクションを行うかなどを学習する。

獲得した会話と顔のモデルを用いて会話と顔の動きの対応を学習する。学習には教師あり学習を用い、これまで本研究グループで用いたエキスパート混合モデルや Transformer を用いたモデルなどを用いる。このようにして学習したモデルを用いて、ユーザである人間の動作に対して反応させ、画像上に描画する、

[3] 成果 (Results)

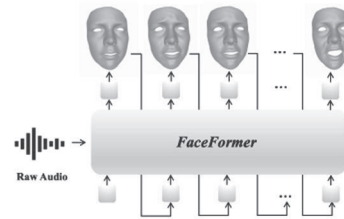
(3-1) 研究成果 (Research Results)

音声データ+テキストを入力することによる表情豊かなアニメーションを生成

音声データを顔の動きに回帰した場合、顔の上面は平均化されて動かなくなる。ここではテキストの Bart 特徴量を算出し、それを入力に加えることにより、音声データから豊かな表情の顔の動きを生成することに成功した [成果 1]。

トランスフォーマーを用いた自己回帰型モデルを用いて音声データから顔の動作

データを生成するモデルを提案。トランスフォーマーを用いることにより、口の動作がより正確に生成できるようになる。また会話の内容に応じて豊かな表情が生成できるようになる。具体的にはb/,m/,p/の音を発し終わる際に口が閉じられた後に次の音が発せられるようになる [成果 2]。



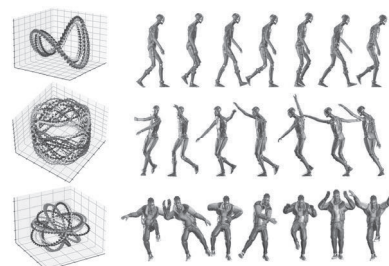
トランスフォーマーを用いた自己回帰型モデルを用いて音声データから体の動作データを生成するモデルを提案

トランスフォーマーを用いることにより、音声と体の動きの同期がよくとれ、また意味を含んだ動作を行うことが確認できる [成果 3]。



周期自動符号下器(Periodic Autoencoder)を用いた動作生成

周期性を考慮した新たな特徴量を算出するためのアーキテクチャ及び手法を提案し、音楽に合わせたダンス、様々なスタイルの歩行動作を生成することに成功した [成果 4]。



連続的なベクトルを用いたさまざまなスタイルの歩行動作の生成

100種類ほどの歩行動作をキャプチャし、それらを用いて歩行のスタイルを表す連続ベクトルを算出する手法を提案した。またそれを我々のグループで提案している歩行動作生成モデルと組み合わせることにより、それらの歩行動作のスタイルの内挿を行うことに成功した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

本研究を足掛かりの1つとして、国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) 「人工知能活用による革新的リモート技術開発」事業「動作ユニットAIによる人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築」(2021～2024年度(予定)) (代表: 北村喜文) として採択された。

参考文献 (References)

- (1) Jiawei Huang, Ryo Sugawara, Kinfung Chu, Taku Komura, Yoshifumi Kitamura, "Reconstruction of Dexterous 3D Motion Data from a Flexible Magnetic Sensor with Deep Learning and Structure-Aware Filtering", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2020
- (2) Sebastian Starke, Yiwei Zhao, Taku Komura and Kazi Zaman Local Motion Phases for Learning Multi-Contact Character Movements, ACM Transactions on Graphics 39 (4) (Proceedings of SIGGRAPH 2020)
- (3) Sebastian Starke, He Zhang, Taku Komura, Jun Saito, "Neural State Machine for Character-Scene Interactions", ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH Asia 2019)
- (4) He Zhang, Sebastian Starke, Taku Komura, Jun Saito, Mode-Adaptive Neural Networks for Quadruped Motion Control, ACM Transactions on Graphics 37 (4), 2018 (Proceedings of SIGGRAPH 2018)
- (5) Daniel Holden, Taku Komura, Jun Saito "Phase-Functioned Neural Networks for Character Control", ACM Transactions on Graphics 36(4), (Proceedings of SIGGRAPH 2017)

[4] 成果資料 (Publications)

- (1) Yinguo Fan, Zhaojiang Lin, Jun Saito, Wenping Wang, Taku Komura, "FaceFormer: Speech-Driven 3D Facial Animation with Transformers", Proceedings of CVPR 2022, oral
- (2) Yinguo Fan, Zhaojiang Lin, Jun Saito, Wenping Wang, Taku Komura, "Joint Audio-Text Model for Expressive Speech-Driven 3D Facial Animation", Proceedings of the ACM in Computer Graphics and Interactive Techniques (Proceedings of I3D 2022)

- (3) Ian Mason, Sebastian Starke, Taku Komura, "Real-Time Style Modelling of Human Locomotion via Feature-Wise Transformations and Local Motion Phases", Proceedings of the ACM in Computer Graphics and Interactive Techniques (Proceedings of I3D 2022)
- (4) Sebastian Starke, Ian Mason, Taku Komura, DeepPhase: Periodic Autoencoders for Learning Motion Phase Manifolds, ACM Transactions on Graphics 41 (4) (Proceedings of SIGGRAPH 2022)

採択番号：H31/B01

物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現

[1] 組織

研究代表者：

古閑 一憲

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

通研対応教員：

佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

酒井 道

(滋賀県立大学工学研究科)

内田 儀一郎

(名城大学理工学部)

白谷 正治

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

林 康明

(大和大学理工学部)

三重野 哲

(静岡大学理学部)

金子 俊郎

(東北大学工学研究科)

布村 正太

(産業技術総合研究所電子光技術研究部門)

真銅 雅子

(大阪工業大学工学部)

鎌滝 晋礼

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

奥村 賢直

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

延べ参加人数：23人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

【本研究の目的・概要】

本研究の目的は、反応性プラズマとインフォマティクスの協働による新規半導体プロセスの創成である。プラズマプロセスは、ULSI など半導体デバイス作製において重要な役割を果たすものであり、従来の微細化による高性能化のみならず、近年の3次元構造デバイスの作製においても必須の技術である。プラズマプロセスでは、プラズマ中に材料分子を導入し、室温程度のガス温度で高い化学的活性を実現している。作製構造物へのイオン照射などの物理的作用と化学的

作用の重畳効果により、1nm程度の寸法精度を300nmのウエハ上を実現するに至っている。

しかしながら、近年の構造物の微細化や複雑構造化によりプラズマと構造物のナノスケールでの相互作用(プラズマ・ナノ界面相互作用)とそのゆらぎが構造物の特性を決定づけており、物理的作用と化学的作用が混在する系におけるナノメートルよりも短いスケールでの相互作用の理解が今後のプラズマプロセスの成功の可否を握る鍵となる。この課題に対して、研究代表者は、プラズマ中で発生・成長する微粒子を構造物のモデルとして、微粒子の振る舞いからプラズマ・ナノ界面相互作用ゆらぎを明らかにするなど、微粒子プラズマ研究が課題解決の有効なアプローチとなりうることを明らかにしている。

近年のプラズマプロセスでは、プロセスパラメータの増大とともに、パラメータ間の相互作用やこの時間発展を考慮した巨大なパラメータネットワークの動的解析を必要としている。この解決のため、インフォマティクスを利用したアプローチによる重要パラメータの選定などが検討され成果を上げている。

本研究では、物理的作用と化学的作用が混在するナノスケールの反応系における、反応機構をインフォマティクスを援用して理解・制御し、この反応系が発現する機能を情報通信デバイスへと活用するコンセプトを確立する。

最終年度にあたる本年度は、「プラズマを用いたナノ粒子・量子ドットによる情報機能発現への応用」を中心議題として、以下のテーマについて議論した。

- 1：ナノ粒子を用いたリザバーコンピューティング
- 2：量子ドットの情報応用・プラズマを用いたナノ粒子/量子ドット創製
- 3：プラズマと微細構造界面相互作用
- 4：メタマテリアルプラズマ

【研究会の開催状況】

研究会タイトル：

令和3年度 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会

物理 化学混成系プラズマにおける情報系機能発現

日程：2022年2月15日

会場：オンライン

プログラム：

オープニング

古閑 一憲 (九州大学)

- 「メタマテリアル用いたプラズマ生成」(招待講演)
 玉山 泰宏 (長岡技科大)
- 「光捕捉微粒子による超高感度電場計測—電場強度と電場揺動計測—」
 鎌滝 晋礼 (九州大学)
- 「低温プラズマによるナノ構造界面の水素と欠陥の制御～半導体・太陽電池材料 (Si, SiO_x, a-Si:H) を例に～」
 布村 正太 (産業技術総合研究所)
- 「ランダムネットワークが生み出すマテリアル知能：インマテリオ物理リザーバー」(特別講演)
 田中 啓文 (九州工業大学)
- 「プラズマCVDを用いたグラフェンナノリボン量子ドット 作製」(招待講演)
 加藤 俊顕 (東北大学)
- 「量子ドット分散型微小光ネットワークの光学応答解析とその情報応用」(招待講演)
 豎 直也 (九州大学)
- 「プラズマ中の内在機序とナノ粒子合成プロセスへの示唆」
 酒井 道 (滋賀県立大学)
- 「プラズマ生成ナノ粒子を用いた2次電池応用」
 内田 儀一郎 (名城大学)
- クロージング 古閑一憲

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、研究会開催により、以下に示す研究成果を得た。

まず、九州工業大学田中教授を特別講演の講師としてお呼びし、リザーバーコンピューティングの基礎から物理リザーバーに関する最近の研究動向をお話いただいた。特にナノ粒子を用いたランダムネットワークにおけるリザーバーコンピューティングについては、ランダムネスに起因する非線形性が重要であり、プラズマが本来持つ統計的な広がりから起因するサイズ分散をもつナノ粒子生成とそのランダムな堆積が物理リザーバーコンピューティングと高い親和性を持つのではないかと議論された。

長岡技科大学玉山准教授による招待講演では、メタマテリアルを用いた高効率プラズマ生成についての最近の研究動向をお話いただいた。本生成法では、極低電力で高密度プラズマを生成することが可能であるため、様々な応用が考えられることが話題となった。

東北大学加藤准教授からは、プラズマCVDを用いたグラフェンナノリボン量子ドットの生成とその応用について講演していただいた。一つの基板に多数の量子ドットを同時堆積可能であることを実験的にしめされており、プラズマで発生した材料分子と触媒の動

的相互作用の制御が新しいデバイス作成プロセスとしてのプラズマCVDの可能性を示していただいた。またカイラリティ制御を機械学習の観点で実現する研究の成果についても講演していただいた。

九州大学堅准教授からは招待講演として量子ドットを分散してマクロスケールの光機能を発現し、これを用いたリザーバーコンピューティングの試みについて講演していただいた。半導体ナノ粒子をリザーバーとし、入射光に対する応答を利用するもので、電気信号に比べて時間スケールの短い現象である。これらの応用先などについて活発な議論が行われた。

その他の講演では、新規なプラズマ評価法としてレーザートラップした微粒子を用いた高感度電場計測法の開発について九州大学鎌滝助教より講演を得た。半導体プロセスで重要である微細な電場揺動を局所的に評価可能であり今後の発展が期待できる。プラズマ照射時の半導体・太陽電池材料薄膜界面のふるまいについて産総研布村様から講演を得た。欠陥生成とその回復についての詳細な検討は、今後のプラズマプロセスにおける高品質薄膜作製の重要知見となる。プラズマ中ナノ粒子の生成とその応用として、滋賀県立大学酒井教授からはネットワーク科学的観点から化学反応プロセスを解析する研究について講演を得た。欠陥生成や未知の反応係数の予測などへの発展が期待できる。また名城大学内田教授からはプラズマを用いて作製したナノ粒子の2次電池応用についての講演を得た。プラズマで作製したナノ粒子の応用展開の一例として重要である。

以上のように、興味深い研究成果についての講演をいただき、活発な意見交換ができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、プラズマ科学における新規コンピューティング創成について既存の枠組みを超えた異分野間の研究者と交流が活性化し、新しい研究領域の開拓として、プラズマをコンピューティングに展開する契機となった。今後の進展がさらに期待される。

(分野融合への発展)

本プロジェクト研究会の終了後、特別講師の田中先生より、田中先生が主催する第3回ニューロモルフィック AI ハードウェア国際シンポジウムへの参加の打診があり、研究会メンバーが本シンポジウムに参加した。分野間融合の活性化に本プロジェクト研究会が貢献した成果と考えられる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

該当なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

G. Uchida, K. Nagai, Y. Habu, J. Hayashi, Y. Ikebe, M. Hiramatsu, R. Narishige, N. Itagaki, M. Shiratani, and Y. Setsuhara, “Nanostructured Ge and GeSn films by high-pressure He plasma sputtering for high-capacity Li ion battery anodes”, *Scientific Report* 12 (2022) 1742.

S. Nunomura, I. Sakata, A. Sato, M. Lozac’h, T. Misawa, N. Itagaki, and M. Shiratani, “Passivating antireflection coating of crystalline silicon using i/n a-Si:H/SiN trilayer”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 156 (2021) 110127.

採択番号：H31/B02

固体素子における非平衡ダイナミクスの 精緻な理解と機能開拓

[1] 組織

研究代表者：

小林 研介（東京大学・大学院理学系研究科）

通研対応教員：

深見 俊輔（東北大学・電気通信研究所）

研究分担者：

野村 晋太郎（筑波大学・数理物質系）

佐々木 進（新潟大学・工学部）

三沢 和彦（東京農工大学・大学院工学研究院）

長谷川 修司（東京大学・大学院理学系研究科）

山口 浩司（NTT 物性科学基礎研究所）

中山 隆史（千葉大学・大学院理学研究院）

求 幸年（東京大学・大学院工学系研究科）

小野 輝男（京都大学・化学研究所）

塚崎 敦（東北大学・金属材料研究所）

松野 丈夫（大阪大学・大学院理学研究科）

越野 幹人（大阪大学・大学院理学研究科）

新見 康洋（大阪大学・大学院理学研究科）

大兼 幹彦（東北大学・大学院工学研究科）

林 将光（東京大学・大学院理学系研究科）

橋坂 昌幸（NTT 物性科学基礎研究所）

延べ参加人数：17人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

半導体技術は現代の社会を支える重要な基盤技術である。その成功を支えているのは、半導体中のキャリアの性質を、精密に理解し制御することを可能にした物性科学・材料科学の長年の蓄積である。特に、トランジスタに代表されるように、キャリアの非平衡ダイナミクスを理解し制御することは本質的に重要であり、それに成功したことが現代エレクトロニクスの基盤となっている。一方、近年、強相関電子系・冷却原子ガス・スピントロニクス等、物理学における様々な分野において、非平衡挙動に注目した研究が活発に行われるようになってきた。例えば、電子のもつスピン自由度を積極的に利用しようとする新しいエレクトロニクスであるスピントロニクスにおいては、スピントランスファートルクと呼ばれる非平衡現象が要となっている。本研究「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」は、固体素子にお

ける非平衡の制御に基づく精密物性科学の構築を通して、革新的ナノデバイスの実現を目指す研究を行っている専門家による討論の場を設け、新規デバイス創成に資する知見を獲得することを目的とする。

本プロジェクトでは、非平衡ダイナミクスの精密な制御を目指した数々の研究、例えば、電流による磁化構造制御、コヒーレント反転連続パルス照射、超低ノイズ非平衡電流測定、グラフェン・トポロジカル物質の機能、ベクトル波形整形パルス、近接場スピン局所分光等、について議論を深め、学理の構築を行う。このような方向性は、まさに、非平衡ダイナミクスを利用した精密物性科学の構築と呼ぶべきものである。

本プロジェクトは、本年度が3年目であった。ただし、その母体はそれ以前の活動実績からの継続である。すなわち、2016年度に採択いただき、2017年度、2018年度と3年間にわたってご支援いただいた東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」の実績に基づいている。我々は、年に一度、秋に1泊2日で研究会を開催してきた。これまでの議論を経て、非平衡挙動に注目することの重要性が明らかとなった。これを受けて、今後の新たな展開を図るべく「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」についての研究会を開催することが次世代の新原理ナノデバイスを提案する上で必要不可欠であるという認識を得て、一昨年度以降の研究活動となった。

初年度にあたる2019年度の活動実績としては2019年11月1日-2日の日程で令和元年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」を開催した。参加者の満足度も高く、非常に有意義な研究会となった。

3年目にあたる2021年度も、2019年度にならって開催する予定で準備を進めていたが、コロナ禍のため、残念ながら2年目の2020年度に引き続き中止とせざるを得なかった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度の代表的な成果として、これまでの研究会での交流をきっかけとして得られた、[A] 磁気トンネル接

合における非線形電子輸送特性 [B] 非平衡電流ゆらぎにおける総説論文 [C] 量子液体における三体相関の成果について以下に記載する。

[A] 磁気トンネル接合における非線形輸送

今回、深見俊輔先生（通研対応教員）と小林は協同で、微細 CoFeB/MgO 磁気トンネル接合における非線形電子輸送特性の研究を行った。

磁気トンネル接合 (MTJ) はスピン依存伝導を示す代表的なデバイスであり、その特性から多岐にわたる応用が期待・実証されている。また MTJ は非線形な輸送特性を示すことも知られており、弾性及び非弾性な電子のトンネル過程がその起源だと考えられている。特に非弾性過程は広いバイアス電圧範囲において分光学的観点からよく議論されてきた一方で、低バイアス領域における非線形コンダクタンスの観点から定量的評価を行った実験的報告は極僅かである。そこで今回我々は、直径 $D=100\text{nm}$ 以下の垂直磁化容易軸を有する微細 MTJ における非線形輸送特性について調べ、また強磁性共鳴の結果との比較も行った。

本内容に関しては本年1月に深見先生や実験を遂行した学生、さらには大野英男先生にもご出席いただき、オンラインで議論を行った。大野先生は、本プロジェクトの母体を築かれた先生であり、今回、非常に有意義な議論ができたことは、本プロジェクトのネットワークが良く機能していることを如実にあらわしている。

なお、本内容については、日本物理学会第77回年次大会（オンライン、2022年3月15日-19日）において成果報告を行った。

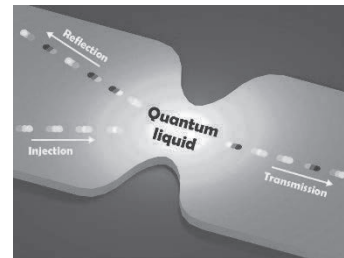
[B] 非平衡電流ゆらぎにおける総説論文

今回、橋坂昌幸先生（本プロジェクトの参加者）と小林は協同で、総説論文「メゾスコピック系におけるショット雑音：一粒子系から量子液体へ（“Shot Noise in Mesoscopic Systems: From Single Particles to Quantum Liquids”）」を執筆した。本論文は INVITED REVIEW PAPERS として Journal of the Physical Society of Japan 誌にて出版された。

本論文は、2000年代以降のショット雑音研究を実験家の視点でまとめた総説である。最初にランダウア描像によるショット雑音の教科書的な導出を行った。さらに雑音測定技術について解説した。次に、量子ポイントコンタクトや量子ホール効果エッジ状態などにおける代表的なショット雑音実験について紹介した。これらは一粒子モデルで理解される現象である。しかし、ショット雑音測定の醍醐味は、量子多体効果によって形成された量子液体においても定量的な情報を得られる点にある (図)。論文の後半では、その例とし

て、近藤効果・分数量子ホール効果・超伝導におけるショット雑音についての議論を行った。また、ランダウア描像とは異なる雑音の取り扱いとして、ゆらぎの定理と関連する実験についての紹介も行った。最後に今後の展望を議論した。

本論文は JPS Hot Topics に選出され JPSJ 編集部による紹介動画 (<https://youtu.be/RPPZX7VNdHk>) が公開された。また、2021年10月の JPSJ 誌の Top 20 Most Downloaded Articles の第一位を獲得した。



図：量子液体に衝突する電子の様子。電流ゆらぎ（ショット雑音）を検出することで、量子液体の性質、特に非平衡における振る舞いを定量的に調べることができる。

[C] 量子液体における三体相関

数多くの粒子が量子力学的な相互作用を及ぼし合うことによって形成される量子液体は、粒子一個からは想像もつかないような、多彩な振る舞いを見せる。小林は、そのような量子液体の一種である局所フェルミ液体の非平衡状態における振る舞いを明らかにした。極小の電子回路内に作られた人工原子に、近藤効果によって量子液体を生成し、その振る舞いが3つの粒子の絡み合い（三体相関）によって決定されていることを実証した。成果は、Nature Communications 誌に発表された。本研究は、非平衡状態にある量子多体現象を定量的に理解する鍵となる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

2021年度も残念ながら研究会を開催できなかったが、それ以前の研究会での蓄積は極めて大きいものがある。上述した通り、磁気トンネル接合における非線形輸送についての議論や、非平衡電流ゆらぎにおける総説論文は、本プロジェクトならではの成果である。

これらの成果以外にも、本プロジェクトを契機として、研究者間の交流が活性化し、光集積回路を用いた量子情報処理、ダイヤモンド NV センター広視野量子センシング、導電性酸化物積層構造の開拓、Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定、磁性体に現れるマヨラナ粒子についての議論が進んでいる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

論文

• Kensuke Kobayashi and Masayuki Hashisaka,
“Shot Noise in Mesoscopic Systems: From Single
Particles to Quantum Liquids” [INVITED REVIEW
PAPERS], *Journal of the Physical Society of Japan*
90, 102001 (2021).

• Tokuro Hata, Yoshimichi Teratani, Tomonori
Arakawa, Sanghyun Lee, Meydi Ferrier, Richard
Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke
Kobayashi, “Three-body correlations in nonlinear
response of correlated quantum liquid”
Nature Communications **12**, 3233 (2021).

学会発表

(2) 関連リスト (謝辞なし)

論文

• Ryoya Nakamura, Masashi Tokuda, Mori Watanabe,
Masamichi Nakajima, Kensuke Kobayashi, and
Yasuhiro Niimi, “Thickness-induced crossover from
strong to weak collective pinning in exfoliated
FeTe_{0.6}Se_{0.4} thin films at 1 T”
Physical Review B **104**, 165412 (2021).

• Moeta Tsukamoto, Kensuke Ogawa, Hayato Ozawa,
Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, Kento Sasaki,
and Kensuke Kobayashi, “Vector magnetometry using
perfectly-aligned nitrogen-vacancy center
ensemble in diamond”
Applied Physics Letters **118**, 264002 (2021).

• Shuichi Iwakiri, Satoshi Sugimoto, Yasuhiro
Niimi, Yusuke Kozuka, Yukiko K. Takahashi, Shinya
Kasai, and Kensuke Kobayashi,
“Negative correlation between the linear and the
nonlinear conductance in magnetic tunnel
junctions”
Physical Review B **103**, 245427 (2021).

採択番号：H31/B03

次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究

[1] 組織

研究代表者：

今野 佳祐（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

羽賀 望（群馬大学）

吉田 賢史（鹿児島大学）

袁 巧微（東北工大）

チャカロタイ ジェドヴィスノブ(NICT)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究は、近年ますますその重要性を増している。例えば、以下のような要素技術が重要である。

・高機能アンテナの設計/評価法

次世代無線通信システム用のアンテナとして、数十～数百もの素子から成る高利得のアレーアンテナが想定されている。このようなアンテナは波長に対して大規模であるのみならず、高周波における損失を避けるための新たな高機能材料(例えば低損失なガラスなど)も用いられるなど、複雑な構造となる。また、送受信アンテナ間の電波伝播メカニズムが従来の周波数帯と異なるので、そのメカニズムを踏まえたアンテナ設計が求められる。したがって、このようなアンテナの設計には、波長に対して大規模な問題(ラージスケール問題)、異材料が混在する問題(マルチマテリアル問題)、波長に対して全く異なる規模の大きさの散乱体が混在する問題(マルチスケール問題)を解く電磁界数値シミュレーション技術が必要となる。

・小型デバイスの無線充電法

次世代無線通信システムの応用の一つとして、小型センサや小型デバイスなどの同時接続および制御が挙げられる。このような小型のデバイスにはケーブルを接続するのが困難であり、有線での充電が難しい。また、電池を搭載すると電池交換などのメンテナンスにコストがかかる。したがって、次世代無線通信システム用小型デバイスの充電は無線によって行う他ないと考えられるが、そのような方法は確立されておらず、新たに構築する必要がある。

本プロジェクト研究では、超広帯域通信のための次

世代システムの創成を目指し、以上の課題を克服するための技術の構築を目的として研究を行う。

本プロジェクトは、本年度が3年目であった。1年目は、メンバーの研究活動内容の共有と、次世代無線通信システム実現のための要素技術の共同研究への展開を目的として2回の研究集会を開催した。2年目も引き続き2回の研究集会を開催し、本テーマを拡張した上での競争的資金への応募や、学術論文の発表などについて議論を行った。なお、2年目はCOVID-19の感染状況を鑑み、研究集会は全てオンラインで実施し、必要に応じてメールベースで議論を行う形とした。3年目である今年も、2年目の実施方法を踏襲し、オンラインを中心として研究集会を実施する一方、感染状況が落ち着いた時期にはオンサイトでの研究集会を実施するなど、ハイブリッド形式で実施した。研究活動状況の概要を記す。

【研究会】

第五回 通研共同プロジェクト研究会 次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究-

日時 : 7月9日(金) 09:00-12:00

会場 : ZoomによるWEB会議

議題 : 研究内容の共有、進捗報告等

出席者 : 5名

第六回 通研共同プロジェクト研究会 次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究-

日時 : 12月15日(水) 13:00~18:00

12月16日(木) 09:00~11:00

会場 : 電気系1号館612会議室(オンサイト),
ZoomによるWEB会議(オンライン)

議題 : 共同研究の進捗報告等

出席者 : 5名

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、昨年度構築した、複雑あるいは形状が未知のアンテナに対し、その近傍界から電流分布を推定する手法について、IEEEの学術論文にまとめ、投稿した。採録に向けて、査読への対応も行っている。

第2に, Sパラメータを用いて複数の受電アンテナへ選択的な無線電力伝送を行う手法を提案し, 数値シミュレーションを行ってその有効性を明らかにした.

第3に, 無線電力伝送用結合素子の回路モデリング手法であるインピーダンス展開法を, 結合素子に近接する誘電体および磁性体による散乱波の影響を含められるように拡張した. そして, 得られた回路モデルと全波動解析による電力伝送特性の計算結果を比較し, 拡張手法の妥当性を確認した.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究の成果の1つであるSパラメータを用いて複数の受電アンテナへの選択的な無線電力伝送を行う手法は, 修士課程の学生との共同研究の成果である. 成果リスト(1)に記載の発表の内容が認められ, 国際ワークショップ Asian Wireless Power Transfer Workshop 2022 (AWPT) で筆頭著者の学生が Best student award を受賞した. このように, 本プロジェクトにより, 若手研究者が育成され, その成果は関連研究分野の学会において高く評価されている.

また, 本共同研究プロジェクトでの研究内容やディスカッションの内容をベースにして, 複数の研究プロジェクトが立ち上がっている. それらの研究プロジェクトに関して, 以下のような競争的研究資金に応募し採択されている.

- 基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発 課題ア 高周波数帯 IRS の制御技術(課題ア-② 研究分担者 今野 佳祐)
- 電波資源拡大のための研究開発
- 総務省
- 2021年8月-2025年3月.

- Beyond 5G の無線技術の基盤となるエンドファイアリアフレクトアレーの創成(研究代表者 今野 佳祐, 研究分担者 チャカロタイ ジェドヴィスノフ)
- 科研費 基盤研究(C)
- 日本学術振興会
- 2022年4月-2026年3月.

- Beyond 5G の電磁環境制御用散乱体の設計(研究代表者 チャカロタイ ジェドヴィスノフ, 研究分担者 今野 佳祐)
- 東北大学-NICT マッチング支援事業
- 東北大学およびNICT
- 2022年4月-2023年3月

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[1]N. Haga, J. Chakarothai, and K. Konno, "Circuit Modeling of a Wireless Power Transfer System Containing Ferrite Shields Using an Extended Impedance Expansion Method," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. -, no. -, pp. -, 2021 (In press).

[2]H. Satake, K. Konno, Q. Yuan, and Q. Chen, "Enhancement of Power Transfer Efficiency of MIMO-WPT System by Optimal Load Impedance," Proc. AWPT2021, pp. 1-2, Dec. 2021.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

[1]小柳 裕輔 今野 佳祐 陳 強, "フレネル領域におけるリフレクトアレーの指向性の設計," 信学ソ大, BS-1-61, p. 61, 2021年9月.

[2]K. Konno, X. Wang, and Q. Chen, "Detection of Defective Elements in Array Antennas Using Artificial Neural Networks and Eigenmode Currents," Proc. ISAP2021, 220282, pp. 1-2, Oct. 2021.

[3]知久 望海, 今野 佳祐, 陳 強, "誘電体スラブを用いたリフレクトアレーの散乱特性に関する研究," 信学技報, vol. 121, no. 191, AP2021-77, pp. 42-46, 2021年10月.

[4]佐竹 裕, 今野 佳祐, 袁 巧微, 陳 強, "受電アンテナを選択可能な MIMO-WPT システムの研究," 第625回伝送工学研究会, pp. 1-4, 2021年11月.

[5]知久 望海, 今野 佳祐, 陳 強, "誘電体スラブを用いたリフレクトアレーの周波数特性," 第627回伝送工学研究会, pp. 1-5, 2022年1月.

[6]本多 出, 小柳 裕輔, 今野 佳祐, 陳 強, "フレネル領域におけるリフレクトアレーの設計," 信学総大, 2022年3月.

[7]塚田 裕太, 佐竹 裕, 今野 佳祐, 陳 強, "5.7 GHz 帯シングルシャント整流回路の基礎検討," 信学総大, 2022年3月.

[8]青木 稜吾, 今野 佳祐, 陳 強, チャカロタイ ジェドヴィスノフ, 藤井 勝巳, 村上 靖宜, "線状素子を用いたエンドファイアリアフレクトアレーの設計," 信学総大, 2022年3月.

採択番号：H31/B04

HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展

[1] 組織

研究代表者：

坂本 大介（北海道大学大学院情報科学研究院）

通研対応教員：

北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

矢谷 浩司（東京大学大学院工学系研究科）

山下 直美（NTT コミュニケーション科学基礎
研究所）

葛岡英明（東京大学大学院情報理工学系研究科）

加藤 淳（産業技術総合研究所
人間情報インタラクション研究部門）

杉浦 裕太（慶應義塾大学 理工学部）

松村 耕平（立命館大学 情報理工学部）

阪口 紗季（東京都立大学 システムデザイン学部）

尾形 正泰（産業技術総合研究所
人工知能研究センター）

加藤 邦拓（東京工科大学 メディア学部）

池松 香（ヤフー株式会社データ&サイエンス
ソリューション統括本部
Yahoo! JAPAN 研究所）

平木 剛史（筑波大学 図書館情報メディア系）

松藤 彰宏（首都大学東京大学院
システムデザイン研究科）

高田峻介（神戸市立工業高等専門学校）

Kotaro Hara (School of Information Systems,
Singapore Management University)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

Human-Computer Interaction (HCI) 分野は1980年頃に誕生し、これまでに40年程度の歴史しか持たない比較的若い学術研究領域である。HCIは計算機科学と社会心理学を中心として、人と計算機との関わり合いの中で発生する事象を理解することを目的とした学問分野である。これはすなわち、理工学と人文科学の総合的な研究領域であり、真に学際的 (Interdisciplinary) かつ特定の学術領域に囚われない (Discipline-free) 領域であると言える。

本分野においては、日本であれば情報処理学会や電子情報通信学会が主要な学術団体であり、北米であればACMやIEEE、欧州であればIFIPが主要な学術団体である。一方で、HCI研究者はこれらの全てに所属することは難しく、また、これらは計算機を中心とした

情報科学に特化した学術団体であるという点で、人文科学までをも含むHCIが扱う全てのトピックを網羅することができているとは言いがたい。HCI研究者はまた、この理由により興味関心が近い研究者同士が十分に交流する機会を得ているとは言いがたい。

本プロジェクトは平成28年度から5年間をかけてRIEC共同プロジェクト研究会の枠組みで活動を行ってきた。これまで5年間については研究コミュニティ立ち上げに注力し、初年度より世界各国のHCI研究の重要研究者を招いて国際シンポジウムを5年間毎年開催してきた。この結果、多くの研究者の交流の機会が生まれ、新しい研究コミュニティの方向性が見え始めてきている。特に、幅広い研究領域の研究者が一堂に会する機会の創出は堅牢な研究コミュニティ構築の必須条件であると言えるところまでの知見が得られている。

一方で、本プロジェクトのようなコミュニティ立ち上げに関する試みは5年程度の議論や試行では大きな結論を得ることはできない。今後はこのようなコミュニティにおいてはどのような交流が可能なのか、また運営コストを下げつつも堅牢なコミュニティを維持するためにはどのようなことが可能なのか、さらに既存の学術団体との関わり合いの中で社会にどのような貢献が可能なのかについての検討が必要である。特に多様性 (Diversity) だけではなく包括性 (Inclusiveness) を体現する堅牢かつ柔軟な学術コミュニティの実現はHCIのような特に新しい学術研究領域こそスピード感を持って構築・発展が可能であると考えている。本プロジェクト研究会ではこれらの議論を通して既存の学術団体の枠組みを超えた次世代型学術コミュニティの提案を行うことが目標である。

以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

2022年2月11日(金・祝)にInternational Symposium on Human-Computer Interaction 2022が東北大学電気通信研究所の北村 喜文 教授をチェアとして開催された。本年度は新型コロナウイルス感染症の影響によりオンラインで開催した。本シンポジウムは、日本におけるHCI研究に大きな貢献があった研究者を表彰するJapan ACM SIGCHI Chapter Award Ceremonyと、これからのグローバルなHCI研究の潮流について議論するGlobal HCI for the Futureという

セッションの2部構成で開催した。シンポジウムの詳細は以下の通りである。

Friday, February 11

10:00 Welcome

● Yoshifumi Kitamura

10:05-11:05 Japan ACM SIGCHI Chapter Award Ceremony and Award Talks

- Award Talk: Hiroshi Ishii / 石井裕
Associate Director of MIT Media Laboratory / MIT メディアラボ副所長
Recipient of Lifetime Community Contribution Award
- Award Talk: Takuji Narumi / 鳴海 拓志
Associate Professor at the University of Tokyo / 東京大学 准教授
Recipient of Distinguished Young Researcher Award

11:05 - 11:15 Coffee/Tea Break

11:15-12:20 Global HCI for the Future

Considering the Hybrid Future of Conferences: CHI2022

- Simone DJ Barbosa (the Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio))
CHI 2022 General Co-chair
- Clifford Lampe (University of Michigan)
CHI 2022 General Co-Chair

Planning ACM/IEEE HRI2022 Conference - from Hybrid to Full Online Conference

- Daisuke Sakamoto (Hokkaido University)
HRI2022 General Co-chair

Huh? No Japanese Volunteers?!

- Naomi Yamashita (NTT Communication Science Laboratories)
ACM SIGCHI Vice-President at Large

(特別支援 (国際) に係る研究成果)

本プロジェクトは国際共同研究推進型で採択された課題であった。今年度はUniversity of MichiganのClifford Lampe氏をはじめ外国から複数の有名な研究者を招へいし、ご講演頂き、オンラインではあるが実りある議論ができた。この結果シンポジウムを盛大かつ効率的に開催することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは日本におけるHCIコミュニティの醸成にむけて、またACM CHI2021の日本開催に向けて、世界における日本のHCIコミュニティのプロモーションのために6年間数多くのシンポジウムやイベントを開催してきた。この結果、本プロジェクトは、プロジェクト関係者以外にも国内外から多数の参加者を集めたシンポジウムに発展した。本プロジェクトがきっかけとなり、日本で初めてのACM SIGCHI Chapterが誕生し、日本だけではなくアジア諸地域に影響のある組織となった。この結果として学術研究だけではなく、産業界も巻き込み、HCIの重要性を訴えかけて行く組織として今後の大きな発展が期待されている。

今年度のシンポジウムでは「Human-Computer Interaction」をテーマとして開催した。世界的なHCI研究の潮流の中で、アジア、特に日本においてはその理工学的な意味や理工学的な成果に注目が集まりがちである。学際的学術領域であるHCIにおいては、理工学だけの知識で実施できるものではなく、より広い視点を持つ必要がある。本シンポジウムでは日本的な工学に注目したHCIだけではなく、デザインやヘルスケア、多言語理解や人間の知覚など幅広いトピックを使うことよって日本のHCIコミュニティの変容していく姿をアジアに示すことができたのではないかと考えている。

日本のHCIコミュニティは古くから活動しているが、組織としての活動が周知されていなかったり、学会以外に大学や企業の研究者が交流する機会が少なかったりした。近年ではJapan ACM SIGCHI Chapterが主催するCHI勉強会など、企業研究者やエンジニアも巻き込んだイベントが開催されている。CHI勉強会においては、2021年度はオンライン開催となってしまったが、YouTube Liveの合計視聴者数が報告書執筆時点で2,200人を超えている。今後もアカデミックと産業、HCIとその関係領域の交流が継続され、世界におけるアジアと日本のHCIコミュニティの発展のために、本研究会プロジェクトおよびJapan ACM SIGCHI Chapterの活躍が期待される。

2016年から2019年までの4年間、本RIECプロジェクトおよびJapan ACM SIGCHI Chapterを主体として例年CHI Conferenceにおいて国際シンポジウムを開催してきた。昨年度2020年より我々の手を離れ、これまで交流を深めてきたアジア各国の代表メンバーが中心となってAsian CHI Symposiumとして開催し、各国のHCI研究の現状について議論を行ってきた。今年度で本プロジェクトは一旦の区切りとなるが、本RIECプロジェクトから創出されたコミュニティは継続していく。今後も日本だけでなく、世界のHCIに貢献する活動を積極的に行っていきたい。

[4] 論文や学会発表等

(1) 関連リスト (謝辞なし)

[1] Josh (Adi) Tedjasaputra, Briane Paul V. Samson, Masitah Ghazali, Eunice Sari, Sayan Sarcar, Dilrukshi Gamage, Kazuyuki Fujita, Pranjal Jain, Amit Jena, Toni-Jan Keith Palma Monserrat, Nabila Sindi, Kaixing Zhao, Jordan Aiko Deja, Manvi Fotedar, Manjiri Joshi, Yang Li, Zhicong Lu, Akihiro Matsufuji, Shio Miyafuji, Korok Sengupta, Diksha Singh, Simran Singh, and Umar Taufiqulhakim. 2021. Asian CHI Symposium: HCI Research from Asia and on Asian Contexts and Cultures. Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 80, 1-5.
DOI:<https://doi.org/10.1145/3411763.3441341>

採択番号：H31/B06

質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究

[1] 組織

研究代表者：岡嶋 克典（横浜国立大学）

通研対応教員：羽鳥 康裕（東北大学）

研究分担者（50音順）：

内川 恵二（神奈川工科大学）
 金子 沙永（北海道大学）
 河邊 隆寛（NTT-CS 研）
 北岡 明佳（立命館大学）
 栗木 一郎（埼玉大学）
 鯉田 孝和（豊橋技術科学大学）
 郷田 直一（自然科学研究機構生理学研究所）
 小松 英彦（玉川大学）
 坂田 勝亮（女子美術大学）
 佐藤 智治（一関高専）
 澤山 正貴（Inria）
 篠森 敬三（高知工科大学）
 須長 正治（九州大学）
 辻村 誠一（名古屋市立大学）
 徳永 留美（千葉大学）
 永井 岳大（東京工業大学）
 中内 茂樹（豊橋技術科学大学）
 仲泊 聡（理化学研究所）
 西田 眞也（京都大学）
 日高 杏子（芝浦工業大学）
 平松 千尋（九州大学）
 福田 一帆（工学院大学）
 溝上 陽子（千葉大学）
 本吉 勇（東京大学）
 矢口 博久（千葉大学）
 山内 泰樹（山形大学）
 楊 嘉樂（中央大学）
 和田 有史（立命館大学）

参加人数：29 人

研究費：旅費 292,000 円

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

人間の脳内における、物体表面の属性（質感や色など）を視覚的に取得するための情報処理メカニズムの研究を主題とする。物体表面の視覚的特徴（質感や色）の分析は物体を同定するための重要な役割を担っている。質感研究は科研の新学術研究領域（H. 22-26「質感脳情報」、H. 27-「多元質感知」）学術変革領域A（R1-「深奥質感」）として重要な研究課題と認められてい

る。

本研究会では、これらの視覚情報処理に関連する研究を推進している工学・生理学・医学・心理学・美術学などの多様な分野にまたがる研究者を招聘して研究会を開催し、深いディスカッションを通して人間の物体認識メカニズムにおける未解決の重要な研究課題の抽出を行うことを目的とする。

本年度は3月初旬に対面と遠隔のハイブリッド形式での研究会開催を計画していたが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響もあり、Zoomを用いた遠隔での開催のみとなった。その代わりに、Zoomによる研究会の利点を活かし、英国・ドイツで活躍する若手研究者を招待講演者に招聘して以下の要領で実施した。

【研究会プログラム】

日時：3/1(火) 13:00-18:00, 3/2(水) 9:00-16:00

場所：Zoom

- 1) 単一色相の縞模様による Collinear Facilitation：佐藤智治（一関工業高等専門学校）
- 2) 並置混色から見た色の錯視：北岡明佳（立命館大学）
- 3) 多様な色覚をもつ観察者による顕著性の異なる色刺激に対する事象関連電位：高橋直子（九州大学）、陳旭（九州大学）、澤山正貴（Inria）元村祐貴（九州大学）、平松千尋（九州大学）
- 4) 【招待講演1】色認知の変化可能性：川端康弘（北海道大学）
- 5) 色弁別の知覚学習：永井岳大（東京工業大学）
- 6) 【招待講演2】畳込みニューラルネットワークによる人の色覚機能のモデリング：森本拓馬（Oxford U/Giessen U）
- 7) 二色覚の色弁別におけるメラノプシン細胞と杆体の寄与：飯田晴也・岡嶋克典：横浜国立大学）
- 8) 色同化：鯉田孝和・辻奈津美（豊橋技術科学大学）
- 9) 顔の肌色の判断基準：坂田勝亮（女子美術大学）、島倉 瞳（資生堂）
- 10) 食味の視覚化の試み：和田有史・松原和也（立命館大学）
- 11) 最近の研究テーマ紹介・本研究会の次年度以降の話：栗木一郎（埼玉大学）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

研究会により得られた成果は以下の通りである。

佐藤は、単一色変調の刺激として半波整流の Gabor 図形を使い、縞方向に一直線に並べた時の検出促進の効果を調べた。実験結果は、錐体反対色応答やその組み合わせとは別の、色相選択メカニズムの存在を示唆する。実験条件について活発な意見交換が行われた。

北岡は、細かい色要素を空間的に並べて遠くから見た時に色が混色する並置混色に関わる現象観察について色度図などを使い、成果を発表した。

高橋らは、2色覚者と3色覚者の間で、同じ色のペアであっても感覚差が大きく異なる2つの色の組み合わせについて、脳波を用いて色の違いの感覚に関する違いの研究結果について報告した。色の組み合わせの選び方や脳波測定方法について議論が行われた。

川端(招待講演1)は、木工家具職人など色を職業的に扱う人々と一般の参加者との間で、色に対する感度の違いを調べた一連の研究結果について報告した。色覚検査のために開発された FM-100 hue test を用い、木工職人と事務職員の間で細かい色の違いの弁別感度を色並べテストで比較した。月1回程度の繰り返しの結果、事務職員では感度向上が測定されたが、木工職人の感度は最初から高く変化しなかった。その他、間欠的かつ無意識学習による色に対する感度向上について多数の興味深い知見が報告された。

永井は、特定の色相の微細な色弁別を集中的に学習した際に、その学習の影響が他の色相付近の弁別に波及する効果について調べた初期的な結果を報告した。学習効果の持続期間などについて質疑が行われた。

森本(招待講演2)は、深層学習アルゴリズム(DNN)を用いた色覚モデルの研究について紹介した。具体的には、自然画像の物体識別を行うように訓練したDNNを用いて色に対する弁別を行わせる試みについて報告した。元々、人間の色弁別の感度は色により非対称性があるが、DNNも同様の傾向を示した。訓練に用いた自然画像の持つ色の統計的な情報に最適化した結果だと考えられると報告したのに対し、自然画像の統計量の問題なのか視覚系の持つセンサ感度の問題なのか、などの本質に迫る議論が行われた。

飯田らは、錐体を2種類しか持たない2色覚者に対し、各個人の錐体分光感度や黄斑濃度を調べた上、錐体以外の光受容器(桿体とメラノプシン細胞)の刺激量を操作し、見え方の変化を調べた。錐体分光感度や黄斑色素濃度の推定方法や、見え方の調べ方・応答の特徴について活発な質疑が行われた。

鯉田らは、色同化を生じさせる色条件や輝度・空間周波数等の基礎的な条件について調べた検討について報告した。水彩効果と似た現象の基礎特性に関する研究に対し、活発な議論が行われた。

坂田らは典型的な肌色について、日本人(アジア人)と英国人(白人)で調べた結果を比較した。肌色付近の複数の色刺激に対し色みを強制的に報告させ、色みの拮抗点を求める方法で測定した。結果は各国で測定された肌色の平均に近く、人種効果が顕著に見られた。

和田らは味を視覚的に表現する試みについて最近の研究を報告した。予め味の要素に結び付けられた図形を食味の成分に従って合成することにより、時間的に変化する味を動画で表現する試みを報告した。

栗木は、新しい所属で最近立ち上げた3つの研究プロジェクトの進捗状況、およびこの研究会の次年度以降の計画について報告した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

過去に、色覚研究会(H19/A07)ならびに質感・色覚研究会(H22/B09, H25/B07, H28/B04)として採択された共同プロジェクト研究も含めると、15年間、平均で年2回のペースで定期的な研究会(通算で27回)を実施し、活発な意見交換を行った。

本プロジェクト研究会の多分野(工学、医学、生理学、心理学、芸術学、等)にまたがる参加メンバーには、科研費・新学術領域「質感脳情報学」「多元質感知」、学術変革領域A「深奥質感」の領域代表や計画班代表など多くのコアメンバーが含まれており、この研究会が質感・色覚分野におけるトップ研究者の議論と意見交換の場になっていたことがわかる。また過去の研究会参加者からは、このテーマ・形式による研究会の継続を強く支持する声が聞かれ、研究者コミュニティにおける研究交流の場の提供にも大きく貢献した。

一連の研究会を通して構築された研究者ネットワークは、2015年7月に通研国際シンポジウムとして共催した、色覚基礎研究で最も権威の高い国際会議である International Colour Vision Society 2015 の招致と多数の日本人研究者の参加を実現した。

また、本プロジェクトのメンバー(平松、溝上、須長、辻村、岡嶋、栗木)が中心となり、色覚多様性の学際的研究による理解を主題として、令和4年度の科研費・学術変革領域Bに応募した。

このように本プロジェクトは、学外研究者との研究交流の活性化に貢献し、新たな学術分野を切り拓く試みに貢献している。今後も後継の研究会を計画し、引き続き学際的な研究交流の場を提供し、色覚・質感研究分野の発展を促進したい。

15年間にわたる本研究会開催の助成に対し、御礼を申し上げます。

[4] 論文や学会発表等

・関連リスト (謝辞なし)

1. Shimakura, H., & Sakata, K. (2022) Color criteria of facial skin tone judgment. *Vision Research*, 193, 108011.
2. 石橋和也, 宮前朗, 松原和也, 和田有史 (2021) 動的な風味変化を表現する視覚表現技術の開発. *官能評価学会誌* 25(2) 89-91.
3. 鍵本明里, 岡嶋克典 (2021) 個人差を考慮した5元メタメリックカラーマッチング. 日本視覚学会2021年夏季大会.
4. 堀内涼葉, 永井岳大 (2022) 色弁別の知覚学習による色カテゴリー境界の変化. 日本視覚学会2022年冬季大会.
5. 山川昌彦, 岡嶋克典 (2022) メラノプシン細胞の効果を考慮した明るさ知覚の個人差解析. 日本色彩学会視覚情報基礎研究会第42回研究発表会論文集 21-22.
6. 東洋邦, 高橋良香, 岡嶋克典 (2022) メラノプシン細胞が不快グレアに与える影響. *照明学会誌* 106(5) *in press*.

採択番号：H31/B08

地域活性化のための UAV 利活用技術とその社会実装に関する研究会

[1] 組織

研究代表者

末田 航 (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

山崎敦子 (デジタルハリウッド大学メディアサイエンス研究所特命教授)

加藤 靖啓 (日本航空大学校教員)

坂本 正之 (日本航空大学校教員)

野村 誠 (日本航空大学校教員)

藤堂高直 (チュラロンコーン大学)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

空撮や環境センシング、監視、空輸などの自動化や低コスト化を実現する UAV (ドローン) 関連技術を活用した、設備管理や農林業・医療などの支援に期待が寄せられている。ドローンを活用したこれらの取り組みは、とりわけインフラの整わない僻地や途上国、人手不足が深刻化する過疎化地域での活用が期待されている。しかし一方で、これらの新しい技術の適用が地域産業の活性化に必ずしも直結せず、結果としてデジタルディバイドなどの格差を助長するなど課題もある。本研究会では、これまで「域学連携」の取り組みなどを参考にしつつ、ドローン関連技術を活用した地域との協働形態を模索している。本年度は、地域活性化に寄与する共同研究開発・社会実装計画立案を実現する外部資金等の獲得のための準備活動の一環として研究会を開催し「宇宙航空科学技術推進委託費」を含む、助成金申請に向けた実務作業を行う。

[3] 成果等

新型コロナウイルス蔓延防止の水際対策により、日本への渡航が困難であったため、今年度の上半期はオンラインで NICT 等の競争的資金の獲得のための議論を行った。また3月に実施した対面での研究打ち合わせでは、プロダクトに向けた議論の他、3月に東北大学電気通信研究所で実施した研究会では、これまでの研究の進捗と成果について議論し、今年度の総括と次年度の方向性について議論した。そしてこれらの今年度の活動を通して、地域の活性化を図るため、オープンソースとリモート作業環境を用いた研究開発や、イン

フラ環境なども含めたインクルーシブを意識した取り組みとする指針を確認し、今後も活動を継続する。

(3-1) 研究成果

日本航空大学校におけるオープンソース UAV 遠隔ハンズオン・開発支援と教育工学協会での発表

本年度は継続プロジェクト研究会の最終年度であったが、昨年度に引き続き新型コロナウイルスの行動制限下での活動を余儀なくされた。一方で、日本航空学校での簡易ウェアラブル環境を用いた遠隔ベースでのドローン開発実習授業の実践や、その結果を日本工学教育協会での発表[1]するなどの成果発表をおこなった。

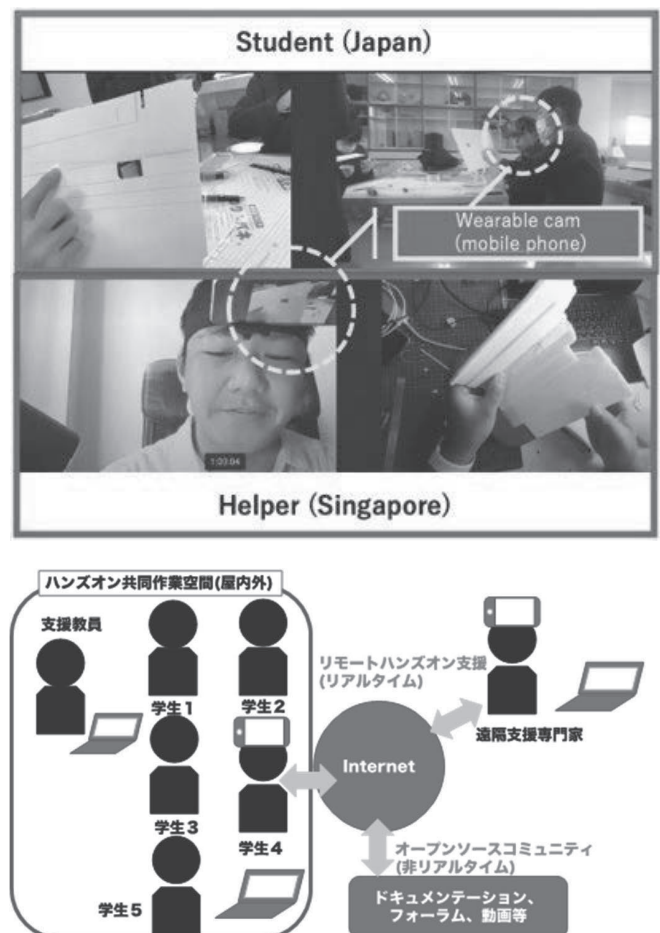


Figure 1 Zoom 接続したスマホを使用した簡易ウェアラブル環境による遠隔ハンズオン作業支援の様子

この取り組みでは、オープンソース等のグローバル標準化された研究開発リソースを活用して、リモート技術と連携することで効果的な教育指導や研究開発、社会実装を行う手法を、工学教育やPBLの観点から促進する取り組みを検討している。日本国内の地方だけでなく、ドローンなどの活用による社会変容が期待されるアジアやアフリカなどのインフラ未整備地域ではパンデミックによる往来制限が先進各国に比べて長引くことが予測され、人材育成や開発支援への支障が懸念されており、またSDGsでも掲げられている「誰も取り残さない」開発の仕組みと今後も研究活動を継続する。



Figure 2 エバーブルーテクノロジー社と共同開発する帆走ドローン「Type-M」の試作

【特別支援（国際）に係る研究成果】

帆走ドローンを活用した離島モビリティの研究開発

2021年2月から2021年9月まで、シンガポール国立大学スマート研究所と、2022年度以降は末田が代表を務めるSenseFoil社と、日本の帆走ドローンスタートアップ企業エバーブルーテクノロジー社が国際共

同研究開発として帆走ドローンを活用したプロジェクトが進行中である[2]。本年度は自動制御に適し、また効率的な帆走と高い安定性を実現する、硬帆を採用した帆艀装をした「Type-M」を開発発表し、ドローン技術や環境関連関連のメディア多数で紹介された。昨今のコロナ禍も相まって、ドローン利活用関連技術に関しても無人化・非接触技術や持続性社会の実現への貢献として、またESG投資基準などとして明確に要求されるようになりつつある。例えば、帆走ドローン技術は化石燃料を大量消費する水上交通のEVシフトの決定打として期待されている。本プロジェクトは人手不足解消やゼロエミッションの実現をする離島間のモビリティ実証実験として、NTT東日本らとコンソーシアムを組成し、来年度の国土交通省「スマートアイランド事業」¹⁾選定プロジェクトとして活動を予定している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究会はUAVを活用した地域活性を図るために、オープンソースを活用した安価で汎用性の高いドローン開発を通して、観光誘致や教育などに活用をするための議論を当初行っていた。しかし、2020年度以降は新型コロナウイルスの世界的な蔓延によって、観光も体験型の教育も大きな方向転換が迫られた。本研究会では、パンデミック下、ポストコロナ時代でもインクルーシブな社会を実現するための、UAVの可能性や活用方法に関して議論や試行錯誤の方向性を転換した。

結果として、人の往来が制約された状況下でのUAVの活用方法として、遠隔作業環境を活用した研究開発手法の検討や、また環境にやさしく中山間部や途上国が抱えるモビリティの課題へのUAVの適用に関するプロジェクトへの方向性を明確にすることができた。

【4】論文や学会発表等

(1) 成果リスト

【招待講演】

[1] 「オンライン・ドローン製作ワークショップ～ローコスト遠隔作業支援の試み」公益社団法人日本工学教育協会 第8回 工学教育DX委員会

[2] エバーブルーテクノロジー社 ニュースリリースページ, <https://www.everblue.tech/news>

¹⁾<https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chirit/smartisland.html>

採択番号 : H31B09

マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ 実用化研究の新展開

[1] 組織

研究代表者 : 近木 祐一郎

(福岡工業大学工学部)

通研対応教員 : 八坂 洋

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

池地弘行 (元九州大学産学連携センター)

間瀬 淳 (福岡工業大学総合研究機構)

富尾 武 (元宇宙航空研究開発機構)

犬竹正明 (元東北大学電気通信研究所)

佐藤源之 (東北大学東北アジア研究センター)

中沢正隆 (東北大学電気通信研究機構)

伊藤直樹 (宇部工業高等専門学校)

際本泰士 (元京都大学)

山鹿光紀 (国土交通省/オブザーバー参加)

徳田伸二 (高度情報科学技術研究機構)

酒井文則 (サクラテック (株))

鈴木昭広 (個人事業主)

岩月勝美 (東北大学電気通信研究機構)

吉本直人 (千歳科学技術大学電子光工学科)

小川裕之 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 18人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究は、電波（マイクロ波）あるいは光（赤外線レーザー）を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムを様々な分野へ適用し、これまでにないリモートセンシング情報を得ること、及びその原理実証を行うことを目的としている。

また、合成開口レーダシステムが計測する位置情報を応用するソフトの開発、および応用ソフトの適用できる分野の検討・開拓、近年発展が目覚ましいドローンなどのレーダプラットフォームの検討も目的としている。

本プロジェクトは本年度が最終年度であり、以下の研究会を行った。

2021 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会:令和3年3月11日(ZOOM)、参加者11名 今年度もコロナウイルス予防措置のため、テレビ会議に変更した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

共同プロジェクト研究会では、マイクロ波およびレーザを用いた合成開口レーダの研究開発および災害監視への適用報告など6件の報告があった。以下にいくつかの報告を抜粋し、その概要を示す。

1) LiveSAR のスプリットビーム化改修による移動体検出とミリ波 SAR 開発 福岡工大 近木祐一郎

移動体を合成開口レーダ (SAR) をスプリットビームにより検出する手法が提案されている。昨年度はレーダ改修のためゲインが低下し放射パターンが推定できずに移動体検出が不可能であった。今年度は放射パターンを推定すべく4つの固定ターゲットと1つの移動体ターゲットを電波照射地へ持ち込み実験を進めた。結果、得られた画像から放射パターンを推定し、クラッタキャンセルを行うことができた。静止物体に比べて移動物体の表示される明るさは増えるもののクラッタである静止物体を完全に画像から消滅させるほどの結果は得られなかった。一方ミリ波 SAR の開発では室内において77-80GHz のミリ波レーダをレール上に設置し、10m 以内のレンジに設置されたコーナーキューブリフレクタをターゲットとして実験を進め画像処理の結果、レンジ方向の分解能が4cm、クロスレンジ方向の分解能はプラットフォームのイレギュラーな動きから現状10cm程度にとどまることが報告された。

2) GB-SAR の開発について 東北大学 東北アジア研究センター 佐藤 源之

地表設置型合成開口レーダ (Ground Based Synthetic Aperture Radar : GB-SAR) は、地表に設置したレーダ装置のアンテナを移動させながら取得したデータに対して、合成開口レーダ(SAR)信号処理を施すことにより2次元の高分解能な SAR 画像を得ることができる。

GB-SAR では、計測データに対して干渉 SAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar : InSAR) 処理を適用することにより、計測対象にセンサを直接設置することなく、2次元での振動計測を行うことができる。しかし、一般的なGB-SARシステムで振動計測を行う場合、レーダ装置のアンテナをレール上で機械的に移動させながらデータ取得を行

うため、1枚のSAR画像を再構成するために必要なデータの計測に5秒程度の時間を要する。このためGB-SARによる振動計測では、計測レートの向上が課題となっている。また、レーダシステム全体の重量は100kg程度となり、システムの可搬性も課題である。

これらの課題に対して、MIMOレーダは電子スイッチにより多素子アンテナを切り替えることで仮想的な大開口アンテナ形成し、レーダアンテナを機械的に動かすことなくデータを取得できるため、計測レートの向上と装置の小型化、軽量化を両立できる。

本研究では、79GHz MIMOレーダによって、対象物の2次元SAR画像を表示し、任意の位置における振動の計測が可能なシステムを開発した。本報では、開発したシステムとその性能について、鉄道橋梁の振動計測試験の結果を交えて紹介した。

3) Inverse - Interference -SAR

池地弘行

With the use of our hardware, we will be able to demonstrate inverse synthetic aperture radar (SAR) capability. This talk presented the principle of measurements and image formation methods.

The frequency modulated (FM) radars, which are employed for the SAR data collections, measure the distances to the targets with the sub-wavelength precision. Inverse SAR requires cross-range position of the reference point. Use of time dependence of the range to a speckle obtains both range and cross-range position data. It is also presented that two SAR images that are obtained from two separate antennas create interference images which scale the cross-range distances.

A three or four receiver system measures the direction and distances of the targets. It can be used to provide position data that are necessary to create inverse SAR images of moving objects in 3D space. The same principle can be applied for determining the positions and the attitudes of the platforms, such as drones that carry the radar.

4) ミリ波を用いた非破壊検査」是枝雄一(八光オートメーション株式会社)

ミリ波にSARを適用した非破壊検査装置について報告を行った。

これまでマイクロ波を用いた非破壊検査装置を開発してきたが、分解能が10数mmと低いことが課題としてあげられていた。そこで、マイクロ波帯で近距離におけるSARの動作検証を行い、空間分解能数

mmを実現できることを確認できた。

次に、ミリ波モジュールにSARを適用した装置の開発を行い、ミリ波においてもアジマス方向に関して空間分解能約3mmの精度で計測することが可能であった。また、箱の中に納めたハサミを明確にイメージングすることができ、物体内部の非破壊検査への適用の可能性を確認することができた。

更に、応用展開として、SAR画像の位相情報から密度検査や混合状態計測のテストを実施し、良好な結果を得ることができた。

今後は、奥行き分解能の向上や位相の絶対値計測の検討を実施していく。

5) 空飛ぶクルマと無人航空機の技術動向

(搭載の「合成開口レーダ」や「レーザーレーダ」の動向や期待事項も踏まえて) 山鹿光記(国土交通省)

世界では、ベンチャー企業から大企業まで様々なプレイヤーが、人を乗せて移動できる「電動垂直離着陸航空機(いわゆる空飛ぶクルマ)」のプロジェクトを立ち上げ、研究開発や実証事業を実施している。日本においても、自動車や航空機の業界、無人航空機などのベンチャー企業、投資ファンドなどの様々な分野の関係者が、都市の渋滞を避けた通勤、通学や通園、離島や山間部での新しい移動手段、災害時の救急搬送や迅速な物資輸送などの構想を描いて、「空飛ぶクルマ」の研究開発を始めている。こうした構想を具体化し、日本における新しいサービスとして発展させていくために、産学官で、社会に受容されるルール作りなどを総合的に進め、空の移動革命や産業革命に向かっている。その技術動向を解説するとともに、空飛ぶクルマや無人航空機に搭載されている「合成開口レーダ」や「レーザーレーダ」の動向、これらのセンサへの期待事項等もあわせて解説する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

様々な帯域のマイクロ波レーダのみならずレーザを利用した共通する解析処理技術で遠方のターゲットを高精度かつ高時間空間分解で画像取得し、また移動体検出など特徴ある情報をアピールできれば、防災対策などの関係部署への導入も見えてくるであろう。移動体検出のためのLiveSARシステムの改修に関して科研費および特許を獲得している。

[4] 論文や学会発表等

論文無し

採択番号：H31/B11

動的言語の静的解析技術とその実用化に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

松本 行弘

(一般財団法人 Ruby アソシエーション)

通研対応教員：

上野 雄大 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

笹田 耕一 (クックパッド株式会社)

遠藤 侑介 (クックパッド株式会社)

松本 宗太郎 (Square 株式会社)

田中 哲 (産業技術総合研究所)

住井 英二郎

(東北大学大学院情報科学研究科)

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

プロセスの定義、名前の解決、型の整合性など、一般に実行前に定まると考えられるプログラムの構造や性質を、実行時に操作として行うプログラミング言語を動的言語と呼ぶ。動的言語は、コンパイルが不要となることで手軽に実行できることに加え、言語やライブラリの動的な拡張を含む高い自由度をプログラマに与え、短く簡潔なプログラムの記述を可能とする。この性質から動的言語は高い生産性を発揮し、産業的ソフトウェア生産の現場で頻繁に用いられている。今日一般に普及している Web アプリケーションや、スマートフォンのアプリのバックエンドの実体は、動的言語で記述されたプログラムであることが多い。動的言語は、今日の産業的ソフトウェア開発を支える基盤技術であると言える。その一方で、動的言語の動的な性質が、ソフトウェア開発の生産性や信頼性を阻害する要因としても認識されつつある。動的言語の特徴を失うことなく動的言語のプログラムの品質を高めることは、ソフトウェアの生産性と信頼性を高めるための重要な課題のひとつである。

この課題を解決するひとつの可能性は、動的言語のプログラムの静的解析技術にある。この技術はコ

ンパイラの最適化技術などの基礎研究として古くから行われているものの、それらの技術を産業利用されているフルスケールの動的言語に適用する可能性や、その工学的な応用は、十分な検討がなされていない。実用規模な動的言語の静的開発技術の開発は挑戦的な課題と言える。

本共同プロジェクト研究の目的は、動的言語の静的解析技術の確立を目指して日々活動する動的言語の開発チーム、ソフトウェアエンジニア、およびプログラミング言語の研究者が一堂に会する機会を作ること、産業および学術の両面からこの研究課題に取り組み、動的言語で書かれたプログラムの品質を向上させる可能性について議論することである。これにより、動的言語の記述力や高い生産性を阻害することなく、動的言語を静的解析しソフトウェアの品質向上に有用な情報を抽出する方式を、理論および実践の両面から探求する。

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。前年度は、Ruby プログラムが定義するクラスやメソッドに関する型情報をその Ruby プログラムとは独立のファイルで記述するための型定義フォーマット、その型定義フォーマットで書かれたシグネチャを Ruby プログラムから自動生成することを支援する型プロファイラ、および型定義フォーマットを利用して Ruby プログラムの整合性を検査する型検査器の3点について、開発状況を確認し、今後の展開に向けての議論を行った。本年度は前年度までの流れを引き継ぎ、開発している各静的解析プログラムの利便性やパフォーマンスを改善し、実用的なツールとして完成させることに向けて議論を行う研究集会を2022年1月頃を目途に開催する予定であったが、通研対応教員の年度途中での退職のため、本プロジェクトは2021年9月30日をもって中止となった。研究集会に代えて、研究集会が開催されていれば発表されていた可能性のある内容の9月時点での進捗を、参加予定者間でオンラインで交換した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究集会で発表されていた可能性のある内容の概略を2つ紹介する。ひとつは、型プロファイラによる統合開発環境におけるプログラムの記述支援である。型プロファイラ TypeProf による解析情報をもとに、シングネチャの自動生成機能、メソッド補完機能、エラー検出機能などをプログラマに提供できると考えられる。もうひとつは、型検査器 Steep の細かな修正とパフォーマンスの改善である。第三者による Steep の利用例も徐々に報告されつつあり、より高い実用性を目指して改良を続けている。

これらの報告を元に研究集会で議論を行うことで、動的言語の静的解析技術の確立に向けた問題点とそれに対するアプローチを洗い出す予定であった。しかし残念ながら、研究集会が開催されなかったこともあり、議論を深めることはできなかった。

本プロジェクトは産学共同研究推進型の共同プロジェクトである。これに伴う特別支援分の研究費は、研究分担者以外の技術者や研究者の招聘に充てる予定であった。しかしながら、研究集会が開催されないまま中止となったため、特別支援分を含めた全ての研究費を使用する機会はなかった。本年度の参加予定者の所属機関および企業は以下の通りである：一般財団法人 Ruby アソシエーション、クックパッド株式会社、Square 株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所、東北大学（順不同）。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同プロジェクトは中止に終わったこともあり、本年度については、本プロジェクトに波及効果や発展性があったとは言い難い状況にある。一方、本プロジェクト全体を通じて、立場や専門が異なる技術者や研究者の間での交流が活性化し、開発言語や所属機関を越えた言語開発者コミュニティを形成することができたことは確かである。本プロジェクトは、その構成上、学外と学内、産業と学問、技術者と研究者、各参加者の中心的な興味・技術的・も型付き言語と型無し言語、オブジェクト指向型言語と関数型言語など、相対する多くの要素を含んでいる。研究集会が行われていれば、それらの違いを超えて互いが連携し、各自の活動や研究に良い相乗効果が与えられ、動的言語の静的解析という萌芽的な領域への展開が行われたと期待される。

[4] 論文や学会発表等

プロジェクトが年度途中で中止されたこともあり、論文や発表の形での具体的成果は出ていない。

採択番号：H31/B12

複雑なグラフコンテンツの探索・編集のための ユーザインタフェース

[1] 組織

研究代表者：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者：

原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

延べ参加人数：4人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトは、複雑なノード・リンクからなるグラフ構造のコンテンツにおいて、グラフ要素同士の密集によるオクルージョンの問題を解消し、目的とするオブジェクトの獲得や、グラフ内のエラーの発見を効率的に行うためのインタラクション手法を確立させることを目指すものである。本プロジェクトによって確立される技術は、今後ますます需要が拡大すると見込まれる屋内地図情報のデータ整備や、これを利用したナビゲーションや検索等の多くのアプリケーションの発展に寄与すると期待される。

本年度では、上記インタラクション手法に関する3つのユーザスタディを実施した。実施にあたっては、テキストベースでの議論を日常的に交わしながら、両者で分担して進めてきた。

これに加えて、実際の屋内地図情報データを用いた実環境に向けたアプリケーションの実現に向けて、将来的な研究構想についても意見交換を進めてきた。新型コロナウイルスの影響により、本年度も対面でのミーティングは断念したが、2022年2月3日にオンラインでのミーティングを実施した。ミーティングでは、互いに直近で進めている研究テーマを紹介し、今後の共同研究テーマを模索した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

3つのユーザスタディのうち、2つは特定の2次元グラフ内にエラーが含まれる場合における提案手法によるエラー可視化の有用性を、残りの1つは複数階層を持つ2.5次元の屋内地図におけるエラー可視化の有用性を調べた。これらの結果、いずれにおいてもグラフの密度が高い場合に提案手法が有効に働くことが明らかになった。上記の内容をまとめ、国際会議論文への投稿を予定している。

また、本プロジェクトは特別支援（若手・国際）を受けたものであるが、この支援により、前述のユーザスタディのための実験環境や機器を準備することができた。また、本プロジェクトにより、当該分野で国際的に活躍している原先生や、その研究室とのコラボレーションが促進された。当初は本所への2回の招聘を計画していたが、新型コロナウイルスの影響による渡航制限でいずれも断念せざるを得なかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトによって確立される技術は、屋内地図情報のデータ整備や、これを利用したナビゲーションや検索等の多くのアプリケーションの発展に寄与すると期待される。特に、屋内のアクセシビリティマップ（例：車椅子での通行が可能なルートを表すマップ）や、ドローンを用いた物流網の構築のためのマップ等が顕著な応用先として考えられ、今後検討を進めたい。加えて、本年度にオンラインで実施したミーティングでは、ユーザ本人の屋内の位置推定情報を組み合わせることによる屋内ナビゲーション手法に関する研究計画が持ち上がった。今後はこれらに関して検討を進め、新たな研究領域としての開拓や、これに関する外部資金の獲得を計画している。

採択番号：H31/B13

固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御

[1] 組織

研究代表者：好田 誠

(東北大学大学院工学研究科)

通研対応教員：金井 駿

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

千葉 大地 (大阪大学産業科学研究科)

眞田 治樹 (NTT 物性科学基礎研究所)

深見 俊輔 (東北大学電気通信研究所)

森田 健 (千葉大学工学研究科)

石原 淳 (東京理科大学理学部)

家田 淳一 (日本原子力研究開発機構)

大江 純一郎 (東邦大学物理学科)

鈴木 義茂 (大阪大学基礎工学研究科)

相馬 清吾 (東北大学 CSRN)

高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)

多々良 源 (理化学研究所)

仲谷 栄伸 (電気通信大学情報理工学部)

新田 淳作 (東北大学大学院工学研究科)

林 将光 (東京大学理学系研究科)

水上 成美 (東北大学材料科学高等研究所)

宗片比呂夫 (東京工業大学)

守谷 頼 (東京大学生産技術研究所)

松倉 文礼 (東北大学 CIES)

国橋 要司 (NTT 物性科学基礎研究所)

谷口 知大 (産業技術総合研究所)

大兼 幹彦 (東北大学大学院工学研究科)

延べ参加人数：23 人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

スピン・軌道相互作用は金属や半導体など材料を問わず、現在固体物性で最も重要な相互作用の一つとなっており、スピンオービトロニクスと言われる新たな分野を形成しつつある。本プロジェクトの目的はスピントロニクス関連分野、特にスピン・軌道相互作用に関連した様々な新現象についての統一的理解の形成である。すなわち、半導体のバンド構造に由来するスピン・軌道相互作用と、金属元素不純物等に起因する散乱を起源として生まれるスピン・軌道相互作用は、それぞれ基本的概念にギャップがある一方で、例えばラシュバ効果は半導体および金属界面におけるスピン・軌道相互作用を介したスピン生成を統一的理解する手法として極めて重要である。材料の枠にとらわれず共通の理解が可能な概念は興味深く、今後の研究展開の予測やさらなる新奇物性の創出に重要な役割を果たす。上述のラシュバ効果はその一つの例に過ぎないが、多様なバックグラウンドに基づく第一線の研究者による深い議論が、本プロジェクトの目的である物性の統一的理解の上で欠かせない。その具現化のため、国内において金属・半導体・酸化物・原子層物質を軸に研究を進めている第一線の実験・理論研究者が集い、互いの研究に対し広く深く議論する場を設けることで、スピントロニクスに関連する固体物性の最前線を理解する研究会を開催した。本年は2022年1月28日にオンライン Zoom による会議を開催し、11名の研究者を招いて(うち1名は外部からの特別講演)成果発表が行われた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

以下に研究会における発表についてその概要を記す。

大兼氏(東北大)はTMR素子の磁性層に軟磁性体材料を用いながら、トンネル絶縁膜にMgOを用いることで高TMR比を確保することで、数100フェムトテスラという、SQUID並の超高感度の磁化の局所検出を室温で可能とするTMR素子の開発と、その生体磁場検出や細胞内の核磁気共鳴への応用について議論した。高感度磁気センシングは、近年ダイヤモンドNV中心などを用いて盛んに研究・開発競争がなされており、今後の研究展開に注目が集まっている。

川田氏(東大)から重金属/強磁性薄膜ヘテロ接合において、新しいタイプのスピントロニクス効果の発見について発表があった。表面弾性波による音響スピントロニクス効果の特長を備えているが、その起源に関しては現在も詳細な研究が行われており、機械的歪みと磁性の結合による新しいスピントロニクス生成方法として注目を集めた。

近藤氏(理研)はトポロジカル反強磁性体 Mn_3Sn におけるスピントロニクスに関する特別講演を行った。 Mn_3Sn は反強磁性を示すため、磁気モーメントは小さいが、強磁性並の異常ホール効果やスピントロニクスが得られるなど、その起源、および多彩な新奇物性が発現することなどが議論された。

谷口氏(産総研)はスピントロニクス発振素子におけるカオス的な振る舞いをリザバコンピューティングへ応用する理論的な研究について発表した。近年、リザバコンピューティングは様々な物質や機能を用いて実現する動きがある。それらと比較したスピントロニクス発振器を用いたリザバコンピューティングハードウェアについての議論がなされた。

守谷氏(東大)は遷移金属ダイカルコゲナイドの積層構造を用いて共鳴トンネルダイオード構造を実現し、III-V 族半導体に劣らない性能が期待できることを紹介した。驚くべきことに、原子層物質の積層構造はスタンプ法を用いて作製されるにも関わらず、高品位な薄膜構造と高品位結晶成長技術に立脚する III-V 族半導体と同様の電流特性が得られることが報告され、原子層物質の広い可能性について議論された。

多様な物質におけるスピン・量子機能の最前線の研究についてオンラインで密に議論し、研究会内の共同研究やネットワーク構築につながっている。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本プロジェクトは、日本のスピントロニクス研究を牽引する若手・中堅研究者が多数参画し、その年の最もホットな話題を未発表データも含めて講演することから、現在のスピントロニクスの立ち位置や、今後の研究展開を定める上で重要な場となる。本プロジェクトを通して、様々な共同研究や大型プロジェクトへと発展することを計画している。

[4] 論文や学会発表等

- (1) K. Nakanishi, A. Arikawa, Y. Saito, D. Iizasa, S. Iba, Y. Ohno, N. Yokota, M. Kohda, Y. Ishitani, and K. Morita, "Room-temperature spin-orbit magnetic fields in slightly misoriented (110) InGaAs/InAlAs multiple quantum wells," *Appl. Phys. Lett.* **119**, 032405 (2021).
- (2) E. Asakura, T. Odagawa, M. Suzuki, S. Karube, J. Nitta,

and M. Kohda, "Intravalley Scattering Probed by Excitation Energy Dependence of Valley Polarization in Monolayer MoS_2 ," *J. Phys. D: Appl. Phys.* **54**, 485304 (2021).

- (3) M. Kammermeier, T. Saito, D. Iizasa, U. Zülicke, and M. Kohda, "Reliable modeling of weak antilocalization for accurate spin-lifetime extraction," *Phys. Rev. B* **104**, 235430 (2021).
- (4) M. Zahedinejad, H. Fulara, R. Khymyn, A. Houshang, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Åkerman, "Memristive control of mutual spin Hall nano-oscillator synchronization for neuromorphic computing," *Nat. Mater.* **21**, 81–87 (2021).
- (5) K. Kobayashi, W. A. Borders, S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, "Sigmoidal curves of stochastic magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," *Appl. Phys. Lett.* **119**, 132406 (2021).
- (6) J.-Y. Yoon, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, Y. Yamane, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Correlation of anomalous Hall effect with structural parameters and magnetic ordering in $Mn_{3+x}Sn_{1-x}$ thin films," *AIP Adv.* **11**, 065318 (2021).
- (7) Y. Takeuchi, Y. Yamane, J. Yoon, R. Itoh, B. Jinnai, S. Kanai, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Chiral-spin rotation of non-collinear antiferromagnet by spin-orbit torque," *Nat. Mater.* **20**, 1364-1370 (2021).
- (8) G. Wolfowicz, F. J. Heremans, C. P. Anderson, S. Kanai, H. Seo, A. Gali, G. Galli, and D. D. Awschalom, "Quantum guidelines for solid-state spin defects," *Nat. Rev. Mater.* **6**, 906-925 (2021).
- (9) G. Choi, J. Ryu, R. Thompson, J.-G. Choi, J. Jeong, S. Lee, M.-G. Kang, M. Kohda, J. Nitta, and B.-G. Parkspan, "Thickness dependence of spin-orbit torques in Pt/Co structures on epitaxial substrates," *APL Mater.* **10**, 011105 (2022).
- (10) A. Yasuhito, K. Shota, K. Nobuhide, M. Kohda, and K. Morita, "Dyakonov-Perel and Elliot-Yafet spin relaxation rates in InGaAs/InAlAs multiple quantum wells at room temperature," *Appl. Phys. Express* **15**, 043001 (2022).
- (11) J. Sonehara, M. Kammermeier, D. Sato, D. Iizasa, U. Zülicke, S. Karube, J. Nitta, and M. Kohda, "Anisotropic spin dynamics in semiconductor narrow wires from the interplay between spin-orbit interaction and planar magnetic field," *Phys. Rev. B* **105**, 094434 (2022).

採択番号 : H31/B15

多機能マルチメディア生成技術に関する研究

[1] 組織

研究代表者 :

藺田 光太郎 (長崎大学情報データ科学部)

通研対応教員 :

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

(以下, 研究分担者)

青木 直史 (北海道大学・大学院情報科学研究科)

岩村 恵市 (東京理科大学・工学部)

鵜木 祐史 (北陸先端科学技術大学院大学)

河口 英二 (九州工業大学)

川村 正樹 (山口大学・大学院創成科学研究科)

貴家 仁志 (東京都立大学

システムデザイン学部)

栗林 稔 (岡山大学・大学院自然科学研究科)

小嶋 徹也 (東京工業高等専門学校・情報工学科)

近藤 和弘 (山形大学・大学院理工学研究科)

秋山 寛子 (足利大学・工学部)

西村 明 (東京情報大学・総合情報学部)

長谷川 まどか (宇都宮大学・工学部)

日置 尋久 (京都大学・大学院人間・環境学研究科)

藤吉 正明 (東京都立大学

学術情報基盤センター)

吉田 真紀 (国立研究開発法人情報通信研究機構

・サイバーセキュリティ研究所)

山田 隆亮 (大阪工業大学・情報科学部)

今泉 祥子 (千葉大学・大学院工学研究院)

高嶋 洋一 (新潟総合学院関志専門職大学

・情報学部)

延べ参加人数 : 20 人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

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, 2022 年 1 月 27 日 (オンライン開催, 20 名参加)

・研究発表会, 6 回開催, (5 月, 7 月, 9 月, 11 月, 1 月, 3 月, 各参加者 20 名程度)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は, 主に以下に示す研究成果が得られた。

まず第 1 に, 新しい埋め込み手法の提案。音響信号, 映像信号の多機能化において, いかに主コンテンツの官能品質を劣化させずに多量の副コンテンツを埋め込み, 頑健に副コンテンツの復元ができるかが研究となる。この課題において, 「埋め込み」自体を行わず, コンテンツが元来から持つ特徴ベクトルから透かし情報を導く自己想起モデルの学習, および検出手法の提案が行われた。

また, 第 2 に, 視聴覚コンテンツに振動を付与する際の振動情報生成法についての研究がなされた。体験者が最適と感じる振動レベルの調査を行った結果, 最適な振動の大きさにラウドネスやシャープネス等の音響特徴量, 顕著な物体と関連するオプティカルフローの大きさ等の映像特徴量が影響を与えていることが示された。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本プロジェクトでは, 学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。

こうした, 研究分野の発展を受け, 電子情報通信学会情報システムソサイエティ英文論文誌小特集号 ‘Advanced Safety, Security and Convenience’ を企画した。2022 年 3 月投稿締め切り, 2023 年 1 月号に掲載される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・鐘ヶ江諒人, 川村正樹, 「相互想起モデルを用いた Zero-Watermarking 法への自己想起モデルの導入」, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-86, pp. 13-18, 2022 年 1 月。

・阿部翔太, 坂本修一, 山高正烈, 鈴木陽一, 行場次朗, 「多感覚コンテンツにおける最適振動レベルに影響を及ぼす映像および音響特徴量の検討」, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-89, pp. 31-36, 2022 年 1 月

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・長我部恭行・エイプリルピョン マウンマウン・貴家仁志, 「敵対的事例の検出器を用いた画像分類システムの防御性能の向上」, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-84, pp. 1-6, 2022年1月

・永森輝, 伊藤広樹, エイプリルピョン=マウンマウン, 貴家仁志, 「物体検出モデルのための秘密鍵を用いた特徴マップ変換法によるアクセス制御手法」, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-85, pp. 7-12, 2022年1月

・Dung Kim Tran, Masashi Unoki, ‘Auditory Representation of Speech Signals Using a Matching Pursuit Algorithm and Sparse Coding’’, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-87, pp. 19-24, 2022年1月

・Candy Olivia Mawalim, Masashi Unoki, ‘Speech Watermarking Approach for Securing Speaker Anonymization using McAdams Coefficients’’, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-88, pp. 25-30, 2022年1月

・伊藤章須, 「逐次二分割 k-means 法 ~ サンプル数の偏りが少ないクラスタリングアルゴリズム ~」, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-90, pp. 37-42, 2022年1月.

・Bo Wang, ‘Source Camera Identification: From Laboratory to Real World’’, 信学技報, vol. 121, no. 362, EMM2021-91, pp. 43-43, 2022年1月.

採択番号 : H31/B16

型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成

[1] 組織

研究代表者 :

森畑 明昌 (東京大学大学院総合文化研究科)

通研対応教員 :

大堀 淳 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

加藤 和彦

(筑波大学大学院システム情報工学研究科)

田浦 健次朗

(東京大学大学院情報理工学系研究科)

阿部 洋丈 (筑波大学システム情報学系)

長谷部 浩二 (筑波大学情報学群)

上野 雄大 (新潟大学大学院自然科学研究科)

佐藤 重幸 (東京大学大学院情報理工学系研究科)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

型主導コンパイルはコンパイラが型情報をもとにコード生成を行う技法である。型主導コンパイルは多相レコード計算のための手法として Ohori (ACM TOPLAS' 95) により発明されたが、現在では多くの応用があると判明しつつある。型主導コンパイルでは、プログラムを取り巻く文脈、具体的にはアプリケーションや計算機環境等、に依存しうる部分を多相型で表し、カインドによってその文脈が満たすべき制約を記述する。これら型・カインドの制約はコンパイラにより確認され、実行時エラーを自動的に排除できる。さらに、型推論によってアプリケーション等で必要となる情報を自動的に補完することすら可能である。そのため、アプリケーションや計算機環境等に依存する部分を信頼性・生産性高く記述できる。これまで型主導コンパイルは、プログラミング言語とデータベースのシームレスな接続をはじめとして、複数のプログラミング言語間のシームレスな接続、プログラムの効率化、プログラムの領域特化などに応用されている。

本共同研究プロジェクトの目的は、型主導コンパイルに詳しいプログラミング言語分野の研究者と、型主導コンパイルの潜在的な応用先であるシステムソフトウェア・高性能ソフトウェア基盤の研究者が一堂に会し、型主導コンパイルの可能性について議論することにある。これにより、現時点では手作業に近い形でアドホックに解決せざるをえない、システムソフトウェア・高性能ソフトウェア作成上の困難に対し、型主導コンパイルを用いた系統的・自動的な解決が見いだされることを期待している。

本研究課題は2021年度が3年目である。過去2年はコロナ禍の影響もあってオンライン開催となっており、いずれも闊達な議論は行われたものの、対面特有の盛り上がりにはどうしても欠ける部分があった。萌芽的なアイデアを見いだすことを目的にしている本研究課題においては、この点は特に深刻な問題であり、本年度は対面開催を目指し準備を行っていた。しかし残念ながら、年末頃からの急激なコロナ禍の状況悪化を受け、対面開催を断念せざるを得なかった。なお、3月16日深夜に起こった地震の影響を受けずにすんだのは不幸中の幸いであった。

以上の経緯により、本年度は2022年3月18日にオンラインで研究集会を行った。研究集会には、東北大学・東京大学・筑波大学・新潟大学・東京工業大学から合計12名が参加し、8件の研究発表が行われた。以下、発表と議論の概要を記す。

上野 (新潟大学) は、大堀と共に長年開発している高性能・高信頼関数型言語 SML# の現状と今後を紹介した。SML# はデータベースシステムや並列計算基盤などを駆動するソフトウェアを、性能・信頼性を毀損することなく高い生産性で作成できるプログラミング言語であり、その機能の多くが型主導コンパイル技術に支えられている。長年の開発の甲斐あって SML# のコアな機能はかなり完成に近づいていること、一方で多くのユーザの獲得に必要となるような、開発支援ツールやライブラリ等の整備が十分でないことが報告された。これに対して、SML# のような言語にとって本質的な機能とは何か、などの観点から議論が行われた。

佐藤 (東京大学) は、プログラミング言語の機能 (特にメモリ管理) に依存しにくい形で、効率よく実行中プログラムの現在状態を覚える手法について論じた。手法の骨子は、オペレーティングシステムの提供しているページングの機能を最大限活用しつつ、その単純な利用で問題となるパフォーマンスの低下を、メッシングと呼ばれる新技術を用いて回避しようとするものである。この研究は、まさにシステムソフトウェア基盤の機能を、高機能プログラミング言語の基盤技術のために用いる試みである。これに対し、具体的などのようなプログラムに対してどの程度の性能が求められるか、などの見通しについて議論が行われた。

中丸 (東京大学) は、佐藤の開発している現在状態記憶機構をふまえ、Jupyter Notebook 上で以前の状態からプログラム開発・実行を再開できるソフトウェアについて述べた。これは、データサイエンティストな

ど、プログラミングについての専門性が高いとは限らない人が行う試行錯誤をサポートしたい、という動機に基づいている。これに対し、どのようなプログラミング体験が望ましいか等の議論が行われた。

野城（筑波大学）は、血小板の止血手法に着想を得た手法を紹介し、その予備的な実験結果を報告した。血小板は傷害部位付近での活性化・凝集を適切に行うことで傷を素早く塞ぐ。これと同様に、各エージェントの活性を上手くコントロールすることで、望ましい結果を高速に発見するのが当該手法の骨子である。当該手法をより発展させるために必要な分析や拡張、また並列計算によるさらなる性能向上の可能性などについて、盛んな議論が行われた。

伊澤（東京工業大学）は、様々な機能を持った JIT コンパイラを、インタプリタ定義から系統的に構成する手法について紹介した。JIT コンパイラは特に近代的な言語では非常に重要になりやすい一方、その系統的な開発技法は十分に知られていなかった。これに対し、メタ JIT コンパイラという手法に基づき、インタプリタ定義を少し工夫することで、様々な JIT コンパイラの導出が可能であることが報告された。この手法の得失や、このような手法がもたらす可能性について活発な議論が行われた。

田浦（東京大学）は2件の発表を行った。1件目では、データ分析時のプライバシー情報の保護を、システム利用者のリテラシーやプログラムの書き方に依存しにくい形で保護する手法に向けた取り組みについて報告した。これについては、どのようになればプライバシーが保護できると言えるのか、またシステムソフトウェアの機構がどう活用できるか、などの観点から議論が行われた。また、2件目の発表では、産学官で利用可能な、大規模データ処理仮想化プラットフォームである mdx の紹介が行われた。これについては、参加者からは是非使ってみようという声が上がった。

森畑（東京大学）は、多相関数をテストする際の困難を軽減するための手法について報告が行った。多相関数は、生産性高いプログラム開発には必須の機構だが、その正しさを確認するテストが難しい。この問題に対し、限定的なテストで正しさが確認できる十分条件が紹介された。この手法の一般化等の観点からの議論が行われた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

前節の報告からも見て取れるように、いずれの発表でも活発な議論が行われた。各発表には標準的な学会等に比べてかなり長い45分が割り当てられていたが、どの発表でもこれを超過するほどであった。また、昼休み等の休憩時間、また発表中のチャットメッセージ

上ですら、濃密で活発な議論が行われた。このように、少しずつ異なる研究分野の研究者同士が互いの問題意識と知見を交換できたことは、小さくない研究成果だと言えよう。

以下、もう少し具体的に、各発表間の関係性を述べる。現代のソフトウェア開発にあたっては、野城の発表にも現れたように、並列計算などが必須になる。しかしそのためには、プログラミング言語・システムソフトウェア等の機能の十分な活用が必須で、そのソフトウェア自体のロジックと同時に設計・実現するのは大きな困難を伴う。これを容易にするためには、プログラミング手法（中丸・森畑）、プログラミング言語処理系（上野・佐藤・伊澤）、そしてシステムソフトウェア（田浦）が協調することが必須である。本研究交流会は、まさにそのような協調について論じたものである。

一例を挙げよう。SML#がシステムソフトウェアとの連携に優れる。そのため、佐藤と中丸による、プログラミングの現在状態の記憶手法や、田浦のセキュリティ保護機構も、SML#との連携ができる可能性が高い。このような種々の機能が実現できた暁には、SML#のデータベース連携機構や、高性能並列計算機構と併せて、データサイエンスを行う上での理想的なプログラミング基盤が構築できるだろう。そして、これらの協調動作を可能としているのがまさに型主導コンパイラであり、本研究集会の主題である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

前述の通り、本共同研究プロジェクトでは、異なる大学の、異なる分野の研究者が集まり、お互いの研究の関連について認識する貴重な機会となった。現時点ではこれが直ちに大きな研究プロジェクト等に繋がったわけではない。しかし、複数の参加者が実は共通の問題意識を持ち関連する研究テーマに取り組んでいたことが明らかになるなど、今後の発展に繋がる議論が行われた。また、このような研究分野をさらに発展していくためには学会等の制度をどうデザインしてゆく必要があるか、などについても真剣な議論が行われている。今回の議論では、今後の共同研究や共同研究集会の可能性を示唆するものが数多くあり、実り多かったと言える。

また、今回の発表者は全体的に若い。野城は学部3年生、伊澤は博士後期課程2年であるが、いずれも堂々とした発表を行っている。中丸も昨年に博士の学位を取得したばかりである。これら若手の研究者にとっては、コロナ禍の影響もあり、どうしても関連研究者との交流が難しくなっている。本研究集会は、年齢や立場、研究分野を超えて、様々な研究者と知己となる貴重な機会となった。

採択番号 (Grant No.) : H31/B17

PSDL2+: Advanced Physical Security of Deep Learning 2

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :
Shivam Bhasin, Nanyang Technological University,
Singapore
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :
Naofumi Homma
研究分担者 (Project Member List) :
Dirmanto Jap, Nanyang Technological University,
Singapore
Akira Ito, RIEC
Rei Ueno, RIEC

延べ参加人数 (Total Number of Participants) :
5

[2] 研究経過(Summary)

With the increasing deployment of machine learning on edge devices, there is a growing concern on threat of various physical or implementation level attacks. The fact that an adversary can have physical access to an EdgeML device allows attack vectors like side-channel attacks (SCA), fault injection attacks, cold boot attacks, and bus snooping attack. Most of these attacks fall under the category of model extraction attacks. Model extraction attack directly threatens the IP of the vendor, hence leading to commercial losses. Moreover, model extraction attacks can help improve the efficiency of other attacks like model inversion or model evasion, also leading to privacy and reliability breaches.

In this collaboration, we assess the practical attack on different algorithms implemented on different target platforms against electromagnetic (EM) SCA. We previously investigated the security of decision tree-based algorithm, which is widely used in industrial environment especially on Industrial internet of things (IIoT). We also conducted a preliminary

investigation on security of Binarized Neural Networks (BNN), implemented on FPGA. Now, we provide a comprehensive evaluation of BNN implemented on FPGA against a range of threat vectors targeting both architectures and weights. We also investigate security of ML models against side-channel attacks on commercial machine learning accelerators. With practical validation, we demonstrate the successful recovery of the parameters and architectures of the target models.

[3] 成果 (Results)

We present a full model extraction attack on BNN, which is generated using an open-source high-level design tool named GUINNESS. We demonstrated that it is possible to recover both architecture and weights of a BNN using EM side-channels, which was only limited to recovery of weights in prior works. The target BNN hardware is generated and synthesized using open-source and commercial high-level synthesis tools GUINNESS and Xilinx SDSoc, respectively. With the hardware implemented on an up-to-date FPGA chip, we demonstrate how the layers can be identified from a single EM trace measured during the network evaluation, and we also demonstrate how an attacker may use side-channel attacks to recover secret weights used in the network.

Next, we investigate the feasibility of such attacks on commercial machine learning accelerators that are available in the market. Commercial machine learning accelerators like Intel neural Compute Stick 2 (NCS2) enable efficient inference on otherwise low resource edge devices. However, these accelerators are also exposed to new threats leveraging physical access. In this paper, we present the first results demonstrating practical electromagnetic side-channel attack on NCS2, allowing secret weight recovery from executed models.

(3-1) 研究成果 (Research Results)

In this section, we briefly describe the key results. We proposed a framework of model extraction for BNN hardware using side-channel information. We focus on EM side-channel information as a typical and practical example. Our framework consists of two phases, namely, architecture reverse-engineering and weight extraction. The first phase comprises layer identification and extraction of processing timings. We provide a practical example of this by using visual analysis of EM traces measured from the target BNN evaluation, and by demonstrating how statistical tests can be used to extract specific Points-of-Interest in the EM traces where sensitive information is found. The second phase involves recovering the binary weight information in the network. We demonstrate how to leverage the same EM side-channel information as the first phase using common knowledge about BNN construction to recover the secret weights using correlation EM analysis (CEMA). To the best of our knowledge, this is the first work that demonstrates that the exact (not approximated) extraction of parameters from a practical implementation of a BNN hardware produced with HLS tools is feasible by EM side-channel information.

Further, we report first results exploring the feasibility of SCA on NCS2, aiming secret weight recovery. Our results show that even the measurements obtained from NCS2 are noisy and need significant pre-processing, a motivated adversary can recover the weights using SCA. The proof-of-concept study is conducted targeting secret weights of a binarized neural network. To measure the signal or traces corresponding to the execution of BNN model on NCS2, we measure them between a LED toggle on Raspberry Pi 3 B+. The LED signal through the GPIO pin can be used as the trigger signal. Although the best trigger signal will be from NCS2, the LED signal through the GPIO pin of the Raspberry Pi can be used as the trigger signal without hardware modification in NCS2. Additionally, in order to measure the EM traces, we used a high sensitivity low noise EM probe

which has sufficient bandwidth (100kHz~2.5GHz) considering the base frequency (700 MHz) of attack target. To boost the EM signal quality from NCS2, we remove the cover to capture the EM.

【Seminar/Discussion dates】

- Due to COVID-19, the discussions were conducted through email exchanges

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

As we have demonstrated the threat of SCA various devices, ranging from low-end 8-bit microcontrollers to commercial machine-learning accelerators, further research calls for investigation of efficient and effective countermeasures for both hardware and software platforms.

【4】 成果資料 (Publications)

- (1) Yli-Mäyry, V., Ito, A., Homma, N., Bhasin, S., & Jap, D. (2021, May). Extraction of binarized neural network architecture and secret parameters using side-channel information. In 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (pp. 1-5). IEEE.
- (2) Won, Y. S., Chatterjee, S., Jap, D., Basu, A., & Bhasin, S. (2021, November). WaC: First Results on Practical Side-Channel Attacks on Commercial Machine Learning Accelerator. In Proceedings of the 5th Workshop on Attacks and Solutions in Hardware Security (pp. 111-114).

採択番号 (Grant No.) : H31/B18

モバイルエッジコンピューティングにおける 動的サービス制御技術

Study of Dynamic Service Orchestration for Mobile Edge Computing

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Shao Xun (北見工業大学工学部)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

長谷川 剛 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

なし

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

In recent years, the fast development of mobile communications and cloud systems has substantially promoted edge computing. By pushing server resources to the edge, mobile service providers can deliver their content and services with enhanced performance, and mobile-network carriers can alleviate congestion in the core networks. Although edge computing has been attracting much interest, most current research is application-specific, and analysis is lacking from a business perspective of edge cloud providers (ECPs) that provide general-purpose edge cloud services to mobile service providers and users.

In this work in the last year, rather than an application-specific edge-computing service, we consider edge-computing systems for general purposes. We analyze the business model, identify the main issues, and provide an elementary solution for efficient orchestration. Based on the elementary results in the last year, in this year we carried out in-depth study of the correctness and performance guarantee with both theoretical analysis and extensive simulations. The results will be presented in the next section.

This research collaboration is supposed to be conducted with face-to-face research meetings; however, due to COVID-19, we had online meetings instead.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

First, we obtained the theoretical performance guarantee as follows:

Theorem 1. Let $\widehat{R}_N(z)$ denote the optimal objective function value with the N -slot look-ahead problem in the z th time frame. Suppose a period of ZN coarse-grained time slots, where Z is a constant. We have

$$\frac{1}{ZN} \sum_{T=0}^{ZN-1} R(T) \geq \left(1 - \frac{1}{e}\right) \left(\frac{1}{Z} \sum_{z=0}^{Z-1} \widehat{R}_N(z) - \frac{BN}{V}\right).$$

In the above equation, N -slot look-ahead algorithm is referred to. It is an algorithm based on an assumption that the system state in the upcoming N -slot future can be precisely predicted, and therefore, it is an ideal algorithm. Theorem 1 tells that the performance gap between the proposed algorithm and N -slot look-ahead algorithm is limited; and therefore, even if we do not have any knowledge about the future, the proposed algorithm can perform well.

In addition to theoretical analysis, we executed extensive simulations to evaluate the proposed method. The simulation settings are shown in Table 1 and Fig. 1. From Fig. 1, we can see that the users' demand is highly dynamic and cannot be predicted precisely. As benchmark, we implemented two greedy algorithms - MyopicCoop and MyopicNoCoop - as benchmark. We also implemented a 5-slot look-ahead algorithm to make

comparison.

Table 1. Simulation settings

# of edge clouds	5
# of kinds of resource	3
# of kinds of VM	2
# of resources needed to provision a type-1 VM	[10, 20, 30]
# of resources needed to provision a type-2 VM	[30, 20, 10]
Data popularity distribution	Zipf, 0.6
Latency between edge cloud and the local cache	[5, 10]ms
Latency between adjacent edge clouds	[20, 50]ms
Latency between edge clouds and remote cloud	[100, 200]ms

Fig. 1. The request dynamics

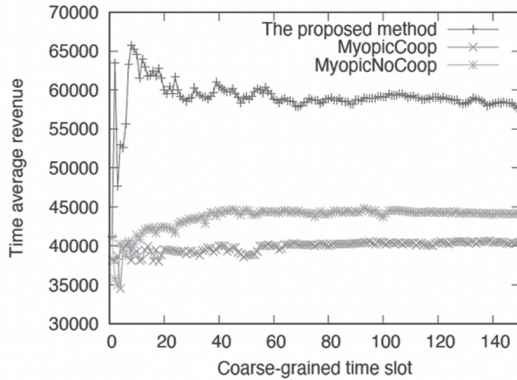


Fig. 2. Revenue comparison with greedy algorithms

Figure 2 shows the revenue comparison with greedy algorithms. It is clear that the proposed method performs far better than the greedy algorithms, because with the proposed method, the range of feasible field is larger than the greedy ones. Fig. 3 shows the comparison of the proposed method and 5-slot look-ahead algorithm.

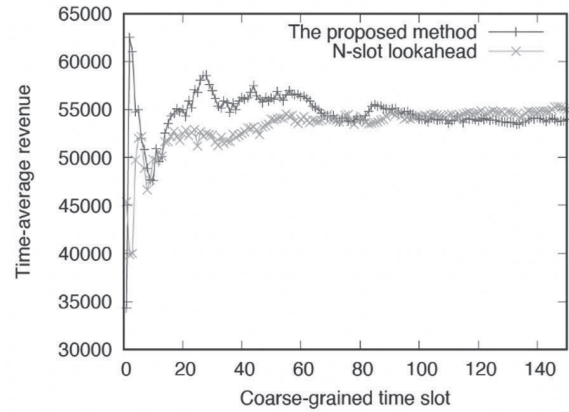


Fig. 3. Comparison with N-lookahead algorithm

Theoretically, N-slot look-ahead algorithm can achieve ideal solutions. But with our simulation, we can find that the performance gap between the proposed method and N-slot look-ahead method is very small, and therefore, can be neglected.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

This project leads to the success of the following projects and international conferences.

- ROIS NII Open Collaborative Research Grant
 - Research on Relay-Assisted Task Offloading Optimization Scheme for MEC-enabled Internet of Vehicles
 - Research period: 2021.4 ~ 2022.3
 - funding amount: 500,000 Yen.
- EAI MONAMI 2021 International Conference
 - Organizer: the PI of this project
 - Period: 2021.10.27-2021.10.29
 - Location: Online
 - Number of participants: 200
- EAI MONAMI 2022 International Conference
 - Organizer: the PI of the project
 - Period: 2022.10.29-2022.10.31
 - Location: Nanchang, China
 - Number of participants: 200 (estimation)

[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. X. Shao, G. Hasegawa, M. Dong, Z. Liu, and Y. Ji, “An Online Orchestration Mechanism for General-Purpose Edge Computing,” accepted by IEEE Transactions on Services Computing, March 2022
2. Y. Cao, R. Ji, L. Ji, G. Lei, H. Wang and X. Shao*, “ l^2 -MPTCP: A Learning-driven Latency-aware Multipath Transport Scheme for Industrial Internet Applications,” in IEEE Transactions on Industrial Informatics, DOI: 10.1109/TII.2022.3151093, Feb. 2022
3. Y. Cheng, C. Li, X. Shao*, and F. He, “Foreground Information-Aware Image Superresolution Reconstruction for Image Processing IoT Systems in Smart City,” in Wireless Communications and Mobile Computing, Jan. 2022
4. B. Liu, Y. Sheng, X. Shao and Y. Ji, “A Grid and Vehicle Density Prediction-Based Communication Scheme in Large-scale Urban Environments,” in Proc. IEEE ICT-DM, 2021

(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)

None

採択番号：R02/B02

コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システム に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

井上 崇（産業技術総合研究所）

通研対応教員：

廣岡 俊彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

森 雅彦（産業技術総合研究所）

並木 周（産業技術総合研究所）

土田 英実（産業技術総合研究所）

黒須 隆行（産業技術総合研究所）

鋤塚 治彦（産業技術総合研究所）

松本 怜典（産業技術総合研究所）

吉富 大（産業技術総合研究所）

稲場 肇（産業技術総合研究所）

大久保 章（産業技術総合研究所）

柏木 謙（産業技術総合研究所）

穀山 涉（産業技術総合研究所）

石川 浩（株式会社光パスキューションズ）

洪 鋒雷（横浜国立大学）

美濃島 薫（電気通信大学）

中嶋 善晶（東邦大学）

浅原 彰文（電気通信大学）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

クラウド・ビッグデータ社会の基盤として従来用いられている情報通信システムでは、ワイヤレスネットワークと、これを収容する大容量光ネットワークが、それぞれ独立に構築ならびに運用されている。将来に向けてより安全・安心で効率的な社会基盤を構築するためには、更なる大容量化と多様な情報に対応できる自律分散協調ネットワークが必須である。このような高度なネットワークを実現するためには、それぞれ独立に運用されているワイヤレスと光のネットワークを、光やマイクロ波などの伝送媒体に依存しない仮想的な通信方式に置き換えたうえで、両者の違いを意識せずに利用できる仮想化ネットワーク技術が要求される。

一方、計測標準分野においては、マイクロ波領域の原子時計により実現されている時間の定義が精度の限界に達し、飛躍的な精度向上が期待できる光格子時計に置き換えられようとしている。光波領域で規定される時間標準を通信やセンシングに利用するた

めには、光波の高純度なコヒーレンスを保持したまま、周波数をマイクロ波帯に変換する必要がある。

本プロジェクトでは、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所、電気通信大学、横浜国立大学などの研究者の間で、コヒーレンスを保持して光波とマイクロ波を相互変換し、システムとして両者を融合したコヒーレント通信・計測技術に関する研究討論を行った。

本プロジェクトは、今年度が採択2年目に当たり、令和4年2月21日にオンラインで、東北大学、産業技術総合研究所、NICT、電気通信大学、KDDI総合研究所などの研究者が参加して研究会を開催し、9件の発表を行った。光周波数計測技術や分光技術、テラヘルツ波や赤外光の受信デバイス技術、光ファイバ無線伝送技術、コヒーレント光伝送技術、空間多重光ファイバ伝送技術、シリコンフォトニクス光スイッチ技術等に関する発表に対して、活発な討論を行った。研究会のプログラムを以下に示す（○は発表者を示す）。

2021年2月21日（月）

1. 開会挨拶 廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
2. 光格子時計とUTCの周波数比較のための不確かさ 10-18 台の光周波数計測：○和田雅人・稲場肇（産総研）
3. 空間特性を有する光・物質へのデュアルコム分光の応用：○浅原彰文1・杉田篤史2・美濃島薫1（1 電通大、2 静岡大）
4. THz フォトミキサと受信ダイオードの最近の展開：○石橋忠夫（NTT エレクトロニクステクノ）・伊藤弘（北里大学）
5. 光ファイバ無線によるアナログ信号伝送技術：○石村昇太（KDDI 総合研究所）
6. ワイヤレスおよび光通信に向けた高速受光デバイス技術：○梅沢俊臣（NICT）
7. 61 GHz 帯フルコヒーレント伝送における注入同期キャリア周波数変換法とセルフヘテロダイン法の性能比較：佐藤大晟・白幡晃一・○葛西恵介・廣岡俊彦・吉田真人・中沢正隆（東北大）
8. マルチコアファイバにおけるコア間のGAWBS雑音の相関特性：○佐藤耕造・吉田真人・葛西恵

- 介・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
9. コヒーレントナイキストパルス伝送の高性能化に向けた検討：○木村光佑・吉田真人・廣岡俊彦・葛西恵介・中沢正隆（東北大）
 10. 32×32 シリコンフォトニクススイッチを用いた多段/ヒットレス光伝送：○松本怜典・鴻池遼太郎・鈴木恵治郎・松浦裕之・池田和浩・井上崇・並木周（産総研）
 11. 閉会挨拶 井上 崇（産総研）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

- ① 秒の定義改訂に向けた光周波数計測において、不確かさを低減する研究に取り組み、不確かさ要因を5箇所個別に評価し、相対合成標準不確かさを 10^{-18} 台まで低減することに成功した。また2台の光コムを用いた周波数計測を行い、 10^{-18} 台の測定不確かさが実現されていることを初めて確認した。
- ② デュアルコム分光を光渦（Orbital Angular Momentum; OAM）の評価方法に適用し、実験により3次元の複素イメージングの原理実証に成功した。また、OAMモード間の相対位相や分散特性の検出や操作にも成功した。
- ③ テラヘルツ波検出のためのUTC-PDとしてFermi-Level Managed Barrierダイオードを開発し、光レシーバやTHzフォトミキサに広く応用することに成功した。また、高性能化にむけた最適設計を実施した。さらにTHz受信ダイオードとしてFMBダイオードを開発し、ゼロバイアス、低ノイズ、低いLO電力を達成した。
- ④ 光ファイバ無線（RoF）によるアナログ信号伝送技術に関して、大容量・高品質・光無線融合についての研究開発を行った。100GE用TOSAを用い、中間周波数チャネル24チャネルの64QAM信号でビットレート218.94Gb/sの伝送を、12チャネルの256QAMで145.98Gb/sを達成した。光ファイバ中の四光波混合を使って、角度変調のSNR比を大幅に向上することに成功した。また、RoF伝送後の光信号をアンテナから28GHz無線信号として送信することにも成功した。
- ⑤ RoFおよび自由空間光通信（FSO）用受光デバイス、コヒーレント光通信受光技術についての研究開発を行、無バイアスで100GHzの帯域でフラットな特性を持つUTC-PDの実現に成功した。マルチコアファイバで92GHzのRoF信号と、PD駆動用のパワーCWを伝送し、受光して無線信号に変換して空間を伝送する実験に成功した。2次元PDアレイデバイスを用いて、空間ダイバーシティ受信や、デジタルコヒーレント伝送における位相回復動作に成功した。
- ⑥ 光・無線融合を目指したRoF伝送技術に関する研究を行い、ビットレートが64Gb/sの256QAM信号と、周波数間隔61GHzのパイロットトーンをSMFで10km伝送し、受信した局側の局所発振光にパイロットトーンを入力して注入同期を行い、受光して高品質な61GHzに変換して、無線で40mの距離を伝送することに成功した。
- ⑦ マルチコアファイバ（4コアおよび19コアファイバ）におけるコア間のGAWBS雑音の相関特性について解析を行い、接コア間および対角コア間の相関の違い、ならびに音響モードの依存性について明らかにし、GAWBS雑音を補償するためには、コアごとに雑音を評価する必要があることを明らかにした。
- ⑧ コヒーレントナイキストパルス伝送の高性能化についての検討を行い、分散マネージメントしない伝送路と、チャープドFBG+LCOSにもとづく分散補償器を用いた場合に受信信号品質が向上することを示した。また、計算機シミュレーションによる解析結果から、シンボルレートが高すぎると非線形波形劣化によって伝送品質が下がり、周波数利用効率が悪化することを見出した。
- ⑨ 32x32シリコンフォトニクススイッチを用いて、多段接続時を模擬した伝送実験を実施し、81.9Tb/sの高スループットおよびエネルギー効率0.29pJ/bitを達成した。その結果、9段のClosネットワーク構築時に総スループット125Pb/sを達成できる見込みを得た。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまで独立に発展してきた光波とマイクロ波のコヒーレンスを保持して相互変換し、システムとして両者を融合したコヒーレント通信・計測技術を目指す点において、本プロジェクトは独自性と優位性を有していると考えられる。超高速光伝送技術とコヒーレント光伝送に関して世界最高レベルの実績とポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、シリコンフォトニクスを中心とする光デバイス、光信号処理、レーザー制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所等の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

[4] 論文や学会発表等

1. 和田 雅人, 小林 拓実, 赤松 大輔, 安田 正美, 稲場 肇, 「光時計-UTC リンクのための18桁級光周波数計測」 レーザー学会学術講演会第42回年次大会, E09-12a-V-03 (2022).
2. A. Asahara, T. Adachi, S. Akiyama, and K. Minoshima, "Orbital angular momentum-dependent phase detection using single-pixel dual-comb spectroscopy towards versatile manipulation of optical vortex light-wave," CLEO2021, paper STh1C.7.
3. 浅原 彰文, 美濃島 薫, 「(招待講演) デュアルコム分光法の多機能性を生かした固体分光への応用」 レーザー学会学術講演会第42回年次大会, E01-12a-V-01 (2022).
4. T. Ishibashi and H. Ito, "Uni-Traveling Carrier Photodiodes: Development and Prospects," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 28, no. 2, 3803006, March-April 2022, doi: 10.1109/JSTQE.2021.3123383.
5. S. Ishimura, H.-Y. Kao, K. Tanaka, K. Nishimura, R. Inohara, T. Tsuritani, and M. Suzuki, "Photonic Armstrong method enabled by direct detection for wideband electrical PM generation," Opt. Express 29, pp. 4721-4732 (2021).
6. Y. Yoshida, "Phase retrieval for optical communication," ECOC2021, We4C2.1.
7. K. Kasai, T. Sato, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "64 Gbit/s, 256 QAM Transmission Through Coherent Optical-Wireless Link at 61 GHz Using Simple and High OSNR Carrier Frequency Converter," OFC2021, paper Tu6E.2.
8. K. Kasai, T. Sato, K. Shirahata, T. Hirooka, M. Yoshida, M. Nakazawa, "Performance comparison between injection-locked carrier frequency conversion and self-heterodyne detection methods in coherently-linked optical and wireless transmission for 6G," ICETC2021, paper B1-3.
9. K. Sato, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "GAWBS noise correlation between cores in multi-core fibers," Opt. Express 29, pp. 42523-42537 (2021)
10. R. Matsumoto, R. Konoike, K. Suzuki, H. Matsuura, K. Ikeda, T. Inoue, and S. Namiki, "Fully-Loaded Operation of 0.29-pJ/bit Wall-plug Efficiency, 81.9-Tb/s Throughput 32 × 32 Silicon Photonics Switch," OFC2021, paper Tu6A.2.

採択番号：R02/B03

将来無線のレイヤレスデザインとその応用

[1] 組織

研究代表者：石橋 功至
(電気通信大学 先端ワイヤレス・
コミュニケーション研究センター)

通研対応教員：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 (電気通信大学)
有吉 正行 (NEC)
安在 大祐 (名古屋工業大学)
石川 直樹 (横浜国立大学)
伊藤 孝弘 (広島市立大学)
稲毛 契 (東京都立産業技術高専)
衣斐 信介 (同志社大学)
岩田 大輝 (日立国際電気)
梅林 健太 (東京農工大学)
太田 真衣 (福岡大学)
大野 光平 (明治大学)
大山 哲平 (富士通)
大和田 泰伯 (情報通信研究機構)
金子 めぐみ (国立情報学研究所)
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)
佐藤 光哉 (電気通信大学)
須藤 克弥 (電気通信大学)
田久 修 (信州大学)
田谷 昭仁 (青山学院大学)
タンザカン (東京工業大学)
天間 克宏 (情報通信研究機構)
中村 聡 (神奈川大学)
成枝 秀介 (三重大学)
西尾 理志 (東京工業大学)
橋浦 康一郎 (秋田県立大学)
藤井 威生 (電気通信大学)
三宅 裕士 (三菱電機)
山本 高至 (京都大学)

延べ参加人数：33人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

今後ますますの進展が予測される Massive IoT を核

とする無線通信ネットワークにおいては、超多接続や極低遅延など多種多様な要求条件で通信を行うことが求められ、加えて将来の新しいアプリケーションで求められる条件にも対応していく必要がある。このような大変革期の無線通信ネットワークやその周辺技術においては、これまでの設計技術で主流だったレイヤ構造によるシステム設計では限界がある。今後はレイヤレスプラットフォーム設計や異なるレイヤ間 (クロスレイヤ) の連携技術が必要不可欠であり、研究者コミュニティにおいて研究開発の方向性を長期的視野で議論を行うことが求められる。

本研究課題では、未知である将来の新しいアプリケーションの要求にも柔軟に答えられる無線通信プラットフォームを、ハードウェアから信号処理・情報理論に至るまでを統合的に設計するアイデアについて、各研究分野の新進気鋭の若手・中堅研究者を中心としたコミュニティで活発に議論することを目的とした。

2022年1月28日(月)に今年度第1回の研究会をオンラインにて開催した。今後の無線通信システムのレイヤレスデザインとその応用分野に関連する以下の講演を行い、参加者全員で議論した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

今年度第1回の研究会では、以下の3件の講演を行った。

(1) 通信ネットワーク上での分散的な機械学習に向けて (東京工業大学・西尾 理志)

AI・機械学習技術の発展は目覚ましく、リアルタイムな物体検出や異常検知、流暢な機械翻訳などが様々なアプリケーションが実現されている。現状では多くのアプリケーションがクラウドコンピューティングにより提供されている。すなわち、機械学習の訓練と推論はネットワーク上のサーバにおいて実行される。一方で、高性能な機械学習モデル、特に深層ニューラルネットワーク (Deep Neural Network: DNN) のような複雑なモデルを十分に訓練するためには、大量のデータと計算処理が必要となる。また、推論のためにカメラ画像や LiDAR などのセンシングデータをクラウドサーバに送信することは通信帯域およびセキュリティの観点から課題が多い。

本発表では、DNN の分散的な訓練および推論について、いくつかの研究を紹介した。特にモデルの訓練では、Federated Learning (FL) と呼ばれる分散的に保持されたデータを用い、データ自体は共有することなく訓練に活用する学習フレームワークについて、より通信効率のよい手法である Distillation based Semi-supervised Federated Learning (DS-FL) [1]について紹介した。従来の FL では、学習時に訓練したモデルを共有するため大きなトラヒックが発生するが、DS-FL ではモデルの代わりにモデルの出力を共有することで、少ないトラヒックで学習を実行する。また、機械学習推論においては、DNN を分割し分散的に推論を行う Split computing について、通信路でのトラヒックやパケット損失による中間データの欠損の影響を改善する Communication-oriented Model Tuning (COMtune) という手法を紹介する。COMtune では、学習済みモデルを Split computing に望ましい特性、すなわち、より少ない通信トラヒックやパケット損失に対する耐性を持つようにチューニングすることで、通信路に起因する推論精度の低下や通信遅延を解消する。

(2) 人体領域通信 (WBAN) における電波伝搬特性と測定手法 (秋田県立大学・秋元 浩平)

Wireless Body Area Network (WBAN) は医療、スポーツ、エンターテインメントなど幅広いアプリケーションを人体領域通信でサポートするシステムである。近傍に別の WBAN が存在すると WBAN 間で干渉が発生するため、WBAN ユーザ密集環境では WBAN 間干渉によるスループット低下が深刻になる。我々はこれまで人体によるブロッキングの影響が大きく指向性アンテナによる干渉抑制が可能なミリ波帯 WBAN の WBAN 間干渉抑制効果について検討を行ってきた。WBAN ユーザ密集環境では主に被ノイズユーザの間には存在する伝搬路上ユーザによる人体ブロッキングにより WBAN 間干渉電力が抑制される。これまで従来のマイクロ波帯 WBAN に比べミリ波帯 WBAN により WBAN 間干渉の抑制が可能であることを示してきた。

本発表では、WBAN の電波伝搬特性の実測の際の課題について述べ、これまでの取り組みを紹介した。一つは、人体とアンテナとの相対的な位置精度や再現性を取るための、測定状況をビデオカメラで撮影して動画から人体の位置を抽出する手法を紹介した。もう一つは、代表的な測定用アンテナである標準ホーンアンテナではマルチパス特性が取りにくいという課題に対する、ミリ波帯 WBAN を想定したアンテナの試作と評価を紹介した。

(3) THz 帯 (0.1 THz~10 THz) の時間軸電波伝搬モデルとその特性 (東京農工大学・梅林 健太)

B5G や 6G では THz 帯 (0.1 THz~10 THz) における無線通信が注目を浴びている。THz 帯にはミリ波等と比較しても無線通信にとって膨大な周波数資源が存在しており、より周波数資源が必要となる将来の無線通信にとっては重要な周波数帯である。そのため、THz 帯のための無線通信のためのデバイスの開発、無線通信方式の検討そして、伝搬路のモデル化とその特徴の把握が求められる。本発表では特に、最後の THz 帯の伝搬路モデル化とその特徴を紹介した。

THz 帯の電波伝搬の大きな特徴は、分子吸収の影響を多大に受けることである。特に 1THz 以上においては、分子吸収の影響により、見通し内伝搬であっても周波数選択性の影響を受ける。その周波数における振幅特性は明らかにされてきたが、時間軸における THz 帯の電波伝搬特性はモデル化も含めて課題が多数残っている。当初、最も疑問だったのは見通し内伝搬であっても周波数選択性があるということは、その時間特性であるインパルス応答は遅延パス (マルチパスとは異なる) が存在することとなり、従来の見通し内電波伝搬では考えられない特徴を持つことである。

本発表では、まず実験結果よりインパルス応答において遅延パスが存在し得ることを示した。次に、周波数-振幅特性から解析的に時間軸の電波伝搬路であるインパルス応答を導出する手法を (簡単に) 示した。特に、ここでは位相特性を導出する必要があり、最小位相基準を用いることで適切な時間応答が導出できることを実験結果等の比較から示した。

また、これまでの研究会での議論を踏まえて、IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking へ投稿した論文が採択されるなど、共同研究に発展するケースも増えてきている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトは、国内外の研究者のコミュニティのすそ野を広げ、今後の無線通信技術の研究開発の方向性を活発に議論することに寄与している。特に、産学の研究者がそれぞれの立場でこれまでの研究成果について議論を行うことで、産学が連携して進むべき方向性について、包括的な議論を行うことができた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(なし)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- K. Sato and D. Sugimura, "Rate-adapted decentralized learning over wireless networks," IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 7, no. 4, pp. 1412-1429, Dec. 2021.
- A. Kaburaki, K. Adachi, O. Takyu, M. Ohta, and T. Fujii, "Autonomous decentralized traffic control using Q-learning in LPWAN," IEEE Access, vol.9, pp.93651-93661, Jun. 2021.
- K. Suzuki, K. Adachi, M. Ohta, O. Takyu, and T. Fujii, "Flexible index mapping scheme for packet-level index modulation," IEEE Wireless Commun. Lett., Jan. 2022.
- K. Tsurumi, A. Kaburaki, K. Adachi, O. Takyu, M. Ohta, and T. Fujii, "Simple clock drift estimation & compensation for packet-level index modulation and its implementation in LoRaWAN," IEEE IoTJ, Feb. 2022. (Early access)
- K. Tsujimura, K. Umebayashi, and N. Zorba, "Adaptive threshold setting for OOK modulation with a prefix code in THz band," IEICE Communications Express, vol. 11, no. 3, pp. 117-122, Mar. 2022.
- M. Alzard, S. Althunibat, K. Umebayashi, and N. Zorba, "Resource allocation in THz-based subcarrier index modulation systems for mobile users," 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Feb. 2021.
- M. Alzard, S. Althunibat, K. Umebayashi, and N. Zorba, "Performance analysis of resource allocation in THz-based subcarrier index modulation systems for mobile users," IEEE Access, vol. 9, pp. 129771-129781, Sep. 2021.
- Z. Wu, H. Ebisawa, K. Umebayashi, J. Lehtomäki, and N. Zorba, "Time domain propagation characteristics with causal channel model for terahertz band," 2021 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Jun. 2021.

採択番号：R02/B04

Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索

[1] 組織

研究代表者：

九鬼 孝夫（国土舘大学理工学部）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

石崎 俊雄（龍谷大学大学院理工学研究科）

伊藤 信之（岡山県立大学情報工学部）

大久保 賢祐（岡山県立大学情報工学部）

岡崎 浩司（NTT ドコモ・先進技術研究所）

亀田 卓（広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所）

河合 邦浩（NTT ドコモ・先進技術研究所）

河合 正（兵庫県立大学大学院工学研究科）

川崎 繁男（スペース&モバイルワイヤレステクノロジー）

古神 義則（宇都宮大学大学院工学研究科）

佐藤 潤二（パナソニック・オートモーティブ社開発本部）

真田 篤志（大阪大学大学院基礎工学研究科）

関 智弘（日本大学生産工学部）

谷口 英司（三菱電機・情報技術総合研究所）

檜橋 祥一（摂南大学理工学部）

西川 健二郎（鹿児島大学大学院理工学域）

西野 有（BaSAI）

檜枝 護重（菱電湘南エレクトロニクス）

平野 拓一（東京都市大学知識工学部）

藤島 実（広島大学大学院先進理工系科学研究科）

藤本 竜一（キオクシア・メモリ技術研究所）

丸橋 建一（日本電気・デジタルプラットフォーム事業部）

吉田 賢史（鹿児島大学大学院理工学域）

Dmitry V. Kholodnyak (St. Petersburg Electrotechnical University)

延べ参加人数：25 人（所属は 2021 年 4 月現在）。

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

日本の第 5 世代移動通信システム (5G) の本格的商用サービスが 2020 年 3 月に開始された。このような移動通信システムは、これまで 10 年の単位で進化が継続しており、次世代システムは 2030 年頃に開始さ

れることが予想される。このため、次世代の移動通信システム「Beyond-5G」(いわゆる「6G」)の研究開発は、将に今、検討しなければならない。その技術仕様は概ね、伝送容量 100Gbps (5G の 10 倍)、接続密度 10^7 台/km² (5G の 10 倍)、最大遅延時間ほぼゼロ (5G は 1 ミリ秒) という値が示され、ハードルの高い技術課題が提案されている。そこで本研究会は、Beyond-5G 実現にあたりどのような高周波技術がキー技術となるのかを検討するとともに、それら技術の現状把握と課題の明確化および課題解決のための方法論を議論することにより、これからの高周波技術の研究開発の方向性を示すことを目的としている。

2020 年度は、本プロジェクト研究会の初年度として「Beyond-5G システムの概要と要素技術研究」をサブテーマとして、オンライン形式による研究会を 1 回開催した。議論の結果、Beyond-5G システムの実現にはハードルの高い高周波技術が要求され、その一例として回路実装技術のさらなる高度化が必要となることを示唆した。

このような背景から 2021 年度は、本プロジェクト研究会の 2 年目として「Beyond-5G システムのためのビームフォーミング技術研究」をサブテーマに活動を計画した。今年度も新型コロナウイルス感染拡大の影響により研究会の開催が難しい状況であったが、2022 年 1 月に、東北大学電気通信研究所にて対面形式による研究会開催を実現できた。以下、研究活動状況の概要を記す。

(2021 年度研究会開催実績)

第 2 回共同プロジェクト研究会

日時：2022 年 1 月 12 日 (水) 13:30-16:30

場所：東北大学電気通信研究所・本館 1 階オープンセミナールーム

併せて、オンラインでの研究会参加も用意

参加者：16 名+講師 1 名

(オンサイト) 伊藤信之、大久保賢祐、岡崎浩司、河合正、真田篤志、西川健二郎、藤島実、吉田賢史、末松憲治、九鬼孝夫、(講師：中津川征士)

(オンライン) 石崎俊雄、谷口英司、西野有、檜枝護重、平野拓一、丸橋建一

内容：

- 13:30 研究代表者あいさつ
- 13:40 講演1 「Beyond-5G でのハイブリッド高周波信号処理に寄与する移相器技術」, 中津川征士 (函館工業高等専門学校)
- 15:00 講演2 「D帯完全異常反射メタサーフェス」, 真田篤志 (大阪大学大学院基礎工学研究科)
- 16:30 まとめと閉会

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Beyond-5G システムの実現に必要な高周波技術の研究開発を検討するため、前年度の第1回研究会では、現在の移動通信システム(5G)での研究開発例を振り返り、Massive-MIMOによるビームフォーミング技術や先端的な回路実装技術の研究開発がキーとなることを示した。そこで今年度の第2回研究会では、Massive-MIMOに代表される送信電波のビームフォーミング・制御技術の研究開発に焦点を当てる研究会を開いた。

はじめに、函館工業高等専門学校・中津川征士教授より、「Beyond-5Gでのハイブリッド高周波信号処理に寄与する移相器技術」のご講演をいただいた。講演では、Beyond-5Gの要求として、送信電波のマルチビームフォーミングによりきめ細やかな受信エリアを形成し不感地帯を低減すること、このための技術としてMassive-MIMOの適用性を考えることが示され、所望のマルチビームフォーミングを実現するための高周波信号処理についての提案があった。Massive-MIMOを実現する高周波回路は、消費電力/信号処理負荷/コストの軽減のためにデジタル信号処理とアナログ移相器を活用したハイブリッド構成が有効であり、将来に向けた回路技術として、広帯域な周波数特性の実現、高周波数化に伴う挿入損失の低減、周辺の回路規模に見合った小型化が課題となることが議論された。

つぎに、大阪大学・真田篤志教授より、「D帯完全異常反射メタサーフェス」のご講演をいただいた。Beyond-5Gでは、超高速・大容量通信のために100GHz超のミリ波・テラヘルツ波帯電波の利用が考えられる。電波の周波数が高くなるに従って遮蔽による通信切断などによる通信の不安定性が増えることが懸念され通信、エリアカバレッジの改善が技術課題とされる。この課題解決のための技術として、メタサーフェス(人工媒質)による電波反射板(面)が研究されており、本講演ではD帯(140GHz帯)で動作する反射板が紹介された。メタサーフェスを用いることにより、電波の反射角を入射角と異なる角度(完全異常反射)に設定できることが示され、その動作原理が解説された。

以上の議論から、本年度はつぎの研究成果を得た。第一に、Beyond-5Gシステムは、超高速・大容量通信のために、これまで以上に周波数の高いミリ波・テラヘルツ波帯電波が利用され、受信エリアの不感地帯低減やエリアカバレッジ改善が必要となる。このためには、送信電波のより高度なビームフォーミングや制御技術の研究開発を期待することが確認できた。

第二には、Beyond-5Gのビームフォーミング・制御技術を実現するためには、より高機能なMassive-MIMOや、メタサーフェス反射板のような新しい物理を活用した電波制御技術の開発が必要となると考えられた。

(特別支援(国際)に係る研究成果)

Beyond-5Gに必要な受動回路技術で世界的に活躍しているロシア・サンクトペテルブルグ電気工科大学のDmitry V. Kholodnyak教授に参加いただくことにより、新しい高周波技術を探索する国際共同研究推進型の研究会を計画していた。しかし、新型コロナウイルス感染拡大の影響で海外からの渡航が困難となり、当初に期待していた国際共同推進の成果を得るには至っていない。来年度の課題としたい。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度の研究会で主に討議された内容は、主にBeyond-5Gシステムに向けたビームフォーミング技術の今後の展開である。Massive-MIMOに代表される高度なビームフォーミングは、伝送容量と接続密度を増加させる手段として、現在の5Gシステムにおけるキー技術のひとつとなっている。Beyond-5Gシステムでは、伝送容量と接続密度のさらなる増加に加え、通信エリアカバレッジの改善のためにも、様々なビームフォーミング技術が採用されることが予想される。このため、Massive-MIMOにおけるより高度な高周波回路技術のほか、メタサーフェスによるビーム制御といった新機軸の技術研究も重要であると考えられる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・該当なし
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- ・M. Ugajin, Y. Kakei, N. Itoh, "A quadrature voltage-controlled oscillator using phase-adjusting architecture for suppressing phase noise," IEICE Electronics Express, vol. 18, no. 10, pp. 1-3, May 2021.

- ・Y. Sawayama, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "Study of Dual-Band Concurrent LNA Equipping Mutual Inductive Notch Filter Matching Circuit," IEICE Electronics Express, vol. 18, no. 5, pp. 1-5, March 2021.

- G. Urakawa, H. Kobayashi, J. Deguchi, R. Fujimoto, "A Noise-Canceling Charge Pump for Area Efficient PLL Design", IEICE Trans. on Electron., vol. E104-C, no. 10, pp. 625-634, Oct. 2021.
- 大久保賢祐, 鈴木琴音, 岸原充佳, "折り返し導波管を用いた非相反右手/左手系複合導波管", 電子情報通信学会論文誌, vol. J105-C, no. 1, pp. 46-54, 2022年1月.
- K. Miyazaki, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "A Current-Reuse Low-Power LNA Operated in Moderate Inversion Region," Proc. of 2021 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT 2021), pp. 1-3, Aug. 2021.
- A. Tsuchiya, T. Okuda, T. Kawai, A. Enokihara, "Experimental Study of UHF/SHF Dual-Band Semi-Lumped-Element Power Dividers," Proc. of 2021 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT 2021), Aug. 2021.
- K. Miyazaki, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "920 MHz Low-Power LNAs Operated in Moderate Inversion Region," International Conference on Analog VLSI Circuits (AVIC2021), Oct. 2021.
- S. Seguchi, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "1.65/2.5/4.0-GHz Triple-Band Concurrent Low-Noise Amplifier," International Conference on Analog VLSI Circuits (AVIC2021), Oct. 2021.
- D. Yoshioka, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "3.4 to 4.1 GHz Wideband LNA with Gain Flatness and Low Noise Figure," International Conference on Analog VLSI Circuits (AVIC2021), Oct. 2021.
- Ryuichi Fujimoto, "(Keynote) Technical Challenges toward High-Bandwidth and Large-Capacity Storages with Low-Power Consumption", International Conference on Analog VLSI Circuits 2021 (AVIC 2021), Oct. 2021.
- 土屋歩, 奥田泰士, 河合正, 榎原晃, "UHF/SHF 帯デュアルバンド準集中定数型電力分配器の実験的検討", 信学技報, vol. 121, no. 4, MW2021-3, pp. 11-15, 2021年4月.
- 土屋歩, 河合正, 榎原晃, "一定帯域幅を有するデュアルバンド準集中定数型電力分配器の構成法", 信学技報, vol. 121, no. 254, MW2021-73, pp. 35-39, 2021年11月.
- 大久保賢祐, 森隆詞, 岸原充佳, 坂口浩一郎, "フェライト装荷折り返し導波管の可変移相特性について", 信学技報, MW2021-128, pp. 96-99, 2022年3月.
- Y. Hashimoto, N. Itoh, T. Morishita, and K. Komoku, "A Study on High-Efficiency 24-GHz CMOS Voltage Control Oscillator," Proc. of 2021 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2021), S2-04-3, Nov. 2021.
- A. Tsuchiya, T. Kawai, A. Enokihara, "Design of Semi-Lumped-Element Power Divider with Arbitrary Three Matching Frequencies," Proc. of 2021 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2021), S1-10-3, Nov, 2021.
- 大谷将平, 河合正, 榎原晃, "平面回路構造による右手系/左手系複合線路を用いたKu/Ka帯ラットレーズ回路", 電気学会電子デバイス研究会, EDD21060, pp. 5-8, 2021年12月.
- 土屋歩, 河合正, 榎原晃, "任意3周波数整合準集中定数型電力分配器の設計", 2021年信学ソサ大, C-2-42, p. 52, 2021年9月.
- 福永祥利, 土屋歩, 河合正, 榎原晃, "920MHz帯広帯域集中定数素子型非等電力分配器の一構成法", 2022年信学総大, C-2-45, 2022年3月.
- 河合正, 土屋歩, 福永祥利, 榎原晃, "2周波数整合集中定数素子型任意電力分配器の構成法", 令和4年電学全大, シンポジウム講演 S12-1, 2022年3月.
- Y. Hayashi, T. Morishita, K. Komoku and N. Itoh, "A study on 24-GHz gain-boosted inductor-coupling cascode amplifier," TJMW Student Workshop, 3B-5, Dec. 7, 2021.
- S. Seguchi, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "A Study on Area-Saving of Triple-Band Concurrent Low-Noise Amplifier," TJMW Student Workshop, 3B-4, Dec. 7, 2021.
- K. Miyazaki, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "MOSFET Gate Width Optimization for NF of 920-MHz Cascode LNA," TJMW Student Workshop, 3B-3, Dec. 7, 2021.
- N. Kaneda, T. Morishita, K. Komoku, N. Itoh, "A Study on Wide Lock Range 28-GHz LC Injection-Locked Frequency Doubler," TJMW Student Workshop, 3B-1, Dec. 7, 2021.
- Y. Kayano, K. Komoku, T. Morishita, N. Itoh, "A Study on 20-GHz Wideband Low-Phase-Noise LC VCO," TJMW Student Workshop, 3A-5, Dec. 7, 2021.

採択番号：R02/B06

人の行動理解・解析に基づいた空間型ユーザインタフェース

[1] 組織

研究代表者

山本 豪志朗 (京都大学)

通研対応教員

高嶋 和毅 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

小倉 加奈代 (岩手県立大学)

磯山 直也 (神戸大学)

三武 裕玄 (東京工業大学)

池田 聖 (立命館大学)

藤本 雄一郎 (東京農工大学)

酒田信親 (奈良先端科学技術大学院大学)

真鍋 宏幸 (芝浦工大)

Sabah Boustila (University of Toronto)

武富 貴史 (サイバーエージェント)

[2] 研究経過

本研究では、空間における人々の様々な活動を支援し、そして強化するための空間型ユーザインタフェースについて議論する。関連する要素技術として、三次元空間内での人の行動解析技術、意図理解・推定、コミュニケーション技術、ロボット型のディスプレイ (e. g. ドローン等)、バーチャルリアリティ、人を引きつけるためのエンタテインメント技術やインタラクティブインストール等がある。これらは全て近年極めて活発に研究が進められているものである一方で、それぞれの分野における技術課題が依然として多いためお互いが十分に接続されていないことが多い。本プロジェクトでは、関連分野で活躍する若手による研究会を開催し、これらの分野の強みや課題、そしてそれぞれの接続を十分に議論することで、将来の空間型ユーザインタフェースの設計や実装について議論を深め、今後の共同研究の構想を練ることを目的とした。

本プロジェクトは、前進となる共同プロジェクトを発展させたもので、本年度が2年目である。昨年度同様に、感染対策のため、研究会を開催しなかった。昨年に引き続き、ヘッドマウントディスプレイや各種遠隔ミーティングツールを調達することができ、それらを活用する形で、オンラインでの研究会

を開催した。

1. 研究会

日時：令和3年2月24日

参加者者：

山本 豪志朗 (京都大学)

高嶋 和毅 (東北大学)

小倉 加奈代 (岩手県立大学)

三武 裕玄 (東京工業大学)

池田 聖 (立命館大学)

藤本 雄一郎 (東京農工大学)

酒田信親 (奈良先端科学技術大学院大学)

武富 貴史 (サイバーエージェント)

参加者それぞれに空間インタフェースに関するそれぞれの最新の研究成果を報告いただいた。其のプログラムを以下に示す。

山本 豪志朗「医用空間解析の試み (手術室, リハビリテーション室)」

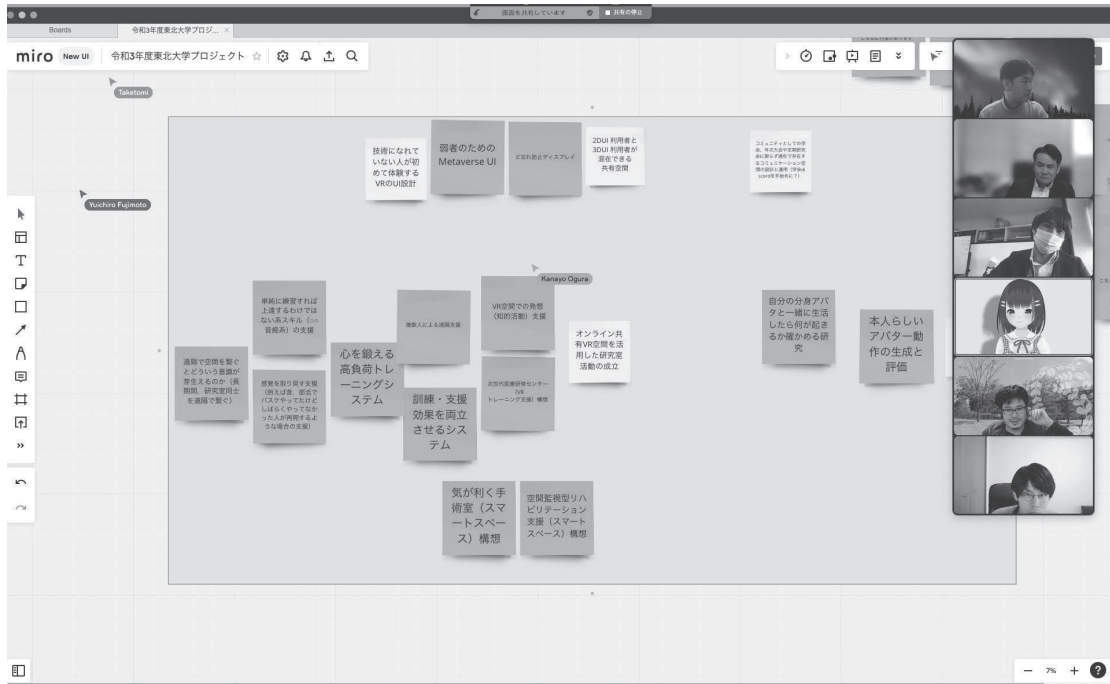
高嶋 和毅「モバイルARを使った位置制御型ドローン操作インタフェース」

小倉 加奈代「人間拡張を視野に入れた農業機械操縦のインタラクション分析」

三武 裕玄「VR アバター生成とインタラクション編集技術」

池田 聖「HMD 搭載視線検出器の自動校正法, Web 会議システムにおけるプレゼン傾聴度判定」

藤本 雄一郎「組み立て作業支援のためのARシステムの設計ガイドライン, VR/AR によるソーシャルスキルトレーニング, イベントカメラによる3次元形状計測と顔部位出」



酒田信親(ノイズキャンセリングヘッドマウントディスプレイの研究)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今年度は、ウェブ上の共有メモツールMiroを使ったバーチャル上での議論を進めた。昨年はヘッドマウントディスプレイを使った没入型VRを用いたが、今年は、より勘弁で情報共有やプレストに特化したツールを使うことで、異なるタイプの空間インタフェースを実践することができた。全員がVRの研究者であり、オンラインでのバーチャルミーティングの利点や課題等をそれぞれの専門の視点から議論できた。この点も空間ユーザインタフェースを扱う本共同プロジェクトを推進する上で有意義であった。また、それぞれの研究報告は多岐に渡り、バーチャルリアリティや空間インタフェースを構築する技術やインタラクションデザインに関して深く情報交換することができた。昨年度と同様に通研にて開催できなかったため、オンラインにての研究会ではあったものの、情報共有が簡単にできるため、内容はより濃いものとなり、コロナ渦における研究の進め方や実験方法などについてもお互いに意見交換が進んだ。また、チャットを主体としたワークスペースも新たにメンバで開設して、研究会開催以外のタイミングでも様々な形で議論できるような体制を整えることができたのも大きな成果である。来年度の共同プロジェクトを申請することにも合意することができ、有意義に研究会を終了することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、身体の三次元的な計測とそのユーザインタフェース応用を専門とする研究者と密な交流を実現し、具体的な共同研究テーマを模索することが目的である。一回の研究会を経て、お互いの交流は大きく発展した。今年度は、引き続きコロナ禍の話題が多かったが、今後は、より具体的な成果や関連業界への波及が見込めると考える。例えば、医療やスポーツ等についても同様の観点で深い議論が可能と考える。そのため、本プロジェクトを来年度も継続し、近い分野ではあるがお互い強い交流を持たない研究者同士でノウハウや研究動向を整理して、成果をまとめて公開するなどして、空間ユーザインタフェースを中心とした研究領域に貢献していきたい。

[4] 成果資料

なし

採択番号：R02/B07

異種データ融合による人・社会センシング基盤

[1] 組織

研究代表者：

岡部 寿男（京都大学学術情報メディアセンター）

通研対応教員：

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

荒川 豊（九州大学大学院システム情報科学研究科）

安本 慶一（奈良先端科学技術大学院大学先端科学研究科）

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

白石 陽（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

吉廣 卓哉（和歌山大学システム工学部）

乃村 能成（岡山大学大学院自然科学研究科）

白鳥 則郎（中央大学／東北大学）

東野 輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科／京都橋大学工学部）

渡辺 尚（大阪大学大学院情報科学研究科）

北上 真二（福井工業大学 環境情報学部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

Society 5.0に向けて、IoT（Internet of Things）と呼ばれるあらゆるものにセンサと通信機能が搭載され、絶え間なく情報が送られるようになってきている。そのような異種データを融合し、人と社会をセンシングする基盤の実現することを目的として研究を行った。

本プロジェクトの第二年度となる令和3年度は、前年度に引き続き、異種データを融合し人と社会をセンシングする基盤の実現に向けて、(1) スマートホームにおける通信・電力情報に基づく行動認識、(2) (1)におけるプライバシーおよび機器に対するトラスト実現技術、(3) スマートシティにおける人・車・電力データ融合データ処理技術に関する検討を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本年度も、新型コロナウイルス感染症拡大防止対策のため、年度前半は対面での研究会や研究打ち合わせが開催できず、テレビ会議を利用したオンラインでの非公式な打ち合わせやメーリングリストでの議論が中心であったが、後期になり、国立情報学研究所と連携し、まず以下の研究ワークショップを開催した。

日時：2021年10月10日（日）～11日（月）

場所：国立情報学研究所軽井沢国際高等セミナーハウスならびにオンライン

テーマ：「ヒューマンインザループCPSのための安全・安心なデータモデル流通基盤」

本プロジェクトからは、研究代表者の岡部、研究分担者の安本、菅沼、吉廣が参加した。

また、以下の2プロジェクトと合同で、東北大学電気通信研究所において、対面とオンラインを併用するハイブリッド形式の研究会を2日間かけて開催した。

日時：2021年11月26日（金）10時～18時

27日（土）9時～12時

場所：東北大学電気通信研究所 本館6階大会議室（M601）およびオンライン（WebEX）

共催：

- ・ R02/A25 「人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤」（研究代表者：峰野博史・静岡大学情報学部教授）
- ・ H R03/B12 「持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究」（研究代表者：石田繁巳・公立はこだて未来大学システム情報科学部准教授）

本プロジェクトからは26日の午後に7件の発表を現地会場で行ったほか、白鳥則郎・東北大学電気通信研究所名誉教授が「持続可能なシステムの研究とコロナ禍の個人的体験—研究の新展開と後方支援—」、通研対応教員の尾辻泰一教授が「Beyond 5G, 6G に向けたグラフエン THz デバイスの研究動向」と題してそれぞれ特別講演を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度の研究成果として、11月の研究会では以下に示す7件が発表された。

第一は、岡部らによる「ホームネットワークにおける Capability に基づくユーザー主体の認可及びアクセス制御」である。この研究では、ホームネットワークにおける Capability に基づく認可アーキテクチャとアクセス制御手法を提案し、デバイスの各機能を Capability で表現することで、ユーザーによる認可に基づき、ホームネットワーク下のデバイスごとに細か

いアクセス制御をすることが可能であることを示している。

第二は、安本らによる「フェデレーションラーニングによる観光オブジェクト認識モデル構築手法」である。近年、個人が撮影した写真などプライバシー情報を含むデータそのものをサーバに集約することなく、認識モデルの構築に必要なパラメータを用いて機械学習を行う手法として Federated Learning が注目を集めている。この研究では、観光客が持つ端末間での、消費電力に配慮し少ない通信回数での直接的な通信を活用した Federated Learning に基づくモデル構築の手法を提案している。

第三は、吉廣らによる「IoT データの経済流通方式の提案」である。IoT データストリーム流通のための価格決定手法について、需要関数に基づく価格競争が起こらない価格決定モデルを世界で初めて設計し、適切価格への収束を確認、数値モデルとして良好に機能することを示している。

第四は、東野らによる「アンビエントボックスキャッタ通信に基づく人やモノの状況認識技術とその応用」である。バッテリーレスの受動型 IoT センシングデバイスとボックスキャッター通信など超低消費電力の通信デバイスを組み合わせ、人やモノの状況認識に活用可能な受動型 IoT デバイスを開発し、それらを多数組み合わせた受動型 IoT デバイス網により高度な状況認識を行うことを提案している。

第五は、北上らによる「雨水資源化と内水氾濫緩和を両立させるクラウド型雨水タンク管理システム」である。IoT/クラウド技術による地域の雨水タンクの統合管理として、気象庁ナウキャストに連動して雨水タンクの給排水制御を実施、EU で開発されたオープンデータ活用プラットフォームである FIWARE を活用し、災害・ライフライン情報との融合を図っている。

第六は、渡辺らによる「地上・非地上ネットワークの展開」である。非地上ネットワークとして、地上の端末と衛星の直接リンクや衛星間通信におけるマルチホッピングや分散自己制御などの課題がある。この研究では、非地上ワークと地上ネットワークを介したアプリケーション情報の有用なアクセス/転送方法を開発している。

第七は、荒川らによる「ICT 行動変容に関する研究」である。ICT を活用した行動変容の実現に向け、九州大学伊都キャンパスにおいて 2020 年 6 月からバス停や食堂の混雑度状況を可視化する itocon を展開し、1 年半に亘って通勤・通学と食事における行動変容を促す取り組みを行っている。

2021 年 2 月 17 日に開催された共同プロジェクト研究発表会においては、これらの研究を紹介するポスター発表を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

昨年度に本プロジェクトで行った議論の一部は、JST 研究開発戦略センターの戦略プロポーザル「Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術」(CRDS-FY2020-SP-06) に反映され、JST の令和 3 年度の戦略的創造研究推進事業の戦略目標に採択された。

この戦略目標の下で、令和 3 年度から同事業において CREST「基礎理論とシステム基盤技術の融合による Society 5.0 のための基盤ソフトウェアの創出」とさきがけ「社会変革に向けた ICT 基盤強化」が設定され、前者の研究総括には研究代表者の岡部が、後者の研究総括には研究分担者の東野が選任された。

また、昨年度に引き続き今年度も 20th IEEE International Conference on Pervasive Computing (PerCom 2022) の併設国際会議として、研究分担者の安本を中心に以下を開催した。

- ・ 会議名：The 20221 International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow' 22)
- ・ 日時：2021 年 3 月 21 日
- ・ 開催場所：オンライン

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・ 原嶋春輝, 荒川豊, 石田繁巳, & 中村優吾. (2021). ウェアラブル心拍センサによるワーク・エンゲイジメントの推定. 第 29 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, 115-122.
- ・ Harashima, H., Arakawa, Y., Ishida, S., & Nakamura, Y. (2021, November). Estimating Work Engagement with Wrist-Worn Heart Rate Sensors. In 2021 Thirteenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU) (pp. 1-6). IEEE.
- ・ Yang Xu, Jia Liu, Yulong Shen, Xiaohong Jiang, Yusheng Ji, Norio Shiratori, "QoS-Aware Secure Routing Design for Wireless Networks with Selfish Jammers," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 20, no. 8, pp. 4902-4916, Aug. 2021. (IF 7.016)
- ・ Shinji Kitagami and Toshihiro Kasai, Development of a rainwater utilization system using LoRaWAN, Proceedings of International Workshop on Informatics, Sep. 12-13, 2021, pp. 189-192

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・ Satsuki Nishioka, Yasuo Okabe, [Centralized Control of Account Migration at Single Sign-On](#)

- in *Shibboleth*, Journal of Information Processing, 2021, Volume 29, Pages 769-777.
- Naoki Matsumoto, Daisuke Kotani, Yasuo Okabe, Capability Based Network Access Control for Smart Home Devices, International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow'22) (PerCom 2022 Workshops), March 2022.
 - S. Nishioka and Y. Okabe, Mutual Secrecy of Attributes and Authorization Policies in Identity Federation, 2021 IEEE 45th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC2021 SDIM Workshop), July 2021, pp. 1202-1209.
 - 荒川豊 (2021), 人間行動認識技術に基づく ICT 行動変容支援システムの広がり, 第 85 回 WIN 定例講演会, 第 40 回人間情報学会講演会 (招待講演)
 - 荒川豊 (2021), 混雑度センサや位置情報を活用した混雑・来街状況計測に関する研究, 計測自動制御学会スマートセンシングシステム部会 研究発表会 (招待講演)
 - Shusaku Tomita, Jose Paolo Talusan, Yugo Nakamura, Hirohiko Suwa, Keiichi Yasumoto: FedTour: Participatory Federated Learning of Tourism Object Recognition Models with Minimal Parameter Exchanges between User Devices, the 1st Workshop on Serverless computing for pervasive cloud-edge-device systems and services (StarLESS'22) (PerCom 2022 Workshops), 2022.
 - 河中昌樹, 富田 周作, 中村優吾, 諏訪博彦, 安本慶一: 観光地のリアルタイム状況説明システムの検討, 2021 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, 2021.
 - 吉廣卓哉, IoT データ経済流通のための価格競争が起きない価格決定手法の提案, 研究報告モバイルコンピューティングと新社会システム (MBL), 2021-MBL-100(19), 1-8, 2021 年 8 月.
 - Y. Matsui, T. Yoshihiro, A Route Guidance Method for Vehicles to Improve Driver's Experienced Delay Against Traffic Congestion. In: Hara, T., Yamaguchi, H. (eds) *Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services. MobiQuitous 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 419. Springer, 2021.
 - Hirofumi Miyajima, Noritaka Shigei, Hiromi Miyajima, and Norio Shiratori, "Securely Distributed Computation with Divided Data for Particle Swarm Optimization," The 28th International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2021), Hong Kong, Oct. 20-22, 2021 [Best Paper Award].
 - 北上眞二, 笠井利浩, IoT 技術を活用したクラウド型雨水タンク管理システムの開発, 令和 3 年度 (第 29 回) 日本雨水資源化システム学会大会予稿集, 2021/11/6-7, pp. 19-22
 - 平山由佳理, 笠井利浩, 北上眞二, リダンダンシーの考えにもとづく雨水の貯留・利用の計画と実証, 日本ヒートアイランド学会第 16 回全国大会, 2021/9/18, C-10
 - 笠井利浩, 北上眞二, 近藤晶, 三寺潤, 雨水活用による街の災害レジリエンスの向上, 地域活性学会 東日本震災後 10 年特別大会論文集, 2021/5/22-23, pp. 144-146

採択番号：R02/B11

音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発

[1] 組織

研究代表者

塚原 直樹 (株式会社CrowLab)

通研対応教員

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

末田 航 (SenseFoil PTE. LTD.)

佐藤 隆史 (株式会社IHI)

永田 健 (株式会社CrowLab)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

カラスによる農作物被害は約 14 億円に達している (農林水産省 令和 2 年度)。その他、都市部での騒音や糞害、配電トラブルなど多様かつ深刻な被害がある。カラスの被害を軽減するため、カラスを追い払うなどの技術が必要であり、民間企業等が様々な製品を販売しているものの、それらはカラスの生理・生態を無視したものが多く、決定打がないのが現状である。これまでの申請者の研究より、カラスは鳴き声によるコミュニケーションが発達しており、鳴き声をスピーカーから再生することでカラスの行動をコントロールすることができることがわかってきた。申請者はその技術をもとに株式会社CrowLabを立ち上げ、事業を展開している。しかしながら、それらの手法は申請者の感覚に頼る部分が大きく、この技術を様々な被害現場で広く活用するためには、自動化などの省力化が必須である。そこで本研究では、鳴き声に対するカラスの反応のデータを蓄積するとともに、機械学習等を用いることでカラスの行動制御手法の自動化が可能かどうか、研究会を通じて検討する。

本プロジェクトは、本年度が 2 年目であった。新型コロナウイルスの影響により、5 月 14 日、5 月 20 日、10 月 15 日にウェブ会議を、12 月 22 日に電気通信研究所を訪問しての対面での研究打ち合わせを行った。ウェブ会議では、塚原、北村、末田、永田の 4 名が、対面の打ち合わせでは、塚原、北村、佐藤に加え、末田がシンガポールよりウェブ参加した。

研究会の他、実質的な研究活動として、昨年度は、会津若松市、福井市、新潟市、八戸市、熊本市にてカラスの行動制御のための実証試験を行った。今年度は、八戸市、高岡市、越谷市にて実証試験を行った。これらの場所では、定点カメラを設置し、カラスのモニタ

リングを行った。また、東京都内において、カラスの警戒時の行動のデータを蓄積した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

3 回実施したウェブ会議では、これまでの研究の進捗と成果について議論した。また、関連研究も含め、NICT 等の競争的資金の獲得のための議論を行った。12 月に実施した対面での研究打ち合わせでは、プロダクトに向けた議論の他、今年度の総括と次年度の方向性について議論した。

実証試験では、以下の成果を得た。

越谷市では、夏から秋にかけて市街地に多数のカラスが飛来し、夜間から朝まで電線等に滞在し、道路の糞害が問題となっている。2021 年 7 月から 10 月の間、糞害を軽減するため、越谷市の協力のもと、糞害が顕著な北越谷駅周辺の 2 箇所にスピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。また、定点カメラを設置し、カラスの飛来状況を調べた。その結果、7 月から 8 月は、カラスの飛来を軽減することができ、糞害はほとんど発生しなかった。しかし、9 月から 10 月下旬までは、カラスの飛来を軽減することができず、糞害が発生した。この原因として、9 月より親元を離れた若いカラスの合流により全体の数が増え、群れ全体として警戒しにくくなっている可能性がある。その改善策として、音量を上げる、音源をカラスの居る位置に近づける、音源の位置を変えることを次年度は試したい。本取り組みは、2021 年 10 月 13 日のテレビ朝日「スーパーJチャンネル」にて紹介された。

高岡市では、夏から秋にかけて市街地に多数のカラスが飛来し、道路の糞害が問題となっている。2021 年 8 月から 10 月の間、糞害を軽減するため、高岡市の協力のもと、糞害が顕著な高岡駅周辺の 2 箇所にスピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。また、定点カメラを設置し、カラスの飛来状況を調べた。定点カメラの映像から、音声を再生した 19:00 から 21:00 には、カラスの飛来はほとんど確認できなかった。しかし、音声の再生を止めた 21:00 以降に多数カラスが飛来していることが明らかとなった (図 1)。通常ねぐらに入る時間帯は日の入り直後であり、今回 19:00 から 21:00 にカラスの飛来がほぼなかったことから、音声による追払い効果があつたと考えられる。次年度は、21:00 以降も音声

を再生することを試したい。本取り組みは、2021年9月27日のNHKBSプレミアム特番「東野幸治のこれがワタシの生きる道!？」にて紹介された。

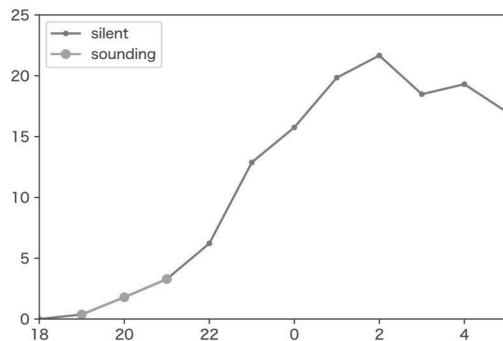


図1. 1時間ごとの羽数の平均値のグラフ
オレンジの折れ線は音声再生した時間帯について各時間の羽数の平均値を、青の折れ線は音声再生しなかった時間帯について各時間の羽数の平均値を示す。

八戸市では、冬場の中心市街地に多数のカラスが飛来し、夜間から朝まで電線等に滞在し、道路の糞害が問題となっている。2021年11月から2022年3月の間、糞害を軽減するため、八戸市の協力のもと、糞害が顕著な道路周辺の建物4箇所スピーカーを設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。また、定点カメラを設置し、カラスの飛来状況を調べた。その結果、スピーカー設置箇所の電線などには一時的なカラスの群れの飛来はみられたものの、カラスの飛来を軽減することができ、1月中旬以降はほぼ飛来は観察されなかった。八戸市によると、1月下旬より中心市街地には、ほとんどカラスは観察されず、目立った糞害は発生しなかった。昨年引き続き、カラスの飛来を長期的に軽減することに成功した。

また、東京都内を中心にカラスの警戒行動を誘発する試験を実施し、カラスの警戒時の鳴き声について分類を行った。本成果の一部については、日本鳥学会に「縄張り内でのプレイバック実験によるハシブトガラスの警戒声の分類」と題した口頭発表を行い、鳥類学の専門家らと議論を行った。

さらに、関連研究の成果について、日本音響学会 騒音・振動研究会に「カラスの音声コミュニケーションとそれを応用した被害対策」に発表を行い、音響学の専門家と議論を行った。その他、Animal Behaviour and Management (動物の行動と管理学会) に3件(「カラスロボットでカラスをだますには動きが重要である」、「忌避音声を使ったカラス対策の持続性を決める要因」、「音声再生によるミヤマガラスの集団ねぐら移動

の試み:熊本市での事例報告) 学会発表を行い、動物行動学の専門家らと議論を行った。

【特別支援(産学)に係る研究成果】

それぞれの研究会及び研究打ち合わせ、実証試験の実施に伴い、株式会社 CrowLab の永田氏を招聘した。株式会社 CrowLab では、カラス被害対策の製品開発やサービスの提供を行っている。本年度は各試験を実施し、カラスの行動制御手法の自動化に向けた議論を行った。また、研究打ち合わせに株式会社 IHI の佐藤氏を招聘した。佐藤氏は精密加工を専門とし、また、シンガポールの政府機関において、シーズ技術の実用化に関わるプロジェクトを推進する部署に所属していた実績より、プロダクトを見据えた意見を受けた。

【特別支援(国際)に係る研究成果】

それぞれのウェブ会議に SenseFoil PTE. LTD. の末田氏を招聘した。末田氏はヒューマンコンピュータインタラクションの専門家であり、本プロジェクトではその専門性を活かし、カラスとのコミュニケーションを試みるアニマルコンピュータインタラクションへと挑戦する。会議では、カラスの行動制御手法の自動化に向けた議論を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで行われた実証試験の成果は、下記の「[4] 成果資料」に記載した通り、新聞やテレビ、ラジオ、WEB 等の多数のメディアに取り上げられた。カラスによる被害対策に対する高いニーズがあるという理由だけではなく、野生動物と音声によるコミュニケーションを行うといった新たな切り口の社会課題の解決法に興味を持たれたと推測される。

本プロジェクトは、動物行動学とコンピュータサイエンスの異分野融合型の研究課題であり、それぞれの研究分野に対し、新たな手法の提案や新たなアプリケーション例の提案の面で、一石を投ずることが期待される。また、未だ萌芽的な研究分野である、コンピュータを介し動物とのインタラクションを目指す、アニマルコンピュータインタラクションの分野への貢献も期待できる。その他、本システムが開発されれば、野生動物と人の摩擦といった社会的課題を解決することにも貢献できる。

【4】論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

【論文】

- 1) カラスの音声コミュニケーションとそれを応用した被害対策, 塚原直樹, 永田健, 日本音響学会 騒音・振動研究会資料 N-2022-07 1-7 2022 年
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- 【学会発表】
- 2) カラスロボットでカラスをだますには動きが重要である, 塚原直樹, 永田健, 末田航, 栗本育三郎, Animal Behaviour and Management 57(3) 2021 年 9 月
- 3) 忌避音声を使ったカラス対策の持続性を決める要因, 永田健, 塚原直樹, Animal Behaviour and Management 57(3) 2021 年 9 月
- 4) 音声再生によるミヤマガラスの集団ねぐら移動の試み:熊本市での事例報告, 徳田誠, 塚原直樹, 永田健, 服部南, Animal Behaviour and Management 57(3) 2021 年 9 月
- 5) 縄張り内でのプレイバック実験によるハシブトガラスの警戒声の分類, 塚原直樹, 永田健, 日本鳥学会講演要旨集 2021 年度大会 2021 (CD-ROM) 64 2021 年 9 月

【招待講演等】

- 6) 大府市カラス被害対策講習会「カラスの生態と身近な物でできる農業被害対策」、2021 年
- 7) 那須塩原図書館“みるる”おはなし会「カラスの不思議大発見」、2021 年 7 月
- 8) 飯田市鳥獣被害対策協議会「カラスの生態と身近な物でできる農業被害対策」、2021 年 10 月
- 9) 宇都宮市西地区まちづくり推進委員会講演会「カラスの生態と対策～ごみ荒らしを防ぐには～」、2021 年 10 月
- 10) 野生動物対策技術研究会、2021 年 12 月
- 11) 東北電力ネットワークカラス対策研修会「カラスの生態と対策」、2021 年 3 月
- 12) 福井県カラス対策研修「カラスの生態と対策」、2021 年 3 月
- 13) あわら市「カラスの生態を知り、対策に活かす」2021 年 3 月

【メディア出演等】

- 14) 2022 年 3 月 17 日 テレビ東京「探求の階段」
- 15) 2021 年 12 月 25 日 東海テレビ放送「ニュース One」
- 16) 2021 年 10 月 17 日 テレビ朝日「ABEMA 的ニュースショー」

- 17) 2021 年 10 月 16 日 熊本日新聞
- 18) 2021 年 10 月 15 日 NHK熊本放送局
- 19) 2021 年 10 月 13 日 Yahoo! ニュース
- 20) 2021 年 10 月 13 日 テレビ朝日「スーパーチャンネル」
- 21) 2021 年 9 月 27 日 NHKBS プレミアム特番「東野幸治のこれがワタシの生きる道!?!」
- 22) 2021 年 7 月 27 日 上毛新聞
- 23) 2021 年 7 月 10 日 ミヤラジ起業塾
- 24) 2021 年 7 月 1 日 月刊ガバナンス No243
- 25) 2021 年 6 月 10 日 「BE-PAL 7月号」
- 26) 2021 年 6 月 4 日 読売新聞
- 27) 2021 年 5 月 27 日 TBS ラジオ「伊集院光とらじおと」
- 28) 2021 年 5 月 25 日 毎日新聞「サンデー毎日」
- 29) 2021 年 5 月 14 日 tbc 東北放送「ラジオな気分フライデーフライデー」
- 30) 2021 年 4 月 27 日 日経新聞
- 31) 2020 年 4 月 23 日 河北新報

採択番号：R02/B12

脳型 LSI とその関連技術国際共同研究

[1] 組織

研究代表者：

羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

Wai Tung Ng (Univ. of Toronto, Canada)

P. Glenn Gulak (Univ. of Toronto, Canada)

Ali Sheikholeslami (Univ. of Toronto, Canada)

Warren C. Gross (McGill Univ., Canada)

Vincent C. Gaudet (Univ. of Waterloo, Canada)

松岡 浩（(一) 日本海事協会）

夏井 雅典（東北大学電気通信研究所）

鬼沢 直哉（東北大学電気通信研究所）

米田 友洋（国立情報学研究所）

今井 雅（弘前大学理工学部電子情報工学科）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

（研究目的・概要）情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイスが急増することによる現代情報社会の危機的状況を回避するためには、その膨大な情報を効率的かつ瞬時に処理する新しいコンピューティングパラダイムを構築することが重要である。このような新しいコンピューティングパラダイムは、従来型のコンピュータアーキテクチャとは全く異なり、ハードとソフトの発想を一新し、人間的な知的処理機能を取り込んだ柔軟かつ超低消費電力なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型 LSI」を研究開発することが必要となる。

このような萌芽的研究開発を推進する上で、ハードとしての LSI 技術のみならず、人間、あるいは人間の脳が行っている認識・学習、あるいは自律分散制御といった高次の情報処理技術を如何に融合し、開発目標である「脳型 LSI」を実現していくかを検討する必要がある。そこで、本研究開発に関連する研究分野を専門とする国内外の著名な研究者らを交えた意見交換を、継続的かつ積極的に行っていく必要がある。

以上の理由により、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。

（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。具体的には、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。

令和2年度に続き令和3年度も新型コロナが猛威を振るい人的交流が大幅に制約されてしまい、当初計画していた研究会・国際会議等が開催中止となった。これは、研究交流先が大都市圏（海外の場合は、例えば、カナダ・トロント大学、国内だと東京圏内）である点にあると思われる。ただ、その中にもあっても、当該研究推進に関連する意見交換を以下の通り実施した：

（第1回意見交換会）

- ・日時：令和3年8月3日（火）10:00～11:00
- ・場所：完全オンラインによる開催

（第2回意見交換会）

- ・日時：令和3年8月18日（水）10:00～12:00
- ・場所：完全オンラインによる開催

（第3回意見交換会）

- ・日時：令和3年10月26日（火）11:00～12:30
- ・場所：完全オンラインによる開催

（第4回意見交換会）

- ・日時：令和3年11月5日（金）13:00～14:00
- ・場所：完全オンラインによる開催

（第5回意見交換会）

- ・日時：令和3年12月28日（火）9:00～10:00
- ・場所：完全オンラインによる開催

（第6回意見交換会）

- ・日時：令和4年2月7日（月）13:00～14:00
- ・場所：完全オンラインによる開催

上記の意見交換会では、本研究プロジェクトに参画しているメンバーから、簡単に最近の研究取組などを報告してもらい、それについて意見交換を行った。具体的には、現在取り組んでいる①CMOS invertible

logic (CMOS-IL) の自動設計フローに関すること, ② CMOS-IL 実現のためのハードウェアアーキテクチャ (例えば, データ表現方法の最適化など), ③不揮発性記憶機能を組み込んだ AI ハードウェアの構成方法, 等について意見交換を行った. ただ会議自体がオンラインであったため, より詳細にまで踏み込んだ議論など, まとまった時間で打合せ時間を確保するのが難しかった. そのため, 報告者を絞り (1, 2名程度/回), その内容について参加者で意見交換する形態で進めた.

なお, 新型コロナ (デルタ株) の終息後には対面での会合を予定していたが, 結果的には, その後も新型コロナ (オミクロン株) が急激な勢いで拡大してしまい, 年度内での対面による会合を断念した. 次年度 (最終年度) へ向け, この2年間の知見を活かし, 感染拡大下でも適切な意見交換ができるように, 実施形態をさらに検討することとした.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

令和3年度の主な研究成果は, 不揮発 AI ハードウェアの設計・試作である. まず, AI ハードウェアとして典型的な BCNN (binarized neural network) を取り上げた. これは, BCNN のアーキテクチャ詳細を理解することで, その計算量の負荷と効率化を行うための要点を把握するためである. 特に, BCNN は DNN (deep neural network) と比べてもハードウェア規模がそれほど大きくないが, これを手設計にて実装することは極めて困難 (ほぼ不可能) である. そこで, 本年度の取組として, 設計者は高級言語 (C 言語など) にて所望の BCNN の演算機能を記述し, これを自動的にハードウェアまで展開できる設計フロー (高位合成ツール; VIVADO HLS) の構築を行った.

図1は VIVADO HLS を用いた一連の設計フローの概要を示す. アーキテクチャ設計部では, VIVADO HLS にて記述したファイルが高位合成され, RTL シミュレーションにて所望の動作が実装されているかを検証する. RTL シミュレーション結果がパスすれば, それを ASIC チップへ実装したり, また FPGA ボードへ実装したり, とユーザが自由にハードウェアプラットフォームを選択できることとなる. 図2は, ASIC チップを実装した BCNN チップ (TSMC 製造ライン, 65nm CMOS) のレイアウト図を示す. 当該チップの設計に際しては, コンパイラメモリを用いて設計しており, メモリ部の設計に際しても自動化を活用している. 加えて, 図3で示すように, 同等機能の BCNN を FPGA に実装し, その動作も確認している. このように, 自動設計ツールを構築することで, 今後のアーキテクチャ改良が極めて取り組み易くなっている.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

令和3年度の特筆すべき成果として, カナダ・McGill 大学・Warren Gross 教授との共同研究として取り組んでいる「CMOS invertible logic」に関して, Simulated Annealer を実現した結果, 従来手法と比べて3桁以上の高速化 (解収束へのサイクル数の低減) が達成できることが明らかになった. 本成果は, 最先端ニューラルネットワーク技術として世界的に著名な国際ジャーナル誌 (IEEE Trans. Neural Network and Learning Systems) に掲載決定 (2022年3月に通知を受領) するなど, その今後の応用展開が大いに期待される.

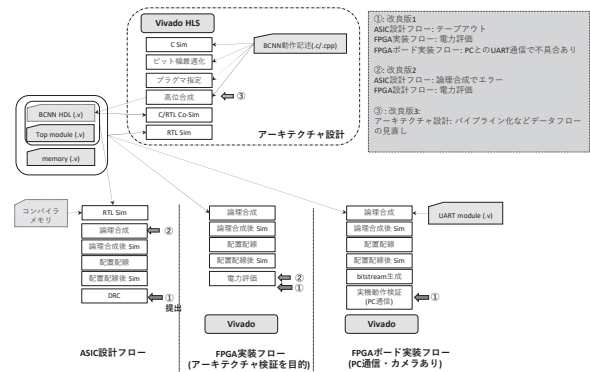


図1: 設計フローの自動化.

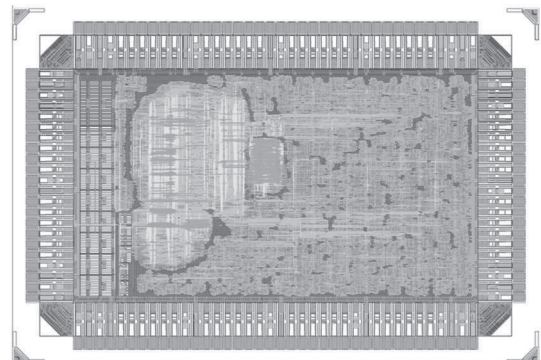


図2: 設計ツール自動化によるASICチップ.

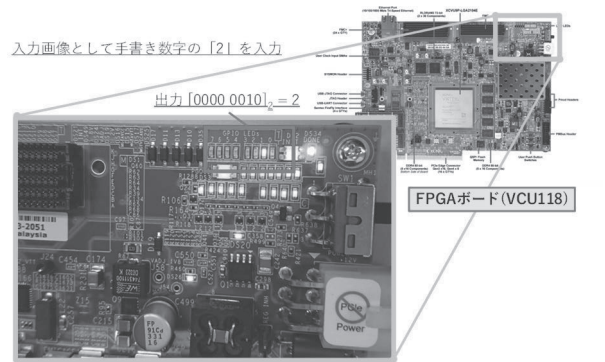


図3: FPGA実装による動作検証の様子.

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- 1) N. Onizawa, K. Katsuki, D. Shin, W. Gross, and T. Hanyu, "Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2022. (in press)
- 2) D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, "Design of an Active-Load-Localized Single-Ended Nonvolatile Lookup-Table Circuit for Energy-Efficient Binary-Convolutional-Neural-Network Accelerator" *Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)*, 2022 (in press).
- 3) F. Zhong, M. Natsui, and T. Hanyu, "Dynamic Activation of Power-Gating-Switch Configuration for Highly Reliable Nonvolatile Large-Scale Integrated Circuits," *Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)*, vol.61, no.SC, pp.1035-1~1035-10 (10 pages), Feb. 2022. DOI: 10.35848/1347-4065/ac461a
- 4) N. Onizawa and T. Hanyu, "CMOS Invertible Logic: Bidirectional Operation Based on Probabilistic Device Model and Stochastic Computing," *IEEE Nanotechnology Magazine*, vol. 16, issue 1, pp. 33-46, Feb. 2022. DOI: 10.1109/MNANO.2021.3126094
- 5) N. Onizawa, A. Tamakoshi, and T. Hanyu, "Hardware Acceleration of Large-Scale CMOS Invertible Logic Based on Sparse Hamiltonian Matrices" *IEEE Open Journal of Circuits and Systems (OJCAS)*, vol. 2, pp. 782-791, Dec. 2021. DOI: 10.1109/OJCAS.2021.3116584
- 6) D. Suzuki, T. Oka, A. Tamakoshi, Y. Takako, and T. Hanyu, "Design framework for an energy-efficient binary convolutional neural network accelerator based on nonvolatile logic," *Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, IEICE, vol. E12-N, no. 4, pp. 695-710, Oct. 2021. DOI: 10.1587/nolta.12.695, DOI: 10.1587/nolta.12.695
- 7) 夏井 雅典, 羽生 貴弘, "不揮発記憶機能が拓く新概念ロジック LSI 設計技術とその将来展望," *電子情報通信学会論文誌 C*, Vol. J104-C, No. 06, pp. 185-192, Jun. 2021. DOI: 10.14923/transelej.2020JCI0011
- 8) M. Kato, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Design automation of invertible logic circuit from a standard HDL description," *Journal of Applied Logics*, vol. 8, no. 5, pp. 1311-1333 (23 pages), June 2021.
- 9) N. Onizawa, M. Kato, H. Yamagata, K. Yano, S. Shin, H. Fujita, and T. Hanyu, "Sparse Random Signals for Fast Convergence on Invertible Logic," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62890-62898, April 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3072048

採択番号：R02/B14

3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合

[1] 組織

研究代表者：

櫻井 研三（東北学院大学教養学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

行場 次朗（尚絅学院大学）

Hiroshi Ono（York 大学心理学部）

Laurence R. Harris（York 大学心理学部）

蘆田 宏（京都大学文学研究科）

一川 誠（千葉大学文学部）

岡嶋 克典（横浜国立大学環境情報研究院）

北崎 充晃（豊橋技術科学大学工学研究科）

佐藤 雅之（北九州市立大学国際環境工学部）

中村 信次（日本福祉大学子ども発達学部）

金子 寛彦（東京工業大学総合理工学研究科）

古賀 一男（京都ノートルダム女子大学心理学部）

白井 述（新潟大学人文学部）

妹尾 武治（九州大学高等研究院）

寺本 渉（熊本大学文学部）

Philip M. Grove（Queensland 大学 心理学）

松宮 一道（東北大学大学院情報科学研究科）

栗木 一郎（埼玉大学理工学研究科）

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：15人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

現実の環境における観察者の行動は能動的であり、自己の身体を適切に制御しながら空間内を移動し、外界の対象に近づいてそれを自分の四肢で操作している。この能動的行動において主要な役割を果たす自己身体感覚情報は前庭覚と自己受容感覚であり、本プロジェクトでは、観察者の能動的運動が観察者自身の知覚をどのように変容させるのかという問題に焦点を当て、能動的観察事態における前庭覚と視覚、聴覚の関係、あるいは自己受容感覚と視覚の関係を明らかにすべく、このテーマに取り組んでいる国内外の研究者が集まり議論を深めることを目的として研究を進めている。

コロナの感染拡大により実験室実験が大幅に制限され、本プロジェクトのメンバーも具体的なデータ収集技法の変更を余儀なくされ、新しい実験手続きを模索している。本プロジェクト2年目の今年度は、この問題に焦点を当て、感染拡大防止のため、オンラインまたはメールで下記3件の研究打ち合わせを実施した。

1件目：2021年10月7日：参加者（分担者）：Hiroshi Ono, 一川誠, 櫻井,（外部からの参加者）下野孝一, 蒲池みゆきの5名でZoomミーティングを実施した。



2件目：2021年10月24日～2022年3月4日：2020年度に前プロジェクトで招聘した自己運動知覚の研究者であるJuno Kim准教授（New South Wales 大学, オーストラリア）とメールによる打ち合わせを実施。

3件目：2022年3月11日：ミーティングを古賀, 蘆田, 佐藤, 金子, 一川, 白井, 玉田, Tseng, 櫻井の9名でZoomにより実施した。



[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Zoomによるミーティングでは、参加者各自の研究動向を報告をしてもらい、コロナ禍に対応した実験とその成果について議論した。そこで報告された研究の概要を以下にまとめておく。

1) 白井述 (新潟大学)

・タブレット端末を用いたオンデマンド遠隔実験の手法を開発した。対面実験による先行研究と類似の遠隔実験を実施した結果、先行研究の結果が再現された。遠隔実験による乳児の視覚機能の評価に有効であることが示唆された。

・対面実験の代替手段の役割に留まらず、視覚発達実験の多様性を拓く可能性がある。様々な理由で研究室を訪問してもらうことが難しい参加者もいるし、乳児の場合は人見知りや慣れない場所での実験が難しい場合もある。遠隔実験手法は有効な解決方法となる。

・マニュアルを充実させることで、タブレットの使用法等についての質問は少なくなった。

2) 玉田靖明 (北九州市立大学)

・VRを利用した視覚環境でベクシヨンの生起を検証した。従来の知見では物体を握るだけだと意味的に整合性のない視覚刺激を呈示した場合はベクシヨンが抑制されたのに対し、上方に持ち上がる物体を掴んで意味的に整合性のある視覚刺激を呈示するとベクシヨンが促進されることが明らかになった。

・発表後の議論では、物体が上に持ち上げられる重さと体重の関係が指摘された。

3) 一川誠 (千葉大学)

・視聴覚間時間的再校正と視覚探索に気分の及ぼす影響と題する最近の実験結果を報告した。視聴覚刺激のオンセットとオフセットそれぞれの時間差への暴露によって自動的に再校正するわけではないこと。また、視聴覚刺激の間の部位(オンセット、オフセット)の主観的対応づけが時間的再校正に必要な可能性が指摘された。

4) 蘆田宏 (京都大学)

・VRを利用して部屋の傾きに対する主観的応答と身体応答を実験で測定した結果を、Laurence Harrisのモデルを適用して解析した。

5) Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

・日本語の概念としての「間」を実験心理学的に検討している。特にTensegrity Structureを例にとり、要素同士の物理的間隔と力学的関係を記述する物理モデルを構築できるのではないかと考えている。

・既に発表した論文では基本的に2名の人物同士の「間」を扱っているが、以前に開催したワークショップでは16名までのパフォーマンスを検討した。

6) 櫻井研三 (東北学院大学)

・遠隔での基礎実験で利用できる多言語対応の「三種の心理物理学的測定法でみる精度と確度」という学習サイトを運用してきたが、古いJavaで作成されていたため、コロナ禍に合わせてHTML5で書き直し、スマートフォンやタブレットでも利用できるように

した。

・英語版と日本語版が完成し、学生の利便性が格段に向上した。

・図形変形錯視で生起する見かけの回転を説明するモデルを修正した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

コロナ禍で課せられた制約の中で、どのメンバーもなんとか実験データの収集を試みている実情が、今回のミーティングで明らかになった。本プロジェクトの研究分担者には学会の中心的メンバーが多いことから、今回得られた知見は実験手法の向上に寄与すると考えられる。

採択番号：R02/B15

半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と 膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発

[1] 組織

研究代表者：

手老 龍吾（豊橋技術科学大学応用化学・生命工学系）

通研対応教員：

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

井出 徹（岡山大学自然科学研究科）

森垣 憲一（神戸大学バイオシグナル総合研究センター）

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会
CREST, JST

日時：2022年3月14日(月) - 15日(火)

場所：オンライン開催 (Zoom)

3月1日(月)

参加者：29人（うち外国人参加者 8人）

“Titania nanotubes in photocatalytic H₂ generation”

Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“The Scaffold of molecular nanocoils composed of organic conducting materials, and its electromagnetic properties with AC magnetic field”

Yoko Tatewaki¹, Tsuyoshi Minami², Sadafumi Nishihara³, Tomoyuki Akutagawa⁴, Takayoshi Nakamura⁵ (¹Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan, ²The University of Tokyo, Japan, ³Hiroshima University, Japan, ⁴Tohoku University, Japan, ⁵Hokkaido University, Japan)“RT atomic layer deposition of aluminum silicate and SiO₂ multiple layers for ion sorption”

Fumihiko Hirose (Yamagata University, Japan)

“Reconstitution of membrane proteins into a micropatterned model membrane”

Fuko Kueda, Fumio Hayashi, Kenichi Morigaki (Kobe University, Japan)

“Control of quenching efficiency in lipid bilayers on graphene oxide”

Jocelyn Lau Min Yuan¹, Kensaku Kanomata², Fumihiko Hirose², Ryugo Tero (¹Toyohashi University of Technology, Japan, ²Yamagata University, Japan)

“Nanopore intelligent sensing towards single peptide sequencing”

Yi-lun Ying, Xinyi Li, Hongyan Niu, Yi-Tao Long (Nanjing University, China)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

半導体加工技術とバイオテクノロジーと融合することにより、ナノバイオエレクトロニクス・ナノバイオテクノロジーへの展開が進められている。本研究では、生体高分子の中でも、特に創薬ターゲットや薬物副作用の観点から注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に、半導体ナノ微細加工技術と脂質二分子膜系の融合により、高感度・高精度センシングデバイスの開発、および脂質二分子膜系の全く新しい計測・制御技術の開発を目指している。

イオンチャネルは様々な疾患に関わる創薬の主要ターゲットタンパク質である。例えば、医薬品による催不整脈作用の問題から開発薬物に対する安全性薬理試験として心筋のhERGチャネルへの作用評価が必須となるなど、イオンチャネルに対する高効率な薬物スクリーニング系への需要が高まっている。今年度はチャネル電流計測を高い信頼性で行うシリコンチップの開発、多点チャネル電流計測システムの開発、およびチャネル計測実験のボトルネックとなっている膜融合過程の解明と改善方法の開発に取り組んだ。

2022年3月14-15日には、ナノ、バイオ、エレクトロニクス分野の研究者が集う国際シンポジウムを、本共同プロジェクト研究会の共催としてオンラインで開催した。周辺領域の研究分野における最近の動向と最新の研究成果について情報交換を行い、研究者同士での交流の場とした。以下にその概要を記す。

12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

3月2日(火)

参加者: 26人(うち外国人参加者4人)

“Shape-changing and conformable electrode arrays for peripheral nerve interfaces”

Lukas Hiendlmeier¹, Francisco Zurita¹, Tetsuhiko Teshima², Leroy Grob¹, Fulvia Del Duca¹, Bernhard Wolfrum¹ (¹Technical University of Munich, Germany, Germany, ²Medical & Health Informatics Laboratories, NTT Research Incorporated, USA)

“Electrochemical nano-imaging of vascular model and stem cell differentiation”

Hitoshi Shiku, Yuji Nashimoto, Kosuke Ino (Tohoku University, Japan)

“Anodic TiO₂ nanotubes for biomedical applications”

Anca Mazare^{1,2}, Patrik Schmuki^{1,3,4} (¹University of Erlangen-Nuremberg, Germany, ²Tohoku University, Japan, ³Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Czech Republic, ⁴King Abdulaziz University, Saudi Arabia)

“Artificial cell membrane systems for controlling intramembrane voltages”

Ayumi Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan)

“Breakdown of the Nernst-Einstein relation in carbon nanotube porins”

Zhongwu Li (China University of Mining and Technology, China)

“Non-raft membrane domain formation in cholesterol-containing lipids bilayers: polyunsaturated lipid domains”

Mervin Wei Shern Goh, Ryugo Tero (Toyohashi University of Technology, Japan)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

脂質二分子膜デバイスにイオンチャネルなどの膜タンパク質を埋め込む際には、球殻状の脂質二分子膜構造(リポソーム)に膜タンパク質を埋め込んだ状態(プロテオリポソーム:PL)の状態にして、デバイス中の人工脂質二分子膜と融合させる方法が用いられる。この際にPLの融合効率が実験全体の歩留まりを決める律速段階であるが、膜融合の操作は経験的なパラメータに頼らざるを得ないのが実情であった。我々はこれまでに支持脂質二重膜系を用いて、イオンチャネル計測に用いられる phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), cholesterol (Chol)から成る

脂質二分子膜内に、PL融合サイトとして働く微小ドメインが存在しており、多価不飽和PEがその形成を誘起していることを見出した。PEの不飽和度を2-12に網羅的に変えて微小ドメイン形成の不飽和度依存性を詳細に調べることで、PEの2本のアシル鎖の不飽和度と2重結合数の配分によってドメイン形成能が大きく変化することを明らかにした。また、多価不飽和PCを用いても同様のドメイン形成が起きること、しかしながらそのドメイン形成能は多価不飽和PEよりも低いことなどを見出した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

イオンチャネルは、アルツハイマー病や禁煙、麻酔、不整脈等の疾患に関わる創薬の主要ターゲットタンパク質であり、イオンチャネルに対する高効率な薬物スクリーニング系への需要が高まっている。本プロジェクトは電子工学、神経科学、生理学、化学の融合により初めて成し遂げられるものであり、それぞれの分野の研究者がその成果をお互いにフィードバックすることで今後の進展が期待される。また、無機・有機ナノ材料や膜タンパク質のナノポア応用など、材料化学と生理学の技術を融合した学際領域研究についての講演が多いのも本研究会の特徴である。

2021年度も前年度に引き続き国内外への移動には制約があったものの、オンラインでの研究会開催が一般的になり、海外の研究者にも講演を依頼しやすくなったのは利点であった。2日間の開催でのべ55人の参加者のうち、12人が外国人参加者であった。2020年度より本プロジェクトで開催した国際シンポジウムでの交流で得られたネットワークを活用して、2022年度もシンポジウムの申請を検討する。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト(謝辞あり)

<論文>

・ M. W. S. Goh and **R. Tero**, "Non-raft submicron domain formation in cholesterol-containing lipid bilayers induced by polyunsaturated phosphatidylethanolamine", *Colloids Surf. B*, **210**, 112235 (11 pages) (2022).

・ M. W. S. Goh and **R. Tero**, "Cholesterol-induced microdomain formation in lipid bilayer membranes consisting of completely miscible lipids", *Biochim. Biophys. Acta Biomembr.*, **1863**, 183626 (10 pages) (2021).

<学会発表>

・ M. W. S. Goh and **R. Tero** "Non-raft membrane domain formation in cholesterol-containing lipids bilayers: polyunsaturated lipid domains", 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Mar. 15, 2022, Online.

・ J. M. Y. Lau, K. Kanomata, F. Hirose and **R. Tero** "Control of quenching efficiency in lipid bilayers on graphene oxide",

12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, Mar. 14, 2022, Online.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

<論文>

• **R. Tero** and N. Kobayashi, "Substrate-induced electrostatic potential varies composition of supported lipid bilayer containing anionic lipid", Jpn. J. Appl. Phys., 61 (SC), SC1025 (5 pages) (2022).

<学会発表>

• M. W. S. Goh and **R. Tero** "Non-raft microdomain formation in cholesterol-containing lipid bilayers induced by polyunsaturated phosphatidylethanolamine", ACS Spring 2022 (American Chemical Society National Meeting & Expositions), 3658058, March 20, 2022, San Diego, CA, USA and online.

• **R. Tero** and N. Kobayashi "Substrate-Induced Electrostatic Potential Varies Composition of Supported Lipid Bilayer Containing Anionic Lipid", 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021), G-6-08, Sep. 8, 2021, All-Virtual Conference.

• J. M. Y. Lau, K. Kanomata, F. Hirose and **R. Tero** "Controlling Efficiency of Graphene Oxide Quenching to Lipid Bilayer", The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9), PS30-100, Nov. 30, 2021, Online.

• Lau Jocelyn Min Yuan, 鹿又 健作, 廣瀬 文彦, **手老龍吾**, "脂質二重膜に対する酸化グラフェンの蛍光クエンチ効率の制御", 第 52 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, [A2b-17] 2021 年 10 月 31 日, オンライン (口頭).

採択番号：R03/B01

スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓

[1] 組織

研究代表者：

三浦 良雄 (物質・材料研究機構)

通研対応教員：

白井 正文 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

岡林 潤 (東京大学 理学研究科)

柳原 英人 (筑波大学 数理物質系)

三谷 誠司 (物質・材料研究機構)

介川 裕章 (物質・材料研究機構)

増田 啓介 (物質・材料研究機構)

小泉 洸生 (筑波大学 数理物質科学研究科)

小田 洋平 (福島工業高等専門学校)

千葉 貴裕 (福島工業高等専門学校)

芝田 悟朗 (東京理科大学 理学部第一部)

名和 憲嗣 (三重大学 工学研究科)

田中 清尚 (分子科学研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本共同プロジェクト研究の目的は、磁気メモリや磁気センサーなどのスピントロニクスデバイスにおいて鍵となる、電子のスピンと軌道および多極子の結合によってもたらされる新規界面物性の直観的理解を、薄膜作製・放射光によるスピン・軌道・多極子の測定・第一原理計算を融合させて議論することで得ることにある。そして、得られた知見を、新しい機能性を有する磁性スピントロニクス材料の基盤研究へと展開することにより、新しいスピントロニクスデバイスの提案に結び付ける。高度な情報社会を支えるために電気通信技術のさらなる発展が必要不可欠であり、本研究の成果はその一端を担う高速・高密度・低消費電力でかつ信頼性の高いスピントロニクスデバイスの創製に寄与することが期待できる。

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磁気モーメント、軌道モーメント、および四極子モーメントの分光学的測定、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、界面での結晶磁気異方性・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歪による効果などの研究を進める。そのために、それぞれの専門分野(薄膜作製・磁気物性解析・放射光解析・理論計算)の研究者が本共同プロジェクト研究に参加し、各々の

研究成果を有機的に結び付けて議論を行う。

2021年度は以下の日時・内容で通研共同プロジェクト研究会を行った。

1. 2021年5月22日第1回(オンライン)

話題提供者

岡林潤：13:30-14:45

「X線磁気分光による量子界面の軌道計測に向けて」の題目により講演した。今後の展開として、スピン軌道エンタングルメント、量子界面(量子化界面)の研究について、議論を行った。金属超薄膜の量子井戸状態の形成メカニズムについて議論し、意見交換を行った。

名和憲嗣：14:45-16:00

「強磁性体/酸化物界面における垂直磁気異方性と軌道モーメントの電界効果」の題目にて講演された。Fe/MgOの電界効果について、軌道別な変調について説明された。面直内方向での量子化軸の定義(特に面内磁化方向での量子化軸の取り方：垂直をz軸としたままにするか、新たに面内方向で量子化軸を定義するか)について議論した。

三浦良雄：16:10-17:20

「量子井戸界面の軌道と四極子の第一原理計算」の題目で講演された。Cr/Fe/MgOでのFeの量子化準位の形成と、その軌道状態について議論した。 Δ_1 バンドの量子化の本質について議論を行った。

2. 2021年9月25日第2回(オンライン)

話題提供者

岡林潤：14:00-15:00

「Exploring Orbital World using X-ray Magnetic Spectroscopies」の題目にて講演した。界面スピン軌道、界面四極子、マルチモーダル測定についてこれまでの総論を述べ、トポロジカル軌道状態について提案した。その後、Coフェライトの垂直磁気異方性について、XMCD、XMLDの結果を基に議論し、意見交換を行った。

介川裕章：15:00-15:45

「Perpendicular magnetic anisotropy at epitaxial interface: interfaces with $\text{MgAl}_2\text{O}_4(001)$ and $\text{MgO}(001)$ 」の題目にて講演された。 $\text{Co}_2\text{FeAl}/\text{MgO}$ 界面でのAlの分布についてTEMによる精密観測、 MgAl_2O_4 を用いた際の界面整合性について議論された。そして、量子井戸閉じ込め効果について議論された。

Xiaoyan Zhong：16:00-18:00

「Atomic scale electron magnetic dichroism and its applications on interfacial magnetism」の題目で講演された。TEM を用いたEMCD の計測原理について説明され、原子分解能での分光測定について紹介された。スピネル型酸化物におけるサイト別のMCD を紹介され、線二色性への応用や今後の展開について議論された。

3. 2021年11月27日-28日第3回

(オンサイト@東北大学電気通信研究所)

話題提供者

増田啓介：一日目 13:30-15:30

「TMR の温度依存性に対する新たな理解に向けて：*sd* 交換相互作用の重要性」の題目にて講演された。TMR の温度依存性が生じる理由を理論計算から議論された。スピン揺らぎと *sd* 交換相互作用重要性を指摘され、原子内および原子間交換相互作用について議論した。

芝田悟朗：一日目 15:30-17:00

「5d 遷移金属における磁気八極子：最近の研究から」の題目にて講演された。Mn₃Sn のクラスター八極子について、XMCD を用いた検出についての論文を紹介され、内容を議論した。磁気双極子 *m_i* の計測ができているか、また、双極子が3つから成る八極子の計測となっているか、について議論を行った。そして、5d 電子系での原子内八極子の計測に向けた議論を行った。0s 酸化物での八極子秩序を示唆する文献を紹介され、その計測可能性について議論を深めた。

小泉洸生：一日目 17:00-17:30, 二日目 9:30-10:30

「NiCo₂O₄ (001) 薄膜の円錐磁気異方性とその特異な磁気輸送特性」の題目で講演された。NiCo₂O₄ の円錐磁気異方性について実験結果と理論解析による議論を行った。そして、ホール効果について、異常ホール効果では説明できず、異方的なホール効果の存在を示唆するデータを示された。ベリー曲率の異方性、トロイダル四極子、八極子を考慮することで説明可能であることを磁気点群の解析(4mm)から議論された。

小田洋平：二日目 10:30-12:00

「種々の金属・合金の磁気特性および伝導現象の第一原理計算に関する最近の話題」の題目で講演された。Fe₂Ni₂C, Fe₂Ni₂N など化合物について、構造安定性、磁気異方性を議論した。Fe の Co 化という考えに基づいた電子状態の議論を行った。

4. 2022年2月19日第4回 (オンライン)

話題提供者

三谷誠司：13:00-14:00

「スピン流、軌道流、そして、多極子流」の題目にて講演があった。スピン流との類似性から、軌道流も非占有状態の流れとして定義できることが議論された。

また、最近の研究として、Cu に酸素を吸着して系で、スピンのラッシュバ効果と類似した、軌道ラッシュバ効果の研究が紹介された。

千葉貴裕：14:00-15:30

トポロジカル絶縁体磁性ヘテロ構造における磁化ダイナミクスの電圧制御」の題目で講演があった。トポロジカル物質を用いたスピン流注入におけるスピンホール角の最近の研究紹介と、トポロジカル物質を用いた磁化反転に関する研究紹介をされた。トポロジカル物質とメタル界面の垂直磁気異方性とスピン軌道トルクの電界効果を利用して、より低電流密度で磁化反転ができることが理論計算により示された。

新屋ひかり：15:45-17:20

「金属・合金の伝導特性に対する第一原理計算」の題目で講演があった。熱電材料、希薄磁性半導体、ハーフメタル材料に関する研究紹介をされた。ハーフメタル材料の研究では、その電子状態と電気伝導の有限温度における振る舞いを、フォノン励起およびマグノン励起を実効的に取り入れられた第一原理計算により解析された。そして、ハーフメタル材料の電気抵抗の温度依存性等が実験の振る舞いとよく一致することが示された。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

トンネル磁気抵抗(TMR)効果の有限温度における振る舞いを理論解析し、界面での伝導電子スピンと局在スピン間の *sd* 交換相互作用が、局在スピン間の *dd* 交換相互作用よりも TMR の温度依存性に大きく寄与していることを理論的に明らかにした[1]。また、TMR 素子において低エネルギー磁化反転のために必要不可欠なスピン軌道トルクを第一原理計算により解析した。強磁性金属 L1₀-FePt, CoPt, NiPt ではスピン軌道トルクの指標となる異常ホール伝導度(AHC)とスピン異常ホール伝導度(SAHC)の比は、価電子数の増加とともに増加する傾向にあることを理論的に明らかにした[2]。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、複数の研究機関の間での研究者交流が飛躍的に活性化した結果、**科学研究費補助金基盤研究(S)**「トンネル磁気抵抗効果の新展開：軌道対称性効果の解明と新規量子デバイスの創出」(代表：三谷誠司)のプロジェクトに発展した。基盤研究(S)では、TMR における軌道対称性の効果を解明し、真にコヒーレントな TMR の実現と制御を行うことで、数千%の TMR 比や量子コヒーレンスを利用した新規デバイスの開発を行う。基盤研究(S)を推進するために、本共同プロジェクト研究で関連の研究者間で活発に議論し、界面軌道磁気分光手法の開拓、軌道磁性体薄膜・ヘテロ構造の創製、軌道ホール効果の観測による非平衡界面軌道磁性の解明等を行う。

[4] 論文や学会発表等

(本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リスト(本年度分に限る)を掲載してください。)

(1) 成果リスト(謝辞あり)

(2) 関連リスト(謝辞なし)

[論文]

[1] K. Masuda, T. Tadano, Y. Miura, Phys. Rev. B **104**, L180403 (2021). "Crucial role of interfacial s-d exchange interaction in the temperature dependence of tunnel magnetoresistance"

[2] Y. Miura and K. Masuda, Phys. Rev. Material **5**, L101402 (2021). "First-principles calculations on the spin anomalous Hall effect of ferromagnetic alloys"

[3] H. Onoda, H. Sukegawa, J. Inoue, and H. Yanagihara, Advanced Materials Interfaces, **8**, 2101034 (2021). "Strain Engineering of Magnetic Anisotropy in Epitaxial Films of Cobalt Ferrite"

[4] H. Koizumi, I. Suzuki, D. Kan, J. Inoue, Y. Wakabayashi, Y. Shimakawa, and H. Yanagihara, Physical Review B **104**, 014422 (2021). "Spin reorientation in tetragonally distorted spinel oxide NiCo₂O₄ epitaxial films"

[5] K. Masuda, H. Itoh, Y. Sonobe, H. Sukegawa, S. Mitani, and Y. Miura, Phys. Rev. B **103**, 064427 (2021). "Interfacial giant tunnel magnetoresistance and bulk-induced large perpendicular magnetic anisotropy in (111)-oriented junctions with fcc ferromagnetic alloys: A first-principles study"

[6] Thomas Scheike, Zhenchao Wen, Hiroaki Sukegawa, and Seiji Mitani, Appl. Phys. Lett. **120**, 032404 (2022). "Enhanced tunnel magnetoresistance in Fe/Mg₄Al-0_x/Fe(001) magnetic tunnel junctions"

[学会発表]

[1] Y. Miura and K. Masuda, "Theoretical studies on the spin anomalous Hall effect of ferromagnetic alloys", 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics. 2021年11月

[2] K. Masuda, H. Ito, Y. Sonobe, H. Sukegawa, S. Mitani and Y. Miura, "Theoretical Prediction of Giant Tunnel Magnetoresistance and Large Perpendicular Magnetic Anisotropy in Unconventional (111)-Oriented Magnetic Tunnel Junctions", The 5th Symposium for The Core

Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science. 2021年10月

[3] 三浦良雄, "軌道と四極子による磁性薄膜の結晶磁気異方性の理論", 第82回応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム 理論と実験の協奏〜スピントロニクス材料・現象・素子, 2021年9月

[4] 増田 啓介, 伊藤博介, 園部 義明, 介川 裕章, 三谷 誠司, 三浦 良雄, "Giant tunnel magnetoresistance and perpendicular magnetic anisotropy in (111)-oriented magnetic tunnel junctions with L1₁-ordered ferromagnetic alloys", 第82回応用物理学会秋季学術講演会. 2021年9月

[5] 名和 憲嗣, 増田 啓介, 三浦 良雄, "MgO と MgAl₂O₄ を用いた3層型バリアによる磁気抵抗効果のバイアス電圧依存性の改善", 第45回 日本磁気学会学術講演 2021年9月

[6] 増田 啓介, 伊藤博介, 園部 義明, 介川 裕章, 三谷 誠司, 三浦 良雄, "(111)配向磁気トンネル接合の理論研究", 第45回 日本磁気学会学術講演会. 2021年9月

採択番号：R03/B02

光のモード高度制御に関する研究開発

[1] 組織

研究代表者：

浜本 貴一(九州大学大学院総合理工学研究院)

通研対応教員：

吉田 真人(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

姜 海松(九州大学大学院総合理工学研究院)

韓 瑜(九州大学大学院総合理工学府)

Mahmoud Nasef(九州大学大学院総合理工学府)

肖 何(九州大学大学院総合理工学府)

陳 賛輝(九州大学大学院総合理工学府)

松原 瞬(九州大学大学院総合理工学府)

庄田 啓一郎(九州大学大学院総合理工学府)

王 韻杰(九州大学大学院総合理工学府)

範 志遠(九州大学大学院総合理工学府)

河崎 泰成(九州大学大学院総合理工学府)

延べ参加人数：12人

研究費：

ファイバアイソレータ	137,127	円
ファイバカップラ	60,274	円
基板加工カッター等	33,440	円

[2] 研究経過

本共同研究は、光の最後の情報資源と言われる空間モードに関する東北大学の光通信システムに関わる研究成果と九州大学のデバイスに関わる研究成果について討議を進め、将来の“空間モード学”ともいべき新しい学術領域を切り開くことを目的とし、本共同研究の進展に基づき、科研費などへの応募を目指すものである。

本プロジェクトは、本年度が第一年度で、以下のような成果報告会を行った。

会期 2022年2月28日(月) 13:00-17:00

場所 ZOOMによるオンライン開催

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、上記日程にて令和3年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会を開催した。テーマ名は以下の通りである。

「超広帯域通信のための次世代システムの創成に関する研究—光のモード高度制御に関する研究開発—」

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、東北大電気通信研究所で行われている高速通信システムに関する研究開発状況、並びに九州大学総合理工学研究院にて行われているモード多重光デバイス、更には高速変調技術に関する研究内容についての理解が深まり、また、意見交換を進めることができた。将来の共同研究発展へむけ、今後検討を進めていきたい。

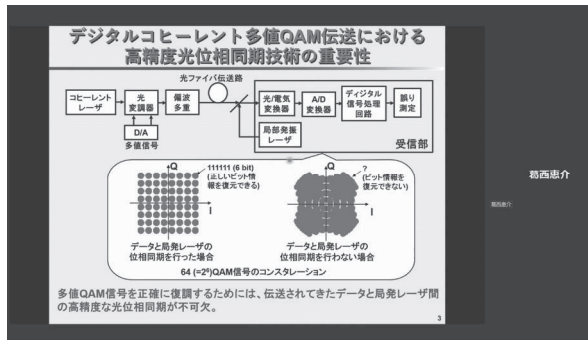
[4] 成果資料

【研究会プログラム】

今年度は以下のプログラムにて研究会を実施した。

- Fabry-Perot LD 及びECLD を用いた光注入同期回路の性能比較、葛西 恵介、管 貴志、吉田 真人、廣岡 俊彦、中沢 正隆(東北大学)
- アクティブ MMI レーザにおけるフォトン・フォトン共振及びその解析、肖 何、庄田 啓一郎、高津溪一郎、姜 海松、浜本 貴一(九州大学)
- 10.2 Tbit/s (1.28 Tbit/s/ch, 8 ch)-2100 km WDM ナイキストパルス伝送、渡邊 碧、吉田 真人、廣岡 俊彦、中沢 正隆(東北大学)
- ナノピクセルによる3入力同位相合波器、庄田 啓一郎、肖 何、高津溪一郎、姜 海松、浜本 貴一(九州大学)
- (招待講演) シリコン光集積回路における機械学習の実装、Cong Guangwei(産総研)
- 混合変調レーザの広帯域小信号応答特性の解析、島 卓未、吉田 真人、横田 信英、八坂 洋(東北大学)
- 高集積・小型化の空間多重デバイスのための光モードコンプレッサー、王 韻杰、姜 海松、浜本 貴一(九州大学)

今回は特に、シリコンフォトニクスに関する新しい動き、特に光ニューラルネット実現のための集積回路に関する講演を招待講演として行っていただいた。また引き続き最近話題になっているフォトン・フォトン共振について、活発な議論を行った。なお今年度は対面実施を目指したものの、COVID-19(オミクロン)感染急拡大の影響を受け、オンライン開催実施への変更となった。今回の検討内容などを踏まえ、今後、当該分野を含めた共同研究を検討していきたい。



研究会当日の様子

以上

採択番号：R03/B03

知的生産性場のモデル化と生産性向上のための 計算機による介入手法の検討

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

通研対応教員：

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

藤原 健（国立中正大学（台湾））

坂本 大介（北海道大学）

吉田 成朗（東京大学）

杉浦 裕太（慶應義塾大学）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

新たなコンテンツやイノベーション創出には集団で議論することが重要であり、これを集団の知的生産性と呼ぶ。集団の知的生産性を向上させるために、様々な手法が検討されている。我々は特にコンピュータによって集団の知的生産性の状況を取得・解析し、その生産性を向上させるように情報を提示するシステムの実現を目指し、情報工学的アプローチと、社会心理学的検証手法によって確立させることについて議論する。具体的には、センサやカメラ、3次元トラッキング技術や新たなデバイス実装といった情報工学的知見を駆使して集団のコミュニケーション特徴を取得し、評価することで、知的生産性モデルを確立し、実際の社会心理額実験を通じたモデルの検証およびその利用を目指す。そのための要素としては、議論の深化・活性化を表す集合的なコミュニケーション特徴の議論と、これをコミュニケーションに影響を与えることなく環境に応じてセンシングする手法を開発、さらに、社会心理学実験の実施手法の確立と、実験を通じ得られたコミュニケーション特徴量と集団の知的生産性の関連についての議論、得られた手法のモデル化の実施と、実際のコミュニケーション場への適用に関する議論などが挙げられる。特に、本研究は、社会心理学と情報科学との連携を密接に図る必要がある。そのために、関連分野で活躍する若手による研究会を開催し、それぞれ

の分野の強みや課題、さらにはこれら分野を超え、ロボット工学や人文学、デザイン学といった多種多様な分野を俯瞰して束ね、新たな知見を得ること、さらには要素技術を体系化することで今後の研究構想を練ることとする。

本プロジェクトでは、年1回から2回の研究会を通研、または通研+VR空間のハイブリッドスタイルにより開催し、具体的な共同研究や研究費申請書の立案を目指す。日程は2~3日程度とし、参加者の情報交換の場を設けるとともにワークショップ形式や、様式に依存しない自由討論形式、ハッカソン形式など、議論を深化するために有効な実施体制を採る。さらに得られた知見をメタ研究の形で発表出来るレベルを目指す。研究会においては、活発な議論のためには少人数が適当であると考えられることから、参加人数をそもそも絞るか、グループに分かれてのディスカッション方式を検討する。

本プロジェクトでは、本年度は一回のオンライン研究会を開催した。以下、研究活動状況の概要を記す。

1. 研究会

日時：令和3年2月14日

参加者：

伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

藤田 和之（東北大学電気通信研究所）

真鍋 宏幸（芝浦工業大学）

山本 景子（京都工芸繊維大学）

高田 峻介（神戸市立工業高等専門学校）

内容と議論：

本研究の目標である集団の知的生産性の向上のために、知的生産性の取得という側面と、それを踏まえた知的生産性向上手法の確立の2つが重要である。そこで本研究

会では、特に知的生産性の取得に関して、どのようなセンサデバイスが考えられるか、さらにそれをどのように実装するかについて検討するために、各自が持つデバイス実装技術と、実際にその技術を応用している例について紹介し合い、意見交換を実施した。その後、その議論を元に、未来のオフィス空間に求められる計測技術、3Dプリンタによるデバイス実装技術などについて有意義な意見交換をすることができた。以下のスクリーンショットはオンラインで開催された本研究会の様子である。



また、それぞれの発表のタイトルは以下の通りであった。

伊藤 雄一 (青山学院大学 理工学部)

「無意識コンピューティングの実現に向けた取り組み」

真鍋 宏幸 (芝浦工業大学)

「3D プリンタと転写箔を用いた電子基板の製作手法」

山本 景子 (京都工芸繊維大学)

「幼児の描画能力の発達段階推定のためのセンサ内蔵筆記具の提案」

高田 峻介 (神戸市立工業高等専門学校)

「POP Cart: Product Recommendation System by an Agent on a Shopping Cart」

高嶋和 毅 (東北大学)

「電磁誘導型スマートフォンを用いた VR 歯切削シミュレータの開発」

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

上記研究会は充実したものとなり、各メンバーが持つ技術の共有と、「知的生産場のモデル化と生産性向上のための計算機による介入」に向け、必要な要素やユーザインタフェース技術に関する基礎の基礎となるデバイス実装について確認することができた。実装したセンサから得られたデータを用いて知的生産場のモデル化を実施するには、対人社会心理学に基づく被験者実験や、統計学に基づくデータ解析が必要であり、引き続き研究会を開催し、そこに必要となる要素技術や検討課題について洗い出し、科研費や各種財団の助成事業等の申請に対する準備を進めていくことを検討している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの目的で述べた通り、本プロジェクトは社会心理学と情報科学という二つの分野において、分野横断的アプローチを採り、計算機によって人の知的生産性をどのように評価し、どのように向上できるかという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつけようとするものである。また、参加者はHCI業界における若手トップランナーであり、このメンバーによって共同研究プロジェクトを実際に立ち上げ、本邦の発展に寄与することを検討している。本プロジェクトは初年度ということで成果は乏しいが、引き続き当該研究テーマに関する検討を進め、(3-1)にも記載した通り、科研費や各種財団の助成事業等の申請を実施する予定である。また、社会実装を念頭に置いた研究を進めるために、特にオフィスにおける知的生産性を利用したサービスを実施している企業などを広く募集し、本研究チーム発の新たなサービスやマーケットの実現を目指した研究検討を実施する予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

特になし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

特になし

採択番号：R03/B04

機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開

[1] 組織

研究代表者：

廣瀬 文彦 (山形大学大学院理工学研究科)

通研対応教員：

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

Patrik Schmuki (University of Erlangen
-Nuremberg)

Richard Rosenberg (アルゴンヌ国立研)

庭野 道夫 (東北福祉大学感性科学研)

水柿 義直 (電気通信大学情報理工学研究科)

守屋 雅隆 (電気通信大学情報理工学研究科)

手老 龍吾 (豊橋技科大学環境・生命工学系)

戸澤 譲 (埼玉大学理工学研究科)

木村 康男 (東京工科大学コンピュータ工学部)

老木 成稔 (福井大学・高エネルギー医学研究センター)

立間 徹 (東京大学生産技術研究所)

益田 秀樹 (首都大学東京大学院都市環境科学研究科)

安田 哲二 (産業技術総合研究所)

鹿又 建作 (山形大学有機システム研究科)

但木 大介 (東北大学電気通信研究所)

馬 騰 (東北大学・材料科学高等研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

金属酸化物薄膜は、トランジスタ、光触媒、センサー、太陽電池に活用されてきたが、この多機能および高機能性を生かし、医療用バイオセンサとしての展開を検討している。このために、基礎技術として酸化物をナノレベルで形状を制御する技術が重要であり、また、薄膜形成、自己組織化によるナノ周期構造形成、Siテクノロジーとの融合による集積化も必要である。本プロジェクトでは、酸化物半導体によるナノ構造体を利用した医療・バイオデバイスを構築する基盤を開発するために、電子デバイス、ナノテクノロジー、表面科学、触媒、電気化学といった幅広い分野の研究者が協力して表面ナノ構造制御技術のデバイス化に向けた技術戦略を討議することを目的とした。

本年度では、ナノテクノロジー、電子デバイス、光電気化学、医工学の幅広い分野の研究者間の意見交換及び交流を目的とした、第12回 International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics を

2022年3月14日、15日の二日間でオンラインにて実施し、延べ55名の参加者を得た。

[3月14日]

1. Titania nanotubes in photocatalytic H₂ generation, Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg)
2. The Scaffold of molecular nanocoils composed of organic conducting materials, and its electromagnetic properties with AC magnetic field
Yoko Tatewaki¹, Tsuyoshi Minami², Sadafumi Nishihara³, Tomoyuki Akutagawa⁴, Takayoshi Nakamura⁵
(¹Tokyo University of Agriculture and Technology, ²The University of Tokyo, ³Hiroshima University, ⁴Tohoku University, ⁵Hokkaido University)
3. RT atomic layer deposition of aluminum silicate and SiO₂ multiple layers for ion sorption
Fumihiko Hirose (Yamagata University)
4. Reconstitution of membrane proteins into a micropatterned model membrane
Fuko Kueda, Fumio Hayashi, Kenichi Morigaki (Kobe University)
5. Control of quenching efficiency in lipid bilayers on graphene oxide
Jocelyn Lau Min Yuan¹, Kensaku Kanomata², Fumihiko Hirose², Ryugo Tero¹ (¹Toyohashi University of Technology, ²Yamagata University)
6. Nanopore intelligent sensing towards single peptide sequencing
Yi-Lun Ying, Xinyi Li, Hongyan Niu, Yi-Tao Long (Nanjing University)

[3月15日]

7. Shape-changing and conformable electrode arrays for peripheral nerve interfaces
Lukas Hiendlmeier¹, Francisco Zurita¹, Tetsuhiko Teshima², Leroy Grob¹, Fulvia Del Duca¹, Bernhard Wolfrum¹
(¹Technical University of Munich, ²MNTT Research Incorporated)
8. Electrochemical nano-imaging of vascular model and stem cell differentiation
Hitoshi Shiku, Yuji Nashimoto, Kosuke Ino (Tohoku University)
9. Anodic TiO₂ nanotubes for biomedical applications
Anca Mazare^{1,2}, Patrik Schmuki^{1,3,4}
(¹ University of Erlangen-Nuremberg, ²Tohoku University,

³Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Czech Republic, ⁴ King Abdulaziz University)

10. Artificial cell membrane systems for controlling intramembrane voltages

Ayumi Hirano-Iwata (Tohoku University)

11. Breakdown of the Nernst-Einstein relation in carbon nanotube porins

Zhongwu Li

(China University of Mining and Technology)

12. Non-raft membrane domain formation in cholesterol-containing lipids bilayers polyunsaturated lipid domains

Mervin Wei Shern Goh, Ryugo Tero

(Toyohashi University of Technology)

上記シンポジウムのほか、プロジェクト参加メンバーを中心に、学生、若手の研究討論の場として、電子情報通信学会電子部品材料研究会の「若手ミーティング」をオンラインで、2022年3月1日に開催した。ここでは15件の発表を集め、電子材料、電子デバイス、バイオデバイス、電子回路応用を中心に議論が行われた。

このほか電子情報通信学会電子デバイス研究会において有機デバイス、バイオデバイスをテーマとして研究会を2021年7月で予定していたが、コロナ蔓延のため実施を見送った。同じテーマで、2022年4月21日にオンラインにて研究会を開催する予定である。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、酸化物機能表面のバイオデバイスへの応用を中心に議論が行われた。企画した国際シンポジウムでは、アルミナシリケートを主とした原子層多層膜によるイオン交換吸着機能が議論され、カチオン吸着センサーとバイオデバイス応用について示唆された。ナノスケールで膜厚を制御できる原子層堆積膜について、脂質二分子膜中のたんぱく質の縦方向および横方向の分布を評価する技術としての活用事例も報告された。

脂質二分子膜のデバイス応用では、東北大学を中心として山形大学、豊橋技術科学大学、埼玉大学、電気通信大学と連携して研究が進められたが、フレキシブルフィルムに金属膜、原子層堆積膜を施すことで、脂質二分子膜中のイオンチャンネルの評価センサーとする研究が進展してきており、バイオセンサとしての実用が期待される。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究討論の場として国際シンポジウムを開催できたことで、当初想定していた脂質二分子膜のイオンチャンネル評価デバイスとしての応用のほか、カチオン吸着センサー、Cs 除染フィルターなど新しい展開についても見出すことができた。

これら研究分野について、引き続き討論を行い、大型チームプロジェクトへの展開を目指したい。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・ F. Hirose, "RT atomic layer deposition of aluminum silicate and SiO₂ multiple layers for ion Sorption", 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, 2022年3月14日 オンライン開催

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ K. Yoshida, I. Nagata, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Arima, S. Kubota, F. Hirose, "Room-temperature atomic layer deposition of iron oxide using plasma excited humidified argon", Journal of Vacuum Science & Technology A 40, 022408 (2022).

採択番号：R03/B05

高次元・時空間ニューロダイナミクスと それに基づくシステム構築への展開

[1] 組織

研究代表者：

廣瀬 明 (東京大学大学院工学系研究科)

通研対応教員

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

黒江 康明 (京都工芸繊維大学
教育研究プロジェクトセンター)

田中 剛平 (東京大学生産技術研究所)

橘 完太 (工学院大学情報学部)

Eckhard Hitzer (国際基督教大学教養学部)

松井 伸之 (兵庫県立大学大学院工学研究科)

磯川 悌次郎 (兵庫県立大学大学院工学研究科)

金城 光永 (琉球大学工学部)

村瀬 一之 (福井大学工学部)

新田 徹 (立教大学大学院人工知能科学研究科)

小林 正樹 (山梨大学工学部)

山根 敏志 (日本アイ・ビー・エム)

中野 大樹 (日本アイ・ビー・エム)

山田 功 (東京工業大学大学院工学院)

中川 八穂子 (日立製作所)

伊丹 哲郎 (兵庫県立大学
人工知能研究教育センター)

な表現能力と情報処理能力に関する研究が盛んに行われており、複素表現、四元数表現、さらにはそれらを包含するクリフォード代数表現を用いて、統括的に理解する意欲的な試みがなされている。高次元化あるいは多次元化されたこれらネットワーク上に発現する複雑ダイナミクスは、リザーバーコンピューティングの本質である入力信号の高次元空間への写像機能を実現する上で有用である。

人間と環境を調和させるには、要求される情報処理を効率的かつ迅速に行うことが必要不可欠であり、そのためには、すべての入力情報を通信でクラウドサーバに集めて処理して結果を配信するのではなく、入力端での処理すなわちエッジコンピューティングで前処理を行って通信量を削減することも重要技術になる。そこで本プロジェクトでは、リザーバーコンピューティングを用いたエッジコンピューティングの実現に向けて、高次元ニューラルネットワークが有する高次元・時空間ニューロダイナミクスのリザーバーコンピューティングへの応用とシステム構築を目的として研究を行う。

初年度目にあたる本年度は、3月7日にオンラインで研究会を開催し、各メンバーが関連する研究の進捗状況について報告し、今後の課題について議論した。以下に研究会のプログラムを示す。

1) 小西文昂、廣瀬明、夏秋嶺 (東大)

「複素リザーバーコンピューティングのダイナミクスを利用した干渉 SAR 解析データの地形分類」

2) 水津拓也、橘完太 (工学院大)

「深層Qネットワークによる風上へ向かうシミュレーション帆走の段階的学習 Stage-wise Learning of Deep Q-Network for Sailing Upwind」

3) 黒江康明 (京都工芸繊維大)

「Hierarchical Q-Learning に基づく群強化学習法」

4) 大河勇斗、新田徹 (立教大)

「双対数を用いたニューラルネットワークとその学習特性」

5) 久米啓太、山田功 (東工大)

“Cayley Parametrization Techniques for Optimization over the Stiefel manifold”

6) Eckhard Hitzer (ICU)

“Quaternions, complex biquaternions, octonions, Clifford’s geometric algebra of 3D Euclidean

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

高度に成熟した Si-LSI 技術に支えられ、現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で、パターン認識や学習など、フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し、脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは、パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。

ニューラルネットワーク分野の最近の動向として、時系列信号を再帰的ニューラルネットワーク (リザーバー) に入力し、ニューロンの応答を観測することにより、時系列信号を識別するリザーバーコンピューティングが注目を集めている。比較的少ないリソースで高次の認識処理が可能となるためエッジコンピューティングへの応用も期待されている。一方、複素ニューラルネットワークや量子ニューラルネットワークなどの高次元化ニューラルネットワークにおいても、豊か

space and Pauli matrix algebra are all well related”

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

複素ニューラルネットワークや四元数ニューラルネットワーク、さらにそれらを一般化した高次元ニューラルネットワークの研究は、ニューロの考え方を生かした理論構築やその電気電子デバイスやシステムとしての工学利用を指向している。エレクトロニクスの分野では、複素ニューロは複素振幅を扱うニューロであると言え、また四元数ニューロは偏波を表すポアンカレ球空間などに相当する3次元空間での情報を扱うニューロであると言える。特にそのコヒーレントな情報空間での学習の高い汎化能力が特長である。本年度は、複素ニューロに基づくリザーバーコンピューティングを提案し、複素リザーバーコンピューティングのダイナミクスを利用した干渉 SAR 解析データの地形分類を試みた。リザーバーコンピューティングは図1に示すようなネットワーク構造を持ち、時系列データを適応的に低計算コストでニューロ処理する枠組みとして近年注目されている。今回はこれを干渉合成開口レーダのデジタルエレベーションモデル作成の高精度化かつ低計算量化を目指し、それを実現できることを示した。

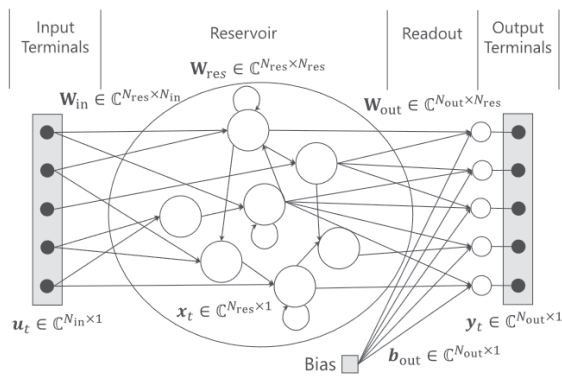


図1 リザーバーコンピューティングシステムの構造

また、物理実装に向けた検討の一貫として、超伝導体のジョセフソン伝送線路(図2)をリザーバー層に応用したリザーバーコンピューティングについて、数値実験により性能評価を行った。リードアウト層の結合荷重をリッジ回帰で求める方法を採用した、のこぎり波と矩形波の識別課題において、ジョセフソン接合数を100とした場合に高精度に識別が可能であることを確認した。

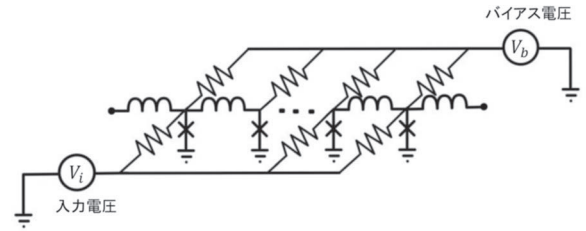


図2 ジョセフソン伝送線路

このような知見を研究会で共有し、議論することによって、ニューロハードウェアやシステムに関する今後の展開について展望した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト遂行により以下の成果が得られると考えられる。

- ・複素ニューラルネットワークにおける高次元・時空間ダイナミクスと情報処理性能に関する知見
- ・量子波動等の波動物理に基づくニューラルネットワークダイナミクスに関する知見
- ・リザーバーコンピューティングに最適な高次元・時空間ニューロダイナミクスとシステムの構成方法

また、本プロジェクトと関連して次の国際会議の開催が予定されている。

会議名：IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI) 2024

日程：2024年6月30日(日) - 7月5日(金)

場所：横浜(日本)

参加予定者数：2,000名程度

参画者：廣瀬明(組織・実行委員長)ほか

さらに、関連学会におけるイベントとして、IEEE WCCI 2022 Special Session、SICE コンピュータショナル・インテリジェンス研究会等の開催が予定されている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- B. Konishi, A. Hirose, R. Natsuaki, “Complex-Valued Reservoir Computing for Interferometric SAR Applications with Low Computational Cost and High Resolution,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, no. 8, pp. 7981–7993, 2021.
- Y. Song, A. Hirose, “Phasor-quaternion self-organizing-map-based ground penetrating radar systems,” *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, 4501611, 2021.
- T. Ichimura, R. Nakane, G. Tanaka, A. Hirose, “A Numerical Exploration of Signal Detector Arrangement in a Spin-Wave Reservoir Computing Device,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 72637–72646, 2021.
- Y. Okawa and T. Nitta, “Learning Properties of Feedforward Neural Networks Using Dual Numbers”, *Proc. 13th Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, Tokyo, Dec. 14–17, pp.187–192, 2021.
- S. Moriya, T. Kato, D. Oguchi, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas, “Analog-circuit implementation of multiplicative spike-timing-dependent plasticity with linear decay,” *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 12, no. 4, pp. 685–694, 2021.
- S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, J. Madrenas, “A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model,” in *Artificial Neural Networks and Machine Learning*, I. Farkas, P. Masulli, S. Otte, and S. Wermter eds., *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12895, Springer, Cham., 2021.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- T. Itami, N. Matsui, T. Isokawa, N. Kouda, T. Hashimoto, “Affine control systems under equal time and analytic feedback laws applied to edge quantum computing,” *Proc. The SICE Annual Conference 2021*, pp. 679–684, 2021.
- T. Itami, N. Matsui, T. Isokawa, N. Kouda, T. Hashimoto, “Monitoring particle trajectories for wave function parameter acquisition in quantum edge computation,” *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, vol. 14, no.1, pp.150–156, 2021.

- E. Hitzer, “Special affine Fourier transform for space-time algebra signals,” In: Magnenat-Thalmann N. et al. (eds) *Advances in Computer Graphics. CGI 2021. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13002, pp. 658–669, Springer, Cham.
- S. Breuils, K. Tachibana, E. Hitzer, “New Applications of Clifford’s Geometric Algebra,” *Adv. Appl. Clifford Algebras*, vol. 32, no. 17, 2022.
- Y. El Haoui, E. Hitzer, “Generalized Uncertainty Principles associated with the Quaternionic Offset Linear Canonical Transform,” *Complex Variables and Elliptic Equations*, Published online: 28 Apr 2021, 20 pages, 2021.
- A. Sanpei, T. Okamoto, S. Masamune and Y. Kuroe, “A Data-Assimilation Based Method for Equilibrium Reconstruction of Magnetic Fusion Plasma and Its Application to Reversed Field Pinch,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 74739–74751, 2021.
- Y. Kuroe, S. Miyoshi, H. Hikawa, H. Ito, K. Motonaka and Y. Maeda, “A Synthesis Method of Spiking Neural Oscillators with Considering Asymptotic Stability,” *Proc. of International Joint Conference on Neural Networks*, 6 pages, 2021.
- Y. Kuroe, K. Takeuchi and Y. Maeda, “Swarm Reinforcement Learning Method Based on Hierarchical Q-Learning,” *Proc. of 2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*, 8 pages, 2021.

採択番号：R03/B06

制御不要な無線給電システム実現に向けた 理論構築とその実装

[1] 組織

研究代表者：

関屋 大雄（千葉大学大学院工学研究院）

通研対応教員：

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

魏 秀欽（千葉工業大学工学部電気電子工学科）

麻原 寛之（岡山理科大学電気電子システム学科）

黒川 弘章（東京工科大学工学部電気電子工学科）

高坂 拓司（中京大学工学部電気電子工学科）

大里 辰希（八戸工業高等専門学校電気情報工学
コース）

グエン キエン（千葉大学大学院工学研究院）

朱 聞起（千葉大学大学院数学情報科学専攻）

菅野 瞭子（千葉大学大学院数学情報科学専攻）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

マサチューセッツ工科大学(MIT)による磁界共鳴結合方式による大電力電力伝送の実機実験がブレークスルーとなり、無線給電(ワイヤレス給電)システムの研究開発が本格化してからおよそ10年が経過した。この間、コイルを通じて無線給電を実現する磁界結合や磁界共鳴方式の理論はほぼ体系化されたと言え、例えばMITが発表した「共鳴させることにより長距離大電力伝送が可能になる」理由も明確に説明できるようになった。ところで、窒化ガリウム(GaN)等ワイドバンドギャップ半導体パワーデバイスの登場により、様々なパワーエレクトロニクス回路の高周波化が期待されている。無線給電もパワーエレクトロニクス回路のひとつと見ることができる。これまで車載用EV用に割与えられた85kHz帯での研究開発がメインであったが、高周波化のトレンドの中、ISMバンド(6.78, 13.56, 27.12 MHz)に対応した高周波無線給電システムの研究開発も本格化してきている。ここで、高周波化のために、ただ既存のデバイスをGaNに置き換えて周波数を上げればいわけではなく、パワーデバイスの特性を真に引き出すあらたな回路設計技術が求められている点に注意しなければならない。そのような背景の中、「【H30/B12】高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」における議論は、独自の視点で無線給電システムを見直すことにつなが

り、定常状態動作における理論体系の構築に貢献できたと考えている。

定格状態の最適設計理論が整備される中、無線給電システムの課題はパワーマネジメントシステムの構築へと移ってきた。無線給電システムにおいては、負荷(電池、モータなど)の変動はもちろんのこと、送電器と受電器の位置ずれ(コイル間の相互インダクタンスのみならず、コイル自身の自己インダクタンスにも変動が生じる)にも対応する必要がある。実システムでは、これらに対して出力(電圧または電流)を一定とすることが求められる。例えば、iPhoneなどで実用化されているQi規格では、受電器側の出力情報を送電器へ無線通信でフィードバックし、送電器側で送信電力を調整することで一定出力を実現している。ここで「無線給電の高周波化」を考えると、高周波化によって無線通信の(キャリアセンス等によるゆらぎを含む)遅延の影響が大きくなり、最適パラメータの同定に困難性をもたらす。さらに、高周波化にはZVSが必須となるため、一定出力とZVSのふたつの制御目標を同時に補償しなければならないという新たな問題も生じ、制御システムの複雑化を招く。本研究では、高周波で送電する無線給電システムにおける負荷変動、位置ずれに対し、制御システムなしに一定出力と高効率を達成する「無制御無線給電システム」の研究開発に取り組む。無線給電システムの高周波化に対し、制御システムの複雑化が性能向上のボトルネックとなっており、この問題に対して抜本的発想の転換を図ることを目標とする。

令和3年度の活動として令和4年2月26、27日に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、議論を深めた。このワークショップは【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、【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究、との合同開催とし、さらに広い視点から議論を深めることができた。また、電子情報通信学会NOLTAソサイエティ主催のNonlinear Science Workshop, NOLTAシンポジウム、非線形問題研究会、複雑コミュニケーションサイエンス研究会で発表、議論を行い、さらに代表者が主催者となり8月29—31日に総勢130名近い参加者を集め非線形ワークショップを開催し、そこでも無線電力伝送関連技術に関する議論を深めた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、高周波 WPT システムにおいて新しい設計手法を提案した。従来の研究では E 級スイッチング回路の設計法として、解析式により素子値を導出するなど、その導出には人的、時間的コストがかかる問題があった。また、解析を簡単化するために共振回路の Q 値を十分大きくするなど、いくつかの簡単化に基づくため、精度が劣化する問題があった。この問題点を解決するために、回路解析に微分方程式を数値的に解く過渡解析を利用し、その外側から最適条件を、条件式（代数方程式）を解くことで素子値を導出する数値的設計手法が提案されていた。しかし、代数方程式の代表的ソルバであるニュートン法を使用した回路設計にはいくつかの制限がある。例えば、設計されたパラメータの数は、設計目標と同じになる必要がある。さらに、確実にアルゴリズムを収束させるために近似解を設定する必要があるが、この近似解を導出するためには結局回路解析が必要となる。また、これは回路動作に関する専門性が求められるため、誰でも簡単に設計ができる状態になるための障壁でもあった。したがって、初期値に依存せずに任意のパラメータ範囲で収束可能な設計手法が求められていた。そこで、E 級 WPT システムにおいて新しい設計手法を提案した。粒子群最適化(Particle Swarm Optimization, PSO) アルゴリズムを適用することにより、回路微分方程式のみでシステム設計を自動的に行うことができる。従来の研究と比較して、設計パラメータの数などの制限がなくなることも利点となる。また、初期値を与える必要がないという利点もある。設計例として図1に示す 25 W、13.56 MHz の E/F 級無線給電システムを実装した。負荷変動に対して安定な出力電圧及び ZVS が同時に達成できる事を確認した。回路実験の結果は数値予測と一致しており、提案された設計手法の妥当性が示された。

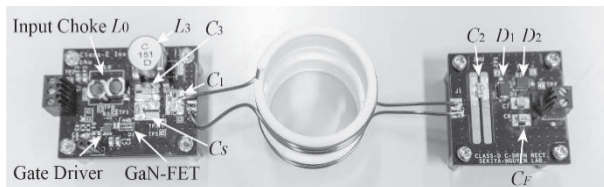


図1 E/F 級無線給電システムの実装

第2に、位置ずれは生じない仮定のもと、負荷変動に対し、一定出力とソフトスイッチングを制御なしに達成する負荷非依存モードを達成するインバータとして「負荷非依存 ZVS E¹ 級インバータ」を提案した。このインバータは零電圧スイッチング (Zero-Voltage Switching: ZVS) を達成する並列共振インバータに分

類される。このタイプのインバータは初めて提案されたものであり、負荷非依存インバータのカテゴリとして様々な応用が期待される。さらに、このインバータに対して解析表現を導出することに成功している。解析表現は提案回路の負荷非依存性を理論的に保証するとともに、応用に向けた設計実現性を高める。具体的に、提案したインバータを送電部に適用した、負荷非依存型無線電給電システム的设计開発を行った。並列共振と電圧駆動形 D 級整流器から構成される受電部を用意することで、出力電圧が一定となる ZVS 無線給電システム的设计に成功した。図2にその回路構成を示す。実装したプロトタイプは負荷変動に対し一定電圧を出力し、さらに常に ZVS を達成することで高効率を実現できることを確認した。

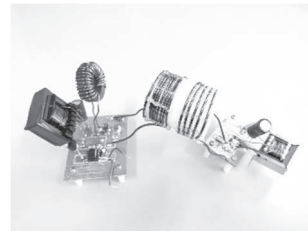


図2 負荷非依存 E-1 級インバータを用いた無線給電システムの実装

次年度以降の課題として、一つ目の成果である数値設計を用いて負荷非依存無線給電システムを実装することが挙げられる。現状、負荷非依存設計は解析が必須とされており、この制限を数値計算で実現することで打破したい。この壁を突破できれば、負荷非依存特性の応用範囲がさらに広まり、社会実装実現可能性が高まる。また、位置ずれに対する対策提案も大きな課題である。負荷変動に対しロバストな無線給電システムの実現可能性が示唆できたため、その特性を壊さずに位置ずれに対するロバスト性獲得に向けた提案を行っていきたい。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、本研究内容の重要性を多角的に把握することができた結果、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」の一テーマとして採択され、今後の発展が期待されている。

- ・プロジェクト名 「GaN デバイスで拓く超高周波パワーコンバータの開発とその革新的直流給電システムへの応用」
- ・資金制度、研究費名 「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」
- ・配分機関名 文部科学省
- ・研究期間 2021 年度-2023 年度

[4] 論文や学会発表等

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- Ayano Komanaka, Wenqi Zhu, Xiuqin Wei, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya,
- "Generalized Analysis of Load-Independent ZCS Parallel-Resonant Inverter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.69, no.1, pp.347-356, Jan. 2022.
- Yutaro Komiyama, Shuya Matsushashi, Wenqi Zhu, Kien Nguyen, Takeshi Uematsu, Yuki Ito, Taichi Mishima, and Hiroo Sekiya, "Wireless Power Transfer System with Load-Independent Inverse Class-E Oscillator," The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW2021), p.39, Dec. 2021.
- Yutaro Komiyama, Shuya Matsushashi, Wenqi Zhu, Taichi Mishima, Yuki Ito, Takeshi Uematsu, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Frequency-Modulation Controlled Load-Independent Class-E Inverter," IEEE Access, vol.9, pp.144600-144613, Nov. 2021.
- Wenqi Zhu, Yutaro KOMIYAMA, Kien NGUYEN, and Hiroo Sekiya, "Comprehensive and Simplified Numerical Design Procedure for Class-E Switching Circuits," IEEE Access, Oct. 2021.
- Wenqi Zhu, Yutaro KOMIYAMA, Kien NGUYEN, and Hiroo Sekiya, "PSO-based Design Procedure for Class-DE Inverter," 18th International SoC Design Conference (ISOCC 2021), Oct. 2021.
- Yutaro Komiyama, Shuya Matsushashi, Wenqi Zhu, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Load-Independent Inverse Class-E Oscillator with Armstrong-Oscillator Based Topology," The 18th International SoC Design Conference (ISOCC 2021), Oct. 2021.
- Wenqi Zhu, Yutaro KOMIYAMA, Kien NGUYEN, and Hiroo Sekiya, "Heuristic Algorithm-Based Design Method for Class-E Switching Circuits," IEEE Annual Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE2021), Oct. 2021.
- Katsuki Tokano, Wenqi Zhu, Tatsuki Osato, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Analysis and Design of 6.78 MHz Wireless Power Transfer System for Robot Arm," IEICE Transactions on Communications, pp.1-10, Sept. 2021.
- Hiroyuki Asahara and Takuji Kousaka, "Stability Analysis Based on Monodromy Matrix for Switched Dynamical Systems," Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA) IEICE, Vol. 12, No. 3, pp. 237-256, Sept. 2021.
- Yutaro Komiyama, Wenqi Zhu, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Class-E Inverter with Frequency Modulation Control," The 10th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA 2021), Sept. 2021.
- Wenqi Zhu, Takayuki Ikari, Giorgio Lovison, Keisuke Inoue, Shigeharu Yamagami, and Hiroo Sekiya, "High-Frequency Single-Switch PFC with Frequency-Modulation Controlled Class-E2 Converter," IET Power Electronics, pp.1-11, June 2021.
- 麻原寛之, 内野翔太, 高坂拓司, "排熱発電用電力変換回路," システム/制御/情報, Vol.65, No.6, pp. 213-218, June 2021.
- Ayano Komanaka, Wenqi Zhu, Kien Nguyen, Hiroo Sekiya, and Xiuqin Wei, "Load Independent Class-E-1 Inverter with Shunt Capacitance," ISIE2021, June 2021.
- Katsuki Tokano, Wenqi Zhu, Tatsuki Osato, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Optimal Design of 6.78 MHz Wireless Power Transfer System for Robot Arm," International Symposium on Circuits and Systems, May 2021.

採択番号：R03/B07

アフターコロナ時代の適応型ワークスペースに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者：

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

市野 順子（東京都市大学 メディア情報学部）

小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）

松島 咲季子（Learning Design Lab.）

田中 勇一（株式会社イトーキ）

関川 博之（株式会社イトーキ）

延べ参加人数：8人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトの目的は、アフターコロナ時代の新たな生活様式が求められる今後に向けて、未来のオフィス像である適応的な空間ユーザインタフェースを構築するため、これからのオフィス空間に求められるべき要素に関する知見を集めること、および、空間ユーザインタフェース実現のための研究コミュニティを構築することである。空間内での人の活動を計測し、理解するための知見、空間構築・デザインや什器に関する知見、空間・什器をダイナミックに動作させる要素技術の知見、さらには市場としてのニーズも取り入れながら、社会的意義の高いテーマ創出を目指す。

本プロジェクトに関わる研究会は、前身となる共同プロジェクト「人と空間と情報技術」「未来型オフィス空間とインタラクション」から引き続き11年目である。本年度は、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、空間デザイン、社会心理学等の多様な分野を専門とする産学の研究者・実務家らを招いて研究会を実施した（新型コロナウイルス感染防止のため、オンライン形式であった）。

以下に、研究会の詳細を示す。

研究会名：アフターコロナ時代の適応型ワークスペース

日程：2022年3月7日 14-18時

場所：オンライン

参加人数：6名

参加者：

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

市野 順子（東京都市大学 メディア情報学部）

松島 咲季子（Learning Design Lab.）

田中 勇一（株式会社イトーキ）

関川 博之（株式会社イトーキ）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

各研究者・実務家による研究内容・成果が発表され、それぞれの研究や取組みに関する可能性や発展性を得ることができた。発表順とタイトルを下に示す（敬称略）。

- 市野：VRは人々の心をオープンにするか？—オンラインコミュニケーションツールと自己開示への影響—
- 関川：SDGsに貢献するオフィス家具
- 松島：最近の活動と考えていること
- 田中：選択型オフィスにおける組織行動分析・空間構成検証について
- 藤田：Adaptive Workspaces: A Review of Research Efforts and Future Challenges

発表の多くは、主に新型コロナウイルスの影響による社会の変化を意識した取り組み事例の紹介であり、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、空間デザイン、社会心理学等の多岐にわたる観点による話題が共有された。いずれも、一つの空間に集まって対面で仕事をするというこれまでのオフィスのあり方を存続することが難しくなっている昨今において、新たな働き方を模索する内容であった。例えば、オフィスに来ることの意義や役割の再定義（松島さん）、オフィスに来る人が少なくなることに伴う選択型オフィスの可能性の検討（田中さん）、VRを用いたコミュニケーションツールの導入（市野先生）等の話題が挙げられた。いずれの発表においても、多くの質問が挙がり、活発な議論がなされた。議論に挙げられた内容も踏まえ、研究代表者は本テーマに関する先行研究のレビューや今後の研究のあるべき方向性をまとめた論文を執筆し、国際ジャーナルに投稿中である。

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。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、新たな共同研究の萌芽及び新たな研究領域の開拓を目的にしている。アフターコロナ時代の働き方を考えるというテーマであるため、今後の発展性や社会的なニーズも大きいと考えられる。今後も、本テーマに関して産学の幅広い分野からの研究者・実務家が集まり、市場のニーズを取り入れた研究テーマ創出、および社会への実装が期待される。

採択番号：R03/B08

進化計算の機械学習への適用に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

神野 健哉（東京都市大学・情報工学部）

通研対応教員：

堀尾 善彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

坪根 正（長岡技術科学大学）

中野 秀洋（東京都市大学）

進藤 卓也（日本工業大学）

山仲 芳和（宇都宮大学）

佐々木 智志（湘南工科大学）

黒川 弘章（東京工科大学）

松浦 隆文（日本工業大学）

浅野 風（東京都市大学大学院）

内山 敦博（東京都市大学大学院）

源河 拓巳（東京都市大学大学院）

齋藤 吏（東京都市大学大学院）

布川 大知（東京都市大学大学院）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

近年、機械学習、特に深層学習に関して注目が集まり精力的に研究が行われている。機械学習の研究ではパラメータの学習が非常に重要であるが、これらの学習は主に損失関数の勾配を基にした勾配法による学習が主に用いられる。勾配法は損失関数が単峰性の関数である場合には損失関数の最小値を与えるパラメータを得ることができるが、損失関数が多峰性関数である場合、局所解に陥り易く、解探索に時間を要する場合も多い。これらの問題を解決するため正則化技術などが提案されているが、これらは確率的に局所解に拘束され難いようにしているものであり、局所解から脱出することに関しては未知数である。

一方、評価関数値のみが与えられ、評価関数式が陽に与えられない Black-box 最適化問題の最適解探索において進化計算に基づく最適化手法が注目を集めている。進化計算は複数のエージェントが解空間を勾配法には依らずに最適解を探索する。その際に各エージェントが互いに情報を交換しながら解を探索する。このような進化計算には確率要素が含まれるためその解探索能力を定量的に測ることは困難であった。

このような現状の下、我々は進化計算に含まれる確率的要素を排除し、力学系理論に基づき進化計算の解探索能力に関して解析を行ってきた。これらの解析結果を基に進化計算を機械学習アルゴリズムに適用させ、より効率的かつ効果的な機械学習を行えるシステムの開発、およびその応用に関する研究を実施することが本プロジェクトの目的であり、達成目標である。このような目的の下、非線形力学系、最適化アルゴリズム、および機械学習アルゴリズムに関する造詣が深い研究者が参集し、各自の研究結果を発表・議論することで今後の展開を模索することを目的としている。

このような目的遂行のため研究プロジェクト開始1年目の本年度は深層学習の動作を理論的に解明することを目的に、様々な性能向上のための手段がどのような効果を生み出しているのかをまずは検討した。そのため、様々な正則化手法やニューラルネットワークの構造と性能との関係を明らかにするための検討を精力的に行なった。同時に、ニューラルネットワークの学習を勾配法ではなく進化計算で行う試みを開始している。更にはニューラルネットワークの構造そのものの最適化に着手している。

これらの研究成果は論文、国際会議、国内研究会で公表している。また2022年2月に東北大学電気通信研究所で研究会の開催を計画していたが、コロナ禍のため、完全オンラインで2022年2月26日、27日の両日に「【R02/A31】非線形複雑システムの構成論的研究と理への展開」「【R03/B06】制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」「【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究」の3つの共同プロジェクト研究と非線形ワークショップ合同の「東北大学電気通信研究所共同PJ研究、非線形WS合同研究会」として研究会を実施した。本研究会は13件のオーラル発表、25件のポスター発表が行われ、延べ50名の参加者で活発な議論が行われた。さらに2022年3月にオンラインで開催された国際会議 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2022 (NCSP2022) にて「Swarm and Evolutionary Optimization」と題した Special Session を企画した。本 Special Session は7件の論文で構成され、発表者、聴講者合わせて参加者30名と非常に大盛況であった。この Special Session でも群知能最適化、進化計算による機械学習の最適化などに関して活発に議論が行われた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度はまず動作が理論的に解明できるニューラルネットワーク、機械学習アルゴリズムを目指し、「ヒステリシスリザーバーコンピューティングシステム」および「新たなクラスター評価基準を用いたデータのラベル推定」に関して精力的に研究を行なった。前者のヒステリシスリザーバーコンピューティングシステムは我々のグループで開発してきたヒステリシスニューラルネットワークをリザーバーコンピューティングシステムに応用したものである。ヒステリシスニューラルネットワークは出力に2値ヒステリシスを用いた区分線形微分方程式で動作を記述することができ、その動作が厳密解で解析を行うことができる。このシステムを用いて、厳密解析が容易なシステムでリザーバーコンピューティングシステムを構築している。

一方、新たなクラスター評価基準を用いたデータのラベル推定に関しては2クラスのデータのうち片方のクラスの一部のみにラベルが付与されていて、その他のデータにはラベルが付与されていないデータをクラス分けするアルゴリズムについての研究で、群知能で得られていた知見を用いてその分類性能を高めた。現在2クラス分類から多クラス分類に拡張をおこなっている。

更には深層学習を用いて画像分類、画像変換を行うタスクに対して既存の正則化技術などが具体的にシステムにどのような影響を与えることによって性能が向上するのかに関して解析を行なった。現在、これらの解析結果に基づき、適切な構造を有したネットワークの自動生成に関する基礎研究を開始している。自動生成に関してはネットワークを評価するための指標に関して研究を行なっており、この指標に基づいたネットワーク構造の最適化を次年度以降に実施する計画である。

深層学習の学習を通常、確率的勾配法に基づいた方法で行われているが、これを粒子群最適化法で学習する方法について検討を行なっている。その結果、比較的規模の小さいネットワークにおいては粒子群最適化法による学習では局所解に収束する率が低く、効率良く学習が可能になる知見が得られた。次年度以降はこの結果に基づき、局所解の性質を明らかにするとともに大規模ネットワークでも学習可能なアルゴリズムの開発に挑む。

以上のように本年度は機械学習システムの自動設計に向けて機械学習の動作の理論的解析と群知能を利用したニューラルネットワークの学習などに関して知見を得た。

本プロジェクトの機械学習と群知能に関する研究

成果は、2021年度は以下のように論文8件、国際会議9件、国内口頭発表18件で研究成果を公表した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでの研究成果は信号処理学会が主催し、2022年2月28日から3月2日にオンラインで開催された国際会議 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2022 (NCSP2022) において Special Session 「Swarm and Evolutionary Optimization」を企画しプロジェクトメンバーを中心として研究発表が行われた。この Special Session は発表件数7件と、他の Session と比較しても非常に発表件数が多く、非常に活発な質疑応答が行われた。この Special Session は引き続き、2022年12月にクロアチア（コロナ禍の状況によってはオンライン）で開催が予定されている『2022年非線形理論とその応用に関する国際会議』（NOLTA 2022）でも企画しており、本年度の研究成果を基に更に研究を活発化させる予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

論文：

- [1] Kenya Jin'no, "Analysis of particle swarm optimization by dynamical systems theory," NOLTA, IEICE, vol. 12, no. 2 pp. 118-132, April, 2021. (DOI: 10.1587/nolta.12.118)
- [2] 神野 健哉, "力学系理論に基づく粒子群最適化法の解析" 電子情報通信学会 Fundamentals Review, vol. 15 no. 2, pp. 70-79, October 2021. (DOI: 10.1587/essfr.15.2_70)
- [3] Taichi Fukawa, Kenya Jin'no, "Noise Reduction Method Focusing on Spectral Envelopment and Fine Structure of Speech," Journal of Signal Processing, vol. 25, no. 6, pp. 233-237, November 2021. (DOI: 10.2299/jsp.25.233)
- [4] Ryuhei Motoki, Kenya Jin'no, "Estimating label of data using Fisher Criterion," NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
- [5] Masanao Yasumuro, Kenya Jin'no, "Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe," NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.
- [6] Tsukasa Saito, Kenya Jin'no, "Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis

Reservoir Computing” NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.

[7] Taichi Fukawa, Kenya Jin’no, “Evaluation of the Effect of Phoneme Time Stretching on Speaker Embedding” NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.

[8] Takumi Genka, Kenya Jin’no, “Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN” NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2, April, 2022.

国際会議：

[1] Tsukasa Saito, Kenya Jin’no, “Ability to generate output series for Hysteresis Reservoir Computing,” IEEE The 18th International SoC Conference (ISOC 2021), pp. 179-180, On-line, 2021. 10. 6-9.

[2] Riku Takato, Kenya Jin’no, “A considerations for the solution search capability of PSO with micro fluctuations,” IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021), NLSW-29, On-line, 2021. 12. 6-8.

[3] Ryuhei Motoki, Kenya Jin’no, “Estimating label of data using Fisher Criterion,” IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021), NLSW-60, On-line, 2021. 12. 6-8.

[4] Masanao Yasumuro, Kenya Jin’no, “Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe,” IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021), NLSW-44, On-line, 2021. 12. 6-8.

[5] Tsukasa Saito, Kenya Jin’no, “Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis Reservoir Computing,” IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021), NLSW-25, On-line, 2021. 12. 6-8.

[6] Taichi Fukawa, Kenya Jin’no, “Evaluation of the Effect of Phoneme Time Stretching on Speaker Embedding,” IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021), NLSW-51, On-line, 2021. 12. 6-8.

[7] Takumi Genka, Kenya Jin’no, “Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN,” IEICE The 2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW 2021), NLSW-59, On-line, 2021. 12. 6-8.

[8] Riku Takato, Kenya Jin’no, “Training Multilayer Neural Networks with PSO,” 2022 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2022),

pp. 177-180, On-line, 2022. 2. 28- 3.2.

[9] Yusuke Nakazato, Kenya Jin’no, “Emergence of the Boid Swarm,” 2022 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2022), pp. 181-184, On-line, 2022. 2. 28- 3.2

国内口頭発表：

[1] 元木 竜平, 神野 健哉, “SVMを用いたFew-shot Learning の試み”, 2021年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-11 (オンライン, 2021. 6. 12)

[2] 布川 大知, 神野 健哉, “音素の時間伸縮による話者埋め込みへの影響の実験的評価”, 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, A-8-5 (On-line, 2021. 9. 14-17)

[3] 源河 拓巳, 神野 健哉, “連続時間ヒステリシスニューラルネットの計算量の検討”, 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, N-1-8 (On-line, 2021. 9. 14-17)

[4] 齋藤 吏, 神野 健哉, “ヒステリシスリザーバ素子の時定数が与える影響”, 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, N-1-9 (On-line, 2021. 9. 14-17)

[5] 元木 竜平, 神野 健哉, “SVMを用いたラベルなしデータの分類”, 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会, N-1-10 (On-line, 2021. 9. 14-17)

[6] 高頭 陸, 神野 健哉, “微小摂動を考慮した PSO の解探索能力の考察”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-65, pp. 82-85 (J:COM ホルトホール大分, 大分, 2021. 12. 17-18)

[7] 元木 竜平, 神野 健哉, “データのラベル推定のためフィッシャー基準を基にした新しい評価基準の考察”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-62, pp. 86-89 (J:COM ホルトホール大分, 大分, 2021. 12. 17-18)

[8] 齋藤 吏, 神野 健哉, “ヒステリシス・リザーバ層の特性と学習出力系列の関係について”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-99 MICT2021-74 MBE2021-60, pp.121-124 (On-line, 2022. 1. 21-23)

[9] 安室 誠直, 神野 健哉, “MediaPipe と SVM を用いた日本語指文字認識システムの試作”, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2021-115 MICT2021-90 MBE2021-76, pp.205-208 (On-line, 2022. 1. 21-23)

[10] 岡本 紗季, 神野 健哉, “Auto Encoder による顔の向き変換”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 25, P9 (オンライン, 2022. 2. 26-2. 27)

[11] 元木竜平, 神野健哉, “新たなクラスター評価

基準を用いたデータのラベル推定”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 30, P14 (オンライン, 2022. 2. 26-2. 27)

[12] 酒井 麻帆, 神野 健哉, “Word2Vec による単語埋め込み表現の基礎考察”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 33, P18 (オンライン, 2022. 2. 26-2. 27)

[13] 泉 諒音, 神野 健哉, “BERT による文章ベクトルの k-means 法を用いた文章分類”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 37, P22 (オンライン, 2022. 2. 26-2. 27)

[14] 高橋 知里, 神野 健哉, “ニューラルネットワークによって分離された領域数の推定”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会 p. 39, P25 (オンライン, 2022. 2. 26-2. 27)

[15] 代 美月, 神野 健哉, “Dropout と Batch Normalization の効果の検証”, 電子情報通信学会 2022 年総合大会, N-1-11 (On-line, 2022. 3. 15-18)

[16] 岡本 紗季, 神野 健哉, “AutoEncoder による顔の向き変換”, 電子情報通信学会 2022 年総合大会, N-1-12 (On-line, 2022. 3. 15-18)

[17] 元木 竜平, 神野 健哉, “新たなクラスター評価基準を用いたデータのラベル推定”, 電子情報通信学会 2022 年総合大会, N-1-13 (On-line, 2022. 3. 15-18)

[18] 高頭 陸, 神野 健哉, “PSO による多層ニューラルネットワークの学習”, 電子情報通信学会 2022 年総合大会, N-1-23 (On-line, 2022. 3. 15-18)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R03/B09

社会行動の脳内機序解明にむけた ヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討

研究代表者：

筒井 健一郎（東北大学生命科学研究科）

通研対応教員：

塩入 諭（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

下條 信輔（カリフォルニア工科大学生物工学）

酒井 宏（筑波大学情報学群）

西田 真也（京都大学情報学研究科）

村上 郁也（東京大学社会学系研究科）

宇賀 貴紀（山梨大学医学部）

河原 純一郎（北海道大学文学研究科）

田中 真樹（北海道大学医学研究科）

一川 誠（千葉大学文学部）

吉田 正俊（生理学研究所）

富田 浩史（岩手大学理工学部）

金子 寛彦（東京工業大学工学院）

齋木 潤（京都大学人間環境学研究科）

小川 正（京都大学次世代研究創生ユニット）

渡邊 克己（早稲田大学基幹理工学部）

七五三木 聡（大阪大学医学系研究科）

佐藤 暢哉（関西学院大学文学部）

鮫島 和行（玉川大学脳科学研究所）

栗木 一郎（東北大学電気通信研究所）

松宮 一道（東北大学情報科学研究科）

岡谷 貴之（東北大学情報科学研究科）

天野 薫（情報通信研究機構）

林 拓也（理化学研究所）

坂本 一寛（東北医科薬科大学）

Sven Bestmann (UCL)

Peter Janssen (KU Leuven)

Martin Giese (University Clinic Tübingen)

Po-Jang Hsihe (国立台湾大学)

延べ参加人数：50人

[2] 研究経過

脳内の情報処理において、外的な刺激が処理されていかに主観的な知覚や認知が生じるのか、また、それに基づいていかに行動が発現するのかを知ることは、こころの仕組みの理解につながるとともに、人の特性に適合した、使いやすくエラーが起こりにくい情報通信の技術やシステムを開発する上での重要な基盤知識となる。本研究においては、脳内情報処理に伴う神経現象や行動を対象として研究を展開している神経科学、および、認知・情報科学、計算論などの領域の研究者が一同に会し、それぞれの研究において取得された最新のデータを持ち寄り、議論することによって、神経・行動データに基づいた心の仕組みの理解を目指すことを目的とした。

今年度は、2021年8月25日（水）、26日（木）にオンラインセミナーを実施した。

[3] 成果

8月に実施したオンラインセミナーは、以下の6名の講師の講演と各講演の後の議論であり、人間の「こころ」と認知/行動に関わる多岐にわたる議論が行われた。浅田 稔 先生（大阪国際工科大学／大阪大学）は「ヒトと人工物の自律性：ロボットの主体感、自己、痛覚、倫理」とのタイトルで、痛覚の実装によってロボットに主体感を獲得させる試みに関する講演を、明石 卓也 先生（岩手大学 理工学部）は、「貧乏ゆすり」および「パレイドリア」とのタイトルで、運動生成や視覚の知覚における潜在的過程に関する講演を、下條 信輔 先生（カリフォルニア工科大学）「潜在認知の身体性・社会性と『限界』」とのタイトルで、限界点の多重性ととの突破に関する講演を、柏野 牧夫 先生（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）は、「起用と不器用：同じコインの表と裏？」とのタイトルで、パフォーマンス最適化につながる潜在意識のバイアスに関する講演を、坂本 修一 先生（東北大学電気通信研究所）は、「水平面における聴覚的注意の空間特性」とのタイトルで、注意が聴覚的近くにバイア

スをかける過程に関わる講演を、一川 誠 先生 (千葉大学 文学部) は、「体験される時間の長さは、その処理のための認知的負荷によって決まる」とのタイトルで、認知的負荷と時間知覚のバイアスに関する講演をされ、感覚知覚から認知、行動にわたる最新の知見に関する情報交換の機会を得ることができ、それぞれ「こころ」を生み出す脳内機構の理解に関連する研究の発展に有益であった。

[4] 成果資料

Shehata M, Cheng M, Leung A, Tsuchiya N, Wu DA, Tseng CH, Nakauchi S, Shimojo S. (2021) Team Flow Is a Unique Brain State Associated with Enhanced Information Integration and Interbrain Synchrony. *eNeuro* 12:8 ENEURO.0133-21.2021 1-17

doi: 10.1523/ENEURO.0133-21.2021.

Hashimoto T, Takiyama K, Miki T, Kobayashi H, Nasu D, Ijiri T, Kuwata M, Kashino M, Nakazawa K. (2021) Effort-dependent effects on uniform and diverse muscle activity features in skilled pitching. *Sci Rep* 11(1): 8211

doi: 10.1038/s41598-021-87614-z.

Honda Y, Nakamura S, Ogawa K, Yoshino R, Tobler PN, Nishimura Y, Tsutsui KI. (2021) Changes in beta and high-gamma power in resting-state electrocorticogram induced by repetitive transcranial magnetic stimulation of primary motor cortex in unanesthetized macaque monkeys. *Neurosci Res* 171:41-48.

doi: 10.1016/j.neures.2021.02.002.

Tseng CH, Chow HM, Liang J, Shioiri S, Chen CC. (2021) Collinear search impairment is luminance contrast invariant. *Sci Rep* 11: 11507.

doi: 10.1038/s41598-021-90909-w.

Shioiri S, Matsumiya K, Tseng CH. (2021) Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Sci Rep* 11: 3995.

doi: 10.1038/s41598-021-82900-2.

採択番号：R03/B10

深部体温変動検出を用いた VR 酔いの主観的不快感推定手法 - 人工光照射による若年群・高齢群の比較 -

[1] 組織

研究代表者：

湯田 恵美 (東北大学 データ駆動科学・AI 教育研究センター/ 大学院情報科学研究科)

通研対応教員：

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

吉田 豊 (東北大学 データ駆動科学・AI 教育研究センター)

[2] 本プロジェクトの目的,研究計画や内容

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の流行によって, VR(仮想現実)技術はフィールド業務の支援などに活躍されつつある。没入型技術はリアルタイムにデータを提供し, エンドユーザーの視界を遠隔地と共有できるため, 避難訓練など生活の安全性向上や医療従事者の業務の一助となることが期待されている。しかし, 脳と体の同期のずれがもたらす VR 酔い (映像酔い) については, その発生機序が明らかになっていないほか, 客観的な評価手法も確立していない。また, VR 酔いは視覚情報に起因する不快感であり, 光刺激に対する応答性が関与していると考えられる。そこで本研究は, 光感受性と深部体温変動の関連性を明らかにする目的で, 人工光照射の下で若年群および高齢群の心拍, 身体加速度, 血圧, 深部体温データを計測し, 解析を行った。

本研究では, 研究打ち合わせ 4 回 (オンライン) を行なった。参加者は研究分担者であり, 主に実験プロトコルに関する事前打ち合わせを行なった。

研究成果は, 研究会における研究発表 2 回 (電子情報通信学会, ME とバイオサイバネティクス研究会 (MBE) による口頭発表), を行なったほか, 東北大学電気通信研究所 令和 3 年度共同プロジェクト研究発表会 (2022 年 2 月 17 日開催) においてポスター発表を行なった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

方法：

若年群 6 名 (23±3 yrs), 高齢群 6 名 (74±2 yrs) の慢性疾患がない被験者を対象として, プロトコル (図 1) に従い, 12 分の暗順応, 3 分安静, 6 分の光照射, 3 分安静の合計 24 分間のホルター心電計 (Cardy Pico 303, スズケン社製), から得られる心電図, 無線鼓膜温・発汗計 (BL100, テクノネクスト社製) による深部体温連続の時系列データを解析した。計測時間は午前中 (9:00-11:00) で統一した。暗順応時は外光を遮光する目的でアイマスクを着用し, 光照射は人工太陽照明灯 (SOLAX 500W, セリック社製) を用いて, 自然太陽光に限りなく近い光を再現した (図 2)。統計解析は SPSS StaUsUcs 28.0.1 (IBM 社) を用いてアイマスク安静時 (暗順応時) と光照射時の比較を行った。

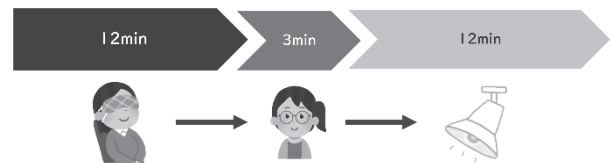


図 1 実験プロトコル



図 2 人工太陽照明灯 (SOLAX 500W)

結果：

若年群と高齢群の深部体温変動を図 3 に示す。若年者は照明点灯直後から深部体温が緩やかに低下する傾向がみられたのに対し, 高齢者は点灯後急激に低下し, その後やや上昇する傾向がみられた。

考察：

本研究の結果、高齢群が若年群と比較して深部体温の低下率が高いことが確認された。これは、高齢群が健常被験者であったことから、光刺激に対する正常な応答が確認されたものであり、光刺激による同期ずれについては、年齢差は然程ないものと考えられた。他方で、自律神経支配のうち、体温調節に対する光の影響はやや複雑であり、本実験の計測時間が午前中であるものの、光刺激によって若年群・高齢群ともに深部体温が低下する結果を示した。これは、従来のリズムが光刺激によって変化したことによって不快感がもたらされる可能性を示唆する。

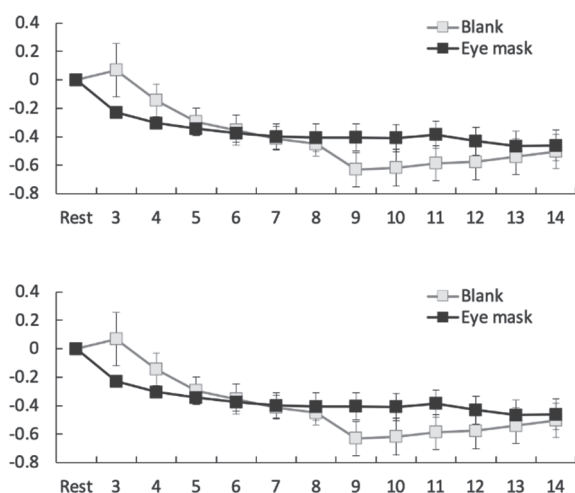


図3 若年群（上）と高齢群（下）の深部体温変動
縦軸は $\Delta TT[^\circ C]$ 、横軸は時間(min)を示す。■はアイマスク（コントロール、安静時）の変動。

研究成果：

本実験の結果は、健常な高齢群は正常な応答性を示すものの、若年群と比較して光刺激応答性の低下がみられた。光同調は加齢によって拙劣になることが示されているため、高齢者特有の光刺激によるバイオリズムへの影響を理解することが健康維持に有用である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、コロナ禍によりVRグラスを使用した実験が困難となり、光照射研究へプロトコルを変更して行ったものである。本結果は、光刺激とその応答性、環境の快適性にかかる基礎研究に重要であり、学術変革A分野の研究プロジェクトへの採択（研究統括：樋口 重和・九州大学）を目指しているが、R4年度結果は不採択であった。R4年度

は、新たに三井化学（株）との共同研究が決定しており、当該研究予算において研究を継続していく（研究代表：湯田 恵美）。光刺激応答性やVR酔いに関する研究は、生体計測分野の一端として企業からの注目も高く、今後の発展が期待されている。ウェアラブルデバイスなどによる簡易計測指標の確立や特許の取得を目指すとともに、今後も九州大学のグループと協力して、学術変革研究への採択を目指していく。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

該当なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）

1. 吉田 豊, 早野順一郎, 金子 格, 湯田恵美. 弱遮光膜を用いたグレア抑制におけるヒト快適性の自律神経機能評価. 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会 (MBE), p.57, 2022. (Online, 2022年3月開催)
2. 湯田恵美, 樽澤雄太, 西村朝日. 光刺激応答と交感神経活性亢進メカニズムを応用した早朝高血圧の抑制. 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会 (MBE), pp.28-30, 2022. (Online, 2022年1月開催)

採択番号：R03/B11

アファンタジア (aphantasia) に関する 心的イメージ情報処理特性の検討

[1] 組織

研究代表者：

高橋 純一 (福島大学人間発達文化学類)

通研対応教員：

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

齋藤 五大 (東北大学大学院文学研究科)

安永 大地 (金沢大学歴史言語文化学系)

大村 一史 (山形大学地域教育文化学部)

杉村 伸一郎 (広島大学人間社会科学研究所)

行場 次朗 (尚絅学院大学総合人間科学系)

堀川 友慈 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (本プロジェクトの目的・概要)

最近、「アファンタジア (aphantasia) : Zeman et al., 2015」と言って、“実際の知覚は機能しているが、心的イメージの形成が難しい特質”が知られてきた。心的イメージはコミュニケーション、想像(創造)や思考など日常生活の様々な場面で多用されている認知機能である。一方で、アファンタジア当事者はイメージの共有ができないためにコミュニケーションで困難を感じやすく、さらにエピソード記憶の弱さから個人内の思考や行動でも不安を感じやすい。しかしながら、アファンタジアの心理的・生理的な特性については多くのことが明らかになっていないのが現状である。

2021年度は、これから展開するアファンタジア研究を見据えて、組織内の研究者それぞれの専門分野の確認、今後の研究の方向性に関する検討を行った。また当事者とのやり取りも開始し、日常生活における当事者の体験を踏まえた研究の展開についても検討した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果：共同プロジェクトの研究会の実施

共同プロジェクト研究に採択される以前から、定期的に研究会を実施してきた(1回目：2021年1月、以後、月1回のペースで実施)。これらの研究会は「研究者メンバーによるミーティング」と「アファンタジア当事者を交えたミーティング」の2つの形式で行った。2021年度は対面での実施が困難であったため、全ての打ち合わせはzoomを用いて実施した。

研究者メンバーによるミーティング

- ・ 各自の専門分野とアファンタジア研究への寄与について

研究組織のメンバーが専門とする研究分野は多岐に渡るため、2021年度の前半は、お互いの研究内容を知ることによってアファンタジア研究を遂行するための新たな発想や展開を生む機会とした。

2021年1月24日 話題提供：堀川

脳情報学の観点からこれまでの研究内容に関する話題提供があり、アファンタジアの生理実験について話し合った。

2021年3月1日 話題提供：高橋

認知心理学および特別支援教育の観点からこれまでの研究内容に関する話題提供があり、アファンタジアの知覚・認知実験について話し合った。

2021年3月16日 話題提供：安永

心理言語学の観点から話題提供があり、アファンタジアの言語実験について話し合った。

2021年3月26日 話題提供：齋藤

触覚知覚および身体学の観点からこれまでの研究内容に関する話題提供があり、アファンタジアの知覚・認知実験について話し合った。

2021年4月19日 話題提供：大村

認知神経科学、障害児病理学の観点からこれまでの研究内容に関する話題提供があり、アファンタジアの事象関連電位(ERP)による実験、大規模調査の実際について話し合った。

2021年5月17日 話題提供：坂本

聴覚情報処理の観点からこれまでの研究内容に関する話題提供があり、アファンタジアの聴覚実験について話し合った。

2021年6月28日 話題提供：杉村

イメージ研究およびアファンタジア研究の先行知見について話題提供があり、今後の研究の方向性について話し合った。

・ **科学研究費補助金（基盤研究 B）の研究計画書作成について**

8～9月は科学研究費（基盤 B）への応募に関するやり取りを集中的に行った。

2021年8月23日 参加者：研究者メンバー全員

基盤 B の研究計画書の作成について検討を行った。研究機関を3年間とした上で、大規模調査、知覚・認知実験、生理実験をどのように構成するのか、について議論した。また、アファンタジア当事者の確保（参加者プール）について、実現可能性が高い方法を検討した。

同日 参加者：高橋・大村・杉村

科学研究費（萌芽研究）の研究計画書の作成について検討を行った。萌芽研究の目的としては、特に保育・教育分野におけるアファンタジア研究の展開であるため、保育・教育の分野に携わっている高橋・大村・杉村で研究計画書の作成を行うこととした。幼児期・児童期におけるアファンタジア当事者の定義に関するアセスメントツールの作成、保育・教育場面におけるエピソードの分析、保育者と教師の理解促進について調査および実践研究を展開するよう研究計画書を作成した。

・ **大規模調査の実施と結果の分析について**

後半は、アファンタジアの出現率について調べた大規模調査の分析、考察および投稿論文の検討を中心にミーティングを行った。また「共同プロジェクト研究発表会」における発表内容の検討も行った。さらに4月以降に基盤 B を用いて開始する研究内容と実施体制、共同プロジェクト研究2年目の方向性についても話し合った。

2022年3月24日 参加者：全員

大規模調査の分析方法と結果について確認し、投稿論文の内容について検討を行った。

また2月末日に基盤 B の採択が決定したため、4月以降の研究の方向性について確認した。大規模調査・当事者のエピソードを分析する班、知覚・認知実験班、生理実験班に分かれて、それぞれ案を出し合うことで新年度以降の検討事項とした。

アファンタジア当事者を交えたミーティング

心的イメージも含めて知覚・認知は主観的な体験であるため、それを理解するためには当事者のエピソードが重要な研究材料となる。本研究の特徴は、当事者となつながら、その主観的体験を参考にしながら実証研究を展開する点にある。

私たちは、大規模調査を展開するなかで知り合った当事者 10 名程度とメーリングリストを作成して、継続して情報交換を行ってきた。それを「当事者を交えたミーティング」として以下のように拡大した。

2021年7月18日 参加者：当事者、研究者

アファンタジア当事者の知覚・認知・イメージに関する体験をお互いに話し合ったり、それに対して研究者の立場から知見を提示して参加者全員で考察したりした。当事者の体験について重要な示唆を得ることができた。

2021年11月29日 参加者：当事者、研究者

7月の zoom ミーティングに引き続き、新たな当事者に体験を語ってもらった。特に、アファンタジア当事者にとってのウェブデザイン（視認性）について話し合われた。

2021年12月6日 参加者：当事者、研究者

7月および11月のミーティングを拡大する形で、当事者の体験が語り合われた。特に、当事者どうしがお互いにイメージや記憶の体験について相互理解を行った。それらの体験を参考にすることで、アファンタジア当事者の実際生活における体験の様相についてさらに理解を深めることができた。

2021年12月29日 参加者：当事者、研究者

当事者との打ち合わせのなかで、社会におけるアファンタジアの理解促進のためにはウェブサイトの構築が必要であるとの認識に至った。そこで2022年度の立ち上げを目指して、ウェブサイトの設計について打ち合わせを行った。2021年度のうちに、共同プロジェクトの予算を使用してウェブサイトの概要を作成することで意見がまとまった。

2022年3月26日 参加者：当事者、研究者

アファンタジア当事者においては、仕事等で困難を感じている当事者も少なくない。3月のミーティングでは、仕事における悩みについて新たな当事者に話題を提供してもらった。仕事における不便さ、周囲の理解不足について話し合われ、就労における支援等、新たな展開も模索された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

2021年度はアファンタジア研究を展開する上での組織、当事者との協働体制を構築することができた。アファンタジア研究という新たな分野を開拓する足掛かりを作ることができ、そのことが基盤 B の獲得につながったと考えている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・高橋純一 (2022) アファンタジア (aphantasia) 研究の現状と展開, 2021 年度金沢大学認知科学シンポジウム, 2022 年 3 月 3 日.
- ・高橋純一・齋藤五大・大村一史・安永大地・杉村伸一郎・坂本修一・堀川友慈・行場次朗 (2022) アファンタジアの出現率とサブタイプに関する調査. 日本認知心理学会第 19 回大会, 2022 年 3 月 1 日.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・高橋純一・行場次朗 (2021) アファンタジア (心像多様性) の当事者を対象とした単一事例研究. 東北心理学会第 74 回大会, 2021 年 12 月 11 日.
- ・高橋純一・行場次朗 (2021) アファンタジア (心像多様性) における心的イメージの特徴—著書「アファンタジア」の当事者エピソードから—. 日本イメージ心理学会第 22 回大会, 2021 年 12 月 4 日.

採択番号：R03/B12

持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究

[1] 組織

研究代表者：

石田 繁巳（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

通研対応教員：

北形 元（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

荒川 豊（九州大学システム情報科学研究院）

内山 彰（大阪大学情報科学研究科）

猿渡 俊介（大阪大学情報科学研究科）

中村 嘉隆（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

木谷 友哉（静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻）

鈴木 秀和（名城大学理工学部情報工学科）

神崎 映光（島根大学学術研究院理工学系）

米澤 拓郎（名古屋大学工学研究科）

川原 圭博（東京大学工学系研究科）

岩井 将行（東京電機大学未来科学部 情報メディア学科）

梶 克彦（愛知工業大学情報科学部）

荒瀬 由紀（大阪大学大学院情報科学研究科）

廣井 慧（京都大学防災研究所）

村尾 和哉（立命館大学情報理工学部）

松井 加奈絵（東京電機大学理工学部理工学科）

高橋 秀幸（東北学院大学教養学部）

西尾 理志（東京工業大学工学院情報通信系）

渡邊 拓貴（北海道大学情報科学研究院）

大西 鮎美（神戸大学大学院工学研究科）

神山 剛（長崎大学情報データ科学部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトでは、ユビキタス技術を持続可能な形で実現することを目的として研究を推進してきた。

■研究会開催状況

プロジェクト研究会は、2021年11月26日（金）～11月27日（土）に東北大学電気通信研究所において開催した。研究会は現地とオンラインのハイブリッド形式で行われ、本プロジェクトメンバーからの8名に加えて、関連する別の研究グループなどの研究者13名が参加し、計21件の最先端研究が発表され、議論を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1の研究成果として、**現実的な環境での通信及びセンシングに関する研究成果**を報告する。実環境ではセンシングやアクチュエーションに用いる電力が大きな課題となることから、大阪大の内山はBackscatter通信と呼ばれる超低消費電力通信技術を用いたセンシング手法を提案した。Backscatter通信は、Wi-Fiなどすでに環境中に飛んでいる電波を利用することで超低消費電力での通信を実現できる技術である。内山はこのBackscatter通信を通信ではなくセンシングに利用するBAAS (Backscatter as a Sensor) というアイデアを示し、その有効性をコンテキストセンシング及びモバイルロボットに応用することで検証した（研究成果[R7], [R15]）。名城大の鈴木は、遠隔地のプライベートネットワーク同士を擬似的に接続するVirtual Personal Area Network (VPAN) システムを提案した。位置を気にせずにIoT機器をシームレスに通信できるようにする仕組みを実現することで、近接デバイス間だけで実現されているBluetoothなどのPANネットワークを遠隔地間でも構築する技術を示した（研究成果[R11], [P1]）。東工大の西尾は、ミリ波通信の通信状況をカメラを用いて予測する手法を提案した。ミリ波通信は持続可能なユビキタスシステムにおいて重要な役割を果たす通信技術として着目されているが、直進性が強く遮蔽に弱いという特徴を持つ。これに対し、カメラを用いた障害物の移動予測に基づいてミリ波通信の通信状況を推定する手法を示した（研究成果[R2]）。また、現実環境では通信ロスを避けることができないことから、通信ロスが存在する環境下でIoT機器を用いて分散深層学習を行う手法を示した（研究成果[R9], [R16]）。愛知工大の梶は、時空間フェンシングによるクラウドソーシングベースのセンシング手法を提案し、それに向けたプラットフォームを示した。持続可能なセンシングの実現に向けてはセンシングのコストを下げ、ユーザの利益に見合う範囲でのセンシングを行うことが重要であることから、センシングのコストを下げたクラウドソーシングでユーザにセンシング依頼を行う手法を示した（研究成果[R12]）。

第2の研究成果として、**災害時の情報システムに関**

する研究成果を報告する。東北学院大の高橋は、持続的社会的の実現に向けて、災害環境下でのSOS信号送出に用いる可視光通信によるID認識技術を提案した。市販のカメラを用いた可視光通信では環境光の影響が大きく、特に屋外では頑健性が大幅に低下することから、高橋は2色のLEDを用いて差動変調を施すことで屋外、特に災害環境下でも頑健性の高い通信を実現した(研究成果[R10])。島根大の神埼は、短時間でのデータ収集を可能とする協調型データ収集手法を提案した。大規模災害時などはUAVを用いてセンシングを行うことが想定されているが、これに向けては探索データをいかに短時間で収集するかが課題となる。この課題に対し、探索地点の頻度に基づいて移動経路を定めて対象地域を効率的に探索するとともに、探索途中で無線通信可能となった場合にデータを共有することでデータ収集時間を短縮する(研究成果[P5])。また、さまざまな機関や個人の所有するUAVを使用することを考慮に入れて、残余電力を考慮しながら効率よく探索する手法を提案した(研究成果[P6])。

第3の研究成果として、**ユーザコンテキスト推定に関する研究成果**を報告する。ユビキタスシステムのユーザは情報通信技術に長けた専門家だけではなく、非専門家であることも予想されることから、システムを持続可能とするためには、手間をかけることなく利用できることが重要である。はこだて未来大の石田はユーザに負担をかけずにユーザをセンシングする技術として、スマートウォッチで取得した心拍データのみを用いてワーク・エンゲイジメントを推定する手法を提案した(研究成果[P2])。立命館大の村尾は、研究成果[R3]において国際会議でのデータ分析チャレンジSussex-Huawei Locomotion-Transportation (SHL) Recognition Challengeの結果を分析し、最新の技術でユーザの移動状況を容易に認識できることを示した。また、ヘルメットに取り付けた圧力センサを用いて頭の形を認識することでユーザを識別する手法を提案した(研究成果[R4])。さらに、ユーザが取り付けられている生体センサがユーザの体のどの位置に取り付けられているかを、ECGセンサの波形のズレによって推定する手法を提案した(研究成果[R13])。持続可能なユビキタスシステムでは交通弱者のサポートも重要な課題の1つである。愛知工大の梶は、車椅子ユーザのセンシングとして、車椅子に取り付けたBLEビーコンの信号強度を観測することで車椅子がどう動かされたのかをセンシングする手法を提案した(研究成果[R10])。非専門家ユーザを想定すると、いかにしてユーザに分かりやすいフィードバックを行うかが大きな課題となることから、神戸大の大西はヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた仮想現実(VR)において、サブタイトル情報を3次元空間上に配置する手

法を提案した(研究成果[R5])。また、ユビキタスシステムの実現によって人間が動くことが減って不健康になることが予想されることから、PC作業の一部を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システムを提案した(研究成果[R14])。北大の渡邊は、スマートフォンから発した音を用いてスマートフォンから離れた位置での手書き作業を、音声信号を使うことで非接触で認識する手法を示した(研究成果[R6])。

第4の研究成果として、**環境コンテキスト推定に関する研究成果**を報告する。はこだて未来大・石田は、置いただけで使えるIoTシステムの実現を目指し、スマートスピーカを用いてスマートスピーカが置かれている部屋周辺の部屋の間取りを推定する手法を提案した。リビング、キッチンなどの部屋の種類と部屋の方向の2つで構成される「部屋の間取り」を音を分析することで推定し、IoT機器が導入された場合にどのような部屋に導入されたのかを設定せずともIoTシステムを使用可能とした(研究成果[P3])。また、計算資源の限られたIoTデバイスでのセンシングを想定し、少ないデータ量でセンシングを実現する手法を提案した(研究成果[P4])。北大の渡邊は、コウモリの超音波による環境認識にヒントを得て、人間が超音波によって環境を認識できるのかを検証し、超音波を知覚できるように周波数変換を施せば一定の条件下で環境を認識できることを示唆した(研究成果[R1])。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

北大の渡邊は、人間の耳を情報通信技術によって拡張するヒアラブルコンピューティングにおけるセキュリティに関する研究を考案し、JST さきがけ研究領域「IoTが拓く未来」に採択された。

- ・ プロジェクト名: ヒアラブルコンピューティングにおけるセキュリティ基盤の確立
- ・ 資金制度, 研究費名: JST さきがけ
- ・ 配分機関名: 科学技術振興機構
- ・ 研究期間: 2021年10月から2025年3月

神戸大の大西は、人間が疲れたときのセンシング及びその能力の補正に関する研究を考案し、JST ACT-X研究領域「人間の耳を情報通信技術によって拡張するヒアラブルコンピューティングにおけるセキュリティに関する研究を考案し、JST さきがけJST さきがけ研究領域「AI活用で挑む学問の革新と創成」に採択された。

- ・ プロジェクト名: 疲労時五感の定式化と疲労時能力をAIで補正する五感拡張装置の開発
- ・ 資金制度, 研究費名: JST ACT-X
- ・ 配分機関名: 科学技術振興機構
- ・ 研究期間: 2021年10月から2024年3月

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- [P1] 酒井恵梨香, 池内紀貴, 鈴木秀和: 遠隔地にある PAN デバイスとの直接通信を可能とする VPAN システム, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム, vol. 11, no. 3, pp. 12-21 (Sep. 2021).
- [P2] H. Harashima, Y. Arakawa, S. Ishida, and Y. Nakamura: Estimating Work Engagement with Wrist-Worn Heart Rate Sensors, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2021), pp. 1-6 (Nov 2021).
- [P3] T. Joya, S. Ishida, Y. Mitsukude, and Y. Arakawa: Design of Room-Layout Estimator Using Smart Speaker, EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services (MobiQuitous), Main Track, pp. 1-17 (Nov. 2021).
- [P4] B. Dawton, S. Ishida, and Y. Arakawa: C-AVDI: Compressive Measurement-Based Acoustic Vehicle Detection and Identification, IEEE Access, vol. 9, pp. 159457-159474 (Dec. 2021).
- [P5] 伊藤太清, 神崎映光: 自律移動型 UAV の協調動作を用いた効率的な探索データ収集手法, 情報処理学会論文誌, vol. 63, no. 2, pp. 539-548 (Feb. 2022).
- [P6] 神崎映光, 坂本大河: UAV 協調型センシングにおける残余電力を考慮した動作制御手法, 情報処理学会論文誌, vol. 63, no. 2, pp. 713-723 (Feb. 2022).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- [R1] M. Sumiya, K. Ashihara, H. Watanabe, T. Terada, S. Hiryu, and H. Ando: Effectiveness of Time-varying Echo Information for Target Geometry Identification in Bat-inspired Human Echolocation, PLOS ONE, vol. 16, no. 5, pp. 1-19 (May 2021).
- [R2] T. Nishio, Y. Koda, J. Park, M. Bennis, K. Doppler: When Wireless Communications Meet Computer Vision in Beyond 5G, IEEE Communications Standard Magazine, vol. 5, no. 2, pp. 76-83 (June 2021).
- [R3] L. Wang, H. Gjoreski, M. Ciliberto, P. Lago, K. Murao, T. Okita, D. Roggen:

Three-year Review of the 2018-2020 SHL Challenge on Transportation and Locomotion Mode Recognition from Mobile Sensors, *frontiers* (Sep. 2021).

- [R4] A. Fujii, K. Murao: User Identification Method based on Head Shape using Pressure Sensors embedded in a Helmet, *Journal of Information Processing*, vol. 2021, no. 29, pp. 610-619 (Oct. 2021).
- [R5] Y. Shimizu, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: Gaze-Adaptive Subtitles Considering the Balance among Vertical/Horizontal and Depth of Eye Movement, *Proc. of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2021)*, pp. 137-142 (Oct. 2021).
- [R6] A. Ogura, H. Watanabe, M. Sugimoto: Device-Free Handwritten Character Recognition Method using Acoustic Signal, *Journal of Robotics and Mechatronics (JRM)*, vol. 33, no. 5, pp. 1082-1095 (Oct. 2021).
- [R7] T. Higashino, A. Uchiyama, H. Yamaguchi, S. Saruwatari, T. Watanabe, and T. Masuzawa: A New Problem Setting for Mobile Robots Based on Backscatter-Based Communication and Sensing, in *Proceedings of SSS* (Oct. 2021).
- [R8] N. Yokota, H. Yasaka, K. Sugiyasu, H. Takahashi: Improving Detection Tolerance of Visible Light IDs with Two-Color Differential Detection Scheme, *Proc. of the 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021)*, pp. 878-879 (Oct. 2021).
- [R9] S. Itahara, T. Nishio, K. Yamamoto: Packet-Loss-Tolerant Split Inference for Delay-Sensitive Deep Learning in Lossy Wireless Networks, *Proc. IEEE Globecom* (Dec. 2021).
- [R10] Y. Ogane, Y. Enokibori, K. Kaji: Monitoring Wheelchair Users in Care Facilities with BLE Beacons Attached to Wheels, *International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2021)* (Nov. 2021).
- [R11] E. Sakai, N. Ikeuchi, and H. Suzuki: Demo: Integration of Different Remote Personal Area Networks with VPAN System, *The 13th*

- International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU2021), pp. 1-2 (Nov. 2021).
- [R12] N. Miyagawa, R. Tsuchimoto, S. Suzaki, K. Kaji: Building a Crowdsensing Platform Based on Spatio-temporal Fencing, The Fourth International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications (MUSICAL 2021 Fall) (Nov. 2021).
- [R13] K. Yoshida, K. Murao: Load Position Estimation Method for Wearable Devices Based on Difference in Pulse Wave Arrival Time, MDPI Sensors, vol.22, no.3, 1090 (Jan. 2022).
- [R14] 清水裕介, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌彦: DeskWalk: パソコンを利用した作業時のキー入力を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システム, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.2, pp.468-481 (Feb. 2022).
- [R15] Y. Nakagawa, T. Maeda, A. Uchiyama, and T. Higashino: BAAS: Backscatter as a Sensor for Ultra-Low-Power Context Recognition, Journal of Information Processing, vol. 30, pp.130-139 (Feb. 2022).
- [R16] S. Itahara, T. Nishio, Y. Koda, and K. Yamamoto: Communication-oriented Model Fine-tuning for Packet-loss Resilient Distributed Inference under Highly Lossy IoT Networks, IEEE Access (Feb. 2022).

採択番号(Grant No.) : R02/S01

先端のコヒーレント波技術の基盤構築とその応用

[1] 組織

研究代表者

三村 秀典 (静岡大学電子工学研究所)

通研対応教員

八坂 洋 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

青木 徹 (静岡大学電子工学研究所)

根尾陽一郎 (静岡大学電子工学研究所)

伊藤 哲 (静岡大学電子工学研究所)

川人 祥二 (静岡大学電子工学研究所)

香川景一郎 (静岡大学電子工学研究所)

安富 啓太 (静岡大学電子工学研究所)

原 和彦 (静岡大学電子工学研究所)

小南 裕子 (静岡大学電子工学研究所)

猪川 洋 (静岡大学電子工学研究所)

佐藤 弘明 (静岡大学電子工学研究所)

庭山 雅司 (静岡大学電子工学研究所)

小野 篤史 (静岡大学電子工学研究所)

佐々木哲朗 (静岡大学電子工学研究所)

小野 行徳 (静岡大学電子工学研究所)

横田 信英 (東北大学電気通信研究所)

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

片野 諭 (東北大学電気通信研究所)

吉田 真人 (東北大学電気通信研究所)

藤掛 英夫 (東北大学大学院工学研究科)

石鍋 隆宏 (東北大学大学院工学研究科)

柴田 陽生 (東北大学大学院工学研究科)

延べ参加人数 37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4年1月7日、当プロジェクトメンバーを中心に15名が参加して冬季研究会(於：電気通信研究所)が開催され、8件の口頭発表など非常に活発な討議が行われ、横断的な研究交流が図られ、また若手人材交流が推進された。そして、令和4年2月17日、通研共プロ成果報告会において電研安富啓太准教授が「Time-of-Flight Range Image Sensors with Sub-100 μ m Precision for 3D Scanning Applications」と題して、高精度のイメージセンサを紹介し、3D スキャニングにおけるアプリケーションとしての可能性を示した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【静岡大学・三村・根尾研究室】クレッチマン配置によるプラズモン増幅のプロセス開発を行った。N-SF11 ガラス基板の上にMgF₂/Ag/MgF₂/Airを構築した。基板温度300度での蒸着によりMgF₂膜の両界面のプラズモン共鳴において良好な特性を得る事を見出した。またATR結合を不要とするためプラズモニック結晶の作製を行った。Si異方性エッチングにより作成したモールドを転写する事で1次元プラズモニック結晶の作製に成功した。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】真のフルデジタルデバイスとしてフォトン-電荷カウンティング型の信号処理のデバイスを試作した。原理に忠実なこの信号処理はX線電荷変換素子内部のキャリア移動特性が直接信号に影響するためパルスレーザーを用いた動特性評価を進め、現在発生している素子の経時変化の解明を行った。

【静岡大学・佐々木研究室】テラヘルツ分光スペクトル測定は従来粉末微結晶を対象としてきたが、今回単結晶に対して適用したところ、更なる狭線幅吸収線が観測された。これは高い周波数純度を持つテラヘルツ波と結晶格子振動のコヒーレンス長増大による効果であると考えられる。特に液体窒素温度程度でも5GHzの半値幅が得られたことで、今後は高価な液体Heを用いずに高精度計測が可能となる。

【静岡大学・小野篤史研究室】コヒーレント光を時間的、空間的に制御するプラズモニックデバイスの開発を目的とし、銀ナノキューブ単層集積膜の作製技術を確立した。藤掛・石鍋研との共同研究にて、銀ナノキューブ単層集積膜上に液晶を充填し、電界駆動による表面プラズモン共鳴制御を試みた。銀ナノキューブ集積膜由来の表面プラズモン共鳴波長が引加電圧に比例して波長シフトしている様子が観測された。今後、偏光依存性や液晶配向の関係など、更に実験を進め、波長シフトメカニズムを解明する。

【静岡大学・猪川研究室】斜め2回蒸着によるナノギャップ形成とスパッタリング法による金属ナノドット形成を組み合わせた単電子トランジスタ(SET)作製方法において、ドット領域をnm寸法に限定する事でSET整流動作の高周波特性を改善した。SOIフォトダイオードのために各種の新奇2次元ホールアレー状表面プラズモンアンテナを形成し、分光感

度特性を評価した。六方格子状のアンテナでは複数の波長で感度ピークが現れ、それぞれのピークで感度が最大となる開口率が異なることが分かった。

【静岡大学・庭山研究室】本年度は ToF と空間分解式 NIRS を同時計測できる厚さ 2mm でフレキシブルな小型モジュールを試作し、ノイズ等に関する回路動作特性を検証した。また、生体模擬試料での実験を行った結果、吸収係数と等価散乱係数を算出できることが示された。てんかん手術で頭部埋込式モニタリングをしたい場合などに、新たに開発したモジュールを用いることで散乱を考慮した高精度な血液動態計測が可能になると考えられる。

【静岡大学・小野行徳研究室】前年度に引き続き、これらの観測手法の基礎となるシリコン系 PN 接合、および MOS トランジスタの 2 次元電子系の伝導特性の極低温計測、およびその外部磁場依存性を詳細に調べ、これを基に観測のための最適デバイス構造、および作製プロセスを検討した。その結果、極低温において新たに MOS 2 次元電子系の金属絶縁体転移がゲート制御可能であることを見出した。

【静岡大学・川人研究室】近赤外光に対する量子効率向上策、直接法間接法ハイブリッド型画素駆動方式、光電荷輸送の高速化を図る光電荷復調器として Tapped PN-junction Diode (TPD) 構造を組み込んだ 8 タップ CMOS イメージセンサの評価を進め、高パワー高速近赤外 VCSEL 光源と組み合わせて太陽光下で距離測定を実施し、1.32%FS 以下の直線性と、10m で 16.4cm (1.4%) 以下の距離分解能を達成した。

【静岡大学・原・小南研究室】新たに立ち上げた局所基板加熱型の CVD 装置を使用して、c 面サファイア基板上への h-BN 薄膜の成長プロセスの最適化を図った。この新装置を用いることで、従来のホットウォール型 CVD 装置で作製した試料と比較し、発光特性を大幅に改善できた。膜質向上は原料ガス間の気相反応や膜中への炭素混入が減少したためと考えられる。さらに、原料の BCl_3 と NH_3 の供給タイミングが膜質の改善につながることも明らかにした。

【東北大学・八坂・吉田研究室】ファブリペロー型光フィルタを半導体レーザへの光負帰還用周波数弁別器として用いることで、周波数変調時においてもスペクトル線幅約 2 kHz に相当する低 FM ノイズ特性が得られ、300 m のファイバ長においても約 30 dB の高い信号対ノイズ比で周波数連続変調方式の測距信号が得られることを確認した。

【東北大学・片野研究室】静岡大学小野研との共同研究成果を論文として発表することができた。第一原理計算を用いた振動状態解析により、ナノギャップに挟まれた高分子薄膜の化学状態を評価した。密度汎関数法による構造・振動エネルギー解析により、

分子-分子間および金属-分子間の相互作用に異方性があることを明らかにし、これら化学的な相互作用と振動エネルギーに相関があることを見出した。

【東北大学・坂本研究室】球状多チャンネルマイクロホンアレイを用いたバイノーラル音空間提示技術は、マイクロホンの個数と使用する頭部伝達関数の個数の関係により適した実装法が異なる。一方、このいずれの実装法ともに、時間周波数領域と波動方程式に基づく球面調和スペクトル領域での表現法が存在する。そこでこれらの表現法の違いと実装法の違いが再現音空間に与える影響を分析し、各条件において最適な表現法および実装法を明らかにした。

【東北大学・藤掛・石鍋研究室】コレステリック液晶はねじれ配向に応じた波長や円偏光を選択的に反射するため、ディスプレイはもとより記録材料や光学部品として有用であるが、温度変化でねじれピッチが変わりやすいという課題がある。そこで、自発分極が大きなシアノ系ネマチック液晶に水素結合で分子が凝集する dendrimer を添加し、ねじれ配向の安定化を試みた。その結果、dendrimer の高分子ネットワークにより温度変化に対するピッチ変動を抑制できることが分かった。この効果は様々な液晶の分子配向を安定化する際に役立つ可能性がある。

(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では、THz 波とコヒーレンス長増大により狭線幅吸収線を観測できたことで高精度計測の可能性を確認した。コヒーレント光の時空間制御に関する研究では、小野篤史研と藤掛・石鍋研との共同により銀ナノキューブ単層集積膜上に液晶を充填して電界駆動による表面プラズモン共鳴を制御し、銀ナノキューブ単層膜の作製技術を確立した。光のコヒーレント性を利用した高機能アンテナ付き光検出器に関する研究では、nm 寸法の光検出器の低光吸収効率を補う新奇 2 次元ホールアレー状表面プラズモンアンテナを形成し分光感度特性を評価した。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では TPD 構造を組み込んだ 8 タップ CMOS イメージセンサと高パワー高速近赤外 VCSEL により直線性、距離分解能において高精度化が図られた。X 線領域の高次情報抽出イメージャーの研究では、真のフルデジタルデバイスとしてフォトン-電荷カウンティング型の信号処理のデバイスを試作した。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では ToF と空間分解式 NIRS を同時計測できるフレキシブルな小型モジュールを試作した。以上、各研究課題の進展に加え、研究所間の共同研究、連携が進み論文投稿等の顕著な進展が見られ、更なる波及効果が期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- N. Umehara, T. Adachi, A. Masuda, T. Kouno, H. Kominami and K. Hara, "Room-temperature intrinsic excitonic luminescence from a hexagonal boron nitride thin film grown on a sapphire substrate by low-pressure chemical vapor deposition using BCl₃ as a boron source" *Jpn. J. Appl. Phys.* 60, 075502 (2021年7月)
- N. Yokota, H. Kiuchi, and H. Yasaka, "Directly modulated optical negative feedback lasers for long-range FMCW LiDAR," *Opt. Express* (2022), in press

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- 村松 航太 文 宗鉉 細田 誠 三村 秀典 根尾陽一郎, “転写モールド法によるプラズモニク結晶ホトカソードの作製”, 第82回応用物理学会秋季学術講演会 22a-P07-3 2021/9/22
- 小池 励 根尾陽一郎 三村秀典 松本貴裕 細田誠, “深紫外線フィールドエミッションランプの開発” 信技報 ED2021-46 2022/12/9
- K. Takagi, K. Toyoda, H. Kase, T. Takagi, K. Tabata, T. Terao, H. Morii, A. Koike, T. Aoki, M. Nogami, K. Hitomi 「Bias Polarity Switching-Type TlBr X-Ray Imager」, *IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE* vol.68(9) p2435-2439、2021年発表、DOIコード: 10.1109/TNS.2021.3078448
- K. Takagi, T. Takagi, T. Terao, H. Morii, A. Koike, T. Aoki 「Readout Architecture Based on a Novel Photon-Counting and Energy Integrating Processing for X-Ray Imaging」, *IEEE TRANSACTIONS ON RADIATION AND PLASMA MEDICAL SCIENCES* vol.5(4) p501-507、2021年発表、DOIコード: 10.1109/TRPMS.2020.3026665
- J. Nishizawa, V. Gnatyuk, K. Zelenska, A. Kokie, T. Aoki 「Comparative study of In/CdTe/Au Schottky- and p-n junction-diode detectors formed by backside laser irradiation doping」, *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT* vol.985 記事番号 164683、2021年発表、DOIコード: 10.1016/j.nima.2020.164683
- N. Soga, A. Bandara, K. Kan, A. Koike, T. Aoki 「Micro-computed tomography to analyze industrial die-cast Al-alloys and examine impregnation polymer resin as a casting cavity sealant」, *PRODUCTION ENGINEERING-RESEARCH AND DEVELOPMENT* vol.15(6) p885-896、2021年発表、DOIコード: 10.1007/s11740-021-01071-1

- K. Kimura, Y. Imura, K. Takagi, T. Aoki 「Data traffic compression in spectral photon-counting CT imaging based on human visual characteristics」, *Journal of Instrumentation* vol.16 記事番号 P02007、2021年発表、DOIコード: 10.1088/1748-0221/16/02/P02007
- Riko Domon, Tetsuo Sasaki, "Vibrational Mode Assignment of D-Mannitol by Terahertz Polarization Spectroscopy", *The 6th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2021)*, Dec.2-3, (2021)
- Y. Iwata, T. Nishimura, A. Singh, H. Satoh, and H. Inokawa, "High-Frequency Rectifying Characteristics of Metallic Single-Electron Transistor with Niobium Nanodots," *Jpn. J. Appl. Phys.* (December 22, 2021) accepted.
- A. Nagarajan, A. P. Panchanathan, P. Chelliah, H. Satoh, H. Inokawa, "FDTD Study on Evolution of Trimer Silver@Silica Nanospheres to Dimer for SERS Characteristics," *Plasmonics*, DOI: [10.1007/s11468-021-01554-y](https://doi.org/10.1007/s11468-021-01554-y) (October 13, 2021).
- R. Manivannan, H. Satoh, and H. Inokawa, "Real-time FPGA-based signal processing for silicon-on-insulator MOSFET single-photon detector: study on photon number statistics," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 60, p. 092004 (August 16, 2021).
- M. Niwayama and N. Unno, "Tissue Oximeter with Selectable Measurement Depth Using Spatially Resolved Near-Infrared Spectroscopy," *Sensors*, Vol. 21, No. 16, pp. 5573 01–11 (2021)
- M. Razanoelina, M. Hori, A. Fujiwara, Y. Ono Critical conductance of two-dimensional electron gas in silicon-on-insulator metal-oxide-semiconductor field-effect transistor *Applied Physics Express*, vol.14 September (2021) 104003.
- R. Miyazawa, Y. Shirakawa, K. Mars, K. Yasutomi, K. Kagawa, S. Aoyama, S. Kawahito, "An 8-tap image sensor using tapped PN-junction diode demodulation pixels for short-pulse time-of-flight measurements," *Electronic Imaging 2022*, ISS-174, Online, 2022.1.19.
- S. Kawahito, K. Yasutomi, K. Mars, "Hybrid Time-of-Flight Image Sensors for Middle-Range Outdoor Applications," *IEEE Open Journal of the Solid-State Circuits Society*, 2021.12.7.
- T. Furuhashi, K. Yasutomi, R. Hatada, M. Tamaya, K. Kagawa, S. Kawahito, "Range-precision improvement of a time-of-flight range sensor using dual reference plane sampling," *Optics Express*, vol.29, No.23., 2021.11.8.
- K. Yasutomi, S. Kawahito, "Lock-in Pixel Based Time-of-Flight Range Imagers: An Overview," *IEICE Transactions on Electronics*, 2022.1.5.

- N. Yokota, H. Kiuchi, and H. Yasaka, "Low-phase-noise optical negative feedback laser for long-distance ranging with high signal-to-noise ratio," 27th International Semiconductor Laser Conference (ISLC), WA1.3 (2021).
- 武元航, 坂本修一, "空間関数表現に基づくバイノーラル収音再生法の実現モデルの違いが音空間再現精度に与える影響," 電子情報通信学会技術研究報告, EA2021-26, 33-38 (2021).
- T. Iwahori, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano, "Thermally and photoinduced structural and chemical changes of a silver nanocube array on Au(111)", RSC Adv., 11, 15847-15855 (2021).
- S. Katano, T. Sasajima, and R. Kasama, "Nanoscale Observation of Light Emission from Reduced and Unreduced Graphene Oxide", 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29), S4-39 (2021).

採択番号 : R03/SI01

人間科学と AI 技術 Human sciences with AI technologies

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator)

Su-Ling Yeh (National Taiwan University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)

Satoshi Shioiri (RIEC, Tohoku University)

研究分担者 (Project Member List)

Li-Chen Fu (National Taiwan University)

Hsiu-Ping Yueh (National Taiwan University)

Tsung-Ren Huang (National Taiwan University)

Shu-Kai Hsieh (National Taiwan University)

Yung-Jen Hsu (National Taiwan University)

Jong-Tsun Huang (National Taiwan University)

Keng-Chen Liang (National Taiwan University)

Tai-Li Chou (National Taiwan University)

Joshua Goh (National Taiwan University)

Yoshifumi Kitamura (RIEC, Tohoku University)

Yoshihiko Horio (RIEC, Tohoku University)

Takahiro Hanyu (RIEC, Tohoku University)

Chia-huei Tseng (RIEC, Tohoku University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) 148 人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容(Purpose of this project, research plan and contents)

AI application in industry, business, medical treatment and human science is the most remarkable and forward-looking research area. The proposed study area, AI in Human Studies will create synergy based on the strength of the two research institutes. The AI and advanced robotic center at NTU consists of a strong team from human studies: education, psychology, medicine, humanities, and etc. RIEC at Tohoku includes experts in Advanced Acoustic Information Systems, Visual Cognition and Systems, Interactive Content Design, Soft Computing Integrated System, New Paradigm VLSI System.

The two research institutes have co-organized a symposium (The First NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies) on December 23, 2017 in Taipei, Taiwan. It was a public event which attracted more than 100 attendants from academic fields and the public. From the initial preparation and execution, the two teams have established several possible collaboration research lines

as well as joint research plan. The second Tohoku-NTU symposium was held on November 24 and 25, 2018 at RIEC in Sendai, the third one was held on NTU, on November 24, 2019 and the fourth one was held on March 12 and 13 on line due to the COVID 19 pandemic.

In this year, the fifth NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies was held on March 19th on line. It had 15 talks, including a special session of co-creating research with Kyoto University.

Talks Speakers and Title

Potential of Nonverbal Information to Enrich Interpersonal Telecommunication

Yoshifumi Kitamura

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan

Multi-view Artistic Style Synthesis and 3d Human Pose Tracking

Chu-Song Chen

Department of Computer Science & Information Engineering, National Taiwan University, Taiwan

Towards Hardware with Reference-self

Yoshihiko Horio

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan

Keynote Speech - How AI Can Help Doctors to Help People

Weichung Wang

MeDA Lab and Institute of Applied Mathematical Sciences, National Taiwan University, Taiwan

Intelligent Medical Information Systems

Masanori Hariyama

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan

Enhancing Machine Theory of Mind in Social Robots

Tsung-Ren Huang

Department of Psychology, National Taiwan University, Taiwan

Early Detection of Alzheimer's Disease by Using Human-Robot Interactions

Yu-Ling Chang

Department of Psychology, National Taiwan University, Taiwan

Spatial Analysis of Subjective Well-being in Japan. Is Civic Capital Associated with Happiness?

Yasumasa Matsuda

Graduate School of Economics and Management, Tohoku University, Japan

Kyoto University and National Taiwan University Special Session: Co-eating Research

(Opening) Co-Eating toward QOL Improvements

Yuichi Nakamura

Graduate School of Electrical and Engineering, Kyoto University, Japan

Robots' Surface Textures Affect on the Age-related Uncanny Valley Effect

Te-Chi Huang

Department of Intelligence Science and Technology, Graduate School of Informatics, Kyoto University, Japan

Robot Talk Matters: How Error-Handling Design Affected Older Users' Interaction and Use

Weijane Lin

Department of Library and Information Science, National Taiwan University, Taiwan

Comparison-based Smile Intensity Analysis for Internal State Estimation

Kei Shimonishi

Department of Intelligence Science and Technology, Graduate School of Informatics, Kyoto University, Japan

Face Tracking of Zenbo Junior Based on Reinforcement Learning

Shih-Huan Tseng

Department of Computer and Communication Engineering, National Kaohsiung University of Science Technology, Taiwan

Effects of Mood State on Taste Perception

Naoya Zushi

Doctoral Programs in Neuroscience, Degree Programs in Comprehensive Human Sciences, Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

(Closing) Eating, Gerontechnology, and Subjective Wellbeing

Hsiu-Ping Yueh

Department of Bio-Industry Communication and Development, National Taiwan University, Taiwan

[3] 成果等(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

The following list shows collaboration topics between the two organization.

- (1) AI & Social Robotics
- (2) AI & Education
- (3) AI & Robots for the Aging Society:

(4) Speech and Natural Language Processing

(5) Ethics and Law in AI

(6) AI & Human Mental Functions

(7) Yotta Informatics and AI

(8) AI & Medical Imagine

Among the topics listed above, details are shown for topic (1) and (2). For the application of AI to education, collaboration has been started between Profs. Yueh and Shioiri. Estimating students' engagement while studying is important to increase learning outcomes. However, it is difficult for teachers to pay attention to all students in online lectures. To solve the problem, a method to estimate the task performance of learners from their facial expressions was developed. First, participants' task performance was measured as speed to calculate addition or subtraction of pairs of 3- or 4-digit numbers in mind. Recorded face images while pursuing the calculation were used to train a machine learning model to predict response times to respond from facial features. The method succeeded in predicting response time with a certain degree of accuracy. This method is planned to apply cross cultural studies. Through discussions on AI and Social Robotics, it was found that the key to rich interpersonal telecommunication is how well nonverbal information is conveyed. Focusing on human behavior among extensive nonverbal information, a project was started to generate emotionally rich movements of characters or avatars by creating an AI that maps the activities of the Motion Unit to their emotional expressions. This project has been adopted as a NEDO research project entitled "Innovative Remote Technology Development by Utilizing Artificial Intelligence"

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The project aims to progress the research in the fields of AI and human sciences through the collaboration of the two organizations. We expect a variety of novel applications of information and robotics technologies with the development and use of AI technologies. It is crucial to understand human in the use many of these applications and without development of AI without human sciences may cause troubles in the society. The project explores the futures for hearty developments of AI technology and the two organizations are expected to be the centers of the research field not only in Japan and Taiwan, but also in the world.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

1. 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.
2. 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.
3. Lee, H. H., Chen, Z. L., Yeh, S. L.*, Hsiao, J. H. W., & Wu, A. A. Y. (2021). When eyes wander around: Mind-wandering as revealed by eye movement analysis with hidden Markov models. *Sensors*, 21(22), 7569.
4. 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.
5. Chen, Y. C., Yeh, S. L.*, & Tang, P. F. (2021). Age-related changes in audiovisual simultaneity perception and their relationship with working memory. *The Journals of Gerontology: Series B*, 76(6), 1095-1103.
6. Hsiao, J. H., Chan, A. B., An, J., Yeh, S. L., & Jingling, L. (2021). Understanding the collinear masking effect in visual search through eye tracking. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(6), 1933-1943.
7. Lee, H. H., Tu, Y. C., & Yeh, S. L.* (2021). In search of blue-light effects on cognitive control. *Scientific Reports*, 11, 15505.
8. Lee, H. H., & Yeh, S. L.* (2021). Blue-light effects on saccadic eye movements and attentional disengagement. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 83(4), 1713-1728.
9. Shioiri, S. Sasada, T. & Nishikawa R., Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information, *Cerebral Cortex Communications*, Volume 3, Issue 1, 2022, tgac005 (2022)
10. Shioiri, S. Sato, Y., Horaguchi Y. Muraoka, H. & Nihei, M. Quali-informatics in the society with yotta scale data IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 1-4 (2021)
11. Sato, Y. Matsubara, K. Wada Y. Sakai, N. & Shioiri, S. Analysis of visual subjective evaluation for qualities of food taste using machine learning techniques, IEICE Technical Report; IEICE Tech. Rep. 120 (418), 58-62 (2021)
12. Shioiri, S. Matsumiya, K. & Tseng, C. Contribution of the slow motion mechanism to global motion revealed by an MAE technique. *Scientific reports* 11 (1), 1-17 (2021)
13. Lai, T.L., Lin, Y.S., Chou, C.Y., & Yueh, H-P. (2021). Evaluation of an inquiry-based virtual lab for junior high school science classes. *Journal of Educational Computing Research*.
14. Chen, YC., Gamborino, E., Fu, LC., Yueh, HP., Yeh, SL. Social Presence in Evaluations for a Humanoid Robot and Its Effect on Children-Robot Relationship. In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S. (eds) HCI International 2021 - Posters. HCII 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1419. Springer
15. W. Lin, Y. Kotakehara, Y. Hirota, M. Murakami, K. Kakusho and H. -P. Yueh, "Modeling Reading Behaviors: An Automatic Approach to Eye Movement Analytics," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63580-63590, 2021, doi: 10.1109
16. W. Lin, HC Chen, PH Yueh, Using Different Error Handling Strategies to Facilitate Older Users' Interaction With Chatbots in Learning Information and Communication Technologies, *Frontiers in Psychology* 12
17. Daisuke Suzuki, Takahiro Oka, Akira Tamakoshi, Yasuhiro Takako, and Takahiro Hanyu, "Design framework for an energy-efficient binary convolutional neural network accelerator based on nonvolatile logic," *Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), IEICE, Vol.E12-N, No.4, pp.695--710, Oct. 2021.*
18. Naoya Onizawa, Akira Tamakoshi, and Takahiro Hanyu, "Hardware Acceleration of Large-Scale CMOS Invertible Logic Based on Sparse Hamiltonian Matrices," *IEEE Open Journal of Circuits and Systems*, Vol.2, pp.782-791, Dec. 2021.
19. S. Sato, S. Moriya, Y. Kanke, H. Yamamoto, Y. Horio, Y. Yuminaka, and J. Madrenas, "A subthreshold spiking neuron circuit based on the Izhikevich model," in *Artificial Neural Networks and Machine Learning*, I. Farkaš, P. Masulli, S. Otte, and S. Wermter eds., *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12895, Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-030-86383-8_14, September 7, 2021.
20. T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of chaotic neural network reservoir using improved cyclic neuron circuit for stacked 3D integrated circuit," in *Proc. The 2021 Nonlinear Science Workshop*, p. NLSW-9, Online, December 6-8, 2021.
21. Y. Horio, K. Naoe, S. Sato, Y. Yamanouchi, Y. Takaura,

- M. Yamaguchi, M. Morishima, and A. Hirano-Iwata, "Designing the human-centric IoT society: Cooperative industry-academic strategies for creative future connection," in Proc. The 2021 Nonlinear Science Workshop, p. NLSW-0, Online, December 6-8, 2021.
22. Y. Horio, T. Orima, K. Kiyoyama, and M. Koyanagi, "Implementation of a chaotic neural network reservoir on a TSV/ μ bump stacked 3D cyclic neural network integrated circuit," in Proc. 2021 IEEE International 3D System Integration Conference, paper number 5b (4 pages), Online, November 16-19, 2021.
 23. 富松智志, 坂本修一, 川瀬哲明, CHAITMaria 聴覚的注意の空間特性の方向依存性に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, SP2021-37 (2021), 66-70
 24. 富松智志, 坂本修一, 川瀬哲明, 聴覚的注意の全方位における空間特性の検討 日本音響学会講演論文集, 1-4P-4 (2021 年秋), 707-708
 25. Yoshiki Kudo, Anthony Tang, Kazuyuki Fujita, Isamu Endo, Kazuki, Takashima, Yoshifumi Kitamura, Towards Balancing VR Immersion and Bystander Awareness. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, Volume 5, Issue, ISS, Article No. 484, November 2021. <https://doi.org/10.1145/3486950>, [Best Paper Award]
 26. Huang, T.-R., Liu, Y.-W., Hsu, S.-M., Goh, J. O. S., Chang, Y.-L., Yeh, S.-L., & Fu, L.-C. (2021). Asynchronously embedding psychological test questions into human-robot conversations for user profiling. *International Journal of Social Robotics*, 13(6), 1359-1368. (IF=5.126)
 27. Chen, Y. S., Chien, S. E., & Yeh, S. L. "The development of the uncanny valley in children." The European Conference on Visual Perception, Virtual Meeting. 2021.
 28. Huang, T. C., Nakashima, R., Iwai, R., Chien, S. E., Yeh, S. L., & Kumada, T. "Facial surface property modulates uncanny valley effect of robot face on older adults." The European Conference on Visual Perception, Virtual Meeting. 2021.
 29. Tseng, C. H., Hung, T. F., & Yeh, S. L. Robot-human partnership is unique: Partner-advantage in a shape-matching task. *HCI International*, Virtual Meeting. 2021.
 30. 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), Naples, Italy, pp. 1013-1019, doi: 10.1109/RO-MAN47096.2020.9223453.

採択番号：R02/U01

オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討

[1] 組織

研究代表者：

塩入 諭 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員：

塩入 諭 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

和田 有史 (立命館大学)

澤谷 由里子 (名古屋商科大学)

満上 育久 (広島市立大学)

伊藤 彰則 (東北大学工学研究科)

渡部 信一 (東北大学教育学研究科)

中島 平 (東北大学教育学研究科)

佐藤 宇樹 (東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター)

佐藤 好幸 (東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター)

山本 浩輔 (東北大学電気通信研究所)

羽鳥 康裕 (東北大学電気通信研究所)

山内正憲 (東北大学医学系研究科)

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：15人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

ポストコロナ、ニューノーマル時代においては、情報インフラを利用した遠隔、オンラインコミュニケーションの重要性が増大することは間違いない。すでに新型コロナウイルス感染症防止対策のために、会議や打ち合わせ、授業などの多くはオンラインで実施され、日常化されている。感染症対策は永遠に続く訳ではないが、開始された遠隔コミュニケーションの利用は将来にわたって継続されることが見込まれる。利用拡大に伴い、対面コミュニケーションとオンラインコミュニケーションとの違いやその解消などに関する研究が注目される。オンラインコミュニケーションに関する研究を考えると、オンラインコミュニケーションの限界に関する興味がある一方、これまでにない新しいコミュニケーションの可能性にも注目される。オンラインのコミュニケーションにおいては、顔表情を中心とした非言語情報や生体情報の蓄積やその処理など従来考えられなかった情報の利活用が可能となる。本研究で

は、そのような情報を利用することで、対象者の心的過程を評価する技術開発に向けた基礎研究を行い、より豊かなコミュニケーションの将来的可能性について検討を行う。特にオンラインによる学習に注目し、学習者の顔表情、体勢、体動、手足の運動などを利用して、学習者の注意状態を推定することを目的とする。

2021年度は、2020年度の6回の研究会による情報交換に基づき、遠隔授業を想定した非言語情報と注意状態など学習効果に関する実験的研究方法についての検討を進めた。また、国際シンポジウム "Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022" の特別セッションを企画し、研究成果に関する意見交換を行った。そこでは、Hsiu-Ping Yueh 教授 (National Taiwan University) の特別講演 "Exploring Learning and Reading Behavior - From Observation, Tracking to Modeling" に続き下記4件の研究報告と議論があった。

1. Haruka Kato, Koki Takahashi, Yuta Horaguchi, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, Satoshi Shioiri, Predicting attention states during calculation in mind by facial expressions.
2. Renjun Miao, Haruka Kato, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, Satoshi Shioiri, Estimation of attention states using facial expressions for online lectures.
3. Ikuhisa Mitsugami, Gaze Estimation and Analysis for Consumer VR Goggles.
4. Akinori Ito The Virtual Classmate Project: Incorporating Spoken Dialogue Technology into Online Lecture.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

国際シンポジウムでの講演内容は、1)「暗算課題に対する集中度や注意状態を推定のための、顔特徴を利用した機械学習による解答時間の予測」、2)「顔表情を利用したオンライン講義における注意状態の推定」、3)「遠隔コミュニケーション時に有効利用可能な、VRゴーグル利用時の視線計測手法の検討」および4「オンライン講義における講義理解のための、仮想的支援者の実現に関する研究」である。1)-3)は本プロジェクトと「H31A23 学習支援のための追体験システムの構築」の連携成果であり、1)と3)についてはH31A23の成果報告に記載されている。

「顔表情を利用したオンライン講義における注意状態の推定」では、受講中の注意状態の推定を心理物理学的に計測する方法として、課題非関連刺激の検出に要する時間の計測によるものを開発した。顔表情などを利用した注意や集中度の推定の試みは近年増加しているが、信頼のおける注意状態の推定を利用した研究はほとんど見られない。この研究では、実験心理学的な注意計測の研究に基づき、聴覚刺激を利用した手法を提案した。課題（講義動画の視聴）と関連のない刺激を提示し、その刺激に対する応答を計測することで、課題への注意状態を推定するものである。課題への注意状態が高いほど、非関連刺激への応答には時間が長くなる（あるいは検出できない）ことが予想されるため、応答時間を注意状態の指標として利用できる（図1）。動画は提示するがその内容理解を求めない条件と比較することで、応答時間が注意状態を反映するかどうかを確認することができる。動画内容の理解が求められない場合は、求められた場合よりも顕著に応答時間が短縮されることを確認したことから、この手法の有効性が実証された。その上で顔表情から応答時間の推定手法を提案した。

課題非関連刺激への応答により注意状態を計測



図1 課題非関連刺激への応答による主課題への注意レベルの推定。PHPに関する講義動画を見て学習

することを主課題とし、それと無関係の聴覚刺激を低頻度（30秒に1回程度）を提示し、それに対する応答時間を計測した。

「オンライン講義における講義理解のための、仮想的支援者の実現に関する研究」は、講義内容に応じて受講者とインタラクションを行うことで受講者の理解を促進する仮想エージェントの実現を目指すものである。その初期検討として、今年度は講義動画の中から重要な部分を自動的に抽出する実験を行った。3つの講義動画（各90分）について、まず人手による重要箇所のアノテーションを行った。次に、講義音声の書き起こし文に対して複数の文書要約アルゴリズムを適用し、重要文の抽出がどの程度可能かを調査した。その結果、有効なアルゴリズム、およびその有効性は講義を行う教員によって異なることが明らかになった。また、講義音声の音量と声の高さの利用を検討したところ、その有効性も教員による差が大きかった。講義の重要度の知覚に関して教員の発話スタイルや内容がどのように影響するかはこれまでほとんど研究されておらず、今後の検討を要する。また、システム開発に向けて、仮想エージェントと動画を同時に表示するシステムをUnityによって開発し、また感情ラベルに基づいてエージェントの表情をリアルタイム制御するシステムを開発した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で用いる顔表情による心的過程推定手法は、遠隔コミュニケーションを中心に注目が集まっている分野であり、研究大学コンソーシアム「MIRAI プロジェクト」(36研究機関参加)による連携研究マッチング活動においても、医療分野、福祉ロボット分野等の応用分野の研究者から6件の問い合わせがあり、意見交換を実施した。メタバースの例のように、今後の遠隔コミュニケーション技術の発展はより高度化が見込まれ、その中で参加者の内的状態をいかに推定するか、非言語情報をいかに利用するかは、解明、解決が求められる大きな課題である。今後のMIRAIプロジェクトへの貢献も含め発展が期待される。

また、分担者伊藤が代表として、科研費基盤研究B(一般)「オンライン授業支援のためのバーチャル・クラスメートの開発」が採択され、実質的研究を開始した。その成果については上記シンポジウムで報告された。

国際シンポジウム

”Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022”

2022年3月17日、18日

オンライン開催

参加者 50名

研究プロジェクト

「オンライン授業支援のためのバーチャル・クラス
メートの開発」科研費基盤研究B（一般）2021-2025

代表：伊藤彰則

[4] 論文や学会発表等

（本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されて
いる主要論文リスト（本年度分に限る）を掲載して
ください。）

(1) 成果リスト（謝辞あり）

(2) 関連リスト（謝辞なし）

1. Shioiri, S. Sasada, T. & Nishikawa R.,
Visual attention around a hand location
localized by proprioceptive information,
Cerebral Cortex Communications, Volume 3,
Issue 1, 2022, tgac005 (2022)
2. Shioiri, S. Sato, Y., Horaguchi Y. Muraoka,
H. & Nihei, M. Quali-informatics in the
society with yotta scale data IEEE
International Symposium on Circuits and
Systems (ISCAS), 1-4 (2021)
3. Sato, Y. Matsubara, K. Wada Y. Sakai, N. &
Shioiri, S. Analysis of visual subjective
evaluation for qualities of food taste
using machine learning techniques, IEICE
Technical Report; IEICE Tech. Rep. 120
(418), 58-62, (2021)
4. Shioiri, S. Matsumiya, K. & Tseng, C.
Contribution of the slow motion mechanism
to global motion revealed by an MAE
technique. Scientific reports 11 (1), 1-17
(2021)
5. 佐藤好幸, 洞口勇太, 塩入諭, 複数の画像ド
メインにおける顔表情特徴量を用いた画像の
好み推定, 人工知能学会全国大会論文集 第
35 回全国大会 (2021)

6. Tseng, C. Cheng, M, Matout, H. Fujita, K,
Kitamura, Y., Shioiri, S., Bachrach, A.,
MA and Togetherness in Joint Dance
Improvisation, 日本心理学会大会発表論文集,
PI-092-PI-092 (2021)
7. Tseng, CH. Cheng, M, Matout, M. Fujita, K.
Kitamura, Y. Shioiri, S. Bachrach A. ,
Perceptions sociales du «Ma» et de «l' être
ensemble». À propos d' improvisations
dansées, Techniques & Culture. Revue
semestrielle d' anthropologie des
techniques (2021)
8. 坂井美友, 世波里菜, 村上純一, 満上育久,
山岸典子, 「VR 環境下での視覚探索時間に対
する人の心的状態の影響」, 日本バーチャルリ
アリティ学会論文誌, Vol. 26, No. 1, 2021.

採択番号 : R03/U01

オンライン環境におけるアンサンブル演奏の 遅延の影響の検討

The Effects of Network Delay in Ensemble Performance

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

樋田 浩一 (東京大学大学院総合文化研究科)

通研対応教員(Research Collaborator of RIEC) :

山本 浩輔 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者(Project Member List) :

齋藤 五大 (東北大学大学院文学研究科)

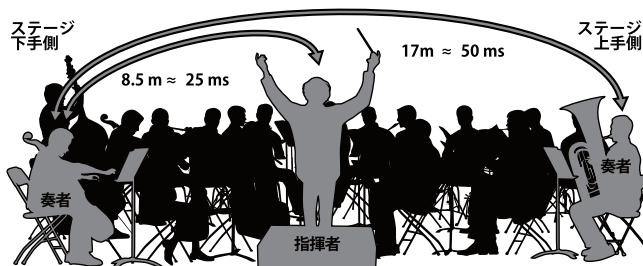
坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

[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)

研究目的

新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、オフラインコミュニケーションのみならず、我々は、オンラインを通じたコミュニケーションも積極的に取り入れる新しい生活様式が求められるようになった。ネットワークを介したコミュニケーションでは、通信に起因した遅延が問題となり、円滑なやりとりが困難な場面が存在する。相手から到来する情報(視聴覚刺激)と自分から発信する情報(運動+視聴覚情報)の双方が伝達されるまでに遅延を含むため、それぞれのタイミングに合わせていると会話に不自然な間が生じたり、やりとりのテンポが遅くなったりするものと考えられる。

このような遅延が介在するコミュニケーションは、実際の場面でも存在する。オーケストラにおけるアンサンブル演奏を想定すると、コンサートホールのステージ上手(右端)側の奏者と下手(左端)側の奏者は、最大で約 17 m 離れており、距離によって生じる音速に依存した遅延は、計算上約 50 ms である(図 1)。ステージの両端にいる奏者同士は、相手から遅延して到来する演奏音につられることなく、自分の身体を動かし、音を鳴らさないとはいけない。現実にはオーケストラ演奏は



成立していることから、このような相手から遅延して到来する感覚情報につられることなく、自らの身体を動かしコミュニケーションを図ることが可能であると考えられるが、果たしてこれほどどのようにして実現されており、またその遅延の限界はどこにあるか、いまだ明らかではない。

そこで本研究では、オンラインコミュニケーション時に問題となる通信遅延による影響について、実環境のオーケストラ演奏を模擬することで、実験的に検証を行う。オンラインコミュニケーションの形態は様々であるが、演奏場面で検証することで、コミュニケーションの質を定量的に評価可能であり(同期/非同期や拍のズレなど)、会話などと比較して実験操作も容易となる。本実験を通じて、実環境(オーケストラ演奏)では問題とならない遅延の大きさを検証するとともに、オンラインコミュニケーション時に障害となる遅延の大きさについて明らかにする。

研究計画

2021年3月に実施した実験の結果について、2022年度に分析を行い、今後の研究について議論を行なった。

実験のセットアップを図2に示す。コンサートホールにおいて上手奏者と下手奏者がアンサンブル演奏をしている環境を模擬した実験系を構築し、演奏に支障が生じる遅延の大きさについて明らかにするため、被験者は電子ヴァイオリンを演奏し、その演奏音を物理的に距離を空け配置した複数のスピーカから呈示した。被験者の演奏音をいずれかのスピーカから実時間で同時に呈示することで、遠くの位置にいる演奏者と同一フレーズのアンサンブル演奏をしている環境を模擬した。被験者はスタッカートの練習フレーズおよび曲想の異なる楽曲を各スピーカ条件で演奏し、演奏音の遅延や演奏のしやすさなどに関する質問について回答した。実験は東北大学電気通信研究所内の廊下で実施した。

[3] 成果等(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

以下に示す研究成果を得た。

第一に、スタッカートの練習フレーズの演奏では、演奏音を 12.75m 以上遠距離に配置したスピーカから

呈示すると遅延を感じ、また複数のスピーカのうちどのスピーカから呈示されたかについて正確な回答が可能であった。また、演奏のしやすさについては遠距離のスピーカで評価が下がる傾向が見られた。一方、曲想の異なる楽曲 (Kayser の Etude Op.20 No.1) の演奏



図2 実際の実験事態

時には、遅延や演奏のしやすさ、またスピーカ位置の同定について一貫した傾向が見られなかった。これは、楽曲がスタッカート練習フレーズに比べ音価が長い音で構成され、一音一音の区切りが明瞭でないことによるものと考えられる。また、両楽曲において、スピーカ呈示の演奏音に演奏がつかれるという回答は得られなかった。

第二に、残響音など演奏環境に依存する情報が遅延の知覚や演奏へ与える影響が示唆された。本実験では、遠方のスピーカから音が呈示された場合でも、演奏とずれて聞こえるという印象よりも「響きが豊か」という印象が強く得られた。実験を実施した電気通信研究所の廊下では、コンサートホールのステージに比べ壁や天井との距離も近く、また壁などの材質も大きく異なることから、反響音の音圧や残存時間が異なる。そのため、今後の研究では、残響音の計測や、演奏音にさらに大きな遅延を入れた条件など、コンサートホールを模した演奏環境の構築が必要であることが示唆された。

さらに、バイオリンや複数スピーカ以外を用いた実験の可能性についても示唆された。オンラインでの同期演奏においては、バイオリンなどの管弦楽器だけではなく、電子楽器など様々な楽器が用いられる。加えて、前述の環境特性による遅延や演奏への影響を考慮すると、演奏の遅延フィードバックによる同期演奏への影響をより単純化して検討するためには、電子鍵盤などの楽器を用いて、無響室など残響音が統制された環境での実験を行う必要があるものと考えられる。さらに、遅延についても、実際にスピーカを複数配置した場合と人工的に遅延を挿入した場合の比較も重要と考えられる。そのため、今後の研究では演奏の遅延

についてより単純化した実験と、演奏環境の反響特性を統制した応用的実験を行うことで、より実用可能性の高い知見が得られることが期待される。

(3-2) 波及効果と発展性,研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

オンラインコミュニケーション時に問題となる通信遅延の影響について、実環境のオーケストラ演奏を模擬することで、コミュニケーションの質を定量的に評価可能な実験的枠組みを構築することができた。今後の研究により、実環境(オーケストラ演奏)では問題とならない遅延の大きさを検証するとともに、オンラインコミュニケーション時に障害となる遅延の大きさについて明らかになると考えられ、その波及効果は大きい。

また、音響学としても、被験者を一人に固定してアンサンブル演奏時の遅延の影響を明らかにしようという試みは新たな試みだといえ、基礎学術研究としての意義も大きい。従来、他者との演奏同期時の遅延については、実際にペアの奏者で実験が行われてきた。しかし、被験者のペアの組み合わせや習熟度、対象とする楽器の組み合わせに依存して、一貫した結果が得られていない。遅延 20ms(距離にして約7m)でアンサンブルのしやすさの低下が始まると報告する研究がある一方、実際のプロ奏者の演奏音には、数10ms程度の演奏音のずれがそもそも内在していると報告する研究も存在する。本プロジェクトで構築したアプローチによって、自己の演奏音を遠方から実時間呈示することでアンサンブル演奏の模擬を試みており、より外乱の少ない環境下での検証が可能になると考えられる。

[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)

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)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

なし

採択番号：R03/U02

Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員(Research Collaborator of RIEC) :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者(Project Member List) :

Miao Cheng (東北大学電気通信研究所)

Shinsuke Shomojo (California Institute of Technology, California)

Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France)

Hsin-Ni Ho (Kyushu University, Fukuoka)

Mohammad Shehata (Toyoshi University of Technology)

Hsin-I Liao (NTT Communication Science Laboratories)

Masahiko Terao (Yamaguchi University)

Hsiao-Wen Zan (National Yang Ming Chiao Tung University)

Chia-fan Hsu (National Cheng-Kung University)

I-Lien Ho (National Sun Yat-Sen University)

[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)

During an emergency when in-person meeting is impossible or restricted (e.g. during a natural disaster like earthquakes, or during a pandemic when social distance and isolation is in place), the option of human communication relies heavily on online or hybrid modes. How to convey social signals (e.g. anxiety, stress) via these communication modes is critical for engineers to develop industrial applications and for neuroscientists to advance scientific understanding of social communication. In an ageing society like Japan, this project is particularly beneficial for assisted living machinery design as the research results will guide future implementation with social (or interpersonal) value.

Because the international travel is still partially restricted during this research year, we focus our research activities online or via hybrid mode. Most of the group discussion and collaboration was done via online platform such as google drive, slack, video conference, and other remote collaborative methods.

1. June 2, 2021 (zoom + slack)

A post review meeting for Vision Society Meeting, attended by 20+ participants from Japan, California, and Europe.

Members exchanged the most interesting research reports from this Annual Conference.

2. March 15, 2022 (google meet + google drive)

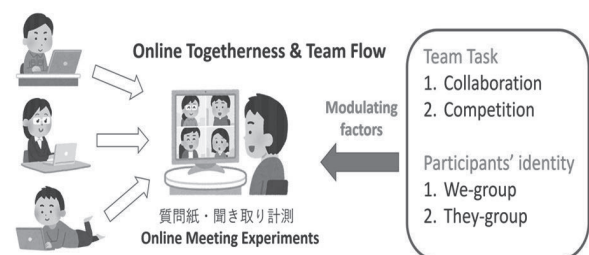
A research collaboration discussion (Tohoku Uni v.s. Yangming ChaoTung University) on how to prepare a collaborative research grant in the next year. Participants include 7 researchers and their students from Tohoku University (3 ppl) and Yamning ChaoTung University (4 people).

3. March 27, 2022 (zoom + google handout)

A research meeting discussion between Tohoku University–France–Taiwan on a paper preparation in submission to an interdisciplinary journal. The draft is prepared and we may seek for a conference to receive feedback from academic peers first.

[3] 成果等(Results)

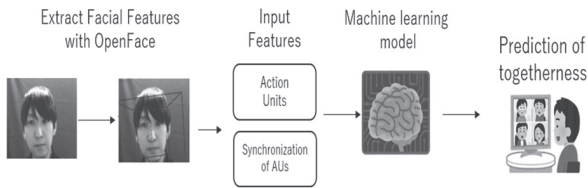
(3-1) 研究成果(Research Results)



1. **Online Behavioral Experiments:**

We conduct an online experiment to investigate what promotes and modulates social togetherness in an online meeting. We measure participants' initial impressions for each other, togetherness, and flow at the beginning, middle, and end of the meeting. We manipulate the environmental factors such as participants' discussion topics (e.g. personal experience during the pandemics v.s. your view on future society) and social identity (e.g. students v.s. working adults, local v.s. international students).

2. Machine learning system that predicts the online team flow and togetherness



We build machine learning models to predict participants' subjective ratings of "togetherness" or "team-flow" from automatically extracted features from recorded videos.

To analyze recorded videos and obtain input features to the model, we can use freely available facial expression recognition (Openface) and human pose estimation (Openpose) softwares. We plan to try these features first and use state-of-the-art machine learning models such as gradient boosting methods. If these features do not provide good prediction accuracy, we will also build a deep learning model to learn and predict togetherness directly from videos.

3. Contact Improvisation Workshop



We conduct an in-person event to collect onsite data from body movements and its connection with participants' perception of "team" "togetherness" and "team flow". In the open space where participants come and learn about "contact improvisation", we create dialogues between artists, philosophers, psychologists, and neuroscientists.

4. Interdisciplinary Forum on Body, Perception, and Psychology

Speakers:

Shoko Kashima (Contact Improvisation Group Clco, Kagoshima)

Chico Katsube (Contact Improvisation Group Clco, Kagoshima)

Etsuko Okamoto (Department of Expression Culture, Shujitsu

University)

Chia-huei Tseng (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)



Together with the Tohoku Forum for Creativity, we organized a forum open to researchers and community partners on our research pursuit on communication. The responses were very positive and encouraging.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

We will use the foundation this year to seek for possibilities of international event organization to increase the awareness of our research theme and capacities. We are a truly interdisciplinary research team with a niche to study cross-cultural and cross-boundary of various forms of communication. Our goals are not limited to academic excellence, but also to engage community participation in achieving more together.

[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)

Shehata, M., Cheng, M., Leung, A., Tsuchiya, N., Wu, D. A., Tseng, C. H., ... & Shimojo, S. (2021). Team Flow Is a Unique Brain State Associated with Enhanced Information Integration and Interbrain Synchrony. *Eneuro*, 8(5).

Tseng, C.H., Cheng, M., Matout, H., Fujita, K., Kitamura, Y., Shioiri, S., Bachrach, A. (2021), MA and togetherness (ittaikan) in the narratives of dancers and spectators: sharing an uncertain space, *Japanese Psychological Research*, 63(4), 421-433.

Tseng, C.H., Cheng, M., Matout, H., Fujita, K., Kitamura, Y., Shioiri, S., Bachrach, A. (2021), Perceived "togetherness" and "MA" between two dancers in joint improvisation, *Techniques and Culture*, 76, 116-125.

第 5 章 シンポジウム・国際会議等

5. 1 通研国際シンポジウム

2021 Spintronics Workshop on LSI

開催日：令和3年6月13日（日）（1日間）

開催方式：オンライン開催

参加人数：520名

世界的権威ある Symposia on VLSI Technology and Circuits の公式サテライトワークショップとして、10周年となる 2021 Spintronics Workshop on LSI をバーチャルで開催しました。本学の大野 英男総長からの講演に続き、米国 Intel、米国 Qualcomm、台湾 TSMC、韓国 Samsung Electronics より招待講演が行われました。本学の遠藤 哲郎教授がモデレーターとなり、パネルディスカッションを通じて、スピントロニクスが切り拓くメモリからプロセッサに至る省電力半導体の未来が議論されました。世界中から 500 名を超える参加がありました。

2021 Spintronics Workshop on LSI Program		
15:00-15:10	Opening Remarks	Tetsuo Endoh (Tohoku Univ.)
15:10-15:20*	Invited Talk 1	Hideo Ohno (Tohoku Univ.) Spintronics - a Gateway to Green Society
15:20-15:30*	Invited Talk 2	Shigeki Tomishima (Intel) The Positioning of Spintronics Memories in the Modern Computer Systems
15:30-15:40*	Invited Talk 3	Shy-Jay Lin (TSMC) Novel Materials for Low-Power and Field-Free Spin-Orbit-Torque Magnetic Random-Access Memory
15:40-15:50*	Invited Talk 4	Jongmin Lee (Samsung Electronics) Recent Advances in STT-MRAM technology
15:50-16:00*	Invited Talk 5	Seung H. Kang (Qualcomm) The Next Chapter for MRAM: Re-Aiming for Advanced Logic Systems
16:00-17:00	Panel Discussion	Moderator: Tetsuo Endoh (Tohoku Univ.)

*Estimated time allocation: Overview (5min), Q&A (5min)

Center for Innovative Integrated Electronic Systems (CIES)
2021 Spintronics Workshop on LSI

TOHOKU UNIVERSITY



RIEC International Symposium : The 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies

開催日：令和3年11月1日（月曜日）～11月4日（木曜日）（4日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所

ナノ・スピン総合研究棟4階カンファレンスルーム

（ハイブリッド開催）

参加人数：93名（うち海外機関所属者53人）

本国際会議は、電気通信研究所と米・ニューヨーク州立大学バッファロー校、ならびに露・モスクワ州立工科大学とのテラヘルツデバイス・技術に関する共同研究に端を発し、2012年から毎年、日露米欧関連機関の持ち回りで開催している。本会議は、テラヘルツ周波数領域を動作対象範囲とするデバイスおよびテラヘルツ電磁波の科学技術を対象領域として、それらの基盤的学術研究を中心とし応用技術研究を含む最先端研究成果および諸問題を討議することを目的とする。スコープをテラヘルツデバイス・技術分野に絞ることによって、分野特有の課題や最新技術・研究動向を共有し、活発な議論を生み出すとともに、新たな共同研究を発掘・開始させる場の提供にも貢献している。

第9回となる今回は、日本からは当該分野で最先端研究を行なっている多数の研究員の参加を募り、海外からは著名な研究者を招へいすることで、日本の研究成果を世界にアピールするとともに、国際的な研究者ネットワーク形成、国際共同研究の促進と日本の研究のさらなる推進を図った。また、コロナ禍で開催するにあたり、海外参加者はオンラインでの参加、国内参加者は数人の招待講演者と東北大所属者に限り現地参加可とする、ハイブリッド形式を採用した。

4日間にわたって実施した技術セッションでは、基調講演5件、招待講演32件、一般講演20件が行われた。技術セッション全体としては、テラヘルツ分野における世界最先端の研究成果が発表され、それぞれの最新技術・研究動向や課題が活発に議論された。講演内容は、テラヘルツ帯物性物理、テラヘルツ帯エレクトロニクス／フォトニクス／プラズモニクス、グラフェンやトポロジカル絶縁体といった新規材料を用いたテラヘルツデバイス、無線通信／イメージング／分光／顕微鏡などのテラヘルツ応用など、多岐にわたった。さらに、新しい動作原理・材料・構造に関する講演が多く行われた。



1st Online RIEC International Workshop on Spintronics

開催期間：2021年11月5日（金）～11月30日（火）

開催方式：オンライン開催

参加人数：417名（うち海外からの参加者 326名）

主催：東北大学 電気通信研究所

共催：先端スピントロニクス研究開発センター，
スピントロニクス学術連携研究教育センター，
TIA 次世代エレクトロニクス研究アライアンス

本ワークショップは、2004年以降ほぼ年1回のペースで開催してきた RIEC International Workshop on Spintronics の一環として開催したものであり、コロナ禍での対面開催の困難を鑑みて、初めてオンラインで開催したものである。これまでの全17回の対面イベントで築き上げてきた知名度を維持しながら、オンラインの特徴を活かしてスピントロニクスコミュニティにとって実りのある企画とするため、開催方法に以下のような工夫を施した。

会議は11月18日に開催したライブセッションと、11月5日から公開したオンデマンドセッションの2部構成とした。ライブセッションはPIクラスの著名研究者6名からなるパネルディスカッション形式を採用して集中力が持続するよう開催時間を1.5時間に限定し、一方オンデマンドコンテンツは各PIが指名した若手研究者による15～40分程度の研究紹介の招待講演ビデオで構成した。

扱われた主なトピックは、スピン軌道トルクが誘起する磁化ダイナミクス、電子の軌道角運動量の機能性素子への応用、反強磁性スピントロニクスの新展開などである。最新かつ世界トップレベルの研究成果が共有されるとともに、今後コミュニティが開拓すべき方向性について活発な議論がなされた。これに加え、次代を担う若手研究者の講演で構成されたオンデマンドセッションは、人材発掘という観点でも実りのあるものとなった。

参加者は合計417名を数え、32の国と地域から非常に多くの研究者、技術者、学生にご参加いただいた。またオンデマンドページへのアクセス総数は2021/11/25の時点で510回に達した。これは各参加者が平均1回以上オンデマンドページにアクセスして動画を視聴したことを意味し、コンテンツへの注目度の高さがうかがえるものである。

RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction

開催日：2022年2月11日（金・祝）
 開催方式：オンライン（Zoom Webinar）
 参加人数：40名



RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction と題したシンポジウムを、Japan ACM SIGCHI Chapter との共催で、オンラインで開催した。ヒューマン・コンピュータ・インタラクションまたは人と情報システムの相互作用と呼ばれる分野で最大かつ最も権威があるトップコンファレンスとして、ACM SIGCHI が主催する国際会議 CHI がある。この会議は 2021 年 5 月には初めて日本で開催される予定で準備が進められて来たが、コロナ禍でフル・オンラインでの開催になった。CHI 2022 は本年 5 月に米国・New Orleans で、ハイブリッド形式で開催される。また、Japan ACM SIGCHI Chapter では、この分野の学問・技術分野の発展を図る目的で、昨年度から、功績賞（Lifetime Community Contribution Award）と優秀若手研究者賞（Distinguished Young Researcher Award）の 2 つの賞が創設された。

本シンポジウムでは、SIGCHI や CHI 2022 の委員を務めるキーメンバーから、最新情報を紹介してもらい、また、第 2 回の Japan ACM SIGCHI Chapter Award の授賞式と受賞講演会が開催された。国内を中心に若手の研究者が多く集まり、日本メンバーおよび各国からの研究者を交えて活発な意見交換を行った。シンポジウムのプログラムは次の通りである [1]。

10:00 **Welcome:** Yoshifumi Kitamura

10:05-11:05 **Japan ACM SIGCHI Chapter Award Ceremony and Award Talks**

Award Talk: Hiroshi Ishii / 石井 裕

(Associate Director of MIT Media Laboratory / MIT メディアラボ副所長, Recipient of Lifetime Community Contribution Award)

Award Talk: Takuji Narumi / 鳴海 拓志

(Associate Professor at the University of Tokyo / 東京大学 准教授)

11:05 - 11:15 Coffee/Tea Break

11:15-12:20 **Global and Asian HCI for the Future**

Considering the Hybrid Future of Conferences: CHI2022

Simone DJ Barbosa / シモン・D・J・バルボーザ

(Associate Professor at the Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, CHI 2022 General Co-Chair)

Clifford Lampe / クリフ・ランプ

(Professor at University of Michigan, CHI 2022 General Co-Chair)

Planning ACM/IEEE HRI2022 Conference - from Hybrid to Full Online Conference

Daisuke Sakamoto / 坂本 大介

(Associate Professor at Hokkaido University / 北海道大学准教授)

General Chair of ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) 2022

Huh? No Japanese Volunteers?!

Naomi Yamashita / 山下 直美

Primary researcher at NTT Communication Science Laboratories / NTT コミュニケーション科学基礎研究所 特別研究員, ACM SIGCHI Vice-President at Large

[1] <https://sites.google.com/view/riec-hci-symposium-2022>

The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

開催日：令和4年2月18日（金曜日）～19日（土曜日）（2日間）

開催方式：オンライン開催

参加人数：105名（うち外国人参加者人数16人）

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、ロボット工学、数理工学、大脳生理学、神経科学、心理物理学、非線形物理学といった関連分野から広く研究者を集め、脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について、分野の垣根を超えて研究発表と議論を行うことを目的として企画・設立された。今回が10回目であり、令和4年2月18日～19日に開催された。アメリカ、カナダ、韓国、スペイン、スウェーデン、フランスから8名の海外招待講演者を迎え、33件の口頭発表が行われた。前回に引き続き2度目のオンライン開催となったが、分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われ、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。



第10回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムの様子

The 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

開催日：令和4年3月14日（月）～15日（火）（2日間）

開催方式：オンライン開催

参加人数：55名（うち外国人参加者人数12人）

第12回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップが令和4年3月14日（月）～15日（火）の2日間にわたり、オンラインにて開催された。ドイツ、中国、そして日本からの計7件の招待講演が行われ、2日間の延べ参加人数は、研究者、学生などを含め55名を数えた。昨年度に続きオンライン形式での開催となったが、ナノ・バイオ融合分野の発展に資する、電子工学、表面科学、生物科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、光触媒反応を用いた酸化チタンナノチューブ構造体での水素生成の実現、有機導電性分子を用いたナノコイル構造を足場とする細胞培養の実現、ナノ・マイクロ加工技術と人工脂質二分子膜との融合から成る新奇バイオセンシングプラットフォームの創成、抹消神経インターフェイスに適用可能な電極アレイの開発、個々の細胞に対する電気化学的ナノイメージング技術の開発、酸化チタンナノチューブ構造体のバイオメディカル応用、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、本ワークショップに係わる研究者間での交流も日頃より活発に行われており、ナノ・バイオ融合分野の今後益々の発展が期待される。



Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022

開催日：2022年3月17日, 18日

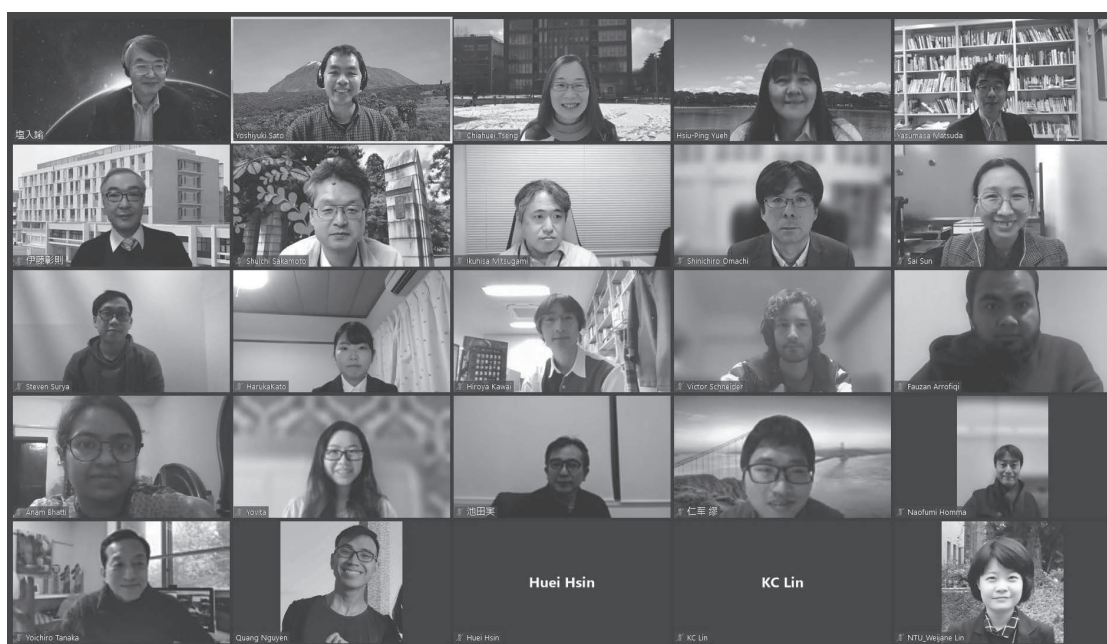
開催方式：オンライン開催

参加人数：53名（うち海外からの参加者4名）

本シンポジウムは、東北大学ヨッタインフォマティクス研究センターが主催となり毎年開催されているもので、本年は、第116回通研国際シンポジウムとして、Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022 と題してオンラインで開催した。今回は、通研共同プロジェクトU「オンライン授業における非言語情報の利用方法の検討」との共催として、スペシャルセッションを併催した。

直前に発生した地震の影響でプログラムに急遽変更があったものの、国内外の研究者らによる16件の講演が行われた。3件の招待講演においては、実験統計学、未踏スケールデータ、読書行動分析などのテーマに関する講演を行い、9件のAI Yottaプロジェクト講演においては、幸福度、考古学、食行動、ストレージ、文字認識、遺伝学、教育学、脳科学、顔表情分析などの広範なトピックに関する講演を行い、活発な議論が交わされた。また、共プロUのスペシャルセッションとして、4件のオンライン授業に関する講演を行った。

シンポジウム URL: <https://www.aiyotta.tohoku.ac.jp/sympo2022/>



6th & 7th CIES Technology Forum

開催日：令和4年3月22日（月）～3月23日（火）（2日間）

開催方式：オンライン開催

参加人数：566名

第6回&第7回CIESテクノロジーフォーラムをバーチャルで開催しました。新型コロナウイルス感染拡大により2020年3月から延期となっていた第6回分と合わせて今回開催したものです。初日には、飛躍的な省電力を実現するスピントロニクス半導体、パワーエレクトロニクス、及びシステム応用に関する国際シンポジウム、2日目には、CIESが推進している産学共同研究、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2020～2021年度分の活動成果について紹介するCIES成果報告会を開催しました。延参加者は566名、うち民間企業の参加は約6割、海外からの参加は約2割でした。本学国際集積エレクトロニクス研究開発センターと電気通信研究所の共催、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ました。



東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター 遠藤 哲郎センター長

5. 2 工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研究会名	主 査	幹 事
1	伝送工学研究会	陳 強 教授	今野 佳祐 准教授
2	音響工学研究会	坂本 修一 教授	能勢 隆 准教授
3	東北プラズマフォーラム	金子 俊郎 教授	安藤 晃 教授
4	EMC仙台ゼミナール	山口 正洋 教授	山口 正洋 教授
5	コンピュータサイエンス研究会	住井英二郎 教授	松田 一孝 准教授
6	システム制御研究会	渡邊 高志 教授	杉田 典大 准教授
7	情報バイオトロニクス研究会	平野 愛弓 教授	宮本浩一郎 准教授
8	スピニクス研究会	石山 和志 教授	遠藤 恭 准教授 小川 智之 准教授
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	張山 昌論 教授	夏井 雅典 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	金井 浩 教授	荒川 元孝 准教授
11	ブレインウェア工学研究会	石黒 章夫 教授	安井浩太郎 助教
12	情報・数物研究会	田中 和之 教授	大関 真之 准教授 奥山 真佳 助教 小林 円 特任助教
13	生体・生命工学研究会	塩入 諭 教授	大林 武 准教授 羽鳥 康裕 助教
14	ナノ・スピン工学研究会	佐藤 茂雄 教授	深見 俊輔 教授

伝送工学研究会

主査 陳 強、 幹事 今野 佳祐

伝送工学研究会は、工学研究会の中でも最も長い歴史を有する研究会であり、令和2年度までに合計619回開催されている。本研究会は、電波から光波に亘る電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており、放射・伝播・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの研究報告を実施してきた。本年度は9回の研究会が開催され、特別講演が1件、一般講演が26件行われた。これらの発表では最新の研究動向と成果が報告され、活発な議論が行われた。各種アンテナの設計や電波・光波による無線電力伝送、および中空光ファイバを利用した非侵襲医療センサの開発などが主な話題であった。

音響工学研究会

主査 坂本 修一、 幹事 能勢 隆

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、デジタル補聴器、音声分析・合成、音声認識・理解、音環境工学など、多岐にわたっている。

2021年度は、主査坂本修一教授、幹事能勢隆准教授のもとで、研究会3回（第384回、第385回、第386回）が開催された。会場はいずれもオンラインであった。なお、第385回は電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会、日本認知心理学会感性学研究部会、日本心理学会注意と認知研究会、東北大学電気通信研究所音響工学研究会、東北大学ヨッタインフォマティクス研究センターとの共催で開催された。第384回は2021年12月6日（月）および23日（水）に開催され、研究発表8件、参加者は21名であった。第385回は2021年12月23日（木）・24（金）に開催され、研究発表11件、参加者は64名であった。第386回は2022年3月14日（月）に開催され、研究発表8件、参加者は31名であった。

東北プラズマフォーラム

主査 金子 俊郎、 幹事 安藤 晃

本研究会は、低温プラズマから高温核融合プラズマといった広範なパラメータ領域にわたるプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質、プラズマ医療、バイオ応用、電気推進機、プラズマアクチュエータ、核融合加熱ビーム源など多方面の基礎・応用に関連する最新の研究成果に関して、特別講演及び特別企画を開催するとともに、活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

令和3年度は、COVID-19対応のため対面での研究会やセミナーの開催が困難な状況もあったが、年度後期以降、感染状況が落ち着いた時期に対面と遠隔の両面で活動を行った。大学院生によるプラズマを用いた次世代太陽電池開発やプラズマ基礎および応用研究に関する最新の研究発表会を3回開催した。また、国内、国外研究者による気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成、及び反応性プラズマによるナノ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50名前後であった。

EMC仙台ゼミナール

主査・幹事 山口 正洋

EMC（環境電磁工学）は、電磁ノイズと信号の電磁干渉（EMI）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり、電気・情報工学分野の研究者と技術者は関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない1977年2月に、EMCにいかに関与すべきかを調査し、学問として体系化する目的で、「EMC仙台ゼミナール」が発足した。この活動は、誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであり、ここで討論された先進的な研究は、我が国や世界のEMC研究の方向を示し牽引力の役割を果たしており、独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001年にIEEE EMC Society 仙台Chapterが設立され、連携して活動している。

令和3年度に本研究会の開催は1回あり、新型コロナウイルス感染拡大防止のためオンライン開催とした。第213回（2月14日）の学生研究発表会で8件（東北学院大、秋田県立大、長野高専、奈良先端大、神戸大）の研究発表および1件の特別講演（東芝）があった。

本年度をもって東北大学電気通信研究所工学研究会としてのEMC仙台ゼミナールの活動を当分中止する。今後は地域のEMCコミュニティの交流と活動発展のため、東北学院大学を幹事校として、IEEE EMC-S Sendai Chapterとも連携して活動を継続する。

コンピュータサイエンス研究会

主査 住井 英二郎、 幹事 松田 一考

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。2021年度は第181回講演会を開催し、Meng Wang氏 (Bristol大学) が「Linked visualisations via Galois dependencies」というタイトルで講演を行った (2022年1月6日)。本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査 渡邊 高志、 幹事 杉田 典大

本研究会は、システム制御における理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は以下の通りである。

第108回 令和4年1月26日 (水) 15:00~16:50 オンライン

- 1) Fauzan Arrofiqi (Tohoku Univ.) *et al.*, A Validation Test of a Cascaded Linear Model Predictive Control and Nonlinear Transformation for FES by Computer Simulation in Wrist Joint Control.
- 2) Laily Asna Safira (Sepuluh Nopember Inst. Tech.) *et al.*, Control of Exoskeleton for Rehabilitation of Elbow Joint Movements.
- 3) Kento Katayama (Tohoku University) *et al.*, A Study on Gait Change Detection Using LSTM Based on IMU: Test on Healthy Gait, Simulated Elderly Gait and Simulated Hemiplegic Gait.
- 4) Muhammad Yasin (Sepuluh Nopember Inst. Tech.) *et al.*, Ankle Prosthetic with Brain Computer Interface Commands Based on Electroencephalograph for Transtibial Amputees.

第109回 令和4年3月16日 (水) 15:00~16:40 オンライン

- 1) Sherelle Clairine Hayadi (Sepuluh Nopember Inst. Tech.) *et al.*, A Design of Wearable Functional Electrical Stimulation (FES) System for Elbow Joint Movements with Fuzzy-PID Controller.
- 2) Toshinori Watanabe (Tohoku Univ.) *et al.*, Preprocessing of IMU signals for center of mass position estimation using ANN.
- 3) R. Ajeng Zilvana Rizqi Aini (Sepuluh Nopember Inst. Tech.) *et al.*, Design and Test of Exoskeleton Robot for Elbow and Shoulder Joint Movements Training of Post Stroke Subjects.
- 4) Ken Higuchi (Tohoku Univ.) *et al.*, A Comparison of Accuracy of Gait Event Detection by U-Net Using IMU Under Different Reference Signals.

情報バイオトロニクス研究会

主査 平野 愛弓、 幹事 宮本 浩一郎

電子工学技術と多種多様な機能を有する生命科学反応系とを融合したナノ・バイオエレクトロニクス分野は、異分野融合による科学技術のさらなる発展において今後ますます重要と考えられている分野の一つである。しかし、半導体素子と生体分子とのインターフェイスの設計においては、生体分子の配向制御や活性の保持等における困難さなど、解決すべき課題が数多く存在する。本研究会では、電子工学や半導体工学のみならず、表面科学、生理学、数理工学など幅広い分野に携わる研究者達が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的としている。本年度は、以下に示す通り、国際シンポジウムを2件、いずれもオンライン形式にて開催した。

The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
令和4年2月18–19日開催 T. Netoff (Univ. Minnesota, U.S.A.), W. Nicola (Univ. Calgary, Canada), T. Levi (Univ. Bordeaux, France), J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain), B. Vallejo (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain), P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden) 他

The 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
令和4年3月14–15日開催 P. Schmuki (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany), Y. Ying (Nanjing Univ., China), B. Wolfrum (Tech. Univ. Munich, Germany), A. Mazare (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany), Z. Li (China Univ. Mining Tech., China), K. Morigaki (Kobe Univ., Japan), Y. Tatewaki (Tokyo Univ. Agriculture Tech., Japan) 他

スピニクス研究会

主査 石山 和志、 幹事 遠藤 恭、小川 智之

スピニクス研究会は、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を創成するために、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と討論の場として1990年に発足した。本研究会は、最新の話題に関する招待講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした一般公募による特別研究会を行っている。本年度はIEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint ChapterおよびIEEE Sendai Sectionもしくは、IEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter、IEEE Sendai Sectionおよび電気学会東北支部の協賛・共催によるオンライン研究会(3回)と、オンライン特別研究会(1回)を開催した。

第1回は、東北大学 羽根 吉紀 助教、村上 泰斗 助教、桑波田 晃弘 准教授の3名による講演会を開催した。第2回は、デンソー先端技術研究所 林 禎 彰 氏、静岡大学 大多 哲史 助教、九州大学 笹山 瑛由 准教授の3名による講演会を開催した。第3回は、一般公募によるオンライン特別研究会を開催し、2日間にわたり21件の講演が行われ、80名(2日間延べ人数)の参加を得て盛大に開催された。第4回は、磁気デバイス研究所 上原 裕二 氏、産業技術総合研究所 田丸 慎吾 氏、東北大学 藪上 信 教授の3名による講演会を開催した。本年度の運営は、主査：石山 和志 教授(通研)、幹事：遠藤 恭 准教授(電気)、小川 智之 准教授(電子)、企画幹事：藪上 信 教授(医工学)、Simon Greaves 准教授(通研)、トン タット ロイ 助教(電気)で行った。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査 張山 昌論、 幹事 夏井 雅典

本研究会は、従来の延長上にはない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており、2021年度は以下の1回を開催した。

第113回 2021年10月30日(土) オンライン開催

研究発表2件

演題：社会インフラ分野におけるAI映像認識技術の活用

講演者：三浦 真樹(富士通株式会社)

演題：深層学習は、なぜ浅層学習より良いのか？

Why deep learning is better than shallow learning?

講演者：趙 強福(会津大学)

超音波エレクトロニクス研究会

主査 金井 浩、 幹事 荒川 元孝

本研究会は、医用超音波、超音波計測、音波物性、超音波デバイス、誘電体・圧電体の物性とその応用に関する研究発表・討論を行うことを目的とする。2021年度は、以下の3回の研究会を開催した。

- 第103回 2021年9月24日（金） オンライン開催
共催：電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会、レーザー学会 光音響イメージング技術専門委員会、日本超音波医学会 超音波分子診断治療研究会
発表件数：6件、参加者数：40名
- 第104回 2021年11月4日（水） オンライン開催
発表件数：1件、参加者数：23名
- 第105回 2021年11月18日（木） オンライン開催
発表件数：4件、参加者数：32名

ブレインウェア工学研究会

主査 石黒 章夫、 幹事 安井 浩太郎

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は第一回を令和3年7月6日、第二回を令和3年10月26日、第三回を令和3年12月21日にそれぞれ開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである（講演会原稿は無し）。第一回：「カオスニューラルネットワークリザバーダイナミクスの評価：時系列予測タスクの場合」堀尾 喜彦（東北大）、「CMOSインバーティブルロジックとその応用展開」鬼沢 直哉（東北大）、「生物集団内の利他行動に着想を得たサバイバビリティの高いシステム的设计論」三上 大志（東北大）、第二回：ポスター発表（ショートプレゼンテーションも含む）計14件、第三回：「計算機フリーな制御デバイスを全身に埋め込む無脳ロボティクス～動物のようなエッジ制御アーキテクチャの実現を目指して～」増田 容一（大阪大学大学院工学研究科助教）、「先端ノードSRAMの設計課題と対策事例」新居 浩二（京都工芸繊維大学シニアフェロー）、「ランダムネットワークが生み出すマテリアル知能：インマテリアル物理リザバー」田中 啓文（九州工業大学生命体工学研究科教授、ニューロモルフィックAIハードウェア研究センター長）。以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査 田中 和之、 幹事 大関 真之、奥山 真佳、小林 円

情報・数物研究会は、確率的情報処理・統計的学習理論・情報通信理論とその情報統計力学的アプローチに関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計2回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである。：西川宜彦氏（東北大学大学院情報科学研究科）“Lattice Glass Model in Three Spatial Dimensions”、荒井俊太氏（東北大学大学院情報科学研究科）“量子パーセプトロンの統計力学的解析”。

生体・生命工学研究会

主査 塩入 諭、 幹事 大林 武、羽鳥 康裕

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成12年9月に発足した。以下に令和3年の活動概要を示す。

第36回は令和3年12月7日（火）9：30から11：40まで、オンラインにて、ヨッタインフォマティクス研究センターとの共催で開催された。一般講演3件および、東海大学の松前ひろみ先生による、「情報学がつなぐ生物と文化の交差点」と題した、生物と文化という異分野のデータを繋げて解析する試みに関する特別講演が行われた。参加者は18名だった。広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。

ナノ・スピン工学研究会

主査 佐藤 茂雄、 幹事 深見 俊輔

21世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。令和3年度は、以下4回の研究会が実施された。

第113回 令和3年4月30日 10:30-12:00 「超強結合凝縮系物質における Dicke の協調性～多体効果が助長する光と物質の相互作用～」 河野淳一郎（ライス大学教授）

第114回 令和3年11月16日 10:30-11:30 「超伝導量子ビットの基礎」 猪股邦弘（産業技術総合研究所、主任研究員）

第115回 令和3年12月20日 12:55-17:40, 12月21日 9:00-15:00 「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」 伊藤弘（北里大）、石橋忠夫（NEL テクノ）ほか

第116回 令和4年1月6日 13:30-14:30 「SiC パワー半導体デバイスの現状と課題」 長澤弘幸（株式会社 CUSIC）

5. 3 通研講演会

深層パーセプトロンネットワークにおける 学習の統計力学

大阪大学 サイバーメディアセンター 吉野 元 氏

開催日：令和3年10月21日（木）16：00～17：30

開催方式：オンライン開催

参加人数：28名

令和3年10月21日に標記講演会を開催した。深層ニューラルネットワーク(DNN)を用いた機械学習は身近なものとなったが、そのメカニズムには不明なことが多く、ブラックボックスのまま使われている面が無視できない。本講演では、ランダム系の統計力学、情報統計力学の方法を用いてDNNによる学習を解析したいいくつかの試みを紹介している。具体的には、E. Gardnerらによる単純パーセプトロンを用いた学習のレプリカ理論を多層に拡張した場合のランダムな訓練データによる学習、ランダムな教師を用いた教師-生徒シナリオでの学習の解析についての詳細が報告され、そこで得られた「ベイズ最適性を崩した場合にはレプリカ対称性の破れが起こるが、その階層性もネットワークの中央部に向かって段階的に単純化する」という知見について議論され、関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

高性能・超低消費電力次世代磁気デバイスへの応用に向けた磁気特性に優れた高品位強磁性・強誘電薄膜の探索・作製

秋田大学 教授 吉村 哲 氏

開催日：令和3年10月26日（火）16：45～17：30

開催方式：オンライン開催

参加人数：40名

電界で磁化方向を制御する電界印加磁化反転は次世代磁気デバイスの低消費電力化に極めて有効であると期待され、様々な薄膜材料を使って研究開発が進んでいる。本講演では、その一例として、高品位な強磁性・強誘電薄膜材料と従来の金属強磁性薄膜とを組み合わせた材料を用いて、強磁性・強誘電薄膜の磁化方向を金属強磁性薄膜に磁気転写する「電界印加磁気転写」の実験的実証について概説された。高品位薄膜に向けた様々な薄膜作製技術をはじめ、磁気転写評価技術について詳細な結果と考察が説明された。講演後は、聴講者との活発な議論が展開された。

Design Technology Platform in TSMC Cutting edge semiconductor technology

TSMC Japan Design Center 安井 卓也 氏

開催日：令和3年11月25日（木）10：30～12：00

開催方式：オンライン開催

参加人数：28名

TSMC ジャパンデザインセンターでは TSMC の他拠点と 3nm や次世代プロセスの設計手法開発、IP(スタンダードセルや SRAM)の開発や TSMC のトップ顧客と LSI 設計に取り組んでいる。本講演では、微細化に伴うプロセスの性能向上の不足分を補うための設計手法が紹介された。また、先端プロセスの設計で日本人の技術者が国内だけでなく台湾でも活躍していること、世界中で半導体がより注目されていることについても紹介された。

講演後は同分野の今後の課題や具体的応用事例などについて活発な質疑がなされた。

疑似ラベルに基づく半教師あり学習の統計力学的解析

東京大学 大学院理学研究科 助教 高橋 昂 氏

開催日：令和4年1月18日（火）16：00～17：30

開催方式：オンライン開催

参加人数：25名

令和4年1月18日に標記講演会を開催した。取得データの一部にしかラベルが付与されていない状況で分類モデルを学習する問題は半教師あり学習と呼ばれるが、本講演では、半教師あり学習の具体的なアプローチとして、ラベルありデータで学習したモデルによってラベルなしデータ点に対して擬似的なラベルを付与し、その疑似ラベルを真のラベルであるかのようにみなして教師あり学習の要領でラベル付きデータとラベルなしデータの両方を組み合わせて学習するアルゴリズムについて紹介された。疑似ラベルを用いた半教師あり学習の平均場モデルを統計力学的に解析した結果について議論され、関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

窒化ホウ素膜のナノスケール物性解析手法

京都大学 大学院工学研究科 教授 江里口 浩二 氏

開催日：令和4年2月21日（水）13：40～14：30

開催方式：ハイブリッド開催

（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 A/B室 および オンライン）

参加人数：55名

本講演では、京都大学教授の江里口浩二氏から、窒化ホウ素（BN）膜のプラズマ合成と、合成されたBN膜のナノスケールでの物性解析手法について紹介された。BN膜は、電子デバイスの二次元材料となる六方晶相とトライボロギー応用の超硬質コーティングのための立方晶相というユニークなナノスケール構造を持っており、近年注目を集めている。これまで、BN膜の特性を制御するために、その背景にある相を特定する様々な評価手法が提案されてきた。

本研究では、BN膜の相を制御するために、反応性プラズマを用いたコーティング技術を提案しており、さらに光学的および電氣的解析を行い、詳細な構造を同定したことが報告された。その結果、BN膜の相によって、光学定数やリーク電流が大きく変化することが明らかとなったことが紹介された。

講演後には、プラズマの成膜条件に関する質問とともに異分野の研究者からもプラズマ合成されたBN膜の特性等について多くの質問があり、活発な議論がなされた。

秋田県立大学における音に関する研究の概要紹介

秋田県立大学 情報工学科 教授 西口 正之 氏

開催日：令和4年3月14日（月）

開催方式：オンライン開催

参加人数：31名

人間は、外界の情報を五感により知覚することで日常の活動を行っている。音を処理することで、人間に利益をもたらす典型的なものとして補聴器が考えられる。補聴器は、視覚でいうのであれば、眼鏡に相当するツールと言える。眼鏡は、網膜上に光を結像させるために、屈折の度合いを調整している。一方、補聴器は、小さい音が聞こえなくなるように衰えた聴覚機能を補うための増幅を行っている。どちらのツールであっても、最適に調整を行うためには、視覚や聴覚の仕組みを把握した上で、個々人の特性を測定し、それを眼鏡や補聴器に反映させなければならない。このように、映画やオーディオのようなエンターテインメントの分野でも、同様のことが言え、人の生活の質を向上させる技術を構築するためには、人の知覚の過程や性質についてよく知る必要があり、また、それを効果的に活用するために信号処理を初め、様々な技術が必要となる。

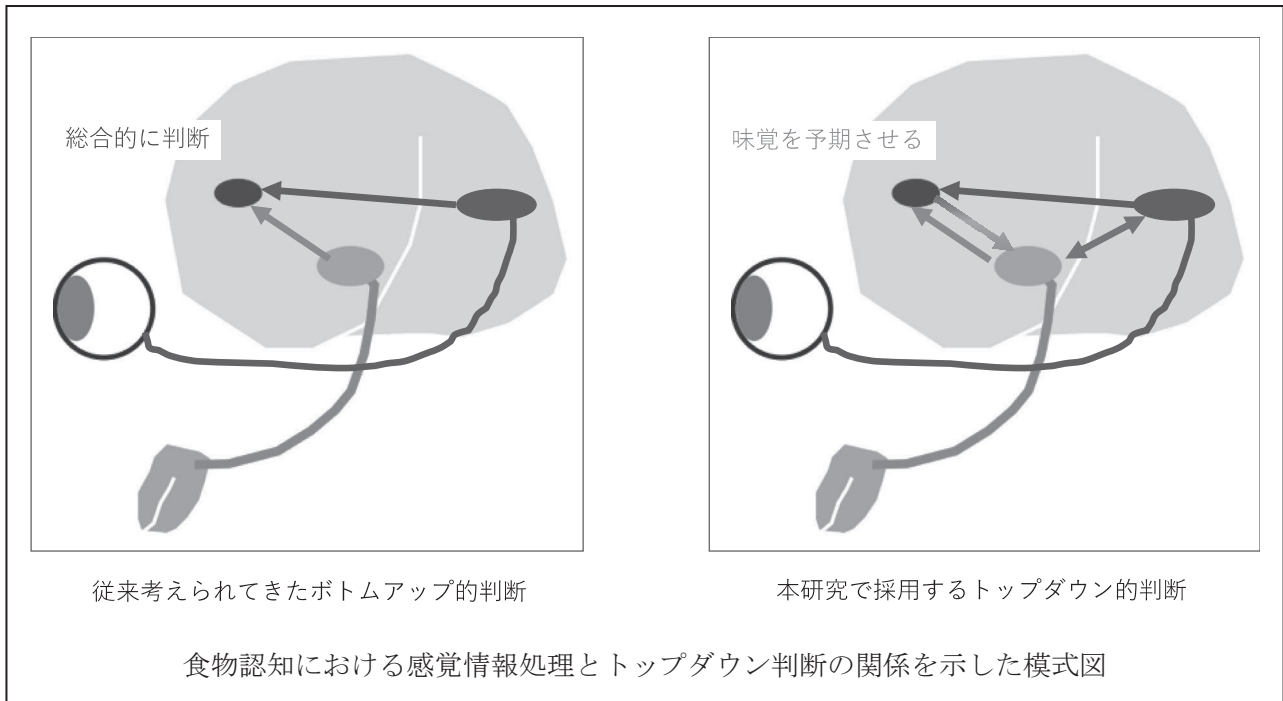
本講演では上記の知覚情報処理の観点から、秋田県立大学知覚情報処理研究室で進められている聴覚の空間的マスキング効果に関する研究など、音に関するいくつかの研究テーマについて、その概要を紹介していただいた。空間的マスキングは従来の周波数マスキングを空間的なマスキングに発展させたものであり、高臨場感音場再生などにおける情報圧縮などの応用が期待されている。ご講演では基本的な理論から応用まで詳しく説明がなされ、初学者にも容易に理解できるような解説が非常に好評であった。実際の画像なども示しながら講演者自身の経験に基づく知見についてもお話いただき、参加者の聴覚的特徴を生かした音信号処理への理解と興味の大きな向上へとつながった。

第 6 章 通研教員が中核的役割を果たす 他部局組織等

6. 1 設立に関与した組織等

高等研究機構 新領域創成部
多感覚情報統合認知システム研究室

食物認知を例に多感覚統合のメカニズムを探る



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

<研究室の目標>

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

<2021年度の主な成果>

2021年度は、以下の成果を得た。

1. 食物認知における多感覚統合

味覚と視覚（色情報）の関連性に関する国際比較研究を実施した。また、咀嚼音と食感のオノマトペの関係に関する研究を進め、様々な食感を持つ食品の記述とその食物を咀嚼しているときの音や咀嚼筋の動きなどの相関を求める研究を開始した。

2. 人間の行動と感覚情報の相互作用性

聴覚が視覚的意識の形成に及ぼす影響についての研究を実施し、音高情報の変化と視覚運動情報の知覚的意識が関連する傾向にあることが示唆された。また、聴覚と自己運動における時間情報の認知過程について、楽器演奏事態における知覚実験を行った。その結果、演奏事態において約40ミリ秒の音遅延が判別できることや、残響音などの演奏環境に依存する情報が知覚や運動に与える影響が示唆された。

3. 顔の印象形成に関する認知・知識の影響

歯学系研究者と共同で、歯科医学的知識の有無によって顔の印象形成に違いが生じるか否かについて実験的研究を実施した。また、その時の脳活動についてNIRSやfMRIなどを用いた実験を行った。

<職員名>

教授 坂井 信之 (2018年より)

助教 山本 浩輔 (2018年より)

<プロフィール>

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

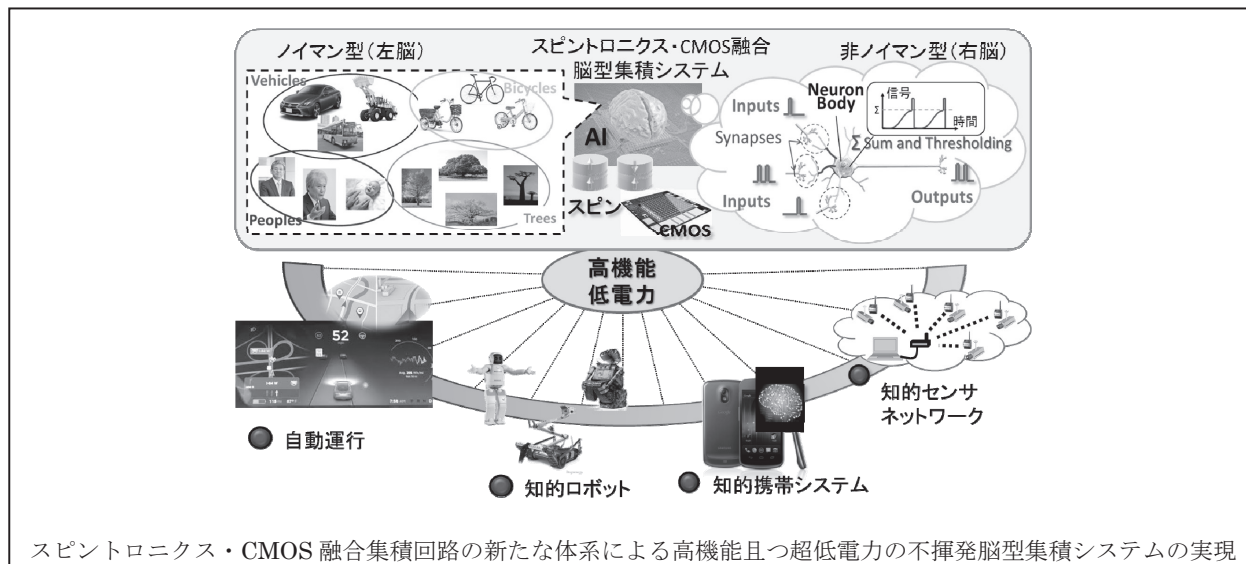
<2021年度の主な発表論文等>

- [1] A. Saita, K. Yamamoto, A. Raevskiy, R. Takei, H. Washio, S. Shioiri, and N. Sakai, Crispness, the Key for the Palatability of “Kakinotane”: A Sensory Study with Onomatopoeic Words, *Foods*, 10, 1724, 2021, doi: 10.3390/foods10081724
- [2] T. Hasegawa and N. Sakai, Comparing Meal Satisfaction Based on Different Types of Tableware: An Experimental Study of Japanese Cuisine Culture. *Foods*, 10, 1546, 2021, doi: 10.3390/foods10071546
- [3] 坂井信之, 「見た目」と「香り」に騙される味覚. *保健の科学*, 63(4), 243-247
- [4] ラエフスキー アレクサンドル・陳 奕全・坂井信之, 味覚の色イメージに関する文化比較研究 - 日露台の比較 -. *信学技報 IEICE Technical Report HIP2021-52 (2021-12)*, 23-26
- [5] 佐々木尚之・前川修太・坂本修一・坂井信之, サウンドの再生方法の違いによる frisson と ASMR の比較. *信学技報 IEICE Technical Report HIP2021-51 (2021-12)*, 17-20
- [6] Raevskiy A., Sakai N. Japanese onomatopoeic words: psychological view of the linguistic phenomenon. *MSU Vestnik. Series 13. Oriental Studies, № 3*, pp. 84-97, 2021.

高等研究機構 新領域創成部

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室

MRAM を用いた高機能・超低電力不揮発脳型集積システムの実現



スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究分野 教授 遠藤 哲郎

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究分野 助教 馬 奕涛

<研究室の目標>

本研究分野は、スピントロニクス工学、CMOS 半導体集積回路工学及び脳科学を融合し、デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアまでにわたる新しい工学技術分野を構築し、人間のよう
に高度な情報処理・判断を高効率且つ低電力で実行できる新しい脳型コンピューティングシステム
の実現を目的として研究を進めている。具体的には、研究全体を「ノイマン型」と「非ノイマン型」
の2つのアプローチに分けて研究を展開し、スピントロニクス・CMOS 融合デバイスに関する理解、
スピントロニクス・CMOS 融合に基づく回路・アーキテクチャ設計論、脳型 CMOS 集積回路、及び
AI(Artificial Intelligence)コンピューティング実現のための学理を結集し発展させることによって、自
動運行や知的ロボットなどの応用に着目した高機能且つ超低電力の不揮発脳型視覚認識システム
の実現を目指す。

<2021 年度の主な成果>

1. スピントロニクス工学、CMOS 融合不揮発脳型集積回路の検証・デモ実装環境の整備

本研究分野では、2019 年度まで完成した高精度の回路シミュレーション設計検証の研究開発基盤
と 2020 年度に構築した 300mm-wafer とパッケージの両方に対応できる CMOS/MTJ 混載 VLSI の実
測評価環境に加えて、2021 年度では脳型集積回路システムのソフトウェア検証及び FPGA デモ実装
できる検証環境の立ち上げを完了した。この検証環境では、物体認識向けの高解像度のシングルカ
メラ画像や、3D 画像認識向けのデュアルカメラ画像や、アクション認識向けの Skeleton 画像等
に対応可能なマルチカメラシステムと、デモ実装のための FPGA 評価ボード、及びソフトウェア検証
用サーバ等から構成されている。本研究室で提案・設計・開発したスピントロニクス・CMOS 融合
脳型 VLSI チップ機能検証のために、高効率・高精度のアーキテクチャテスト実装・評価・解析する
ことが可能となる。

2. 「ノイマン型」アプローチでの不揮発適応型 K-means 教師無学習プロセッサ、及び、不揮発 FCNN 物体検出認識プロセッサの開発

2020 年度で設計試作した不揮発適応型 K-means 教師無学習プロセッサの実測評価を進めて、画像データによる応用向け機能検証も完了し、オンラインとオフラインの K-means 学習を実行する際の処理フローに従い、自律に回路モジュール（パワードメイン）の電源を管理しながら消費電力の実測評価ができた。それから、令和 2 年度で開発した軽量化 FCNN アルゴリズム（16bit-TinyYOLO アルゴリズム）を実装した不揮発物体検出プロセッサの設計開発も 55nm-CMOMS/56nm-MTJ 技術に基づいて完了し、試作チップの 618PIN と 316PIN 測定用プローブカードを設計製作し、実測により設計の課題抽出を行った。その設計課題を解決する新しい改良アーキテクチャの設計も進めている。その上に、8bit/16bit 混在の実装に向けて、新しい適応型の畳み込み演算回路提案し導入しており、FPGA テスト検証を行い、適応型の畳み込み演算回路に基づく物体検出機能検証とその消費電力と回路複雑度の優位性を検証した。

3. 「非ノイマン型」アプローチでの不揮発 SNN 画像パターン認識プロセッサの評価

2020 で提案した 32K-Synapse/512-Neuron から構成する 8 コア/8 レイア SNN パターン認識プロセッサの実測を行い、手書き数字認識における実測機能検証ができ、消費電力評価を完了した。自律パワー管理技術を導入することで、SNN のパルス駆動の特徴を生かして、演算と電源管理両方に対して SNN パルスを通じて実現し、パルス電圧が High の時のみ電力を消費するように、最大限の消費電力削減を実現している。

<職員名>

教授（兼） 遠藤 哲郎（2008 年より）

助教 馬 奕涛（2019 年より）

<プロフィール>

遠藤 哲郎 1987 年 3 月 東京大学物理学卒業。1995 年 3 月 東北大学電気工学専攻博士後期課程修了。1987 年より、東芝 R&D センターの VLSI 研究ラボにて NAND フラッシュメモリと 3D 先端 CMOS デバイス設計に関する研究開発に従事。1995 年より東北大学電気通信研究所講師。1995 年より同准教授。2008 年より同教授。2008 年 5 月より同大学際フロンティア研究所教授。2012 年より同大工学研究科教授、及び、同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター・センター長、同大先端スピントロニクス研究開発センター・副センター長（世界トップレベル拠点）現在に至る。東北大学にて、最先端 CMOS デバイス設計、クリーンルーム技術、低電力・高速回路技術、次世代メモリ技術、スピン・CMOS 融合型ナノ LSI、GaN パワーデバイス、及び集積パワーエレクトロニクスの研究に関する研究開発に従事。JSAP フェロー、LSI IP Design Award 受賞(2001)、JJAP Paper Award 受賞(2009)、JSAP 6th Fellow Award 受賞(2012)、SSDM Paper Award 受賞(2012)、2020 VLSI Test of Time Award 受賞 (2021)、第 14 回産学連携功労者賞・内閣総理大臣賞 (2017 年)、全国発明賞 (2018 年)。

馬 奕涛 2006 年 3 月 大阪大学電気情報エネルギー工学科卒業。2011 年 3 月 東京大学工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2011 年 6 月 東北大学国際フロンティア研究所研究員。2014 年 4 月 同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター産学官連携研究員。2018 年 4 月同大工学研究科助教。2019 年 4 月同大電気通信研究所助教。

<2021 年度の主な発表論文等>

- [1] Yitao Ma, et al., 5th Symposium of The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, (Virtual), October 2020.
- [2] Tao Li, Yitao Ma, Ko Yoshikawa, Osamu Nomura and Tetsuo Endoh, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 16, Issue 5, pp. 3055 – 3065, August 2021.
- [3] Li Zhang, Yitao Ma and Tetsuo Endoh IEEE Transactions on Magnetics, (Early Access), January 2022.
- [4] Tetsuo Endoh, Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, (Virtual), August 26 2021.
- [5] Tetsuo Endoh, The 32nd Magnetic Recording Conference, (Virtual), August 17 2021.

先端スピントロニクス研究開発センター (CSIS)

<施設の概要>

設 置：平成 30 年 1 月 30 日設置

(スピントロニクス世界トップレベル研究拠点が高等研究機構に設置された日付)

組 織：センター長：平山祥郎（理学研究科・教授）

教員数：43 名（理学研究科・工学研究科・金属材料研究所・電気通信研究所・多元物質科学研究所・材料科学高等研究所・学際科学フロンティア研究所・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・スピントロニクス学術連携研究教育センターから兼務）

目 標：基礎から応用にわたる幅広い分野の卓越した研究者を海外有力大学との共同研究を通じて戦略的に結集し、Spin-Centered Science というべき領域を世界に先駆けて切り拓く世界トップレベル拠点を形成することを目的とする。

研究内容：スピンを基軸とする基礎科学、先進スピントロニクス材料、スピントロニクスデバイスおよびその集積技術の四つに区分される。

<2021 年度の主な成果>

・世界を先導するスピントロニクス研究の推進

学内の部局を超えた共同研究で高い国際性を有する質の高い提案 9 件を共同研究プロジェクトとして採択した。

・優秀な若手研究者の育成

部局を超えた共同研究を推進するため、専任教員・研究員として若手外国人 5 名を雇用した。

・国際頭脳循環の推進

海外有力大学との学術交流ネットワークを構築するため、海外有力大学と国際ワークショップを開催してきたが、本年度も新型コロナウイルス感染症の影響のため多くが中止または延期された。そのような状況の下、世界トップレベル研究拠点(材料科学／スピントロニクス)合同で第 5 回 国際シンポジウムを 2022 年 10 月にオンラインで開催し、約 360 名の参加登録者があった。また、2021 年 11 月には 1st Online RIEC Workshop on Spintronics が開催され、招待講演のオンデマンド・ビデオとライブセッションを組み合わせた新たなスタイルとして注目を集めた。

国際集積エレクトロニクス研究開発センター (CIES)

<施設の概要>

設置：平成 24 年 10 月、東北大学は民間企業との産学連携研究を拡充し、エレクトロニクス産業の発展に向けた組織として「国際集積エレクトロニクス研究開発センター」を設置した。平成 25 年 4 月、本研究開発センターの研究棟が初の 100%民間拠出による東北大学サイエンスパーク第 1 号の施設として、青葉山新キャンパス内に竣工された。

組織：センター長：遠藤哲郎（工学研究科・教授）

職員数：78 名（工学研究科、情報科学研究科、通研等からの兼務を含む）

目標：東北大学が有する多岐にわたる研究シーズと豊富な産学連携実績を求心力として、集積エレクトロニクス技術を研究開発する。また、その技術に係る国際的産学連携拠点の構築を図ることにより、次世代集積エレクトロニクス分野における我が国の国際的な競争力の強化に寄与する。更に、当該分野の技術の実用化及び新産業の創出を目標とする。

研究内容：産学共同研究、国家プロジェクト、地域連携プロジェクト等の枠組みの中で、これまで CIES で研究開発してきた世界最先端技術であるスピントロニクス技術から AI ハードウェア技術とパワーエレクトロニクス技術に拡充し、3 つのコア技術の研究開発を推進すると共に、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。

<2021 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て、材料・装置・プロセス・デバイス・回路・システムなど産学共同研究、大型国家プロジェクト（JST-OPERA 事業、JSPS Core-to-Core 事業、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ事業、NEDO 事業、東北経済産業局サポイン事業、文科省パワエレ事業）、地域連携プロジェクトからなる CIES コンソーシアムを運営してきた。2020 年より経済産業省事業「地域オープンイノベーション拠点選抜制度」に、本センターが第 1 号の地域オープンイノベーション拠点に選抜されている。研究開発分野をスピントロニクスから、3D メモリ、AI ハードウェア、パワーエレクトロニクスに拡充し、産学共同研究も 20 課題に大幅に拡大して、集積エレクトロニクス技術に係るコア技術の開発を推進している。コンソーシアム参画企業には、「宮城県と県内市町村が共同申請を行った民間投資促進特区（情報サービス関連産業）制度」と「東北大学と仙台市の協定に基づいた固定資産税等相当額の助成制度」を活用して頂いた。2021 年 6 月、東北大学は、我が国の半導体戦略、ひいては世界の省エネ化社会に貢献すべく、東北大学半導体テクノロジー共創体を設立した。本共創体に加えて、我が国の半導体戦略の中でも、CIES はスピントロニクス省電力ロジック半導体開発拠点と位置付けられ、産学官共創の推進、社会実装への取組みを更に強化している。

スピントロニクス集積回路対応としては世界唯一、大学が運営するワールドクラスの企業と互換性のある 300mm プロセス試作・評価ラインを活用して、多様な革新的技術を開発している。具体的には、1 桁ナノメートル世代の集積化技術での 10 年以上のデータ保持と 1 兆回に到達する書き換え耐性を有する低消費電力 MRAM 技術の開発に成功した。最先端 Xnm 半導体とスピントロニクス技術の融合により超低消費電力・高性能エッジデバイスで IoT・AI・耐環境応用領域拡大に道を拓く成果である。また、半導体戦略にかかる NEDO ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業や NEDO AI チップ・次世代コンピューティング技術開発事業に採択され、本技術の開発を加速している。パワーエレクトロニクス分野では、GaN on Si パワーデバイスの低損失で高周波動作が可能な特長を活かし、モータ駆動用インバータ、DC-DC コンバータの高機能化、小型・軽量化を進めている。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採択され、集積化パワーエレクトロニクスの研究開発を加速している。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、AI ハードウェア技術とパワーエレクトロニクス技術の 3 つのコア技術を活用し、カーボンニュートラルの実現に不可欠で超低消費電力が要求される IoT/AI システムへの展開を目指す。

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旨と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 4 年目を迎え、本センターの技術やノウハウをベースとして実用化開発を進めている。また、宮城県、みやぎ高度電子機械産業協議会、みやぎ自動車産業協議会、岩手県、いわて半導体関連産業集積促進協議会に加え、東北経済産業局等との協力を得て、山形県の地域・地元企業との連携が加わり、地域連携が拡充するなど、東北復興・地域貢献の一助となる成果が得られている。

引き続き、世界を先導する集積エレクトロニクス・AI ハードウェア研究開発拠点を目指し、革新的コア技術の創出、及び実用化による産業界への貢献と我が国の国際的競争力強化、そして地域連携による「東北復興・日本新生の先導」に寄与する。

電気通信研究機構 (ROEC)

<施設の概要>

設 置：平成 23 年 10 月 1 日に設置。東北大学災害復興新生研究機構の 8 つの重点プロジェクトの一つである「情報通信再構築プロジェクト」を推進するため、電気通信研究所が中心となり、工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科、サイバーサイエンスセンターなど、複数の部局にまたがる電気・情報系の研究者が、産学官連携により、災害に強い情報通信ネットワークの研究開発を実施。

組 織：・機構長：山田 博仁（教授）

・職員数：53 名（東北大通研・工学研究科・情報科学研究科、医工学研究科・サイバーサイエンスセンターから兼務）

目 標：東日本大震災の教訓を踏まえ、災害時に必要な通信が確実に確保できる耐災害性に優れた情報通信技術の研究開発とその社会実装の推進。

研究内容：本機構に参画する研究者の研究シーズを活かした、耐災害 ICT 技術に関する産官学連携プロジェクトによる世界で最も進んだ災害に強い情報通信ネットワークの構築。

<2021 年度の主な成果>

- (1) 研究プロジェクトの推進：総務省や NICT の委託研究として、「第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発」、「Beyond 5G のレジリエンスを実現するネットワーク制御技術の研究開発」、「ニーズに合わせて通信容量や利用地域を柔軟に変更可能なハイスループット衛星通信システム技術の研究開発」等のプロジェクトを推進した。また、JST OPERA 事業共創プラットフォームの形成として、「電力と情報通信のネットワーク基盤融合に関する研究開発」を推進した。さらに、レジリエンス ICT 研究開発の成果として、次世代安心・安全 ICT フォーラム講演会にて、Beyond 5G 等の取り組みに関する講演を実施した。
- (2) 情報発信：本機構のホームページを活用し、本機構の活動内容の積極的な情報発信を実施した。

<2021 年度の主な発表論文>

- [1] Ryo Takahasi, Hidenori Matsuo, and Fumiyuki Adachi, “Joint multi-layered user clustering and scheduling for ultra-dense RAN using distributed MIMO,” IEICE Trans. Communications, Vol. E104-B, No. 9, pp. 1097–1109, Sept. 2021.
- [2] Kozo Sato, Takashi Kan, Masato Yoshida, Keisuke Kasai, Toshihiko Hirooka, and Masataka Nakazawa, “Chromatic dispersion dependence of GAWBS phase noise compensation with pilot tone,” Opt. Express, vol. 29, no. 7, pp. 10676–10687 (2021).
- [3] Liu Ke, Hirohito Yamada, Katsumi Iwatsuki, and Taiichi Otsuji, “A study for stable operation of battery loaded DC bus based on autonomous cooperative control”, 2021 The 6th International Conference on Power and Renewable Energy, DOI:10.1109/ICPRE52634.2021.9635250, September 25 (2021).

スピントロニクス学術連携研究教育センター（CSRN）

<施設の概要>

設置：平成 28 年 4 月 1 日設置

組織：センター長：高梨弘毅（金属材料研究所・教授）

教員数：62 名（専任教員：1 名、兼務教員：61 名、理学研究科・工学研究科・金属材料研究所・電気通信研究所・多元物質科学研究所・材料科学高等研究所・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・学際科学フロンティア研究所から兼務）

目標：世界をリードする日本のスピントロニクス研究の国際競争力の向上、新産業の創出、現産業の強化及び次世代人材の育成を目指し、国内外の研究機関との共同研究を推進する連携ネットワークの拠点としての役割を担う。

研究内容：[スピントロニクスデバイス創成研究部門] スピントロニクス分野の科学技術を駆使して、従来の情報通信技術を革新すると共に環境にやさしい社会基盤をもたらす創エネルギー・省エネルギーデバイス及びシステムを創成する。

[スピントロニクスデバイス評価研究部門] 先端的なスピン計測技術を開発して、微細集積化されたスピントロニクスデバイス中のスピンの挙動を評価すると共に、その物理機構を理論的に解明し、新たなスピントロニクスデバイスを提案する。

<2021 年度の主な成果>

・共同研究プロジェクト

学内外のスピントロニクス研究者との共同研究を促進するため、共同研究プロジェクトの提案を募集し、採択された課題 65 件に予算配分した。共同研究先は国内 41 機関、国外 36 機関(16 ヶ国)に上る。各プロジェクトの研究内容と成果については、下記ホームページを参照のこと。

※東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター URL: <http://www.csrn.tohoku.ac.jp/>

・実験施設・設備の供用

供用可能な実験施設・設備（購入価格 1,000 万円以上）23 件のリストをホームページに公開し、学内外のスピントロニクス研究者の共同利用に供した。

・国際会議・研究会・スクール等の開催

スピントロニクス研究者間の交流促進と次世代人材の育成に資するため、国内拠点大学に設置されたセンターと連携して、国際会議 5 件、国内研究会 2 件、セミナー・スクール 2 件を共催した。

なお、本センターは 2022 年 4 月 1 日付でスピントロニクス学術連携研究教育部門として、本学の先端スピントロニクス研究開発センターに再編統合された。

ヨッタインフォマティクス研究センター

<施設の概要>

設 置：平成 30 年 4 月設置

平成 26 年東北大学学際研究重点プログラムに採択され、その後の活動により、平成 30 年に文科省・国立大学法人機能強化促進補助金の予算措置を受けて設置された。

組 織：センター長：塩入諭（電気通信研究所所長・教授）

センター参加学内教員数：37 名（電気通信研究所・工学研究科・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・文学研究科・情報科学研究科・経済学研究科・医工学研究科・教育学研究科・生命科学研究科・農学研究科）

目 標：超巨大情報量の量と質を扱うための新情報サイエンスとそれに基づく ICT 情報処理技術と新たな自分社会科学を文理連携体制によって構築する

研究内容：人類が作り出すデータ量は日々増加して 2030 年にはヨッタバイト（10 の 24 乗バイト）を超えると推定される。従来の ICT 技術の延長ではこれほど巨大な情報量を適切に取り扱うことができないので新たな情報処理パラダイムが必要である。そこで情報の「量」と「質」をも扱う科学技術基盤の創出を目指す。本センターでは、情報の質と価値を扱う学術領域の研究のために人文社会科学の研究者と連携した文理連携により部局を超えた研究者集団を構成し、ヨッタバイト級の巨大情報「量」に加えて、情報の「質」と「価値」を判断する基盤技術を確立し、巨大なビヨンドビッグデータ情報が持つ大きな価値を最大限活用する科学技術プラットフォームの構築を目指す。

<2021 年度の主な成果>

1. 情報の「質」から「価値」を判断し、一定の規範を見出して適切に情報を取捨選択できる情報学を先導するための 9 つの文理連携プロジェクトを、公募を通して発足、もしくは継続遂行させた。論文発表 107 編、発表・講演 208 件（うち招待講演 46 件）、外部資金によるプロジェクト 79 件。
2. 国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021 を主催した。また、国際シンポジウム Tohoku U・NTU Symposium: "When AI Meets Human Science"および日中韓の国際シンポジウム (International Workshop on Emerging ICT) を共催し、IEEE ISCAS special session、電子情報通信学会 EMM 研究会、同 HIP 研究会、同 FIT 情報科学技術フォーラムとの共催研究会などを実施した。
3. Interdisciplinary Information Sciences (IIS) 特集「New informatics paradigm to manage quality and value of information」を企画した。

6. 2 参画する事業・プログラム

博士課程教育リーディングプログラム 「マルチディメンジョン物質工学リーダー養成プログラム」

<概要>

設置：平成 25 年 10 月設置

日本学術振興会博士課程教育リーディングプログラム複合領域型（物質）として採択されたことを受けて設置された。（補助事業は令和元年度終了）

組織：プログラム責任者：山口昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））

プログラムコーディネーター：長坂徹也（工学研究科・教授）

プログラム担当者：59 名（責任者・コーディネーターを含む）

目標：東北大学の世界的強みである材料科学の実績と人的資源を活用し、大学院前期・後期一貫教育を通じて、マルチディメンジョン物質デザイン思想を実践するための広く確かな基礎知識と研究経験を有するリーダー人材を育成する。「マルチディメンジョン」とは、機能、特性、プロセス、環境調和性、経済性、安全、評価等に関する複合的な軸・次元で物質を幅広く俯瞰的に捉えることを意味する。

<2021 年度の主な成果>

2021 年 5 月 26 日および 11 月 30 日～12 月 1 日に本プログラムの最終審査である Qualifying Examination 2 がオンラインで実施され、合計 10 名のプログラム学生全員が合格となった。

2021 年 11 月 14 日に本プログラム修了生（現職：物質・材料研究機構 研究員）がロレアル・ユネスコ女性科学者日本奨励賞（物質科学分野）を受賞した。

イノベーション戦略推進本部 革新的イノベーション研究機構

<施設の概要>

設 置：平成 26 年 4 月 1 日設置 平成 25 年度に開始した COI-STREAM「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」のプロジェクトに合わせてイノベーション戦略推進本部内に当研究機構を設置、東北大学が中核機関となり、サテライト（中核機関以外の研究実施場所）の新潟大学、東北学院大学、早稲田大学とともに、(株)東芝を中心とした企業と産学連携した研究開発を実施してきた。現在は、NEC ソリューションイノベータ(株)が企業側の中心となっている。

組 織：機構長・プロジェクトリーダー：和賀 巖（NEC ソリューションイノベータ(株)・プロフェッショナルフェロー兼イノベーションラボラトリ所長）
 ・副機構長・研究リーダー：末永 智一（東北大・教授）
 ・プロジェクト参加学内教員数：135 名

目 標：さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会の実現

研究内容：誰もが生甲斐を持ち健康快活に過ごしたいが、病気への不安、孤独感、離れた家族の心配等が少子高齢化社会を脅かす。常に自分や家族の生活や健康がわかり、理想自己実現に向けた応援支援が得られる「日常人間ドック」を、提案者の MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)・スピントロニクス・通信・エネルギー・素材・医療等の創意を結集して開発する。自律駆動型パッチセンサを主軸に超小型お米、箸、茶碗センサ等でさりげなく収集した日常の行動や健康ログは、クラウド上にビッグデータ PHR (パーソナルヘルスレコード) として一元管理され、ゲノム情報を背景に設計された理想自己実現に向けた励まし指導や家族の見守り、緊急時の消息確認・連絡救護等様々に活用される。

<2021 年度の主な成果>

センサ、通信、情報処理などの分野で幅広くプロジェクトに貢献している。地元企業と連携して行った部分義歯管理システム用の cm サイズのパッシブタイプの RFID タグおよび RFID タグシステムの研究開発においては、リーダーライターのプロトタイプ機の特典実験試験局免許を取得し、これを用いて、部分義歯に貼り付け可能な RFID タグのプロトタイプ試作品との通信実験を行ってきた。今年度は、人体頭部を模擬した簡易ファントムモデルを用いて、口腔内の様々な位置に部分義歯を配置した状態で人体外との通信が可能であることを実験的に検証した。これにより、実フィールド検証を行うのに必要な実証実験は完了した。

スピントロニクス国際共同大学院プログラム

<概要>

設置：平成27年4月設置

組織：国際共同大学院プログラム部門長：山口昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））
スピントロニクス国際共同大学院プログラム長：平山祥郎（理学研究科・教授）
プログラム担当者：学内教員21名
海外教育研究機関：ヨハネスグーテンベルク大学マインツ（独）、レーゲンスブルク大学（独）、カイザースラウテルン工科大学（独）、ミュンヘン工科大学（独）、ロレーヌ大学（仏）、シカゴ大学（米）、デルフト工科大学（蘭）、フローニンゲン大学（蘭）、ヨーク大学（英）、リーズ大学（英）、ポーランド科学アカデミー（ポーランド）、清華大学（中）

目標：
・世界で活躍する人材の育成
・スピントロニクスの理論から応用、デバイス形成や産業化までを俯瞰的に見渡せる人材の育成
・広く多様な技術分野のイノベーションを先導することができる人材の育成

概要：研究センター大学であり門戸開放を謳う東北大学の特色・強みを活かして、海外教育研究機関と共同してスピントロニクス分野における世界的な人材を育成するために設立された。東北大学のみならず海外教育研究機関から世界トップクラスの教員を集め、英語による授業を実施する。海外教育研究機関での研修等を通じて学生の積極的な交流を促進する。Qualifying Examinationにより学生の質を保証し、実質的に共同指導学位が認定できるレベルの国際共同教育を実践する。

<2021年度的主要な成果>

2021年度は、新型コロナウイルス感染症の影響により多くの講演会・セミナーが中止または延期となった。そのような状況の中、2021年11月5日に学生企画ワークショップ「Spintronics with Quantum Beams」がオンラインで開催され、5件の招待講演と学生によるポスター発表が実施された。また、2021年12月7日に英語発表スキル向上のためのワークショップが、材料科学高等研究所において開催された。

文部科学省 卓越大学院プログラム 人工知能エレクトロニクス (AIE) 卓越大学院

<施設の概要>

設 置：平成 30 年 10 月採択

平成 30 年度からの新規事業である「卓越大学院プログラム」(WISE Program (Doctoral Program for World-leading Innovative & Smart Education)) に採択された。

組 織：全体責任者：大野英男（東北大学総長）

プログラム責任者：山口 昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））

プログラムコーディネーター：金子 俊郎（工学研究科・教授）

プログラム担当者：約 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「人工知能スピンドバイス（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。

<2021 年度の主な成果>

卓越大学院の独自科目である PBL (Project Based Learning) 科目を開講した。この科目は協賛企業 12 社と大学教員が共同で構築・実施するもので産学連携教育の中核を成す。修了後に学修成果シンポジウムを開催し、各受講生は、この科目の学修成果について発表した。コロナ禍でのインターンシップとして、現地実習とオンラインを組合せることにより、プログラム学生を海外および国内企業インターンシップに参画させた。また、AIE 講演会を 5 回、国際シンポジウムを 2 日間に渡って開催し、人工知能エレクトロニクスの基本的な技術から応用、社会実践における課題など多岐に渡る内容について、国内外の著名な先生方に講演頂いた。国際シンポジウムにおいては、プログラム生全員が英語での研究発表を行った。この他、第 4 期生の募集と選抜を行い、新規プログラム生 26 名（新 M1 11 名、新 M2 11 名、新 D1 4 名）を決定した。

第 7 章 評価と分析

第37回東北大学電気通信研究所運営協議会

日時：令和3年12月3日（金）午後1時～午後4時30分

場所：WEB開催

出席者：

岸本 光弘（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター長）

大谷 義近（東京大学物性研究所 教授）

田中 弘美（立命館大学 情報理工学部 特命教授）

富田 二三彦（国立研究開発法人 情報通信研究機構 経営企画R&Dアドバイザー）

中村 祐一（日本電気株式会社 研究・開発ユニット 主席技術主幹）

村山 宣光（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 副理事長）

今井 亨（日本放送協会 放送技術研究所 所長）

山口 浩司（日本電信電話株式会社 NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員）

関野 徹（大阪大学産業科学研究所 所長）

斉藤 健（株式会社東芝 研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所 所長）

玉田 薫（九州大学 副学長 先導物質科学研究所 主幹教授）

小林 直樹（東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）

前田 裕二（NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長）

中村 孝（大阪大学大学院 工学研究科 特任教授）

佐々木 直樹（キヤノンメディカルシステムズ株式会社 上席常務）

小松 直子（宮城県 公務研修所長）

江村 克己（日本電気株式会社 NECフェロー）

寺田 眞浩（東北大学 大学院理学研究科長）

伊藤 彰則（湯上 浩雄 東北大学 大学院工学研究科長の代理）

加藤 寧（東北大学 大学院情報科学研究科長）

古原 忠（東北大学 金属材料研究所長）

寺内 正己（東北大学 多元物質科学研究所長）

菅沼 拓夫（東北大学 サイバーサイエンスセンター長）

安藤 晃（東北大学 大学院工学研究科 教授）

通研出席者：塩入 諭所長、石山和志副所長、北村喜文副所長、羽生貴弘教育研究評議員ほか各教授及び准教授

開 会

事務長から、東北大学電気通信研究所第37回運営協議会の開会が宣言され、引き続き会議日程の説明と配付資料の確認があった。

続いて、塩入所長から開会にあたり挨拶があった。

委員紹介

出席委員から順に自己紹介があった。

委員長選出

委員の互選により、江村委員を委員長に選出した。

議 事

塩入所長、石山副所長、北村副所長から、次のことについて説明があった。

- (1) 研究所の活動全般について
- (2) 研究と教育について

引き続き、電気通信研究所の各教員及び学生から研究紹介があり、その後、次のような質疑応答があった。

- ★ それでは、ここまでのところでの質疑応答というか、議論に入りたいと思います。多くのコメントを出していただいて、塩入先生から結構いろんな回答もしていただいているので、その辺のところも含めてですけれども、これからはチャットに入っていない方も発言の希望があればまず手を挙げていただければというふうに思いますので、よろしくお願いします。

それで、今までやり取りされている中で、1つは女性の話が出ていました。女性教員をどうやって増やしたのという質問について回答をいただいているんですけども、理工系の女子学生を増やすということについて、何かお考えとかアクションとかされているものがあれば、そこをまずお答えいただければいいかなと思います。

- ☆ 分かりました。

昨年あるいはその前の年も議論になった点ですけれども、基本的に、我々、学部教育、入試対応というのは電気系の先生方と一緒にやっているということで、その枠組みで協力しているというのが1つです。

所として何ができるかというのは、やはり、所の企画である研究所の公開とかで女子学生対応をするというのが1つ考えられます。それは、検討はしているんですけども、去年はオンライン、今年もオンラインということで、なかなか別な意味で新しい試みになっているというところでできていないと思っています。

すぐに考えられることは、東北大学のサイエンス・エンジェルという制度があって、女子学生が高校生にいろいろな話を聞くとか説明するという企画があるんですけども、研究所内の女子学生がそういうところにも参加しているという状況ですので、所として高校生以下にアクセスできるのは、やはり研究所の公開ということになるので、そこでそういう企画をうまく乗せていきたいというふうに考えています。

- ★ アウトリーチ活動は、所の公開というよりはもうちょっと自分たちから、そういうのはやられていないんですか。

☆　そうですね。それは先ほど言ったように、電気系の学科の中の教員が全てそこにも協力しておりますので、実際に高校の出前授業の依頼があったりすると、そういうところでのアウトリーチはやっております。

そのときに、そういう位置づけなので、研究所の女性とか何とか関係なくて、その分野での女子学生への魅力の伝え方というのがあるんだと思いますが、ちょっと積極的に特別何ができるかと言われると、あまりその点では考えたことがなかったかなど。

★　手を挙げていらっしゃるんですけども。

☆　そういうときに、ぜひせつかく女性の研究者の方、多くおられるし、学生の方もおられるので、そういうロールモデルを見せるというか、こういうことをやっている女性研究者がいるんだということを積極的に発信していただいて、実はNICTでも、やはり女性研究者の確保というのは大きな課題で、学生数を増やすところからぜひアピールをしていただきたいなというふうに思います。よろしく願います。

☆　ありがとうございます。

高校生向けの学科のパンフレットなんかだと、女子学生と大学院生が割と比率よりも多く登場して話しているんですけども、教員となると研究室単位の説明になるので、やはり教授が女性であるということが重要になってくるということで、そこからかなというふうには感じております。

★　願います。

☆　東北大学のサイエンス・エンジェルの試みとか活動とか、その成果というのは随分お聞きしてしまして、すばらしいなど。また、それも一朝一夕にはできない。かなりの学生さんがそれに参加しているというふうにお聞きしているんですね。

それで、やはり女性の研究者を増やすためには中高生からというものもあるんですけども、既にそのサイエンス・エンジェルの方がいろんなフィルターというか、レベルを取って、非常に活発にこの理工系の学術研究に興味があるということだと思うので、具体的にどんなことをされているのか。それから、もう少しサイエンス・エンジェルの方が通研の魅力をアピールしてドクターに進学していただくとか、そういうような試みはあるのでしょうか。

☆　サイエンス・エンジェルの実際的な様々な企画というのは、むしろ伊藤先生か安藤先生に伺えればと思いますけれども。私の知っている範囲で言うと、オープンキャンパス等で高校生と話をする、それから……、すみません、そのくらいしか知りませんけれども、そこを安藤先生。

★　そうですね。お願いいたします。

- ☆ ご指摘ありがとうございます。
- 私は所属が工学研究科のほうですけれども、全く同じ議論が工学研究科の中でも行われていまして、女性教員の増ということも努力しておりますし、また、女子学生の増加ということも非常に大きな課題の一つになっています。
- 実際、女子高校生レベルですと、非常に優秀な女子高校生がたくさんいるということは分かっています。ただ、彼女たちが理系に進んだ場合に、どうしても生物系とか医学系、そういったところに進学希望を持っているという状況もあり、工学の魅力をいかに伝えるかということが1つの課題で、先ほどおっしゃられましたように、ロールモデルをきちっと見せて、活躍する場がちゃんとあるということを示してあげるとというのが非常に望ましいことだと思っています。
- サイエンス・エンジェル的活動につきましては、先ほど少し塩入先生のほうからもご発言がありましたように、様々な出前授業とかオープンキャンパス、そういうイベント等も彼女たち独自で行っており、以前はサイエンスカフェというのを仙台市内でやっております、そのときによく活躍していただいたんですが、ちょっとその企画が止まってしまっていますので、よりもっと見せる化というんですか、それは努力していきたいというふうに思っております。工学研究科のほうとしても協力していきたいと思っています。ありがとうございます。
- ☆ 実際、実は私の研究室に1人、女子の学生でドクターの、博士課程に今進学している学生がサイエンス・エンジェルで活躍してくれています。いろいろ話を聞いていると、やはり、そもそも電気・情報系に女子学生があまり多くないので、ちょっと仲間が増やしていくというようなことを言っていましたけれども、意識はしているので、彼女はいろいろなところで活躍の場を見せて、理工系への興味を引いてくれるような活動をしてくれていると思っています。
- ★ ありがとうございます。
- 急に振って申し訳ないんですけども、何か今の件。
- ☆ 女子学生を増やすという何かアクションとか、工夫されていることとかありますか。
- ★ ロールモデルが要りますねという話があって、ある意味で平野先生はロールモデルじゃないかと思うんですけども。
- ☆ 私の勘違いかもしれないんですけども、何でロールモデルがいつも要ると言われるのかすごく不思議で、えっ、そうなんですか。研究者って誰もいないところを行かなくちゃいけないじゃないですか。何で人がいるところ、いないと行かないのかなというのは結構不思議に思っていて、研究者を目指したい女性だったら、ロールモデルが必要という人は向いてないんじゃないかとは思っていたんですけども。
- ☆ 1つは、ご本人、高校生というよりもご家庭の親御さん向けという視点もあるか

と思います。安心して、「工学研究科のドクターへ行きたい」と言ったときに、「あなた何を考えているの」と言わないようにしていただきたいということですね。「とてもいいことだからしっかり頑張りなさい」と言っていただけるように知っていただく。そういうこと、それも一つのロールモデルだと思っています。

- ☆ それでしたら、ちょっとさっきの続きがありまして、そうは思っていたのですが、実はうちの研究室、女子学生がとて多くて、だから、ロールモデルは変かなと思っていたのですが、ロールモデルは実は存在するだけで女子を吸引する力があるのかもしれない、一時期、女子部屋と言われるほど女子が多い部屋がありまして、研究室紹介のときに女子の先輩が研究室を紹介すると、また女子学生が入ってくるんですよ。それなので、ロールモデルに否定的だったんだけど、ロールモデルって重要だなというふうに最近思うようになりました。

それと、女子高によく呼ばれることがあるんですけども、そこで、そのときにお母様方とかもいらっしゃるときがあって、そこで強く言っているのは、お母様方の世代ですと、女子が理系に行くとは結婚できないと思っていられっしゃる方がとても多いんですけども、あえて逆ですと。私の世代の女性教員で結婚していない人はほぼいないです。男女比を考えたら、もうお姫様のように女子は貴重なので、結婚できないことはないですよというのを、下世話な話ですけども、結構アピールするようにしています。それが案外、学生さんにも刺さるみたいで、少なくとも疎外されちゃうんじゃないとお姫様みたいに大事にもらえるんだというのはさりげなくアピールしていてもいいのかなというふうに思っています。すみません、ちょっと……

- ★ ありがとうございます。急に振ってすみません。お願いします。

- ☆ 私もロールモデルは大事だと思っていて、まさに平野先生、そのとおりだと思いますし、あとちょっと違う部門ですけども、小谷先生が国際学術会議の会長になれるということがありますので、ぜひ学部を超えてというか、そういう方をアピールすると、「ああ、東北大に入って頑張ってみよう」と思うような女子学生とかいらっしゃると思いますので、ぜひその辺は学部を超えて。

- ★ ありがとうございます。それでは、お願いします。

- ☆ 資料の42ページのところで、若手研究者の支援の話がございましたけれども、具体的な施策と、何かうまくいったよというような事例があったら教えてください。

- ☆ そうですね。支援した結果、それが有効であったかというご質問かと思います。どちらかというと、ここに書かれているのは、若手研究者をうまく研究所として引きつけることができているという、そういう施策になっております。

そういう方々がその後どうなったかということが質問の意図であるとすれば、ち

よっと申し訳ないですけども、どちらかというと、そういう発想で物事を見ていないんだと、今、私、自分で気がつきました。

そういう視点で見るとすれば、ここに書かれている例えば学際科学フロンティア研究所の助教というのは非常にいい環境、それなりの研究費があって、PIとして活動する、支援するメンターと研究室があるということなので、成果が上がっているということだと思います。通研の立場からすると、そういう若手研究者を受け入れることをしていますということになるかと思います。

それから、若手アンサンブルプロジェクト、附置研究所連携の中で出てくるプロジェクトですけども、これは学際研究が主で、複数の部局にまたがるチームで研究を進めるということです。

それぞれの研究成果そのものがどうなっているかというのは、それなりに次のプロジェクトにつながったり、研究成果につながっている、論文や学会発表につながっているということはデータとして出ていると思うんですけども、むしろ他部局で学際的な連携を始めるという意味では非常に有効に働いているというふうには見えています。ただ、それが将来的にどこにつながったと言われると、すぐに答えはないという状況になります。

研究交流会については、北村先生、何かございますでしょうか。

- ☆ 研究交流会、毎年は特に若手の研究者の方に発表してもらって、所としての、まずは所内でのプレゼンスを高めてもらおうと。何か一緒に研究できたりすることがないかということ所の皆さんで考えてもらうようなきっかけになるようにしています。

今年に関して言うと、ちょっといつもとは違うんですけども、論文指標と。論文指標、論文指標と言われて論文指標のために研究をするのではなくて、本当の活動とはちょっと相反するところもあるので、その辺も理解しましょうと。その上で、もし指標の向上とかに何か寄与することがあるんだとすれば、まあやりましょうと。それが恐らく若手の皆さんのその後、今後のアクティビティのプレゼンス向上なんかも役に立つのではないかというようなこともちょっと議論をしていました。

以上です。

- ☆ ありがとうございます。

研究所の中で縦と横というのがあって、縦の中でやり過ぎるとタコつぼ化するので、やはり、私たちのところも横連携、違うところの人たちとなるべく話をさせたりするような機会を設けることがアイデアを生み出す機会になり得るので、ここでご紹介していただいたのはいい取組みかなと思いました。ありがとうございます。

- ★ では、お願いします。

- ☆ 今の若手研究者の話に関係するんですけども、このデータをちょっと見させていただいて、最も深刻に思うことのひとつが、ドクターコースの学生さんが毎年、着実にもう減っていると。これがこの後どういうふうになるのか分からないですけども、さらに留学生の数を見ると、これ、留学生のほうはずっとコンスタントに大

体来られているので、ドクターコースの学生さんの日本人の数という、もうかなり毎年減っていったって、割合としてかなり減っているというようなイメージです。

やはり、大学院の研究の中心を担うのはドクターコースの学生さんだと思うんですけども、このあたりの、いろいろアンケートとか取られているかもしれませんが、あと通研に限った話ではないとは思いますが、どういうふうになっているかということの解析とか、あとはそれに対して打つ手というのは何かあるのかというようなあたりを、もし何かありましたら教えていただければと思います。

- ☆ ドクターの学生さん、所属はそれぞれの研究科ということで、通研がどうこうと言う立場にないといえませんが、現状として減っている理由は、それぞれの先生方が、多分、肌感覚として感じているものがあるだろうと。学生はドクターにそれほど興味を持ってくれている。研究に興味がないということとはちょっと違うのかなというふうに思います。1つは、経済的な話が出てきて、それについては東北大学だけではなくて、あるいは国の施策としてもドクターの学生の支援というのはかなり増えている。我々のときに比べたらずっと多いと言ってもいいかもしれませんが、でも、むしろそれよりもその先、将来のキャリアパスを考えて、わざわざドクターに行こうと思う人が減っているんだろうということかと思えます。

なぜ減っているかと言われるとちょっとなかなか、よく話に出るのは、「大学教員、あまり楽しそうじゃないということかな」と言われて、まあそういう面もあるんじゃないかと。それから、自分の周りで考えると、やはりドクターは大変そうだと。そこまで自分に能力があるようには思えないというような割と賢い学生もいたりして、ちょっとどうしていいのかなとか思ったりもします。

データという意味では、これもやはり安藤先生なり伊藤先生、何かございますでしょうか。

- ★ 手が挙がっているので、お願いします。

- ☆ ドクター学生の増員、徐々に減っているというのは国全体で、東北大学だけではない課題になっておまして、これは強化しなければいけないということで、文科省、また国のほうとしても様々な施策を昨年から続けざまにいただいています。大きいのが、ドクター学生に対して、今、学生支援制度というものがございまして、月20万円だから年間240万円ぐらいのいわゆる生活費支援という形で支給している制度がございまして。また、それに研究費がつくという形ですが、これに匹敵するフェローシップ、支援制度というのが今年度から始まりまして、今年、ドクター学生、合計で600名ぐらいにそのような支援金が渡るような形で動き始めました。これが継続的に支援が続くということになりますと、ドクターに行こうという学生、経済的なことであきらめていた学生がドクターに行くということにもつながってくるかと期待されます。

一方で、こういったドクターコースに進んだ学生を社会がどう受け入れていただけるかということでの日本の企業の中での位置づけということも、学生はそこを結構シビアに見ておまして、ドクターの3年間を過ごして、そこで自分のキャ

リアを磨いてきたつもりなんだけれども、社会に出たときにはそれがあまり評価されていないということを感じるとすれば、やはり、そこに行くメリットにはつながってこないということもございます。こういったところは、企業様と大学とで連携して、ドクターの価値をどう上げるかということをもっともっと議論しないといけないかなと思います。そういった環境づくりを、今一生懸命つくっているという段階でございます。

☆ 了解いたしました。多分、企業側にもいろいろと課題があつて、解決していく部分もあるんだと思いますけれども、先ほどの卓越大学院なんかもそうなんです。それで、多分サポートが出るような形だったんですけれども、ぜひそういうものも進めていっていただければと思います。ありがとうございました。

★ ありがとうございます。
お願いします。

☆ 大学院の話なんですけれども、特に博士課程の学生で中国人留学生の比率が極めて高いと思うんですね。これがポストコロナで、いわゆる国をまたがった留学というのが今後どうなるかというのはかなり不透明だと思っているんですね。

新規の学生が入学するというのにこれから大きなハードルとかも予想される中で、また一方で、中国とアメリカのいわゆる貿易戦争というかな、技術ソノプロテクションみたいなものもある中で、今後、留学生のポートフォリオってどういうふうにされる予定かって何かアイデアあるんですか。ポストコロナに向けて、もう既に中国に何か、「東北大に来てください、通研に来てください」というアクションを今既にやっているとか、そういうのか、それとももう中国人留学生をある程度あきらめるのか、その辺の戦略があつたら教えてください。

☆ 通研としての特別な戦略は持っていません。ただ、あきらめるというよりも回復、状況がちょっとよくなると問合せも多くなるという状況なので、コロナがどういう形で落ち着くか分かりませんが、いずれにしても回復するんだろうとは想像しています。

米中関係云々については、大学としてどういう立場かということと言われると、個人的にはあまり気にしないんだろう。基本、「オープンでいましょう、サイエンスは」というところだとは思っていますけれども、分野によったり、企業との関係等々で気をつけないければいけないだろうとは思っています。

☆ いずれにしても、コンテンジェンシープランを持っておかないと、いざ状況が変わったときに慌てると何もできないので、一応、検討されておくといいと思います。

★ オープンというのは重要なんですけれども、経済安全保障的にケアすべきことはちゃんとやっておくということは、もう一面では絶対必要になっていると思うので、そこはぜひお考えいただければと思います。
お願いします。

☆ 先ほどの博士課程学生のキャリアパスの問題なんですけれども、従来のように、企業のほうも4月に一括採用というのが崩れてくることもあり、マスターからドクターに行くというだけではなくて、例えば社会人ドクターをもっと増やすとか、もしくはもっと進んで、アメリカなんかはよくありますけれども、1回社会人になった方がもう一度大学に戻ってドクターをやる、そういった形のいろいろなパスをつくっていただいたほうがドクターの数が増えるんじゃないかという気もするんですが、そういった形の施策というのはお考えでしょうか。

☆ それは通研としてじゃないですけれども、社会人ドクターというのは非常に、どのくらいでしょうかね、この辺も安藤先生かもしれませんけれども、20年以降ぐらいいからすごく増えていると思います。

ただ、一説によると、そういう需要を持っている例えば東北大学のある研究室の修士を出て企業で働いていてドクターを取りたいという人が一定数いて、そういう人たちがある程度取った後というのは少し落ち着いたのかなという話を聞いたりします。だから、制度としてはあるし、それぞれの先生は必要に応じて広報もしているというふうには理解しています。

何かありますでしょうか。

☆ 今、塩入先生おっしゃっていたとおりで、社会人学生を受け入れる窓口はもちろんいつもオープンになっていますし、また、希望される方が長期であるいは短期で学位を取るといふ、その対応についても柔軟に対応はしております。

最近では、オンライン化というのがどんどん進んできたということで、リカレント教育、社会人の方々に向けてのリカレントをもう少し充実させて、より大学と、それから社会に出てもう一度学び直したいという方をもっと密接につなげる方法はないかといったところでいろいろな検討をしているという状況かと思います。

こういったことをもっと続けていくことで社会と、社会人の方が研究室に入るとドクターもいろいろな意味で勉強になるので、とてもいいことだと思っているんですけれども、そういったことが増えればいいかなと思っています。

以上です。

☆ どちらかというところ、そういう制度、ずっとやっているけれども、全体のドクターの学生数、減を保障するふうにはなっていないということなので、それはどこに問題があるかというのを少し考えなきゃいけないのかなとは思っています。

★ 多分、今の議論は、先ほどのドクターの人が企業に入るといふ問題と両方併せたときに、仕組みの問題だけではなくて、具体的な接点だったり、やはりインターシップをもっと拡充するとか、もう一歩踏み込んだ施策をやっていくことが必要なんじゃないかなというふうには私は個人的には思います。

今、斉藤さんと富田さんの手が挙がっているので、お二人からご意見をいただいて、休憩に入りたいと思います。

では、お願いします。

☆ ちょっと分野の違う質問になるんですけども、もしかしたら後半の部分のディスカッションのほうが適しているかもしれないので、その辺はご指摘いただければと思うんですけども、先ほど無線に関するご研究についてご質問させていただきまして、ご回答もいただいています。どうもありがとうございます。

企業の立場からの質問や興味ということになるんですが、先ほどご紹介いただいたテーマは、例えばBluetoothとか無線LANというような、今皆が使っている技術をいかに使いこなしていくのか、高度な利用をしていくのにどういうふうにしたらいんだろうかというようなところの検討ということで、我々もIT技術の流れが非常に早くなる中で、例えば我々自身がOSだ、あるいはクラウドの環境だというようなものを構築していくよりも、どうやって例えばAmazonのAWSとかを使いこなしていくんだと、既存の技術をいかに使いこなして、すばやくそれらをソリューションとして提供するとか、どういうふうな組合せをしてお客様のご期待あるいは我々自身が持っている課題を解決していくんだというところの比重がどんどん高まっている現状というのがあります。

通研さんのほうでも、そういった使いこなしに関しての比重というのが非常に高まっていて、それはこういうふうに展開をしていったらよいというような考え方があるのか、それとも、やはりそういうような、今の話はある意味、言い方を換えると、目先のというとあれですけども、非常に近い、より企業に適したテーマであって、大学としては同じそういう目線で課題となったものをBeyond 5Gとか6G、7Gというようなところへの反映、次の新しいテーマにつなぐということがやはり大きな主眼であって、そこを補完する内容でというような、ちょっとそういうようなところの使いこなしというようなところへの考え方について、何かこういう方針があるんだというようなところがあたらご紹介いただきたいんですけども。

☆ 今のお話ですと、まさに後半で言われた、やはり大学としては新しい分野を切り開いていくというのがミッションだと思っています。ただ、その使いこなしがそういうところにはつながらないのかという話になると、必ずしもそういう話ではない気はします。そういうところに目を向けないでいいかという、むしろそういうところから何か新しいものということもあるんじゃないかと、お話を伺っていて思いました。

ただ、全体の方針という意味では、大学でやるべきことというのは、やはり長期的な視野に沿ったもの、研究分野を少なくとも忘れてはいけない。それが主要、2分の1なのか3分の1なのか3分の2なのかということとはともかくとして、そういう立場であるべきだというふうに思います。

一方で、民間企業との連携というのは強く求められている環境にあるので、ある種、組合せだけでもいけそうな技術、言い方は失礼な言い方になっちゃっていますが、そういうものはたくさん世の中にあって、大学の先生方の知識があるためにそれができるということもたくさんあるんだと思います。そういうところは、通研の先生方からの聞いた話では、やはりそういう話、企業の方との、問題があってそういう話をしていくと、そういうところに落ちてしまうと共同研究にはなかなかつながらないという話があります。でも、そこはやり方次第ということ、我々の考え方を変えたほうがいいかもしれないという思いもあります。つまり、主に

するのは難しいですけども、そこは積極的にもう少し考えるべきだと、個人的な見解ですけども、思います。

☆ どうもありがとうございます。

おっしゃるとおりというか、ポートフォリオというか、一定の比率でというようなところの課題もあるのかもしれませんが、あとはやはり我々が大学に求めるところというのは、企業側ではできないようなところをうまく、まさに連携してというようなところの思いもあるので、そのあたりのところはぜひ継続してディスカッションをしていけたらと思います。ありがとうございます。

★ ありがとうございます。

私もチャットのやり取りを見ていて、研究のフェーズの問題はいろいろあって、それはあっていいと思うんですけども、いわゆる企業との間のコミュニケーションというところは、やはりもうちょっと課題感があるんじゃないかなみたいな感じがありました。先生方のプレゼン自身も、どちらかという自分たちはこうやっていますというのが多かったんですけども、だからそれを、やはり最後は社会とどうつながっていくかという、フェーズによってやり方があると思うんですけども、そこら辺はまた議論させていただくべき内容かなと思いました。

では、お願いします。

☆ チャットには書かせていただいたんですが、1つ話題が戻りますけれども、若手教員の充実化という課題があったので、やはりマスターで出て行かれる人が多いというのは承知しているんですが、国研でもポスドクの人たちといろいろコミュニケーションしていると、国研というのは霞が関とやはりいろいろやらなければいけないわけで、「彼は論文書くことが好きだけれども、霞が関といろいろやるのにはあまり得意じゃないよね」という人とか、あるいは企業だとやはりビジネスということがあると思うんですけども、やはりそういう人というのはいると思うんですね、若い人たち。だから、やはり個別に、マスターで出ていった学生が出ていった企業とか、国研とか、そういうところとコミュニケーションを取って、お互いに適不適というのは、5年もポスドクをやっていると分かってきますから、そういうところでの入れ替わりというのはあるんじゃないかな、転職というのはあるんじゃないかなというふうに思います。

日本全体が少子高齢化の中で、通研だけが若手研究者が増えましたというようなことはあり得ないと思っているので、やはり全体としてうまく労働力を使うということをやちゃんとコミュニケーションを取ってやっていくということが必要なのかなというふうに思います。できる人間というのは何でもできちゃうので、なかなか難しいところもあるんですけども、よろしくお願いします。

以上です。

☆ それぞれの適性を見極めて、どちらかという、ポジションとして大学に行ったら教員、最終的に教職というルートを皆さん想定するんですけども、そうじゃない話もということだと思って伺いました。

- ★ ありがとうございます。
 少しチャットでやり取りされている中で、今後の体制のあるべき姿という議論が、これは多分後半でお話がされると思います。
 もう一つは、結構重要な議論かなと思っていたのが、中村祐一さんが評価軸をもうちょっとOSSとかアーカイブとか、そういうものをもっと入れたほうがいいんじゃないかということと、文科省の評価尺度は違いますというのがあって、そこにちょっと意識のギャップがあるのかなと思ってまして、こういう外向きの資料そのものはあれだと思うんですけども、内部にいる人たちにどういう動機づけをするかといったときに、論文指標だけでいいんですかという問いかけを、多分、中村さんはされたんじゃないかなと思っていて、その辺はちょっと、もし時間があれば後半で少し議論できればいいかなと思っています。
- ☆ そうですね。はい、分かりました。
- ★ 後のところは、大体、先生方、熱心にチャットで回答もいただいていたので、時間の割には相当なコミュニケーションがされたかなと思いますので、また後半も引き続き皆さんよろしくお願いいたします。
 10分ぐらいの休憩でいいですかね。時間短くて申し訳ないんですけども、3時に再開したいと思います。よろしくお願ひします。

(休憩)

引き続き、石山副所長、北村副所長、塩入所長から、次のことについて説明があった。

- (3) 各種評価について
- (4) 共同利用・共同研究拠点の活動について
- (5) 課題と取り組みについて

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- ★ ありがとうございます。
 それでは、議論に移りたいと思います。
 一言ご挨拶いただけますでしょうか。
- ☆ ご挨拶というか、何かコメントしてもいいですか。
 もし画面共有できたら1個お見せしたいデータがあるんですけども。可能ですかね。(「どうぞ」の声あり) あれ、できないのかな。何かちょっとうまくできない。ちょっとできないですね。何ででしょうね。(「共有できるのは全員になっているはずですが」の声あり) そうですか。ちょっと待ってくださいね。許可されていないです。何か分かりません。じゃちょっと口で言います。
 女性の採用に関しての話なんですけれども、九州大学で最近、部局別の女性の状態について研究業績から評価するというのをやってみたんです。女性の業績が上がっていると非常に環境がよろしいという、そういうような見方をするというつもりでやったんですね。そうしたときに、通研に相当する工学部、情報系ですごく顕著

なデータが出ていて、女性の業績が非常に高いですね。部局の男性平均よりも高い唯二の、唯一、2つの部局というふうになりました。

その原因が、女性たちが頑張っているというよりも、採用する際に、自分たちと同じぐらいだろうと思っている女性が実はかなり優秀だということで、恐らくもう倍ぐらい採れるんじゃないかというような状況というのが見えてきました。

ですので、先ほど女性を増やしたいということだったと思うんですが、厳密に審査する際に、何となくそういうような文化的背景があるというところでちょっと見直していただくと、採用を増やすということがもうちょっと進むんじゃないかなというふうに思ったというのが1点あります。

もう一つですけれども、論文のサイテーションの話が出ていたと思うんですけれども、それに関して、最近私、アメリカ化学会のエディターになったんですが、それで、化学、ケミストリーというのは日本では強いと思っていたんですけれども、向こうのほうでAIで持っているいろいろな研究者データベースみたいなところに日本人がほとんど入っていないんですね。日本の中で著名な先生もほとんど見えてきていないということで、やはり、サイテーションを上げるというところについては、国際的なコミュニティの中でのネットワークを持っているということが絶対必要なんじゃないかなというふうに思い、これは全日本的なところで対策が必要なんじゃないかなというふうに感じております。

以上です。

★ ありがとうございます。

それでは、議論に移っていきたいと思います。

ぜひ、まだ発言されていない方はご発言いただければというふうに思っています。

それで、ちょっといろいろなものが混ざっているんですけれども、まず、富田さんからチャットに少しコメントも入っていて、最初のパートでは、提示されている将来図のところを少し、まず議論をしてみたいなと思っています。

後半はもうちょっと仕組みとかそういう話なので、ですから、人間性豊かなコミュニケーションの実現というのを出されているわけですけれども、その辺に関してコメント等あれば、まずお願いできるといいかなと思います。

お願いできますか。

☆ チャットに書いたんですけれども、まさにコロナ禍で新しいコミュニケーションが求められているという時代に、通研がこういう理念で行われてきたわけですから、ちょうどそれに合致する課題としてそういう太い柱へ向けてということがアピールされていいんじゃないかなと。予算もまだ参考資料の中にこれから獲得というようなことでしたけれども、ぜひそういう方向で強く打ち出していきたいなと思ってチャットしました。

以上です。

★ ありがとうございます。

この件に関して、ほかにご意見ある方がいらっしゃればお願いしたいと思いますが、いかがでしょうか。どうぞ。

☆ 私もこの理念というのは賛成なんですけれども、私は行政の職員であることもあって、コミュニケーションというのはあくまで手段かなというところがあって、ただ、皆さんの研究材料というのはまさにコミュニケーションの技術を上げることなので、それ自体はいいと思うんですけれども、見せ方として、71ページのコミュニケーションの実現が、実は人類の幸福とか、ある意味で社会の発展とかそういう、目指すところをちょっとこの余白にでも入れていただければいいのかなと。これはあくまで見せ方なんですけれども、実際に6ページに書かれていますので、これをもう少し図の中に落としこんだらいいのかなと、大事なところをもちろん強調する必要があると思いますけれども。

それが1点と、もう1点は、やはりこれから15年の計画とのことなので、人口減少と温暖化と、まさにポストコロナとかウィズコロナのキーワードを、もしかして文章をいろいろ書かれると思いますので、その中なりあるいはもしかしたらこの1枚、71ページの余白にでもちょっと背景として入れておかれたほうがいいかなと思いました。

以上でございます。

★ ありがとうございます。

ちょっと関連するあれで、これは今、通研の中で検討されたということですがけれども、やはり違う視点のご意見をいただくと、非常にまたいろいろなものが出てくるのではないかなと思うんですね。

そうしたときに、これってどの時点でフィックスで、どのぐらいまだまだ変えようという意識があるのかというあたりは、どんな感じで今思われていますか。

☆ はい、なるほどというご指摘で、通研の中で検討して通研で決めたという状況です。フィックスされているという位置づけです。

★ そうですか。

まさに多様性の時代で、いろいろな方からの意見を取り入れるというのは大事だと思いますし、やはり、通研がいかにも主語になった表現になっていますよね。コミュニケーションの実現。だけれども、つくりたいものは多分もうちょっと上にあるんですよねと今言われたんだと思うので、そこはできればフレキシブルにされるといいかなというのは私も思います。

お願いします。

☆ これは非常に理念としては素晴らしいと思って、71ページですね、拝見したんですが、その下にキーワードがいっぱい並んでいて、通研が自分たちの顔となる研究、これからの研究戦略としてどういうふうを選んで進めていくのかというのが少し見えづらかったものですから、そこら辺のところを教えていただきたいというのと、例えば去年も私出席したんですが、研究紹介の研究室というのが、例えばスピントロニクスというのはものすごく重要な分野だと思っておられるのかなという印象を受けたんですね。いつも同じ研究室から同じような内容の発表があったので、そこら辺のところ、どのようにして選んでいるのかというのを教えてください。

☆ 後半の話から言いますと、我々としては分野のバランス、それから多様性というのがキーワードで、今回について言うと、最近のプレスリリースのところからピックアップしたという状況です。

スピントロニクスが続いたのは、ある意味たまたまですけれども、やはり大きな成果が上がっているグループでもあるので、選ばれる確率は高くなっているというふうに思います。

最初のほうのご質問については、ちょっと答え方が難しいなと思うんですけども、研究所として分野に注力という言い方は、1つは人事かもしれないですし、また別の側面だと、概算要求等々のプロジェクトということになるかと思います。それはそれぞれの段階でそれぞれの先生方のアクティビティや提案を見て、これまで判断してきていると。

人事について言うと、強い意識を持ってここというわけではないと。その将来像に書かれているような分野の中から、これからいい人を探っていきたいという位置づけになっております。

ですから、そういう意味では、大学の組織としてこれからここだよというような言い方を、多くの大学もそうですし、通研も明示的に所の方針として言うということにはなかったかと思います。あえて言えば、ハードウェア中心だった研究所をソフトウェアのほうにも展開してきたということになります。ですから、そこはどれだけ必要かということあるいはそうしていくべきだということは議論していかないと、ちょっと私、今は判断できないところです。

☆ なるほど。これを見て、人間豊かなコミュニケーションの実現という大きな題目を置いたときに、それをどのように実現していくかというところを研究所としていろいろ考えておられるのかと思ったので聞いてみました。ありがとうございました。

☆ そういう意味では、以前はただ漠然と言っていたのを、もう少しかみ砕いた表現にしているというのは、上の時空間とか多様性、それからその下の3つの丸になっているという位置づけではあります。

☆ 分かりました。どうもありがとうございました。

★ この前もちょっと私申し上げたんですけども、今の議論を含めたときに、矢印をどっち向きに書くんですかねというのがもう1個、論点としてあるなというのはちょっと思っています。

それでは、お願いします。

☆ 説明どうもありがとうございます。

理念として、将来像として、この人間性豊かなコミュニケーションというのは、通研の将来像としてとてもいいと思っていて、それが時空間を超えたコミュニケーションと多様性を享受できるコミュニケーションになるということも分かりやすいんですけども、それと、その下の3つの関係がちょっと、この絵だけなので、そのせいかもしれないんですが分かりにくくて、何か新しい部門が先に出ちゃった

ような気もするなという感じを持ちました。

それから、もう一つは、ソフトウェアが大事だという展開をすると、ソフトウェアというキーワードがこの絵にも、あと新しい3部門の体制からも消えてしまったのは非常に残念だなと思いました。

☆ システムソフトという意味ですけれども、それでも確かにそう言われるとそのとおりかなというふうには思います。

ちょっと、先ほどからの議論もあって、これでフィックスなのかということもあったので、そこはもう一度検討する、あるいは改定していくということも含めて進めたいと思います。ありがとうございます。

★ それでは、お願いします。

☆ 先ほど、小松さんのほうからコミュニケーションというのはツールではないんでしょうかという話がありましたけれども、私もそういうふうには見えるんですね。それはそれで、ここに掲げてあるのは一向に構わないんですけれども、この下に書いてある2つのコミュニケーションも含めて、それぞれの研究が目指しているビジョンのようなものが1個1個にやはりあるんだろうなと思うんですね。そのビジョンを明確に、この研究はこういうビジョンを目指す、この研究はこういうビジョンを目指す。そうすると、ビジョン間で共通性のようなものが出てきて、このビジョンのためにはこういう研究が動いているよというふうにまとまっていると、多分、企業から共同研究をお願いするとか、何か一緒にやりましょうかなんていうときは、そのビジョンに惹かれるのではなかろうかと私は思っています。こういうビジョンを掲げている研究であれば、例えばキャノンメディカルシステムズの場合は「Made For life」と、「我々は」という「We are」というのが抜けているんですけれども、「We are Made For life」と。命のために我々の会社組織というのはつくられているよと、こういうことを意味しているわけですが、そのビジョンと、どのくらいそのビジョンの共有性、共鳴性があるのかなということを考えて、ではそれを実現するために何をやっているかということろでつながっていく。

実際に羽生先生のところとやっていた共同研究も、そういう形で私は共鳴しているなというふうに思っているんですけれども、そんなところが少し明確になっていると、声もかけやすいのかなというふうに感じております。

以上です。

☆ よく分かりました。

先ほどの時空間とか多様性とその下のところのリンクということも含めて、もう少し、ビジョンはいろいろなレベル、スケールがあるのかもしれませんが、それを分かりやすくするというのは大事だと思います。バックにはあるんですけれども、ここに表現するとなかなか難しいということで現状ではこうなっていますけれども、整理したいと思います。

☆ ありがとうございます。

★ ですから、この絵だけではなくて、それぞれにもうちょっと具体的なものがそろっているといいということだと思います。

この件について、ほかにご意見ある方いらっしゃいますか。お願いします。

☆ チャットにも最後のほうに書き込みしましたが、広報戦略、広報のところをちょっとお伺いしたいと思っていて、我々も企業として広報戦略、非常に苦労しているところなんです、今日ご説明いただいた広報の活動の資料を見させていただいて、令和元年からデジタル化を始められたということなんです、いろいろ見ていると、やはり紙をそのままデジタル化されたような感じがしていて、例えば我々ですと、毎週のようにコンテンツをアップしないと見る人がどんどんいなくなってしまうと。あと、SNSとの連携。そして、次のページでしたか、YouTubeチャンネルがございましたけれども、参考までにちょっと今この通研 YouTube チャンネルを見させていただいたんですけれども、多くのものが数十件の視聴数で、ここに上がっているのは視聴数がものすごく多いと思うんですけれども、これも悪い言い方をすると自己満足なような気がするんですね。出したいものを出して、見てくださいと言っているだけで、もうちょっと戦略性を持って出さないと、多分つくるだけで、何か身内で見ているような感じで終わっているんじゃないかなという印象を受けました。

最後、この前の議論にもありましたけれども、新しいビジョンとかも、例えば映像化してこういったところで流すなどして、その中で、例えば女性の職員、教員さん募集であるとか、ドクターを増やすとか、そういった戦略を持った活動をされたほうがもうちょっと効果が出てくるし、戦略を持ってやったほうがいいと思った次第なんです、そのあたりいかがでしょうか。

☆ それについては、もう全く同意します。

実際にできないという状況だということで、やり方とかあるはという、どれだけ予算をかけられるとか、そういうところが一番大きな問題になってきて、それぞれの研究室のホームページとかを見ても、非常にうまく動いているところって、多分、大学全部見てもそんなになんないんじゃないかなというふうに思います。だから、努力はしたいし重要だと思っているけれども、そこにどれだけの資源をかけられるかというところが問題だと思います。

ただ、そういう話が見えてくるのはこういうことを始めたからなので、自己満足という意味では決して満足していないんですけれども、今後、やり方も、対話の仕方をいろいろ教えていただければ、できる範囲で進められるとは思っております。

☆ コストをかければいいものができると思うんですけれども、コストをかけないでいかに効率よくやるかということが難しいところだと思いますので、我々もいろいろなノウハウがあるので、もしご興味あればご相談いただければ、ご協力したいと思いますのでよろしくをお願いします。

☆ ぜひよろしくをお願いします。

- ☆ ちょっと動画コンテンツに関してお話しさせていただいた北村です。
 実は最近、動画にちょっと注力していこうと思って、やっと最近、通研YouTubeチャンネル、5年前に立ち上がっていたものを、ちょっと私も見直してみました。そうすると、タグのつけ方とかサムネイルの作り方というのがかなりいい加減でまずいのがいっぱい散見されたので、その辺がちょっと問題ではあるかと思っています。
- たまたま半導体とかその他、何がしかがそういうところで引っかかったということがあるので、ちょっとここは見直さないといけないと思ひまして、過去のコンテンツ、上がっているコンテンツも含めて、ちょっと1回全部見直そうと思っています。そのときには、外部のこの分野のコンサルタント的にご意見を伺うような方のご意見も聞きながらやってみようかなというふうに思い出したところです。
- また、そのときにSNSとの連携も重要だというふうに言われているので、ちょっとその辺も含めて考えたいと思いますが、予算をお願いします。
- ★ 先ほど前田さんもおっしゃったとおりで、多分コストの問題との議論になると思うんですけども、そこは本当に戦略的な問題で、企業なんかはやはり広報戦略とそれを担う人材をちゃんと配置していることによって、いろいろコメントされているようなことができています。今後何が重要になるかということを考えたときに、どこまで思い切るかというのは結構重要なポイントのような気がします。
- それでは、次、阪大の関野先生、チャットに入れていただいていることも含め、あと附置研同士という話もあったので、いろいろお話しいただければと思います。
- ☆ ありがとうございます。
- 今また所長からもお話のありました組織、特に人件費のことは、我々ももう非常にシリアスな問題だと考えているんですけども、まず1つ、試案として出されていた図面の中で、マッチングファンドに合わせて各分野の帯の幅、厚みが変わるといのは、あれは、すみません、どのようなことなんでしょうか。ちょっとうまくキャッチアップできなかったんですけども。
- ☆ それぞれの研究室に割り当てられる人件費というのは減るしかないもので、一定で確保しますと。そうすることによって、人件費、ある程度常用が所にあります。それぞれの研究室としては、外部資金を取ってきて、特任教員をそれで雇うことはもちろんできますけれども、さらにプラスアルファの人件費を所で支援することもできると、そういうことをイメージしています。
- ☆ そうすると、具体的には人数の幅を持たせるというような形ですね。
- ☆ はい、そういうことです。
- ☆ 分かりました。
- それともう一つ、ちょっとお伺いしたいんですけども、やはり人件費、大学の運営費からのもの以外なかなか、大型プロジェクトの外部資金、今、先生がおっし

やったような特任教員というのは採れると思うんですが、やはり、承継ポストというのがなかなか運用できないんじゃないかと思って、安定的な基盤的研究を行うためには、やはり大学、そういう人材というのは確保が必要なんですが、特に何かその外部資金、恐らく企業系あるいは大型プロジェクト系、いろいろとあるかと思いますが、どのくらいの割合サポートか、そういう戦略というのはこれから立てられるんでしょうか。実は我々も今非常に苦勞しているところなんですけれども。

☆ 戦略というか、これからどういう状況になるかというのはそれぞれの研究室でいろいろなことが考えられるだろうと。それから、最近、東北大学で企業との共同研究費なんかの直接経費に知的貢献費とかを乗せましょうと。それは割と自由に使える。それで、その共同研究と直接関係ない人材の雇用もできるという制度だと理解しています。例えばそういうものは今後使いやすくなるだろうというふうに想定しています。

承継職員との関係という意味だと、ちょっと難しいと思うのは、外部資金に頼ると、プロジェクトに頼ると年限があるので、それをどう扱うかというところがやはり難しいと思っています。可能性としては、5年のプロジェクトで5年任用して、その後、所で5年間は見れますというような時間方向への分割とかだと、さらに自由度は増すかなと、漠然とそんなことは想定しているところです。

☆ そういう意味では、恐らくそういうポジションというのは、時限的なところだとすると、逆にいうと、重点的な、戦略的な、短期に勝負をかけるような、先ほど先生のところで機動的というところがあったかと思いますが、そういうところにうまく配分しながらということなのかなというふうにも思われました。

☆ はい、そういう可能性も想定しています。

☆ すみません、もう1点よろしいでしょうか。組織のところで、今、学内の研究所の産学連携強化ですか、組織ということで検討されるということですが、これはもしかしたら、来年度から運営費の仕組みが大きく変わる教育研究組織改革に関連したような対応なのかというふうに思われたんですが、いかがでしょうか。ちょっとなかなかお聞きしづらいところもあるかと思うんですが。

☆ あまりどこまでどう言うかというのは、そう言われると私も答えにくいですが、大きな流れとしては、大野総長が最初に言っていたことは、大学改革全般の話と。それから大学ファンド絡みの、それも大学改革ということになるかと思いますが。ちょっとそれ以上の意味は特に、それ以上言うことはないです。

☆ 分かりました。ありがとうございます。

★ ありがとうございます。

次に、チャットに入れていただいているので、お話しいただけますか。

- ☆ チャットに書いたやつなんですけど、組織の、ちょうど今お話にあったやつなんですけれども、部門構成を変えるとはなっていますが、結果的には計算、通信、人間というところで、縦割り強化みたいなものに見えなくもないんですが、ちょうど学術会議の会場から参加しているんですが、文理融合とか、そういう違う切り口をするというのが社会的要請であるようなので、そうすると、見え方という面で見ても、ちょっと混ぜるといほうが、そしてまた違うタイトルをつけるという、名前として目指す方向を示すような。そういうのもありかなと思うということが1点で、そういうことは考えられないでしょうかということが1点と、ビジョン、先ほどの矢印のやつなんですけど、矢印の先がどうつながるか、文理融合という意味ではまた似てくるんですけれども、関係してくるんですが、どこにつながるかというところを多分書くことがこれから要請されてくると思いますので、通研はここまでということだとは思うんですけれども、議論されたらどうかなというふうに思いました。以上です。
- ☆ ありがとうございます。
混ぜるとい話をもう少し広く学際とか文理融合とかいう話にすると、やはり所内の話じゃなくて、それぞれの分野がある種核になって、ほかとの連携をするという、我々の考えているのはそういうイメージになります。
それが外から見てどう見えるかという話になると、ちょっとご指摘のとおりかもしれないので、もう少し広がりを持たせた絵の描き方というのがあるのかなというふうに感じました。
- ☆ ちょうどこちらで話題になっていて、AIとかについても、中に人間をもう組み込んで、AIプラス人間の最適化システムみたいにして出さなきゃいけない時代になっているよねという話があって、そういう意味で、ちょっと思いました。
- ☆ なるほど。ありがとうございます。参考にさせていただきます。
- ★ あれですよ。あの絵の上に行けば行くほど、通研だけではカバーできなくなるので、じゃ周りにどういう人たちがいるのというのを、やはりもうちょっとビジュアルにしていくことが必要な気がしますね。
- ☆ ありがとうございます。
- ★ それでは、お願いします。
- ☆ 先ほど人件費の話題になったので、私もちょっとコメントさせていただこうと思ったんですけれども、人件費削減のペースが、昨年まで1.6だったのが今度0.76になるということで、それは朗報ではあるんですけれども、それでもやっぱりまだ毎年0.76というのは結構きついなという感想でして、前半部分で博士の進学どうのこうのという話があったんですけれども、あれも博士進学する方って、やはり将来のキャリアの候補の一つとして大学の教員を目指すというのがあると思

うので、そうすると、やはり大学のポストが減っていて、実際に教員になるのは難しそうだなど。いる方々も人が減って1人当たりの管理業務が増えて、何か忙しそうにしているのかなど。あと40歳になっても助教のままの方とか、研究員のままの方とかがいると、やはり、目指すのをあきらめてしまうという方が多いと思うので、ちょっと職場の大学教員としての魅力を出すという意味でも、やはり人件費を何とかするというのは欠かせないのかなど。すみません、ちょっと解がないのかもしれないんですけども、というのが1つと、あとは、先ほど外部資金で一部補ってという話があったと思うんですけども、やはり、分野によっては大型の外部資金を取りにくいような分野というのもあると思うので、そういう分野に対して、じゃどういうふうにお考えになっているのかというのを少しお伺いしたいなと思います。

ちょっと先ほどビジョン、組織のやつで、ソフトウェアというキーワードが消えているというのは私も気になったんですけども、特に、例えばソフトウェアって、大型の予算が取りにくいような分野だと思うので、ちょっとそういうところも気になりました。

以上でございます。

☆ 後半のご質問についてから言うと、そういう分野はしっかり残していかなきゃいけない。そのためにどうすればいいかということの一つの方向性ということになるかなと思います。

だから、やはり、お金が取れると人も集まるという、基本そこはどうしてもない話で、そこで取ったお金をどういうふうにある種分配していくかということになるんだろうと。

ソフトウェアがそうかどうか分からないですけども、大きな予算につながらないけれども、重要な研究を長期ですするというのを、その場を確保しなければいけない。でも、そこをみんな同じように割り振ると実現できなくなってしまうので、今みたいな話を考えていると、答え方としてはそういうことになるのかなというふうに思います。

それから、ドクターの学生の進学との絡みでいうと、先ほども少しどこかで話が出ましたが、大学の教員というのは基本PIになって教授になるみたいなキャリアパスしか思い浮かべられない。そこはもうちょっと自由度を持たせることもできるんだろうなという話は、さっきの研究所連携の議論なんかからも出てきていて、こういう仕事であれば自分も将来ずっと続けたいというのが、必ずしも教授みたいな仕事じゃない研究職もあるのかなと、その辺は考える……

☆ もちろんほかのキャリアパスがあるというのを示すのも大事だと思うんですけども、大学の教員というのは、やはり研究の裁量とか時間の裁量とかも割と自由度がきいて、本来は、例えば女性を含めて、子育て世代とかに魅力ある職場だと思うんです、本来は。だけれども、今はそうじゃなくなってきてしまっている。ちょっと東大の中でも議論していたんですけども、そういうところが問題かなと思います。

☆ 人件費を確保するということでは、我々が先ほど述べたような形で何とか確保はできるだろうと。それに分野間の差があるのもしょうがないだろうということかなと思いますね。

☆ ありがとうございます。

☆ すみません、ちょっとそれ以上はお答えできません。

★ それでは、お願いします。

☆ 今日ちょっと出てきていない話になってしまうんですけども、最終的に研究の、非常にすばらしい研究所からいただいたんですけども、最終的に研究の出口のビジョンというのがどうなっているのかなというのに興味があって、というのも、やはり大学経営としてはお金を取ってくるかというところは必要だと思うんですけども、工学部というのは研究のための研究じゃなくて、やはり、世の中のためになるための研究だと思うので、その最終的なものというところがもちろんあるとは思いますが、聞きたかったのは、1つは、今、大学は企業と共同研究して、企業に実装をしてもらおうというイメージが大きいと思うんですけども、私もちょっと企業にいて、なかなかもうそういう時代じゃなくなっているから、うまくマッチングして、それが実装できればいいんですけども、そうじゃなかったらその研究ってどうなるのというのがありまして、要は、結局、僕も企業にいて、新しいことをどこかで実用化できる、そういうジレンマで企業を飛び出したというところもあって、1つは、実は私もこの夏にちょっとベンチャーを立ち上げて、阪大の中でベンチャーを立ち上げて、今、実用化に向けてやっているんですけども、そういうようなものを調べると、結構、東北大学は日本ではかなり多い。大学発ベンチャーが多い。阪大と同じぐらいかなと思っているんですけども、そういう、例えば企業だけに限らないんですけども、そういう大学の先生たちの研究を実用化していくための支援が、ベンチャーキャピタルもあるようなんですけども、大学としてもしくは、通研が多分一番種類のにはそういう研究が多いと思うんですけども、そういうものの支援策みたいな、そういうところというのは何か仕組みとしてお持ちなのかどうか。

正直、まだまだ日本の大学、特に国立大学というのは、やりにくいところというのが非常に多いんですけども、それを支援するようなシステムというのはあるのかなというのが、少し気になりました。

☆ 仕組みという意味では特別な仕組みはないですし、通研としてベンチャー企業に強いということもありません。

東北大学全体だと、N I C H e という組織は非常にそこに力を入れていて、我々としては、そことの連携とか、いろいろやり方を教えていただいて進められればというふうに思っているところです。

具体的に何をやるかというところがやはり難しく、民間企業との連携で外部資金を得るという中で、やはり、ベンチャーでうまく稼げると、収益を上げられると

うのは一つの大学の経営のモデルなんだろうというふうには感じているんですけども、それを具体的にどう進めるかというのは、そういう土壌が十分整っていない、我々の研究所も含めて整っていないところが多いだろうというところで、これからだということしか今は言えないかなと思います。

☆ 分かりました。

確かにおっしゃるとおりで、私も今やっているんですけども、大学の中で組織のそういう仕組みを整えられるとはちょっと思えないんですけども、やはり、ニーズとして、そういうものすごく実用に近い技術をやられているので、ぜひそういう仕組みづくりをしたらうまいこといくんじゃないかなというような気はしています。

ぜひそういうものを将来的に、将来的には研究出口のビジョンという意味でそういうのも一つありかなとちょっと思って、今日はお話しさせていただきました。

☆ ありがとうございます。

★ ありがとうございます。
お願いします。

☆ 私、今年3年目で、多分これが最後だと思うので、ちょっと女性、リケジョを増やすとか、女性研究者を増やすとか、そういうことについて、私の経験も通してコメントなんですけれども、私も学生をいろいろなところで男女共同の仕事をしてきたときに、一番いろいろなところでネックになっているのは、我々が思っている以上に当事者の女子学生、女性研究者、大変不安が大きいんですよね。それを少しでも取り除けるような方法でいろいろな施策をすると、彼女たちの不安を除いて、いろいろなところで出てきてくれるんじゃないかと。

例えば受験のときには、女子高生のためのオープンキャンパスという、普通の女子高生がない場合は出てこない。女子学生とお母様たちが一緒に来られるとか、それから、大学の中では女性教員による女性の、女子医大でも女子学生専門の就職相談とか、そうするとものすごい数の学生が来るとか、それぞれの段階でどの不安があると思うんですけども、それを少しでも軽減するような方法でやるといった応募してくれるというか、そういうんじゃないかと思うんですね。

大きく短時間で効果を上げたという例も幾つかあって、例えば奈良高専の女性の校長がある企画をして、1年で偏差値がものすごい高い女子ばかりを半分ぐらい増やしたとか、それは何かというと、まずネーミングですよね。学部とか学科とかいう名前を少し女子学生にも分かるような形にして、そこに応募してくれたときには不安のないように、例えば企業の資生堂の方がきちんとこういうふうなコースの中で教えるとか、その不安を取り除くというようなことをしたら、1年で、とにかく優秀な女子高生もたくさん増えたとか。

それと、今度は女子の研究者育成の観点でいくと、私は女性に等しい機会を与えるということが大事だと思うんですよ。例えば、じゃ、いろいろな選考とか評価、それから受賞、そこにはまず男性がほとんどで、女性が選ぶほうに回っているとい

うのは極めて少ないと思うんですね。

それで、まず女性の力を信じてほしいと思うんですよ。先生方、若い頃に立ち返ってみると、ほとんどは進学校ご出身かと思えますけれども、同級生に優秀な女子学生が、理系の学生もいっぱいいたと思うんですね。そういう人たちも、やはり選ぶ段になると、公平な機会というところから除かれていることが多い。ですから、今の段階では、女子教員を増やす場合には、ポジティブアクションがどうしても今は必要な時期だと私は思います。

それで、公募するときにも何割は女性とか、それから共同研究を募集される、これは大変重要なことだと思いますけれども、多様性を得るためには。その中にも、何割は女性を入れるとか、他学部、文理融合に必ず文系のほうを入れるとか、そういうような積極的に、マイノリティにある程度配慮しながら公平な機会を与えるということをきちんとアピールしていけば、大変効果が出てくるのではないかと思います。

私も、やはりロールモデルというのは、私の年代ではどこに行っても理系で、私は情報理工ですけれども、初めての何とかとかいって、いきなりロールモデルを背負わされて、違和感を大変大きく感じましたけれども、やはり我々女性がそこにいるということだけで、若輩というか、若い女性の研究者を勇気づけられるんですよ。あそこに行ってもそういう人がいらっしやると。だから、それぞれの段階はあるかと思えますけれども、やはり、我々が思っている以上に女子学生、女子研究者、大変不安が大きい。ハードな環境にいるということに基づいて考えていただくと、いろんなよい効果が出てくるんじゃないかなと思います。

以上です。

☆ ありがとうございます。その不安を取り除くということ、安藤先生、伊藤先生、ぜひ一緒に考えられればと思います。

それから、共同研究のときに女性を入れろというのは、なかなか今まで考えたこともなくて、あり得るかなというふうに感じました。

それから、最初に玉田先生からお話があったんですけども、公募したときに、この公募でもやはり女性の応募がなかったという話が出てきたりして、そこは人材確保のために時間をかけて人を探す方針にしましたという中に含まられればいいかなというふうに感じております。

ありがとうございます。

★ ありがとうございます。
では、お願いします。

☆ さっきのベンチャーの話にもなってくるんですけども、今までずっと聞いていて、大学院の博士課程に行くことイコール大学の教員になることだという固定観念を通研のトップの方が持っていらっしやるのはあまりよくないんじゃないかなと思いました。

僕の友達のパークレーとかUCLAの先生のところも、大抵、ベンチャーを起こしたり、ベンチャーに就職するドクターの学生がほとんどで、教員になる学生なん

てほとんどいないんですよね。

後で、何年かたった後、教員になる人はいるんですけども、そうしたときに、いわゆる大学院生の博士課程の人たちのキャリアパスとして、大学の先生を第一に考えるというのをやめたいなとすごく思いましたと。例えばベンチャーに行ってみようか、学生さんはやはり利にさといいですね。利にさといいというのは、現金に、キャッシュに固いんじゃないかと、やりたいことがしっかりやれるとか、あまり大変な目に遭わないとか、大変な目に遭ってもいいけれどもやりたいことができるとか、いろいろな多様性の中で、利にさといいの中で、大学の教員だけが大学院生の博士課程のイグジット先だというふうに思わずに、そういうところに出ることもとても重要、そういうベンチャーを起こしたり、ベンチャーに就職して失敗して戻ってくるのもいいことだということを想定しながら大学院生を育てていくということをしつかりやっていると、それなりに数も増えるかもしれないし、またいい研究も生まれるような気がするんですね。

なので、今までの議論はずっと、大学の先生が多いのもあると思うんですけども、教員だけがそういうキャリアプランだという固定概念を早く捨てなきゃいけないんじゃないかなとちょっと思いました。それが、さっき言ったジャーナル重視とかそういう話だと思うんですね。

例えば、やはりそれでいいソフトをいっぱいコミットしているとか、アーカイブにいっぱい出しているとかということももうまくやっていると、そういう人たちがベンチャーにつながっていったりとかもするので、例えば学位の取得要件にジャーナル1件で、例えばOSSのコミット5本取ったらジャーナル1件分にしてやるぞみたいな、そういう評価の仕方もしていくと、意外といいのかなと思いました。

☆ ありがとうございます。

少なくとも私はキャリアパスとして教員を想定しているつもりはないですが、例えば私自身の分野だと、ベンチャーはあり得るのかな。ほかにあまり思い浮かばないというのが1つ。それから、企業でなかなか採ってくれないというのは今までの話に出てきたとおりです。

それで、ベンチャーというのは別の道で確かにあって、東北大学の学内でも学生でベンチャーを立ち上げている人とか、卒業して立ち上げている人というのも増えてきているので、そういう文化も育ちつつあるんだろうとは思っています。

通研としてそれを支援するというのは、先ほども出てきた話ですけども、すぐにはどうすればいいかわからないですけども、当然あり得るんだというふうには感じています。

★ ありがとうございます。

そろそろ予定の時間をもう過ぎているので、チャットに2件ほど入っているんですけども、ちょっとこれはお答えを別途いただければと思います。

ちょっと私のあれで言うと、村山さん、ご発言いただいているんじゃないかと思うんですけども、何かありますでしょうか。いらっしゃらないかな。よろしいですか。

それでは、時間になりましたので、質疑はここまでということで、お戻します。

閉 会

—事務長—

それでは、最後に所長の塩入より御礼のご挨拶を申し上げます。

☆ 本日も大変活発なご議論、ご指摘、ご助言、ありがとうございました。
最後のチャットの件に答えたいんですけども、今ちょっと無理なので、後日になるかもしれませんけれども……

★ よければ今簡単に。

☆ 簡単に、簡単にしましょうか。
どこからでしょうかね。玉田先生の話は終わっているんでしょうかね。

★ オープン・イノベーション・テラスの話と。

☆ はい。オープン・イノベーション・テラスの運営方針ですね。
運営方針というのはこれからですね。特にオープン・イノベーション・テラスだけじゃなくて、レンタルラボをどう運営していくかということで、PFI事業ですので、請け負った企業あるいは企業グループがそれをどういうふうに回してくれるか、回すことを期待しているのか、するべきではないのかということも含めて、これからになります。

具体的にどうするかというのは、我々が考えて今思い浮かぶのは、従来の共同研究の枠組みをこういうところに乗せていくということなんですけれども、もう少し広報の仕方等々もあるのかなとは思っています。

★ あとはコメントなので、もし必要なら別途お答えいただくということで。

☆ じゃそのようにさせていただきます。

★ あとは、運営方針とともに、こういう時代になったときに空間デザインをどうするかみたいなのはこれから重要になるのかなというあたりは、また、来年あたりにお話しいただけるといいかなと思います。

☆ ありがとうございます。

★ それでは最後のご挨拶をお願いします。

☆ 本日はどうも大変ありがとうございました。
今、来年という話が出ましたけれども、私の所長任期は今年度で終了で、もう再任もない年齢ということなので、次の所長、まだ決まっていませんけれども、しっかり引継ぎをしておきますし、来年度からあと2年間ですけれども、私も所員として責任を持って対応できることはしていきたいなというふうに感じました。

いろいろな問題をご指摘いただき、今回、最初に申し上げたとおりで、対応できることも、できないことも、あるいは通研だけの問題じゃない大きな問題も含んでいるところですが、それぞれの通研の構成メンバーを意識しながら、いろいろなことを進めていただければと。とは言っても、やはり研究第一ですので、そこを忘れていろいろなことをやるということはできないということもご理解いただければと思います。

ハイブリッドで、お二方だけ会場に来ていただいている少し見学もさせていただく予定ですが、懇親会とかの企画はなかなかできないでいますが、来年度はきっとできると期待しております。ぜひ皆様、来年度以降もよろしくお願ひします。今日はどうもありがとうございました。

★ 皆さんに顔出ししていただいて。

—事務長—

ありがとうございました。

江村委員長のご進行、大変ありがとうございました。

また、委員の皆様方、長時間にわたりまして貴重なご意見をいただきましてありがとうございました。

今、皆様のお顔が出ているところを写真に撮らせていただきます。

本日いただいた貴重な意見を今後の電気通信研究所の運営に最大限生かしてまいりたいと思っておりますので、引き続き皆様のご協力、お願ひ申し上げます。大変お疲れさまでございました。

本日はこれで運営協議会を閉じさせていただきます。誠にありがとうございました。

資料編

第 1 人 事

1. 教員 (人)

年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
教授	24(0)【1】	21(0)【1】	23(0)【1】	23(0)【1】	22(0)【1】
准教授	22(3)【1】	22(3)【1】	21(2)【1】	23(2)【1】	19(2)【2】
講師	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
助教	18(2)【0】	24(3)【2】	21(3)【3】	20(3)【4】	19(3)【4】
特任教授	1(0)【0】	1(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】
特任助教	2(1)【0】	1(1)【0】	3(3)【0】	1(1)【0】	4(4)【1】

※ () は外国人、【 】 は女性で内数

2. 客員外国人教員 (人)

年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
客員教授	7【1】	6【2】	8【0】	0【0】	0【0】
客員准教授	5【0】	3【0】	2【1】	0【0】	0【0】
計	12【1】	9【2】	10【1】	0【0】	0【0】

※【 】 は女性で内数

3. 客員教員 (人)

年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
客員教授	17(7)【1】	13(6)【2】	13(8)【0】	6(1)【0】	7(0)【0】
客員准教授	6(5)【0】	4(3)【0】	3(3)【1】	2(0)【0】	4(0)【0】
計	23(12)【1】	17(9)【2】	16(11)【1】	8(1)【0】	11(0)【0】

※上記2の客員外国人教員を含む () は外国人、【 】 は女性で内数

4. 非常勤研究員

(人)

年度	平成29年度	平成30年度		令和元年度		令和2年度		令和3年度	
教育研究支援者	5(1)【0】	学術研究員	11(3)【1】	学術研究員	11(5)【0】	学術研究員	8(3)【1】	学術研究員	5(1)【0】
産学官連携研究員	1(0)【0】								
研究支援者	3(1)【0】								
計	9(2)【0】	11(3)【1】		11(5)【0】		8(3)【1】		5(1)【0】	

※雇用契約による研究員、()は外国人、【 】は女性で内数、

教育研究支援者(大学運営費・寄附金)、産学官連携研究員(共同研究費・受託研究費)

研究支援者(科学研究費補助金)

※教育研究支援者、産学官連携研究員、研究支援者は平成30年度から学術研究員に名称が変更された。

5. 各種研究員

(人)

年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
客員研究員	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
受託研究員	3(0)【0】	6(1)【0】	4(2)【0】	3(0)【0】	1(0)【0】
受託研修員	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】
民間等との共同研究員	7(0)【0】	11(0)【0】	10(0)【0】	10(0)【0】	10(0)【0】
日本学術振興会特別研究員	9(3)【2】	10(4)【1】	10(3)【0】	10(2)【1】	8(3)【2】
内訳 PD	3(1)【1】	2(2)【1】	0(0)【0】	0(0)【0】	1(1)【0】
DC	6(2)【1】	8(2)【0】	10(3)【0】	10(2)【1】	7(2)【2】
日本学術振興会外国人特別研究員	2(2)【1】	0(0)【0】	1(1)【0】	2(2)【0】	2(2)【0】
日本学術振興会外国人招へい研究者	1(1)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
計	23(6)【3】	28(5)【1】	26(6)【0】	26(4)【1】	22(5)【2】

※()は外国人、【 】は女性で内数

6. 客員外国人教員（外国人研究員）

令和3年度は実績なし

7. 学術研究員 ※令和3年度実績

氏名	任用期間	研究内容
荒井 薫	R3. 6. 1～ R4. 3. 31	共同研究「DCから50kHzまで高感度計測可能な逆磁歪型振動センサの研究」
井上 順一郎	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	戦略的創造研究推進事業（CREST） 「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」
五十嵐 純太	R3. 4. 1～ R3. 8. 31	科学研究費助成事業 基盤研究（S） 「ノンコリニアスピントロニクス」
WU WEI	R3. 4. 1～ R3. 4. 30	科学研究費助成事業 基盤研究（A） 「自発的注意による視聴覚空間注意の制御」
王 怡昕	R3. 4. 1～ R3. 10. 31	文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP） 「光子数識別量子ナノフォトニクスの創成」
岡 貴弘	R3. 10. 1～ R4. 3. 18	戦略的創造研究推進事業（CREST） 「スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤」
CATANO LOPEZ SETH BENJAMIN	R3. 4. 1～ R3. 4. 9	単一光子を用いた量子計測の研究及び巨視的機械振動子の量子状態制御の研究
玉越 晃	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	・共同研究「インパーティブル論理に基づくCMOSベース学習ハードウェアの実現に関する基礎的研究」 ・戦略的創造研究推進事業（CREST）「スピンエッジコンピューティング向け革新的アーキテクチャ」
唐 超	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	NICT委託研究事業 「Beyond 5G 超高速・超大容量無線通信システムのためのヘテロジニアス光電子融合技術の研究開発」
守谷 哲	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	戦略的創造研究推進事業（CREST） 「スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤」
RYZHII VICTOR	R3. 6. 1～ R4. 2. 28	科学研究費助成事業 基盤研究（A） 「グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用」
ROY TUFAN	R3. 4. 1～ R3. 6. 30	戦略的創造研究推進事業（CREST） 「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」

8. 学振特別研究員

氏 名	期 間	研究内容
大西 悠貴	R2. 4. 1～ R5. 3. 31	知的生産作業の支援を促す動的壁面型デバイスによる視覚・聴覚情報伝達制御手法の探索
伊東 燦	R2. 4. 1～ R4. 3. 31	トロイフリー暗号ハードウェアの高水準設計・検証手法の開拓
木村 光佑	R2. 4. 1～ R4. 3. 31	デジタル信号処理を用いたコヒーレントナイキストパルス伝送の高度化に関する研究
篠崎 基矢	R2. 4. 1～ R4. 3. 31	磁性体スピントロニクスに基づく色中心エンジニアリング
WANG XIYUE	R2. 4. 1～ R3. 9. 30	積み木型センサデバイスを用いた長期的な幼児の心理状態推定システム
YOON JU YOUNG	R3. 4. 1～ R6. 3. 31	反強磁性ワイルセミメタル薄膜のスピン物性と機能性に関する研究
唐 超	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	液相成長による高品質カルコゲナイドInSe系二次元結晶を用いたTHzシステム構築
住 拓磨	R3. 10. 1～ R6. 3. 31	神経回路網における損傷修復性のin vitro解析とそのモデル化

9. 教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

(人)

転出先	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
企業	1	1	1	0	1
通研・教員	1	2	4	0	3
他部局・教員	1	0	0	1	0
他部局・産学官連携研究員、 COEフェロー (令和元年度～：他部局・学術研究 員)	0	1	0	1	1
他大学・高専教員	1	0	0	0	0
他大学ポスドク	0	0	1	0	0
国外大学・企業	1	0	0	2	3
帰国	0	0	0	0	0
その他	0	3	1	1	1
転出者計	5	7	7	5	9
在職者数	4	4	4	9	3

※ 在職者：非常勤研究員及び日本学術振興会特別研究員（PD）

10. 支援職員

(人)

年度		平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
専任職員	技術職員	13【3】	16【6】	15【5】	14【5】	15【6】
	事務職員	14【3】	26【16】	27【19】	28【20】	28【20】
	再雇用職員	1【0】	1【0】	2【1】	2【1】	2【1】
	計	28【6】	43【22】	44【25】	44【26】	45【27】
非常勤職員	技術職員	13【10】	14【10】	17【10】	18【12】	20【10】
	事務職員	33【31】	20【18】	25【22】	26【22】	23【20】
	計	46【41】	34【28】	42【32】	44【34】	43【30】

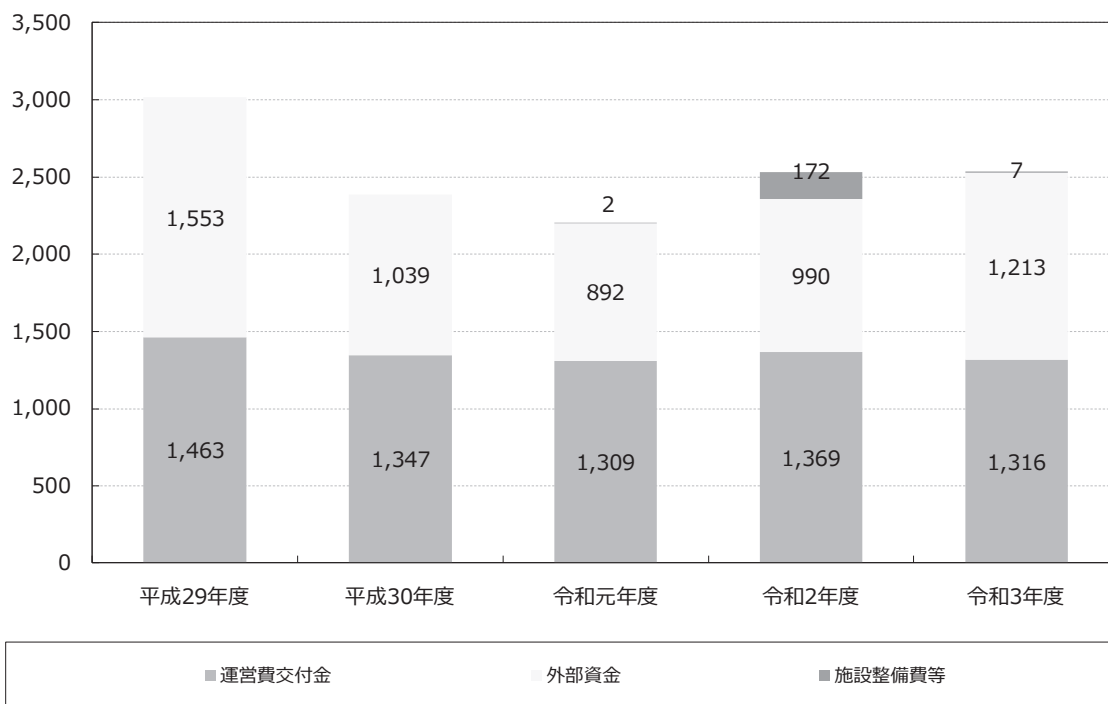
※【 】は女性で内数

※平成30年度より採用された限定正職員は「専任職員」に含む。

第2 予 算

電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円



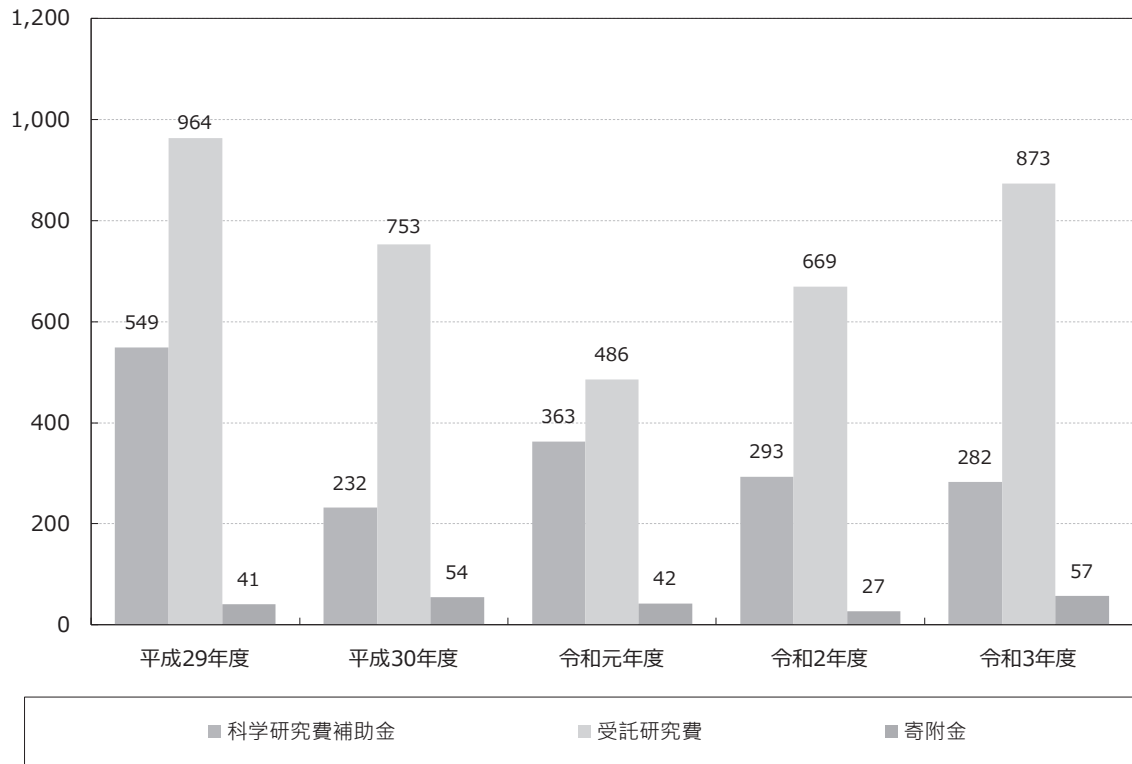
予算額内訳

単位：千円

事 項		平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
運営費交付金	人件費	835,904	790,118	742,128	801,695	744,591
	物件費	626,824	556,937	566,533	567,249	571,737
運営費交付金 計		1,462,728	1,347,055	1,308,661	1,368,944	1,316,328
外部資金	科学研究費補助金	549,034	231,643	363,325	293,404	282,400
	受託研究費	963,585	753,391	486,053	669,454	873,456
	寄附金	40,541	54,344	42,436	27,200	57,422
	(再掲) 間接経費	220,733	134,311	155,852	172,874	234,487
外部資金 計		1,553,160	1,039,378	891,814	990,058	1,213,278
災害復旧経費		0	0	1,936	172,477	6,732
移転事業経費		0	0	0	0	0
施設整備費		0	0	0	0	0
施設整備費等 計		0	0	1,936	172,477	6,732
合 計		3,015,888	2,386,433	2,202,411	2,531,479	2,536,338

外部資金受入状況

単位：百万円



外部資金内訳

単位：千円

事項	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
科学研究費補助金	549,034	231,643	363,325	293,404	282,400
受託研究費	963,585	753,391	486,053	669,454	873,456
寄附金	40,541	54,344	42,436	27,200	57,422
合計	1,553,160	1,039,378	891,814	990,058	1,213,278

第3 教 育

1. 学部学生・大学院生

(人)

区分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
学部(4年)	57 (0) 【 3】	57 (3) 【 7】	49 (1) 【 5】	53 (1) 【 6】	60 (0) 【 6】
大学院前期課程	141 (19) 【 9】	132 (17) 【 8】	132 (16) 【 7】	141 (17) 【 9】	146 (14) 【14】
工学研究科	85 (8) 【 1】	73 (6) 【 0】	85 (8) 【 1】	92 (11) 【 4】	96 (9) 【 9】
医工学研究科	2 (0) 【 0】	8 (0) 【 1】	5 (0) 【 1】	9 (0) 【 1】	8 (0) 【 1】
情報科学研究科	54 (11) 【 8】	51 (11) 【 7】	42 (8) 【 5】	40 (6) 【 4】	42 (5) 【 4】
大学院後期課程	39 (15) 【 3】	32 (11) 【 1】	30 (8) 【 1】	29 (10) 【 2】	26 (12) 【 4】
工学研究科	25 (8) 【 2】	21 (6) 【 1】	19 (4) 【 0】	17 (6) 【 0】	12 (6) 【 1】
医工学研究科	0 (0) 【 0】	1 (0) 【 0】	1 (0) 【 0】	2 (0) 【 0】	4 (0) 【 0】
情報科学研究科	14 (7) 【 1】	10 (5) 【 0】	10 (4) 【 1】	10 (4) 【 2】	10 (6) 【 3】
計	237 (34) 【15】	221 (31) 【16】	211(25) 【13】	223(28) 【17】	232(26) 【24】

※ () は外国人、【 】 は女子学生で内数

2. 留学生

(人)

区分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
学部4年	0	3	1	1	0
大学院前期	19	17	16	17	13
大学院後期	15	11	8	10	11
計	34	31	25	28	24
地域別内訳					
①アジア	28	27	21	22	22
②北米	1	1	1	1	0
③中南米	2	1	1	2	1
④ヨーロッパ	3	2	2	3	1
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	0	0	0	0
⑦アフリカ	0	0	0	0	0

3. 研究所等研究生・特別訪問研修生

(人)

区分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
研究所等研究生	6(6)	6(5)	9(8)	7(6)	4(4)
特別訪問研修生	2(2)	6(6)	5(5)	0(0)	0(0)
計	8(8)	12(11)	14(13)	7(6)	4(4)

※ () は外国人

4. 論文題目一覧 (修士論文)

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気エネルギーシステム専攻	ヘビのロコモーションから学ぶ身体部位間の競合を回避可能な自律分散制御に関する研究	大滝 範幸	石黒 章夫
	振動発電応用を目的とした超弾性合金の応力誘起相変態に関する研究	小澤 海斗	石山 和志
	高速・低消費電力システムに向けたMTJ/CMOSハイブリット技術を用いたクラスタリングプロセッサ設計に関する研究	河瀬 有之	遠藤 哲郎
	アクティブセンシングを活用した自律移動体群の衝突回避制御に関する研究	菅野 健	石黒 章夫
	GaN on Si パワーデバイスを用いたEV用モータの高周波PWM駆動方式に関する研究	小西 瑞生	遠藤 哲郎
	DC~100kHzにおける逆磁歪効果型振動センサの感度に関する研究	高野 凌	石山 和志
	四脚動物の移動速度に応じた頭頸部と脚部の協調制御原理に関する研究	乗田 篤志	石黒 章夫
	二輪車に着想を得た四脚ロボットの動的バランス制御に関する研究	服部 祥英	石黒 章夫
	適応的な高速走行を可能とする四脚ロボットの自律分散制御に関する研究	馬場 智主	石黒 章夫
	GaN on Siパワーデバイスを用いた高効率で小型・高速応答が可能なPOLコンバータに関する研究	干川 凱生	遠藤 哲郎
	首長竜の遊泳様式復元に向けたヒレ間・ヒレ内協調メカニズムに関する研究	横田 陸矢	石黒 章夫
通信工学専攻	書き込み最小化LUTを有する不揮発FPGAとその省電力BCNNハードウェアへの応用に関する研究	岡 貴弘	羽生 貴弘
	格子暗号向け高効率数論変換ハードウェアに関する研究	板橋 由磨	本間 尚文
	軽量暗号ソフトウェアのサイドチャネル解析に関する研究	伊藤 圭吾	本間 尚文
	CMOSインバーティブルロジックの論理設計環境の構築に関する基礎的研究	加藤 諒	羽生 貴弘
	確率的演算に基づく暗号化データ処理に関する研究	小関 隆介	本間 尚文
	公開鍵暗号ソフトウェアへの深層学習に基づく安全性評価に関する研究	齋藤 宏太郎	本間 尚文
	二次元回折格子ゲート型トランジスタにおけるプラズモンポラリトンのモデリングとそのテラヘルツ電磁波検出への応用に関する研究	佐々木 悠真	尾辻 泰一
	デジタルコヒーレント光伝送におけるGAWBS位相雑音の補償技術に関する研究	佐藤 耕造	廣岡 俊彦

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
通信工学専攻	可変パワースイッチ構造を用いた不揮発LSI向けパワーゲーティングの動的制御	鐘 方岑	羽生 貴弘
	過密環境下のミリ波帯WBANにおけるバックオフ制御を用いた公平性改善手法の研究	千田 司	末松 憲治
	合成体算術に基づく暗号ハードウェアに関する研究	中嶋 彩乃	本間 尚文
	プラズモニック・テラヘルツ電磁波検出の高感度化に向けたデバイスプロセス技術に関する研究	根来 拓海	尾辻 泰一
	超100 GHz CMOS増幅器の高利得化に関する研究	町井 大輝	末松 憲治
	ビットパターン媒体を用いた熱アシスト磁気記録方式による2層多重記録の研究	山根 輝	田中 陽一郎
	光ナイキストパルス伝送の長距離化に関する研究	渡邊 碧	廣岡 俊彦
電子工学専攻	超常磁性ヘテロ構造のスピン軌道トルクへの応答に関する研究	来住 昂宥	深見 俊輔
	高磁気異方性を有する軽元素添加FeNi合金に関する理論研究	喬 子建	白井 正文
	窒化ガリウムFET中の欠陥に起因する量子輸送現象の研究	阿部 峰也	大塚 朋廣
	Study of Real-Time Polarization State Tomography for Single Photon Sources (単一光子源の実時間偏光状態トモグラフィの研究)	張 崴	枝松 圭一
	半導体多重量子ドットにおける複数電子移動の高周波実時間測定に関する研究	相澤 拓海	大塚 朋廣
	振動状態解析による有機分子薄膜の化学状態評価	青柳 陽輝	白井 正文
	重金属/強磁性ヘテロ構造における界面ジャロシンスキー・守谷相互作用とスピン軌道トルクの相関	安部 直椰	深見 俊輔
	原子拡散接合法における真空中の表面汚染と接合性能に関する研究	網野 泰知郎	島津 武仁
	確率的状態遷移を伴う深層強化学習のエッジコンピューティング向けハードウェア実装に関する研究	小口 大輔	佐藤 茂雄
	新型ペロブスカイト太陽電池の最適化構造の探索	河野 将輝	平野 愛弓
	光負帰還狭線幅半導体レーザーの直接周波数変調を用いた測距に関する研究	木内 啓生	八坂 洋
有機単分子膜を援用したカーボンナノシートの吸着構造制御とナノ物性制御	許 彦	白井 正文	

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	第一原理計算を用いたCr添加強磁性半導体に関する理論研究	久保田 天弥	白井 正文
	SiCデバイス高性能化に向けた金属-半導体界面制御に関する研究	佐々木 達矢	佐藤 茂雄
	Development of an FPGA System Toward Real-Time Photon-Number Detection (実時間光子数検出のためのFPGAシステムの開発)	石 瀟讓	枝松 圭一
	金属/SiO ₂ /SiC構造へのSi窒化膜界面制御層導入プロセスに関する研究	渋谷 凱政	佐藤 茂雄
	走査型非線形誘電率顕微鏡を用いたSi系MOSにおけるバイアスストレスの影響の微視的評価に関する研究	鈴木 小春	長 康雄
	Study of Single Photon Sources Coupled with Gold Nanoparticles on an Optical Nanofiber (ナノ光ファイバ上の金ナノ粒子と結合した単一光子源の研究)	宣 宜宁	枝松 圭一
	ノンコリニア反強磁性Mn ₃ Sn/強磁性ヘテロ構造の作製と電流応答の評価	武智 涼太	深見 俊輔
	強磁性遷移金属窒化物における異常ネルンスト効果に関する理論研究	坪和 優佑	白井 正文
	Study of Nonlocal Quantum Measurement Using a Quantum Computer (量子計算機を用いた非局所量子計測の研究)	董 庭瑞	枝松 圭一
	面内磁化容易軸を有する超常磁性磁気トンネル接合の磁化緩和時間に関する研究	早川 佳祐	深見 俊輔
情報基礎科学専攻	マクロ木変換器の融合のための高階木変換器の低階化	佐藤 光	中野 圭介
	シグナリングパラメータ制御によるモバイルコアネットワークノードの資源管理に関する研究	松山 優気	長谷川 剛
	機械学習による輻輳制御アルゴリズム間の公平性の改善に関する研究	前田 馨人	長谷川 剛
システム情報科学専攻	Basic Study on Near-Field Head-Related Transfer Function Synthesis Using Binaural Information (バイノーラル情報を用いた近距離頭部伝達関数の合成法に関する基礎的研究)	KADU Anand Anil	坂本 修一
	周囲空間情報のAR表示により三人称視点映像を拡張するドローン操縦支援手法に関する研究	井上 理哲人	北村 喜文
	励磁コイルの軸傾き変化による磁気式モーションセンサの死角問題解決に関する検討	尾崎 大耀	北村 喜文

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
システム情報科学専攻	A Study on Encounter-type Touch Surface for Physically Supporting Accurate Mid-air Interactions in Room-scale VR (ルームスケールVRにおける正確な空中インタラクションを支援するための遭遇型タッチサーフェスに関する研究)	丹野 隆幸	北村 喜文
	視聴覚注意の相互作用に関する研究	Zhaoyue Chen	塩入 諭
	画像好み評価への行動の影響	千葉 寿晃	塩入 諭
	配置に関する潜在記憶と学習	土屋 晴義	塩入 諭
	水平面における聴覚的注意の空間特性に関する研究	富松 智志	坂本 修一
	ルームスケール環境を対象としたスマートフォンのみによる視線トラッキング手法に関する研究	永井 崇大	北村 喜文
	アバターに対する身体性注意	長谷川 茉奈	塩入 諭
	アトム変数を用いた名目単一化の実現に関する研究	山上 隼司	大堀 淳
	Contribution of Magno- and Parvo-cellular Pathways to Visual Stability (視野安定に関わる初期視覚経路の影響)	Yaoyi Liu	塩入 諭
	ヘッドマウントディスプレイを用いた照明空間再現の有効性の検討	佐藤 一輝	塩入 諭
応用情報科学専攻	Moving Scene Text Detection Using Training Video Augmentation (トレーニングビデオ増強を用いた動くシーン文字の検出に関する研究)	謝 到遠	菅沼 拓夫
	A Study on Flow Table Overflow Attack Mitigation in SDN using Network Functions Virtualization (SDNにおけるネットワーク機能仮想化を用いたフローテーブルオーバーフロー攻撃低減手法)	SOYLU, Mustafa	菅沼 拓夫
	教師なし学習を用いた低レートDoS攻撃検知に関する研究	榎場 叶耀	菅沼 拓夫
	学習スパイキングニューラルネットワーク回路のためのスピントロニクスデバイス数理モデルの構築	菊地 優志	堀尾 喜彦
	空間音響を用いた視覚障がい者のための屋内ナビゲーション手法に関する研究	玉瀧 誠人	菅沼 拓夫
	効率的なカードベース暗号プロトコルに関する研究	豊田 航大	菅沼 拓夫

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
応用情報科学専攻	日本語・中国語文字の高速・高精度な認識に関する研究	松末 三星	菅沼 拓夫
	マルウェア検知システムへのバックドア攻撃に対するオートエンコーダを用いた防御手法に関する研究	松本 悠希	菅沼 拓夫
	複数プロジェクターの連携により環境変化に対応する情報投影システムの研究	三田 昌輝	菅沼 拓夫
	High-Accuracy Japanese Scene Character Recognition Using Synthetic Data (人工データを用いた高精度な日本語シーン文字認識に関する研究)	龍 永臻	菅沼 拓夫
	LPWAを用いたIoTアプリケーション向けエージェントフレームワークに関する研究	高橋 大夢	菅沼 拓夫
	SDNにおける Moving Target Defense を用いたネットワークスキャン対策手法に関する研究	千葉 翔也	菅沼 拓夫
医工学専攻	負荷に応じた歩容生成が可能な多脚ロボットの自律分散制御に関する研究	大野 篤史	石黒 章夫
	高密度多点電極アレイ上へのモジュール構造型培養神経回路の人工再構成に関する研究	佐藤 有弥	平野 愛弓
	人工神経細胞回路に対する光摂動系の構築と神経活動変調効果の解析に関する研究	竹室 汰貴	平野 愛弓
	膜内電界制御のための人工細胞膜プラットフォームの構築に関する研究	渡辺 恭也	平野 愛弓

(博士論文)

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
通信工学専攻	暗号モジュールの安全性評価手法に関する研究	伊東 燦	本間 尚文
	超高速・大容量コヒーレントナイキスト光パルス伝送に関する研究	木村 光佑	廣岡 俊彦
	ダイレクトRFアンダーサンプリング受信機の広帯域化に関する研究	古市 朋之	末松 憲治
	IoTデバイスへの能動的物理攻撃とその対策に関する研究	梨本 翔永	本間 尚文
電子工学専攻	微細磁気トンネル接合における非線形輸送特性に関する研究	篠崎 基矢	深見 俊輔
システム情報科学専攻	Predicting Child Behavior and Mental Health with Toy Block Play Data (積み木遊びデータ解析による子供の行動と心理状態推定)	Xiyue Wang	北村 喜文
	ユーザの近接性を考慮した作業空間の構築に関する研究	工藤 義礎	北村 喜文
	Resolving Uncertainty in Fluid Dynamics and Deriving Physical Models by Efficient Incorporation of Empirical Data into Deep Learning (深層学習への観測データの効率的な導入による流体力学の不確実性の解決と物理モデルの導出)	朱 健楓	北村 喜文

第 4 研 究

1. 研究成果の掲載・公表状況

区 分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
トピックス (新聞記事等)	55	65	48	33	15

2. トピックス一覧

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
1	Wi-Fi電波で発電	2021/5/19	日刊工業新聞	深見 俊輔
2	半導体産業、勝者交代も	2021/5/31	日経産業新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
3	「成長」へ 規制緩和を	2021/6/8	日本経済新聞	大野 英男 (総長)
4	勝手に動き回って伸縮するパーティション登場 ソーシャルディスタンスとプライバシー確保 東北大学が開発	2021/8/13	ITMedia NEWS	高嶋 和毅 (准教授)
5	豊橋技術科学大・東北大など、 チームフロー（複数人間が協調して 「ゾーン」に入った状態） に関する脳波と領域を発見	2021/10/6	日本経済新聞 オンライン	Chia-huei Tseng (准教授)
6	東北大発新興の半導体設計 パワースピン、横浜に拠点	2022/2/1	日本経済新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
7	光ファイバーをセンサーに 顧客と向き合う開発に目覚め	2022/2/4	日本経済新聞	中沢 正隆 (ROEC)
8	データシェアの可能性 東北で芽吹くスターシティとは	2022/2/9	ビジネス+IT通信 (Web)	田中 陽一郎
9	半導体回路設計、横浜に新拠点 パワースピン、受注拡大目指す	2022/2/21	日経産業新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
10	東北大学教授遠藤哲郎氏 次世代メモリー「普及20年」 (テクノロジストの時代)	2022/3/1	日本経済新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
11	「やはり指さし確認は有効！ 右利きが左利きよりも注意力アップ 東北大の研究者に聞いた」	2022/3/9	まいどなニュース 神戸新聞社	塩入 論
12	「手や指を添えると“注意力アップ”には理由があった… そして右利きの方が効果大！ 実験した東北大学に聞いた」	2022/3/10	フジテレビ プライム オンライン	塩入 論
13	Laying the groundwork for a more resilient planet	2022/3/10	Nature	深見 俊輔
14	稲盛財団、東北大学教授らに助成	2022/3/19	日本経済新聞	深見 俊輔
15	深見教授ら2人に研究費10年間助成	2022/3/19	産経新聞	深見 俊輔

3. 科学研究費助成事業採択一覧（令和3年度研究代表者）

研究種目	氏名	R3年度交付額 (千円)	補助金総額 (千円)	研究課題名	採択 年度	終了 年度
新学術領域研究 公募研究	福原 洸	3,200	7,200	四脚動物の肩部ハンモック構造から切り拓く即時 適応的な柔剛調節メカニズム	R3	R4
学術変革領域研究 (B)総括班	加納 剛史	1,400	7,000	ヘテロ群知能：多様な細胞の集団動態から切り拓く 群知能システムの革新的設計論	R3	R5
	山本 英明	1,400	8,400	脳神経マルチセルラバイオコンピューティングに 関する総括	R3	R5
学術変革領域研究 (B)計画研究	加納 剛史	4,200	33,600	ヘテロ群知能の構成論的理解から切り拓くハイア ベレージなシステムの設計論	R3	R5
	山本 英明	11,200	24,500	マルチセルラコンピューティングシステムの実細 胞再構成	R3	R5
基盤研究(S)	深見 俊輔	27,500	155,500	ノンコリニアスピントロニクス	R1	R5
基盤研究(A)	平野 愛弓	8,000	35,000	単一オンチャネル分子/バイオ二次元物質ハイブ リッド膜の機能解析と応用	R1	R4
	塩入 諭	7,000	35,900	自発的注意による視聴覚空間注意の制御	R1	R3
	堀尾 喜彦	6,400	34,300	ブレインモルフィックコンピューティングハード ウェア基盤の構築	R2	R6
	尾辻 泰一	12,800	32,400	グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性 操作とそのテラヘルツレーザへの応用	R3	R7
	吉田 真人	10,300	32,000	振幅・位相および時間情報を用いた3次元光秘匿 通信技術の研究開発	R3	R6
	本間 尚文	4,300	31,600	セキュリティハードウェアの形式的設計・検証理 論の深化と展開	R3	R7
	羽生 貴弘	11,500	32,400	IoT応用向け高速かつ超低消費電力でダイ・ハード なロジックLSI基盤技術の開発	R3	R6
基盤研究(B)	山本 英明	1,900	13,400	人工神経細胞回路の複雑ダイナミクスに基づく時 系列情報処理とそのモデル化	H30	R3
	八坂 洋	1,800	13,800	広帯域低位相雑音半導体レーザ光源実現への挑戦	R1	R3
	横田 信英	1,000	13,900	面発光レーザのスピンの極電子密度制御に基づく ベクトル変調技術の開発	R1	R3
	吹留 博一	1,900	13,800	二次元電子素子の界面電子状態の時空間変化の 機構解明と素子特性向上	R1	R3
	坂本 修一	2,600	13,200	人と場の相互作用を考慮した知的感性活動を支 える聴空間創出基盤技術の確立	R1	R4
	金井 駿	5,100	13,700	強磁性体ナノウィンドウによる色中心スピン対の もつれ制御	R2	R4
	田中 陽一郎	4,200	13,200	大規模神経構造可視化を実現するコンピューター シヨナル・ストレージ技術の研究開発	R2	R5
	山末 耕平	4,000	13,500	走査型非線形誘電率顕微鏡による原子層材料・デ バイスのナノ・原子スケール物性評価	R2	R5
	福原 洸	7,800	13,600	動物の前腕ロック機構から切り拓く四脚ロボッ トの前肢多自由度化	R3	R5
	佐藤 昭	8,100	13,700	半導体二次元プラズモンの三次元整流効果とその 超高感度テラヘルツ電磁波検出への応用	R3	R6
	鬼沢 直哉	2,800	13,100	確率的デバイスモデルに基づく量子モンテカルロ 計算ハードウェアプラットフォーム構築	R3	R6
	夏井 雅典	1,600	13,100	スピントロニクスベース高性能・省電力・高信頼 IoTセンサノードの基盤研究開発	R3	R6
	高嶋 和毅	4,800	13,400	自律動作物理デバイス群によるVRユーザの身体支 持と高精度インタラクション	R3	R5

研究種目	氏名	R3年度交付額 (千円)	補助金総額 (千円)	研究課題名	採択 年度	終了 年度
基盤研究(C)	大堀 淳	1,000	3,300	超並列技術をML系高信頼言語SML#に統合した超並列関数型言語の実現と最適化	H30	R3
	馬 奕涛	1,100	2,800	p-MTJに基づく超低電力不揮発ニューロモーフィックアーキテクチャの確立	R1	R3
	菊池 健太郎	900	2,800	先進的な高階書き換え理論に基づく遅延評価関数型プログラムの検証	R1	R4
	上野 雄大	700	3,300	マルチコア並列計算に対応した関数型言語処理系の実現	R1	R4
	長谷川 剛	1,300	3,300	Beyond 5Gのためのモバイルコアネットワークアーキテクチャの確立	R1	R3
	阿部 和多加	1,100	2,100	高密度水素・水素化合物における非調和格子振動の解析手法開発と構造探索への応用	R3	R5
	L LANDRO J u s t i n	1,200	3,200	Emergent and topological properties of 3D chiral gyroid nanostructures	R3	R5
	中野 圭介	900	3,100	双方向変換言語のための計算モデルとプログラミング言語への応用	R3	R6
	藤田 和之	1,100	3,200	作業環境の物理的微小動作による姿勢誘導手法の確立	R3	R5
挑戦的研究 (開拓)	尾辻 泰一	4,400	19,800	グラフェンディラックフェルミオンのプラズモン異常不安定性とそのテラヘルツ機能応用	H30	R3
	平野 愛弓	5,400	19,900	Lateral biasに基づく革新的膜タンパク質機能解析場の構築	R2	R5
	堀尾 喜彦	1,300	19,800	「自分」を持つハードウェア：脳型自律ハードウェアのための動的原自己の実現	R3	R6
挑戦的研究 (萌芽)	片野 諭	1,300	4,900	多元STMスペクトロスコピーで解き明かされる酸化グラフェンのナノ光電子物性	R2	R4
	高嶋 和毅	1,800	4,900	視聴覚情報の伝搬を制御可能な動的ワークプレイス構築基盤	R2	R4
	大塚 朋廣	1,500	4,900	デコヒーレンスを活用した革新的量子技術の研究	R3	R5
	長 康雄	3,300	4,900	キャリアトラップサイトの原子構造とダイナミクスの解明	R3	R4
	平永 良臣	1,000	5,000	マイクロ波エンハンス電気化学歪み顕微鏡の原理解明とイオン伝導体等の評価への展開	R3	R5
若手研究	羽鳥 康裕	400	3,200	光景を持つ時空間構造の脳内表現が知覚に与える影響	R1	R3
	但木 大介	900	2,400	高効率薬物スクリーニング系構築のためのアレイ型シリコンチップの開発	R2	R3
	上野 嶺	700	2,300	物理複製困難ハードウェアIDに基づく高安全・高信頼な認証システムの開発	R2	R5
	小宮 麻希	2,600	3,100	新たな膜内電圧制御に基づくイオンチャネル解析プラットフォームの創生	R3	R5
	守谷 哲	900	2,100	報酬信号を考慮したスパイクニューロン用学習モデルの提案とそのハードウェア実装	R3	R4
国際共同研究強化(B)	加納 剛史	6,000	14,100	バクテリアのバイオフィーム形成現象から切り拓く超サイババルシステムの革新的設計論	R1	R4
	金井 駿	4,200	14,100	磁気トンネル接合への色中心の導入と量子状態の電氣的制御	R1	R3
	藤田 和之	4,200	14,100	適応的な触覚提示によるVR体験の没入感向上と動作範囲の削減	R1	R4

※基金分については2021年度請求金額を記載

4. 競争的資金状況

単位：件、百万円

		平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
民間等との 共同研究	件数	39	43	41	46	50
	金額	74	88	80	185	143
受託研究	件数	16	19	24	21	23
	金額	180	187	218	274	493
奨学寄付金	件数	30	36	19	16	30
	金額	41	54	42	27	57

5. 受賞・表彰件数

区 分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
叙勲・受賞・表彰	52	50	49	43	42

6. 受賞・表彰者一覧

団体名・賞名	氏名	所属	業績	受賞日
文部科学省・ 令和3年度科学技術分野の 文部科学大臣表彰 「創意工夫功労者賞」	森田 伊織	研究基盤技術センター・ プロセス部	業績名： 「MTJ微細化の為に電子線リソグラフィ技術 の改善」	令和3年4月6日
一般社団法人日本機械学会・ 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部 門 ROBOMECH表彰（学術研究分野）	高野 俊輔 安井 浩太郎 加納 剛史 石黒 章夫	実世界コンピューティン グ	講演題目： 「環境に呼応して足並みが柔軟に変化する多 脚ロボットの脚間協調制御則」 本賞は、日本機械学会ロボティクス・メカト ロニクス部門が主催する講演会・シンポジウ ムなどにおいて、研究内容および技術的成果 に対して高い評価を得た著者全員に対して表 彰されるものです。	令和3年6月7日
一般社団法人日本機械学会・ 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞	高野 俊輔	実世界コンピューティン グ	講演題目： 「環境に呼応して足並みが柔軟に変化する多 脚ロボットの脚間協調制御則」 本賞は、日本機械学会が主催する講演会にお いて、表彰対象者の発表内容が有益で新規性 があり、日本機械学会学術誌に論文として投 稿するに値するレベルにあること、また発表 と質疑応答の態度が優れており、本人が研究 を主体的に行ったと判定されることを根拠に 表彰されるものです。	令和3年6月7日
一般社団法人日本機械学会・ 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞	小川 久介	実世界コンピューティン グ	講演題目： 「翼と頭部の協調によるペンギンの高速遊泳 メカニズム」 本賞は、日本機械学会が主催する講演会にお いて、表彰対象者の発表内容が有益で新規性 があり、日本機械学会学術誌に論文として投 稿するに値するレベルにあること、また発表 と質疑応答の態度が優れており、本人が研究 を主体的に行ったと判定されることを根拠に 表彰されるものです。	令和3年6月7日
公益社団法人計測自動制御学会・ 計測自動制御学会東北支部 第333回研究集会 優秀発表奨励賞	服部 祥英	実世界コンピューティン グ	受賞内容： 「二輪車に着想を得た、四脚ロボットの動的 バランス制御方法」 本賞は、計測自動制御学会東北支部の各研究 集会において特に優れた発表を行った30歳以 下の発表者に対して表彰されるものです。	令和3年6月18日
The Optical Society (OSA) ・ The Optical Society “2021 OSA Outstanding Reviewer”	金田 文寛	(学際科学フロンティア 研究所 (FRIS))	本賞は、米国光学会(The Optical Society, OSA) の発行する学術雑誌全般において、特 に優れた論文の査読者に贈られる賞です。	令和3年8月1日
非線形ワークショップ2021・ 優秀ポスター発表賞	藤本 ありさ	ナノ集積デバイス・プロ セス	発表タイトル： 「FORCE法によって訓練された再帰的ニュー ラルネットワークのグラフ理論的解析」	令和3年9月1日
非線形ワークショップ2021・ 最優秀オーラルプレゼンテーショ ン賞	織間 健守	ソフトコンピューティン グ集積システム	発表タイトル： 「蝸牛に基づく無反射伝送線路モデルを用い た音声認識システムの構築に向けて」	令和3年9月1日
一般社団法人日本音響学会・ 第22回（2021年春季研究発表会） 学生優秀発表賞	及川 隼平	先端音情報システム	研究発表： 「音韻修復における音声と雑音の角度依存 性」 将来の音響学の発展を担う若手研究者を奨励 するため、春季又は秋季研究発表会において 優秀な発表を行った学生会員に贈呈される。 聴覚/聴覚・音声分野で2件選出された内の 一つである。	令和3年9月8日
一般社団法人日本物理学会・ 第16回（2022年）日本物理学会 若手奨励賞	山根 結太	(学際科学フロンティア 研究所 (FRIS))	対象研究/対象論文： 「ノンコリニア反強磁性体の電流応答に対す る理論研究とその実証」	令和3年10月19日 (通知日)

研 究

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
一般社団法人情報処理学会・ 第29回 マルチメディア通信と 分散処理ワークショップ (DPSWS2021) 優秀論文賞	坂本 和也 北形 元 長谷川 剛	コミュニケーションネッ トワーク	発表論文： 「小型IoT機器向けの移動エージェントフ レームワークの提案」	令和3年10月26日
The 5th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science・ Best Poster Award	小林 奎斗	スピントロニクス	"Physical mechanism governing sigmoid curves of superparamagnetic tunnel junctions"	令和3年10月28日
The 5th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science・ Poster Award	岸 桂輔	スピントロニクス	"Effect of spin-orbit torque on non- collinear antiferromagnet Mn3Sn"	令和3年10月28日
The 2021 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS 2021)・ Best Paper Award	工藤 義礎 藤田 和之 遠藤 勇 高嶋 和毅 北村 喜文	情報コンテンツ	発表タイトル： 「Towards Balancing VR Immersion and Bystander Awareness」	令和3年11月16日
一般財団法人石田實記念財団・ 2021年度 研究奨励賞	加納 剛史	実世界コンピューティン グ	研究テーマ： 「動物ロコモーションに内在する自律分散制 御則」に関する研究	令和3年11月26日
一般財団法人石田實記念財団・ 2021年度 研究奨励賞	山末 耕平	誘電ナノデバイス	研究テーマ： 「走査型非線形誘電率顕微鏡によるナノ・原 子スケール物性評価」に関する研究	令和3年11月26日
IEEE MTT-S・ APMC2021 Prize	町井 大輝 末松 憲治	先端ワイヤレス通信技術	受賞論文： 「Gain Boosted D-Band CMOS Amplifier Using a Radial Stub for Source AC Grounding」 (Taiki Machii, Mizuki Motoyoshi, Suguru Kameda, Noriharu Suematsu)	令和3年12月1日
ICETC 2021・ Best Paper Award	葛西 恵介 佐藤 大晟 白幡 晃一 廣岡 俊彦 吉田 真人 中沢 正隆	超高速光通信	Performance comparison between injection-locked carrier frequency conversion and self-heterodyne detection methods in coherently-linked optical and wireless transmission for 6G (K. Kasai, T. Sato, K. Shirahata, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa)	令和3年12月2日
ICETC 2021・ Student Presentation Award	渡邊 碧	超高速光通信	Optimization of roll-off factor in ultrahigh-speed WDM Nyquist pulse transmission (A. Watanabe, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa)	令和3年12月2日
公益財団法人井上科学振興財団・ 第38回 (2021年度) 井上研究奨励 賞	渡部 杏太	スピントロニクス	博士論文題目： 「垂直磁化容易軸を有する1X/nm極微細磁 気トンネル接合の材料・素子技術に関する研 究」	令和3年12月3日 (通知日)
電子情報通信学会東北支部・ 2021年度電気関係学会 東北支部連合大会 学生優秀論文賞	坂本 佳介	新概念VLSIシステム	論文発表： 「パワーゲーティング機能付き不揮発 RISC- V CPU の基礎検討」	令和3年12月3日

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
電子情報通信学会 ハードウェアセキュリティ研究専門委員会・ ハードウェアセキュリティ研究会 若手優秀賞	上野 嶺	環境調和型 セキュア情報システム	論文発表： 「剰余数系を用いた同種写像暗号の高速ハードウェア実装」	令和3年12月10日
電子情報通信学会 ハードウェアセキュリティ研究専門委員会・ ハードウェアセキュリティ研究会 若手優秀賞	齋藤 宏太郎	環境調和型 セキュア情報システム	論文発表： 「耐タンパー性を有するCRT-RSAソフトウェアに対する深層学習に基づく単一波形サイドチャネル攻撃」	令和3年12月10日
電子情報通信学会 ハードウェアセキュリティ研究専門委員会・ ハードウェアセキュリティ研究会 若手優秀賞	中嶋 彩乃	環境調和型 セキュア情報システム	論文発表： 「線形写像の最適化による高効率AES S-Boxハードウェアの設計と評価」	令和3年12月10日
電子情報通信学会 光通信システム研究専門委員会・ 2021年光通信システム研究会奨励賞	佐藤 耕造	超高速光通信	受賞論文： 「GAWBS雑音の波長分散依存性に関する考察」	令和3年12月14日
公益社団法人応用物理学会・ 2021年応用物理学会秋季学術講演会 第16回英語講演奨励賞	小林 奎斗	スピントロニクス	“Stochastic magnetic tunnel junctions with a synthetic antiferromagnetic free layer”	令和3年12月20日
IEEE Magnetics Society・ Achievement Award	大野 英男	総長	“For fundamental discoveries of spintronic phenomena and their applications in memory and computing technologies”	令和4年1月13日
電子情報通信学会 情報セキュリティ研究専門委員会・ 情報セキュリティ研究奨励賞	伊藤 圭吾	環境調和型 セキュア情報システム	発表論文： 「軽量暗号Gimli-AEADに対する深層学習を用いたサイドチャネル解析の検討」	令和4年1月20日
電子情報通信学会 情報セキュリティ研究専門委員会・ SCIS論文賞	伊東 燦	環境調和型 セキュア情報システム	発表論文： 「深層学習を用いたサイドチャネル攻撃における不均衡データ問題の解析と解消法」	令和4年1月20日
電子情報通信学会・ 光ファイバ応用技術研究会 2021年 学生奨励賞	木村 光佑	超高速光通信	受賞論文： 「Chirped FBGとLCoSを組み合わせた低非線形分散マネージ伝送路を用いた超高速コヒーレントナイキストパルス伝送のBER特性の改善」	令和4年2月8日
計測自動制御学会・ 学術奨励賞	鈴木 朱羅	実世界コンピューティング	発表内容： 「原始四足動物の歩行運動制御に関する一考察」	令和4年2月22日
Brain inspired computing physics Architectures materials and applications・ The best presentation award	シン トツキユ	新概念VLSIシステム	研究発表： 「Energy-efficient Training Hardware for Binarized Neural Networks based on CMOS Invertible Logic」	令和4年2月25日
情報処理学会・ 研究会活動貢献賞	中野 圭介	コンピューティング情報理論	本賞は情報処理学会の研究会活動に顕著な貢献があった個人に贈呈するもので、情報処理学会プログラミング研究会の主査としての貢献が認められました。	令和4年3月1日
一般財団法人日本音響学会・ 第62回日本音響学会論文賞佐藤賞	坂本 修一	先端音情報システム	発表論文： 「防災行政無線屋外拡声子局における出力レベルの最適化」	令和4年3月10日
公益財団法人電気通信普及財団・ 第37回電気通信普及財団賞 テレコムシステム技術賞奨励賞	上野 嶺 本間 尚文	環境調和型 セキュア情報システム	発表論文： 「Tackling Biased PUFs Through Biased Masking: A Debiasing Method for Efficient Fuzzy Extractor」	令和4年3月16日

研 究

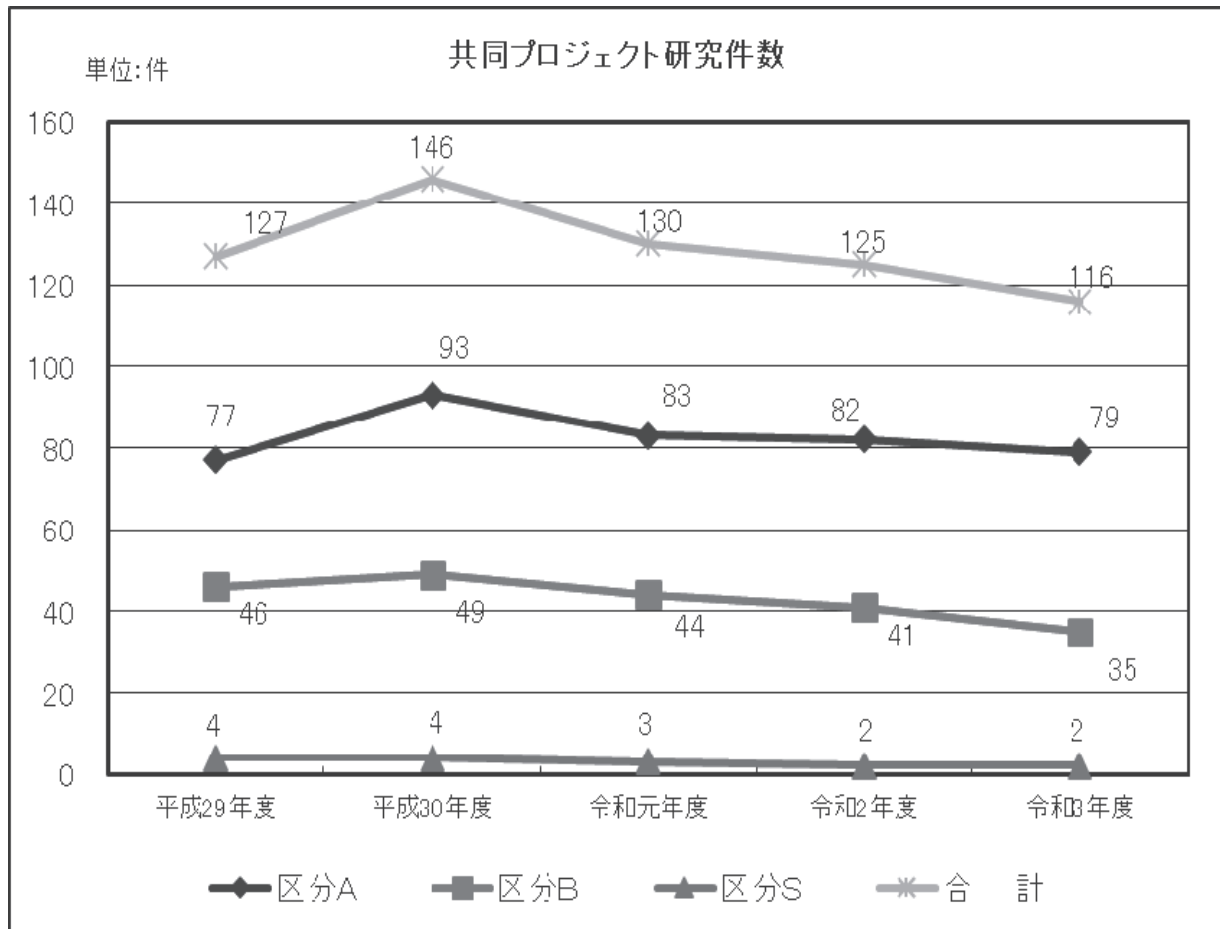
団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2022)・Honorable Mention Best Paper Award	星川 結海 藤田 和之 高嶋 和毅 北村 喜文	情報コンテンツ	Yukai Hoshikawa, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, and Yoshifumi Kitamura. RedirectedDoors: Redirection While Opening Doors in Virtual Reality. Proc. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2022), pp. 464-473, March 2022.	令和4年3月16日
電子情報通信学会・学術奨励賞	渡邊 碧	超高速光通信	受賞論文： 「12.8 Tbit/s (1.28 Tbit/s/ch x 10)-1500 km OTDM-WDM偏波多重DQPSK 光ナイキストパルス伝送」 「単一チャネル1.28 Tbit/s-3000 km 光ナイキストパルス伝送」 (渡邊碧・吉田真人・廣岡俊彦・中沢正隆)	令和4年3月17日
公益財団法人稲盛財団・2022年度稲盛科学研究機構(InaRIS)フェロー	深見 俊輔	スピントロニクス	このたびの深見教授の採択テーマは「人工制御による物質・材料の『知能』の発現とコンピューティングへの展開」と題するもので、その野心的な研究提案とこれまでにスピントロニクス技術により立脚した新規コンピューティング開発を世界的にリードしてきたことが高く評価されたものです。	令和4年3月18日
電子情報通信学会・東北支部学生優秀発表賞	小澤 海斗	生体電磁情報	発表論文： 「超弾性合金の応力誘起相変態を利用した新たな振動発電手法の提案」	令和4年3月25日
東北大学大学院工学研究科・令和3年度東北大学工学研究科長賞	篠崎 基矢	スピントロニクス	令和3年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与されるものです。	令和4年3月25日
東北大学大学院工学研究科・令和3年度東北大学工学研究科長賞	佐藤 耕造	超高速光通信	令和3年度修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与されるものです。 「デジタルコヒーレント光伝送におけるGAWBS位相雑音の補償技術に関する研究」	令和4年3月25日
東北大学・令和3年度東北大学総長賞	伊東 燦	環境調和型セキュア情報システム	本学の教育目標にかない、かつ、学業成績が特に優秀な学生を表彰するものです。	令和4年3月25日

7. 発表論文数

区 分		平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
査読付学術論文	英文	147	112	129	157	120
	和文	7	12	5	17	8
	計	154	124	134	174	128
査読付国際会議		255	255	267	136	184
解説・総説		17	12	16	15	11
査読付国内会議、査読なし国内研究会・講演会		356	327	314	298	329

第5 共同プロジェクト研究

1. 共同プロジェクト研究件数



(単位:件)

区分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
区分A	77	93	83	82	79
区分B	46	49	44	41	35
区分S	4	4	3	2	116
合計	127	146	130	125	116

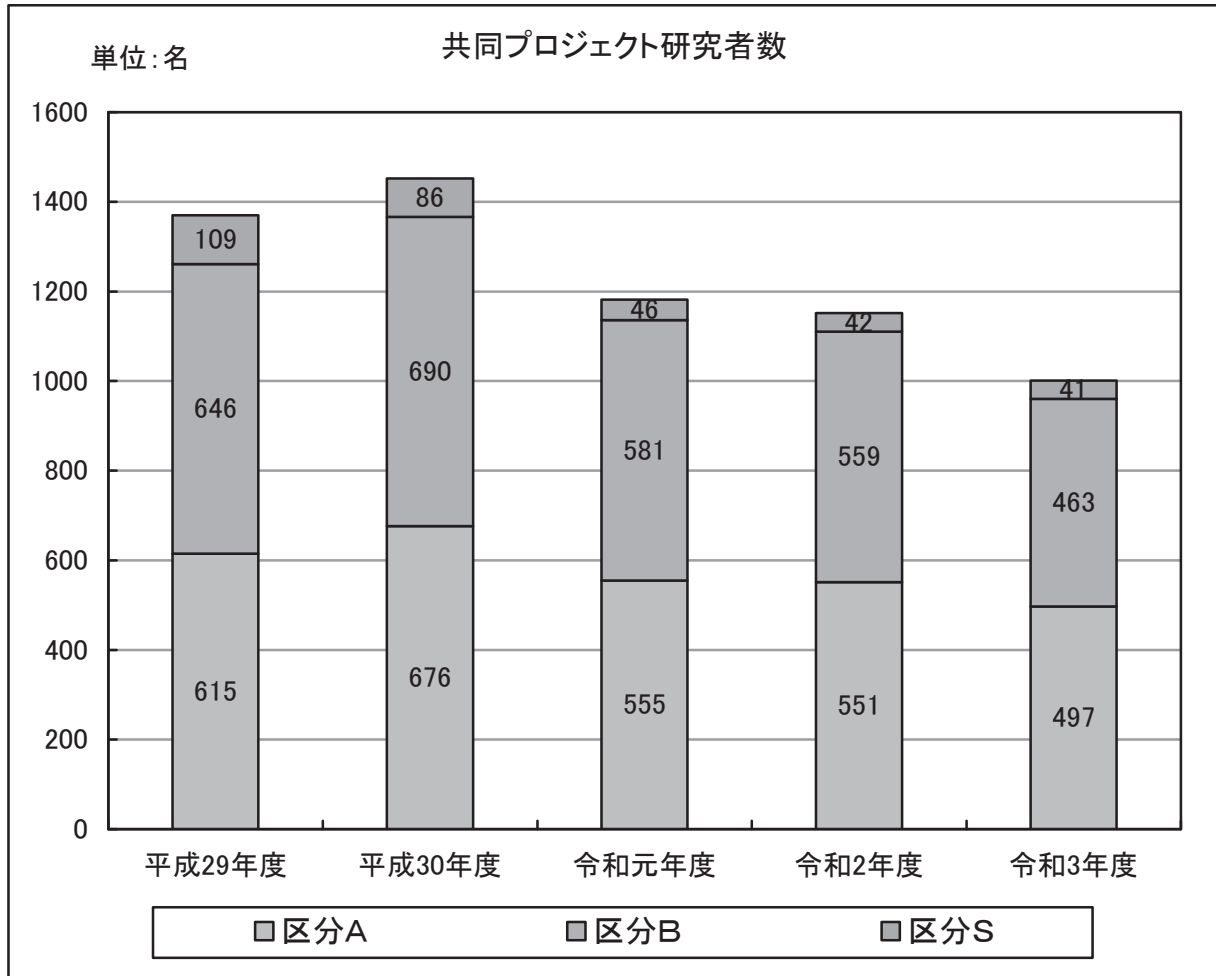
多様な共同プロジェクト研究のさらなる発展を推進すべく、研究区分に加え、6つの研究タイプを設けている。

タイプ別の採択状況は以下のとおりです。

【令和3年度タイプ別採択件数】(複数選択可)

- ・大型プロジェクト提案型：4件
- ・萌芽的研究支援型：46件
- ・国際共同研究推進型：34件
- ・その他：0件
- ・若手研究者対象型：7件
- ・先端的研究推進型：58件
- ・産学共同研究推進型：8件

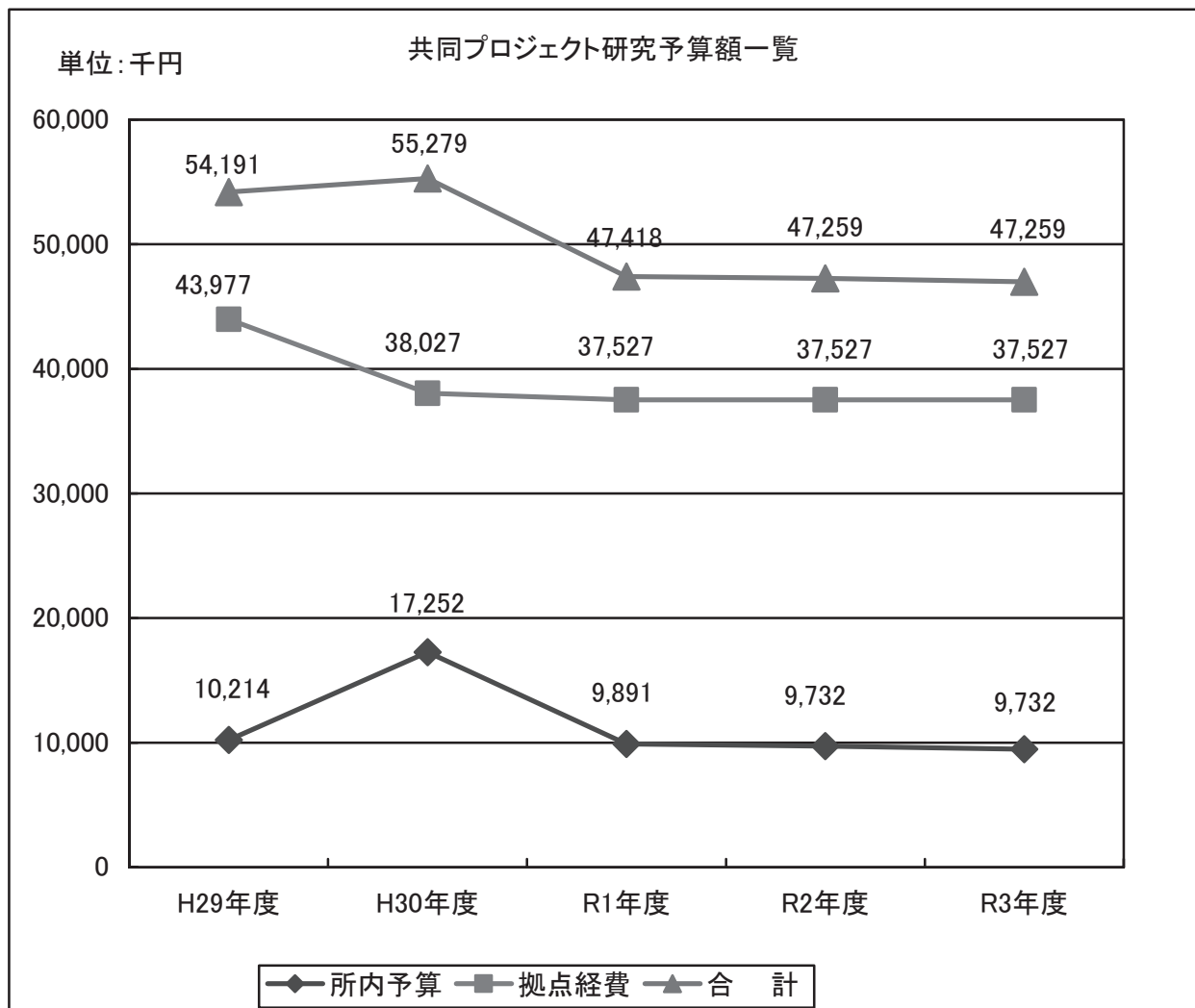
2. 共同プロジェクト研究者数



(単位:名)

	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
区分A	615	676	555	551	497
区分B	646	690	581	559	463
区分S	109	86	46	42	41
計	1,370	1,452	1,182	1,152	1,001

3. 共同プロジェクト研究予算額



(単位：千円)

区分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
所内予算	10,214	17,252	9,891	9,732	9,473
拠点経費	43,977	38,027	37,527	37,527	37,527
合計	54,191	55,279	47,418	47,259	47,000

共同プロジェクト研究

4. 共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
1. 昆虫のゾンビ化から紐解く生物の多様な振る舞いの源泉	科学研究費助成事業 基盤研究(S) (総額予算1億7,784万円)	H29-R3年度 大須賀 公一(大阪大学) 小林 亮(広島大学) 石黒 章夫(東北大学)	本研究では、ある種のハチの狩猟行動から着想を得て、生物の上位脳機能を生きたまま段階的に阻害するという斬新な方法により、適応能力に内在する制御構造を同定する。(H26/B07)
2. ヨッタインフォマティクス研究センター設置	国立大学法人機能強化促進費 (H30-R2年度予算 12,000万円)	H30-R4年度 塩入 諭教授 坂井 信之 教授(文学研究科) 大町 真一郎 教授(工学研究科)	共同プロジェクト研究「情報の質と価値を扱う科学技術の創造」(H28-H30)で進めた、情報の質と価値を取り扱うための研究組織「ヨッタインフォマティクス研究センター」を設置し、そのための文理融合プロジェクトを推進する。(H28/B14)
3. 高安全・高信頼な情報通信のためのトワイプリーLSIシステム設計・検証技術の開発	公益財団法人セコム科学技術振興財団 (総額予算 5,000万円)	H30-R4年度 本間 尚文 教授 上野 嶺 助教 【参加機関】 東北大学 神戸大学 奈良先端科学技術大学院大学	本研究開発では、LSIシステムに挿入する悪意のあるハードウェア(ハードウェアトロイ)の検知手法を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究」(H29-30年度)および「電磁情報セキュリティに関する研究」(H29-30年度)から発展した。(H29/B16, H29/B19)
4. エッジ型学習用ハードウェア実現に向けたインバーティブルロジックの創成	JSTさきがけ(革新的コンピューティング技術の開拓)(R2年度 8,190千円)	H30-R3年度 鬼沢 直哉 助教	本研究開発では、インバーティブル論理に基づく学習処理アルゴリズムの考案とそのハードウェア実現手法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究H29/B23から発展した。(H29/B23)
5. 光子数識別量子ナノフォトニクスの創成	文部科学省・国家課題対応型研究開発推進事業(Q-LEAP) (H30-R9年度予算総額 2.99億円)	H31-R9年度 枝松 圭一 教授 福田 大治(産業技術総合研究所)	光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測を高度化する。(H27/A05)
6. 時空間スペクトルにおける特異点に着目した音源分離手法の開発	科学研究費助成事業 基盤研究(C) (総額予算 320万円)	R1-R3年度 研究代表者: 小澤 賢司 教授(山梨大学) 研究分担者: 坂本 修一 教授	H25/A08「非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による音声処理技術の開発(H25-H27年度)」の際に着想した時空間スペクトルによる音場表現とそれに基づく音源抽出技術をより発展させ、音源分離性能を向上させるプロジェクトである。(H25/A08)
7. 耐量子計算機性秘匿計算に基づくセキュア情報処理基盤	JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究等(総額予算 3億円))	R1-R6年度 本間 尚文 教授 上野 嶺 助教 【参加機関】 東北大学 奈良先端科学技術大学院大学 大阪大学	本研究開発では、サイバー攻撃・物理攻撃・量子計算機に耐性をもつ安全な情報処理基盤技術を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究」から発展した。(H29/B18)

8. p-MTJに基づく超低電力不揮発ニューロモーフリックアーキテクチャの確立	科学研究費助成事業 基盤研究 (C) (総額予算 412万円)	H31-R3年度 馬 奕涛 助教	本プロジェクトは、スパイクン グ・ニューラルネットワーク (SNN) を専用回路アーキテクチャで実現 したニューロモーフリックチップ (NC) システムに着目して、共同研 究のもとで東北大学国際集積エレ クトロニクス研究開発センター (CIES) の設計環境と評価分析環 境を活用し、p-MTJに基づく不揮発 NCのモデルの確立から実際の回路 設計までの領域横断の手法を用い て、高速・コンパクト・低消費電 力のメモリアイブ不揮発NC回路 アーキテクチャの研究を進めてい る。本プロジェクトの内容は、H29 年度の共同研究プロジェクト(「高 効率エネルギー利用に資する半導 体デバイスとその集積システムに 関する研究」及び「ナノ材料とシリ コン技術の融合による新概念デ バイスとその新概念情報処理応用 に関する研究」)における議論を通 して提案されたものである。 (H29/B03、H29/B05)
9. 無線パルスによる電力/データ伝送と位置情報非利用型データ処理による環境情報認識	科学研究費助成事業 基盤研究 (B) (総額 1,700 万円)	R1-R3年度 関 屋大雄 教授 (千葉大学)	本研究開発では、無線パルスによ る給電システムを構築し、その設 計法を明らかにする。本研究は、 共同プロジェクト研究「高周波無 線電力伝送システムの最適設計と 高効率制御手法の確立」から発展 した。(H30/B12)
10. ミリ波帯におけるロボット等のワイヤフリー化に向けた無線制御技術の研究開発	総務省 令和元年度における 電波資源拡大のための研究 開発及び異システム間の周 波数共用技術の高度化に関 する研究開発 (総額 1億 円)	R1-R3年度 関屋大雄教授 ほか 【参加機関】 ATR, 千葉大学, 埼玉大学	本研究開発では、ロボット等ワイ ヤフリー化に向けた無線通信およ びワイヤレス給電システムを構築 し、その設計法を明らかにする。 本研究は、共同プロジェクト研究 「高周波無線電力伝送システムの 最適設計と高効率制御手法の確 立」(H30年度)から発展した。 (H30/B12)
11. 単一アナログデバイスと局所的学習則を用いるリアルニューロモーフリックシステム	科学研究費助成事業 基盤研究 (C) (総額 3,200千円)	H31-R3年度 木村 睦 教授 中島 康彦 教授 張 任遠 教授 羽賀 健一助教 【参加機関】 奈良先端科学技術大学 北陸先端科学技術大学	本研究では、「単一アナログデバ イスと局所的学習則を用いるリア ルニューロモーフリックシステ ム」を研究する。本研究の一部 は、共同プロジェクト研究「薄膜 デバイスを用いた脳型集積システ ム」から発展したものである。 (H30/A28)
12. スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤	JST-CREST (戦略目標の戦略 的創造研究推進事業チーム 型研究等 (総額予算 3億 円))	R1~R6年度 佐藤茂雄教授 羽生貴弘教授 深見俊輔教授 参加機関 東北大学 弘前大学 会津大学 群馬大学 国立情報学研究所	Society5.0の実現に向けて、エ ッジコンピューティングシステムに 求められる低消費電力性や常時学 習機能などの要件を満たすため に、不揮発アナログ記憶機能や豊 富なダイナミクスを有するスピン トロンクスデバイスと、それらを 最大限に活用しうるアナ・デジ CMOS集積回路や最適化アーキテ クチャを追究し、それらの原理実証 により、社会実装に向けた道筋を 明らかにする。(H29/B17、 H30/A20)

共同プロジェクト研究

<p>13. カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御</p>	<p>科学研究費助成事業 挑戦的研究(萌芽) (総額予算 6,370千円)</p>	<p>R2-R4年度 片野 諭 准教授 ほか 【参加機関】 NIMS 芝浦工業大学</p>	<p>本課題では、原子分解能を有する走査トンネル顕微鏡をベースとしたスペクトロスコピー技術を駆使して、これまで未開拓であった酸化グラフェンのナノ光電子物性を解明する研究に取り組む。本研究は、共同プロジェクト研究「カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御」(H30-R2年度)から発展した。(H30/A08)</p>
<p>14. バイオニック情報処理システムの人工再構成</p>	<p>JST-さきがけ(戦略的創造研究推進事業(総額予算 45,750千円))</p>	<p>H30~R3年度 山本 英明 准教授</p>	<p>次世代コンピューティング技術の基盤となる情報処理システムとしての神経細胞ネットワークの機能解析とモデリングに関する課題である。本研究は、共同プロジェクト研究「大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明」(H29-R1)および「ミニマルブレインの理解と再構築」(H29-R1)から発展した。(H29/A34, H29/A35)</p>
<p>15. インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術</p>	<p>JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究等(総額予算 299,100千円))</p>	<p>R2.12~R8.3 越前 功 教授(NII) 馬場口 登 教授(大阪大学)</p>	<p>本研究は、AIにより生成されたフェイクメディアがもたらす潜在的な脅威に適切に対処すると同時に、多様なコミュニケーションと意思決定を支援するソーシャル情報基盤技術を確立することを目的とする。 本研究は、共同プロジェクト研究「多機能マルチメディア生成技術に関する研究」(H31~R2)から発展した。(H31/B15)</p>
<p>16. 両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響</p>	<p>科学研究費助成事業 若手研究(総額予算 416万円)</p>	<p>R2~R4年度 森川 大輔 講師 (富山県立大学)</p>	<p>本研究では、両耳間差による音の分離に視覚情報が与える影響を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究「単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究」(H30-R1年度)から発展した。(H30/A17)</p>
<p>17. ネットワーク運用自動化に向けたネットワーク障害情報共有知の研究</p>	<p>科学研究費助成事業 基盤研究(B)(総額予算 14,000千円)</p>	<p>R1-R4年度 北口 善明 准教授 (東京工業大学)</p>	<p>ネットワークが複雑化するほどに障害を特定することが困難となる。エッジコンピューティング環境が広範に普及するほどにその度合いは顕著となる。本研究開発は障害特定に要する運用自動化を目的とした共有知の働きに着目した研究開発である。本研究は共同プロジェクト研究「エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開」(H31-R2年度)から発展した。(H31/B10)</p>
<p>18. 運用品質に因るインセンティブを導入した広域分散エッジコンピューティング環境の研究</p>	<p>科学研究費助成事業 若手研究(総額予算3,500千円)</p>	<p>R1-R3年度 柏崎 礼生 特任准教授 (国立情報学研究所)</p>	<p>エッジコンピューティングにおいては運用品質の向上にインセンティブがなければ高いSLAは実現できない。そこで運用品質に基づくインセンティブをエッジコンピューティング環境に導入し、行動変容の評価を行う研究である。本研究は共同プロジェクト研究「Dissipative Infrastructureの設計と国際展開」(H28-29年度)から発展した。(H28/A14)</p>

19. ブレインモルフィックコンピューティングハードウェア基盤の構築	科学研究費助成事業 基盤研究(A) (総額予算 34,300千円)	R2-R6年度 堀尾 喜彦 教授 池口 徹 教授 藤原 寛太郎 准教授 島田 裕 助教 加藤 秀行 助教 【参加機関】 東京理科大学 東京大学 埼玉大学 大分大学	新たな計算の枠組みとしてブレインモルフィックコンピューティングを創生し、これを高効率・高性能なハードウェアとして実現するための基盤を構築する。このため、脳の生物物理を、デバイス物理とダイナミクスを直接利用することによりボトムアップ的に再構成する。この際、脳の基本的な構造である階層的フィードバックを伴う双方向入れ子構造を脳型アーキテクチャとして構築し、脳に特異的な情報処理様式・機能を創発させる。さらに、ハードウェア試作により提案基盤の検証・解析を行い、新たな計算原理の探求に挑戦する。(H29/A21)
20. 制御レス高周波無線給電システムの実現に向けた研究開発	科学研究費助成事業 基盤研究(B) (総額 17,810千円)	R2-R4年度 関屋大雄 教授 【参加機関】 千葉大学 千葉工業大学 東京理科大学 福岡大学	本研究開発では、高周波ワイヤレス給電において、フィードバック制御を不要とする定電圧レギュレータを設計することを目的としている。本研究は、共同プロジェクト研究「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」(H30年度)から発展した。(H30/B12)
21. 強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システムの研究開発	人工知能研究振興財団研究 助成	R2-R4年度 中島 康彦 教授 松田 時宜 客員研究員 【参加機関】 奈良先端科学技術大学 龍谷大学	本研究では、「強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システム」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」(H30年度)から発展したものである。(H30/A28)
22. CMOSインバーティブル論理に基づく逆問題解法ハードウェアに関する基礎研究	キヤノンメディカルシステムズ(民間) (総額予算 5,000万円)	R2.4-R4.3 羽生 貴弘 教授 鬼沢 直哉 准教授	本研究開発では、CMOSインバーティブル論理を活用して、逆問題解法の手法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究H29/B17, H29/B23から発展した。(H29/B17, H29/B23)
23. 二次元ホウ素未踏マテリアルの創製と機能開拓	戦略的創造研究推進事業 (CREST) (予算総額 3億円)	R3-R8年度 松田 巖 (代表) 吹留 博一 准教授他4名 (分担)	ホウ素の二次元結晶ポロフェン誘導体の探索およびそのデバイス応用(R03/A25)
24. スマート社会基盤素子に向けた最軽量原子層材料の開発	科学研究費補助金 基盤研究(S) (予算総額 1億439万円)	R3-R7年度 松田 巖 准教授(東京大学) 代表 吹留博一 准教授(分担) 他3名	ホウ素の二次元原子薄膜の物性探索およびそのデバイス応用(R03/A25)
25. 不確定性スピントロニクスデバイス	JST戦略的創造研究推進事業 さきがけ(総額40,000千 円)	R3-R6年度 金井 駿 助教	スピントロニクスデバイスの確率的振る舞い、量子的振る舞いを理解しデバイス応用に繋げることを目的とする。(R03/A04, H31/B13)
26. 人工制御による物質・材料の「知能」の発現とコンピューティングへの展開	InaRISフェローシッププログラム (総額 1 億円)	R4-R13年度【R3年度採択決定】 深見 俊輔 教授	物質・材料の性質に着想を得た新しいコンピューティング技術を構築する。(H29/B15, H31/B02)
27. 豊かな対人コミュニケーション実現のための非言語情報 AI の検討	NEDO 「人工知能活用による革新的リモート技術開発」 事業 (予算総額 2.2億円)	R3-R6年度 北村 喜文 教授	対人コミュニケーションでは、非言語情報が重要な役割を果たしている。その中で、コミュニケーションを豊かにするために特に重要で、学術的にも挑戦的な身体動作に注目して研究を進めている。身体動作の分析単位である「動作ユニット」と人の感情や意図とを関係付けたAIを構築して、キャラクターの感情豊かな動きを生成する研究を、文理融合・産学連携・国際共同研究の体制で進めている。(R02U02, H30/B08, R03A33, H29/A14)

共同プロジェクト研究

28. Slow-to-Fast地震学	科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A) (総額 2.3億円)	R3~R7年度 新谷 昌人 教授 (東京大学) 田中 愛幸 准教授 (東京大学)	地震現象の把握に向けた地殻変動の観測技術に関する研究プロジェクトである。共プロ研で培ってきた周波数安定化レーザと小型重力加速度計を用いた重力加速度計測技術を発展させ、光ファイバネットワークを用いた面的な地殻変動計測システムの実現を目指す。(R03/A31)
29. グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用	科学研究費助成事業 基盤研究(A) (総額42,120千円)	R3.4~R8.3 尾辻 泰一 教授 佐藤 昭 准教授	本研究は、グラフェンディラックプラズモンのパリティ・時間反転対称性を能動的に制御するという新原理の導入により未踏THz周波数帯で室温動作する高強度・超高速変調型グラフェンプラズモニックレーザトランジスタの実現に挑む。共同プロジェクト研究(国際型) H31/A01での共同研究でその基本アイデアの創出と計画構想の具体化に繋がる知見を得た。(H31/A01)
30. マルチセルラバイオコンピューティング	科学研究費助成事業 学術変革領域研究(B) (総額)	R3-R5年度 平野 愛弓 教授 佐藤 茂雄 教授 堀尾 喜彦 教授 【参加機関】 早稲田大学 北海道大学 公立はこだて未来大学 岡山大学 同志社大学 筑波大学 福岡大学 大分大学 東京大学 生理学研究所 University of Barcelona University of Calgary University of Bordeaux University of Minnesota	本学術変革領域では、生物の脳が多細胞ネットワークを物質的基盤として高度な情報処理を実現する作動原理を理解し、さらに数理モデルとして記述するための生物学-工学-情報学を横断する新たな学理体系の創成を目指している。本研究は、共同プロジェクト研究「人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化」(R2-R4年度)および「ミニマルブレインの理解と再構築」(R2-R4年度)から発展した。(R02/A02, R02/A20)
31. アファンタジアの包括的理解に向けた認知・神経科学的検討	科学研究費助成事業 基盤研究(B) (13,500千円)	R4~R6年度【R3年度内定】 高橋 純一 准教授 (福島大学) 坂本 修一 教授 齋藤 五大 助教 (文学研究科) 安永 大地 准教授 (金沢大学) 大村 一史 教授 (山形大学) 杉村 伸一郎 教授 (広島大学) 行場 次朗 教授 (尚絅学院大学) 堀川 友慈 研究主任 (NTT CS研)	心的イメージが浮かびにくい特質であるアファンタジアを対象として、その認知・神経基盤の解明を試みる。(R03/B11)
32. 人間の選択的情報処理に基づく聴空間共有型コミュニケーションプラットフォームの実現	科学研究費助成事業 基盤研究(A) (31,800千円)	R4~R7年度【R3年度内定】 坂本 修一 教授 寺本 渉 教授 (熊本大学) 大谷 真 准教授 (京都大学) 寺岡 諒 特別研究員 (熊本大学)	聴覚情報によるリアルな外界空間をバーチャルで構築するための基盤技術を開発する。(R03/A16)
33. 脳の可塑性による注意機能改善に関する基礎的研究	科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A) 公募研究 (4,900千円)	R3~R4年度 寺岡 諒 特別研究員 (熊本大学)	聴覚的注意を中心に加齢に伴う機能低下を補うための方法を確立する。(R03/A16)
34. 順応およびフラッシュ呈示で誘導される円図形変形錯視の共通機構の解明	科学研究費助成事業 基盤研究(C) (2,800千円)	R3~R5年度 櫻井 研三 教授 (東北学院大学)	ラッシュ呈示による円図形変形錯視の研究 (R02/B14)
35. ビスポーク音声デザインの骨格形成と体系化	科学研究費助成事業 基盤研究(A) (32,900千円)	R3~R6年度 森勢 将雅 専任准教授 (明治大学) 田中 章浩 教授 (東京女子大学) 齋藤 大輔 准教授 (東京大学) 高道 慎之介 助教 (東京大学)	音声合成研究の新たな方向性として、計算機があたかも職人のようにユーザと共同し、ユーザの音声デザインを助ける技術開発を進め「ビスポーク音声デザイン」として体系化する。(H31/A13)

第6 国際活動

1. 電気通信研究所国際シンポジウム (2021年度に開催された通研国際シンポジウム)

第110回	2021 Spintronics Workshop on LSI	令和3年6月13日
第111回	RIEC International Symposium: The 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2021)	令和3年11月1日-11月4日
第112回	1st Online RIEC International Workshop on Spintronics	令和3年11月18日
第113回	RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction	令和4年2月11日
第114回	The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	令和4年2月18日-2月19日
第115回	The 12th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics	令和4年3月14日-3月15日
第116回	International Symposium on Yotta Informatics	令和4年3月17日-3月18日
第117回	6th & 7th CIES Technology Forum	令和4年3月22日-3月23日

2. 本研究所教員が編集委員をしている国際ジャーナル

1. Applied Physics Express
2. Auditory Perception and Cognition
3. Bioinspiration & Biomimetics
4. Computer Animation and Virtual Worlds
5. Frontiers in Neuroscience
6. IEEE Transactions on Circuits and Systems I
7. Japanese Journal of Applied Physics
8. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
9. Scientific Reports
10. Soft Robotics

3. 本研究所教員が組織委員をつとめた最近の国際会議

1. 10th 2021 IEEE International Conference on Communications, Network, and Satellite (IEEE Comnetsat 2021)
2. 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-11)
3. 15th International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2020)
4. 17th EuroVR International Conference (EuroVR 2020)
5. 2020 IEEE International Symposium on Radio- Frequency Integration Technology (RFIT 2020)
6. 2020 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2020)
7. 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020)
8. 26th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2021)
9. 29th International Workshop on Post Binary ULSI Systems
10. 39th ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2021)
11. 50th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2020)
12. 7th International Workshop on Rewriting Techniques for Program Transformations and Evaluation (WPTE 2020)
13. IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2021 (APWiMob 2021)
14. IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD 2021)
15. IEEE The International Magnetics Conference (INTERMAG 2020)
16. IEEE The International Magnetics Conference (INTERMAG 2021)
17. IEEE The Magnetic Recording Conference (TMRC 2020)
18. IEEE The Magnetic Recording Conference (TMRC 2021)
19. IEEE/ACM International Symposium on Quality of Service 2021 (IwQoS 2021)
20. International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines 2021, Program committee
21. INTERNATIONAL TELETRAFFIC CONGRESS ITC 32
22. The 11th International Conference on ICT Convergence (ICTC 2020)
23. The 2020 IEEE 5G World Forum (5GWF'20)
24. The 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2021)
25. The 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2021)
26. The 2021 International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow'21)
27. The 2nd International Sympoisum on Designing Human-Centric IoT Society
28. The 35th International Conference on Information Networking (ICOIN 2021)
29. The 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020)
30. The 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT 2020)
31. The 9th RIEC International Symposium on Brain Fuctions and Brain Computer (9th BFBC)
32. The Eighth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'20)
33. The IEEE International Conference on Communications (ICC 2021)
34. The Symposium on Emerging Topics in Computing and Communications (SETCAC'20)

4. 国際学会における招待講演数

区分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
招待講演数	97	80	96	42	62

5. 国際共同研究の実施状況

実施状況(件数)	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
	106	101	118	98	74

6. 国際共同研究一覧

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
デンマーク	デンマーク工科大学	ブラックシリコンのキャリア分布評価に向けた非線形誘電率顕微鏡法の適用可能性の検討	2017. 11～	長研
英国	The University of York	計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出	2017. 10～	白井研
ポーランド	Polish Academy of Sciences	機能性磁性材料の電子構造と物性に関する研究	1999. 4～	深見研
スウェーデン	University of Gothenburg	スピントロニクス素子の発振現象に関する研究	2016. 11～	深見研
スイス	ETH Zurich	X線顕微鏡を用いたスピン軌道トルク磁化反転の観察	2016. 11～	深見研
フランス	Université Paris-Sud	スピン軌道トルク磁化反転の時間分解測定	2016. 9～	深見研
シンガポール	National University of Singapore	スピントルクダイオードを用いたエナジーハーベスティングの検討	2017. 9～	深見研
米国	University of Chicago	酸化物材料の量子情報応用	2018. 3～	深見研
米国	Purdue University	低熱安定性磁気トンネル接合を用いた新概念情報処理に関する研究	2018. 2～	深見研
フランス	Spintec	磁気トンネル接合における発振現象に関する研究	2018. 1～	深見研
ドイツ	マインツ大学	反強磁性体の共鳴現象に関する研究	2018. 11～	深見研
オーストラリア	University of New South Wales	Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures	2019. 4～	深見研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
フィリピン	ミンダナオ州立大学	Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy	2019. 4～	深見研
米国	University of Chicago	磁気トンネル接合への色中心の導入と量子状態の電氣的制御	2019. 10～2022. 3	深見研
インド	Indian Institute of Science Education and Research Bhopal	Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets.	2020. 4～	深見研
ドイツ	Johannes Gutenberg University Mainz	絶縁体スピンオービトロニクス	2020. 4～2022. 3	深見研
米国	UCサンタバーバラ	確率動作磁気トンネル接合素子とその計算機応用	2021. 1～	深見研
スペイン	バルセロナ大学	人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化	2021. 4～	佐藤研
ドイツ ベルギー 米国 フランス スペイン 台湾	Innovations for High Performance Microelectronics (IHP), Tech. Univ. Berlin), imec, Princeton Univ., (MIT), Univ. Stuttgart, Aix-Marseille Univ., Univ. Vigo, Forschungszentrum Juelich, National Taiwan University	新IV族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究	2020. 4～	佐藤研
スペイン	カタルーニャ工科大学	脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用	2021. 4～	佐藤研
ドイツ	Innovations for High Performance microelectronics (IHP), Technische Universität Berlin	原子層ドーピング	1995. 10～	大塚研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
ドイツ	Ruhr-University Bochum	半導体微細デバイスに関する研究	2018. 4～	大塚研
米国	Purdue University	原子層物質と微細構造のスピン物性の研究	2019. 10～	大塚研
カナダ	McMaster University	コヒーレントナイクストパルス伝送における非線形波形歪みの解析とその補償技術の開発	2020. 11～	廣岡研
英国	Imperial College London	超100GHz帯光ファイバ給電ダイレクトデジタルRF送受信機の研究	2020. 4～	末松研
ロシア	St. Petersburg Electrotechnical University	Beyond-5Gの実現に向けた高周波技術の探索	2020. 4～	末松研
シンガポール	National University of Singapore (NUS)	5G・IoTのためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	2021. 4～	末松研
米国	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ/メモリ コンピューティング基盤の研究	2020. 4～	田中研
シンガポール	Nanyang Technological University	脳型コンピューティング：物理、アーキテクチャ、材料、アプリケーション	2020. 12. 7～ 2022. 3. 31	田中研
米国	University at Buffalo, SUNY, Dept Electrical Engineering	Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures	2019. 4～2022. 3	尾辻研
UAE	United Arab Emirates University	Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications	2019. 4～2022. 3	尾辻研
スペイン	サラマンカ大学	Development of graphene based devices for terahertz applications	2020. 4～	尾辻研
ロシア	Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of Russian academy of sciences	Japan-Russia International collaborative research on a large-area photoconductive terahertz detector for high-speed imaging	2020. 4～2022. 3	尾辻研
ロシア	Institute for Physics of Microstructures, Russian Academy of Sciences	テラヘルツ放射利得・検出媒質としてのディラック分散則を有するナノ構造に関する研究	2020. 4～2023. 3	尾辻研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
米国	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	周波数無相関量子もつれ光子対光源に関する共同研究	2016.1～	枝松研
インド	Raman Research Institute	量子計測基本過程に関する共同研究	2016.1～	枝松研
インド	Bose Institute	量子計測過程に関する共同研究	2018.5～	枝松研
米国	Rochester Institute of Technology	Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes	2020.4～	坂本研
オーストラリア	York University The University of Queensland	3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	2020.4～	坂本研
オーストラリア	University of Sydney	バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究	2021.4～	坂本研
英国 オーストラリア	York University University of New South Wales	3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	2020.4～	坂本研
英国 オーストラリア	York University University of New South Wales	3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	2020.4～	坂本研
英国	University College London	聴覚の空間的注意に関する研究	2021.10～	坂本研
台湾	National Taiwan University	AI研究と人間科学に関する研究	2021.4～	塩入研
台湾	国立台湾大学	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	2020.4～	塩入研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
英国 オランダ ドイツ 台湾	University College London KU Leuven, Centre for Integrative Neuroscience 国立台湾大学	社会行動の脳内機序解明にむけたヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討	2021.4～	塩入研
台湾	National Taiwan University	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	2021.4～	塩入研
米国 タイ 台湾 韓国	オハイオ州立大学 ラジャマンガラ工科大学 国立交通大学 国立交通大学	色名に関する文化差および個人差の多言語での研究	2020.4～2022.3	塩入研
台湾	国立台湾大学	学習支援のための追体験システムの構築	2019.4～	塩入研
カナダ	University of Tront	人の三次元的身体的な行動解析に基づいた空間型ユーザインタフェース	2017.4～2021.3	北村研
インド	IIT Bombay	Interactive Content for Emergent Users	2019.4～	北村研
米国	マサチューセッツ工科大学	HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展	2019.4～	北村研
韓国	Yonsei University	アジアにおける HCI研究コミュニティの活性化	2019.4～	北村研
シンガポール	国立シンガポール大学	地域活性化のためのUAV利活用技術とその社会実装に関する研究会	2019.4～	北村研
シンガポール	School of Informationsystems, SingaporeManagement University	複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース	2019.4～	北村研
ニュージーランド	カンタベリー大学	適応的な触覚提示によるVR体験の没入感向上と動作範囲の削減	2019.10～2023.3	北村研
イタリア	Palermo University	HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music	2020.4～	北村研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
タイ	Chulalongkorn University	Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system	2020.4～	北村研
カナダ	University of Tronto	人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザインタフェース	2020.4～	北村研
シンガポール	国立シンガポール大学	音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発	2020.4～	北村研
オーストラリア	The University of Melbourne	Cognition-Aware-Systems for Improving Human Performance	2020.4～	北村研
スイス	Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL)	生物ロコモーションの制御原理の解明とロボット応用	2015.4～	石黒研
英国	The University of Manchester	古生物のロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究	2017.4～	石黒研
スイス, カナダ	スイス連邦工科大学ローザンヌ校, オタワ大学	水陸両用ロコモーションの発現機序解明に関する研究	2017.9～2022.8	石黒研
英国	The University of Warwick	バクテリアのバイオフィルム形成現象から切り拓く超サバイバルシステムの革新的設計論	2019.10～2023.3	石黒研
台湾 中国 韓国	National Taiwan University Old Dominion University Perter Bruggeman University of Petroleum, Advanced Institute of Science and Technology,	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成	2021.4～	平野研
ドイツ 米国	エアランゲン大学 アルゴンヌ国立研究所	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	2021.4～	平野研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
台湾 中国 韓国	National Taiwan University Old Dominion University Perter Bruggeman University of Petroleum, Advanced Institute of Science and Technology,	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成	2021.4～	平野研
ドイツ 米国	エアランゲン大学 アルゴンヌ国立研究所	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	2021.4～	平野研
米国	マサチューセッツ工科大学	組合せ論理の特性に関する研究	2017.10～	中野研
中国	北京大学	双方向変換の深化による自律分散ビッグデータの相互運用基盤に関する研究	2015.4～	中野研
米国	マサチューセッツ工科大学	組合せ論理の特性に関する研究	2017.10～2021.9	中野研
シンガポール	Nanyang Technological University	PSDL: Physical Security of Deep Learning	2019.9～	本間研
カナダ	トロント大学 McGill大学 ウオータールー大学	脳型LSIとその関連技術国際共同研究	2020.4～	羽生研

7. 外国人研究者の招へい状況

(人)

区分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
文部科学省事業	4	67	63	6	6
日本学術振興会事業	9	10	9	4	6
当該法人による事業	82	84	26	11	8
その他	71	69	109	16	5
計	166	230	207	37	25
地域別内訳					
①アジア	56	74	82	23	15
②北米	42	34	22	4	3
③中南米	2	2	1	1	2
④ヨーロッパ	62	110	97	9	5
⑤オセアニア	3	7	3	0	0
⑥中東	1	2	2	0	0
⑦アフリカ	0	1	0	0	0
計	166	230	207	37	25
滞在期間別内訳					
1 月以上滞在	33	36	41	34	21
1 週間以上 1 月未満	42	48	41	2	2
1 週間未満	91	146	125	1	2
計	166	230	207	37	25

8. 研究者の海外派遣状況

(人)

区分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
文部科学省事業	25	9	37	0	1
日本学術振興会事業	112	126	105	0	0
当該法人による事業	27	23	49	0	0
その他	102	126	86	0	8
計	266	284	277	0	9
地域別内訳					
①アジア	56	65	49	0	0
②北米	75	76	91	0	5
③中南米	3	1	1	0	0
④ヨーロッパ	120	136	121	0	4
⑤オセアニア	11	3	13	0	0
⑥中東	0	1	1	0	0
⑦アフリカ	1	2	1	0	0
計	266	284	277	0	9

9. 国際学術交流協定一覧

1. 部局間協定

締結時 代表者	協 定 校		協定締結 年 月 日	研究課題/目標	協定締結 のねらい					更 新 状 況
	国名	研究機関名			共同 研究 の 促 進	学 生 ・ 教 職 員 交 流	国 際 貢 献	地 域 連 携	そ の 他	
教授 津屋 昇	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー 物理研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾 性結合に関する研究	○	○				継 続
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー (IHP)	2001.1.22	IV族半導体極限ヘテロ 構造形成プロセスに関 する研究	○	○				継 続
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 マルセイユナノサイ エンス学際センター	2005.10.24	半導体表面・界面制御 結晶成長の基礎と応用 の研究	○	○				継 続
教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子お よびスピントロニクス の基礎と応用の研究	○	○				継 続
教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネット ワーク研究所 (WINLAB)	2009.12.9	超高速屋内ブロードバ ンド無線通信システム の研究	○	○				継 続
教授 尾辻泰一	ロシア	バウマン・モスクワ国 立工科大学 フォト ニクス・赤外工学研究 教育センターおよび 無線電子工学・レーザ ー工学研究所	2014.6.26	新材料として注目され ているグラフェンおよ び化合物半導体を中心 とする半導体ヘテロエ ピタキシャル材料シス テムによるテラヘルツ 機能デバイス応用の研 究を大きく前進させる	○	○				継 続
教授 本間尚文	フランス	国立パリ高等情報通 信大学	2017.10.25	・ハードウェアセキュリ ティ分野において国際共 同研究を推進すること ・教員・研究員の交流 により国際化を促進す ること	○	○				継 続
教授 尾辻泰一	ロシア	モスクワ国立大学物 理学部	2018.6.8	共同研究の推進と高度 人材育成	○	○				継 続
教授 塩入諭	台湾	国立台湾大学人工知 能・先端ロボットセン ター	2018.7.31	共同研究の推進と高度 人材育成	○	○				継 続

教授 尾辻泰一	ロシア	ロシア科学アカデミー 超高周波半導体電子工学研究所および ロシア科学アカデミー 総合物理学研究所	2020.9.25	テラヘルツ光電子工学、半導体プラズモニクス、テラヘルツイメージング工学、テラヘルツ無線通信工学などの理工学分野における国際共同研究の推進	○	○					継続
------------	-----	---	-----------	--	---	---	--	--	--	--	----

2. 大学間協定

国名	協定校	協定締結年月日	協定締結のねらい					更新状況
			共同研究の促進	学生・教職員交流	国際貢献	地域連携	その他	
アメリカ	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	1990.3.15	○	○				継続
イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	○	○	○			継続
ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	○	○				継続
ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	○	○	○			継続
台湾	国立清華大学	2009.12.2	○	○				継続
アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	○	○				継続
ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	2012.2.1	○	○				継続
ドイツ	ヨハネスグーテンベルグ大学マインツ	2012.2.6	○	○				継続
ドイツ	ケムニッツ工科大学	2013.10.31	○	○				継続
ドイツ	レーゲンスブルク大学	2017.3.16	○	○				継続
ドイツ	オルデンプルク大学	2017.7.13	○	○				継続
アメリカ	パーデュー大学	1997.9.23 通研は2017年より参画	○	○				継続
スペイン	サラマンカ大学	2018.5.20	○	○				継続
ロシア	サンクトペテルブルク電気工科大学	2019.11.22	○			○	○	継続
アメリカ	カリフォルニア大学 (10校)	1990.3.15 サンタバーバラ校以外について2020年より参画	○	○				継続

国際活動

ドイツ	ミュンヘン工科大学	2010.8.3 通研は2020年より参画	○	○					継続
台湾	国立台湾大学	2000.11.18 通研は2020年より参画	○	○					継続
台湾	国立陽明交通大学	2005.12.15 通研は2020年より参画	○	○					継続
スイス	スイス連邦工科大学ローザンヌ校	2000.11.20 通研は2020年より参画	○	○					継続
オーストラリア	メルボルン大学	2014.11.7 通研は2021年より参画	○	○					新規
ポーランド	ポーランド科学アカデミー	2021.7.23 通研は2021年より参画	○	○					新規

第7 社会貢献

1. 東北大学 電気・情報 産学官フォーラム参加者数 (人)

年度	平成 29 年度 東京	平成 30 年度 仙台	令和元年度 東京	令和 2 年度 (オンライン開催)	令和 3 年度 (オンライン開催)
技術セミナー	266	—	—	—	—
講演会	266	161	194	242	258
<外部>	150	105	121	150	153
<内部>	116	56	73	92	105
来場者数	266	161	194	242	258

2. 通研一般公開参加者数 (人)

参加者数	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
	2, 137	2, 883	(開催中止)	オンライン 開催	オンライン 開催

※1 平成 29 年度は片平まつりと同時開催

※2 令和元年度は片平まつりと同時開催予定であったが、令和元年東日本台風
(台風 19 号) 接近に伴う悪天候が予想されたため中止した。

※3 令和 2 年度はオンライン開催

通研公開 2020 特設サイトのアクセス数：約 6, 300 回

研究紹介、公開実験、工作教室のビデオ視聴回数：約 1, 600 回

工作キットの送付数：約 730 セット

※4 令和 3 年度はオンライン開催

通研公開 2021 特設サイトのアクセス数：約 4, 100 回

研究紹介、公開実験、工作教室のビデオ視聴回数：約 2, 500 回

工作キットの送付数：約 610 セット

3. 学会名誉会員及びフェローの状況 (人)

区 分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
国際学会 フェロー	9	4	2	2	2
国内学会 フェロー	9	6	6	8	8
計	18	10	8	10	10

4. 学会名誉会員及びフェロー一覧

国際学会

学 会 名	氏 名
IEEE	尾 辻 泰 一
OSA	尾 辻 泰 一

※ IEEE = The Institute of Electrical and Electronics Engineers

OSA = Optical Society of America

国内学会

学 会 名	氏 名
電子情報通信学会	堀 尾 喜 彦
電子情報通信学会	末 松 憲 治
応用物理学会	尾 辻 泰 一
応用物理学会	平 野 愛 弓
日本ソフトウェア学会	大 堀 淳
日本バーチャルリアリティ学会	北 村 喜 文
日本磁気学会	田 中 陽一郎
日本表面真空学会	平 野 愛 弓

5. 学会役員の状況

区 分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
国際学会役員	1	0	1	1	2
国内学会役員	13	13	12	12	11
計	14	13	13	13	13

※会長、理事、評議員等

5. 学会役員の様況

区 分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
国際学会役員	1	0	1	1	2
国内学会役員	13	13	12	12	11
計	14	13	13	13	13

※会長、理事、評議員等

6. 学会役員一覧

国際学会 (2021)

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
IEEE	Japan Council Chapter Operations Committee Chair	2021～現在	末松 憲治
IEEE	Solid-State Circuits Society Japan Chapter Chair	2021～現在	羽生 貴弘

国内学会 (2021)

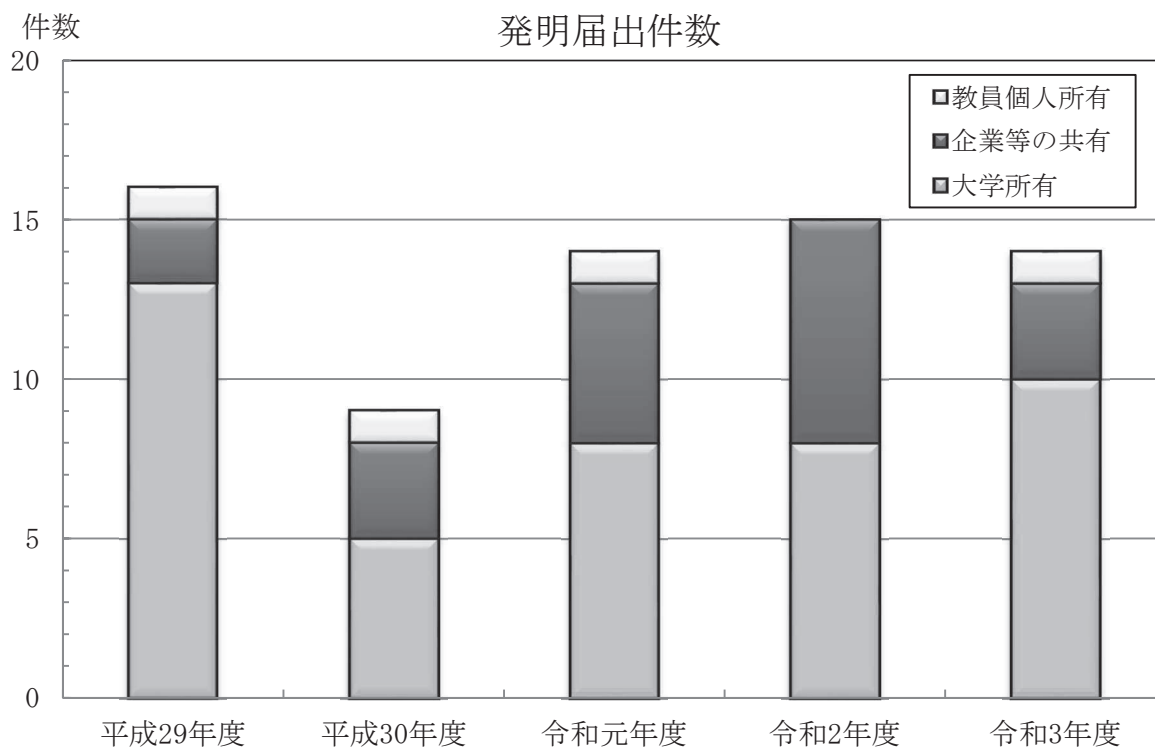
学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007～現在	北村 喜文
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007～現在	高嶋 和毅
日本ソフトウェア科学会	評議員	2015～現在	大堀 淳
日本ナノメディシン交流協会	理事	2017～現在	山本 英明
日本誘電体学会	理事・副会長	2019～現在	長 康雄
日本応用物理学会	理事	2019～2021	尾辻 泰一
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2019～現在	北村 喜文
日本表面真空学会	理事	2020～現在	平野 愛弓
日本音響学会	理事	2021～現在	坂本 修一
映像情報メディア学会	副会長	2021～現在	塩入 諭
日本神経回路学会	理事	2021～現在	山本 英明

7. 各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

区 分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
文部科学省関連	13	0	2	3	5
他省庁	24	15	13	14	16
地方公共団体	6	2	4	6	5
財団、学会	34	30	29	25	23
その他	66	86	106	80	85
計	143	133	154	128	134

第8 産学官連携

1. 発明届出件数、特許出願数、特許登録数



区 分	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
発明届出件数	16	9	14	15	14
教員個人所有	1	1	1	0	1
企業等の共有	2	3	5	7	3
大学所有	13	5	8	8	10
国内出願数	22	18	14	12	16
国内登録数	29	20	17	24	14
外国出願数 (含む PCT 出願数)	22	23	14	17	9
外国登録数	7	9	12	19	11

2. 電気通信研究所における技術的相談、指導

(件)

区 分	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
技術的相談、 指導	65	46	88	86	64

第9 広報活動と情報公開

開催行事

1. 2021 Spintronics Workshop on LSI	2021年6月13日(日)
2. RIEC International Symposium : The 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2021)	2021年11月1日(月)～11月4日(木)
3. 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics	2021年11月18日(木)
4. RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction	2022年2月11日(金)
5. The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2022年2月18日(金)～2月19日(土)
6. The 12th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics	2022年3月14日(月)～3月15日(火)
7. International Symposium on Yotta Informatics	2022年3月17日(木)～3月18日(金)
8. 6th & 7th CIES Technology Forum	2022年3月22日(火)～3月23日(水)
9. 電気通信研究所 工学研究会	随時
10. 東北大学 電気・情報 産学官フォーラム	2021年10月8日(金)【オンライン開催】
11. 電気通信研究所 一般公開	2021年10月9日(土)【オンライン開催】
12. 電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会	2022年2月17日(木)【オンライン開催】

出版物

1. 電気通信研究所要覧 (和文・英文)	年1回発行
2. 電気通信研究所研究活動報告 (和文版・英文版)	HP掲載予定
3. 東北大学電通談話会記録	年2回発行
4. ナノ・スピン実験施設研究報告書	年1回発行
5. 電気通信研究所ニュースレター (RIEC NEWS)	1回発行 (令和3年度)

その他

1. 電気通信研究所ホームページ	公開中
2. 電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中
3. RIEC Newsweb	公開中

職 員

(令和3年5月1日)

所長 (併) / 教授	Director, Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
-------------	---------------------	-------	-----------------

Research Divisions

Information Devices Division

■ ナノフォトエレクトロニクス研究室		Nano-photoelectronics	
教 授	Professor	(白井正文)	(Masafumi Shirai)
教 授 (兼)	Professor*	藤掛英夫	Hideo Fujikake
准教授	Associate Professor	片野諭	Satoshi Katano
准教授 (兼)	Associate Professor*	石鍋隆宏	Takahiro Ishinabe

■ 固体電子工学研究室		Solid State Electronics	
教 授	Professor	(佐藤茂雄)	(Shigeo Sato)
教 授 (兼)	Professor*	遠藤哲郎	Tetsuo Endoh
教 授 (兼)	Professor*	鷲尾勝由	Katsuyoshi Washio
准教授	Associate Professor	吹留博一	Hirokazu Fukidome
准教授 (兼)	Associate Professor*	岡田健	Takeru Okada
助 教	Assistant Professor	馬 奕 涛	Yitao Ma

■ 誘電ナノデバイス研究室		Dielectric Nano-Devices	
教 授	Professor	長 康 雄	Yasuo Cho
教 授 (兼)	Professor*	小玉哲也	Tetsuya Kodama
准教授	Associate Professor	山末耕平	Kohei Yamasue
准教授	Associate Professor	平永良臣	Yoshiomi Hiranaga
准教授 (兼)	Associate Professor*	吉澤 晋	Shin Yoshizawa

■ 物性機能設計研究室		Materials Functionality Design	
教 授	Professor	白井正文	Masafumi Shirai
教 授 (兼)	Professor*	田中和之	Kazuyuki Tanaka
教 授 (兼)	Professor*	安藤 晃	Akira Ando
教 授 (兼)	Professor*	大関 真之	Masayuki Ohzeki
准教授	Associate Professor	阿部和多加	Kazutaka Abe
准教授 (兼)	Associate Professor*	高橋和貴	Kazunori Takahashi
助 教	Assistant Professor	辻川雅人	Masahito Tsujikawa
助 教	Assistant Professor	新屋 ひかり	Hikari Shinya
学術研究員	Research Fellow	Tufan Roy	Tufan Roy
学術研究員	Research Fellow	井上 順一郎	Jun-ichiro Inoue

■ スピントロニクス研究室		Spintronics	
教 授	Professor	深見俊輔	Shunsuke Fukami
教 授 (兼)	Professor*	松倉文礼	Fumihiro Matsukura
教 授 (兼)	Professor*	安藤康夫	Yasuo Ando
教 授 (兼)	Professor*	島津武仁	Takehito Simatsu
教 授 (兼)	Professor*	齊藤伸	Shin Saito
教 授 (兼)	Professor*	池田正二	Shoji Ikeda
准教授 (兼)	Associate Professor*	角田匡清	Masakiyo Tsunoda
准教授 (兼)	Associate Professor*	大兼幹彦	Mikihiko Ogane
准教授 (兼)	Associate Professor*	小川智之	Tomoyuki Ogawa
助 教	Assistant Professor	金井 駿	Shun Kanai
助 教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助 教 (兼)	Assistant Professor*	山根結太	Yuta Yamane
学術研究員	Research Fellow	五十嵐 純 太	Junta Igarashi

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室		Nano-Integration Devices and Processing	
教 授	Professor	佐藤茂雄	Shigeo Sato
教 授 (兼)	Professor*	須川成利	Shigetoshi Sugawa
教 授 (兼)	Professor*	張山昌論	Masanori Hariyama
准教授	Associate Professor	櫻庭政夫	Masao Sakuraba
准教授	Associate Professor	山本英明	Hideaki Yamamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	黒田理人	Rihito Kuroda
助 教	Assistant Professor	佐藤信之	Nobuyuki Sato
学術研究員	Research Fellow	守谷 哲	Satoshi Moriya

■ 量子デバイス研究室		Quantum Devices	
准教授	Associate Professor	大塚 朋 廣	Tomohiro Otsuka

■ 磁性デバイス研究室 (客員)		Magnetic Devices (Visitor Section)	
客員准教授	Visiting Associate Professor	弓 仲 康 史	Yasushi Yuminaka

ブロードバンド工学研究部門	Broadband Engineering Division
---------------	--------------------------------

■ 超高速光通信研究室		Ultrahigh-speed Optical Communication	
教 授	Professor	廣 岡 俊 彦	Toshihiko Hirooka
教 授 (兼)	Professor*	山 田 博 仁	Hirohito Yamada
教 授 (兼)	Professor*	松 浦 祐 司	Yuji Matsuura
准教授	Associate Professor	葛 西 恵 介	Keisuke Kasai
准教授 (兼)	Associate Professor*	松 田 信 幸	Nobuyuki Matsuda

■ 応用量子光学研究室		Applied Quantum Optics	
教 授	Professor	八 坂 洋	Hiroshi Yasaka
准教授	Associate Professor	吉 田 真 人	Masato Yoshida
助 教	Assistant Professor	横 田 信 英	Nobuhide Yokota

■ 先端ワイヤレス通信技術研究室		Advanced Wireless Information Technology	
教 授	Professor	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
教 授 (兼)	Professor*	陳 強	Qiang Chen
特任教授	Specially Appointed Professor	芝 隆 司	Takashi Shiba
准教授 (兼)	Associate Professor*	今 野 佳 祐	Keisuke Konno

■ 情報ストレージシステム研究室		Information Storage Systems	
教 授	Professor	田 中 陽 一 郎	Yoichiro Tanaka
教 授 (兼)	Professor*	周 暁	Xiao Zhou
教 授 (兼)	Professor*	伊 藤 健 洋	Takehiro Ito
准教授	Associate Professor	Simon John Greaves	Simon J. Greaves

■ 超ブロードバンド信号処理研究室		Ultra-Broadband Signal Processing	
教 授	Professor	尾 辻 泰 一	Taiichi Otsuji
教 授 (兼)	Professor*	西 山 大 樹	Hiroki Nishiyama
教 授 (兼)	Professor*	末 光 哲 也	Tetsuya Suemitsu
准教授	Associate Professor	佐 藤 昭	Akira Satou
助 教	Assistant Professor	渡 辺 隆 之	Takayuki Watanabe
学術研究員	Research Fellow	唐 超	Chao Tang

■ 量子光情報工学研究室		Quantum-Optical Information Technology	
教 授	Professor	枝 松 圭 一	Keiichi Edamatsu
教 授 (兼)	Professor*	中 尾 光 之	Mitsuyuki Nakao
助 教	Assistant Professor	Soyoung Baek	Soyoung Baek
助 教 (兼)	Assistant Professor*	金 田 文 寛	Fumihiko Kaneda
学術研究員	Research Fellow	王 怡 昕	Yixin Wang

■ ブロードバンド通信基盤技術研究室 (客員)		Basic Technology for Broadband Communication (Visitor Section)	
客員教授	Visiting Professor	鈴 木 恭 宜	Yasunori Suzuki
客員教授	Visiting Professor	亀 田 卓	Suguru Kameda

人間情報システム研究部門	Human Information Systems Division
--------------	------------------------------------

■ 生体電磁情報研究室		Electromagnetic Bioinformation Engineering	
教 授	Professor	石 山 和 志	Kazushi Ishiyama
教 授 (兼)	Professor*	山 口 正 洋	Masahiro Yamaguchi
教 授 (兼)	Professor*	津 田 理	Makoto Tsuda
教 授 (兼)	Professor*	渡 邊 高 志	Takashi Watanabe
教 授 (兼)	Professor*	中 村 健 二	Kenji Nakamura
教 授 (兼)	Professor*	藪 上 信	Shin Yabukami
准教授 (兼)	Associate Professor*	遠 藤 恭	Yasushi Endo
准教授 (兼)	Associate Professor*	桑 波 田 晃 弘	Akihiro Kuwahata

職 員

■ 先端音情報システム研究室		Advanced Acoustic Information Systems	
教 授	Professor	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto
教 授 (兼)	Professor*	金 井 浩	Hiroshi Kanai
教 授 (兼)	Professor*	伊 藤 彰 則	Akinori Ito
准教授 (兼)	Associate Professor*	能 勢 隆	Takashi Nose
准教授 (兼)	Associate Professor*	荒 川 元 孝	Mototaka Arakawa

■ 高次視覚情報システム研究室		Visual Cognition and Systems	
教 授	Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
准教授	Associate Professor	曾 加 蕙	Chia-Huei Tseng
准教授 (兼)	Associate Professor*	杉 田 典 大	Norihiro Sugita
助 教	Assistant Professor	羽 鳥 康 裕	Yasuhiro Hatori
助 教 (兼)	Assistant Professor*	Sun Sai	Sun Sai
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Guillen Barja Luis Alberto	Guillen Barja Luis Alberto
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Wu Wei	Wu Wei

■ 情報コンテンツ研究室		Information Content	
教 授	Professor	北 村 喜 文	Yoshifumi Kitamura
教 授 (兼)	Professor*	加 藤 寧	Nei Kato
教 授 (兼)	Professor*	菅 沼 拓 夫	Takuo Suganuma
准教授	Associate Professor	高 嶋 和 毅	Kazuki Takashima
准教授 (兼)	Associate Professor*	阿 部 亨	Toru Abe
准教授 (兼)	Associate Professor*	川 本 雄 一	Yuichi Kawamoto
助 教	Assistant Professor	藤 田 和 之	Kazuyuki Fujita
助 教	Assistant Professor	池 松 香	Kaori Ikematsu

■ 実世界コンピューティング研究室		Real-World Computing	
教 授	Professor	石 黒 章 夫	Akio Ishiguro
准教授	Associate Professor	加 納 剛 史	Takeshi Kano
助 教	Assistant Professor	福 原 洸	Akira Fukuhara
助 教 (兼)	Assistant Professor*	安 井 浩 太 郎	Kotaro Yasui

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室		Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	
教 授	Professor	平 野 愛 弓	Ayumi Hirano
教 授 (兼)	Professor*	吉 信 達 夫	Tatsuo Yoshinobu
教 授 (兼)	Professor*	木 下 賢 吾	Kengo Kinoshita
教 授 (兼)	Professor*	金 子 俊 郎	Toshiro Kaneko
准教授 (兼)	Associate Professor*	大 林 武	Takeshi Obayashi
准教授 (兼)	Associate Professor*	宮 本 浩 一 郎	Koichiro Miyamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	神 崎 展	Makoto Kanzaki
准教授 (兼)	Associate Professor*	西 羽 美	Hafumi Nishi
准教授 (兼)	Associate Professor*	加 藤 俊 顕	Toshiaki Kato
助 教	Assistant Professor	但 木 大 介	Daisuke Tadaki
助 教	Assistant Professor	小 宮 麻 希	Maki Komiya

■ 多感覚情報統合認知システム研究室		Multimodal cognitive system	
教 授 (兼)	Professor*	坂 井 信 之	Nobuyuki Sakai
助 教	Assistant Professor	山 本 浩 輔	Kosuke Yamamoto

■ マルチモーダルコンピューティング研究室 (客員)		Multimodal Computing (Visitor Section)	
客員教授	Visiting Professor	下 條 信 輔	Shinsuke Shimojoh
客員教授	Visiting Professor	井 上 光 輝	Mitsuteru Inoue
客員准教授	Visiting Associate Professor	小 山 翔 一	Shoichi Koyama

システム・ソフトウェア研究部門 Systems & Software Division

■ ソフトウェア構成研究室		Software Construction	
教 授	Professor	大 堀 淳	Atsushi Oori
教 授 (兼)	Professor*	篠 原 歩	Ayumi Shinohara
教 授 (兼)	Professor*	住 井 英 二 郎	Eijiro Sumii
准教授	Associate Professor	上 野 雄 大	Katsuhiro Ueno
准教授 (兼)	Associate Professor*	松 田 一 孝	Kazutaka Matsuda
准教授 (兼)	Associate Professor*	吉 仲 亮	Ryo Yoshinaka
助 教	Assistant Professor	菊 池 健 太 郎	Kentaro Kikuchi

■ コンピューティング情報理論研究室		Computing Information Theory	
教授	Professor	中野圭介	Keisuke Nakano
教授(兼)	Professor*	静谷啓樹	Hiroki Shizuya
教授(兼)	Professor*	大町真一郎	Shinichiro Omachi
准教授(兼)	Associate Professor*	酒井正夫	Masao Sakai
准教授(兼)	Associate Professor*	磯邊秀司	Shuji Isobe
准教授(兼)	Associate Professor*	菅谷至寛	Yoshihiro Sugaya
助教	Assistant Professor	浅田和之	Kazuyuki Asada

■ コミュニケーションネットワーク研究室		Communication Network Systems	
教授	Professor	長谷川剛	Go Hasegawa
教授(兼)	Professor*	斎藤浩海	Hiroumi Saito
教授(兼)	Professor*	乾健太郎	Kentaro Inui
教授(兼)	Professor*	鈴木潤	Jun Suzuki
准教授	Associate Professor	北形元	Gen Kitagata
准教授(兼)	Associate Professor*	後藤英昭	Hideaki Goto
准教授(兼)	Associate Professor*	水木敬明	Takaaki Mizuki

■ 環境調和型セキュア情報システム研究室		Environmentally Conscious Secure Information System	
教授	Professor	本間尚文	Naofumi Homma
助教	Assistant Professor	上野嶺	Rei Ueno

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室		Soft Computing Integrated System	
教授	Professor	堀尾喜彦	Yoshihiko Horio

■ 新概念 VLSI システム研究室		New Paradigm VLSI System	
教授	Professor	羽生貴弘	Takahiro Hanyu
教授(兼)	Professor*	青木孝文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏井雅典	Masanori Natsui
准教授	Associate Professor	鬼沢直哉	Naoya Onizawa
准教授(兼)	Associate Professor*	伊藤康一	Koichi Ito
学術研究員	Research Fellow	玉越晃	Akira Tamakoshi

■ 情報社会構造研究室(客員)		Information Social Structure (Visitor Section)	
客員教授	Visiting Professor	松岡浩	Hiroshi Matsuoka

附属研究施設 Research Facilities

附属ナノ・スピントロニクス実験施設		Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics	
施設長(併)/教授	Director, Professor	堀尾喜彦	Yoshihiko Horio

■ 共通部		Cooperation Section	
技術専門職員(兼)	Technical Staff*	森田伊織	Iori Morita
技術一般職員(兼)	Technical Staff*	小野力摩	Rikima Ono
技術一般職員(兼)	Technical Staff*	武者倫正	Michimasa Musha

■ スピントロニクス研究室		Spintronics	
教授	Professor	深見俊輔	Shunsuke Fukami
教授(兼)	Professor*	松倉文礼	Fumihiro Matsukura
教授(兼)	Professor*	安藤康夫	Yasuo Ando
教授(兼)	Professor*	島津武仁	Takehito Simatsu
教授(兼)	Professor*	齊藤伸	Shin Saito
教授(兼)	Professor*	池田正二	Shoji Ikeda
准教授(兼)	Associate Professor*	角田匡清	Masakiyo Tsunoda
准教授(兼)	Associate Professor*	大兼幹彦	Mikihiko Ogane
准教授(兼)	Associate Professor*	小川智之	Tomoyuki Ogawa
助教	Assistant Professor	金井駿	Shun Kanai
助教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助教(兼)	Assistant Professor*	山根結太	Yuta Yamane

職 員

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室		Nano-Bio Hybrid Molecular Devices	
教 授	Professor	平 野 愛 弓	Ayumi Hirano
教 授 (兼)	Professor*	吉 信 達 夫	Tatsuo Yoshinobu
教 授 (兼)	Professor*	木 下 賢 吾	Kengo Kinoshita
教 授 (兼)	Professor*	金 子 俊 郎	Toshiro Kaneko
准教授 (兼)	Associate Professor*	大 林 武	Takeshi Obayashi
准教授 (兼)	Associate Professor*	宮 本 浩 一 郎	Koichiro Miyamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	神 崎 展	Makoto Kanzaki
准教授 (兼)	Associate Professor*	西 羽 美	Hafumi Nishi
准教授 (兼)	Associate Professor*	加 藤 俊 顕	Toshiaki Kato
助 教	Assistant Professor	但 木 大 介	Daisuke Tadaki
助 教	Assistant Professor	小 宮 麻 希	Maki Komiya

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室		Nano-Integration Devices and Processing	
教 授	Professor	佐 藤 茂 雄	Shigeo Sato
教 授 (兼)	Professor*	須 川 成 利	Shigetoshi Sugawa
教 授 (兼)	Professor*	張 山 昌 論	Masanori Hariyama
准教授	Associate Professor	櫻 庭 政 夫	Masao Sakuraba
准教授	Associate Professor	山 本 英 明	Hideaki Yamamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	黒 田 理 人	Rihito Kuroda
助 教	Assistant Professor	佐 藤 信 之	Nobuyuki Sato

附属ブレインウェア研究開発施設		Laboratory for Brainware Systems	
施設長 (併) / 教授	Director, Professor	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu

■ 認識・学習システム研究室		Recognition and Learning Systems	
教 授	Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教 授	Professor	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室		Soft Computing Integrated System	
教 授	Professor	堀 尾 喜 彦	Yoshihiko Horio

■ 新概念 VLSI システム研究室		New Paradigm VLSI System	
教 授	Professor	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu
教 授 (兼)	Professor*	青 木 孝 文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏 井 雅 典	Masanori Natsui
准教授	Associate Professor	鬼 沢 直 哉	Naoya Onizawa
准教授 (兼)	Associate Professor*	伊 藤 康 一	Koichi Ito

■ 実世界コンピューティング研究室		Real-World Computing	
教 授	Professor	石 黒 章 夫	Akio Ishiguro
准教授	Associate Professor	加 納 剛 史	Takeshi Kano
助 教	Assistant Professor	福 原 洸	Akira Fukuhara
助 教 (兼)	Assistant Professor*	安 井 浩 太 郎	Kotaro Yasui

附属21世紀情報通信研究開発センター		Research Center for 21st Century Information Technology	
センター長 (併) / 教授	Director, Professor	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu

■ 産学官研究開発部		Industry-Academia-Government-Collaboration Research and Development Division	
教 授 (兼)	Professor*	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
客員教授	Visiting Professor	丸 橋 建 一	Kenichi Maruhashi
客員准教授	Visiting Associate Professor	前 嶋 貴	Takashi Maehata
客員准教授	Visiting Associate Professor	本 良 瑞 樹	Mizuki Motoyoshi

■ 学際連携研究部		Interdisciplinary Collaboration Research Division	
教 授 (兼)	Professor*	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教 授 (兼)	Professor*	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu

■ 萌芽研究部		Exploratory Research Division	
教 授 (兼)	Professor*	北 村 喜 文	Yoshifumi Kitamura
教 授 (兼)	Professor*	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu

高等研究機構新領域創成部		Division for the Establishment of Frontier Sciences	
■ 多感覚情報統合認知システム研究室 Multimodal cognitive system			
教授 (兼)	Professor*	坂井 信之	Nobuyuki Sakai
助教 (兼)	Assistant Professor*	山本 浩輔	Kosuke Yamamoto
■ スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室 Spintronics/CMOS Hybrid Brain-Inspired Integrated Systems			
教授 (兼)	Professor*	遠藤 哲郎	Tetsuo Endoh
助教 (兼)	Assistant Professor*	馬 奕 涛	Yitao Ma
安全衛生管理室		Management Office for Safety and Health	
室長 (兼) / 教授	Manager, Professor*	石山 和志	Kazushi Ishiyama
副室長 (兼) / 教授	Deputy Manager, Professor*	佐藤 茂雄	Shigeo Sato
助教 (兼)	Assistant Professor*	佐藤 信之	Nobuyuki Sato
共通研究施設		Common Research Facilities	
やわらかい情報システムセンター Flexible Information System Center			
センター長 (兼) / 教授	Director, Professor*	長谷川 剛	Go Hasegawa
研究基盤技術センター Fundamental Technology Center			
センター長 (兼) / 教授	Director, Professor*	佐藤 茂雄	Shigeo Sato
技術専門員 (技術長)	Technical Staff	末 永 保	Tamotsu Suenaga
■ 工作部 Machine Shop Division			
技術一般職員 (グループ長)	Technical Staff	阿部 健人	Kento Abe
技術一般職員	Technical Staff	前田 泰明	Yasuaki Maeda
技術一般職員	Technical Staff	関谷 佳奈	Kana Sekiya
■ 評価部 Evaluation Division			
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	阿部 真帆	Maho Abe
技術一般職員	Technical Staff	丹野 健徳	Takenori Tanno
技術一般職員	Technical Staff	柳生 寛幸	Hiroyuki Yagyu
再雇用職員	Technical Staff	庄子 康一	Koichi Shoji
■ プロセス部 Process Division			
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	森田 伊織	Iori Morita
技術一般職員	Technical Staff	小野 力摩	Rikima Ono
技術一般職員	Technical Staff	武者 倫正	Michimasa Musha
■ 情報技術部 Information Technology Division			
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	太田 憲治	Kenji Ota
技術専門職員	Technical Staff	丸山 由子	Yuko Maruyama
国際化推進室		Office for the Promotion of International Relations	
特任教授	Specially Appointed Professor	小川 裕之	Ogawa Hiroyuki
産学官連携推進室		Cooperative Research and Development	
特任教授 (兼)	Specially Appointed Professor*	荘 司 弘 樹	Hiroki Shoji
事務部		Administration Office	
事務長	General Manager	三上 洋一	Yoichi Mikami
事務長補佐	Deputy-General Manager	村上 亜矢子	Ayako Murakami
総務係長	Chief of General Affairs Section	富川 浩行	Hiroyuki Tomikawa
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	柴田 圭一	Keiichi Shibata
経理係長	Chief of Accounting Section	山口 教光	Norimitsu Yamaguchi
用度係長	Chief of Purchasing Section	佐藤 寛之	Hiroyuki Sato

東北大学電気通信研究所
研究活動報告 第28号

2022年11月発行

発 行 者 羽 生 貴 弘
編 集 者 東北大学電気通信研究所総務委員会
〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1番1号
T E L 022-217-5422
F A X 022-217-5426
U R L <http://www.riec.tohoku.ac.jp/>
印 刷 所 有限会社 明倫社
〒983-0842 仙台市宮城野区五輪2-9-5 五輪ビル
TEL 022-295-8211 FAX 022-295-8213



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication Tohoku University

〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1-1
TEL: 022-217-5420 FAX: 022-217-5426
<http://www.riec.tohoku.ac.jp>