



東北大学
電気通信研究所
研究活動報告

第26号(2019年度)

Annual Report 2019

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

第4章 共同プロジェクト研究

1. 共同プロジェクト研究の理念と概要	95
H29/A02 低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発	101
H29/A07 単結晶グラフェンのデバイス化の研究	104
H29/A08 新IV族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究	106
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	109
H29/A10 Development of graphene based devices for terahertz applications	112
H29/A12 QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究	115
H29/A13 ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究	118
H29/A16 色名に関する文化差および個人差の研究	121
H29/A17 半導体微細加工と脂質二分子膜の機能融合に基づく高感度・高精度イオンチャネルセンシングの創成	124
H29/A18 屋外拡声システム開発のための音声了解度評価とその推定に関する研究	127
H29/A19 協調作業における視線情報の可視化	130
H29/A21 非線形系・複雑系理論の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究	132
H29/A22 多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究	135
H29/A23 臨場感ある聴取において音響環境の影響に関する研究 Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiances	137
H29/A25 The effect of attention on the integration of image components in the human visual system	139
H29/A26 Social communication: behavioral and brain representations	142
H29/A27 人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤	145
H29/A28 耳介の3次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究	148
H29/A29 新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究	151
H29/A32 圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術	154
H29/A33 酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発研究	157
H29/A34 大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明	159
H29/A35 ミニマルブレインの理解と再構築	161
H29/A36 CubeHarmonic: 3次元磁気式モーションセンサを用いた新しい楽器インタフェース	164
H30/A01 オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究	167
H30/A02 気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成	170
H30/A05 高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用	173

H30/A06	汎用型量子系制御技術に関する研究	176
H30/A07	光スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究	178
H30/A08	カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御	180
H30/A09	量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究	183
H30/A11	移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクトアレーの研究	185
H30/A12	広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究	188
H30/A13	共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用	191
H30/A14	高効率非接触給電のための損失解析	194
H30/A15	選択によって感情体験を変容させる方法の研究	196
H30/A16	自己運動に伴う身体近傍空間の変容	198
H30/A17	単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究	201
H30/A18	繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電磁波環境対策に関する研究	203
H30/A19	光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究	205
H30/A20	脳型計算ハードウェア基盤とその応用	208
H30/A24	PVDF を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究	211
H30/A26	IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究	214
H30/A28	薄膜デバイスを用いた脳型集積システム	217
H30/A29	IoT 用ハードウェアセキュリティの研究	220
H30/A30	インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究	223
H30/A32	セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究	226
H30/A33	エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究	228
H30/A34	Ge-on-Insulator 基板上でのメタル・ソース/ドレイン型 CMOS の実現	231
H30/A35	量子デバイスとフォノン技術に関する研究	234
H30/A37	超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究	236
H30/A38	多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究	239
H30/A40	次世代移動体通信のための電磁ノイズ抑制体の高周波広帯域化	241
H30/A41	広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化	244
H31/A01	Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene- Phosphorene van der Waals Heterostructures	247
H31/A02	原子層物質活用高性能量子デバイス開発	250
H31/A03	Japan-Russia International collaborative research on high sensitive and tunable room-temperature plasmonic photoconductive antenna-detector	253
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	256
H31/A05	Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures	259
H31/A06	2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピン輸送機構解明と高効率磁化反転素子の開発	262
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	264
H31/A08	2次元フーリエコヒーレント分光法による量子状態評価	267
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	269
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同期	

	による強磁性共鳴制御の検討	272
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...	275
H 3 1 / A 1 2	視覚モデル共有環境の構築	278
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	281
H 3 1 / A 1 4	Pre-verbal infant learning: Infants' preference and understanding from eye movements and pupil dilation	283
H 3 1 / A 1 5	三次元音響の家庭再生方式の研究	285
H 3 1 / A 1 6	音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現	288
H 3 1 / A 1 7	異種無線ネットワークにおける輻輳に基づく輻輳制御の性能評価	291
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	293
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	295
H 3 1 / A 2 0	マルチピクセル光子検出と多次元量子光学	298
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時刻同期性能の検討 ...	301
H 3 1 / A 2 2	Interactive Content Navigation for Emergent Users	303
H 3 1 / A 2 3	学習支援のための追体験システムの構築	305
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	307
H 3 1 / A 2 5	近距離無線通信を利用した服薬モニタリングシステムの開発と改良	309
H 3 1 / A 2 6	Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications	312
H 3 1 / A 2 7	日常・非常時の横断的運用を想定した定点観測防災 IoT 機器開発に関する共同研究...	315
H 3 1 / A 2 8	人体領域通信用無線伝搬路に関する研究	318
H 3 1 / A 2 9	Redesigning the D-FLIP system: a photo management system for the elderly and the technologically inexperienced	320
H 2 9 / B 0 2	磁性材料の微細構造の観察および制御を通じた次世代通信機器用磁気デバイスの 研究	322
H 2 9 / B 0 3	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...	324
H 2 9 / B 0 5	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	327
H 2 9 / B 0 6	IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用	330
H 2 9 / B 0 7	無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術とそのシステム応用	333
H 2 9 / B 0 8	光波とマイクロ波をシームレスに繋ぐフルコヒーレント通信・計測システムに関 する研究	336
H 2 9 / B 0 9	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	339
H 2 9 / B 1 1	自己運動知覚を含む多感覚統合	340
H 2 9 / B 1 2	Search Science: an interdisciplinary endeavor	342
H 2 9 / B 1 5	新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究	344
H 2 9 / B 1 7	脳型 LSI とその応用 国際共同研究	346
H 2 9 / B 1 8	先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究	349
H 2 9 / B 2 0	産学連携による半導体技術の新たな展開と応用	351
H 2 9 / B 2 1	カラスの行動制御のための広域音声システムの開発	353
H 3 0 / B 0 4	プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成	356
H 3 0 / B 0 6	光の空間モードに関する研究開発	359
H 3 0 / B 0 7	酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用	360
H 3 0 / B 0 8	集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立 ...	363

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	365
H30/B13	高次元ニューロダイナミクスとそのニューロハードウェア構築への展開	368
H30/B14	未来型オフィス空間とインタラクション	371
H30/B15	ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究会	373
H30/B17	非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究	375
H30/B18	ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究	378
H30/B20	「こころ」を生み出す脳内機構の理解	380
H31/B01	物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現	381
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	384
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	387
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	389
H31/B05	アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化 HCI Research Community Development in Asia	392
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	395
H31/B07	クロアチアー日本 環境電磁工学 ワークショップ	398
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	401
H31/B09	マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ実用化研究の新展開	403
H31/B10	エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開	406
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	409
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	411
H31/B13	固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御	413
H31/B14	エネルギーマグネティックス機器の設計プラットフォーム構築	416
H31/B15	多機能マルチメディア生成技術に関する研究	418
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	420
H31/B17	PSDL: Physical Security of Deep Learning	422
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	425
H31/B19	Securing IoT devices against EM Fault Injection	426
H29/S1	コヒーレント波に基づく学際的前端科学技術の創成	428
H29/S2	ナノエレクトロニクスに関する連携研究	431
H30/SI1	AI 研究と人間科学に関する研究 AI and Human Studies	434

第5章 シンポジウム・国際会議等

1. 通研国際シンポジウム	437
(1) 第12回ミリ波グローバルシンポジウム 12th Global Symposium on Millimeter Waves 2019(GSMM 2019)	437
(2) 第16回最新情報通信技術に関する国際ワークショップ The 16 th International Workshop on Emerging ICT	438
(3) 第17回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ 17th RIEC International Workshop on Spintronics	439
(4) ヒューマンコンピューターインタラクションに関する国際シンポジウム RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction	440
(5) 第8回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	441

2. 国際会議等の開催状況	442
(1) 第8回半導体界面制御国際シンポジウム&第13回新IV族半導体ナノエレクトロニクス 国際ワークショップ	442
8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) & 13th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics	
3. 工学研究会	443
(1) 伝送工学研究会	444
(2) 音響工学研究会	448
(3) 仙台“プラズマフォーラム”	449
(4) EMC 仙台ゼミナール	450
(5) コンピュータサイエンス研究会	450
(6) システム制御研究会	451
(7) 情報バイオエレクトロニクス研究会	451
(8) スピニクス研究会	452
(9) ニューパラダイムコンピューティング (NPC) 研究会	453
(10) 超音波エレクトロニクス研究会	454
(11) ブレインウェア工学研究会	457
(12) 情報・数物研究会	458
(13) 生体・生命工学研究会	458
(14) ナノ・スピン工学研究会	459
4. 通研講演会	460
(1) 長谷川 創 Generative Adversarial Networks とその応用について	460
(2) 戸花 照雄 プリント回路の伝送線路とその電磁界特性	461
(3) 遠藤 拓 交換結合磁界の時間依存性	462
(4) 小渕 智之 ボルツマンマシンによる神経細胞集団の有効な非対称結合推定	462
(5) 手塚 太郎 神経スパイク系列における距離と正定値カーネル	463

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	465
(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	465
(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	467
(3) 先端スピントロニクス研究開発センター (CSIS)	469
(4) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター (CIES)	470
(5) 電気通信研究機構 (ROEC)	472
(6) スピントロニクス学術連携研究教育センター (CSRN)	473
(7) ヨッタインフォマティクス研究センター	474
2. 参画する事業・プログラム	475
(1) 博士課程教育リーディングプログラム	475
(2) イノベーション戦略推進本部 革新的イノベーション研究機構	476
(3) スピントロニクス国際共同大学院プログラム	477

(4) 文部科学省 卓越大学院プログラム	478
----------------------	-----

第7章 評価と分析

運営協議会報告	479
---------	-----

【資料編】

第1 人事	507
-------	-----

- ①教員 ②客員外国人教員 ③客員教員 ④非常勤研究員 ⑤各種研究員
- ⑥客員外国人教員（外国人研究員） ⑦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	512
-------	-----

- ①電気通信研究所における予算の推移 ②外部資金受入状況

第3 教育	514
-------	-----

- ①学部学生・大学院生 ②留学生 ③研究所等研究生・特別訪問研修生 ④論文題目一覧（修士・博士）

第4 研究	520
-------	-----

- 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（令和元年度研究代表者）
- 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	530
---------------	-----

- 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	537
---------	-----

- 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件数 ④国際学会における招待講演数
- ⑤国際共同研究の実施状況 ⑥国際共同研究一覧 ⑦外国人研究者の招へい状況
- ⑧研究者の海外派遣状況 ⑨国際学術交流協定一覧

第7 社会貢献	559
---------	-----

- 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	562
----------	-----

- 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	563
--------------	-----

付録 職員	564
-------	-----

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5期科学技術基本計画では超スマート社会へ向けイノベーション回路をまわしていく、そのために基盤技術となるサイバーセキュリティ、IoT、ビッグデータ、AI（人工知能）、デバイスを強化することが示されています。これらは言うまでもなく、本研究所が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ものも少なくありません。最近の話題としては、今後のICTデバイスとして注目されている磁気抵抗メモリ（MRAM）は、大野英男教授が基礎研究から先導してきたスピントロニクス技術に基づくものです。大学、そして本研究所を取り巻く環境は時々刻々と変化していますが、大学の研究者が果たすべき役割を十分認識した上で、ミッション遂行のために資源を有効活用していくこと、またそのための環境を構築することが必要です。

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

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

本研究所はまた、文部科学省から情報通信共同研究拠点として、共同利用・共同研究拠点の認定を受けています。2019年度は第2期の第4年度目です。運営費交付金が減少する中、国内外の情報通信コミュニティのさらなる発展に資する役割はますます重要になります。このため、産官学の外部研究者・技術者との共同プロジェクト研究を組織的に進めています。

情報通信が不可欠の社会基盤となった今日、より高速・大容量の情報通信を省エネルギーで実現しなければなりませんし、東日本大震災の経験により、社会基盤には高い耐災害性が要求されることも改めて認識しました。さらに、最先端技術を基盤に、人と人との意思疎通の向上に貢献する、これまでとは質的に異なった高次の情報処理やコミュニケーションを実現することも期待されています。本研究所が20年以上にわたって研究を続けてきたブレインウェアは、近年広範囲の発展を続ける人工知能研究の中でますます重要となってきました。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2年6月30日

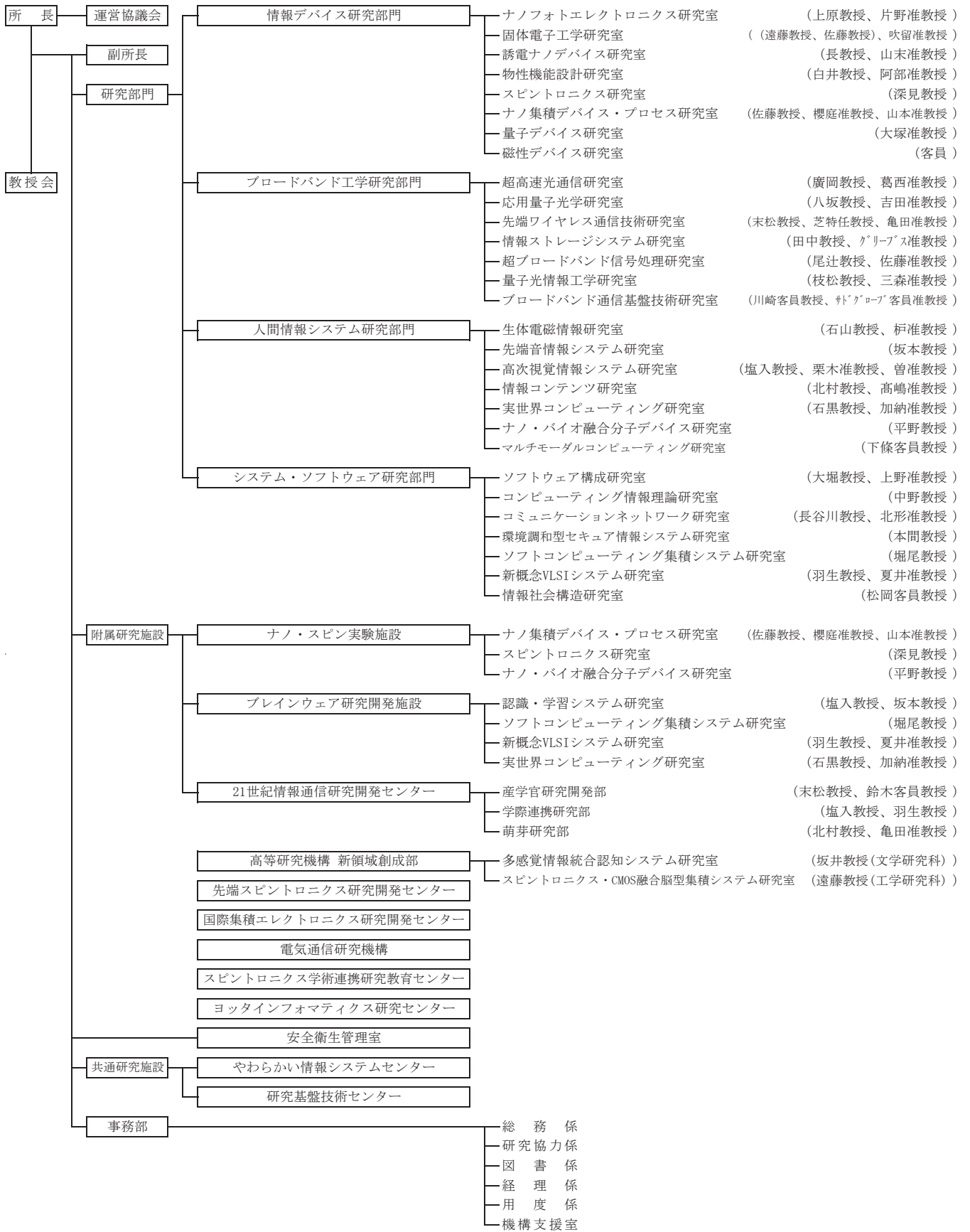
電気通信研究所 所長

塩 入 諭

第 2 章 組織・運営

2.1 組織図

R2.3.31現在



2. 2 運営協議会委員名簿

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

合原 一幸 (委員)	東京大学生産技術研究所 教授
岸本 光弘 (〃)	富士通株式会社 シニアフェロー
大谷 義近 (〃)	東京大学物性研究所 教授
小野寺 正 (〃)	KDDI株式会社 相談役
川合 眞紀 (〃)	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 分子科学研究所 所長
喜連川 優 (委員長)	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 所長 東京大学生産技術研究所 教授
田中 弘美 (委員)	立命館大学 学長特別補佐
富田 二三彦 (〃)	国立研究開発法人 情報通信研究機構 R&Dアドバイザー
中川路 哲男 (〃)	三菱電機株式会社 開発本部 役員技監
長田 典子 (〃)	関西学院大学理工学部 人間システム工学科 教授
中村 祐一 (〃)	日本電気株式会社 中央研究所 上席技術主幹
波多野 睦子 (〃)	東京工業大学工学院 教授
三木 幸信 (〃)	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 副理事長
三谷 公二 (〃)	日本放送協会 放送技術研究所 所長
美濃 導彦 (〃)	国立研究開発法人 理化学研究所 理事
寺田 眞浩 (〃)	東北大学大学院 理学研究科長
長坂 徹也 (〃)	東北大学大学院 工学研究科長
中尾 光之 (〃)	東北大学大学院 情報科学研究科長
高梨 弘毅 (〃)	東北大学 金属材料研究所長
村松 淳司 (〃)	東北大学 多元物質科学研究所長
菅沼 拓夫 (〃)	東北大学 サイバーサイエンスセンター長
伊藤 彰則 (〃)	東北大学大学院 工学研究科 教授

2. 3 共同研究組織

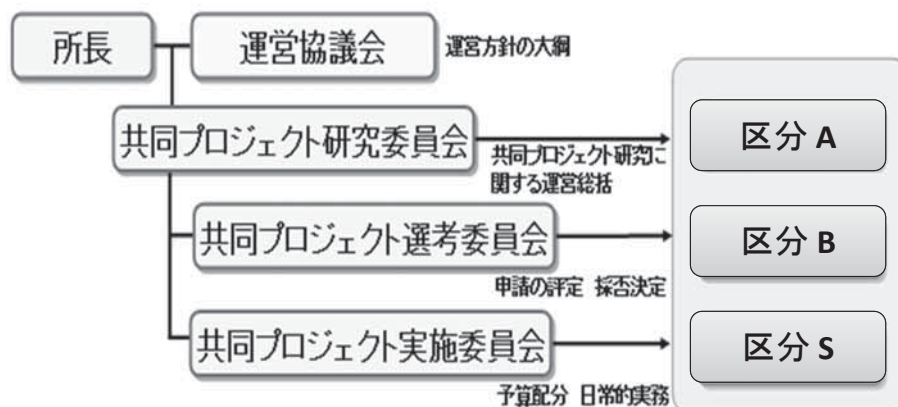
本研究所は平成 6 年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、無線通信、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成 26 年 4 月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の 2 施設として設備を充実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

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

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるためにユーザーの要望など所内外から広く意見を頂き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同プロジェクト研究委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部研究協力係」より全国の国公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。

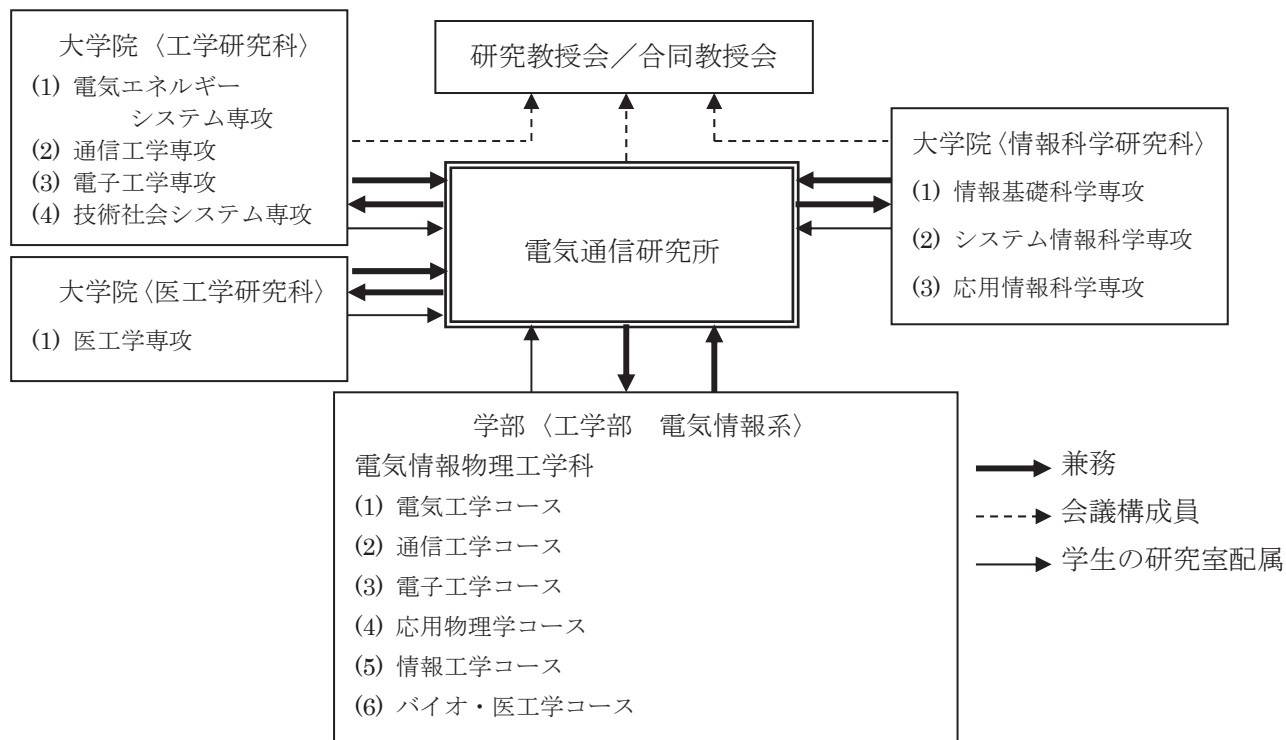
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004年、電気・情報系4学科は応用物理学科と合同の大学科、電気情報・物理工学科となった。2007年には情報知能システム総合学科と改称し、そのなかの6コースが電気・情報系と位置づけられている。2012年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2019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162名、学部生は49名となっている。

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

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

通研は工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり、研究のみならず教育でも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2019年度の研究活動の成果の概要を、次ページ以降に記述する。

ナノフォトエレクトロニクス研究室

ナノ構造物性の探索とデバイス応用

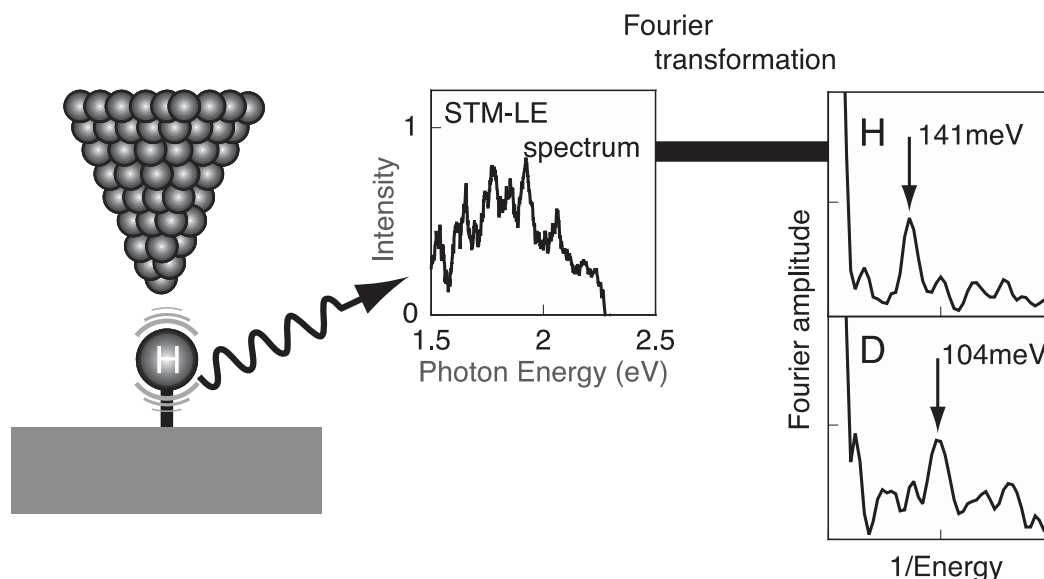


図1 STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

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

<研究室の目標>

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

<2019年度の主な成果>

1. 時間分解STM発光分光：振動構造の生成機構

STM発光分光とポンプ-プローブレザー分光を組み合わせることにより、ピコ秒の時間分解能を原子位置分解能STM発光分光に付加する研究を行っている。昨年度はNi(110)-ST(2×1)Hの水素原子の振動エネルギーのピコ秒時間発展を決定した。この計測では、振動エネルギーはSTM発光スペクトル中の微細構造の周期として現れる（口絵を参照）。従来から、この周期構造の出現機構は不明であった。今年度は、吸着種の振動により試料探針間の距離が周期的に変化し、それに同期してトンネル電流が時間的な周期性を示すと仮定した場合に期待されるSTM発光スペクトルを、STM発光の誘電関数理論で解析した。その結果、観測された（STM発光スペクトル中の）周期構造を理論的に再現することに成功した。

2. STM発光分光振動分光：有限差分時間領域解析

個々の表面吸着種の振動エネルギーがSTM発光スペクトル中の量子カットオフ近傍のステップ構造から決定されることを発見し（例えば、*J. Phys. Chem. Lett.* **1** (2010) 2763.）、出現機構を記述する解析的な電磁気学的理論を提示してきた（*J. Appl. Phys.* **122** (2017) 085306.）。この理論により、

定性的には、現象は適切に記述されたが、定量的には、理論が予測するステップ構造の強さが実験的に得られる構造の強さに比べ1桁程度弱いという問題点が残っていた。今年度は解析的な理論に対応する数値計算的な手法を有限差分時間領域解析の枠内で構築する試みを行った。その結果、同一の試料-探針ギャップ構造に対しては解析的な理論と整合する結果が得られる(数値計算的)手法の開発に成功した。この手法は、解析的な理論では扱えない試料-探針ギャップ構造にも適用可能であり、探針に適切なサイズと形状の突起構造を付加すると、ステップ構造の強さは実験的に期待されるレベルにまで増強されることを明らかにした。

3. ナノカーボンの微視的な構造制御と光電子物性

酸化グラフェン(GO)の還元状態およびシート構造を原子レベルの空間精度で制御する研究を行った。STMで画像化されたGO上で走査トンネル分光を行うと、 sp^2 ドメインの π および π^* 準位に帰属される電子状態がフェルミレベル近傍に観察された。3Vの電圧を印加しながらGO上をSTMスキャンすると、 π - π^* エネルギーギャップが増加もしくは減少することがわかった。このようなエネルギーギャップの変化は、酸素官能基脱離による sp^2 ドメインのサイズ変化に起因する。さらに高い電圧(4V)を印加するとGOシートが消失することがわかった。これはトンネル電子注入によって炭素骨格が切断され、GOシートが分解脱離したためであると考えられる。高電圧を印加した領域のみのGOが消失することから、STMを用いたGOシートのナノ整形が可能である。

4. 金属ナノ微粒子集合体のナノスケール光電子物性

新しいプラズモニク材料として注目されている立方体の形状の銀ナノキューブ(AgNC)をAu(111)基板上に集積し、その集合体表面に被覆した高分子(PVP)の光反応と熱反応を走査プローブ顕微鏡およびRaman分光法で評価した。波長532 nmのレーザー光を試料基板に照射するとPVPが光反応により sp^2 構造を有するナノカーボンに変換されることがわかった。このときAgNCの形状は保持されるため基板表面は高い表面増強ラマン散乱(SERS)活性を有する。このようなナノカーボンは熱反応によっても作製することができるが、加熱によりAgが溶解するためSERS活性が低下することがわかった。

<職員名>

教授 上原 洋一 (2005年より)

准教授 片野 諭 (2012年より)

<プロフィール>

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

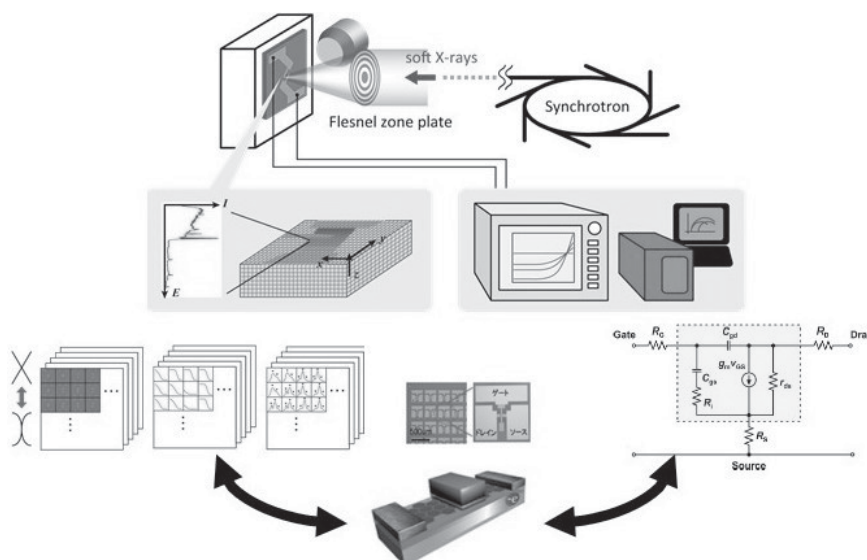
片野 諭 2003年3月 東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士後期課程修了。2003年4月 独立行政法人 理化学研究所中央研究所 博士研究員。2006年8月 東北大学電気通信研究所助手。2007年4月 同助教。2012年5月 同准教授、現在に至る。固体表面における吸着原子・分子の表面物理化学・ナノ光物性研究に従事。第23回応用物理学会講演奨励賞(2008年)、石田實記念財団研究奨励賞(2018年)。

<2019年度の主な発表論文等>

1. S. Katano, T. Sasajima, R. Kasama, T. Iwahori, and Y. Uehara, "Nanoscale Study of Luminescence from a Thermally-reduced Graphene Oxide", 21st International Vacuum Congress, Clarion Hotel & Congress Malmö Live, Malmö, Sweden, 4th July (2019).
2. T. Iwahori, R. Yamazaki, T. Sasajima, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano, "Plasmon-enhanced Photoreaction using Ag Nanocube Array", 27th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM27), Hotel Laforet Shuzenji, Shizuoka, Japan, 5th December (2019).
3. J. U. Ahamed, S. Katano, and Y. Uehara, "STM Light Emission Spectroscopy of Self-Assembled Monolayer of Alkanethiol on Au Film", Trans. Indian Inst. Met., **72**, 1221-1229 (2019).
4. 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 (2020) in press.

固体電子工学研究室

グラフェンなどの次世代デバイスを学理に基づいて研究開発



固体電子物性工学研究分野 准教授 吹留 博一

＜研究室の目標＞

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

＜2019 年度の主な成果＞

1. 高性能グラフェン・トランジスタの高性能化

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

2. GaN-HEMT の電流コラプス現象の解明

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

3. 時空間オペランド X 線分光の開拓

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

<職員名>

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

<プロフィール>

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

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, T. Someya, T. Iimori, F. Komori, I. Matsuda, and M. Suemitsu, "A table-top formation of bilayer quasi-free-standing epitaxial graphene on SiC(0001) by microwave annealing in air" *Carbon*, 130. (2018), pp. 792-798.
- [2] S. Yamamoto, K. Takeuchi, Y. Hamamoto, R.-Y. Liu, Y. Shiozawa, T. Koitaya, T. Someya, K. Tashima, H. Fukidome, K. Mukai, S. Yoshimoto, M. Suemitsu, Y. Morikawa, J. Yoshinobu and I. Matsuda, "Enhancement of CO₂ adsorption on oxygen-functionalized epitaxial graphene surface at near-ambient conditions", *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20 (2018) pp. 19532-19538.
- [3] T. Someya, H. Fukidome, N. Endo, K. Takahashi, S. Yamamoto, and I. Matsuda, "Interfacial carrier dynamics of graphene on SiC, traced by the full-range time-resolved core-level photoemission spectroscopy", *Applied Physics Letters*, 113 (2018), pp. 051601-1-051601-4.
- [4] K. Omika, Y. Tateno, T. Kouchi, T. Komatani, S. Yaegashi, K. Yui, K. Nakata, N. Nagamura, M. Kotsugi, K. Horiba, M. Oshima, M. Suemitsu, and H. Fukidome, "Operation Mechanism of GaN-based Transistors Elucidated by Element-Specific X-ray Nanospectroscopy", *Scientific Reports*, 8 (2018), 13268.
- [5] G. Kamata, G. Venugoppl, M. Kotsugi, T. Ohkochi, M. Suemitsu, and H. Fukidome, "Element- and Site-specific Many-body Interactions in Few-layer MoS₂ during X-ray Absorption Processes", *Physica Status Solidi A*, 216. (2018) pp. 1800539-1800539-7.
- [6] K. S. Kim, H. Fukidome, and M. Suemitsu, "Direct formation of solution-based Al₂O₃ on epitaxial graphene surface for sensor applications", *Sensors and Materials*, (2019), accepted.

誘電ナノデバイス（長・山末）研究室

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

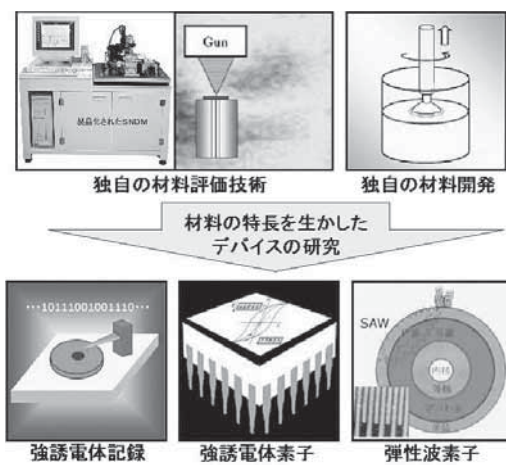


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

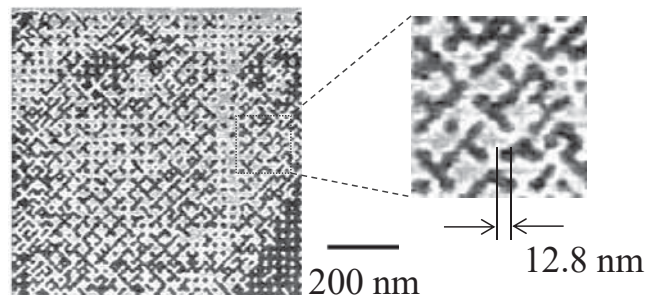


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch²の密度で記録されたデジタル情報

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

<研究室の目標>

本研究室では、強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と、それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用誘電・圧電デバイス・誘電体記録デバイスの研究を行っている。具体的には、超音波や光及び Fe-RAM 等に多用されている強誘電体単結晶や薄膜の分極分布、様々な結晶の局所的異方性を高速かつ高分解能に観測できる走査型非線形誘電率顕微鏡(Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy; SNDM)の研究・開発を行っている。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価を純電氣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雙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。

<2019 年度の主な成果>

1. SNDM による半導体材料・デバイス評価に関する研究

SNDM に基づく局所 DLTS 法をパワー材料として重要な SiC のウェハ評価に応用する研究を進めた。異なる結晶成長面を同時に有する特殊なウェハを用いて、熱酸化で生じる界面欠陥の密度が成長面の違いで異なる様子を可視化することに成功した。また、測定結果に基づいて、SiC MOSFET の特性をシミュレーションし、 D_{it} の不均一がチャネル移動度を過剰低下させる可能性を明らかにした。さらに、最近提案した $\partial C/\partial z$ 法による新たな半導体キャリア分布観察法や分解能向上を実現した。

2. SNDMによる原子層半導体材料評価に関する研究

間欠接触方式 SNDM を用いた極薄層状半導体のキャリア分布観察において、検出系の最適化により、信号雑音比の大幅改善に成功した。より低密度の多数キャリア検出が可能になった結果、p型半導体とされる Nb ドープ MoS₂ が単原子層では n 型に転移する異常を明らかにした。また、層状半導体観察時に特有の問題である探針と試料の直接接触を防止するため、絶縁膜被覆導電性探針を開発し、外部からのキャリア注入を抑制することで、材料固有のキャリア分布の観察に成功した。

3. 超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

SNDM による強誘電体記録デバイスの記録密度向上に向けて、記録・再生に用いる導電性探針の先鋭化による再生時の水平分解能向上の可能性を明らかにした。タンタル酸リチウムを用いた分解能の評価において、従来の探針（先端径 25nm）に比較して、先鋭な探針（同 10 nm）を用いることで、数倍から 1 桁程度分解能の向上が可能であることを示した。

<職員名>

教授 長 康雄（2001年より）
准教授 山末 耕平（2016年より）
助教 平永 良臣

<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）。

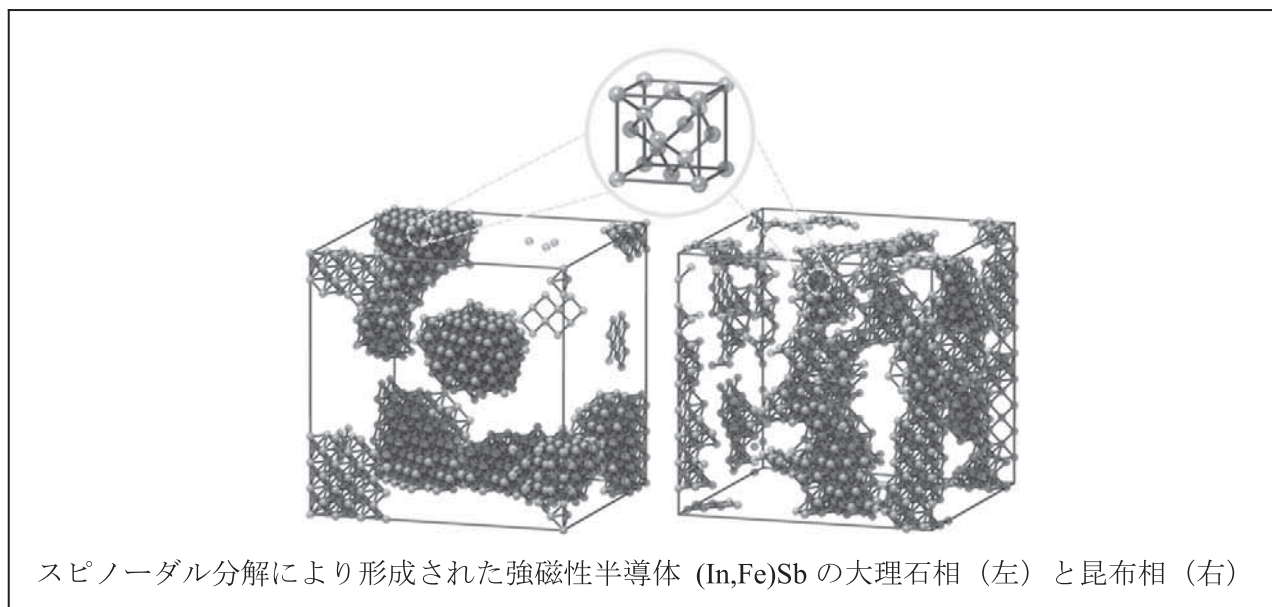
山末 耕平 2002年3月 京都大学工学部電気電子工学科卒業。2007年3月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。2007年4月 同大ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー研究員。2008年8月 同助教。2010年4月 東北大学電気通信研究所助教。2016年7月 同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率ポテンショメトリの開発とその電子材料・デバイス評価への応用に関する研究に従事。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] K. Yamasue and Y. Cho: "Optimization of signal intensity in intermittent contact scanning nonlinear dielectric microscopy", *Microelectronics Reliab.*, Vol. 100-101, p. 113345, 2019.
- [2] Y. Hiranaga and Y. Cho: "Carrier distribution imaging using $\partial C/\partial z$ -mode scanning nonlinear dielectric microscopy", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 90, p.083705, 2019
- [3] J. Woerle, B. C. Johnson, C. Bongiorno, K. Yamasue, G. Ferro, D. Dutta, T. A. Jung, H. Sigg, Y. Cho, U. Grossner, and M. Camarda: "Two-dimensional defect mapping of the SiO₂/4H-SiC interface", *Phys. Rev. Mater.*, Vol. 3, p.084602, 2019.
- [4] K. Takano, K. Yamasue, and Y. Cho: "Development of cantilevers with insulating coating for semiconductor carrier distribution imaging using scanning nonlinear dielectric microscopy and its application to layered semiconductors", *The 39th Annual NANO Testing Symposium (NANOTS2019)*, pp.135-140, Tokyo, Japan, Nov. 18-19, 2019.
- [5] T. Ishida, Y. Hiranaga, and Y. Cho: "High-resolution observation of ferroelectric domains using scanning nonlinear dielectric microscopy with ultra sharp diamond probe", *Asia-Pacific PFM 2019, MoB2-5*, Seoul National University, Seoul, Korea, Aug. 11-14, 2019.

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やナノ構造において発現する量子物理現象を理論的に解明し、デバイス性能の向上につながる新しい機能を有する材料やナノ構造を理論設計することを研究目標としている。同時に大規模シミュレーション技術や機械学習などの情報科学的アプローチを駆使した画期的な物性や機能の設計手法を確立することを目指している。

現在は、スピントロニクス研究の一環として、高スピン偏極規則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。これからはデータ駆動型の新物質・材料設計手法の研究に重点を置く。

<2019 年度の主な成果>

1. 高温強磁性半導体

第一原理計算に基づき、Fe 系強磁性半導体の強磁性メカニズムの解明と最大キュリー温度の算出を行った。(Ga,Fe)Sb や(In,Fe)ではスピノーダル分解による Fe 濃度のゆらぎが磁性に対して重要な役割を果たしていることを明らかにした。さらに Fe 濃度が濃い極限 (閃亜鉛鉱型構造で GaSb あるいは InSb の格子定数を持つ FeSb) では、キャリアドーピングを行うことで最大 1000K と非常に高いキュリー温度が得られることを示した。この結果により、希薄系においてもナノ構造の制御によって高温強磁性が発現する可能性を提示した。

2. 高密度金属水素化合物

第一原理ランダム構造探索法により、 Al_2H 、 AlH 金属相がそれぞれ 155 GPa、175 GPa で安定化されることを示した。 Al_2H では H 原子がランダム配置をとる傾向があり、H 原子のみが液体状態となる superionic 相が現れる可能性もある。超伝導転移温度の予測値は、 Al_2H では 1 K 程度にとどまるが、 AlH では 180 GPa で 58 K に達する。典型的な Al 水素化合物である AlH_3 の場合、100 GPa で金属化はするが、超伝導は少なくとも 164 GPa まで観測されていない。Al 水素化合物の超伝導は、 AlH_3 ではなく AlH でみられる可能性が高いといえる。

<職員名>

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

<プロフィール>

白井 正文 1988 年 3 月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程中退。同大学基礎工学部助手・助教授を経て、2002 年 4 月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。工学博士。

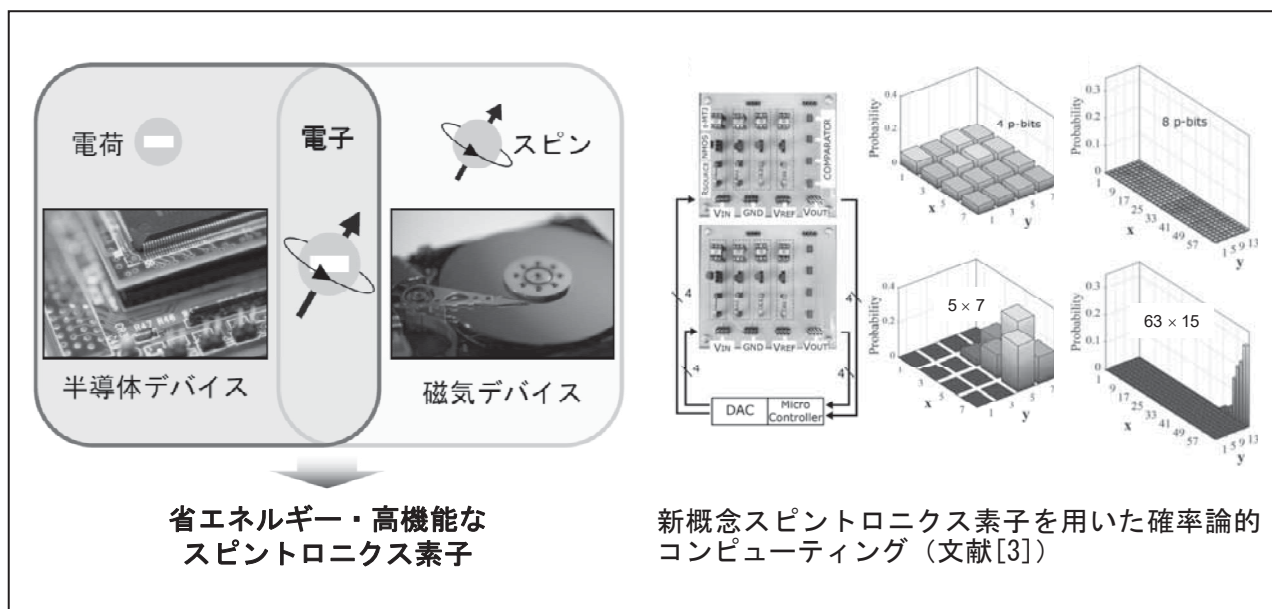
阿部 和多加 1998 年 3 月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。大阪大学基礎工学部非常勤講師、高輝度光科学研究センター協力研究員、日本学術振興会海外特別研究員、Cornel University Postdoctoral Fellow、東北大学電気通信研究所助手・助教を経て、2017 年 4 月 同准教授、現在に至る。博士 (理学)。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Ueda, M. Mizuguchi, M. Tsujikawa, and M. Shirai, "Electronic structures of MgO/Fe interfaces with perpendicular magnetization revealed by hard x-ray photoemission with an applied magnetic field," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, Vol. 20, No. 1, pp. 796-804, 2019
- [2] T. Tsuchiya, T. Roy, K. Elphick, J. Okabayashi, L. Bainsla, T. Ichinose, K. Z. Suzuki, M. Tsujikawa, M. Shirai, A. Hirohata, and S. Mizukami, "Magnetic tunnel junctions with a B2-ordered CoFeCrAl equiatomic Heusler alloy," *Phys. Rev. Mater.*, Vol. 3, Article no. 084403, pp. 1-10, 2019
- [3] T. Sato, S. Kokado, M. Tsujikawa, T. Ogawa, S. Kosaka, M. Shirai, and M. Tsunoda, "Signs of anisotropic magnetoresistance in Co_2MnGa Heusler alloy epitaxial thin films based on current direction," *Appl. Phys. Express*, Vol. 12, Article no. 103005, pp. 1-5, 2019
- [4] T. Roy, M. Tsujikawa, T. Kanemura, and M. Shirai, "*Ab-initio* study of electronic and magnetic properties of CoIrMnZ ($Z = \text{Al, Si, Ga, Ge}$) Heusler alloys," *J. Magn. Magn. Mater.*, Vol. 498, Article no. 166092, pp. 1-8, 2020
- [5] T. Nozaki, M. Endo, M. Tsujikawa, T. Yamamoto, T. Nozaki, M. Konoto, H. Ohmori, Y. Higo, H. Kubota, A. Fukushima, M. Hosomi, M. Shirai, Y. Suzuki, and S. Yuasa, "Voltage-controlled magnetic anisotropy in an ultrathin Ir-doped Fe layer with a CoFe termination layer," *APL Mater.*, Vol. 8, Article no. 011108, pp. 1-6, 2020
- [6] T. Fukushima, H. Shinya, A. Masago, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, "Theoretical prediction of maximum Curie temperatures of Fe-based dilute magnetic semiconductors by first-principles," *Appl. Phys. Express*, Vol. 12, Article no. 063006, pp. 1-5, 2019
- [7] K. Ichihashi, H. Shinya, H. Raebiger, "Carrier mediated ferromagnetism in $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Cr}$," *Appl. Phys. Express*, Vol. 13, Article no. 021002, pp. 1-3, 2020
- [8] A. Manago, H. Shinya, T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, "High Curie temperature in Eu-doped GaN caused by volume-compensated Ga-vacancy," *AIP Adv.*, Vol. 10, Article no. 025216, pp. 1-4, 2020
- [9] T. Nunokawa, Y. Fujiwara, Y. Miyata, N. Fujimura, T. Sakurai, H. Ohta, A. Masago, H. Shinya, T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, "Valence states and the magnetism of Eu ions in Eu-doped GaN," *J. Appl. Phys.*, Vol. 127, 083901, pp. 1-7, 2020
- [10] K. Abe, "*Ab initio* study of metallic aluminum hydrides at high pressures," *Phys. Rev. B*, Vol. 100, Article no. 174105, pp. 1-7, 2019

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



ナノスピン材料デバイス研究分野 教授 深見 俊輔

<研究室の目標>

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

<2019年度の主な成果>

1. ニューロンとシナプスのダイナミクスを再現する新奇スピントロニクス素子の開発

生体のニューロンとシナプスの機能として知られているリーク付き積分発火やスパイクタイミング依存可塑性を再現するスピントロニクス素子を反強磁性/強磁性積層構造で実現 (文献[1])

2. 量子ビットと類似性のある新概念スピントロニクス素子の開発と確率論的情報処理の実証

熱揺らぎを積極活用する新概念スピントロニクス素子を開発し、それを用いて因数分解の原理実証に成功。量子アニーリングマシンと同等の機能が室温で実現できることを示唆 (文献[3])

3. 人工反強磁性スキルミオンの形成と電流駆動の実証

トポロジカルに保護された磁気スキルミオンの電流による直進運動が実現される人工反強磁性スキルミオンを種々のスピントロニクスの原理を利用して実現。(文献[6])

<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>

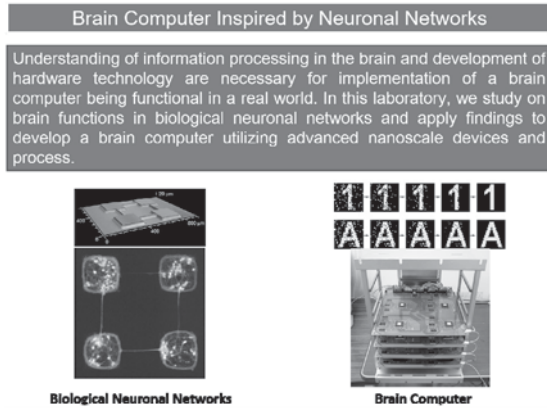
深見 俊輔 2005 年名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻修了。博士 (工学)。2005 年日本電気株式会社、2011 年東北大学助教、2015 年より東北大学准教授。2012 年応用物理学会論文賞、2013 年 RIEC Award 東北大学研究者賞、2014 年船井研究奨励賞、2014 年応用物理学会講演奨励賞、2015 年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2015 年原田研究奨励賞、2016 年 DPS Paper Award、2017 年 ImPACT Symposium – Best Poster Award、2017 年青葉工学振興会賞受賞、2018 年 Asian Union of 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。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。

<2019 年度の主な発表論文等>

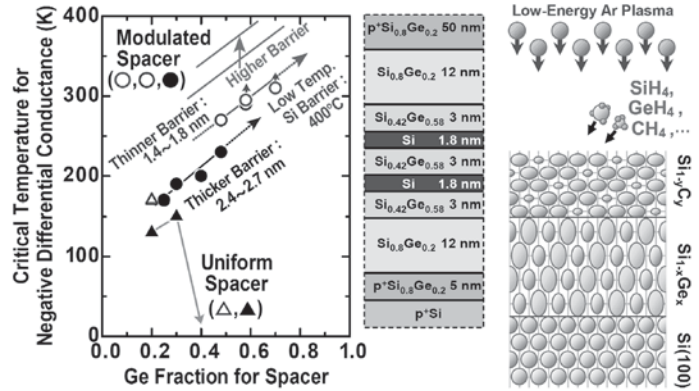
- [1] A. Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio, and H. Ohno, "Artificial neuron and synapse realized in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure using dynamics of spin-orbit torque switching," *Advanced Materials* **31**, 1900636 (2019).
- [2] A. Okada, Y. Takeuchi., K. Furuya, C. Zhang, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-Pumping-Free Determination of Spin-Orbit Torque Efficiency from Spin-Torque Ferromagnetic Resonance," *Physical Review Applied* **12**, 014040 (2019).
- [3] W. A. Borders, A. Z. Pervaiz, S. Fukami, K. Y. Camsari, H. Ohno, and S. Datta, "Integer factorization using stochastic magnetic tunnel junctions," *Nature* **573**, 390-393 (2019).
- [4] T. Saino, S. Kanai, M. Shinozaki, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, "Write-error rate of nanoscale magnetic tunnel junctions in the precessional regime," *Applied Physics Letters* **115**, 142406 (2019).
- [5] Y.-C. Lau, Z. Chi, T. Taniguchi, M. Kawaguchi, G. Shibata, N. Kawamura, M. Suzuki, S. Fukami, A. Fujimori, H. Ohno, and M. Hayashi, "Giant perpendicular magnetic anisotropy in Ir/Co/Pt multilayers," *Physical Review Materials* **3**, 104419 (2019).
- [6] T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Formation and current-induced motion of synthetic antiferromagnetic skyrmion bubbles," *Nature Communications* **10**, 5153 (2019).
- [7] J. Yoon, Y. Takeuchi, R. Itoh, S. Kanai, S. Fukami, and H. Ohno, "Crystal orientation and anomalous Hall effect of sputter-deposited non-collinear antiferromagnetic Mn₃Sn thin films," *Applied Physics Express* **13**, 013001 (2019).
- [8] R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, "Stack structure and temperature dependence of spin-orbit torques in heterostructures with antiferromagnetic PtMn," *Applied Physics Letters* **115**, 242404 (2019).
- [9] J. Grollier, D. Querlioz, K. Y. Camsari, K. Everschor-Sitte, S. Fukami, and M. D. Stiles, "Neuromorphic spintronics," *Nature Electronics*, advanced online publication (2020), doi:10.1038/s41928-019-0360-9.
- [10] 深見俊輔、大野英男, "スピン軌道トルク素子と脳型情報処理応用," *日本磁気学会誌『まぐね』* **14**(10), 341-347 (2019).

ナノ集積デバイス・プロセス研究室

ナノ集積化技術の深化と脳型計算機の開発



脳型計算機の実現に向けて



量子ヘテロ構造高集積化プロセスの構築に向けて

ナノ集積デバイス研究分野

教授 佐藤 茂雄

量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野

准教授 櫻庭 政夫

ナノ集積神経情報システム研究分野

准教授 山本 英明

<研究室の目標>

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

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

<2019 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、電源電圧 1V で動作するスパイクニューロン回路の試作を行った。強反転領域で動作する MOS トランジスタ 40 個程度で構成されるアナログ MOS 回路が良好に動作することを電気測定により確認した。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

高 B 濃度 Si 薄膜において B 原子の電気的活性化率が低下する問題に対し、ナノメートル厚さの堆積ごとに低エネルギー Ar プラズマ照射を行うことにより電気的活性化率を 25% から 75% まで改善させることに成功し、基板非加熱での低抵抗 p 型 Si 薄膜形成を実現した。

3. ナノ集積神経情報システム

回路構造に由来する神経ダイナミクスが時系列情報処理に及ぼす影響を明らかにするため、リザーブコンピューティングにより音声識別を実行し、TI-46 音声データセットの正答率からその性能を評価した。一般にノイズや素子のばらつきに対して高いロバスト性を有するとされるモジュラーネットワークをリザーブとして用い、90% 以上の正答率を達成した。

<職員名>

教授 佐藤 茂雄 (2012 年より)
 准教授 櫻庭 政夫 (2002 年より)
 准教授 山本 英明 (2020 年より)
 特任助教 金 観洙 (2019 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)。

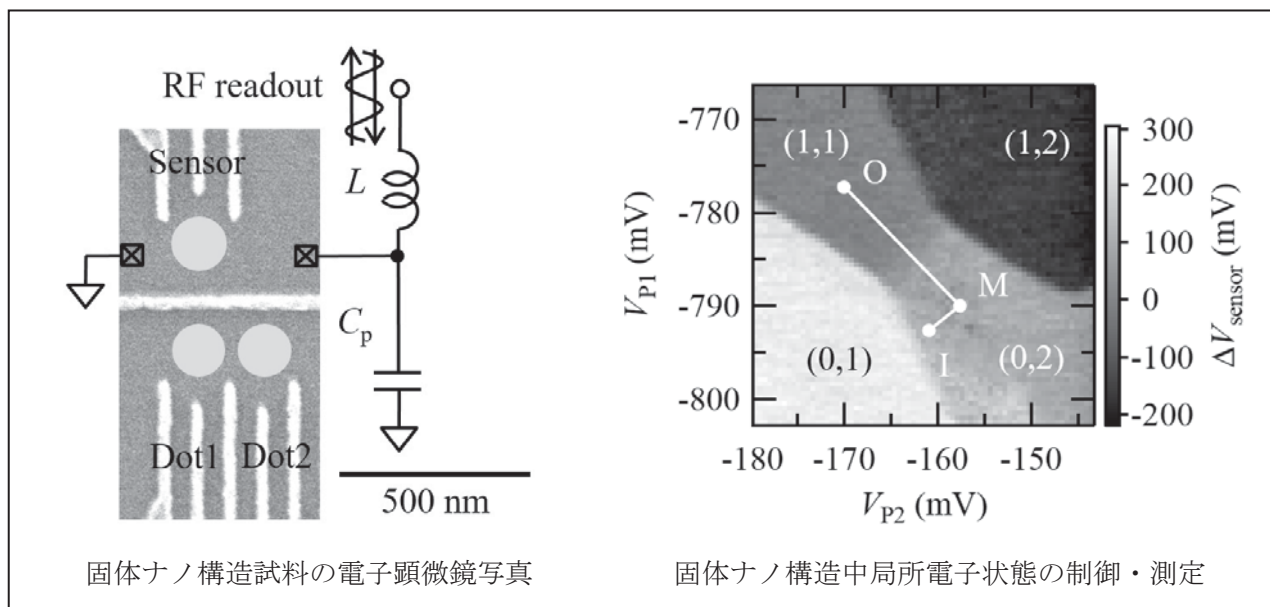
山本 英明 2005 年 3 月 早稲田大学理工学部電子・情報通信学科卒業。2009 年 3 月 同大学院先進理工学研究科ナノ理工学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員、早稲田大学高等研究所助教、東北大学学際科学フロンティア研究所助教、同大材料科学高等研究所助教を経て、2020 年 1 月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。JST さきがけ研究者 (兼任)。神経細胞ネットワークの構成論的研究に従事。トーキン科学技術振興財団奨励賞受賞 (2017 年)。青葉工学研究奨励賞受賞 (2017 年)。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, "Quantitative Analysis of Dynamical Complexity in Cultured Neuronal Network Models for Reservoir Computing Applications", Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2019, Budapest, Hungary, July 14-19, 2019), 20275, 2019.
- [2] W. Li, M. Sakuraba, S. Sato, "Electron-Cyclotron Resonance Ar Plasma-Induced Electrical Activation of B Atoms without Substrate Heating in B Doped Si Epitaxial Films on Si(100)", Mat. Sci. Semicond. Process, 107, 104823, 2019.
- [3] T. Sumi, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, "Suppression of Hypersynchronous Network Activity in Cultured Cortical Neurons using an Ultrasoft Silicone Scaffold", Soft Matter, 16, 3195, 2020.

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観測、制御技術を駆使しながら固体ナノ構造における物理現象を解明し、また固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。これにより量子エレクトロニクスやナノエレクトロニクス等を通して、新しい情報処理、通信技術に貢献することを目指す。

<2019年度の主な成果>

1. 固体ナノ構造を用いた高速マイクロセンサの研究

固体ナノ構造中の電子物性を担う局所電子状態を解明するためには、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるマイクロな電氣的センサが重要となる。このようなセンサとして、我々は半導体量子ドット等を用いたマイクロなセンサを開発している。高周波を活用した高速電気測定技術、データ科学手法を活用した解析手法により、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定する手法について研究を行った[2]。

2. 固体ナノ構造中の局所電子状態の研究

固体ナノ構造中の局所電子状態およびそのダイナミクスは、物性物理等の基礎科学やデバイス応用等の観点から注目を集めている。我々は高速マイクロセンサ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荷・スピン状態およびそのダイナミクスを測定した。量子ドットデバイスにおける電荷・スピン状態変化を観測し、その詳細をマイクロに解明した[6, 7]。

3. 固体ナノ構造を用いた量子ビットデバイスの研究

半導体量子ドット中の電子スピンは比較的長いコヒーレンス時間を持ち、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態制御・観測技術を活用して、半導体量子ビットデバイスの研究を行った。量子ビット操作における核スピンの影響低減、量子エラー訂正のシミュレーション、量子非破壊測定等を行った[1, 3, 4, 5]。

<職員名>

准教授 大塚 朋廣 (2018年より)

技術補佐員 熊坂 武志

事務補佐員 佐藤 直美

<プロフィール>

大塚 朋廣 2005年3月 東京大学理学部物理学科卒業。2010年3月 同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。2010年4月 同工学系研究科特任研究員。2013年4月 理化学研究所創発物性科学研究センター特別研究員。2016年1月 同研究員。2018年2月 東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。人工固体ナノ構造における物性解明とデバイス応用の研究に従事。東京大学理学系研究科研究奨励賞 (2010年)、エヌエフ基金研究開発奨励賞 (2016年)、日本物理学会若手奨励賞 (2017年)、理化学研究所研究奨励賞 (2017年)、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)。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] T. Nakajima, A. Noiri, K. Kawasaki, J. Yoneda, P. Stano, S. Amaha, T. Otsuka, K. Takeda, M. R. Delbecq, G. Allison, A. Ludwig, A. D. Wieck, D. Loss, and S. Tarucha, “Coherence of a driven electron spin qubit actively decoupled from quasistatic noise”, *Physical Review X* 10, 011060 (2020).
- [2] 大塚朋廣、「量子デバイスの高周波測定技術—半導体量子ドット系における高周波反射測定—」、*固体物理* 55, 69 (2020).
- [3] C. Baek, T. Otsuka, S. Tarucha, and B. Choi, “Density matrix simulation of quantum error correction codes for near-term quantum devices”, *Quantum Science and Technology* 5, 015002 (2020).
- [4] T. Nakajima, A. Noiri, J. Yoneda, M. R. Delbecq, P. Stano, T. Otsuka, K. Takeda, S. Amaha, G. Allison, K. Kawasaki, A. Ludwig, A. D. Wieck, D. Loss, and S. Tarucha, “Quantum non-demolition measurement of an electron spin qubit”, *Nature Nanotechnology* 14, 555 (2019).
- [5] M. Marx, J. Yoneda, T. Otsuka, K. Takeda, Y. Yamaoka, T. Nakajima, S. Li, A. Noiri, T. Kodera, and S. Tarucha, “Spin-orbit assisted spin funnels in DC transport through a physically defined pMOS double quantum dot”, *Japanese Journal of Applied Physics* 58, SBB107 (2019).
- [6] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Measurement and Control of Single-electron Spins by Utilizing Semiconductor Quantum Dot”, *Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics*, Sendai, Japan, Feb. 10, 2020.
- [7] T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and S. Tarucha, “Spin Dynamics in Nanostructures Probed by Quantum Dot Sensors”, *Materials Research Meeting 2019*, Yokohama, Japan, Dec. 11, 2019.

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)光時分割多重方式によりコヒーレントナイキストパルスのシンボルレートを1.28 Tbaudまで高速化し、偏波多重64 QAM多値変調方式により、単一チャネル15.3 Tbit/s-150 kmの超高速伝送に世界で初めて成功した。また、注入同期法を用いた次世代モバイルフロントホール向けデジタルコヒーレント光伝送システムを構築し、複数アンテナへの配信を想定して256 QAM信号の10 ch×80 Gbit/s - 10 km双方向オンライン伝送に成功した。

(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応答帯域を光学的手法により実験検証し、66GHz以上の応答帯域を有することを実証した。本検証結果を基に数値解析を進め、素子長の短尺化によって本応答帯域の更なる拡大が可能であることを明らかにした。また、狭線幅光負帰還半導体レーザ光源の研究において、Si細線光導波路によって構成された超小型光負帰還用光フィルタの最適構造設計を進め、帰還系の位相余裕の拡大を図ることで発振スペクトル線幅99.8kHzの小型狭線幅半導体レーザ光源の実現に成功した。

(3)先端ワイヤレス通信技術研究室

(目標)高信頼な情報ネットワークである「ディペンダブル・エア」の実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

(成果)広帯域・高信頼通信を実現するミリ波無線ボディアエリアネットワーク(WBAN)を提案し、混雑環境における通信容量などを具体的なユースケースに基づき評価し、通信システムとしての確立を目指している。また、今までの研究成果を基にダイレクトRFアンダーサンプリングを用いた超ナイキスト周波数受信機の提案を行い、計算機シミュレーションにより動作を確認した。

(4)情報ストレージシステム研究室

(目標) IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。高密度・低コストのストレージに対する需要の高まりに応え、次世代垂直磁気記録の研究を行う。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。スピントルク発振器のマイクロ波アシスト磁場と、近接場光の熱アシストを使って最適な多重記録条件を見出した。さらに、複数記録層の同時再生処理技術の評価方法も研究した。この技術の実現によりデータ保存量と転送データレートをそれぞれ2倍に高めることが出来る可能性を確認した。また、PB 級大規模ストレージにコンピューション機能を近接化した脳神経構造の可視化解析プラットフォームの一次構築を実施し、蛍光顕微鏡で撮像したニューロン構造3次元可視化機能を確認した。

(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。また、プラズモン流体非線形性を活用した InGaAs チャネルを有するプラズモニック・テラヘルツ検出素子において、ゲート電極からの出力信号取り出しによって、従来不可能であった 50Ω 整合伝送システムとのインピーダンス整合ならびに素子アクティブ領域面積に比例した信号増大が可能であることを明らかにした。

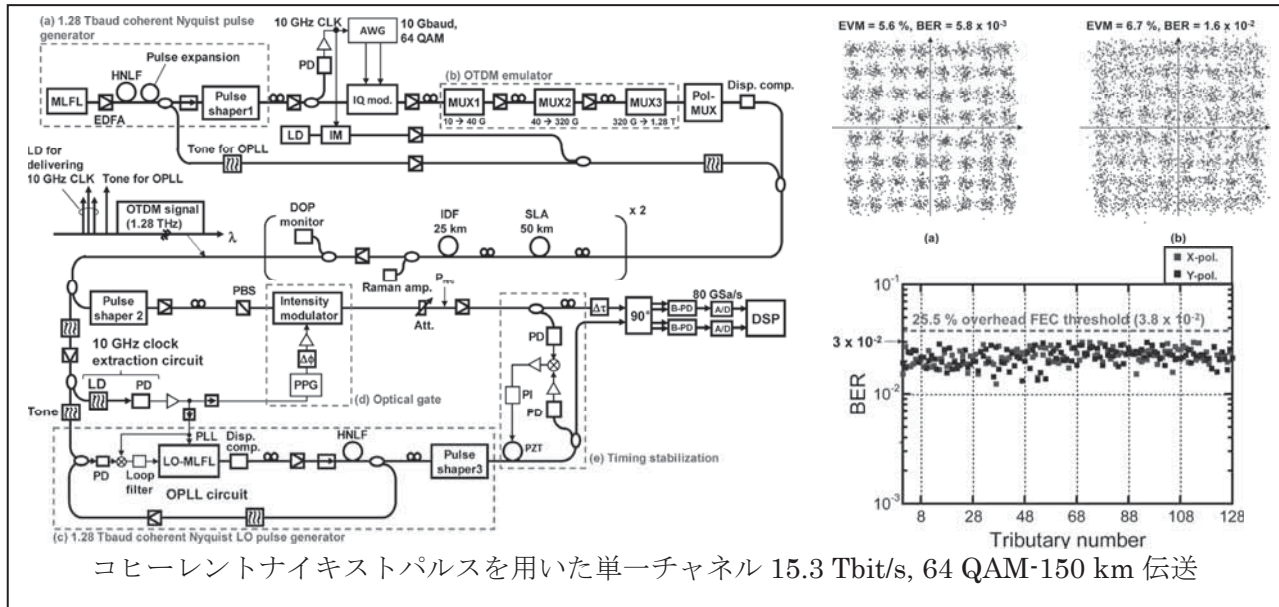
(6)量子光情報工学研究室

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

(成果) (1)光の周波数(色)の量子もつれ発生に成功。(2) 微小な重力の測定を可能とする小型低雑音重力センサーを開発。(3)半導体中の不純物中心における局所電場効果の観測。励起子共鳴エネルギーが励起光強度に依存することを初めて検証。(4)ナノ光ファイバに複数の金ナノ粒子を付着した系における光のキラル偏光特性を観測。水中のナノ光ファイバ近傍へのナノ・マイクロ粒子の捕捉、輸送の観測に成功。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



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

<研究室の目標>

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

<2019 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。2019 年度は、光時分割多重方式によりコヒーレントナイキストパルスのシンボルレートを 1.28 Tbaud まで高速化し、偏波多重 64 QAM 多値変調方式により、単一チャネル 15.3 Tbit/s-150 km の超高速伝送に世界で初めて成功した。ナイキストパルスの特徴を活かし、15 Tbit/s を上回る伝送速度でありながら 8.3 bit/s/Hz という高い周波数利用効率を同時に達成している。

2. コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究室では、光張り出し方式で構成される第5世代移動通信システム(5G)等の無線アクセスネットワークにおいて、広帯域化および長延化を実現するために、デジタルコヒーレント方式による超高速モバイルフロントホールの実現を目指している。2019年度は、注入同期法を用いた次世代モバイルフロントホール向けデジタルコヒーレント光伝送システムを構築し、複数アンテナへの配信を想定して256 QAM 信号の10 ch×80 Gbit/s - 10 km 双方向オンライン伝送に成功した。

<職員名>

教授 廣岡 俊彦 (2018年より)

准教授 葛西 恵介 (2019年より)

<プロフィール>

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

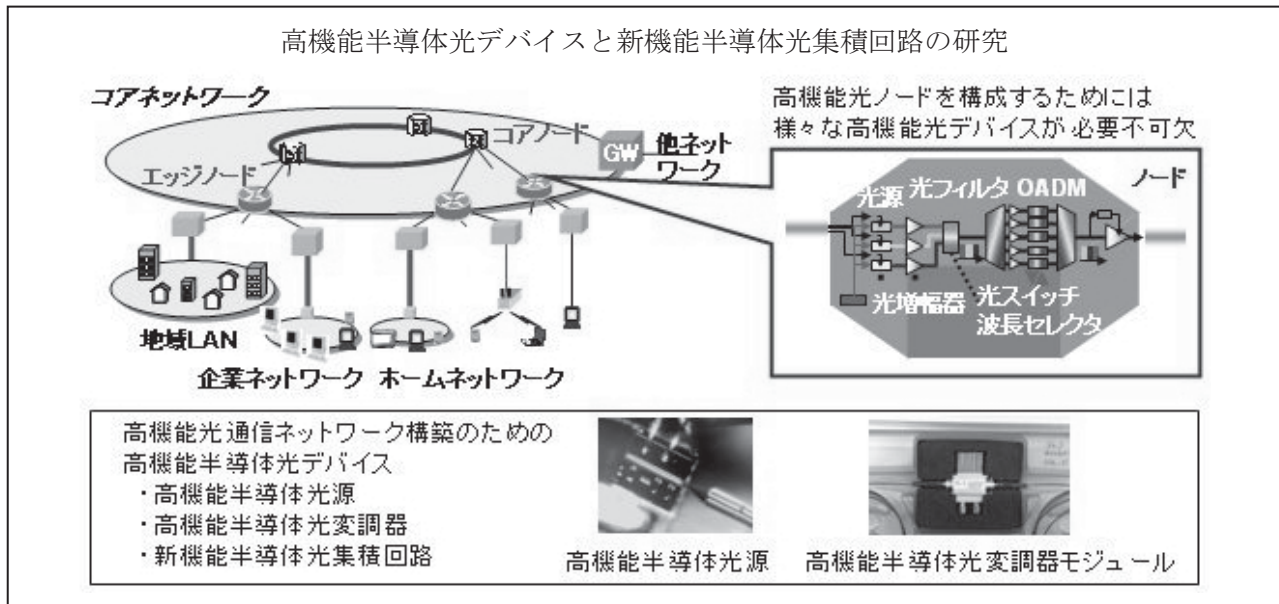
葛西 恵介 2008年3月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2009年4月日本学術振興会特別研究員 (PD)。2012年11月東北大電気通信研究所助教。2019年8月同准教授、現在に至る。光波位相制御技術、デジタルコヒーレント光通信の研究開発に従事。電子情報通信学会 ELEX Best Paper Prize (2008年)、電子情報通信学会論文賞 (2012年) など受賞。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] M. Yoshida, K. Kimura, T. Iwaya, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-channel 15.3 Tbit/s, 64 QAM coherent Nyquist pulse transmission over 150 km with a spectral efficiency of 8.3 bit/s/Hz," Opt. Express vol. 27, no. 20, pp. 28952-28967, September (2019).
- [2] T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, K. Iwatsuki, and M. Nakazawa, "Demonstration of on-line bi-directional 10-RRHs with an 80 Gbit/s/RRH capacity using 256 QAM WDM coherent transmission for next generation mobile fronthaul," ECOC 2019, M.1.C.4, September (2019).
- [3] A. Araya, K. Kasai, M. Yoshida, M. Nakazawa, and T. Tsubokawa, "Evaluation of Systematic Errors of the Compact Absolute Gravimeter TAG-1 for Network-Monitoring of Volcanic Activities," 5th IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TG-SMM 2019), Saint Petersburg, Russia Plenary papers, October (2019).
- [4] M. Yoshida, N. Takefushi, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Suppression of large error floor in 1024 QAM digital coherent transmission by compensating for GAWBS phase noise," Opt. Express vol. 27, no. 25, pp. 36691-36698, December (2019).
- [5] R. Hirata, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "Wavelength-tunable sub-picosecond optical switch over entire C-band using nonlinear optical loop mirror," IEICE Electron. Express vol. 16, no. 23, 20190664, December (2019).
- [6] N. Takefushi, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Theoretical and experimental analyses of GAWBS phase noise in various optical fibers for digital coherent transmission," Opt. Express vol. 28, no. 3, pp. 2873-2883, February (2020).
- [7] N. Takefushi, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Experimental and Theoretical Analyses of GAWBS Phase Noise in Multi-core Fiber for Digital Coherent Transmission," OFC 2020, T4J.3, March (2020).
- [8] M. Yoshida, T. Kan, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "10 Tbit/s QAM Quantum Noise Stream Cipher Coherent Transmission over 160 km," OFC 2020, T3D.2, March (2020).
- [9] K. Kasai and M. Nakazawa, "10 GHz, 6.2 ps Transform-limited Coherent Optical Pulse Generation from a 1.55 μm , Self-injection Gain-switched DFB-LD," OFC 2020, Th2A.14, March (2020).

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



高機能フォトリソ研究分野 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。

<2019年度の主な成果>

1. 超高速半導体レーザ光源

超高速・超大容量光通信ネットワークを構築する上で、100Gb/s以上の動作速度を有する高機能半導体光源の実現が必須である。半導体レーザの応答帯域拡大に向け、応答特性制御技術としてレーザ共振器損失と注入電流量を同時に変調可能な混合変調法を提案し、数値解析を通して100GHz以上の応答帯域の実現が可能であることを実証している。本原理を実験検証するために、注入電流変調量域が350 μ m、レーザ共振器損失変調領域が220 μ mの混合変調半導体レーザ光源を試作し、光学的手法を用いた素子本来の応答帯域測定を行うことで、本構造素子が66GHz以上の応答帯域を有することを実証した。本検証実験の結果を基に数値計算を行うことで素子長の短尺化で更なる広帯域化が可能であることを明らかにし、100GHz超の応答帯域を有する半導体レーザ光源の実現可能性を明確にした。

2. 小型狭線幅半導体レーザ光源

近年注目されているデジタルコヒーレント光通信システムへの適用を目指し、簡便な構成の光学的負帰還回路による半導体レーザの線幅狭窄化の研究を継続して進めた。本手法における光学的負帰還回路としての光フィルタに Si 細線光導波路によって構成した超小型光リングフィルタを採用することで超小型狭線幅光負帰還半導体レーザ光源の実現を目指した。光負帰還半導体レーザ光源においては、負帰還系の位相余裕を大きくし、安定な負帰還動作を実現することが重要となることより、光フィルタの光入出力導波路とリング導波路が1回だけ結合する新規構造光リングフィルタを提案し位相余裕の拡大を実現した。本構造の光フィルタと単一モード半導体レーザをハイブリッド実装することで、発振スペクトル線幅が 99.8kHz にまで狭窄された小型光負帰還半導体レーザを実現した。

<職員名>

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

<プロフィール>

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

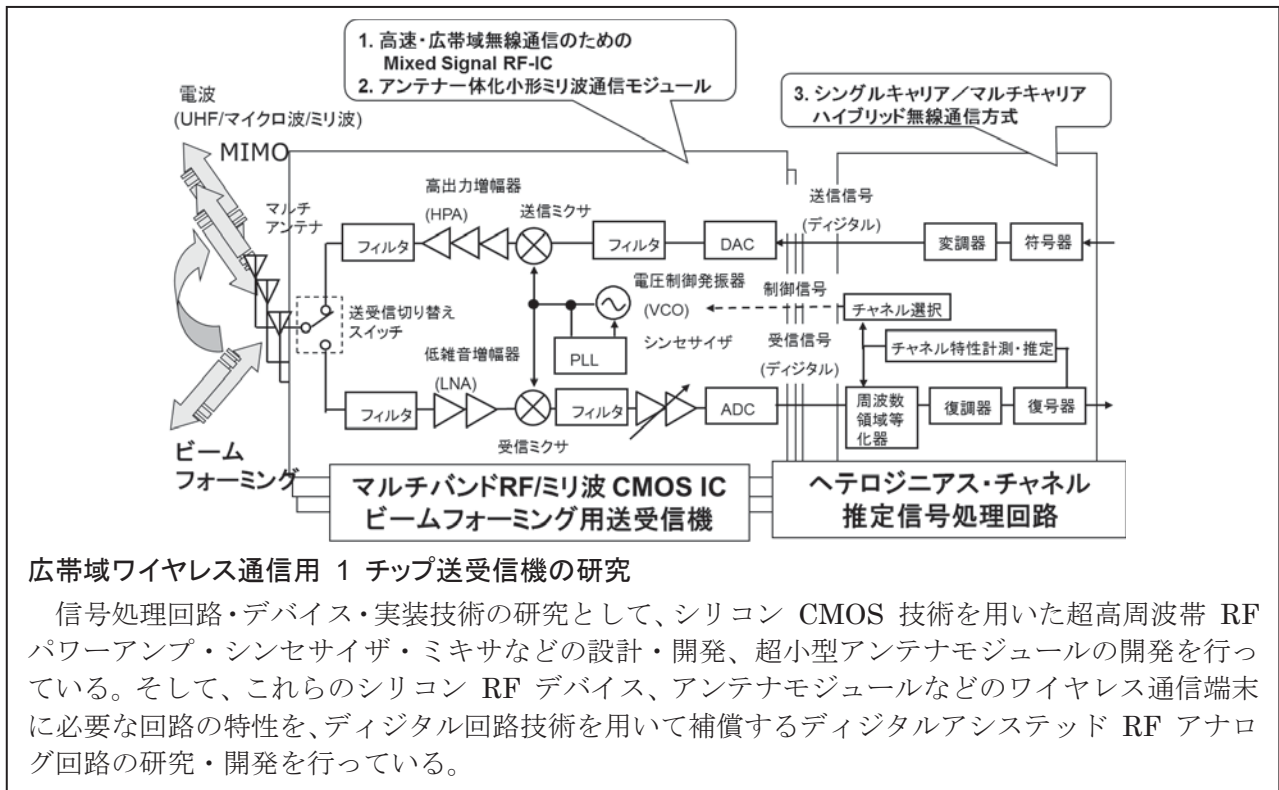
吉田 真人 1997年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。2001年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期課程修了。2001年4月 同大電気通信研究所助手。2011年7月 同准教授、現在に至る。ファイバレーザおよびそれを用いた光計測の研究開発に従事。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] N. Yokota, K. Nisaka, K. Ikeda and H. Yasaka, "Spin polarization modulation of 1.55-mm VCSELs for high-speed data communications (**Invited**)," SPIE Optics+Photonics, Session 14B Spin Lasers, paper no. 11090-114, August, 2019. (San Diego, CA, 11-15, August)
- [2] 八坂洋、横田信英、菅野光成、佐藤翔太、"**[招待講演]** 次世代光通信用高機能半導体レーザ光源"、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (LQE)、LQE2019-34, pp. 47-50, 2019.
- [3] 佐藤翔太、横田信英、八坂洋、"帰還ループ低位相遅延化による光負帰還狭線幅半導体レーザの高性能化"、2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-3-13、2019.
- [4] N. Yokota, K. Komukai, M. Yoshida, and H. Yasaka, "Numerical Investigation of Mutually Injection-Locked Semiconductor Lasers for Direct IQ-Signal Generation," IEEE Photonics Journal, vol. 11, No. 5, 6602611, 2019. (Oct.) / DOI:10.1109/JPHOT.2019.2934480
- [5] N. Yokota, and H. Yasaka, "Multi-wavelength discrete pulse train generation using chromatic aberration of time lens for ultrafast single-shot optical imaging," Optical Review, vol. 26, No. 6, pp. 713-718, 2019. (Nov.) / DOI 10.1007/s10043-019-00560-0
- [6] S. Sato, G. Aizawa, N. Yokota, and H. Yasaka, "Performance Improvement of Optical Negative Feedback Laser by Reducing Feedback Loop Length," IEICE Electronics Express, vol. 17, No. 4, 20190750, 2020. (Feb.) / DOI 10.1587/elex.17.20190750

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

先端ワイヤレスネットワーク技術研究分野

准教授 亀田 卓

<研究室の目標>

人々の交流や情報のやりとりが世界規模に広がった昨今の高度情報化社会は、ユビキタス化・ブロードバンド化が進むネットワークの進化とともに発展してきた。このネットワークのさらなるユビキタス化・ブロードバンド化には無線通信技術がますます重要となる。無線通信技術の中でも、特に信号処理回路・デバイス・実装技術と変復調・ネットワーク技術はその実現に必要な不可欠な両輪である。当研究室では高度情報ネットワークの実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術 (Advanced Wireless IT) に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで一貫して研究・開発を行っている。

<2019 年度の主な成果>

1. 広帯域・高信頼通信を実現するミリ波無線ポディエリアネットワーク (WBAN)

スマートグラスや医療機器の普及などにより人体周辺で無線通信ネットワークを構成する WBAN が今後ますます普及する一方、満員電車などの混雑環境においては WBAN 間干渉が大きな課題となると予測される。我々は WBAN 間干渉を抑えつつ広帯域・高信頼通信を実現するために

ミリ波帯を用いた WBAN を提案している。今年度は混雑環境におけるミリ波 WBAN の通信特性について、実際のユースケースを想定した検証を計算機シミュレーションにより行った。その結果、提案するミリ波 WBAN は従来のマイクロ波帯を用いた WBAN に比べて WBAN 間干渉が小さく、かつ十分な通信容量得られることを示した。

2. 超ナイキスト帯域受信機

シングルバンド受信機で広帯域信号を受信する場合ナイキスト周波数の 2 倍以上のクロック周波数で動作する高速 ADC が必要となる。一方、複数の低速 ADC を並列接続したマルチバンド受信機の構成を用いる場合、複数のバンドパスフィルタ、ダウンコンバータを含めて、複数の受信機が必要となり、受信機の小型化が困難である。そこで、受信機小型化のため、1 つの ADC でナイキスト周波数以上の帯域の信号を受信できる新しい受信機構成を提案した。水蒸気ラジオメータをターゲットとして、帯域 14GHz を受信できる受信機を実現するため、最大サンプリング レート 16 GHz の高速 S/H IC を設計し、超ナイキスト帯域の信号を受信できる新しい受信機構成とクロック切り替えを用いたスペクトル復元手法を提案した。

<職員名>

教授 末松 憲治 (2010 年より)
 准教授 亀田 卓 (2012 年より)
 助教 本良 瑞樹 (2014 年より)
 技術補佐員 富澤 幸恵 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、IEEE 各会員。

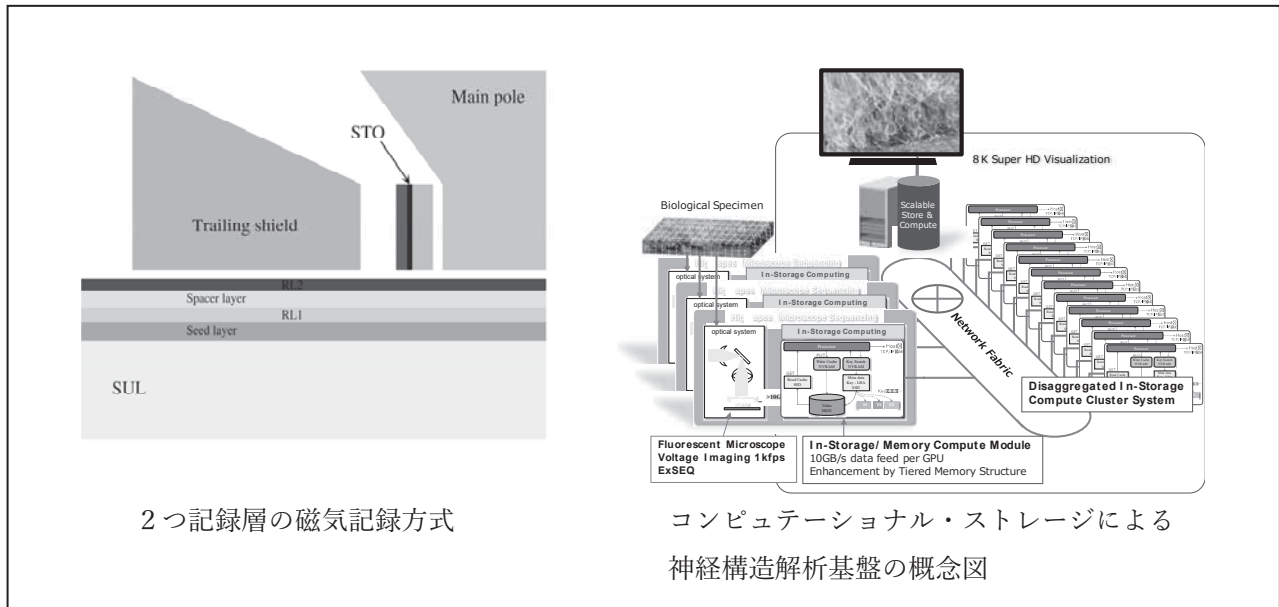
亀田 卓 1997 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒業。2001 年 9 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。同年 10 月電気通信研究所助手、2007 年 4 月同助教、2012 年 4 月同准教授。2018 年 9 月～2019 年 3 月米国ラトガース大学 WINLAB 客員研究員。平成 29 年度一般財団法人石田實記念財団研究奨励賞受賞。電子情報通信学会、エレクトロニクス実装学会、IEEE 各会員。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Kameda, *et al.*, "Evaluation of Synchronized SS-CDMA for QZSS Safety Confirmation System," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, Issus 5, pp. 4846-4856, May 2019.
- [2] T. Yokouchi, *et al.*, "Evaluation of Channel Capacity of Millimeter-Wave WBAN Considering Human Body Blocking in User-Dense Condition," 2019 Eleventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp. 1-4, July 2-5, 2019.
- [3] T. Furuichi, *et al.*, "28 GHz Band Direct RF Undersampling Broadband Receiver for Ka-Band HTS On-Board Unit," 2019 12th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM), May 22-24, 2019.
- [4] K. Ono, *et al.*, "Traffic Navigation & Relay: System-Wide Load Balancing Method for Heterogeneous Network Using Route Direction and Packets Relay," 2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC), pp. 349-352, Mar. 9-15, 2019.

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
コンピューティショナル・ストレージシステム研究



2つ記録層の磁気記録方式

コンピューティショナル・ストレージによる
神経構造解析基盤の概念図

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

＜研究室の目標＞

IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。この膨大な情報の蓄積を担うのがデータセンターであり、その中心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ティショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行っている。

＜2019 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、今年度の研究は主にマイクロ波アシスト磁気記録（MAMR）に注力した。MAMR システムでは、異なる強磁性共鳴周波数を有する記録層を利用することによって、複数の別々の記録層からなる媒体に情報を多重に記録することが可能である。本年度には2つの記録層媒体の条件を最適化する共同研究を行ない、結果を [1-4]

に発表した。記録磁極を用いずにスピントルク発振器のみを用いた磁気記録が可能であることをシミュレーションで検証し、論文[5]に発表した。熱アシスト磁気記録の研究も行い、一部の結果を[6]に発表した。さらに、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ショナル・ストレージの研究を推進している。今年度は通研における研究初年度として、脳神経構造の3次元可視化をモチーフとしたデータ解析プラットフォームの構築立ち上げを行った。GPUベースのコンピュータノードと大容量垂直磁気記録HDDストレージノードを統合した解析基盤の一次構築を実施し、蛍光顕微鏡で撮像したニューロン構造の3次元可視化機能を確認した。

＜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。

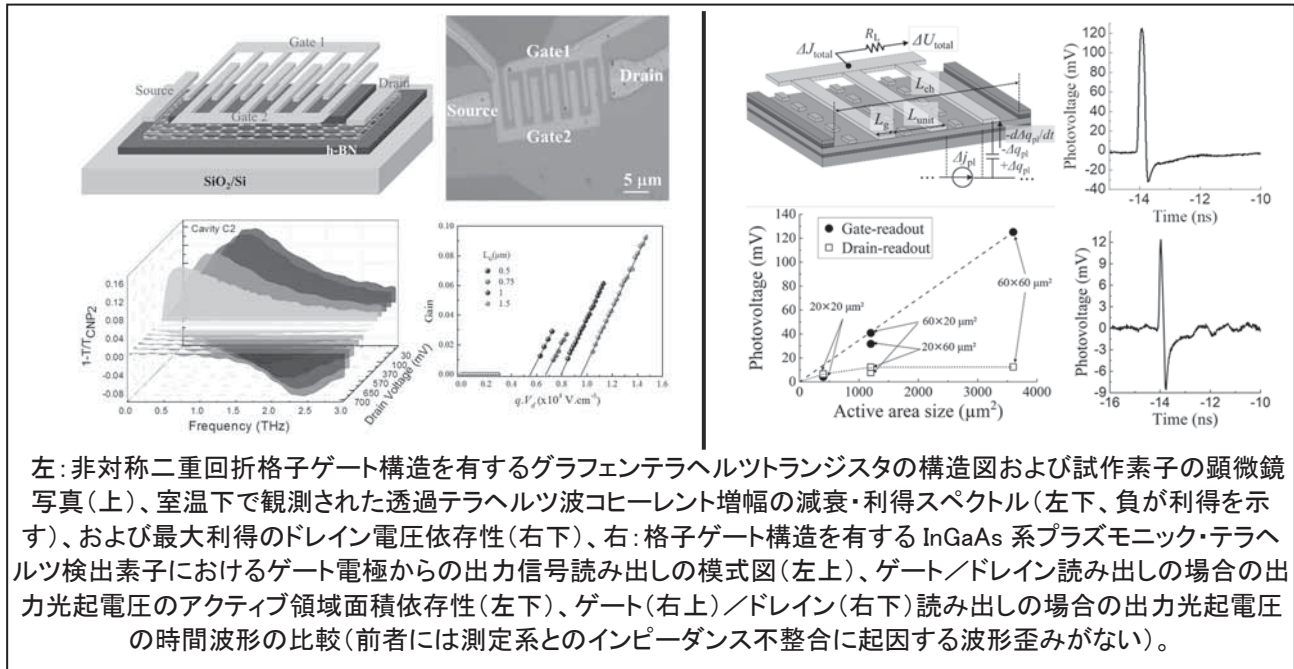
サイモン グリーブス 1993年英国サルフォード大学大学院物理学博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000年HOYA株式会社。2003年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

＜2019年度の主な発表論文等＞

- [1] S. J. Greaves, K. S. Chan and Y. Kanai, "Optimisation of dual structure recording media for microwave assisted magnetic recording", IEEE Transactions on Magnetics 55(7), 3001305-1-5, (2019), doi 10.1109/TMAG.2018.2889317.
- [2] K. S. Chan, S. Greaves and S. Rahardja, "Techniques for addressing saddle points in the response surface methodology (RSM)", IEEE Access 7, p85613-85621, (2019), doi 10.1109/ACCESS.2019.2922975.
- [3] K. S. Chan, S. Greaves and S. Rahardja, "Optimization of the 3D MAMR stack", IEEE Transactions on Magnetics 55(9), 7204905-1-5, (2019), doi 10.1109/TMAG.2019.2916748.
- [4] S. J. Greaves, K. S. Chan and Y. Kanai, "Areal density capability of dual-structure media for microwave-assisted magnetic recording", IEEE Transactions on Magnetics, 55(12), 6701509-1-9, (2019), doi 10.1109/TMAG.2019.2936579.
- [5] S. J. Greaves and W. Saito, "Dual-structure microwave-assisted magnetic recording using only a spin torque oscillator", AIP Advances 9, 125332-1-4, (2019), doi 10.1063/1.5129724.
- [6] S. J. Greaves, R. Itagaki and Y. Kanai, "A model for predicting transition curvature in heat assisted magnetic recording", IEEE Transactions on Magnetics 55(7), 3001506-1-6, (2019), doi 10.1109/TMAG.2018.2885990.
- [7] 田中陽一郎, "IoTを推進するストレージの今後(基調講演)", 日本磁気学会第6回岩崎コンファレンス, 2019
- [8] 田中陽一郎, サイモン グリーブス, "Society 5.0を推進する情報ストレージの展望", 電子情報通信学会, 磁気記録・情報ストレージ研究会, MRIS-7, 2020

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。

<2019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。

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、プラズモン流体非線形性を活用したInGaAs系プラズモニック・テラヘルツ検出素子において、ゲート電極からの出力信号読み出しによって、従来不可能であった50Ω整合伝送システムとのインピーダンス整合ならびに素子アクティブ領域面積に比例した信号増大が可能であることを明らかにした。

<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, DELGADO NOTARIO Juan Antonio
 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。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Far-infrared photodetectors based on graphene/black-AsP heterostructures," *Opt. Exp.*, vol. 28(2), pp. 2480-2489, Jan. 2020.
- [2] Y. Moriguchi, Y. Tokizane, Y. Takida, K. Nawata, S. Nagano, M. Sato, T. Otsuji, and H. Minamide, "Frequency-agile injection-seeded terahertz-wave parametric generation," *Opt. Lett.*, vol. 45(1), pp. 77-80, Jan. 2020.
- [3] D. Ponomarev, D. Lavrukhin, A. Yachmenev, R. Khabibullin, I. Semenikhin, V. Vyurkov, K. Marem'yanin, V. Gavrilenko, M. Ryzhii, M. Shur, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Sub-terahertz FET detector with self-assembled Sn-nanowires," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 53, pp. 075102-1-7, Jan. 2020.
- [4] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, A. A. Dubinov, V. Ya. Aleshkin, V. E. Karasik, and M. S. Shur, "Negative terahertz conductivity and amplification of surface plasmons in graphene-black phosphorus injection laser heterostructures," *Phys. Rev. B*, vol. 100, pp. 115436-1-13, Sept. 2019.
- [5] V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. E. Karasik, V. G. Leiman, V. Mitin, and M. S. Shur, "Negative terahertz conductivity at vertical carrier injection in a black-Arsenic-Phosphorus-Graphene heterostructure integrated with a light-emitting diode," *IEEE J. Select. Top. Quantum Electron.*, vol. 25, iss. 6, pp. 2000209-1-9, 2019.
- [6] M. Yu. Morozov, V. V. Popov, M. Ryzhii, V. G. Leiman, V. Mitin, M. S. Shur, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Optical pumping through a black-As absorbing-cooling layer in graphene-based heterostructure: thermo-diffusion model," *Opt. Mat. Exp.*, vol. 9, iss. 10, pp. 4061-4069, Sept. 2019.
- [7] V. Ryzhii, M. Ryzhii, D. S. Ponomarev, V. G. Leiman, V. Mitin, M. S. Shur, and T. Otsuji, "Negative photoconductivity and hot-carrier bolometric detection of terahertz radiation in graphene-phosphorene hybrid structures," *J. Appl. Phys.*, vol. 125, pp. 151608-1-11, April 2019.
- [8] T. Hosotani, T. Watanabe, A. Satou, and T. Otsuji, "Terahertz emission from an asymmetric dual-grating-gate InGaAs high-electron-mobility transistor stimulated by plasmonic boom instability," *IRMMW-THz2019: International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves Abstracts Book, Th-AM-6-3* (3 pages), Paris, France, Sept. 2-6, 2019. DOI: 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874584
- [9] S. Manabe, T. Otsuji, and A. Satou, "Optical-to-THz frequency down-conversion utilizing two-dimensional plasmons," *IRMMW-THz2019: International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves Abstracts Book, We-PM2-3-2* (3 pages), Paris, France, Sept. 2-6, 2019. DOI: 10.1109/IRMMW-THz.2019.8873711
- [10] Y. Omori, T. Hosotani, T. Otsuji, K. Iwatsuki, and A. Satou, "Optical-to-millimeter-wave carrier frequency down-conversion by UTC-PD-integrated HEMT," *CSW: Compound Semiconductor Week Dig., WeE2-4* (2 pages), Nara, Japan, May 19-23, 2019.

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

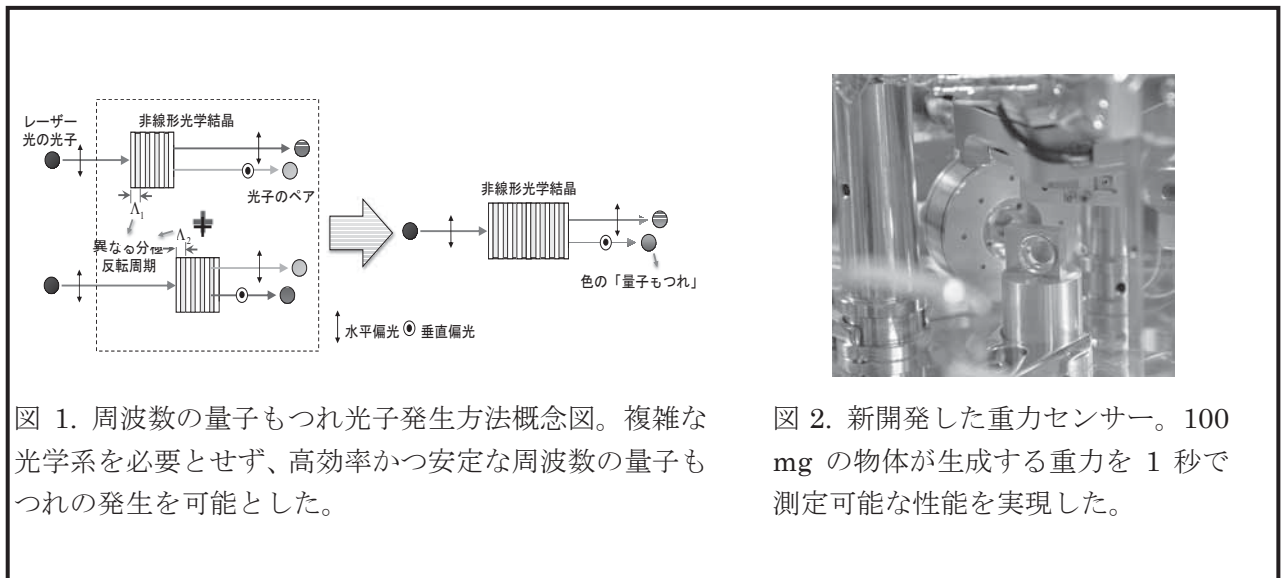


図 1. 周波数の量子もつれ光子発生方法概念図。複雑な光学系を必要とせず、高効率かつ安定な周波数の量子もつれの発生を可能とした。



図 2. 新開発した重力センサー。100 mg の物体が生成する重力を 1 秒で測定可能な性能を実現した。

量子光情報工学研究分野 教授 枝松 圭一
 量子レーザー分光工学研究分野 准教授 三森 康義

<研究室の目標>

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

<2019 年度の主な成果>

(1) 光の周波数(色)の量子もつれ発生に成功

2つの周期をもつ分極反転結晶にレーザー光を通すことにより、光の周波数(色)の量子もつれを有する光子の直接発生技術の実現に成功した(図1)。今後、光子の周波数を用いた大容量量子情報技術の実現に重要な役割を果たすことが期待される。

(2) 微小な重力の測定を可能とする小型低雑音重力センサーを開発

従来の限界よりも3桁軽い100 mgの物体が生成する微小重力を1秒で測定可能な低雑音の重力センサーを実現した(図2)。今後、重力の量子的な性質を明らかにする新たな研究分野の創成が期待される。

(3) 半導体量子ドット，量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し，半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究している。本年度は半導体中の不純物中心に局在している励起子が関与する局所電場効果の観測に成功し、励起子共鳴エネルギーが励起光強度に依存することを初めて検証した。

(4) ナノ光ファイバを用いた単一光子光源の開発

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

<職員名>

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

<プロフィール>

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

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

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] F. Kaneda, H. Suzuki, R. Shimizu, and K. Edamatsu, "Direct generation of frequency-bin entangled photons via two-period quasi-phase-matched parametric downconversion", *Opt. Exp.* **27**, 001416 (2019).
- [2] N. Matsumoto, S. B. Cataño-Lopez, M. Sugawara, S. Suzuki, N. Abe, K. Komori, Y. Michimura, Y. Aso, and K. Edamatsu, "Demonstration of Displacement Sensing of a mg-Scale Pendulum for mm- and mg- Scale Gravity Measurements", *Phys. Rev. Lett.* **122**, 071101 (2019).
- [3] F. Kaneda, P. G. Kwiat, "High-efficiency single-photon generation via large-scale active time multiplexing", *Science Advances*, **5**, eaaw8586 (2019).
- [4] S.B. Cataño-Lopez, J.G. Santiago-Condori, K. Edamatsu, N. Matsumoto, "High Q mg-scale monolithic pendulum for quantum-limited gravity measurements", arXiv: 1912.12567, to appear in *Phys. Rev. Lett.* (2020).
- [5] M. Sugawara, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, M. Sadgrove, "Optical detection of nano-particle characteristics using coupling to a nano-waveguide", arXiv:2005.07369, to appear in *Opt. Exp.* (2020).

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。

2019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する超高感度ひずみセンサを動的に活用した微小振動計測システムを実現するとともに高性能化を行い、市販の加速度センサに比べて極めて感度の高いセンサシステムを構築した。高周波磁界計測に関して、磁性ガーネットを用い、プローブ部分から金属を排した新たな手法で6 GHzまでの高周波磁界計測可能であることを実証するとともに、高周波回路内の高周波漏洩磁界分布の可視化に成功した。IoT機器の電源問題を解決する小型振動発電機構に関する研究では、磁性体の集合組織を考慮に入れた設計により、従来特殊かつ高価な材料が必要であった逆磁歪型振動発電において、変圧器鉄心材料が極めて有望なエネルギー変換素子となりうることを提案し、プロトタイプにより高い発電能力を実証した。

(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ーインターフェイス等の開発を行っている。

(成果) 聴覚の空間的注意に関する研究を精力的に進め、競合音声存在下での単語了解度に空間的注意が与える影響を分析した。その結果、注意を向けることで単語了解度が上昇すること、その際の注意の空間窓は注意を向けた方向を中心に左右約60度前後となること

などが明らかとなった。この知見は聴覚情報処理障害の早期診断法についても診断法への適用も可能であり、医工学研究科との共同研究が進んでいる。デジタル信号処理に基づいた3次元音空間制御法に関する研究も精力的に行った。仮想球モデル型聴覚ディスプレイ (Auditory display based on virtual sphere model: ADVISE) の高度化を進め、音の波動性を考慮し、これまでに定式化された方法では正しく再現できていなかった音響インテンシティについても厳密に表現可能な新しい方法を提案した。

(3) 高次視覚情報システム研究分野

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

(成果) 2019年度は、以下の成果を得た。1) 視線移動時の視野安定メカニズムにかかわる視覚機能である、位置変化のサッカド抑制に関する実験から、見やすい視覚刺激ほど動きが見にくい (サッカド抑制が大きい) という逆説的な結果を発見し、視野安定のための脳の情報処理の特徴を明らかにした。これは、位置変化のサッカド抑制が、視覚入力を利用した能動的機能であることを示す重要な成果である。2) 奥行き運動の情報処理機能の理解、モデル化を目的とし、特に左右網膜像の運動情報の違い (両眼間速度差) に基づく奥行き運動のモデルを構築した。このモデルは左右網膜像の運動情報の差異から奥行き運動の方向を推定するもので、多くの心理物理実験の結果を説明することに成功した。

(4) 情報コンテンツ研究分野

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

(成果) 本年度は、センサ内蔵積み木による幼児の心理状態推定に関する研究データをまとめ、積み木遊び中の重要な特徴量とストレスとの関連を見出した。本研究室では、これまでより、人と空間とコンテンツの関係性を調べるため、様々なセンサデバイス、壁面や床ディスプレイ、自律移動ディスプレイ等によって構成される空間を試作しているが、本年度では、部屋規模のバーチャルリアリティにおいて触覚を提示するための動的作業空間構築技術について検討を進めた。その他、モバイルデバイスのタッチ入力や三次元モーションキャプチャシステムを拡張する新たな仕組みや要素技術を開発した。

(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) 2019年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1) ムカデの水陸ロコモーションに内在する自律分散制御則を、行動観察実験に基づく数理モデリングにより明らかにした。(2) 四脚動物などが示す胴体-脚間の相互作用 (胴体のピッチ・ヨー軸方向の運動と脚運動の連関) 様式を明らかにした。(3) ヘビが示す多様な運動パターンに内在する自律分散制御則を明らかにした。(4) クモヒトデの柔軟な腕の協調メカニズムを、数理モデリングとロボット実機実験により明らかにした。

(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野

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

(成果) 本年度は、微細加工したシリコンチップ中に心臓の細胞膜構造を人工的に形成した薬物副作用センサを構築し、薬物副作用の定量的評価を行った。DNA から無細胞合成した hERG チャネルをこの人工細胞膜センサに埋め込み、副作用による阻害作用を数値化した。この成果は、個々人に対する医薬品の作用・副作用を解析するためのツールとして、個別化医療への道筋を切り拓くものである。また、この人工細胞膜内に、従来の膜貫通方向の電圧に加えて膜に平行な方向のバイアスの印加を実現することにより、光誘起膜貫通電流の変調増幅に成功し、脂質二分子膜を基本構造としたトランジスタ型デバイスを構築した。また、生物の脳に近い弾性率を有するポリジメチルシロキサンを調整し、その上で初代神経細胞を培養する手法を確立した。この系を用いて、弾性率が生体環境に近い足場上では培養神経回路の過度の活動が抑制され、その機能が生体条件に近づくことを明らかにした。

(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) 2019 年度は、食物知覚における食感（口腔内触覚と運動感覚との統合）の役割、香りの脳内情報処理における商品や食物の視覚情報の役割（fMRI および fNIRS による研究の統合）、嗅覚において鼻孔経由（前鼻腔性嗅覚）と口腔経由（後鼻腔性嗅覚）の違いに関する官能評価などに関する実験を行った。また、並行して、聴覚が両眼視野闘争に及ぼす効果や視聴覚間での注意機能の違いの検証、聴覚と体性感覚の相互作用、視聴覚間での感情・覚醒に及ぼす影響の比較などの研究を開始した。

生体電磁情報研究室

生体との良好なコミュニケーションを目指して

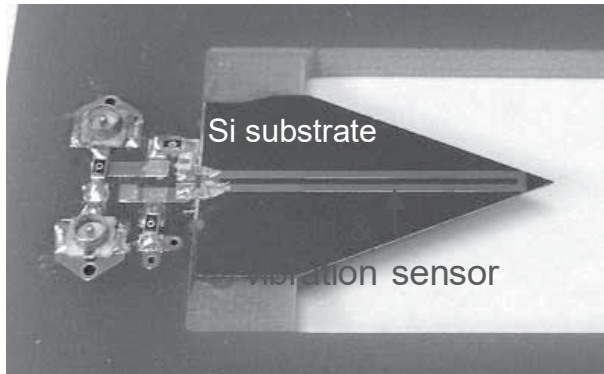


図 1 Si ウェハ上に作製された磁歪薄膜の逆磁歪効果を利用した高感度ひずみ&振動センサ素子

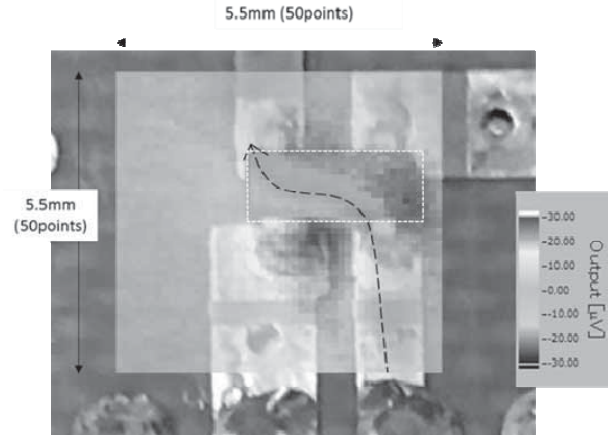


図 2 高周波磁界分布計測システムで可視化された VCO 内部回路上の磁界分布(@623MHz)

生体電磁情報研究分野 教授 石山 和志
生体電磁材料研究分野 准教授 栢 修一郎

<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。

<2019 年度の主な成果>

1. 高感度ひずみセンサを用いた微小振動計測システムの開発に関する研究

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

2. ワイヤレス磁気モーションキャプチャシステムに関する研究

LC 共振を利用した小型ワイヤレス磁気マーカの三次元位置を検出するモーションキャプチャシステムにおいて、磁気マーカの小型・薄型化を目的とした、積層型アモルファス磁性リボンの磁心材としての評価を行った。リボン材の磁気異方性誘導のための磁場中熱処理条件、積層数や積層法の最適化により、検出位置精度低下の抑制と磁気マーカの更なる小型化・薄型化を両立可能な指針が得られた。

3. 高周波磁界計測に関する研究

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

4. 逆磁歪効果利用振動発電に関する研究

逆磁歪効果を利用した振動発電において、電力用変圧器鉄心材である珪素鋼板（Si-Fe 合金）の結晶磁気異方性と、応力が印加された場合の磁気異方性の変化を考慮して発電デバイスを設計することにより、磁歪定数の大きさに依らずとも、磁歪式振動発電用磁歪材として有用であることを示した。

<職員名>

教授 石山 和志（2007年より）

准教授 栢 修一郎（2010年より）

<プロフィール>

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

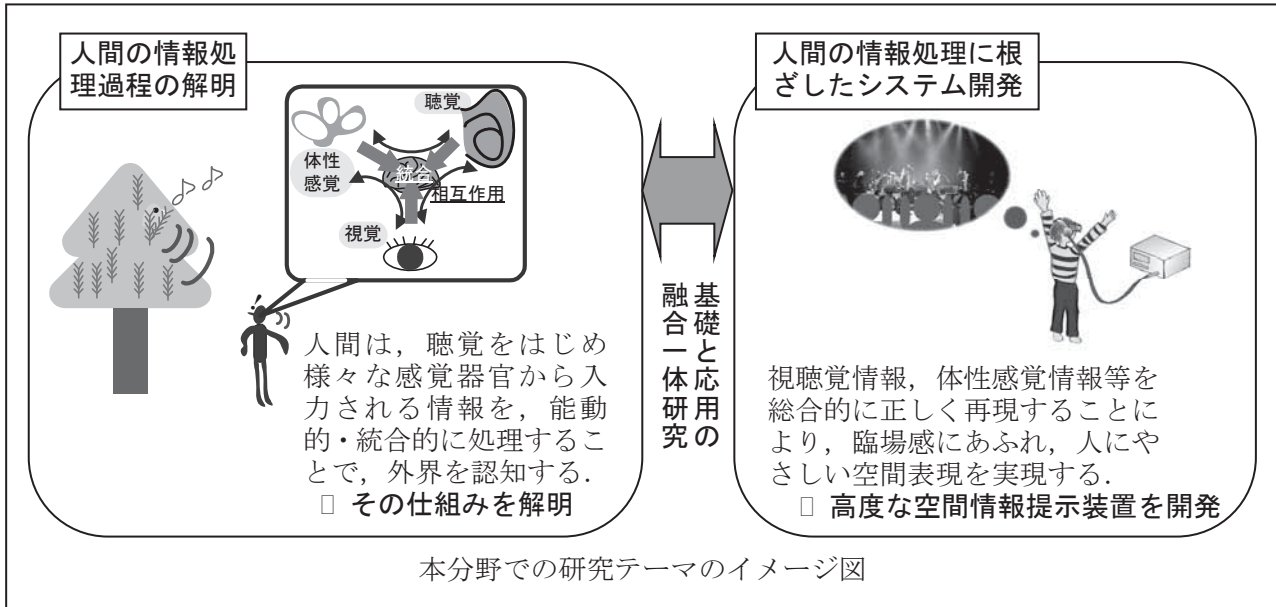
栢 修一郎 1990年3月 琉球大学工学部電気工学科卒業。1992年3月 同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992年4月 本田技研工業（株）入社。1998年3月 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998年4月 医薬品機構派遣研究員。2000年7月 岐阜大学工学部助手。2007年4月 同大工学部助教。2008年4月 東北大学電気通信研究所助教。2010年6月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] Shuichiro Hashi, Daisuke Sora, Kazushi Ishiyama, "Strain and vibration sensor using inverse magnetostrictive effect of amorphous magnetostrictive films," IEEE Magnetics Letters, Vol. 10, 8110604 (2019).
- [2] Sho, Muroga, Jingyan, Ma, Yasushi, Endo, Shuichiro, Hashi, Masayuki, Naoe, Motoshi, Tanaka, Hiroo, Yokoyama, Kazushi, Ishiyama, "Crosstalk suppression of magnetic films covered on two parallel micro-strip lines," Japanese Journal of Applied Physics, Rapid Communication, Vol.58, No. 8, 080902, (2019).
- [3] Fumiya Osanai, Shuichiro Hashi, Shun Fujieda, Kazushi Ishiyama, "Study on energy harvesting with (100) [001] silicon steel sheet," 24th Soft Magnetic Materials Conference, P-071, (2019).
- [4] 藤枝俊, 栢修一郎, 川又透, 志村玲子, 石山和志, 福田承生, 鈴木茂, 「振動発電用の Fe-Ga 合金単結晶の逆磁歪効果」, 特集「磁歪・逆磁歪材料の基礎と振動発電への応用」, まてりあ (Materia Japan) Vol. 59, No. 1, pp. 10-15 (2020).

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。

＜2019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。

2019年度は、聴覚の空間的注意に関する研究を精力的に進め、多くの知見を得た。カクテルパーティー効果を念頭に行った競合音声存在下での単語了解度の研究では、水平方向の様々な角度に配置した妨害音声の中から標的となる音声を聴取者に聴き取らせ、あらかじめ標的音声が表示される方向に注意を向ける条件と向けない条件で単語了解度の変化を考察した。その結果、注意を向けることで単語了解度が上昇すること、その際の注意の空間窓は注意を向けた方向を中心に左右約60度前後となることなどを明らかにした。この成果は3年に一度行われる音響に関する最も大きな国際会議である International Congress on Acoustics (ICA2019) で発表[1]したほか、聴覚の空間的注意における時間特性についても学術誌論文として発表[2]した。

そのほかにも、自己運動中における移動音像の移動検知限や頭部回転中の音空間知覚について興味深い結果が得られた。

2. 3次元音空間認識と制御・再現手法の研究

3次元音空間高精度收音・再生技術は、高臨場感など高次の感性情報に基づくコミュニケーションシステムを構築するうえで、重要な要素技術である。2019年度は、仮想球モデル型聴覚ディスプレイ（Auditory display based on virtual sphere model : ADVISE）の高度化を進め、音の波動性を考慮し、これまでに定式化された方法では正しく再現できていなかった音響インテンシティについても厳密に表現可能な新しい方法を提案した。得られた成果は学術誌論文に招待論文として発表[3]されている。

合わせて、球状マイクロホンアレイを用いたバイノーラル音空間收音再生技術についても、人間のお得感知覚特性を加味することで、再現された音空間の知覚的高精度化を実現している。

3. 聴覚・マルチモーダル空間の感性評価

人間の様々な感覚情報を用いた外界空間知覚過程の解明は、「その場にいるような」「リアル」な空間をバーチャルに提示する次世代通信システム開発の基盤となる。2019年度は「その場にいるような感じ」を表す臨場感と「本物らしい」ことを表す迫真性の知覚様相の差異について、振動情報を含むマルチモーダルコンテンツを用いて検討を行った。音から作る振動をAM波形と見立て、振動のどのような音響特徴が高次感性に影響を及ぼすのかについて分析した結果、音響特徴をそれほど考慮しなくても高い高次感性評価が得られることを示した。この成果についても先に記したICA2019において発表[4]を行った。

<職員名>

教授 坂本 修一（2019年より）

助教 崔 正烈，トレビーニョ ホルヘ

<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），同佐藤論文賞受賞（2017）受賞。日本音響学会理事（2016年6月～2020年5月）

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki and S. Shioiri, "Directional selectivity of auditory attentional spotlight in complex listening environment," Proc. The 23rd International Congress on Acoustics, 5764-5770 (2019).
- [2] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki and S. Shioiri, "Temporal characteristics of auditory spatial attention on word intelligibility," Acoustical Science and Technology, 41(1), 394-395 (2020).
- [3] J. Trevino, S. Sakamoto and Y. Suzuki, "Revisiting the theory of auditory displays based on the virtual sphere model," Acoustical Science and Technology, 41(1), 276-281 (2020). (invited paper)
- [4] S. Abe, Z. Cui, S. Sakamoto, Y. Suzuki and J. Gyoba, "Influence of full-body vibration adapted to the foreground components on the high-level perception of reality," Proc. The 23rd International Congress on Acoustics, 5869-5876 (2019).

高次視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



ものの見え方は様々な要因で変化し、画像や環境のどこを見るかで視覚情報の効果は変わる。それらを予測するためには、視覚の特性を理解しモデルを構築する必要がある。それらの研究に基づき、真の視覚コミュニケーションが実現できる。

高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭

知覚脳機能研究分野 准教授 栗木 一郎

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、環境に柔軟に適應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。

<2019年度の主な成果>

1. 視野安定の謎に迫る~よく見えるほど動きがわからない視覚の機能

私たちは視線移動に伴う網膜像変化を感じることなく、静止した世界を見る。これは視野安定の問題と言われ、視覚科学の長年の謎の一つである。我々は、視野安定をもたらす脳の情報処理機構について新たな事実を発見しました。視線移動の前後の視覚像の位置変化が見にくくなる現象、サッカー抑制が、視野安定の謎に迫る鍵になりますが、見やすい視覚刺激ほど動きが見にくい（サッカー抑制が大きい）という逆説的な結果を発見し、視野安定のための脳の情報処理の重要な特徴を明らかにしました。

両眼間速度差に基づく奥行運動メカニズムのモデル化

3次元の世界で生活するヒトにとって、立体・奥行き視知覚はもっとも重要な情報処理機能の一つである。その理解はヒトが環境に適応するために、どのような認知・行動機能を持つかを知るために不可欠である。特に運動物体に関する知覚は、自動車、他者、あるいは捕食者の動きを推定するなどを考えるとその重要性は明らかである。本研究では、奥行き運動の情報処理機能の理解、モデル化を目的とし、特に左右網膜像の運動情報の違い（両眼間速度差）に基づく奥行き運動のモデルを構築した。このモデルは左右網膜像の運動情報の差異から奥行き運動の方向を推定するもので、多くの心理物理実験の結果を説明することに成功した。

<職員名>

教授 塩入 諭 (2005年より)、准教授 栗木 一郎 (2006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) 金子沙永 (2017年より)、特任助教 (兼任) 佐藤好幸 (2018年より)、秘書 今野 亜未

<プロフィール>

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

栗木一郎 1996年、東京工業大学大学院 総合理工学研究科 博士課程修了。その後、東京工業大学理工学部 像情報工学研究施設 助手、東京大学大学院 工学系研究科 計数工学専攻 助手、NTT コミュニケーション科学基礎研究所 研究員を経て、2006年1月より東北大学 電気通信研究所 助教授 (2007年4月より准教授)。知覚と脳活動の対応に着目した視覚情報処理のメカニズムに関する研究に従事。また2010年4月から2012年3月までJST研究開発戦略センターに勤務(兼務)し、電子情報通信分野の俯瞰と研究開発戦略の立案に関与。1996年8月照明学会論文賞, 2001年3月応用物理学会光学論文賞を受賞。

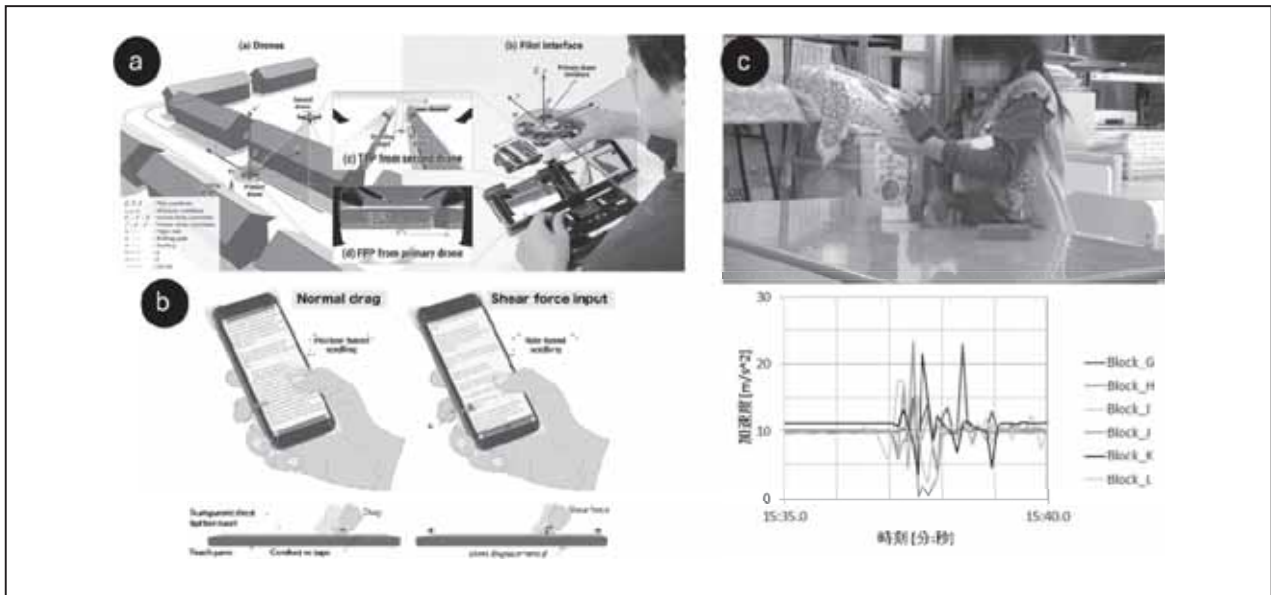
曾 加蕙 台湾国立大学で学士号および修士号を取得後、カリフォルニア大学アーバイン校にて博士号を取得。その後、米国ラトガース大学認知科学センター視覚研究室で博士研究員。多くのアジアの都市でコミュニティへの参加を促すために科学アウトリーチ活動を行っている。また、香港で乳児科学者プログラムと乳児研究施設の所長を務める。台湾と香港で大学教員を務めた後、2016年より東北大学電気通信研究所准教授。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] M Emoto, Y Fang, S Shioiri, Viewers' Susceptibility to Image Blurs in Watching Ultra-high-definition TV Correlates with Their Dynamic Visual Acuity, ITE Transactions on Media Technology and Applications 7 (2), 103-110, 2019
- [2] I. Kuriki, Emergence and separation of color categories: a NIRS study in prelingual infants and a k-means analysis on Japanese color-naming data, Current Opinion in Behavioral Sciences, 30, 21-27, 2019
- [3] M Harasawa, Y Sawahata, K Komine, S Shioiri, Effects of content and viewing distance on the preferred size of moving images, Journal of Vision 20 (3), 6, 2020
- [4] C Tseng, YT Wang, S Shioiri, Interpersonal communication on the Japanese concept "Ma", Acoustical Science and Technology 41 (1), 2-5, 2020
- [5] R Teraoka, S Sakamoto, Z Cui, Y Suzuki, S Shioiri, Temporal characteristics of auditory spatial attention on word intelligibility, Acoustical Science and Technology 41 (1), 394-395, 2019
- [6] W Wu, Y Hatori, C Tseng, K Matsumiya, I Kuriki, S Shioiri, A motion-in-depth model based on inter-ocular velocity to estimate direction in depth, Vision Research 172, 11-26, 2020
- [7] S Takano, K Matsumiya, Tseng C, I. Kuriki, H, Deubel, S Shioiri, Displacement detection is suppressed by the post-saccadic stimulus, Scientific Reports (in press).
- [6] 塩入諭, 基調講演 空間表現を広げる視覚のしくみ (技研公開 2019 講演・研究発表 特集号) NHK 技研 R&D, 14-28

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。

<2019年度の主な成果>

1. 拡張ドローン操縦インタフェース

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

2. モバイルデバイスインタフェース

限られたサイズのスクリーン上で広大な情報を効率よく操作するために、位置制御と速度制御をなめらかに切り替えることができる新たなタッチスクリーンデバイスおよびインタフェースを開発した[2] (図(b))。また、モバイルデバイスに搭載されているカメラを利用して、複数のモバイルデバイス間で情報やインタラクションを即座に連携することができるインタフェースを開発した[4]。

3. ブロック型ユーザインタフェース

積み木やブロックによる世界構築遊びのプロセスを解析することによって幼児の心理状態を推定する新たなインタフェースおよびアセスメント方法を検討した[1] (図(c)). また, 積み木やブロックが持つ接続や分離のインタラクションの特徴を活かして, VR 内のコンテンツを操作する新たなインタフェースを開発し, その効果を検証した[5].

<職員名>

教授 北村 喜文
准教授 高嶋 和毅
助教 藤田 和之

<プロフィール>

北村 喜文 1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了. 同年キヤノン株式会社情報システム研究所, 1992 年 ATR 通信システム研究所, 1997 年大阪大学大学院工学研究科助教授, 2002 年同大学大学院情報科学研究科助教授/准教授. 2010 年東北大学電気通信研究所教授, 現在に至る. 博士 (工学). 1997 年電子情報通信学会論文賞, 2006 年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞, 2007 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞, 2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞などを受賞. 国際会議 ACM SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE など Conference/Symposium Chair, Program Chair, Steering Committeeなどを務めている. IFIP TC-13 日本代表, ACM SIGCHI Conference Management Committee, Asian Development Committee, ACM SIGGRAPH SACAG などの委員. 日本バーチャルリアリティ学会フェロー.

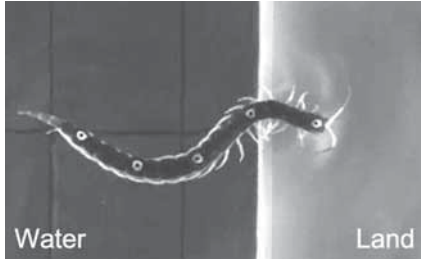
高嶋 和毅 2008 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了. 同年大阪大学大学院国際公共政策研究科助教 (兼任: 情報科学研究科), 2011 年東北大学電気通信研究所助教, 2018 年東北大学電気通信研究所准教授, 現在に至る. 博士 (情報科学). 2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞 DIS 2016 Honorable Mention Award, 2017 年情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文等を受賞.

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Xiyue Wang, Kazuki Takashima, Tomoaki Adachi, Patrick Finn, Ehud Sharlin, Yoshifumi Kitamura. AssessBlocks: Exploring Toy Block Play Features for Assessing Stress in Young Children after Natural Disasters. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 4, 1, Article 30, 29 pages, March 2020.
- [2] Mengting Huang, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Taichi Tsuchida, Hiroyuki Manabe, Yoshifumi Kitamura. ShearSheet: Low-Cost Shear Force Input with Elastic Feedback for Augmenting Touch Interaction, *Proceedings of Interactive Surfaces and Spaces*, 77-87, November 2019. [Best demo award].
- [3] Ryotaro Temma, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Koh Sueda, Yoshifumi Kitamura. Third-Person Piloting: Increasing Situational Awareness using a Spatially Coupled Second Drone, *Proceedings of User Interface Software and Technology*, 507-519, October 2019.
- [4] Hagiwara Takuma, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, Yoshifumi Kitamura, CamCutter: Impromptu Vision-Based Cross-Device Application Sharing, *International Journal of Interacting with computers*, iwz035, 16 pages, December 2019.
- [5] 市川 将太郎, 高嶋 和毅, 石川 美笛, 北村 喜文. ブロックとコネクタを活用した探索的な VR コンテンツ操作インタフェースに関する研究. 情報処理学会論文誌, Vol. 60. No. 11, 1992-2005, 2019 年 11 月.

実世界コンピューティング研究室

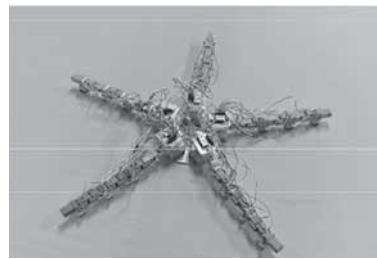
生き物のようにレジリエントな知能システムの創成



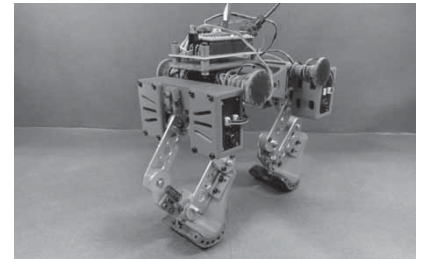
Water

Land

陸上と水中を自在に動き回るムカデから学ぶ柔軟な「身のこなし方」



クモヒトデから学ぶ柔軟な腕間・腕内協調メカニズム



四脚動物の走行から学ぶ胴体と脚の協調制御メカニズム

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」をまさに地で行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。

＜2019年度の主な成果＞

1. 陸上と水中を自在に動き回るムカデから学ぶ柔軟な「身のこなし方」

ムカデは、陸上では多数の脚を協調させて歩くが、水中ではヘビのように胴体をくねらせて泳ぐ。本研究では、ムカデが示す環境に応じた巧みな身のこなしに内在する運動制御メカニズムを明らかにするため、陸上と水中を行き来する際の歩行・遊泳間の遷移現象、および神経を切断した際の運動の変化について観察した。その結果、脳からの運動指令は身体後方に伝搬する一方で、局所的な脚の接地感覚情報は脳からの運動指令を上書きし歩行運動を生み出すという制御方策の存在が示唆された。本知見に基づき構築した数理モデルは、実際のムカデの多様な振る舞いの再現に成功しており、動物が環境に応じて柔軟に運動様式を切り替えるメカニズムの解明に資すると期待される。

2. 柔軟な腕を有するクモヒトデから学ぶ腕内・腕間協調メカニズム

クモヒトデは、5つの腕とそれらを繋ぐ胴体から構成される単純な身体構造を有している。腕を構成する無数の関節が数珠つなぎ状に接続しているため、それぞれの腕部はベビのように柔軟に屈曲することができる。クモヒトデはこの腕内部での関節の協調運動（腕内協調運動）と腕の間での協調運動（腕間協調運動）を巧みに変化させることで、不整地環境を適応的に動き回る。クモヒトデの柔軟な腕内・腕間協調を生み出す制御方策を明らかにするために、本研究では、行動観察、数理モデル化、ロボット実機実験に取り組んだ。その結果、柔軟な腕の協調を可能とするシンプルな分散制御方策の抽出に成功した。これはレジリアントな自律移動ロボットの構築に大きく貢献する。

3. 四脚動物の走行から学ぶ胴体の屈曲運動と足並みの協調制御メカニズム

走行を得意とするチーターやイヌなどの四脚動物は、四肢の運動のみならず胴体の屈曲伸展運動を動員することで、高速で走行する。こうした振る舞いを生み出す制御方策を理解するため、本研究では、これまでの動物の適応的な足並みを再現可能な分散制御メカニズムを脚と胴体との協調運動へと拡張し、ロボット実機実験によってその有用性を検証した。その結果、ロボットの脚や胴体に生じる力学的な負荷情報に基づいた運動調整則によって、動物のような胴体と足並みの柔軟な協調運動が創発されることを、シミュレーションとロボット実機実験の両方で示した。こうした成果は、動物の全身に及ぶ協調運動に内在する制御メカニズムの理解へとつながることが期待できる。

<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)
秘書	才田 昌子	(2011年より)

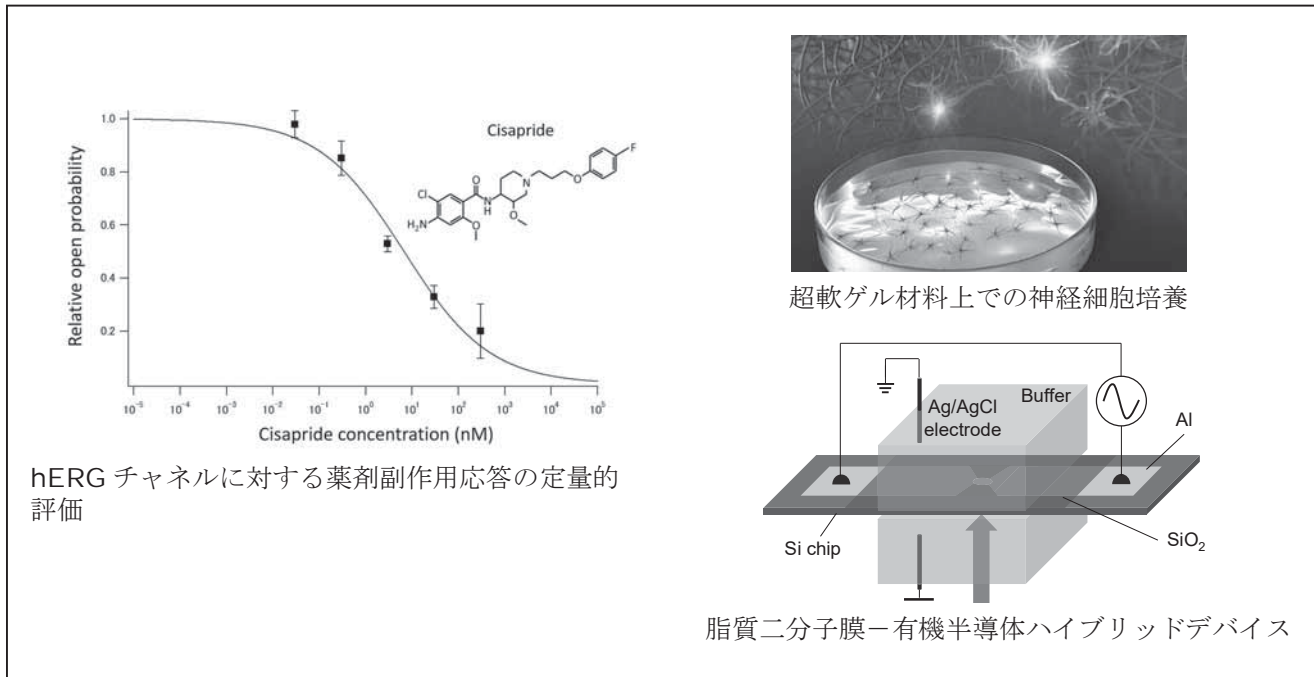
<プロフィール>

石黒 章夫 1991年3月 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了(工学博士)。1991年4月 名古屋大学工学部助手。1997年5月 名古屋大学大学院工学研究科助教授。2006年4月 東北大学大学院工学研究科教授。2011年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。生物規範ロボティクス、数理生物システム論に関する研究に従事。IEEE/RSJ IROS Best Paper Award(2004年)、IEEE/RSJ IROS Best Paper Award Nomination Finalist(2003年、2009年)、Ig Nobel Prize(2008年)、IEEE/RSJ NTF Award Finalist for Entertainment Robots and Systems(2011年)、IEEE/RSJ JCTF Novel Technology Paper Award for Amusement Culture Finalist(2012年)、計測自動制御学会論文賞(2014年)、CLAWAR Association Best Technical Paper Award(2014年)、計測自動制御学会システム情報部門 Best Research Award(2014年)。

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] K. Yasui, T. Kano, E. M. Standen, H. Aonuma, A. J. Ijspeert, and A. Ishiguro, "Decoding the essential interplay between central and peripheral control in adaptive locomotion of amphibious centipedes," *Scientific Reports*, 9, 18288, 2019. doi: 10.1038/s41598-019-53258-3
- [2] T. Kano, D. Kanauchi, T. Ono, H. Aonuma, and A. Ishiguro, "Flexible Coordination of Flexible Limbs: Decentralized Control Scheme for Inter- and Intra-limb Coordination in Brittle Stars' Locomotion," *Frontiers in Neurorobotics*, 13:104, doi: 10.3389/fnbot.2019.00104
- [3] A. Fukuhara, Y. Koizumi, S. Suzuki, T. Kano, and A. Ishiguro, "Decentralized control mechanism for body-limb coordination in quadruped running," *Adaptive Behavior*, doi:10.1177/1059712319865180.

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。

＜2019年度の主な成果＞

1. hERG チャンネルを標的とした人工細胞膜に基づく薬物副作用センサの開発

心筋細胞膜上に局在するイオンチャンネルタンパク質 hERG は、抗ヒスタミン剤などの市販薬によって阻害されやすく、致死性の不整脈を引き起こすリスクが増大することが問題視されてきた。我々は、hERG チャンネルの薬剤副作用応答を精度高く、且つ定量的に評価することが可能な系を開発すべく、人工細胞膜系と無細胞タンパク質系を融合したハイブリッド系の構築に着手した。このハイブリッド系を用い、代表的な副作用薬剤シサプリド（胃腸薬）を例に、野生型 hERG チャンネルに対する阻害作用について検討した。その結果、副作用の指標となる 50%阻害薬剤濃度をチャンネル 1 分子レベルで定量することに成功した。本アプローチを発展させ、野生型だけではなく様々な変異型の hERG チャンネルに対しても解析の幅を広げてゆくことで、患者個人の遺伝子型に合わせて副作用のない薬剤を選択する医療、すなわち、個別化医療への進展につながると期待される。以上の成果を国際誌 *Chem. Rec.*, **20**, 1-14 (2020). に発表した。

2. 脂質二分子膜－有機半導体ハイブリッドに基づくナノデバイスの開発

上述の人工細胞膜系は、半導体微細加工技術により作製した微細孔の中で形成するが、我々は、この微細孔まわりに金属電極をパターンニングした電極内蔵型チップの形成を行い、このチップを用いて、有機半導体分子をドーピングした脂質二重層構造を形成し、水中で動作する光センシングデバイスを構築した。更に、チップ上の電極を利用し、従来の膜貫通方向の電圧に加えて膜に平行な方向のバイアスを印加することで、光誘起膜貫通電流を変調・増幅することに成功し、脂質二分子膜をベースとしたトランジスタ型デバイスを実現した。以上の成果を国際誌 ACS Omega や J. Phys. Chem. B などに発表した。

3. 脳組織に近い弾性率を有するシリコーン樹脂の生体界面材料応用

生物の脳に近い弾性率を有するポリジメチルシロキサン (PDMS) を調整し、その上で初代神経細胞を培養する手法を確立した。パッチクランプ計測および蛍光カルシウムイメージングによってシナプス特性とネットワーク活動パターンを解析した。その結果、弾性率が生体環境に近い足場上では培養神経回路の機能が生体条件に近づくことを明らかにした。以上の成果を国際誌 Soft Matter や Advanced Biosystems などに発表した。

<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。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Maki Komiya, Miki Kato, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Ryugo Tero, Yuzuru Tozawa, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, "Advances in Artificial Cell Membrane Systems as a Platform for Reconstituting Ion Channels", Chem. Rec., **20**, 1–14 (2020).
- [2] T. Ma, X. Feng, T. Deguchi, T. Otori, D. Yamaura, R. Miyata, D. Tadaki, M. Komiya, K. Kanomata, F. Hirose, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, "Modulation of photoinduced transmembrane currents in a fullerene-doped freestanding lipid bilayer by a lateral bias", ACS Omega, **4**, 18299–18303 (2019).
- [3] X. Feng, T. Ma, D. Yamaura, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, "Formation and Characterization of Air-Stable Lipid Bilayer Membranes Incorporated with Phthalocyanine Molecules", J. Phys. Chem. B, **123**, 6515–6520 (2019).
- [4] Takuma Sumi, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, "Suppression of hypersynchronous network activity in cultured cortical neurons using an ultrasoft silicone scaffold", Soft Matter, **16**, 3195–3202 (2020).
- [5] Hideaki Yamamoto, Leroy Grob, Takuma Sumi, Kazuhiro Oiwa, Ayumi Hirano-Iwata, Bernhard Wolfrum, "Ultrasoft silicone gel as a biomimetic passivation layer in inkjet-printed 3D MEA devices", Adv. Biosyst., **3**, 1900130 (2019).

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 2019 年度の研究活動成果の概要を述べる。

（1）ソフトウェア構成研究室

高信頼プログラミング言語の基礎理論、さらに基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指し、理論と実践の両面から研究を行ってきた。基礎理論研究の主要な成果は、局所十分完全性に基づく潜在帰納法の提案である。従来の潜在帰納法では、適用のための条件として十分完全性が必要であると考えられてきた。本研究では、この制限を緩和し、無限リストのような計算が停止しない式を部分的に含むプログラムに対しても適用可能な手法に拡張した。プログラミング言語の実現手法の研究では、100万を超える軽量スレッドにスケールする並列かつ並行ゴミ集め方式、ML系多相型言語への系統的な動的型付け機構の導入方式等を開発し、それらを SML#コンパイラに実装した。

（2）コンピューティング情報理論研究分野

ソフトウェアの効率的な開発やその動作の保証の理論的基盤となる形式言語理論に加え、その応用の一つである双方向変換技術について研究を進めた。第一に、木構造データに対する再帰的計算の形式モデルである木トランスデューサのうち、時間効率と空間効率の両面で実用的なストリーム処理系モデルについて等価性判定が決定可能であることを示し、その実用性を確認した。第二に、木トランスデューサにスタック機構を導入したモデルの表現力について精査し、その導入による既存のクラス階層が保存されないことを発見した。スタック機構は実用的な計算を扱うために導入されたものであり、これまで扱えなかったソフトウェアの実行の効率化や信頼性の検証へ応用できる可能性があり、この発見は重要な結果であるといえる。第三に、双方向変換と呼ばれるデータベース間の同期を行う技術の基盤となる既存の複数の形式化に対し、互いの関係を初めて明確化することに成功した。この成果は、双方向変換を扱うソフトウェアの検証の効率化や高信頼化への応用が期待される。

(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。IoT 通信を収容するためのモバイルコアネットワークに関する研究では、制御プレーンサーバの資源不足問題を解消するためのシグナリング制御技術や、モバイルトラフィック処理の適応的な分割技術、無線アクセス網とコア網の相互作用を考慮した性能解析などを行った。また、ネットワーク仮想化技術 (NFV) に関する研究では、仮想ネットワーク機能を需要やサーバ資源量に応じてネットワーク内に動的かつ適応的に配置するために、生化学反応モデルを適用する手法を提案し、NFV フレームワーク上での実装評価を行った。さらに、エージェント型 IoT (AIoT) とその応用に関する研究では、IoT 機器同士が発見的・自律的に組織化し、ボトムアップに機器を組み合わせてながらサービスを動的に構成するためのエージェント間情報流通基板として、分散型黒板モデルの設計と試作を行った。また、具体的な連携型サービスの例として、人感センサ、カメラ、スマート照明、画像認識デバイスを組み合わせた防犯カメラサービスを想定し、モックアップを試作した。

(4) 環境調和型セキュア情報システム研究室

次世代情報通信技術の恩恵を誰もが安全に享受できる社会の実現を目指して、セキュア情報通信システムの基礎理論と実装技術の研究に取り組んでいる。本年度は、IoT 機器向けセキュリティコンピューティング技術として、国際標準暗号 AES (Advanced Encryption Standard) を世界最小エネルギー動作で実行するハードウェアアーキテクチャを開発した。また、ハードウェアから抽出されて個体識別や秘密鍵生成などに利用される物理複製困難関数に基づくシステムの安定性と効率を大幅に高める新たな手法を開発し、その有効性を理論と実験の両面から示した。さらに、タブレット等のスマートデバイスの電磁的な安全性(漏えい電磁波による情報セキュリティ上のリスク)を定量的に評価する手法を考案し、実機を用いた実験によりその有効性を実証した。

(5) ソフトコンピューティング集積システム研究室

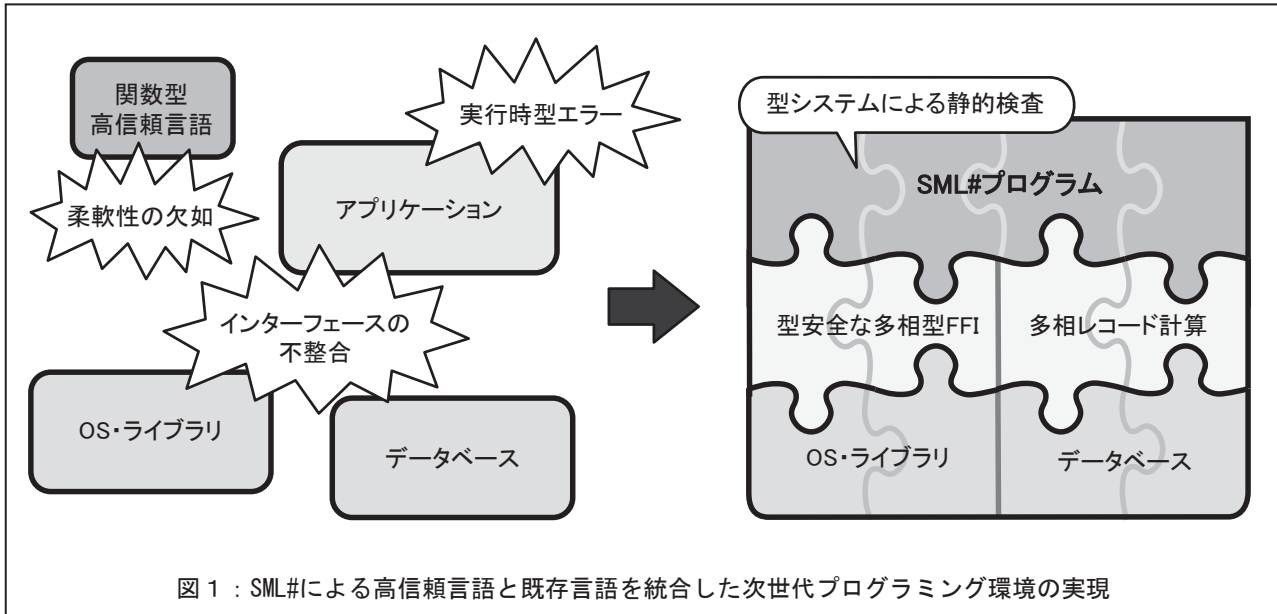
脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフィックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度は、1) カオスリザーバーネットワークの性能や性質を、カオス時系列予測と音声認識を通して解析した。またこれを 3次元 LSI に実装するためのインターリーブ・サイクリック型回路を提案し、個別部品実験によりその妥当性を確認した。2) スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。さらに、これらのモデルを用いた学習シミュレーション実験により、スピントロニクス素子が STDP 学習ネットワークにおいて有効であることを示した。3) 高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、ビット長削減による性能評価実験の際に発見された新奇現象について、ダイナミクスおよびエントロピーの観点からその解明を試みた。

(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) IoT (Internet of Things) センサノードへの人工知能技術の実装を目的として、不揮発素子を活用した省エネルギーかつ省面積なニューラルネットワークハードウェアに関する研究を推進した。重みの量子化技術と不揮発ロジックインメモリ回路技術を組み合わせることで省面積化を実現するとともに、不揮発化に基づく間欠的な動作による低消費電力化、不揮発素子の抵抗可変に着目した動作点のばらつきに対する高信頼化をそれぞれ示した。その結果、提案技術を組み込んだ積和演算回路が高い動作安定性を保ちつつ、従来構造に比べエネルギー遅延積 (EDP) を 99.9%、回路面積を 72.2%削減可能であることを明らかにした。(b) また、従来型コンピューティングでは実装されていない双方向計算を、CMOS 集積回路上で実現する CMOS Invertible Logic (CIL) によるハードウェア実現方法に取り組んだ。CIL では所望の関数をハミルトニアンと呼ばれるエネルギー関数に変換をし、CIL のノードでの確率的計算をストカスティック演算により実現をした。双方向計算一種である素因数分解処理を CMOS 集積回路により実装をした結果、実チップ上で双方向計算が実現されていることが確認された。上記を含めた本年度の研究成果は、回路・システム関連分野の最高峰の論文誌の一つである IEEE TCAS-I をはじめ、学術論文 7 編、査読付国際会議論文 8 編、招待講演 7 件 (うち国際会議 5 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

<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。

<2019 年度の主な成果>

1. SML#コンパイラの開発

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

集め方式の実装を成功させた。また、自然なデータ表現を採用するコンパイラにおける多相関数をマシンコードにコンパイルする方式をレビューし、新たなマシンコード生成方式を提案した。さらに、動的型付け機構を含み種々の OS 向けパッケージを揃えた SML#コンパイラ第 3.5.0 版を世界にリリースした。

2. 無限のデータを含む等式に対する帰納的定理証明.

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帰納的定理証明手法である潜在帰納法では、従来、適用のための条件として十分完全性が必要であると考えられてきた。本研究では、十分完全性を緩和した局所十分完全性に基づく潜在帰納法を提案し、無限リストのような計算が停止しない式を部分的に含むプログラムに対しても適用可能となるように手法を拡張した。また、類似の考え方をを用いることにより、項書き換えシステムの等価変換として実現されるプログラム変換法を拡張し、その正当性を示した。さらに、局所十分完全性を判定する手続きの構築に取り組み、判定のための導出システムや自動判定に適した十分条件を提案した。

3. 静的多相型言語の動的型付け機構の実現方式.

静的型付き多相型言語における動的型付け機構の実現方式の研究に着手し、SML#の研究開発を通じて我々が実現した「型主導コンパイル方式」の考え方を適用することによって、動的型付け機構を多相型言語に系統的に導入する方式を構築し、その方式を SML#言語に実装し、有効性を確認した。

<職員名>

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

<プロフィール>

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

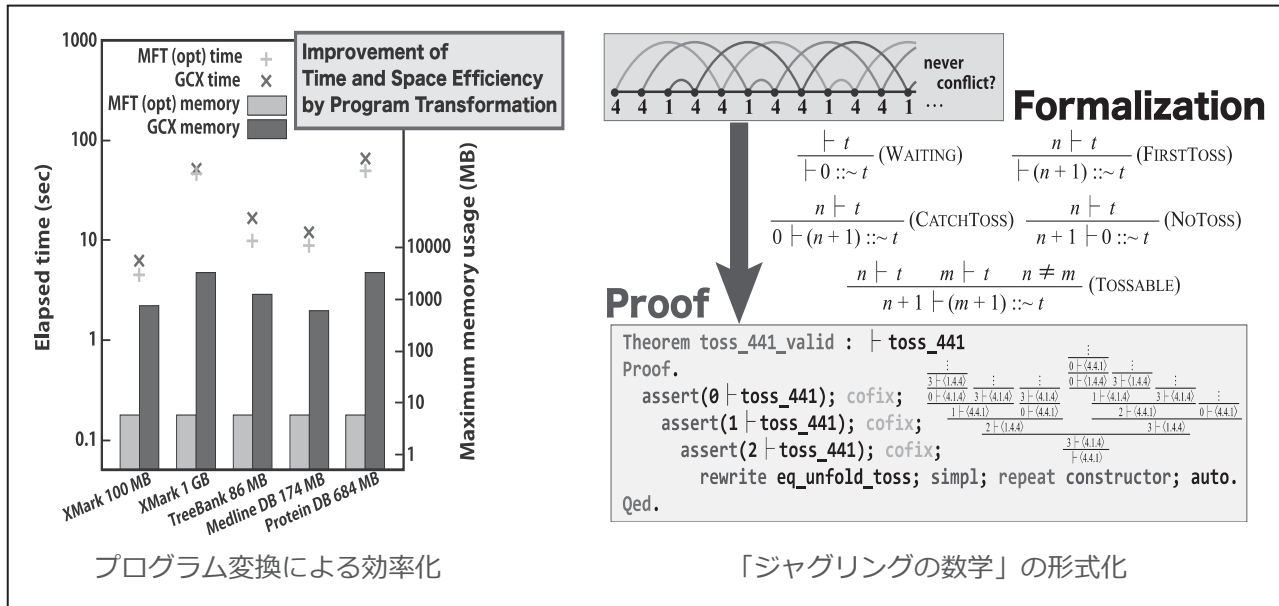
上野 雄大 1981年生。2009年3月東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了。2009年4月同大学電気通信研究所助教。2016年6月同准教授、現在に至る。プログラミング言語理論およびコンパイラ実装技術に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞(2011年)、トーキン財団奨励賞受賞(2016年)。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto, Isao Sasano: Inductive Theorem Proving in Non-terminating Rewriting Systems and Its Application to Program Transformation. In Proceedings of the International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP'19), 2019, DOI:10.1145/3354166.3354178.
- [2] 大堀 淳、上野 雄大: SML#の動的型付け機構、ソフトウェア科学会大会論文集、6 ページ、2019 年 7 月
- [3] 上野 雄大: 自然なデータ表現を持つ多相型言語の LLVM IR へのコンパイル方式、第 22 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2020)、2020 年 3 月

コンピューティング情報理論研究室

ヒトとコンピュータのギャップを埋める



コンピューティング情報理論研究分野 教授 中野 圭介

<研究室の目標>

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

<2019年度の主な成果>

1. 形式木言語理論によるプログラム等価性に基づく検証

形式木言語理論は木構造データの集合や変換を形式化したモデルを扱う理論であり、プログラム検証や効率化に応用できることが知られている。本年度は、二つの再帰的なプログラムが意味的に等しいかを判定する問題について、ストリーム木トランスデューサと呼ばれる効率的な木構造変換の形式的モデルについて等価性が決定可能（有限時間で計算可能）であることを示し、等価性が決

定可能であることを知られていた既存の形式的モデルよりも広範囲に応用可能なアルゴリズムも開発に成功した [1]。

2. 双方向変換言語の理論的基盤の開発と自律分散データベースシステムへの応用

異なる環境におけるデータベースシステムの同期や保守を行うことを目的として、双方向変換とよばれる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システムやデータ構造の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、双方向変換に特化したプログラミング言語に対してプログラム検証のアイデアを応用し、相互変換の一貫性に関して必要かつ十分な法則を特定し、これまで個別に提案されてきた複数の法則の互いの関係を明らかにする研究を行った [2]。また、国立情報学研究所・京都大学・大阪大学などの研究者と共同で研究を進めている双方向変換技術の自律分散データベースシステムへの応用として、信頼性の高い理論基盤の開発を進めるとともに、実用的なアプリケーションの実現可能性について確認した [3, 4]。

<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>

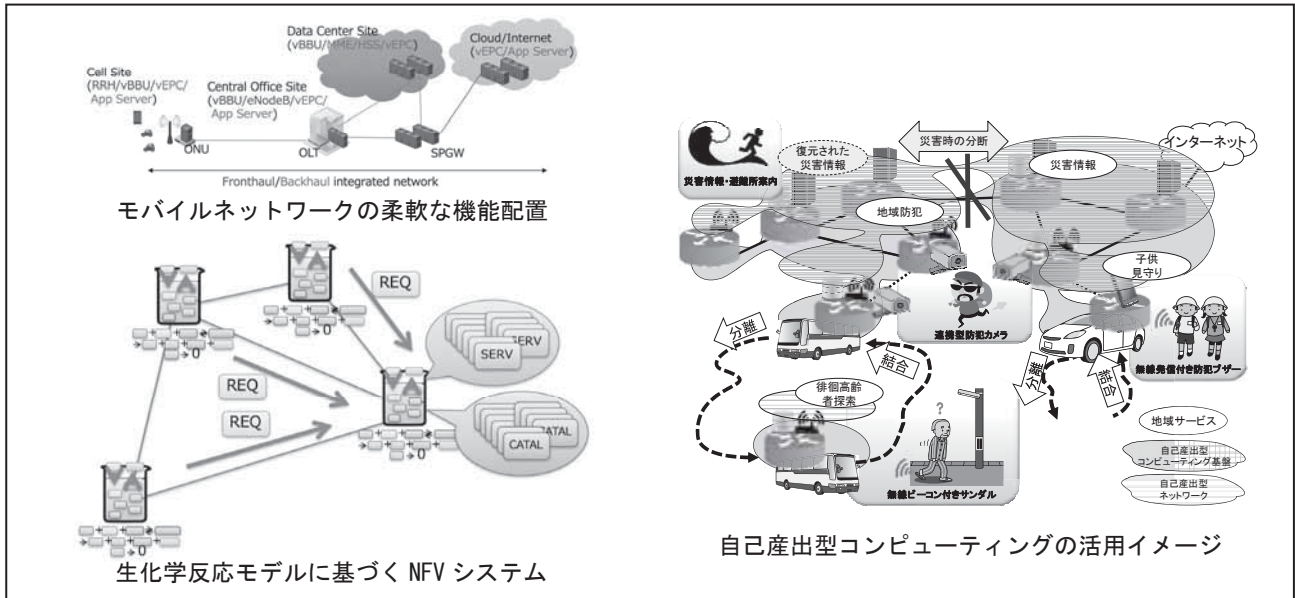
中野 圭介 1997 年東京大学理学部数学科中退。2003 年京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻数理解析系博士後期課程単位取得退学。東京大学大学院情報理工学系研究科産学官連携研究員、電気通信大学先端領域教育研究センター特任助教、同大学院情報理工学研究科准教授を経て、2018 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。関数型プログラミング、形式言語理論、証明支援系に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会、ACM 各会員。博士 (理学)。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Yuta Takahashi, Kazuyuki Asada, and Keisuke Nakano, "Streaming Ranked-Tree-to-String Transducers", International Conference on Implementation and Application of Automata (CIAA 2019), 235-247, Kosice, Slovakia, 2019.
- [2] Keisuke Nakano, "Towards a Complete Picture of Lens Laws", 3rd Workshop on Software Foundations for Data Interoperability (SFDI2019+), Fukuoka, Japan, 2019.
- [3] Yasunori Ishihara, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Makoto Onizuka, and Yuya Sasaki, "Toward BX-based Architecture for Controlling and Sharing Distributed Data", 2nd Workshop on Software Foundations for Data Interoperability (SFDI 2019), Kyoto, Japan, 2019.
- [4] Yasuhito Asano, Dennis-Florian Herr, Yasunori Ishihara, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Makoto Onizuka, and Yuya Sasaki, "Flexible framework for data integration and update propagation: system aspect", 2nd Workshop on Software Foundations for Data Interoperability (SFDI 2019), Kyoto, Japan, 2019.

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。

＜2019 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性能評価、シグナリングパラメータの調整によるサーバ資源に対する需要の動的制御技術、及びモバイルトラフィックのベースバンド処理における効率的な機能分割戦略の導出に関する研究を行った (文献[2][3][4])。

2. ネットワーク機能仮想化システムに関する研究

ネットワーク機能仮想化 (NFV: Network Function Virtualization) システムにおいて重要となる、仮想化ネットワーク機能のネットワーク内配置、サーバ資源の配分などを、自律分散的に制御するアーキテクチャとして、化学反応式を利用した空間拡散モデルに基づいて、上記のようなネットワ

ークサービスにおいて、提供するサービスや機能を適切な場所で実行し、サーバ資源をそれらで効率よく共有する手法を提案し、その有効性を NFV フレームワーク上での実装実験によって明らかにした（文献[5]）。

3. 自己産出型コンピューティングに関する研究

次世代の IoT 向けコンピューティング基盤として、移動体を含む様々な IoT 機器が自律的にサービスを構成する、自己産出型コンピューティング基盤の基礎的技術の研究開発に取り組んでいる。自己産出（autopoiesis）とは、生物の構成要素のように、構成要素自体が自己組織化し、自らの構成要素を自ら作り出しながら、単体としても機能し、全体としても機能することを指す概念である。2019 年度は、IoT 機器の自律的連携を促進するための情報流通基盤の設計や、コンセプトシステムの試作を行った（文献[8]）。

<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 今野 亜未

<プロフィール>

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

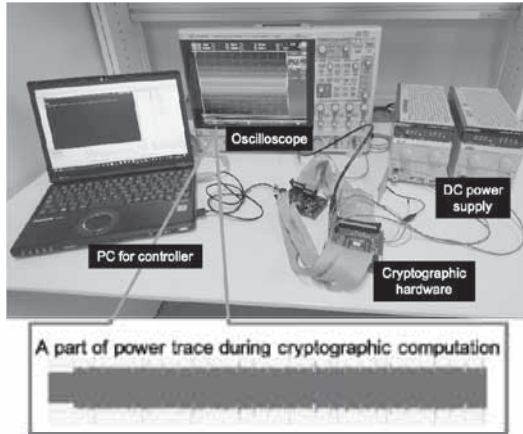
北形 元 2002 年 3 月 東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年 4 月、東北大学電気通信研究所助手。2007 年 5 月 同准教授。現在に至る。博士 (情報科学)。エージェント指向コンピューティング、やわらかい情報システム、インテリジェントネットワークの研究に従事。平成 13 年度電子情報通信学会学術奨励賞。平成 18 年度 情報処理学会山下記念研究賞。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Xun Shao, Go Hasegawa, Noriaki Kamiyama, Zhi Liu, Hiroshi Masui and Yusheng Ji, "Joint Optimization of Computing Resources and Data Allocation for MEC: An Online Approach," in Proceedings of IEEE ICCCN 2019, August 2019.
- [2] Go Hasegawa, Rina Yamasaki, and Masayuki Murata, "System and application performance of function placement strategies for virtualized mobile fronthaul/backhaul networks," in Proceedings of IEEE ICIN 2020, February 2020.
- [3] 長谷川剛, 村田正幸, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, 阿多信吾, "TWDM-PON に基づくフロントホールネットワークの機能配置の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. 119, no. 194, NS2019-95, pp. 35-40, 2019 年 9 月.
- [4] 安達智哉, 阿部修也, 長谷川剛, 村田正幸, "IoT 端末を考慮したシグナリング制御によるモバイルコアノードの資源利用の効率化," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 298, CQ2019-97, pp. 47-52, 2019 年 11 月.
- [5] 杉田修斗, 阿部修也, 長谷川剛, 村田正幸, "生化学反応モデルに基づく NFV 管理手法の OPNFV への実装と実験評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 455, CQ2019-140, pp. 29-34, 2020 年 3 月.
- [6] A. Satoh, Y. Nakamura, Y. Fukuda, K. Sasai and G. Kitagata, "A Cause-Based Classification Approach for Malicious DNS Queries Detected Through Blacklists," IEEE Access, vol. 7, pp. 142991-143001, 2019.
- [7] Akihiro SATOH, Yutaka NAKAMURA, Daiki NOBAYASHI, Kazuto SASAI, Gen KITAGATA, Takeshi IKENAGA, "Clustering Malicious DNS Queries for Blacklist-Based Detection," IEICE Transactions on Information and Systems, 2019, Volume E102.D, Issue 7, pp.1404-1407, July 01, 2019.
- [8] 北形 元, "自己産出型コンピューティングの実現へ向けた検討", 信学技報, vol. 119, no. 195, IN2019-23, pp.1-4, 2019 年 9 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



セキュリティハードウェアの設計・検証
とその安全性評価実験の様子



電磁波を介する情報セキュリティ技術
の理論とその応用

環境調和型セキュア情報システム研究分野 教授 本間 尚文

助教 上野 嶺

特任助教 Ville Yli-Mäyry

<研究室の目標>

モノのインターネットに代表される次世代情報通信技術は、豊かな社会をもたらすと期待される一方で、新たなセキュリティ上の脅威を生じさせると危惧されている。本研究室では、将来のサービスやテクノロジ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。

<2019 年度の主な成果>

1. セキュリティハードウェアの設計・検証手法の開発

物理攻撃への耐性を有するセキュリティハードウェアの設計手法およびその機能とセキュリティプロパティの検証手法を開発している。2019 年度は、世界で最も広く利用される国際標準暗号 AES の暗号化および復号を高効率に実行するハードウェアを設計した[1, 2, 3]。同ハードウェアは既

存手法の約半分の消費エネルギーで暗号化・復号を実行可能である。さらに、楕円曲線電子署名の実装に対し、消費電力の計測を利用した攻撃とそれらに対する対策を考案し、その有効性を実証した [4]。加えて、物理複製困難関数からハードウェア識別子を効率的に抽出する手法を開発し、高安全なハードウェア認証システムを実現した [5, 6]。

2. ハードウェアトロイの脅威の基礎評価および対策手法の開発

秘密情報の不正を目的として設計・製造段階で秘密裏に暗号ハードウェアに挿入されるバックドアであるハードウェアトロイの問題に取り組み、その対策手法の開発を行った。2019年度は、暗号データパスに挿入されるトロイは基本的に回路機能の変更を伴うことに着目し、暗号データパスが設計仕様を過不足なく満たしているかを形式的に検証する手法を開発した [7]。

3. 電磁情報セキュリティの安全性評価技術の開発

タブレットやスマートフォン、ノートパソコン等の携帯情報通信端末の画面情報が同端末から漏えいする電磁波によって遠隔で復元される電磁的盗視の問題に取り組み、その安全性評価を実施した。2019年度は、特に、タブレットからの放射電磁波による情報漏えいの評価手法を考案した [8]。

<職員名>

教授 本間 尚文 (2016年より)

助教 上野 嶺 (2018年より)

特任助教 Ville Yli-Mäyry (2019年より)

<プロフィール>

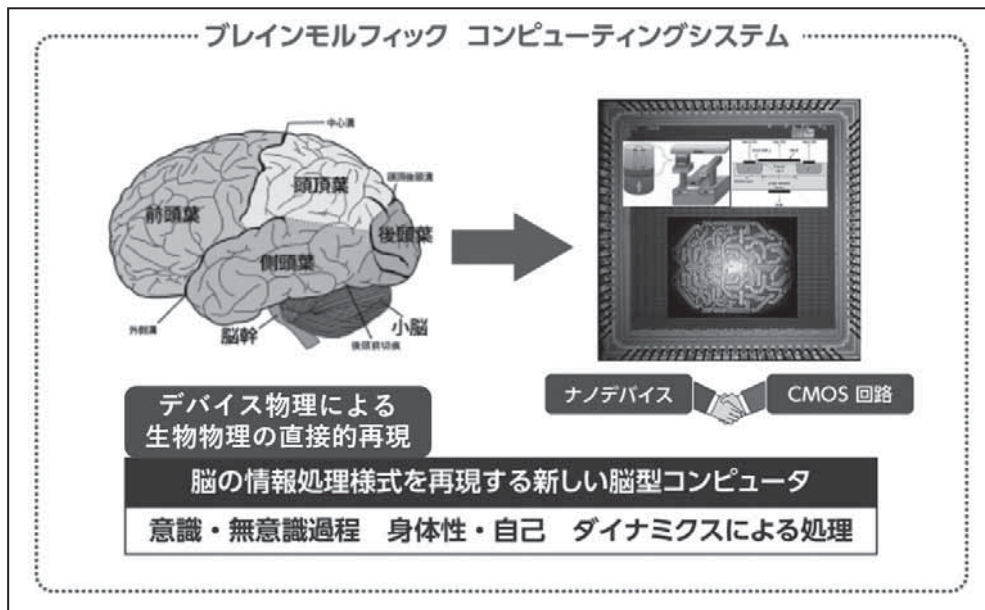
本間 尚文 1997年3月 東北大学工学部情報工学科卒業。2001年9月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。2001年10月 同大学院助手/助教。2009年4月 同大学院准教授。2016年6月 同大電気通信研究所教授、現在に至る。博士(情報科学)。2009-2010年/2016-2017年 国立パリ高等情報通信大学客員教授。RIEC Award (2012年)、IEEE EMC Best Symposium Paper Award (2013年)、IACR CHES Best Paper Award (2014年)、SCIS イノベーション論文賞 (2014年、2015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

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] R. Ueno *et al.*, “Highly Efficient AES Hardware Architectures Based on Datapath Compression,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 69, Issue 4, pp. 534–548, 2020.
- [2] R. Ueno *et al.*, “Highly Efficient $GF(2^8)$ Inversion Circuit Based on Hybrid GF Arithmetic,” *Journal of Cryptographic Engineering*, Vol. 9, No. 2, pp. 101–113, 2019.
- [3] R. Ueno *et al.*, “High Throughput/Gate FN-Based Hardware Architectures for AES-OTR,” *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2019.
- [4] Kosuke Koiwa *et al.*, “Collision-Based EM Analysis on ECDSA Hardware and a Countermeasure,” *Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific Electromagnetic Compatibility*, pp. 793–796, 2019.
- [5] Rei Ueno *et al.*, “Tackling Biased PUFs Through Biased Masking: A Debiasing Method for Efficient Fuzzy Extractor,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 68, Issue 7, pp. 1091–1104, 2019.
- [6] K. Kazumori *et al.*, “Debiasing Method for Efficient Ternary Fuzzy Extractors and Ternary Physically Unclonable Functions,” *IEEE 50th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, 2020. (to appear)
- [7] A. Ito *et al.*, “Effective Formal Verification for Galois-Field Arithmetic Circuits with Multiple-Valued Characteristics,” *IEEE 50th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, 2020. (to appear)
- [8] Ville Yli-Mäyry *et al.*, “On the Evaluation of Electromagnetic Information Leakage from Mobile Device Screens,” *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 61, Issue 4, pp. 1107–1114, 2019.

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。

<2019 年度の主な成果>

1. カオスニューラルネットワークリザーバーの研究

通常は収束ダイナミクスを用いるリザーバーニューラルネットワークに対し、ネットワーク全体としての漸近収束を保証するエコステートプロパティを保ちながら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ーを提案した。このカオスニューラルネットワークリザーバーを、時系列予測、音声認識などに応用し、その有効性を確認すると共に、ネットワークダイナミクスをリアプノフスペクトル、各種エントロピー、相互情報量などを用いて

評価・検討した。さらに、これを3次元集積回路に実装するためのインターリーブ・サイクリック型回路を提案し、集積回路特性を考慮した個別部品による実験により、その妥当性を確認した。

2. スピントロニクスニューロンおよびシナプスデバイスの数理モデルの開発

スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスを用いて STDP スパイクニューラルネットワークハードウェアを構築するため、これらのデバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。さらに、実験による測定値を用いたパラメータチューニングを行い、実験結果を良く再現できることを確認した。

3. 高次元カオスストリーム暗号に関する研究

高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGAによる実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、ビット長に対する疑似乱数生成性能の評価実験の際発見された新奇現象について、ダイナミクスの観点とエントロピーの観点からその解明を試みた。

<職員名>

教授 堀尾 喜彦 (2016年より)

<プロフィール>

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

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio, and H. Ohno, "Artificial neuron and synapse realized in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure using dynamics of spin-orbit torque switching," *Advanced Materials*, 1900636, DOI: 10.1002/adma.201900636, 2019.
- [2] Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in *Understanding Complex Systems*, V. In, P. Longhini, and A. Palacios, eds., Springer, ISBN 978-3-030-10891-5, Chapter 5, pp. 36-43, DOI: 10.1007/978-3-030-10892-2_5, 2019.
- [3] Y. Horio, "Chaotic neural network reservoir," in *Proc. of IEEE The International Joint Conference on Neural Networks*, paper no. N-19290 (5 pages), 2019.
- [4] Y. Horio, A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, "Spin-orbit torque neuron and synapse devices for brainmorphic computing," in *Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, p. 78, 2019.
- [5] A. Shinozaki, T. Miyano, and Y. Horio, "Chaotic time series prediction by a noisy echo state network," in *Proc. NOLTA*, pp. 81-84, 2019.
- [6] K. Miyauchi, Y. Horio, T. Miyano, and K. Cho, "Design method for nonlinear LUT in pseudorandom number generator based on augmented Lorenz map," in *Proc. NOLTA*, pp. 444-447, 2019.
- [7] Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, and S. Sato, "An Izhikevich model neuron MOS circuit for low voltage operation," in *Proc. of 28th International Conference on Artificial Neural Networks*, pp. 718-723, DOI:10.1007/978-3-030-30487-4_55, 2019.
- [8] 堀尾喜彦, 「ブレインモルフィックコンピューティングと物理デバイスへの期待」, *応用物理*, vol. 88, no. 9, pp. 619-623, 2019.

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

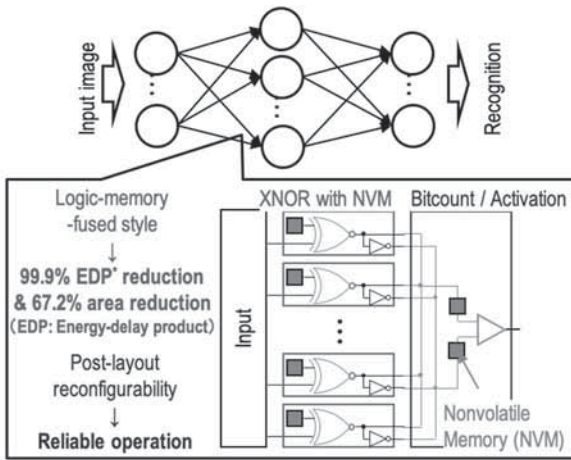


図1. 不揮発ロジックインメモリアーキテクチャに基づく積和演算回路. 高信頼動作を維持しつつ、従来構造に対しエネルギー遅延積を99.9%、面積を67.2%削減.

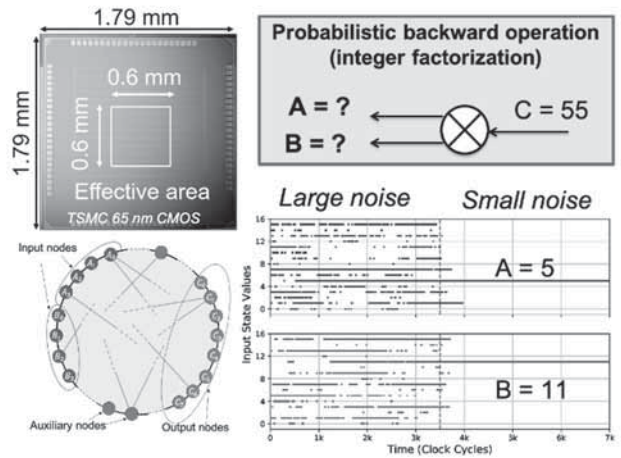


図2. ストカスティック演算を活用することで、「双方向計算」可能なCMOSインバーティブルロジックを考案し、その典型例である素因数分解処理を実チップ上で実証

新概念 VLSI システム研究分野 教授 羽生 貴弘

新概念 VLSI デザイン研究分野 准教授 夏井 雅典

<研究室の目標>

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

<2019 年度の主な成果>

1. 不揮発素子を活用した省エネルギー・省面積・高信頼積和演算回路の設計 (図 1)

IoT センサノードへの人工知能技術の実装を目的として、不揮発素子を活用した省エネルギーかつ省面積なニューラルネットワークハードウェアに関する研究を推進した。量子化技術ならびに不揮発ロジックインメモリ回路技術を組み合わせることで省面積化を実現するとともに、不揮発記憶機能の活用により、間欠的な動作を想定した場合における消費電力を低減可能であることを示した。さらに、不揮発素子を可変抵抗として回路内部に組み込むことにより、動作環境の変化に伴う動作点のばらつきに対する高信頼動作を保証できることを示した。提案技術を組み込んだ積和演算回路が、高い動作安定性を保ちつつ、従来構造に比べエネルギー遅延積 (EDP) を 99.9%、回路面積を 72.2% 削減可能であることを確認した。

2. CMOS インバーティブルロジックに基づく双方向計算ハードウェアの実現 (図2)

従来のコンピューティングでは実現が困難な「双方向計算」を、CMOS 集積回路上で実現可能にする CMOS Invertible Logic (CIL) を考案した。CIL では所望の関数をハミルトニアンと呼ばれるエネルギー関数に変換をし、CIL のノードでの確率的計算をストカスティック演算により実現をした。双方向計算一種である素因数分解処理を CMOS 集積回路により実装をした結果、実チップ上で双方向計算が実現されていることが確認された。この研究成果は、分野最高峰の論文誌の一つである IEEE TCAS-I (vol. 66, no. 6, pp. 2263-2274, June 2019) に採録となった。

<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)
 助教 鬼沢 直哉 (2013年12月より)

<プロフィール>

羽生 貴弘 1984年3月東北大学工学部電子工学科卒。1989年3月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了。1989年4月同大工学部助手。1993年2月同大工学部助教授。2002年4月同大電気通信研究所教授、現在に至る。不揮発性ロジック、電流モード非同期 NoC 技術とその応用に関する研究に従事。IEEE ISMVL Best Paper Award (1986年, 1988年), 丹羽記念賞 (1988年), 坂井記念賞 (2000年), LSI デザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞 (2002年), ASP-DAC2007 Special Feature Award (2007年), 応用物理学会 JJAP 論文賞 (2009年), 電子情報通信学会優秀論文賞 (2010年), 市村学術賞貢献賞 (2010年), IEEE ISVLSI' 10 Best Paper Award (2010年), SSDM Paper Award (2012年), IEEE ASYNC' 14 Best Paper Finalist (2014年), 平成 27 年度科学技術分野文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) (2015年) などを受賞。IEEE Senior Member.

夏井 雅典 2000年3月東北大学工学部情報工学科卒。2005年3月同大学院情報科学研究科基礎科学専攻博士後期課程了。2005年4月豊橋技術科学大学情報工学系助手。2008年4月東北大学電気通信研究所助教。2014年7月同准教授、現在に至る。自動回路設計、不揮発性ロジック、多値電流モード回路技術とその応用に関する研究に従事。電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ論文賞 (2010年), K. C. Smith Award (2012年) などを受賞。IEEE Member.

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] M. Natsui, D. Suzuki, A. Tamakoshi, T. Watanabe, H. Honjo, H. Koike, T. Nasuno, Y. Ma, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "A 47.14 μ W 200MHz MOS/MTJ-Hybrid Nonvolatile Microcontroller Unit Embedding STT-MRAM and FPGA for IoT Applications," IEEE Journal of Solid State Circuits (JSSC), Vol. 54, No. 11, pp. 2991-3004, Nov. 2019.
- [2] S. Smithson, N. Onizawa, T. Hanyu, B. Meyer, and W. Gross, "Efficient CMOS Invertible Logic using Stochastic Computing," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, Vol. 66, No.6, pp. 2263-2274, June. 2019.
- [3] N. Onizawa, D. Shin, and T. Hanyu, "Fast hardware-based learning algorithm for binarized perceptrons using CMOS invertible logic," Journal of Applied Logic, Vol. 7, No. 1, pp. 41-58, Jan. 2020.
- [4] D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a highly reliable, high-speed MTJ-based lookup table circuit using fractured logic-in-memory structure," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), Vol. 58, No. SB, pp. SBBB10~1-SBBB10~7, Apr. 2019.

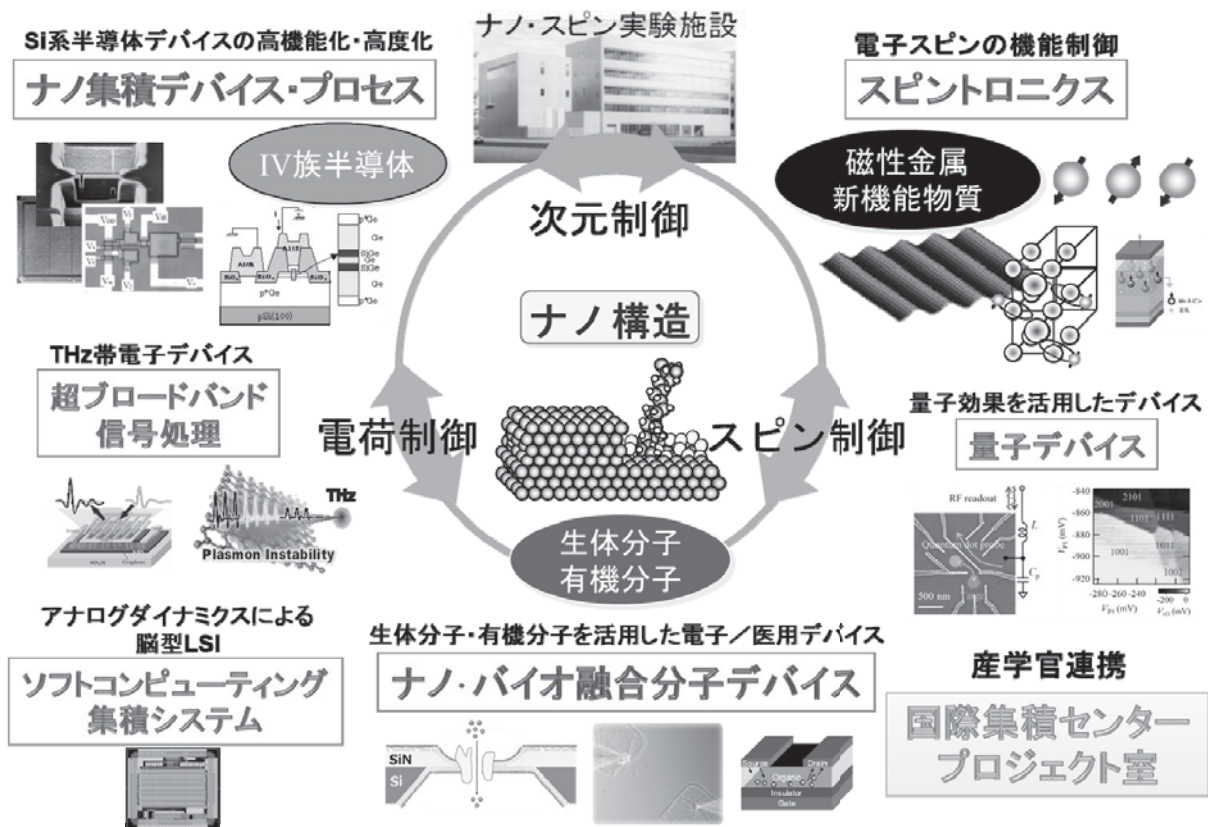
(他 学術論文 3 編, 査読付国際学会論文等 8 編)

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2019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、電源電圧 1V で動作するスパイクニューロン回路の試作を行った。強反転領域で動作する MOS トランジスタ 40 個程度で構成されるアナログ MOS 回路が良好に動作することを電気測定により確認した。
- (2) ナノメートル厚さの高 B 濃度 Si 薄膜堆積ごとに低エネルギー Ar プラズマ照射を行うことにより電氣的活性化率を 75% まで改善させることに成功し、基板非加熱での低抵抗 p 型 Si 薄膜形成を実現した。
- (3) SiC ショットキーバリアダイオード製作プロセスを確立することにより、その整流特性が金属の仕事関数に依存して大きく変動する効果を確認し、その特性から SiC 結晶欠陥に関する情報を推定できることを明らかにした。
- (4) 回路構造に由来する神経ダイナミクスが時系列情報処理に及ぼす影響を明らかにするため、リザーブコンピューティングにより音声識別を実行し、TI-46 音声データセットの正答率からその性能を評価した。一般にノイズや素子のばらつきに対して高いロバスト性を有するとされるモジュラーネットワークをリザーブとして用い、90% 以上の正答率を達成した。
- (5) 脳型計算の手法を模倣した量子連想記憶モデルにおいて、量子ヘップ・反ヘップ学習時に連想能力が飽和する現象を数値シミュレーションによって検証し、この現象が量子ダイナミクスに由来するものであることを明らかにした。

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

- (1) 通常は収束ダイナミクスを用いるリザーブニューラルネットワークに対し、ネットワーク全体としての漸近収束を保証するエコステートプロパティを保ちながら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ブを提案した。このカオスニューラルネットワークリザーブを、時系列予測、音声認識などに応用し、その有効性を確認すると共に、ネットワークダイナミクスをリアプノフスペクトル、各種エントロピー、相互情報量などを用いて評価・検討した。さらに、これを 3 次元集積回路に実装するためのインターリーブ・サイクリック型回路を提案し、集積回路特性を考慮した個別部品による実験により、その妥当性を確認した。
- (2) スピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスを用いて STDP スパイクニューラルネットワークハードウェアを構築するため、これらのデバイスのコンパクトな数理モデルを、デバイス温度ダイナミクスを用いて記述した。さらに、実験による測定値を用いたパラメータチューニングを行い、実験結果を良く再現できることを確認した。また、提案した数理モデルを用いた STDP パターン学習ネットワークのシミュレーションにより、シナプス様デバイスの学習ニューラルネットワーク素子としての有効性を示した。
- (3) 高次元カオスダイナミクスの複雑性を活用した高速物理暗号デバイスを実装するため、拡張ローレンツ写像を用いた小型・高速乱数生成ハードウェアの構築方法を提案し、FPGA による実装実験により提案手法の有効性を確認した。さらに、ビット長に対する疑似乱数生成性能の評価実験の際に発見された新奇現象について、ダイナミクスの観点とエントロピーの観点からその解明を試みた。

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。令和元年度は主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) スピン軌道トルクによる磁化の制御が可能な反強磁性／強磁性積層構造を用い、ニューロンとシナプスのダイナミクスを再現することに成功した。(2) 強磁性共鳴法を用いたスピン軌道トルクの定量評価における注意点を明らかにし、信頼性高く評価が可能な手法を考案、実証した。(3) 熱揺らぎを積極利用する新概念スピントロニクス素子を開発し、それを用いた量子ビットと互換性のある確率ビット、及び量子アニーリングマシンと同等な機能を有する確率論的コンピュータの原理実証に成功した。(4) スピン移行トルク磁化反転における磁化反転エラーレートを詳細に測定し、これまで知られていなかったエラーレートを特徴づける物理的な機構を明らかにした。(5) Ir/Co/Pt 多層膜において非常に大きな垂直磁気異方性が得られることを発見し、その要因を明らかにした。(6) 磁気スキルミオンの工学応用上の最大の課題であったスキルミオンホール効果の抑制が可能な人工反強磁性スキルミオンを積層フェリ結合積層膜において実現し、かつスキルミオンホール効果のない電流による直線駆動を実証した。(7) ノンコリニア反強磁性 Mn_3Sn 薄膜のエピタキシャル成長に世界で初めて成功し、またその磁気輸送特性と結晶構造の関係を明らかにした。(8) PtMn/CoFeB 積層構造におけるスピン軌道トルクの積層構造、温度依存性を評価し、当材料系におけるスピン軌道トルクの生成メカニズムを考察した。

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・佐藤昭）

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

1. グラフェンによる電流注入型テラヘルツレーザーの創出

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。我々は、グラフェンを利得媒質とする新しい動作原理による電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイス・プロセス技術の開発を進め、独自の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。

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) のチャン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。本年度は、従来はドレイン電極から出力させていた出力光起電圧をゲート電極から出力させることで、これまでは不可能であった 50Ω 整合伝送システムとのインピーダンス整合、ならびに素子アクティブ領域面積に比例した光起電圧の増大が可能であることを実験的に明らかにした。

● 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氣的な精密高速観測、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。

(1) 固体ナノ構造中の電子物性を担う局所電子状態を解明するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできるマイクロな電氣的センサを開発している。高周波測定技術、データ科学手法の活用により、局所的な電子状態を高精度かつ高速に測定する手法について研究を行った。

(2) 高速マイクロセンサ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荷・スピン状態およびそのダイナミクスを測定した。量子ドットデバイスにおける電荷・スピン状態変化を観測し、その詳細をマイクロに解明した。

(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態制御・観測技術を活用して、半導体量子ビットデバイスの研究を行った。量子ビット操作における核スピンの影響低減、量子エラー訂正のシミュレーション、量子非破壊測定等を行った。

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) hERG チャンネルを標的とした人工細胞膜に基づく薬物副作用センサの開発

心筋細胞膜上に局在するイオンチャンネルタンパク質 hERG は、抗ヒスタミン剤などの市販薬によって阻害されやすく、致死性の不整脈を引き起こすリスクが増大することが問題視されてきた。我々は、hERG チャンネルの薬剤副作用応答を精度高く、且つ定量的に評価することが可能な系を開発すべく、人工細胞膜系と無細胞タンパク質系を融合したハイブリッド系の構築に着手した。このハイブリッド系を用い、代表的な副作用薬剤シサプリド(胃腸薬)を例に、野生型 hERG チャンネルに対する阻害作用について検討した。その結果、副作用の指標となる 50%阻害薬剤濃度をチャンネル 1 分子レベルで定量することに成功した。本アプローチを発展させ、野生型だけではなく様々な変異型の hERG チャンネルに対しても解析の幅を広げてゆくことで、患者個人の遺伝子型に合わせて副作用のない薬剤を選択する医療、すなわち、個別化医療への進展につながると期待される。以上の成果を国際誌 *Chem. Rec.*, **20**, 1-14 (2020). に発表した。

(2) 脂質二分子膜-有機半導体ハイブリッドに基づくナノデバイスの開発

上述の人工細胞膜系は、半導体微細加工技術により作製した微細孔の中で形成するが、我々は、この微細孔まわりに金属電極をパターンニングした電極内蔵型チップの形成を行い、このチップを用いて、有機半導体分子をドーピングした脂質二重層構造を形成し、水中で動作する光センシングデバイスを構築した。更に、チップ上の電極を利用し、従来の膜貫通方向の電圧に加えて膜に平行な方向のバイアスを印加することで、光誘起膜貫通電流を変調・増幅することに成功し、脂質二分子膜をベースとしたトランジスタ型デバイスを実現した。以上の成果を国際誌 *ACS Omega* や *J. Phys. Chem. B* などに発表した。

(3) 脳組織に近い弾性率を有するシリコン樹脂の生体界面材料応用

生物の脳に近い弾性率を有するポリジメチルシロキサン (PDMS) を調整し、その上で初代神経細胞を培養する手法を確立した。パッチクランプ計測および蛍光カルシウムイメージングによってシナプス特性とネットワーク活動パターンを解析した。その結果、弾性率が生体環境に近い足場上では培養神経回路の機能が生体条件に近づくことを明らかにした。以上の成果を国際誌 *Soft Matter* や *Advanced Biosystems* などに発表した。

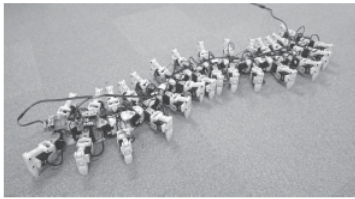
3. 6 ブレインウェア研究開発施設

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、電腦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。

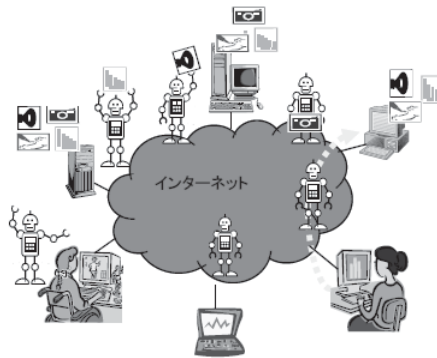
この施設は、適応的認知行動システム研究部（認識・学習システム研究室）、自律分散制御システム研究部（実世界コンピューティング研究室）、脳型LSIシステム研究部（新概念VLSIシステム研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室）、ブレインアーキテクチャ研究部の4研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。

身体性を持つ動的・適応的ハードウェア

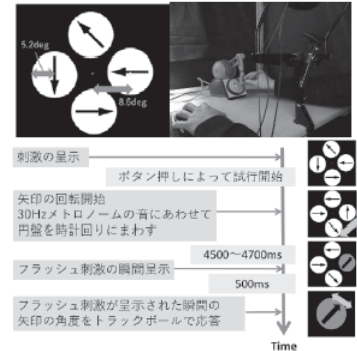
- ・超現実空間構成技術
(ブレインアーキテクチャ)



- ・実世界・動的知能構成技術
(実世界コンピューティング)

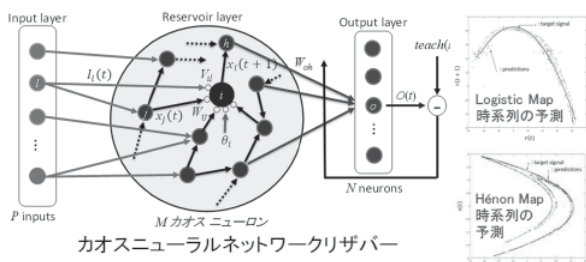


実世界と電腦世界のシームレスな融合 マルチモーダルコンピューティング

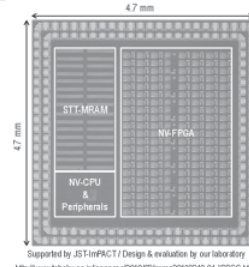


- ・高次多感覚ブレイン情報処理技術
(認識・学習システム)

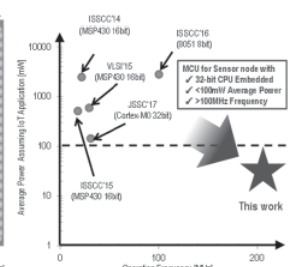
超並列ブレインLSIによるハードウェア



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



- ・脳型LSI実現へ向けた不揮発マイコン技術
(新概念VLSIシステム)



<施設の目標>

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

<2019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、2019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：

- ・陸上と水中を自在に動き回るムカデから学ぶ柔軟な「身のこなし方」
(実世界コンピューティング研究室)
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/12/press20191203-01-mukade.html>
- ・東北大学が不揮発性マイコン. 200MHz で平均 47 μ W に、エネルギーハーベスティングの電力だけで利用可能に、以下の高性能・低消費電力スピントロニクス不揮発マイコンを実証。
(新概念 VLSI システム研究室)
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ne/18/00001/00073/>
- ・後方も含む全周囲における聴覚の空間的注意の空間特性を報告。
(認識・学習システム研究室)
<http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/001167.pdf>
- ・ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発～脳を模した革新的情報処理への応用に期待～。
(ソフトコンピューティング集積システム研究室)
<http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/04/press-20190415-AdvMater.html>

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)

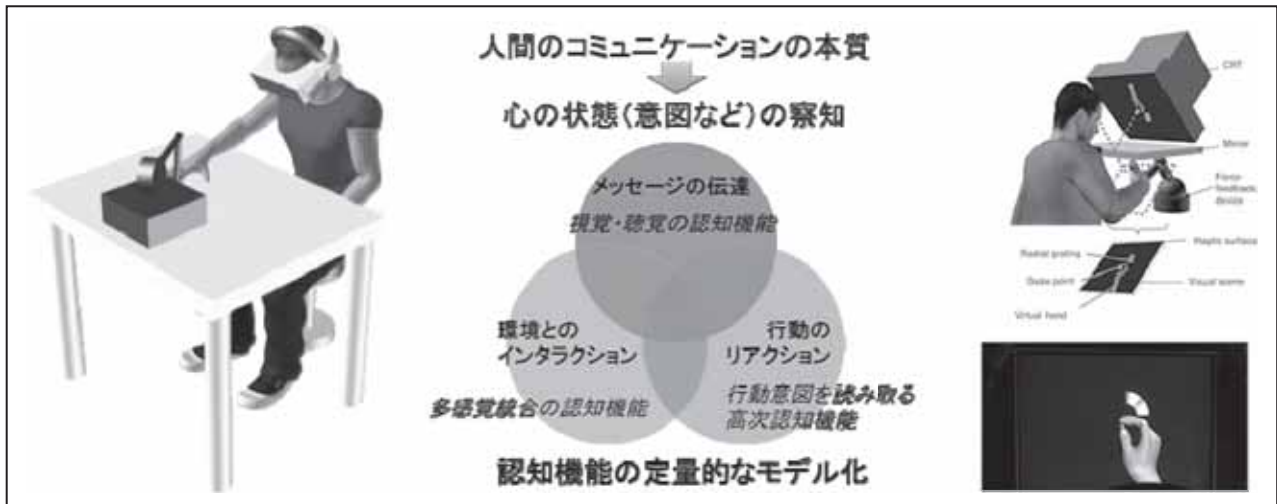
(人間情報システム研究部門先端音情報システム研究室を参照)

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。

<2019 年度の主な成果>

1. 両眼間視差に基づく奥行運動知覚のモデル化

奥行運動を知覚するために、左右眼網膜像の速度の差(Inter ocular velocity difference, IOVD)が有効であることが知られている。本研究では両眼間速度差を利用した奥行運動知覚モデルのモデルを提案し、運動方向による感度変化、運動方向知覚の非線形性、奥行回転運動知覚の時間特性など人間を対象とした多くの心理物理の結果の予測を試みた。その過程で、頭部に向かってくる運動対象に対して、方向変化検出の度が高いことを予想することができた。人間の視覚系が、頭部に向かってくるものを避けたり、手で受け取ったりするために適応的な機能を持つことが示唆された。

2. 聴覚の空間的注意が雑音環境下における音声聴取に与える影響

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の空間的注意に着目し、そのメカニズムを明らかにした。特に 2019 年度は、聴覚の空間的注意によって形成される注意の空間窓の形状を実験により測定し、水平面上の何れの方角に聴取者が注意を向けた場合でも、観測される注意の空間窓の形状はほとんど変わらず、注意を向けた方向を中心に±30 度程度の広がりを持つことが明らかとなった。また、ある方向に注意を向けることは、音像定位と密接に関係していることを示唆する結果も得られている。これらの知見に基づき聴覚情報処理障害の患者の聴覚特性と比較することで、聴覚情報処理障害の程度の定量化が期待され、実際に耳鼻科医との共同研究により新しい測定法の開発に関する研究も行っている。

<職員名>

教授 (兼) 塩入 諭 (2005 年より)
 教授 (兼) 坂本 修一 (2019 年より)

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, & S. Shioiri, "Directional selectivity of auditory attentional spotlight in complex listening environment," Proc. The 23rd International Congress on Acoustics, 5764 - 5770 (2019)
- [2] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, & S. Shioiri, "Temporal characteristics of auditory spatial attention on word intelligibility," Acoustical Science and Technology 41(1) 394 - 395 (2020)
- [3] W. Wu, Y. Hatori, CH Tseng, K. Matsumiya, I. Kuriki, & S. Shioiri, "A Motion-in-depth model based on inter-ocular velocity to estimate direction in depth," Vision Research (in press)
- [4] M. Harasawa, Y. Sawahata, K. Kominem, & S. Shioiri, "Effects of content and viewing distance on the preferred size of moving images," Journal of vision 20(3) 6 - 6 (2020)

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。

<2019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。(A)、(B)に関しては、2017年度に所内で公募して採択したプロジェクトに加えて、(A)を1件、新規に採択した。この結果、以下のプロジェクトを推進している。

(A) 2プロジェクト

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

(B) 2プロジェクト

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

なお、2017年度に採択した(B)の2件のプロジェクトは、本年度で当初の研究期間の3年となるが、2020年2月に開催された「研究成果報告会」の結果を踏まえて、最大2年間の延長を認められた。

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

高効率送信電力増幅モジュールの開発」を実施、またストレージ分野においては 2012 年度から東日本大震災で明らかになったストレージの耐災害性の不備を向上させる「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」を実施してきた。2017 年度からは、総務省のプロジェクトとして、電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」を受託し、実施している。さらに、2019 年度からは、総務省のプロジェクトとして、電波資源拡大のための研究開発「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」を受託し、実施している。これらの概要と 2019 年度の成果を以下に示す。

・周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発

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

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

Society5.0 や Industry4.0 では無線 Internet of Things (IoT) 技術の適用によるスマートファクトリーの実現が唱えられている。工場内では、可動する工作機械や無人搬送車(Automated Guided Vehicle, AGV)、移動する工作物（製品）との間での大量の通信が必要となる一方、無線 LAN をはじめとする工場 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、実現性検討を行った。

<職員名>

センター長（教授）末松 憲治

産官学研究開発部

ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト

代表・教授（兼）末松 憲治

准教授（兼）亀田 卓

助教（兼）本良 瑞樹

特任教授 芝 隆司

客員教授（兼）鈴木 恭宜

学際連携研究部

情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト

代表・教授（兼） 塩入 諭

教授（兼） 坂井 信之

助教（兼） 山本 浩輔

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの研究プロジェクト

代表・教授（兼） 羽生 貴弘

教授（兼） 遠藤 哲郎

助教（兼） 馬 奕涛

萌芽研究部

ドローンを活用する新しいインタラクティブコンテンツ基盤技術の研究開発

代表・教授（兼） 北村 喜文

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

代表・准教授（兼） 亀田 卓

教授（兼） 末松 憲治

教授（兼） 羽生 貴弘

教授（兼） 石山 和志

教授（兼） 本間 尚文

教授（兼） 陳 強

助教（兼） 本良 瑞樹

運営委員

本研究所教授 末松 憲治

大堀 淳

北村 喜文

佐藤 茂雄

長 康雄

羽生 貴弘

廣岡 俊彦

本研究所特任教授 芝 隆司

工学研究科教授

齊藤 伸

山田 博仁

情報科学研究科教授

田中 和之

本研究所事務長

金子 雅人

産学官研究開発部

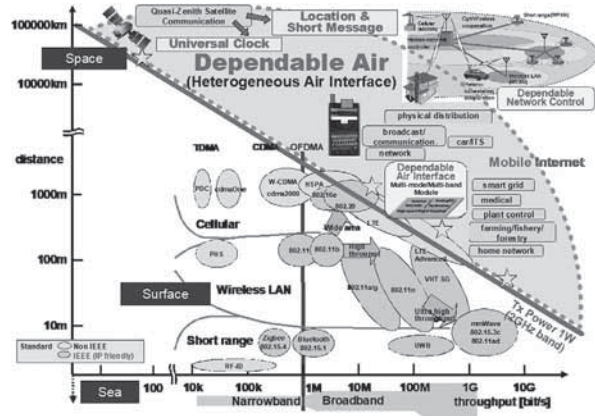
ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト

ディペンダブル・エアの実現に向けて

図面説明：

ディペンダブル・エア

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



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

<研究室の目標>

ユーザをネットワークに接続するアクセス回線技術としてのモバイルワイヤレス通信技術は、光ファイバによる超高速バックボーンネットワークとともに、ICT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界の移動通信のリーダ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用高効率送信電力増幅モジュールの開発」を行った。

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

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

<2019年度の主な成果>

1. 広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の開発

工場などの狭空間に、複数の異なる無線システムが共存する環境においては、これら無線システム間の干渉あるいは電磁ノイズを発生する製造装置との干渉により、通信データ速度や応答速度が低下し、ロボットをはじめとする自動化ラインの生産効率が低下する問題が生じている。今後、第4次産業革命により、無線通信機能を持つデバイス、センサの急増が予想されており、この干渉問題の解決は喫緊の課題となっている。このため、無線IoT機器に使われている900GHzから6GHzの周波数帯で、msオーダーのバースト状に発生する信号やノイズを監視できる広帯域かつリアルタイム型の周波数モニタリング技術の実現を目指す。本年度は、高速に周波数切り替え可能なクロック源を開発し、複数の周波数帯（920MHz帯、2.4GHz帯、5GHz帯）で、連続した信号の利用状況の監視を1系統の高周波受信機で可能とする周波数モニタリング装置を開発した。

2. 広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する。本年度は、アクセスポイントおよびセンサノードの簡易ビームフォーミング送受信機のアンテナ部試作を行い、アンテナ素子数と構成を決定し、回線設計を行った。さらに、ビームトラッキングに必要な高速移動、回転するセンサノードとの相対位置情報取得方法を検討し、その原理実験に必要な測定系を構築した。

<職員名>

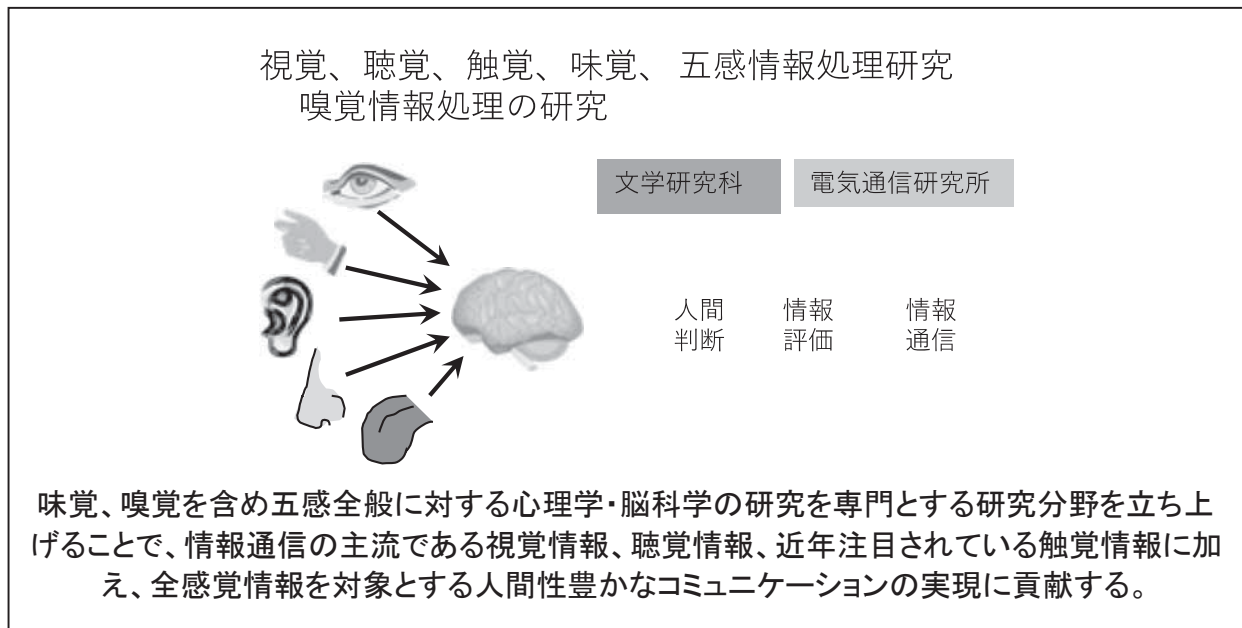
教授（兼） 末松 憲治
准教授（兼） 亀田 卓
助教（兼） 本良 瑞樹
特任教授 芝 隆司

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "市販 ADC ボードを用いた無線 IoT リアルタイムスペクトラムモニタのアンダーサンプリング受信特性," 電子情報通信学会 2019 年ソサイエティ大会, Aug. 2019
- [2] 末松 憲治, 本良 瑞樹, 亀田 卓, " [招待論文] ダイレクトディジタル RF 技術," 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J102-C, No. 11, pp. 297-304, Nov. 2019
- [3] 芝 隆司, 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "複数のクロック周波数によるアンダーサンプリング情報を用いた圧縮センシング型広帯域スペクトル推定法の提案," 信学技報, RCS2019-311, Jan. 2020
- [4] 末松 憲治, 枝松 航輝, 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, "WiFi 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 通信の提案," 信学技報, MW2019-191, Mar. 2020
- [5] 芝 隆司, 古市 朋之, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "異なるクロック周波数による同時アンダーサンプリング情報を用いた圧縮センシング型スペクトル推定法," 電子情報通信学会 2020 年総合大会, Mar. 2020
- [6] 末松 憲治, 枝松 航輝, 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, "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 通信の提案," 電子情報通信学会 2020 年総合大会, Mar. 2020
- [7] 枝松 航輝, 町井 大輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "5GHz 帯 Wi-Fi バックスキャッタ通信の回線設計," 電子情報通信学会 2020 年総合大会, Mar. 2020
- [8] 町井 大輝, 枝松 航輝, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, "小型アンテナモジュールを用いた 5GHz 帯 Wi-Fi バックスキャッタ通信における受信電力の測定," 電子情報通信学会 2020 年総合大会, Mar. 2020

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

<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。

<2019年度の主な成果>

2019年度は、以下の成果を得た。

1) 坂井がこれまで実験心理学的手法により行なってきた視覚と嗅覚や味覚との統合に関する研究を脳科学研究に応用発展させるため、東北大学-NICT マッチング研究支援業へ応募し、その研究課題が採用された。2019年度に本実験を行い、合計23名のfMRI測定を実施することができた。さらに同じプロトコルをfNIRSを用いて実施し、合計50名のデータを得ることができた。このようなfMRIとfNIRSの計測結果を合わせた研究は世界的にも例はないため、評価の高い国際ジャーナルへの投稿準備を進めている。2) 増大する情報量に対応するために、適切なデータの優先付をすることが重要である。この問題に対応するために、画像に対する人間の高次の質的評価を対象として、計算法による予測システムについて検討を開始した。お弁当画像に対する高次評価のデータセットを利用して、画像特徴と好ましさの評価の関連、視線移動や表情変化との関連などの調査を行った。機械学習による評価の結果、顔表情が食べ物画像に関するヒトの評価を予測できることを示した。

<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.

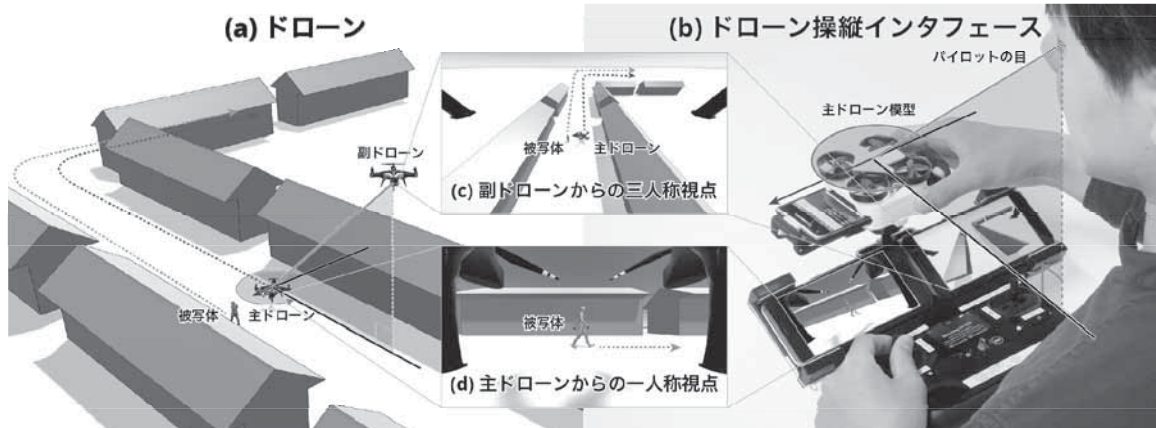
坂井 信之 1998年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士(人間科学)。日本学術振興会特別研究員(広島修道大学)、科学技術振興事業団科学技術特別研究員(独法)産業技術総合研究所)、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011年10月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017年4月同教授。2006年におい・かおり環境協会学術賞、2009年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013年・2017年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016年・2018年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016年日本応用心理学会齊藤勇記念出版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

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] M Emoto, Y Fang, S Shioiri, Viewers' Susceptibility to Image Blurs in Watching Ultra-high-definition TV Correlates with Their Dynamic Visual Acuity, ITE Transactions on Media Technology and Applications 7 (2), 103-110, 2019
- [2] C Tseng, YT Wang, S Shioiri, Interpersonal communication on the Japanese concept "Ma", Acoustical Science and Technology 41 (1), 2-5, 2020
- [3] R Teraoka, S Sakamoto, Z Cui, Y Suzuki, S Shioiri, Temporal characteristics of auditory spatial attention on word intelligibility, Acoustical Science and Technology 41 (1), 394-395, 2019
- [4] S Takano, K Matsumiya, Tseng C, I. Kuriki, H, Deubel, S Shioiri, Displacement detection is suppressed by the post-saccadic stimulus, *Sci Rep.* 2020;10(1):9273. doi:10.1038/s41598-020-66216-1
- [5] H. Mattout, H. Wang, Y. Hatori, Y. Sato, K. Matsubara, Y. Wada, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Convolutional Neural Networks for humanlike Image Assessment, I-PERCEPTION 10 170 - 170, September, 2019, APCV 2019, Osaka
- [6] S. Ono, S. Sakamoto, R. Teraoka, Y. Sato, Y. Hatori, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Attempt on the measurement of spatial extent of audiovisual attention by EEG, I-PERCEPTION 10 67 - 67, September, 2019, APCV 2019, July, Osaka
- [7] Y. Horaguchi, Y. Sato, CH Tseng, I. Kuriki S. Shioiri, Estimation of preferences to images by facial expression analysis, IEICE Technical Report, vol. 119, no. 348, HIP2019-66, pp. 7-12
- [8] T. Onuma and N. Sakai, Choosing from an Optimal Number of Options Makes Curry and Tea More Palatable, *Foods*, 8 145, 2019 doi:10.3390/foods8050145
- [9] 坂井信之, 香りと多感覚の相互作用, *Aroma Research*, 79, 51-55, 2019
- [10] 坂井信之, うま味と香りの交互作用における学習, *日本味と匂学会誌*, 26, 95-102, 2019
- [11] 齋田涼裕・山本浩輔・竹井亮・鷲尾英明・小山田圭佑・坂井信之, 「ベタベタ感」は柿の種のおいしさに寄与するか?, *日本味と匂学会誌 第53回大会プロシーディング集*, S19-S22, 2019
- [12] N. Sakai, Top-down processing in food perception: Beyond the multisensory processing, *Acoustical Science and Technology*, 42, 182-188, 2020, DOI: 10.1250/ast.41.182

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



空間連動する2つのカメラ視点を用いたドローン操縦インタフェースの概要

代表・教授（兼）北村 喜文

<研究室の目標>

本プロジェクトでは、仙台市が国家戦略特区の指定を受けたドローン特区であることも活用して、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。

<2019年度の主な成果>

1. パイロット操縦用ユーザインタフェース(UI)と共有・配信技術の開発

空間的に連動する2台のドローンを利用して従来のドローン操縦インタフェースを拡張するユーザインタフェースを提案した。主たる操縦対象のドローン（主ドローン）カメラによる一人称視点に加えて、主ドローンに空間連動する副ドローンを用いて広域な三人称視点を提供することで、パイロットのドローン周囲への理解（Situational Awareness）を高め、ドローンの操縦や飛行経路計画をより簡単にすることができた。この成果の論文は、ヒューマンコンピュータインタラクションの分野で最も権威があるトップカンファレンスである ACM UIST に採択され口頭発表を行った。

2. カラスとコミュニケーションするカラスドローンの開発

カラスの剥製やドローンを介しカラス目線での対話を試みる VR システム「Cybernetic Crow」の開発実装を継続して行い、主に地上型剥製ロボットの遠隔 FPV 化を行った。

また、自律的なカラスと対話を実現するため、カラス音声の自動検出をすることによってカラスへのインタラクションのトリガーを開発システムに取り込もうとしているが、ゲート付き畳み込みリカレントニューラルネットワークを用いてカラスの鳴き声を自動検出することができた。その成果は日本音響学会学会誌に採録され[2]、論文賞を受賞した。

さらに、カラス以外の鳥獣被害への適用を目指して、石川県能登空港および同空港と隣接する日本航空大学校と共同して、地域のニーズや過疎化などの課題を解決する UAV を研究開発する取り組みを開始した。

<職員名>

教授 北村 喜文

<プロフィール>

北村 喜文 1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年キャノン株式会社情報システム研究所，1992 年 ATR 通信システム研究所，1997 年大阪大学大学院工学研究科助教授，2002 年同大学大学院情報科学研究科助教授／准教授。2010 年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。博士（工学）。1997 年電子情報通信学会論文賞，2006 年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞などを受賞。国際会議 ACM SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE など Conference/Symposium Chair, Program Chair, Steering Committee などを務めている。IFIP TC-13 日本代表，ACM SIGCHI Conference Management Committee, Asian Development Committee Chair などの委員。日本バーチャルリアリティ学会フェロー。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Ryotaro Temma, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Koh Sueda, Yoshifumi Kitamura: Third-Person Piloting: Increasing Situational Awareness using a Spatially Coupled Second Drone, *Proceedings of User Interface Software and Technology (UIST)*, 507-519, October 2019.
- [2] 井本桂右, 塚原直樹, 永田健, 末田航: ゲート付き畳み込みリカレントニューラルネットワークを用いたカラスの鳴き声の自動検出, 日本音響学会誌, 75(10), 559-567, 2019 年 9 月.

萌芽研究部

安心・安全投薬管理システムのためのワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

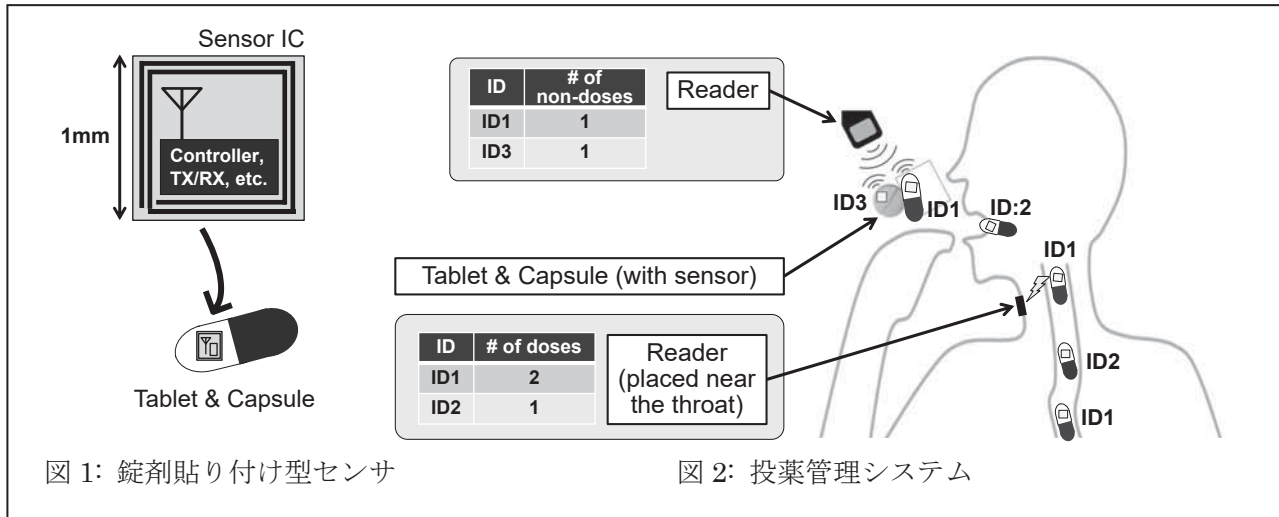
ワイヤレス IoT 技術の適用による
安心かつ安全な投薬管理システムの社会実装を目指して

図 1: 錠剤貼り付け型センサ

図 2: 投薬管理システム

代表・准教授（兼）亀田 卓

教授（兼）末松 憲治

教授（兼）羽生 貴弘

教授（兼）石山 和志

教授（兼）本間 尚文

教授（兼）陳 強（大学院工学研究科）

助教（兼）本良 瑞樹

<研究室の目標>

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

本グループでは、ワイヤレス IoT（Internet of Things）技術を用いた安心・安全投薬管理システムの構築に関する萌芽的研究を行う。本研究開発では、ワイヤレス IoT 技術を応用して、バッテリ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。

<2019年度の主な成果>

1. 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、ミリ波発振器の低消費電力化について検討してきた。65nm CMOS プロセスを用いて発振器を試作し、57.4 GHzにおいて消費電力130 μ Wでの発振を確認するとともに、世界最小電力での発振器を実現している。

本年度は、開発してきた低消費電力発振器を用いてのミリ波送信機について検討を行った。センサ用は低消費電力だけでなく小型化も必要となる。従来のASK送信機は図3(a)に示すとおり、常時動作している発振器にスイッチからなるASK変調器や、変調器・伝送線路の損失を補う増幅器、アンテナから構成される。そのため、回路規模が大きく消費電力も大きくなる。そこで、図3(b)に示すとおり、発振器を直接オンオフすることでASK信号を生成し、かつ発振器の共振器をループアンテナとしても用いる送信機を提案した。ベースとなる発振器は昨年まで開発してきた発振器を用いることで発振器の消費電力を抑え、発振器以外の回路コンポーネントを用いないことで消費電力および回路サイズの増加を抑えた。これにより、ミリ波ASK送信機が消費電力180 μ W、アンテナ込みで $300 \times 650 \mu\text{m}^2$ で実現できた。図4に示すようにチップからプローブを介して信号を取り出した場合(Probe_out)と、放射信号をホーンアンテナで受信した場合(Ant_out)の測定結果は図5に示すとおりとなり、ASK信号が正しく生成・送信され受信できることを確認した。通信距離は最大15cmであり、Probe_antとAnt_outの電力差は自由空間損と同等であった。

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

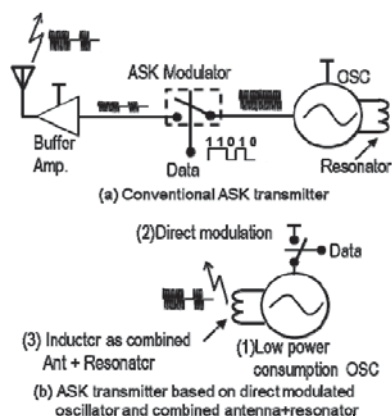


図3: ミリ波送信機の構成

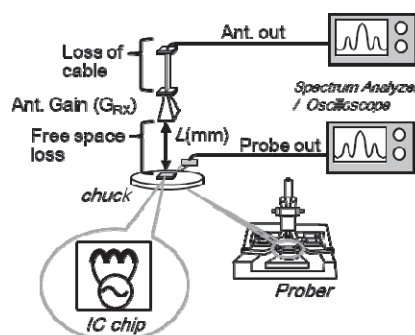


図4: 測定系

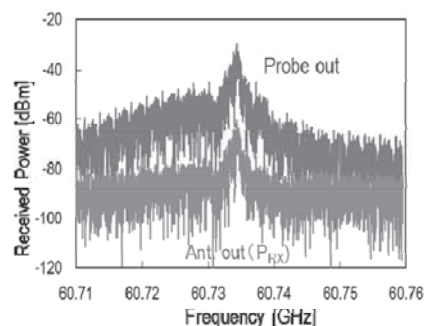


図5: 評価結果

<2019年度の主な発表論文等>

- [1] M. Motoyoshi *et al.*, "60 GHz 180 μ W Power Consumption CMOS ASK Transmitter Using Combined On-Chip Resonator and Antenna," IEICE TRANSACTIONS on Electronics, vol. E102-C, no. 10, pp. 725-739, Oct. 2019.

3. 8 安全衛生管理室

安全で快適な環境の実現と維持による研究支援



安全衛生講習会



応急手当講習会

<安全衛生管理室の概要>

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

<研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割>

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

＜安全衛生管理室の活動内容＞

所内での実際の安全衛生管理では、まず安全衛生委員会が研究所における安全管理の基本的方針を示し、次に安全衛生管理室がそれに基づく具体的な行動内容の策定と実行を行っている。大学の組織は各部署（研究室など）の独立性が高いために、通常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開催（参加者 325 名）
- 高圧ガス保安講習会の開催（参加者 63 名）
- 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援
- 局所排気装置の定期自主点検の支援
- 応急手当講習会の開催（参加者 15 名）
- 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
- W e b ページによる関連情報の提供
- 新型コロナウイルス対策のための消毒液やマスクの配布

＜職員名＞

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

3. 9 やわらかい情報システムセンター



図1 電気通信研究所サーバールームの様子



図2 システムログ分析および可視化

<センターの目標>

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである。本センターの目的は、これまでの「かたい」情報処理原理を超えて、人間の意図や環境に合わせて柔軟な情報処理を行い、柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の考え方にに基づき、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

<2019年度の主な成果>

1. 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。通常業務に加えて、2019年度は以下のような取り組みを行った。

- ・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ティング
- ・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

2. 電気通信研究所 Web サイトの更改

やわらかい情報システムセンターでは一般公開用 Web サーバの運用を行っており、通研 Web ページ及び各研究室 Web ページも同サーバで公開されている。従来の通研 Web サイトは外部業者に依頼し構築後、データ更新のみ当センターで担当していた。Web サイトを更改するにあたりデザインのみを外注とし、Web サイトの構築を当センターで担当した。デザイン業者、通研広報委員会、当センターの複数組織で連携することで Web サイトのデザインを一新するとともに、広報活動に最適化したサイトの構築を実現した。外部情報サービスを同時に利用することで、広報活動の範囲を広げ通研の活動を周知することに成功している。

3. 東京フォーラムにおける無線 LAN サービス及び電子データの提供

電気通研研究所では研究活動の周知、産学連携の強化を目的とした取り組みとして、東京フォーラムを隔年開催している。東京フォーラム会場での無線 LAN サービス提供について要望があり、研究協力係と連携しサービスの提供を行なった。十分な無線通信速度を実現するため外部ベンダー (HPE Aruba) に協力を依頼することで、カンファレンス会場とポスターセッション会場のユーザを包括的にカバーできる複数の無線 LAN 機器の配備、次世代通信規格 WiFi6 での通信を実現した。十分な通信帯域を準備できたことで、従来は会場配布を行っていた資料を電子化し、当日の会場で電子データダウンロードによる資料閲覧を同時に実現した。この取り組みにより、東京フォーラム全体での業務効率化と紙資源の削減に貢献した。

<職員名>

(1) 運営委員会

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

(2) 常勤職員

准教授 北形 元
技術職員 佐藤 正彦 太田 憲治
技術補佐員 首藤 睦 大泉 璃歩

3. 1 0 研究基盤技術センター

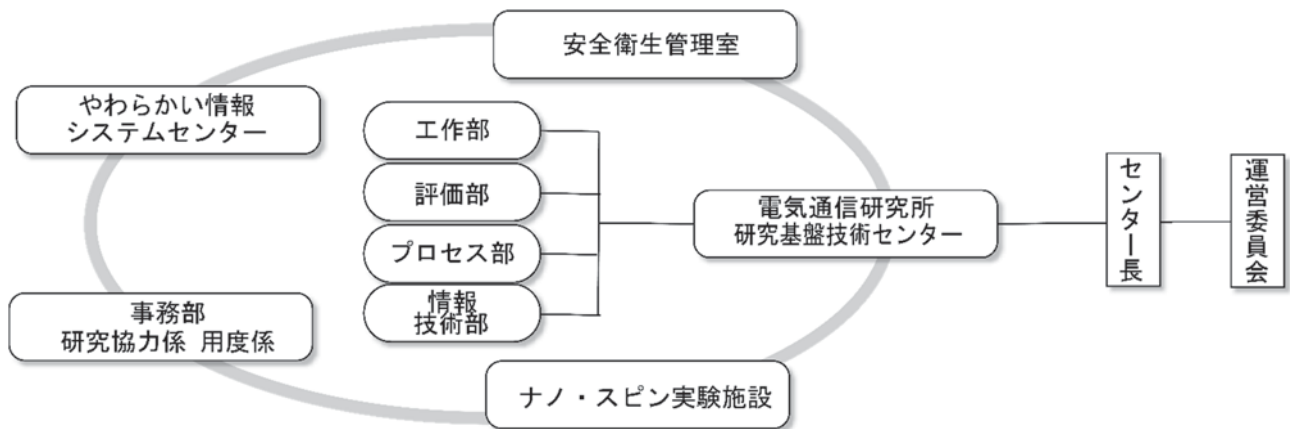


図1 研究基盤技術センター 組織図

<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。

<2019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、128件の依頼工作を提供した。この中で約27%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。

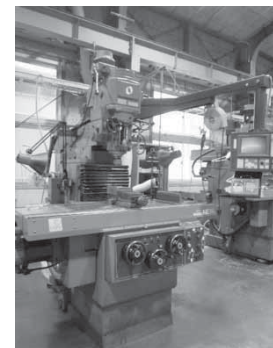


図2 MAKINO製NCフライス

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。22の研究室が共通利用計測機器を利用した（総使用時間は4585時間）。ガラス工作の依頼は4件であった。583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。

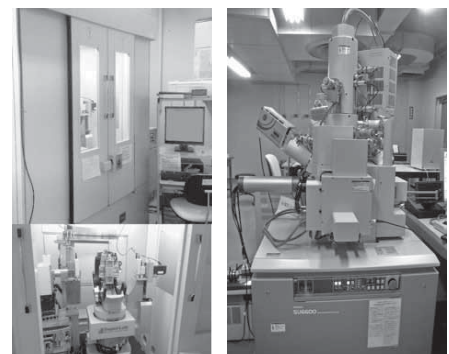


図3 評価部保有の分析装置
（左：X線回折装置、右：電子ビー

3. プロセス部

プロセス部はナノ・スピン実験施設の共通部と協力して電子ビーム露光技術(図4)とフォトマスク作製技術(図5)を提供している。今年度は217件の電子ビーム露光サービスと、25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(図6)は8件であった。関連して、ナノ・スピン実験施設の附属設備およびクリーンルームの維持・管理を支援している。

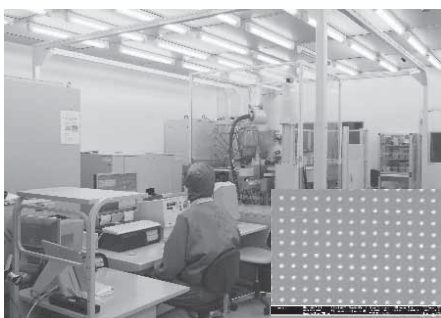


図4 電子ビーム露光装置



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。

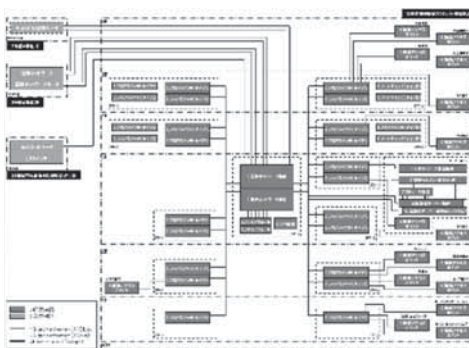


図7 通研ネットワークシステム (左: システムの様子、右: 構成図)

<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、 佐藤 正彦、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。2019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ハードウェア実装およびバイオトロニクス研究を推進するための基本戦略、特に、新しい学術分野の創成について、議論・検討を行った。その結果、この機動的な研究グループのメンバーをコアとして、JST CREST、科研費基盤研究(S)および(A)の獲得に繋がった他、もう1件の科研費基盤研究(S)および科研費学術変革領域研究の申請（いずれも審査中）を行うことができた。

<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。2019年度は視覚障害者を対象とした研究を企画し、科研費に応募した。

第 4 章 共同プロジェクト研究

4. 1 共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE (Center of Excellence) として、その成果をより広く社会に公開し、また研究者コミュニティ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术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、令和元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

○令和元年度共同プロジェクト研究

令和元年度の共同プロジェクト研究は、所内外から公募され審議の結果次の130件（A：83件，B：44件，S：2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、83件のうち65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、44件のうち31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18件である。

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

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

共同プロジェクト研究

令和元年度共同プロジェクト研究採択一覧

採択番号	採択回数	タイプ*	共同プロジェクト研究題目	共同研究経費		
				旅費	物件費	特別支援
H29/A02	3	先端	低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発	0	98,000	0
H29/A07	3	萌芽	単結晶グラフェンのデバイス化の研究	225,000	98,000	0
H29/A08	3	萌芽・先端・国際	新IV族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究	323,000	98,000	100,000
H29/A09	3	萌芽・先端	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	157,000	98,000	0
H29/A10	3	国際	Development of graphene based devices for terahertz applications	279,000	98,000	100,000
H29/A12	3	先端・大型	QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究	323,000	98,000	0
H29/A13	3	先端	ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究	211,000	98,000	0
H29/A16	3	国際	色名に関する文化差および個人差の研究	227,000	98,000	100,000
H29/A17	3	萌芽	半導体微細加工と脂質二分子膜の機能融合に基づく高感度・高精度イオンチャンネルセンシングの創成	181,000	98,000	0
H29/A18	3	萌芽	屋外拡声システム開発のための音声了解度評価とその推定に関する研究	169,000	98,000	0
H29/A19	3	萌芽・先端	協調作業における視線情報の可視化	154,000	88,000	0
H29/A21	3	先端	非線形系・複雑系理論の实在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究	323,000	98,000	0
H29/A22	3	萌芽・先端	多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究	206,000	98,000	0
H29/A23	3	萌芽・国際	臨場感ある聴取において音響環境の影響に関する研究	189,000	98,000	100,000
H29/A25	3	国際	The effect of attention on the integration of image components in the human visual system	201,000	98,000	100,000
H29/A26	3	国際	Social communication: behavioral and brain representations	279,000	98,000	100,000
H29/A27	3	先端	人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤	320,000	98,000	0
H29/A28	3	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	118,000	98,000	0
H29/A29	3	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	85,000	98,000	0
H29/A32	3	先端	圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術	191,000	98,000	0
H29/A33	3	先端	酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発研究	78,000	98,000	0
H29/A34	3	萌芽	大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明	201,000	98,000	0
H29/A35	3	大型	ミニマルブレインの理解と再構築	263,000	98,000	0
H29/A36	3	国際	CubeHarmonic: 3次元磁気式モーションセンサを用いた新しい楽器インタフェース	162,000	61,000	100,000
H30/A01	2	萌芽・先端	オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究	199,000	98,000	0
H30/A02	2	国際	気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成	225,000	98,000	100,000
H30/A05	2	先端	高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発とデバイスへの応用	150,000	98,000	0
H30/A06	2	萌芽・若手	汎用型量子系制御技術に関する研究	161,000	98,000	50,000

H30/A07	2	若手	光-スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究	157,000	98,000	50,000
H30/A08	2	先端	カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御	130,000	98,000	0
H30/A09	2	萌芽	量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究	123,000	98,000	0
H30/A11	2	先端・国際	移動体 IoT 探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクタレーの研究	297,000	98,000	100,000
H30/A12	2	萌芽	広帯域周波数選択光電子デバイスを用いた低遅延アクセスネットワークの構成法に関する研究	148,000	98,000	0
H30/A13	2	先端	共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用	201,000	98,000	0
H30/A14	2	萌芽	高効率非接触給電のための損失解析	204,000	98,000	0
H30/A15	2	萌芽	選択によって感情体験を変容させる方法の研究	148,000	98,000	0
H30/A16	2	萌芽・先端	自己運動に伴う身体近傍空間の変容	187,000	98,000	0
H30/A17	2	先端	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	222,000	98,000	0
H30/A18	2	萌芽	繊維電極を用いた災害時バイタル計測と電磁波環境対策に関する研究	0	98,000	0
H30/A19	2	先端	光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究	127,000	98,000	0
H30/A20	2	先端・国際	脳型計算ハードウェア基盤とその応用	323,000	98,000	100,000
H30/A24	2	若手	PVDF 薄膜を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究	176,000	98,000	50,000
H30/A26	2	先端	IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェースに関する基礎研究	124,000	98,000	0
H30/A28	2	先端	薄膜デバイスを用いた脳型集積システム	291,000	88,000	0
H30/A29	2	先端	IoT 用ハードウェアセキュリティの研究	189,000	50,000	0
H30/A30	2	先端	インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究	323,000	98,000	0
H30/A32	2	萌芽・先端	セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けたマルウェア検出システムに関する研究	194,000	98,000	0
H30/A33	2	先端	エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究	254,000	98,000	0
H30/A34	2	先端	Ge-on-Insulator 基板上でのメタル・ソース/ドレイン型 CMOS の実現	267,000	98,000	0
H30/A35	2	萌芽・若手	量子デバイスとフォノン技術に関する研究	100,000	98,000	50,000
H30/A37	2	先端	超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究	165,000	98,000	0
H30/A38	2	若手	多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究	220,000	98,000	50,000
H30/A40	2	萌芽・先端	次世代移動体通信のための電磁ノイズ抑制体の高周波広帯域化	102,000	98,000	0
H30/A41	2	萌芽	広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化	86,000	98,000	0
H31/A01	1	先端・国際	Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures	270,000	98,000	100,000
H31/A02	1	若手	原子層物質活用高性能量子デバイス開発	130,000	98,000	50,000
H31/A03	1	国際	Japan-Russia International collaborative research on high sensitive and tunable room-temperature plasmonic photoconductive antenna-detector	279,000	98,000	100,000

共同プロジェクト研究

H31/A04	1	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	263,000	98,000	0
H31/A05	1	萌芽・先端・国際	Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures	176,000	98,000	100,000
H31/A06	1	萌芽	2p 軽元素を含む遷移金属化合物薄膜のスピン輸送機構解明と高効率磁化反転素子の開発	165,000	98,000	0
H31/A07	1	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	279,000	98,000	0
H31/A08	1	萌芽	2次元フーリエコヒーレント分光法による量子状態評価	85,000	98,000	0
H31/A09	1	国際	光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製	201,000	98,000	100,000
H31/A10	1	萌芽・先端	直流励起マイクロ波発振素子に向けたスピン軌道トルクとスピン波媒介位同期による強磁性共鳴制御の検討	154,000	98,000	0
H31/A11	1	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	165,000	98,000	0
H31/A12	1	萌芽	視覚モデル共有環境の構築	152,000	98,000	0
H31/A13	1	萌芽	マルチモーダル感情誘発システムに関する研究	155,000	98,000	0
H31/A14	1	国際	Pre-verbal infant learning: Infants' preference and understanding from eye movements and pupil dilation	201,000	98,000	100,000
H31/A15	1	萌芽・先端	三次元音響の家庭再生方式の研究	148,000	98,000	0
H31/A16	1	萌芽・先端	音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現	225,000	98,000	0
H31/A17	1	先端	異種無線ネットワーク環境における輻輳に基づく輻輳制御の性能評価	89,000	98,000	0
H31/A18	1	萌芽	利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現	0	88,000	0
H31/A19	1	萌芽・先端・若手・国際	Exploration of a new electrical detection method of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular anisotropy	232,000	88,000	150,000
H31/A20	1	萌芽・若手	マルチピクセル光子検出と多次元量子光学	148,000	88,000	50,000
H31/A21	1	先端	ラピッドプロトタイピングのためのソフトウェア無線機の時刻同期性能の検討	137,000	88,000	0
H31/A22	1	萌芽・国際	Interactive Content for Emergent Users	148,000	88,000	100,000
H31/A23	1	萌芽・国際	学習支援のための追体験システムの構築	176,000	88,000	100,000
H31/A24	1	先端	インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析	50,000	88,000	0
H31/A25	1	萌芽・先端	近距離無線通信を利用した服薬モニタリングシステムの開発と改良	0	88,000	0
H31/A26	1	国際	Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications	219,000	88,000	100,000
H31/A27	1	若手	日常・非常時の横断的運用を想定した定点観測防災 IoT 機器開発に関する共同研究	85,000	88,000	50,000
H31/A28	1	若手	人体領域通信用無線伝搬路に関する研究	105,000	70,000	50,000
H31/A29	1	国際	Redesigning the D-FLIP system: a photo management system for the elderly and the technologically inexperienced	176,000	88,000	100,000
H29/B02	3	萌芽	磁性材料の微細構造の観察および制御を通じた次世代通信機器用磁気デバイスの研究	290,000	0	0
H29/B03	3	産学	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	278,000	0	0

H29/B05	3	先端	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	295,000	0	0
H29/B06	3	萌芽・先端・産学	IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用	323,000	0	0
H29/B07	3	国際・産学	無線 IoT を実現するための先端の高周波回路技術とそのシステム応用	323,000	0	100,000
H29/B08	3	先端	光波とマイクロ波をシームレスに繋ぐフルコヒーレント通信・計測システムに関する研究	234,000	0	0
H29/B09	3	若手・国際・産学	人の三次元的身体的な行動解析に基づいた空間型ユーザインタフェース	239,000	0	150,000
H29/B11	3	国際	自己運動知覚を含む多感覚統合	320,000	0	100,000
H29/B12	3	国際・産学	Search Science: an interdisciplinary endeavor	314,000	0	100,000
H29/B15	3	萌芽・先端・若手	新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究	280,000	0	50,000
H29/B17	3	萌芽・国際	脳型 LSI とその応用 国際共同研究	315,000	0	100,000
H29/B18	3	国際	先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究	162,000	0	100,000
H29/B20	3	産学	産学連携による半導体技術の新たな展開と応用	111,000	0	0
H29/B21	3	萌芽・国際・産学	カラスの行動制御のための広域音声システムの開発	245,000	0	100,000
H30/B04	2	先端	プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成	204,000	0	0
H30/B06	2	先端・大型	光の空間モードに関する研究開発	211,000	0	0
H30/B07	2	国際	酸化物表面の新機能的創成とナノ・デバイスへの応用	316,000	0	100,000
H30/B08	2	萌芽	集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと心理学的検証法の確立	225,000	0	0
H30/B12	2	先端	高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立	292,000	0	0
H30/B13	2	大型	高次元ニューロダイナミクスとそのニューロハードウェア構築への展開	309,000	0	0
H30/B14	2	産学	未来型オフィス空間とインタラクション	204,000	0	0
H30/B15	2	萌芽・国際	ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究会	225,000	0	100,000
H30/B17	2	萌芽・先端	非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究	290,000	0	0
H30/B18	2	先端	ユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャ化に向けた実証的研究	287,000	0	0
H30/B20	2	国際	「こころ」を生み出す脳内機構の理解	307,000	0	100,000
H31/B01	1	萌芽	物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現	223,000	0	0
H31/B02	1	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	282,000	0	0
H31/B03	1	先端・若手	次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究	268,000	0	50,000
H31/B04	1	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	323,000	0	100,000
H31/B05	1	国際	アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化	262,000	0	100,000
H31/B06	1	先端・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	283,000	0	0
H31/B07	1	国際	クロアチアー日本 環境電磁工学 ワークショップ	197,000	0	100,000
H31/B08	1	萌芽・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	297,000	0	100,000

共同プロジェクト研究

H31/B09	1	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	239,000	0	0
H31/B10	1	国際	エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開	292,000	0	100,000
H31/B11	1	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	137,000	0	0
H31/B12	1	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	142,000	0	150,000
H31/B13	1	先端・大型	固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御	227,000	0	0
H31/B14	1	先端・産学	エネルギーマグネティックス機器の設計プラットフォーム構築	188,000	0	0
H31/B15	1	萌芽・先端	多機能マルチメディア生成技術に関する研究	323,000	0	0
H31/B16	1	若手	型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成	143,000	0	50,000
H31/B17	1	国際	PSDL: Physical Security of Deep Learning	176,000	0	100,000
H31/B18	1	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	136,000	0	0
H31/B19	1	国際	Securing IoT devices against EM Fault Injection	165,000	0	100,000
H29/S1	3	—	コヒーレント波に基づく学際的前端科学技術の創成	1,000,000		
H29/S2	3	—	ナノエレクトロニクスに関する連携研究	1,000,000		
H30/SI1	2	—	AI 研究と人間科学に関する研究	1,000,000		

※ タイプ略称： 大型：大型プロジェクト提案型，若手：若手研究者対象型，萌芽：萌芽的研究支援型，先端：先端的研究推進型，国際：国際共同研究推進型，産学：産学共同研究推進型（区分 B のみ）

○ 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。

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

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

採択番号 : H29/A02

低損失フレキシブル・メタマテリアルの開発

[1] 組織

研究代表者

内野 俊 (東北工業大学工学部
電気電子工学科)

通研対応教員

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

吹留 博一 (東北大学電気通信研究所)

志賀 佳菜子 (東北工業大学大学院
工学研究科電子工学専攻)

込山 貴大 (東北大学電気通信研究所)

布施 吉貴 (東北大学電気通信研究所)

菅原 大樹 (東北大学電気通信研究所)

荻浦 大地 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 8人

[2] 研究経過

本プロジェクトは、スーパーレンズ、アンテナ、センサーなどへの応用が期待されているプラズモニク・メタマテリアルを高性能化するために低損失フレキシブル・メタマテリアルを開発し、グラフェントンネルダイオードと集積化することにより高効率太陽光発電が期待される光レクテナを開発することを目的とする。

従来、太陽光発電に用いられてきたシリコン太陽電池や化合物系太陽電池は、入射光のエネルギーと半導体のバンドギャップとのミスマッチによって変換できないエネルギーが熱として放出され、その変換効率は最大40%程度に留まっている。

レクテナは主にマイクロ波送電などに用いられてきたデバイスで、電磁波を直接直流電流に変換することができる。レクテナはアンテナとダイオードから構成され、マイクロ波領域では既に85%以上の変換効率を達成している。光レクテナはこれを可視光領域へ応用したもので、高い変換効率を実現する新しい光変換

素子として、従来の太陽光発電の理論限界効率を大幅に改善することが期待されている。

光レクテナを実現するための第1の課題は、可視光を整流するのに必要な高速ダイオードを開発することである。従来のレクテナに用いられてきたpnダイオードやショットキーダイオードは、寄生容量が大きいため可視光の周波数帯(190-750 THz)で大幅な電力損失があり、効率的に光整流を行うことが困難だった。そこで、高速(約150 THz)かつ低消費電力で動作可能な金属-絶縁体-金属(MIM)トンネルダイオードが、光レクテナの最適なデバイスとして注目されている。第2の課題は、ナノアンテナとダイオードを集積化する技術を開発することである。アンテナのサイズは動作波長と同程度でなければいけないことから、光レクテナではナノメートルサイズのアンテナとダイオードを同一基板上に集積化する必要がある。

本プロジェクトでは、非線形かつ非対称なI-V特性を持つ高速ダイオードを開発することを目的として、昨年度までにゲート電極を付加した横型グラフェン-絶縁体-グラフェン(GIG)構造トンネルダイオードを検討した。その結果、横型GIGトンネルダイオードは1V以下の低電圧で整流特性を示し、ゲート電圧を印加することで非線形かつ非対称なI-V特性を示すことがわかった。さらに、横型GIGトンネルダイオードの輸送メカニズムをFowler-Nordheim(FN)トンネリングおよびPoole-Frenkel(PF)モデルを用いて解析した結果、PFプロットからトンネル領域の比誘電率 ϵ_r が7.7-8.8と求められ、この値が Al_2O_3 の比誘電率とよく一致していることがわかった。そして、これらの結果から、横型GIGトンネルダイオードの輸送メカニズムとしてトラップアシステッドトンネリング(TAT)が最も有力であることがわかった。

第3年度に当たる本年度は、前年度の成果を踏まえ、トンネル長の短縮によるデバイスの高性能化を目的として、縦型GIGトンネルダイオードを作製し、その電気特性を評価した。以下に、研究活動状況の概要を記す。デバイス作製は、東北大学電気通信研究所および東北工業大学のクリーンルームで行なった。作製したデバイスの電氣的測定を尾辻研究室、デバイスの構造解析を東北工業大学において実施した。デバイスを

作製するにあたり、東北大学電気通信研究所のクリーンルームを平成31年4月から令和2年2月にかけて2回/月の頻度で利用した。研究成果はJJAP、MNC2019、応用物理学会等において発表した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。まず第1に、電気通信研究所のクリーンルームを利用して縦型GIGトンネルダイオードを作製することに成功した。第2に、縦型GIGトンネルダイオードがMIMトンネルダイオードと同じような対称的な整流特性を示すことがわかった。

図1にデバイス作製工程を示す。市販の単層CVDグラフェン(Graphenea社)をPMMA法でSi/SiO₂上に転写したグラフェン基板を使用してデバイスを作製した。最初に、デバイス作製プロセス中にグラフェンがSi/SiO₂基板から剥離するのを防ぐために、グラフェン基板をAr(500sccm)中で350°C、1時間のアニールを行った。次に電子線描画とRIEを用い、Si/SiO₂上のグラフェンに活性領域を形成した。基板上に過度の高低差ができることを防ぐために、薄膜のTi/Pd(0.5/20nm)層を堆積し、アノード電極を形成した。トンネル絶縁膜にはAl薄膜を自然酸化で形成したAl₂O₃膜(4nm)上にALDを用いて300°Cで10nmのAl₂O₃膜を積層することにより形成した。上層のグラフェンは下層と同じように、市販の単層CVDグラフェンをPMMA法を用いてALD-Al₂O₃膜上に転写した。ここでも、グラフェンAl₂O₃層の接着性を向上するために、先と同

様のArアニールを実施した。次いで、電子線描画とRIEを用いて上層のグラフェンで活性領域を形成した。そして、電子ビーム蒸着を用いてTi/Pd/Au(0.5/20/70nm)を堆積し、リフトオフでカソード電極を形成した。ウェットエッチングでアノード電極上の絶縁膜を除去した後、アノード電極上にAu(70nm)を堆積してリフトオフした。最後にSi基板裏面にAl(100nm)を蒸着し、バックゲート電極を形成した。

図2に作製した縦型GIGトンネルダイオードの光学顕微鏡像を示す。Al₂O₃膜を挟んで、グラフェン膜が上下で隣接するようにレイアウトした。トンネル長は、Al₂O₃膜の膜厚と同じ14nmと考えられる。

図3に縦型GIGトンネルダイオードの電流電圧特性(I-V特性、V_g=0)を示す。先行研究で作製した横型GIGトンネルダイオードと同様に、ゲート電圧V_g=0で対称的な整流特性を示すことがわかった。

今年度は、縦型GIGトンネルダイオードの作製と基礎的な電気特性の測定まで実施することができた。今後の課題として、光変換効率の測定や詳細な電気特性の解析が残ったので、来年度も継続して縦型GIGトンネルダイオードの開発を行う予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

MIMトンネルダイオードは、作製プロセスが比較的容易で低消費電力・高速動作という特徴を持つため、マイクロ波及び遠赤外線領域の検波器として注目されているデバイスである。本研究で開発した縦型GIGトンネルダイオードは、ゲート電圧により立ち上がり

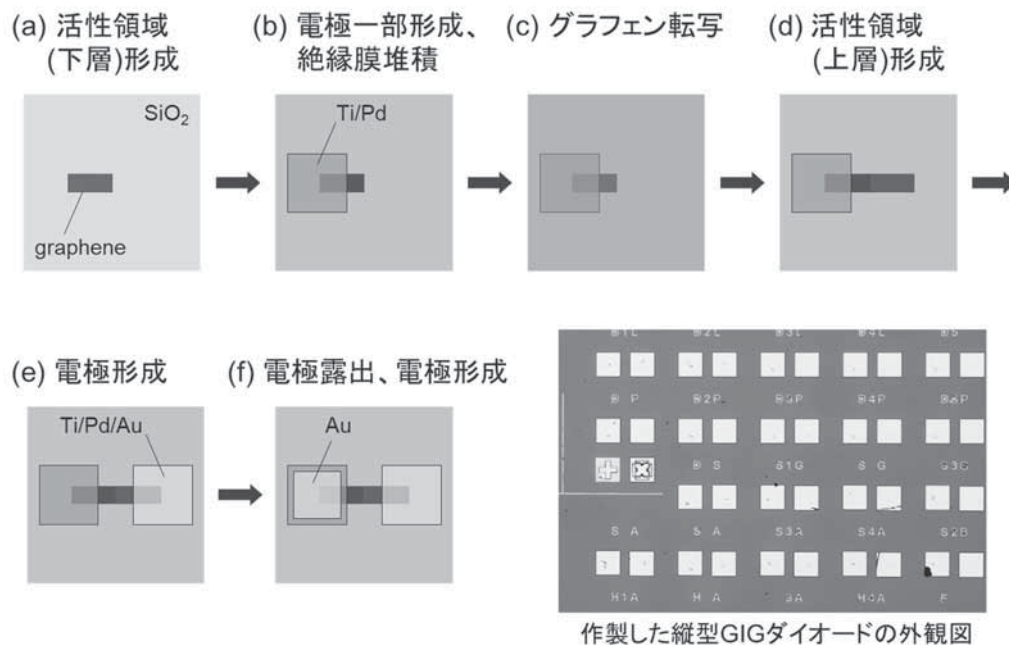


図1 縦型GIGトンネルダイオードの作製プロセスと作製したデバイスの外観写真

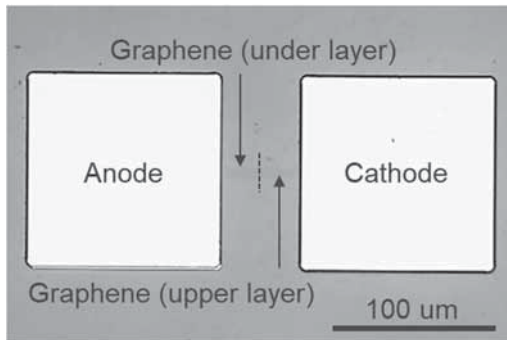


図2 縦型 GIG ダイオードの光学顕微鏡像

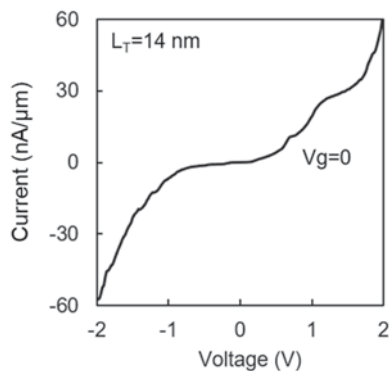


図3 縦型 GIG ダイオードの I-V 特性

電圧を変調することが可能になるので、幅広い応用が期待できる。また、グラフェンの優れた光学特性を利用することにより、光レクテナの変換効率の向上が期待できる。

[4] 成果資料

(1) K. Shiga, T. Komiyama, Y. Fuse, H. Fukidome, A. Sato, T. Otsuji, and T. Uchino, “Electrical Characteristics of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes”, Proceeding of 32nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (2019, Hiroshima, Japan).

(2) K. Shiga, T. Komiyama, Y. Fuse, H. Fukidome, A. Sato, T. Otsuji, and T. Uchino, “Electrical Transport Properties of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes”, JJAP 59 (2020), forthcoming.

(3) K. Shiga, K. Imai, M. Kusano, H. Fukidome, A. Sato, T. Otsuji, and T. Uchino, “Improved surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) sensitivity by graphene”, 2019 年電気関係学会東北支部連合大会 (秋田大学, 2019.8.23).

(4) 志賀佳菜子, 今井健介, 草野光希, 吹留博一, 佐藤昭, 尾辻泰一, 内野俊, “単層グラフェンによる表面増強ラマン分光法 (SERS) の高性能化,” 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (北海道大学, 2019.9.18).

採択番号：H29/A07

単結晶グラフェンのデバイス化の研究

[1] 組織

研究代表者

永瀬 雅夫

(徳島大学大学院社会産業理工学研究部)

通研対応教員

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

大野 恭秀

(徳島大学大学院社会産業理工学研究部)

延べ参加人数：3人

[2] 研究経過

新規炭素ナノ材料であるグラフェンの研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、大面積単結晶グラフェン基板を活用して各種のデバイス開発を行うことを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。前年度は、グラフェン積層接合の電気特性の取得を行い、トンネル接合の基本的な特性を明らかにした。また、グラフェンの黒体輻射エミッタの検討にも着手した。今年度は、2種類の黒体輻射エミッタの基礎特性の取得を中心に検討をすすめた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

平面型、接合型二種類の黒体輻射デバイスを作製し、その基本特性の取得を行った、サーモグラフィを用いて温度分布と投入電力の関係を調べた。結果、両タイプとも高効率の黒体輻射デバイスであることが判った。また、今後、東北大学にて放射スペクトル測定を行うための準備の打合せを行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

近年、グラフェンを用いた黒体輻射エミッタの研究が盛んになってきている。その主な目的は、超高速可視光通信用の光源である。これらの研究では可視光を黒体輻射で得るためグラフェンを高温にする必要があり、BN等の絶縁膜で保護した状態で用いられている。デバイスサイズはミクロンオーダーあり、その出力は小さい上に効率が非常に悪い。我々は、S

iC上グラフェンの大面積性を活かすことを念頭に置き、10 mm角グラフェン全面からの黒体放射により大出力な黒体輻射エミッタの実現を目指した。また、グラフェンの特異なバンド構造を遠赤外からテラヘルツ領域の光源デバイスに適用できる可能性を検証するため、積層タイプのデバイスの特性の測定も行った。

10 mm角のグラフェン試料の四隅に電極を配置して黒体輻射エミッタを作製した。SiC上グラフェンは金属電極を接触させるのみでオーミックコンタクトを得ることができるため、構造は極めて単純である。電流を流すことによりグラフェン試料の温度は上昇する。図1 (a)はグラフェンに8.8mWの電力を印加した際のサーモグラフィ画像である。電力印加前と比較して約1°Cの温度上昇が観察された。図1 (b)は試料面内の温度分布を表すヒストグラムである。温度の標準偏差は0.039°Cと非常に小さく、均一な黒体輻射源が得られた。これは、基板として用いているSiCの熱電伝導率が高いためである。図2に温度上昇の

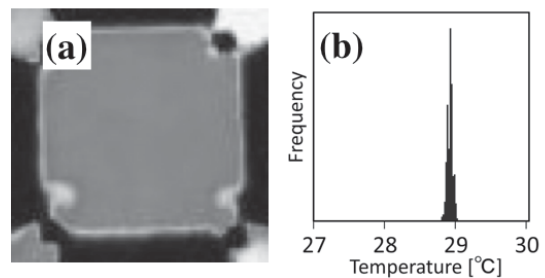


図1 グラフェン黒体輻射エミッタ
(a)サーモグラフィ画像、(b)温度分帰

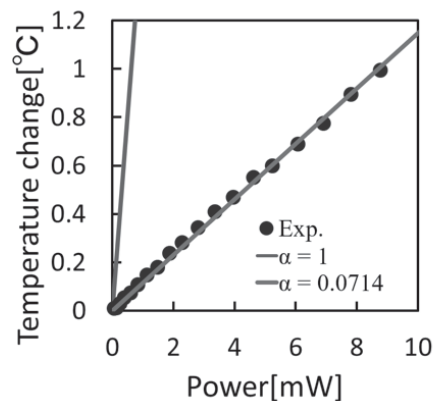


図2 黒体輻射エミッタ特性

印加電力依存性を示す。ほぼ温度は電力に対してほぼ線形に上昇している。この結果をステファン・ボルツマンの輻射の式に当てはめて効率を計算すると7.14%となる。この効率は既報告の黒体輻射エミッタと比較すると非常に大きな値であり、高効率・大面積・均一な黒体輻射エミッタを実現できた。黒体輻射にはTHz成分も含まれるため、今後はこのデバイスを遠赤外～THzの標準的な光源として利用して各種の検討を進める予定である。

グラフェンのpn接合は、そのバンド構造の特異性から電流注入によりTHzのエミッタとして動作する可能性がある。図3(a)に示す様に、トンネル絶縁膜を介してp型グラフェンとn型グラフェンを接合させて、接合に電流を注入することにより、図3(b)に示す様にTHz波を放出することが期待される。今年度はその基礎検討として絶縁膜を介さないpn接合を作製して、その特性の検討を行った。

熱分解法により作製されたSiC上グラフェンは、非常に強くn型にドーピングされていることが知られている。このグラフェンを水素処理(1000℃)することによりp型化した。これまでの報告例の水素処理は常圧100%水素で行われることが通例であったが、危険性が高い。今回はAr希釈4%水素を用いてp型化を試みた。100%水素と同様にp型化が行えた。n型グラフェンと水素処理p型グラフェンを対向させて直接接合することにより、積層pn接合デバイスを作製した。作製した積層接合はオーミック特性を示した。図4は接合部を側面から観察したサーモグラフィ画像である、接合部の温度が上昇していることが判る。この画像では40mWの電力印加で18℃程度の温度上昇となった。前述と同様の手法で効率を計算すると効率は31.5%となった。

SiC基板上の単結晶グラフェンに電力印加することにより発熱させ、その黒体輻射エミッタとしての特性をサーモグラフィカメラを用いて計測した。

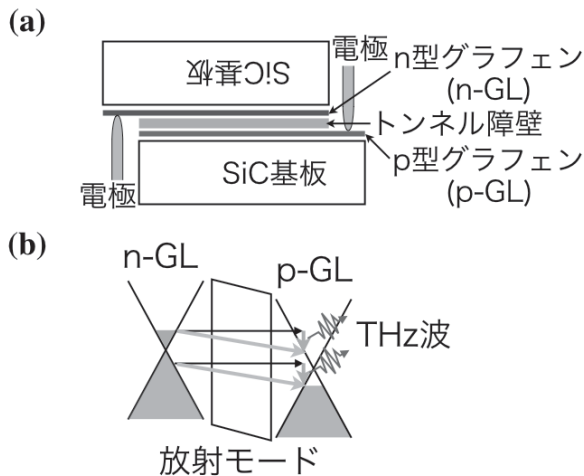


図3 グラフェン積層接合 (a)構造概略図、(b)バンド構造図

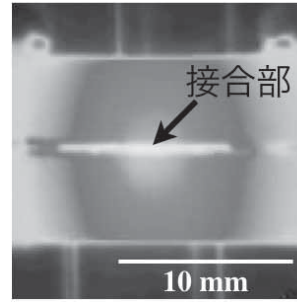


図4 積層接合エミッタサーモグラフィ画像 (側面観察)

均一で効率の良い黒体輻射エミッタであることが判った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今後は、積層接合型のデバイスの検討をすすめてTHz-LEDの実現を目指す予定である。これが実現すれば、新たな光源が期待されているTHz関連テクノロジーの大きいなる発展につながる。また、今回検討した黒体輻射エミッタの高効率の原因は金属電極とグラフェンのコンタクト抵抗が小さいことが大きな要因であり、デバイス化においてSiC上グラフェンの優位性を表す1つの事例でもある。単結晶かつ大面積であるという優位性と共に電子デバイス実現にむけて有益な知見が得られた。

[4] 成果資料

国際会議投稿、及び、国際学術論文誌への論文投稿準備中

採択番号：H29/A08

新IV族半導体ナノ構造の原子層制御と デバイス高性能化に関する研究

[1] 組織

研究代表者

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

室田 淳一

(東北大学マイクロシステム融合研究開発センター)

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

末光 眞希 (東北大学電気通信研究所)

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 (日立国際電気(株))

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)・フォトンクス
& オプトエレクトロニクス研究所)

延べ参加人数：29人

[2] 研究経過

[目的] Si ベース IV 族半導体を用いた大規模集積回路を高性能化・新機能化するために、高 Ge 比率 Si-Ge 混晶や Ge をベースとした新 IV 族半導体材料を用いたナノ構造形成・ドーピング制御並びにデバイス製作技術の開発が進められつつある。その中で、ナノメートルオーダーでの界面急峻性や局所的な不純物濃度の評価・分析やその精密制御が重要な研究課題として残されている。本研究では、これまでの化学気相成長法(CVD)による Si-Ge 系原子層積層の研究成果を基盤として、新 IV 族半導体ナノ構造における異種原子の偏析・拡散現象を系統的に明らかにするとともに、新 IV 族半導体ナノ構造形成の精密制御の実現を目標とする。そして、異種原子層配列制御の観点から、新 IV 族半導体デバイスプロセスの技術基盤構築を目指すものである。

[概要] 本研究代表者らは、これまで構築してきた Si-Ge 系 IV 族半導体の原子層積層 CVD 技術により、異種原子層配列制御や IV 族半導体中のキャリアの高移動度化と高濃度化の可能性を示してきた。その中で、既存の方法では困難であったナノメートルオーダーでの界面急峻性や局所的な不純物濃度を推定するための評価・分析方法を模索し、その精密制御の必要性を示唆する結果を得てきた。本年度は、研究代

表者らのこれまでの研究成果を基盤として、熱 CVD による SiGe 混晶のエピタキシャル成長中の In-Situ ドーピングにおいて、不純物の取りこまれる現象と偏析現象との関係の定式化を高度に発展させることによって実験データとのフィッティング精度を向上させ、表面吸着不純物が原料ガスの表面反応に与える影響を定量的に説明できる手法を構築した。

[研究集会等の開催状況] 本研究プロジェクトが中心となり、以下の 3 つの国際会議・国際ワークショップを開催した。

- 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 (2nd Joint Conf. of 10th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) & 12th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI), Univ. Wisconsin-Madison, WI, USA, Jun. 3-6, 2019, 国際諮問委員：室田淳一, <https://www.istdm-icsi-2019.com/>)
- 半導体プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. G03: Semiconductor Process Integration 11, 236th Meeting of the Electrochem. Atlanta, GA, USA, Soc., Oct. 13-17, 2019, シンポジウムオーガナイザー：室田淳一, <https://www.electrochem.org/236/>)
- 半導体界面制御国際会議&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 (8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) & 13th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, RIEC, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 27-30, 2019, Local Arrangement Committee: 櫻庭政夫, <http://iscsi8.org/>)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、熱 CVD による SiGe 混晶のエピタキシャル成長中の In-Situ ドーピングにおいて、不純物の取りこまれる現象と偏析現象との関係の定式化を高度に発展させることによって実験データとのフィッティング精度を向上させ、表面吸着不純物が原料ガスの表面反応に与える影響を定量的に説明できる手法を構築した。具体的には、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、ドーパント分圧が低い場合、堆積膜の堆積速度、Ge 比率、ドーパント濃度は、Henry の法則を用いることなく Langmuir 型機構により説明できることを見いだした。

第 2 に、高 B₂H₆ 分圧においては、堆積速度の増加と B 濃度の B₂H₆ 分圧依存性における 1 を超える傾きが、すでに B₂H₆ 分子が吸着している Si-Si、SiGe、Ge-Ge 対吸着点である B 占有吸着サイトでの SiH₄、GeH₄、B₂H₆ の反応により引き起こされていることを提案した。

第 3 に、高 PH₃ 分圧においては、すでに PH₃ 分子が吸着している Si-Si あるいは Si-Ge 対吸着点である P 占有吸着点に 2 ないし 1 原子層の P 原子がそれぞれ吸着していることを提案した。

第 4 に、PH₃ 分圧増加にともなう Ge 比率増加は、主に P 占有吸着点での GeH₄ 反応の結果として引き起こされていることを提案した。

以上のように、表面吸着不純物が原料ガスの表面反応に与える影響を定量的に説明できる手法を構築した。成長中の偏析現象を直接的に観測することは困難であることから、本成果は、Si 集積回路の高性能化に不可欠となる Si や Ge のエピタキシャル成長層中の原子レベルで急峻なドーピングプロファイルを実現する上で極めて有用である。

以上の成果は、外部研究機関分担者との共同研究成果を含めて国際会議論文及び学術誌論文 (合計 2 件) として発表した。

本研究プロジェクトは国際共同研究推進型であり、国際共同研究への発展を促進することを目的としていることから、仙台で開催した国際ワークショップへの海外共同研究者 (中国 1 名) の招聘旅費として特別支援費を使用した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化することを念頭に置いて進められており、前述のような先端的・萌芽的な研究成果を得てきているものである。今後も本分野の研究推進により新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御の学問分野が大きく発展すると期待されていることから、2020 年度以降には以下のリストに示すような関連国際会議・国際ワークショップの開催が決定・計画されている。

- SiGe, 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.: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 9, Pacific Rim Meeting (PRiME 2020) on Electrochem. and Solid-State Sci., Hawaii, USA, Oct. 4-9, 2020, ジェネラル委員&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.sigesymposium.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)

これらにより実現される国際交流活動は、新 IV 族半導体ナノ構造における物理現象を踏まえたナノデバイス製作技術、回路・システム化技術の構築と産学独連携体制構築を含む研究活動推進が産業発展のために重要であり、世界規模での研究連携を支えていくものと期待される。

[4] 成果資料

- (1) J. Murota, “Langmuir-Type Mechanism for In-Situ Doping in CVD Silicon-Germanium Epitaxial Growth” (**Invited Talk**), 2019 Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistors (ULSIC vs. TFT 7), Kyoto, Japan, May 19-23, 2019: ECS Trans., Vol. 98, No. 1 (2019) pp.43-53.
- (2) M. Sakuraba and S. Sato, “Low-Energy Plasma Enhanced Epitaxy and In-Situ Doping for Group-IV Semiconductor Device Fabrication” (**Invited Talk**), Abs. 2019 Collaborative Conf. on Materials Research (CCMR), Gyeonggi Goyang/Seoul, South Korea, June 3-7, 2019, pp.100-104.
- (3) M. Sakuraba and S. Sato, “Low-Energy Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition and In-Situ Doping for Junction Formation in Group-IV Semiconductor Devices” (**Invited Talk**), Symp. G03: Semiconductor Process Integration 11, 236th Meeting of the Electrochem. Soc., Atlanta, GA, Oct. 13-17, 2019, Abs.No.G03-1164.
- (4) W. Li, M. Sakuraba and S.Sato, “Electron-cyclotron resonance Ar plasma-induced electrical activation of B atoms without substrate heating in B doped Si epitaxial films on Si(100)”, Mat. Sci. Semicond. Process., Vol. 107 (2020) p.104823 (8 pages).
- (5) J. Murota and H. Ishii, “Formulation for In-Situ Co-Doping of B and C in CVD Si_{1-x}Ge_x Epitaxial Growth Based on the Langmuir-Type Mechanism” (**Invited Talk**), Abs. 8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII), 13th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Nov. 27-30, 2019, Sendai, Japan, Abs. No. S1-1, pp.123-124, 2019.

採択番号：H29/A09

各種 high-k/Ge 構造において 成膜後プロセスがもたらす効果の検討

[1] 組織

研究代表者：岡本 浩
(弘前大学大学院理工学研究科)
通研対応教員：佐藤 茂雄
(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
室田 淳一 (東北大学マイクロシステム
融合研究開発センター)
櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)
小野 俊郎 (弘前大学
研究・イノベーション推進機構)
王谷 洋平 (公立諏訪東京理科大学工学部)

延べ参加人数：9人

[2] 研究経過

コンピュータ機器や携帯機器の心臓部である Si-CMOS デバイスによる VLSI が集積度の限界に差しかかかっており、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 SiO₂/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 GeO₂ 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3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」、及び H26/A03 「プラズマプロセスによる各種 high-k/Ge 構造の作製と界面近傍のトラップの評価」) の成果である、低密度界面準位 Ge-MIS 構造の作製と界面準位密度の高精度な評価手法、界面近傍の絶縁膜中や半導体中に存在するトラップの評価技術を引き継ぐものである。メンバー間の通常の打合せは主として e メールによる紙上会議にて実行し、東北大学電気通信研究所にて成果報告を行った。

今回は前回プロジェクト後半から新たな知見が得られつつある high-k 絶縁膜/Ge 構造について、昨年度の検討 (Al₂O₃/GeO₂/Ge 構造におけるアニール効果) において明らかになった課題の解明のために Al ジャーマネイト/Ge 構造の化学結合状態の検討並びに新たな試みとして HfO₂/Ge 構造をこれまでに検討してきた ALD 法に換えてマグネトロンスパッタで作製してそのアニール効果を調べるという試みを行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

昨年度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、評価を行っている。そのうち以下に酸化物系絶縁膜を用いた Ge-MOS 構造の例を示す。

i) Al₂O₃/GeO₂/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) Al₂O₃/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) HfO₂/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) HfO₂/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]

昨年度はこのうち i) の $Al_2O_3/GeO_2/Ge$ 構造(酸素ラジカル酸化+REALD)において電極形成後アニール(PMA)が成膜後(電極形成前)アニールに比べて顕著な特性改善をもたらす要因を明らかにするための検討として、XPS を用いて電極成膜後アニール(PMA)による化学結合状態の変化を調べたが、その変化が意味するところの解明に至らなかった。そこで今回の第一の検討として、上記PMAによる特性向上メカニズムに関する仮説の検証に向けた実験を行った。この仮説はPMAにより界面にAl ジーマネイトが形成されるというものであり、その準備段階としてまず、ii) の Al_2O_3/Al ジーマネイト/ Ge 構造について、その化学結合状態を詳しく調べることにした。その手法として、異なる膜厚の試料について角度分解XPS (AR-XPS) 測定を行い、Ge のサブオキサイド成分の分離を試みた。なお、ジーマネイトとはゲルマニウムと酸素と金属が結合した絶縁体であり(注: ジーマナイドとは別物である)、このうち Al ジーマネイト/ Ge 構造は第一原理計算によって界面準位フリーとなる可能性が示されている[7]。

用意した試料を以下に示す。

- ALD 10 cycles; 2.1 nm
- ALD 20 cycles; 4.3 nm
- ALD 40 cycles; 8.6 nm

AR-XPS における検出角度と検出深さ (90%の信号が含まれる深さ) を以下に示す。

- 32 deg: 5.7 nm
- 52 deg: 4.1 nm
- 70 deg: 2.3 nm

以下、図1, 2, 3に各膜厚をもつ試料について、それぞれ代表して70 degのGe 3d スペクトルを示す。

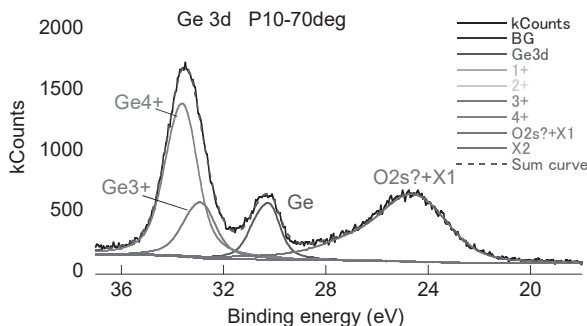


図1 膜厚2.1 nm 試料のGe 3d スペクトル

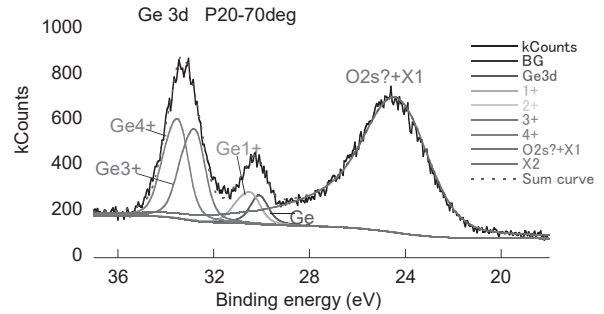


図2 膜厚4.3 nm 試料のGe 3d スペクトル

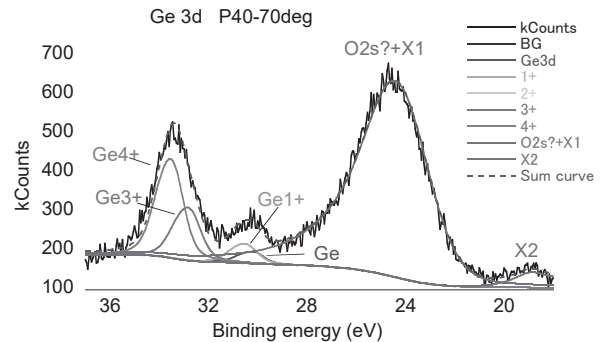
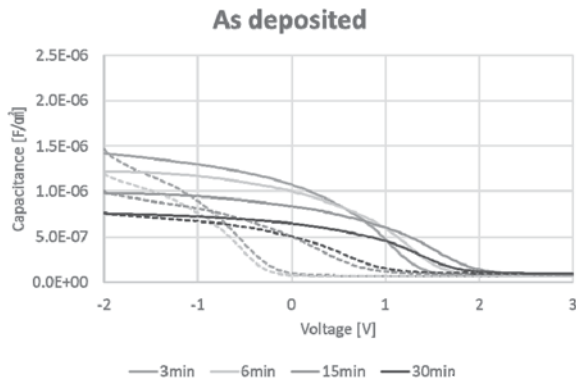


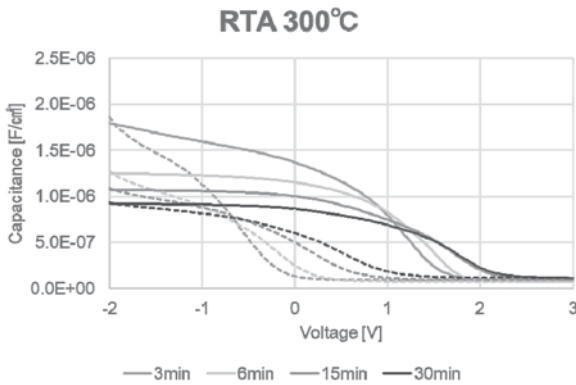
図3 膜厚8.6 nm 試料のGe 3d スペクトル

図1並びに図2のスペクトルにおいて特徴的なことは、Ge のサブオキサイド Ge^{3+} の位置に現れているピークの強度が顕著に高いことである(同じALD装置で成膜した $Al_2O_3/GeO_2/Ge$ 試料では Ge^{4+} 成分がドミナントであり Ge^{3+} 成分は非常に小さい)。このことは Al ジーマネイト膜における特徴であり、 Ge^{3+} の位置に分離されたピークは Al ジーマネイトによるケミカルシフトを反映している可能性がある(ただし Ge^{3+} と Ge^{4+} の間に Al ジーマネイトの本来のケミカルシフトを反映したピークがある可能性を検討する必要がある)。

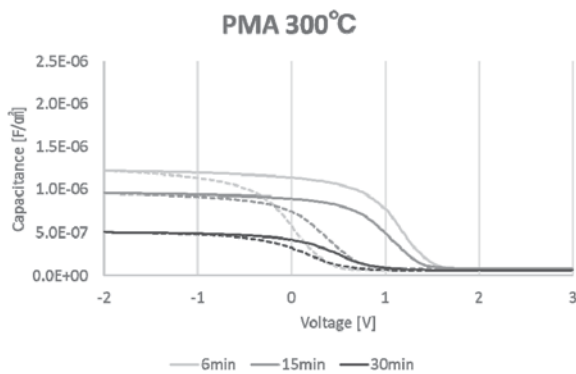
今回得られた第二の成果はマグネトロンスパッタで作製した HfO_2/Ge 構造に関するものである。As deposited 試料の $C-V$ 特性を図4 (a)に、Rapid thermal annealing (RTA) $300^\circ C$ を加えた試料の特性を同(b)に、PMA $300^\circ C$ を加えた試料の特性を同(c)に、Post deposition annealing (PDA) $300^\circ C$ を加えた試料の特性を同(d)に示す(図中の凡例は HfO_2 の堆積時間を示す)。PMA 並びに PDA により界面準位密度 (D_t)、酸化膜容量 (C_{ox})、及びヒステリシス特性が向上し、両試料においてはヒステリシスがなお大きいものの、 $C-V$ 特性の立ち上がりの特性からは D_t が低い値に抑えられていることが予想される。このことはマグネトロンスパッタという汎用プロセスによっても良好な界面が形成できる可能性を示すものであり、大変興味深い結果であると考えている。



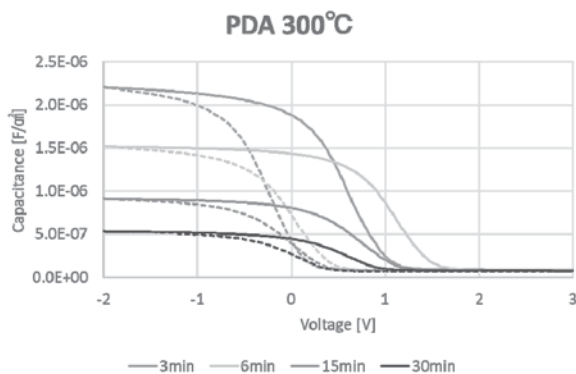
(a) As deposited 試料



(b) RTA: 300°C 試料



(c) PMA: 300°C 試料



(d) PDA: 300°C 試料

図4 HfO₂/Ge-MOS 構造の C-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。次世代の高性能CMOSデバイスの実現に向け、作成、評価技術、並びにGe界面とその近傍の物理の解明に向けた発展が期待される。

[4] 成果資料

今回は前回までの検討で未解明であった課題と新規の課題に取り組んだが、現象が複雑なため明確な結論には至っておらず、成果発表は行っていない。

謝辞

試料作製、機器分析、特性評価にご協力頂くとともに有益なディスカッションを頂いた公立諏訪東京理科大学大学院生の山田大地氏並びに山本裕介氏、弘前大学の遠田義晴先生、同大学院生の郡山春人氏に感謝致します。

[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)
 [7] M. Houssa, G. Pourtois, M. Caymax, M. Meuris, and M. M. Heyns, *Appl. Phys. Lett.* 92, 242101 (2008).

採択番号 H29/A10

Development of graphene based devices for terahertz applications

[1] 組織

研究代表者

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

通研対応教員

Prof. OTSUJI Taiichi (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

Prof. VELAZQUEZ J.E. (サラマンカ大学)
Mr. DELGADO J.A. (サラマンカ大学)
Mr. CLERICO V. (サラマンカ大学)
Assist. Prof. WATANABE T.
(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数： 6人

[2] 研究経過

The aim of this project is to continue our investigation by the fabrication/enhancement of a new generation graphene-based devices with dual asymmetric grating gates for detection and/or emission of terahertz radiations. To enhance the mobility of the device, the graphene (Gr) layer was sandwiched between two layer of hexagonal boron Nitride (h-BN). The technique used is based on the hot pick-up method. The fabricated heterostructures (h-BN/Gr/h-BN) were deposited on a doped silicon substrate with SiO₂ (Si/SiO₂). New graphene-based FETs were fabricated in Salamanca and characterized in RIEC toward new generation of terahertz detectors. Y. M. Meziani spent 7 days (25/01-02/02, 2020) to conduct experiments in RIEC. Student Yoshiki FUSE from RIEC uses the facility of Salamanca University (09-27/09/2019 and 08-11/01/2020) to learn and to fabricate distributed feedback dual-gate graphene- channel field-effect transistor (DFB-DG-GFET) as a current-injection terahertz (THz) light-emitting laser transistor. Dr. Juan Delgado, a JSPS fellow from Tohoku university uses the clean room facility of Salamanca University (USAL) to fabricate different ADGG-GFET devices toward detection of THz radiation (01-25/01/2020).

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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

A new system of fabrication has been transferred and installed from USAL in the clean room facility of the RIEC. Both installations were used to fabricate new ADGG-GFET devices. In general, the exfoliated graphene was sandwiched between two h-BN layer. Hot pick-up technique for the construction of the heterostructure (h-BN/Gr/h-BN) and Raman spectroscopy was performed to ensure the presence of the graphene layers as well as the h-BN layers. Asymmetric grating gates was deposited on the top layer of h-BN as shown in Fig. 1. The doped Silicon substrate was used as a back gate. Different devices were fabricated with different geometries and number of fingers for each gate (Figure. 1).

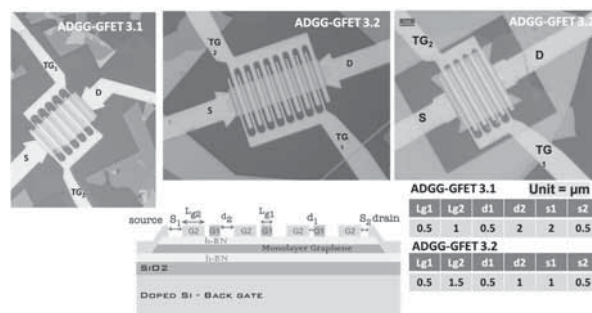


Fig. 1. Microscope photos of the new ADGG-GFETs, Schematic description of the structure, and the geometrical parameters of the fabricated devices.

② THz Detection from ADGG-GFETs

The devices 1 & 2 were subjected to terahertz excitation at 0.15 and 0.3 THz from 4K up to room temperature. The ADGG-GFET FETs were placed inside an optical cryostat and excited with an electronic source of 0.15 THz and 0.3 THz. The photocurrent was measured using a lock-in technique with a chopping frequency around 298Hz. No DC bias current was applied to the device.

Figure 2 shows the temporal measured photocurrent from a bilayer based ADGG-GFET when the THz source was switched on & off and for two values of back gate voltage (-2 and -4V). An intensity of ~0.35 nA was observed at 4K. An

enhancement of factor was obtained with the new devices, which is related to a better control of the process resulting in a higher quality graphene heterostructure.

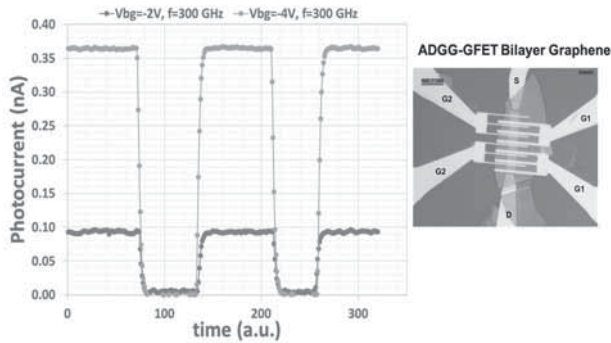


Fig. 2. Measured Photocurrent vs time when the THz source was switched on & off for both devices.

Figure 3-(a) the channel resistance versus the back gate (Vbg) where the charge neutrality point was obtained around Vbg ~ -2V and Figure. 3-(b) shows the measured photocurrent versus the back gate where a maximum of photocurrent around 1.5nA was obtained with Vbg ~ 9V.

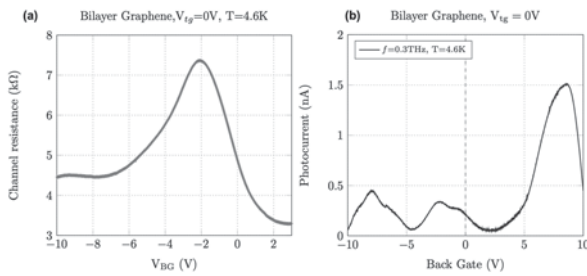


Fig. 3. (a) Channel resistance vs. the back gate and (b) Measured Photocurrent vs Vbg under excitation of 0.3 THz and at 4.6K.

To investigate the origin of the photocurrent, the back-gate voltage was kept at the charge neutrality point and the photocurrent was measured as a function of both top gates (Vg1 & Vg2). Figure 4 shows the obtained results where a maximum of photocurrent was observed for positive Vg2 and negative Vg1. The electron density is much higher under the fingers of top G2 (0.5 μm) than under the top G1 (1 μm) which is getting depleted. This introduce a modulation of electron density inside the channel which enhance the excitation of plasma waves. The same effect but with lower intensity of the photocurrent was observed for positive/negative top G1/G2 voltage. This is a clear demonstration that the observed photocurrent signal is related to the excitation of plasma waves inside the channel of the device.

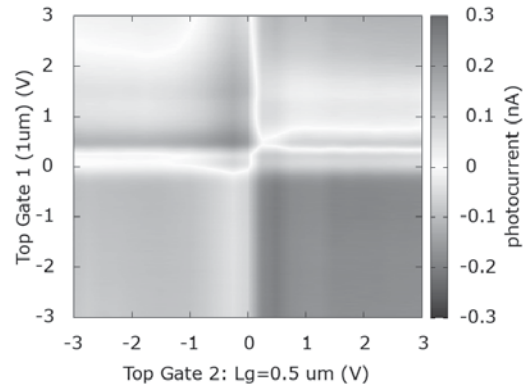


Fig. 3. Density map of the photocurrent generated as function of both top gates voltages at 4.2K and under excitation of 0.3 THz.

③ THz emission from ADGG-GFETs

To investigate the THz emission from the device, a Fourier Transform spectrometer and a highly sensitive Si- Bolometer detector were used. The device was cooled down to 100 K and placed under vacuum inside the FTIR spectrometer. Preliminary results are very encouraging as it can be seen from figure 4. A clear signal was detected by the bolometer with a maximum around 2THz. This is a preliminary result and need to be confirmed by more devices and additional experiments.

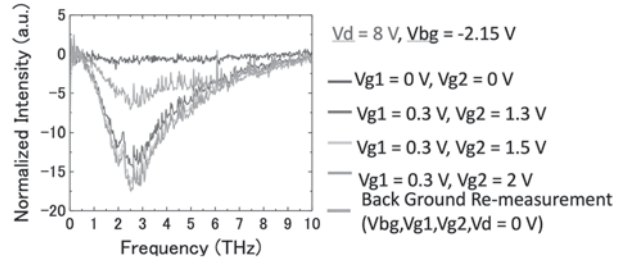


Fig. 4. Detected signal by the Si-Bolometer from the ADGG-GFET.

Different devices were fabricated and characterized recently for emission of THz radiation. The analysis of the data is still undergoing and no clear results was obtained up to the time of the present report.

(特別支援 (国際) にかゝる研究成果)

Y.M. Meziani, from Salamanca's group stayed 7 days (25/01-02/02, 2020) at RIEC and performed experiments for graphene FET detectors and emitters. This financial support greatly helped accelerate a new field of the research study using a new material of graphene. A student from RIEC, Yoshiki FUSE joined our laboratory in Salamanca for a period of one month (09-27/09/2019 and 08-11/01/2020). The JSPS Fellow from RIEC uses the facilities of the USAL to fabricate the new devices. The setup of the USAL was

transferred to the RIEC group which allow the speedup of the fabrication at both sides.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The observed results are very encouraging and they showed good responsivities and NEPs. Specially, in case of GFET very exciting results were observed. However, further investigations are needed on other devices first to confirm our present results and second to study the effect of the asymmetry of the ADGG on the photoresponse signal quantitatively. More experiments on new devices are needed to convince the scientific community.

[4] 成果資料

- [1] Minin, I. V. et al. 'Improvement of a Terahertz Detector Performance Using the Terajet Effect in a Mesoscale Dielectric Cube: Proof of Concept,' *Physica Status Solidi (RRL) - Rapid Research Letters*, 1900700-1-5 (2020). doi:10.1002/pssr.201900700
- [2] Clericò, V. *et al.* 'Quantum nanoconstrictions fabricated by cryo-etching in encapsulated graphene,' *Sci. Rep.* **9**, 13572-7 (2019).
- [3] Y.M. Meziani, J.D. Notario, V. Clerico, J.E. Velazquez, E. Diez, T. Otsuji, T. Taniguchi, K. Watanabe 'Terahertz detection using graphene based asymmetric dual grating gates FET,' International Congress on Graphene, 2D Materials and Applications, 30th September - 04th October 2019, Sochi Olympic Park, Sochi, Russia. (Invited)
- [4] A. Delgado-Notario, V. Clericò, E. Diez, J.E. Velázquez-Pérez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji and Y. M. Meziani, 'Asymmetric Dual-Grating Gate Graphene FETs as efficient Terahertz detectors,' the 21st International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures, EDISON 21, July 14-19, Nara, Japan.
- [5] J.A. Delgado-Notario, V. Clericò, E. Diez, J.E. Velázquez-Pérez, T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji and Y. M. Meziani, 'Asymmetric Dual Grating Gate Graphene-based THz detectors,' the 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, IRMMW-THz 2019, 1-6 September 2019, Paris, France.
- [6] Y.M. Meziani, J.D. Notario, V. Clerico, J.E. Velazquez, E. Diez, T. Otsuji, T. Taniguchi, K. Watanabe, 'Nouveaux Matériaux 2d pour émission et détection de radiation dans le domaine du Terahertz,' 1^{er} rencontre Internationale sur

les Matériaux, Nano-Objets, Innovation & Applications, MNIA2019, 29-30 November 2019, Oujda, Morocco. (Invited)

採択番号：H29/A12

QZSS 高精度位置・時刻情報を用いた Massive Connect IoT の研究

[1] 組織

研究代表者： 小熊 博
(富山高等専門学校)
通研対応教員： 亀田 卓
(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)
飯塚 昇 (鈴鹿工業高等専門学校)
谷藤 正一 (沖縄工業高等専門学校)
山形 文啓 (釧路工業高等専門学校)
本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：16人

[2] 研究経過

情報通信ネットワークは、今日まで高速・大容量化を中心に研究開発が進められており、近年では5G（第5世代携帯電話システム）に代表される新しい移動通信ネットワークが整備されつつある。今後は人間同士の情報伝達という従来の枠組みを超え、交通・農業・電力などあらゆる分野において、社会基盤としてIoT（Internet of Things）やM2M（machine-to-machine）の利用が進むと想定される。膨大な量のセンサで計測された幅広いデータを解析することで新たなサービスを生み出す、いわゆるビッグデータの活用が期待され、無線通信ネットワークも個々のサイズは小さいが膨大な量のパケットがやり取りされる“Massive Connect IoT”へ進展すると考える。Massive Connect IoTではこれまでの周波数資源の高効率利用（高速・大容量化）に加え、低機能な端末（センサ）から頻繁にパケットが発生するため、アクセス制御技術の簡素化や高効率化が求められる。

本研究課題では、Massive Connect IoTのための高効率無線通信ネットワークの研究開発を行う。本提案方式は準天頂衛星システム（QZSS）や全地球測位システム（GPS）の測位信号によって得られるナノ秒オーダーの時刻情報やメートルオーダーの位置情報を基に送信タイミング制御を行うことで高効率な同期通信を実現する。既に終了した文部科学省 IT プロ

グラム（RR2002）「次世代モバイルインターネット端末の開発」、JST CREST タイプ・プロジェクト研究「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」、総務省・受託研究「災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発」などの成果を活用し、Massive Connect IoTのための高効率無線通信ネットワーク技術の研究開発を行う。

本研究課題の議論を、2019年8月26日、2020年2月20日、3月9日に通研を会場に開催した。当日仙台に来訪できない研究者はskypeなどの遠隔会議システムを用いて参加した。さらに、適宜、遠隔会議システムにて情報交換を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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CPUを搭載した1チップFPGAによる送信タイミング制御システムを構築し、構築システムにおける送信タイミング制御誤差に焦点をあてた時刻同期精度の評価を行った。

(3-1-1) 送信タイミング制御誤差の評価指標

送信タイミング制御誤差の評価の指標について、送信タイミングの決定方法を基に説明する。送信タイミング制御の具体的な目的は、各携帯端末から発信されたメッセージの衛星到達時の符号直交である。すなわち、衛星から離れた地点に存在する携帯端末の送信タイミングが早く、言い換えれば、PPS信号発生後の遅延量が少なくなる。QZSSロケーション・ショートメッセージ通信システムは、日本領域内での使用を前提としたシステムであるため、送信タイミング制御の際に発生し得る最大の遅延量は概算が可能である。また、遅延制御部はカウンタを用いて送信タイミングの制御を行うことから、遅延量の大小と送信タイミング制御誤差には相関があると想定できる。したがって、送信タイミング制御誤差の評価は最大遅延量を軸に行われるべきであると言える。

送信タイミングとなる遅延量の決定は、衛星-携帯端末間の距離によって行われる。図1に端末からのパケット送信の送信タイミングの制御例を示す。QZSS・GPS受信機より得られた位置情報からPPS信号の発生後の遅延量を算出し、遅延量を制御することで送信タイミングを制御させる。本研究では、日本領域内において通信先の静止衛星から最も遠い位置にある携帯端末が、PPS信号の発生と同時にメッセージを発信すると仮定する。よって、日本領域内において最も静止衛星に近い位置の携帯端末が最も遅くメッセージを送信する端末となり、最大伝搬時間と最小伝搬時間の差が最大遅延量となる。日本領域の各座標の取得が難しいため、日本全国各地に存在する電子基準点の座標を日本領域の座標として使用する。最大遅延量の概算を行った結果、電子基準点のうち最も静止衛星までの伝搬時間が大きかった位置は北海道稚内市であり、最も伝搬時間が小さかった位置は東京都小笠原村であった。また、この2点の伝搬時間の差は5.6ms程度であった。送信タイミング誤差は端末内部クロックの周波数安定性に起因するため、よって、最大送信制御時間に相当する遅延量が6ms程度の際の送信タイミング制御誤差が送信タイミング制御システムの評価の軸となる値となる。

(3-1-2) 送信タイミング制御誤差の測定方法

本節では、送信タイミング制御誤差の測定方法について説明する。送信タイミング制御システムを使用して送信タイミング制御誤差を測定するが、送信タイミング制御誤差は遅延量の大小に考慮されるため、実際のQZSS・GPS受信機は使用せず、疑似的なNMEAデータを生成し、得られた遅延量を活用して疑似的にPPS信号を発生させることで遅延量と送信タイミング制御誤差の関係を観測する。疑似的なNMEAデータはPCにてターミナルソフトを用いて発生させ、疑似PPS信号はトグルスイッチで発生させる。送信タイミング制御誤差の測定はオシロスコープで行う。オシロスコープはAgilent製DSO9254A(サンプリングレート:20GSa/s)を用いる。疑似PPS信号の発生からトリガ信号の送信までの時間を測定し、本来の遅延量との差を送信タイミング制御誤差とする。送信タイミング制御誤差の測定はさまざまな遅延量で行い、各遅延量につき100回以上の測定を行う。測定遅延量と本来の遅延量の差は、自作したPythonスクリプトを用いて算出する。

(3-1-3) 送信タイミング制御誤差の測定結果

本節では、送信タイミング制御誤差の測定・評価結果について説明する。図2にオシロスコープにて観測した疑似PPS信号とトリガ信号を示す。あらかじめ、所定の遅延量になるようにテスト用NMEAデー

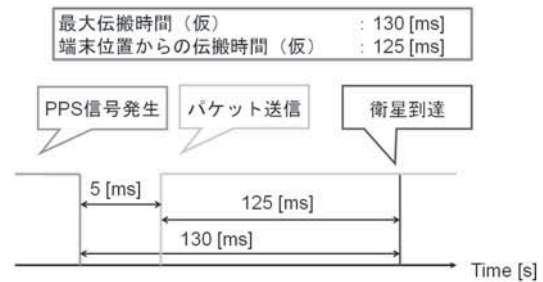


図1 送信タイミングの制御例

タをPC側で入力し送信タイミング算出部に送る。遅延制御部は送信タイミング算出部にて算出した遅延量のデータを受け取り、PPS信号の発生後、設定された遅延量だけ遅延させた信号を送信させる。つまり、疑似PPS信号とトリガ信号の送信までの時間を測定し、本来の遅延量との差が送信タイミング制御誤差となる。図3に測定した遅延量と送信タイミング制御誤差の関係を示す。図3において、実際の測定値では評価軸となる最大送信制御時間に相当する遅延量6msの送信タイミング制御誤差は約50nsであり、目標の30nsを満たすことができなかった。しかし、送信タイミング制御誤差は遅延制御部におけるカウンタの性能に強く依存すると考えられるため、カウンタを駆動するクロックの周波数誤差が送信タイミング制御誤差に大きく影響を与え、遅延制御部の動作がカウンタを基準にしていることから、構築した送信タイミング制御システムに必要なクロック周波数精度が測定結果より推定可能である。そこで、はじめに現在FPGA上で使用しているクロックの周波数誤差を推定した結果、図3にて赤線で示されているように、クロック周波数100MHzに対して9ppm程度の誤差であると判明した。よって、遅延量6msの際の送信タイミング制御誤差が30ns以内に収まると推定されるクロック周波数誤差は橙線で示されている通り、100MHzに対して5ppm以内であると考えられる。送信タイミング制御誤差の要因には、PPS信号とクロックの駆動タイミングの違い等、クロック周波数誤差以外の要因もあると考えられるが、大きく影響を与える要因はクロック周波数誤差である。また、携帯電話・スマートフォンで使用されている通信方式であるLTE(Long Term Evolution)の端末規格では、所要周波数精度は0.01ppm以内といった値であり、100MHzに対して5ppm以内といったクロック周波数精度は十分に現実的な値である。したがって、送信タイミング制御システムにおいて十分に高精度なクロックを用いることで要求されている送信タイミング制御精度を得られると考えられる。

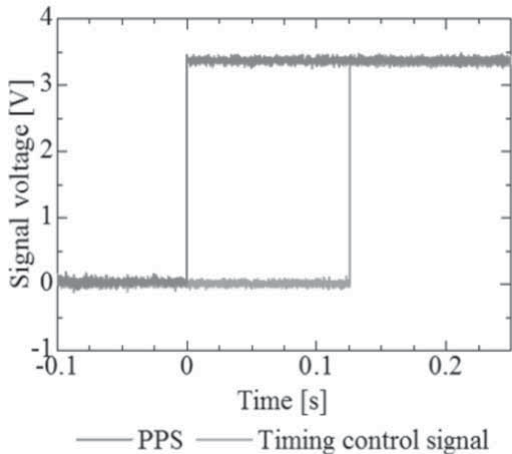


図2 疑似PPS 信号とトリガ信号

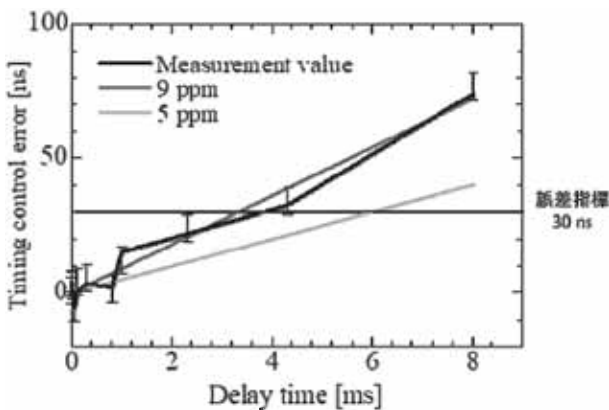


図3 遅延量と送信タイミング制御誤差

(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。今後は、本プロジェクトの研究成果を積極的に活用し、産学官連携による地元地域の移動体通信技術研究開発拠点化に向けた取り組みへの大きな発展が期待できる。

[4] 成果資料

○ 学術論文・国際会議発表 (査読有)

(1) S. Kameda, K. Ohya, H. Oguma, and N. Suematsu, "Experimental evaluation of synchronized SS-CDMA transmission timing control method for QZSS short message communication," *IEICE Trans. Commun.*, E102-B(8), 1781-1790, August 2019.

(2) S. Kameda, K. Ohya, T. Takahashi, H. Oguma, and N. Suematsu, "Random access control scheme with reservation channel for capacity expansion of QZSS safety confirmation system," *IEICE Trans. Fundamentals*, E102-A(1), 186-194, Jan. 2019.

(3) R. Shinozaki, H. Oguma, S. Kameda, and N. Suematsu, "Experimental analysis of positioning accuracy of GPS/BeiDou on elevation mask," 2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC2019), Oct. 2019.

○ 国内大会・研究会発表

(1) 篠崎蓮, 辰口尚, 小熊博, 山形文啓, 亀田卓, 末松憲治, "GPS/BeiDou におけるマルチパスが位置捕捉精度に与える影響," 信学総大, 2019年3月。

(2) 山形文啓, 小熊博, 亀田卓, 末松憲治, "釧路地域における準天頂衛星システムによる測位精度," 信学総大, 2019年3月。

(3) 辰口尚, 篠崎蓮, 小熊博, "種々の天空率環境下における RTK 測位の位置捕捉精度," 信学総大, 2019年3月。

(4) 小熊博, 河合怜, 島田拓海, 浅井剛, 本良瑞樹, 亀田卓, 末松憲治, "QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信システム—送信タイミング制御誤差の評価—," 電子情報通信学会 SR 研究会, 2019年5月。

(5) 山形文啓, 小熊博, 亀田卓, 末松憲治, "市街地を模擬した釧路地域における準天頂衛星システムの測位精度," 信学ソ大, 2019年9月。

(6) 藤田壮, 篠崎蓮, 小熊博, 亀田卓, 末松憲治, "GPS/BeiDou RTK 測位の位置捕捉精度の SNR マスク依存性," 信学総大, 2020年3月。

採択番号 : H29/A13

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 (東北大学電気通信研究所)

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

太郎丸 眞 (福岡大学)

谷藤 正一 (沖縄工業高等専門学校)

丸橋 建一 (NEC/(兼)NICT)

延べ参加人数 : 7 人

[2] 研究経過

無線通信用マイクロ波・ミリ波帯送受信機の小型、低消費電力化を目指して、RF 信号を直接ベースバンドあるいは中間周波数(IF)のデジタル信号に変換する、あるいは、これらデジタル信号を直接 RF 信号に変換するダイレクトデジタル RF 技術が注目されている。従来は 3GHz 帯以下の受信機での報告例しかなかったものを、我々の研究グループは、2014 年度～2016 年度の共同プロジェクト研究 (タイプ A) 「ダイレクトデジタル RF 変復調技術の研究」を活用して、過去 3 年間で、約 10 倍の周波数である 28GHz 帯のダイレクトデジタル RF 受信 S/H (サンプル アンド ホールド) IC を開発し、衛星通信の変調信号を受信できることを示してきた。この過程で、2015 年度～2016 年度には、総務省の SCOPE フェーズ II に採択され、IC 試作を大きく前進することができた。本研究では、Beyond 5G などで注目されているミリ波帯での実現と、10GHz を超えるマイクロ波・ミリ波帯で実現例のない、ダイレクトデジタル RF 送信機の実現を目標に、国内外の研究者を交えて、ダイレクトデジタル RF 方式の送受信サブシステム、送受信機構成、RFIC 技術の基礎的な研究を行う。

本プロジェクトは、本年度が第 3 年度であった。

送信系に関しては、2018 年度に 1-bit $\Delta\Sigma$ 変調器のイメージ信号を用いたダイレクトデジタル RF 送信機を試作し、OOK 変調の光ファイバ給電の実現

性について検討した。2019 年度は、10Gbps 程度の光ファイバ伝送系を 2018 年度に試作した 26GHz 帯の信号を発生できるダイレクトデジタル RF 送信機に組み込み、実際の動作確認を行うこととした。

受信系に関しては、2018 年度に 65nm RF CMOS プロセスを用いて試作した 60GHz 帯 S/H-IC の試作、評価を行い、世界最高速の動作を確認するとともに、QPSK 信号受信機としての可能性を検討した。2019 年度は、45nm RF SOI-CMOS プロセスを用いた試作、評価を行い、さらなる性能向上を目指すこととした。

以下、研究活動状況の概要を記す。

送信系については、4 月から 6 月にかけて、10Gbps イーサネット用に市販されている光ファイバ通信用 SFP+ (E/O, O/E) モジュールについて調査を行い、その結果、波長 850 nm 帯 SFP+ を用いるマルチモードファイバ (MMF) 伝送系のほかに、SFP+ 内部に CDR (Clock and Data Recovery) 回路を持つ波長 1310 nm 帯 SFP+ を用いるシングルモードファイバ (SMF) 伝送系の 2 種類の光ファイバ伝送系を選択した。この選定にあたり、5/21-24 にかけて、共同研究者の福岡大学・太郎丸 眞教授に來所頂き、通信システムの見地から検討に参加いただいた。7 月から 11 月にかけて、SFP+ モジュールの購入、測定系の立ち上げなどを行い、12 月以降、1-bit $\Delta\Sigma$ 変調信号を用いたダイレクトデジタル RF 送信機の光ファイバ伝送実験を行った。この測定系の検証を行うため、3/10-12 に、高周波 IC 実装に詳しい沖縄高専・谷藤正一教授に來所頂いた。

受信系については、45nm RF SOI-CMOS プロセスを用いた 60GHz 帯 S/H-IC の試作、評価を行った。

研究打合わせは、おおよそ月 1 回ペースで行っており、東北大以外の研究者に関しては、基本的に web で参加してもらった。ただし、実際のデバイス、モジュール、測定系を目前にした打合わせを行う必要もあり、この際は、これらの研究者に來所頂いた。具体的には、以下の 2 回の打合わせを実施した。

- (1) 5/21-2, 参加者 : 福岡大学・太郎丸教授, 東北大・末松, 亀田, 本良, 学生 2 名 計 6 名
- (2) 3/10-12, 参加者 : 沖縄高専・谷藤教授, 東北大・末松, 亀田, 本良, 学生 2 名 計 6 名

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

・送信系

光給電ダイレクトデジタル RF 送信機の構成を図 1 に、評価系の写真を図 2 に、それぞれ示す。信号源で生成する RF 信号を 1bit-BP ΔΣ 変調器に入力し、1bit 量子化、この電気信号を 10GbE 向けの SFP+ モジュールに入力し光信号に変換する。送信信号は、RF 中心周波数 2.5 GHz、20 Msps の QPSK 変調信号とし、この信号を 5 次の Band-Pass (BP) ΔΣ 変調器により 1 bit 量子化している。光ファイバを用いて伝送された 1bit 信号は、フロントエンド側の SFP+ により電気信号に変換、BPF により任意の周波数帯の RF 信号を取り出し、送信する。一般に、光伝送系はローパス特性を持つ。ここでは高次のイメージ成分を利用するため、光伝送系における周波数特性が信号品質に影響を与えると考えられる。そこで、波長 850 nm 帯 SFP+ を用いる MMF 伝送のほか、内部に CDR 回路を持つ波長 1310 nm 帯の SFP+ を用いる SMF 伝送の二種類の光ファイバ伝送系を用いて信号を伝送し、信号品質の評価、比較を行った。

図 3, 図 4 に、それぞれの光ファイバ伝送系を用いた際の得られた出力スペクトラムを示す。850nm の系において、2.5GHz 帯の基本波出力(1 次ナイキストゾーン)は、SNR = 38.7 dB, ACLR = -33.4 dBc であり、2 次ナイキストゾーンにある 7.5 GHz 帯のイメージ出力は、SNR = 29.53 dB, ACLR = -29.4 dBc であった。一方、1310nm の系において、基本波出力は、SNR = 47.0 dB, ACLR = -34.6 dBc, イメージ出力は、SNR = 43.2 dB, ACLR = -36.4 dBc であった。MMF の場合と比較して SNR で、それぞれ 8.6 dB, 13.7 dB の向上が確認できた。

いずれの伝送系においても、3 次以上の高次ナイキストゾーンにおいては、イメージ信号が大きく減衰しており、RF 送信波として使用できる SNR は得られなかった。この送信系を 28GHz の送信系として使うには、O/E 変換後に、1-bit 信号の矩形波化し、イメージ成分を再生成する必要があると考えられる。

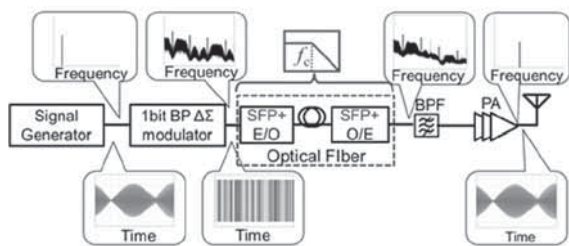


図 1 光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送信機構成

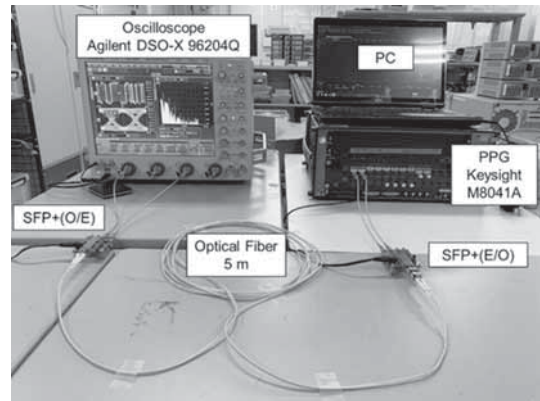


図 2 光ファイバ伝送ダイレクトデジタル RF 送信機の評価系の写真

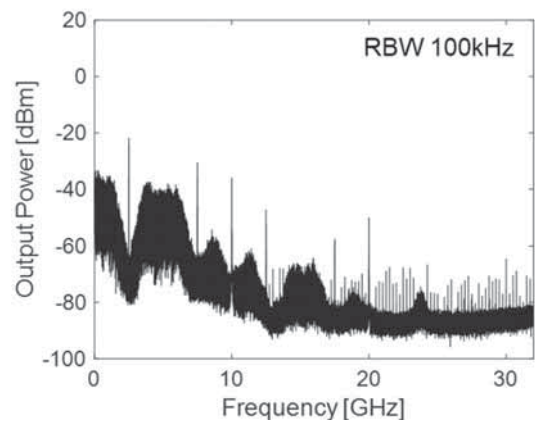


図 3 850nm MMF 伝送時の出力スペクトラム

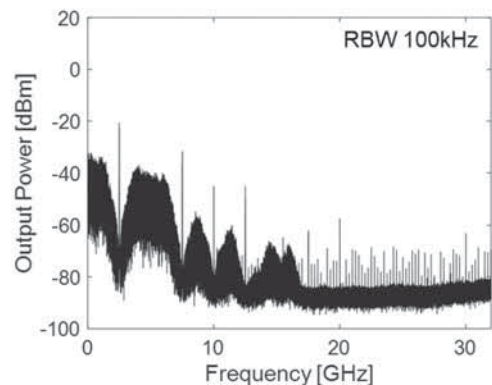


図 4 1310nm SMF 伝送時の出力スペクトラム

・受信系

Global Foundry の 45nm SOI CMOS プロセスを用いて 60GHz 帯 S/H-IC の試作を行った。試作した IC チップの写真を図 5 に示す。60GHz 帯での高速サンプリング動作のため 45nm CMOS プロセスを採用し、直列スイッチと並列スイッチのスイッチングスピードを向上させた。さらに、ホールドキャパシタをスイッチ用トランジスタの寄生容量で代用する回路構成とした。

試作した S/H IC を用いて、60GHz 帯の CW (Continuous Wave) 信号の受信特性を評価した。RF 信号は 59 GHz, -1 dBm とし、クロック信号は 985MHz とし、約 60 次のアンダーサンプリングを行っている。S/H IC の差動出力電圧の時間波形を図 6 に示す。70mVp-p の出力が得られている。図 7 に出力波形のスペクトルを示す。これは、図 6 の時間波形を 985MHz で離散化し、量子化したデータを FFT したものである。5MHz の受信帯域幅で SNR = 37.9 dB が得られ、60GHz のアンダーサンプリング受信が可能であることを示した。

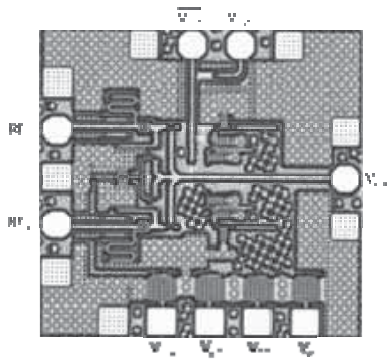


図 5 60GHz 帯 S/H-IC のチップ写真

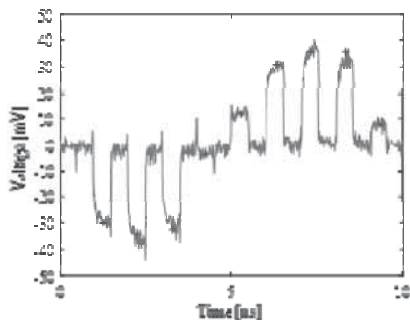


図 6 試作した S/H-IC の出力時間波形

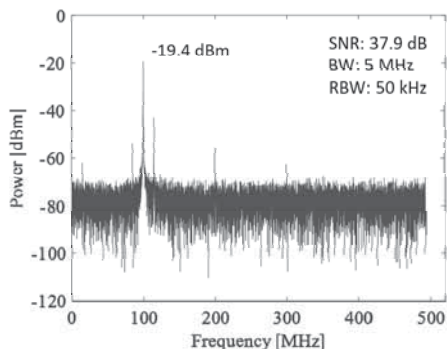


図 7 試作した S/H-IC の出力スペクトラム

(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、科研費（一般A）の申請につながった。また、本プロジェクトで明らかになったダイレクトデジタル RF 送受信機の成果は、デジタル RF 回路とアナログ回路を融合するデジタル RF 技術として注目されており、参考成果にリストアップした電子情報通信学会論文誌に招待論文につながった。なお、本論文は、2019 年 11 月の和文論文誌のダウンロード数 No. 1 となった。

[4] 成果資料

(1) 田村 涼, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, “SFP+ 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,” 信学総大 C-2-71, Mar., 2020.

(2) 田村 涼, 本良 瑞樹, 亀田 卓, 末松 憲治, “SFP+ 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,” 信学技報, vol. 119, no. 459, MW2019-156, pp. 91-96, Mar., 2020.

(関連成果)

(3) 末松 憲治, 本良 瑞樹, 亀田 卓, “ダイレクトデジタル RF 技術,” 信学論, Vol. J102-C, No. 11, pp. 297-304, Nov. 2019. (招待論文)

採択番号 : H29/A16

色名に関する文化差および個人差の研究

[1] 組織

研究代表者 :

徳永 留美 (千葉大学国際教養学部)

通研対応教員 :

栗木 一郎 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

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)

松宮 一道 (東北大学大学院情報科学研究科)

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 Phuangsuan (タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター)

池田 光男 (タイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンター)

I-Ping Chen (台湾・国立交通大学)

Su-Ling Yeh (台湾・国立台湾大学)

延べ参加人数 : 15 人

[2] 研究経過

色は言語の壁を越え、人類共通のコミュニケーション手段として利用可能な概念である。特に色名と対応した色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。利用する色名は言語が異なっても基本カテゴリの分類からはずれないため、文化や言語に依存しない色の概念分類として理解されている。

Lindsey & Brown (2006, 2009) によると、同一言語内の個人差は、異なる言語間に共通ないくつかのパターン (モチーフ) によって表現されるという。これによると、言語差 (文化差) と個人差を共通のモデルで説明することができれば、カテゴリ色の利用の最適化など情報通信分野における応用も期待できる。そこで、本研究では、個人差に関する言語間の共通性を検討することを目的としている。

本プロジェクトは、先行プロジェクト (H26/A16) による米国、日本の言語を対象とした色カテゴリ研究を拡張したものである。本年度は最終年度であり、昨年度から進めてきた台湾の中国語の色カテゴリについての論文投稿と、タイ語のデータ解析に取り組んできた。また、新たに韓国語の実験実施についても着手した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(2-1) 打合せの詳細

1) 2019年6月16~20日

【参加者】Nischanade Panitanang (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)、栗木一郎、徳永留美

【場所】東北大学電気通信研究所にて

【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整理手順の確認とデータ整理の実施

2) 2019年8月2~22日, 9月19~24日

【参加者】Tusei-Ju Hsieh (中国文化大学)、栗木一郎、I-Ping Chen (国立交通大学)、武藤ゆみ子、徳永留美、塩入諭

【場所】e-mailにて

【内容】台湾における中国語の研究に関する投稿論文について

3) 2019年11月30日~12月1日

【参加者】Tusei-Ju Hsieh (中国文化大学)、栗木一郎、I-Ping Chen (国立交通大学)、徳永留美

【場所】ACA2019(アジア色彩学会/名古屋)にて

【内容】台湾における中国語の研究に関する投稿論文の査読の返答について

4) 2019年11月30日~12月1日

【参加者】Youngshin Kwak (蔚山科学技術大学校)、栗木一郎、徳永留美

【場所】ACA2019(アジア色彩学会/名古屋)にて

【内容】韓国における韓国語の共同実験実施についての説明と実施についての打合せ

5) 2020年2月17~20日

【参加者】Nischanade Panitanang (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)、栗木一郎、徳永留美

- 【場所】 東北大学電気通信研究所にて
 【内容】 タイ語のカラーネーミングデータ解析における k-means 解析の技術的な打合せ
- 6) 2020年2月24日～3月2日
 【参加者】 Youngshin Kwak (蔚山科学技術大学校), 徳永留美
 【場所】 e-mailにて
 【内容】 韓国語の実験実施について, 装置と照明についての打合せ
- 7) 2020年3月23～27日
 【参加者】 Tusei-Ju Hsieh (中国文化大学), 栗木 一郎, I-Ping Chen (国立交通大学), 武藤ゆみ子, 徳永留美, 塩入諭
 【場所】 e-mailにて
 【内容】 台湾における中国語の研究に関する投稿論文の再投稿原稿について

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は, 本プロジェクトの結果である台湾の中国語の色カテゴリと, 先行プロジェクト (H26/A16) の結果である日本語, 英語との比較の成果と, タイ語の色カテゴリのデータの解析と分析の成果が得られた。以下に示す研究成果を得た。

一つ目の成果は, 解析が進んだ台湾の中国語のデータと先行プロジェクトの英語, 日本語の比較の実施である。本プロジェクトは, 多言語において同一実験環境, 実験手法, 解析手法を採用しており, 直接比較が可能である。そこで, 3言語の149名(台湾の中国語41名と日本語57名, 英語51名)の結果の統合的な分析を実施した。算出されたモチーフ(用語のパターン)は3つで, それらを図1に示す。大きな違いは, 青緑領域における色カテゴリの分離で, モチーフ2では「水色」, モチーフ3では「Teal」の領域が出現する。モチーフ1は8色名から成り, この結果が基本11色名での応答と同じパターンを示した。モチーフ1に分類された被験者数は, 中国語41名(全員), 日本語7名, 英語29名であった。モチーフ2は, 中国語0名, 日本語49名, 英語3名, モチーフ3は, 中国語0名, 日本語1名, 英語19名が分類された。中国語の場合はモチーフ1が100%であり, 言語内で同一のモチーフであった。日本語では86%が同一のモチーフ2だったが, 英語ではモチーフ1が56.8%, モチーフ3が37.3%と分離した。このように言語間における色カテゴリの違いのみならず, 言語内の個人差が存在することも定量的に示された。

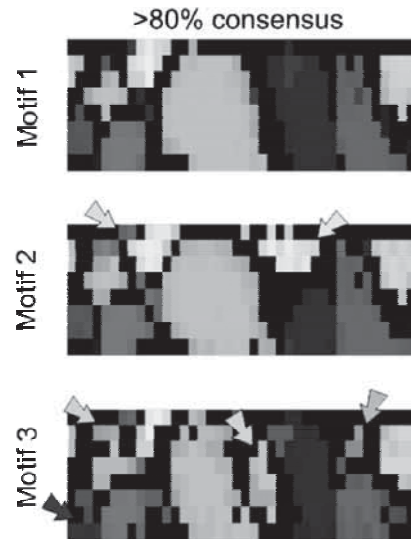


図1 中国語と日本語, 英語の統合分析の結果

二つ目の成果は, タイ語の色カテゴリに関する研究である。本研究では, タイ王国の4地方 (Central, North, Northeast, South) の合計162人に対して, 色カテゴリの実験を実施した。被験者の詳細は, Northエリアは, 年齢18から44歳の43名(男性:24人, 女性18人), Northeastエリアは年齢18から60歳の38名(男性:13人, 女性25人), Centralエリアは, 年齢18から54歳の50名(男性:23人, 女性27人), Southエリアは年齢18から25歳の31名(男性:12人, 女性19人)であった。

タイ王国は近接する隣国からの移民により, 多民族から構成されているために方言が強く, 色名にも地域差に特徴があると予測していたが, 4エリアで使用した色名数においては, 有意な差がなかった。

全エリアにおいて, 使用した色名数の男女差をみると, 男性の平均色名数が17.96, 女性が20.11となり有意な差があった ($t(159)=2.65, p<0.01$)。男女差の内容については, 今後検討予定である。

タイ語のカラーネーミングで使用された色名を分類した結果を図2に示す。42%が植物・花の名前を色名としており, 例えば緑色として「バナナの葉」, ピンクとして「バイエン (花の名前)」がある。次いで日常で使用する物が14%, 鉱物や宝石に由来する物が9%, 飲料, 食料がそれぞれ8%となっている。このことは, 普段の生活と密着した物の名前を直接色名として使用していることを示している。色を使う為に, 色名として生活と密着して使用する物体表面の色を色名として利用することがより自然であったと推測できる。これは台湾で実施した中国語の結果において, 茶色に関する色名として「咖啡 (kāfēi: coffee)」が挙げられ, 日本語の結果においては緑色に関する色名として「抹茶」が挙げられ

たように、生活で使用する物の色を色名として利用する結果と共通した特徴である。このような文化的側面と個人の色名の利用については、今後詳細に検討していく予定である。

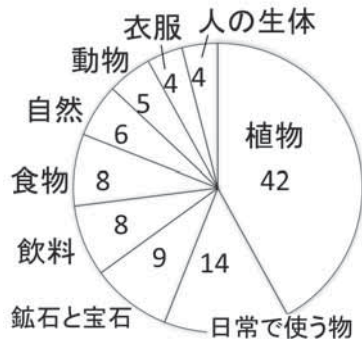


図2 タイ語の自由色名の分類 (%)

(特別支援(若手・国際・産学)に係る研究成果) 今年度は、実験実施と結果の整理に携わっているタイ・ラジャマンガラ工科大学タニヤブリ校カラーリサーチセンターの博士後期課程の学生を2回招聘した。1回目は、タイ語に関する実験データの解析の前処理を実施し、データ整理と記述統計について確認した。2回目は、2020年2月の共同プロジェクト研究会でのポスター発表と、タイ語に関する実験データのk-means解析の技術的な打合せの実施であった。今後は論文の投稿も予定している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など 本プロジェクトは、色名に関する文化的相違に着目したもので、複数の言語における色名の利用について、「文化差」と「個人差」を検討していくものである。本プロジェクトの特色は、各言語の結果を直接的に比較でき、これまでとは異なった視点から言語、文化差や個人差について、共通の概念を導き出すことが可能となることである。特に、先行プロジェクト(H26/A16)において日本語の「水色」で明らかになった基本色カテゴリ境界にまたがるカテゴリの言語間、個人間の相違についての検討においては、タイ語においても日本語の「水色」に相当する「Fha(空)」のカテゴリが確認された。これは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ると期待している青緑境界の問題に対して、更なる情報の蓄積を意味する。対象言語を広げることは、また、海外の研究者ネットワークの拡大へと繋がっている。今後、他の言語についても同様の研究を発展させる計画である。

昨年度に引き続き、色名、色カテゴリについては、研究トピックとして注目されている。歴史や文化材、工業、服飾デザインなど、色を直接扱う、また、色

を色名として扱う研究者が集ったアジア色彩学会(ACA)において、言語文化論の視点から日本語の色名の特徴が紹介されるなど、色名、色カテゴリについての研究発表課題が多くみられ、新たな課題が認識された。本プロジェクトの成果としても、テレビ番組の出演が2件、招待講演が1件と研究成果が研究分野へ大きく貢献している。さらに、研究者ネットワークにおいては、基本色カテゴリについての議論が活発になってきており、本研究課題が持つ波及効果の裾野の広さを示した。

[4] 成果資料

- 1) 栗木 一郎, “言葉のなかの色, 脳のなかの色”, 日本色彩学会創設70周年記念記念講演, 日本色彩学会誌, 45(1), pp. 44-48 (2019).
- 2) Tsuei-Ju Hsieh, Ichiro Kuriki, I-Ping Chen., Modern Mandarin basic color terms acquired from color naming task and statistics corpus linguistics. *Proceedings of the 5th Asia Color Association Conference*, Nagoya, Japan, Nov. 29-Dec. 2, pp. 158-163 (2019).
- 3) Panitanang N., Phuangsuwan C., Kuriki I., Tokunaga R., and Ikeda M., THAI BASIC COLOR TERMS AND NEW CANDIDATE NOMINATION, *Proceedings of the 5th Asia Color Association Conference*, Nagoya, Japan, Nov. 29-Dec. 2, pp. 164-169 (2019).
- 4) Tracy Hsieh, Ichiro Kuriki, I-Ping Chen, Yumiko Muto, Rumi Tokunaga, Satoshi Shioiri. Basic Color Categories in Mandarin Chinese Revealed by Cluster Analysis. *Journal of Vision*, (submitted; under 2nd review).

(招待講演)

- 1) 栗木一郎: 「脳内における色情報の表現形式について」, 日本基礎心理学会2019年度第2回フォーラム, 新潟大学, 2020年1月25日.

(報道等)

- 1) 日経プラス1「緑なのに「青信号」日本だけ 訪日客戸惑う交通ルール」解説. 2019年10月12日.
- 2) NHK-E「又吉直樹のへウレーカ!」, 解説「これ何色に見えますか?」, 放送日2019年10月23日.

採択番号：H29/A17

半導体微細加工と脂質二分子膜の機能融合に基づく 高感度・高精度イオンチャネルセンシングの創成

[1] 組織

研究代表者：

手老 龍吾 (豊橋技術科学大学
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)

延べ参加人数:12人(新型コロナウイルス感染症
対応のため中止した国際シンポジウム参加予定者を
含まない)

[2] 研究経過

ナノテクノロジーとバイオマテリアル、トップダウンの微細加工技術とボトムアップの自己組織化構造制御といった、材料・手法の融合による新規コンセプトの創成が期待されている。タンパク質・脂質・糖鎖などが分子集合体として機能を発揮するスケールである10nm程度の構造体を、半導体微細加工技術が量産技術として作製できるようになり、両者の構造と機能をシームレスに繋ぐことがバイオ計測技術の高機能化と新機能の発現といった次のブレークスルーを生み出すために必要である。特に、様々な生体機能や疾病との関連が次々と解明されつつある生体膜における輸送反応は、物質・情報・エネルギーが互いに不可分に関わってやり取りされる現象であり、これらの情報を取得するための実験系と測定手法の開発が求められている。

本研究では、生体分子の中でも創薬ターゲットや薬物副作用の観点から特に注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に、半導体ナノ微細加工技術と脂質二分子膜系の融合により、新規な高感度・高精度センシングデバイスの開発を目指している。このためには、半導体材料と生体分子との界面にお

ける現象の理解し、制御することが必要である。生体分子が自己組織的に形成する集合体である脂質二分子膜と、その中に包埋されたイオンチャネルの構造および機能を分子レベルで明らかにすることが目的の1つである。また、有機半導体分子や金属ナノ粒子、グラフェンなどの機能性ナノ材料を取り込んだ新規脂質二分子膜系の開拓を行う。これらのナノ材料が脂質二分子膜系や細胞膜においてどのような振る舞いをするかについての研究例は少ないため、新規現象の発見が期待される。

プロジェクト最終年となる本年度は、前年度までに得られた、人工脂質二分子膜へのプロテオリポソーム融合と膜タンパク質再構成、水溶液中の脂質二分子膜に電位を印加した場合の実効的な電位とインピーダンスを評価するための等価回路モデル、有機半導体分子包含脂質二分子膜系での光電流生成、化学修飾基板上への脂質膜形成などの成果をさらに発展させることに取り組んだ。これらの成果は水溶液中での人工脂質二分子膜と生体膜、ナノ材料と人工脂質二分子膜といった界面で起きる現象を分子レベルで理解するために有用な知見であり、半導体電子デバイスを基盤として脂質二分子膜系との機能融合および新規現象の探索に役立つ。

2020年3月5-6日には、本共同プロジェクト研究会の共催としてナノ、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”11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics”を東北大学電気通信研究所で開催する予定であった。Prof. Patrik Schmuki (ニュルンベルク大学)、Prof. Craig Aspinwall (アリゾナ大学)、Prof. Yi-Lun Ying (南京大学)、松本 和彦 教授 (大阪大学)、帯刀 陽子 博士 (東京農工大学) から招待講演の内諾を得ていたものの、新型コロナウイルス感染症への対応として開催を中止した。本プロジェクトの終了後にはなるが、次年度以降に開催して、関連領域の研究分野における最近の動向と成果について情報交換を行う研究者同士での交流の場を設けたい。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

固体デバイス上への脂質二分子膜形成においては、固体表面の材料や化学状態が脂質二分子膜の構造や物性に影響を及ぼす要因である。イオンチャンネルなどの膜タンパク質を埋め込む際には、膜タンパク質の膜外領域が固体基板との接触により変性する可能性を考慮しなければならない。

固体基板-脂質膜間の距離を制御する技術として、両者の間にスペーサーとなるリンカー分子を介した繋ぎ留め型脂質二分子膜 (tethered lipid bilayer: t-LB) がある。イオンチャンネル包含脂質二分子膜系を構築するための要素技術として、水溶性シランカップリング剤を用いた表面化学修飾によるシリコン基板上への t-LB 作製、および酸化グラフェン上への t-LB 作製に取り組んだ。熱酸化 SiO₂/Si 基板などの親水性無機材料表面上への化学修飾にはシランカップリング剤が用いられるが、有機溶媒中の水分子が触媒的に働くことで進む自己重合によって凝集体が形成し、基板表面粗さを増す原因になる。水溶性シランカップリング剤である carboxyethylsilanetriol (CEST)を用いることで、熱酸化 SiO₂/Si 基板の表面平坦性を保ったまま-COOH 基修飾を行うことができた。リンカー分子として streptavidin を-COOH 基を介して基板上に修飾し、biotin 修飾脂質を 1% 含む dioleoylphosphatidylcholine (DOPC)脂質二分子膜をベシクル融合法で展開することで、平滑かつ流動的な t-LB 形成を形成できたことを原子間力顕微鏡(AFM)および蛍光顕微鏡観察の結果から示した。

また、2次元ナノカーボン材料である酸化グラフェン(GO)上への t-LB 形成を行った。Pyrene butanoic acid succinimidyl ester を用いて-COOH 基修飾を行い、GO 上に streptavidin を固定化した(図 1a, 1b)。反応条件により GO 上の streptavidin 密度をおよそ 10 - 500 分子/ μm^2 で制御した。いずれの streptavidin 密度においてもビオチン化脂質含有 DOPC の平坦な t-LB を作製することができた(図 1c)。Streptavidin 密度が低い場合には t-LB 中に 2 種類の領域が存在し、streptavidin 密度が上がるにつれ AFM で高く観察される領域の面積率が上昇してほぼ 100%に達した。蛍光顕微鏡観察の結果から、AFM 形状像で低く観察される領域が流動性を持ち、高く観察される領域では分子の側方拡散がほとんど起きないことが示された。前述の熱酸化 SiO₂/Si 基板上においては streptavidin 密度にかかわらず均一で流動的な t-LB が得られることから、GO を基板として用いることでリンカー分子による拡散阻害の効果が著しく高まったと言える。

また、脂質二分子膜に電界を印加するための基板

を効率良く作製するためのプロセス開発や、水溶液中で電極間に存在する脂質二分子層について実効的な印加電圧やインピーダンスを評価するための等価回路モデルの構築を構築した。有機半導体分子である PCBM を包含した脂質二分子層における光電流発生について光強度・波長依存性などを詳細に調べた。本研究プロジェクトを通じ、脂質二分子膜を基板として微細加工技術とナノ材料の特性を活かした新たな実験系を構築し、新しい異分野融合研究課題を開拓することができた。発見した新規現象にはまだ機構の解明に至らない物も多くあるので、本プロジェクト終了後も共同研究を継続して、学理の探求を進める。

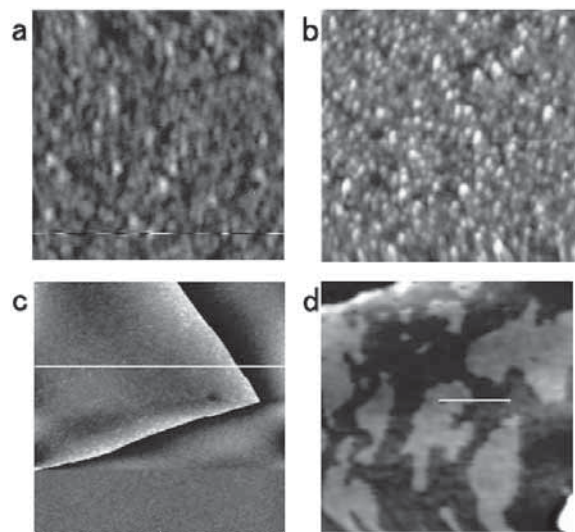


図 1. (a, b) リンカー分子として streptavidin を化学修飾した GO の AFM 形状像 (500×500 nm²)。Streptavidin 密度は(a) 13 μm^2 , (b) 418 μm^2 。 (c, d) GO 上に形成した t-LB の AFM 形状像。 (c) 10×10 μm^2 , (d) 300×300 nm²。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

成熟した半導体加工技術をバイオテクノロジーと融合することにより、生体分子計測手法のさらなる高度化へと展開することが強く望まれている。イオンチャンネルは、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、イオンチャンネルに対する高効率な薬物スクリーニング系への需要が高まっている。また、ナノ材料と生体材料との相互作用は新規計測手法だけでなく、ナノ材料毒性の視点からの重要な研究課題である。本プロジェクトは電子工学、神経科学、生理学、化学の融合により初めて成し遂げられるものであり、それぞれの分野の研究者がその成果をお互いにフィードバックすることで今後の進展が期待される。

2017, 2018 年度に本プロジェクト共催として通信研究所で開催した国際シンポジウムでの交流をきっかけに、日本化学会コロイドおよび界面化学部会が主催する国際会議 Okinawa Colloids 2019 におけるシンポジウムを開催した。

Okinawa Colloids 2019

Symposium “Creation and Application of two dimensional atomic and molecular materials and devices”

- ・ 2019 年 11 月 8 日
- ・ 万国津梁館 (名護)
- ・ 参加人数 50 名

[4] 成果資料

- (1) M. Komiya, M. Kato, D. Tadaki, T. Ma, H. Yamamoto, R. Tero, Y. Tozawa, M. Niwano, and A. Hirano-Iwata, “Advances in Artificial Cell Membrane Systems as a Platform for Reconstituting Ion Channels”, Chem. Rec. 20, open on Web (14 pages) (2020). DOI: 10.1002/tcr.201900094.
- (2) T. Ma, X. Feng, T. Ohori, R. Miyata, D. Tadaki, D. Yamaura, T. Deguchi, M. Komiya, K. Kanomata, F. Hirose, M. Niwano, and A. Hirano-Iwata, ACS Omega 4, 18299 (2019).
- (3) M.W.S. Goh, A. Hirano-Iwata, M. Niwano and R. Tero, "Proteoliposome fusion to artificial lipid bilayer promoted by domains of polyunsaturated phosphatidylethanolamine", Jpn. J. Appl. Phys., 58, SIIB13-1-6 (2019). DOI: 10.7567/1347-4065/ab1397.
- (4) J. Sato, Y. Niiyama, N. Misawa and R. Tero, "Preparation of tethered-type supported lipid bilayer using water-soluble silane coupling agent", Jpn. J. Appl. Phys., 58, SIID05-1-7 (2019). DOI: 10.7567/1347-4065/ab1641.
- (5) Y. Tomioka, S. Takashima, M. Moriya, H. Shimada, F. Hirose, A. Hirano-Iwata, and Y. Mizugaki, "Equivalent circuit model modified for free-standing bilayer lipid membranes beyond 1 TΩ," Jpn. J. Appl. Phys., 58, SDDK02-1-6 (2019). DOI: 10.7567/1347-4065/ab088c. 1.
- (6) Y. Kakimoto and R. Tero, “Formation of supported lipid bilayers of Escherichia coli extracted lipids and their surface morphologies”, Jpn. J. Appl. Phys. 58, SIIB19-1-6 (2019). DOI: 10.7567/1347-4065/ab1b5f.

採択番号：H29/A18

屋外拡声システム開発のための音声了解度評価と その推定に関する研究

[1] 組織

研究代表者

小林 洋介 (室蘭工業大学)

通研対応教員

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

近藤 和弘 (山形大学)

太田 健吾 (阿南工業高等専門学校)

柴田 崇斗 (山形大学)

赤泊 寛和 (室蘭工業大学)

野口 啓太 (室蘭工業大学)

延べ参加人数：23人

[2] 研究経過

災害時における防災行政無線およびその屋外拡声系は重要な役割を担っている。全国の屋外行政無線の普及率は76.3%と非常に高く、2011年3月の東日本大震災でも多くの方が防災行政無線の屋外拡声系により情報を入手している。屋外拡声系は個人が特別な装置を持つ必要がないため、有効な情報伝達手段だが、東日本大震災や熊本地震では屋外拡声器による災害情報音声十分に聴き取れず、改善が求められ、様々な研究開発が行われている。特に屋外拡声システムは地震や津波の避難指示だけにとどまらず、大雨による洪水避難などあらゆる自然災害時の情報伝達に利用される上、もっともデジタルディバイドがないシステムである。しかし、聴取品質は拡声するフィールドの気象の影響を受けることが明らかであるにも関わらず、特に降雪が音響伝搬に与える影響は十分に評価されていないため、本プロジェクトでは、積雪や降雪が拡声音声の了解度にどのような影響を与えるかの詳細評価を行う。

この目的を達成するため、降雪期の屋外で実際に覚醒した音声のインパルス応答を録音し、信号解析およびインパルス応答をたたみ込んだ音声の主観評価により、降雪と屋外拡声の関係を評価した。

以下に、研究活動状況の概要を記す。

・R1年8月、10月、11月、ならびにR2年1月各々に東北大学電気通信研究所において進捗状況について打ち合わせを行った。

・R2年2月に東北大学電気通信研究所で開催された令和元年度共同プロジェクト研究発表会の際に、本年度の研究成果を総括し、同発表会で成果の一部を発表した。

その他の研究会、研究討論会、研究発表会、研究集会等は開催しなかった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

雪による拡声音声の伝達特性の影響を評価するため、積雪降雪下の屋外でインパルス応答を録音した。実験は山形大学米沢キャンパスで行い、積雪・降雪のある日に屋外に設置したスピーカーから測定信号を放送したのちに、録音を行った。測定条件のパラメータは積雪量、降雪量、距離、密度の4種類であり、これらが異なる日の合計12日間の騒音が少ない深夜から早朝にかけてそれぞれ録音と測定を行った。

再生と録音に2台のPCを使用し、スピーカーとマイクロフォンは積雪の1.5m上に設置した。マイクロフォンはスピーカーから20-100mのところ20m刻みで設置した。また、インパルス応答測定実測時に、積雪量、降雪量、密度の測定を行った。測定の結果をTable 1に示す。また、特徴のある周波数特性をFig. 1, 2に示す。Fig. 1では100~1000Hz付近の帯域で谷が大きい。Fig. 2では全体的にゲインが小さく、特に60mではピークがなく平坦になっている。この収集したインパルス応答を用いて主観評価を行う。

被験者は20代の健聴者8名である。評価音は日本語版DRTの60単語対120単語、測定条件12種、距離40, 60, 80mの3パターン、男女2パターンの計8640単語とである。評価音は被験者にヘッドフォンでダイオティック提示した。

Table 1. 積雪, 降雪, 密度の測定結果

No.	降雪量 [cm/h]	積雪量 [cm]	密度[g/cm ³]
1	0.56	3.49	0.092
2	2.15	7.54	0.073
3	2.50	17.4	0.176
4	0.21	20.8	0.090
5	1.95	22.8	0.064
6	1.80	29.4	0.081
7	0.00	7.12	0.288
8	1.16	30.77	0.118
9	0.92	20.04	0.095
10	1.97	9.31	0.099
11	0.10	14.95	0.061
12	0.65	1.12	0.097

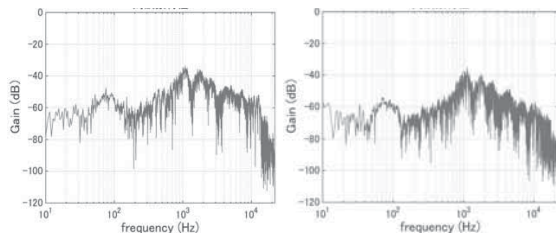


Fig. 1 条件No. 4 (左: 40 m 右: 60 m)

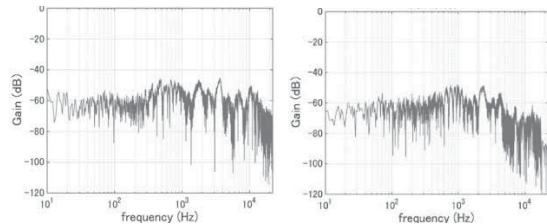


Fig. 2 条件No. 5 (左: 40 m 右: 60 m)

Fig. 3 に積雪量と女性話者の音声了解度の関係を示す。積雪量と了解度の関係は、どの距離においても了解度との関係は見られず、ばらつきがあるため、積雪量の了解度への目立った影響はあまり大きくないのではない。これは、音は積雪面上を伝搬するため、積雪量が増加しても最上面上を伝搬することから、今回測定した 30 cm 以下の積雪ではあまり影響がでないと考えられる。

Fig. 4 に降雪量と女性話者の音声了解度の関係を示す。降雪量が増加すると、音声了解度が減少している。これは降雪があることによって雪が音の伝搬を阻害し、了解度が低下したと考えられる。

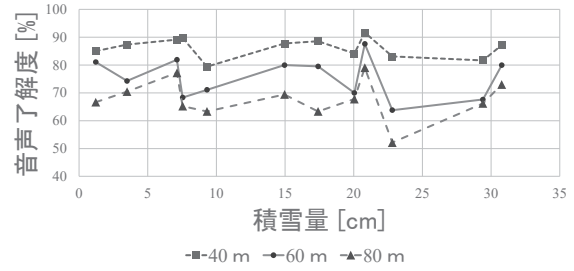


Fig. 3 積雪量と了解度の関係

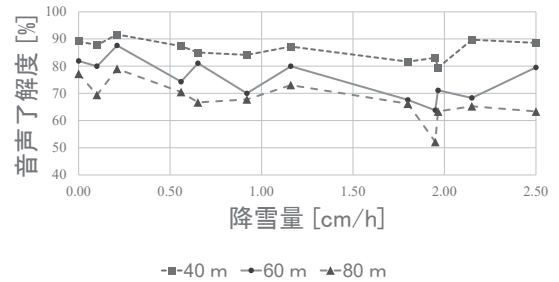


Fig. 4 降雪量と了解度の関係

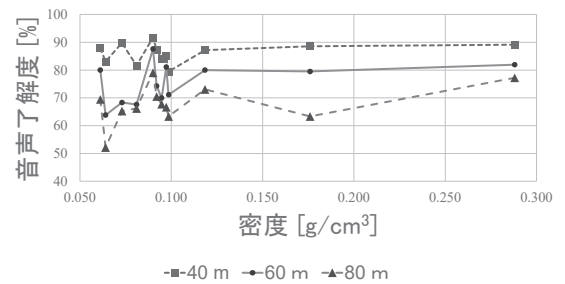


Fig. 5 密度と了解度の関係

Fig. 5 に雪の密度と女性話者の音声了解度の関係を示す。距離が 60 m 以上の場合、密度が低いほど了解度が低くなり、密度が高くなるほど了解度は高くなっている。これは低密度の雪の空隙率によって雪が吸音材のようになり、音がより吸収され、了解度が低下しているためだと考える。また、どの雪の要因においても男性話者は女性話者同様の結果が得られた。

積雪, 降雪, 密度の要素ごとの影響をより詳細に解析するために多変量解析として重回帰分析を行った。目的変数に音声了解度, 説明変数に積雪量, 降雪量, 密度を用いて、各要素の標準偏回帰係数を重要度として分析する。Fig. 6 に女性話者の回帰係数を示す。距離が増すごとに、降雪量の標準偏回帰係数が他の標準偏回帰係数と比較して相対的に大きくなり、距離が増すごとに降雪量の影響が支配的ということが明らかとなった。なお、この傾向は男性話者でも同様であった。

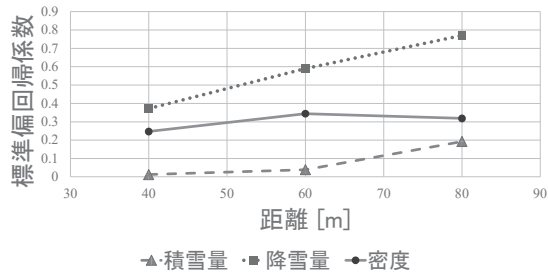


Fig. 6. 距離と標準偏回帰係数の関係(女性話者)

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の予想される波及効果としては、屋外拡声器の了解度が事前にシミュレーションできるようになるため、より最適化された社会システムとして防災用行政無線等を設計可能となる。

本プロジェクトの成果をもとに、令和元年度は小林が科研費若手研究に新規採択され、屋外拡声器のメーカーと実環境での品質評価に関する受託研究につながった。

[4] 成果資料

- [1] K. Noguchi, Y. Kobayashi, J. Kishigami and K. Kurisu, "Listening difficulty estimation model using short-time objective intelligibility measure for outdoor public address systems," *Acoustical Science and Technology*, Vol. 41, No. 1, Pages 420-422, Jan. 2020.
- [2] Y. Kobayashi and K. Kondo, "Japanese speech intelligibility estimation and prediction using objective intelligibility indexes under noisy conditions," *Applied Acoustics*, Volume 156, Pages 327-335, December 15, 2019.
- [3] K. Noguch, Y. Kobayashi, J. Kishigami and K. Kurisu, "Comparison of STOI-type Intermediate Feature for Listening Difficulty Rating Prediction Model," *Proc. GCCE 2019*, pp. 885-886, Osaka, Japan, 2019.
- [4] H. Akadomari, Y. Sato, and Y. Kobayashi, "Comparison of the Number of Training Data for Pix2Pix Voice Conversion System," *Proc. GCCE 2019*, pp. 864-865, Osaka, Japan, 2019
- [5] S. Shibata and K. Kondo, "Multivariate Analysis of Effect of Snow Quality on Speech Intelligibility," *Proc. GCCE 2019*, pp. 895-896, Osaka, Japan, 2019
- [6] 野口啓太, 小林洋介, 岸上順一, 栗栖清浩, "STOI型客観了解度指標を用いた屋外拡声音の聴き取りにくさ予測モデルの評価," *電子情報通信学会技術研究報告*, vol. 119, No. 34, EA2019-76, pp. 1-6, 2019年12月
- [7] 柴田崇斗, 近藤和弘, 栗栖清浩, "雪の各要因が与える音声了解度への影響の分析とその補償フィルタの検討," *電子情報通信学会技術研究報告*, vol. 119, No. 34, EA2019-48, pp. 77-82, 2019年10月
- [8] 野口啓太, 小林洋介, 岸上順一, 栗栖清浩, "屋外拡声品質予測モデルの中間特徴量の検討," *情報処理学会研究報告*, Vol.2019-MUS-123 No.53, 4 pages, 2019年6月
- [9] 柴田崇斗, 近藤和弘, 栗栖清浩, "雪の各要因が与える音声了解度への影響 -音素特徴別分析-", *日本音響学会 2020年春季研究発表会*, pp.839-840, 2020年3月
- [10] 小林洋介, 近藤和弘, "原音予測モデルを利用した客観音声了解度指標の提案," *日本音響学会 2020年春季研究発表会*, pp.541-542, 2020年3月
- [11] 小林洋介, 山部匠, 野口啓太, 赤泊寛和, "pix2pix 話者変換を用いた狭帯域音声の高域補間" *日本音響学会 2020年春季研究発表会*, pp.1198-1199, 2020年3月
- [12] 野口啓太, 小林洋介, 栗栖清浩, "中間特徴量を用いた屋外拡声音評価システムの実装," *日本音響学会 2020年春季研究発表会*, pp.1198-1199, 2020年3月
- [13] 野口啓太, 小林洋介, 岸上順一, 栗栖清浩, "STOI型客観了解度指標を用いた主観評価予測モデルの詳細評価," *日本音響学会 2020年秋季研究発表会*, pp.1198-1199, 2019年9月
- [14] 野口啓太, 小林洋介, 岸上順一, 栗栖清浩, "Elastic Net を用いた屋外拡声音の聴き取りにくさ予測" *令和元年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集*, pp.205, 2019年11月
- [15] 赤泊寛和, 佐藤裕飛, 小林洋介, "2段階声質変換システムにおける学習文章数の比較" *令和元年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集*, pp.206-207, 2019年11月
- [16] 山部匠, 野口啓太, 赤泊寛和, 小林洋介, "pix2pix 話者変換を用いた狭帯域音声の高域補間" *令和元年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集*, pp.208-209, 2019年11月
- [17] 柴田崇斗, 近藤和弘, 栗栖清浩, "重回帰分析を用いた雪の各要因が与える音声了解度への影響の分析," *電気関係学会東北支部連合大会*, SA08, 2019年8月

採択番号：H29/A19

協調作業における視線情報の可視化

[1] 組織

研究代表者

清川 清 (奈良先端科学技術大学院大学)

通研対応教員

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

磯山直也 (奈良先端科学技術大学院大学)

酒田信親 (奈良先端科学技術大学院大学)

高嶋和毅 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

他者の視線の動きを把握することは協調作業に有用であることが指摘されている。本共同プロジェクトでは、共有スクリーンに議論の対象となる情報を提示する協調作業において、参加者が今現在どこに注目しているのか、過去にどこに注目していたのかなどを示すことで、協調作業の質が改善するのかを定量的に評価する。同時に、最適な視線情報の可視化方法についても検討する。

本年度は3年目であり、前年度の資産を利用しながらもより今日的で代表者および分担者の知見が活かせる HMD (Head-mounted Display) を用いた協調作業における視線可視化の研究テーマに取り組んだ。なお、HMD を用いた教育や会議ツールは近年急速に開発が進んでおり、極めて大きな注目を集めている分野である。

本年度は一回のスカイプミーティングとメールのやり取りで研究を進めた。また、2月20日の共同プロジェクト発表会にて、研究分担者である酒田准教授とその学生が通研に訪問し、成果をポスター発表すると同時に研究の進捗などを確認した。それ以外でも、代表者と通研対応教員や分担者は、学会等でも会う機会は多くその都度作業の進捗などを報告相談した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

一昨年より HMD (頭部搭載ディスプレイ) を用いた協調作業場面における視線可視化の検討を開始している。それらの成果の一部を図1と図2に示す。図1は、視線計測装置を含んだHMDであり、図2は、これまで我々が開発してきたバーチャルミーティンググループである。



図1. 頭部搭載型ディスプレイ内の視線計測装置



図2. 開発したバーチャル協調ミーティングスペース

我々のこれまでの検討において、図2に示すような視線ポインタやヒートマップなどの古典的な可視化手法では、パートナーが見ている場所の情報を明確に示すことができる反面、表示コンテンツそのものを隠してしまうという問題があり、情報提示の切り替えを工夫しなければならないこと等が課題とし

て明らかになっていた。そこで本年度は、より緩やかな視覚効果がどのように協調作業を効果的であるかを実験的に検証した。

実験では、図3に示すようなブラー等やライティングといった単純な画像処理を活用して視線情報を強調表現し、それらが協調作業にどのような効果を持つかを検証した。特に、パートナーの注目点を元の共有コンテンツ情報を隠さずに可視化するかどうかに着目して検証を進めた。

これまでの研究成果を延長し、HMD ユーザの視線情報をリアルタイムに処理するためのソフトウェアとハードウェア開発にも従事し、実験を実施するには十分な完成度でシステムを構築することができた。また、過去に提案されている誘目性モデルなどをもとにして、刺激や可視化方法を試行錯誤的に選定した。

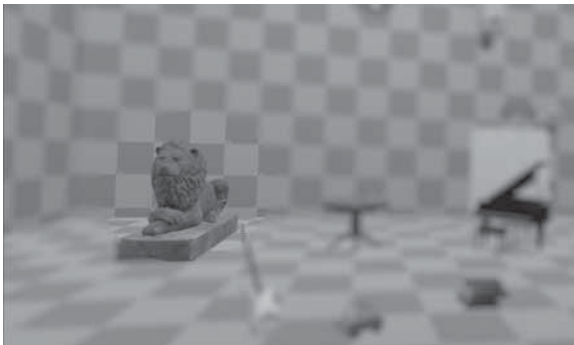


図3. 視線情報のアンビエントな可視化の例

アンケートや視線行動の観察に基づく予備実験(N=2)を実施した結果、図3に示すようなアンビエントな視線情報の可視化は、本来の情報共有や没入感等の体験を妨げずに、ユーザ同士で、お互いの次の行動や発言を予測でき、円滑な協働につながれる可能性があることが分かった。この結果をもとにして、実験計画を立案することができた。2020年2月から3月頃は全国的に感染症懸念のために被験者を集めた実験実施が困難であったため、来年度、状況が改善され次第に実験を実施し、結果をまとめる予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

協調作業における視線情報の有用性は従来から指摘されているが、複数人で視線情報を共有することの有用性や、その際の最適な視線情報の可視化方法に関する研究はほとんどなされていない。また、視線追跡装置を内蔵するヘッドマウントディスプレイが市販されつつあるが、仮想空間内での協調作業の支援についてもまだまだ検討が進んでいない。本研究の成果により視線情報の利用価値を大幅に高めることができると期待できる。また、通研北村研では、動的なオフィス空間の研究も実施しており、視線を使った複数人作業の状態識別やそれに基づいた各種ディスプレイの制御などへの応用も考えられる。視線計測そのものの研究は多いが、以上のようなバーチャルリアリティや動的空間ユーザインタフェースとの関係はユニークであり、興味深い研究領域を立ち上げることができると考えられる。視線計測を研究する研究者は国内外に多く、次年度は周辺分野の研究者らに声をかけるなど研究者ネットワークの拡大や分野横断型の研究に発展させていきたい。

[4] 成果資料
なし

採択番号：H29/A21

非線形系・複雑系理論の 実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究

[1] 組織

研究代表者

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

安達 雅春 (東京電機大学工学部)

池口 徹, 長谷川 幹雄, 黒田 佳織 (東京理科大学工学部)

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)

島田 裕 (埼玉大学工学部)

神野 健哉 (東京都市大学工学部)

木村 貴幸, 進藤 卓也 (日本工業大学基幹工学部)

松浦 隆文 (日本工業大学先進工学部)

関屋 大雄, 小室 信喜 (千葉大学大学院融合理工学府)

引原 隆士 (京都大学大学院工学研究科)

安東 弘泰 (筑波大学システム情報系)

黒川 弘章 (東京工科大学工学部)

加藤 秀行 (大分大学工学部)

高橋 亮 (愛知工科大学工学部)

麻原 寛之 (岡山理科大学工学部)

小林 幹 (立正大学経済学部)

菅野 円隆 (福岡大学工学部)

橘 俊宏 (湘南工科大学工学部)

保坂 亮介 (福岡大学理学部)

延べ参加人数：35人

[2] 研究経過

最新の非線形系および複雑系の理論を、実在する非線形・複雑工学システムに応用することにより、より効率的で高性能な工学システムを実現すると共に、実在システムから得られた知見を理論研究に還元することにより、理論研究と実装技術の相補的な深化をはかることが本研究の目的である。そのため、本研究では、幅広い非線形系・複雑系で共通に見ら

れる普遍的性質や最新理論を活用して、具体的な工学システムの解析や設計を行う。同時に、これらの実在工学システムの解析・設計から得られた知見を、非線形系・複雑系の理論研究に還元し、理論研究と実装・実験研究との循環をはかる。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本年度は3年目、最終年度である。そこで、このプロジェクト開始時に立ち上げた「非線形系・複雑系理論応用研究会」を、来年度以降への展開も考慮して、昨年と同様に関連の深い2つの共同プロジェクト研究、【H30/B12】「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」と【H30/B17】「非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究」、及び、12大学合同で開催している「非線形ワークショップ」との合同で下記のように開催した。

【令和1年度 非線形系・複雑系理論応用研究会】
令和2年2月21日、22日；東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン総合研究棟 A401室、A402室

1. 『並列共振発振器設計の一考察』、関屋 大雄 (千葉大学)
2. 『確率システムに対するリザーブ計算の予測性能評価』、安東 弘泰 (筑波大学)
3. 『非線形力学系に基づく複数解探索アルゴリズム』、山仲 芳和 (宇都宮大学)
4. 『PSOを用いた周期点および分岐点の一計算法』、高坂 拓司 (中京大学)
5. 『時間遅れフィードバック法を用いたランダム力学系の制御』、小林 幹 (立正大学)
6. 『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探索過程の解析』、藤田 実沙 (東京理科大学)
7. 『ニューラルネットワークおよび最適化アルゴリズムのハイブリッドモデルを用いた時系列予測』、日戸 雄司 (東京電機大学)
8. 『畳み込みニューラルネットワークを用いたマンガの構成要素検出』、吉海 諒 (東京電機大学)
9. 『ネットワーク構造が情報拡散に与える影響の解析』、ジョ ロエン (東京理科大学)

10. 『スペクトルグラフ距離を用いた言語ネットワークの解析』、眞岸 祈平 (東京理科大学)
11. 『POPMUSIC 法を改良した TSP の枝探索手法』、土佐 真義 (東京理科大学)
12. 『スピントロニクスデバイスに基づくシナプスの数理モデル』、佐藤 拓 (東北大学)
13. 『拡張 Lorenz 写像に基づく擬似乱数生成ハードウェアの性能評価』、宮内 清孝 (東北大学)
14. 『順列エントロピーを用いたカオスニューラルネットワークリザバーのダイナミクス解析』、福田 佳祐 (東北大学)
15. 『カオスニューラルネットワークリザバーのアナログ電子回路実装』、井上 理哲人 (東北大学)
16. 『スピントロニクスニューロンデバイスの内部温度ダイナミクスに基づく数理モデルの構築』、菊地 優志 (東北大学)
17. 『無反射伝送線路モデルを用いた高雑音下における音声認識のためのプレフィルタリング』、織間 健守 (東北大学)
18. 『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へのスピントロニクス素子の応用』、堀尾喜彦 (東北大学)
19. 『離散時間力学系を利用した多点探索型最適化の応用について』、坪根 正 (長岡技術科学大学)
20. 『半階層型ニューラルネットワークの機械学習アルゴリズム』、藤原 寛太郎 (東京大学)
21. 『じゃんけんに見られる人の簡素な意思決定のランダム性』、黒川 弘章 (東京工科大学)
22. 『ヒステリシスニューラルネットワークと計算量』、神野 健哉 (東京都市大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、脳型集積回路システムに関して、スピントロニクスデバイスの物理的特性・ダイナミクスを直接的に活用して、ニューロンやシナプスに類似した機能・ダイナミクスを示すナノデバイスを提案するとともに、その数理モデルを構築した。

第 2 に、リザバー計算に関して、確率システムによる予測や時間遅れ付きランダム過程の応用、カオスリザバーによる認識、さらにはこれらの電子回路実装を行った。

第 3 に、最適化問題に関して、新しい群知能最適化のアルゴリズムを提案した他、新しい多点探索型最適化手法の提案、ヒステリシスニューラルネットワークの導入、PSO の分岐解析への応用を行った。

第 4 に、電力システムに関して、E D 級コンバーター回路の応用として、並列共振発振回路を提案し、その設計手法を解析的に導出した。

第 5 に、脳の情報処理については、半階層型のニューラルネットワークに対する機械学習法を提案した。また、カオスニューラルネットワークによるグラフシュタイナー問題の解法を行った。さらに、じゃんけんを例として、人間の意思決定とランダム性について議論した。

第 6 に、蝸牛の特性を最大限に生かしたハードウェアを実現するため、無反射伝送線路モデルの高雑音化での特性を精査した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトには、多様な分野の研究者が参加しているが、複雑系・非線形系をキーワードとして、これら異分野間の交流が本研究を通して活発かつ円滑に行われた。その結果、複数の科研費基盤研究(S)と(A)や挑戦的研究などの申請に繋がった。

また、本研究の学術分野への貢献として、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ・非線形問題研究会および複雑コミュニケーション科学研究会に大きな影響を与えると共に、以下の国際シンポジウムにてスペシャルセッションを企画することができた。

1) IEEE The International Joint Conference on Neural Networks, 2019.7.14—19, Budapest, Hungary.

2) International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, 2019.12.2—6, Kuala Lumpur, Malaysia.

本研究の成果により、実在する複雑工学システムの普遍的性質が少しずつ明らかになりつつあり、これにより、新しい複雑工学システムの設計・制御論が創造されるものと期待される。

[4] 成果資料

[1] Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio, and H. Ohno, “Artificial neuron and synapse realized in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure using dynamics of spin-orbit torque switching,” *Advanced Materials*, 1900636, DOI: 10.1002/adma.201900636, 2019.

[2] Y. Horio, “A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics,” in *Understanding Complex Systems*, Springer, 36-43, DOI: 10.1007/987-3-030-10892-2_5, 2019.

[3] 堀尾喜彦, “ブレインモルフィックコンピューティングと物理デバイスへの期待,” *応用物理*, 88(9), 619-623, 2019.

[4] H. Matsushita, H. Kurokawa and T. Kousaka, “Nested-layer particle swarm optimization method for bifurcation point detection in non-autonomous systems,” *NOLTA IEICE*, E10-N(3), 289-302, 2019.

[5] T. Komai, S.J. Kim, T. Kousaka, and H. Kurokawa, “A human behavior strategy estimation method using homology search for Rock-Scissors-Paper game,” *Journal of Signal Processing*, 23(4), 177-180,

- 2019.
- [6] Y. Fujita and H. Kurokawa, "Genetic-algorithm-based evacuation sign arrangement method using multi-agent simulation," *J. of Signal Processing*, 23(4), 181-184, 2019.
- [7] Y. Shimada, M. Tatara, K. Fujiwara and T. Ikeguchi, "Formation mechanisms of local structures in language networks," *EPL*, 127(5), 2019. DOI: 10.1209/0295-5075/127/56003
- [8] T. Ikeguchi and Y. Shimada, "Analysis of synchronization of mechanical metronomes," In V. In, P. Longhini and A. Palacios (eds), *Understanding Complex Systems*. Springer, Cham, 141-152, DOI: 10.1007/978-3-030-10892-2_15, 2019.
- [9] Y. Itoh, S. Uenohara, M. Adachi, T. Morie, and K. Aihara, "Reconstructing bifurcation diagrams only from time-series data generated by electronic circuits in discrete-time dynamical systems," *Chaos*, 30, 013128-1-11, 2020.
- [10] Y. Itoh and M. Adachi, "Tracking bifurcation curves in the Henon map from only time-series datasets," *NOLTA, IEICE*, 2(3), 1101-1111, 2019.
- [11] K. Jin'no, T. Sasaki, H. Nakano, "Search property of nonlinear map optimization," in *Proc. 2019 IEEE Congress on Evolutionary Comp.*, 3214-3221, 2019.
- [12] K. Jin'no, T. Sasaki, H. Nakano, "Search strategy based on a nonlinear map optimization," in *Proc. NOLTA2019*, 565-568, 2019.
- [13] K. Fujiwara, "Theoretical modeling of information transmission in visual systems," in *Proc. NOLTA2019*, 66-69, 2019.
- [14] H. Masuoka, K. Fujiwara, K. Emoto, "Elucidation of synapse pruning mechanism supporting brain development using mathematical model," in *Proc. NOLTA2019*, 62-65, 2019.
- [15] N. Yoshida, R. Takahashi and T. Hikiyara, "Power Regeneration from DC motor with bidirectional router in power packet dispatching system", *IEEE Trans. on Circuits and Syst. II*, 2020, in press.
- [16] 片山慎治, 高橋亮, 引原隆士, "電力パケット伝送システムにおける分散電力需給制御の無線を用いた実機検証," *電子情報通信学会論文誌 A*, J102-A(9), 240-248, 2019.
- [17] H. Xia, Z. Li, Y. Zheng, A. Liu, Y. J. Choi, and H. Sekiya, "A novel light-weight subjective trust inference framework in MANETs," *IEEE Trans. Sustainable Comp*, 2020, in press.
- [18] T. Osato, X. Wei, Asiya, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Steady-state analysis and design of phase-controlled class-D ZVS inverter," *NOLTA, IEICE*, 2020, in press.
- [19] Y. Yabe, H. Tanaka, H. Sekiya, M. Nakagawa, F. Mori, K. Utsunomiya, and A. Keida, "Locking range maximization in injection-locked class-E oscillator -A case study for optimizing synchronizability," *IEEE Trans. Circuits Syst.-I*, 2020, in press.
- [20] T. Mannari; T. Okuda, T. Hikiyara, "Model for charging/discharging dynamics of cells in redox flow battery with transport delay," *Physica Scripta, Phys. Scr.*, 94, 095005, DOI: 10.1088/1402-4896/ab1acd, 2019.
- [21] M. Sanchez and T. Hikiyara, "Symmetry recovering of an AC/AC converter working in a chaotic regime," *NOLTA, IEICE*, 10(2), 131-139, DOI: 10.1587/nolta.10.131, 2019.
- [22] 朝山和香, 引原隆士, "マイクログリッド運用に対する可到達集合の利用," *システム制御情報学会論文誌*, 63(4), 137-144, DOI: 10.5687/iscie.32.137, 2019.
- [23] S. Takeuchi, M. Hasegawa, K. Kanno, A. Uchida, N. Chauvet, M. Naruse, "Dynamic channel selection in wireless communications via a multi-armed bandit algorithm using laser chaos time series," *Scientific Reports*, 10, Article number: 1574, DOI: 10.1038/s41598-020-58541-2, 2020.
- [24] K. Oshima, T. Onishi, S.J. Kim, J. Ma, M. Hasegawa, "Efficient wireless network selection by using multi-armed bandit algorithm for mobile terminals," *NOLTA, IEICE*, 11(1), 68-77, DOI: 10.1587/nolta.11.68, 2020.
- [25] J. Ma, S. Hasegawa, S.J. Kim and M. Hasegawa, "A reinforcement-learning-based distributed resource selection algorithm for massive IoT," *Applied Sciences*, 9(18), 3730, DOI: 10.3390/app9183730, 2019.
- [26] T. Hiraguri, K. Nishimori, I. Shitara, T. Mitsui, T. Shindo, T. Kimura, T. Matsuda, and H. Yoshino, "A cooperative transmission scheme in drone-based networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, DOI: 10.1109/TVT.2020.2965597, 2020.
- [27] J. Ma, Asiya, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Analysis and design of generalized Class-E/F2 and Class-E/F3 inverters," *IEEE Access*, 2020, in press.
- [28] H. Tsushima, T. Matsuura, "A method for solving multiple-vehicle bike sharing system routing problem with soft constraints by using dynamic weight of penalties in an objective function," in *Proc. NOLTA2019*, 424-427, 2019

採択番号：H29/A22

多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

本多 明生（静岡理工科大学情報学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）

前田 啓（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：4人

[2] 研究経過

大容量通信が可能となった現在、次世代通信技術には「量」だけでなく、高臨場感が得られる「質」を兼ね備えた情報通信システムの構築が求められている。そのようなシステムを構築するうえでは、システム内でユーザが示す様々な反応から得られる情報をシステムに適切に反映させることが重要となる。

研究代表者は、上述の考えのもと、通研担当教員とともに、これまで、人間の多感覚音空間知覚過程の解明に取り組んできた。特に、平成26年度から平成28年度までは東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト（先端的研究推進型・若手研究者対象型）「動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究」（採択番号：H26/A13）として、研究活動を行った結果、頭部運動が行われている最中に音像を移動させた場合は、聴取者は音像の移動を検知できなくなることを示唆する知見を得ることができた（例えば Honda et al., 2016）。この知見は、多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解するうえで重要な研究成果である。

聴覚を中核とする多感覚情報処理過程を解明するためには、我々が実世界から得られる動的な手がかりをどのように時間的に統合しているのかを解明することが必要となる。研究代表者と通研担当教員は、これまでの共同研究によって、動的な手がかりが音空間知覚に及ぼす影響を明らかにしてきたが、その時間特性に関しては検討してこなかった。

この背景から、本研究では、研究代表者と通研担

当教員のこれまでの共同研究を発展させることによって、その情報処理過程の時間特性を明らかにしたいと考えて平成29年度から共同研究を行った。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

- (1) 2019年4月12日：東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。
- (2) 2019年5月31日：東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。
- (3) 2019年7月12日：東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。
- (4) 2019年10月2日：東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。
- (5) 2019年11月6日：東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。
- (6) 2020年1月15日：東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

人間の多感覚音空間知覚における情報処理過程に関しては依然として不明確な部分が多い。例えば、聴取者の動的手がかりと音空間知覚の関係を調べた研究からは、聴取者の頭部運動によって得られる動的手がかりが音空間知覚に効率的に寄与することが報告されているが（例えば Iwaya et al., 2003）、その一方で、聴取者の頭部運動によって音空間知覚に歪みが生じることも報告されている（Cooper et al., 2008）。

研究代表者は、通研担当教員とともに、世界に先駆けて、頭部運動が行われている最中に音像を移動させた場合は、聴取者は音像の移動を検知できなくなることを示唆する知見を得ることができた（Honda et al., 2016）。

聴覚を中核とする多感覚情報処理過程を解明するためには、我々が実世界から得られる動的な手がかりをどのように時空間的に統合しているのかを明らかにすることが必要となる。この考えに基づき、本研

究では、東北大学電気通信研究所が所有している、身体運動対応型の音空間知覚実験システムを用いた心理実験を行うことで、人間の多感覚音空間知覚における時間特性を検討した。

その結果、聴取者の受動的な身体回転は、身体回転がない場合と比べて、水平面定位精度を高めること、そして音刺激の呈示時間は水平面定位精度には寄与しないことが示された。研究成果は国際学術誌において発表した (Honda et al., 2018)。

本年度の成果としては、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)。また、音像定位における正面手がかり提示から試験音提示までの時間間隔の影響を調べた結果、時間間隔が1 s から4 s 程度であれば、主観的正面および丁度可知差異に及ぼされる影響は小さいことを確認した (Maeda et al., 2020)。さらに、これまでの研究の動向をまとめてそこから示された知見を国内学術誌に発表した (本多ら, 2020)

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究では、東北大学電気通信研究所が所有している、身体運動対応型の音空間知覚実験システムを用いた心理実験を行うことで、人間の多感覚音空間知覚における時間特性を検討した。

その結果、聴取者の受動的な身体回転は、身体回転がない場合と比べて、水平面定位精度を高めること、そして音刺激の呈示時間は水平面定位精度には寄与しないことが示された (Honda et al., 2018)。そして、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした (例えば Honda et al., 2020)。

この知見は、頭部運動中は、聴取者には、高精細な動的な手掛かりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており、アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行う際に応用することが可能である。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たといえるだろう。

そして、人間の多感覚音空間知覚における情報処理過程に関しては依然として不明確な部分が多いことから、本研究から得られた知見は、能動的な情報処理系として人間を理解する際に示唆に富んだものであり、我々が実世界から得られる動的な手がかり

をどのように空間的に統合しているのかを理解するうえで重要な知見が得られたといえる。

本研究で活用した実験装置は、心理学、医学などをはじめとした人間の音空間知覚メカニズムを新しい視点から探求するための実験ツールとして用いることが可能である。さらに、研究成果を工学的に応用することによって、聴覚ディスプレイをはじめとする様々な音環境提示装置の高度化の実現やそのような装置を基盤とした高臨場感・超臨場感通信技術を創生することができるだろう。

[4] 成果資料

- (1) 本多明生・坂本修一・岩谷幸雄・鈴木陽一 (2020). 頭部運動と音像定位. 日本音響学会誌, Vol. 76 (1), 61-67.
- (2) Honda, A., Masumi, Y., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2020). Effect of Passive Whole-Body Rotation on Sound Localization Accuracy of Listener Subjective Straight Ahead. *Acoustical Science and Technology*, Vol. 41 (1), 249-252. 【査読付き論文】
- (3) Maeda, K., Honda, A., Sakamoto, S., & Suzuki, Y. (2020). Accuracy of Subjective Straight Ahead after Passive Rotation of Listeners: Effects of Time Interval between Visual Cue and Onset of Sound Stimulus. *Acoustical Science and Technology*, Vol. 41 (1), 425-427. 【査読付き論文】
- (4) 前田啓・本多明生・坂本修一・鈴木陽一 (2019). 水平方向ベクションが主観的正面付近の音像定位に及ぼす影響. 日本音響学会 2019 年秋季研究発表会, 2019 年9月4-6日, 立命館大学.
- (5) Honda, A., Maeda, K., Sakamoto, S., & Suzuki, Y. (2020). Effect of Horizontal Vection on Sound Localization Accuracy. 東北大学電気通信研究所令和元年度共同プロジェクト研究発表会, 2020 年2月20日, 東北大学電気通信研究所.

臨場感ある聴取において音響環境の影響に関する研究

Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiences

[1] 組織

研究代表者：

Sungyoung Kim (Rochester Institute of Technology)

通研対応教員：

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

大谷 真 (京都大学大学院工学研究科)

延べ参加人数： 3人

[2] 研究経過

In this 3rd phase of research year, the principal investigator (PI), Dr. Sungyoung Kim, had planned to analyze the acoustical parameters associated with auditory immersion at RIEC (with additional measurement of some acoustical parameters at the RIEC anechoic room).

However, due to the recent COVID19 pandemic crisis, the PI could not visit RIEC which was scheduled in March 2020. Instead, the PI analyzed the data in Rochester, U.S.

The analysis results show that a traditional room acoustic parameter C80 and new parameter “front and overhead energy ratio” (FOER) explain perceived magnitude of auditory immersion bred of room acoustics and reproduction channels.

Since there was no physical visit to RIEC, no budget was used for these analyses.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

Previously, the PI **simulated** acoustic characteristics associated with three listening rooms, in which immersive sound fields (the NHK 22.2 Sound System) were recorded for the subjective evaluation. As for the subjective evaluation

results, please refer to the previous two reports (H29 and H30 研究報告書). One of acoustic characteristics that most differ three listening rooms is C80. [Ashock et al., AES Int. Conv., NY, USA, 2018]. C80 is known to have a strong relation with perceived clarity in the context of room acoustics and if found by taking the ratio of the energy decay in the first eight milliseconds to the energy from the remaining part as following equation:

$$C_{80} (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_0^{0.08} p^2(\tau) d\tau}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(\tau) d\tau} \right)$$

In this report, the PI analyzed the **measured** room impulse responses and compare them with the 2018 simulation. The table 1 below summarizes measured physical dimensions, reverb times, and C80 of the three listening rooms. The RIT listening room is smaller than others, and representing an everyday listening environment for consumers. The room is not acoustically treated and reflected energy is still significantly remained after the 80ms time window, which decreases C80 and increases the reverberation time (T30). Two other rooms have higher C80 values and lower T30, which indicates more controlled room acoustic characteristics.

In order to find other physical room-induced features and corresponding perceptual impact, the PI calculated additional parameter. The PI previously investigated a relationship between the number and arrangement of loudspeakers and perceived auditory immersion. The study revealed that the front and overhead energy ratio (FOER) is highly correlated with listeners' perceived auditory immersion [Kim et al., AES Sound Field Control Int. Conference, Surrey, UK, 2016]. This metric indicates the ratio between the front and overhead microphones signals in the following figure. IR_f indicates the impulse response measured by the frontal bi-directional microphone and IR_o , the overhead microphone.

$$FOER = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n IR_f^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n IR_o^2}}$$

Since this FOER is also influenced by the number of reproduction channels, the PI also calculated FOER values for the 2-channel reproduction (conventional stereo) as a reference. Only two rooms, RIT and Geidai, were available for this FOER measurement. The PI plans to conduct another measurement at McGill University for verification.

Table 1. Acoustic and electro-acoustic characteristics of three listening rooms

Room	Width	Length	Height	Volume	T30	C80	FOER 22ch	FOER 2ch
McGill University, CIRMMT A820	6m	7.8m	3.2m	149.8m ³	150ms	39.02 dB	NA	NA
RIT, ENT2128	5.9m	4.2m	2.8m	69.4m ³	370ms	14.22 dB	0.9776	1.2470
Geidai, Studio B	6.8m	6.8m	4.5m	208.1m ³	310ms	20.15 dB	0.7062	1.8594

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The work plan was to conduct additional impulse response measurement at RIEC and verify the FOER value variation is equally varying with the perceived impression of auditory immersion for the RIEC anechoic room. It is strongly believed that the tendency would be the same but still needs verification. The PI hopes to conduct the measurement after the pandemic and proposes a new metric to predict auditory immersion. In this three year project, the PI found that the listeners' overall affective response is influenced by the room acoustics, an amount of listener training or familiarity of three-dimensional sound production, as well as musical contents. In physical domains, these contextual factors together modified three parameters mainly: Inter-Aural Cross Correlation (IACC), Front and Overhead Energy Ratio (FOER), and Standard Deviation of Magnitude (SDM). The first two parameters are related with spatial impression including the auditory immersion, and the last one affects timbral quality. A reproduction system in a room therefore can be quantitatively predicted by calculating three parameters. The PI is working on to come up with a universal weighting of these three parameters and a single regression model, which can be applied for any room. Yet, it is too early to provide a conclusive result. In the meantime, a single first order Ambisonic (FoA) measurement would provide these three parameters with ease. The PI plan to conduct additional measurement at other locations to verify the prediction model based on three parameters. At least, the study shows that the FOER value can serve as a fast yet effective predictor for

The FOER values from the two rooms show that the Geidai room produced less frontal energy for both 2- and 22-channel system. When compared with the subjective ratings of “auditory immersion / listener’s envelopment (LEV),” this FOER has very high (negative) correlation. Similar to the PI’s previous observation, 1/FOER is closely related with perceived auditory immersion. The current data shows that the listening room acoustics differentiates the physical characteristics as well as corresponding perceptual magnitude of auditory immersion.

perceived auditory immersion in various situations and applications

[4] 成果資料

[Published]

Sungyoung Kim et al., Comparing training effects associated with two sets of HRTF data on auditory localization performance, In *Proc. of AES Int. Conv.*, Vienna, Austria, 2020.

Sungyoung Kim. Do we hear differently? Comparing spatial hearing between East-Asian and North-American listeners. *Acoustical Science and Technology*, 41(1):129–133, 2020.

Sungyoung Kim and Shuich Sakamoto. Investing room-induced influences on immersive experience, Part II: effects associated with listener groups and musical excerpts. In *Proc. of AES Int. Conv.*, NY, USA, 2019.

[Manuscript in preparation]

Sungyoung Kim et al., Room-induced influences on auditory immersion, *Building and Environment*.

採択番号 : H29/A25

The effect of attention on the integration of image components in the human visual system

[1] 組織

研究代表者

Chien-Chung Chen (National Taiwan University)

通研対応教員

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 6人

[2] 研究経過

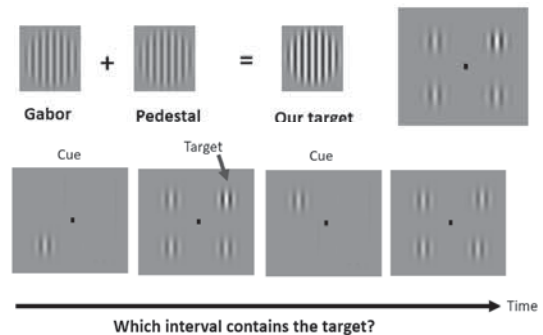
Dr. Chien-Chung Chen visited RIEC in February 2020. During his visit, he gave a seminar talk on “Extracting image statistics by human and machine observers” as an invited speaker at the 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer on Feb 13. He also joined a discussion on “AI and Well-being” on Feb 15 as one of the panelists. The audience and event attendants had very productive discussion. During this visit, he also visited research labs and had the first research collaboration research meeting with Dr. Benjamin Thyreau from Tohoku University Smart Ageing Center. This meeting was about establishment of new collaborative research projects on AI and visual information processes. The results were submitted to Asian Pacific Conference on Vision 2019 for presentation, and the journal publication is currently under review.

[3] 成果

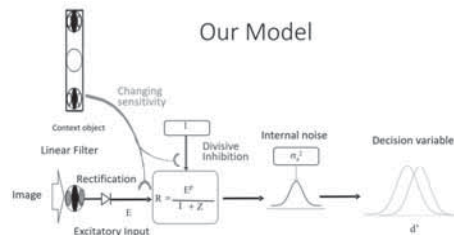
(3-1) 研究成果

Attention and perceptual grouping both enhance visual efficiency by selecting relevant information for further processing. They share similar modulations on mid- and high-level visual phenomena and it is likely that they share common mechanisms. One major limitation for

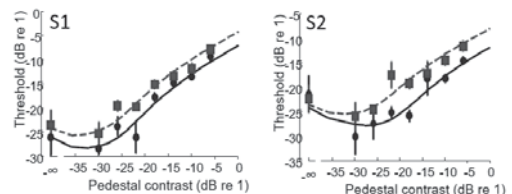
the field to grow is the difficulty to probe the actual mechanism (e.g. reducing internal noise or uncertainty, enhancing signal, or both) underlying the attentional effect on grouping (e.g. higher accuracy, faster response). We proposed to solve this problem by measuring participants’ detection thresholds of a target (2.5cpd vertical Gabor) on pedestals with same spatial profile but different contrasts.



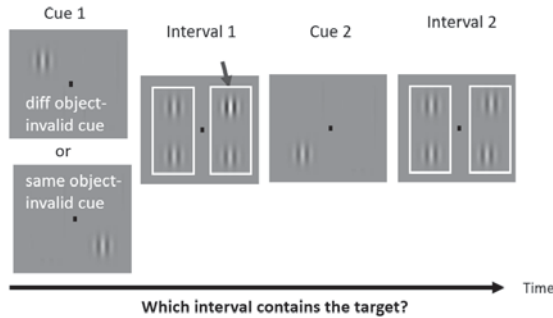
A valid or invalid location cue was presented before the target appeared at one of the four possible locations. The target threshold vs. pedestal contrast (TvC) function for valid cues was a vertical downward shifted copy of that for the corresponding invalid cue conditions. According to our model, this indicated that that attentional cueing effect originated from excitatory sensitivity enhancement, not from uncertainty reduction.



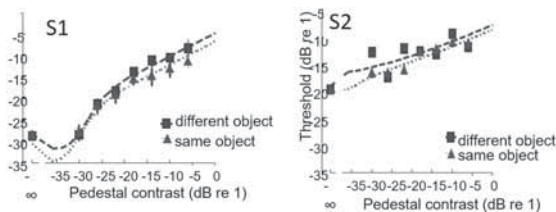
The TvC functions for valid cued (solid blue) and invalid cue (dashed red) for two participants are shown below. The distinction reveals a clear cueing effect, previously robustly shown in RT and accuracy. Thus, our paradigm is validated.



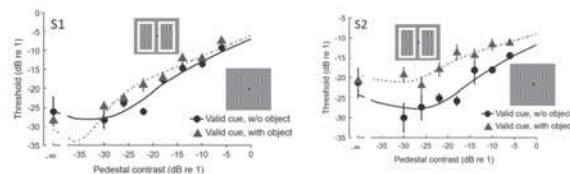
Based on this result, we examined the “object-based attention” effect with similar paradigm (see below). The outlines were arranged in a way that the target can be grouped into an outline-defined object, or a different object, or none of the above. We obtained threshold v.s. contrast (TvC functions) to examine the interaction between attention and perceptual grouping is readily observed



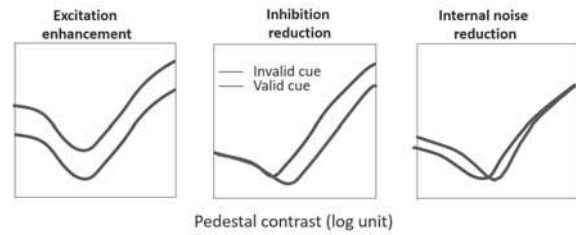
First, we did not observe a significant difference between targets located within the same object as the cue or the different object although the difference is consist albeit small. That is, the “object-based attention” effect is not revealed by the threshold change (see below).



Secondly, we found an unexpected “context effect” (see below). When participants detect targets, their performances are reduced when the display includes two outlined boxes. The source of this context effect is unclear, and whether it relates o attention also requires more investigation.



According to the model prediction, it is likely that this is a combination of “excitement enhancement” and “inhibition suppression.”



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Human attention actively selects limited information for further processing. How attention interacts with environment properties is still little understood. Similarly, our vision extracts regularity (e.g. perceptual grouping) in the environment quickly to enable us to respond efficiently to the needs from environment. There are two challenges:

- (1) Attentional effect on grouping using accuracy and response time is insufficient to probe its mechanism.
- (2) Perceptual grouping principles in descriptive terms are difficult for quantitative measurements.

We offer two solutions methodologically in this study.

- (1) We measured participants’ detection thresholds, instead of accuracy/response time, as the mechanism of a contrast sensitivity function is better understood.
- (2) We added pedestal in the display to characterize how attentional mechanism interacts with perceptual grouping. The advantage of this method is to enable us construct a signal-noise processing framework.

[4] 成果資料

- (1) Chen, C.C., Yeh, Y.S. Tyler, C.W. (2019) Spatial Summation in Noise. *Journal of Vision*, 19(9):11,1-13. <https://doi.org/10.1167/19.9.11>.
- (2) Tsai, L.T, Jang, Y, Liao, K. M. & Chen, C.C.* (2019). Legibility Assessment of Visual Word Form Symbols for Visual Tests. *Scientific Reports* 9,3338.
- (3) Tsai, T. H., Su, H. T., Hsu, Y. C., Shih, Y.C., Chen, C. C.*, Hu, F. R., Tseng, W.Y. I. (2019). White matter microstructural alterations in amblyopic adults revealed by diffusion spectrum imaging with systematic tract-based automatic analysis. *British Journal of Ophthalmology*,103(4),511-516. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311733.

- (4) Chen, C. C., Chien, C.H., Tyler, C. W. (2019). Multiple spatial summation mechanisms revealed by pattern masking paradigm. *Perception* 48, 222-223.
- (5) Tseng, C. H., Chen, C. C. & Shioiri, S. (2019). Effect of attention on the perceptual grouping. *Perception* 48, 27-27.
- (6) Lin, Y. S., Chen, C. C. & Greenlee, M.W. (2019). Lateral inhibition linked to perceptual filling-in of sinusoidal annulus. *Perception* 48, 140-140.
- (7) Lin, Y. S., Chen, C. C. & Greenlee, M.W. (2019). Divisive inhibition determines orientation discrimination threshold after adaptation to center-surround sinusoidal stimuli. The 15th Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.
- (8) Tseng, C. H., Chen, C. C. & Shioiri, S. (2019). The interaction between attention and perceptual grouping revealed by contrast masking paradigm. The 15th Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.
- (9) Chien, C.H., Chen, C. C.* & Tyler, C. (2019). Spatial Summation on a pattern mask. The 15th Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.
- (10) Lin, L., & Chen, C. C. (2019). Relative contribution of S and L-M mechanisms to perceptual grouping. The 15th Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.

採択番号 : H29/A26

Social communication: behavioral and brain representations

[1] 組織

研究代表者

Chia-huei Tseng 東北大学電気通信研究所
通研対応教員

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche
Scientifique Paris, France)

Chico Katsube (Aoyama Gakuin University)

Hsin-Ni Ho (NTT Communication Science Lab)

Shinsuke Shimojo (Division of Biology, California
Institute of Technology)

Mohammad Shehata (Toyohashi University of
Technology)

Shoko Kashima (Aoyama Gakuin University)

Miao Cheng (NTT Communication Science Lab)

I-Lien Ho (National Sun Yat-Sen University)

Yating Wang (Fu-Guan University)

延べ参加人数 : 24 人

[2] 研究経過

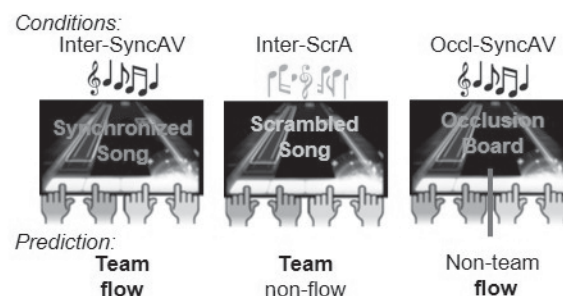
Dr. I-Lien Ho visited RIEC for one month (Jan -Feb 2020) with the additional general support from Japan-Taiwan Exchange Association (Intercultural and interdisciplinary communication between the concept of Japanese concept of MA (間) and Kongwu (空無) from Daoism and Chinese Buddhism in performance art). During her visit, a collaborated manuscript was prepared and a joint collaboration research grant proposal was drafted for submission. Dr. Miao Cheng visited RIEC in December 23-26 to discuss about the joint writing and a follow-up experiment design. Dr. Asaf Bachrach visit RIEC between Feb 9 to March 1, 2020. During his visit, he gave a seminar talk on “Articulations: a Shared Virtual Reality installation for exploring relational movement” and it arose a lot of discussion and interests. Dr. Mohammad Shehata and Dr. Shinsuke Shimojo also visited to discuss about the joint manuscript to be submitted for high-impact factor journal’s consideration.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

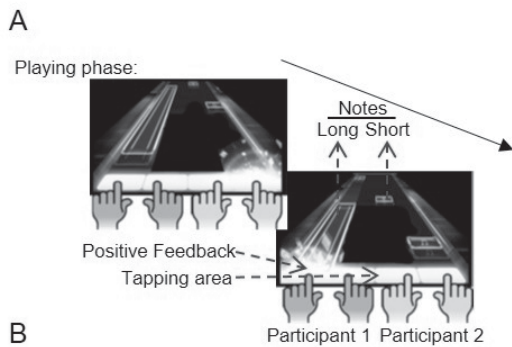
We study the neurophysiological representation of team flow. Team flow is a known psychological phenomenon as experienced in athletic teams, music ensembles, dance squads, and business teams. Decades of research in psychology, sociology, and business fields speculated that team flow is not just a simple aggregation of solo flow or ordinary social interaction. These fields mainly rely on behavioral observations lacking any objective neural evidence for why team flow is a unique experience, which we provide here. We isolated neural correlates of team flow as enhanced beta/gamma power at the left temporal cortex, which functioned as a global information recipient. Team flow enhanced intra-brain and inter-brains synchrony and integrated information.

The neural mechanisms of individual flow and socialization have been studied in isolation. There are concordant and discordant overlaps between the brain regions involved in these two experiences. Given the nature of the complex (including excitatory/inhibitory) overlap between the brain regions involved in individual flow and socialization, a unique causal interaction among these brain areas might emerge within the brain of each team member during the team flow experience.



To address these questions, we established a behavioral paradigm where a pair of prosocial highly-skilled participants are engaged in playing a popular realistic music rhythm game. The game’s task is to respond by tapping a touch screen at the moment animated visual cues

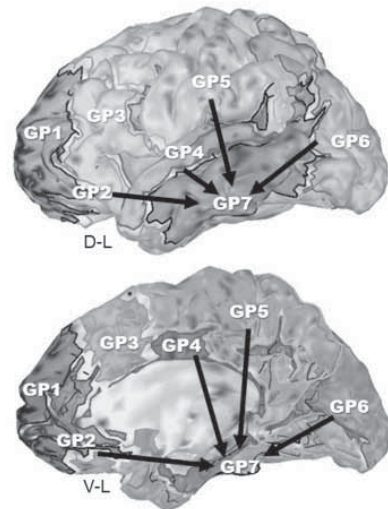
reach a designated area with instantaneous positive feedback. The feedback and the well-designed cues give the impression of playing a musical instrument inducing the game's positive experience and a state of flow. Each pair of participants, matched in skill level and song preference, played as a team through splitting the tapping area and sharing in completing the task with a common goal of getting the best score for the team. In the meanwhile, we simultaneously recorded their brain activities using electroencephalogram (EEG).



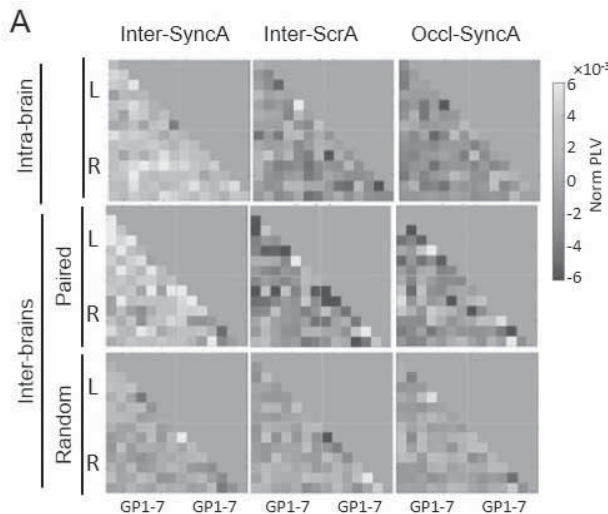
Since the anatomical-source localization averages source vertices based on a rigid, predefined parcellations method, we wanted to give more weight to the distribution of activity based on function rather than anatomy. Therefore, we used an activity-dependent unsupervised machine learning clustering of the source vertices based on their similarity in the beta/gamma power pattern. Before performing further groups interaction metric analyses, we refined the definition of brain regions to gain higher sensitivity for the neural correlates of team flow. We combined the anatomical and the functional domains

GPs per hemisphere.

As the temporal regions in GP7 functioned as a global information recipient, possible resultant outcomes might include enhanced neural synchrony or integration. To check for the former hypothesis, we calculated the intra-brain and inter-brains normalized phase-locking values (Norm PLV) across all the GP-GP connections for each condition (Fig. 4A). The results showed a general tendency for Norm PLV to be higher in the Inter-SyncA condition than other conditions. These results indicate that during team flow, the team members exhibited higher synchrony and integration within and between brains. This synchrony and integration might be the neurocognitive mechanism by which teams in the flow state have superior subjective experience.



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など



Our study emphasized the importance of the real-life dynamic interaction between participants at both the explicit, the partner's feedback, and the implicit, partner's bodies, levels in the experimental setup. Both kinds of dynamic interactions were essential and sufficient to induce the team flow experience and its unique brain state. The most prominent neural correlate for this brain state was the higher beta/gamma power in the temporal regions (GP7). Beta and gamma oscillations are involved in several cognitive functions, including attention, memory, and awareness with evidence of abnormalities in brain disorders. These functions are consistent with higher team interactions, and with many flow dimensions. Many of the brain regions grouped under GP7 have been reported to play a role in cognitive-affective integration in schizophrenia. Also, STS plays a role in integrating

mentioned above creating 14 anatomically-defined-activity-dependent groups (GPs), 7

multiple social networks. These reports and others support our conclusion that GP7 functions as a global information recipient, or hub, leading to global neural synchrony and integration that serves the team flow experience.

Whereas the integrated information is typically considered a quantitative measure of consciousness, there is considerable debate among researchers about whether integrated information is a sufficient measure of consciousness. Hence, our findings of surprisingly high value of integrated information does not necessarily indicate a modified form of consciousness, for instance “team consciousness”. Yet, it certainly raises an intriguing and empirical questions related to inter-brain synchrony, information integration, and altered state of consciousness.

[4] 成果資料

Tseng, C.H., Cheng, M., Matout, H., Fujita, K., Kitamura, Y., Shioiri, S., Bachrach, A. (in press), Perceived “togetherness” and “MA” between two dancers in joint improvisation, *Techniques and Culture*.

Cheng, M., Kato, M., Saunders, J., Tseng, C.H.*(2020). Paired walkers with better first impression synchronize better, *PLOS One*, 15(2), e0227880.

Tseng, C.H.* Wang, Y.T., Shioiri, S. (2020). Interpersonal Communication on the Japanese Concept “MA”. *Acoustic Sciences and Technology*, 4,1,1-5.

Sato, K., Tseng, C.H., Shioiri, S. (2019) Cross-cultural Differences in Sensitivity Detection of Yawning Faces, *Asian-Pacific Conference on Vision*, Kyoto, Japan.

Shehata, M. Cheng, M., Wu, D. Tseng, C.H. Nakauchi, S. Shimoko, S. (Oct 2019) Specific neural correlates integrate flow and social experience, *Annual Meeting of Society of Neuroscience*, Chicago, USA.

採択番号：H29/A27

人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤

[1] 組織

研究代表者

山口 弘純 (大阪大学大学院情報科学研究科)

通研対応教員

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

岡部 寿男 (京都大学大学院情報科学研究科)

加藤 由花 (東京女子大学数理科学科)

河口 信夫 (名古屋大学大学院工学研究科)

重野 寛 (慶應義塾大学理工学部)

菅沼 拓夫 (東北大学サイバーサイエンスセンター)

原 隆浩 (大阪大学大学院情報科学研究科)

峰野 博史 (静岡大学情報学部)

安本 慶一 (奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

白石 陽 (はこだて未来大学システム情報科学部)

乃村 能成 (岡山大学大学院自然科学研究科)

吉廣 卓哉 (和歌山大学システム工学部)

内藤 克浩 (愛知工業大学情報科学部)

延べ参加人数：14人

[2] 研究経過

本プロジェクトは、IoT センサーやデバイスにより、人や機械（車、ロボット、スマートフォン、インフラ設置型センサー）から絶え間なく生成される位置情報や状態情報、周辺状況などを知的に処理・集約し、人々や機械の間でセキュアかつリアルタイムに共有することで、都市における人やクルマ、モノの動きをリアルタイムに把握し、都市効率化や防災に活用することを目的としている。

本年度はプロジェクトの三年目であり、センサー情報及びそれらを処理した高次情報を情報流として集約・流通させて実現するミドルウェア技術の設計高度化に加え、情報流技術を用いて人間行動の理解・可視化を行う応用技術に注力した。

それに関連し、本研究グループの研究者らがオーガナイザとなり3件の国際ワークショップを開催している。まず、IEEE コンピュータソサイティの著名国際会議 COMPSAC の併設ワークショップとして、情報流の基礎技術から応用システムまでを広くターゲットとした第2回国際ワークショップ InfoFlow を米

国ウィスコンシンで2019年7月19日に開催した。情報流に必要な OpenFlow などの技術とともに、UAV 等のエンドデバイス活用なども視野に入れ、機械と人がどのように連携していくか、その際に生成される膨大なセンサーデータをどのように処理していくべきかを議論している。また、モバイル・パーベシブ分野におけるフラグシップ会議である IEEE PerCom の併設ワークショップとして情報流の実現技術やデータ流に着目した国際ワークショップ PerFlow (IFoT ワークショップからのシリーズとしては第4回目)を2020年3月23日に開催し、ストリームデータ処理およびその応用に関する技術の議論の場を提供した。加えて、車両活用に関する国際ワークショップ PerVehicle (第2回)を同年3月27日に開催し、車両等からのデータ処理に関する最新の応用技術の発表と議論を実施した。これらは米国オースティンでの開催が予定されていたものの、新型コロナウイルスの世界的拡大の影響を受け、オンライン開催となったにも関わらず、多くの参加者を得て活発に議論が行われた。これらのワークショップの回数を重ねるにつれ、情報流のコンセプトの浸透と国際コミュニティ形成が徐々になされてきている。本プロジェクトは終了するが、こういった形で本分野における研究を国際的に推進する活動を継続していきたい。また、本プロジェクトのため、2019年11月29日～11月30日に東北大学通信研究所において共同プロジェクト研究会を開催し、研究成果の発表とプロジェクトの方向性について議論している。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

複数のデバイスが連携した環境において、情報源（データ発生源）からその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の遅延時間を抑制し、リアルタイムでのインタラクションを実現することが人と機械の連携をベースとするサイバーフィジカルシステム実現のための鍵となるため、これまでに、センサーストリーム処理環境においてストリームやアプリケーションの要求を情報価値や利用可能な資源に応じて処理したり、融合したりする技術を備えたミドルウェアの設計開発を実施してきた。

こういった概念を実現すれば、すべてのモノがネ

ネットワークに接続され、管理や制御される世界の実現が近づきつつある。特にスマートホームやスマートオフィスなどでは、人の位置や行動、コミュニケーションに加えて、その環境の設備や空間内のモノの位置や動きなどのコンテキスト情報を理解し、人間の社会活動や生活を支援することが重要となる。例えば、家庭において家電や家具、食料品などの日常物の位置や移動属性が情報システム側で理解できれば、それをもとにした行動認識と健康生活支援、高齢者の自然な見守りといったユビキタスサービスも実現できる。オフィスや倉庫における人とモノの位置管理は、作業行動計画や業務の最適化に繋がると期待される。

人・機械連携型 IoT における次世代データ流通処理基盤の応用技術の一例として、本研究では、オフィスや倉庫といった空間において、RFID タグを添付したモノの絶対位置およびモノの種別の推定手法を開発している。提案手法では空間内の人を捉えたセンサーストリーム、ならびに人の移動により生じる RFID の電波変動ストリームデータから、モノ同士の空間内における位置や使われ方の類似性を導出し、これらの情報から RFID タグが添付されたモノの属性を推定するとともに、人の位置情報とモノの使用状況のタイミング同定により、実環境において RFID タグが添付されたモノの絶対位置の推定を行う。提案手法は様々なケースでの活用が考えられる。高齢化社会においては家庭内における行動認識への需要がますます高まっている。RFID タグを日用品に貼付し、その動きを把握することで、より高精度な行動推定が非侵襲的に可能となる。高齢者への IT システムの導入は障壁が高いが、独居の高齢者が食器や食品などの日用品を購入した場合、提案手法によりモノの位置と種別を自動把握できることで、高齢者の家庭内行動推定も可能となる。また、家庭やオフィスにおける消耗品や食料品の在庫管理を RFID タグによって行えば、適切なタイミングでの購入推薦や自動発注も可能となる。ビジネスパーソンは年間 150 時間もの時間を探し物に費やしているといった報告もあり、多くの人々がモノを探すという行為に時間を奪われている。こういった多くの事例において提案手法が有効であると考えられる。1 人の居住者が活動する 45 平米のオフィス環境で 10 属性のモノの 4 日間のデータを取得する実験を実施した結果、それらの種別推定において精度 86.9% を達成し、空間内のモノの位置推定については平均誤差 1.27m を達成できることを示している。

これに加え、代表者および分担者らは、センサーストリームとヒューマンセンシングを組み合わせた高齢者支援、ドローンによるセンサーストリームデータ

からの物体理解、エッジコンピューティングによる交通システム、農業情報共有支援、スマートホームにおけるコンテキスト理解など、人と機械が含まれる様々なサイバーフィジカルシステムとその応用分野の研究成果を創出している。加えて、IoT デバイス間ルーティングやそれらの間の適切な通信プロトコルといった要素技術の成果もあわせて創出している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献
プロジェクトの成果を広く共有し、議論を深めるために、前述したように国際ワークショップ 3 件を開催した。

1. InfoFlow 2019 (The 2nd IEEE International Workshop on Flow Oriented Approaches in Internet of Things and Cyber-Physical Systems 2019)
2018 年 7 月 19 日、米国ウィスコンシン、IEEE COMPSAC の併設ワークショップとして開催。分担者の東北大学菅沼教授ならびに愛知工業大学内藤准教授により組織。通研教員および分担者によるプログラム委員会を構成。
<https://ieeecompsac.computer.org/2019/infowflow/>
2. PerFlow 2020 (International Workshop on Pervasive Flow of Things 2020)
2020 年 3 月 23 日、米国オースティン (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。代表者の山口、分担者の NAIST 安本教授、マンハイム大のベッカー教授による国際協力により組織。通研教員および分担者、および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。
<http://www.perflow.org/>
3. PerVehicle 2020 (International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems)
2020 年 3 月 27 日、米国オースティン (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。代表者の山口、分担者の慶応大重野教授らにより組織。車両活用に関しアクティブに活動する第一線の研究者を招へいしてプログラム委員会を組織。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ジブ計算に関し議論。
<http://www.pervehicle.org/>

また、本プロジェクトから派生した 2 件の研究課題が日本学術振興会の科研費基盤 B 特設分野研究を実施している (研究課題名「実世界データを対象とした情報流におけるトラスト経済モデル」「セキュア IoT サービスに向けた人と機械の信頼関係構築フレ

ームワーク)。

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。本研究課題は本年度で終了となるが、機械と人をループに組み込んだ新しい情報処理基盤のコンセプト確立に至ったと自負する。今後は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、セキュリティや不確実性といった実世界的要素を取り入れた研究領域の開拓に結びつけていきたい。

[4] 成果資料

- [1] Yoshiyuki MIHARA, Shuichi MIYAZAKI, Yasuo OKABE, Tetsuya YAMAGUCHI, Manabu OKAMOTO, Identifying Link Layer Home Network Topologies Using HTTP, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol. E103-D, No. 03, Mar. 2020. (to appear)
- [2] Grazia D' Onofrio, Laura Fiorini, Marleen de Mul, Isabelle Fabbriotti, Yasuo Okabe, Hiroshi Hoshino, Raffaele Limosani, Alessandra Vitanza, Francesca Greco, Francesco Giuliani, Denis Guiot, Eloïse Senges, Antonio Kung, Filippo Cavallo, Daniele Sancarlo, Antonio Greco, Agile Co-Creation for Robots and Aging (ACCRA) Project: new technological solutions for older people, European Geriatric Medicine, Volume 9, Issue 6, pp 795-800, Dec. 2018.
- [3] Moustafa Elhamshary, Moustafa Youssef, Akira Uchiyama, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, CrowdMeter: Gauging Congestion Level in Railway Stations Using Smartphones, Pervasive and Mobile Computing (Elsevier), Vol. 58, 2019
- [4] Katsuya Ogura, Yuma Yamada, Shugo Kajita, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino and Mineo Takai, Ground object recognition and segmentation from aerial image - based 3D point cloud, Computational Intelligence Journal (Wiley), pp.1-18, 2019
- [5] Zhihua Zhang, Yuta Takahashi, Manato Fujimoto, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto, "Investigating Effects of Interactive-signage-based Stimulation for Promoting Behavior Change," Computational Intelligence, Vol. 35, No. 3, pp. 643-668, August 2019.
- [6] Jose Paolo Talusan, Michael Wilbur, Abhishek Dubey, and Keiichi Yasumoto, "On Decentralized Route Planning Using the RoadSide Units as Computing Resources," Proc. of 2020 IEEE International Conference on Fog Computing (ICFC 2020), 2020 (accepted).
- [7] Khaled El-Fakih, Teruhiro Mizumoto, Keiichi Yasumoto, and Teruo Higashino: "Energy Aware Simulation and Testing of Smart-Spaces," Information and Software Technology, vol. 118, 2020.
- [8] Joji Toshima, Takuo Suganuma, and Akiko Takahashi, "Design and Evaluation of an Incentive Decision Method for an Agricultural Information Sharing," International Journal of Networking and Computing, Vol. 9, No. 2, pp. 276-300, 2019.
- [9] Hayato Abe, Misumi Hata, Muhammad Alfian Amrizal, Satoru Izumi, Toru Abe, and Takuo Suganuma, "Estimation of Power Consumption of ICT Devices Based on Network Traffic," Proc. of the IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019), pp. 1071-1072, 2019.
- [10] Daichi Araki and Takuya Yoshihiro, "A Distance-vector-based Multi-path Routing Scheme for Static-node-assisted Vehicular Networks," Sensors, 19(12), 2688, 2019.
- [11] Takahiro Noi and Takuya Yoshihiro, "A Scheduling for Slotted-CSMA-based Wireless Mesh Networks to Reduce Delivery Delay," IPSJ Journal of Information Processing (JIP), Vol. 27, pp. 117-124, 2019.
- [12] Hayata Satake, Yuki Kobayashi, Ryotaro Tani, Hiroshi Shigeno, Dynamic Task Offload System Adapting to the State of Network Resources in Mobile Edge Computing, International Workshop on Pervasive Information Flow, 6 pages, March 2020.
- [13] 浅井菜々香, 溝口貴大, 重野寛, "モバイルクラウドセンシングにおける複数タスクオーケストレーションを考慮した持続的なインセンティブメカニズムの検討", 情報処理学会 第80回高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), 2020-ITS-80(11), 7pages, 2020年3月.

採択番号：H29/A28

耳介の3次元形状と音響伝達特性の 音源方位依存性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 仁（東北工業大学大学院工学研究科）

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（ほこだて未来大学複雑系知能学科）

延べ参加人数：5人（学生2名）

[2] 研究経過

任意の音源から放射される音のエネルギーは、直線的に耳孔へ向かう経路だけでなく、肩や胴体、頭部での反射を経て鼓膜に到達する。この頭部周辺の反射特性は、音源の入射角に依存して複雑に変化することが知られており、音の空間的な知覚の手がかりのひとつであると考えられている。従って、音源のあらゆる入射角に対して鼓膜までの音響伝達特性（頭部伝達関数：Head Related Transfer Function）が得られれば、これを任意の音信号に畳み込むことで、臨場感の高い次世代の立体音響技術を実現できると期待できる。

HRTFに基づく立体音響技術の課題は、計測に精密かつ大規模な装置が必要で、計測時の被験者の負荷も大きい点と、HRTFは頭部や耳介の形状と密接に関係しているため個人差が大きく、ある被験者について計測したHRTFを他の人間に用いても十分な臨場感が得られない点にあると考えられる。

本研究では第一の課題を解決するために、耳介の形状模型を用いて全方位の音響伝達関数（Pinna-Related Transfer Function：PRTF）を効率的に計測し、得られたデータに基づいてHRTFを推定する手法の開発を目指した。また第二の課題に対しては、耳介の3次元形状データから、構成部位である耳輪、対耳輪、耳垂、耳甲介、三角窩、舟状窩、耳珠、珠間切痕などの部位の形状の個人差を定量化し、それらがPRTFの共振（ピーク）/反共振（ノッチ）特性を生み出すメカニズムを明らかにすることを目指した。以下にそれぞれの経過を報告する。

◇PRTFの自動計測システム

本年度までの研究で開発した耳介の形状模型の製作法の概要を図1に示す。この手法ではまず被験者の耳介の型を取り、耳介形状の雌型（アルジネード）と雄型（石膏）の模型を作成する。次にこれらを3次元スキャナーで計測して得られたデータを統合し、マイクロホン挿入用の穴を追加したCADデータを得る。最後に3次元プリンターを用いてPLA樹脂製の模型を作成する。

この様にして得られた耳介模型を、図2に示す回転式の疑似頭部ロボットに装着し、音源の位置を変える代わりに疑似頭部を回転させることで、任意の角度精度を持つPRTFを自動計測するシステムを構築した。本年度は、計測したPRTFを同じ被験者から計測したHRTFと比較することで、PRTFからHRTFへの変換の可能性について検討した（研究成果参照）。

◇耳介構成部位がPRTFに及ぼす影響

前述した耳介形状の3次元CADデータを分析することで、耳介各部の形状を定量化する試みについては、二次元曲率に基づく特徴線の抽出に取り組んだ。この手法により、耳介を直接ノギス等で計測する方法と比較して、信頼性の高い計測が可能となったが、本年度までの研究では、当初目的としていた形状の一部を変調した耳介模型を製作するには至らなかった。この結果から、特徴量とCADデータの可逆変換が必須であるという結論を得た（研究成果参照）。

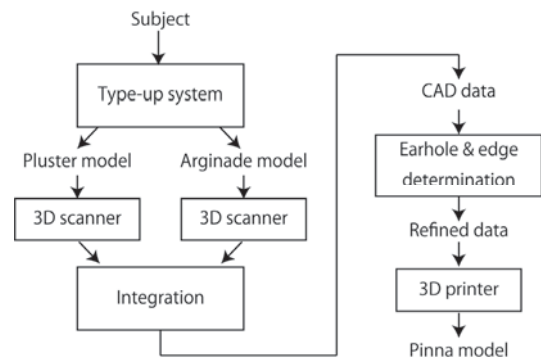


図1. 耳介模型の作成法

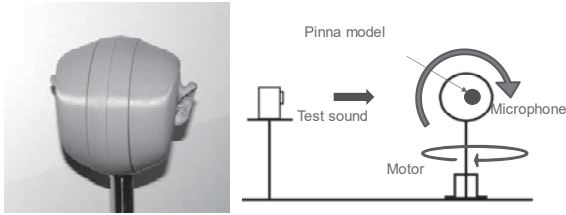


図2. 回転式疑似頭部ロボット

[3] 成果

(3-1) 研究成果

◇PRTF の自動計測システム

本年度は、上記の疑似頭部ロボットを用いて計測したPRTFを、同じ被験者から計測したHRTFと比較した(図3)。図の上段はHRTF、下段はPRTFに対応し、各図の横軸は周波数、縦軸は音源の鉛直角をそれぞれ表す。なおHRTFの計測は東北大学電気通信研究所の先端音情報システム研究室で、PRTFは東北工業大学の防音室で行い、どちらも音源の水平角は-175~+180度まで5度刻み、鉛直角は-80~+90度まで10度刻みの精度で計測している。

この図から少なくとも頭部側方(水平角-90度)において、音源定位で重要となる5kHz以上のノッチ周波数がHRTFとPRTFで大きな差がないことが確認できる。また音源方位ごとにHRTFとPRTFのインパルス応答の相関を計算すると、音源が頭部の上方にあるときは相関係数0.841、側方では0.716、後方では0.743と高い値となったが、音源が下方では0.538、正面では0.624と差が大きくなった(図4)。

このうち下方におけるPRTFとHRTFの差は、胴体や肩での反射の影響と考えられる。PRTFの計測で用いた疑似頭部には胴体がないため、下方からの直接音が耳まで到達しやすい。この差についてはノッチやピークが発生する周波数領域が胴体のサイズと比べて十分に高いことから、比較的単純な物理モデルで補正できると期待できる。

一方、正面の、特に鉛直角-30度近傍のPRTFとHRTFの差は、実頭部の鼻や顎周辺の形状が影響していると考えられる。PRTFの計測に用いた回転式疑似頭部

は、耳軸に対して回転対称である必要があり、実際の頭部とは大きく形状が異なる。自動計測可能なPRTFから、立体音響に必要なHRTFへの変換を行うためには、この正面方向の差を補正することが重要となると予測できる。これまでPRTFとHRTFを直接比較した例は報告されておらず、両者の高精度変換を目指す際の課題を明らかにしたことは、本年度の重要な研究成果のひとつである。

◇耳介構成部位がPRTFに及ぼす影響

耳介の構成部位のサイズや相対的な位置関係の定量化に関しては、本年度までの研究によりCADデータの基準点の自動抽出は可能となっている。個人差が大きい耳介の形状を統一的に扱うためには基準となる点が必要となるが、本研究ではCADデータの正中面における断面積に基づいて、外耳道と耳甲介腔の境界を自動判別し、その輪郭中心を基準点とする手法を提案している(図5)。

本年度は、CADデータから耳介表面を半径5mmほどの微小領域に分割してガウス曲率と平均曲率を求め、それらが極値をとる空間座標を接続することで特徴となる曲線を抽出する手法について検討した(図6)。この3次元の特徴線は、局所的な領域の形状変化を反映しているため、耳輪や対輪、三角窩や舟状窩など耳介の解剖学的な構成部位の形状を定量化するために有効である。さらに、前述した基準点と特徴線の相対的な位置関係から、単なる長さや方位だけでなく、音源方向に対応した構造に関する詳細な評価も可能となる。

この手法の問題は、抽出した特徴線だけでは耳介の形状を正確に復元するのが困難である点にある。本研究では、形状の一部を変化させた耳介モデルを作成し、そのPRTFを計測することで、耳介を構成する各部位が音響特性に及ぼす影響を明らかにすることを目指しているが、そのためにはこの特徴線から形状への復元が必須となる。しかし、例えば耳輪を表す1本の曲線を抽出しても、これを満たす形は無数に存在するため、耳介全体の形状は再現できない。

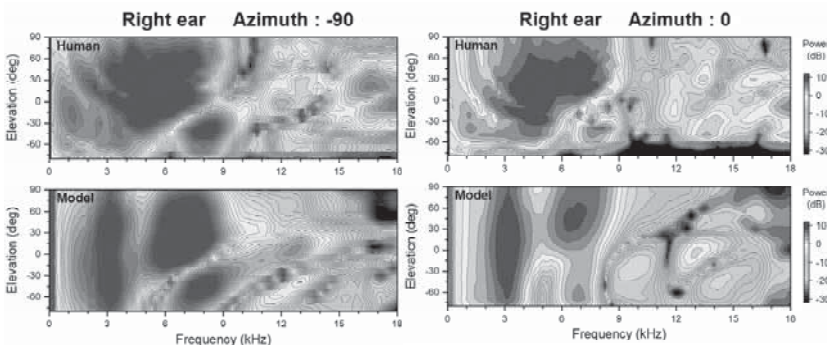


図3. HRTF と PRTF (左:側方, 右:正面)

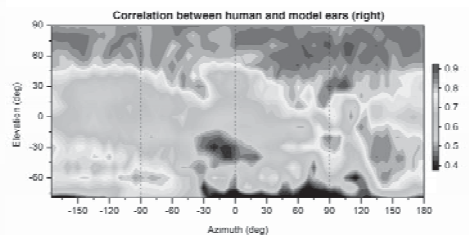


図4. HRTF と PRTF の相関係数

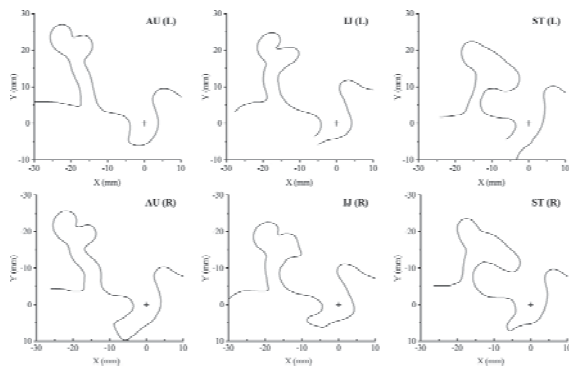


図5. 耳介形状の基準点の推定



図6. 耳介形状の特徴線の抽出

この問題を解決するためには、例えば特徴線に直交する新たな曲線(あるいは曲率)を導入するなど、形状全体を復元するために必要となる情報を追加する必要があると考えられる。本年度の検討では、特徴表現としての単純さを維持したまま、形状への逆変換も可能とするような、上記の特徴線に代わる有効な手法を見出すことはできなかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で開発した PRIF の自動計測システムは、従来の被験者の頭部周辺に多数のスピーカーを配置した計測や、逆に耳孔に設置した小型スピーカーから出力された音を周囲に配置した多数のマイクロホンで計測する相反法と比べて、安価で単純な装置で実現できる点に特徴がある。一方で、この計測には耳介の形状模型が必要となること、また計測した PRIF は例えばそのままドライソースの音源に置き込んでも、HRTF ほどの臨場感が得られないことが課題である。

本研究の計測システムが HRTF に基づく空間音響の研究分野に最も大きく貢献できるのは、一部の形状を変調した耳介模型を計測することにあると考えられる。これが実現できれば、例えば耳甲介の深さや長さが音響伝達関数のノッチ周波数と関係するといった仮説を、実際にこれらのパラメータを変えた模型を作成して計測することにより直接評価することができるからである。

また複雑で個人差が大きい耳介形状の中で、空間音響的に本質的な役割を果たす部位が特定できれば、従来の耳介形状と HRTF の評価法を大幅に改善できると期待できる。さらに、ひとりの被験者の HRTF から多様な相手の HRTF への変換、カメラ画像など限られた情報だけから、これに対応する HRTF を推定する手法など幅広い応用技術を開発できる可能性もある。

耳介と空間音響に関する研究は 1950 年代から進められてきたが、本研究のアプローチは 3 次元スキャナーやプリンターなど近年の計測・製造技術の急速な進歩に支えられている。このようなアプローチの有効性が示されれば、より多くの研究者がこの分野に参加するきっかけとなり、研究分野全体の裾野が大きく広がる可能性があると考えられる。

[4] 成果資料

- (1) 伊藤仁, 坂本修一, 佐藤直行 (2020) “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,” 東北大学電気通信研究所 2020 年共同プロジェクト研究発表会。

採択番号：H29/A29

新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

ザビル サラウッデン ムハマド サリム
(鶴岡工業高等専門学校情報コース教授)

通研対応教員：

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：2人

[2] 研究経過

In this research, we have been working on devising a novel IoT platform that does not require specialized knowledge while deploying and encourages participation from different entities at different phases of IoT development. We name this platform as KIBAN. We also propose a novel hierarchical architecture called Dynamic Hierarchical Edge Architecture or DHEA to overcome the potential issues with the centralized cloud based approach. We 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 compared with that in a cloud based system.

In the third year of the research project, we continued developing different elements of the KIBAN platform, prepare different components of different levels of DHEA as well focus on some application in real life scenario where some levels of the DHEA hierarchy implement different layers of KIBAN platform. Since security of IoT gateway and terminals has become an important issue recently, we worked on realization of the security and privacy layer of KIBAN platform (Fig. 1). In order to protect IoT devices and gateways, we devised a cloud assisted multifactor authentication mechanism so as to prevent unauthorised access by third party or malicious users.

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 face meetings on the topic at RIEC on February 20, 2020 where the principal investigator and RIEC counterpart prof. Kitagata participated.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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)

In the first year, we defined functionalities of different layers of KIBAN platform. In the second year of the project, we emphasized implementing different elements of several of the layers, particularly the data acquisition and storage layer and the knowledge and intelligence layer. In the third year, we emphasized on proposing the functionality of the security and privacy layer (SPL). It has been observed that IoT gateway and devices are often prone to malicious attacks through unauthorized access by third parties. Hence we propose mechanisms for access control through multi-factor authentication.

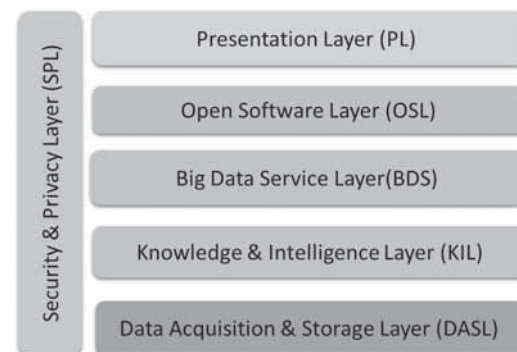


Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

② Implementation of components for the Security and Privacy Layer (SPL)

In the KIBAN platform, the vertical Security and Privacy layer is aimed at ensuring security for each layer of the KIBAN platform. In addition, the layer is also meant for ensuring privacy of data that belong to individuals or

organizations. As we know, Raspberry Pi has widely been used as a gateway for IoT systems which often consists of network connected devices or terminals equipped with processors with very small processing power. Because of access control with passwords that are trivial or easily graspable from the device (e.g., connected coffee maker), they have often been targets of third party malicious actors. In this research, we therefore proposed a scheme for multi-factor authentication for IoT devices and gateway through using cloud servers.

A. Multifactor authentication for IoT

Fig. 2 shows the schematic outline of multifactor authentication for IoT domain. Devices/terminals can be accessed only when the user can pass through several levels of authentication. One or more of which can be strongly connected to the authorised user(s) or the physical place where the target device is located. For example, use of biometric information such as fingerprint or vein recognition.

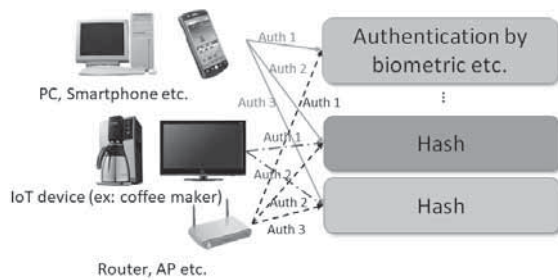


Fig. 2: Schematic diagram of multifactor authentication for IoT

Even if a remote intruder can break in through one level of the authentication mechanism, it may not be easy for him/her to break through the other factor(s) strongly associated with the person or the place. For example, even if an intruder can guess the password or a raspberry pi that is used as a gateway, if that raspberry pi deploys the original user's fingerprint as another level of authentication, it will be impossible for him/her to access the raspberry pi in an unauthorized manner.

B. Authentication through a cloud server

In our proposed multifactor authentication mechanism, upon confirmation of the authorized user through one of the several factors, the message is passed to the device through a cloud server. We used Cloud MQTT in our implementations. Cloud MQTT is a good solution for "Internet of Things" messaging between low power sensors or mobile devices such as phones, embedded computers or microcontrollers like Arduino. A client connects to the cloud and is allowed to send a message to a topic. The cloud MQTT encrypts the messages that are sent.

C. Implementation of multifactor authentication using fingerprint and ID/Password

In this research, we developed a prototype of our multifactor authentication mechanism where the first level of authentication comes from fingerprint detection at a personalized terminal of the users, for example, in this case the smartphone of the user (Fig. 3). Once the fingerprint of the user is authenticated, the information is conveyed to Cloud MQTT. Cloud MQTT then conveys that information to the target device, in this case, the Raspberry Pi being used as a gateway.

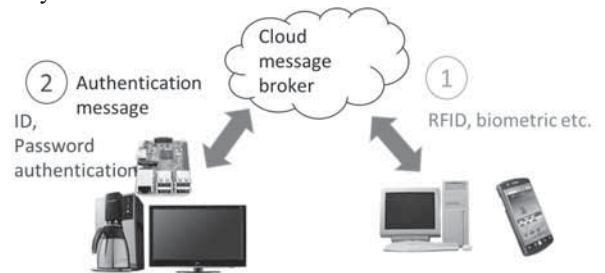


Fig. 3: Implementation of multifactor authentication for IoT using fingerprint detection at user's smartphone

A prototype Android application has been implemented on an android smartphone using Fingerprint Manager API. When the target Raspberry Pi is powered on, instead of advancing to the ID/Password input screen, it waits for input from Cloud MQTT. At the smartphone side, upon launching the prototype application, the following screens will prompt the user to scan fingerprint and upon successful detection of fingerprint, to approve the Raspberry Pi to proceed with ID/Password authentication.

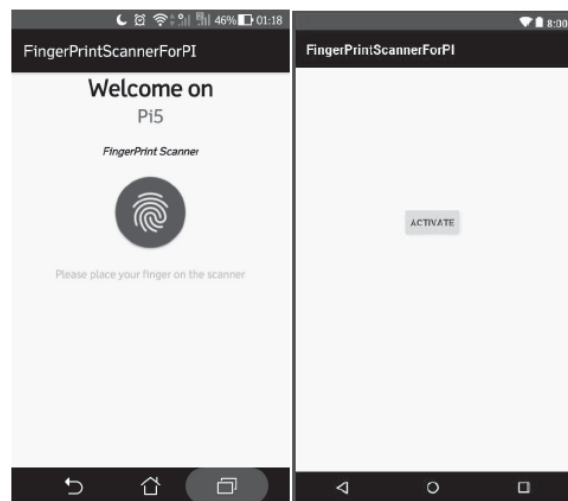


Fig. 4: Fingerprint authentication screen and Raspberry Pi ID/Password activation screen of the prototype application

If after authentication of the fingerprint, appropriate ID and Password are input, a user will be allowed to access the device. In case the fingerprint authentication fails a number of times or takes too long, a potential misconduct is suspected and hence, the Raspberry Pi automatically shuts down.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Implementation of KIBAN platform is likely to benefit non-specialists by allowing them to utilize the power of IoT in various applications. Implementation of edge server at always turned ON low power gateway computers is expected to play an important role in the rapid expansion of IoT in the coming years. In addition to our first year's research results, in the second year, our research outcome indicates that it is possible to implement deep learning technology (knowledge and intelligence layer of KIBAN platform) over low end gateway computing devices. Our third year's research outcome aims at ensuring security of IoT gateway and devices using multi-factor authentication. Such simple but essential security mechanism would help spread of safe IoT usages. Hence, the outcome of the current research conducted this year and the coming years would contribute hugely to the evolution of IoT.

[4] 成果資料

- [1] Zabir, S.M.S., Yoosook, P., Kamsaeng, C., Kiatikitikul, S., Shiratori, N., DHEA: A Dynamic Hierarchical Edge Architecture for a Participatory Approach Toward IoT Evolution, In proceedings of International Conference on Business and Industrial Research, 2018.
- [2] Zabir, S.M.S., IoT 及び AI 技術を用いた電子カカシに関する研究、平成 30 年度鶴岡工業高等専門学校地域連携センターリポート。
- [3] Zabir, S.M.S., Toward new generation IoT and AI applications, 第 2 5 回先進的情報通信工学研究会, March 2019
- [4] Zabir, S.M.S., IoT の拡大に向けて新たな階層型セキュリティ技術の開発に関する研究、令和元年度鶴岡工業高等専門学校地域連携センターリポート。
- [5] Monburionon, N., Zabir, S.M.S., Vechprasit, N., Utsumi, S., Shiratori, N., A Novel Hierarchical Edge Computing Solution Based on Deep Learning for Distributed Image Recognition in IoT System, in proceedings of InCIT2019, Bangkok, Thailand, 2019

採択番号：H29/A32

圧電薄膜 BFO を用いた MEMS と無線通信技術

[1] 組織

研究代表者：

今泉 文伸（小山工業高等専門学校機械工学科）

通研対応教員：

亀田 卓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

本良 瑞樹（東北大学電気通信研究所）

小熊 博（富山高等専門学校電子情報工学科）

仲田 陸人（小山工業高等専門学校機械工学科）

伊藤 雄平（小山工業高等専門学校機械工学科）

延べ参加人数：10 人

[2] 研究経過

現在の生活における交通・農業・電力などのあらゆる分野において、社会基盤として IoT (Internet of Things) の利用が進んでいる。膨大な量のセンサで計測された幅広いデータを解析することで新たなサービスを生み出す、いわゆるビックデータの活用がますます期待されるため、設置されるセンサノードの増加も見込まれる。これらの理由により、これまで以上に環境に配慮したセンサモジュールの開発が今後必要不可欠である。特に圧電性、焦電性等の電気的性質をもつ強誘電体材料が、様々なセンサとして利用されることは間違いない。

これまで多く利用されてきた鉛を含む $Pb(Zr, Ti)O_3$ 等の強誘電体材料に代わる新しい材料として $BiFeO_3$ (以下では BFO と表記する) が注目されている。鉛は人体や環境への影響の問題から、利用の規制が始まっているため、鉛を使用しない材料の開発が急務である。特に欧米では様々な規制が始まっている。本研究では BFO に着目し、その物性やデバイスの優位性について調べ、将来的には BFO を用いたセンサモジュールの開発を目的とする。

また近年では強誘電体材料のドメイン障壁の生じる電位差を利用し発電を行う太陽電池デバイスへの

実現の可能性が指摘されており、BFO の太陽電池分野への応用も期待されている。本研究では、これまでの使用されてきたチタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ や $Pb(Mn, Nb)O_3$ 等の材料に代わり、鉛を含まなく人体への影響が少ない利点を持ち、環境にやさしい BFO 薄膜の材料開発を行う。

BFO はこれまで主に、ゾルゲル法、パルスレーザーデポジション (PLD) 法で主に成膜されているが、本研究では RF スパッタリング法を採用した。RF スパッタリング法では、低いイオン照射エネルギーを用いることで、比較的簡単に高品質な薄膜を得ることができる。しかし、スパッタリング法を用いた BFO 成膜による研究の成功例は少ない。また、膜剥がれが起きにくい基板上に成膜する必要がある。本研究では、新しい基板材料として $DyScO_3$ (以下では DSO と表記する) を採用した。Fig. 1 に DSO 基板の構造の模式図を示す。DSO 基板は、格子定数が 0.394nm であり、BFO との格子定数のミスマッチが小さいので、DSO 基板上に BFO を成膜することにより、結晶の面方位を揃えることができ、BFO 薄膜として大きな強誘電性が得られるのではないかと予測できる。また DSO 基板は透明で、不純物を導入することで導電性を示す可能性も有り、下地電極としても使用できる利点もある。導電性がある下地材料の候補は少なく、DSO 基板へのドーパント技術開発は、非常に重要である。

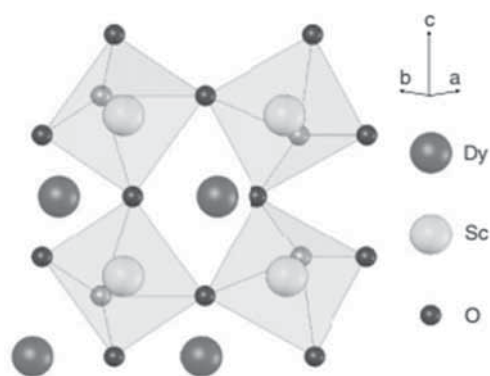


Fig. 1 $DyScO_3$ Substrate

以下、2019 年度の研究活動状況の概要を示す。

本研究に関する研究代表者、通研対応教員、研究分担者との研究討論や研究発表を下記の開催日に通研

等で行った。
 2019年8月29日、8月30日、12月5日、
 2020年1月7日、3月9日

また、2019年10月24日に東北大学未来科学技術共同研究センター、未来情報産業研究館にて開催された電子情報通信学会技術研究報告 シリコン材料・デバイス研究会では、これまでの3年間の共同研究成果について発表した。

[3] 成果
 (3-1) 研究成果

本年度行った実験方法について述べる。DSO(110)基板(両面研磨、1cm角、厚さ0.5mm)を準備し、エタノールを用いた有機洗浄後にRFスパッタリング装置を用いてBFOを成膜した。スパッタリングプロセスの温度は室温であり、圧力は4.0Pa、ガス流量は、Ar=40sccm、O₂=20sccm、膜厚は100nmである。プラズマ励起には、13.56MHzの高周波電源を用いた。ターゲットへの入射電力は、1.0W/cm²である。その後、酸素雰囲気中で550°Cと600°Cの熱処理をそれぞれ15分行った。評価分析方法として、配向性、結晶化温度、組成分析の確認をそれぞれ、XRD、XPSを用いて調べた。実験のフローをFig. 2に示す。

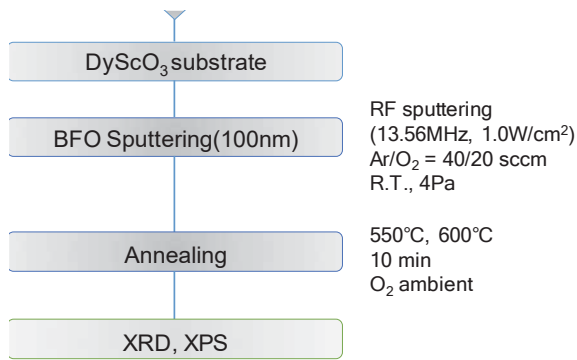
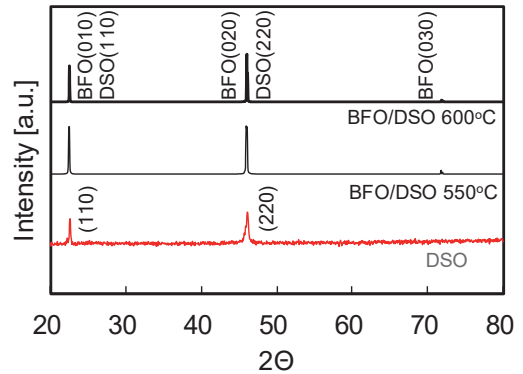


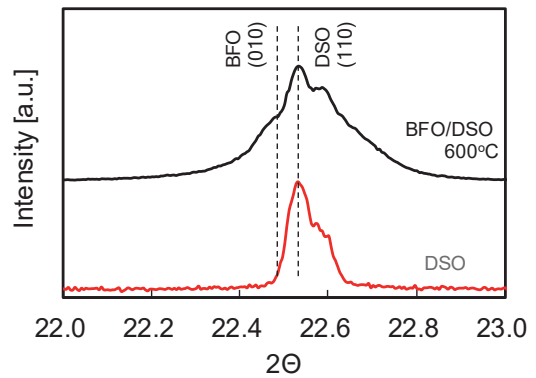
Fig. 2 Experiment

本年度は、以下に示す研究成果を得た。
 Fig. 3(a)にXRDの結果を示す。参考として、成膜前のDSO基板の2 θ - ω 測定を行った。DSO基板は熱履歴を合わせるために、600°C、15分の熱処理を加えた後に測定を行っている。DSO基板では、(110)と(220)のピークが検出された。BFOを成膜したサンプルについても550°Cの熱処理後に、同様のピークが検出されている。また、熱処理後には、72度付近にBFO(030)のピークも観測された。より詳細に分析するために、2 θ を22度から23度の範囲で測定した結果を、Fig. 3(b)に示す。BFOをDSO上に成膜したサンプルは、22.5度付近に二つのピークが出現していることがわかる。この

ブロードなピークの低角度側のピークは、BFO(010)のピークであると考えられる。これらのピークは成膜直後では検出されておらず、熱処理によってBFOの結晶化が進行し、(010)配向が出現したと考えられる。



(a)



(b)

Fig. 3 XRD patterns of BFO/DSO

Fig. 4は、600度の熱処理後のBFO/DSOサンプルについて、XPSでの測定結果である。Bi、Fe、Oに起因するピークが出現している。BFOはスパッタリング法で成膜すると、酸素欠損が起こりやすい傾向があり、化学量論的なBi:Fe:O=1:1:3でない組成比をもつ薄膜が形成されることが多い。これは、薄膜の強誘電性の低下につながる事が知られている。確認のため、XPSの結果からO1sピークをFeとBiに起因するピークに分離した。Fig. 5に波形分離後の結果を示す。Bi₂O₃のピークは、Fe²⁺、Fe³⁺のピークに比べれば十分に低いことがわかる。Bi₂O₃のピークが存在すると、化学量論的な組成比が形成されていないことを示している。今後はより詳細な分析が必要ではあるが、Bi₂O₃のピークが本研究の薄膜では十分小さいため、DSO上のBFO薄膜では化学量論的な組成比が実現できていると予測することができる。

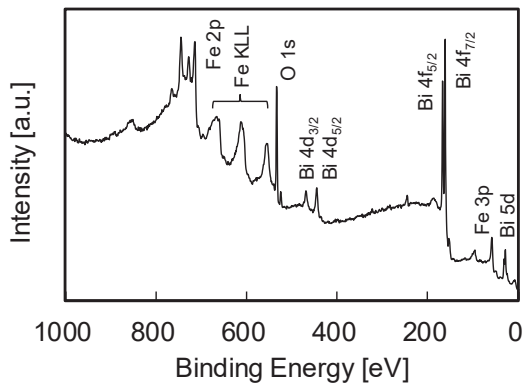


Fig. 4 XPS wide scan

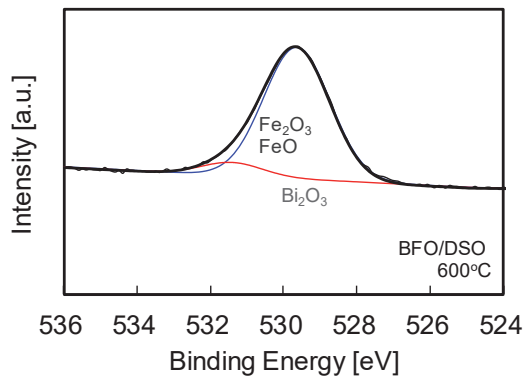


Fig. 5 XPS narrow scan spectra O1s

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

鉛を含まない強誘電体であるBFO薄膜を、格子定数のミスマッチの少ないDSO基板上にRFスパッタリング法を用いて成膜した。600度の熱処理を行うことにより、(010)配向していることを確認した。また、XPSの測定から、Bi₂O₃に起因するピークは小さいことから、化学量論的なBFO薄膜が形成できていることが期待できる。これらの実験結果から、2020年度はDSO基板上のBFO成膜の有効性を示すことができた。

本研究の発展として、BFO薄膜のDSO基板上への優位性から、その成果は応用として現在、企業との共同研究に進んでいる。また、2018年度までの共同研究で開発した強誘電材料の電気特性の計測システムを用いて、圧電材料の加速度センサの測定値のばらつき評価や、測定温度変化による加速度センサの計測に応用することができ、2019年度に開催された応用物理学会秋季学術講演会で研究成果を発表した。

今後はBFO薄膜を用いたセンサデバイス作製に向けて、研究を進めていく予定であり、さらなる成膜方法の改善、改良を行い、デバイスとしての圧電性を確認

し、無線技術を取り入れたシステムへの応用研究を行う予定である。強誘電体材料のBFOは、様々な分野での利用が期待できると考える。

[4] 成果資料

(1) 今泉文伸、仲田陸人、「プラズマプロセスを用いたBiFeO₃薄膜の酸素欠損と電気的特性」、第66回応用物理学会春季学術講演会、11p-W351-8、2019

(2) 今泉文伸、熊田純久、加藤岳仁「3軸加速度センサの設置角度に対する依存性」、第80回応用物理学会秋季学術講演会、20p-PA7-8、2019

(3) 今泉文伸、仲田陸人、「新しい圧電材料BiFeO₃の薄膜形成技術と基板依存性」電気情報通信学会技術研究報告 シリコン材料・デバイス、vol. 119, no. 239, SDM2019-63, pp. 51-54, 2019

(4) 仲田陸人、今泉文伸、「BiFeO₃薄膜を用いた新しい圧電センサに関する研究」日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会、No. 12、2019

(5) 今泉文伸、仲田陸人、「高周波スパッタリングにより形成されたBiFeO₃薄膜への熱処理効果」、第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム、19pm5-PN3-14、2019

(6) 今泉文伸、熊田純久、「様々な測定環境における3軸加速度センサの測定ばらつき」、第67回応用物理学会春季学術講演会、15a-PB3-7、2020

採択番号：H29/A33

酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発研究

[1] 組織

研究代表者

庭野 道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）

通研対応教員

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

木村 康男（東京工科大学・工学部）

廣瀬 文彦（山形大学・大学院理工学研究科）

阿部 宏之（宮城県産業技術総合センター）

本間 孝治（株式会社メムス・コア）

宮崎 勝（株式会社メムス・コア）

須田 茂明（チェスト株式会社）

岩田 一樹（東北福祉大）

馬 騰（東北大学 AIMR）

伊藤 一孝（株式会社メムス・コア）

延べ参加人数：20人

[2] 研究経過

本研究は、金属の陽極酸化技術と半導体微細加工・集積化技術を組み合わせることにより、Si半導体基板上に形成した酸化チタンナノチューブ薄膜を検出媒体とする、マルチ分析・高信頼性分析が可能な、ミクロンサイズの省電力・超小型・集積化・高感度ガスセンサ（**図1**参照）を開発することを目的とした。開発するガスセンサは、センサ媒体表面に金属触媒を担持することにより感度・反応時間などを従来型に比べ一桁程度向上でき、多種類ガスの同時・実時間分析も可能にするものであり、産業応用ばかりでなく、医療や環境の分野でも活用ができる汎用性の高いセンサである。

本プロジェクトは、本年度が3年目であり、開発課題は昨年度に引き続き、以下の通りとした。

- (1) センサ構造を透過型にする。（⇒感度の向上、応答時間の短縮）
- (2) 触媒金属微粒子をナノチューブ内壁に均一担持する。（⇒高感度、応答時間短縮、ガス選択性付与）
- (3) ガスセンサを集積化したセンサ・チップを作製する。（⇒ガス検出精度の向上）

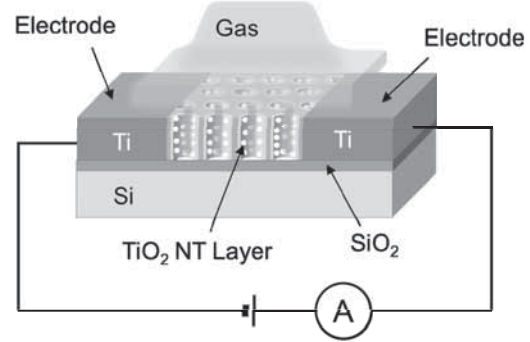


図1 ナノチューブガスセンサの模式図。酸化チタンNT膜の抵抗変化でガス検知。集積化ガスセンサ。

- (4) 多成分分析技術の確立（⇒ガス検出精度の向上、ガス選択性付与）

本年度は、触媒金属担持型ガスセンサ作製技術の確立を目指した。**図1**に示すように、TiO₂ ナノチューブの内壁に触媒金属微粒子を担持することにより、検出ガス分子の解離反応を促進させ、検出感度の向上を目指した。触媒金属微粒子を担持するために、原子層堆積法（ALD）を用いた。また、同一シリコン基板上に8個までのガスセンサを作り込む集積化技術の確立と、集積化した複数のガスセンサからの出力信号を機械学習することによる多成分分析法の開発も行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、**図2**に示すように、原子層堆積法（ALD）を用いてナノチューブ内壁へPt金属微粒子を担持する技術を確認した。ナノチューブ薄膜表面ばかりでなくチューブ内壁へも一様に微粒子が担持できることを確認した。

第2に、担持型と非担持型ガスセンサのガス応答特性を比較した結果、**図3**に示すように、担持型センサにすることにより、水素ガス検出に対して感度が6桁程度向上することが確かめられた。一酸化炭素ガスに対しては1桁ないし二桁程度感度が向上し

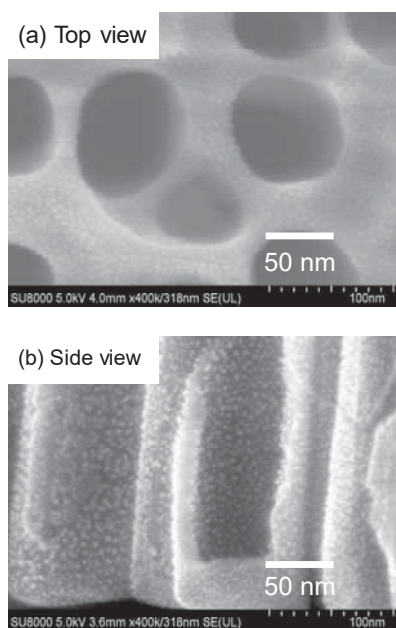


図2 ナノチューブ薄膜に担持した Pt ナノ粒子の走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope; SEM)像。

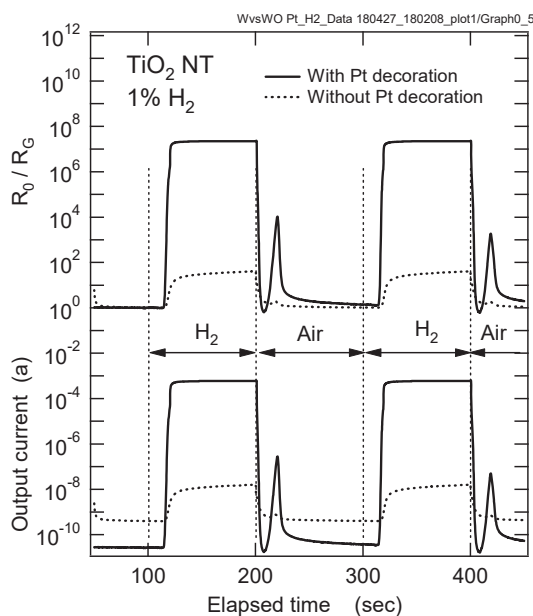


図3 Pt 微粒子担持と非担持の水素ガス検出感度の比較。

た。

第3に、複数のセンサ素子をSiチップ(8mm角の大きさ)上に集積化する技術を確認した。この技術はセンサの量産化を可能にする。

第4に、機械学習(ニューラルネットワーク)の手法を用いて、多成分分析する手法を開発した。空気中の微量(0.01%程度)の一酸化炭素ガスの成分量を10%の精度で検出できることを確認した。

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、学外研究者(民間企業の研究者も含む)との研究連携が飛躍的に活性化し、当該ガスセンサの実用化への道が大きく開けた。特に、科学技術振興機構(JST)研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)機能検証フェーズ(実証研究タイプ)に申請し(課題名「酸化チタンナノチューブ構造による集積化ガスセンサシステムの開発」、昨年度採択された。本年度はこの支援事業により開発研究を促進でき、センサの実用化に向けた研究が大きく前進した。本プロジェクトが新産業創出に貢献した成果と言える。

【採択課題】

- ・プロジェクト名:「酸化チタンナノチューブ構造によるガスセンサシステムの開発」
- ・資金制度、研究費名:科学技術振興機構(JST)研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)機能検証フェーズ(実証研究タイプ)
- ・配分機関名:科学技術振興機構(JST)

・研究期間: H29年12月20日~ R1年12月31日

[4] 成果資料

- (1) 山口政人、阿部宏之、馬騰、庭野道夫「酸化チタンナノチューブ薄膜の光触媒能による殺菌作用」東北福祉大学感性福祉研究所年報第20号、113頁
- (2) Teng Ma, Y. Kimura, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, "In Situ Infrared Observation of a Photo-Decomposition Process of Organic Contaminants on a TiO2 Nanotube Film Surface," Journal of The Electrochemical Society, 116(15) H842-H848.
- (3) Michio Niwano, Emerging Device Applications for Titania Nanotubes (Plenary Lecture)、AST2019(第3回陽極酸化の科学・技術に関する国際会議(Awaji Island)平成31年6月4日。
- (4) 阿部宏之、馬騰、但木大介、平野愛弓、木村康男、庭野道夫「白金微粒子担持した酸化チタンナノチューブ薄膜を用いた高感度ガスセンサ」第80回応用物理学会秋季学術講演会(札幌)。
- (5) 阿部宏之、馬騰、但木大介、平野愛弓、木村康男、庭野道夫「白金微粒子を担持した酸化チタンナノチューブ薄膜を用いた高感度ガスセンサの一酸化炭素応答特性」Future Technologies from Hamamatsu 2019(浜松)、令和1年11月21日。

採択番号：H29/A34

大脳皮質のネットワーク構造と機能表現の関係の解明

[1] 組織

研究代表者

久保田 繁 (山形大学大学院理工学研究科)

通研対応教員

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所・材料科学高等研究所)

研究分担者

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

廣瀬 文彦 (山形大学大学院理工学研究科)

山本 英明 (東北大学電気通信研究所)

鹿又 健作 (山形大学大学院理工学研究科)

延べ参加人数：50人

[2] 研究経過

多数の神経細胞の活動を *in vivo* で同時計測する技術が進歩したことにより、神経活動の発火相関から導かれる神経間の機能的結合を詳細に調べることが可能になった。その結果、神経回路の機能的結合関係は、動物が行う実験課題の内容や外部からの感覚刺激に応じて、数百ミリ秒という非常に速い時間スケールで切り替わることが明らかとなった。一方、神経回路の解剖学的な結びつきを表す構造的結合関係は、学習や発達に伴う回路のリモデリングによって、数時間あるいは数日といった遅い時間スケールで調節される。シナプス回路の構造的結合の変化は、神経間の機能的結合とその結果として生じるシナプス可塑性を通して、回路構造に再びフィードバックされるため、脳回路の構造と機能を一体として解析することが、現象の包括的な理解に不可欠である。このような観点から、本プロジェクトでは、大脳皮質のネットワークモデルを用いた計算論的研究と、培養神経回路による実験研究の両面から、皮質回路の構造と機能表現の相互作用を明らかにすることを目指す。

脳内で観察される様々な特徴的なネットワーク構造の中でも、本研究ではモジュール構造に着目する。モジュール構造は、密に結合した独立性の高い神経グループが、相互に疎に結合した構造であり、回路

の形成と維持に必要な代謝コストを抑制しながら、空間的に離れた神経間の効率的なコミュニケーションを促進することができる。多数のモジュールが協調して活動する機構を解明することは、脳内の広範囲な情報伝達や、柔軟な情報表現の仕組みを説明する上で、大変重要である。

今年度は昨年度に引き続き、主に以下の2つの方向から研究を推進した。

(1) 積分発火型神経細胞モデルにより構成される、神経回路モデルのシミュレーションにより、モジュール性等の神経回路の幾何的な特徴が、複雑な発火パターンの生成及び情報処理機能に関わるダイナミカルなメカニズムを明らかにする。

(2) パターニングした基板の上に、培養神経による神経回路を実際に構築することで、回路の幾何的性質と自発的な発火パターンとの関係を調査する。

また令和2年2月13-15日には、神経生物学、生理学、生物物理、集積回路などの多分野の研究者を集めて国際シンポジウム 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer を開催し、研究成果を共有し議論を深めた。

The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会

日時：令和2年2月13日(木) - 15日(土)

場所：東北大学電気通信研究所

ナノ・スピンの実験施設

2月13日(木)

「Analog neuron circuit for edge computing」 S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas

「Impact of nonvolatile-logic design techniques for spintronics-based edge AI computing」 M. Natsui, T. Chiba, T. Hanyu

「Spintronics for uniform artificial synapse and neuron」 A. Kurenkov, S. Fukami, Y. Horio, H. Ohno

「Design flow for SIMD-based hardware implementation of spiking neural networks」 J. Madrenas, M. Zapata, J. A. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato

「Analysis of temporal and mobility networks」 N. Fujiwara

「Distributed correlates of working memory phenomena in a large-scale multi-network model」 P. Herman, F. Fiebig, A. Lansner

「Extracting image statistics by human and machine observers」 C.-C. Chen

「Distal axon as a potential oscillator for network activities in the hippocampus」 H. Kamiya

「Multi-scale calcium imaging in the visual cortex of marmoset monkeys」 T. Matsui, T. Hashimoto, T. Murakami, M. Uemura, K. Kikuta, T. Kato, K. Ohki

「Microfabrication methods for the analysis of ion channel functions」 A. Hirano-Iwata

2月14日(金)

「Brain-like integrated system using thin-film devices」 M. Kimura

「Memristor enabled future computing beyond CMOS」 K. M. Kim

「Weightless neural network with high write error rate MRAM: Pattern matching and recognition」 H. Arai, H. Imamura

「Elastic neural network on-chip」 R. Zhang, M. Wu, Y. Kan, Y. Chen, Y. Nakashima

「Introduction to the "Designing the Human-Centric IoT Society" Program」 Y. Horio

「Technology Vision for Well-being Society」 M. Morishima

「Towards large-scale cyber-physical-human systems - vision for one of KTH Digitalisation projects」 P. Herman

「Value-sensitive design and well-being」 K. Naoe

「The human aspect of technology and design thinking」 H. Kanemitsu

「AI ethics: An interdisciplinary approach」 Y.-H. Weng

2月15日(土)

「Improvements of two-photon microscopy techniques for understanding intravital phenomena」 K. Otomo, T. Nemoto

「Network interactions in the mouse visual cortex are predictive of perceptual decisions」 J. G. Orlandi, M. Abdolrahmani, R. Aoki, D. R. Lyamzin, A. Benucci

「Data-driven approach for extracting neuronal nonlinear dynamics」 T. Omori

「FORCE training networks of spiking neurons to perform arbitrary dynamics」 W. Nicola, C. Clopath

「Spin-wave reservoir computing chip: Ultra low power consumption neural network hardware for sequential

information learning and processing」 A. Hirose, R. Nakane, G. Tanaka

「Strategies to dictate connectivity and functional organization in 2D and 3D neuronal cultures」 M. Montalà, E. Estévez-Priego, T. Fardet, S. Bottani, J. Soriano

「Biointerface engineering technologies for manipulating neuronal network functions in culture」 H. Yamamoto, K. Wakimura, Z. Chen, T. Sumi, T. Takemuro, A. Hirano-Iwata, S. Sato

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今年度の研究では、神経回路の幾何学的特徴とネットワークダイナミクスの関係について実験及び理論の双方から調査した。その結果、階層的モジュール構造のモジュール間結合に指向性を与えた場合に、一定の条件下で複雑性の高いダイナミクスが生じる可能性が示された。また、人工神経回路をリザーバーコンピューティングに応用したシミュレーションでは、回路の幾何学的特徴と時系列情報の処理能力との関係に関する知見が得られた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果は、中枢神経系のネットワーク構造の幾何学的特性が、情報処理機能に結びつく神経計算論的な機構を明らかにするという学術的意義を持つ。この成果を発展させることで、異なる脳の領域間でコミュニケーションが速やかに行われるメカニズムや、神経情報のコーディングといった幅広い問題に関する、重要な示唆が得られると期待される。さらに、脳の構造と機能に関する理解を深めることで、柔軟な情報処理を高速に実現するための脳型コンピュータの計算原理の創出にも結び付くと期待される。

[4] 成果資料

(1) 袁之雄、山本英明、守谷哲、井手克哉、脇村桂、竹室汰貴、久保田繁、佐藤茂雄、平野愛弓「高次元リザーバの実細胞再構成に向けた培養神経回路の伝搬指向性制御」第80回応用物理学会秋季学術講演会、2019年9月19日、北海道大学、札幌。

(2) S. Moriya, H. Yamamoto, Z. Chen, K. Wakimura, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, "Time-Series Information Processing in Cultured Neuronal Network Models", International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2019), Berjaya Times Square Hotel, Kuala Lumpur, Dec. 3, 2019.

採択番号 : H29/A35

ミニマルブレインの理解と再構築

[1] 組織

研究代表者

神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究院)

通研対応教員

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

木村 康男 (東京工科大学)

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)

庭野 道夫 (東北福祉大学)

森江 隆 (九州工業大学生命体
工学研究科)

八木 哲也 (大阪大学工学研究科)

桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)

片野 諭 (東北大学電気通信研究所)

早川 吉弘 (仙台高等専門学校)

山本 英明 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 60 人

[2] 研究経過

ナノテクノロジーとバイオマテリアル、そしてエレクトロニクスの融合は 21 世紀の重要な科学技術分野の一つである。その発展のためには、現在の半導体微細加工技術とバイオマテリアルの融合に基づく、バイオ技術・計測の高度化や新機能の創成が必要である。特に、その多様な機能が次々と解明されつつある生体膜における情報伝達系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題であると考えられる。

本プロジェクト研究では、脳機能の基本単位、すなわちミニマルブレインの動作原理について構成論的に理解し、最先端の工学とバイオの融合的アプローチを用いてミニマルブレインの機能を人工的に再構築することを目的とする。実際の神経細胞を培地基板上で自在につなぎ合わせることによって人工神経回路網を構築する。さらに、この系を活かした解析的研究により、局所的な神経ネットワークの時空間ダイナミ

クスを数理モデルにより追及する。これらの成果に基づいて、脳型コンピュータの基礎となる並列・分散的な情報処理回路の実現のためや、脳神経回路の誤動作・異常と捉えられる精神疾患などの脳機能障害の解明のための学術的基盤を確立する。再構成系神経回路の構築とその機能解析を通して、脳の情報伝達の時空間ダイナミクスを新たな視点から学際的に探究し、理工学分野と医学・生物系分野の融合研究を進展させる。基盤となる研究分野は、再構成神経回路の形成と計測分析を専門とする表面・界面工学、細胞工学の研究分野、実際の神経細胞の神経回路を専門とする神経生理・電気生理の研究分野、神経回路のハードウェアやニューラルネットワーク理論が研究対象のエレクトロニクス分野である。研究グループは、培養神経細胞を用いて実際の脳に近い神経回路網の形成を行い、その神経ネットワークにおける情報伝達機構を分析的・微視的な立場から計測・解析するグループと、電気生理計測技術を駆使して、再構成人工神経回路網の情報伝達ダイナミクスを明らかにするグループよりなる。

本年度は、生体の神経回路網における機能素子である神経細胞（ニューロン）の新規培養法の開発を進展させ、培養神経回路において観察される非生理的な活動を抑制する材料科学的なアプローチを提案した。これに際し、研究分担者間の共同研究も複数実施された。また、令和2年2月13日－15日には、ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて、共同プロジェクト研究会共催の国際シンポジウムを開催し、周辺領域の研究者との交流を行うとともに、勉強の場とした。以下にその概要を示す。

The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

共催 : 電気通信研究所共同プロジェクト研究会

日時 : 令和2年2月13日(木)－15日(土)

場所 : 東北大学電気通信研究所

ナノ・スピン実験施設

4階カンファレンスルーム

2月13日(木)

「Analog neuron circuit for edge computing」 S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)

「Impact of nonvolatile-logic design techniques for spintronics-based edge AI computing」 M. Natsui, T. Chiba, T. Hanyu (Tohoku Univ., Japan)

「Spintronics for uniform artificial synapse and neuron」 A. Kurenkov, S. Fukami, Y. Horio, H. Ohno (Tohoku Univ., Japan)

「Design flow for SIMD-based hardware implementation of spiking neural networks」 S. J. Madrenas, M. Zapata, J. A. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)

「Analysis of temporal and mobility networks」 N. Fujiwara (Tohoku Univ., Japan)

「Distributed correlates of working memory phenomena in a large-scale multi-network model」 P. Herman, F. Fiebig, A. Lansner (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)

「Extracting image statistics by human and machine observers」 C.-C. Chen (Natl. Taiwan Univ., Taiwan)

「Distal axon as a potential oscillator for network activities in the hippocampus」 H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

「Multi-scale calcium imaging in the visual cortex of marmoset monkeys」 T. Matsui, T. Hashimoto, T. Murakami, M. Uemura, K. Kikuta, T. Kato, K. Ohki (Univ. Tokyo, Japan)

「Microfabrication methods for the analysis of ion channel functions」 A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

2月14日(金)

「Brain-like integrated system using thin-film devices」 M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)

「Memristor enabled future computing beyond CMOS」 K. M. Kim (KAIST, Korea)

「Weightless neural network with high write error rate MRAM: Pattern matching and recognition」 H. Arai, H. Imamura (AIST, Japan)

「Elastic neural network on-chip」 R. Zhang, M. Wu, Y. Kan, Y. Chen, Y. Nakashima (NAIST, Japan)

「Introduction to the "Designing the Human-Centric IoT Society" Program」 Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)

「Technology Vision for Well-being Society」 M. Morishima (Tokyo Electron Ltd., Japan)

「Towards large-scale cyber-physical-human systems - vision for one of KTH Digitalisation projects」 P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)

「Value-sensitive design and well-being」 K. Naoe (Tohoku Univ., Japan)

「The human aspect of technology and design thinking」 H. Kanemitsu (Kanazawa Inst. Technol., Japan)

「AI ethics: An interdisciplinary approach」 Y.-H. Weng (Tohoku Univ., Japan)

2月15日(土)

「Improvements of two-photon microscopy techniques for understanding intravital phenomena」 K. Otomo, T. Nemoto (NIPS, Japan)

「Network interactions in the mouse visual cortex are predictive of perceptual decisions」 P. J. G. Orlandi, M. Abdolrahmani, R. Aoki, D. R. Lyamzin, A. Benucci (RIKEN, Japan)

「Data-driven approach for extracting neuronal nonlinear dynamics」 T. Omori (Kobe Univ., Japan)

「FORCE training networks of spiking neurons to perform arbitrary dynamics」 W. Nicola, C. Clopath (Univ. Calgary, Canada)

「Spin-wave reservoir computing chip: Ultra low power consumption neural network hardware for sequential information learning and processing」 A. Hirose, R. Nakane, G. Tanaka (Univ. Tokyo, Japan)

「Strategies to dictate connectivity and functional organization in 2D and 3D neuronal cultures」 M. Montalà, E. Estévez-Priego, T. Fardet, S. Bottani, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)

「Biointerface engineering technologies for manipulating neuronal network functions in culture」 H. Yamamoto, K. Wakimura, Z. Chen, T. Sumi, T. Takemuro, A. Hirano-Iwata, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本研究では、培養神経細胞系における脳機能発現を目指し、培養の下地となる基板表面のパターニングにより神経細胞の配置と極性制御を行い、脳内神経細胞回路網の基板上への構築を行うことにより、最小機能単位ミニマルブレインの抽出を目指している。今年度は特に、脳組織の弾性率を模倣した超軟ゲル材料上での神経細胞培養技術の開発を進め、その成果を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13～15日に開催されたRIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computerにおいても、本研究に関する最新の研究成果を報告するとともに、一層の共同研究推進のための有益な情報交換を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の発展は、電子工学やコンピュータ科学分野に新たな学術研究の流れを作り出し、ナノテクノロジー

一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2年度科研費 学術変革領域研究Bの申請へと発展している。

[4] 成果資料

- (1) T. Sumi, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata: “Suppression of hypersynchronous network activity in cultured cortical neurons using an ultrasoft silicone scaffold”, *Soft Matter* (in press).
- (2) H. Yamamoto, L. Grob, T. Sumi, K. Oiwa, A. Hirano-Iwata, B. Wolfrum: “Ultrasoft silicone gel as a biomimetic passivation layer in inkjet-printed 3D MEA devices.” *Adv. Biosyst.* 3, 1900130 (2019).
- (3) H. Kamiya: “Excitability tuning of axons by afterdepolarization.” *Front Cell Neurosci*, 13, 407 (2019).
- (4) H. Kamiya: “Modeling analysis of axonal after potential at hippocampal mossy fibers.” *Front Cell Neurosci*, 13, 210 (2019).

採択番号 : H29/A36

CubeHarmonic: 3次元磁気式モーションセンサを用いた 新しい楽器インタフェース

[1] 組織

研究代表者 :

Yoshifumi Kitamura

通研対応教員 :

Yoshifumi Kitamura

研究分担者 :

Maria Mannone (Department of Mathematics and
Computer Science, University of Palermo, Italy)

Eri Kitamura (University of Sussex, UK)

Jiawei Huang (RIEC, Tohoku University)

Ryo Sugawara (RIEC, Tohoku University)

Pascal Chiu (RIEC, Tohoku University)

延べ参加人数: 6 people

[2] 研究経過

This research aims to develop and improve a new musical instrument, the CubeHarmonic, based on the Rubik's cube geometry, on harmony (the science of musical chords), and on magnetic 3D-motion tracking technology. In fact, it is a creative application of the IM3D technology for motion tracking, whose development started at the ICD lab at RIEC, Tohoku University.

The idea of CubeHarmonic as a musical application of the Rubik's Cube has been thought by Dr. Maria Mannone. The CubeHarmonic is the application of some concepts of mathematics (combinatorics and music theory) applied to music, in the framework of mathematical music theory. Scrambling the cube, we get different chords and chord sequences. The first magnetic prototype of the CubeHarmonic has been built at RIEC in Fall 2017, and then some developments followed. The project caught the attention of musicians, mathematicians, and mathematical music theorists.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

The cooperative research project started in 2017. Since then, a first magnetic prototype was prepared, some recording were made, and the project was presented in international venues.

The CubeHarmonic is a new musical interface that involves a creative and artistic application of the IM3D technology for motion tracking [6]. 3D positions of tiny, wireless, battery-less, and

identifiable markers (LC coils) are tracked in real time. Positions of the pieces which contain LC coils are detected through IM3D, and transmitted to the computer to recognize the status of the Rubik's cube, that plays sounds. The central position of the cube is mapped onto overall loudness and pitch changes, as in Theremin playing.

This technology meets concepts from mathematical music theory, and in particular, from combinatorics and music [3, 4]. The CubeHarmonic can be used as a teaching tool both for math (group theory) and music (music theory, mathematical music theory), as well as a composition device, a new instrument for avant-garde performances, and a recreational tool. In 2018, a prototype of the CubeHarmonic was presented at NIME conference [3]; in 2019, at SIGGRAPH conference [1], and it has been contextualized in a broader framework of mathematics and music interactions [2, 3, 4]. Our research, thus, led to the publications of three papers [1, 3, 4], and it has been cited within articles and chapters about pedagogy of mathematical music theory [2, 5].

A new feature, proposed between February-March 2019, is still under development. It is about melody playing, with the option to select chords or arpeggiation. This improvement, available for the virtual cube, allows the user/performer to play melodies out of the notes on CubeHarmonic's top face — the one that is detected in our current prototype. It is possible to play the notes of the top face one after the other along rows or along columns, creating the effect of a melody. This new development greatly increases the expressivity potential of CubeHarmonic, and make permutations more musically identifiable.

The main result of this year research is the presentation of the project during the SIGGRAPH conference held in Los Angeles (USA) in July 2019 [2]. The idea of HyperCubeHarmonic has been presented in Sendai at the RIEC, in February 2020 (see following section). The main idea of CubeHarmonic and of our collaboration has also been presented during the Mathematics and Computation in Music Conference held in Madrid (Spain) in June 2019 (see following section). These ideas have also been presented during the Conference on Digital Intelligence and Aware Systems; held in Salzburg (Austria) in January 2020 (see following section).

In the second part of 2019 and early 2020, the HyperCubeHarmonic has been discussed, see Figure 1. It is inspired by the geometry of multiple dimensions and will allow the transformation

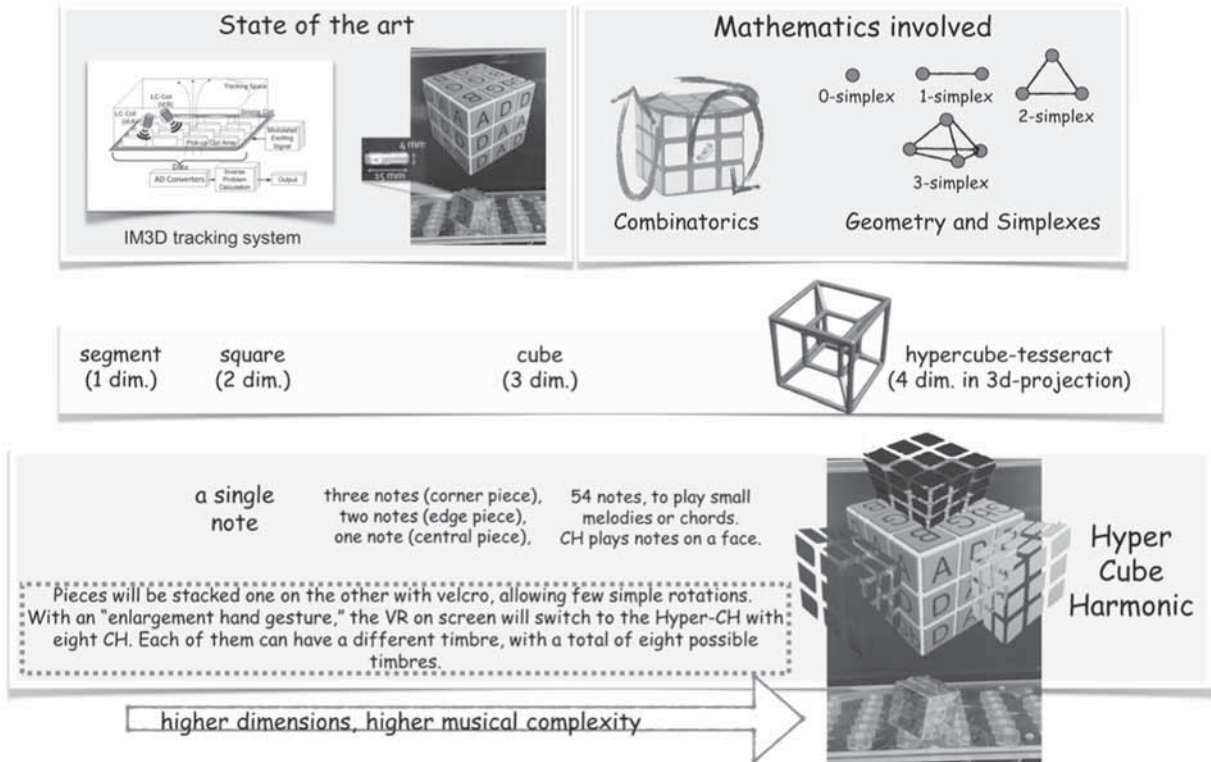


Figure 1: The idea of HyperCubeHarmonic

of the instrument's structure during performance, besides adding more parameters to the existing system. This results in a novel instrument which enables rich manipulations of tones and other musical parameters while making the transition between single notes, melodies, chords, and timbre changes interactive and appreciably tangible.

Thus, HyperCubeHarmonic will allow musicians to hear the “sound of multiple dimensions”, by extending a customizable physical cube into additional dimensions in VR. This user interface has an extraordinary potential in both mathematical and musical education, as it renders complex abstract objects tangible, by manipulating their parameters interactively.

This research is inspired by the geometry with multiple dimensions, see Figure 1. Starting from one point and moving to complex structures, the branches of mathematics involved are geometry and simplexes. The 0-simplex is a point, the 1-simplex is a segment, the 2-simplex is a triangle, the 3-simplex is a tetrahedron, and so on. In general, simplexes are the generalizations of triangles and tetrahedra to arbitrary dimensions. We can connect points, segments, triangles with faces of the cube. A 4-dimensional cube is a hypercube, also called tesseract. The scheme above shows its representation in the 3-dimensional space. Two triangles make a square, and the square is the starting point of CubeHarmonic. Each square in the Rubik's cube is a facet. In fact, in the Rubik's cube we have facets (squares), cubelets (likely small cubes; a cubelet has one facet for central pieces, two for side

pieces, three for corner pieces), cubes, and we can imagine ideal hyper-Rubik's cube as hypercube, where each cube is a Rubik's cube. With notes attached to each facet, we can thus imagine the Hyper-CubeHarmonic.

In this way, we can connect hyper-geometry with the combinatorics of the Rubik's cube, and with the musical resources of the CubeHarmonic, obtaining the HyperCubeHarmonic. The increasing of geometric complexity corresponds to the increase of musical complexity.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

We, as humans, are able to visualize objects in three dimensions, and to draw them (representing 3-dimensional stuff into 2-dimensional papers or screens). We are not able to draw nor even to visualize in our minds objects with more than three dimensions: we can instead (for example) draw their projections in the 3-dimensional space. In mathematics, we can imagine objects with N dimensions. Thus, mathematical thinking can be very abstract and far from intuition. This may constitute a difficulty for students and for laymen. A possible way to overcome this is using sounds in addition to visuals.

Musicians can be challenged by an instrument that can be “built up” from small units to more complex objects. Hypothetically, the number of dimensions we can add up to the CubeHarmonic is not infinite because of limits of calculations, but quite large. If



Figure 2: A snapshot from video.

musicians want to go back to a simpler musical structure, they can just reset the cube in VR. The idea is that the complexity of the instrument can follow (or allow) the complexity of the music played on it. We can manipulate music, but also the instrument itself.

HyperCubeHarmonic is novel because makes all these passages intuitive to a general audience, and possibly easy-to-manipulate, joining abstract ideas with a physical & virtual instrument. For an expert audience, it reveals a surprisingly wide range of creative combinations.

[4] 成果資料

The latest publications related to this project are:

1. M. Mannone, E. Kitamura, J. Huang, R. Sugawara, P. Chiu, and Y. Kitamura, *CubeHarmonic: A New Musical Instrument Based on Rubik's Cube with Embedded Motion Sensor*, ACM SIGGRAPH'19, Los Angeles, California, USA, pages 53:1-53:2, 2019
2. M. Mannone, *Have Fun with Math and Music!*, invited contribution, *Mathematics and Computation in Music Conference*, Madrid. M. Montiel, F. Gómez and O. Agustín-Aquino (editors), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, pages 379-382, 201

The paper [2] is the shorter version of a book chapter on pedagogy of mathematical music theory, listed in [5]. This paper includes a presentation of the CubeHarmonic idea and the collaboration with RIEC.

Summarizing, the project has been presented in Europe, America, and Asia; in particular:

- in Spain during a talk (June 20, 2019),
- in the USA as a poster (July 2019),
- in Austria during a talk (January 23, 2020),
- in Japan as a poster (February 20, 2020).

The poster at SIGGRAPH was presented by P. Chiu. The Japanese poster presentation was contextualized during the the FY 2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, on February 20, 2020, with a poster titled "*HyperCubeHarmonic: a Frontier of Music and 3D*

Magnetic Motion Tracking System," in collaboration with E. Kitamura, J. Huang, R. Sugawara, P. Chiu, and Y. Kitamura. RIEC Annual Meeting (preparation of the poster only).

Details of the Spanish talk, given by M. Mannone: "*Have Fun with Math and Music!*", *Mathematics and Computation in Music 2019*, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), June 20 2019, Madrid, Spain. The participation of M. Mannone in this conference was self-funded.

Details of the Austrian talk, given by M. Mannone: "*Category Theory and Compositional Music Interaction*," *Interactive Music Technology, International Workshop Conference on Digital Intelligence and Aware Systems*, January 23 2020, Salzburg, Austria, organized in collaboration with the Mozarteum University. The participation of M. Mannone to this workshop was funded by Research Studios Austria Forschungsgesellschaft. A video is available (See Figure 2):

<https://www.youtube.com/watch?v=vRY7FNFRbJ4>.

The former publications related to this project are:

3. M. Mannone, E. Kitamura, J. Huang, R. Sugawara, and Y. Kitamura, *CubeHarmonic: A New Interface from A Magnetic 3D Motion Tracking System to Music Performance*, *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, editors Luke Dahl, Douglas Bowman, Thomas Martin, Virginia Tech, pp. 350-351
http://www.nime.org/proceedings/2018/nime2018_paper0076.pdf
4. M. Mannone, E. Kitamura, J. Huang, R. Sugawara, and Y. Kitamura, *Musical Combinatorics, Tonnetz, and the CubeHarmonic*, *Journal of Collected papers of Academy of Arts*, Sixth Issue, pp. 104-116, Zbornik, Serbia, 2018.
<https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2334-8666/2018/2334-86661806104M.pdf>
5. M. Mannone, "Can Mathematical Music Theory be Easily Learnt and also be Fun?" In: "*Theoretical and Practical Pedagogy of Mathematical Music Theory: Music for Mathematics and Mathematics for Music, From School to Postgraduate Levels*," eds. M. Montiel and F. Gómez, 281-298, World Scientific, 2018.
6. J. Huang, K. Takashima, S. Hashi, Y. Kitamura, "IM3D: Magnetic Motion Tracking System for Dexterous 3D Interactions," *SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies*, Vancouver, Canada.

The paper [3] has been presented as a poster during the 2018 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2018), and the paper [4] is included in a book published by the Academy of Arts of the University of Novi Sad in Serbia. Reference [5] is a book chapter, and [6] describes the technology the CubeHarmonic relies on.

採択番号：H30/A01

オペランド時空間 X 線分光を用いた先端デバイス研究

[1] 組織

研究代表者：

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

尾嶋 正治（東京大学）

川合 眞紀（分子科学研究所）

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

舘野 泰範（住友電工）

松田 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）

小嗣 真人（東京理科大学）

組頭 広志（高エネルギー加速器研究機構）

堀場 弘司（高エネルギー加速器研究機構）

永村 直佳（物質・材料研究機構）

大河内 拓雄（高輝度光科学研究センター）

延べ参加人数：40人

[2] 研究経過

【本プロジェクト着想の経緯】

- ① 代表者らは、グラフェンを電子輸送層とした超高速トランジスタ研究を行ってきた；
 - a) グラフェン反応の精密管理を行い、世界最高品質のグラフェン成長に成功した。膜の状態でのキャリア移動度は、室温で $100,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に達した。
 - b) 世界最高の高周波特性を有するグラフェン・トランジスタの作製にも成功した。
- ② しかし、この高周波特性の実測値ですら、キャリア移動度から予測される理論値を下回る。この実験事実から、材料物性とデバイス特性の間のギャップに代表者は気づき、その原因が**表面・界面準位**にあると、代表者は推論した。
- ③ 表面・界面準位の働きの解明には、「動作しているデバイスの」「狙った箇所で」「化学結合選択的に」電子状態を調べることが必要である認識した。以上の経緯から、私は、**デバイス動作下（＝オペ**

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

【残された課題】

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

【本プロジェクトの目的・概要】

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

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

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、 σ -STXS の観測法の確立を中心として研究を展開した。本年度は、前年度の成果を踏まえながら、実際のデバイスへ研究を展開した。具体的には、GaN/AlGaIn 界面の二次元電子系をチャンネルとした高速トランジスタ（GaN-HEMT）やグラフェン・電界効果トランジスタ（GFET）に σ -STXS 観測法を適用し、その表面界面物性とデバイス機能の関係の解明を目指した。これらの研究は、SPring-8、東京大学、物質・材料研究機構、情報通信研究機構、東京理科大学などと共同で行った。これらの研究に関する打ち合わせを4回行った。のべ参加人数は、30名程度であった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、GaN-HEMT の σ -STXS を用いた表面電

子捕獲過程の研究を行った。その結果、

・電圧印加により、表面電子捕獲が GaN-HEMT 表面で起こることが明らかとなった ([4] 成果資料の論文リスト No. 4)。

・精密な時空間観測により、この表面電子捕獲は、ゲート電極近傍で、しかも、電圧印加して1マイクロ秒以内で速やかに起こることが明らかとなった。さらに、その後 (~ミリ秒程度)、ゲート電極近傍に捕獲された電子がドレイン電極側へ拡散していくことが明らかとなった。

第2に、二層グラフェンへの光励起ダイナミクスについて、分担者との松田巖准教授 (東京大学) と共同で研究を推進した。その結果、通常の Bernal 積層したグラフェンにおいては、一層目も二層目のグラフェンの光励起キャリアは、同じ時間的挙動を示す。それに対して、通常の Bernal 積層から 30 度ねじれた二層グラフェンにおいては、一層目と二層目の光励起キャリアは異なる挙動、具体的には、一層目が正に、二層目が負に帯電するという知見を得た。このような知見は、これまでに報告されたことはなく、世界で初めての知見である。

なお、本研究に関してプレス発表を行い、日刊工業新聞などに掲載された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトから、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、下記二つのプロジェクトに発展した。

(1)

- ・Beyond 5G に向けたグラフェンを用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発
- ・戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE)、重点領域型研究開発 フェーズ II (選抜提案)
- ・総務省
- ・平成 31 年度—令和元年度

この研究プロジェクトは、前年度の SCOPE フェーズ I 研究の中から選抜された SCOPE フェーズ II (選抜提案) として、渡邊一世博士 (情報通信研究機構) および連携研究者として館野泰範氏 (住友電工) と共同研究した。

(2)

- ・二次元電子系素子の界面電子状態の時空間変化の機構解明と素子特性向上
- ・科学研究費補助金、基盤研究 (B)
- ・文部科学省
- ・平成 31 年度—令和 3 年度

このプロジェクトで明らかになった o-STXS 研究を基にした科研費・基盤研究 (B) が本年度

新規に採択され、分担者である小嗣真人准教授 (東京理科大学) と共同で推進している。

[4] 成果資料

- (1) Direct formation of solution-based Al₂O₃ on epitaxial graphene surface for sensor applications
Sensors and Materials, 31 (2019), pp. 2291-2301.

K. S. Kim, H. Fukidome, and M. Suemitsu
インパクトファクター : 0.468

被引用回数 : 0

※代表者の研究室に所属していた K. S. Kim 博士が Young Researcher Award を受賞。また、本論文は、Highly commended paper として選定された。

- (2) Modulation of Electronic States near Electrodes in Graphene Transistors Observed by Operando Photoelectron Nanospectroscopy
Sensors and Materials, 31 (2019), pp. 2303-2311. (Cover page)

H. Fukidome, K. Funakubo, N. Nagamura, K. Horiba, Y. Tateno, M. Oshima, and M. Suemitsu

インパクトファクター : 0.468

被引用回数 : 0

- (3) Influence of interface dipole layers on the performance of graphene field effect transistors
Carbon, 152 (2019), pp. 680-687.

N. Nagamura, H. Fukidome, K. Nagashio, K. Horiba, T. Ide, K. Funakubo, K. Tashima, A. Toriumi, M. Suemitsu, and M. Oshima

インパクトファクター : 7.466

被引用回数 : 0

- (4) Ultrafast Unbalanced Electron Distributions in Quasicrystalline 30° Twisted Bilayer Graphene
ACS Nano 13 (2019), pp. 11981-11987.

T. Suzuki, T. Iimori, S.-J. Ahn, Y. Zhao, M. Watanabe, J. Xu, M. Fujisawa, T. Kanai, N. Ishii,

J. Itatani, Kento Suwa, H. Fukidome, S. Tanaka, J.-R. Ahn, K. Okazaki, S. Shin, F. Komori, and

I. Matsuda

インパクトファクター : 13.903

被引用回数 : 1

- (5) Electrical Transport Properties of Gate Tunable Graphene Lateral Tunnel Diodes
Japanese Journal of Applied Physics,
accepted.

K. Shiga, T. Komiyama, Y. Fuse, **H. Fukidome**, A. Satou, **T. Otsuji**, and T. Uchino

インパクトファクター : 1.471

被引用回数 : 0

採択番号：H30/A02

気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成

[1] 組織

研究代表者

金子 俊郎(東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員

平野 愛弓(東北大学 電気通信研究所)

研究分担者

Cheng-Che Hsu (National Taiwan University, Taiwan)

Meng-Jiy Wang (National Taiwan University of

Science and Technology, Taiwan)

Peter Bruggeman (The University of Minnesota, USA)

Yongfeng Li (China University of Petroleum, China)

Gyung-Soon Park (Kwangwoon University, 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:70人

[2] 研究経過

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

が活発に行われている、アメリカ、台湾、韓国、中国の研究機関との連携を深め、国際共同で研究を推進する。

(研究討論会等開催状況)

日時：令和2年2月19-20日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 南講義棟 103 会議室

- 「Energy harvesting application of electrokinetic phenomenon at the solid-liquid interface」Takeru Okada (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
- 「Graphene-based spin-valleytronics」Michihisa Yamamoto (RIKEN Center for Emergent Matter Science)
- 「Optoelectronic devices based on nanocarbon materials」Hideyuki Maki (Department of Applied Physics and Physico-Informatics, Keio University)
- 「Plasma synthesis of strain-induced graphene nanoribbon and its applications」Noritada Ogura, Toshiro Kaneko, Toshiaki Kato (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
- 「Radical spectroscopy for reaction analyses of atmospheric pressure plasma」Yusuke Nakagawa (Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University)
- 「Plasma Source Development for Non-Equilibrium Nitrogen Vibrational Excitation」Yuki Kunishima, Keisuke Takashima, Toshiro Kaneko (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
- 「Abiotic stress responses and injuries in plant pollen development」Atsushi Higashitani (Graduate School of Life Sciences, Tohoku University)
- 「Water treatment and agricultural applications by plasma generated within gas bubbles」Nozomi Takeuchi (Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology)
- 「Degradation Mechanism of Organic Compounds by Pulsed Electrical Discharge at Gas/Liquid Interface」Gaku Oinuma, Yu Kamiya, Teruki Naito, Yasutaka Inanaga (Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation)
- 「Analysis of cell behavior and charges in liquid on pulse discharge application」Satoshi Uehara, Hayato Tada, Chia-Hsing Chang, Takehiko Sato (Institute of Fluid Science, Tohoku University)

11. 「Study on molecular dynamics in germination and seedling phases of plasma irradiated seeds」Kazunori Koga^{1,2}, Masaharu Shiratani¹ (¹Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, ²National Institutes of Natural Sciences)

本研究会では学内外を含め延べ 70 名以上の参加者がおり、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、気液界面プラズマ活性種計測等の立場から、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

I. 低温プラズマ生成活性種の高時間分解計測

近年、非平衡大気圧プラズマを用いた生物や農業分野での応用が注目されている。多くの場合、液体と接触したプラズマ（気液界面プラズマ）が使用され、その細胞や生物組織への影響は、プラズマによって供給される活性種に起因するとされている。いくつかの数値シミュレーションにより、プラズマ照射溶液中には多数の活性種が生成されることが予測されているが、1 秒以上の時間スケールで数種類の長寿命活性種の測定に留まっており、短寿命及び極短寿命活性種（ $\cdot\text{OH}$ 等）の時空間分布に関する報告はない。しかし、反応性の高い短寿命活性種は多くの応用で重要とされており、この時空間分布解明は重要な研究課題である。本研究では、液相中 $\cdot\text{OH}$ の時間空間分布を得るために、高速液体流を用いた気液界面プラズマを開発し、高時間分解能（ ~ 0.1 ms）での $\cdot\text{OH}$ 減衰測定と数値シミュレーションによる時間空間分布の取得を試みた。

ヘリウムを原料ガスとして、石英管外側に巻かれた円筒電極に対して高電圧 ($V_{pp}=8.8$ kV, $f\approx 9$ kHz) を印加することで、非平衡大気圧プラズマを生成した (図 1)。プラズマ生成部の上流に接地された内径 0.13 mm のステンレス管を中心軸に沿って配置し、高圧ポンプを使用して蒸留水を導入することで、プラズマ生成領域へ高速液流 (~ 12.6 m/s) を導入した。また下流側には、プラズマブルームを遮断するために、裏面に接地電極を配置したテフロン板が置かれている。プラズマ領域通過後の液流内 $\cdot\text{OH}$ 濃度を測定するために、Z 軸ステージで位置制御された試薬注入口から、 $\cdot\text{OH}$ の化学反応プローブであるテレフタル酸 (TA) を注入する。この時、テフロンプレートから試薬注入口までの距離 d_g を制御して、測定を行った。

図 2 に、 $\cdot\text{OH}$ の濃度に対応するヒドロキシルテレフタレート (HTA) 濃度の d_g 依存性を示す。プラズ

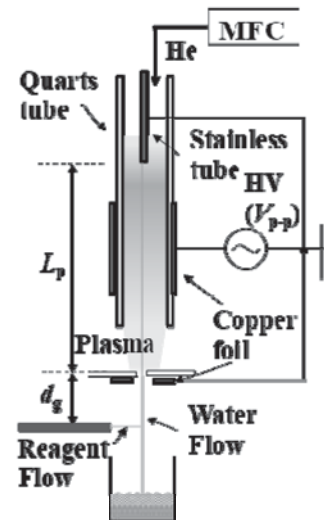


図 1. 高速液流導入非平衡大気圧プラズマ生成装置。

マ照射後の時間は、流速 12.6 m/s と距離 d_g から換算した。測定された $\cdot\text{OH}$ 減衰は非常に速く、0.5 ms でほとんど消費されることが明らかとなった。このように、1ms 以下の時間分解能で、プラズマ生成液相 $\cdot\text{OH}$ 減衰を捉えたのは世界で初めてである。さらにその $\cdot\text{OH}$ 減衰は、長寿命活性種との反応を考慮したとしても、液面から深さ方向に均一分布していると仮定した時の理論曲線に比べて速い。これは、 $\cdot\text{OH}$ の表面局在を示唆している。そこで、 $\cdot\text{OH}$ 流束に基づく反応拡散モデルを新たに構築し、 $\cdot\text{OH}$ の表面局在を考慮しながら $\cdot\text{OH}$ 減衰を計算した。長寿命反応種との反応も考慮すると実験的に得られた $\cdot\text{OH}$ 減衰を良く説明できることが分かった。したがって、今回構築した反応拡散モデルはプラズマ生成液相中 $\cdot\text{OH}$ 挙動の予測に非常に有用と考えられる。

このプラズマ生成 $\cdot\text{OH}$ の時空間分布を明らかにしたことは、様々なプラズマの医療・農業・環境分野応用において、重要な知見である。

II. プラズマ殺菌による病害防除技術の開発

プラズマの農業応用研究は、空気と水のみからプラズマで生成される液相短寿命活性種の理解と制御が極めて重要となってきている。本研究では、空気

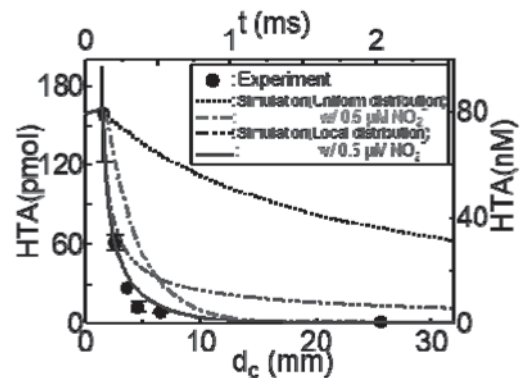


図 2. HTA の生成量の d_g 依存性と 4 種類のモデルに基づく理論減衰特性。

プラズマ活性ガス (air plasma effluent gas: air PEG) を精製水に溶かすと同時に噴霧する, 空気プラズマ活性ガス溶解液 (air PEG dissolved solution: air PEGDS) 噴霧装置 (図 3) を新たに作製した. 空気プラズマ活性ガスを用いて精製水を噴霧することで, 液相に生成された短寿命活性種を照射対象へ短時間で輸送し, 処理時間の短縮を目指している.

air PEGDS をイチゴ炭疽病菌分生子懸濁液に 10 秒間噴霧した際の分生子発芽率を図 4 に示す. air PEGDS への水導入量 (F_{H_2O}) が 5 - 25 mL/min で発芽抑制効果を有することが示唆された. 一方で, 空気プラズマ活性ガスのみの噴霧 ($F_{H_2O} = 0$) では発芽率が 70% を超え, 発芽抑制効果は顕著に低く, 液体噴霧により, 発芽抑制効果が高まったことが分かる. これは, 液体噴霧が活性種輸送能力を高めた結果と考えられる. また図 4 に示すように, $F_{H_2O} = 30$ mL/min では, 気相中オゾンの密度が F_{H_2O} に対し単調に減少しており, 活性種濃度や組成が異なり, 発芽抑制効果が劣化していると考えられる.

噴霧された air PEGDS を室温で一定時間保持した後, 分生子懸濁液と混合することで, air PEGDS の寿命を検証し数分程度の寿命を持つことが明らかとなった. また, 液相中オゾン濃度と相関があり, 且つ他の活性種およびそれらの混合溶液の発芽抑制効果がほぼないため, 本研究の air PEGDS では液相中オゾンが効果の主因であることが示唆された. これ

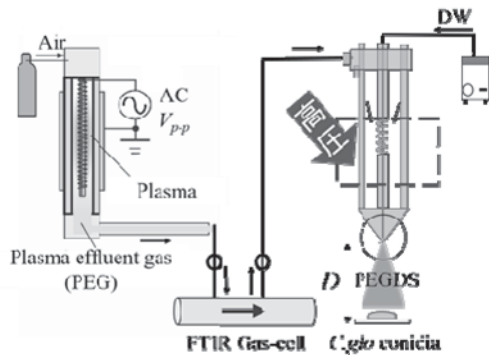


図 3. 空気プラズマ活性ガス溶解液噴霧装置.

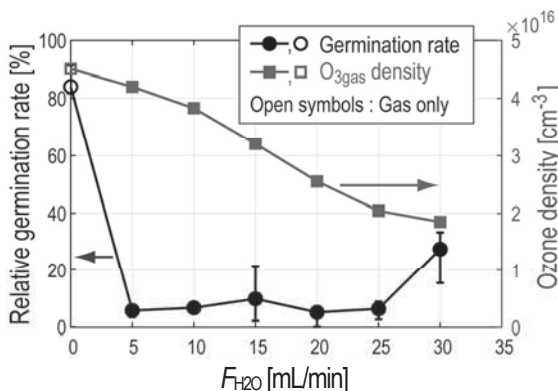


図 4. PES による分生子発芽抑制効果.

は, 図 4 に示す気相オゾン密度の低下により発芽抑制効果が劣化したことと矛盾しない.

一方でオゾンは植物にダメージを与えることが知られているが, 本研究では発芽抑制を実現する条件ではダメージは観察されなかった. また長時間噴霧した際には, オゾンのみを溶解させた場合より, air PEGDS の方が植物へのダメージを抑制できた. これは, air PEGDS 中の亜硝酸イオンなどによるオゾンの分解反応により, 液相中オゾンの寿命が短くなったためと考えられる. オゾンの寿命制御を実現する air PEG の組成制御が重要であることを示唆している.

今回の国際共同研究推進型の特別支援分の研究費により, 韓国のプラズマ農業研究者を令和 2 年 2 月 19-20 日開催の研究会に招聘する予定であったが, 新型コロナウイルスの影響により研究会への参加は実現しなかった. しかしながら研究代表者が, 韓国, 米国, 中国, 京都, 札幌で開催された国際会議で分担者と議論することで, 気液界面プラズマ科学分野における国際交流拠点の形成を推進している. さらに, 韓国とはプラズマ農業分野, 米国とはプラズマ医療分野における今後の共同研究への発展を念頭に入れた継続的な交流を行う予定である.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトを基盤に, 東北大学を拠点として, 東北地方の大学の研究者と台湾, 韓国, 中国の大学の研究者間での研究交流を継続して進める. また, 本プロジェクトの研究成果を元に米国の Prof. Michael Kong と議論し, 国際共同研究に発展している. 本プロジェクトで明らかになった生体に対するプラズマ中の活性種の効果解明に関する成果は, プラズマのライフサイエンス (医療, 農業) 応用という新しい研究領域の開拓に結びつき, 新しい医療機器や植物工場の開発等の今後の発展が期待される.

[4] 成果資料

- (1) Y. Kunishima, K. Takashima, and T. Kaneko, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, **58**, 060908-1-5 (2019).
- (2) K. Shimada, K. Takashima, Y. Kimura, K. Nihei, H. Konishi, and T. Kaneko, *Plasma Process. Polym.*, **17**, 1900004-1-15 (2019).
- (3) R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, T. Sato, and T. Kaneko, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 106002-1-6 (2019).
- (4) R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, T. Sato, and T. Kaneko, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, 040904-1-4 (2020).

採択番号：H30/A05

高い時間分解能と位置分解能を有する振動分光法の開発と デバイスへの応用

[1] 組織

研究代表者：

稲岡 毅 (琉球大学理学部)

通研対応教員：

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

片野 論 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

近年、固体材料や分子（以下、材料等）の高速の状態変化を利用した高速スイッチング素子等が注目され、固体材料においてはナノスケール化による材料物性の改善も活発に試みられている。このような研究開発においては材料等の状態をリアルタイムで計測できることが求められる。材料等は固有の振動エネルギーを有する事から、「振動エネルギーの計測」、すなわち振動分光はこのような目的に有効である。「振動分光法」は固体や分子の固有振動エネルギーを計測する手法に共通して用いられる用語であり、具体的には赤外吸収分光法やラマン分光法、高分解能電子エネルギー損失分光法（High Resolution Electron Energy Loss Spectroscopy, HREELS）などがよく知られる。材料等の振動エネルギーは「材料の指紋」とも呼ばれ、振動計測の結果から対象試料の同定や状態の判定が可能になる。このため、振動分光法は材料基礎科学から生命科学、あるいは材料探索からデバイス開発等にわたる幅広い理工学の研究・開発分野で必須の方法である。加えて、ナノ材料に適用するためには相応の空間分解能が、またトランジェントな状態変化を追跡するためには相応の時間分解能が求められる。本研究計画の目的は、サブナノメートル（原子レベル）の位置分解能とピコ秒の時間分解能を併せ持つ振動分光法を開発することである。具体的には、高い空間分解能を得るために走査トンネル顕微鏡（STM）発光分光をベースとした振動分光法を開発する。ピコ秒の時間分解能を得るために、STM発光分光とピコ秒レーザーを組み合わせる。振動分光法の観点から重要である選択則なら

びに振動分光から得られる振動物性情報を明らかにする。

研究計画の初年度であった昨年度は以下の2つの課題について研究を実施した。

(1) 選択則の決定：Ni(110)表面上に解離吸着した酸素 (O) 原子の電子状態の解明、

(2) 得られる振動物性情報の解明：Ni(110)表面に解離吸着した水素 (H) 原子の振動エネルギーを（レーザー）ポンプ-プローブ的な手法を組み込んだSTM発光分光により決定。

本年度はこれらをさらに発展させた。

具体的には(1)に関しては以下の進展があった。Ni(110)表面に O 原子を吸着させてできる Ni(110)-(2×1)O表面からのSTM発光スペクトルには O 原子の面内振動が現れる。我々は2018年度の本共同プロジェクト研究において、探針直下の局所状態密度 (LDOS) が振動に伴い変化すれば、STM発光スペクトルに（観測されたように）振動構造が現れることを理論的に予想した。これを確認するために第一原理計算を行った。Ni基板として21原子層のスラブを仮定して振動は断熱的に扱い、O原子を変位させた状態で構造最適化を行った。O原子のp軌道、各Ni原子のd軌道に射影された状態密度 (site-projected DOS、以下 spDOS) に注目し、O原子を変位させたときの spDOS の変化を解析した。上記のLDOSとして、本報告では spDOS を扱っている。

(2) に関しては、2つの重要な展開があった。一つはNi(110)表面に解離吸着したH原子のSTM発光スペクトルにも見られる「振動エネルギーを周期とする振動構造」の発生機構の解明である。今回はとくに、単電子チャージアップ系からのSTM発光で観測される周期構造の定量的な説明に成功した。もう一つの進展は探針直下の分子振動とSTM発光との結合理論に関するものである。我々はこのような系を取り扱う解析的な理論 (T. Inaoka and Y. Uehara, J. Appl. Phys. **122**, 085306 (2017).) を発表しているが、このような解析計算の理論は探針-試料ギャップの幾何形状が極めて単純な場合にしか有効でない欠点がある。この計算を（数値計算の手法である）有限差分時間領域法（以下 FDTD 法）で置き換えること

に成功した。この結果、任意形状の探針-試料系に対し振動が扱えるようになり、従来の手法では扱えないようなナノ突起を有する探針の特性の研究が可能になった。その結果、振動と STM 発光の結合強さは、突起の形状や材質を選択することにより、実験で観測されているレベルに到達することを見いだした。

(2) の課題について、令和元年8月31日、9月1日に通研対応教員と FDTD 計算の専門家である飯田氏が研究打合せを行った。(1) と (2) の課題について、令和2年2月9日、10日に研究代表者と通研対応教員が研究打合せを行った。令和2年2月20日の共同プロジェクト研究発表会では上記の成果の概要報告を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(1) Ni(110)表面上に解離吸着した O 原子の電子状態の解明

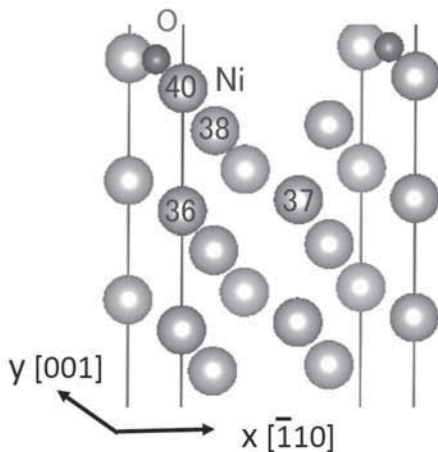


図1 Ni(110)-(2x1)O 表面の構造

Ni(110)-(2x1)O 表面は、図1のように、y方向[001]方向)に伸びる表面のNi原子鎖が一つおきに欠落して、x方向[1-10]方向)に2倍周期をもち、残存した表面Ni原子鎖のブリッジサイトにO原子が吸着した構造をとる。まず、Niの21原子層の両表面にO原子が吸着した構造で、構造最適化を行い、基底状態を求めた。次にフォノン振動を断熱的に扱うこととし、O原子の面内変位を考えた。y方向におけるO原子と40番のNi原子の距離を縮めて固定し、構造最適化を行った。40番Ni原子から見たO原子の高さは、基底状態では0.29Åであるが、y方向におけるO原子と40番のNi原子の距離を0.3Å縮めて構造最適化すると、0.71Åになる。O原子は、40番Ni原子に近付くと同時に、面直方向に持ち上がることになる。

O原子の p_x, p_y, p_z 軌道、および図1で番号付けされた各Ni原子の $d_{xy}, d_{yz}, d_{xz}, d_{x^2}, d_{z^2}$ 軌道に注目し、各原子の各軌道に射影された状態密度 (site-projected DOS、以下 spDOS) を解析した。基底状態と変位させた状態の spDOS を比較した。ここではとくに、変位の効果が顕著に現れた O 原子の p_y 軌道に射影された spDOS の結果を紹介する。STM 発光分光の実験では、探針を O 原子の真上に置くので、O 原子の p 軌道の spDOS がきわめて重要である。Ni は強磁性状態にある。図2の(a)は Majority spin、(b)は Minority spin の spDOS を示し、「no disp」は基底状態、「0.3 Å disp」は、y 方向での O 原子と 40 番 Ni 原子の距離を 0.3 Å 縮めたときの spDOS である。Majority spin、Minority spin のいずれにおいても、O 原子の変位により、フェルミ準位 E_F 付近で、ピークが高エネルギー側にシフトし、ピーク強度が著しく増大する。とりわけ Majority spin では、O 原子の変位により、ピーク位置が E_F に達する。ここには示さないが、40 番の Ni 原子の d_{yz} 軌道に射影された spDOS には、O 原子の p_y 軌道の spDOS に現れるピークと同じエネルギー位置にピークが現れ、O 原子の変位により、ピークが高エネルギー側

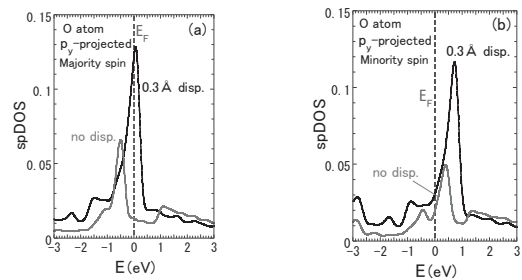


図2 O 原子の p_y 軌道に射影された状態密度 (a) Majority spin, (b) Minority spin.

にシフトする。これは、変位により、O 原子が 40 番 Ni 原子に接近すると、O 原子の p_y 軌道と Ni 原子の d_{yz} 軌道の間での混成が強まることを示すと考えられる。バンド分散を調べると、O 原子の変位によりシフトしたピークに対応するバンドが、 Γ 点付近に見出される。

さらに計算結果を蓄積して解析してから、論文を作成する。

(2) 周期構造を含む STM 発光スペクトルの理論解析

STM の試料-探針ギャップ間距離が (時間の関数として) 角周波数 ω_{vb} で周期的に変化する系を取り扱う理論を開発した。その結果、STM 発光スペクト

ルに $\hbar\omega_{\text{vb}}$ の周期を有する構造が現れることを発見した。結果の一例を図3に示す。

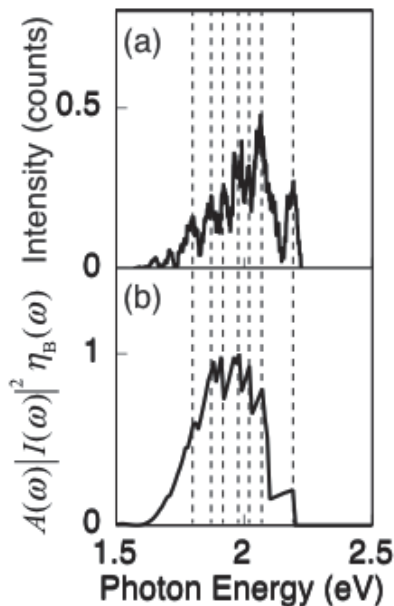


図3 Al酸化膜上のAuNPのSTM発光スペクトル。(a) 実験曲線、(b) 理論曲線。破線はガイド。

試料系は表面が薄い酸化膜 (AlO_x) に覆われた Al 基板上に置かれた Au のナノ粒子 (AuNP) である。この系では、Al- AlO_x -AuNP と AuNP-Vacuum-Tip の二重接合が形成され、単電子チャージアップ効果が観測されている。そのような試料位置に探針を固定した場合に得られる STM 発光スペクトルを図3(a)に示す。100 meV 程度の周期をもつ構造が含まれることがわかる。(b)は新たに構築した理論を用いて得られた理論曲線である(破線はガイド)。よい一致が得られている。周期構造をもたらしているのは AlO_x 層の 104 meV の周期の振動である。このような周期構造が STM 発光スペクトル中に現れる原因は AuNP の有限電子系の特性によることが新たに解明された。

今後、この知見を基に昨年度取り組んだ Ni(110) の H 吸着系の STM 発光スペクトルの周期構造をもたらす機構解明にも取り組む。H 原子の振動を第一原理計算で扱う試みも開始しており、Ni(110)-(2×1)H 表面(基板は Ni の 11 原子層)の基底状態が、すでに得られている。

FDTD 法による分子振動と STM 発光の結合

FDTD 法は電磁気計算において極めて有効な手法であることは良く知られている。電子トンネルにより励起される電流源からの放射としてモデル化が可能な STM 発光においても良く活用されている。

探針直下の分子への電子トンネルにおいては、この電流源は分子振動の周波数で空間的に振動し、分子振動と STM 発光の結合が起こることがわかっている (Inaoka and Uehara, 前出)。しかし、オリジナルの FDTD 計算においては、放射源は計算格子上に固定されているので、放射源の空間的振動は扱えない。飯田氏は修士課程に在籍時に FDTD 計算の枠組み内で空間的に放射源を振動させる方法を着想し、本共同プロジェクト研究で組織的な計算を行った。その結果、FDTD 法においても従来の解析計算と整合性がある結果が得られることが確認された。さらに、解析計算では取扱が困難な突起構造を有する探針における分子振動と STM 発光の結合強さは突起が無い場合に比較して、1桁程度増強されることを発見した。単純な形状の探針を仮定する解析計算では実験結果と比較して結合の強さが弱くなるが、FDTD 計算で任意の形状を扱うことにより、実験結果の結合の強さが再現できた。本研究の成果は” Y. Uehara, W. Iida, T. Inaoka, S. Iwaoka, H. Aoyagi, and S. Katano, Finite-Difference Time-Domain Analysis of Scanning Tunneling Microscope Light Emission from Vibrating Molecules”としての纏めが終わり、投稿段階にある。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究過程で述べたように振動分光は広い研究技術分野で欠かすことが出来ない計測方法となっている。本研究は、振動分光に従来に無い高い(原子レベルの)空間分解能と高い(ピコ秒の)時間分解能を与える試みであり、関連分野に大きな貢献をなし得ると考えている。

[4] 成果資料

当該年度の論文発表等はないが、上記のように、論文1編が投稿段階、1編が作成準備中である。

採択番号：H30/A06

汎用型量子系制御技術に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

福原 武

(理化学研究所・創造物性科学研究センター)

通研対応教員：

大塚 朋廣 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

山本 隆太

(理化学研究所・創造物性科学研究センター)

小沢 秀樹

(理化学研究所・創造物性科学研究センター)

兼村 厚範

(産業技術総合研究所・人間情報研究部門)

延べ参加人数：11人

[2] 研究経過

(2-1) 研究目的

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

そこで本研究では、複数の量子系に適用可能な汎用型量子系制御技術に関する研究を行う。具体的には、いずれの量子系においても、量子センサーや量子メモリの実現に向けて現在の課題となっている量子システムの制御について、機械学習等を用いた自動制御、最適化技術の開発を行う。機械学習を用いた量子系の自動最適化制御が可能になればデバイス

の自動キャリブレーション・自動メンテナンスが可能となり生産性、環境耐性、メンテナンス性の問題に対処することが可能となる。

(2-2) 研究概要

本課題は本年度が第2年度の実施であった。本年度も昨年度に引き続き、冷却原子や半導体量子ドット等の量子系について、自動制御、最適化技術の研究を実施した。

このための研究打ち合わせについては、

・2019年9月3日-4日、東北大学

参加人数7人、発表5件(うち1件招待講演)

・2020年2月21日、東北大学

参加人数9人、発表3件

の日程で行った。量子技術、機械学習技術に加え制御技術の研究者という異分野の研究者が東北大学電気通信研究所に集まり、最新の研究状況をもとに活発に意見交換がなされた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

1. 冷却原子系における最適化技術

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

昨年度、冷却原子で量子系を形成する過程で重要となる蒸発冷却について、実験パラメータをベイズ最適化の手法を用いて効率的に設定できることを示した。本年度は、このベイズ最適化法をより一般的な問題に適用できるように二つの課題に取り組んだ。

一つ目の課題は、異なる性質の問題に対して適用し、応用例を増やすことでパラメータ自動調整に関する知見を広げることである。その一例として、光格子(光で作成した周期的な構造)中の単一原子観測に取り組んだ。冷却原子はマイクロケルビン以下の超低温であり、光の散乱によって加熱され容易に壊されてしまう。これを克服するため、レーザーで

の冷却を行いつつ、そこで生じる光の蛍光を測定するという方法を用いる必要がある。この際、冷却を優先しすぎると蛍光が集められず、逆に蛍光の割合を多くしすぎると加熱により対象が壊れてしまう。また、レーザー冷却を行うためにも、いくつかの周波数のレーザー光を用い、それらの光パワーの割合も重要となる。レーザー光のパワーや周波数の7つのパラメータに対してベイズ最適化を用いた。蛍光測定では続けて2枚のイメージを記録し、1枚目のイメージの蛍光量を N_1 、そしてその500ミリ秒後に取った2枚目のイメージの蛍光量を N_2 として、 N_2^2/N_1 をスコアとした。これにより「蛍光量」と「冷却」の両方の要求を満たすように最適化を行うことができた(図1)。

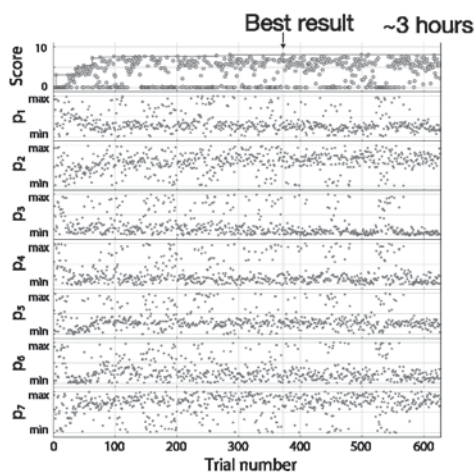


図1：単一原子観測に関する最適化。スコアと7パラメータの推移を示す。

二つ目の課題は、より多くのパラメータを自動調整する方法の探索である。多数あるパラメータの中から重要なパラメータを選び出す機構を取り入れるため、パラメータの感度解析を行った。感度の高い、すなわちパラメータの変化に対してスコアの変化が顕著な傾向にあるパラメータは重要であると考えられる。昨年度得た蒸発冷却の最適化の実験データをもとに解析を行ったところ、期待通り重要なパラメータと、関連度自動決定から得られた感度の間に一定の対応がみられた。一方で、重要なパラメータの中でも感度が低く出るものも存在しており、これについては引き続き研究を行っていく。

2. 半導体量子ドット系における最適化技術

冷却原子系において実証されてきたベイズ最適化手法等の機械学習手法を活用した実験パラメータの最適化について、半導体量子ドット系への適用についての研究を実施した。

まず半導体量子ドット系のシミュレータを活用す

ることにより、機械学習に使用可能な大量のデータを生成した。このデータに対して機械学習を実行することにより、半導体量子ドットの状態を推定する研究を行った。またこの推定結果を利用して、操作パラメータの最適化を実施することにより、ゲート電極電圧等の半導体量子ドット系の実験パラメータ最適化についての研究を実施した。これらの結果は半導体量子ドット系の自動制御・最適化技術として有用となるものである。

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

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの実施により量子技術の研究者と、機械学習技術の研究者という異分野の研究者の間にネットワークを構成し、継続的な議論をすることができた。これによりそれぞれの研究分野での現状の課題、またこれに対する異分野からのアプローチについて明らかになり、たいへん貴重な機会となった。これらの研究を推進していくことにより汎用型量子系自動制御、最適化技術の実現に貢献できると考えている。今後もこのネットワークを維持し、継続して研究を推進していくことを決定した。

[4] 成果資料

(1) Takeshi Fukuhara, “Towards quantum simulation of frustrated systems with ultracold atoms,” The 5th Conference on Condensed Matter Physics (CCMP2019), Liyang, China, 29 June 2019. (招待講演)

(2) Ippei Nakamura, Atsunori Kanemura, Takumi Nakaso, Ryuta Yamamoto, and Takeshi Fukuhara, “Non-standard trajectories found by machine learning for evaporative cooling of ^{87}Rb atoms,” Optics Express Vol. 27, pp. 20435-20443 (2019). (査読付き論文)

(3) 中村一平、兼村厚範、中曾拓、山本隆太、福原武、「ベイズ最適化に基づく ^{87}Rb 原子気体蒸発冷却の機械学習」、日本物理学会2019年秋季大会、岐阜大学、2019年9月11日

(4) 福良武、「冷却原子を用いた量子シミュレータの開発」、理研産総研理研-産総研 第5回量子技術イノベーションコア Workshop、秋葉原UDX、2019年12月2日

採択番号：H30/A07

光-スピン変換を利用した半導体中のスピン制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

石原 淳（東京理科大学理学部第一部）

通研対応教員：

金井 駿（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

辻本 学（筑波大学数理物質系）

北澤 豪（東京理科大学理学研究科：M2）

延べ参加人数：4人

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、本年度が2年目であった。研究体制は若手研究者で構成され、各研究者は光を使ったスピンダイナミクス測定、高周波磁場を使った電氣的スピンダイナミクス制御/測定、酸化単結晶成長といった各々が得意とする実験技術を有してい

る。本年度は、スピン高精度観測および光制御、スピン制御可能な半導体欠陥中心材料の開発を達成するために、それぞれの測定基盤となる光学系の構築とそれらを用いたスピンダイナミクスの観測、材料系の探索を中心に研究を展開した。

以下に研究活動状況の概要を記す。

・2019/7/30-8/1 参加人数2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。

・2019/8/28-8/30 参加人数2人

通研にて、光学測定系の構築とスピンダイナミクスの測定を行なった。研究経過について打ち合わせを行った。

・2020/2/17

通研附属ナノ・スピン実験施設で開催された研究会にて、本プロジェクト研究結果について発表した。

・2020/2/20

共同プロジェクト研究発表会でポスター発表を行った。

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

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に高移動度二次元電子のスピンダイナミクスを測定することで、電子スピンの外部磁場なしに歳差運動する様子を捉え、光励起キャリアが歳差運動周期に与える影響を明らかにした。図1(a)は高移動度二次元電子のスピンダイナミクスを時間分解カー回転法によって測定した結果である。励起密度を増加させると、スピン信号の振動が観測されなくなることが分かった。これは電子スピンの運動がバリスティック系から拡散系に変化しているためである。さらにシミュレーションによってこの励起密度依存性を再現した(図1(a)実線)。これらの結果から、励起密度の増加により電子の散乱レートがどの程度大きくなるかを定量的に示すことができた(図1(b))。

第二に、白色レーザー光源を用いて広範囲の半導体材料を測定可能な共焦点顕微鏡系を構築した。それ

を用いてスピンの光学検出と周波磁場制御に適したカラーセンター材料のスクリーニングを行った。また、半導体単体だけでなく、半導体と磁性体のハイブリッド構造におけるスピン制御を念頭に置き、パルスレーザーシステムによる磁化ダイナミクスの測定系の構築も行った。

本プロジェクト研究で得られた結果の一部は、電気通信研究所共同プロジェクト研究のテーマである「固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御」によって開催された研究会にて発表した。この研究会では、金属スピントロニクスから半導体スピントロニクスまで幅広い範囲で主にスピンのダイナミクスについての研究報告があり、活発な質疑、討論が展開された。このように研究者が一堂に会する場において討論できたことは今後の研究を進める上で貴重な機会となった。

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、パルスレーザーシステムによる磁化ダイナミクスの測定系の構築を進めることができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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ダイナミクスと光励起キャリア密度に対するスピン拡散係数の変化は半導体中での

スピンの利用や光制御に関する有意な知見となる。欠陥中心スピンに関しては、構築した光学系により、光学検出と周波磁場制御に適した材料が探索でき、欠陥中心スピンの研究の発展が期待される。また本プロジェクト研究と関連した内容の科研費(19KK0130)の採択にもつながった。

[4] 成果資料

- (1) J. Ishihara, G. Kitazawa, Y. Ohno, H. Ohno, and K. Miyajima, "Excitation density dependence of spin precession in zero external magnetic field in (001) GaAs/AlGaAs two-dimensional electron gas", 10th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH10), Chicago, USA, June 24-27, 2019.
- (2) 北澤豪, 石原淳, 大野裕三, 大野英男, 宮島顕祐, "GaAs/AlGaAs 量子井戸における高移動度二次元電子スピンのゼロ磁場歳差運動ダイナミクスの空間依存性", 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 18p-E216-5, 北海道大学札幌キャンパス, 2019年9月18日-21日.
- (3) 石原淳, "バリステック運動する二次元電子のスピン時空間ダイナミクス", 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御」, 東北大学電気通信研究所, 2020年2月17日.
- (4) J. Ishihara, G. Kitazawa, Y. Furusho, Y. Ohno, H. Ohno, and K. Miyajima, "Zero-field spin precession dynamics of high-mobility two-dimensional electron gas in persistent spin helix regime", Physical Review B (in press).

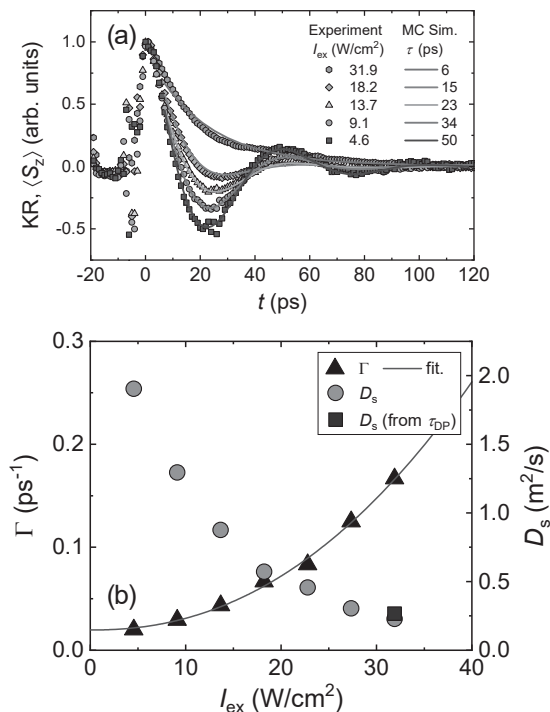


図 1 (a) 時間分解カー回転法によって測定した高移動度二次元電子スピンの時間発展とシミュレーション結果, (b) フィッティングより得られた散乱レートおよびスピン拡散係数の励起密度依存性.

採択番号：H30/A08

カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と 光電子物性の極限制御

[1] 組織

代表者：片野 諭

(東北大学電気通信研究所)

対応者：片野 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

Izabela Irena Rzeznicka (芝浦工業大学
理工学研究科)

荒船 竜一 (物質・材料研究機構)

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

Ridwan Pratama Putra (芝浦工業大学理工
学研究科)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

(2-1) 研究目的

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

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

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

(2-2) 研究概要

本課題は平成 30 年度に新規採択された研究課題である。初年度において、酸化グラフェン (GO) のナノ構造を STM で明らかにする研究と、GO の微視的な電子状態計測について成果があった。これらの成果に基づいて継続 2 年目の研究を行った。その結果、GO の還元状態と GO のシート構造を微視的に制御する研究、およびナノドメインに局在した GO の発光に関する研究について成果が得られた。以下、本年度に得た共同プロジェクト研究の成果について述べる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

GO は、原子平坦なグラフェンを水酸基、カルボキシル基、エポキシ基などの酸素官能基で修飾したカーボンナノマテリアルである。GO を還元処理することによりグラフェンに近い電子物性を取り戻すことが可能であり、GO を電界効果形トランジスタ、発光素子、バイオセンサーなどに応用することが期待されている。このような GO の電子物性や光物性は、グラフェンの π 電子共役構造が保持された導電性を有する sp^2 ドメインと、酸素官能基との結合により形成された絶縁性を有する sp^3 ドメインで構成される微視的な構造によって支配される。特に、 sp^2 ドメインのサイズや、その空間分布は、GO の電気伝導や発光色を決定すると考えられている。そのため、このようなナノドメインを直接評価することは、GO を次世代電子材料として利用するにあたり重要な課題の一つである。これまで GO の構造評価は、主に可視光をプローブとし

た Raman 分光を用いて評価されてきた。しかしながら、ここで得られる情報は、GO シートに多数存在する sp^2 ドメインの平均情報であり、一般的な光学計測により GO の不均一な構造と光電子物性を明らかにすることは困難である。

本年度、我々は原子レベルの空間分解能を有する STM を用いて GO の還元状態およびシート構造を微視的に制御することに成功した。さらに、数 nm 程度の空間に局在した GO の発光性ナノドメインの存在を STM 発光により明らかにした。ここでは、これら GO のナノスケール光電子物性について得られた成果について紹介する。

1. 酸化グラフェンの微視的な構造制御

光、熱、還元剤で GO を還元するとグラフェンシート上の酸素官能基が減少し、その結果 GO が高導電性や蛍光増大を示すことが知られている [Perrozzi *et al.*, *J. Phys.: Condens. Matter.* **27** (2015) 013002.]. 本項目では、STM の探針を用いたトンネル電子注入を利用して、GO の化学状態およびシート構造を微視的に制御した研究結果について述べる。

Au(111)基板上にオクタンチオール自己組織化単分子膜 (C_8S -SAM) を成膜し、その上に GO をスピコートして GO/ C_8S -SAM/Au(111)試料基板を得た [Katano *et al.*, *J. Vac. Soc. Jpn.* **60** (2017) 495.]. 作製した試料基板を速やかに超高真空装置 (真空度: 3×10^{-10} Torr) に導入し、室温にて STM 計測を行った。

C_8S -SAM/Au(111)基板上に GO を吸着させた表面の STM 像を図 1(a)に示す。GO の高さは 1.0 nm 程度であり、これまでの報告と一致した。GO 上で STS スペクトルを計測すると sp^2 ドメイン由来の π および π^* 準位のピークが観察され、このような不飽和結合に由来する電子軌道の出現は、以前に我々が報告した

論文の結果と一致する [Katano *et al.*, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20** (2018) 17977.]. π 準位と π^* 準位のエネルギー差 ($\pi-\pi^*$) に相当するエネルギーギャップの大きさは測定場所によって異なり、これは異なる大きさの sp^2 ドメインがシート内に共存するためである。3 V の電圧を印加しながら GO 上を STM スキャンすると、 $\pi-\pi^*$ エネルギーギャップが増加もしくは減少することがわかった。このようなエネルギーギャップの変化は、酸素官能基脱離による sp^2 ドメインのサイズ変化に起因する。さらに高い電圧 (4 V) を印加すると GO シートが消失することがわかった (図 1(b) と 1(c))。これはトンネル電子注入によって炭素骨格が切断され、GO シートが分解脱離したためである考えられる。

2. 酸化グラフェンのナノスケール発光計測

GO を還元処理するとグラフェンシートに接続された酸素官能基が減少し、可視光領域で GO が蛍光を示すことが知られている [Loh *et al.*, *Nature Chem.* **2** (2010) 1015.]. 還元度によって発光色が変化する興味深い性質を有することから、GO をディスプレイなどの光デバイスに応用する研究が盛んになされている。光物性に強い影響を及ぼす sp^2 ドメインの大きさや形状は、還元処理によって大きく変化する [Chien *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **51** (2012) 6662.]. 本項目では、GO の発光に関わるナノドメインを STM 発光計測により特定した研究結果について述べる。

404 °C でアニール処理された単層 GO の STM 観察を行った。高さプロファイルの解析から、アニール処理された単層 GO の厚さは 0.3~0.6 nm 程度であることがわかった。一方、室温で吸着させた未処理の単層 GO は、1 nm 程度の厚さであった [Katano *et al.*, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20** (2018) 17977.]. このようにア

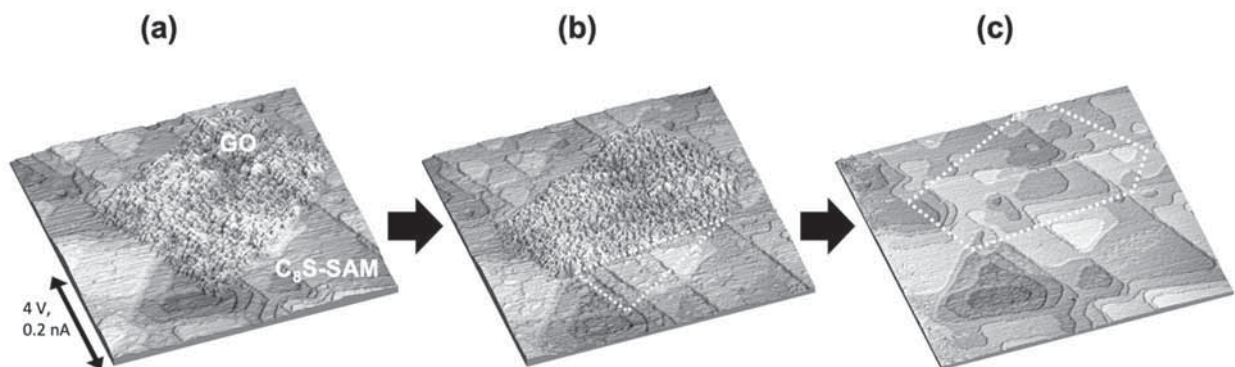


図 1: (a) An STM image of the GO on C_8S -SAM/Au(111). (b) and (c) The demonstration of the STM-tip-induced resize of GO. (b) The GO sheet was partially disappeared when we scanned the indicated area with the high voltage ($V_s=4.0$ V, $I_t=0.2$ nA). The rest of GO was further removed by the additional 4 V scanning as shown in (c). Scanning condition: $V_s=1.0$ V, $I_t=0.2$ nA. Scanning area: 500 nm \times 500 nm.

ニール処理によって GO の厚さが減少した理由として、熱還元による酸素官能基の脱離が挙げられる。次に、この熱還元された GO の STM 発光計測を行った。サンプルバイアス (V_s) が 1.6 V を越えると GO シート内の一部の領域から強い発光が観測された。このような発光は未処理の GO では観測されず、熱還元によって GO が発光性となることがわかった。 V_s を 1.6 V に固定して STM 発光のマッピング計測を行ったところ、数 nm の領域に局在した発光を観測することに成功した。このような STM によるナノスケール発光計測により、GO 内部に局在した発光性の sp^2 ドメインを直接同定することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
発光に関わるナノ特異点の同定により、カーボンナノマテリアルを用いたより高効率な光素子、例えば極小サイズの光通信光源や高感度光検出器等の実現や発展が期待される。さらに GO は、安価で大量合成が可能であり、さらに生体分子との融合性が高く応用研究への見通しがよい。GO 物性の微視的理解は、微量試料で多種の生体分子検出が要求される高感度バイオセンサーの実現にも必要不可欠である。本研究の波及効果は電子デバイス材料の基礎研究の枠に留まらず、今後の研究発展が期待される。

[4] 成果資料

(1) S. Katano, T. Sasajima, R. Kasama, T. Iwahori, and Y. Uehara, "Nanoscale Study of Luminescence from a Thermally-reduced Graphene Oxide", *21st International Vacuum Congress*, Clarion Hotel & Congress Malmö Live, Malmö, Sweden, 7月4日 (2019).

(2) T. Iwahori, R. Yamazaki, T. Sasajima, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano, "Plasmon-enhanced Photoreaction using Ag Nanocube Array", *27th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM27)*, Hotel Laforet Shuzenji, Shizuoka, Japan, 12月5日-7日 (2019).

(3) S. Katano, "Nanoscale Optical Analysis of a Single Molecule and Nanocarbons Using Scanning Tunneling Microscopy", *Department Research Seminar*, Shibaura Institute of Technology, Saitama, Japan, 1月31日 (2020).

(4) 片野諭, "走査トンネル顕微鏡で探るナノ構造体の光物性", コヒーレント波に基づく学際的前端科学技術の創成～東北大学-静岡大学合同サマーセミナー, 東北大学電気通信研究所, 8月29日 (2019).

(5) 岩堀健, 山崎良太, 笹嶋匠, 水野文菜, 小野篤史, 上原洋一, and 片野諭, "銀ナノキューブアレイ上に吸

着した高分子の光・熱反応", 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学札幌キャンパス, 9月18日 (2019).

(6) 片野諭, 魏壽, and 上原洋一, "走査トンネル顕微鏡による酸化グラフェンの微視的な化学反応", 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学札幌キャンパス, 9月19日 (2019).

(7) 片野諭, 岩堀健, 山崎良太, 水野文菜, 小野篤史, and 上原洋一, "金属ナノキューブによる高感度 Raman 分光", 東北大学理研第1回連携ワークショップ テラヘルツ光研究の新展開と産業応用への展望, 東北大学青葉山新キャンパス, 10月23日 (2019).

(8) 片野諭, "ナノカーボンのナノスケール光物性", 「コヒーレント波に基づく学際的前端科学技術の創成」冬季研究会, 静岡大学高柳記念未来技術創造館, 浜松市, 12月25日 (2019).

(9) 片野諭, 岩堀健, 山崎良太, 笹嶋匠, 水野文菜, 小野篤史, and 上原洋一, "単層銀ナノキューブアレイのナノ構造解析と表面増強ラマン散乱分光", 第67回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 東京, 3月14日 (2020).

(10) 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 (2020) in press.

採択番号：H30/A09

量子デバイスと情報科学アプローチの融合に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

志賀 元紀 (岐阜大学工学部)

通研対応教員：

大塚 朋廣 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

野村 和矢

(岐阜大学大学院自然科学技術研究所)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

(2-1) 研究目的

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

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

(2-2) 研究概要

本研究課題は本年度が2年目の実施となった。昨年度に引き続き、量子デバイスにおける電荷状態データ解析のための手法の開発を実施した。具体的には、量子デバイス中の電化状態変化点をより少ない試行回数で探索するためのベイズ最適化アプローチの研究を実施した。また半導体量子センサーに対する情報科学アプローチの研究を行い、量子ドットセンサー信号等の解析を実施した。

これらの研究を実施するにあたり、東北大学電気通信研究所大塚研究室での研究打ち合わせ、および研究会(令和2年2月21日)への参加を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

1. ナノ量子デバイスにおける電荷状態データ解析のための手法の開発

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

開発手法の性能を検証するために実データを模擬するシミュレーション環境を用いた数値実験を行っ

た。探索すべきパラメータ探索空間の次元を2次元として、2つの離散的な状態を仮定した。図2はその一例である。2つの離散状態は橙色と青色で示される2つ領域に分けられており、その境界線は非線形である。本問題設定において、各探索点における離散状態が未知であり、離散状態の境界線をできるだけ少ない観測で正確に推定することを目標としている。開発法を用いて自動探索し、探索の途中である、10回目の探索後の状態を図2(a)、20回目の探索後の状態を図2(b)に示した。図中の丸印は探索後の地点を示し、丸印の色は推定された状態を示す。赤丸は、開発法が提示している次に探索すべき点を示す。また、白線は開発法で推定された状態の境界線である。これらの結果から探索回数が増えるにつれて境界線が正しく同定されることが分かる。また、探索点は境界線に近い領域に集中しており、境界線を正確に同定するために無駄のない探索を行っていることが示されている。これらの研究成果を東北大学電気通信研究所の共同研究プロジェクト発表会でポスター発表し、関係者と議論を行った。

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

(a) 半導体量子デバイス (b) 電荷状態計測

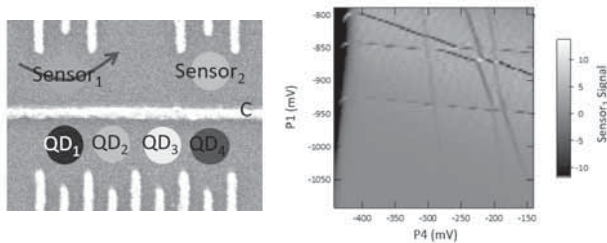


図1: 半導体量子デバイスの状態計測

(a) 探索地点数 10 (b) 探索地点数 20

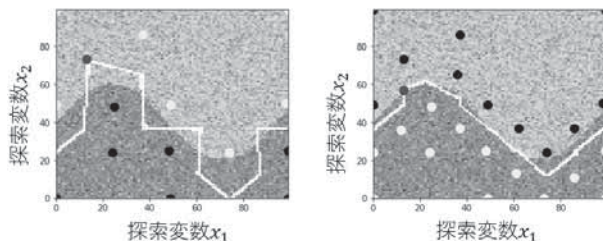


図2: ベイズ最適化による変化境界の効率的な探索
丸印は観測済みパラメータ値、丸の色は推測された状態、白線は推測された境界線を示す。

2. 半導体量子センサーに対する情報科学アプローチ

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

そこで本研究では半導体量子センサーに対して、情報科学手法の適用を進めた。昨年度、ノイズの入った測定データの解析について、ベイズ確率を取り入れた新しい解析手法を開発しその動作を確認したが、本年度はこの解析手法のノイズ依存性の詳細を調べた。この結果、量子センサーの電荷状態によってノイズレベルが変動する場合に、特に新手法が有効であることが示された。これにより半導体量子センサーの電荷検出精度、速度を向上させられることが分かった。

今後は時系列測定データのさらなる推定精度と速度の改良を目指して、最適なモデル構築を継続する予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

量子技術と情報科学のそれぞれの研究分野の特色を活かして有意義な共同研究ができることを確認し、共同研究を継続していくことを決定した。

[4] 成果資料

- (1) “Informatics Approaches in Quantum Devices”, Kazuya Nomura, Motoki Shiga, Tomohiro Otsuka, RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, 仙台、2020年2月20日 (ポスター)
- (2) 「固体微細構造マイクロプローブ計測へのデータ科学手法応用」、大塚朋廣、永安修也、中島峻、Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健太、野入亮人、Sen Li、伊藤匠、樽茶清悟、日本表面真空学会関東支部講演大会、東京、2019年4月13日 (招待講演)

採択番号：H30/A11

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

[1] 組織

研究代表者：

丸山 珠美 (函館工業高等専門学校)

通研対応教員

未松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

佐藤 弘康 (東北大学大学院工学研究科)

Andrea Massa (Trento University, Italy)

大宮 学 (北海道大学)

大倉 義孝 (株) エスイーシー

大野 寿紗 (函館工業高等専門学校)

小坂 侑司 (函館工業高等専門学校)

延べ参加人数：11 人

[2] 研究経過

5G のサービス開始に伴い、自営網として 28GHz 帯が使用可能となるなど、高い周波数における電波伝搬環境の改善はますますその需要を増している。本研究では、ドローンなど移動体 IoT が探索対象に近づくにつれてコントローラからの電波が届きにくくなり、もっとも必要となる場所において、通信できなくなる問題の解消と、全ての“物”がスマートフォンのように通信することによっておこる電力不足の解消を目的とし、メタサーフェスにダイオードを装荷し電波の放射方向をアクティブにコントロールすること、および、ワイヤレス電力伝送によるエネルギーハーベストをビーム制御用ダイオードの動作に応用するための研究を行った。本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。

前年度は、移動体 IoT のためのリフレクトアレーのアクティブ化として、以下のことを明らかにした。
(a) ビーム走査方法の確立: ダイオード装荷によってビームスイッチ可能なメタサーフェスの試作と測定を行い、解析結果と測定結果が良く一致することを

明らかにした。

(b) アクティブ素子の給電回路の設計: ダイオードの内部キャパシタンスおよび内部インダクタンスを東北大学のインピーダンスアナライザを用いて測定し、使用する周波数におけるダイオード On 時、Off 時の、インダクタンス成分、キャパシタンス成分を明らかにするとともに、選択したダイオードが所望周波数において良好に動作していることを確認した。本結果を踏まえて、アクティブ素子装荷メタサーフェスをアンテナに近接したときの放射指向性を測定し、ビームの切り替えがうまくいっていることを確認した。

(c) 最適設計法: PSO を用いた 2 周波共用リフレクトアレーの最適設計を行った。その結果、提案手法により、通常の反射位相だけでなく反射振幅も同時に最適化できることを明らかにした。

(d) エネルギーハーベスト: ダイオードの On/Off の切り替えをワイヤレス電力伝送で実施し、これによりパッチアンテナのインピーダンスと指向性を変化できることを明らかにした。

今年度は、前年度の成果を踏まえながら以下の研究を実施した。

(a) ビームスイッチのためのダイオード装荷メタサーフェスの試作を実施し、回路設計に脆弱な部分があることを発見しそれを解決する新たな設計方法を検討した。

(b) 実装ダイオードによってビームをスイッチするリフレクトアレーを国際会議 ICEAA IEEE AWPC 2019 で報告した [2]。

(c) 電子レンジや Wi-Fi からわずかに漏れる電波を整流し電力に変えるエネルギーハーベストにおいて八木宇田アンテナの原理を応用し、無給電素子に電波を伝搬させることで電力伝送距離を大きくできること、この結果をメタサーフェスのダイオードの操作に応用できることを明らかにし国際会議 International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2019 [2] で報告した。

メタサーフェスをダイポールなどオムニ指向性アン

テナの近傍に設置することにより、ワイヤレス電力伝送効率を高くできることを明らかにし国際会議 IEEE ICECOM 2019 で報告した [8]。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- (1) 2019年6月6日～8日 第一回打合せおよび試作測定
 於) 東北大学にて
 参加者) 末松先生、陳先生、佐藤先生、本良先生、丸山 5名
 内容) ダイオード実装メタサーフェスの試作、測定を実験室および電波暗室において実施し、測定方法、試作方法、測定結果、問題点、改善案について打合せを実施した。ダイオードのON/OFFによって放射方向の向きを変えた2種類の測定を行った。しかし、測定中に試作品が故障したため、再試作後、改めて測定することとした。
- (2) 2019年6月10日～11日 第二回打合せ
 於) 北海道大学にて
 参加者) 大宮先生、丸山 2名
 内容) 北海道大学で行われたWPT研究会で本研究プロジェクトの成果を発表した[4]のうち、大宮先生と打合せを実施し、前年度の成果のPSOを用いた2周波共用メタサーフェスの最適設計について論文・レター投稿をどうするかについて相談し、電子情報通信学会のオープンアクセス論文などを利用することなどを話し合った。また、今後の最適計算方法について相談した。
- (3) 2019年7月22日～26日 第三回打合せおよび試作測定
 於) 東北大学にて
 参加者) 末松先生、陳先生、佐藤先生、本良先生、丸山 5名
 内容) ダイオード実装メタサーフェスの試作、測定を実験室および電波暗室において実施し、測定方法、試作方法、測定結果、問題点、改善案について打合せを実施した。その結果、今の設計の場合、一つのチップ抵抗のはんだ不良が、アレーを構成する全てのダイオードに流れる電流の値を変えてしまい、特性の影響を与えるということがわかった。そこで、改善案について打合せを実施し、(a)全てのダイオードにチップ抵抗をつける方法、逆に(b)チップ抵抗の数を減らし不具合を起こす確率を減らす方法、などについて打合せで議論しながら設計の指針を決定した。またその結果を再度試作し、測定することとした。
- (4) 2019年10月27日 第四回打合せ

於) 西安 (中国)

参加者) 陳先生、大宮先生、佐藤先生、丸山 4名

内容) 西安 (中国) で行われた2つの国際会議 International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2019 (ISAP2019) [2]、および(AWPT 2019) [7]に参加し、それぞれの会議において、本研究プロジェクトの成果を発表したのうち、陳先生、佐藤先生と、今後のメタサーフェスの測定計画について打合せを実施した、また大宮先生と今後の最適計算の進め方について打合せを実施した。

- (5) 2019年11月27日 第五回打合せ
 於) パシフィコ横浜にて
 参加者) 末松先生、丸山 2名
 内容) マイクロウェーブ展2019の大学展示において本プロジェクトの成果を展示し、末松先生に八木宇田アンテナの原理を応用したエネルギーハーベストに関する研究の進捗状況を報告した。
- (6) 2020年2月18日～27日 第六回打合せ
 於) 東北大学電気通信研究所にて (電子メールも利用)
 参加者) 末松先生、本良先生、陳先生、佐藤先生、大宮先生、丸山 6名
 (末松先生は外国出張中のため電子メールも利用した。)
 令和元年度電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会ポスター発表の内容に関する打合せ、および、令和2年度の申請書に関して打合せを実施した。

[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。

(1) メタサーフェス

ダイオードを実装しその On/Off を切り替えて最大放射方向を変化するメタサーフェスの試作と測定の結果を査読付き国際会議 IEEE APWC2019 で報告した [1]。

(2) エネルギーハーベスト

空中に存在する Wi-Fi や移動通信用の電波をワイヤレス電力伝送によって電力に変換しダイオードセンサーなどを動作させることによる IoT の普及によって懸念される電力不足の解消が期待できる。しかし、これら空中の電波は微弱であるため波源に極めて近接させたところでしかダイオードを動作させることができなかった。そこで本研究では八木宇田アンテナの導波素子が無給電素子であっても電流が流れる

ことを応用して、複数の無給電素子をアレー配置することにより波源から離れた複数の素子に電力を伝搬させLEDを点灯できることを明らかにした。また各素子に装荷したLEDを一つ点灯させるよりも複数のLEDを同時に点灯させた方が遠くのLEDを点灯できる興味深い現象が起こることを明らかにした。本結果を査読付き国際会議 ISAP2019[2]およびワイヤレス電力伝送研究会[3],[4]で報告した。次に、これら複数の素子から得られる電力を集約する方法について検討を行った。各素子から得られる電力を集約するために素子を直列に配列すると、ダイオードの電圧降下が発生しLEDは点灯しなくなってしまう。一方各素子を並列に配列した場合は、電圧降下が発生せず、各素子に流れる電流をその和で集約できるため、並列接続の方がすぐれていることを明らかにした。また素子を並列に接続することによって、各素子は八木宇田アンテナとは異なる線路結合給電アンテナの特性になることを示した。本結果をワイヤレス電力伝送研究会[5]と、電子情報通信学会[6]で報告した。また、このレクテナアレーを用いてモーターを回転させ、電気自動車(EV)の模型走行中自動給電を行った結果を、国際会議AWPT2019で報告した[7]。これらの結果を、(1)のメタサーフェスのビーム走査用ダイオードのOnとOffの切り替えを、ワイヤレス電力伝送で実現することに応用できる可能性があるため、今後さらに検討する予定である。

(3)メタサーフェスを応用したワイヤレス電力伝送マイクロ波を用いたワイヤレス電力伝送において、送電用のアンテナと、受電用のアンテナの放射方向が正対していない場合に、メタサーフェスをアンテナに近接し、その最大放射方向を変更することによってワイヤレス電力伝送効率を高くすることが可能となることを明らかにし、その結果を査読付き国際会議IEEE ICECOM 2019 [8]と、ワイヤレス電力伝送研究会[9]でそれぞれ報告した。

(特別支援国際に係る研究成果)

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

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献
本研究は昨年度まで、モバイルIoTなどの電波環境改善のため、メタサーフェスを応用したリフレクトアレーを適用できるようにすることを中心として実施していた。今年度はワイヤレス電力伝送によるダイオードのスイッチの実現、ワイヤレス電力伝送へのメタサーフェスの応用について研究成果を出すことができた。この結果、本研究は、電波環境改善だ

けでなく、IoTの電力不足解消にも応用できる発展性があることを明らかにした。5G導入に伴うIoTの普及により、本研究の扱う、電波環境改善とIoT用電力不足の解消は、ますますニーズが高まると予想される。このため、本研究の波及効果と発展性は非常に大きい。

[4] 成果資料

- [1] Tamami Maruyama, Kosei Ozeki, Noriharu Suematsu, Hiroyasu Sato, Mizuki Motoyoshi and Manabu Omiya : “Analysis and Measurement of Diode Mounting Meta-surface for Reflection Beam Control,” ICEAA IEEE AWPC 2019, pp. 349-352, 2019.
- [2] Tamami Maruyama : “Energy Harvesting Rectenna Applying the theory of Yagi-Uda Antenna,” the International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2019 . vol.1, No. 607, 2019.
- [3] 丸山珠美 : “アレーアンテナの原理を応用したエネルギーハーベストに関する研究,” 信学技報, Vol. 119, No. 11, WPT2019-3, pp. 13-15 2019 4月.
- [4] 丸山珠美 : “八木宇田アンテナを応用したエネルギーハーベスト用レクテナの解析,” 信学技報, vol. 119, no. 74, WPT2019-19, pp. 47-50, 2019年6月.
- [5] 丸山珠美 小坂 侑司: “ワイヤレス電力伝送効率のためのレクテナアレーに関する研究,” 信学技報, vol. 119, no. 379, WPT2019-173, pp. 125-127, 2020年1月.
- [6] 丸山 珠美 小坂 侑司: “八木宇田アンテナ応用によるワイヤレス電力伝送効率,” 電子情報通信学会総合大会2020.
- [7] Tamami Maruyama and Yuji Koita : “Design and analysis of EV running using WPT on microwave guide with slot for snow melting,” AWPT2019, FP-13, 2019.
- [8] Tamami Maruyama, Q. Chen, and N. Suematsu : “Applied Reflectarray based on Metasurface for Wireless Power Transmission Efficiencies,” IEEE ICECOM 2019.
- [9] 丸山珠美: “ワイヤレス電力伝送効率のためのメタサーフェス応用に関する研究,” 信学技報, vol. 119, no. 333, WPT2019-44, pp. 1-4, 2019年12月.

採択番号：H30/A12

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

[1] 組織

研究代表者：吉本 直人
 (公立千歳科学技術大学理工学部)
 通研対応教員：尾辻 泰一
 (東北大学電気通信研究所)
 研究分担者：岩月 勝美
 (東北大学電気通信機構)
 伊藤 悠太
 (公立千歳科学技術大学)
 長畑 雄大
 (公立千歳科学技術大学)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

人口知能 (AI) 技術を用いて多様なデータを活用する Society5.0 時代を見据え、低レイテンシーでかつリアルタイム性の高い IoT ネットワーク基盤の実現が期待されている。また、実サービスにおいても、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、IoT ネットワーク基盤のリアルタイム性の要求が高まっている。しかしながら、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、これまで有線 (光ファイバ) と無線アクセスと異なる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課題があった。前年度では、図1に示すように、IoT ネットワーク基盤を海中まで拡張した次世代無線アクセスとして、海中における光無線アクセスと 5G/beyond-5G を想定した陸上における次世代無線アクセスとの融合ネットワークを提唱した。このネットワークを実現するために、本研究では、近年進展著しいミリ波・テラヘルツ波帯光・電子集積デバイスを用いることにより、海中においても無線伝送媒体に依存せず全体最適化された通信方式によって、伝送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。

一般に海中では電磁波は吸収され、情報の伝達が困難である。唯一、波長の長い音波が実用化さ

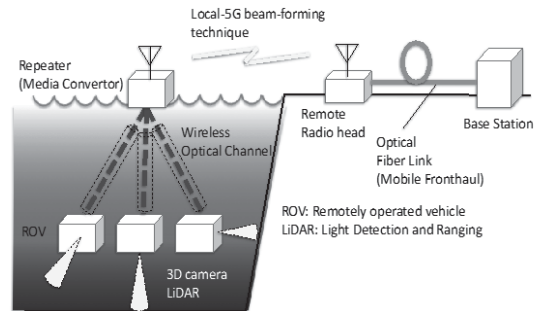


図1 5G/beyond-5G 無線ネットワークと融合した水中 IoT ネットワークのイメージ図

れているが、映像や画像などの多くの情報量が必要な通信には適さない。一方、光波を用いる光無線通信では、青色光 (波長 450nm 近傍) 帯域に最も水の吸収の影響が少ない透過領域がある。そこで、青色発光光源 (LD あるいは LED) を用いることを前提として研究を進めることとした。これによって、光の持つ大容量性を維持しつつ、海中においても伝送距離を確保することが期待できる。

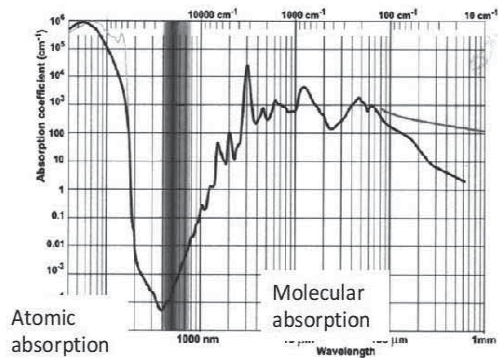


図2 海中における吸収スペクトル

以下、研究活動状況の概要を記す。

・6月14日

東北大学にて研究会合を実施した。前年度の成果と、最近の 5G/beyond-5G の研究動向に関する情報交換を行い、今年度の研究課題の絞り込みを行った。

・7月8日

公立千歳科学技術大学にて研究会合を実施した。公立千歳科学技術大学における今年度の研究計画概要 (研究到達目標とスケジュール) を説明した後、今後のアクションアイテムについて議論し、合意形成を行った。

- ・9月12日
両大学間で Skype 会議による進捗状況確認を行った。
- ・10月14日
千歳市ホテルグランテラスで行われた Chitose International Forum on Photonics and Technology 2019 に本プロジェクトの成果の一部を発表した。
- ・2月20日
東北大学にて行われた共同プロジェクト研究発表会にて、今年度の研究成果について、ポスター発表を行った。(諸用のため、発表会には参加できずポスター掲示のみ)
- ・3月16日
Web 会議形式で行われた「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究」に関する研究会(犬竹先生:東北大学共同プロジェクトテーマ)において、Aqua LAN(ALAN)コンソーシアムでの活動を中心に水中光センシング・水中光通信に関する最近の取り組みを紹介した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、水中における IoT サービスエリアを推定するために、光無線リンクの伝搬特性を評価した。光源は、経済性を考慮して LED とし、出力は 100 mW ~10 W とした。水質は沿岸部相当として減衰係数 0.4 m^{-1} とした。LED 出力光の放射角は 1.25 度、受光径は 100 mm とした場合の、伝送距離と受信光強度を図 3 に示す。

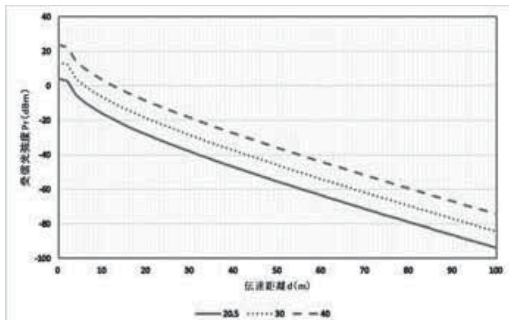


図 3 伝送距離と受信光強度との関係

想定されるサービスを沿岸域における養殖業の生簀の観察や、水中構造物の検査・監視とした場合、必要とされる伝送距離は 10 m 程度であるため、十分市販の受光器を利用できると考えられる。ただし、100 m 程度に伝送距離を拡張する場合、MPCC 等の高感度な受光器が必要となる。

第2に、片方向型のイーサネット伝送方式を検討し、その基本動作を確認した。理由として、光軸調整の簡便化と光部品点数削減の観点から、水中から水上に向けての片方向通信路方式を採用

した。図 4 にその構成図を示す。

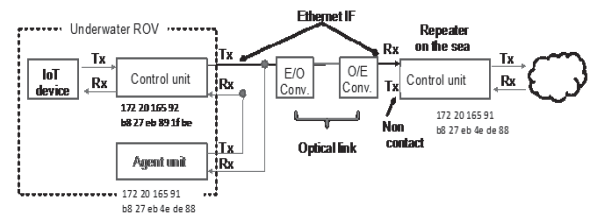


図 4 片方向イーサネット方式の構成図

イーサネットのリンク確立を実現するためには、双方向が前提となっている通信プロトコルが機能するようにしなければならない。そのため、送信側(水中側)に代理の送受信器を設置して通信プロトコルが通常に動作するようにした。また、代理装置の MAC アドレスをソフトウェア上で書き換え、受信装置の MAC アドレスを同様にした。イーサケーブルは、送信信号のより対線を 2 分岐にすることによって、データが受信側(水上側)に伝送できるようにした。図 5 に、パケットアナライザである Wireshark を用いてプロトコルの挙動を示す。アドレス解決プロトコル (ARP) も正常に動作し、送信側(IP アドレス:172.20.165.92) から受信側 (IP アドレス:172.20.165.91) に UDP プロトコルをベースとしてデータが伝送されていることが確認できた。

```

16 33.035.. 172.20.165.. 172.20.165.. UDP 60 44455 -> 60000 Len=8
17 36.038.. 172.20.165.. 172.20.165.. UDP 60 44455 -> 60000 Len=8
18 36.618.. Raspberr_4.. Raspberr_3.. ARP 60 Who has 172.20.165.91? Tell 172.20.165.92
19 36.621.. Raspberr_4.. Raspberr_3.. ARP 60 172.20.165.92 is at b8:27:eb:4e:de:88
20 39.042.. 172.20.165.. 172.20.165.. UDP 60 44455 -> 60000 Len=8
21 42.045.. 172.20.165.. 172.20.165.. UDP 60 44455 -> 60000 Len=8
22 45.048.. 172.20.165.. 172.20.165.. UDP 60 44455 -> 60000 Len=8
    
```

図 5 Wireshark によるプロトコルの挙動

第3に、前述の片方向イーサネット方式によって、実際にビデオ画像を伝送し、サーバにアップロードを行った。図 6 にその実験系を示す。

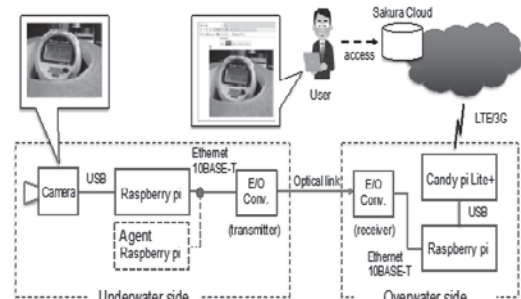


図 6 遠隔ビデオ画像モニタリングの伝送実験系

水中では障害物などがあり、パケットエラーが頻発することが予想されるが、画像モニタリングのリアルタイム性を確保するため、エラーによる再送制御は行わず、欠落部分は黒塗りの画像を表示

することとした。この結果、数秒の遅延はあるものの、撮影した画像をクラウドサーバにアップロードが出来、それを遠隔からスマートフォンやタブレット端末によって確認できることを示した。

第4に、このネットワークの発展型として、複数の水中拠点と複数のサービスが重畳されることを想定し、マルチアクセス方式の検討を行った。検討のベースとして、地上の光アクセスサービスシステムとして広く普及している Passive Optical Network (PON) 方式を採用した。

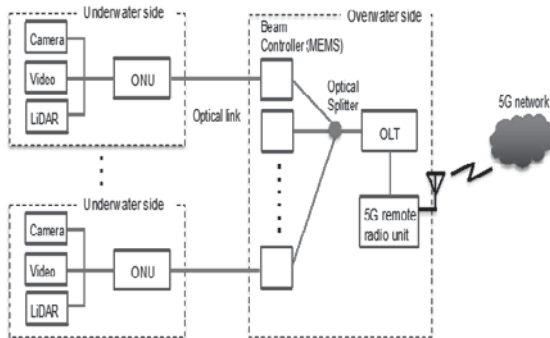


図7 PON方式を適用した多元水中アクセスネットワーク構成

図7に、PON方式を適用した複数拠点に対して複数のサービスが提供可能な水中アクセスネットワークの構成図を示す。5G/beyond-5G 無線アクセスネットワークのRRH (Remote Radio Head) と Optical Line Terminal (OLT) が接続されている。光スプリッタにより、信号が合分岐され、それぞれ MEMS 等の光ビーム制御機能を有した光送受信部を介してそれぞれの Optical Network Unit (ONU) との間で光無線リンクを形成する。

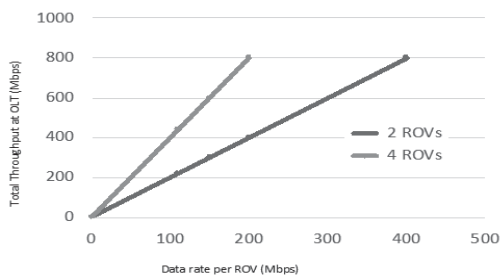


図8 システム全体のスループットに関するシミュレーション結果

図7で示したシステム構成の拡張性を検討するため、NS-2 によってシステム全体のスループットを解析した結果を図8に示す。1G の伝送容量を有する Giga-bit Ethernet PON (GE-PON) を想定した場合、4 台の ONU では、200 Mbit/s までデータを取り扱うことが可能である。これは、4K カメラ画像と非圧縮の 4K ビデオ動画をリアルタイムにモニタリングすることが可能なことを示している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは、IoT 時代におけるアクセスネットワークの最後の未提供領域である海中までのネットワーク化を扱っている。これは、これから始まる次世代無線アクセス 5G/beyond-5G の適用領域を広げるという意義もある。また、そのネットワークの構成要素であるデバイスにおいても、可視光デバイスと OLT と 5G unit との間には、マイクロ波・ミリ波帯電子デバイスとの融合・集積技術が必要とする。したがって、ネットワーク技術からデバイス技術まで、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、今後新しい研究領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待されている。

■国際会議、シンポジウムへの発展

・4月に開催される第8回 International Conference on Light-Emitting Devices and Their Industrial Applications (LEDIA2020) に招待講演を依頼されている。IoTの世界を水中広げることができる意義をアピールできる。

■研究者ネットワークの拡大として、Aqua LAN コンソーシアムを通じて、水中関連のエンジニアと交流を図ることができた。

[4] 成果資料

[1] Y. Itoh, Y. Nagahata, H. Okuzawa, S. Takahashi, and N. Yoshimoto, "Unidirectional Ethernet-based Optical-wireless transmission system for underwater IoT services," 20th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology, P-26, pp.65-66 (2019).

[2] 伊藤悠太, 長畑雄大, 奥澤宏輝, 高橋成五, 鈴木謙一, 吉本直人 "水中光無線通信による遠隔リアルタイムビデオモニタリングシステムの構成法に関する検討," IEICE 全国総合大会, B-10-25, 2020

[3] 奥澤宏輝, 高橋成五, 鈴木謙一, 佐藤典彦, 吉本直人, 伊藤悠太, 長畑雄大, "水中モニタリング向け光無線通信システムの評価," IEICE 全国総合大会, B-10-24, 2020

[4] N. Yoshimoto and Y. Yamabayashi, "Next-generation Optical Access Network Technology Expanding Internet of Things (IoT) World," The Review of Laser Engineering, Vol. 43, No. 3 to be published, 2020

[5] Y. Itoh, Y. Nagahata, H. Okuzawa, S. Takahashi, and N. Yoshimoto, "Ethernet-based Optical-wireless transmission system for underwater IoT services," Proc. of 20th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology, to be published, 2020.

採択番号：H30/A13

共鳴トンネル素子を用いた硬い発振器とその結合系の THz 信号処理への応用

[1] 組織

研究代表者：

前澤 宏一（富山大学大学院理工学研究部）

通研対応教員：

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

安藤 浩哉（豊田高専情報工学科）

森 雅之（富山大学大学院理工学研究部）

吉田 素将（富山大学大学院理工学研究部）

本村 彰啓（富山大学大学院理工学研究部）

伊藤 多津生（富山大学大学院理工学研究部）

大寺 悠介（富山大学大学院理工学研究部）

加藤 篤明（富山大学大学院理工学研究部）

延べ参加人数：9人

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、本年度が2年度である。本年度はRTDを用いた硬い発振器の実験的検証を目的に研究を進めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1) 結合容量を用いたトリガ回路

硬い発振器とは、リミットサイクルの内部に安定な固定点を持つ非線形発振器である。通常の柔らかい発振器(Soft-type oscillator)では、相空間の原点が不安定点であり、自然に発振が始まる。これに対して、硬い発振器は、外部から十分な大きさのトリガを印加することにより初めて発振が始まる。我々はこれを利用して、スプリアス発振を起こさずに所望の発振のみを生起する方法を検討している。

ここでは直列抵抗をバイアスラインに挿入したタイプの硬い発振器を考える。RTD の負性抵抗の絶対値より大きな直列抵抗を挿入することにより、電源から負性抵抗は見えなくなる。このため、スプリアス発振を抑えることができる。一方、系は双安定状態になり、負性抵抗にバイアスすることができなくなる。つまり、発振ノードにおいても 0V が安定点となり、このままでは発振しない。そこで、所望の発振を開始させるためのトリガ回路が必要となる。我々はこれまで HEMT を用いたトリガ回路、ショットキーダイオードを用いたトリガ回路を提案し、その動作をシミュレーションにより明らかにしてきた。今回はさらにシンプルで高周波動作に適したトリガ方式として結合容量によるものを提案した。

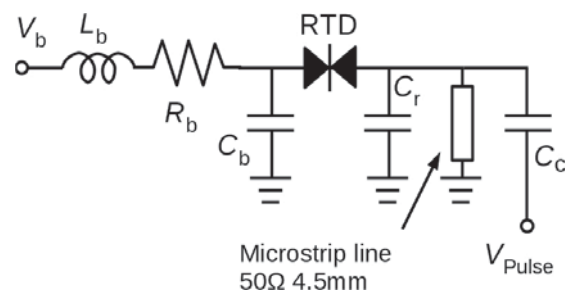


図1 容量結合型トリガを用いたRTD硬い発振器

図1に結合容量型トリガ回路を付加した硬い発振器の回路図を示す。小さな容量を介して外部信号源

と振動ノードを接続し、ここにパルスを印加することにより、発振を開始させる。まず、シミュレーションにより、この回路の動作条件を調べ、十分なマージンを持って回路が動作することを確認した。

2) プロトタイプデバイスの作製と動作実証

上記の結果の実験的検証を目指し、比較的low周波(約1GHz)のプロトタイプ素子を試作した。基板にはFR-4を用い、その上にマイクロストリップ線路、チップコンデンサからなる共振器を作製した。そこにInP基板上に作製し、2.5mm角にカットしたRTDチップをワイヤーボンディングで接続した。作製した回路の写真を図2に示す。なお、バイアスラインの直列抵抗は30Ωとした。

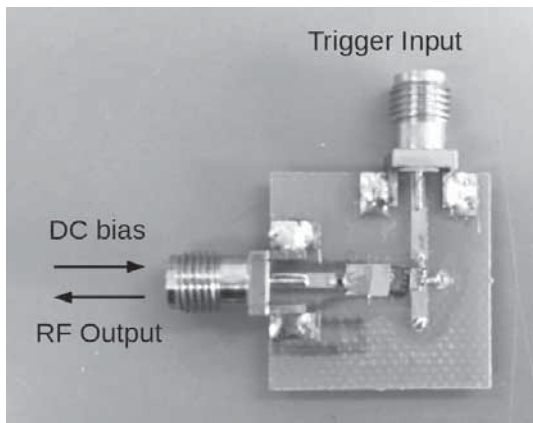


図2 作製したプロトタイプデバイス

まず、この回路のDCバイアス電圧に対する電流を図3に示す。図からわかるように、バイアスラインの直列抵抗のために、負性抵抗はマスクされ、大きな電流ジャンプを伴うヒステリシスが見えている。このため、回路はどこにバイアスしても発振しない。

この回路の出力をスペクトルアナライザで観測した結果を図4に示す。図a)は、DCバイアスをヒステリシスを示す電圧(1.1V近辺)とした状態である。発振は見られない。次に、この回路に、周期的なトリガパルスを与えた状態が図b)である。パルスによるホワイトノイズの増大とともに、発振ピークが見えている。最後に、c)は周期的なパルス印加を止めたあとのスペクトルである。ノイズフロアはa)と同じであるが、共振周波数(1GHz)にはっきりとした発振ピークが見える。このことは、本回路が硬い発振器として動作すること、容量結合型トリガ回路により、硬い発振器の発振を励起できることを示している。

また、c)の状態、発振の安定性を調べるために位相ノイズの測定を行った。図5に測定結果を示す。-20dB/decの正常な位相ノイズ特性が測定でき、100kHz 離調において-97dBc/Hzという良好な特性が

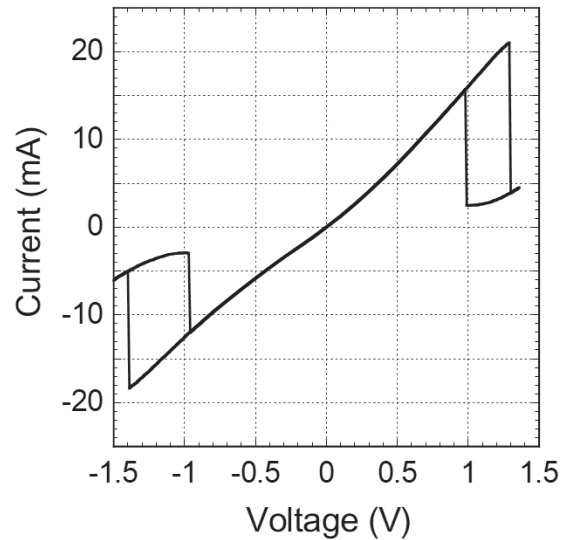


図3 直列接続抵抗を持つ発振器のDCバイアス特性

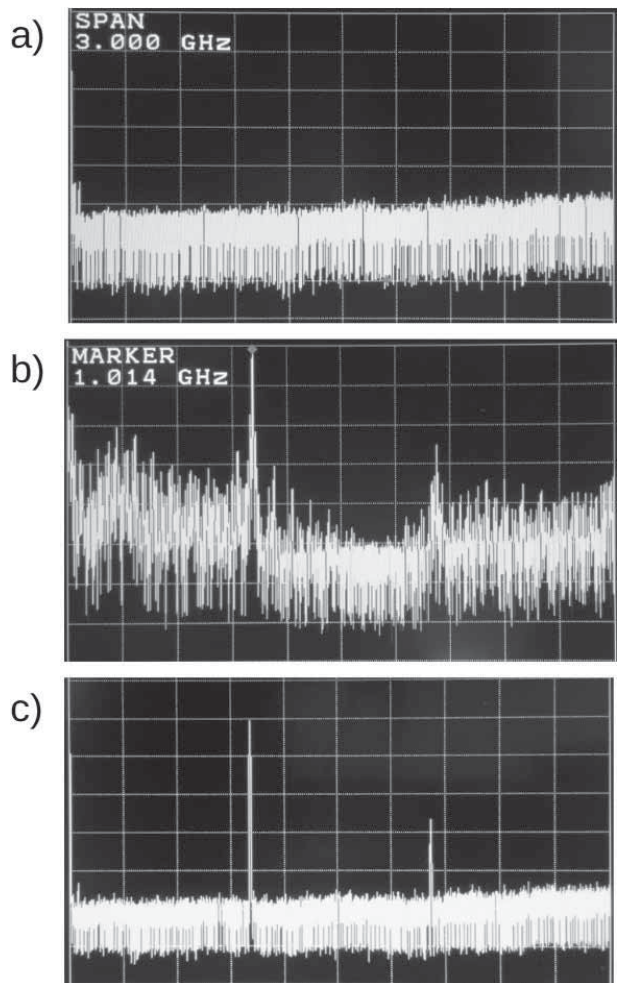


図4 硬い発振器の出力スペクトル。a) ヒステリシス領域にバイアス、b) 周期的トリガパルス印加した状態、c) トリガパルスを止めた状態

得られた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、硬い発振器のためのトリガ回路として、シンプルで高周波動作に適した容量結合型トリガ回路を提案した。

第2に、上記回路のプロトタイプを試作し、硬い発振器の動作を実験的に実証した。

第3に、硬い発振器において位相ノイズ特性が劣化しないことを示した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

[4] 成果資料

- (1) 吉田素将、森雅之、前澤宏一、「共鳴トンネルダイオード発振器の回路構成と回路パラメータの位相ノイズへの影響」、令和元年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会（12月7日、福井大学 文京キャンパス）
- (2) 前澤宏一、森雅之、「周波数 $\Delta\Sigma$ 変調方式センサに対する発振器位相ノイズの影響」、電子情報通信学会、電子デバイス研究会（8月6日、機械振興会館）
- (3) Koichi Maezawa and Masayuki Mori, "Resonant Tunneling Delta Sigma Modulation Ultrasound Sensors Using A Suspended Microstrip Disk Resonator," 13th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2019), 26-19, Aug., Toyama, Japan.
- (4) Tatsuo Ito, Masayuki, Mori and Koichi Maezawa " Spurious Free Oscillations of the Resonant Tunneling Hard-Type Oscillators Having a Simple Capacitor Coupled Trigger Input," 13th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2019), 26-19, Aug., Toyama, Japan.

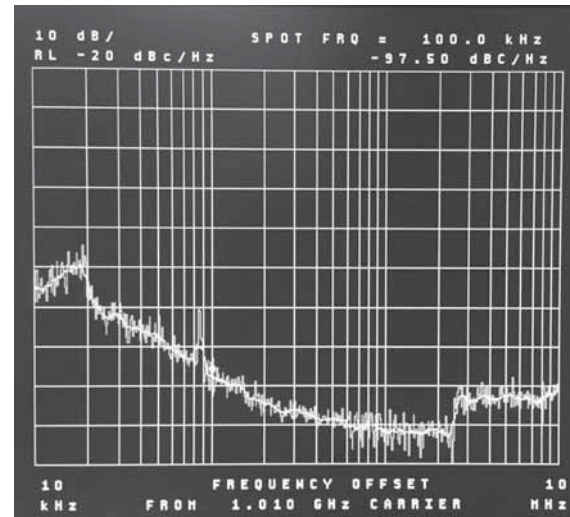


図5 硬い発振器の位相ノイズ特性

採択番号：H30/A14

高効率非接触給電のための損失解析

[1] 組織

研究代表者：

稲森 真美子（東海大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

亀田 卓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

本良 瑞樹（東北大学電気通信研究所）

井上 菊大（東海大学大学院工学研究科）

大澤 遼（東海大学大学院工学研究科）

岩松 迪拓（東海大学大学院工学研究科）

喜田 悠介（東海大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：8人

[2] 研究経過

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

初年度は遠距離で電力効率が低下する要因を磁界解析により明らかにした。磁界解析は磁界解析ソフト JMAG を使用した。図 1 に伝送距離 20mm, 100mm 及び 250mm での磁束密度分布を示す。伝送距離 250mm (図 1(a)) 及び 100mm (図 1(b)) の磁束密度分布では、磁束密度の最大値が送信側と受信側で二つに分かれていることが確認できる。しかし、20mm (図 1(c)) で磁束密度分布はコイルの領域に集中し

ていることが確認できる。図 2 に伝送距離に対する送信側と受信側の磁束密度の最大値及び送受信コイル間の中央点（伝送距離の 1/2）の磁束密度を示す。送信側の磁束密度の最大値は伝送距離に応じて急激に増加する。一方、受信側の磁束密度の最大値は近距離では僅かに低下するが、遠距離では伝送距離に関わらずほぼ一定である。

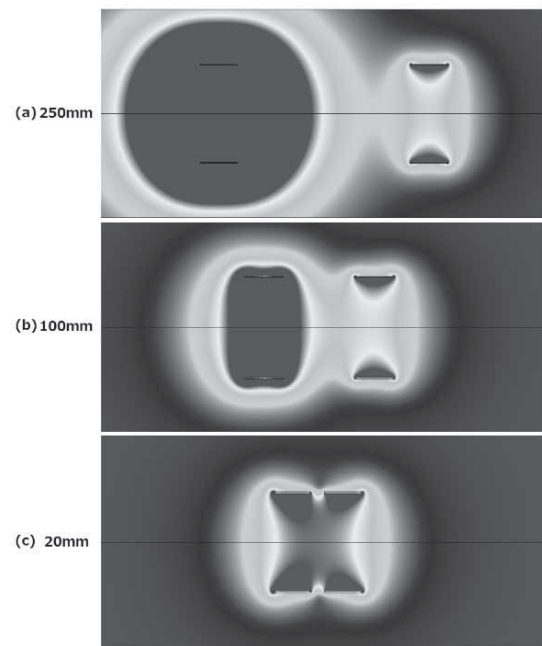


Figure 1. Magnetic flux density in simulation.

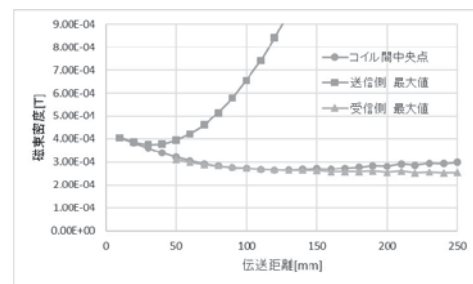


Figure 2. Variation of maximum value of the magnetic flux density of each region; the sending side, the receiving side and the center point (1/2 of transmission distance).

図 3 に送信側コイルの主磁束と漏れ磁束を示す。磁界共振方式における主磁束は電力伝送に有効な磁束で、漏れ磁束は電力伝送に無効な磁束を意味して

いる。主磁束は近距離で僅かに低下するが、遠距離で伝送距離に関わらずほぼ一定である。一方、漏れ磁束は、伝送距離に応じて増加し、伝送距離 100mm 付近から急激に増加する。したがって、遠距離で主磁束は一定になるのに対し、漏れ磁束のみが急激に増加することが確認できた。これが電力効率低下の要因である。

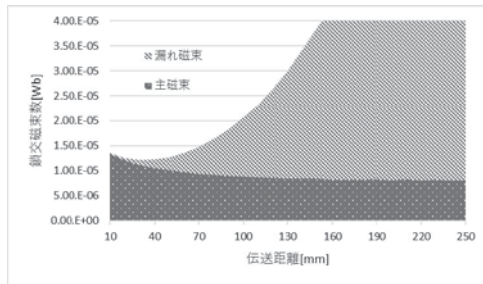


Figure 3. Main flux and leakage flux.

二年度目にあたる今年度は、遠距離での電力伝送性能について更なる考察を行う。初年度では遠距離で漏れ磁束が急激に増加することを明らかにした。遠距離でも主磁束は低下しないため、遠距離でも一定の電力を伝送できる可能性がある。今年度は、さらに長い距離での電力伝送に対してコンデンサの設計を行い、得られた結果を用いて考察を行った。

今年度、研究者が集まって行う研究打ち合わせは実施できなかったが、その代わりにメール等を用いてリモートでの進捗確認や議論を行った。また、以下の共同プロジェクト研究発表会において、ポスター発表を行い、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2年2月20日(木)

場所：東北大学 電気通信研究所

参加者：本良・井上・大澤・岩松・喜田

[3] 成果

(3-1) 研究成果

二年度目である本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず長距離伝送系についてコンデンサの設計を行った。サーモグラフィを用いて伝送時の共振用コンデンサの単体の温度を測定すると、コンデンサが温度上昇することを確認した。そこで、伝送時の温度上昇を考慮したコンデンサを設計し、コンデンサの温度上昇によるコンデンサの損失増加を防止させ

たときの伝送実験結果について述べる。

本実験では入力電圧の基本波実効値を一定にして測定を行った。図4に新コンデンサ及び旧コンデンサを使用したときの伝送距離による電力効率を示す。新コンデンサを使用すると電力伝送可能な距離がわずかに長くなった。しかし、新コンデンサを使用したときの電力効率及び電力は旧コンデンサを使用したときとほぼ変わらない。したがって、コンデンサの温度上昇を防いで損失を低減させても電力伝送可能な距離や電力効率にはほぼ影響しないことが明らかになった。

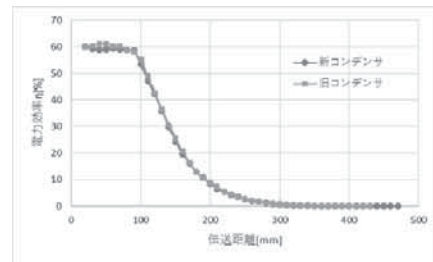


Figure 4. Power efficiency in experiments.

本実験では85kHzの高周波電流をコイルの導線に流しているため、表皮効果による抵抗値が大きくなっていることが考えられる。そこで、来年度は表皮効果による抵抗値を小さくするためにリッツ線コイルを採用し、検討を行う。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究では、遠距離での電力伝送性能について考察した。実験において伝送距離 420mm まで電力を伝送することができた。さらにコンデンサによる影響は少ないことも分かった。今後は、コイルに着目し検討を行う。本プロジェクトで明らかになった遠距離での電力効率低下の要因は、大電力を送信する非接触給電システムの構築に結びつき、今後の発展が期待される。

[4] 成果資料

(1) K. Inoue and M. Inamori, "Loss Analysis of Antenna Parameter Measurement Method in Wireless Power Transmission," in Proc. 2020 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'20), Hawaii, March 2020.

採択番号：H30/A15

選択によって感情体験を変容させる方法の研究

[1] 組織

研究代表者：

大沼 卓也 (近畿大学産業理工学部)

通研対応教員：

塩入 諭 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

坂井 信之 (東北大学大学院文学研究科
/東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：3人

[2] 研究経過

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

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

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

ところがこの効果は、呈示された飲料の種類(選択肢の数)が9種類だった場合にのみみられ、3種類あるいは12種類だった場合にはみられなかった。消費者にとって選択肢の数は、少なすぎるよりは多いほうが良いとは言われているものの、選択肢の数が短期記憶の処理容量である 7 ± 2 チャンクを超え

ると、認知負荷が過剰となり、「自らがよく吟味して選んだ」という実感(自己決定感)が得られにくくなるため、選択によるブースト効果が生じなくなると考えられる。

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

なお、本年度の研究活動状況として、2019年10月に電気通信研究所にて研究打ち合わせを行った。また、2020年2月に電気通信研究所にて開催された成果報告会にて、研究成果の報告を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

初年度と同様の実験手続きにもとづきながら、選択肢としての12種類の紅茶を、二つの無意味なカテゴリー(カテゴリーAおよびカテゴリーB)に分類して呈示した「カテゴリー有」条件と、そのようなカテゴリー化を行わない「カテゴリー無」条件とで、感じられる紅茶のおいしさの比較を行った(図1)。しかし、カテゴリーの有無にかかわらず、選択によるおいしさのブースト効果は確認できなかった(図2)。

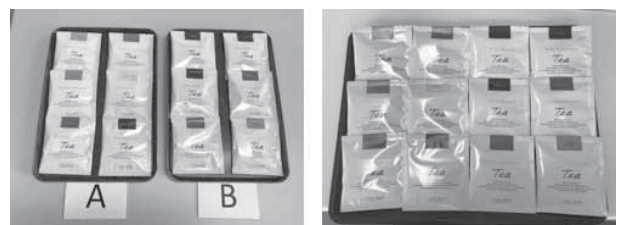


図1 カテゴリー有条件(左)とカテゴリー無条件(右)。

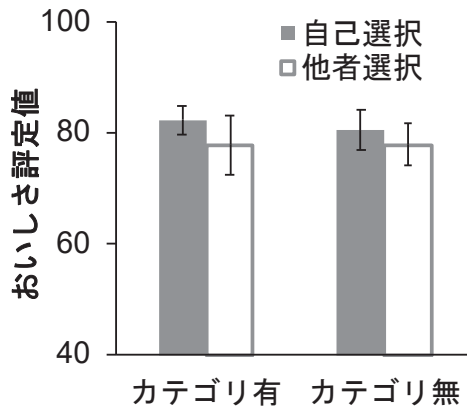


図2 紅茶のおいしさ評定の平均値。

過去の先行研究によれば、たとえカテゴリーそのものに意味がなくとも、選択肢がいくつかのカテゴリーに分類されていることで選択がしやすくなり、選択者は自らの選択に満足しやすくなるという。しかし、本研究の結果はそれを支持するものではなかった。むしろ、選択肢が過剰な状況で選択によるブースト効果を引き出すためには、カテゴリー内の選択肢が空間的のみならず認知的にもまとまって知覚されるような“意味ある”カテゴリー化を行う必要があると考えられる（例えば紅茶であれば、ストレート系、フレーバー系、など）。なお、最終年度である次年度は、この点を主に明らかにしていく計画である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

選択による感情体験の変容の情報処理的メカニズムを明らかにすることで、人間と調和した情報通信技術の発展に貢献できると期待される。たとえば最近では、顔認証機能によって消費者の性別や年齢を判別し、商品の呈示方法を柔軟に変えることができるデジタルサイネージ型の多機能自動販売機の普及が進んでいる。この技術に対し、本プロジェクトで明らかにする、効果的な選択の実感を引き出すような商品呈示アルゴリズムを組み合わせることで、商品の感情体験をさらに満足のいくものにする技術を開発できるだろう。

[4] 成果資料

本プロジェクトに関する研究成果について、現在論文投稿の準備を進めている。

採択番号：H30/A16

自己運動に伴う身体近傍空間の変容

[1] 組織

研究代表者：

寺本 渉(熊本大学大学院人文社会科学部)

通研対応教員：

坂本 修一(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

崔 正烈(東北大学電気通信研究所)

黒田 尚輝(熊本大学大学院社会文化科学研究科)

延べ参加人数：44人

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、平成24年～26年度通研共同プロジェクト研究「前庭情報による音空間歪みに関する研究」、平成27～29年度通研共同プロジェクト研究「自己身体情報が外部環境把握に与える影響に関する研究」の発展研究と位置づけられる。これまでのプロジェクトにおいては、直線加速度運動時に

は、真横に聞こえる音の位置が情報源にかかわらず真横に聞こえる音の位置がシフトすることのほか、自己運動の能動性/受動性は結果に大きな影響を及ぼさないことなどを明らかにした(花籠他, 2015; 崔他, 2013; Sakamoto et al., 2015; Teramoto et al., 2012, 2014)。これらの結果はすでに複数の研究会、学会等で発表を行い、学術論文として国際誌に掲載されている。

これまでの研究は別の見方をすると、身体近傍空間(PPS: peripersonal space)が拡大していることを意味する。PPSは、身体から数センチから数十センチの範囲の空間であり、行動実験では、視覚や聴覚刺激によって触覚検出が促進される範囲とされている(Sambo & Forster, 2009; Serino et al., 2011)。PPSは、外部対象に対する働きかけや危機回避行動を行ううえで重要な空間であり、脳内でも他とは異なる空間として表現されていると考えられている。近年の研究では、実際の自己運動時や前庭刺激時には静止時と比べてPPSは進行方向側に広がることが示されている(雨宮他, 2016; Noel et al., 2015; Pfeiffer et al., 2018)。しかし、自己運動速度や接近/遠離運動する刺激速度による違い、身体部位選択性、異方性、能動・受動運動による違い等、自己運動時のPPSに関する脳情報処理特性を理解する上で、必要不可欠な部分については未だ不明である。そこで本プロジェクトは、そうしたパラメータを系統的に変化させることによって、自己運動時のPPSを総合的に明らかにする。

第1回研究打ち合わせ(2019年5月10日～12日)ヘッドマウントディスプレイおよびエアロバイク擬似的自己運動時の身体近傍空間変容に関する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(2020年2月20日～21日)本年度得られた実験データを共有し、来年度の研究計画について議論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

実験1では自己運動を検出するための最も重要な情報の一つである視覚情報の影響を調べた。昨年度の研究では、大型ディスプレイを用いて視覚情報を提示したため、設定できる距離や自己運動速度の点で限界があった。そこでヘッドマウントディスプレイを用いて刺激の提示を行った。実験2ではヘッドマウントディスプレイとエアロバイクを用いて能動運動と受動運動を比較することによって、運動意図や運動指令信号の影響を検討した。なお、本研究ではPPSを求めるにあたり、視触覚課題を使用した。自己運動知覚時に様々な奥行き距離から視覚プローブを参加者正面に接近させ、その間に胸部呈示触覚刺激をできるだけ早く検出するように求めた。そして、その視覚プローブが、プローブ非呈示時と比べて触覚検出を促進する最大距離をPPSと定義した。

【実験1】

<方法>

実験参加者：大学生・大学院生20名（うち女性10名、 22.7 ± 3.9 (標準偏差)歳）が実験に参加した。すべての実験参加者は健康な視覚・触覚・前庭感覚を有した。

装置と刺激：全ての視覚刺激はヘッドマウントディスプレイ（HMD, Oculus Rift CV, 視角: 110° , 空間解像度: 1920×1080 pixel, リフレッシュレート: 60 Hz）に呈示した。参加者はHMDを通して床、壁、天井が白色ドット（直径 4.4 cm, ドット密度 15% , 黒色背景）で覆われたトンネル型空間（ 11.8 m (横) \times 10 m (高さ) \times 21.0 m (奥行き)) を観察した。これらの白色ドット（誘導刺激）が運動することにより参加者は自己運動を近くした。視点位置はトンネル内に 1 m 入った位置で 1.2 m の高さになるようにシミュレートした (Fig. 1)。注視点（赤色球体, 直径 2 cm）は距離 2.6 m, 高さ 0.95 m に呈示した。視覚プローブ（紫色球体, 直径 2 cm）は 0.95 m の高さの位置に呈

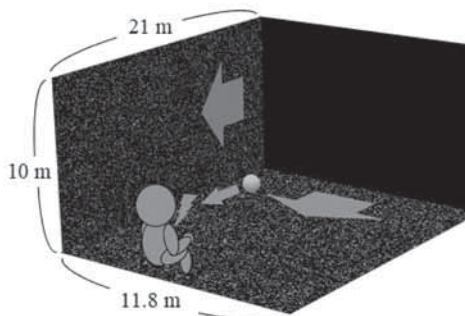


Figure 1 構築したVR空間

示した。

触覚刺激（ 300 Hz）は、オーディオインターフェース（OCTA-CAPTURE, Roland）、アンプ（RSDA202）を介して直径 1 cm の振動刺激装置（Vibe Motor

#1201）により実験参加者の胸部に閾上で 100 ms 呈示した。また、実験中は胸部装着振動刺激装置の作動音をマスクするため、マスキングノイズとしてホワイトノイズ（サンプリング周波数: 44100 Hz）を呈示した。

実験手続き：自己運動条件には大視野条件（LF）と小視野条件（SF）を設けた。大視野条件ではトンネルの白色ドット全てが運動し、前進方向への自己運動を惹起させた。小視野条件では、運動する白色ドットを床面の幅 0.3 m \times 奥行 21 m の範囲にのみに呈示し、視覚的運動情報を保持したまま、自己運動知覚がなるべく生起しない状態にした。いずれの条件においても低速条件（slow, 1.5 m/s）と高速条件（fast, 6.0 m/s）を設けた。視覚プローブ刺激は誘導刺激と同速度で 1 秒間接近し、参加者からの距離 1.2 m, 2.4 m, 3.6 m, 4.8 m および 6.0 m のいずれかで消失した。

各自己運動条件は異なるセッションで実施した。大視野条件では実験参加者が自己運動知覚を報告してから 1 秒後に、小視野条件では注視点消失 1 秒後に視覚プローブを 1 秒間呈示した。触覚刺激は視覚プローブ呈示開始 0.4 秒後または 0.6 秒後に与えた。こうした視触覚試行に加え、自己運動誘導刺激を呈示せず、触覚刺激のみを呈示するベースライン試行、視覚プローブの色を変化させる視覚単独条件（プローブ無視防止）、いずれの刺激も呈示しないキャッチ試行（尚早反応防止）をランダムに混ぜた。各セッションは、 10 (6 視触覚試行 + 2 視覚単独試行 + 2 キャッチ試行) \times 5 距離 + 10 ベースライン = 60 試行で構成された。実験は2日間でい、1日あたり自己運動条件と速度条件条件の各組み合わせを1セッションずつを実施した。

<結果と考察>

Figure 2 は触覚刺激呈示時の平均プローブ距離を横軸に、視覚プローブによる触覚検出の促進効果（コン

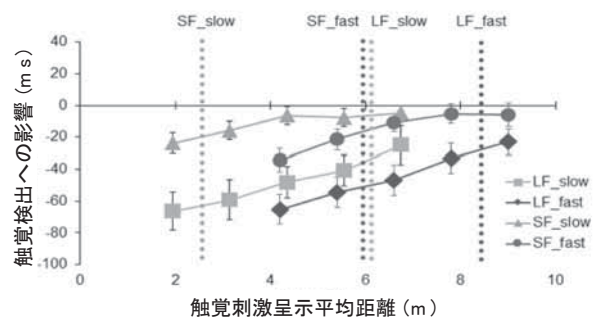


Figure 2 実験1の結果

トロール試行 RT-視触覚試行 RT) を縦軸にとったものである。負値がプローブによる促進効果、正値が抑制効果をあらわす。 t 検定により促進効果の有無を分析した結果、小視野条件よりも大視野条件で、低

速条件よりも高速条件でPPSが拡大することが示された。

【実験2】

＜方法＞

実験1と同じ大学生・大学院生20名が実験に参加した。能動運動を行わせる装置として、エアロバイク（アクティブ・サイクル U1x, 竹井機器工業株式会社）を用いた。エアロバイクのハンドル部には反応取得用のコントローラ（Oculus Touch）を固定した。それ以外の実験機器は実験1と同様であった。誘導刺激および視覚プローブの速度は0.7 m/sであった。

実験参加者をエアロバイクに座らせ、HMD および振動刺激装置を装着させた。まず誘導刺激及び注視点を呈示し、注視点を凝視させた。能動条件ではセッションの最初に20秒間テンポ音(440 Hz (50 ms)の音を830 ms 毎に呈示)に合わせてペダルをこがしてから、そのペースを維持させた。その後、参加者にはキー押しによって自己運動知覚を報告させ、同時に注視点を消し、触覚検出課題に移行した。受動条件は実験1と同様であった。実験は2日間に分けて行った。1日あたり各自己運動条件2セッションをブロック化して行った。1ブロックにはプローブ試行40試行(5距離条件×(触覚刺激あり6試行及び触覚刺激なし2試行)), コントロール試行24試行(触覚刺激あり18試行及び触覚刺激なし6試行)の合計64試行が含まれていた。なお、事前に練習日を設け、エアロバイクを一定のテンポでこぐことに慣れさせた。

＜結果と考察＞

実験1と同様の方法でPPSの範囲を求めた。その結果、受動運動時に比べて能動運動時にはPPSが拡大していることが示された。このことは自己運動に関わる運動意図/運動指令信号のエファレンスコピー、あるいは自己受容感覚からのフィードバック信号がPPS表現に影響を与えていることを示唆する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトがきっかけとなって、東北大学電気通信研究所および熊本大学の2大学による共同研究体制が発足した。得られた研究成果はすでに複数の研究会、学会等で発表を行い、学術論文として国際誌への投稿準備中である。また、前年度までのプロジェクトの工学的応用を目指した研究については、科学研究費補助金事業基盤研究(B)「人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立」(代表:坂本修一, 分担:寺本渉, 平成26年度~平成28年度)として採択され、

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

今後さらに心理物理学的手法のみならず、生理心理学的手法も駆使しながら、系統的に検討を加えることによって、学術的に非常にインパクトがある成果となると考えられる。また、工学的にも、情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システム実現に貢献できるものとなる。

[4] 成果資料

- ・黒田尚輝, 寺本渉 (2019). 自己運動速度が身体近傍空間の範囲に及ぼす影響. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 24, 325-328. 【査読有】
- ・黒田尚輝, 寺本渉 (2019). 聴覚運動刺激によるバクシヨンの促進効果の性差. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 24, 329-334. 【査読有】
- ・Kuroda, N., and Teramoto, W. (2019). Object-motion and self-motion differently affect peripersonal space representation. Asia Pacific Conference on Vision, Ritsumeikan University, Ibaraki, Japan (July 29-August 1).
- ・黒田尚輝, 寺本渉 (2019) 自己運動知覚時の自己受容感覚情報が身体近傍空間表象へ与える影響. 日本基礎心理学会第38回大会, 神戸大学, 2019年11月29日~12月1日.
- ・黒田尚輝, 寺本渉 (2019) 自己運動速度による身体近傍空間への影響. 日本心理学会第84回大会, 立命館大学大阪いばらきキャンパス, 2019年9月8日~10日.

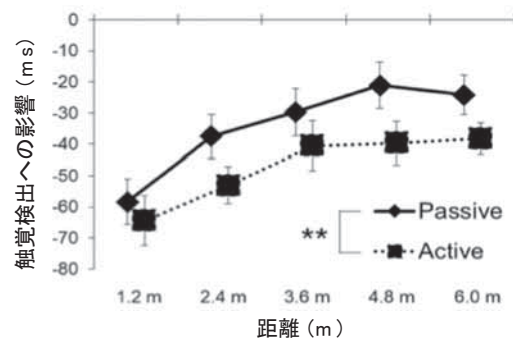


Figure 3 実験2の結果

採択番号：H30/A17

単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

森川 大輔 (富山県立大学工学部
知能ロボット工学科)

通研対応教員：

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

平原 達也 (富山県立大学工学部
知能ロボット工学科)

延べ参加人数：6人

[2] 研究経過

ヒトは、両耳に到達する音の時間差 (Interaural time difference: ITD) や両耳に到達する音圧レベルの差 (Interaural level difference: ILD)、そして、音源から耳までの音響伝達関数 (Head-related transfer function: HRTF) によって生じるスペクトル上のピークやノッチ (Spectral cue: SC) を主な情報として利用し、音の到来方向を知覚していると言われていいる。特に水平方向の知覚には、主に ITD と ILD が利用されていると言われていいる。

一方、近年の研究から、ヒトは単耳のみしか使えない状況であっても水平面の方向知覚が可能であることがわかってきた。つまり、ITD、ILD、SCのうち単耳で利用可能な SC のみでも水平面の方向知覚が行える場合がある。そして、我々のこれまでの研究によって、一側聾者の一部は、知覚している音のイメージが存在位置である音像と、音が実際に放射されている位置場所である音源を別々に知覚できることがわかった。また、両耳聴者が単耳受聴を行う場合両者の区別はできず、一側聾者の音像の定位と類似した知覚傾向を示していた。これらは、両耳聴では利用しない情報、ITD や ILD に比べ重みの低い情報、が作用して起きていると考えられ、単耳受聴者と両耳受聴者の音空間知覚メカニズムに大きな違いがあることを示している。

そこで本プロジェクトでは、両耳受聴者と単耳受

聴者の音空間知覚の違いを明らかにすることを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、方向情報のうち両耳受聴者のみが利用できる両耳間差に着目し、単耳受聴者には1音に聴こえる条件で、両耳聴者が音像を分離する条件について調査を行い、両耳間音圧差によって音像が分離する条件が明らかになった。そして、この現象をより詳細に明らかにするためには、聴取者が知覚している音像の大きさの影響を考慮する必要があると考えられた。また、本プロジェクトの大目的である、両耳受聴者と単耳受聴者の音空間知覚の違いを検討するためには、両耳受聴時と単耳受聴時に知覚している音像の大きさを比較することも必要であると考えられた。

そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、音像の幅の測定に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ、実験及び討論

○令和元年8月8～9日

東北大学電気通信研究所において実験結果について議論し、今後の研究について打ち合わせた。

○令和元年2月19～21日

東北大学電気通信研究所において、実験を行うとともに、実験結果について議論し、今後の研究について打ち合わせた。

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

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、音像の大きさの計測方法について検討した。音像の大きさを回答用紙や回答デバイスに記入することは、実空間と記入する平面の間に差異が生じるため誤差が大きく困難となるため、3D モーションセンサを用いて実空間で指をさして回答することとした。そこで、まず磁気モーションセンサ

(LIBERTY, POLHEMUS)の位置精度の確認を行った。位置精度の確認の様子を図1に示す。測定は角材のガイド上でセンサを動かして行い、物理座標と測定値を比較した。比較結果の例を図2に示す。Lはトランスミッタとセンサの距離、Eは物理座標と測定値のズレである。同図から、センサとトランスミッタの距離が-500~500 mmの範囲内であれば、測定誤差が10 mm以内であった。正面にトランスミッタを配置し、正面の音像の大きさを回答する場合、頭部中心からの角度に換算して誤差は 1.4° 以下であり、十分に音像の大きさの測定に利用できると思われる。

次に実際に音像の大きさの計測を行った。実験は距離1 mの正面のラウドスピーカの再生音を対象とし、刺激音は音圧レベル70 dBの広帯域雑音とした。受聴者は視覚の影響を避けるため目を閉じ、刺激音が12秒間呈示されている間に音像の幅(図3)または高さ(図4)を回答した。これらの結果から、この刺激音の音像の幅は 20° 程度、高さは 15° 程度で、その中心位置は実際の音源位置である 0° と数度の誤差が得られていることがわかる。したがって、構築した測定システムを用いて、両耳受聴時と単耳受聴時の音像の大きさを系統的に測定することで、両条件での音空間知覚に関する新たな知見が得ることが可能となった。

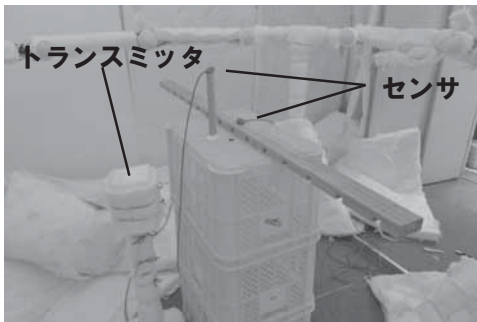


図1 位置精度の確認の様子

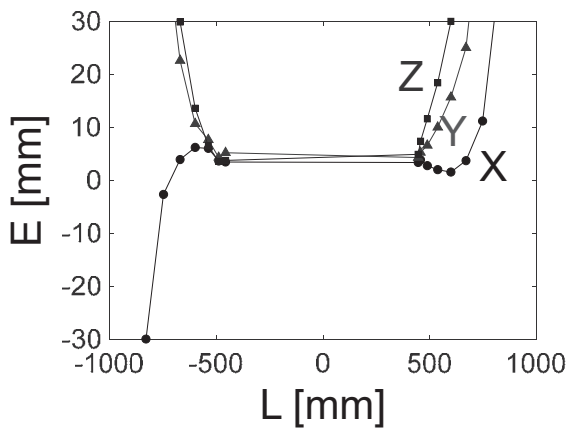


図2 比較結果の例

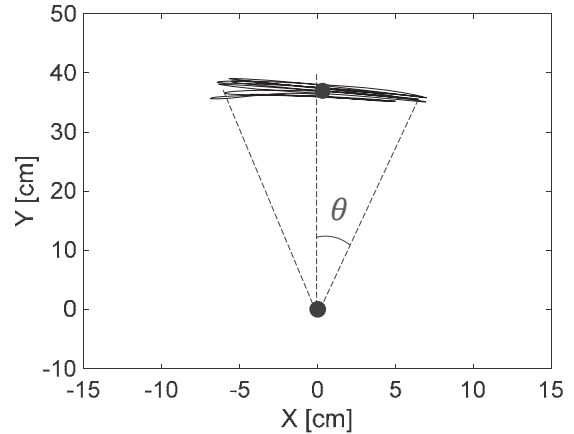


図3 音像の幅の回答例

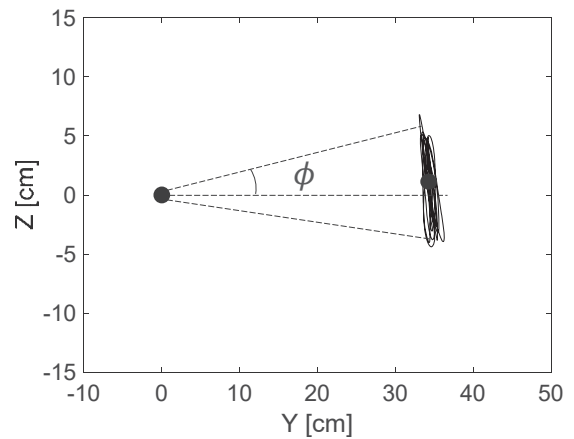


図4 音像の高さの回答例

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度に得られた結果は、ヒトの聴知覚特性およびメカニズムの解明のベースとなるものであり、来年度以降はこれを用いて研究を継続する予定である。

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

さらに、本プロジェクトから得られた知見の一部には、補聴器等のヒトの聴知覚を助ける機器の設計指針への利用や、音源方向推定システム等へのヒトの聴知覚メカニズムの応用が期待される。

[4] 成果資料

- (1) 森川大輔, “両耳間音圧差による3音像の分離知覚,” 音学シンポジウム2019, 京都, 2019.06.
- (2) 森川大輔, “両耳聴と音像の分離,” 第55回 北陸信越動的解析・設計研究会, 射水, 2019.12.

採択番号：H30/A18

繊維電極を用いた災害時バイタル計測と 電磁波環境対策に関する研究

[1] 組織

研究代表者

鳥光 慶一（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

三浦 健（東北大学大学院工学研究科）

本良 瑞樹（東北大学電気通信研究所）

枝松 航輝（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：5人

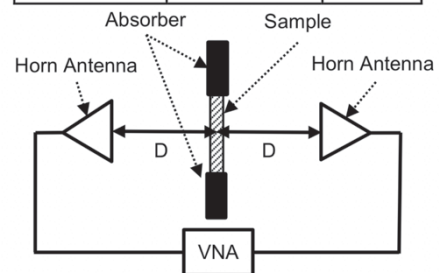
[2] 研究経過

現在研究開発中の繊維電極は、医用電極と同様の電極特性を有しながらも繊維を素材とした高いフレキシブル性を有することを特徴としており、医療・健康分野における生体計測、特に災害時の避難所等におけるスマートテキスタイル型のバイタル計測に威力を発揮するものと期待される。しかしながら、今まで本電極の電磁波特性は明らかでなかった。H30の共同研究プロジェクトを通して本電極に電波遮蔽効果があることが明らかとなったことから、①他の遮蔽材との比較や組み合わせによる遮蔽特性 ②繊維電極のフレキシブル特性を生かした構造体における特性変化を明らかにすることにより、ペースメーカー等医療機器の誤動作防止や電磁波環境対策への活用の可能性を探ることを目的とする

研究では、これまでの計測が、1～10GHzのマイクロ波帯と40～60GHzのミリ波帯であり、空白であった10～40GHzの周波数帯についても計測を行い、遮蔽性を計測・評価した。

実験に使用した繊維電極は、昨年同様、繊維素材として和紙で作った布地に対し導電性高分子を用いて導電性を付与した繊維素材（抵抗値吸数 $k\Omega$ ～数十 $k\Omega$ ）である。本繊維電極の両側にホーンアンテナを対向させ（間隔700～2900mm）、アンテナの伝送損失を測定することで遮蔽特性を求めた。使用した周波数帯（1～60GHz）に対し、5種類の異なるホーンアンテナ（下図）を使用した。計測は、50cm角のサンプルホルダーを用い、電波暗室内で行った。

測定帯域 [GHz]	ホーンアンテナ	D [mm]
1 - 10	BBHA9120B	2300
10 - 18	SAR-2309-62-S2	2900
18 - 26.5	SAR-2309-42-S2	1400
26.5 - 40	SAR-2309-28-S2	1000
40 - 60	SAR-2309-19-S2	700



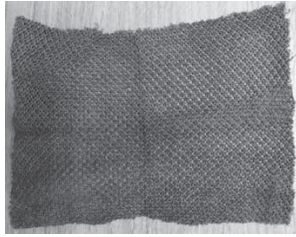
測定系概略図

研究の実施に際し、本研究が繊維電極の電磁波環境対策という実施例の極めて少ない研究であるため、標記研究参加者間で、研究打合せを実施し、研究の円滑な実施を目指した。

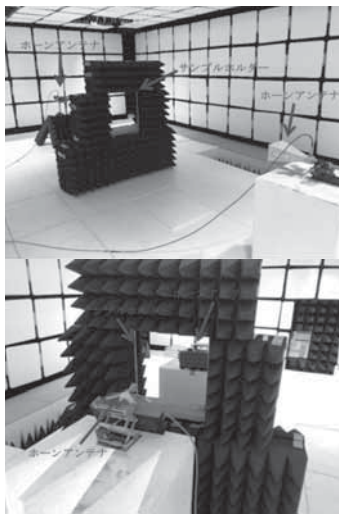
[3] 成果

(3-1) 研究成果

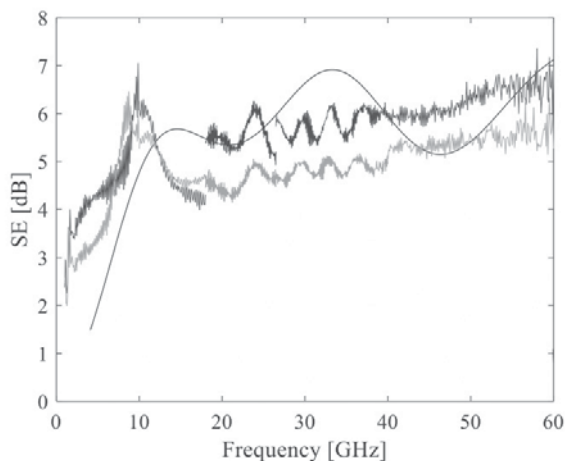
本年度の研究により、以下に示す成果を得た。
下図は本研究で用いた和紙繊維である。



この繊維電極を用い計測系(1-10、40-60GHz)及び計測結果を下図に示す。



計測系図



1-60GHz 周波数特性

図を示すように繊維電極は、およそ 10GHz まで最大の遮蔽特性を示し、それ以降ほぼ一定で 6 dB 程度の遮蔽効果を示す特性が得られた。

また、遮蔽特性について電磁界シミュレーションを行い、誘電正接 $\tan \delta$ が 1.5 - 2.0 の時に実測結果と良い一致が見られた。誘電損失が比較的大きいことが示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究を通して、これまで不明であった 10 - 40 GHz における遮蔽効果について明らかとなり、本繊維素材が 1 - 60 GHz までの広い周波数範囲に渡り、10 GHz 付近で極大を示す他は、ほぼ一定の電波遮蔽効果を有することが示された。

今後さらに、他の遮蔽材とのハイブリッドによる高遮蔽効果の実現と特性変化の解析により、スマートテキスタイル型の電波遮蔽材としての活用や、災害時(避難所等)における医療機器の誤作動防止に向けた電波環境対策への活用展開が期待される。

これらの成果については、国際会議(Global Symposium on Millimeter Waves, GSMM 2019)や電子情報通信学会において発表し、Best Student Paper Award、学術奨励賞を受賞した(次項参照)。

[4] 成果資料

(国際学会、査読有)

(1) K. Edamatsu, M. Motoyoshi, N. Suematsu, K. Miura, K. Torimitsu, "Electromagnetic Shielding of Conductive Polymer Combined Fabric," 12th Global Symposium on Millimeter-Waves (GSMM2019), pp. 44-46, May 2019. (国内発表, 査読無し)

(1) 枝松, 本良, 末松, 三浦, 鳥光, "[特別講演] マイクロ波帯・ミリ波帯における導電性高分子含有布の電波遮蔽特性," 信学技報, vol. 119, no. 346, MW2019-123, pp. 25-30, Dec. 2019.

(2) 枝松, 本良, 末松, 三浦, 鳥光, "導電性高分子含有布の遮蔽特性の広帯域測定," 2019 信学ソ大, C-2-80, Sep. 2019.

(表彰)

(1) 12th Global Symposium on Millimeter-Waves (GSMM 2019) Best Student Paper Award, 2019年5月(国際学会(1)の論文に関して)

(2) 電子情報通信学会 学術奨励賞, 2020年3月(国内発表(2)に関して)

採択番号：H30/A19

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

[1] 組織

研究代表者：

新谷 昌人（東京大学地震研究所）

通研対応教員：

吉田 真人（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

三ヶ田 均（京都大学大学院工学研究科）

荒木 英一郎（海洋研究開発機構）

三浦 哲（東北大学大学院理学研究科）

葛西 恵介（東北大学電気通信研究所）

高森 昭光（東京大学地震研究所）

坪川 恒也（真英計測）

坂田 正治（元防災科学技術研究所）

延べ参加人数：9人

[2] 研究経過

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、それらの現象を科学的に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。地震や火山噴火は地下深部を起因とした現象であり、発生域で直接観測することは困難である。陸上においては地震計やGNSS（全地球測位衛星システム）による多点観測が行われてきたが、地殻活動が活発な地域においては観測点の密度は不十分である。

本研究では、これまでの共同プロジェクト研究の成果を活かし、光ファイバーネットワークを用いて絶対重力計を面的な観測網として展開し、主に火山におけるマグマ活動を重力変動として捉え監視するための計測技術に関する研究を行う。本技術はこれまで困難であった高温の地下深部における観測手法として有効な光計測を用いた地震計、津波計、歪計などについても応用可能である。

R1年度までの研究で、地震研究所で開発した絶対重力計装置TAG-1に東北大学が所有する通信波長帯のアセチレン安定化レーザー光源を接続し、絶対重力観測を行い、月や太陽の引力によって生じる地表の重力加速度変動である地球潮汐を計測し、理論

と整合していることが示された。また、重力加速度の絶対値については、アセチレン安定化レーザー光源を使用したときの計測値、従来のヨウ素安定化He-Neレーザーを光源とした場合の計測値、および青葉山キャンパスの既知の重力基準点から測地学的に求められた測定点の絶対重力加速度値の3者を比較し、それらが整合していることが示された。さらに、同装置の野外実証のため、東北大学大学院理学研究科の蔵王観測所で重力観測を実施し、2年間の重力の変動の観測結果を得た。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

火山活動に伴う地下深部のマグマなど流体の移動を重力変化によって検知するために、地震研究所で小型絶対重力計（TAG-1）が開発された。図1にTAG-1の構造を示す。TAG-1は自由落下式絶対重力計であり、その計測原理は真空容器中で自由落下させた落体（鏡）の位置をレーザー干渉計で正確に計測し、その加速度から重力の絶対値を9～10桁の精度で計測するものである。計測誤差となる地面振動を補正するための組み込み加速度計や計測に使用する落体の回転を抑えるサイレントドロップ法が特徴となっている。TAG-1は同等の市販品の約70%のサイズとなっており、火山地帯を含む複数の観測点で性能評価を行った結果、既存の絶対重力計と同等の1 μ Gal以内の精度が確認されている。光源は波長633nm帯のヨウ素安定化He-Neレーザーが用いられるが、本研究では光ファイバーネットワークを活用し火山観測のための重力計観測網の構築や光源の長距離伝送を目指しているため、通信波長帯での動作を検証する必要がある。通信波長帯1.5 μ mの光源としては、アセチレン安定化レーザー等を使用するため、光学系（optical unit）は波長に合わせて交換できるようになっている。この場合、異なる波長帯で用いる光検出器それぞれの特性に起因する誤差を補正する必要がある。

各波長帯のレーザーを用いた場合の重力加速度計

測値と測地学的な計測により求められた重力値との整合性を検証するために、2017～2018年に各波長での計測および測地学的な計測を実施している。後者に関しては、図2に示すように、東北大青葉山キャンパスにある重力加速度が既知の重力基準点（理学研究科地震・噴火予知研究観測センターB棟1階、AOB-B）と片平キャンパス・電気通信研究所（RIEC本館地下1階実験室 M002）の測定点との重力差を相対重力計（LaCoste 重力計、バネ式）で計測し、RIECの測定点の重力加速度をAOB-B点を基準に測地学的に求めた。

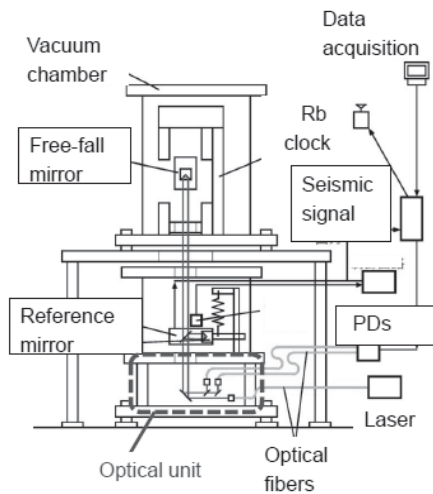


図1 TAG-1の構造。真空容器中で自由落下させた鏡（Free-fall mirror）の位置をレーザー干渉計で計測し、重力加速度の絶対値を測定する。使用するレーザー波長に応じて光学系（Optical unit）を交換する。

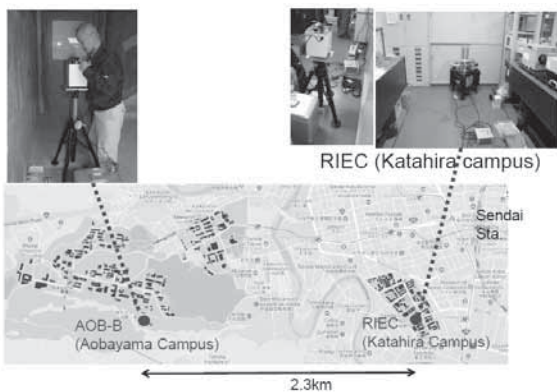


図2 東北大青葉山キャンパスの重力基準点（AOB-B）と片平キャンパス（RIEC）の測定点の位置関係およびそれらの重力差の相対重力計（LaCoste 重力計）による計測。

当時の解析では、 $1.5\mu\text{m}$ 光源の結果に若干の食い違いが見られたが、検出器の周波数特性による誤差が原因と予想されたため、再解析し検出器の特性を

補正した。その方法としては、一定の加速度で自由落下した落体により生じる干渉信号と同等の chirp 信号（時間とともに一定の割合で周波数が増加する正弦波的信号）で強度変調された光を検出器に受光させ、検出信号から得られた重力加速度と chirp 信号の周波数変化率から算出された理論加速度値の差から検出器の応答特性による系統誤差を見積もった。chirp 信号を生成する発振器は計測で使用されているルビジウム信号源と同期されており、10桁程度の周波数精度を有している。

図3に光検出器の周波数特性による誤差を補正した重力値（青）および測地学的に求められた測定点での予想重力値（赤破線）を示す。2つの波長（ $1.5\mu\text{m}$ 帯および 633nm ）において計測された重力値が予想重力値と整合している。補正の際には地球潮汐による影響も含め、さらに1時間平均した重力値を各波長帯で2セットずつ示した。補正後の計測値と予想重力値との違いは、 $6.6\mu\text{Gal}$ （ $1.5\mu\text{m}$ 帯）および $5.4\mu\text{Gal}$ （ 633nm 帯）であり、相対重力計の誤差範囲（ $\sim 10\mu\text{Gal}$ ）内である（ $1\mu\text{Gal}=1\times 10^{-8}\text{m/s}^2$ ）。

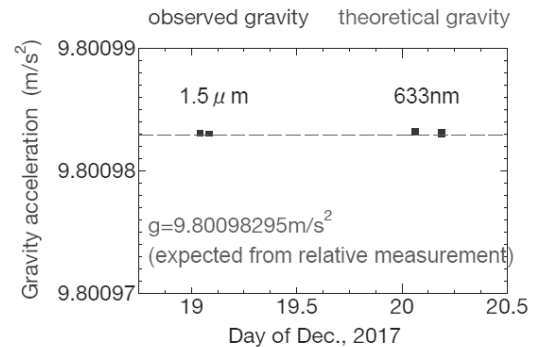


図3 光検出器の周波数特性による誤差の補正後の重力計測値（青）および測地学的に求められた測定点での予想重力値（赤破線）。2つの波長（ $1.5\mu\text{m}$ 帯および 633nm ）において計測値が予想重力値と整合している。

本年度はさらに、火山近傍における重力観測として、TAG-1を用いて蔵王観測所（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター、宮城県蔵王町）における観測を2019年10月22～31日に実施した（図4）。同じ観測基台上の超伝導重力計とTAG-1との並行観測を行い、地球潮汐変動は両者で整合していることが確認された。観測中、台風の接近により地面振動の増大がみられた時期があったが、TAG-1の組み込み加速度計を用いた地面振動の影響の補正により、図5のように重力値のばらつきには影響していないことがわかる。

TAG-1を用いた蔵王観測所での絶対重力観測は2017年より同様に行っており、過去の測定結果と比

較すると、 $10\mu\text{Gal}$ 程度の変動が認められる (図 6)。火山活動あるいは局所的な擾乱の影響等の可能性があり、今後他の観測結果と比較し原因を追究する予定である。



図 4 蔵王観測所 (東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター) における観測。上: 観測所外観。下: 左が小型絶対重力計 TAG-1、右が超伝導重力計。

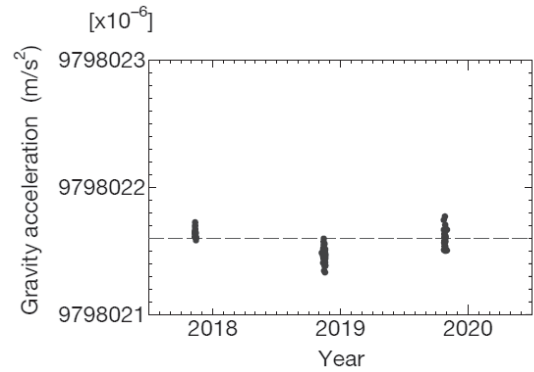


図 6 蔵王観測所における TAG-1 の過去の観測を含めた測定結果。 $10\mu\text{Gal}$ 程度の変動が見られる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

従来の火山活動の観測は、地震、地殻変動、電磁気、熱、音響、火山ガスなどを計測し、地下のマグマ活動をこれら地表付近に表れた複数の情報を組み合わせて推測している。重力は遠隔力でありこれを用いればマグマ活動に伴う密度変化の情報を直接計測できる。本年度の研究で、従来の 633nm 光源を用いた場合と同等の観測が $1.5\mu\text{m}$ 光源で行えることが示され、火山観測のための重力計観測網の構築や光源の長距離伝送の実現に向けた原理的検証がされた段階といえる。今後は、複数の重力計を火山を取り囲むように面的に配置し、長基線の光ファイバーでそれらをつなぎ、光源やデータ収集を一元化した観測網を構成するという目標に向けて、多重化や野外実証に進む予定である。地下深部のマグマの動きに伴う密度変化を重力計観測網で捉えることができれば、地球科学および防災・火山監視へ大きく貢献すると期待される。

[4] 成果資料

(1) 新谷昌人, 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 25, 285-287, 2019.

(2) Kimura, M., N. Kame, S. Watada, M. Ohtani, A. Araya, Y. Imanishi, M. Ando, and T. Kunugi, Earthquake-induced prompt gravity signals identified in dense array data in Japan, Earth Planets Space, 71, 27, 2019.

(3) Akutsu, T., M. Ando, K. Arai, Y. Arai, S. Araki, A. Araya, N. Aritomi, H. Asada, Y. Aso, S. Atsuta, et al., First cryogenic test operation of underground kmscale gravitational-wave observatory KAGRA, Class. Quantum Grav., 36, 165008, 2019.

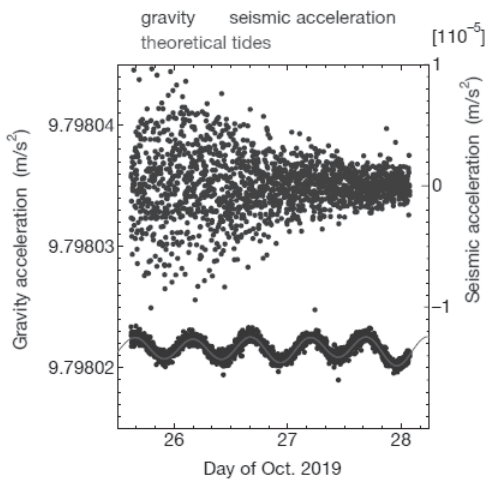


図 5 観測された重力値 (青、左軸)、地面振動加速度 (茶、右軸) および理論地球潮汐波形 (赤線)。組み込み加速度計を用いた地面振動の影響の補正により、重力値への影響は見られない。

採択番号 : H30/A20

脳型計算ハードウェア基盤とその応用

[1] 組織

研究代表者

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

中尾 光之 (東北大学大学院情報科学研究科)

片山 統裕 (東北大学大学院情報科学研究科)

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

小山内 実 (大阪大学大学院医学系研究科)

早川 美德 (東北大学教育情報基盤センター)

丹野 航太 (東北大学金属材料研究所)

矢内 浩文 (茨城大学 工学部)

浅井 哲也 (北海道大学大学院情報科学研究科)

原田 知親 (山形大学大学院理工学研究科)

廣瀬 明 (東京大学大学院工学系研究科)

斎藤 利通 (法政大学工学部)

八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)

土居 伸二 (京都大学大学院工学研究科)

森江 隆 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

佐村 俊和 (山口大学大学院医学系研究科(工学))

引原 隆士 (京都大学大学院工学研究科)

上田 哲史 (徳島大学情報センター)

西尾 芳文 (徳島大学工学部)

石田 文彦 (富山高専専門学校専攻科)

田中 敦 (山形大学大学院理工学研究科)

佐野 雅己 (東京大学大学院理学系研究科)

菅原 研 (東北学院大学教養学部)

金城 光永 (琉球大学工学部)

水柿 義直 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

鳥飼 弘幸 (法政大学理工学部)

田向 権 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

Jordi Madrenas (カタルーニャ工科大学電子工学科)

川上 進 ((元)東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 79 人

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。本年度も、本プロジェクト研究と連動する形で、「第七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2020年2月13~15日に開催し、本プロジェクトの成果を確認すると共に、今後の研究開発に向けて有益な知見を得ることができた。以下はシンポジウムのプログラム(口頭発表分)である。

1. Analog neuron circuit for edge computing, S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, H. Yamamoto, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas (Tohoku Univ., Japan)
2. Impact of nonvolatile-logic design techniques for spintronics-based edge AI computing, M. Natsui, T. Chiba, T. Hanyu (Tohoku Univ., Japan)
3. Spintronics for uniform artificial synapse and neuron, A. Kurenkov, S. Fukami, Y. Horio, H. Ohno (Tohoku Univ., Japan)
4. Design flow for SIMD-based hardware implementation of spiking neural networks, J. Madrenas, M. Zapata, J. A. Oltra, B. Vallejo, S. Moriya, S. Sato (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)
5. Analysis of temporal and mobility networks, N. Fujiwara (Tohoku Univ., Japan)
6. Distributed correlates of working memory phenomena in a large-scale multi-network model, P. Herman, F. Fiebig, A. Lansner (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)
7. Extracting image statistics by human and

machine observers, C.-C. Chen (Natl. Taiwan Univ., Taiwan)

8. Distal axon as a potential oscillator for network activities in the hippocampus, H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

9. Multi-scale calcium imaging in the visual cortex of marmoset monkeys, T. Matsui, T. Hashimoto, T. Murakami, M. Uemura, K. Kikuta, T. Kato, K. Ohki (Univ. Tokyo, Japan)

10. Microfabrication methods for the analysis of ion channel functions, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

11. Brain-like integrated system using thin-film devices, M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)

12. Memristor enabled future computing beyond CMOS, K. M. Kim (KAIST, Korea)

13. Weightless neural network with high write error rate MRAM: Pattern matching and recognition, H. Arai, H. Imamura (AIST, Japan)

14. Elastic neural network on-chip, R. Zhang, M. Wu, Y. Kan, Y. Chen, Y. Nakashima (NAIST, Japan)

15. Introduction to the "Designing the Human-Centric IoT Society" Program, Y. Horio (Tohoku Univ., Japan)

16. Technology Vision for Well-being Society, M. Morishima (Tokyo Electron Ltd., Japan)

17. Towards large-scale cyber-physical-human systems - vision for one of KTH Digitalisation projects, P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)

18. Value-sensitive design and well-being, K. Naoe (Tohoku Univ., Japan)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

エッジコンピューティングにおいて低電力脳型処理を実現するために、専用ハードウェアの開発が急務な課題となっている。そこで、前年度から引き続き、簡単な微分方程式で記述されるものの、多様な神経パルスを再現しうる Izhikevich モデルに着目し、これと同様のダイナミクスを有し、電源電圧 1V で動作するニューロン MOS アナログ回路の試作を行った。MOS トランジスタ 40 個程度で構成されるニューロン回路が 20 μ W 程度の低消費電力で良好に動作することを電気測定により確認した。

また、国際共同研究推進型特別支援分の研究費により、本プロジェクトのメンバーであるカタルーニャ工科大学の Jordi Madrenas 氏を招聘し、引き続き、パルス出力神経回路ハードウェアに関して共同研究を行い、FPGA を用いた大規模回路を容易に実装しう

るプログラミング環境の構築に成功した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

[4] 成果資料

(1) Y. Uwate, Y. Takamaru, T. Ott, Y. Nishio, Clustering Using Chaotic Circuit Networks with Weighted Couplings, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 29, pp. 1950053_1-19, 2019.

(2) Y. Uwate and Y. Nishio, Competitive Networks Using Chaotic Circuits with Hierarchical Structure, *Chaos*, vol. 29, pp. 083115_1-9, 2019.

(3) Y. Uwate and Y. Nishio, Amplitude Death in Strongly Coupled Polygonal Oscillatory Networks with Sharing Branch, *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 6, pp. 188-197, 2019.

(4) T. Yagai, K. Matsumoto, M. Moriyabashi, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, F. Hirose, and Y. Mizugaki, Evaluation of inter-particle distance of gold nanoparticles dispersed on silane-treated substrates to fabricate dithiol-connected arrays, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 58, pp. SDDF09-1-6, 2019.

(5) Y. Mizugaki, M. Moribayashi, T. Yagai, M. Moriya, H. Shimada, A. Hirano-Iwata, and F. Hirose, Dielectrophoretic Assembly of Gold Nanoparticle Arrays Evaluated in Terms of Room-Temperature Resistance, *IEICE Transactions on Electronics*, vol. E103-C, pp. 62-65, 2020.

(6) S. Shimomura and A. Hirose, Adaptive Subsurface 3D Imaging Based on Peak Phase-Retrieval and Complex-Valued Self-Organizing Map, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 17, pp. 52-56, 2020.

(7) Y. Sunaga, R. Natsuaki, A. Hirose, Land form classification and similar land-shape discovery by using complex-valued convolutional neural networks, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 57, pp. 7907-7917, 2019.

(8) K. Oyama and A. Hirose, Phasor quaternion neural networks for singular-point compensation in polarimetric-interferometric synthetic aperture radar, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 57, pp. 2510-2519, 2019.

(9) M. Natsui, D. Suzuki, A. Tamakoshi, T.

- Watanabe, H. Honjo, H. Koike, T. Nasuno, Y. Ma, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, A 47.14 μ W 200MHz MOS/MTJ-Hybrid Nonvolatile Microcontroller Unit Embedding STT-MRAM and FPGA for IoT Applications, *IEEE Journal of Solid-State Circuits (JSSC)*, vol. 54, pp. 2991-3004, 2019.
- (10) D. Suzuki and T. Hanyu, Design of a highly reliable, high-speed MTJ-based lookup table circuit using fractured logic-in-memory structure, *Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)*, vol. 58, pp. S3331-S3337, 2019.
- (11) T. Fusauchi and T. Samura, Suppression of Overfitting in a Recurrent Neural Network by Excitatory-Inhibitory Initializer, *Proc. 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2019)*, pp. 196-199, 2019.
- (12) R. Katsuki and T. Samura, Landslides Detection by Convolutional Neural Network using Multi-temporal and Single-polarized SAR Images, *Proc. 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management and Environmental Sustainability*, pp. 838-846, 2019.
- (13) S. Aoki, S. Koyama, T. Saito, Theoretical analysis of dynamic binary neural networks with simple sparse connection, *Neurocomputing*, 341, pp. 149-155, 2019.
- (14) S. Anzai, S. Koyama, S. Aoki, T. Saito, Sparse dynamic binary neural networks for storage and switching of binary periodic orbits, T. Gedeon et al. (Eds.): *ICONIP 2019, LNCS 11954*, pp. 536-542, 2019.
- (15) Y. Tanaka, T. Nomoto, T. Shiki, Y. Sakata, Y. Shimada, Y. Hayashida, T. Yagi, Focal activation of neuronal circuits induced by microstimulation in the visual cortex, *Journal of Neural Engineering*, vol. 16, 036007, 2019.
- (16) Y. Ishida and H. Tamukoh, Semi-Automatic Dataset Generation for Object Detection and Recognition and its Evaluation on Domestic Service Robots, *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 32, pp. 245-253, 2020.
- (17) K. Honda and H. Tamukoh, A Hardware-Oriented Echo State Network for FPGA Implementation, *The 2020 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2020)*, OS20-1, Oita, Japan, January 13-16 (14), 2020.
- (18) Y. Tanaka and H. Tamukoh, Hardware implementation of brain-inspired amygdala model, *IEEE International Symposium on Circuit and Systems (ISCAS2019)*, Paper ID 2254, Sapporo, Japan, May 26-29 (28), 2019.
- (19) A. Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio, H. Ohno, Artificial neuron and synapse realized in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure using dynamics of spin-orbit torque switching, *Advanced Materials*, 1900636, 2019.
- (20) Y. Horio, A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in *Understanding Complex Systems*, V. In, P. Longhini, and A. Palacios, eds., Springer, Chapter 5, pp. 36-43, 2019.
- (21) N. Yoshida, R. Takahashi, T. Hikihara, Power Regeneration from DC Motor with Bidirectional Router in Power Packet Dispatching System, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, Express Letter, 2020.
- (22) Y. Murakawa, Y. Sadanda, T. Hikihara, Parallelization of Boost and Buck Type DC-DC Converters by Individual Passivity-Based Control, *IEICE Trans. A*, vol. E103-A, pp. 589-595, 2020.
- (23) R. Manohar and T. Hikihara, Dynamic behaviour of a ring coupled boost converter system with passivity-based control, *NOLTA, IEICE*, vol. 11, pp. 109-122, 2020.
- (24) M. Yamaguchi, G. Iwamoto, Y. Abe, Y. Tanaka, Y. Ishida, H. Tamukoh, T. Morie, Live Demonstration: A VLSI Implementation of Time-Domain Analog Weighted-Sum Calculation Model for Intelligent Processing on Robots, *Int. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS 2019)*, Paper 2353, Sapporo, Japan, May 26-29(27), 2019.
- (25) M. Yamaguchi, Y. Katori, D. Kamimura, H. Tamukoh, T. Morie, A Chaotic Boltzmann Machine Working as a Reservoir and Its Analog VLSI Implementation, *Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2019)*, N-20163, Budapest, Hungary, July 14-19(17), 2019.
- (26) K. Ghandour, N. Ohkawa, C. Chung, A. Fung, H. Asai, Y. Saitoh, T. Takekawa, R. Okubo-Suzuki, S. Soya, H. Nishizono, M. Matsuo, M. Osanai, M. Sato, M. Ohkura, J. Nakai, Y. Hayashi, T. Sakurai, T. Kitamura, T. Fukai, K. Inokuchi, Orchestrated ensemble activities constitute a hippocampal memory engram, *Nature Communications* vol.10, 2637, 2019.

採択番号：H30/A24

PVDF を用いたフレキシブル圧力センサの開発研究

[1] 組織

研究代表者：

但木 大介（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

但木 大介（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

庭野 道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

今井 裕司（仙台高等専門学校総合工学科）

馬 騰（東北大学材料科学高等研究所）

中澤 日出樹（弘前大学理工学研究科）

木村 康男（東京工科大学工学部）

廣瀬 文彦（山形大学理工学研究科）

鹿又 健作（山形大学有機材料システム研究科）

延べ参加人数：57人

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。以下、研究活動状況の概要を記す。

我々は、各種圧力センサの開発に当たり、有機圧電ポリマー材料としてポリフッ化ビニリデン（PVDF）を用いている。昨年度では主に、*1H,1H,2H,2H*-Perfluorodecanethiol（PFDT）というチオール剤を用いた下地電極表面の化学修飾によって、直上のPVDF膜中の分子を配向制御させるための新規分極処理（ケミカルポーリング）技術を新たに確立した。本技術と、我々が先に開発した簡便なポリマー膜形成法（溶液法）とを併用することにより、優れた出力特性を有する単一平面型の圧力センサを再現よく作製することに成功した。

本年度では、先の単一型センサを拡張した二次元マッピング系への展開を目指した。PVDF層を感圧部に用いた新奇な構造の圧力マッピングセンサを各種作製し、一次元方向および二次元平面上における圧力変化の検出をそれぞれ試みた。

はじめに、電極となる金属の蒸着工程について、当該分野に精通している弘前大学、東京工科大学、山形大学のグループと相互に連携を図りながら進めた。試作したセンサの測定に当たっては、仙台高等専門学校のグループより提供された測定専用治具を活用し、また、特性評価に当たっては、定量解析の経験が豊富な東北福祉大学のグループから助言を受けながら考察やディスカッションを行った。なお、第11回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際会議（2020年3月5・6日、東北大学電気通信研究所）を研究代表者らが主催し、本会議にて本プロジェクトの成果を発表する予定であったが、新型コロナウイルスの世界的流行に鑑みて、本会議は中止となった。本プロジェクトの成果については、来年度の同時期に開催予定である同会議にて、よりブラッシュアップされた内容を報告する予定である。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、はじめにマッピングセンサの基本デバイスとなる、①一次元検出用マッピングセンサの開発を実施し、その後、②二次元検出用マッピングセンサの開発研究を遂行した。

① 一次元検出用マッピングセンサの開発

図1に作製した一次元検出用マッピングセンサの模式図を示す。作製方法は、まず市販のOHP（プラスチック）基板に、下部電極となるAuをメタルマスクを用いて真空蒸着する。その後、窒素雰囲気下でPFDT溶液に基板を浸漬することによりAuをチオール修飾する。次に、極性溶媒であるヘキサメチルリン酸トリアミド（HMPA）とアセトンの混合溶媒に、PVDF粉末を溶解して調合したPVDF溶液

を基板の上に滴下し、その後溶液を 10 数時間かけて乾燥させることにより PVDF 膜を形成させる。その後、純水リンスによって余分な溶媒を除去した上で、上部電極となる Au を下部電極と直交する向きに先と同様の真空蒸着によって形成させる。作製されたセンサの中心付近の様子を図 2 に示す。x 方向に平行な向きに延びている（横に長い）下部電極と、x 方向に垂直な向きに延びている（縦に長い）上部電極とが均等に立体交差している様子が分かる。この際、各電極間抵抗値が少なくとも 10 MΩ 以上である（リークがほぼ無視できる水準にある）ことを確認した。

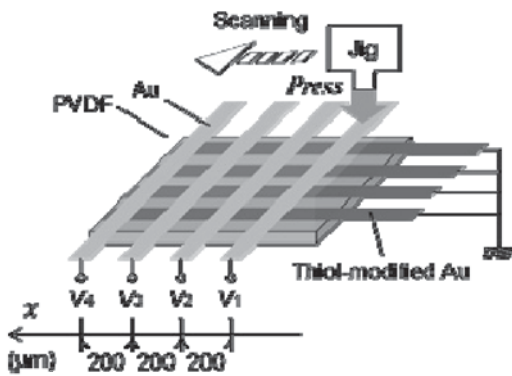


図 1. 一次元検出用マッピングセンサの概略図

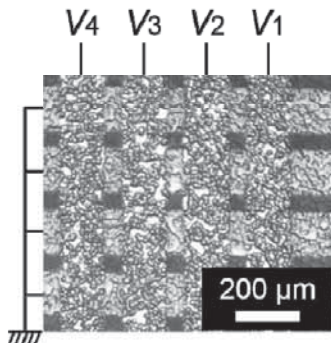


図 2. 一次元検出用センサの中心付近の顕微鏡像

本センサにおいて、図 1 のように下部電極を全て接地した上で、圧力印加治具（上部電極に平行な向きに突起が付いた治具）を一次元方向に走査（x 方向に 100 μm ずつシフト）した際の、各電極（V1～V4）から出力される電圧をオシロスコープによって同時に計測した。図 3 に、各電極において得られた出力電圧（最大値を 1、最小値を 0 として規格化）の位置依存性を示す。直上から印加された際にはその電極の出力が最大値 1 を示す（図中に矢印で示した箇所）一方で、近接電極（±200 μm の位置）の出力は殆どが 0.5 未満を示した。また、そのさらに隣の電極（±400 μm の位置）での出力はほぼ 0 にまで

減少した。この結果より、電極の平面分解能（電極中心間距離）にほぼ準ずる形で、出力の差別化に成功したと言える。分解能をさらに向上させるためには、PVDF 膜構造の最適化等によって出力感度を上昇させることが重要であると考えられる。

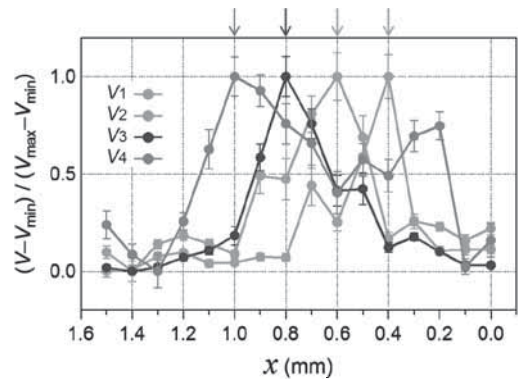


図 3. 各電極における出力電圧の位置依存性

② 二次元検出用マッピングセンサの開発

図 4 に、二次元検出用マッピングセンサの模式図を示す。下部電極成膜・チオール修飾後に、上部電極として複数の Ag 細線を立体交差させた状態で中空設置し、それらを包埋するように PVDF を成膜形成した。本センサに対し、先端形状の異なる治具を印加した際の各点における出力電圧を解析することにより、先端の二次元形状の検出を試みた。チオール修飾下部電極を共通のグラウンド電極として用いた上で、x・y 方向における各 Ag 線電極での出力電圧値を 1 つ 1 つ個別に測定していくことにより、x・y それぞれの方向における位置分布を取得した。その結果、印加位置（半球面によって最も大きな力が加わる地点）のおおよその差別化に成功した。平面分解能および出力感度を向上させることで、より細かく複雑な先端形状についても高精度での検出が可能になると期待できる。

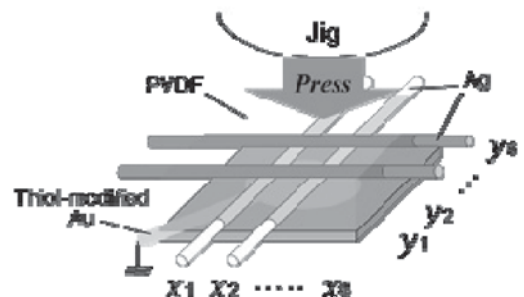


図 4. 二次元検出用マッピングセンサの概略図

(特別支援(若手)に係る研究成果)

・タイプ：若手研究者対象型

特別支援分(旅費)によって、研究代表者らが主催する第11回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際会議(2020年3月5・6日、東北大学電気通信研究所)に、数名の学外研究者(分担者)を招聘する予定であったが、先述の事由により会議が中止となったため、残念ながら本支援費を活用することは叶わなかった。

(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り、学外研究者(分担者)との交流が一段と活性化した。本プロジェクトの初年度・第2年度において、学外研究者の一人が代表を務めている科研費(基盤研究(C):17K06848)の分担者として、フレキシブル圧力センサの開発に並行して携わったため、本プロジェクトの遂行に伴い、互いの交流をより円滑に行える環境にあった。また、同時期に、本研究と関連した内容の科研費プロジェクト(若手研究:18K14110・代表)も並行して実施できたことから、本プロジェクトを含めたフレキシブル圧力センサに関する研究が包括的に推進された。本プロジェクトでは、本年度までに、様々な構造を有するフレキシブルPVDF圧力センサの開発を行うことができた。特に、新たに見出された分極処理(ケミカルポーリング)技術は、各種センサへと応用することが可能であり、来年度に開発を目指すFET一体型の圧力センサについても、円滑な研究の遂行が期待できる。

[4] 成果資料

(1) Xingyao Feng, Teng Ma, Daichi Yamaura, Daisuke Tadaki, and Ayumi Hirano-Iwata, Formation and characterization of air-stable lipid bilayer membranes incorporated with Phthalocyanine molecules. *J. Phys. Chem. B*, **123**, 6515-6520 (2019).

(2) Teng Ma, Xingyao Feng, Takeshi Ohori, Ryusuke Miyata, Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Takafumi Deguchi, Maki Komiya, Kensaku Kanomata, Fumihiko Hirose, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, Modulation of photoinduced transmembrane currents in a fullerene-doped freestanding lipid bilayer by a lateral bias. *ACS Omega*, **4**, 18299-18303 (2019).

(3) Teng Ma, Yasuo Kimura, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano, In Situ infrared observation process of organic contaminants a TiO₂ nanotube film surface. *J. Electrochem. Soc.*, **166**,

H842-H848 (2019).

(4) Maki Komiya, Miki Kato, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Hideaki Yamamoto, Ryugo Tero, Yuzuru Tozawa, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, Advances in artificial cell membranes systems as a platform for reconstituting ion channels. *Chem. Rec.*, **20**, 1-14 (2020).

採択番号：H30/A26

IoT デバイスとの対話のための知覚ユーザインタフェース に関する基礎研究

[1] 組織

研究代表者：

小俣 昌樹（山梨大学大学院総合研究部）

通研対応教員：

北形 元（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンス
センター）

延べ参加人数：10 人

[2] 研究経過

本研究プロジェクトの目的は、さまざまな IoT (Internet of Things) デバイスとのインタラクションにおいて優れたユーザエクスペリエンスを提供するために、どのような知覚インタフェースをどのように適用するとよいのかというガイドラインを確立することである。すなわち、IoT デバイス同士または人間と IoT デバイス、さらには IoT を介した人間と人間との間において、誰が、どこに、どのように居て、何に気づき、何とインタラクションしようとしていて、デバイスからのどのような通知に対して、どのような反応を示し、どのような入力をして、どのような出力を得たのかなどを、情報として扱うための指針を示すことである。このためには、ユーザ体験を中心とするネットワークとインタラクションを総括的に扱うことのできる、新たな、送受信技術、情報分類・識別技術、およびユーザインタフェース技術が必要である。

このために、研究代表者が研究している「知覚インタフェース」をウェアラブルの提供に、「生体信号インタフェース」を反応の確認に応用することを考えている。そして、対応教員の北形准教授らが研究している「自律的なネットワーク構成」や「自己産出型コンピューティング」をプラットフォームとして利用したり対話デバイスの自動切り替えに利用したりすることを考えている。また、研究分担者の菅

沼教授らが研究している「見守りネットワークにおける人物検出」をユーザの検出/識別および動きの検出に適用することを考えている。

本プロジェクトは、本年度が二年目であった。本年度は、生体信号インタフェースのひとつとして、動画視聴者の視線データと手指の皮膚コンダクタンスから、そのユーザの固視領域と覚せい度を算出して動画上にヒートマップとして可視化するシステムを試作した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) 動画視聴者の固視と覚せい度を重畳したヒートマップ動画作成システムの試作

本試作では、視聴者が動画に対してどこを注視していて、どんな心理状態なのかを提示することを目的として、視聴者の固視と皮膚コンダクタンスをヒートマップとして提示する動画を生成するプロトタイプを実装した。本システムは、動画を視聴しているユーザの視聴画面上での視線座標と手指2点間の皮膚コンダクタンスを記録する。このデータに基づき、動画の1フレームごとの固視領域を閉領域で、その固視人数割合とそのときの正規化した皮膚コンダクタンス値を色相と彩度で表現する。

固視領域を表す閉領域は、視覚的意味理解に要する 200 ms の間、中心窩で対象を捉えられる角度 1° の範囲において視線が留まっていた外接円とする。

この閉領域を塗りつぶす色の色相について、正規化した皮膚コンダクタンスを視聴者の覚せい度と捉え、低ければ低いほど沈静・リラックス状態を表す青に近づき、高ければ高いほど興奮・覚せい状態を表す赤に近づくよう、連続的に割り当てる。彩度は、同じ領域を全視聴者中何人が注視していたのかを表し、その割合が高ければ高いほど白色に近づくように割り当てる。

動画フレームごとの視聴者の固視領域が重なる場合、同時にそれぞれの色を描画することはできないため、重複している領域の色相を、もとの複数の閉領域の色相の平均値で塗りつぶす。

このようにヒートマップを重畳した動画では、動

画面上に色づけられたヒートマップを重ねているので、動画の内容の確認を阻害してしまう可能性がある。このため、前述のヒートマップ動画とは別に、動画を表示している矩形の周りに固視領域、固視人数割合、および正規化した皮膚コンダクタンスを重ねるプロトタイプも試作した。具体的には、正規化した皮膚コンダクタンスの値を色相で、同じ固視領域を注視していた人数割合を棒グラフで、そして、固視領域の位置を動画矩形の上下左右に配置する棒グラフの交差の位置で表現する。

(2) 研究会の開催

本プロジェクトの代表者・対応者・分担者らが集まり、以下に示す研究会を開催し、研究内容を発表・議論した。

- 日時：2020年2月28日（金）13:20～16:20
- 会場：東北大学電気通信研究所通研本館 6階 中会議室
- 発表内容
 - ▶ 東北大学菅沼研究室
 - ◇ 高齢者の対話型コミュニケーション状況把握のための行動認識センサの設計
(伊藤 優樹)
 - ◇ Human-in-the-loop な自動交渉を用いた利用者指向情報流通手法の設計
(戸嶋 丈士)
 - ◇ A Flexible Method of Customer Activities Recognition in Retail Store
(温佳昊)
 - ▶ 東北大学北形研究室
 - ◇ 自己産出型サービス構成のための IoT 機器情報流通基盤の検討
(北形 元)
 - ▶ 山梨大学小俣研究室
 - ◇ VR 酔いの軽減を目指した生体信号連動型補助図形重畳の設計
(鈴木 みずき)
 - ◇ テキスト会話における中枢系生体信号を用いた感情共感の分析
(渡邊 加奈)
 - ◇ IoT デバイスとの対話のための生体信号インタフェースに関する基礎研究
(小俣 昌樹)

(3) ポスター発表

2020年2月20日に東北大学電気通信研究所本館で開催された「電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会」において、ポスター発表をおこなった。

題目：An Implementation of Viewer Emotion Display System using Viewers' Physiological Responses

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、本試作システムが、動画視聴におけるユーザエクスペリエンスを可視化して提示するシステムとして、従来システムの生理反応が生じたときに視聴者がどこを注目していたのかを示すことができているという問題を解決したことである。従来システムとして、動画再生フレームの隣に視聴者の幸せや驚きなどの感情の強度を動画の再生と同期して示すステータスバーを表示するシステムや、視聴者の幸福状態をアバターに反映させて提示するシステムなどが開発されているが、これらは、動画再生と同期して視聴者の生理的反応の強度を提示している一方、その反応が動画内のどの部分を注視したときの反応なのかを提示してはいない。

あわせて、本システムでは固視領域とそのときの生理反応を示すことができるため、動画の制作者や分析者にとって、意図通りに視聴されているかどうかや改善点などを知る手立てとなり、コンテンツのユーザエクスペリエンスの分析や改善のためのツールとして有用であると考えられる。

第2に、簡易的ではあるが、本システムの評価実験によって、本システムが、視聴者の注目点を概ね正しく提示できていることがわかった。この実験では、被験者に動画を見てもらいながら視線や皮膚コンダクタンスを記録したあと、同じ動画をもう一度見てもらい、分割した場面ごとの注目点と覚せい度を自己評価してもらった。その結果、初回視聴時の視線データから算出した固視領域と、2回目の視聴時における自己評価の注目点とがほとんど一致していたことがわかった。

一方、初回視聴時の皮膚コンダクタンスから算出した覚せい度と、2回目視聴時における自己評価の覚せい度との相関を分析したところ、統計的に有意な相関は見られなかったため、覚せい度の算出モデルを変更したり他の生体信号を併用したりする検討課題が残った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の研究成果による期待される波及効果は、このシステムが、ネットワーク利用におけるスループットに影響されるコンテンツの一つである動画配信において、視聴者の固視領域とそのときの情動がわかれば、それに合わせてネットワークを最適値へと自動で制御する新たな技術へと発展していくことと考える。

[4] 成果資料

- (1) 小俣 昌樹, “生理心理学的側面からのユーザエクスペリエンスの測定,” 令和元年度やまなし産学官連携研究交流事業研究発表会, ポスター発表, 電4, 2019.
- (2) Masaki Omata and Kaito Shimizu, “Viewer Arousal Display System Using Eye-Tracking and Skin Conductance Data,” In Proceedings of the 31st Australian Conference on Human-Computer-Interaction (OZCHI’ 19). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp.290 - 294. DOI:<https://doi.org/10.1145/3369457.3369481>, 2019.
- (3) 北形 元, “自己産出型コンピューティングの実現へ向けた検討,” 信学技報, vol. 119, no. 195, IN2019-23, pp.1-4, 2019.
- (4) 北形 元, 和室 昂佑, 長野 雄, 天間 克宏, 大和田 泰伯, 長谷川 剛, “自己産出型コンピューティング基盤のサービス構成機能の試作,” 第27回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.234-237, 2019.
- (5) Luis Guillen, Satoru Izumi, Toru Abe, and Takuo Suganuma, “AND/3:SDN-Assisted Novel QoE Control Method for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP/3,” Electronics 2019, Vol.8, Issue 8, 864, 2019.
- (6) 伊藤優樹, 上野正義, 高橋大夢, 千葉慎二, 阿部亨, 菅沼拓夫, “高齢者の対話型コミュニケーション状況把握のための行動認識センサの実装,” 情報処理学会第82回全国大会講演論文集, 1X-05, 2020.

採択番号：H30/A28

薄膜デバイスを用いた脳型集積システム

[1] 組織

研究代表者：

木村 睦（龍谷大学理工学部）

通研対応教員：

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

松田 時宜（龍谷大学革新的材料・プロセス研究センター）

浦岡 行治（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

古田 守（高知工科大学環境理工学群）

Sung-Min Yoon（Kyung Hee University）

中島 康彦（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

張 任遠（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

荒井 礼子（産業技術総合研究所スピントロニクス研究センター）

山川 大樹（龍谷大学理工学研究科）

柴山 友樹（龍谷大学理工学研究科）

池田 裕哉（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

滝下 雄太（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

延べ参加人数：13人

[2] 研究経過

人工知能は、現在も様々な応用に用いられ、未来の社会において不可欠な技術である。しかしながら、従来は、超ハイスペックなノイマン型のハードウェアで実行される複雑で長大なソフトウェアであり、マシンサイズが巨大でエネルギー消費が膨大であるという課題があった。脳型集積システムは、ハードウェアレベルからの生体模倣システムで、生体の脳と同様にコンパクト・低エネルギー消費・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。本研究は、薄膜デバイスを用いた脳型集積システムに関するものである。薄膜デバイスを利用することで、脳型集積システムの特長をさらに高めることを

目的とする。なお、本共同プロジェクト研究は2年目であり、1年目に得られた成果をもとに、さらなる研究の推進を図る。

研究代表者は、本共同プロジェクト研究の開始前に、薄膜デバイスとして、低温多結晶シリコン(LTPS)デバイス・アモルファス In-Ga-Zn-O (α -IGZO) デバイス・アモルファス Ga-Sn-O (α -GTO)などを研究し、コンダクタンスが電流履歴とともに連続的に減少することを確認し、シナプス結合として使用できることを明らかにした。これらの薄膜デバイスをLSIのうえに積層し、基礎的なホップフィールドニューラルネットワークやセルラニューラルネットワークを構築し、簡単な文字再生の実験に成功している。本共同プロジェクト研究は、上述の本共同プロジェクト研究の開始前の研究の延長に位置するものである。

さらに、本共同プロジェクト研究の1年目に、第1に、薄膜デバイスをシナプス素子に用いたホップフィールドニューラルネットワークで、「0」「1」「T」「L」といった複数の文字再生の実験に成功している。これは、コンダクタンスが電流履歴とともに連続的に減少することが、シナプス結合として使用できることを再び明らかにしたこととともに、局所的で自自動的な学習則である修正ヘブ学習則が有用であることも明らかにしたものである。第2に、2層積層構造の薄膜デバイスをシナプス素子に用いたホップフィールドニューラルネットワークで、やはり部分的ながら文字再生の実験に成功している。これは、三次元積層構造の脳型集積システムの可能性を示唆できるものである。第3に、強誘電体キャパシタの薄膜デバイスを、シナプス素子に用いたホップフィールドニューラルネットワークで、やはり部分的ながら文字再生の実験に成功している。これは、DC電流が流れない超低消費電力の脳型集積システムの可能性を示唆できるものである。第4に、薄膜デバイスをシナプス素子に用いた集積化LSIチップのセルラニューラルネットワークで、やはり部分的ながら文字再生の実験に成功している。これは、より現実なデジタルアナログハイブリッド脳型集積システムにつながる成果である。

本プロジェクトでは、まず、研究代表者の木村と

通研対応教員の堀尾教授との議論で、1年目には、本共同プロジェクト研究における薄膜デバイスを用いた脳型集積システムの研究開発の重要性を確認したので、2年目には、さらにその具体的な研究開発の方向を決定した。木村と研究分担者の中島教授と張助教は、1年目には、所属機関でシステム試作、すなわち、制御回路としてのLSIの設計試作などを行ったので、2年目には、このLSIを実際に活用して脳型集積システムの動作確認を行った。一方、木村と研究分担者の浦岡教授と古田教授は、1年目には、三次元積層構造の薄膜デバイスの成膜試作に関連する解析評価などを行ったので、2年目には、その解析結果を検討したうえで継続して同様に解析評価を行った。次に、木村と中島教授と張助教が、1年目には、所属機関でニューロモーフィックシステムとしての特性評価・アナログニューラルネットワークとしての動作評価・学習機能の動作確認・消費電力の詳細測定などを行ったが、2年目には、新たに試作される脳型集積システムに対して同様の特性評価・動作評価・動作確認・詳細測定などを行った。そして、木村が、1年目には、その評価結果を持って通研を訪問し、研究発表会で講演し、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考察したが、2年目にも、やはり、評価結果を持って通研を訪問し、研究発表会で講演し、いまだ共同研究を立ち上げるまでには至らなかったため、上述の将来的な準備・共同研究の枠組みや基盤の議論を継続した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- 2020年02月14日 研究発表会で講演
(国際会議のSessionとして開催)

Mutsumi Kimura, Brain-like Integrated System using Thin-Film Devices, The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

張氏・荒井氏も講演・外部招待講演として Kyung Min Kim 氏 (KAIST) も講演・

(参加人数は国際会議の情報参照)

- 2020年02月20日 研究発表会で講演
(共同プロジェクト研究発表会として講演)

Mutsumi Kimura, Brain-like Integrated System using Thin-Film Devices, Compass for Next-Gen ICT, FY 2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects

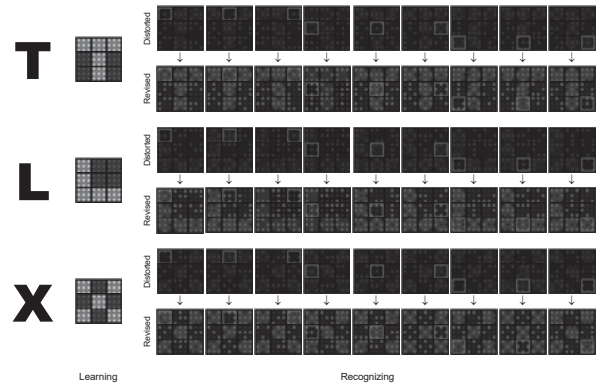
(参加人数は共同プロ研究発表会の情報参照)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

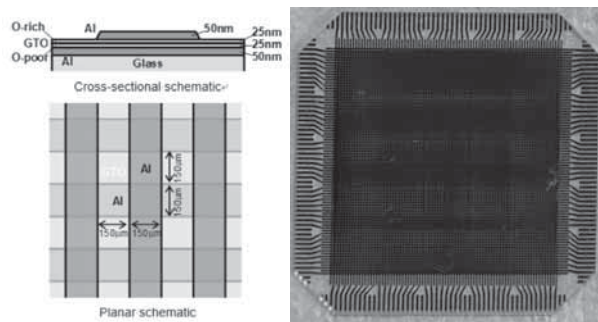
本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、クロスポイント型 α -GTOを自己可塑シナプスエレメントとして備えたニューロモーフィックシステムを作製し、「T」「L」「X」の3文字の同時学習に成功した。



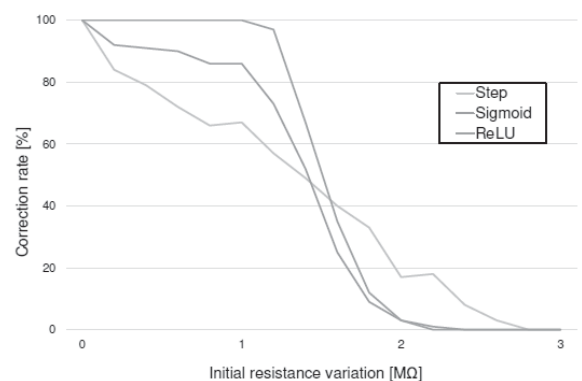
クロスポイント自己可塑シナプスの3文字同時学習

第2に、異なる酸素密度の2層の α -GTO薄膜デバイスでメモリスタ特性を確認した。我々のニューロモーフィックシステムで確実な動作を保証するひとつの手法となりえる。



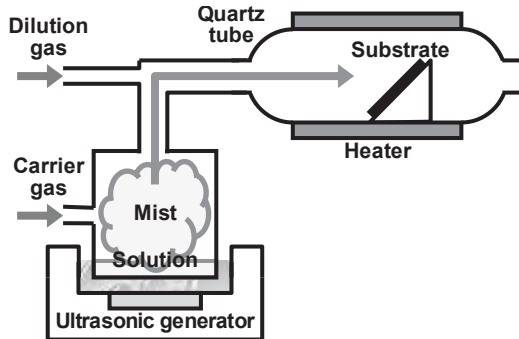
異なる酸素密度の2層の α -GTO薄膜デバイス

第3に、ニューロモーフィックシステムの性能に対する、デバイス特性と活性化関数の影響を調べた。デバイス特性のバラツキがある特定の値を超えるとニューロモーフィックシステムの性能が急激に悪化すること、ReLU関数では性能の悪化が緩やかであることなどがわかった。



異なる酸素密度の2層の α -GTO薄膜デバイス

第4に、ミストCVD法で成膜した α -TGO 薄膜のメモリスタ特性を確認した。ミストCVD法は大気圧プロセスで、我々の研究に対しては、ニューロモーフィックシステムの、将来の3次元化と低コスト化が期待できる。



異なる酸素密度の2層の α -TGO 薄膜デバイス

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本研究で、薄膜デバイスを用いた脳型集積システムの基本的な構成や動作を確認することで、かなりの将来においては、大規模集積化や三次元積層構造により、コンパクト・低エネルギー消費・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 2×10^{10} 個のニューロン素子と 2×10^{14} 個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。本共同プロジェクト研究の1年目では、上述の期待される成果に矛盾は見出されなかったため、2年目でもその期待される成果を踏襲する。

[4] 成果資料

[学術論文 (査読あり)]

- Yuta Takishita, Masaki Kobayashi, Kazuki Hattori, Tokiyoshi Matsuda, Sumio Sugisaki, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Memristor Property of an Amorphous Sn-Ga-O Thin-Film Device deposited using Mist Chemical-Vapor-Deposition Method, AIP Advances, Vol.10, Issue 3, Mar. 2020, to be published
- Hiroya Ikeda, Hiroki Yamane, Yuta Takishita, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima, Influence of Characteristic Variation of Oxide Semiconductor and Comparison of the Activation Function in Neuromorphic Hardware, NOLTA. IEICE, Vol.E11-N, No.2, Apr. 2020, to be published

- Ayata Kurasaki, Ryo Tanaka, Sumio Sugisaki, Tokiyoshi Matsuda, Daichi Koretomo, Yusaku Magar, Mamoru Furuta, and Mutsumi Kimura, Memristive Characteristic of an Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Device with Double Layers of Different Oxygen Density, Materials, Vol. 12, Issue 19, 3236, Oct. 2019
- [STAP Reviews] Mutsumi Kimura, Emerging Applications using Metal-Oxide Semiconductor Thin-Film Devices, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 58, No. 9, 090503, Sep. 2019
- Mutsumi Kimura, Kenta Umeda, Keisuke Ikushima, Toshimasa Hori, Ryo Tanaka, Junpei Shimura, Atsushi Kondo, Takumi Tsuno, Sumio Sugisaki, Ayata Kurasaki, Kaito Hashimoto, Tokiyoshi Matsuda, Tokiyoshi Kameda, and Yasuhiko Nakashima, Neuromorphic System with Crosspoint-type Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Devices as Self-Plastic Synapse Elements, ECS Trans., Vol. 90, Issue 1, pp. 157-166, May 2019

[基調講演]

- Mutsumi Kimura, Neuromorphic System using Thin-Film Devices as a Novel Computing System, ISACIT 2019, Aug. 2019

[招待講演]

- 木村 睦, 薄膜デバイスを用いたリアルニューロモーフィックシステム, エレクトロニクス実装学会 第34回春季講演大会 特別シンポジウム「IoTによるフィジカル空間変革とAI社会実装」2020年3月
- 木村 睦, 薄膜デバイスを用いたニューロモーフィックシステム, 薄膜材料デバイス研究会 高知特別研究会, 2020年3月
- Mutsumi Kimura, Neuromorphic Chip using AOS Thin-Film Devices, The 77th Fujihara Seminar, pp. 16-17, Oct. 2019
- Mutsumi Kimura, Novel application using TFTs, IMID 2019, B65-3, pp. 653, Aug. 2019
- Mutsumi Kimura, Neuromorphic System using Thin-Film Devices, 2019 ULSIC vs. TFT Conference, May 2019

[学会発表 (査読あり)]

10件

[学会発表 (査読なし)]

5件

採択番号：H30/A29

IoT 用ハードウェアセキュリティの研究

[1] 組織

研究代表者： 小熊 博
 (富山高等専門学校)
 通研対応教員：本間 尚文
 (東北大学電気通信研究所)
 研究分担者： 中嶋 彩乃
 (富山高等専門学校)

延べ参加人数：6人

[2] 研究経過

IoT はいわゆる組込みシステムとも考えられ、利用シーンとして自動車、医療系機器、ウェアラブル端末、産業機器、家電など多岐にわたる。さらに、組み込み機器特有に求められる要件として、「回路規模、消費電力量、低遅延」の3要素が挙げられる。この3要素を満たすため、ハードウェアセキュリティつまりIoT用の暗号化回路の設計、実装、評価を行う必要がある。

これまで、世界中で安全な共通鍵暗号として認識されているAES (Advanced Encryption Standard) を対象に研究を実施してきた。AESは一定データ長ごとに繰り返し処理をして暗号化するため、ハードウェア実装のアーキテクチャにはloop型とunrolled型がある。loop型は繰り返し処理ごとにメモリにデータを保存し、unrolled型は暗号化終了まで保存しない。暗号回路を、通研対応教員より指導を仰ぎ、富山高専の学生がVerilog-HDL言語によりXilinx社のFPGA (Field Programmable Gate Array) のXC6SLX454上に実装している。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

図1にIoT用ハードウェアセキュリティ評価システムの全体を示す。loop型およびunrolled型のAESに対して、コミュニケーションモジュールを使って、PCからFPGAへ鍵と平文を送信して暗号化させ、電力測定環境でその電力を測定して保存した。FPGAで暗号化された暗号文を受信して保存した。保存した平文または暗号文と電力データをCPA

(Correlation Power Analysis) プログラムに入力し、図相関係数を得ることができた。以上のように、汎用FPGAボードに実装したloop型とunrolled型のAESの安全性を評価するための環境を実装することができた。以下に、詳細を示す。

(3-1-1) 電力測定環境

FPGAとPC、オシロスコープとPCはそれぞれUSB接続している。AESを実装したFPGAボードから出力される暗号化開始信号を測定するため、汎用ピンとオシロスコープのCH1に接続した。FPGAに近磁界プローブを当てて固定してオシロスコープに接続している。電力測定において、近磁界プローブは利得が小さかったため、近磁界プローブとオシロスコープの間にアンプユニット (COSMOWAVE LNA270WS) を仲介させ、1.5mV程度から80mV程度まで増幅させた。構築した測定環境およびプログラムで、FPGAの電力波形を測定してPCに取り込んだ。暗号化は10,000データに対して行った。ただし測定のためにAESハードウェアの周波数は、loop型が25MHz、unrolled型が17MHzに設定しており、レイテンシは400nsと58.8nsとなっている。また、図2に示すようにオシロスコープに表示された波形をそのままPCに取り込むことを確認している。

(3-1-2) 電力解析アルゴリズム

電力解析には、単純電力解析:SPA (Simple Power Analysis) と差分電力解析:DPA (Difference Power Analysis)、相関係数解析:CPA (Correlation Power Analysis) などの方法がある。SPAは測定した電力消費のみから処理を解析する方法だが、ノイズなどの影響から難易度は高い。DPAは電力消費の差分の統計から秘密鍵を解析する方法である。CPAは内部データのハミング距離と電力消費の相関係数から秘密鍵を解析する方法である。本研究ではCPAに注目する。CPAには平文または暗号文とその暗号化処理時の電力データが必要となる。平文や暗号文はハミング距離を算出するために必要となるが、算出方法はloop型とunrolled型で異なる。Loop型は、連続してレジスタに保存されたデータのハミング距離

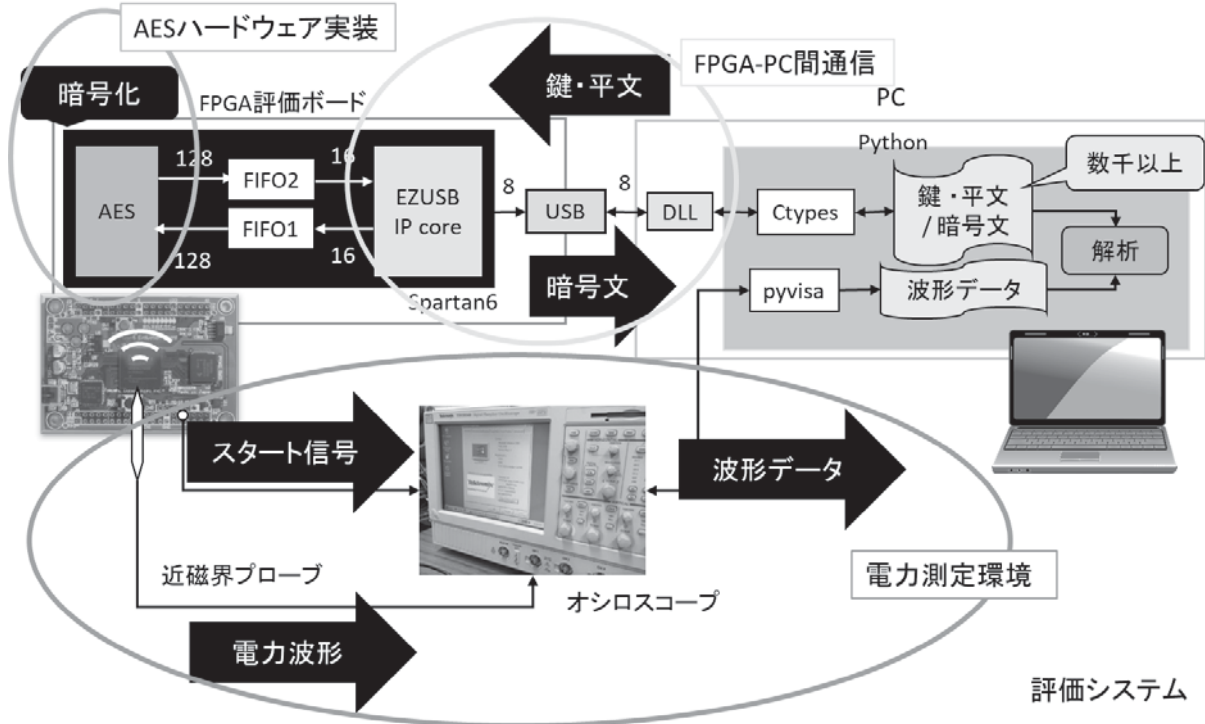


図1 評価システム

をデータの変化量とする。最も単純なのは、暗号文とその前段階である 9 ラウンド目の出力とのハミング距離である。前段階のデータの算出に使用する 128bits のサブ鍵は、1byte ごと 256 通りの候補鍵に分けて算出する。そのためハミング距離は 16bytes × 256 通り × データ数の表となる。各バイトの候補鍵におけるハミング距離データと、ある時刻における電力消費データの相関係数を計算して、相関係数の高い候補鍵を秘密鍵と推測する。上記について、Python により平文または暗号文からハミング距離を算出し、電力波形との相関係数を計算するように実装した。相関係数の高い候補鍵から 10 個程度をピックアップした。なお、計算コストが大きいハミング距離の算出を高速化するために、numpy ライブラリを使用して AES のラウンド処理を実装した。CPA プログラムのテストでは、loop 型の暗号文と電力波形のサンプルデータ 10,000 個を解析した。ピックアップした相関係数の高い候補鍵の中に秘密鍵が含まれており、CPA プログラムによって loop 型の AES に対する解析が可能であることを確認できた。

(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

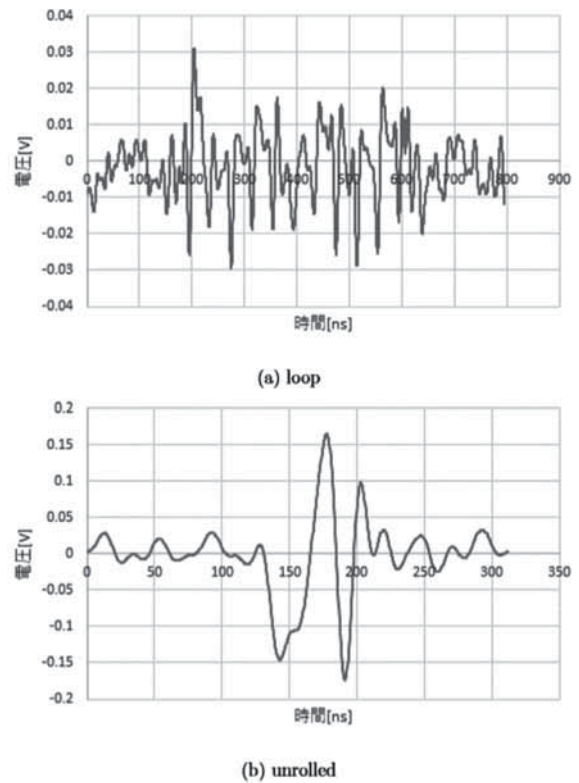


図2 PCに取り込んだ電力波形例

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。

[4] 成果資料

○ 国内大会・研究会発表

(1) 中嶋彩乃, 小熊博, 本間尚文, “Unrolled 型 AES 暗号化回路の設計,” 電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集(CD-ROM), 2018 年9 月.

(2) 中嶋彩乃, 小熊博, 本間尚文, “AES 暗号化回路の設計および実装,” 第3 ブロック専攻科研究フォーラム, 2019 年3 月.

(3) 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), 2019 年7 月.

採択番号：H30/A30

インテリジェントエッジに基づく先進的 IoT 基盤技術の研究

[1] 組織

研究代表者：

佐藤 文明（東邦大学理学部）

通研対応教員：

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

岡田 謙一（慶応大学理工学部）

小花 貞夫（電気通信大学電気通信学部）

片岡 信弘（東海大学電子情報学部）

北上 眞二（福井工業大学経営情報学科）

小泉 寿男（M2M・IoT 研究会）

白鳥 則郎（中央大学研究開発機構）

高橋 修（はこだて未来大学システム情報科学部）

滝沢 誠（法政大学理工学部創生科学科）

塚本 昌彦（神戸大学工学部）

富樫 敦（宮城大学事業構想学部）

東野 輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科）

福田 晃（九州大学大学院システム情報科学研究院）

水野 忠則（愛知工業大学情報科学科）

宮西 洋太郎（㈱アイエスイーエム）

村山 優子（津田塾大学情報科学科）

宗森 純（和歌山大学システム工学部）

渡辺 尚（大阪大学情報科学研究科）

延べ参加人数：19人

[2] 研究経過

各種のセンサやデバイスがインターネットを通してクラウドサーバに接続され、情報交換しながらお互いに制御しあう IoT(Internet of Things)がいま世界的に注目されている。市場規模は2020年には3兆400億ドルに拡大すると予測されており、自動車産業や製造業、ヘルスケアなどの領域にも影響を及ぼすとされている。IoTの構成要素として現在クラウドがその中心をなしているが、高い応答性能を必要とするアプリケーションではより制御対象に近いエッジと呼ばれる中間サーバが非常に重要な役割を果たすようになってきた。クラウドとエッジが役割分担や負荷分散をするエッジコンピューティングと

呼ばれるアーキテクチャが提案されている。

しかし、現在はクラウドとエッジでの負荷分散・機能分散が固定的であり、動的に運用環境が変化するアプリケーションには適切に対応できない。従って、我々は運用環境の変化に対応した動的なクラウド・エッジ間の機能分担機構を提案する。クラウド上では、センサ情報の蓄積や分析処理のほかに、どのデバイスに誰がいつアクセスできるのか、どのセンサからどのような頻度や分解能で情報を取得するのかといったガバナンス管理が行われる。応答性能を向上させるためには、このガバナンス管理についても、クラウドとエッジ間で適切に分担される必要がある。クラウドとエッジでの管理ポリシーに齟齬が生じないように実現する必要がある。

本プロジェクトでは、エッジコンピューティングに必要なクラウドとエッジ間の負荷分散、またエッジ同士の連携において、アプリケーションの運用環境に対応した最適な処理の分担を過去の運用データから学習してエッジが自ら運用方針を制御するインテリジェントエッジアーキテクチャを実現することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、インテリジェントエッジに基づくIoT基盤技術の実現に向けて、エッジとクラウドとの役割分担に係る定式化を行い、エッジによる最適化とクラウドによる最適化を段階的に均衡させるIoTエッジ最適化モデルを開発した。また、インテリジェントエッジによるアプリケーションとして、電動車椅子の自動運転、ライフデザイン・イノベーション、スマート農業、災害コミュニケーション、およびウェアラブルコミュニケーションへのIoTエッジ最適化モデルの適用可能性について検討を行った。

本年度は、前年度の成果であるエッジ最適化モデルに基づいたIoT基盤のセキュアな運用管理技術と運用ポリシーの分散管理技術を提案し、その有効性についての評価を行った。また、これらの技術を活用した交通流管理を提案し、シミュレーションによりその有効性を示した。さらに、学生生活支援システム、病院管理システム、経験サブシステム、地域災害レジリエンスシステムなどのアプリケーション

へのインテリジェントエッジの適用性について検討した。本年度の研究活動状況を以下に示す。

(2-1) 共同プロジェクト研究会

11月に、他の共同プロジェクトと合同で共同プロジェクト研究会を開催した。本プロジェクトメンバから最新の研究成果8件について研究成果を報告し、研究成果とその応用について議論を行った。

【開催日時】2019年11月29日～11月30日

【開催場所】東北大学電気通信研究所6階大会議室

【参加者数】28名

(本プロジェクトメンバ10名および聴講者18名)

【報告内容】

- (1) 岡田 謙一 (慶応大) 「香り発生に関する米国特許取得」
- (2) 水野 忠則 (愛知工大) 「過去から未来へ」
- (3) 東野 輝夫 (大阪大) 「Society 5.0 PJ と引きこもり検知PJ」
- (4) 佐藤 文明 (東邦大) 「車載カメラから検知した車両台数に基づく交通流制御」
- (5) 北上 眞二 (福井工大) 「雨水活用による地域災害レジリエンスの向上」
- (6) 高橋 修 (はこだて未来大) 「病院経営の現状とICTの展開」
- (7) 塚本 昌彦 (神戸大) 「ウェアラブル・IoTデバイスをを用いたラン支援」
- (8) 福田 晃 (九州大) 「ITSに関する取り組み」

(2-2) 共同プロジェクト20周年記念企画

本プロジェクトは20年目となるため、その記念企画として、上記の研究会において特別講演2件を実施し、これまでの研究成果の総括と今後の分散処理技術に係る研究のあり方についての討議を行った。特別講演の講演者と講演テーマは下記の通りである。

- (1) 村山 優子 (津田塾大) 「持続可能な開発目標(SDGs)の向こうへ：災害情報処理、バリアフリー支援、トラストの研究の展開」
- (2) 白鳥則郎 (中央大) 「20年を振り返り次の20年へ向けた100年の俯瞰 - ICTに基づく人と人・人工物・自然の共生 -」

[3] 成果

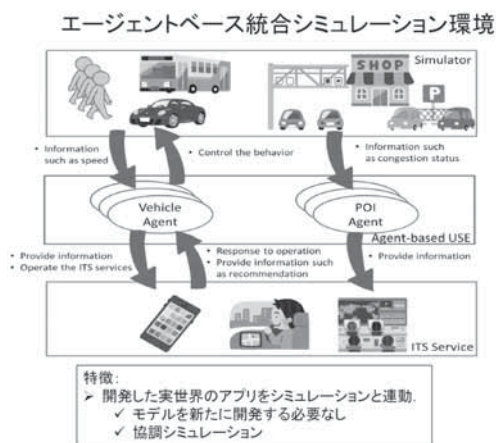
(3-1) 研究成果

ここでは、本年度に得られた成果として、IoT基盤のセキュア分散管理技術の交通流制御への適用事例を紹介する。

i) 交通流シミュレーション支援環境

インテリジェントエッジを適用した複雑システムのための統合シミュレーション環境を提案した(図1)。このシミュレーション環境は、シミュレータ上

の移動体オブジェクトの「動き」をシミュレートすることが可能である。たとえば、自動車で言えば、目的までの「運転」をシミュレートできるため、自発的な目的地の決定や変更を行う必要がない。また、シミュレータ上の移動体の目的地の決定・変更、経路変更など、移動体のパラメータを外部から変更したり、サービスが必要とする情報をシミュレータから取り出して送ったりすることができる。本研究では、提案した統合シミュレーション環境のアーキテクチャに基づいて交通流シミュレーション支援環境を実装し、その有効性を実証した。

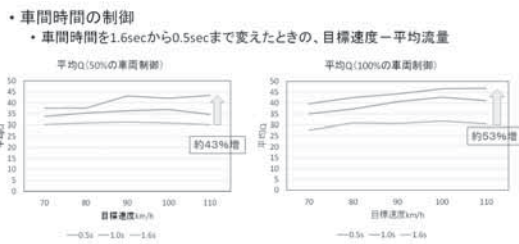


[図1] エージェントベース統合シミュレーション環境

ii) 車載カメラから検知した車両台数による交通流制御

交通渋滞を緩和するための交通流制御にエッジ最適化モデルの運用ポリシ分散管理技術を適用し、有用な結果を得た。具体的には、車載カメラの画像から前方車両台数を認識して、その車両台数によって渋滞予兆を特定し、交通流制御をする方法を提案しシミュレーションによって評価した。提案手法は、最小車間時間の制御、目標車速の制御および車線変更の制御を組み合わせることで、渋滞になりにくく、交通流量が下がりにくい交通流制御を実現する。なお、車両台数の認識は、深層学習(YOLO)を使用した。

シミュレーション評価の結果、車間時間を制御することで、交通流が滑らかになり、流量が向上することを明らかにした(図2)。特に、制御開始条件として前方車両台数が3台の場合に比べて、6台にすると効果が得られにくい。これは、渋滞が既に拡大していることを意味する。また、渋滞が拡大する前に、車間時間を短くして、車線変更を抑制することで、交通流量を高くして速度低下を防ぐことが可能であるという知見が得られた。



[図2] 交通流制御のシミュレーション結果

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

IoT 技術は現在もっとも発展が見込まれる領域であるが、それを更に発展させるためには、IoT 基盤のセキュアな運用管理技術と運用ポリシーの分散管理技術が重要となる。本研究では、IoT 基盤のセキュア運用管理と分散管理のフレームワークとアーキテクチャについて検討を行い、交通流制御、災害レジリエンス、学生引きこもり予兆、ウェアラブルデバイス管理などへの適用が期待できる。

また、本プロジェクトメンバが中核となる国際会議 IWIN2019 において、本研究の成果を発表した。

【国際会議名】

International Workshop on Informatics 2019 (IWIN2019)

【開催日時】 2019年9月8日～9月11日

【開催場所】

Handwerkskammer Hamburg, Deutschland

【発表者人数】 28名(招待講演者3名を含む)

今後は、本プロジェクトで開発された要素技術のもとに、科研費やSCOPE等の外部資金獲得へつなげていくとともに、若手の共同プロジェクトとの交流を深め、本研究分野における後継者育成に努める。

[4] 成果資料

本プロジェクトによる代表的な成果を以下に示す。

- (1) Ryuji Oma, et al.: A Fault-tolerant Tree-based Fog Computing (FTBFC) Model for the Internet of Things (IoT), International Journal of Web and Grid Services (IJWGS), Inderscience, vol.15, no.3, pp.219-239. (2019)
- (2) Shigenari Nakamura, et al.: Causally Ordering Delivery of Event Messages in P2PPSO Systems, Cognitive Systems Research (COGSYS), Elsevier, vol. 56, pp.167-178 (2019).
- (3) Shinji Sakamoto, et al.: Implementation of

an intelligent hybrid simulation systems for WMNs based on particle swarm optimization and simulated annealing: performance evaluation for different replacement methods, Soft Computing, vol.23, no.9, pp.3029-3035 (2019).

- (4) Shigenari Nakamura, et al.: A Flexible Synchronization Protocol to Learn Hidden Topics in P2PPS Systems, Transactions on Computational Collective Intelligence, Springer, vol.11610, pp.52-70 (2019)
- (5) Dilawaer Duolikun, et al.: Static and Dynamic Group Migration Algorithms of Virtual Machines to Reduce Energy Consumption of a Server Cluster, Transactions on Computational Collective Intelligence, Springer, vol.11610, pp.144-166 (2019)
- (6) Koichi Tanaka, et al.: A Study on Time Synchronization Method for Field Servers for Rice Cultivation, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.11, No.1, pp.33-44(2019).
- (7) Tomoya Enokido, et al.: The energy consumption laxity-based algorithm to perform computation processes in virtual machine environments, International Journal of Grid and Utility Computing (IJGUC), vol. 10, no. 5, pp. 545-555 (2019)
- (8) Teruo Higashino, et al.: Context Recognition of Humans and Objects by Distributed Zero-Energy IoT Devices. The 39th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, pp.1787-1796 (2019)
- (9) Katsuya Ogura, et al.: Ground object recognition and segmentation from aerial image-based 3D point cloud. Computational Intelligence 35(3) pp.625-642 (2019)
- (10) Moustafa Elhamshary, et al.: CrowdMeter: Gauging congestion level in railway stations using smartphones. Pervasive and Mobile Computing 58 (2019)
- (11) Hiroki Yoshikawa, et al.: Smartphone Thermal Camera Correction Using a Wristband Sensor. Sensors 19(18) (2019)

以上

採択番号：H30/A32

セキュアなキャンパス BYOD の実現に向けた マルウェア検出システムに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

佐藤 彰洋（九州工業大学情報科学センター）

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：

笹井 一人（茨城大学工学部）

池永 全志（九州工業大学工学研究院）

中村 豊（九州工業大学情報科学センター）

野林 大起（九州工業大学工学研究院）

小倉 光貴（九州工業大学工学研究院）

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

モバイルデバイスの普及に伴い、私物情報端末の業務利用、すなわち BYOD(Bring Your Own Device)を検討する動きが盛んになってきている。高等教育の現場も同様に、九州大学と広島大学が国立大学法人では先んじて学生個人の端末を必携とする BYOD 体制に移行した。これに続き、今後多くの大学で BYOD が検討・実施されるものと容易に想像できる。その一方、マルウェアに感染済みの端末をキャンパスネットワークに持ち込まれることが大きな課題となる。マルウェアに感染した端末は、C&C(Command-and-Control Server)を介して攻撃者の指令を受けることにより、ランサムウェアの配布、フィッシング詐欺、標的型攻撃への利用など、様々な犯罪活動を試みる。大学における BYOD では、学生の専攻や研究、または出身国により端末環境が多岐に渡るため、一般的な企業のように MDM(Mobile Device Management)を適用することは困難である。故に、キャンパスネットワークで観測される通信のみからマルウェアを検出することが求められる。従来のセキュリティ機器は、不審なファイルの動的解析や静的解析、シグネチャとの比較などによりマ

ルウェアを検出してきた。これらの対策は、マルウェアに感染する過程の通信を観測できることを前提としているため、感染済みの端末がネットワークに持ち込まれた状況では意味を成さない。一方、ネットワーク内の端末の通信を監視するためには、ブラックリストを用いる方法が一般的である。しかしながら、ブラックリストによる検出を回避するため、マルウェアは通信先を頻繁に変更すること且つ通信先を巧みに隠蔽することが知られている。このように刻々変遷するマルウェアの通信に対するためには、ブラックリストの迅速・継続した更新が求められるが、その実現にはセキュリティ解析者の多大な労力が必要となる。キャンパスネットワークにおいて大規模感染が発生した場合、大学の業務に多大な影響を及ぼすため、この問題の解決は急務である。そこで本プロジェクトでは、ブラックリストの能動的な拡張を図ることで、キャンパスネットワークにおける膨大な数の DNS 名前解決要求から、マルウェア感染端末を検出することを目的として研究を行なった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、ブラックリストの能動的な拡張を図ることで、キャンパスネットワークにおける膨大な数の DNS 名前解決要求から、マルウェア感染端末の検出を実現する。それに向けて、(a)マルウェア感染端末分類技術、(b)未知の悪性通信検出技術の確立を目指す。また、電気通信研究所の北形准教授、茨城大学の笹井准教授らの研究成果を応用することで、(c)マルチエージェントシステムを用いたネットワーク自動適応技術を実現する。

先ず、過去2年間に渡る共同プロジェクト研究の成果により、(a)マルウェア感染端末分類技術の実現可能性を示した。具体的には、(1)ブラックリストと一致した通信の前後には、その原因の推定を助ける通信が存在すること、(2)悪性通信の特徴はマルウェア

の種類に依存することの2点に着目し、ブラックリストと一致した通信とその前後から悪性通信の特徴を導出する仕組み、その特徴の類似性から感染端末を分類する仕組みを実現した。マルウェア感染端末分類技術の有用性を確認するため、九州工業大学のキャンパスネットワークにおいて実証実験を行った。その結果、従来手法と比較して高精度で感染端末を分類できることが明らかになった。この研究成果は、既に論文誌に掲載されている[1]。また、その成果を拡張したものが IEEE オープンアクセスの論文誌に掲載されている[2]。

次に、本年度は(b)未知の悪性通信検出技術の実現に着手した。具体的には、分類済みのマルウェア感染端末群で、それに含まれる良性通信を除外し、共通する悪性通信をのみを抽出する仕組みを検討した。その理由は、感染端末に潜むマルウェアは数種類に渡ることが多いため、マルウェア感染端末はブラックリストと一致した通信に加え、未知の悪性通信を試みる事が予想されるためである。本要素技術の実現にあたり、類似した悪性通信を発する端末群について、過去に遡り共通する通信の詳細を調査した。この調査により、端末群の幾つかで疑わしい通信が頻発すること、すなわち、マルウェア感染端末は、ブラックリストと一致した通信に加え、未知の悪性通信を試みる事が明らかになった。この成果は研究会にて既に発表済みである[3, 4]。しかしながら、NewGOZ に代表される一部のマルウェアは通信先を頻繁に変更すること且つ通信先を巧みに隠蔽する機能を有するため、それを考慮した方法の検討は必須である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
既存の多くのセキュリティ機器は、マルウェアに感染する過程を観測できることを前提としているため、感染済みの端末が持ち込まれた状況では意味を成さない。幾つかの機器は、キャンパスネットワーク内の感染端末をその通信から検出する機能を有するが、端末環境の多様性が原因で大量の誤検出が発生する。加えて、機器自体が非常に高価であり、資金的な事情から大学での導入は難しい。キャンパスネットワークにおいて大規模感染が発生した場合、大学の信用失墜を招くだけでなく、その業務に多大な影響を及ぼすこととなる。今後多くの大学でBYODが実施されることを踏まえると、導入が容易で安価なシステムが必須であり、その要件を満たす本研究成果はセキュアなキャンパスネットワークの実現に大きく資するものである。

本研究成果は高い汎用性を備えており、その適用範

囲はDNSのみに限定されることはない。具体的には、異常検出や不正検出、ウェブプロキシなど、様々なシステムログへの応用が可能である。特にSIEM(Security Information and Event Management)の重要性が注目されている現在では、高い波及効果と発展性が期待できる。

[4] 成果資料

- (1) Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Daiki Nobayashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, and Takeshi Ikenaga, “Clustering Malicious DNS Queries for Blacklist-based Detection,” IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E102.D, no. 7, pp. 1404-1407, 2019.
- (2) Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Yutaka Fukuda, Kazuto Sasai, and Gen Kitagata, “A Cause-Based Classification Approach for Malicious DNS Queries Detected Through Blacklists,” IEEE Access, vol. 7, pp. 142991-143001, 2019.
- (3) 佐藤 彰洋, 福田 豊, 和田 数字郎, 中村 豊, “辞書に基づく DGA ボットにより生成された悪性ドメインの判別,” インターネットと運用技術シンポジウム論文集, pp. 80-86, 2019.
- (4) Akihiro Satoh, Yutaka Nakamura, Kazuto Sasai, and Gen Kitagata, “A Malicious Domain Detection Approach for Callbacks of DGA Bots,” RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, 2020.

採択番号：H30/A33

エージェント型 IoT に基づく生活支援に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

打矢 隆弘（名古屋工業大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

木下 哲男

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

北形 元（東北大学電気通信研究所）

笹井 一人（茨城大学工学部）

菅原 研次（千葉工業大学情報科学部）

藤田 茂（千葉工業大学情報科学部）

原 英樹（千葉工業大学情報科学部）

今野 将（千葉工業大学工学部）

真部 雄介（千葉工業大学情報科学部）

顧 優輝（目白大学メディア学部）

谷村 優介（東北大学大学院医学系研究科）

和泉 諭（東北大学大学院情報科学研究科）

延べ参加人数：16人

[2] 研究経過

人・社会・情報環境を総合的な協調系と捉え、これらが共生する世界である「共生社会」の実現に向けた研究開発（共生コンピューティングの実現）を進めてきた。共生コンピューティングの概念に基づくソフトウェアを構築するために、ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境を整備した。具体的には、知的エージェントの集合で構成されるソフトウェアをボトムアップ的に設計・開発・構築し、これらをエージェントリポジトリで保持・管理する方法論の策定と、インタラクティブな開発支援ツールの構築を行い、開発面での支援を実現した。また、セキュアなエージェント間通信を可能とするエージェント運用環境を開発し、運用面での支援も実現した。さらに、エージェントで構成されるIoT(Internet of Things)デバイス連携にも成功し、環境に適応する種々のシステム開発を推進している。本研究では、これまでの取り組みを通し得た知見を

基に、ユーザや環境の状態を考慮して適切に人々の生活を支援するIoTシステム的设计/開発/運用支援の強化を目的とする。具体的には、過去の研究をさらに発展させ、エージェントフレームワークの開発・運用機能の充実と、エージェントシステムで構成されるIoTソフトウェアの構築・評価を行う。

現在エージェントの分野では、我々の研究グループで開発を進めているリポジトリ型マルチエージェントフレームワーク DASH やヨーロッパで多数利用されている JADE, LISP ベースの OMAS など様々なエージェントプラットフォーム(AP)が開発されている。日本国内においては、DASH が最先端の知的エージェントフレームワークとして広く認知され、複数の大学で演習教材に利用されるなど、利用機会が非常に増大している。我々はこの DASH を用いて過去に「高齢者の見守り支援システム」「ヘルスケアサポートシステム」など人・社会・環境と共生する情報システムの開発に成功しており、直近では「個人間分散バックアップシステム」「マイクログリッド型電力需給システム」「IoT(Internet of Things)デバイス連携」など、システムの対象分野を研究/教育、エネルギー、ライフサポートにまで拡大している。DASH の特長のひとつとして、エージェントの多様性を実現していることが挙げられる。具体的には、「自律性」「協調性」「即応性」「熟考性」「学習性」「移動性」などの性質をエージェントに付与することができる。このフレームワークに対し、各種機能拡張を行い、ソフトウェアの開発支援の充実、管理/運用支援のさらなる充実を図る。本年度は、主に学習エージェントシステム開発者育成のための教育用ツールの提案と評価を実施した。

以下、研究活動状況(研究会)の概要を記す。
令和2年2月21日14:00～、電気通信研究所本館(参加者：打矢、木下、菅原、藤田、笹井、顧、和泉)

[3] 成果

(3-1) 研究成果：主要研究とその成果を示す。

【学習エージェントシステム開発者育成のための教育用ツールの実装と評価】

学習エージェントシステムが柔軟さを発揮して解決する問題には、確率的な事象など不確定の要素が

結果に影響を及ぼす問題が多い。この不確定な要素が悪影響を及ぼしエージェントの学習性の教育の機会が失われており、学習エージェントシステム開発者育成の妨げになっている。そこで本研究では、学習エージェントシステム開発者育成のための教育用ツールを提案する。

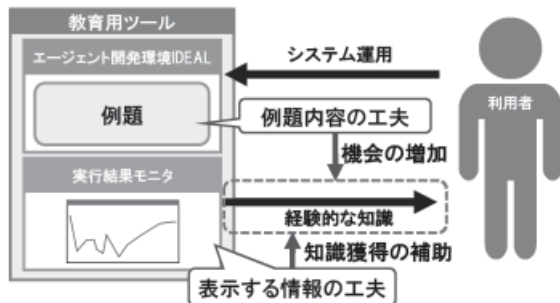


図1: 提案ツールの概要図

提案手法

本研究では、学習エージェントシステム開発者の学習を円滑に進めるために、学習エージェントシステム開発者育成のための教育用ツールを提案する(図1)。このツールはエージェント開発環境 IDEAL により実装された例題とその例題の実行結果を確認するための実行結果モニタからなる。利用者は IDEAL を利用し例題に取り組み、その実行結果を実行結果モニタで確認し、学習エージェントシステム開発の経験的な知識の獲得を行う。本研究では経験的な知識としてエージェントの行動選択に用いられる行動選択手法を扱う。

例題：多腕バンディット問題

多腕バンディット問題とはそれぞれ異なる当選確率が設定された複数台のスロットマシンを扱う問題である。エージェントはスロットマシンを選択し、当選確率に基づいて抽選が行われ当選した場合は報酬が支払われる。エージェントは報酬を最大にすることを目的として行動する。多腕バンディット問題は局所解に陥った状態や脱出を明確に認識でき、結果を獲得報酬で評価可能であるため行動選択手法を学ぶ例題として利用する。

実行結果モニタ

実行結果モニタは利用者が例題に取り組む際に実行結果の確認の効率化を目的としている。実行結果モニタの主な機能を以下に示す。

- ・多腕バンディット問題の問題設定の表示
- ・学習の設定の表示 (学習率, 学習回数, 探索率)
- ・エージェントの行動履歴の表示
- ・グラフの表示 (獲得報酬, 各台の選択回数)
- ・過去の実行結果の履歴の表示

実験内容

学生 10 名に対して提案ツールの評価実験を行った。例題に取り組む方法として、被験者を提案ツールを利用するグループ A(5 名)と比較対象として IDEAL のみを利用したグループ B(5 名)に分けた。はじめに被験者は事前学習と事前テストを受けてもらい、その後各グループに定められた方法で例題に取り組む。次に学習後テストを受けてもらい、グループ A の被験者には実行結果モニタに関するアンケートに回答してもらった。事前テスト・学習後テストは同じ形式であり、局所解への落ち込みの判別問題 10 問、探索頻度の調整に関する問題 10 問の合計 20 問で構成される。各グループでの事前テストと学習後テストの点差とアンケートによって評価を行う。

事前テストと学習後テストの結果の考察

局所解判別問題と探索頻度調整問題の事前テストと学習後テストの点差について 2 グループ間で有意水準両側 5% としてマンホイットニーの U 検定を行った。局所解を判別する問題では、グループ間に有意差が見られたことから、提案ツールを利用して例題に取り組むことにより経験的な知識の獲得を効率化し、局所解に陥るという状態を正しく認識できる能力が身につくまでの期間を短縮できたと考えられる。

アンケートの結果と考察

グループ A の被験者に対する実行結果モニタに関するアンケートは 5 を最高値とする 5 段階評価で行った。エージェントの行動履歴の表の評価は平均 4.6、過去の実行結果の履歴の表の評価は平均 4.2 と高い値になった。これらの表は被験者にとって利用する機会が多く、重要度が高いため高評価を獲得したと考えられる。

まとめ

本研究では学習エージェントシステム開発者育成のための教育用ツールを提案し評価を行った。実験により提案ツールにより局所解への落ち込みを認識する能力が短期間で身につくことが分かった。しかし探索頻度の調整に関しては技術の向上を確認できなかった。これは例題に当選確率の異なる複数の多腕バンディット問題を用いることで改善できる。今後は追加する例題の当選確率の検討、及び、実行結果モニタに提示する情報の追加や個人に合わせた表示のカスタマイズなどを検討する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは複数機関共同で共生コンピューティングの基盤技術の研究開発を推進し、上記以外にも多数のフレームワーク拡張・アプリケーション開発が実施できた([4](1)~(21))。更に、当該分野の海外研究者との議論も積極的に展開し、研究者間交流の活性化も図った。

[4] 成果資料

(1) Kazuto Sasai, Hiroshi Matsumura, Ryota Fukutani, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “An Agent-Based Intelligent Data Presentation Mechanism for Multifaceted Analysis”, In: Barolli L., Hussain F., Ikeda M. (eds) Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems. CISIS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 993, pp. 587-595, 2019.

(2) Kazuto Sasai, Kazuya Kobayashi, Tetsuo Kinoshita, “Augmented Interaction Mechanism for Physically Consistent Collaboration Between Humans and Intelligent Agents in Network Management”, In: Sato H., Iwanaga S., Ishii A. (eds) Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems. IES 2019. Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization, vol.12, pp. 272-283, 2019.

(3) 笹井一人, “人工市場におけるエージェントの経済行動に関わる「異質さ」の起源”, 共創学会第3回年次大会予稿集, pp. 145-146, 2019.

(4) 笹井一人, “その場の環境に適應する人とエージェントの協働インタフェース”, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 2019.

(5) Sommayya Madakam, Takahiro Uchiya, “Industrial Internet of Things (IIoT): Principles, Processes and Protocols”, The Internet of Things in the Industrial Sector, pp.35-53, 2019.

(6) Takahiro Uchiya, Shotaro Sugiura, Ichi Takumi, “Proposal of Recollection Support System after Motorcycle touring with Eye Tracking”, Proc. of the 13-th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, pp.618-625, 2019.

(7) Takahiro Uchiya, Ryoa Sugisaki, Ichi Takumi, “Proposal of Research Information Collection System”, The 22nd International Conference on Network-Based Information Systems, pp.537-544, 2019.

Takahiro Uchiya, Ryuta Sugie, Ichi Takumi, “Evaluation of Evacuation Guidance by Robots Using Multi-Agent Simulation”, Proc. of GCCE2019, 2019.

(8) Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Somayya Madakam, “Development of Wide Area Distributed Backup System by Using Agent Framework DASH”, Proc. of the 4th IEEE International Conference on Agents, 2019.

(9) Takahiro Uchiya, Kodai Shimano, Ichi Takumi, “Tutorial educating Developer of Reinforcement Learning Agent using IDEAL”, Proc of BWCCA2019, 2019.

(10) 杉江竜太, 打矢隆弘, 内匠逸, “マルチエージェントシミュレーションを用いたロボットによる

避難誘導の評価”, JAWS2019 講演論文集, 2019.

(11) 春日井暁久, 毛利元昭, 船瀬新王, 内匠逸, 打矢隆弘, “屋外位置推定のための内積を用いた BLE 電波強度テンプレートマッチング手法の検討”, DPS ワークショップ 2019 講演論文集, 2019.

(12) 古田雄大, 打矢隆弘, 内匠逸, “複合現実空間における擬人化エージェントを用いた屋内での学内案内手法の検討”, DPS ワークショップ 2019 講演論文集, 2019.

(13) 川端和, 打矢隆弘, 内匠逸, “回想法ベースの音声対話システムにおける話題生成手法の提案”, DPS ワークショップ 2019 講演論文集, 2019.

(14) 二村凌, 打矢隆弘, 内匠逸, “スマートグラスを用いた自転車ナビゲーションシステムにおける情報提示タイミングの評価”, DPS ワークショップ 2019 講演論文集, 2019.

(15) Ryota Shimizu, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Congestion Mitigation Verification using a Theme Park Guide Schedule”, ACML2019 workshop on Machine Learning for Trajectory, Activity, and Behavior (ACML-TAB), The 11th Asian Conference on Machine Learning (ACML2019), Nagoya, Japan, 2019.

(16) Thierry Gidel, Shigeru Fujita, Claude Moulin, Kenji Sugawara, Takuo Suganuma, Yuki Kaeri, Norio Siratori, “Enhancing Brainstorming Results on CSCWD Using a Multi-Agent System to Enforce Methodological Rules”, Proc. of the IEEE 23rd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (IEEE CSCWD 2019), pp.356-361, 2019.

(17) Yuki Kaeri, Kenji Sugawara, Claude Moulin, Thierry Gidel, “Agent-based Management of Support Systems for Distributed Brainstorming”, Advanced Engineering Informatics, 2020. (To Appear).

(18) 滝雄太郎, 藤田茂, 宮西洋太郎, 樋地正治, 白鳥則郎, “軽量 N パーティ秘匿関数計算の文字列検索拡張”, 情報処理学会シンポジウムシリーズ DICOMO, pp.740-742, 2019.

(19) 樋地正治, 菊池一彦, 藤田茂, 宮西洋太郎, 白鳥則郎, “分散秘匿計算による情報管理基盤が切り開く応用領域 - 減災分野, 医療分野 -”, 2018 年度情報処理学会東北支部研究会, 2019.

(20) 藤田茂, 樋地正治, 滝雄太郎, 宮西洋太郎, 角田篤泰, 菅原研次, 白鳥則郎, ““デジタル寺院”: モデルと基盤技術”, 情報処理学会研究報告, Vol.2019-CDS-26, No.10, pp. 1-8, 2019.

(21) 藤田茂, “軽量 N パーティ秘匿関数計算による“デジタル寺院”実装の試み”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム, 2019.

採択番号：H30/A34

Ge-on-Insulator 基板上での メタル・ソース/ドレイン型 CMOS の実現

[1] 組織

研究代表者：

中島 寛 (九州大学グローバルイノベーションセンター)

通研対応教員：

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

室田 淳一

(東北大学マイクロシステム融合研究開発センター)

佐道 泰造 (九州大学システム情報科学研究院)

王 冬 (九州大学総合理工学研究院)

山本 圭介 (九州大学総合理工学研究院)

温 偉辰 (九州大学大学院総合理工学府)

井芹 健人 (九州大学大学院総合理工学府)

公 祥生 (九州大学大学院システム情報科学府)

八木 和樹 (九州大学大学院システム情報科学府)

延べ参加人数：9人

[2] 研究経過

次世代の高性能集積回路には、Si 物性を遙かに凌駕する新材料の導入や材料物性に適した新規プロセスの導入等により、その物性を極限まで引き出し、高移動度チャネルを実現することが不可欠となる。その材料として本研究では、Si に比べて電子・正孔移動度が共に高い Ge に着目し、高性能 Ge CMOS (相補型 MOS) をメタル・ソース/ドレイン(S/D)型の MOSFET (金属-酸化物-半導体 電界効果トランジスタ) で実現することを目的として研究を行った。

二年目である本年度は、Ge ゲートスタック中の欠陥と p-MOSFET 性能との関係の明確化、並びに Ge ゲートスタック形成の低温化に注力した。

本研究は、代表者である九大・グローバルイノベーションセンターの中島教授グループと、東北大・通研対応教員で分担者でもある櫻庭准教授・室田名誉教授との連携体制を敷いている。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

A. Ge ゲートスタック中の欠陥と p-MOSFET 性能との関係の明確化

Ge ゲートスタックは Si のそれとは異なり、絶縁膜/Ge 界面欠陥 (界面準位: D_{it}) だけでなく絶縁膜中欠陥 (ボーダートラップ: N_{bt}) も多数存在している。我々は前年度までに、接合過渡容量法(DLTS)を用いた N_{bt} の定量評価手法を確立しているが、 N_{bt} がどの程度 MOSFET の性能 (移動度) に影響を与えているかは明らかでなかった。本年度は、 $Al_2O_3/GeO_x/Ge$ ゲートスタックをモデル構造として D_{it} , N_{bt} 評価を行うとともに、p-MOSFET の移動度を評価し、欠陥密度と移動度との対応関係を調査した。種々の GeO_x 膜厚を有する p-MOS キャパシタの D_{it} を図 1 に、 N_{bt} を図 2 に示す。 GeO_x 膜厚が厚いと禁制帯中央付近の D_{it} は低下し、価電子帯付近の D_{it} は増加する。また、 N_{bt} は GeO_x の膜厚が 0.42 nm の場合に極大値を示している。このことは次のように解釈できる。DLTS を用いた N_{bt} 評価では、測定条件に応じて評価対象となる N_{bt} の位置 (絶縁膜/半導体界面からの距離) が決定する。図 2 の測定条件下では、評価対象の深さは約 0.4 nm であり、これは N_{bt} が極大値を示した際の GeO_x の厚さ (= Al_2O_3/GeO_x 界面) と一致する。これらの結果から、ゲートスタック中の N_{bt} 密度分布は図 3 に示すように、「 Al_2O_3/GeO_x 界面 > GeO_x 膜中 > Al_2O_3 膜中」ということが明らかとなった。図 4 に種々の GeO_x 膜厚を有する p-MOSFET の実効移動度の反転層キャリア密度依存性を示す。一般に、高電界 (高反転キャリア密度) 領域に於いては、MOS 界面の表面ラフネス散乱によって移動度が減少すると知られている。しかしながら、図 4 の 3 種類の MOSFET では表面ラフネスに大きな差がないにもかかわらず、移動度に大きな違いがみられる。これは、 N_{bt} による反転層キャリアの捕獲・散乱が原因と考えられ、高性能 Ge MOSFET のプロセス設計では、一般的な D_{it} 低減だけでなく N_{bt} 低減も重要であることが判明した。

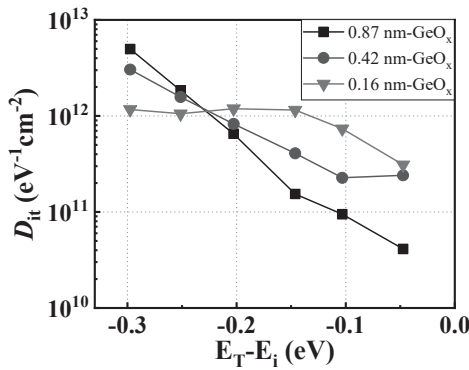


図1 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{p-Ge}$ MOS キャパシタの D_{it} のエネルギー分布.

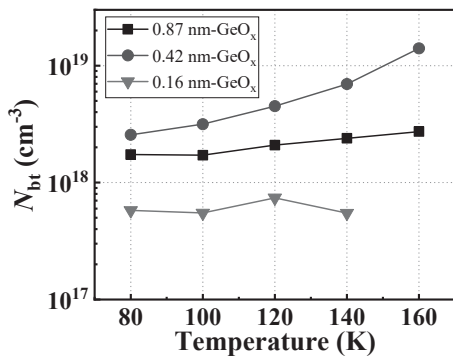


図2 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{p-Ge}$ MOS キャパシタの N_{bt} の温度依存性.

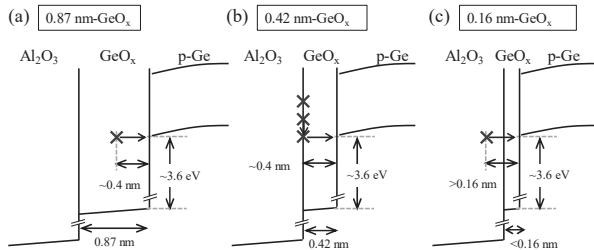


図3 本研究で測定した $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{Ge}$ ゲートスタック中のポードートラップ位置の模式図.

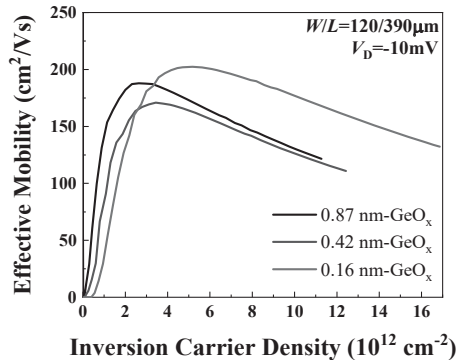


図4 Ge p-MOSFET の実効移動度の反転層キャリア密度依存性.

B. 高品質ゲートスタック形成の低温化

本研究では高性能 Ge CMOS 用のゲート絶縁膜としてイットリウム (Y) 系酸化物に着目している。昨年度までに、Ge 上に堆積した金属 Y を 500°C の乾燥酸素雰囲気中で熱酸化する方法によって、高品質な Y 酸化物ゲート絶縁膜の作製に成功している。しかしながら、このゲート絶縁膜をメタル S/D 型 MOSFET へ応用するためには、プロセス温度の低温化が必須である。本年度はこの課題に対して、Si の熱酸化 (SiO_2 形成) において乾燥酸素による酸化よりも低温で高速に酸化反応が進む手法として知られている加湿酸化を応用した。ゲート絶縁膜は SiO_2/Y 系酸化物の積層構造とし、Y 系酸化物は 1 nm の金属 Y を (a) 乾燥酸素雰囲気中で 500°C -60 min、(b) 乾燥酸素雰囲気中で 300°C -60 min、(c) 加湿酸素雰囲気中で 300°C -60 min のそれぞれ異なる条件で酸化して形成した。図 5 に作製した Ge n-MOS キャパシタの容量-電圧 (C - V) 特性を示す。(a) を基準として (b) (c) を比較すると、(b) は周波数分散が大きいものに対して、(c) は周波数分散が小さく (a) に近い結果が得られている。この結果は、低温であっても加湿酸化を用いることで高温乾燥酸化により近い絶縁膜および絶縁膜/Ge 界面を形成可能であることを示唆している。また、試料の XPS による構造解析結果からも、低温であっても加湿酸化によって高温乾燥酸化に近い状況が作り出せることが判明した。以上の結果・考察から、金属 Y の低温加湿酸化により、高温乾燥酸化ゲート絶縁膜により近い構造・良好な電気特性が得られることが分かった。

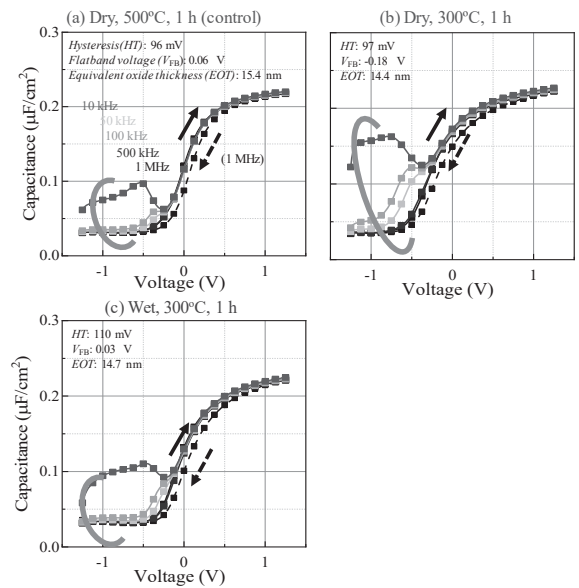


図5 Ge n-MOS キャパシタの C - V 特性。(a) 500°C 乾燥酸化, (b) 300°C 乾燥酸化, (c) 300°C 加湿酸化.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトに関連した国際シンポジウムとして、「8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII)」が開催され、プロジェクト関係者の多くが参加した。このシンポジウムでは、IV族を含む様々な半導体材料の基礎/応用研究に関する最新の研究成果が数多く報告され、学内外また国内外の研究者との交流が活性化された。

(シンポジウムの詳細)

- 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII)
- 開催日: 2019年11月27日-30日
- 場所: 東北大学電気通信研究所

[4] 成果資料

(1) Wei-Chen Wen, Yuta Nagatomi, Hiroshi Akamine, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Interface trap and border trap characterization for $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{Ge}$ gate stacks and influence of these traps on mobility of Ge p-MOSFET, AIP Advances submitted (2020).

(2) Hiroshi Nakashima, Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Border-Trap Characterization for Ge Gate Stacks Using Deep-Level Transient Spectroscopy, ECS transactions, 92 (2019), No. 4, 3-10.

(3) Keisuke Yamamoto, Kohei Nakae, Hiroshi Akamine, Dong Wang, Hiroshi Nakasima, Md. M Alam, Kentaro Sawano, Zhongying Xue, Miao Zhang, Zengfeng Di, Conduction Type Control of Ge-on-Insulator: Combination of Smart-Cut™ and Defect Elimination, ECS transactions, 93 (2019), No. 1, pp. 73-77.

(4) (Invited) Hiroshi Nakashima, Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Border-Trap Evaluation for $\text{SiO}_2/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ Gate Stacks Using Deep-Level Transient Spectroscopy, 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII), S1-3, 2019/11/29.

(5) Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Study on Position of Border

Traps in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{p-Ge}$ Gate Stacks Using Deep-Level Transient Spectroscopy, 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII), TP1-3, 2019/11/28.

(6) (Keynote) Hiroshi Nakashima, Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Border-Trap Characterization for Ge Gate Stacks Using Deep-Level Transient Spectroscopy, 236th ECS meeting, G03-1157, 2019/10/14.

(7) Kento Iseri, Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Low temperature (<300°C) Fabrication of Ge MOS Structure for Advanced Electronic Devices, 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019), 639-640, 2019/9/4.

(8) Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Border Trap Evaluation for $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{p-Ge}$ Gate Stacks using Deep-Level Transient Spectroscopy, 2nd Joint ISTDM/ICSI 2019 Conference, 2019/6/6.

(9) Keisuke Yamamoto, Kohei Nakae, Hiroshi Akamine, Dong Wang, Hiroshi Nakasima, Md. M Alam, Kentaro Sawano, Zhongying Xue, Miao Zhang, Zengfeng Di, Conduction Type Control of Ge-on-Insulator: Combination of Smart-Cut and Defect Elimination, 2nd Joint ISTDM/ICSI 2019 Conference, 2019/6/4.

(10) 井芹 健人、温 偉辰、山本 圭介、王 冬、中島 寛、新規電子デバイス応用に向けたGeゲートスタックの低温(<300°C)形成、第80回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-E305-14, 2019/9/19.

(11) Wei-Chen Wen, Keisuke Yamamoto, Dong Wang, Hiroshi Nakashima, Evaluation of Border Traps in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{p-Ge}$ Stacks Using Deep-Level Transient Spectroscopy, 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-E305-15, 2019/9/19.

(12) 清水 昇、山本 圭介、王 冬、中島 寛、Ge-on-Insulator 基板上へのMOSデバイスの作製と評価、2019年(令和元年度)応用物理学会九州支部学術講演会, 23Bp-9, 2019/11/23.

採択番号 : H30/A35

量子デバイスとフォノン技術に関する研究

[1] 組織

研究代表者 :

高田 真太郎

(産業技術総合研究所・計量標準総合センター)

通研対応教員 :

大塚 朋廣 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 2人

[2] 研究経過

(2-1) 研究目的

従来のエレクトロニクスにおいては、電子の集団としての自由度のみを活用してエレクトロニクス機能が構成されてきた。この状況を発展させるために、個々の電子の自由度を活用するナノエレクトロニクスや、電子の量子状態まで活用する量子エレクトロニクスが、近年活発に研究されるようになってきている。本研究ではこれらの新しいエレクトロニクスを、さらにフォノンの自由度を組み合わせ、新しい機能を創成する基盤技術の研究を推進する。フォノンという新しい自由度を取り入れることによって、ナノデバイスにおける単一電子エレクトロニクスや、新材料の活用等を発展させる。

(2-2) 研究概要

本共同研究は昨年引き続き、本年度が第二年度の実施となった。本年度はナノ・量子技術とフォノン技術を活用した新デバイスや測定に関する技術開発を行った。

リモートでの打ち合わせを活用しつつ、電気通信研究所を訪れての詳細な研究打ち合わせを研究会に合わせて2020年2月の日程で行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

1. ナノ・量子技術とフォノン技術を用いた新デバイスの研究

近年、人工微細構造を活用することにより、単一電子操作、量子状態操作など、ナノ・量子エレクトロニクスの基礎技術が発展してきた。この技術とフォノン技術を組み合わせる有用なデバイスを創製する試みも開始され、例えば量子ドットと表面弾性波

を組み合わせた単一電子輸送等の実験報告がなされている。

本研究では、表面弾性波によって運ばれる単一電子に対する相互作用を利用した検出器やその飛行電子の量子状態を制御する技術の開発に取り組んでいる。先行研究においては、量子ドットの内部に閉じ込められた単一電子を表面弾性波による動的なポテンシャルの波で運び出すことで単一電子源が実現され、運ばれる電子のスピンの可干渉性などが調べられてきた[a]。その研究では、電子が運ばれる前後に作用する表面弾性波のポテンシャルにより、スピンの可干渉性が失われることが報告されていた。これは、表面弾性波を発生させるための楕円電極 (IDT) は有限のバンド幅 (先行研究では10 MHz程度) を持つため、十分な強度を持った表面弾性波パルスを発生させるためにはある程度の長さ (100 ns程度) のパルスを励起する必要があり、複数の表面弾性波ポテンシャルが電子に作用することとなる。結果として、電子を運ぶために十分な強度を持った表面弾性波が電子に作用する前後に弱い強度の表面弾性波が電子状態に変調を与えることとなっていた。一方で、十分な強度を持つ単一のポテンシャルの波を持つ表面弾性波を発生させることができれば、そのような変調により電子の可干渉性の喪失を避けることが可能となる。

そこで、我々は周波数変調の技術を用いることで単一のポテンシャルの波を持つ表面弾性波を発生さ

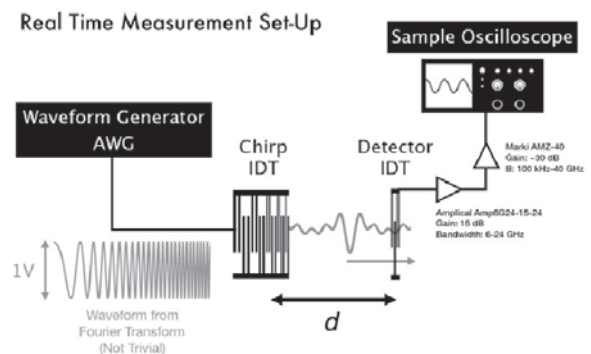


図1: 単一表面弾性波パルス発生の実験セットアップ
せるための研究に取り組んだ。

従来の IDT は単一周期 (共鳴周波数 : 2.76 GHz) で並ぶ楕円電極で構成されていたが、本研究では共鳴周波数が 0.77 GHz から 3.77 GHz に滑らかに変化

する楕円電極構造を作製し、そこに各楕円で発生した異なる周波数の表面弾性波が同位相で重なって伝播するよう調整した時間変化する高周波電圧を与え、表面弾性波を発生させた (図1参照)。その結果、約1.5周期程度の表面弾性波を発生させることに成功した (図2参照)。ここで、表面弾性波は線形分散を持つ音波であるため、電磁波とは異なり、一度 IDT の部分で形が決まるとその形状を保持したまま試料表面を伝播する特性がある。実際に検出された表面弾性波の波形は IDT から表面弾性波の検出器までの距離に依存しなかった。このような単一の表面弾性波を用いれば、これまでの先行研究のように量子ドットを用いた単一電子源の他に、より簡単な構造を持つ量子細線を用いた単一電子源も実現可能であると考えられ、今後は構造の更なる最適化を図り、極低温下での応用につなげる予定である。

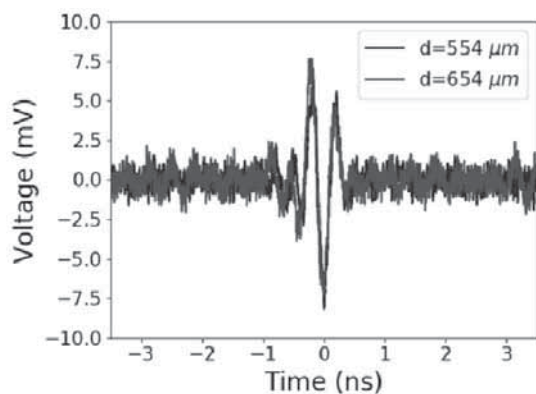


図2：単一表面弾性波パルスの発生

またフォノン技術の材料汎用性を高めるために、ナノ・量子材料と圧電材料の複合材料についても引き続き検討を行った。シリコンやグラフェン等の良好なナノ・量子材料では圧電効果が小さく、フォノン効果が小さいと予想される。これを改善するために圧電効果の大きい材料と複合させる手法の検討を実施した。

2. ナノ・量子技術とフォノン技術を用いた新デバイスの測定技術の研究

ナノ・量子技術とフォノン技術を用いた新デバイスの測定においては、ノイズを低減するために、また量子効果が明瞭に観測するために極低温環境が重要となる。またフォノンを励起、制御するためには高周波制御、伝送技術が必須となる。そこで本研究では、これらの必須技術を組み合わせた極低温高周波技術の研究を実施した。

ナノ・量子デバイスの測定においては、極低温環境を実現するヘリウム冷凍機や希釈冷凍機等の冷凍機が使用されるが、この冷凍機の中に高周波伝送線路を構成した。この際、伝送線材、コネクタ、高周

波減衰器等について検討、測定を行い、良好な高周波測定と熱流入抑制の両立を可能とする高周波線路を実現した。またデバイスを極低温に冷却し、ノイズ等を排除して量子、フォノン効果を観測するための試料ハウジング、フィルタ等についても設計、製作を行い、その特性を確認した。これらの結果は、今後のナノ・量子技術とフォノン技術活用デバイスの精密測定において必須となるものである。

またこれらの研究においては特別支援分の研究費を活用することにより、効率的な研究推進、情報共有を行うことができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの実施により、フォノン技術の研究者と、量子技術の研究者の議論を行い、共同研究を深めることができた。また特に実験技術については、重要であるにも関わらず論文等ですべて公開されることは普通ないため、共同研究の実施により初めて相互提供、共同開発を行うことができた。これらによりナノ・量子、フォノンを活用した新しいエレクトロニクスに向けた基礎技術の開発に貢献できると考えている。

[4] 成果資料

(1) “Sound-driven single-electron transfer in a circuit of coupled quantum rails”, Shintaro Takada,

9th summer school on semiconductor / superconductor quantum coherence effect and quantum, Nasu, Japan, Sep. 5, 2019 (oral).

(2) “Measurement and Control of Single-electron Spins by Utilizing Semiconductor Quantum Dot”, Tomohiro Otsuka, Takashi Nakajima, Matthieu R. Delbecq, Peter Stano, Shinichi Amaha, Jun Yoneda, Kenta Takeda, Giles Allison, Sen Li, Akito Noiri, Takumi Ito, Daniel Loss, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, and Seigo Tarucha, Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, Sendai, Japan, Feb. 10, 2020 (invited, oral).

(3) “Research about quantum devices utilizing phonon”,

Shintaro Takada, Tomohiro Otsuka,

RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, 仙台、2020年2月20日 (ポスター)

採択番号：H30/A37

超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナ に関する研究

[1] 組織

研究代表者：
金谷 晴一(九州大学大学院システム情報科学研究院)
通研対応教員：
末松 憲治(東北大学電気通信研究所)
研究分担者：
本良 瑞樹(東北大学電気通信研究所)
井出 卓宏(九州大学大学院システム情報科学府)
山下 慶樹(九州大学大学院システム情報科学府)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

通信トラフィックの増大に伴い、アクセスならびにインターフェースの高速無線化が喫緊の課題であり、国内外で「100Gbit/s 無線」に対するニーズが顕在化している。テラヘルツ波(THz, 300GHz~3THz)の利用は課題解決のための有力な解である。本研究テーマ「超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナに関する研究」では、将来の大容量テラヘルツ通信を実現するため、アンテナ及び送受信回路を集積化するための基盤技術を確立することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、末松 憲治 教授(東北大学電気通信研究所)、及び本良 瑞樹 助教(東北大学電気通信研究所)と共に、Global Foundries 社 45nm SOI (Silicon on Insulator)プロセスを用いて、集積回路基板上にテラヘルツ帯で動作する超広帯域平面アンテナの設計手法を確立した。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、45nm SOI プロセスにより、超広帯域平面アンテナを試作し、九州大学に現有する THz 帯プローブシステムを用いて、1THz 周波数帯域における、アンテナの評価を行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打合せ：

日時：令和2年1月15日(水)

場所：九州大学大学院システム情報科学研究院
参加者：末松 憲治、本良 瑞樹、金谷 晴一
打合せ内容：超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナ試作および評価に関する打合せ、および THz 信号測定用プローブステーションに関する打合せ。

日時：令和2年2月28日(金)
場所：東北大学電気通信研究所
参加者：末松 憲治、本良 瑞樹、西川 健二郎、吉田 賢史
打合せ内容：超広帯域通信のためのアンテナおよび測定系について鹿児島大学西川先生、吉田先生を招聘し打合せ。

成果報告会：

日時：令和2年2月20日(木)
場所：東北大学電気通信研究所
参加者：末松 憲治、本良 瑞樹
発表内容：超広帯域通信のためのオンチップテラヘルツアンテナの設計及び評価に関する詳細についての発表。

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：

- ・Global Foundries 社 45nm SOI プロセスにおける、デザインルールに関する情報交換
- ・試作レイアウトの提出、及びデザインルールチェックの実行に関する打合せ。
- ・試作チップのレイアウト配置に関する打合せ

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

Global Foundries 社の 45nm SOI プロセスによる試作を前提に、基板情報、メタル・層間絶縁膜の物性

値、及び、膜厚情報等のプロセス情報をもとに、2層メタルと1層間膜の構成でテラヘルツ帯平面アンテナを実現した。基準アンテナとして1素子のアンテナを設計し、次に2素子のアレイアンテナを設計した。通常、アレイ化は、正面方向の利得を向上させる目的のために行われる。今回は、超広帯域通信のため、指向性利得ではなく、広帯域化を目指した設計を行った。アンテナ設計には、九州大学が所有する三次元電磁界解析ツール(HFSS, ANSYS)を用いた。45nm SOI プロセスによる、デザインルールチェックは末松 憲治 教授、および本良 瑞樹助教の協力により行われた。

図1は45nm SOI プロセスにより試作した、1素子アンテナと2素子アレイアンテナの顕微鏡写真である。写真下側のGSGプローブパッドに1THz帯で動作するT-Wave Probe (FormFactor Inc.) を接触させ、信号を検波した。

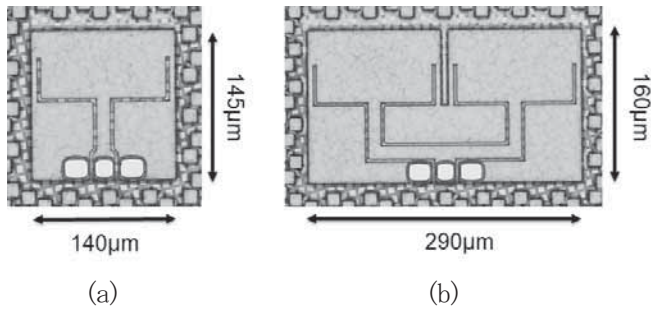


図1. アンテナのチップ写真
(a)1素子アンテナ、(b)2素子アレイアンテナ

図2に測定系の概略を示す。試作アンテナはプローブステーションのステージ上に配置した。シグナルジェネレータ(SG, N5173B-520 EXG-X-Series WR1.0SGX, Keysight)からの信号を周波数通倍器(E8257DV01, Keysight)でテラヘルツ帯まで変換し、導波管で接続されたホーンアンテナからテラヘルツ波を送信した。送信された信号を試作したアンテナにより受信し、T-Wave Probe を経由して周波数通倍器(N9029AV01 WR1.0SAX, Keysight)でダウンコンバートし、シグナルアナライザ(SA, N9010A EXA X-Series, Keysight)により受信電力を測定した。

図3は測定系の写真である。図3(a)は全体像である。写真中央部の黒い立方体が送信側の周波数通倍器である。写真左側が受信側の周波数通倍器であり、T-Wave Probe と接続されている。図3(b)はアンテナ近傍の拡大写真である。写真上部に導波管に接続されたホーンアンテナが見取れる。また、写真左側にT-Wave Probe を配置している。なおT-Wave Probe のコンタクト部は入力インピーダンスが50Ωであるコプレーナ線路である。

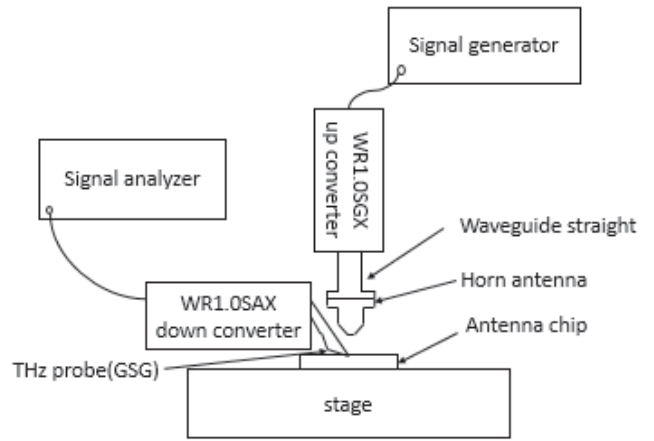
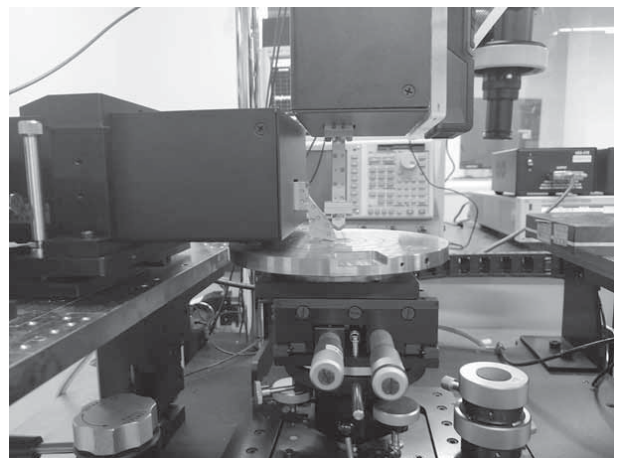


図2. アンテナのチップ写真



(a)



(b)

図3. 測定系の写真
(a)全体像、(b)アンテナ近傍

図4に受信電力の周波数特性の測定結果を示す。図4はSGのON、およびOFFにおける、アレイアンテナの受信電力の絶対値を示している。図より、約900MHz付近で受信電力のピークが観測された。ON/OFF比は約10dBであった。動作周波数の低域側のシフトは、基板誘電率の公称値からのずれではないかと推察される。また、図中の広域側に高次モードと思われる信号が検出された。

プの開発、第34回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2020. 「関連資料」

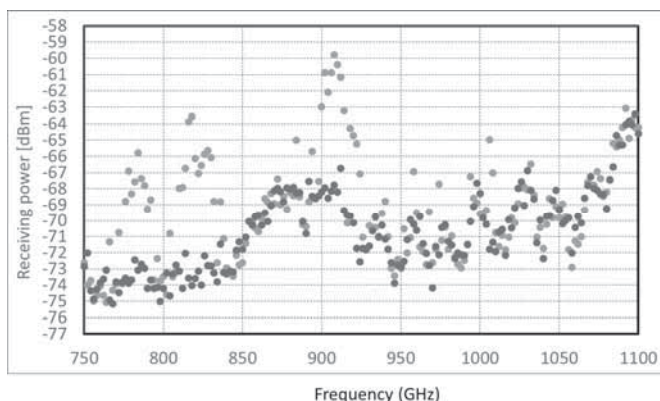


図4. 受信電力の実験結果

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本プロジェクトで明らかになったGlobal Foundries社45nm SOIプロセスによる1THz単方向平面アレイアンテナの研究に関する成果は、下記の国際会議

(2019 12th Global Symposium on Millimeter Waves, SPIE Photonics West)、および国内学会(第34回エレクトロニクス実装学会春季講演大会)にて発表した。特にプロセス分野やセンシング分野の研究者と活発な議論をすることができ、今後の異分野融合の研究分野への発展が期待できる。

[4] 成果資料

(1) (Invited) H. Kanaya, T. Asano, One-Sided Directional Slot Antenna on Chip for 1THz Application, Proc. 2019 12th Global Symposium on Millimeter Waves, p. 21, 2019.

(2) Haruichi Kanaya, Ryo Takigawa, Kohei Tasaki, Kazutoshi Kato, Tanemasa Asano, 1THz one-sided directional slot antenna on a chip connected with InAs HEMT. Proc. SPIE Photonics West 2020, Vol. 11279, pp. 1127904-1 -7, 2020. 「関連資料」

(3) 多喜川 良、田崎 航平、浅野 種正、金谷 晴一、テラヘルツ波検波のためのアレイアンテナチッ

採択番号：H30/A38

多層基板構造を用いたミリ波アレイアンテナの研究

[1] 組織

研究代表者：

吉田 賢史 (鹿児島大学学術研究院理工学域工学系)

通研対応教員：

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

鬼丸 隆太郎 (鹿児島大学大学院理工学研究科)

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

西川 健二郎 (鹿児島大学学術研究院理工学域工学系)

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

5G と呼ばれる第 5 世代の移動通信システムについての研究開発が活発化してきている。5G においては、マッシュ 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ミリ波帯通信についても検討されている。5G 端末では、複数の無線通信システムを搭載し、適応的に切り替えるヘテロジニアスネットワークの実現が期待されている。本提案では、従来のスマートフォンに、60GHz 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、60GHz 帯のアンテナに着目する。端末の位置や向きによらず安定した通信を行うための 60GHz 帯 3 次元指向性制御アンテナを提案し、試作および測定により 60GHz 帯における 3 次元指向性制御の実現性を示すことを目的とする。

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。昨年度は、60GHz 帯パッチアンテナに関する研究を行い、アレイアンテナの設計、測定に関する知見を得た。それらの成果を発展させ、今年度はダイポールアンテナを追加し、より多方向への指向性制御ができるアンテナ構造の実装及び測定を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

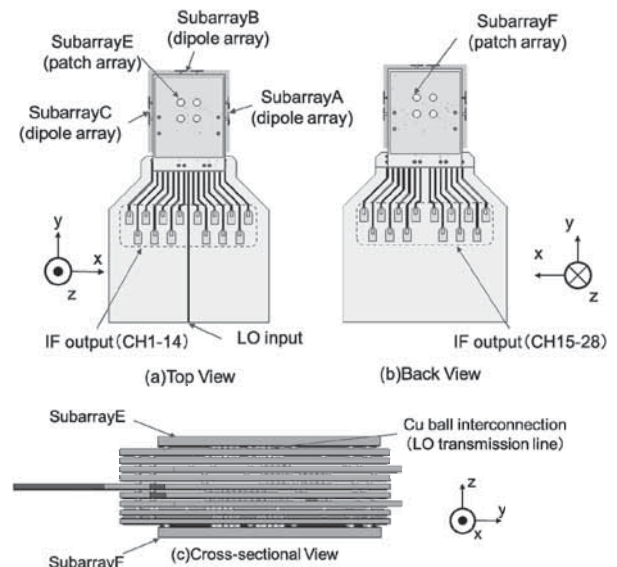


Fig. 1 The proposed antenna model having five subarrays.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今年度は、昨年度の成果であったパッチアレイアンテナに、ダイポールアレイアンテナを追加したアレイアンテナ構成を新たに実装し、60 GHz における放射特性を測定により評価した。

図 1 は提案アンテナの全体構造を示す。サブアレイ A からサブアレイ F まで、5 つのサブアレイを有する。ただし、測定に用いるサブアレイは A, B, E の 3 種類である。これは、最終目的である大規模アレイの場合、実際に計測する IF 信号のチャンネル数が 56ch と多くなりすぎるため、歩留まりや測定系の増大など課題が多いため、昨年度の 16ch の測定から、ステップを踏んで難易度を上げていけるように考慮したためである。なお、今回は最終目標の半分となる 28ch の IF 信号を測定することとした。

図 2 は、試作した 60GHz 帯提案アンテナの写真である。多層基板 11 枚を、昨年度有効性を示すことに成功した掘り込み付銅ボール接続技術により、高い歩留まりにて実装を成功させている。ただし、本件

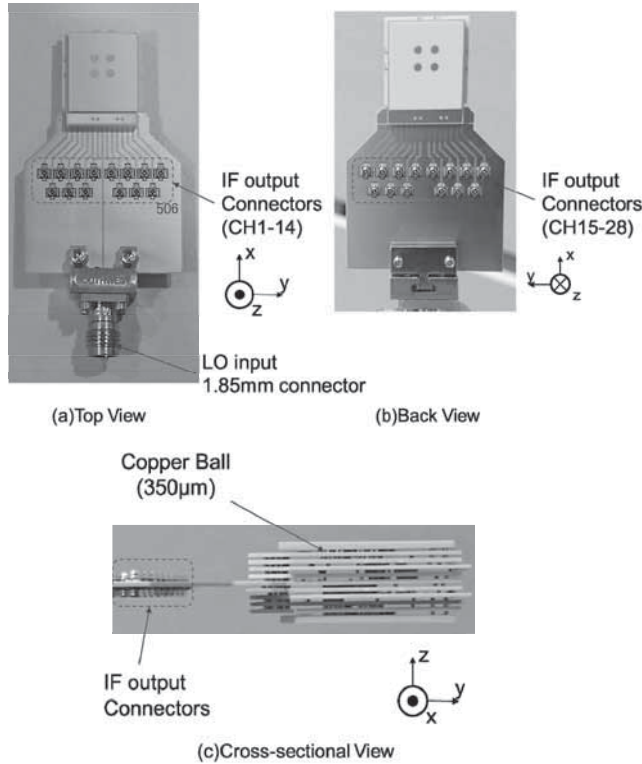


Fig. 2 Photos of a fabricated antenna.

が1回目の実装作業で試作したアンテナであり、残念ながら数ch信号欠損が見られた。その後同様のアンテナを実装し、全chの信号出力を確認しているが、本報告書では省略する。この課題は、来年度同じアンテナ実装に再度チャレンジする予定である。これまで得られた実装のノウハウで、本アンテナ構造からも全ch信号出力が得られる可能性は高いと考えている。

図3は、設計時の解析結果と測定結果の比較である。利得が10dBi以上となる領域を緑で示した。多少の相違は見られるが、全体的な傾向は一致した。

(特別支援(若手・国際・産学)に係る研究成果)

本予算は、主に通研における実験を行うための出張旅費として活用した。本テーマの測定には、学会発表の出張に比べて多くの時間を要するため、宿泊費が多く必要となった。特別支援分の研究費(若手)により、大学院学生に対しても十分な旅費支給が可能となり、落ち着いてじっくりと実験に取り組むことができ、今回の成果創出につながった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

申請者は助教であり、比較的若手の研究者であるが、大学院学生の研究指導を行い、2019年5月の国際会議GSMにおいて口頭発表を行った。その成果が評価され、Best Student Paper Awardを受賞した。来年度が3年目の最終年度となるが、今年度新たに明らかになった課題解決に取り組み、当初予定して

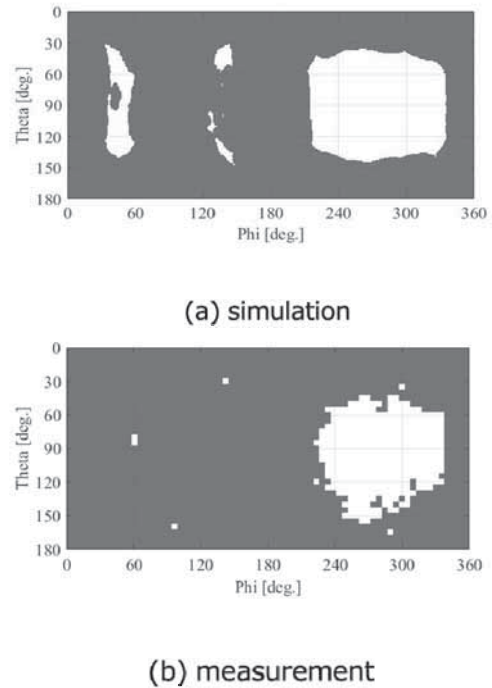


Fig. 3 Directivity measurement result in 5 deg. angle resolution for full 3-D space.

いた大きな研究目的の達成を目指す。

[4] 成果資料

- (1) R. Onimaru, S. Yoshida, K. Nishikawa, “60 GHz dual-polarized 2x2 phased array antenna using copper ball interconnection,” Global Symp. on Millimeter Waves, May 2019.
- (2) 吉田賢史, 鬼丸隆太郎, 西川健二郎, “60 GHz 帯パッチアレイアンテナを用いた銅ボール接続実装技術および3次元指向性測定技術の検証実験,” 信学技報, MW2019-63, pp. 43-47, Sept. 2019.
- (3) S. Yoshida and K. Nishikawa “60-GHz-band dipole array antenna using copper balls interconnection with excavated structure,” in Proc. Antennas Design and Measurement Int. Conf. (ADMInC), Oct. 2019.
- (4) 鬼丸隆太郎, 吉田賢史, 西川健二郎, “[特別講演] 4x2 パッチアレイアンテナを用いた60 GHz 帯フェーズドアレイアンテナの3次元指向性測定,” 信学技報, MW2019-124, pp. 31-36, Dec. 2019.
- (5) S. Yoshida and K. Nishikawa, “Experimental verification of excavated structure on multi-layered substrates for millimeter-wave signal vertical transition using copper balls,” in IEEE Access, vol. 8, pp. 2362-2372, Jan. 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2961624.

採択番号：H30/A40

次世代移動体通信のための電磁ノイズ抑制体の 高周波広帯域化

[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：

柵 修一郎 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

遠藤 恭 (東北大学大学院工学研究科)

直江 正幸 (電磁材料研究所)

田中 元志 (秋田大学大学院理工学研究科)

延べ参加人数：8人

[2] 研究経過

Society 5.0 の実現に向けて、IoT 機器の小型薄型化、多機能化、多周波数化、低消費電力化が進展する一方、IC チップ・パッケージレベルの狭い領域における電磁環境の制御は限界に達しつつある。本研究課題の目的は、次世代移動体通信で用いる SHF 帯などの高周波・広帯域で、磁性膜の複素透磁率を用いて電磁界を制御し電磁ノイズを抑制する革新的なデバイスの開発である。磁性膜などを用いた平面型の電磁ノイズ抑制素子を試作し、試作した素子を SoC や SiP などの多機能・高密度・多周波数で動作するデバイスに適用した場合のノイズ抑制機構を明らかにし、その材料・寸法設計指針を構築する。

本プロジェクトは、昨年度9月より開始され、本年度が第2年度であった。前年度は、移動体通信機器内のパッケージレベルの配線を模擬した1本の伝送線路を試作し、その直上に磁性体を配置した場合について、磁性体による伝導ノイズ抑制効果を測定により明らかにした。本年度は、前年度の成果を踏まえながら、複数配線間の誘導ノイズ抑制と、高周波・広帯域化を目指して研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

活動活動状況：

5月24日 研究打ち合わせ(参加人数6名)

10月24日 研究打ち合わせ(参加人数4名)

2月20日

研究打ち合わせ(参加人数4名)

共同プロジェクト研究発表会

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、複数配線間の誘導ノイズ抑制については、強磁性共鳴(Ferromagnetic resonance, FMR)周波数以上の周波数帯域において、クロストークが抑制可能であることを実験的に示した。

図1に示すような構造・寸法の平行二導体マイクロストリップ線路(MSL)上に異なる磁性膜を配置し、二導体間の伝送特性を測定した。平行2導体MSLは、比誘電率10の低温同時焼成セラミックス(LTCC)基板を用いた。平行2導体MSLの一方の線路(Line 1)をノイズ源(Aggressor)、もう一方(Line 2)を混入先

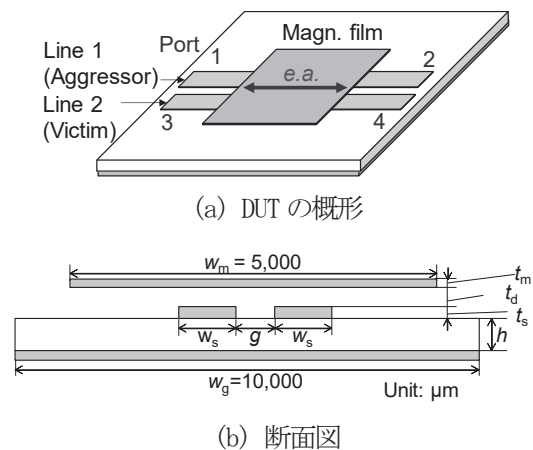


図1 DUTの概要および寸法

Table 1 DUTの寸法

	[μm]
w_s	95
t_s	3
l	10,000
g	50
t_m	1
t_d	10
h	100

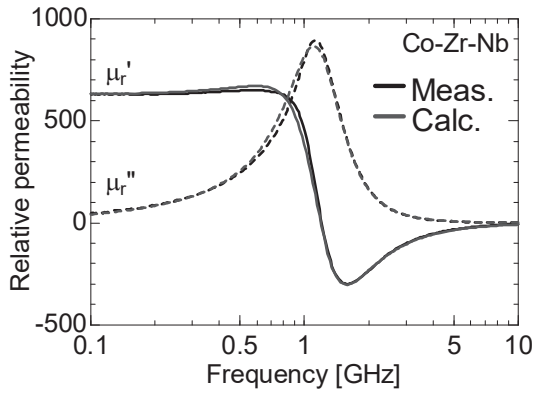


図2 Co-Zr-Nb 膜の周波数特性

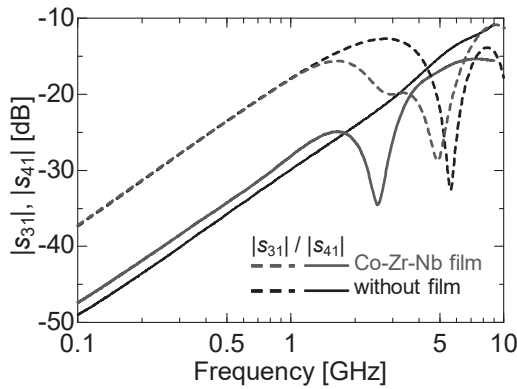


図3 $|s_{31}|$, $|s_{41}|$ の周波数特性

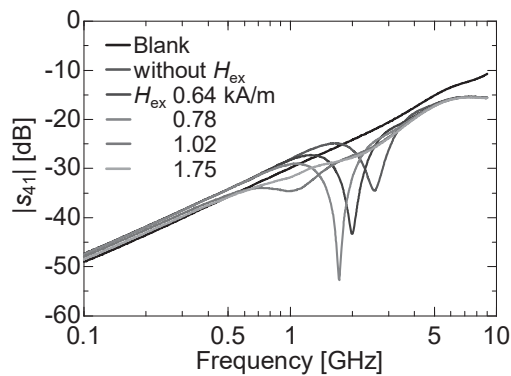


図4 直流磁界を印加した場合の $|s_{41}|$

(Victim) と仮定した。

平行2導体MSLの信号線は二線とも同一の形状、寸法である。Table 1にDUTの寸法を示す。信号線幅 $w_s = 95 \mu\text{m}$ 、厚さ $t_s = 3 \mu\text{m}$ 、線路長 $l_s = 10,000 \mu\text{m}$ であり、線路間幅 $g = 50 \mu\text{m}$ である。各寸法は、磁性膜を配置しない場合にMSL単線で 50Ω 整合するよう設計した。

ガラス基板上にRFスパッタ法によりCo-Zr-Nb膜を製膜し、平行2導体MSLの直上に、Co-Zr-Nb膜側が下になるよう配置した。Co-Zr-Nb膜の面内寸法は $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 、厚さは $1 \mu\text{m}$ である。磁性膜は一軸異方

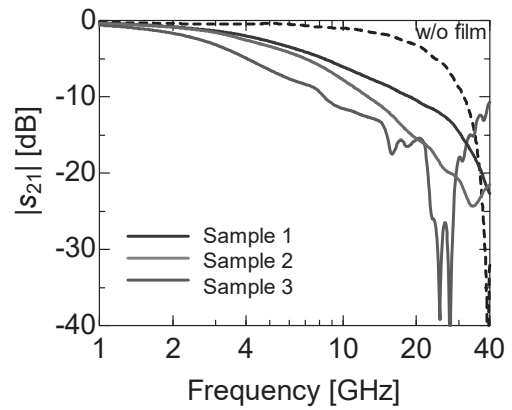


図5 異なる磁性膜を配置したMSLの透過特性

性を有し、容易軸(Easy axis, e. a.)が線路の長さ方向に平行になるようにした。この他にも、Ni-Fe膜、(Co-Pd)-CaF₂膜も試作した。比較として、非磁性のCu膜も試作した。

図2にCo-Zr-Nb膜の比透磁率の周波数特性を示す。材料固有の強磁性共鳴FMR周波数は 1.05 GHz である。比透磁率の実部は、FMR周波数付近で減少し、FMR周波数より高い周波数帯域では負となる。さらに、 5 GHz 以上の帯域ではほぼ1に漸近する。一方、FMR損失の要因となる虚部は、 1.05 GHz のFMR周波数付近で極大となる。

この伝送特性を、4ポートネットワークアナライザで測定した。 $|s_{31}|$ を近端クロストーク、 $|s_{41}|$ を遠端クロストークとして評価した。測定結果を図3に示す。Co-Zr-Nb膜を配置しない場合、 $|s_{31}|$ については $5 \sim 6 \text{ GHz}$ の波長共振によると思われる極小値を除き、周波数の上昇と共に増加した。 $|s_{41}|$ については、周波数の上昇と共に単調に増加した。Co-Zr-Nb膜を配置した場合、 $|s_{31}|$ 、 $|s_{41}|$ 共に、 2.7 GHz 付近において、膜を配置していない場合には現れない極小値が得られた。この極小値については、Co-Zr-Nb膜に直流磁界を印加して磁気飽和させることにより(図4)、磁性体の透磁率がクロストーク抑制効果の要因であることを実験的に示した。Ni-Fe膜、(Co-Pd)-CaF₂膜においても、同様に抑制効果が実験的に得られた。一方で、非磁性のCu膜ではクロストーク抑制効果は得られなかった。

以上により、平行2導体配線上に磁性膜を配置することで、磁性膜のFMR周波数以上の周波数帯域において、クロストークが抑制可能であることを実験的に示した。

第2に、電磁ノイズ抑制体の高周波・広帯域化については、 5 GHz で用いる 30 GHz 帯域において、試作

した磁性膜を利用することにより、20～30GHz 帯域において、20 dB 程度のノイズ抑制効果を得た。

LTCC 基板を用いた信号線幅 95 μm の MSL を試作し、その直上に複数の異なる透磁率をもつ磁性膜を配置した。電極接続用のパッド等による浮遊容量やインダクタンスを De-embedding により除去した測定を試みた。図 5 に異なる磁性膜(Sample 1～3)を配置した MSL の透過特性を示す。磁性膜を配置していない場合と比較して、20～30 GHz 帯域で-20 程度の広帯域なノイズ抑制効果を得た。これは、広い帯域で FMR 損失が得られる材料を用いることによると思われる。以上により、材料を適切に選択することによって、電磁ノイズ抑制体の高周波・広帯域化が可能であることを実験的に示した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで明らかになった磁性膜を利用した配線間クロストーク抑制効果に関する一連の成果は、磁性材料を利用した高周波ノイズ抑制デバイスの開発の進展に寄与する。また、磁性膜を高周波、高帯域のノイズ抑制に応用可能であることを示した一連の成果は、次世代移動体通信で用いる SHF 帯域等で動作する、磁性膜を利用したノイズ抑制デバイス開発の進展に寄与する。また、本成果は磁性材料のみではなく、メタマテリアルを利用したノイズ抑制デバイスの開発にも応用可能であり、今後の発展が期待できる。

[4] 成果資料

学術論文

(1) Sho Muroga, Jingyan Ma, Yasushi Endo, Shuichiro Hashi, Masayuki Naoe, Motoshi Tanaka, Hiroo Yokoyama and Kazushi Ishiyama, " Crosstalk suppression of magnetic films covered by two parallel microstrip lines," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 8, No. 8, # 080902 (2019).

(2) Sho Muroga, Motoshi Tanaka, Takefumi Yoshikawa and Yasushi Endo, "Effect of Complex Permeability on Circuit Parameters of CPW with Magnetic Noise Suppression Sheet," IEICE Transactions on Communications (Accepted, 2020).

国際会議発表論文

(3) Sho Muroga, Motoshi Tanaka, Yasushi Endo, " Effect of FMR Loss on Circuit Parameters of CPW with Co-Zr-Nb Film for Noise Suppression," 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International

Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo, Paper WedPM2Po.8 (札幌, 2019).

国内口頭発表 (依頼・招待講演のみ)

(4) 室賀 翔, "EMC 設計のための電磁ノイズ抑制シート活用法," エレクトロニクス実装学会サマーセミナー (東京, 2019).

(5) 室賀 翔, 田中元志, 遠藤 恭, "磁性膜を用いた電磁ノイズ抑制体の伝導/誘導ノイズ抑制効果," 2019 Microwave Workshops & Exhibition (MWE2019) (横浜, 2019).

採択番号：H30/A41

広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化

[1] 組織

研究代表者：

永井 岳大（東京工業大学工学院）

通研対応教員：

栗木 一郎（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

佐藤 智治（一関工業高等専門学校制御情報工学科）

延べ参加人数：6人

[2] 研究経過

人間の視覚系は、星明かりから直射日光下まで約 10^{14} 倍にわたる光の強度の範囲に対しても、順応により感度を調整することで視覚情報を取得できる。近年、 10^7 – 10^8 倍のダイナミックレンジを持つ有機 EL ディスプレイやバックライト制御式 LCD ディスプレイなどの高ダイナミックレンジ (HDR) ディスプレイが比較的容易に手に入るようになり、自然界と同等の光強度範囲を持つ視覚情報の表示環境が整いつつある。一方で HDR ディスプレイ観察中には、従来のような 10^3 倍程度のダイナミックレンジしか持たない (SDR) ディスプレイとは視覚系の順応状態なども大きく異なることが予想される。上述したとおり、人間の視覚の感度調整が順応に基づくことを考慮すれば、HDR シーンを観察中には映像制作者の意図とは大きく異なる知覚を引き起こす可能性があるにも関わらず、HDR シーンにおける視覚特性はほとんど知られていない。本研究では、従来型 SDR ディスプレイとの違いに着目し、HDR ディスプレイ観察時に特有な視覚特性の解明を目指す。

HDR 化の影響が最も大きいと考えられる輝度/明るさ知覚に着目し、1. 最も基本的な視覚特性であるコントラスト感度関数、ならびに 2. 閾上の明るさ知覚への影響、を心理物理実験から明らかにする。永井 (東工大)、佐藤 (一関高専)、栗木 (東北大) は以前の共同プロジェクト研究 (H28/A20) において、HDR ディスプレイ上で輝度を実質的に無限階調で表示できる技術を確立させたため、この

技術を心理物理実験の視覚刺激呈示に用いる。実験環境の構築は表示技術開発の中心であった佐藤が行う。また、今後の画像情報呈示の基礎知見となるためには幅広い条件で信頼性の高いデータを取ることが必須であるため、永井、栗木がそれぞれ心理物理実験を行うことで、並行して視覚基礎特性の定量化を推進する。

[2. 1] 打ち合わせの詳細

本年度は、メンバー全員が出席する学会において出先での打ち合わせを含め、以下の 5 回の打ち合わせを行いつつ、研究を進めた (カッコ内は参加者)。

- 1) 7/5–10: ICVS019 に合わせ今年度の計画について打ち合わせを実施 (永井, 栗木, 佐藤)。
- 2) 7/28–8/1: APCV2019 に合わせコントラスト感度測定について発表を行うとともに、現状の課題について打ち合わせを実施 (永井, 栗木)。
- 3) 9/1–9/3: 多元質感知班会議に合わせて打ち合わせを実施 (永井, 佐藤, 栗木)。
- 4) 12/5–6: 多元質感知国際シンポジウムにおいて HDR 環境におけるコントラスト感度と明るさ知覚特性に関するポスター発表を行い、研究経過について打ち合わせを実施 (永井, 栗木)。
- 5) 2/20: 共同プロジェクト研究発表会に合わせて打ち合わせを実施 (永井, 栗木)。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、主に 2 件の研究成果を得た。以下に詳細を記述する。

1. 広ダイナミックレンジ環境におけるコントラスト感度関数

通常のコンピュータディスプレイは高々 $3 \log_{10}$ 程度 (消光比 1:1,000) の輝度レンジしか表示しない。一方で、人間の視覚が受容・知覚できる輝度レンジはもっと広く、 $6 \log_{10}$ 以上と言われている。最近では有機 EL ディスプレイなど消光比が 1:1,000,000 を越える表示装置が出回り始めており、広輝度レンジにおける視覚感度測定も可能となって

いる。一方、人間の視覚特性には「レンジ効果」と呼ばれる現象があり、視野内の色・輝度レンジに応じて感度を変える (Brown & MacLeod, 1997) ことが知られている。これまでの輝度コントラスト感度に関する研究はほとんどが通常のディスプレイモニタ上 ($< 3 \log_{10}$) で行われてきたが、検査する輝度レンジが広がれば、その結果に変化が起きることは想像に難くない。

そこで我々は、本共同プロジェクト研究で開発した確率的誤差補償法 (佐藤ら, 2017) を用いて、有機 EL ディスプレイ上にて広い輝度範囲のレンジを示す背景を同時に呈示した条件 (HDR 条件) と、古典的な一様背景視野を同時に呈示した条件 (一様条件) で、広い範囲の局所背景輝度において輝度コントラスト感度の空間周波数特性を測定する実験を行った。

具体的には、様々な空間周波数のガボールパッチを固視点の左右いずれかに呈示し、被験者が二肢強制選択でガボールパッチの位置を応答することで、検出に必要なコントラスト閾値を測定した。閾値の逆数をコントラスト感度とした。HDR 条件では、刺激視野 (3.0×6.0 deg) の周辺に様々な輝度レベルの線からなるグレーティングパターンを呈示し、視野全体の輝度レンジを明示的に与えた。この際のグレーティングの輝度レンジとして狭いものから広いものまで様々なものを用いた。一様条件では、測定する局所背景輝度レベルと同じ一様背景を画面全体に呈示した。コントラスト閾値の測定には FAST (Functional Adaptive Sequence Testing; Vul & MacLeod, 2010) を用いた。ガボールパッチの直近に示すグレイの背景は、感度測定を行う局所背景輝度を示しており、0.83, 3.33, 13.3, 106.4 cd/m^2 のいずれかがランダムに呈示された。

結果の一例を図 1 に示す。古典的な実験条件である一様条件では、テスト輝度とともに感度が上昇するという既知の特性を再確認できた。一方で、HDR 条件では、およそテスト輝度が背景の平均輝度付近となったときに感度が最大になった。また、その感度が最適化される輝度範囲は背景の輝度レンジとともに広がった。この特性から、視覚系の感度は視環境の輝度分布に対し最適化されることがわかる。しかし、この平均輝度付近への感度の最適化は、低～中空間周波数条件では明瞭に見られたものの、高空間周波数では全く見られなかった。この結果は、低空間周波数と高空間周波数の検出に特性の異なる視覚系メカニズムが関与することを示唆するとともに、HDR 環境下の画像表現においてヒトの知覚特性への親和性を高めるために必要な画像処理の指針を与えるものである。これらの成果をまとめて、Journal of

Vision (視覚科学の学術論文誌) へ論文を投稿中である。今後は本研究で明らかになった HDR 環境における感度調整機構により質感知覚や物体認知などの高次視覚機能にどのような影響が生じるかを検討していく予定である。

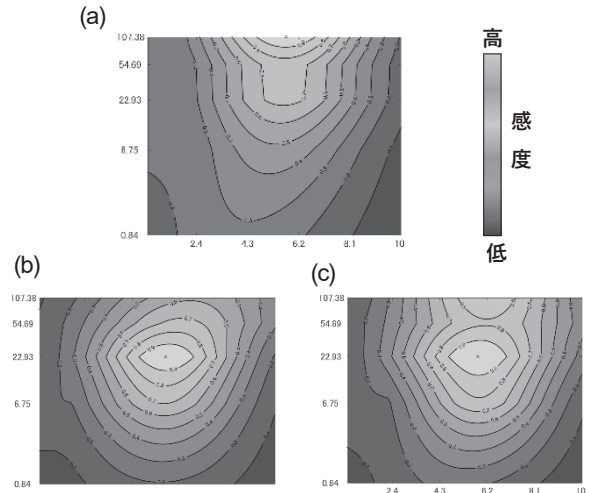


図 1 様々な条件におけるコントラスト感度関数。横軸は空間周波数 (cpi)、縦軸は局所背景輝度を示す。(a) 一様条件。(b) HDR 条件 (輝度レンジ狭)。(c) HDR 条件 (輝度レンジ広)。

2. HDR 環境における明度知覚に対する背景輝度分布の影響

物体表面の輝度反射率に関する知覚を明度という。明るい照明で照らされた、様々な明度の物体が置かれた環境で、反射率が 25% の表面が反射する光の輝度が $100 \text{ cd}/\text{m}^2$ だったとする。通常、25% 反射率の表面は中程度のグレイに知覚される。同じシーンの照明光強度を $1/5$ に減光して反射光の輝度が $20 \text{ cd}/\text{m}^2$ になったとしても、反射率 25% の表面は相変わらず中程度のグレイに見える。このように輝度ではなく表面反射率に付随した知覚を明度と言う。

先行研究 (Radonjic et al, 2011) では、SDR/HDR 環境下での明度知覚について報告している。その中で、トーンマッピングがダイナミックレンジの影響について報告している。我々も、ダイナミックレンジが明度知覚に及ぼす影響について調べたが、その効果は Radonjic らの研究に比べてはるかに小さいものだった。先行研究と異なる点として、ダイナミックレンジを超えた輝度の刺激に対して明度評価を行なった点が考えられる。一方、Radonjic らの研究では、背景の最大/最低輝度 (ダイナミックレンジ) を固定したまま、背景輝度の偏り (平均が低い/高い) を調べた条件もあった。輝度ダイナミックレンジを固定した条件であれば、先行研究と類似した結果が得られる可能性がある。

この仮説を検証するため、背景のダイナミックレンジを固定した状態で、背景に提示する輝度の分布を一様・高輝度バイアス・低輝度バイアスの3通りに変化させて明度知覚の実験を行なった。

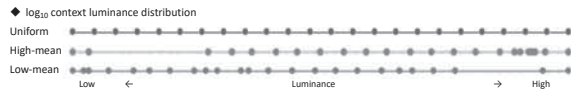


図2. 背景輝度の分布. 上から均一 (uniform), 高輝度バイアス (high-mean), 低輝度バイアス (low-mean) の3条件.

図3に示したのが刺激の概観である。テスト刺激 (画面左側中央)の明度がどのように知覚されたか、右側のマッチング刺激 (背景は常に不変)の中から選択して報告する方法で実験を行った。テスト刺激の背景は、1/1,000に固定し、偏りを3通りに変化させた条件で測定を行なった。刺激は全て有機ELディスプレイ (SONY, PVM-2541A)に提示し、左側のテスト刺激は箱型の覗き窓を通して観察し、マッチング刺激と同時に見ることができないように視野を制限した。

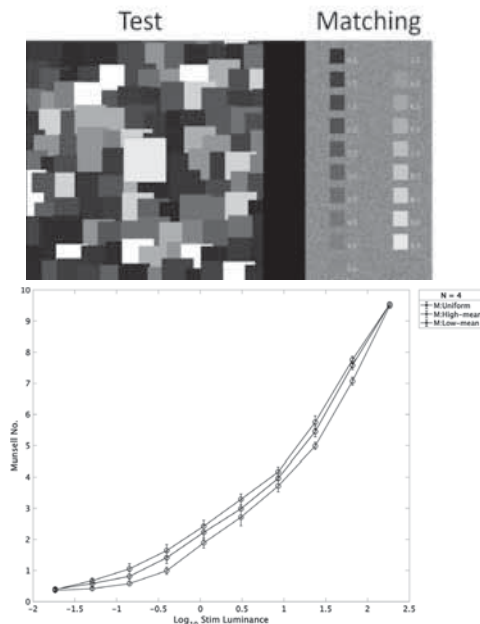


図3. (上)HDR 下での明度マッチング実験の画面. 左がテスト刺激の領域, 右がマッチング刺激の領域. 覗き窓を使い, 左右同時には観察されない. (下)実験結果. 3本の線は背景の輝度分布の違い(図2)に対応: 上から low-mean, uniform, high-mean.

実験結果は図3(下)に示した通りである。横軸がテスト輝度、縦軸は被験者が回答した明度である。背景の輝度分布が高い輝度に偏る場合には、カーブが右へ、低い輝度に偏る場合にはカーブが左へ寄っている。この結果は、ダイナミックレンジの上限/下限輝度だけではなく、背景を構成する要素の輝度

分布において、平均的な帯域で明度に対する感度が最大になっている傾向を示した。

しかし、依然として Radojic らの結果と比較すると効果量が小さい。その理由としては、先行研究では(1)背景がグリッド状に整列していたこと、(2)テスト輝度が背景に提示された要素のいずれか1つだったことが挙げられる。今後は、これらの要因がどのように影響するかについて調べていく。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本テーマで解明する視覚特性は、ありとあらゆる視知覚の基礎となっており、極めて重要なものである。例えば、画像表示においては当然ヒトの視覚特性を考慮に入れるわけであるが、その視覚特性として、一様背景という極めて人工的な環境におけるコントラスト感度関数が未だに使われている。上述したとおり、HDR 環境においては順応状態が一様背景上とは全く異なる状態になることを考慮すれば、SDR 環境と HDR 環境のコントラスト感度関数の違いは、様々なシーン (特に、非常に強い光沢や星空などの広い輝度レンジを要求するシーン) の再現性に大きく影響する可能性を秘めている。したがって、本研究で計測される基礎視覚特性から自然画像に対する知覚特性が予測可能になることも十分に考えられ、その知見に基づいた高次視覚認知への影響の解明や明暗差の大きなシーンにおける新しい画像圧縮技術の開発といった応用研究への礎を提供できると考えられる。

[4] 成果資料

- (1) Hayasaka M., Nagai T., Yamauchi Y., Sato T., Kuriki I.: Contrast Sensitivity functions under different dynamic range. (submitted to *Journal of Vision*).
- (2) Hayasaka M., Nagai T., Yamauchi Y., Sato T., Kuriki I.: Contrast sensitivity functions measured under different dynamic range widths. *Asia-Pacific Conference on Vision 2019*, Osaka, Japan, July 29, 2019.
- (3) Watanabe G., Kuriki I., Hatori Y., Tseng C-H., Shioiri S.: Influence of the HDR environment on Shitsukan perception. *Asia-Pacific Conference on Vision 2019*, Osaka, Japan, July 31, 2019.

採択番号 : H31/A01

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

[1] 組織

研究代表者) :

Prof. MITIN Vladimir (Univ. Buffalo, SUNY, USA)

通研対応教員 :

Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者 :

Assoc. Prof. SATOU Akira (RIEC, Tohoku Univ.)

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

[2] 研究経過

During the first year of the collaborative efforts, PI Prof. Vladimir Mitin planned to visit the group of Research Collaborator Prof. Taiichi Otsuji in March 2020 and on March 3 to deliver a seminar “Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures”, The trip was cancelled just one day before the flight due to closure of schools in Japan. Hopefully, the trip will be completed in summer to discuss the completed work as well as plans for the second year of the project with Professors T. Otsuji and A. Satou and to deliver the seminar. During the first year of this project, the efforts were focused on the topics that were highlighted in our application.

We have demonstrated [A1-A3, B1-B4] that heterostructures of graphene (G) with black phosphorous (P) and especially with allow of phosphorous and As (P_xAs_{1-x}) are efficient structures for super-luminescence and lasing. Addition of As reduced the bandgap from about 0.36 eV in pure P to about 0.15 eV in pure As. The near- or mid-infrared radiation is absorbed in the P_xAs_{1-x} barrier and the barrier layer serves for the optical generation and cooling of the electron-hole pairs to be injected into the graphene layer. Owing to a relatively narrow energy gap of black- P_xAs_{1-x} layer, the energy of the injected electron-hole pairs can be smaller than the energy of optical phonons in graphene. This provides the formation of the cold electron-hole plasma in the graphene-layer that is beneficial for achieving of the interband population inversion and the interband terahertz lasing. We considered the case of abrupt heterostructures with b-As barrier as well as graded-gap barrier where concentration of As in P_xAs_{1-x} increases towards the G-layer ensuring more efficient cooling of the electron-hole pairs injected into G-layer.

We also propose and evaluate the vertical terahertz (THz)

photodetectors based on the black- $As_{1-x}P_x/G/black-As_{1-y}P_y$ (b-AsP/G/b-AsP) heterostructures [A4, B3-B6]. The operation of these detectors is associated with the thermionic emission of the electrons heated in the G-layer by incoming THz radiation stimulating the electron injection from the emitter, i.e., with the hot-electron bolometric mechanism. These detectors can surpass the similar bolometric detectors based on hBN/graphene/hBN heterostructures, that we carefully evaluated [A5], and the bolometric detectors based on A_3B_5 quantum-wells.

Finally, we reviewed recently proposed by us concepts of infrared and terahertz photodetectors based on graphene van der Waals heterostructures and HgTe/CdHgTe quantum well heterostructures and demonstrate their potentials [A6], and reported our results on plasmonic enhancement of efficiency of graphene-based devices [B7].

[3] 成果

(3-1) 研究成果

The zero-gap energy spectrum of graphene layers (GLs) enables the realization of superluminescent and laser devices exploiting the interband transitions and operating in the terahertz/far-infrared (THz/FIR) ranges. The achievement of the sufficiently strong interband population inversion and the THz/FIR lasing in the heterostructures with the active GLs requires a sufficiently strong pumping of relatively low energy carriers, that is, the desirable energy of the electron hole pairs injected into GL should be below the energy of optical phonons in the GL ($\hbar\omega_0 \simeq 200$ meV). To ensure low energy of the electron-hole pairs injected into the GL we suggested diffusive injection of the photogenerated carriers into the GLs using the GL-based heterostructures with the black-Arsenic (b-As) or graded black phosphorous-As (b- P_xAs_{1-x}) absorbing-cooling layer (ACL) as it is shown in Fig. 1. As we demonstrated (see Fig. 1a [A3]), the ACL made of b-As can be rather effective due to its narrow energy gap (~ 150 meV) and an appropriate band alignment with the GL. Both b-As and black-Phosphorus (b-P) and their graded-gap compounds b- P_xAs_{1-x} (see Fig. 1b [A2]) are very promising for optoelectronic applications and the improvement of their fabrication technology is very fast, making feasible the realization of a number of novel devices, including the THz/FIR sources, in particular, lasers using the GL/ b- P_xAs_{1-x} heterostructures.

Figure 2 shows the spatial distributions of the carrier density

n and their effective temperature T across the ACL for different values of the pumping radiation wavelength $\lambda_{pump} = 2\pi c/\Omega$ (c is the speed of light, $\hbar\Omega$ is the energy of the pumping radiation photons and \hbar is the Planck constant) calculated numerically. The incident optical power is assumed to be equal for all the curves ($P_\Omega = \hbar\Omega I_\Omega = 10\text{W}/\text{cm}^2$). It is assumed that the energy gap in the ACL in the graded-gap b-P_xAs_{1-x} varies linearly from that in b-P ($\Delta_G = 300\text{meV}$) at the illuminated ACL surface to that in b-As ($\Delta_G = 150\text{meV}$) at the illuminated ACL surface to that in b-As ($\Delta_G = 150\text{meV}$) at the GL plane). Other parameters used in our calculations are: absorption coefficient $\alpha_0 = 104\text{cm}^{-1}$, time of energy relaxation $\tau_\varepsilon = 1\text{ps}$, time of electron-hole recombination $\tau_R = 500\text{ps}$, temperature of graphene $T_0 = 17.2\text{meV}$ (200 K). As follows from Fig. 2, the quasi-electric field can lead to substantially high carrier densities of the graded-gap structure at the GL plane and, hence, to a more effective GL pumping. Figure 3 shows the dependence of the population inversion parameter μ/T_{GL} (i.e., of the normalized quasi-Fermi energy) on the normalized intensity of the incident NIR/MIR I_Ω/I_0 for the same parameters as in Fig 2. As seen from Fig. 3, the quantity μ/T_{GL} under the conditions considered is positive even at low pumping intensities (once the rate of the carrier photogeneration rate in the ACL exceeds the rate of their thermal generation). Hence, the population inversion in the GL in the heterostructures using the proposed pumping method can be realized at moderate pumping powers. Indeed, μ/T_{GL} exceeds unity at $I_\Omega/I_0 \sim 20$. This corresponds to the pumping powers $P_\Omega \approx 1.13\text{W}/\text{cm}^2$ and $P_\Omega \approx 4.20\text{W}/\text{cm}^2$ for $\lambda_{pump} = 3\mu\text{m}$ and $\lambda_{pump} = 0.808\mu\text{m}$, respectively. Furthermore, the comparison of the solid and dashed lines in Fig. 3 shows that a pronounced population inversion in the heterostructures with graded-gap ACL requires much lower pumping powers than in the heterostructures with a uniform ACL.

To increase the efficiency and to substantially simplify the pumping of the discussed above emitters we propose and analyze the integrated heterostructure comprising of a b-P_xAs_{1-x}-GL heterostructure and a light-emitting diode (LED) as shown in Fig. 4. The integrated b-P_xAs_{1-x}-GL-LED heterostructure can serve as an active part of the THz laser using the interband radiative transitions in the GL. The operation of the device in question is associated with the generation of the electron-hole pairs by the LED emitted near-infrared radiation in the b-P_xAs_{1-x}, cooling of the photogenerated electrons and holes in this layer, and their injection into the GL. This is beneficial for the achievement of the interband population inversion in the GL, reinforcement of its negative dynamic conductivity in the THz range, and the realization of the optical and plasmonic modes lasing supporting the new types of the THz radiation sources.

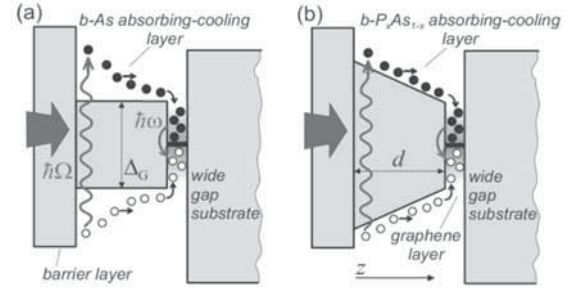


Fig. 1: The band diagrams (a) of a GL-based heterostructure with a uniform b-As absorbing-cooling barrier layer and (b) of a similar heterostructure but with graded bandgap barrier of P_xAs_{1-x} (with the P composition index varying from $x = 1$ at the illuminated surface to $x = 0$ at the GL plane). Straight horizontal arrows correspond to incident pumping NIR/MIR and a wavy vertical arrow shows the interband photogeneration of the electrons and holes (black and open circles) in the ACL. Smooth arrows indicate possible stimulated radiative transitions with the emission of photons or plasmons having the energy $\hbar\omega$ in the inversely populated GLs.

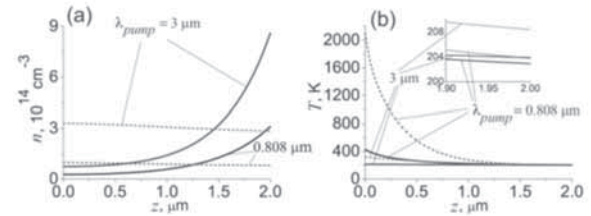


Fig. 2. Coordinate dependences of the carrier (a) density n and (b) effective temperature T in the graded-gap ACL (solid lines) and the uniform ACL (dashed lines) for different pumping radiation wavelengths λ_{pump} . Inset shows the T versus z dependence near $z = 2\mu\text{m}$ in more details.

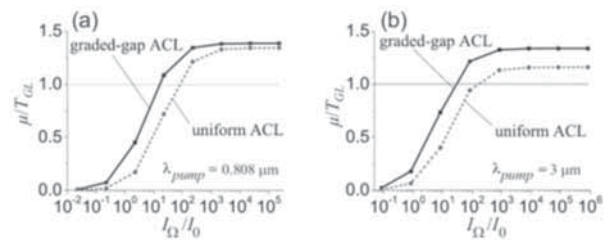


Fig. 3. The normalized quasi-Fermi energy μ/T_{GL} versus normalized MIR/NIR intensity I_Ω/I_0 calculated for the GL heterostructure with the graded-gap ACL ($d = 2\mu\text{m}$) and $E = 375\text{V}/\text{cm}$: (a) $\lambda_{pump} = 0.808\mu\text{m}$ and (b) $\lambda_{pump} = 3\mu\text{m}$ for $T_0 = 200\text{K}$. Dashed lines show the same dependences for the uniform b-As ACL.

We have also proposed vertical hot-electron THz detectors based on b-P_xAs_{1-x}/G/b-P_yAs_{1-y} heterostructures using the effects of the electron heating in the G-layer accompanied by the effect of the photoconductive gain [A4]. We evaluated the detector responsivity and dark current limited detectivity. It was demonstrated that using such narrow-gap barrier materials as b-P and b-As enables a pronounced enhancement of the bolometric THz detector performance. The efficiency of G-based devices is enhanced by the plasmonic effects in the GL [A5, A6].

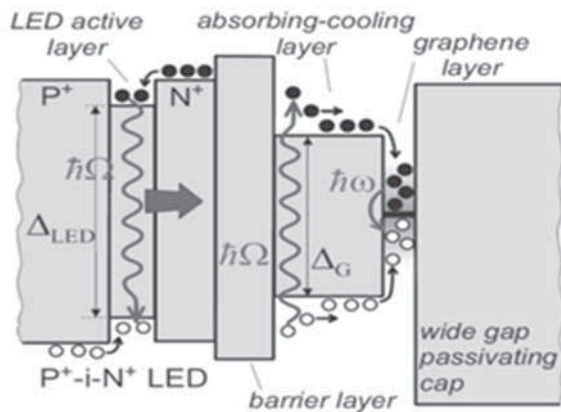


Fig. 4. Schematic view of the band diagram of a $b\text{-P}_x\text{As}_{1-x}\text{GL}$ heterostructure integrated with a $\text{P}^+\text{-i-N}^+$ LED (at sufficiently strong forward bias).

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

Our research was focused on graphene heterostructures, but our work on plasmonic enhancement of device performance [B7] is applicable for other structures with high carrier concentration. Also, in the review [A6] we demonstrated that the new principles of interband photodetectors operation suggested by us for G-based heterostructures can be used for other materials, especially in the heterostructures where G-layers are replaced by thin layers of a narrow bandgap material such as the different thickness quantum wells of HgTe in CdHgTe barriers.

[4] 成果資料

Six Peer-reviewed journal articles

A1. “Negative terahertz conductivity at vertical carrier injection in a black-Arsenic-Phosphorus-Graphene heterostructure integrated with a light-emitting diode”, V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, V. E. Karasik, V. G. Leiman, V. Mitin, and M. S. Shur, *J. Sel. Top/ Quantum Electron.* 25(6), 1-9 (2020). DOI: 10.1109/JSTQE.2019.2941922

A2. “Optical pumping in graphene-based terahertz/ far-infrared superluminescent and laser heterostructures with graded-gap black- $\text{P}_x\text{As}_{1-x}$ absorbing-cooling layers” M. Yu. Morozov, V.G. Leiman, V.V. Popov, V. Mitin, M.S. Shur, V.E. Karasik, T. Otsuji, and V. Ryzhii, *Opt. Eng.* 59(6), 061606 (2019), DOI: 10.1117/1.OE.59.6.061606.

A3. “Optical pumping through a black-As absorbing-cooling layer in graphene-based heterostructure: thermo-diffusion model” M. Yu. Morozov, V.V. Popov, M. Ryzhii, V.G. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, T. Otsuji, and V. Ryzhii, *Opt. Mat. Exp.* 9(10), 4061-4069 (2019). DOI: 10.1364/OME.9004061

A4. “Vertical Hot-electron Terahertz Detectors Based on Black- $\text{As}_{1-x}\text{P}_x$ /graphene/black- $\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ Heterostructures,” M. Ryzhii, V. Ryzhii, V. Mitin, M. Shur, and T. Otsuji, *Sens. Mat.* 31(7), 2271–2279 (2019). DOI: 10.18494/SAM.2019.2305.

A5. “Characteristics of vertically stacked graphene-layer infrared photodetectors,” M. Ryzhii, T. Otsuji, V.E. Karasik, V. Leiman, M. S. Shur, V. Ryzhii, V. Mitin, *Solid-State Electron* 155, 123-128 (2019). DOI: 10.1016/j.sse.2019.03.021

A6. “Concepts of infrared and terahertz photodetectors based on vertical graphene van der Waals and HgTe-CdHgTe heterostructures” M. Ryzhii, T. Otsuji, V. Ryzhii, V. Aleshkin, A. Dubinov, V.E. Karasik, V. Leiman, V. Mitin, M.S. Shur, *Opto-Electron. Rev.* 27, 219–223 (2019). DOI: 10.1016/j.opelre.2019.06.002.

Three invited and four regular presentations at international conferences

B1. “Optical Pumping of Graphene-Based Heterostructures with Black-Arsenic-Phosphorus Absorbing-Cooling Layer for Terahertz Lasing,” M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M. Shur, 2019 IEEE Int. Conf. Microwaves, Antennas, Commun. and Electron. Sys. (COMCAS), Tel Aviv, Israel, Nov. 2019,

B2. “Graphene-based 2D-heterostructures for terahertz lasers and amplifiers,” D. Yadav, S. Boubanga-Tombet, A. Satou, T. Tamamushi, T. Watanabe, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, A.A. Dubinov, V.V. Popov, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, V. Ryzhii, and T. Otsuji, **Invited**, SPIE OPTO, San Francisco, 2019; Proc. SPIE 10917, 109170G (2019). DOI: 10.1117/12.2516494.

B3. “Concepts of Terahertz and Infrared Devices based on Graphene/Black Phosphorus-Arsenic Heterostructures,” V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Leiman, V. Mitin, M. S. Shur, The 11th Recent Prog. in Graphene and Two-dim. Mat. Res. Conf. (RPGR2019), Matsue, Japan, Oct. 2019.

B4. “Graphene/Black Phosphorus-Arsenic Heterostructures and their terahertz and infrared device applications,” V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Leiman, V. Mitin, T. Otsuji, and M. S. Shur, **Keynote**, Int. Cong. Graphene, 2D Mat. Appl.: “2D Materials 2019,” Sochi, Russia, Sept.–Oct. 2019.

B5. “Graphene/Black $\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ Heterostructures for Terahertz and Infrared Devices,” V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Leiman, V. E. Karasik, D. Ponomarev, P. P. Maltsev, V. Mitin, and M. S. Shur, **Plenary**, 8th Russia–Japan–USA–Europe Symp. Fundamental & Applied Problems of Terahertz Dev. & Technol. “RJUSE TeraTech-2019,” Nizhniy Novgorod, Russia July 2019.

B6. “Graphene and Black Arsenic-Phosphorene/Graphene Heterostructures for Terahertz and Infrared Devices,” V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Leiman, D. Ponomarev, P.P. Maltsev, D. Svintsov, V. Mitin, M.S. Shur, V. Karasik, V. Aleshkin, and A. Dubinov, XXIII Int. Symp. “Nanophysics and Nanoelectronics,” Nizhny Novgorod, March 2019.

B7. “Graphene active plasmonics for terahertz device applications,” Taiichi Otsuji; Alexander Dubinov; Maxim Ryzhii; Stephane Boubanga Tombet; Akira Satou; Vladimir Mitin; Michael S. Shur; Victor Ryzhii, Proc. SPIE 9476, 94760Y (2015). DOI: 10.1117/12.2185118.

採択番号：H31/A02

原子層物質活用高性能量子デバイス開発

[1] 組織

研究代表者

加藤 俊顕

(東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員

大塚 朋廣 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者

澁田 靖 (東京大学 大学院工学研究科)

小鍋 哲 (法政大学 生命科学部)

宮内 雄平 (京都大学 エネルギー理工学研究所)

延べ参加人数：70人

[2] 研究経過

原子オーダーの厚みを有する原子層物質は、優れた基礎物性を示すことから世界中で活発な研究が開発されている。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に関して、量子デバイス化に向けて重要となる、高品質合成に特化した研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(研究討論会等開催状況)

日時：令和2年2月19-20日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 南講義棟 103 講義室

1. 「固液界面における動電現象を利用したエネルギーハーベスティング応用」岡田 健 (東北大学)
2. 「グラフェンにおけるスピンバレートロンクス」山本 倫久 (理化学研究所)
3. 「ナノカーボン材料を用いた光電子デバイス開発」牧 英之 (慶應義塾大学)
4. 「歪導入グラフェンナノリボンのプラズマ合成と応用」小倉 土忠 (東北大学)
5. 「大気圧プラズマ反応機構解明に向けた化学活性種の分光計測」中川 雄介 (首都大学

東京)

6. 「振動励起非平衡窒素プラズマ源の開発」國嶋 友貴 (東北大学)
7. 「植物の花粉形成におけるストレス応答と傷害」東谷 篤志 (東北大学)
8. 「水中気泡内プラズマの水処理および農業応用」竹内 希 (東京工業大学)
9. 「気液界面放電水処理による有機物分解のメカニズム検討」生沼 学 (三菱電機 (株) 先端技術総合研究所)
10. 「高電界印加に伴う液中電荷挙動と細胞応答」上原聡司 (東北大学)
11. 「プラズマ照射種子の種子内分子動態解析」古閑 一憲 (九州大学)

本研究会では学内外を含め延べ70名以上の参加者があり、講演は「2次元半導体薄膜の高性能量子デバイス開発」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、バイオ応用プラズマプロセス、医療応用プラズマプロセス等の立場から、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、原子オーダーの厚みを有する半導体原子層材料である遷移金属ダイカルコゲナイドの高品質合成を目的とし、そのために必須である合成機構解明に特化した研究を行った。その結果、以下に示す研究成果を得た。

I. TMD の合成機構解明

原子オーダーの厚みから構成される2次元原子シート材料が注目されている。2010年にノーベル物理学賞の対象となったグラフェンは、炭素からできた最も有名な原子シートとして知られている。このグラフェンと類似の構造を持ち、炭素以外の原子で構成された原子シートが続々と発見されている。特に、モリブデン (Mo) やタングステン (W) などの遷移金属と硫黄 (S) などのカルコゲン原子から構成される遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) と呼ばれる原子シートは、グラフェンにはない半導体特性を示すことから、半導体エレクトロニクス分

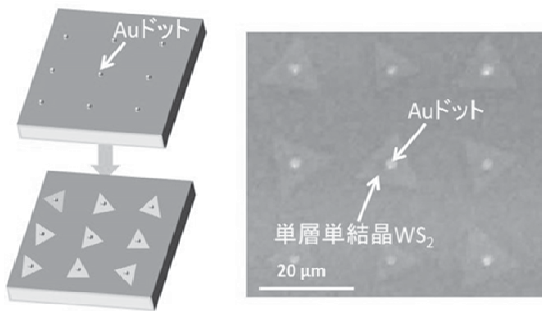


図 1. Au ドットを用いた結晶成長に関する核発生サイト制御手法の模式図 (左) と実際に Au ドットから合成された単層単結晶 WS₂ の光学像 (右)。

野で非常に期待されている。さらに超伝導や室温安定励起子、バレー偏極などの物理現象が発現することも分かっており、従来の電荷のみを用いる半導体デバイスとは異なる電荷、スピン、バレーを活用した新たな量子デバイス開発の観点からも大きな可能性を持つ材料として研究が活発に進められている。

しかしこれら TMD の特異な物性は主に、3 次元結晶から薄片を粘着テープで剥がした微小結晶で観測されたものであり、この特性を実用デバイスに活用するためには、大面積、高品質の単結晶合成手法の確立が必須といえる。また単結晶合成技術において、大面積化、高品質化、集積化、結晶方位制御、欠陥密度制御、層数制御などいまだに多くの問題が残されているのが現状であり、課題解決に向け TMD 原子シートの成長機構を解明することが、最優先課題の 1 つとされている。

TMD の合成機構に関して、原料が気相から基板に供給され基板表面で原子オーダーのシートが成長することは知られている。しかし、どのような組成の原料がどのように基板に供給され、その後どのような過程を経て原子層シートの成長に至るかに関して全く明らかにされていない。そこで、本研究グループはこれらの結晶成長初期過程を解明するため、まず結晶成長が開始する核発生サイトを制御する手法を開発した。あらかじめ基板上にナノメートルオーダーの金 (Au) ドットを配置して TMD の一種である二硫化タングステン (WS₂) の合成を行った。その結果、Au ドットから選択的に単層単結晶の WS₂ を成長させることに成功した (図 1)。次にこの手法を活用して合成機構の解明に取り組んだ。まず、前駆体が基板上を拡散する距離を実測するため、Au ドットの周囲にあらかじめ拡散を防止する構造を基板上に作り込み、拡散防止構造と結晶サイズの詳細に解析した (図 2)。その結果、WS₂ の結晶成長に使われる成長前駆体は、基板上を 7

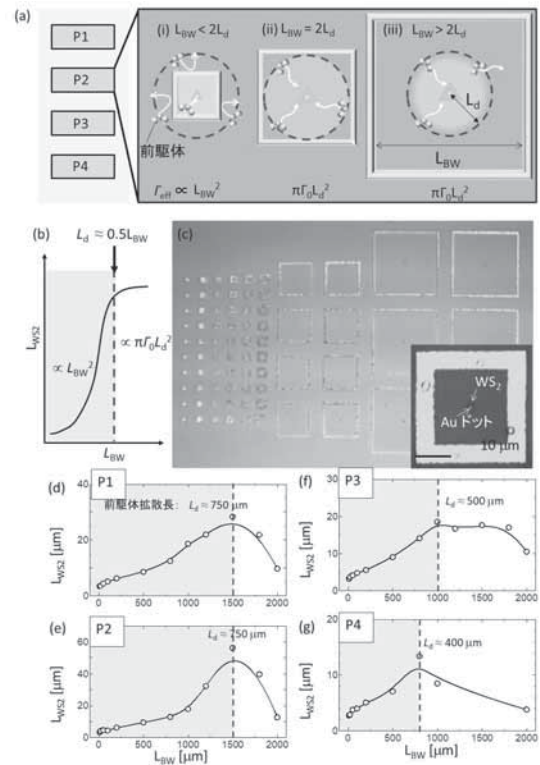


図 2. 拡散防止構造を利用した基板上での前駆体拡散距離 (L_d) の計測。(a) 拡散防止構造長 (L_{BW}) と L_d 、および成長に使われる前駆体数 (Γ_{eff}) の関係図。(b) 予想される単結晶 WS₂ サイズ (L_{WS_2}) と L_{BW} の相関曲線 (L_{WS_2} の飽和が開始する L_{BW} の半分に L_d に対応)。(c) 実際に合成した後の拡散防止構造付基板の様子。拡大図は典型的な 1 つの拡散防止構造内に合成された WS₂ の様子。(d - g) 同一基板の上の異なる場所 ((a) の P1 - P4) で計測した L と L_{BW} の関係。破線が $L_d = 0.5 L_{BW}$ に対応。

50 マイクロメートル (μm) 以上も拡散した後、核となる Au ドットに捕捉され成長を開始することが明らかとなった。この拡散長は、一般的な半導体材料であるシリコンや化合物半導体と比べ、約 100 倍以上長い値である。従来の半導体では原子、分子レベルでの前駆体拡散機構が一般的なモデルであったのに対し、今回明らかになった 100 倍以上長い拡散長は、従来のモデルでは説明できない新たな成長機構の存在を意味している。

次に、成長状態をその場で観察できる合成装置を独自に開発し、WS₂ の結晶成長のその場観察を行った結果、Au ドットに取り込まれた前駆体が一度円形の液だまり状態を取り、液だまりが一定サイズ以上に増加した後、三角形の単結晶原子層シート構

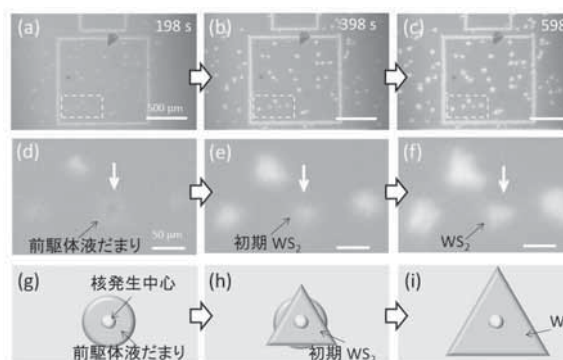


図 3. その場観察で明らかにした前駆体液だまりとWS₂成長過程の関係。異なる合成時間 (a, d, g) 198 s, (b, e, h) 398 s, (c, f, i) 598 sにおけるその場観察の (a-c) 低倍率と (d-f) 高倍率光学像スナップショットと (g-i) 各状態の模式図。

造の成長が開始する一連の成長推移を明らかにした (図3)。TMDの成長状態をその場観察した成果は本研究が初めてである。この特異な成長過程と前述の長距離前駆体拡散を考慮すると、前駆体自体がナノスケールの液体状態を取り、液滴として基板上を拡散することで、従来の半導体に見られる原子、分子状拡散より格段に長い距離の拡散が実現できたと考えられる。このような、液滴前駆体による一連の結晶成長機構を基に合成条件を最適化した結果、センチメートルオーダーの実用スケール基板上に3万5千個以上の単層単結晶TMDを均一に高度集積化合成することに成功した (図4)。

(特別支援 (若手) にかかる研究成果)

・タイプ: 若手研究者対象型

特別支援分の研究費によりナノ材料科学とプラズマプロセス関連で活躍する研究者を集めた研究会を開催した。特にプラズマ材料プロセスを用いた最先端応用に関する意見交換を通じ、グラフェンやTMDの量子デバイス応用に関する重要な知見を得た。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究は、従来粘着テープで剥離した小片を用いた原理実証実験にとどまっていたTMD研究に対し、単層単結晶TMDを任意の場所に大規模集積化合成を可能とした画期的な成果である。今後フレキシブルセンサーや高性能なフレキシブルトランジスターなどさまざまな超高性能なフレキシブル光、電子デバイスへの実用化が期待される。また、本手法を活用することで、今後単結晶サイズの飛躍的な増大や構造欠陥導入機構の解明、結晶方位制御などへの貢献も見込まれる。

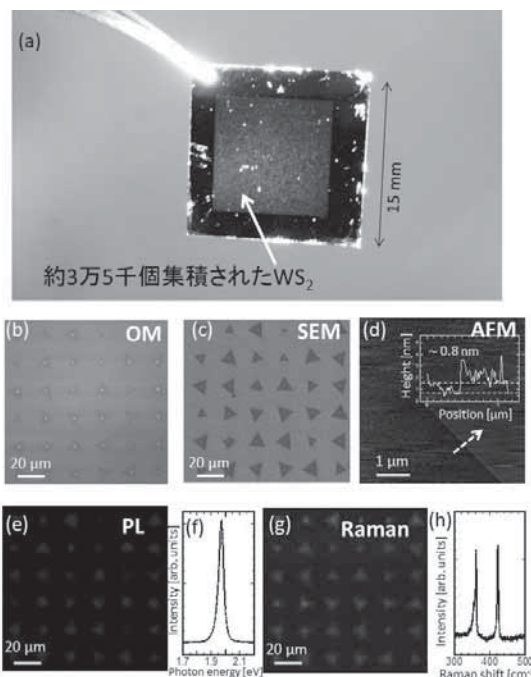


図 4. 大規模集積化合成した単層単結晶WS₂の (a) 低倍率光学写真と高倍率 (b) 光学像, (c) 走査型顕微鏡 (SEM) 像, (d) 原子間力顕微鏡 (AFM) 像 (挿入図は破線部の高さプロファイル), (e) 蛍光 (PL) マッピング像, (f) 典型的なPLスペクトル, (g) ラマン (Raman) マッピング像, および (h) 典型的なRamanスペクトル。

[4] 成果資料

- (1) Nucleation dynamics of single crystal WS₂ from droplet precursors uncovered by in-situ monitoring, C. Li, T. Kameyama, T. Takahashi, T. Kaneko, T. Kato, Scientific Reports **9**, 12958-1-7 (2019).
- (2) Enhanced Thermoelectric Performance of As-Grown Suspended Graphene Nanoribbons, Q.-Y. Li, T. Feng, W. Okita, Y. Komori, H. Suzuki, T. Kato, T. Kaneko, T. Ikuta, X. Ruan, K. Takahashi, ACS Nano **13**, 9182-9189 (2019).
- (3) Improvement in growth yield of single-walled carbon nanotubes with narrow chirality distribution by pulse plasma CVD, B. Xu, T. Kaneko, and T. Kato, Frontiers of Chemical Science and Engineering **13**, 485-492 (2019). (Invited Paper, Cover Picture)

採択番号 : H31/A03

Japan-Russia International collaborative research on high sensitive and tunable room-temperature plasmonic photoconductive antenna-detector

[1] 組織

V.G. Mokerov Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of the Russian Academy of Sciences

研究代表者 :

Dr. PONOMAREV Dmitry
(IUHFSE RAS, Moscow)

通研対応教員 :

Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者 :

Dr. KHABIBULLIN Rustam
(IUHFSE RAS, Moscow)

Dr. WATANABE Takayuki (RIEC, Tohoku Univ.)

延べ参加人数 : 4

[2] 研究経過

We have developed a plasmon-assisted terahertz (THz) photoconductive antenna (PCA)-detector featuring a very high aspect-ratio of metal (Ti/Au) gratings which are symmetrically placed in a 10 μm antenna's gap. The PCA was fabricated using different photoconductive substrates with thus allowing to efficiently operate in a wide range of an optical pump excitation. We compared the detector's parameters to those obtained for a room-temperature high-sensitive FET THz detector with GaAs channel with Sn-nanowires embedded into the GaAs matrix [A1]. Importantly, both detectors have been developed and fabricated in very close cooperation between Japanese and Russian sides.

Finally, together with Prof. T. Otsuji, we were asked to give an invited review on photoconductive THz devices which was published at the end of 2019 [A2]. Also, the results of the project were presented at different conferences with invited and oral talks [C1-C5].

[3] 成果

(3-1) 研究成果

As known, the PCAs based either on photoswitching or photomixing effects, are the prevalent types of contemporary THz devices that now are widely used in THz spectroscopic and imaging systems thanks to their reliability, cost-effectiveness and relative ease of

fabrication. Nevertheless, the increase of the PCA-detectors sensitivity in particular when operating with low-power laser pumps still remains a challenge. The latter for instance is crucial for biomedical applications including the problems of medical diagnosis of malignancies since the PCA with the spectral power density at low frequencies less 1.0-2.0 THz could be used for imaging of bio tissues, while, for higher frequencies, the effects of non-directed elastic scattering of THz waves by surface and volumetric tissue inhomogeneity become valuable and prevents accurate characterization of tissues.

Figure 1 shows a schematic view (a) and operation principle (b) of proposed high sensitive plasmon-assisted THz antenna-detector featuring a high-aspect-ratio grating with Ti/Au-nanoridge height exceeding 100 nm. The surface is coated by Al_2O_3 dielectric which allows reducing the Fresnel reflection down to 5% while additionally maintaining mechanical stability of the grating.

The fabrication of the plasmon-assisted PCA comprised several steps. First, we passivated the surface of a InGaAs/InAlAs superlattice (SL)-based photoconductive substrate with a 230 nm Si_3N_4 dielectric layer, then we etched two windows near the photoconductive gap for the antenna/semiconductor contact, and then deposited Ti/Au beam evaporation. The plasmonic gratings were formed using the electron-beam lithography with 18/82-nm-thick Ti/Au metallization followed by the lift-off process. Finally, the $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ plasmonic grating was inscribed onto each of the two electrodes. For comparison, we fabricated conventional InGaAs/InAlAs-SL-based PCA that utilized the same antenna topology without the grating.

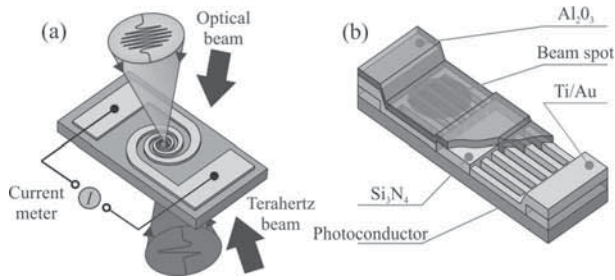


Fig. 1. Schematic view (a) and operation principle (b) of the fabricated high-sensitive plasmon-assisted THz antenna-detector. The metal grating Ti/Au height is 100 nm while the antenna's gap is passivated with a Si₃N₄ dielectric to reduce leakage currents. The gratings are covered with a 180 nm Al₂O₃ dielectric to reduce the Fresnel losses and maintain mechanical stability of the grating.

Both PCAs were used as a THz detector in our laboratory THz time-domain spectroscopic setup. We used a wavelength of $\lambda = 0.78\mu\text{m}$, the pulse repetition rate of 100 MHz, and the pulse duration of 95 fs. In our experiments, we biased the PCA emitter (FRAUNHOFER Terra-8 antenna) with 30 V and varied the optical pump power in the range of ≈ 0.1 to 10 mW using a set of attenuators. The emitted THz beam was collimated using a pair of the HRFZ-Si hemispheres and an off-axis gold parabolic mirror. The beam was then focused onto the studied antennas-detector. The experimental results are shown in figure 2. As seen, the plasmonic antenna demonstrates the high dynamic range (more than a 1000-fold increase in the low-frequency region) and is more sensitive in the whole THz bandwidth compared to the conventional antenna.

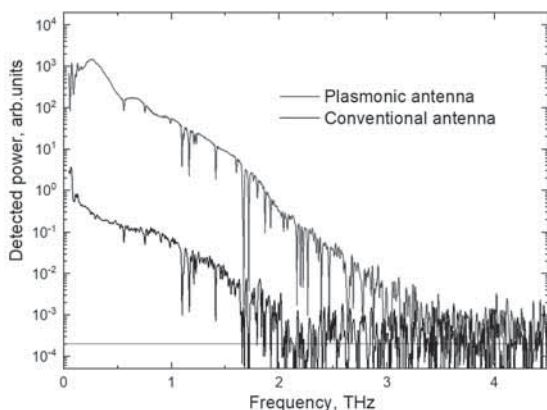


Fig. 2. Detected THz signal in the plasmon-assisted THz antenna-detector (red curve) and in the conventional antenna-detector (black curve).

In order to further optimize the antenna-detector, we estimated how much light can be efficiently transmitted through the grating using a finite element method (a

full-wave 3D simulation). The model is consisted of two metal electrodes (Ti/Au) separated by a Si₃N₄ passivated photoconductive gap. Figure 3a illustrates the used model while the simulation results are depicted in (b)-(d).

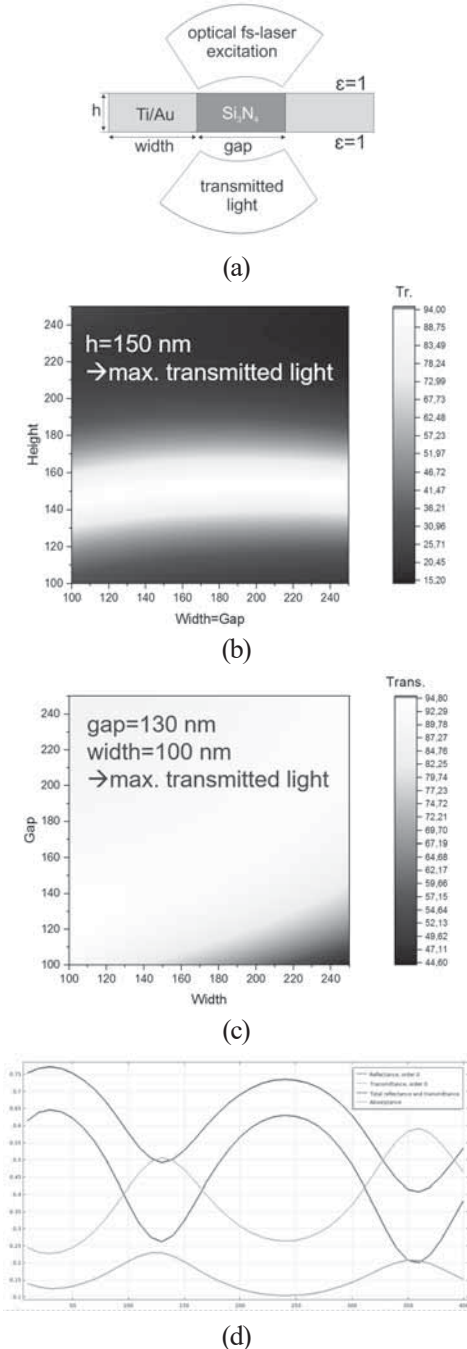


Fig. 3. Optimization of the antenna-detector via numerical simulation: the model (a), 2D dependency on the Ti/Au height (b), gap versus width at fixed height (c) and transmission, reflection and absorption coefficients versus Al₂O₃ dielectric thickness (d).

At the first step, we fixed the gap and the width and plotted a 2D dependency on the ridge height (b) and then we fixed the ridge height and plotted the gap-to-width dependency (c). As seen, the gap of 130 nm, as well as the

width of 100 nm, correspond to the maximum of transmitted light through the grating (at $h = 150$ nm). The last step was to estimate the thickness of antireflection and protective coating with the first minimum in reflectance obtained at $d \sim 130$ nm (d). Note that an Al_2O_3 dielectric was used in simulation as in the above-mentioned case. This dielectric is much easier to produce experimentally, moreover, it can be deposited using an atomic-layer deposition and thus can conformally cover the antenna surface.

The scanning electron microscopic (SEM) image of the fabricated plasmonic antenna-detector with two symmetrically placed gratings is depicted in figure 4a. The (b) and (c) demonstrate the magnified image of the grating and the cross-view of the antenna, respectively.

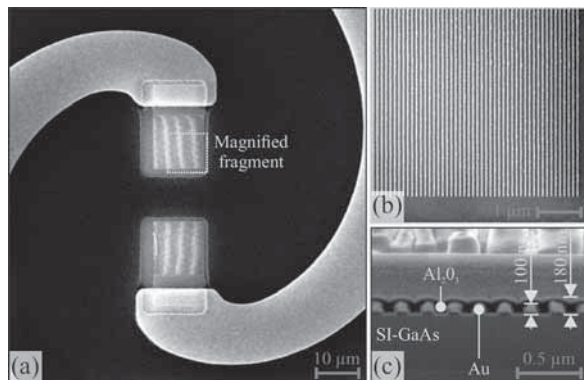


Fig. 4. SEM image of the fabricated Ti/Au gratings symmetrically placed in the photoconductive gap (a); magnified image of the grating (b) and the cross-view of the antenna illustrating the Al_2O_3 dielectric coating layer and the ridges of the grating.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Despite our research was focused on a photoconductive antenna-detector, the same plasmonic antenna could be successfully used as a broadband THz emitter for pulsed and continuous-wave operation in THz spectroscopic setups. Thanks to high aspect-ratio, the grating can transmit much optical light due to excitation of surface plasmon polaritons and thus it might be used to manage the plasmons on a nanoscale. Moreover, the combination of the grating with low-energy bandgap materials (such as InGaAs) opens a pathway to developing cost-effective and portable THz devices that efficiently operate at a telecom wavelength.

[4] 成果資料

Peer-reviewed journal articles (published already)

[A1] D.S. Ponomarev, D.V. Lavrukhin, A.E. Yachmenev, R.A. Khabibullin, I.E. Semenikhin, V.V. Vyurkov, K.V. Maren'yanin, V.I. Gavrilenko, M. Ryzhii, M. Shur, T. Otsuji and V. Ryzhii, Sub-terahertz FET detector with self-assembled Sn-nanowires, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53 075102 (2020).

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/ab588f>

[A2] A.E. Yachmenev, D.V. Lavrukhin, I.A. Glinskiy, N.V. Zenchenko, Yu.G. Goncharov, I.E. Spektor, R.A. Khabibullin, T. Otsuji, D.S. Ponomarev, Metallic and dielectric metasurfaces in photoconductive terahertz devices: a review, *Optical Engineering*, 59(6), 061608 (2019). <https://doi.org/10.1117/1.OE.59.6.061608>

Invited and oral presentations at international conferences:

[C1] D.S. Ponomarev et al, "Monolayer and multilayer A3B5 structures for microwave and terahertz applications" DIPC-MIPT workshop, 6-7 November, Donostia, San Sebastian 2019, invited talk.

[C2] D.S. Ponomarev et al, "Optical Light Confinement in Terahertz Antennas", 2D Materials 2019, International Congress on Graphene, 2D Materials and Applications 30th September - 04th October 2019 Sochi Olympic Park, Sochi, Russia, invited talk.

[C3] D.S. Ponomarev et al, "Light confinement in photoconductive antennas featuring plasmonic and dielectric structures", SFM-2019, THE 23ND ANNUAL CONFERENCE, 23-27 September 2019, invited talk.

[C4] D.V. Lavrukhin, et al, "Efficient plasmon-assisted terahertz antenna for operation with low-power laser pumps," THz Optoelectronics and Photonics Symposium (POEM-2019), 9-12 April 2019, London, University College London, invited talk.

[C5] I.A. Glinskiy et al, "Enhanced terahertz emission from photoconductive antennas due to sub-wavelength optical light confinement," Optics & Photonics International Congress 2019 (OPIC 19), April 22-26, 2019, Yokohama, Japan, SPIE Structured Light 2019, oral talk.

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)

池田 弥央 (名古屋大学大学院工学研究科)

大田 晃生 (名古屋大学大学院工学研究科)

東 清一郎 (広島大学大学院
先端物質科学研究科)

延べ参加人数 : 8 人

[2] 研究経過

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

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

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~50 nm 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。

また、本共同プロジェクトを推進するために、実験打ち合わせを東北大学にて 2 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教授が中心的に組織・運営する 2nd Joint ISTD / ICSI 2019 Conference (10th International SiGe Technology and Device Meeting / 12th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures) (June 2nd - June 6th, 2019, University of Wisconsin-Madison)において意見・情報交換を行い、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。さらには、プロジェクト分担者らと協働で、本年 11 月 27-30 日に東北大学、片平キャンパス内で、12th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics と 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces の合同開催を企画し、更なる情報交換・連携体制の強化を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

自己組織化形成 Si 系量子ドットの選択成長

SiH₄ の LPCVD において、SiO₂ 表面の Si-OH 結合が Si 量子ドット核形成の反応活性サイトとなり、さらに SiH₄ と GeH₄ の LPCVD の反応初期過程を交互に精密制御することによって、熱酸化膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成できることが分かっている。本研究では、SiO₂ 表面に局所的に Si-OH 結合を形成することで、Si および SiGe 量子ドットの配列を試みた。

具体的には、p-Si(100)基板上に 1000 °C で膜厚~10 nm の SiO₂ 膜を形成後、EB リソグラフィおよび HF による wet エッチングにより、膜厚~5 nm、線幅 50~100 nm 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~1 nm 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、同一チャンバー内で大気に曝すことなく、10% Si₂H₆ の LPCVD(400 °C、0.2 Torr)による初期核形成および pure SiH₄ ガスの LPCVD(560 °C)による Si 量子ドットの自己組織化形成を行った。引き続き、10% GeH₄ の LPCVD(400 °C)を行うことで SiGe 量子ドットの形成を試みた。

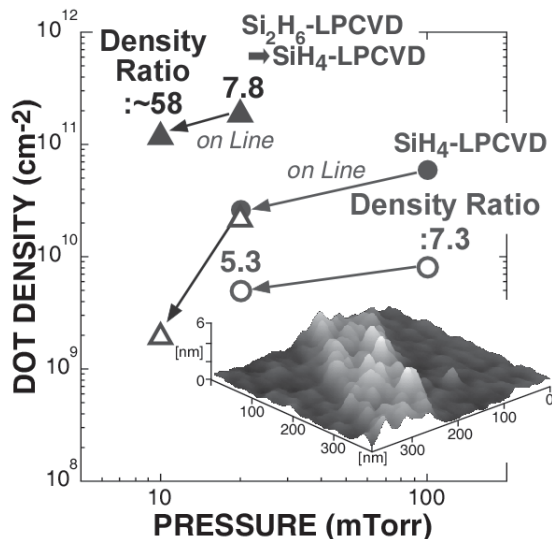


Fig. 1 Areal dot density on OH- and O-terminated SiO₂ surfaces as a function of pressure during SiH₄-LPCVD. An AFM image after Si-QDs formation with initial nucleation prior to SiH₄-LPCVD on OH-terminated SiO₂ is shown in the inset. Nucleation was carried out by using Si₂H₆ at a pressure of 100 mTorr and substrate temperature of 400°C. Si-QDs growth was performed at a SiH₄ gas pressure of 20 mTorr at 580°C.

AFM 表面形状像から求めたドット密度の SiH₄ 圧力依存性を Fig. 1 に示す。また、図中にはドット密度比(OH 終端領域/酸素終端領域)を示した。Si₂H₆-LPCVD による初期核形成を行わなかった場合、SiH₄ 圧力 100 および 20 mTorr では、酸素終端領域のドット密度は~7x10⁹ cm⁻² に抑制されているものの、表面 OH 終端した SiO₂ ライン上でのドット密度も 10¹¹ cm⁻² には達していない。これに対して、400°C Si₂H₆-LPCVD による初期核形成を行った場合、SiH₄ 圧力を 10 mTorr に低減することで、選択性を大幅に向上(密度比~58)して、SiO₂ ライン上で~1x10¹¹ cm⁻² のドット密度が得られた。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、低温での Si₂H₆-LPCVD において核発生が抑制されることに加え、その後の低圧力 SiH₄-LPCVD での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。これらの結果に基づいて、~50 nm 幅の SiO₂ パターン上に Si 量子ドット形成後、GeH₄-LPCVD を行うことで、一次元配列した SiGe 量子ドットを選択形成できた(Fig. 2(a)). ~50 nm 幅 SiO₂ パターン上に配列した SiGe 量子ドット表面を -3V および +4 電圧印加した導電性 AFM 探針で走査した後の表面電位像において、明瞭な負帯電および正帯電が認められた(Fig. 2(b)). これは、SiGe 量子ドットへの電子注入・保持およびドットからの電子放出で説明できることから、一次元配列制御した SiGe 量子ドットは、電氣的に絶縁分離していることを示している。

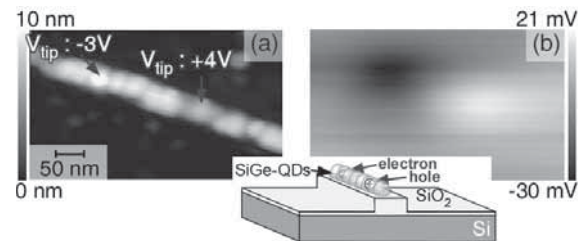


Fig. 2 Topographic (a) and corresponding surface potential images (b) measured in Kelvin probe mode after electron injection and extraction at tip bias of -3.0 V and +4.0 V (b), respectively.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

また、若手研究者および本プロジェクト研究に参加した学生が本プロジェクトで得られた成果を国際会議で積極的に発表することで、学外研究者および海外研究者との交流が飛躍的に活性化し、若手研究者の新たなネットワーク構築への発展が期待できる。

さらには、本申請研究をドイツの IHP(Innovations for High Performance Microelectronics)と共同研究を実施し、国際共同研究体制を築くと共に、関連分野の第一線で活躍している国外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

[4] 成果資料

(1) S. Fujimori, R. Nagai, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki, Effect of H₂-dilution in Si-cap formation on photoluminescence intensity of Si quantum dots with Ge core, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 58 S11A01 (2019).

(2) [Invited] K. Makihara, M. Ikeda, and S. Miyazaki, Fabrication of Impurity Doped Si Quantum Dots with Ge Core for Light Emission Devices, 8th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces, S2-3 (Sendai, Nov. 27-30, 2019).

(3) [Invited] S. Miyazaki, Fabrication and Characterization of Multiple Stack Si/Ge Quantum Dots for Light Emission, 3rd Int. Conf. on Photonic Research: InterPhotonics 2020, (Antalya, Turkey, Nov. 4-9, 2019).

(4) [Invited] S. Miyazaki, Study on c Light Emission from Multiple Stack Si/Ge Quantum Dots, World Congress on Lasers, Optics and Photonics, (Barcelona, Spain, Sept. 23-25, 2019).

(5) [Invited] S. Miyazaki, Fabrication and Characterization of Multiple Stack Si/Ge Quantum Dots for Light and Electron Emissions, World Chemistry Forum 2019 (WCF-2019), Forum 2-7: Nano-Fabrication, Characterization and Nanoengineering (3rd), (Barcelona, Spain, May 22-24, 2019).

(6) [Invited] K. Makihara, M. Ikeda, A. Ohta, and S. Miyazaki, Formation and Characterization of Si Quantum Dots with Ge Core for Electroluminescent Devices, Compound Semiconductor Week 2019 (CSW2019), TuB3-3 (Nara, May 19-23, 2019).

(7) [Invited] S. Miyazaki, Light Emission from Multiple Stack Si/Ge Quantum Dots, 7th Global Nanotechnology Congress and Expo: Nanotechnology 2019, (Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2-4, 2019).

(8) J. Wu, H. Furuhashi, H. Zhang, Y. Hashimoto, M. Ikeda, A. Ohta, A. Kohno, K. Makihara, and S. Miyazaki, Formation of High Density Fe-silicide Nanodots Induced by Remote Hydrogen Plasma and Characterization of Their Magnetic Properties, 8th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces, WP2-18 (Sendai, Nov. 27-30, 2019).

(9) T. Maehara, S. Fujimori, M. Ikeda, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Characterization of Photoluminescence from Si-QDs with B δ -Doped Ge Core, 8th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces,

TA2-3 (Sendai, Nov. 27-30, 2019).

(10) M. Ikeda, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Operand Study of Multiple Stacked Si Quantum Dots by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy, Int. Conf. Materials and Systems for Sustainability 2019, A1-III-3 (Nagoya, Nov. 1-3, 2019).

(11) K. Makihara, S. Fujimori, M. Ikeda, A. Ohta, and S. Miyazaki, Impact of Boron Doping into Si Quantum Dots with Ge Core on Their Photoluminescence Properties, 32nd Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf., 30P-7-54L (Hiroshima, Oct. 28-31, 2019).

(12) S. Fujimori, R. Nagai, M. Ikeda, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Effect of B-doping on Photoluminescence Properties of Si-QDs with Ge Core, 2nd Joint ISTDM / ICSI 2019 Conference; 10th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM)/ 12th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI) (University of Wisconsin-Madison, USA, June 2-6, 2019).

(13) 前原 拓哉、藤森 俊太郎、池田 弥央、大田 晃生、牧原 克典、宮崎 誠一、「B 添加が Ge コア Si 量子ドットの PL 特性に及ぼす影響」2019 年 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-E317-8, 08-110 (北海道大学 札幌キャンパス, 2019 年 9 月 18 日-21 日)

(14) 藤森 俊太郎、前原 拓哉、今井 友貴、池田 弥央、牧原 克典、宮崎 誠一、「Ge コア Si 量子ドットにおける Ge 選択成長温度が発光特性に及ぼす影響」2019 年 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-E317-7, 08-109 (北海道大学 札幌キャンパス, 2019 年 9 月 18 日-21 日)

採択番号 : H31/A05

Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures

[1] 組織

研究代表者 :

Dr. Oleg A. Tretiakov

通研対応教員 :

Prof. Shunsuke Fukami

研究分担者 :

Samik DuttaGupta (CSIS, Tohoku Univ.)

Aleksandr Kurenkov (CSIS, Tohoku Univ.)

延べ参加人数 : 4 人

[2] 研究経過

➤ Motivation:

The future of electronics is focused on the realization of high-speed and low power consuming intelligent computing architectures^{1,2}. The absence of a net magnetic moment, intrinsic ultrafast dynamics, and higher packing density entail promising characteristics useful for non-volatile antiferromagnet (AFM)-based memories³⁻⁵, multi-level analog bit cell for neuromorphic applications⁶, AFM/ferromagnet (FM)-based neuron and synapses⁷ and skyrmion-based computing⁸. One of the pertinent questions for the realization of AFM spintronics concerns electrical detection and control of antiferromagnetic moments without macroscopic magnetization.

➤ Purpose and scientific significance:

Mn-based binary metallic alloys (ex. PtMn, IrMn, etc.) correspond to a class of material, broadly utilized in spin-valve structures owing to its beneficial functionalities. We demonstrate electrical writing of information in polycrystalline AFM/non-magnet (NM) PtMn/Pt structures. Electrical measurements supplemented by x-ray magnetic dichroism imaging show a deterministic reversal of the antiferromagnetic Néel vector in the metallic AFM PtMn. A comparison of electrical measurements of AFM structures with/without NM layer clarifies the underlying role played

by

Spin-orbit torques (SOTs). We also demonstrate the capability of PtMn for long-time data retention, promising for AFM-based devices. The present experimental results demonstrate the prospect of metallic AFMs for antiferromagnetic spintronics.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

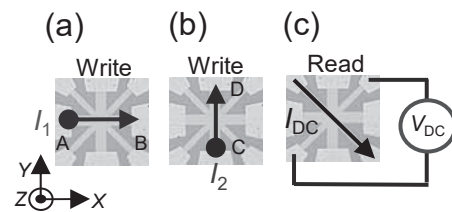


Fig. 1: (a), (b) Optical micrograph of the star-shaped device structure and schematic diagram of the measurement. Write currents $I_{1,2}$ is sourced along the paths from A(C) to B(D), respectively. (c) Reading is achieved by measuring transverse Hall voltage (V_H) under the application of read current (I_{DC}). Read-out resistance (R_{HII}) equals V_H/I_{DC} .

Sample Fabrication & experimental details:

We utilize sub./under layer (UL)/Pt_{0.38}Mn_{0.62} (10)/Pt (5)/Ru (1) structures (PtMn (10)/Pt, hereafter), deposited by magnetron sputtering on highly resistive Si substrates. The numbers in parentheses denote the nominal thicknesses in nm. The results from PtMn (10)/Pt are compared to reference structures sub. / (UL) / Pt_{0.38}Mn_{0.62} (10) / Ru (1) (PtMn (10) / Ru, hereafter) and sub. / UL / Pt (5) / Ru (1) (Pt (5) / Ru, hereafter). The deposited films are patterned into star-shaped structures by photolithography and Ar-ion milling and subsequently annealed at 300 ° C for 2 hours. Figures 1(a), (b) show the schematics of writing procedure under the application of orthogonal write current pulses ($I_{1,2}$). We utilize spin-Hall magnetoresistance effect⁹ and measure transverse voltage (V_{DC}) after each $I_{1,2}$ pulse, enabling us to detect changes in the Néel vector under the application of current (Fig. 1(c)).

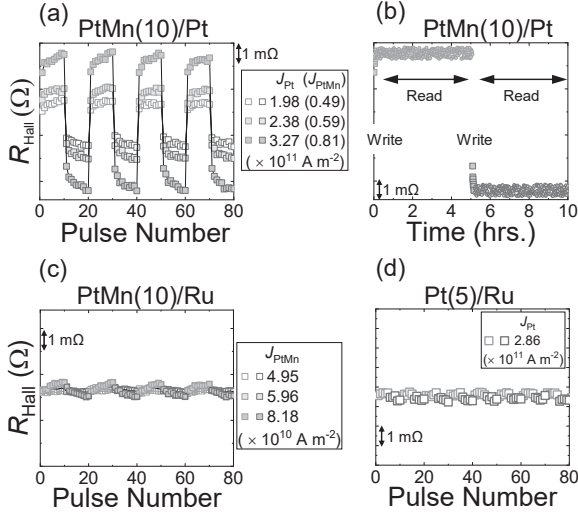


Fig 2: (a) Experimental results of current-induced switching of PtMn(10)/Pt structure under applied current densities $J_{Pt} = 1.98 \times 10^{11} \text{ A m}^{-2}$ ($J_{PtMn} = 4.96 \times 10^{10} \text{ A m}^{-2}$), $J_{Pt} = 2.38 \times 10^{11} \text{ A m}^{-2}$ ($J_{PtMn} = 5.95 \times 10^{10} \text{ A m}^{-2}$) and $J_{Pt} = 3.27 \times 10^{11} \text{ A m}^{-2}$ ($J_{PtMn} = 8.17 \times 10^{10} \text{ A m}^{-2}$). (b) Stability of switched states investigated by monitoring R_{Hall} for several hours after writing. Red and blue shaded area corresponds to the writing of PtMn(10)/Pt by ten write pulses. (c) Results of current-induced manipulation of PtMn(10)/Ru structure under applied $J_{PtMn} = 4.95 \times 10^{10}$, 5.96×10^{10} , and $8.18 \times 10^{10} \text{ A m}^{-2}$ respectively. (d) Results of similar measurements on Pt(5)/Ru structures under applied $J_{Pt} = 2.86 \times 10^{11} \text{ A m}^{-2}$.

➤ Results of electrical measurements:

Figure 2(a) shows the experimental results of electrical writing of information in PtMn(10)/Pt structures for different current amplitudes at a constant pulse width of 500 ms. Application of I_1 pulse results in a high-resistive state while I_2 results in a low-resistive state. This bi-stable nature of R_{Hall} persists over for different pulse amplitudes, demonstrating the intrinsic nature of the observed behavior. Considering the observed behavior in R_{Hall} as a measure of changes in antiferromagnetic Neel vector, distinct reversal changes indicate a possibility of antiferromagnetic Néel vector switching in PtMn/Pt. To confirm the stability of the switched states, we monitor R_{Hall} for several hrs. after application of $I_{1,2}$ (Fig. 2(b)). Clear, distinguishable resistive states without any sign of relaxation were observed, indicating high thermal stability of AFM PtMn. The obtained result is explained as a consequence of the high thermal stability of the AFM PtMn. We also compare the experimental results for PtMn(10)/Pt with

similar measurements on PtMn(10)/Ru and Pt(5)/Ru at identical device dimensions and similar current densities (Fig. 2(c), (d)). As opposed to distinct reversible R_{Hall} states in PtMn(10)/Pt, we observe virtually insignificant changes of R_{Hall} in the latter structures. Our experimental results demonstrate the possibility of current-induced switching in PtMn/Pt with relatively low current densities relevant for AFM-based future spintronic devices.

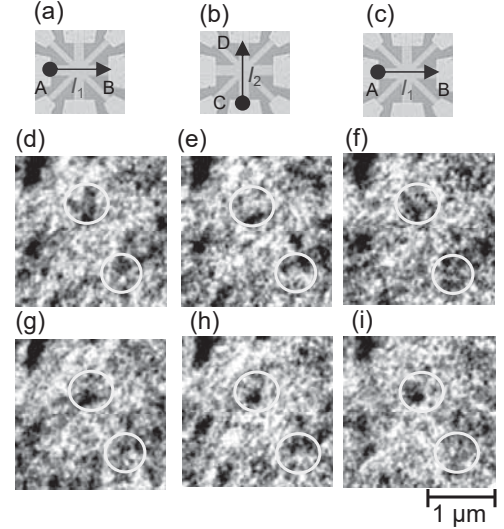


Fig. 3: (a)–(c) Schematic diagram of the sequence of applied write currents in Pt/PtMn(10). (d)–(f) LV polarization XMLD-PEEM images of Pt/PtMn(10) structure. The images were taken after injection of 20 pulses of amplitude $J_{Pt} = 5.93 \times 10^{11} \text{ A m}^{-2}$ along A(B) \rightarrow C(D). Yellow circles highlight regions of the sample with prominent switching. (g)–(i) LH polarization XMLD-PEEM images at the same position as (d)–(f) after the application of current pulses. White and black areas in the (d)–(i) indicate regions with opposite linear dichroism contrast for the LV and LH polarization of the incident beam.

➤ Results of x-ray imaging measurements:

To prove that the application of orthogonal write pulses indeed results in electrical switching characteristics of magnetic origin, we resort to X-ray absorption spectroscopy and X-ray linear magnetic dichroism (XMLD)-photoemission electron microscopy (PEEM) imaging of Pt/PtMn(10) structures. PEEM images were acquired with x-ray energies at $E_1 = 638.15 \text{ eV}$ and $E_2 = 638.95 \text{ eV}$, incident at an angle of 16° on the sample surface. E_2 and E_1 correspond to the energies closer to the Mn L_3 edge at which the maximum XMLD contrast is obtained, resulting in a difference in absorption between regions with spin-axis collinear or perpendicular to the incident x-ray polarization. Figures 4(a)–(c)

show the optical micrograph of the device structure along with the directions of applied $I_{1,2}$. The linear polarization of the x-rays in the linear horizontal (LH) mode is in-plane, whereas that of the linear vertical (LV) mode makes an angle of 16° with respect to the sample normal. Figures 4(d)–(f) and 4(g)–(i) show the normalized XMLD images in LV and LH mode, respectively, after the injection of orthogonal write pulses of magnitude $J_{\text{pt}} = 5.93 \times 10^{11} \text{ A m}^{-2}$ and duration 100 ms. The XMLD asymmetry is obtained by subtracting images on and off the L_3 edge for each polarization. Despite the possible presence of chemical and morphological contrast in both configurations, which can be caused by variations in the stoichiometry and orientation of different crystal grains, we observe contrast reversal in several areas (black to white, and vice-versa) following current-induced switching. As seen in Figs. 4(d)–(f), the application of orthogonal $I_{1,2}$ results in reversible changes, which we attribute to the reversal of the antiferromagnetic Néel vector. Discernible changes in antiferromagnetic Néel vector occur over a localized region with an upper limit of sizes in the range of hundreds of nm. Considering the bulk magnetocrystalline anisotropy in PtMn, which is predominantly uniaxial, our results demonstrate the possibility of current-induced switching and manipulation of uniaxial metallic AFM systems.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The utilization of AFMs as multifunctional components of spintronics is an attractive field of research owing to its prospect for non-volatile antiferromagnetic memories and neuromorphic computers, complementing current FM-based architectures. In this project, we have demonstrated reproducible electrical writing of information in a polycrystalline AFM metal/NM structure from dc to μs regime. Our experimental results also indicate the capability of long-term data retention owing to the large intrinsic thermal stability factor of this AFM metal. The obtained results offer the introduction of a new candidate material in the antiferromagnetic spintronics family and also demonstrates the capabilities of uniaxial AFMs for future

antiferromagnetic spintronics. Experiments combined with theoretical calculations on magnetic and crystal structure dependence of switching efficiency in PtMn will identify new routes towards the maximization of switching efficiencies in these metallic structures. Moreover, experiments on current-induced switching in nanoscale polycrystalline PtMn/Pt structures will be crucial for the development of AFM-based spintronic devices. We believe that our results will initiate further research for the utilization of metallic AFMs for antiferromagnetic spintronics.

References:

1. S. Fukami, S. DuttaGupta *et al.*, Nature Mater. 15, 535 (2016).
2. V. Baltz *et al.*, Rev. Mod. Phys. 90, 015005 (2018).
3. P. Wadley *et al.*, Science 351, 587 (2016).
4. K. Olejnik *et al.*, Nature Commun. 8, 15434 (2017).
5. S. DuttaGupta *et al.*, Appl. Phys. Lett. 111, 182412 (2017).
6. W. A. Borders *et al.*, Appl. Phys. Express 10, 013007 (2017).
7. A. Kurenkov, S. DuttaGupta *et al.*, Adv. Mater. 31, 1900636 (2019).
8. J. Barker and O. A. Tretiakov, Phys. Rev. Lett. 116, 147203 (2016).
9. S. DuttaGupta *et al.*, Appl. Phys. Lett. 113, 202404 (2018).

[4] 成果資料

1. S. DuttaGupta *et al.*, Spin-orbit torque switching of an antiferromagnetic metallic heterostructure (*submitted*) (2020).
2. L. Shen, O. A. Tretiakov *et al.*, Current induced dynamics and chaos of antiferromagnetic bimerons, Phys. Rev. Lett. 124, 037202 (2020).
3. C.A. Akosa, H. Li, G. Tatara, O. A. Tretiakov, Phys. Rev. Appl. 12, 054032 (2019).
4. S. Albarakati, O. A. Tretiakov *et al.*, Science Adv. 5, eaaw0409 (2019).

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)

延べ参加人数：26 人

[2] 研究経過

磁気記録デバイスなどの高速化・省エネルギー化に関する研究は、近年ますますその重要度を増している。本プロジェクトでは、高速・省エネルギーデバイスを達成するため、従来の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創成、テスト素子における磁化反転デモンストレーション、第一原理計算による磁気輸送特性の原理解明、スピントランスポート理論構築を目的として研究を行った。

研究活動状況としては、各研究分野当初予定していた研究会（日程：令和2年2月28日、参加人数12名）が感染症予防のために中止となった。今後、様子をみながらフォローアップを検討する予定である。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

代表的な本年度の研究成果2点を以下に記す。

まず第1に、遷移金属窒化物を含むスピントロニ

クスデバイスの創成にはその極薄化が必須であり、一例として3 nm 以下膜厚の Fe_4N 薄膜の結晶微細構造をHAADF-STEM法により高分解能観察した。その結果、単結晶基板の面内格子定数とのミスマッチが10%程度と大きい場合 (Fig. 1 (a)) は、基板界面近傍でのミスフィット転移の発生により僅か4原子層で急激に Fe_4N 格子の結晶歪みが緩和してバルク値に収束するのに対し、ミスマッチが1~3%以下の場合 (LSAT基板あるいはSTO基板, Fig. 1bおよびFig. 1c), 格子歪みは急激に緩和されることなく少なくとも10原子層まで維持されていることを直接的に明らかとした。これらの歪みを含んだ Fe_4N 薄膜では、そうでないものに対して、低温側での異方性磁気抵抗 (AMR) 変化率が負に20%程度大きい値をとることを確認した。

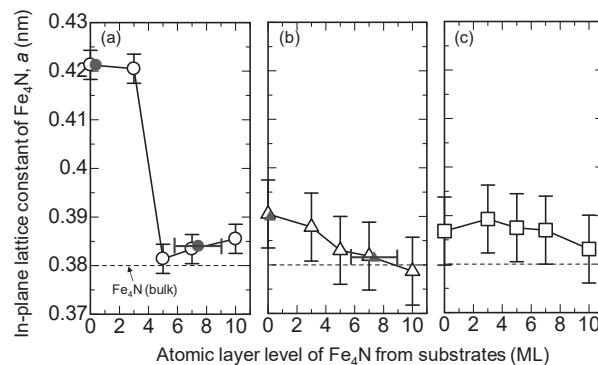


Fig. 1 (a) MgO, (b) STO, (c) LSAT 基板上に成長させた Fe_4N 薄膜面内格子定数の膜厚依存性。

第2に、垂直磁気異方性 (PMA) を有するフェリ磁性 Mn_4N について、その磁気構造と窒素濃度依存性を第一原理計算によって確かめた。これまでの実験では化学量論組成比4:1に近い窒素濃度において、 $K_u \sim 0.1 \text{ MJ/m}^3$ の垂直磁気異方性エネルギー密度、また110 mTの飽和磁化を示すことが確認されているが、理論限界値について未解明であった。逆ペロブスカイト超格子構造を仮定し、 K_u の窒素濃度依存

性をForce theoremにて計算したところ、磁気構造は、 $L1_0$ -FePtに類似するいわゆるtype-B構造が常に安定かつPMAの起源になっていることを確認した(Fig. 2a)。またFig. 2(b)に示すように K_u 値は極大で実験値より1桁高い約 4 MJ/m^3 であることが判った。一方で面心サイトMnの磁気モーメントがコーナーサイトMnのそれと逆向きのいわゆるtype-A構造では Mn_4N のPMAを説明できないことが判った。以上を総合して考察すると、実験の K_u 値が1桁程度異なる要因のひとつとして、type-Bの理想的な磁気構造にtype-Aが混入していることなどが考えられる。格子定数が化学量論組成比の状態からずれたとしても、その影響では説明できないことも確認済みである。続いて、二次摂動解析によるPMAの解明を試みたところ、面心サイトMnにはスピン保存項からの寄与が支配的なのに対し、コーナーサイトMnにはアップからダウンスピンへのスピン反転項からの寄与が支配的であることが判った。これらの結果は逆ペロブスカイト型 Mn_4N について特有であると考えられる。さらに体心サイトに位置する窒素とMnの化学結合を反映しており、窒素欠損によってスピン保存項およびスピン反転項が低減することが判った。

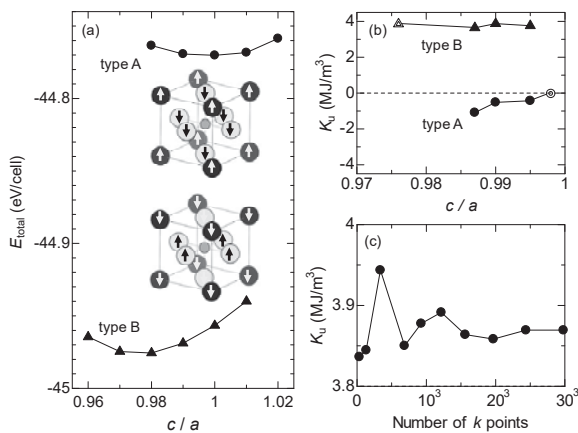


Fig. 2 第一原理計算で得られた (a) Mn_4N ユニットセル形成エネルギーの面内格子定数依存性, (b) 垂直磁気異方性エネルギー密度 (K_u) の面内格子定数依存性, (c) K_u の k 数依存性.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

以上の研究成果は代表的なものMn, Feに限るが、Ni, Coなどの他の遷移金属元素にも拡張性があり、例えば同じ逆ペロブスカイト構造を有する $\text{Mn}_3(\text{Ni-Cu})\text{N}$ エピタキシャル膜において、磁化反転用テスト素子を作製したところ、反転電流密度が 10^6 A/cm^2 を下回るほど低減できることが実証されるなど(成果資料(2))、本研究が目指す省エネルギー磁

化反転デバイスの実現につながる材料の一つが得られている。

また、 Mn_4N をベースとするフェリ磁性体細線での磁壁移動について従来の GdFeCo に匹敵する磁壁移動速度が実証されたことにより(T. Gushi *et al.*, *Nano Lett.* **19**, 8716 (2019)), 今後更なる高速化を可能とする遷移金属窒化物ベース材料の開発が期待される。

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とのダブルデグリー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] 成果資料

- (1) K. Zhao, T. Hajiri, H. Chen, R. Miki, H. Asano, and P. Gegenwart, *Phys. Rev. B* **100**, 045109 (2019).
- (2) T. Hajiri, S. Ishino, K. Matsuura, and H. Asano, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 052403 (2019).
- (3) K. Ito, M. Hayashida, M. Mizuguchi, T. Suemasu, H. Yanagihara, and K. Takanashi, *J. Magn. Soc. Jpn.* **43**, 79 (2019).
- (4) K. Ito, Y. Yasutomi, S. Zhu, M. Nurmamat, M. Tahara, K. Toko, R. Akiyama, Y. Takeda, Y. Saitoh, T. Oguchi, A. Kimura, and T. Suemasu, *Phys. Rev. B* **101**, 104401 (2020).
- (5) T. Komori, T. Gushi, A. Anzai, L. Vila, J. P. Attane, S. Pizzini, J. Vogel, S. Isogami, K. Toko, and T. Suemasu, *J. Appl. Phys.* **125**, 213902 (2019).
- (6) T. Komori, T. Hirose, T. Gushi, K. Toko, T. Hanashima, J. P. Attane, L. Vila, K. Amemiya, and T. Suemasu, *J. Appl. Phys.* **127**, 043903 (2020).
- (7) S. Isogami, K. Masuda, and Y. Miura, *Phys. Rev. Mater.* **4**, 014406 (2020).
- (8) S. Isogami, *J. Magn. Magn. Mater.* **501**, 166400 (2020).
- (9) S. Kokado and M. Tsunoda, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88**, 034706 (2019).
- (10) T. Sato, S. Kokado, M. Tsujikawa, T. Ogawa, S. Kosaka, M. Shirai, and M. Tsunoda, *Appl. Phys. Express.* **12**, 103005 (2019).

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（産業技術総合研究所）

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 寛（理化学研究所）

明連 広昭（埼玉大学）

吉川 信行（横浜国立大学）

藤巻 朗（名古屋大学）

野口 卓（国立天文台）

延べ参加人数：16人

[2] 研究経過

超伝導マイクロ波共振器の研究・開発は、近年、ますます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、本年度が採択初年度であり、プロジェクトの始動にあたり国内各研究機関の研究者の英知を集めた技術討論を行うべく、2019年10月9、10日の二日間にわたって、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会との共催研究会を東北大学にて開催した。招待講演2件の他、超伝導量子ビットに向けた磁性ジョセフソン接合、超伝導Nb薄膜の高真空成膜、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研究発表が行われた。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。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会のトピックスを以下に記述する。

名古屋大学大学院の加藤らは、超伝導磁束型量子ビット用の強磁性ジョセフソン接合(π 接合)の作製に関して報告した。窒化物ベースの NbN/AlN/CuNi/NbN 強磁性ジョセフソン接合を作製し、様々な強磁性層(CuNi)膜厚を有する素子について電流-電圧特性の評価・解析を行い強磁性層膜厚に対する接合特性の依存性を調べたところ、ジョセフソン接合を示唆するギャップ構造を確認することはできたが、超伝導電流を確認することができなかった。接合常伝導抵抗の接合サイズ依存性が、必ずしも接合サイズにスケールしていないことから、AlN 絶縁層(トンネル障壁)が均一にできていないことが考えられ、この絶縁層の成膜条件の見直しと条件出しが今後の課題となる。

情報通信研究機構の丘らは、高真空 DC マグネトロンスパッタ装置(バックグラウンド真空度 $< 10^8$ Pa)を用いて成膜した Nb 薄膜の特性に関する報告を行った。スパッタ成膜時の DC バイアス電流 $I=2.0$ A の条件下で成膜された Nb 薄膜は、 $I=1.5$ A で成膜された膜よりもグレインサイズが大きくなり、超伝導転移温度が高く、また、薄膜抵抗率が低下することを明らかにした。このような薄膜を用いて作製した超伝導マイクロ波共振器の内部 Q 値に関しては、DC バイアス電流の違いによる明確な差は見られなかった。

国立天文台の野口らは、残留抵抗比=50 の高品質 Nb 薄膜を使用して超伝導マイクロ波共振器を作製し、内部 Q 値 $> 10^7$ という非常に高い Q 値を実現した。内部 Q 値と共振周波数の温度依存性を解析したところ、 $T < T_c/6$ 以下の極低温においても準粒子が存在し、これらの残留準粒子が極低温での内部 Q 値や共振周波数に大きく寄与していることを理論的に明らかにした。

静岡大学大学院の中川らは周期構造を有する Fishbone 型伝送線路(FTTL)の特性を解析し、その結果を用いて半波長共振器の設計、作製、測定結果を報告した。測定・解析結果から FTTL 共振器の実効波長は同じ共振周波数を有するコプレーナ線路型共振器のそれよりも十分短くなることを明らかにした。FTTL 構造を応用することにより、マイクロ波共振器のフットプリント面積縮小、つまり、デバイスの小型化に貢献できるものと思われる。

埼玉大学大学院の明連らは、単一磁束量子論理回路を用いた超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SNSPD)時間分解光子検出システム用の時間-デジタル変換器の設計に関する報告を行った。時間分解能 20 ps 以下のダイナミック DAND アレイを用いた時間-デジタル変換器を設計し、チップを産総研の

CRAVITY の Nb 標準プロセスによって試作した。今後、回路の動作確認と設計へのフィードバックを行う予定である。

横浜国立大学大学院理工学府の田中らは、断熱量子磁束パラメトロン(AQFP)回路の 16 bit 桁上げ先読み加算器の誤動作原因の解析に関する報告を行った。作製した回路のジョセフソン接合数は約 5,000 接合で有り、AQFP 集積回路として最大級規模となった今回の回路では、これまでに、部分的な回路の動作を確認している。測定したチップを一度室温へ戻し、デフラックスを行ったところ、回路の特性が変化したことから、回路不完全動作の一要因として、磁束トラップが影響していると結論づけている。

横浜国立大学大学院理工学府の山栄らは、任意の AQFP 論理ゲートをシステムティックに評価する手法を報告した。提案手法では、回路全体の消費エネルギーから評価したい回路の前後に挿入したバッファの消費エネルギーを差し引くことにより、消費エネルギー評価を行う。この方法により、3 入力 1 出力 Majority ゲートの消費エネルギー評価を行うことで、入出力数が異なる場合でも AQFP 論理ゲートの消費エネルギーが評価可能であることを示した。

産業技術総合研究所の神代は、第 18 回極低温検出器国際ワークショップ(LTD-18)の参加報告として、超伝導転移端検出器、力学的インダクタンス検出器、トンネル接合による電子冷却器、読み出し回路に関する講演から特に印象深かったトピックスを紹介した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

[4] 成果資料 (抜粋)

1. Y. Mizugaki, K. Higuchi, and H. Shimada, "Enhanced voltage swing of rapid-single-flux-quantum distributed output amplifier equipped with double-stack superconducting quantum interference devices," IEICE Electronics Express, vol. 16 (2019) 20190331.

2. Y. Mizugaki, Y. Arai, T. Watanabe, and H. Shimada, "1000-fold double-flux-quantum voltage multiplier employing directional propagation of flux quanta through asymmetrically-damped junction branches," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 29, (2019) 1400105.
3. K. Higuchi, H. Shimada, and Y. Mizugaki, "Design and Operation of Distributed Double-SQUID Amplifier for RSFQ Circuits," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1293 (2019) 012060.
4. Y. Uzawa, S. Saito, W. Qiu, K. Makise, T. Kojima, Z. Wang, "Optical and Tunneling Studies of Energy Gap in Superconducting Niobium Nitride Films" *Journal of Low temperature Physics* (2020) Published.
5. B. Shinozaki, S. Ezaki, T. Odou, T. Asano, and K. Makise, "Anomalous electron inelastic scattering rate probed via superconducting Fluctuation in epitaxial NbN thin films", *Physica C*, Vol. 567, (2019) 1353547.
6. M. Maezawa, G. Fujii, M. Hidaka, K. Imafuku, K. Kikuchi, H. Koike, K. Makise, S. Nagasawa, H. Nakagawa, M. Ukibe, and S. Kawabata "Toward Practical-Scale Quantum Annealing Machine for Prime Factoring" *Journal of the Physical Society of Japan* vol. 88, (2019) 061012.
7. C. Watanabe, M. Ukibe, N. Zen, G. Fujii, K. Makise, M. Ohkubo, Te-Hui Lee, Di-Jing Huang "Development of Superconducting Nanostrip X-Ray Detector for High-Resolution Resonant Inelastic Soft X-Ray Scattering (RIXS)", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* Vol. 29 (2019) 2400104.
8. N. Takeuchi, T. Yamashita, S. Miyajima, S. Miki, N. Yoshikawa, H. Terai, "Demonstration of a Superconducting Nanowire Single-Photon Detector using Adiabatic Quantum-Flux-Parametron Logic in a 0.1-W Gifford-McMahon Cryocooler," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* vol. 29, NO.5, AUGUST 2019, 2201004-1-4. DOI:10.1109/TASC.2019.2902771
9. T. Yamae, N. Takeuchi, N. Yoshikawa, "A reversible full adder using adiabatic superconductor logic," *Supercond. Sci. Technol.* 32 (2019) 035005 (8pp). DOI: 10.1088/1361-6668/aaf8c9
10. T. Tanaka, C. L. Ayala, Q. Xu, R. Saito, N. Yoshikawa, "Fabrication of Adiabatic Quantum-Flux-Parametron Integrated Circuits Using an Automatic Placement Tool Based on Genetic Algorithms," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 29, NO.5, AUGUST 2019, 1301706. DOI: 10.1109/TASC.2019.2900220
11. Y. Tomitsuka, Y. Yamanashi, N. Zen, M. Ohkubo, N. Yoshikawa, "Demonstration of Picosecond Time Resolution in Double-Oscillator Time-to-Digital Converter Using Single-Flux-Quantum Circuits," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 29, NO.5, AUGUST 2019, 1301505. DOI: 10.1109/TASC.2019.2902478
12. A. Sanada, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Study on Single Flux Quantum Floating-Point Divider Based on Goldschmidt's Algorithm," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* vol. 29, NO.5, AUGUST 2019, 1301904-1-4. DOI:10.1109/TASC.2019.2902800
13. O. Chen, R. Saito, T. Tanaka, C. L. Ayala, N. Takeuchi and N. Yoshikawa, "Design of Adiabatic Quantum-Flux-Parametron Register Files Using a Top-Down Design Flow," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 29, no. 5, pp. 1-5, Aug. 2019, Art no. 1302905. DOI: 10.1109/TASC.2019.2908277
14. Y. Okuma, N. Takeuchi, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa "Miniaturization of adiabatic quantum-flux-parametron circuits by adopting offset buffers," *Superconductor Science and Technology* 32, 065007, 2019. DOI: 10.1088/1361-6668/ab1672
15. N. Takeuchi, M. Aono, N. Yoshikawa "Superconductor Amoeba-Inspired Problem Solvers for Combinatorial Optimization," *Phys. Rev. Applied* 11, 044069 – Published 22 April 2019. DOI: 10.1103/Phys. Rev. Applied.11 (2019) 044069
16. N. Takeuchi, T. Yamae, C. L. Ayala, H. Suzuki, N. Yoshikawa, "An adiabatic superconductor 8-bit adder with 24kBT energy dissipation per junction," *Appl. Phys. Lett.*, 114, 042602 (2019). DOI: 10.1063/1.5080753
17. N. Takeuchi, M. Nozoe, Y. He, N. Yoshikawa, "Low-latency adiabatic superconductor logic using delay-line clocking," *Appl. Phys. Lett.*, 115, 072601 (2019). DOI: 10.1063/1.5111599
18. Y. Okuma, N. Takeuchi, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, "Design and Demonstration of an Adiabatic-Quantum-Flux-Parametron Field-Programmable Gate Array Using Josephson-CMOS Hybrid Memories," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* vol. 29, NO.8, December 2019, 1103606-1-6. DOI: 10.1109/TASC.2019.2938577

採択番号：H31/A08

2次元フーリエコヒーレント分光法による量子状態評価

[1] 組織

研究代表者：

小川 佳宏（上越教育大学
自然系教育実践コース）

通研対応教員：

三森 康義（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：2人

[2] 研究経過

近年、量子情報通信の分野において量子状態を定量的に表す指標が新しく開発され、量子状態の緩和現象を含む議論がなされている。一方、物性研究においては位相緩和、エネルギー緩和と言った定性的な緩和現象によって量子状態変化の議論を行っている。本研究では、量子情報通信における量子状態評価法を物性研究に応用し、半導体中の励起子状態の密度行列の評価、並びに時間発展の取得を行う分光法、解析法を開発し、半導体中の光励起電子状態の新しい知見を得ることを目的とする。本年度は半導体中の電子状態を精密測定するためのヘテロダイン検波型の2次元フーリエコヒーレント分光法の確立を行った。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であり、基本的な測定原理の構築と分光精度の向上に関する研究を展開した。なお、東北大通研の三森准教授との研究打ち合わせ、共同実験を令和元年12月19日～12月21日において東北大学電気通信研究所で実施した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本研究プロジェクトでは半導体中の量子状態である励起子の物性的性質を量子情報通信における量子状態評価法により、密度行列の評価、その時間発展の取得を目指している。このため、本年度は半導体中の励起子状態の精密評価を行うための新高精度分光法の開発・確立を行った。

通常、2次元フーリエコヒーレント分光法は、各量子状態の位相関係の評価をホモダイン検波法で行う。ホモダイン検波は、光学干渉計を利用するため、干渉計の位相をロックさせる必要があり、非常に高

度な技術が必要である反面、外乱に弱く、測定データのSNが劣化しがちである。このため、高精度な汎用的分光法とはなっていない。そこで本研究では、ヘテロダイン検波型のフーリエコヒーレント四光波混合法の確立を行った。ヘテロダイン検波型の四光波混合法は従来、ヘテロダイン信号の振幅のみが注目を集めていたが、本研究ではレーザー光の反射光からヘテロダイン信号と同じ周波数の参照信号を作製し、その参照信号でヘテロダイン検波型四光波混合信号をロックイン検出することで、四光波混合信号の位相と振幅を高精度に直接測定できる手法の開発を行った。

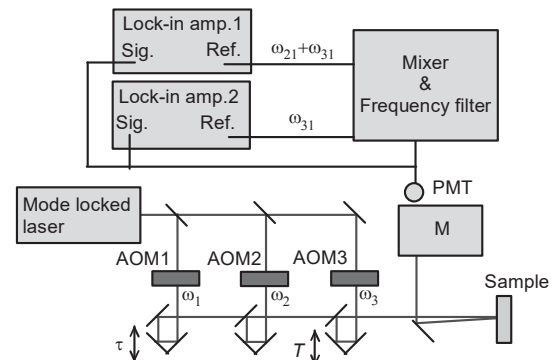


図1:ヘテロダイン検波型2次元フーリエコヒーレント分光の実験配置図

図1に実験系を示す。励起パルスレーザーを3分割し、音響光学素子(AOM)によりそれぞれのレーザー光の周波数を ω_1 , ω_2 , ω_3 にシフトし、それぞれのパルスに遅延時間を設けて、再びビームスプリッターで同一直線光線に戻し、サンプルに集光する。反射光と反射光と同軸に出射する四光波混合信号を分光器(M)に入射する。分光器内ではレーザーパルスの時間幅が伸長するため、 $\omega_{21}=\omega_2-\omega_1$, $\omega_{31}=\omega_3-\omega_1$ の唸りの成分が検出される。この周波数成分を電気フィルターで抽出し、 $\omega_{21}+\omega_{31}$ のヘテロダイン信号の参照信号を作製する。四光波混合信号の周波数はエネルギー保存則により $-\omega_1+\omega_2+\omega_3$ である。この四光波混合信号を分光器内で時間伸長したレーザーパルス ω_1 でヘテロダイン検波を行うと、 $\omega_{21}+\omega_{31}$ の唸りの周波

数として観測される。このヘテロダイン信号をレーザー光の喰りと電気フィルターで作成した参照信号でロックイン検出することにより、四光波混合信号の振幅と位相を検出する。図2にテストサンプルしてGaAs量子井戸中の励起子を測定した2次元フーリエスペクトルの測定結果を示す。半導体中の励起子、励起子分子と2励起子状態間の遷移を観測することに成功した。特に通常の四光波混合法では、半導体量子井戸中の励起子と2励起子状態間の遷移の観測に関しては報告例がなく、本研究で初めて観測に成功した。このことから本研究で開発したヘテロダイン検波型2次元フーリエコヒーレント四光波混合法は極めて高精度な分光法である事が示された。

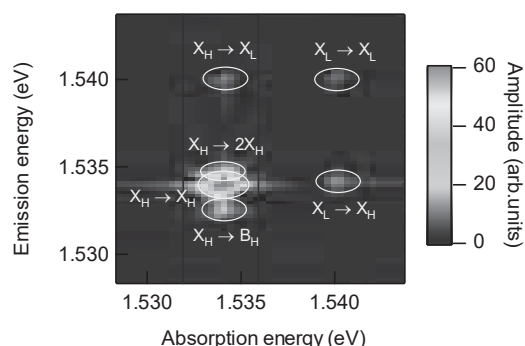


図2: 温度 4K における GaAs 量子井戸中のヘビーホール励起子(X_H)、ライトホール励起子(X_L)、励起子分子(B_H)、2励起子状態($2X_H$)の2次元フーリエスペクトルによる測定結果。横軸は吸収スペクトルを表し、縦軸はシグナルの出射スペクトルを表している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究で開発したヘテロダイン検波型2次元フーリエコヒーレント四光波混合法は、非常に高精度高感度の分光法であり、今後は半導体中の量子状態だけでなく、原子分子系などの他の量子系の研究においても積極的に活用されると期待される。また、今後は量子状態間の緩和に関する情報を得ることにより、半導体中の密度行列時間発展の解明を行う予定である。

[4] 成果資料

本研究期間内おいての外部成果発表はまだ行っていない。今後、学会発表ならびに論文投稿を行う予定である。

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 (カタルーニャ・ナノサイエンス・
ナノテクノロジー研究所 [ICN2])

通研対応教員：

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

桑原 正史 (産業技術総合研究所)

片野 諭 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：9人

[2] 研究経過

本プロジェクトは、VO₂ 薄膜の相転移温度 (T_{tr}) を不揮発的応力によって変調させ、広い温度領域で双安定状態を実現することを目的とする。

相転移に伴い電気特性 (電気抵抗等) および光学特性 (反射率等) が同時に顕著に変化する物質は、光通信・光回路の構成要素の材料として有望である。VO₂ は室温付近に T_{tr} をもち、この温度を境に電気的特性が半導体から金属へ、また光学的反射率・透過率も急激に変化する。VO₂ の T_{tr} は電界印加、光照射、機械歪み導入といった外部刺激によって変調されることが知られている。仮に T_{tr} を外部刺激によって T_1 と T_2 の間の温度領域で自由に上げ下げできれば、この温度領域では一定の温度下にあっても半導体相と金属相の間を自由にスイッチできることになる。

しかしながら、金属相を誘起した外部刺激を除去すると、金属相も失われ、半導体相に戻ってしまうという揮発性が、デバイス応用を阻む課題となっている。外部刺激を継続的に投入せずとも金属相が保持され、かつある種の操作で任意に半導体相に戻せるような、可逆的メモリ効果の実現が急務である。

金属相の不揮発化を実現する戦略として、不揮発的な機械歪みの利用が考えられる。本研究課題では不揮発歪みの供給源として、固体のアモルファス - 結晶相転移に伴う体積変化を用いることを着想した。アモルファス - 結晶相転移が容易に実現する材料として、光ディスク等に用いられている相変化材料 Ge₂Sb₂Te₅ (GST) がある。アモルファス GST と VO₂ からなる積層膜を作製し、この GST 層を結晶化すれ

ば、VO₂ 層に圧縮歪みが生じ、結晶化前に比べてその T_{tr} が低下すると予想された。

以上の研究計画を以て本年 (H31 = R1) 度の共同プロジェクト研究に新規課題を申請し、採択に至った。なお上記の着想は前年度の課題『ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用』を遂行する中で得られたものである。前年度には GST / VO₂ 積層膜において GST の相変化により VO₂ の T_{tr} に何らかの変調が生じる効果までを確認したが、変化後の T_{tr} を決定できなかった。本年度は様々な膜厚比をもつ複数の GST / VO₂ 積層膜試料を準備し、GST 層の結晶化前後での T_{tr} の変化を、複数の温度制御された評価手法 (X 線回折 [XRD]、反射光強度測定、ラマン分光) を用いて多角的に評価した。

【研究打ち合わせ】

本年度は以下の日程で研究打ち合わせを行った。

(第1回) 7月18-19日、桑原、上原

(第2回) 12月4-6日、坂井、桑原、上原

(第3回、兼・発表会) 2月19-21日、桑原、上原

[3] 成果

(3-1) 研究成果

以下に示す研究成果を得た。

a. 試料作成

様々な膜厚をもつアモルファス GST / VO₂ 積層膜試料をサファイヤ単結晶基板上に作成した。パルスレーザー堆積 (PLD) 法で堆積した VO₂ 層の上に、RF マグネトロンスパッタ法で GST 層を堆積した。本報告で扱う3枚の試料 (A-C) の膜厚および基板材料を表1に示す。GST は製膜直後にはアモルファス相である。これを結晶化するには、Ar 雰囲気中にて 200°C で2分間加熱し、その後徐冷するポスト

表1 試料A-Cの各層膜厚および基板種類

Sample	VO ₂ thickness (nm)	GST thickness (nm)	substrate
A	30	200	R-cut Al ₂ O ₃
B	5	100	R-cut Al ₂ O ₃
C	50	5	C-cut Al ₂ O ₃

アニール処理を施した。ポストアニール後の XRD 測定より、GST が NaCl 構造の結晶に変化していることを確認した。

b. XRD

試料 A について、VO₂ 層上にアモルファス GST 層を堆積した状態、およびその GST 層を結晶化した状態の両段階での温度変化 XRD 測定を行った。図 1 に(40-2)_M 面回折ピークで軸立てした配置における各温度でのプロファイルを示す。

GST がアモルファス状態での昇温時に、構造相転移に伴う VO₂ ピーク位置の不連続な変化が見られた。結晶化後はおそらく相互原子拡散が起きたため、ピークの不連続な飛びは見られなくなったが、温度上昇とともに格子面間隔が減少する温度域があった。このことは少なくとも面内の一部領域で相転移が起きていることを示唆する。結晶化前後で比較すると、 T_r は 20–30°C 低下した。

結晶化後の試料 B についても同様の実験を行ったが、25–100°C の間で格子面間隔の顕著な変化はなく、温度に対する勾配は一定であった。すなわちこの試料はこの温度領域では転移を示さなかった。

c. 反射光強度

全試料について、VO₂ 単層膜の段階、アモルファス GST 層を堆積した状態、その GST 層を結晶化した状態の 3 段階での温度変化反射光強度測定を行った。可視域で不透明である GST 層が VO₂ 層の上を覆っているため、GST/VO₂ 積層膜での VO₂ による

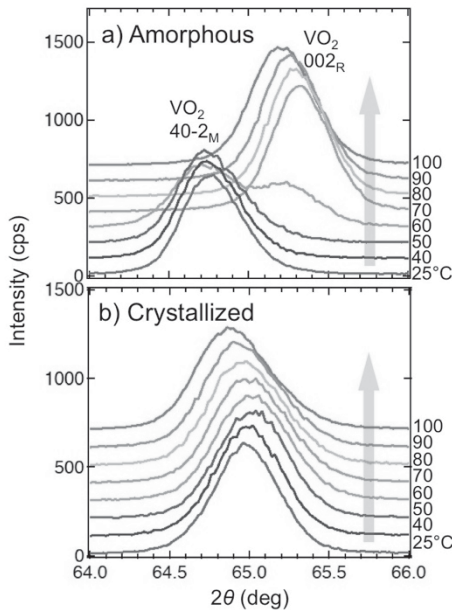


図1 試料 A の GST アモルファス状態 (a)、結晶状態 (b) での様々な温度における XRD 2θ-ω スキャンプロファイル。VO₂ (40-2)_M 面回折ピークで軸立てした。

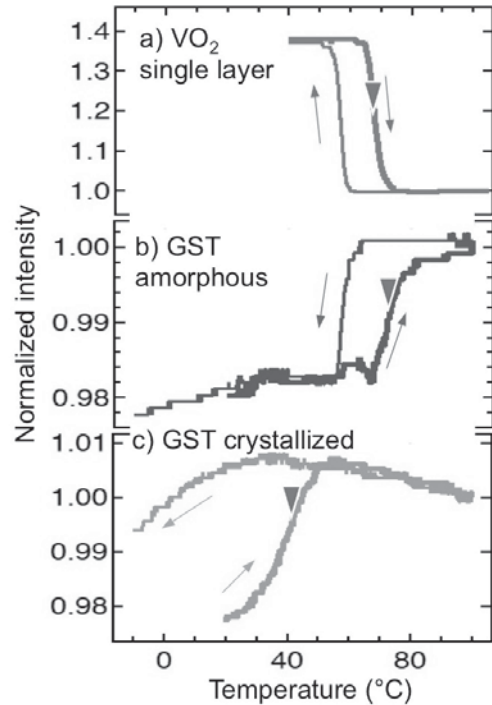


図2 試料 A の VO₂ 単層膜 (a)、GST アモルファス状態 (b)、同結晶状態 (c) での反射光強度の温度依存性。▼印は温度微分のピークによって決定された昇温時の転移の中央温度を示す。

反射光の測定は基板側入射配置で行った (試料 C を除く)。入射光源にはハロゲンランプを用いた。

試料 A の結果を図 2 に示す。試料 A、B については、VO₂ 単層膜の場合には高温側で反射光強度が低下するが、GST / VO₂ 積層膜の場合には逆に高温側で反射光強度が増大した。このような強度逆転現象は自明ではない。そこで試料を SiO₂、VO₂、GST の多層構造でモデル化し、この構造を伝播する電磁波の解析解より反射率を計算したところ、試料 A、B の膜厚においては GST / VO₂ 積層膜で VO₂ が高温相にある場合のほうが低温相にある場合に比べて反射率が高いという、実験結果と符合する結果を得た。従って VO₂ 単層膜および GST / VO₂ 積層膜のいずれの反射率変化も VO₂ の相転移に伴う現象であると結論した。試料 A では GST 層の結晶化によって T_r が約 72°C から約 42°C まで低下するという、温度変化 XRD と一致する結果が得られた。

また GST 層が 5 nm 厚の試料 C について、入射光が GST 層を透過することを予測して膜側入射配置で反射光を測定した。この場合は積層膜でも VO₂ 単層膜と同様に、VO₂ が低温相の時のほうが高温相の時よりも反射率が高かった。そして GST 層の結晶化によって、VO₂ 層の T_r は約 5°C 低下した。このように VO₂ 層が GST 層に比べて非常に厚い場合でも、GST 層の結晶化が VO₂ 層の T_r に影響を与えることがわかった。

d. ラマン分光

室温と100°Cの間に T_{tr} が存在しない試料Bについて、低温側に T_{tr} があるかどうかを検証するため、温度変化ラマン分光実験を行った。反射光強度測定と同様、基板側からの励起光入射・散乱光観測を試みた。0.3 mm 厚の基板を介した5 nm 厚の極薄膜のラマン観測は経験がなく、挑戦的な試みであった。

結果、微弱かつブロードながら、VO₂ 低温相 A_g モードにアサインできるシグナルが 620 cm⁻¹ 周辺に観測された (図 3a)。このシグナルは低温では明確に観測され、昇温とともに消滅することから、VO₂ 低温相由来と考えるのが妥当である。シグナル消滅の中央温度は約 -10°C であった (図 3b)。GST 結晶化前の T_{tr} が約 50°C であったので、本試料の GST 結晶化による T_{tr} 低下幅は約 60°C であったことになる。VO₂ 薄膜の T_{tr} を *in situ* でこれほど大幅に動かした報告例は過去にない。

以上のように、当初の期待通り、GST 層の結晶化に伴い VO₂ 層の T_{tr} が顕著に低下する現象を確認することができた。試料 A、B、C における結晶化に伴う T_{tr} 低下幅はそれぞれおよそ 30°C、60°C、5°C であり、GST に対する VO₂ の膜厚の比が小さいほど T_{tr} 低下効果が顕著に現れた。

【特別支援 (国際) に係る研究成果】

坂井は特別支援を含む旅費補助を受けて来日し、12月4-6日に通研にて研究打ち合わせを行った。具体的には本年度の実験結果の総括、論文化の方策、ならびに今後の東海大との共同研究の方針を相談した。また通研評価部・丹野氏を訪問し、温度変化 XRD 実験装置系について知見を共有した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

歪みによる固体の物性変調をデバイスに応用するためには、1枚の薄膜の歪みをその場で制御する技術が不可欠である。従来、 piezoelectric 材料による薄膜の *in situ* 歪み制御の試みが報告されてきたが、アモルファス/結晶転移の体積変化によって導入される歪み (2%) は、piezoelectric 素子による歪み ($\pm 0.2\%$) をはるかに凌駕する巨大なものである。本課題の成果は、歪み駆動型デバイスの可能性を大きく広げるであろう。また本課題で想定する最たる応用先は光回路用のスイッチング素子であるが、電気抵抗変化型メモリ素子、さらにスマートウィンドウへの応用にも道が開けることが期待される。

研究に用いる VO₂ 薄膜は、これまで欧州にて作製していたが、長期的には試料作製から評価までを日本国内で行うことが時間と労力の軽減に繋がる。そこで本年度より、VO₂ 薄膜作製に実績のある東海大

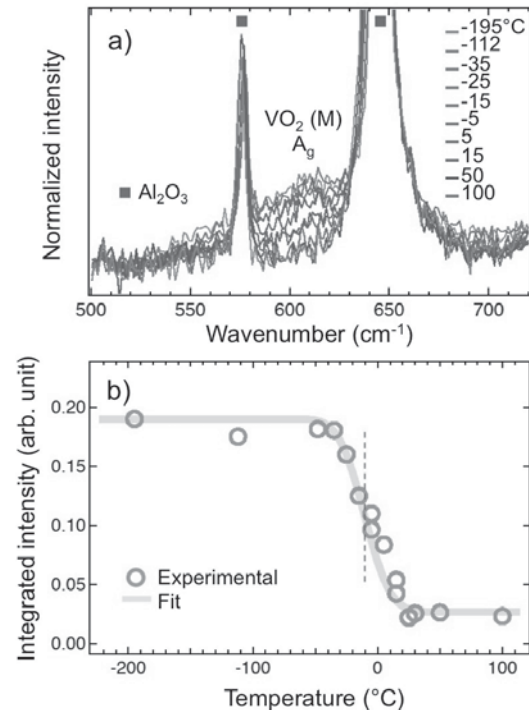


図 3 (a) GST 層結晶化後の試料 C の様々な温度におけるラマンプロファイル。バックグラウンドを差し引き、規格化したもの。(b) (a) に示したプロファイルの 585 – 620 cm⁻¹ 領域の積分強度の温度依存性。点線は転移の中央温度を示す。

学・沖村邦雄教授に本課題への参画をお願いした。東海大側も元より東北大との共同研究に強い関心を持っていたところであり、双方にとって有益な研究ネットワークが構築された。共同研究の開始にあたり、東海大の ICP 支援スパッタ装置を用いて、膜厚が 100 nm から数 nm の広範囲で、高品質の VO₂ 薄膜をサファイヤ基板上に作製できることを確認した。これにより次年度の試料作成への展望が開けた。

[4] 成果資料 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共鳴の検討

[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：

栢 修一郎（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

遠藤 恭（東北大学大学院工学研究科）

室賀 翔（秋田大学大学院理工学研究科）

延べ参加人数：4人

[2] 研究経過

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

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

本プロジェクトでは、スピン軌道トルクとスピン波を経由した局所磁化歳差運動同士の位相同期現象を利用することで、直流電流励起による磁化歳差運動を

共鳴増幅させることを試みる。磁化歳差運動は局所的な磁場変動を生じるので磁化歳差運動に伴ってマイクロ波が発生する。

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

本年度が初年度にあたるため、本技術の重要現象であるスピン軌道トルクとスピン波の相互作用を確認するために ST-FMR 測定からスピン軌道トルクの評価を実施する。

強磁性層として磁気ダンピング定数が著しく小さくスピン波伝搬距離が μm オーダーと非常に長いことが知られているイットリウム鉄ガーネット (YIG) 単結晶薄膜を用いる。非磁性層として、スピン軌道相互作用が大きく耐食性にも優れる Pt を選択し、YIG/Pt 積層膜を用いて実験を行う。積層膜から後述する高周波伝送路の信号線の一部を Pt/YIG 積層膜とする試料素子を作製し、面内磁場印加型の高周波プローバを利用して評価する。強磁性体の磁化歳差運動が誘起されると素子の抵抗が変化するために直流電圧が発生する。この電流電圧を測定することで素子内の磁化ダイナミクスの情報と、スピン軌道トルクの大きさを評価することができる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

強磁性層として膜厚 $10\mu\text{m}$ の (100) 配向した単結晶イットリウム鉄ガーネット (YIG) 薄膜を用いた。YIG 薄膜上に膜厚 8nm の Pt を非磁性層として超高真空スパッタ装置を用いて成長させた YIG/Pt 複合膜を作製した。この複合膜から、フォトリソグラフィ法と Ar ミリング、スパッタ法を組み合わせることで ST-FMR を測定するためのコプレーナ高周波線路を作製した。ST-FMR 測定では一般的に信号線の一部を強磁性/非磁性積層膜

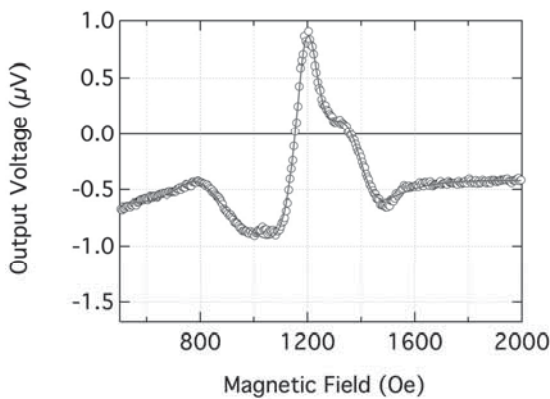


図 ST-FMR signal of YIG/Pt bilayer system. Divided YIG/Pt bilayer lines consisted a part of the signal line of the coplanar waveguide.

で構成する高周波伝送路が用いられる。本研究では Pt/YIG 複合膜で構成する箇所の伝送路が 2 本に分岐されているところが従来の素子構造と異なる点である。従来の ST-FMR 測定においては、信号線は分岐していない。本研究の試料においては、分岐された 2 本の線路間隔を系統的に変化させた試料を作製し、ST-FMR 測定を通じて磁化ダイナミクス励起時に発生するスピン波の干渉効果の影響を調べることが可能となる。あわせて、従来の信号線が分岐しない試料を比較試料として作製した。尚、これらの試料は全て同一の YIG 薄膜上に形成しており、強磁性体の磁気特性は同一である。この試料において線路長手方向から面内に 45 度傾けた方向に直流磁場を印加・掃引しながら交流電力を高周波線路に入力し反射された交流電力を検出する。入力パワーは 0dBm とした。本測定法では磁化ダイナミクスが励起されると素子間に直流電圧信号が発生するため反射電力からバイアステーによって直流電圧成分を分離、検出した。ST-FMR 測定では強磁性層の磁化が歳差運動することに伴う磁化方向変化によって生じる異方性磁気抵抗効果の変化に伴い発生する直流電圧を検出することが従来の方法である。本試料の場合、強磁性層である YIG は絶縁体であるため、強磁性層に電流は流れないために異方性磁気抵抗効果は原理的に発生しない。しかしながら、Pt/YIG 界面では Pt 伝導電子が YIG 界面から反射される反射率は伝導電子のスピン角運動量に依存するため、スピンホール磁気抵抗効果(SMR)が発生する。この効果が、本実験においての直流電圧の起源と考えられる。

図に Pt 線路部が分離された素子における測定結果を示す。入力高周波電力の周波数は 6 GHz である。複数のピークが明瞭に観測されている。これらのピークは

入力周波数を変えると磁場に対してピーク位置が変化することからピークの起源が磁気的なことによるものであることがわかる。また、ピークが複数存在することから、本試料においては磁化ダイナミクスの励起条件がいわゆる強磁性共鳴 (FMR) 以外にも存在することを示唆している。可能性として挙げられるのが、本試料の特徴である複数の磁化励起源がスピン波を介して同期する磁化ダイナミクス励起の共鳴である。これまでの我々の研究からスピン波と磁化ダイナミクスの相関があることはわかっているため、本試料においても上述の効果が大きいと考えられる。

一方で、ST-FMR 測定の場合には従来の FMR 測定とは異なり、外部からの高周波磁場による磁化ダイナミクスとともに、非磁性層から強磁性層に流れるスピン流と強磁性層の局在スピンとの相互作用に起因するスピン軌道トルクによる磁化ダイナミクスが生じる。両者の違いは強磁性層に対する磁場方向の違いとして取り扱うことができ、その結果は共鳴ピークの非対称性に反映される。一般に ST-FMR 測定で現れる共鳴ピークは対称性ローレンツ関数と反対称ローレンツ関数の 2 つの成分からなり、対称性はスピン軌道トルクに起因し、反対称性は高周波磁場に起因することが知られている。したがって、それぞれの強度から強磁性ダイナミクスにおけるスピン軌道トルクを評価できる。図の実線は本測定結果に対して実施したフィッティング曲線を示している。本測定結果においても上述の関数の組み合わせでフィッティングができることがわかる。また、本試料の特徴である複数のピークについては 4 つの共鳴ピークが存在することがわかった。共鳴ピークは Pt 線路の間隔とともにシフトした。興味深いことにそれぞれのピークにおいて、両者のピーク比は異なっており、磁化ダイナミクスを誘起する際の寄与が変化していることを示唆すると考えられ、各ピークにおいて、励起機構が異なることを意味する。この要因はより詳細な測定と数値計算等で明らかにする必要があると考えられる。また、対称性の成分があることが明らかとなったことから、本試料において YIG/Pt 間にスピン軌道トルクが働いていることが明らかとなった。スピン起動トルクは界面に敏感な現象であり、Pt 層におけるスピンホール効果によって生じる Pt/YIG 界面でのスピン蓄積に起因する伝導電子スピンと YIG の局在磁化の間の相互作用があることが明らかとなった。

これらの結果を踏まえて直流電流によるマイクロ波発振を目指した検討を次年度以降に実施する。

(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。この結果はスピントロニクスの学術的に意義深く、今後の発展が期待される。なお、本研究のデータは素子作製に時間を要してしまったために年度末に取得した。次年度に研究成果については発表する予定としている。

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)
谷口 慶伍

(東京理科大学大学院理工学研究科)

延べ参加人数：4人

[2] 研究経過

(1) 目的

InGaAs 系 HEMT は常温で最も高速なトランジスタであり、電流利得遮断周波数 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1年度であった。傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いて、LN 光変調器駆動回路を作製することにより、従来にない高速な光変調器駆動を実現する。具体的な研究内容として、2019年度は、東北

大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター

(平成29年7月まで電気通信研究所所属)末光哲也教授が考案・開発を行ない、東北大学電気通信研究所佐藤昭准教授とともに性能向上の研究を進めている、傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT のマイクロ波・ミリ波特性を測定し、回路設計用のモデルを作成する。この際、HEMT の寄生容量、抵抗を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方法を提案し、実測により寄生抵抗を評価した。2020年度は、前年度に提案した寄生抵抗評価法を適用して回路設計用モデルを作成し、これを用いて光変調器駆動回路を設計する。また、この光変調器駆動回路を用いて光変調器を駆動した場合の LN 光変調器駆動特性について理論と回路シミュレーションにより性能の予測を行う。その結果、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 を用いて LN 光変調器駆動回路を作製することにより、従来よりも大幅に高い電圧・電力幅積を実現できる見通しを明らかにする。2021年度以降は、傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いて LN 光変調器ドライバの設計、試作を行うとともに、この LN 光変調器ドライバを光ファイバ信号伝送に適用した場合の伝送効率向上について予測を行う予定である。

(3) 打合せの開催状況

今年度の研究の総括と来年度の計画を話し合うために年度末に研究打合せを予定していたが、新型コロナウイルス感染症の拡大のため中止となった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT の回路モデリングを行う際に必要な寄生抵抗を決定するための Cold FET 法の改良について成果があった。

InGaAs HEMT の小信号等価回路モデルを図1に示す。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

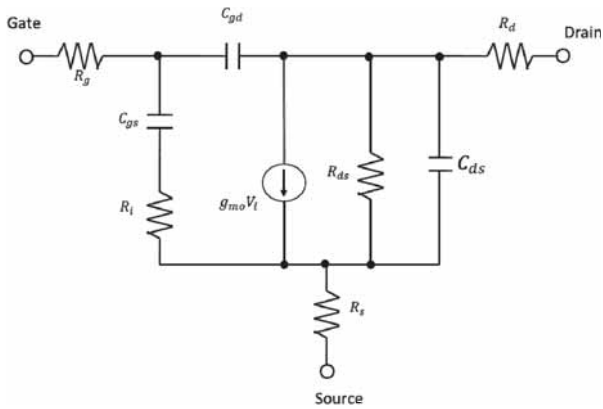
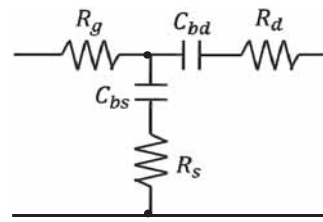


図1 InGaAs HEMT の小信号等価回路モデル

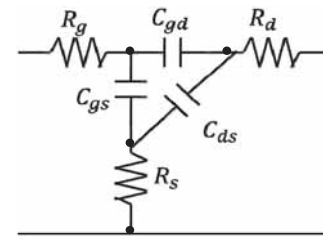
度のよい等価回路モデルを作成することが難しい。このため、あらかじめ、ドレイン-ソース間電圧 (V_{ds}) をゼロ (Cold FET)、ゲート-ソース間電圧 (V_{gs}) をピンチオフ電圧以下とすることにより等価回路を単純化し、ゲート、ドレイン、ソースの寄生抵抗 (R_g , R_d , R_s) を求め、これを用いて、通常のノンゼロの V_{ds} 、および動作状態の V_{gs} のとしたときの等価回路を求める方法[3]が Daembrine らにより提案されている。この方法で用いる Cold FET の等価回路モデルを図2 (a)に示す。

しかし、この Daembrine らの Cold FET 等価回路モデルはドレイン-ソース間容量 (C_{ds}) を無視しているため、その精度が十分でなかった。これに対し以前、報告者らは C_{ds} を付け加えた Cold FET 等価回路モデルを提案することによりモデル精度の改善を図った[4]。この方法による Cold FET 等価回路モデルを図2 (b)に示す。しかし、これらの Cold-FET を用いた寄生抵抗の抽出方法は、動作中の FET とは大きく異なるピンチオフ状態の FET の寄生抵抗を抽出するため、動作状態の FET の寄生抵抗とは値が異なる可能性がある。このため、本研究では、動作状態に近い非ピンチオフ FET の寄生抵抗を抽出する新しい方法を提案する。

本研究では、評価用のサンプルとして傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT を用いた。そのデバイスパラメータおよび測定条件を表1に示す。測定に用いたゲートバイアスは、トランジスタが動作状態のときと同等の範囲としている。Sパラメータ測定の測定結果をもとに、理論解析式を用いて寄生抵抗を求めたところ、 $R_s=9.4\Omega \cdot \text{mm}$ 、 $R_g=10.3\Omega \cdot \text{mm}$ 、 $R_d=19.9\Omega \cdot \text{mm}$ となった。この結果は、 R_s については、Hosotani [2]らの End resistance 法で求めた値 $0.77\Omega \cdot \text{mm}$ と近く、妥当と考えられる。



(a)



(b)

図2 従来の Cold FET 等価回路モデル
(a) Daembrine らのモデル、
(b) 改良モデル

表1 InGaAs HEM 測定のパラメータ

Transistor

Type	InGaAs HEMTs with slant field plate
Gate length	95 nm
Gate width	50 μm x 2 fingers
f_T	107 GHz
f_{max}	161 GHz
Threshold voltage	-0.43 V

Bias voltage

V_{ds}	0V
V_{gs}	-0.3V~0V (step: 0.05V)

Measurement condition

Frequency	10GHz
-----------	-------

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を抽出することができた。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] 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.
- [4] Yohtarō Umeda, "A study on InGaAs HEMT modeling," 平成30年度共同プロジェクト研究発表会, 2020年2月20日.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

傾斜型フィールドプレート付 InGaAs HEMT プロセスを用いて作製することにより、従来よりも大幅に高い利得・周波数帯域積をもつ高速駆動の可能な光変調器駆動回路を実現できると予想される。これにより、光ファイバ通信における伝送容量を拡大し、将来の通信需要の増大に対応できることが期待される。

[4] 成果資料

(1) Keigo Yaguchi, "A study on InGaAs HEMT modeling," 令和元年度共同プロジェクト研究発表会, 2020年2月20日.

採択番号：H31/A12

視覚モデル共有環境の構築

代表者：酒井 宏

(筑波大学)

対応者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

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)

大澤五住 (大阪大学)

行場次朗 (尚絅大学)

北岡明佳 (立命館大学)

佐藤俊治 (電気通信大学)

栗木一郎 (東北大学)

松宮一道 (東北大学)

丸谷和史 (NTT)

細川研知 (立命館大学)

他東北大研究員, 学生 10名

筑波大学学生1名

延べ参加人数：27人

[2] 研究経過

人間生活にとって、感覚、知覚、認識機能は生物学的意味でも、社会学的意味でももっとも重要なもののひとつである。現在、生理学、心理学、工学を始め様々な取り組みによって、その理解とモデル化が進んでいるが、断片的、局所的なものが多く全体の理解にはほど遠い。本研究では、特に研究が進んでいて、また学際化においても広がりを持つ視覚機能に着目し、その理解を促進するためのモデル研究の協力システムのあり方について検討を進めた。視覚のモデルとしては、色覚、時空間特性、運動視特性、立体視特性など初期視覚処理についての定量的なものが提案されており、注意や物体表象などの高次処理については多くの抽象的なものが提案されている。それらは一般に共通の

環境を使用しないため、相互関連を検討することには困難が伴う。本研究は、先行プロジェクトでの検討結果に基づき、共通環境実質化をめざして研究を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今年度は、各モデルに適用する視覚機能を中心に検討を進め、画像評価時や学習時などの評価者、学習者の顔表情利用などについても議論した。メールによる議論を中心にを行い、2020年2月21日には、代表者酒井、分担者細川、丸谷らを招へいし、利用可能な視覚モデルとモデル構築プラットフォームの利用方法について検討した。具体的な研究の進捗として、以下の報告があった。塩入らは、奥行運動知覚に関して、両眼間速度差に基づき、報告されている多岐にわたる心理物理学実験の結果が説明できることを明らかにした。酒井は、自発的注意によって視覚刺激の識別判断に要する反応時間の短縮効果を発見し、そのメカニズムについての検討を行った。細川らは、医療現場でも調査可能な簡易視覚検査キットの開発について報告し、各種の視覚検査が有効であることを報告した。またインターネット経由での検査の可能性に関する継続議論も行った。

[4] 成果資料

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、物体形状検出に関するもので、その協調的利用の可能性についての検討である。人間は物体を容易に目で認識する事ができるが、その細胞レベルの正確なメカニズムはわかっていない。高次視覚野であるITに関して、変換に不変にオブジェクトに反応していること[Brincat and Connor, 2004]や、応答を線形に統合することで顔画像が再構築できること[Chang and Tsao, 2017]が示されている。これらの結果は細胞レベルで物体の表現ができていたことを意味する。しかしそのような物体表現を行うには視野中のオブジェクトと背景、すなわち図地を識別する必要がある。これによって、画像中の物体領域を抽出することになり、そこには網膜像と3

次元物体表現との中間に位置する前駆物体(proto object)と呼ぶべき表現があるものと考えられる。Hasuikeらは、中次視覚野であるV4の単一細胞が図地に対して有意な選好性をもつことを示した[Hasuike et al., 2016]。しかしどのように図地を識別しているのかはわかっていない。

提案する図地選好性細胞モデルは、自然画像に応答するサルV4野の神経記録から、その細胞らの受容野構造を導き、これを基に神経記録を再現する最適化を行って構成した。自然画像は、一定の統計的特徴を持つことを知られている。視覚系が処理するのは、その統計的空間の内部にあるとの仮定をすると、自然画

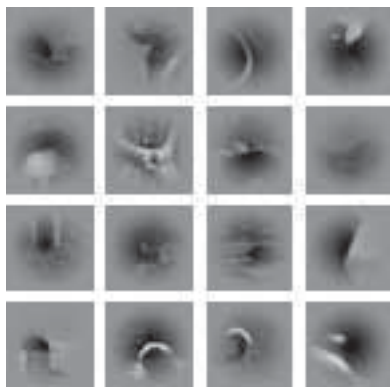


図1 自然画像パッチ

像はwhite noiseと同様に扱って、spike triggered stimulus averaging(STA)の手法を使うことができる。

サルに呈示した刺激はBerkley Segmentation Dataset(BSD)の一部分を切り出した約800枚の自然画像から作成した(図1)。刺激は、図と地の境界(輪郭)線が画像の中央を通る正方形領域をBSDから選択した。この刺激を、得られた細胞反応で重み付けして加算すると、線形受容野が推定できる。この結果を図2に示す。

モデルは、この推定受容野と画像を重畳積分することによって、画像の空間構造を抽出する。この信号は、興奮性・抑制性介在細胞を経る。このとき、神経反応の時間特性にフィッティングすることによって、モデルを最適化する(図4)。このようにして得られた細胞は、多様な自然画像中にある図地を、細胞と同程度の正確さ(60~70%)で判断することが判った(図5)。

このように、STA・重畳積分・興奮抑制回路・フィッティングといった、比較的標準的な計算方法の組み合わせによって、自然画像に対する図地分離という一見複雑な計算を実現することができた。こういった標準的な計算をブロック化して用意しておくことによって、様々な視覚細胞モデルを容易にテストすることが可能にすることができる見通しが得られる。

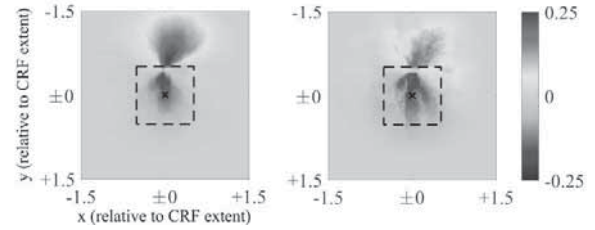


図2 STAによって推定されたV4細胞の図地に対する受容野。モデル細胞は、この推定受容野と画像を重畳積分して空間的な構造を抽出する。

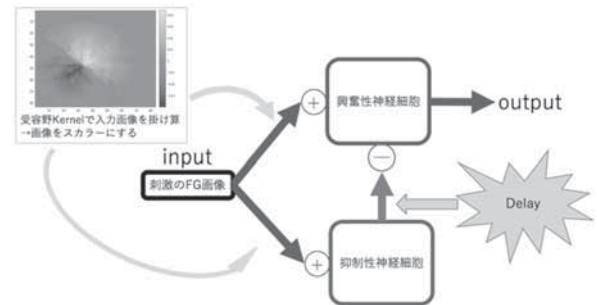


図3 推定受容野と画像を重畳積分して抽出された空間構造は、興奮性・抑制性の相互作用を経る。この相互作用回路を、神経反応の時間特性にフィッティングをすることによって、モデルを最適化する。

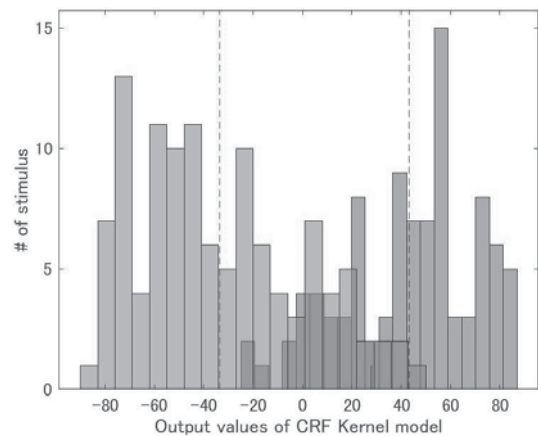


図5 様々な自然画像に対するモデル細胞の図(濃青)および地(薄赤)への反応を示したヒストグラム。このモデル細胞は、様々な図に対して強い反応を示し、様々な地に対して弱い反応を示す、図地選択性を示していることが判る。

関連発表

N. Wagatsuma, M. Urabe and K. Sakai, Distinct saccades during figure-ground segregation and border-ownership discrimination. *IEICE, Trans. Inf. & Syst.*, Vol.E103-D, No. 5(2020)

K. Kimura, Y. Yamane, H. Tamura and K. Sakai, Spatial Structure of Receptive Fields and Surrounds in Response to Local Figure-Ground Configuration in Monkey V4. *Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems*, Vol. 17, No.2, 7-13 (2019)

K. Sakai, K. Kimura, Y. Yamane, and H. Tamura, Figure-Ground Detection by a Population of Neurons with a Variety of Receptive-Field Structures in Monkey V4. *Computational Neuroscience Meeting (CNS*2019)*, P299, (2019) (Balcerona, Spain, July)

K. Kimura, Y. Yamane, H. Tamura, K. Sakai, Antagonistic receptive-field structure of V4 neurons detects local figure-ground organization in natural image patches. *Asia Pacific Conference on Vision (APCV 2019)*, 03-1-2 (2019) (Osaka, July 30)

樹神 篤, 酒井 宏, 自然画像に対するサルV4野の神経反応が示す次元の推定. 電子情報通信学会技術報告, Vol. 119 (2020) (Tokyo, Mar. 4)

H Matout, H Wang, Y Hatori, Y Sato, K Matsubara, Y Wada, C Tseng, ... Convolutional Neural Networks for humanlike Image Assessment, *I-PERCEPTION 10*, 170-170, 2019

塩入論, 空間表現を広げる視覚のしくみ (技研公開 2019 基調講演・研究発表 特集号)NHK 技研 R&D, 14-28, 2019

S Shioiri, T Miura, K Matsumiya, I Kuriki, K Amano, Spatial Spread of Visual Attention Measured Using Steady-State Visually Evoked Fields, *PERCEPTION 48*, 11-11

S Shioiri, Differences in Attention Modulations Measured by Steady-State Visual-Evoked Potentials and by Behaviors, *I-PERCEPTION 10*, 24-24, 2019

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：5人

[2] 研究経過

人間に五感情報を送受信する通信システムにおいて、情報の発信と受信の担い手は人間であり、人間の知覚特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる。近年は、高次臨場感通信など感性情報の重要性が非常に高まってきている。こうしたシステムを実現する上では、単に感情や感性情報を送受信するのみならず、ユーザに感情を誘発することも重要であると考えられる。しかし、どのような情報を呈示すれば感情を効果的に誘発できるのかは明らかでない。また、誘発された感情がどのように認知や行動に影響するのかも検討が進んでいない。

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

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

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

1年目にあたる本年度は、おもにマルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響についての予備的検討を進めた。メールでの打ち合わせに加えて、2020年2月の研究打ち合わせには5名が参加し、今年度の実験の結果について議論した。また、共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表し、今後の研究展開、実験結果の応用可能性について議論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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

A) マルチモーダル刺激が感情に及ぼす影響

ユーザにさまざまな感覚刺激を呈示し、感情を誘発させる実験を実施する準備として、まず感覚刺激が適切に知覚されるかどうかを確認する実験を実施した。感覚刺激に込める感情としては、基本感情（喜び、怒り、悲しみ、恐怖、嫌悪、驚き）、向社会的感情（共感、感謝、愛）、および自己意識感情（困惑、嫉妬、誇り）を用いた。まず単一感覚刺激（聴覚、触覚）を用いた実験を実施し、その後、マルチモーダル刺激（聴覚+触覚）を用いた実験を実施した。実験において、被験者は感情の発信者と受信者に分かれ、発信者が表出した感情を受信者が正しく読みとることができるか検討した。

単一感覚実験からは、発信者が感情をその場で自由に表出するという生態学的妥当性が高い状況において、全体として聴覚と触覚から同程度正確に感情が伝わるということが明らかになった（図1）。しかし、聴覚と触覚では伝わりやすい感情が異なることも示され、ポジティブ感情は触覚から、ネガティブ感情は聴覚から呈示されたときに正しく伝わりやすいことが明らかになった（図2）。

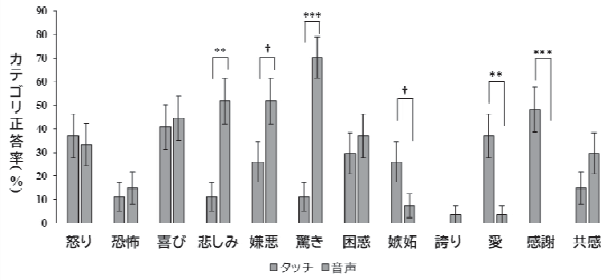


図1 聴覚, 触覚単一呈示時の感情別正答率

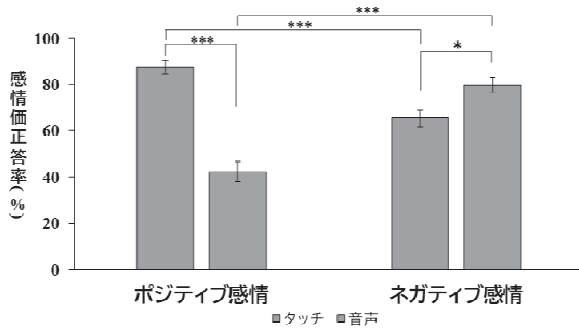


図2 聴覚, 触覚単一呈示時の感情価別正答率

マルチモーダル刺激を用いた実験では、たとえば声は喜んでいるのに同時に殴られる、という場面のよう、受信者が聴覚と触覚から相反する感情価(ポジティブ・ネガティブ)を受け取った際に、発信者の感情をどのように知覚するのか検討した。

その結果、聴覚にネガティブ感情、触覚にポジティブ感情が込められたときには、発信者の感情としてネガティブ感情が知覚される割合とポジティブ感情が知覚される割合が拮抗した。しかし、聴覚にポジティブ感情、触覚にネガティブ感情が込められたときには、触覚情報が重みづけられ、発信者はネガティブだと知覚されることが明らかになった(図3)。

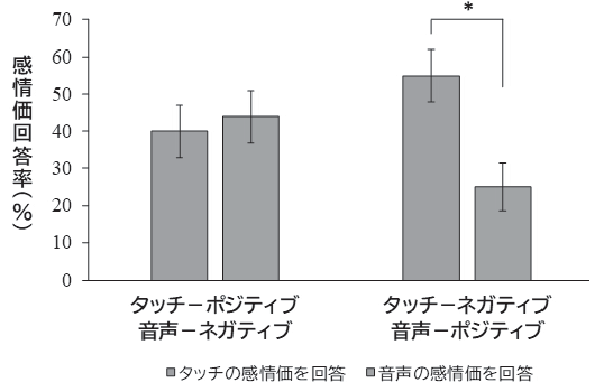


図3 聴覚と触覚に込められた感情価の組み合わせ別の感情価回答率

(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、日本語話者を対象とした実験結果を活かして国際比較研究をおこなうことで、感性情報処理に言語や文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される。

[4] 成果資料

1. Yamamoto, H. W., Kawahara, M. & Tanaka, A. (2019). "Japanese children's audiovisual emotion perception and its relation to their sensitivity to pitch-accentual pattern.". *Acoustical Science and Technology*.
2. Kawahara, M., Yamamoto, H.W., Tanaka, A. (2019). "Language or appearance? The trigger of the in-group effect in multisensory emotion perception.". *Acoustical Science and Technology, Vol40(5)*, pp360-363.
3. 大屋里佳・田中章浩. (2019). "タッチと声による感情知覚". 電子情報通信学会技術研究報告, HIP2019-44, 第119巻167号, pp.53-58.
4. Oya, R. & Tanaka, A. "Touch cannot be perceived accurately at categorical level but can be perceived sufficiently at quadrant level." 31st Association for Psychological Science Annual Convention, Washington, D.C., USA, May 2019.
5. 大寺輝・田中章浩. "聴覚刺激と嗅覚刺激が懐かしさに与える影響". 日本認知心理学会第17回大会. (2019年5月)

採択番号 : H31/A14

Pre-verbal infant learning: Infants' preference and understanding from eye movements and pupil dilation

[1] 組織

研究代表者 :

Cindy Chiu (Department of Community Health,
Tohoku University)

通研対応教員 :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)

Doris Chow (University of British Columbia,
Canada)

David Lewkowicz (Northwestern University, USA)

延べ参加人数 : 6 人

[2] 研究経過

Our research group hopes to develop new research measurements to capture the early cognitive and emotional developments in young infant populations. We synergize the strength of the research members and focus on eye movements and pupil dilation to reveal infants' attention, learning, and emotional preferences.

We have invited several experts on eye tracking and pupillometry to advise us on the research method improvements. On Feb 19, 2020, Dr. Chia-Chien Wu visited RIEC and gave a seminar talk titled "Visual search on multiple objects tracking." Dr. Hsin-I Liao introduced the pupil-linked measurements on auditory salience. Dr. Yung-Hao Yang used pupilometers to measure consciousness and attention. Dr. Chien-chung Chen provided constructive feedback and facilitated the group to discuss on possible applications in infant studies.

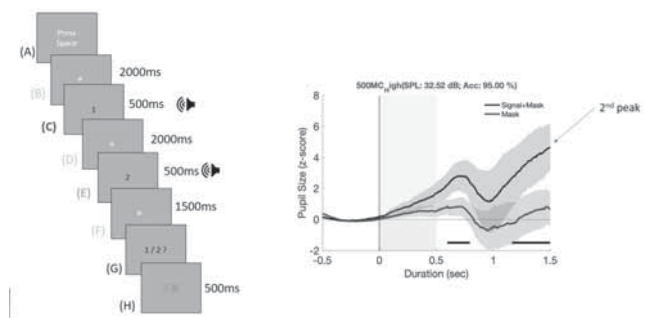
[3] 成果

(3-1) 研究成果

We first validated our available facilities and equipment for infant testing to see whether they were

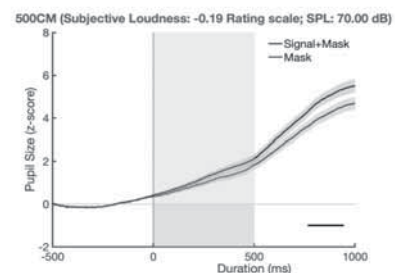
sensitive enough as pupil measurements tool. We adopted the well-proven odd-ball paradigm to enhance one of the auditory signals. The odd-ball can be defined by many

dimensions: loudness, pitch, frequency, and etc. Before any stimuli appear, an engaging attention grabber was presented on the screen to ensure proper recording. Below is a typical response pattern from adult participants.

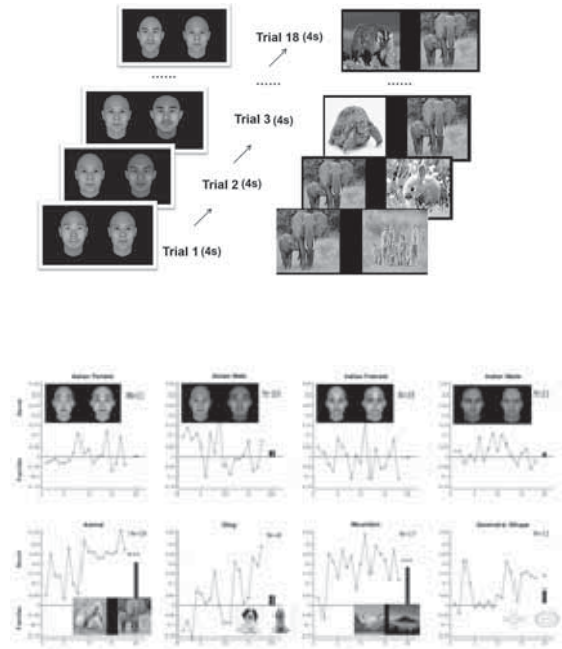


A typical response pattern from adults.

From our infant pilot participants, we observe similar distinction between baseline and odd-ball signal, but in a less obvious way. This may be because of the attentional limitation of infant participants, or the limitation of the device resolution. As smaller signal differences will require a lot number of trials for power, we decide that this is not the most suitable paradigm for preverbal infants.

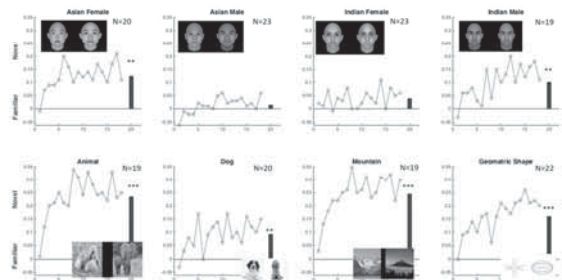


In a second series of studies, we used eye-movements to capture of the infant preferential dynamics. We selected face and non-face images, which repetitively showed up to the screen. In the side-by-side pairs, one image always repeated (i.e. familiar) while the other was never repeated (i.e. novel).



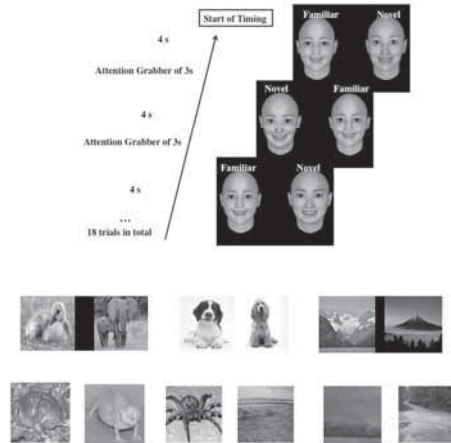
We recorded the duration that infant participants fixated on each side of the screen, and plotted the ratio of familiar image v.s. novel image. The result showed a clear tendency to prefer novel images when the images are non-face. However, such preference disappeared at face images. This pattern is very different from adult participants, who showed a clear familiar preference toward faces (See below).

Adult gaze pattern during preference rating



We speculate the differences between face and non-face may also confound with their emotional contents. In our selection of non-face images, the animal, natural images, and geometry shapes are rated high in terms of their

appealing. But the faces are neutral and the computer graphical designs are relatively not preferred. We plan to test this hypothesis with emotional faces and other non-face images with a diverse emotional content.



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Our current results indicated that pupil size for preverbal infants, similar to adult participants, are potential to be used as an index of salience or attention. In addition, eye gaze preferential duration may reflect how infants acquire familiar knowledge to construct an efficient visual coding.

[4] 成果資料

(1) Tseng, C.H., Kiyama, S., Ng, E. Shioiri, S. (2020) Infants' visual preferences depend on image categories: novelty preference for natural scenes, but not for human faces. International Conference of Infant Studies, Glasgow, Scotland.

採択番号 : H31/A15

三次元音響の家庭再生方式の研究

[1] 組織

研究代表者 :

安藤 彰男 (富山大学学術研究部工学系)

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 : 7 人

[2] 研究経過

2018 年 12 月から放送が開始した BS 8K スーパーハイビジョン放送では、22.2 チャンネル音響が用いられている。このような三次元音響がもたらす音のフィールド感を、家庭などスピーカ数やその設置に制約がある環境でも再現するため、音の拡散性を保持しながらチャンネル数を削減する研究を行っている。

この方式を評価し改良するためには、主観評価実験のほか、再生された音の測定に基づく客観評価が必要である。音の拡散性を評価する指標として、両耳間相関度 (InterAural Cross Correlation coefficient、以下 IACC と略記) が知られている。そこで、本プロジェクト研究では、IACC 測定などの客観評価を行うことにより、少ないスピーカ数で三次元音響の臨場感を再現する研究を推進する。

以下、研究活動状況の概要を記す。まず、2019 年 6 月 24 日に研究打ち合わせを行い、IACC 測定の手順や使用できる機材を確定させた。打ち合わせは研究代表者および通研対応教員の 2 名で行った。その後、同年 10 月 7 日、8 日の 2 日間で、東北大学電気通信研究所無響室において、5 チャンネル原音と、従来法および提案法によって 2 チャンネルにダウンミックスした音を再生し、ダミーヘッド録音した。本録音では、上記 2 名の他、通研学生 1 名および富山大学学生 2 名の計 5 名で行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、得られたダミーヘッド録音を利用し、

ヘッドホン再生により MUSHRA 法に基づく主観評価実験を行った結果、提案法による 2 チャンネルダウンミックス音は、従来法によるダウンミックス音に比べ、音の拡散性を良く保持できることを確認した。主観評価実験の結果を図 1 に示す。図 1 において、C は従来法による 5ch→2ch ダウンミックス音、P1 は提案法による 5ch→2ch ダウンミックス音、P2 は提案法による 22ch→2ch ダウンミックス音、Ref は 5ch 原音、Anc は隠れアンカー音である。

第 2 に、主観評価実験結果と、録音データから計算された IACC を比較したところ、2 チャンネル再生間の比較では、IACC と主観評価実験の結果に高い類似性が観測されたが、5 チャンネル原音に対する IACC による評価が主観評価実験よりも低すぎるという結果が得られた。この原因を特定することにより、IACC にかわって音の拡散性を評価できる新しい客観評価指標を提案した。IACC を用いた客観評価結果を図 2 に、新しい指標を用いた客観評価結果を図 3 に示す。なお、図 2、3 において、C、P1、P2、Ref は、図 1 の同記号と同じ音を示す。

(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音の拡散性を評価する指標は、多大な時間と労力を必要とする主観評価実験を行わずとも三次元音響システムの拡散音再生能力を評価することを可能とする。このような客観評価手法の確立により、我が国が世界を先導しているマルチチャンネル音響の分野を、さらに発展させることが期待できる。

なお、この成果は、2020 年 7 月 12 日から 16 日にプラハで開催される国際会議 ICSV27 (27th International Congress on Sound and Vibration) に国際会議論文として採録された。COVID-19 の関係で、同国際会議が開催されるか原段階では不明であるが、開催された場合には 1000 人規模の会議になる予定である。

[4] 成果資料

2019 年度の掲載はなし。

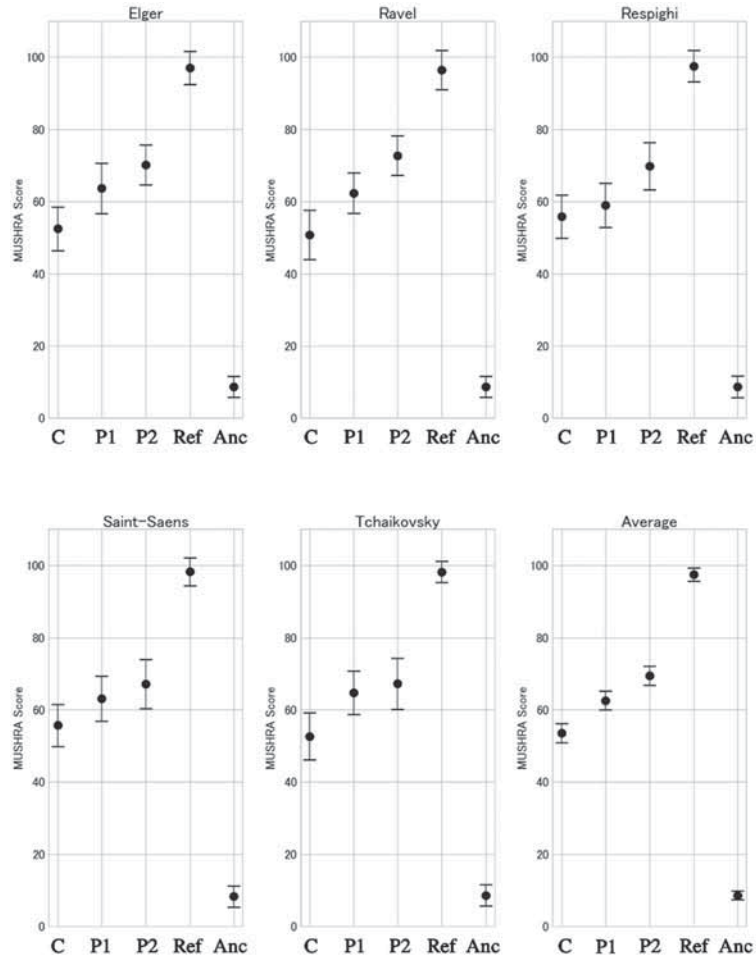


図1 主観評価実験の結果

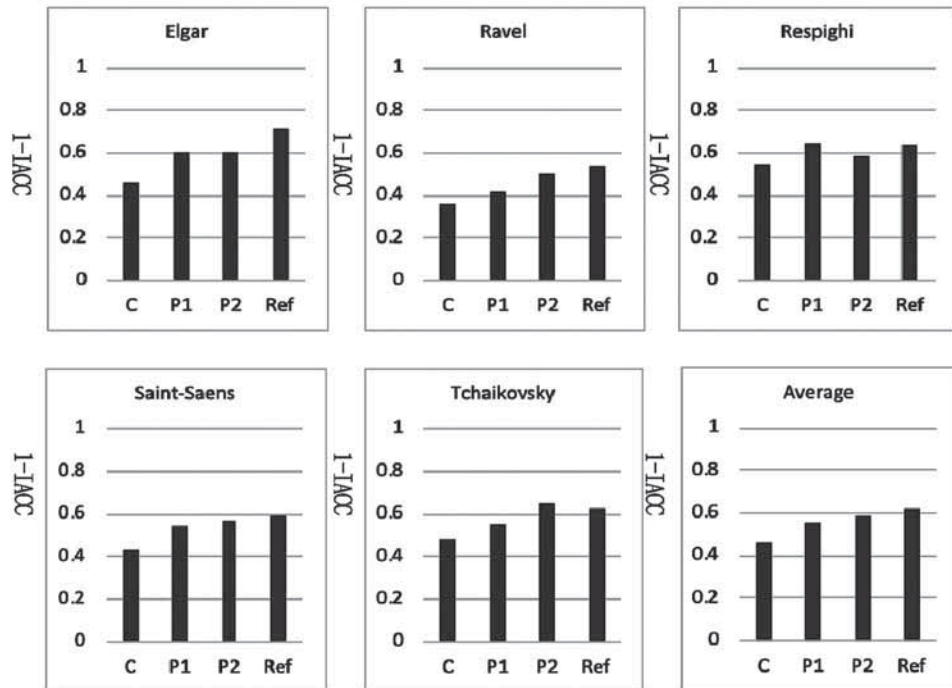


図2 IACCによる客観評価

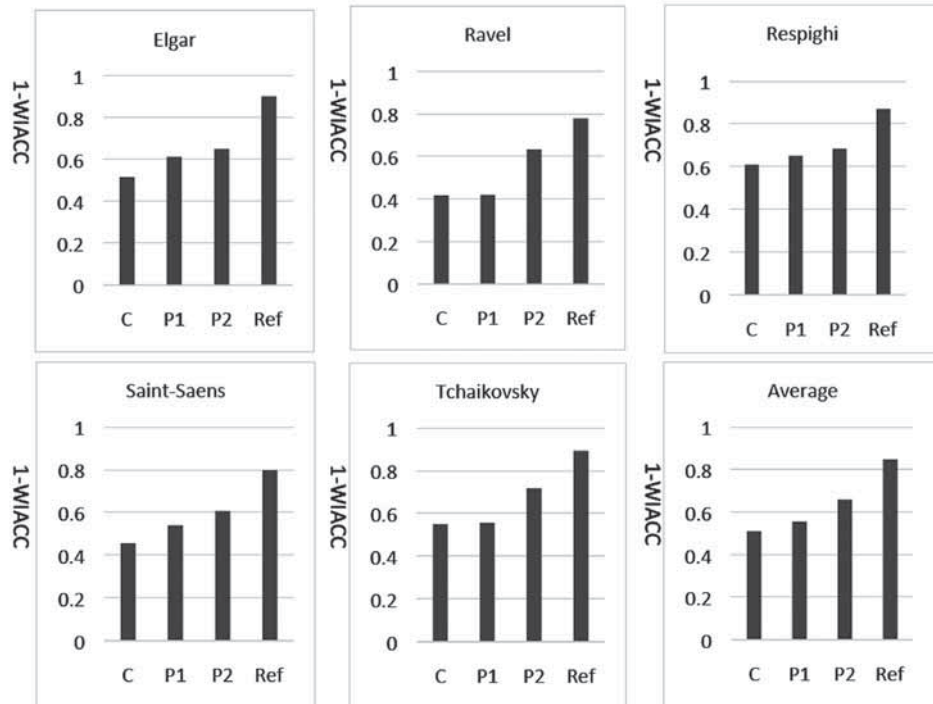


図3 提案法による客観評価

採択番号：H31/A16

音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現

[1] 組織

研究代表者：

山高 正烈（愛知工科大学）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

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] 研究経過

音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現に関する研究は、防災無線システムや駅構内の放送等、公共空間のアナウンスにおいて広く使用されている屋外拡声システムを、そこに搭載する音声の構造を最適化・再構築することにより、エコーや環境騒音の影響下でも十分な音声了解度が得られる、言わば「聞こえる」屋外拡声システムの実現を目指すものである。

屋外拡声システムは、情報の受け手が受信機器等を持たなくても不特定多数に向けた情報伝達が可能であるという利点や、デジタルディバイドの問題がないことから、ICT技術の高度化が進む現在においても極めて重要な情報伝達手段として位置付けられている。実際、屋外拡声システムのひとつである「防災行政無線システム」は、80%近い市町村で整備されており、東日本大震災においても、住民の津波警報や避難の呼びかけに対する情報入手手段の約半数が、屋外拡声システムによるものであった。しかし、屋外拡声システムからの避難情報を聞いた人のうち、音声内容をはっきり聞き取れた人は、約半数の56%に留まったとの結果が報告されている。その原因としては、地震や津波による機器の損害や停電による影響もあるが、複数の屋外拡声系からの音が混ざり合って聞き取りが困難になるいわゆるロングパスエコーによる影響も重要な要因である。

以上のように、屋外拡声システムは、「地域防災行政無線システム」以外にも、駅構内の放送や公共空間のアナウンスにおいても広く使用されており、エコーや環境騒音等の影響で放送内容が聞き取り難い問題点がしばしば取り上げられている。緊急時や防

災の観点からも、「聞こえる」屋外拡声システムの実現が喫緊の課題であると言える。

屋外拡声システムによる情報の伝達には、システム自体の最適化のみならず、そこで使用するコンテンツ（音声）の最適化も極めて重要である。本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。本研究では、既設の屋外拡声システムで使用されている語彙の構造、及び単語親密度の影響を明らかにし、ポーズ挿入の効果と最適なポーズ長、単語の出現位置と話速の影響、及び、これらの最適な組み合わせについて検討することにした。図1に本研究のイメージを示す。

以下、研究活動状況の概要を記す。

① 研究打ち合わせ・研究討論会

本研究プロジェクトは、本年度が第1年度であることもあり、研究環境の設備が急がれた。本研究の特性上、被験者による聴取実験環境の構築が急務であり、そこで早速、6/13～14日にかけて電気通信研究所にて、屋外拡声システムの聴取実験プログラムのインストールとテスト、聴取実験環境を構築した。その後7/18～19日、10/10～11日、11/30と計3回（参加者数14人数）研究打ち合わせを行った。研究打ち合わせを通して、屋外拡声システムの聴取実験プログラムのインストールとテスト、聴取実験環境を構築でき、実験パラメータの調整と被験者実験を実施することができた。また、この研究の発展方向についても議論が行われ、音声構造再構築による情報提示に当たっては、特に聞き手の意識を変えることが重要であることが提案され、これらについて今後検討・実験を進めることとなった。

② 研究会

前述の検討結果に基づき、実験データの分析をまとめ、2件の研究会発表にて成果を発表するに至った。具体的には、7/15～17日に、札幌にて行われた音響学会聴覚研究会にて「背景音の付加による避難喚起音声の印象変化」というタイトルの研究発表を行った。研究発表及びディスカッションを通じて、たくさんの建設的な意見とアドバイスを得ることができ、当該研究の次のステップアップに繋がった。

また、8/7～9日に、東北大学電気通信研究所にて開催された日本音響学会聴覚研究会並びに電気音響研究会共催の研究発表会に出席し、音声合成と音像定位、及び注意効果と正中面頭部伝達関数についての最新の研究動向と情報を入手し、ディスカッションを行った。更に、12/19-20に、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会(HIP)に参加し、音声構造再構築による「聞こえる」屋外拡声システムの実現に関する研究発表を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

屋外拡声システムによる情報の伝達には、システム自体の最適化のみならず、そこで使用するコンテンツ(音声)の最適化も極めて重要である。我々の先行研究では、音声聴取における親密度とポーズ(pause)の効果に着目し、ロングパスエコー環境下でも頑健に音声情報の伝達が可能な手法を提案してきた。しかし、これらの実験で使用した音声は、4モーラもしくは6モーラの単語を4つ連ねた4連単語で、すべての単語長が同じだったことから、単語が一定のリズムで提示されることとなり、単語の開始タイミングが容易に予測可能であるという問題点が存在した。一方、実際の屋外拡声システムでは、あらかじめ想定される有事や自然災害に対応した緊急速報が準備されており、該当した有事や自然災害が発生した際に適切な速報を選択して一斉に放送するようになっている。そこで、ロングパスエコー環境下において頑健な音声伝達を行うための有用な手段であると考えられるポーズの挿入が、モーラ長の異なる単語に対しても有効か否かについて検討した。即ち、既存の緊急速報の文章をモーラ長や文節数といった要素で分析し、その結果を反映した音声刺激を用いて、ロングパスエコー環境下における音声へのポーズ挿入の効果を検討した。

特筆すべきところは、前年度の研究と検討を重ねた結果、音声構造再構築による情報提示に当たっては、特に聞き手の意識を変えることが重要であることが明らかとなった点である。聞き手の意識で最も重要なことは、災害情報の入手と同時に迅速な避難行動を取ることであるが、地震や津波、豪雨による土砂災害等の自然災害に直面しても、事態を楽観的に判断し、逃げなかつたり逃げ遅れたりして被害が拡大したという事実が数多く報告されている。これには、「事態の切迫度を知覚せずに楽観的な情報のみを受け入れ、危険を警告する情報を拒否する」という人間の心理的特性(正常性バイアス、イメージ図を図1に示す。)が一要因として考えられている。そこで本研究プロジェクトでは、追加検討として、この問題を解決すべく検討を進めることとした。



図1 正常性バイアスのイメージ

これらについて、本研究では「自分は大丈夫だ」という正常性バイアスを打破し避難行動を喚起させるためには、現在差し迫っている状況を正しく認識させる必要があると判断した。即ち、差し迫った心理的状况を抱かせることが、現状を正しく認識し「思わず逃げたくなる」という避難行動につながると考えた。そこで、背景音の付加による避難喚起音声の印象変化を調べ、背景音の特徴がもたらす効果について検討して見ることにした。

種々の特性を持つ背景音を用いて、それらを緊急避難音声に重ねて提示させる等、聴取実験を行った結果、サイン音やブザー音等のイメージ音を背景音として用いることで、より危険性を強調できることが明らかとなった。その効果は、既存の緊急避難音声のピッチと話速が、ノーマル若しくは低い場合に特に顕著に表れた。この結果から、ピッチや話速を変えなくても、適切な背景音を付加するだけで高い緊迫感が得られると示唆される。これら、イメージ音が背景音として音声に重畳された場合の相乗効果が得られたことを意味する。

本研究の追加分析、検討から得られた結果の一部を図2～4に示す。分析の結果、以下の結果が分かった。

① 緊急避難音声のみの場合、緊急地震速報として使われているブザー音の因子得点が一番高いことが分かった。一方サイン音は、認知度が低く、すべての聴取者が初めて聞く音であった。そのため、ブザー音の高得点は災害時に何度も聞いた経験がある音だからこそ得られる学習効果とも考えられ、事前学習により音が持つ緊迫感が強調できる可能性を示唆される。

② 図3と4の結果から、サイン音やブザー音を背景音として付加することで緊迫感を強調できることが分かった。このことから、2つの音の相乗効果が得られたと考えられる。サイン音の場合も、ブザー音ほどではないが、すべての条件で元の音声と同程

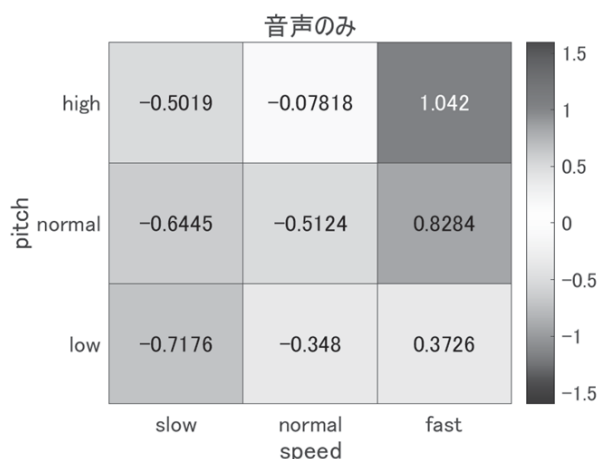


図2 音声のみの場合の切迫感の変化

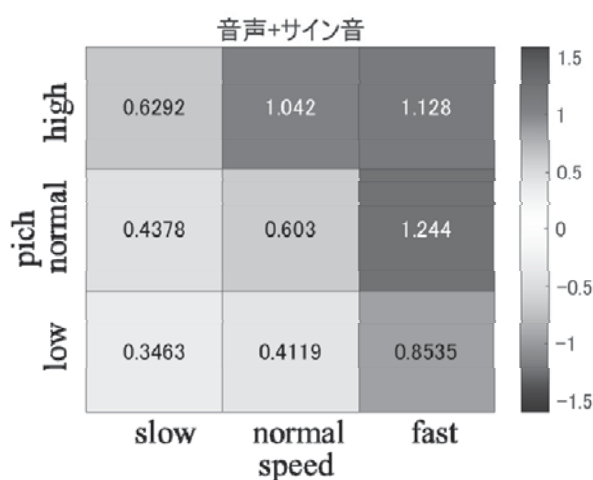


図3 音声+サイン音の場合の切迫感の変化

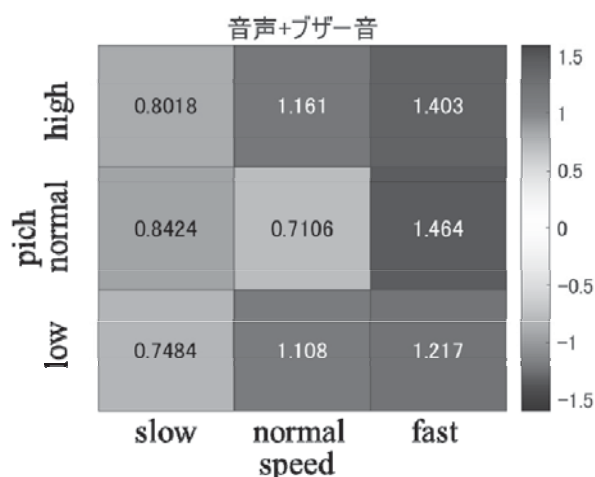


図4 音声+ブザー音の場合の切迫感の変化

度が高い切迫感が得られた。

③ サイン音単体では、決して高い切迫感が得られなかったにもかかわらず、津波警報音を背景音として用いることで高い相乗効果が得られた。サイン音には警報音としてふさわしい和音やスweep音が含まれており、津波警報の音声と同時に聞くことで危険

なイメージや身近で起きている情景が想起され、高い切迫感が得られたと考えられる。

即ち、以上の結果から、音声に背景音を付加することでどんな情景が想起されるかが、切迫感の喚起に重要であることが示唆された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同プロジェクト推進の結果、音声構造再構築による情報提示に当たっては、特に聞き手の意識を変えることが重要であることが明らかとなった。そこで、前述のように、分析と検討を行い学会にて研究成果を発表するに至った。次年度はこの成果を更に発展させる予定である。

今後、この研究プロジェクトを推進させることにより、今や誰もが身に着けている携帯端末（日本国内の普及率 133.8%）やテレビ・ラジオ等からの情報提示を想定し、「聞くたびに動かくなる」新しい避難勧告音声技術の構築を目指す。そのために、避難勧告音声を前景に、付加するイメージ音を背景として捉え、両者の交互提示を含む提示タイミングの最適化や最適な SN 比、提示順序と提示回数の効果等、前景音と背景音の最適な組合せの仕組みを明らかにする予定である。本研究の成果により、前景音と背景音の最適な音響物理特徴量が明らかとなり、既存のアナウンス手法に代わる全く新しい避難勧告音声信号が構築され、日本各地で頻発する大型台風や大雨・洪水などの緊急避難呼びかけ音声への応用に大きく貢献できるものと信じている。

また、本プロジェクトで明らかになった聞き手の意識を変えることが重要であるとの成果は、公益財団法人の研究助成金への応募につながり、今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

(1) 学会発表

- [1] 山高正烈, 渋谷壮, 坂本修一, 鈴木陽一, 邑本俊亮, “防災教育映像による学習が避難喚起音声の印象変化に与える影響,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 119, No. 348, pp. 41-46, 2019. 12. 20.
- [2] 山高正烈, 渋谷壮, 坂本修一, 鈴木陽一, 邑本俊亮, “背景音の付加による避難喚起音声の印象変化,” 電子情報通信学会技術研究報告 EA2019-5, Vol. 119, No. 115, pp. 17-22, 2019. 7. 16.

採択番号：H31/A17

異種無線ネットワークにおける 輻輳に基づく輻輳制御の性能評価

[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：

北形 元 准教授 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：7人

松山 優気 (東北大学工学部)

内海 哲史 (福島大学共生システム理工学類)

石井 明日香

(福島大学大学院共生システム理工学研究科)

黒崎 琢未

(福島大学大学院共生システム理工学研究科)

加賀 慎也

(福島大学共生システム理工学類)

齋藤 司 (福島大学共生システム理工学類)

佐藤 佑哉 (福島大学共生システム理工学類)

[2] 研究経過

インターネットにおいて高スループット、低遅延を実現する輻輳に基づく輻輳制御 BBR (Bottleneck Bandwidth and RTT) について、東日本大震災 (2011 年) や熊本地震 (2016 年) のような大災害時にも、耐災害ネットワークとして機能する衛星ネットワーク・分散型無線ネットワークにおける性能を評価した。

以下に、研究活動状況の概要を記す。

(1) 通研共同プロジェクトポスター発表

場所：東北大学電気通信研究所

日時：平成 31 年 2 月 20 日

参加者：

内海 哲史 (福島大学共生システム理工学類)

石井 明日香

(福島大学大学院共生システム理工学研究科)

黒崎 琢未

(福島大学大学院共生システム理工学研究科)

加賀 慎也 (福島大学共生システム理工学類)

齋藤 司 (福島大学共生システム理工学類)

佐藤 佑哉 (福島大学共生システム理工学類)

(2) 研究集会の実施

場所：東北大学電気通信研究所

日時：令和 2 年 2 月 21 日

参加者：

長谷川 剛 教授 (東北大学電気通信研究所)

北形 元 准教授 (東北大学電気通信研究所)

大坂 優輝 (東北大学大学院情報科学研究科)

和室 昂佑 (東北大学大学院情報科学研究科)

(3) 研究会での研究発表

会議名：2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会

場所：金沢大学

日時：令和元年 9 月 13 日

参加者：

内海 哲史 (福島大学共生システム理工学類)

加賀 慎也 (福島大学共生システム理工学類)

齋藤 司 (福島大学共生システム理工学類)

佐藤 佑哉 (福島大学共生システム理工学類)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

遅延時間が変動する分散型無線ネットワーク NerveNet 環境と、遅延時間が極端に大きな衛星ネットワーク (静止軌道衛星ネットワーク) 環境における BBR の性能について評価した。

NerveNet 環境においては、BBR の他 15 種類の TCP 輻輳制御のスループットと往復遅延時間 (RTT) を評価し、BBR の性能と比較した (図 1)。また、NerveNet 環境下における BBR, CUBIC, NewReno について、経過時間に対する往復遅延時間の評価を行った (図 2~4)。

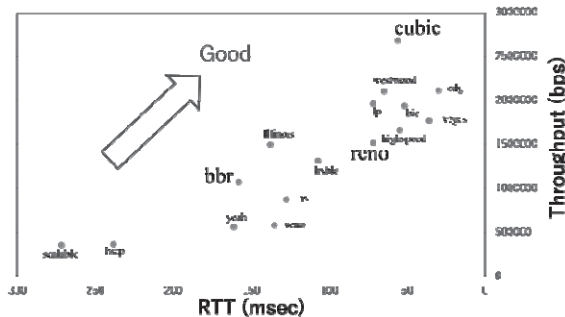


図 1: NerveNet 環境における性能評価.

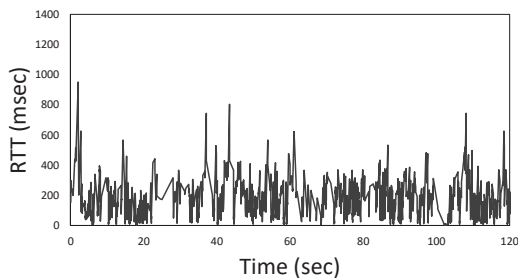


図 2: NerveNet 環境における BBR の RTT.

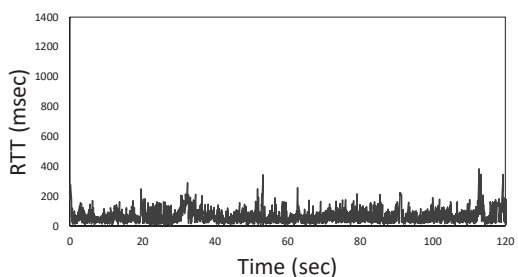


図 3: NerveNet 環境における CUBIC の RTT.

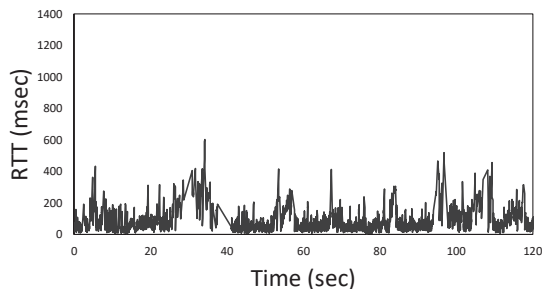


図 4: NerveNet 環境における NewReno の RTT.

NerveNet 環境においては、現在主流のインターネット輻輳制御である CUBIC がスループット、RTT とともに優れた性能を示した。NerveNet 環境では、BBR は RTT が大きくなる傾向があることが分かった。NerveNet 環境では、遅延時間の変動が大きく、BBR はその変動に追従するようにウィンドウサイズを大きくするためであると考えられる。続けて、衛星ネットワーク環境において、BBR、CUBIC、NewReno のスループットと往復遅延時間を評価し、BBR の性能と比較した (図 5)。また、衛星ネットワーク環境下における BBR について、経過時間に対する往復遅延時間の評価を行った (図 6)。

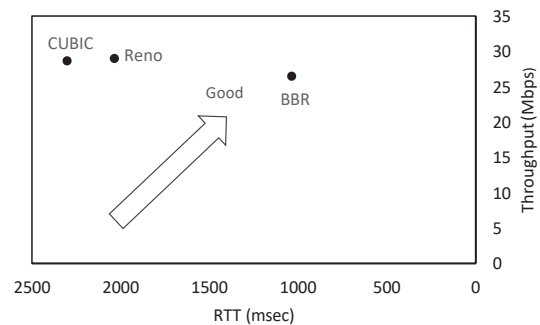


図 5: 衛星ネットワーク環境における性能評価.

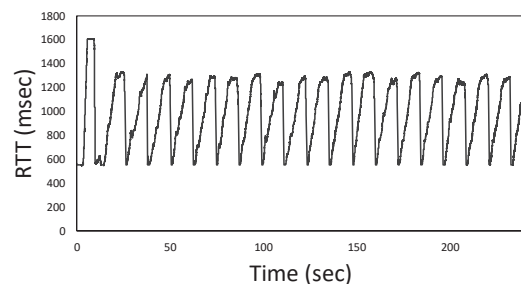


図 6: 衛星ネットワーク環境における BBR の RTT.

衛星ネットワークにおいて、BBR が RTT を比較的小さく抑えることができた。しかし、それでも伝搬往復遅延時間 (550msec) の 2 倍ほどの RTT (= 1,100msec 程度) となり、リアルタイム通信を実現するのは困難であることが分かった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

BBR は、インターネット環境で低遅延・高スループットを実現する輻輳制御として開発されたが、NerveNet 環境は従来の輻輳制御である CUBIC に比べ、性能的に劣り、衛星ネットワーク環境では、CUBIC に比べ性能的に優れるが、リアルタイム通信を実現するのは困難であることが分かった。

[4] 成果資料

[1] 加賀慎也, 佐藤剛至, 内海哲史, “NerveNet 環境における TCP 輻輳制御の性能評価,” 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪大学, 2019 年 9 月.

[2] 佐藤佑哉, 内海哲史, “CUBIC と共存時の BBR スループットの改善と性能評価,” 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪大学, 2019 年 9 月.

[3] 齋藤司, 内海哲史, “衛星ネットワークにおける輻輳制御 Copa と BBR の性能評価,” 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪大学, 2019 年 9 月.

[4] Satoshi Utsumi, and Gen Kitagata, “Performance of BBR Congestion Control over Wi-Fi and Satellite Networks,” FY 2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Tohoku Univ., February 2020.

採択番号：H31/A18

利得スイッチ半導体レーザーを用いた小型量子光源の実現

[1] 組織

研究代表者：

松田 信幸（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

枝松 圭一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

なし

延べ参加人数：4人

[2] 研究経過

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

小型量子光源として、シリコン微小リング共振器が知られている。これは、シリコン導波路によって構成された半径 $20 \mu\text{m}$ 程度の円形の共振器である。共振効果により、単一光子発生のための非線形光学効果である自発四光波混合がシリコン導波路中で効率的に誘起されるため、超小型ながらも高効率な量子光源として用いることができる。しかし実際には、リング共振器に加え、別の励起パルス光源が必要となる。さらに、光子の高い干渉性のためには、時間幅 10ps 以下の励起光パルスを用いる必要がある。そのような光パルスを得るためには、大型の固体レーザーが必要となるため、量子光源システム全体の小型化が困難であった。

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て研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。本年

度は光源やデバイス特性の評価を行い、発生する単一光子の干渉性を評価するとともに、実験系の立ち上げを行った。さらに、理論検討により、単一光子の干渉性を従来よりも向上させるための新しい知見を得た。

以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、励起光源やリング共振器の特性を評価し、目的とする純度の高い単一光子の発生が可能かどうかを検討した。本研究では、励起パルス光源として、短パルスの発生が可能な利得スイッチレーザーダイオード (GSLD) を用いる。我々の GSLD から出力される光パルスの特性を評価したところ、自己相関幅 8.7ps 、スペクトル幅 0.9nm が得られた。一方、非線形媒質として用いるシリコン微小リング共振器の共振 Q 値は $2 \sim 4 \times 10^4$ 、対応する共振線幅は $0.04 \sim 0.08 \text{nm}$ と得られた。一般に、微小リング共振器から量子干渉性の高い光子を得るためには、励起光パルスのスペクトル幅がリング共振器の共振線幅よりも十分広いことが必要である。

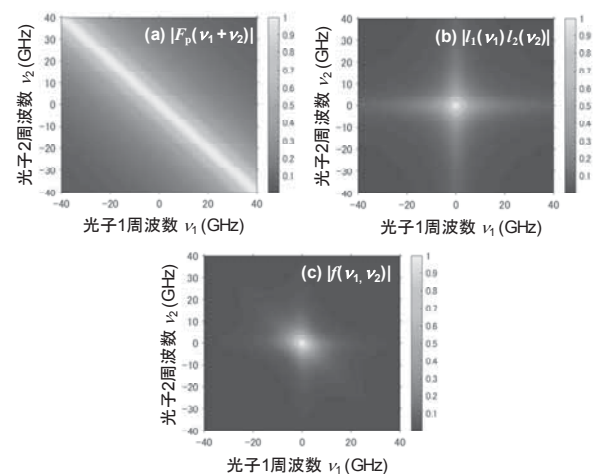


図 1 GSLD 光源とシリコン微小リング共振器の特性を用いて計算された (a) 実効ポンプ光スペクトル、(b) 共振器スペクトル及び (c) 結合スペクトル密度。周波数軸の値はすべて中心値からのオフセット。

検討の結果、本 GSLD はそのような要件を満たしていることが確認できた。

第2に、ポンプ光パルス及びリング共振器の特性をもとに、光子の量子干渉計の指標となるスペクトル純度 P を理論的に評価した。そのためには、出力される相関2光子の結合スペクトル分布 (Joint Spectral Density, JSD) を得る必要がある。JSD は、自発四光波混合より得られる相関2光子の周波数をそれぞれ ν_1, ν_2 として

$$f(\nu_1, \nu_2) = F_p(\nu_1 + \nu_2) \times l_1(\nu_1)l_2(\nu_2)$$

のように表される。ここで $F_p(\nu_1 + \nu_2)$ はポンプ光とリング共振器の特性によって決まる実効的なポンプ光スペクトルである。また $l_j(\omega_j)$ ($j=1, 2$) は、光子1, 2の出力波長における、分散を含んだ共振器の振幅スペクトルである。GSLD のパラメータと共振器 Q 値 3×10^4 を用いて数値的に得られた JSD を図1に示す。各光子が高いスペクトル純度をもつためには、JSD がそれぞれの光子のスペクトルに成分分解できないような形状（～同心円状の形状）であることが必要である。得られた JSD はそのような形状を示している。純度 P は、数値的に $P = \sum \lambda^2$ の式で求めることができる。ここで $\{\lambda\}$ は JSD ($f(\nu_1, \nu_2)$) のシュミット分解により得られる係数である。計算の結果、 $P=91.6\%$ が得られた。この値は、リング共振器から得られる光子の純度の上限値として知られている。したがって、我々の GSLD を用いることで、十分高いスペクトル純度を有する単一光子を発生できることを確認できた。

第3に、ポンプ光パルスに適切なスペクトル位相を与えることにより、前述の上限値を上回るスペクトル純度が達成可能であることを見出した。ここでスペクトル位相とは、ポンプ光パルスの振幅スペクトルを $A(\omega) = |A(\omega)|e^{-i\phi(\omega)}$ のように振幅と位相に分離した際の $\phi(\omega)$ である。 $\phi(\omega)$ をポンプ光中心周波数のまわりで Taylor 展開し、その係数 ϕ_j ($j=0 \sim 4$) を変数として P の最大化を試みた。その結果、 $\phi_2 = -38 \text{ ps}^2$, $\phi_3 = -820 \text{ ps}^3$ において $P=94.8\%$ を得ることができた。すなわち、従来知られていた上限値を上回るスペクトル純度を持つ単一光子の発生が可能であることを示した。このとき得られる JSD (図2(b)) をもとの JSD (図1(c)) と比較すると、ローレンツ型の共振器スペクトルに起因す

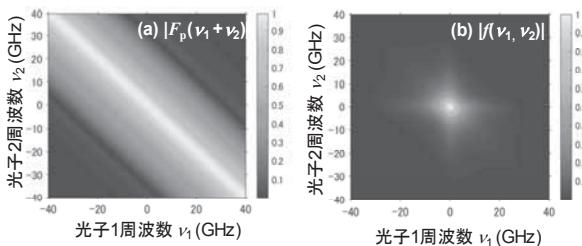


図2 光パルスのスペクトル位相制御により得られた (a) 実効的なポンプ光スペクトルと (b) 結合スペクトル密度。

るサイドローブが抑圧され、全体としてより円形に近い形状となっている。この結果は、スペクトル位相の制御を通じ、実効的なポンプ光スペクトル F_p (図2(a)) の振幅特性を制御できたことで達成された。

第4に、単一光子発生のための実験系の準備を行った。GSLD やリング共振器に加え、光子相関測定系の立ち上げと動作確認を行った。また、単一光子発生のために必要となる波長フィルタを本プロジェクト予算で購入し、リング共振器の共振特性に一致する波長選択動作を確認した。今後、構築した実験系を用いて、単一光子の発生実験を行う。

(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。また、従来知られていた上限値を上回る純度の光子をリング共振器から発生できるという新しい知見が得られた。これまで、上限値を超えるためには、共振器そのものの設計を見直さなければならなかった。本研究の成果により、励起光パルスの位相制御という簡易な手法で高純度の単一光子を発生させられることが分かった。今後、量子光源の小型化と併せて実験による実証を試みる。

[4] 成果資料

- (1) 松田信幸, “集積光回路を用いた量子情報処理,” 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-E208-1, 北海道大学, 2019年9月19日 (招待講演) .
- (2) 松田信幸, “光集積回路を用いた量子情報処理,” 東北大通研共同プロジェクト研究会, 仙台, 2019年11月1日 (招待講演) .
- (3) N. Matsuda, “Integrated photonics for quantum information science and technology,” International Symposium for Nano Science (ISNS) 2019, Osaka University, Nov. 28, 2019 (招待講演).
- (4) F. Yang, H. Yamada, K. Edamatsu, N. Matsuda, “Toward the generation of spectrally pure single photons from semiconductor-laser-pumped silicon photonic chip,” The 2nd International Forum on Quantum Metrology and Sensing (IFQMS), B-37, Kyoto Brighton Hotel, Dec. 17, 2019.
- (5) F. Yang, H. Yamada, K. Edamatsu, N. Matsuda, “Improving the Spectral Purity of Single Photons from a Silicon Ring Resonator with Pump Pulse Optimization,” 第67回応用物理学会春季学術講演会, 14p-B406-12, 上智大学, 2020年3月14日.

採択番号 : 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

研究代表者 : Eli Christopher Inocencio Enobio
(Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

通研対応教員 : Shunsuke Fukami
(東北大学電気通信研究所)

研究分担者 : Argielou Azucena Flores
(Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

延べ参加人数 : 3 人

[2] 研究経過

We established a method to characterize ultrathin CoFeB-MgO magnetic tunnel junction (MTJ) structure with perpendicular easy axis by spin rectification enabled by anomalous Hall Effect [APL 105, 262404, (2014)]. Stack samples are deposited by dc/rf magnetron sputtering on Si/SiO₂ substrate. From the substrate side, the stack structure is Ta(5)/CoFeB(1)/MgO/CoFeB(1.8)/Ta(5)/Ru(5). Numbers in parentheses are nominal thicknesses in nanometers. The samples are annealed at 300 °C for 1 hour.

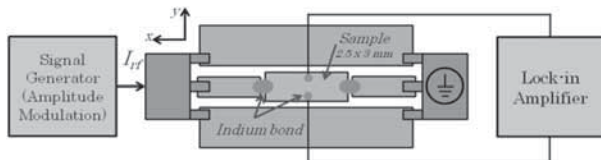


Fig. 1. Schematic of electrical detection of magnetization dynamics.

The blanket film is cut into 2.5 x 3 mm stripe. Microwave rf signal ($P = 20$ dBm) with amplitude modulation (1 KHz, 90% depth) is sent directly into the stripe through coplanar waveguide and Indium bonding. Schematic of the measurement setup is shown in Fig. 1. The coplanar waveguide

is fabricated from PCB board. For each applied rf current I_{rf} (1.5 GHz to 10 GHz), the magnitude of external DC magnetic field H_{ext} directed along horizontal (x) axis is varied. The resonant Hall voltage V_y along the transverse (y) direction is measured using lock-in amplifier. Resonance peaks are fitted by combination of symmetric and antisymmetric Lorentzian [PRB 84, 054423, (2011)] given by

$$V_y(H) = \frac{\Delta H^2}{4(H_{ext} - H_R)^2 + \Delta H^2} V_S + \frac{4(H_{ext} - H_R)^2 \Delta H}{4(H_{ext} - H_R)^2 + \Delta H^2} V_{AL}$$

, where V_S is amplitude of symmetric lineshape, V_{AS} for antisymmetric lineshape, H_{ext} is the scanning field, H_R is the resonance field, and ΔH for the linewidth. Resonance magnetic field H_R is plotted versus applied microwave frequency f . Also resonance linewidth ΔH is plotted as a function of microwave frequency f . Effective perpendicular anisotropy field H_K^{eff} and damping parameter α are determined from resonance conditions derived from LLG equation

$$f \cong \frac{\gamma \mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{H_R \cos(\theta_M - \theta_H) + H_K^{eff} \cos 2\theta_M}{H_R \cos(\theta_M - \theta_H) + H_K^{eff} \cos^2 \theta_M}}$$

$$\mu_0 \Delta H \cong \left(\frac{2\pi\alpha}{\gamma} f \right)_{Intrinsic} + (\Delta H_0)_{Inhomogeneous} + \left(\frac{C}{f^2} \right)_{Extrinsic}$$

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_0 is inhomogeneous broadening factor, and C as fitting parameter for extrinsic contribution to linewidth.

For comparison of magnetic properties using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance (VNA-FMR) measurement, 50- Ω impedance-matched CPWs are fabricated using photolithography and Ar

ion milling. Conductor material is Cr/Au sputtered on Sapphire substrate. Blanket film sample with dimension of 2 mm x 2 mm is placed top-side down at the center of CPW as shown in Fig. 2.

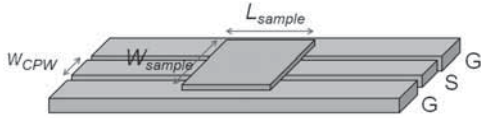


Fig. 2. Schematic for VNA-FMR measurement.

We connect the ends of the CPW to port 1 and port 2 of vector network analyzer respectively. The frequency is scanned for different applied out-of-plane external magnetic field H_{out} . Analysis of FMR data is already established from our previous work [IEEE Magn. Lett. 6, 5700303 (2015)]

[3] 成果
(3-1a) 研究成果

Figure 3 shows the external magnetic field dependence of anomalous Hall resistance for the CoFeB/MgO MTJ structure sample.

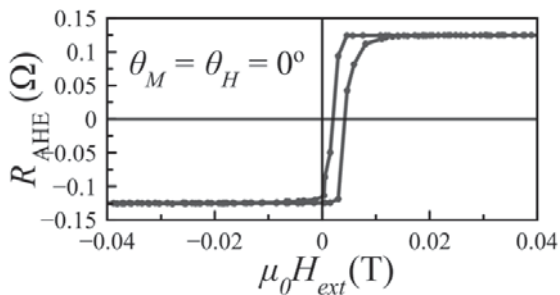


Figure 3. External magnetic field dependence of anomalous Hall resistance with constant applied DC current of 1 mA.

Result of resonant Hall voltage V_y versus applied external field is shown in Fig. 4. Only transverse resonance voltage is detected suggesting spin rectification from anomalous Hall Effect [APL 109, 182406, (2016)]. We observed that FMR signal strength is primarily dependent on rf power P thus optimizing the coplanar waveguide design is vital in order to reduce microwave loss when directly injecting rf current on sample by simple wire bonding.

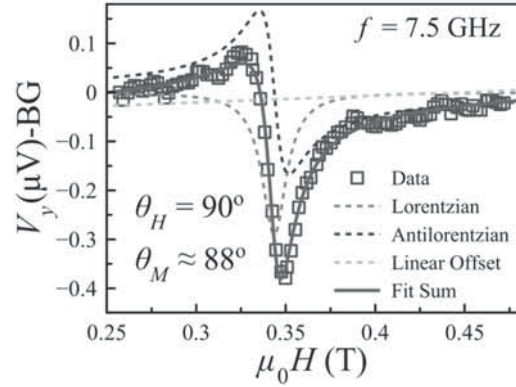


Figure 4. External magnetic field dependence of spin-rectified anomalous Hall voltages (minus background voltage BG) with I_{rf} frequency of 7.5 GHz. Solid and broken lines show the result of fitting.

External magnetic field dependence of resonance Hall voltage at different applied I_{rf} is shown in Fig. 5. There are no observed higher order resonance peaks and the linear shift of peaks is consistent with other work [APL 109, 182406, (2016)].

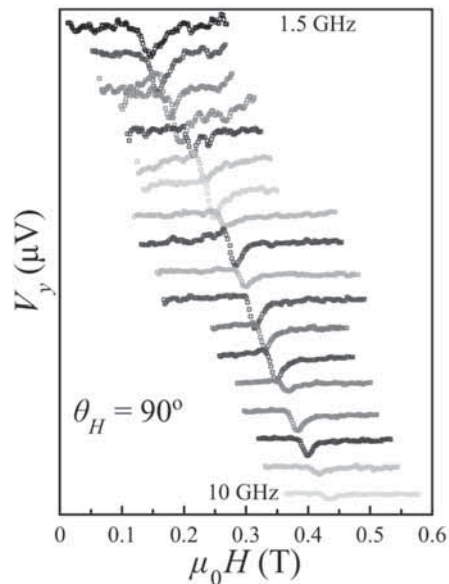


Figure 5. External magnetic field dependence of spin-rectified anomalous Hall voltages at different applied I_{rf} frequency.

Figure 6 show the (a) frequency dependence of resonance field H_R and (b) linewidth ΔH . From the fitting using resonance condition derived from LLG equation, we are able to determine the effective anisotropy field H_k^{eff} and damping of top CoFeB recording layer which is consistent with

values determined by VNA-FMR shown in Fig. 7.

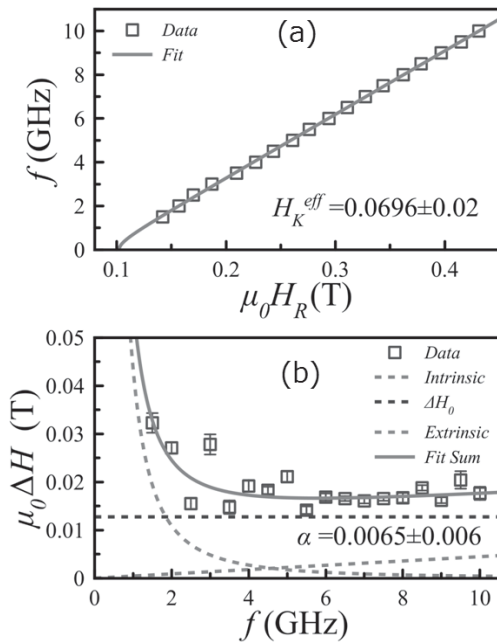


Figure 6. Frequency dependence of resonant field H_R and linewidth. Measured values of H_K^{eff} and damping constant α of top CoFeB recording layer are shown.

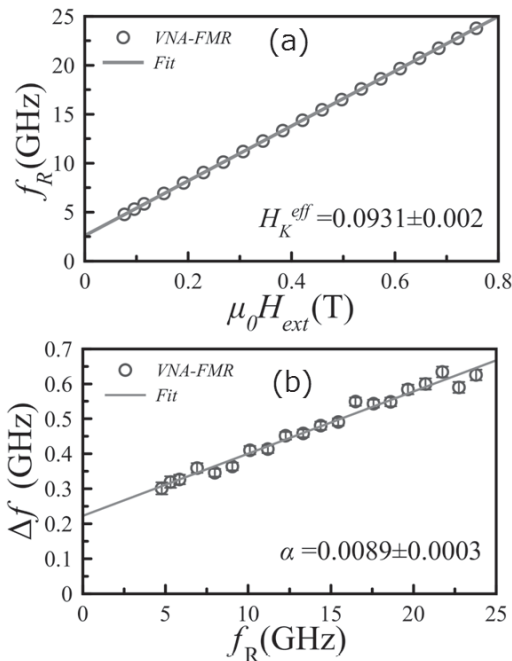


Figure 7. Measured values of H_K^{eff} and damping constant α by VNA-FMR.

(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 advance research culture and capabilities.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The result established an electrical method to characterize damping constant of magnetic tunnel junctions structure with perpendicular easy axis. As film thickness is reduced, characterization of magnetic properties utilizing inductive method such as VNA-FMR is becoming a challenge due degradation of signal-to-noise ratio. From our previous work, when signal-to-noise ratio is a concern, future VNA-FMR research may consider employing reduced CPW sizes.

By employing electrical method to characterize dynamic magnetic properties, the technique has no dependence on sample thickness thus offer superior capabilities in comparison to inductive method such as VNA-FMR. However, sample size dependence of electrical technique is not yet established and will be studied on our next work which includes optimization of coplanar waveguide used in the direct wire bonding.

[4] 成果資料

None

採択番号：H31/A20

マルチピクセル光子検出と多次元量子光学

[1] 組織

研究代表者：

金田 文寛 (東北大学
学際科学フロンティア研究所)

通研対応教員：

ベク ソヨン (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

藪野 正裕 (NICT 未来 ICT 研究所)
三木 茂人 (NICT 未来 ICT 研究所)
知名 史博 (NICT 未来 ICT 研究所)

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

量子情報技術や量子計測技術の研究・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、光子を情報媒体として量子情報・計測技術の高効率化を目的として、多次元の量子もつれ状態発生技術と、マルチピクセル超伝導光子検出技術を開発・統合し、既存の2値的測定に制限されていた量子光学技術を多値的状態の発生と検出へと拡張するための研究を行った。光子は原子や電子等の量子とは異なり、室温でも安定して高い量子性を示すことができる。その特性を利用して、これまで古典物理学的直観に反する多数の量子現象が光子を用いた実験によって観測されてきた。現在、その観測された量子現象の一部は、量子計算や量子暗号通信技術において中心的な役割を果たし、既存の光技術の大きな高精度化に寄与する

ことが期待されている。しかし、従来の量子光学実験は多くの場合、光子の2値的情報、例えば光子の有無(光子の数は数えない)や偏光状態(水平/垂直偏光)などの発生・操作・検出によって行われてきた。しかし、量子光学技術が既存の光技術を高精度化できる要因は、「多数の状態の重ね合わせを並行して発生・操作・検出する」点にあり、多次元状態を高効率に利用することが、原理検証を越えた実用的量子技術の実現のための大きな課題である。

そこで本研究では、多次元の光の自由度、特に光子数、光子の位置、伝播方向において複数の状態の重ね合わせや量子もつれを発生、検出する技術を開発し、それらを組み合わせることで多次元量子光学技術の実現を目指す(図1, 2)。本研究課題の達成は、多値的情報を有効に利用し、既存の技術を大きく凌駕する量子計算や量子計測技術の実現に重要な役割を果たすことが期待される。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- 令和元年10月9日-10日、3名で研究打ち合わせと実験を行なった。後述する超伝導検出器のクライオスタットに関する助言と安定動作のための対策を行なった。
- 令和2年1月21日-22日、2名で研究打ち合わせを行なった。後述する超伝導検出器のクライオスタットに関する議論を行なった。
- 令和2年1月31日、4名で研究打ち合わせを行い、量子計測技術への展開へ向けた研究方針について議論した。

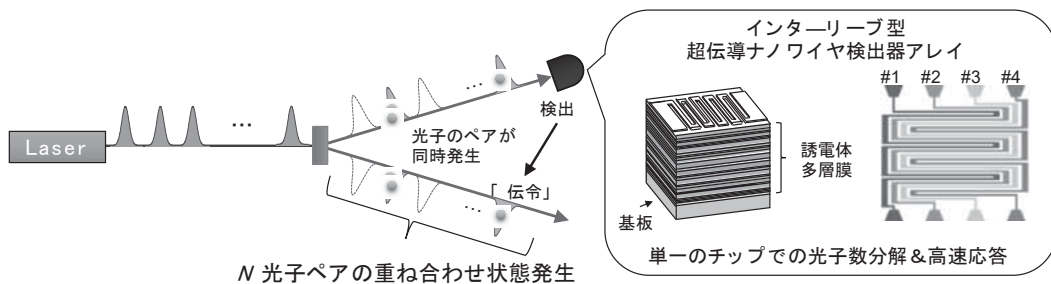


図1：伝令付き任意光子数状態発生方法模式図。

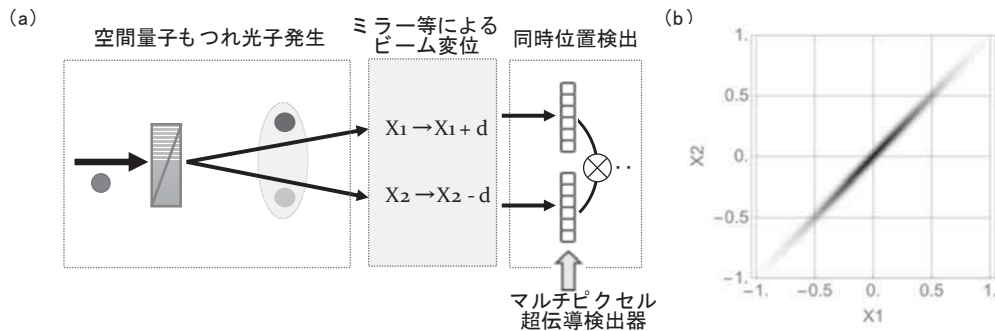


図2：(a) 量子計測実験方法模式図。(b) 空間量子もつれをもつ2光子の位置の相関の様子。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。まず第1に、NICT 未来 ICT 研究所で開発された超伝導単一光子検出器 (SSPD) を東北大通研で安定的に稼働させることに成功した。本研究の基本技術は伝令付き光子発生や空間量子もつれ光子の発生と、光パルスの光子数や空間モードの高精度分解測定 (図 1, 2) であり、高効率光子検出技術は重要技術となる。そこで、超伝導光子検出器を NICT グループで開発し、東北大で立ち上げを行なった。図3に検出器システム一式の写真を示す。クライオスタット内で約 2.2 K に冷却されている4台の SSPD は、光子が吸収されたときに抵抗値が変化し、約 100 ps の立ち上がりをもつ電気パルスが発生する。発生信号は増幅後、NIM ロジックによって処理するこ

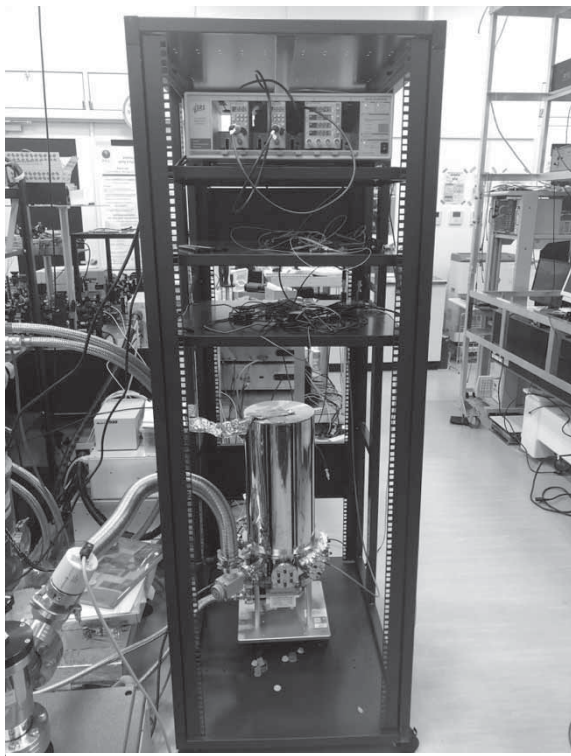


図3：完成した超伝導単一光子検出器 (SSPD) システム。

とができる。いくつかのノイズ対策後、4台の SSPD それぞれでダークカウント (光子が入力されない場合でも電気パルスが発生する頻度) 約 10 cps, 最大計数率 > 5 Mcps (カウンタの最大計数率以上) が得られ、安定的に動作している。また、SSPD はその非対称なワイヤ構造に起因した入射偏光に依存した検出効率を持つため、入力光子は光ファイバー偏波コントローラを経て検出器へ照射される仕組みも導入した。最大感度をもつ偏波に対し、検出器システムとしての検出効率はおおよそ 60% と見積もられているが、今後詳細な評価を行う予定である。

今回のシングルピクセル SSPD を導入によって得られた技術、知見は今後予定している光子の空間モード分解測定用のマルチピクセル SSPD の導入に大きく寄与することが期待される。

第2に、超伝導単一光子検出器を用いて量子光源の光子数分布の評価を行なった。実験では SPDC 光子源における一方の光子発生モード (中心波長 1580 nm) をビームスプリッタによって2つの光路に分け、2つの SSPD それぞれの計数率および同時計数率を測定した。この測定により、1光子対の発生確率に対する2光子対の発生確率を推定することが可能となる。これは光子の発生効率や純粋度といった情報を得ることに相当し、有用な SPDC 光子源の性能評価方法となる。測定の結果、2次の相関関数 $g^{(2)} \sim 2P_2/P_1^2 = 1.76$ (P_j は j 光子発生確率) が得られた。これは、理論的な予測と他の評価手法によって得られた数値とよく一致している。このような光子統計の測定は、低検出効率、高ダークカウントな従来の通信波長帯用 InGaAs 光子検出器では実行が困難であり、高効率、程ダークカウントな SSPD を使用することで初めて可能となった。今後はこの光子統計計測を応用し、任意光子数状態の伝令付き発生の実証を進めていく。

本プロジェクトは若手対象の特別支援を受けて遂行されたものである。特別支援によってより多くの研究打ち合わせと共同実験が可能となり、特に重要であった SSPD 立ち上げを円滑に遂行することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

低い誤り率での光子数分解測定とそれを応用した任意光子数状態の伝令付き発生は、光量子計算や量子暗号通信技術に不可欠なものであり、実現されれば多数光子を用いた大規模光量子計算や高速量子暗号通信を可能にする。例えば単一光子状態発生においては、本研究で従来の伝令誤り率を 1/10 程度に低減可能であり、数十光子の量子計算用資源として利用可能となる。さらに本研究で開発される強い空間量子もつれ光子発生技術やマルチピクセル超伝導検出器は、既存の光計測技術を越えた高精度計測技術の実現に重要な役割を果たすことが期待される。また、これら光子の多次元状態の高効率発生と検出は、様々な光応用技術に光の「量子性」を提供可能にする。例えば、イメージング技術の改善や光学損傷閾値が低い生体媒質の光計測などにも利用が期待される。

[4] 成果資料

(1) F. Kaneda, J. Oikawa, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “High-precision characterization of quantum optical resources via classical measurements,” The 2nd International Forum on Quantum Measurements and Sensing. (ポスター賞受賞)

(2) 及川 瞳, 金田 文寛, 三森 康義, 枝松 圭一, 「自発パラメトリック下方変換光子対の高精度位相整合スペクトル評価方法の開発」 レーザー学会学術講演会 第 40 回年次大会 A-21-P-01 (優秀ポスター賞受賞)

(3) 及川 瞳, 金田 文寛, 三森 康義, 枝松 圭一, 「和周波発生を用いた光子対源の高精度スペクトル特性評価」 日本物理学会 第 75 回年次大会 16pK26-6.

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時刻同期性能の検討

[1] 組織

研究代表者：

山田 洋士 (石川高専電子情報工学科)

通研対応教員：

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

中浜 智也 (石川高専専攻科)

今村 仁俊 (石川高専専攻科)

前野 鉄男 (石川高専専攻科)

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

種々のソフトウェア無線装置の中で、パソコンと A/D・D/A 変換器を組み合わせる使用の種類ソフトウェア無線装置は、通信システムのプロトタイピング環境として活用が期待されている。

本プロジェクトでは、National Instruments 社のソフトウェア無線機 USRP 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精度を検証するとともに、その改善に取り組むことを目的として研究を実施した。

本年度の後期に本プロジェクトが採択され第1年目である。本年度は、2台の USRP を用いることで、2チャンネルの入力を備え、同期受信を行う受信機の実現可能性調査から研究に着手した。

12月に2日間の日程で研究代表者が研究分担者のうち1名の学生を伴って東北大学通信研究所(通研)を訪れ、通研の3名の研究分担者とともにもそれまでに取り組んだ手法の同期性能評価および研究打ち合わせを実施した。2月には研究分担者のうち1名の学生が研究成果報告・今後の研究打ち合わせを兼ねて通研を訪問し、ポスタ発表を実施した。3月には研究組織メンバの会議をネット上で実施した。

[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。

まず第1に、直交変調器・復調器を備えたドータボードをマザーボードに搭載した状態の USRP を GNU Radio で使用した場合には、同期信号入力部に 10MHz の基準信号および PPS (Pulse Per Second) 信号を供給しても、2チャンネルの受信入力間での位相関係が試行ごとに変動し、復調信号間の時間的な相互関係が一定しない場合があることを確認した。

第2に、UHD (USRP Hardware Driver) timed commands と呼ばれる USRP マザーボード上の FPGA (Field Programmable Gate Array) 処理部で処理タイミングを制御するコマンドを、PPS 信号をトリガとして記述する実装を行うことで、前述の問題を回避できることを示した。

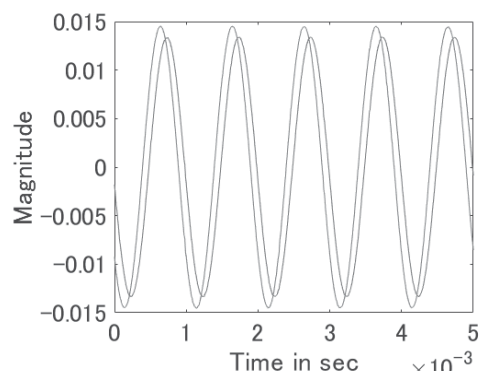


図1 提案法での復調信号波形

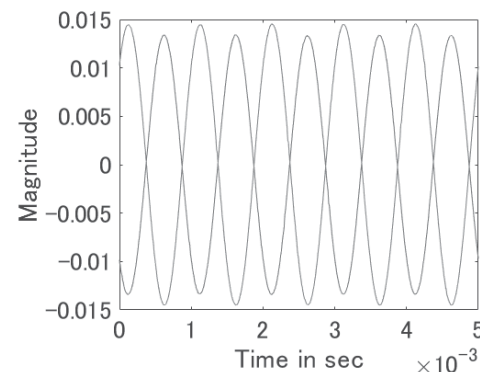


図2 従来法での復調信号波形

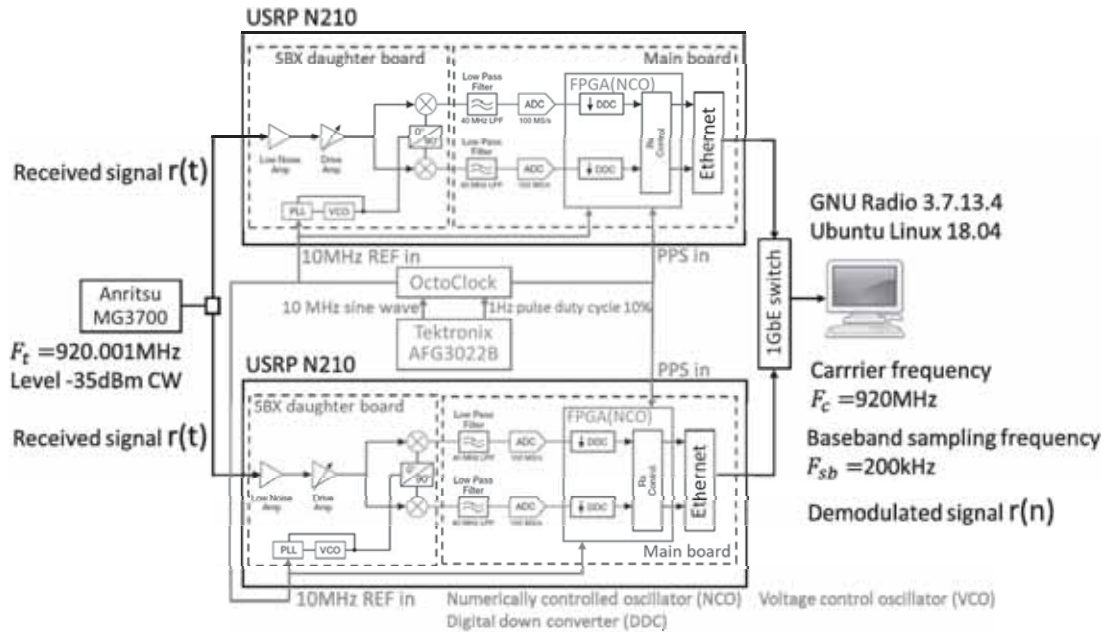


図3 テスト実装を行った2チャンネルの入力を備えた受信機の構成図

注：使用した USRP の発売元の資料 <http://www.ni.com/tutorial/14705/ja/> 記載の USRP の内部構成図に補足説明と追記を行って作成した(日本 National Instruments 社より許諾を頂いている)。

図1および図2は、2台のソフトウェア無線機 USRP N210 を用いて図3に示す2チャンネルの入力を備えた受信機を構成し、同一の信号を受信した際の復調信号波形を示している。キャリア周波数を920MHz、ベースバンド信号のサンプリング周波数を200kHzとした。図1は、提案法に基づいて実装した場合の復調信号波形であり、図2は提案手法を用いない場合の復調信号波形である。

図1の復調信号波形は、受信動作を複数回試行しても変化せず、2つの受信機での復調信号波形の位相差は、常に図1に示す一定の関係となった。これに対し、提案手法を用いない場合の図2の復調信号波形は、試行ごとに波形の位相差がランダムに変化する挙動を示した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

USRP における同期のうち、キャリア周波数同期については仕様で規定されており、使用時には問題とならない。しかし、複数チャンネル間でのサンプリングタイミング同期に関する同期精度や処理遅延の変動には仕様上の規定がなく、定量的な評価もあまり示されていないのが現状である。新しい通信システムのラピッドプロトタイピングを行う際に、処理遅延やサンプリングタイミング誤差の影響を考慮せずに実装した場合には、プロトタイピング結果には信頼性がない。このことはソフトウェア無線機をラピッドプロトタイピングに使用する際の切実な課題

となっている。

本プロジェクトで得られた知見により以上の問題を緩和し、ソフトウェア無線機による効果的なラピッドプロトタイピングを実現する道を拓くことが期待される。本プロジェクトの実施を通じて高専の専攻科学生および教員が通研対応教員とディスカッションする機会が実現し、USRP を用いた無線信号処理を実現するソフトウェアの実装法に関する研究従事者の知見が飛躍的に向上した。今後、ソフトウェア無線装置を種々の観測や測定に利用するプロジェクトの立ち上げが期待されている。

本プロジェクトで明らかになったコード実装法の成果は、電子情報通信学会スマート無線研究会等で報告する予定である。加えて、研究代表者と研究分担者(高専専攻科学生)が講師・チュータとして2020年7月に同研究会主催のソフトウェア無線講習会を実施することが決定している。これにより、本プロジェクトで得られた成果を、高専・大学等の教育研究機関等に波及させる効果が期待される。

[4] 成果資料

(1) T. Nakahama, Y. Yamada, S. Kameda, M. Motoyoshi and N. Suematsu, "Implementation and Evaluation of Phase Synchronization of USRP devices in GNU Radio / GRC Environment for Rapid Prototyping," 2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Feb. 2020.

採択番号: H31/A22

Interactive Content Navigation for Emergent Users

[1] 組織

研究代表者：

Anirudha Joshi, IIT Bombay, Mumbai

通研対応教員：

Yoshifumi Kitamura, Tohoku University

研究分担者：

Rohan Jhunja, IDC School of Design,
IIT Bombay, Mumbai

延べ参加人数：3人

This project included three investigators, as well as one graduate student (Bu Hongyu, Tohoku University).

[2] 研究経過

A large number of emergent users find it difficult to navigate hierarchies of information systems. This becomes a challenge particularly when the emergent users need to choose options from a large database.

This study examines the effect of three navigation mechanisms on the navigation success and time. The mechanisms are List, Menu and D-Flip. We are particularly interested in emergent users who are unable to perform searches because they are unable to formulate queries or are limited by their text-input abilities. The User Usage Model categorizes this population as Basic Users and Navigators [Devanuj, & Joshi, A. (2013)]. Basic Users can use ICT devices with buttons (elevators and voting machines), but lack abstraction. This may explain why they can use lists but not menu hierarchy. Navigators can navigate hierarchies because they have the ability to do abstract thinking. This might enable them to navigate hierarchies. However, they are not able to input text, thus eliminating tasks of search. This limits them to relatively smaller data sets. Our hypothesis is that D-Flip will perform better (in terms of task success and time taken) than List and Hierarchy as it is designed to handle larger databases, by visualising items across 4 dimensions and providing interactions to explore relations between items. This report describes the design of the experiment and interfaces designed for it.

Previous research on navigation by less-literate subjects and emergent users in India has focussed on specific search tasks on small databases (~45 items)[Padhi, D. R. et al.,(2018)] [Shrivastava et al., 2014:] [Medhi et al., 2013:]. For this experiment, a larger database of 500 Bollywood films was created. Top 13 revenue-earning films of each of 5 most common genres- Action, Drama, Romance, Comedy and Social were selected. Effort was taken to collect a

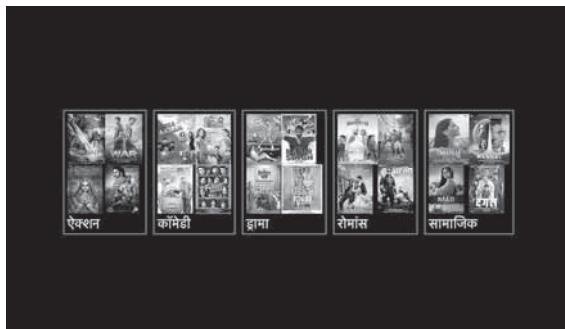
Table 1: Design of interfaces

List	Menu	D-Flip
~30 items at a time distributed across 20 screens	~5-25 items at a time in a 3-step hierarchy	~500 items at a time
Top-to-bottom: Recent to older films,	Upper-to-lower levels: 5 Genres > 5	x-axis: older to recent films
ordered by revenue within each year	Bi-yearly groups	y-axis: High revenue to low revenue Size: Revenue
Items are displayed with 7 to a line	Categories are visualized by the top-4 films	All items mapped by x, y axes and size
Up and down arrow buttons to navigate list	Clicking on category, Back to return	Selecting films with the same actors

database that was balanced across all genres and provided the same number of items across three interfaces, accounting for overlapping items. The design of the three interfaces has been described in Table 1. These were implemented on a large touchscreen.

The participant size was set at 72. Initial recruitment was from among cleaning and canteen staff on campus. Participants were selected after a set of screening tasks to determine their ICT-usage abilities and familiarity with Bollywood films.

The scenario presented to participants will be of a public device installed at a railway station on which one can browse and download films to a personal device. Participants will be shown a video of each interface in a shared use scenario. Two tasks will be given: an open-ended task and a specific search task. First, the users will be invited to use the three interfaces for 5 minutes each to explore the films. Their interaction will be recorded for qualitative analysis and questions on usage patterns will be asked after each interaction. Following that, participants will be given a specific target of a film title and poster presented on a separate device. Participants will be asked to navigate to the film to play its trailer in the given interface. 4 target films will be randomly



Menu interface



D-Flip interface



Example of Video on using D-Flip to familiarize participants with the interface.

selected from the database, one from each of four quadrants (Popular-new films, Popular-old films, Niche-new films and Niche-old films), for one of three interfaces. A total of 12 targets will be provided to each participant. 6 sets of 12 targets will be used. The order of interfaces was counterbalanced across the participants for both tasks. If a participant is unable to navigate to the interface in a reasonable time (calculated for each quadrant in each interface based on times from the pilot) then they will be provided with a choice of any one hint (either actor, year or genre). Task success in these cases will be marked as 'Hinted' and task-times will be calculated from the time the hint was given. Following the use of each

interface, participants will be asked to answer an orally-delivered questionnaire based on SUS to collect data on perceived usability.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

Pilot studies were performed to test the system and the study. However, the final studies could not be started because the institute was locked down due to Covid19.

Through the final experiment we aim to evaluate:

1. Time taken for items across the database (4 quadrants).
2. Time taken against task success without hints and after hints
3. Perceived usability of each interface
4. Qualitative observations on the usage patterns shown by emergent users

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

To our knowledge, empirical research on navigation of visual interfaces by emergent users has been limited to specific searches on smaller databases [Padhi, D. R. et al.,(2018)]. Interfaces such as D-Flip that support a user in exploring a database with ease, may allow complex search tasks like finding content or products of choice.

References:

Deepak Ranjan Padhi, Anirudha Joshi, Abhishek Shrivastava, and Rucha Tulaskar. 2018. Hierarchy or List? Comparing Menu Navigation by Emergent Users. In Proceedings of the 9th Indian Conference on Human Computer Interaction (IndiaHCI'18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 29-34. DOI: <https://doi.org/10.1145/3297121.3297125>

Medhi, I., Lakshmanan, M., Toyama, K., & Cutrell, E.2013. Some evidence for the impact of limited education on hierarchical user interface navigation. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2813-2822). ACM.

Shrivastava, A., & Joshi, A. 2014. Effects of visuals, menu depths, and menu positions on IVR usage by non-tech savvy users. In Proceedings of the India HCI 2014 Conference on Human Computer Interaction (p. 35). ACM.

[4] 成果資料

N/A

採択番号：H31/A23

学習支援のための追体験システムの構築

[1] 組織

研究代表者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

通研対応教員：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：YUEH, Hsiu-Ping

(国立台湾大学)

他東北大研究員、学生2名

国立台湾大学教員1名

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

本研究では、特定の課題の学習時の学習者の認知・行動特性を計測し、学習行動の AI クローンを構築することを目的とする。学習内容として分担者 Yueh らの開発した自己学習教材を利用し、対象とする認知特性・行動特性としては、計測結果に基づく無意識的判断も含めた多様な分析を計画した。具体的な研究の実施ために、2019年6月20日に代表者が国立台湾大学を訪問し、分担者 Yueh らと研究環境などを確認し、打合せを行った。その後代表者、分担者それぞれ共同研究に関連した実験の準備を進め、2019年11月16日に国立台湾大学／東北大学共催シンポジウム(When AI meets human sciences)の機をとらえ、それぞれの研究計画における連携のための議論を進めた。分担者 Yueh は、2020年2月20日の共同プロジェクト研究会の講演のために来日した際に、分担者 Yueh らの計測した学習者の顔画像などのデータを、代表者塩入らが分析する具体的方法についての打合せの予定であった。しかし、新型コロナウイルス関連の来日自粛要請のため、分担者 Yueh 来日が中止となり、研究を予定通りに進めることはできなかった。なお、講演はインターネット経由実施され、関連研究の進捗の確認は可能であった。以上のように、本年度の活動において、一定の方向性を確立することができた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今年度は、学習者の認知行動予測のための基礎研究を目的に、学習時の顔表情の計測、解析手法の検討などを中心に行い、下記の成果を挙げた。まずビデオ映像からの顔表情処理のツールとして OpenFace とよばれるオープンソースの顔動作解析キットの利用を試みた。一般に表情分析の妥当性については、人間の評価に基づく「正当」との比較がもとめられるが、本研究の目的では、その評価は不要である。学習時を対象とした場合、関連する人の内的状況が顔表情などに現れていれば、映像中の特徴から直接推定に必要な情報(集中度など内的状況)を読み取ることが目的だからである。図1に示す通り、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明らかにした。



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。青線は直方体によって推定された頭部方向を表す。黒眼付近の緑の線は推定された視線方向を示す。

分担者 Yueh らは、smart learning の研究テーマにおいて、実際の授業中における学習者の様々の特性について多くの学習者に対して計測し、それらと各学習者の成績の関連などを検討するための手法を開発した。それによって個人の特性と全体としての特性を解析し、学習者データから学習者の内的過程を推測するという点で本研究の目的に合致している。当初は分担者 Yueh の2月の来日に合わせて、両者の成果の確認、それらを組合わせた研究の方向性の検討をする予定であったが、来日を取りやめたため、その議論は次年度に延期した。

[4] 成果資料

S Shioiri, T Miura, K Matsumiya, I Kuriki, K Amano, Spatial Spread of Visual Attention Measured Using Steady-State Visually Evoked Fields, PERCEPTION 48, 11-11

S Shioiri, Differences in Attention Modulations Measured by Steady-State Visual-Evoked Potentials and by Behaviors, I-PERCEPTION 10, 24-24, 2019

Y. Horaguchi, Y. Sato, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Estimation of preferences to images by facial expression analysis

Y. Horaguchi, Y. Sato, C. H. Tseng, I. Kuriki, S. Shioiri, Estimation of human judgements by facial expression, Center for Nation-Wide Cooperative Research on ICT, FY 2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects, Feb. 2nd, 2020

採択番号：H31/A24

インターネット輻輳制御の異種混在環境の性能解析

[1] 組織

研究代表者：

内海 哲史 (福島大学共生システム理工学類)

通研対応教員：

長谷川 剛 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：2人

[2] 研究経過

2016年9月 Google 社によって、BBR (Bottleneck Bandwidth and RTT) 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方式である。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問題を解決する輻輳制御方式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 などの従来型のロスに基づく輻輳制御方式と競合するとき、特に、バッファが深いボトルネックリンクで競合するとき、BBR はロスに基づく輻輳制御方式とスループットが不公平になると言う欠点がある。内海 (研究代表者) は、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、その改善に取り組んできた。本研究では、BBR について、CUBIC などのロスに基づく輻輳制御方式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、BBR とロスに基づく輻輳制御方式のスループット公平性を達成させようとしている。

(1) 通研共同プロジェクトポスター発表

場所：東北大学電気通信研究所

日時：令和2年2月20日

参加者：

内海 哲史 (福島大学共生システム理工学類)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の研究では、まず、BBR フローと CUBIC フローがボトルネックリンクで競合するときのそれぞれのスループットを、ネットワークシミュレーションによって評価した。BBR のフロー数と CUBIC のフロー数、ボトルネックリンクのバッファサイズを変更し、BBR と CUBIC の平均のスループットをそれぞれ評価した。ボトルネックリンクのリンク容量を

100Mbps、往復伝搬遅延時間を40msecとし、シミュレーションを行った。図1~3に評価結果を示す。

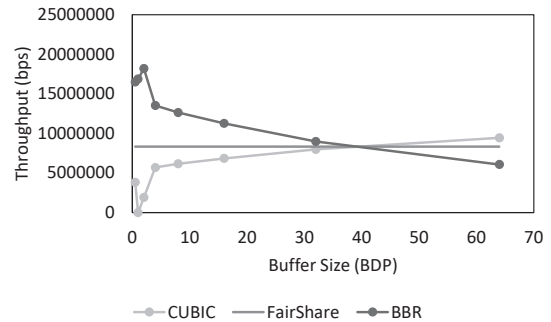


図1: 4BBR フローと 8CUBIC フローの競合時。

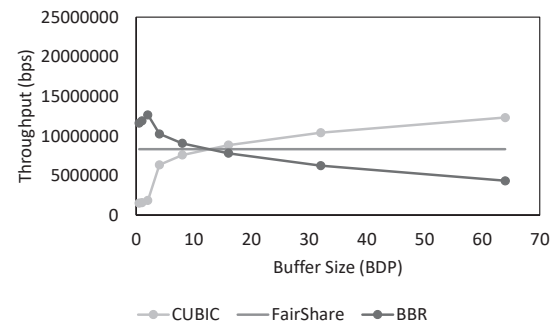


図2: 6BBR フローと 6CUBIC フローの競合時。

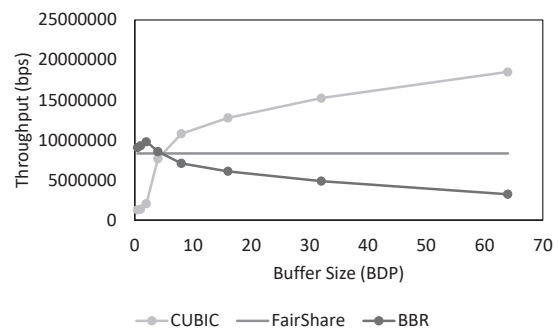


図3: 8BBR フローと 4CUBIC フローの競合時。

図1~3より、ボトルネックリンクにおけるバッファサイズが大きいほど、CUBIC のスループットに対する BBR のスループットが小さくなることが分かった。また、CUBIC フロー数に対する BBR フロー数が大きくなるほど、CUBIC のスループットに対する BBR のスループットが小さくなることも分かった。ほとんどの場合、BBR フローと CUBIC フローのスループット公平性は達成されず、BBR フローと CUBIC フローの平均のスループットに大きな差が現れた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の研究では、BBR フローと CUBIC フローがボトルネックリンクで競合するときのスループットをネットワークシミュレーションによって評価し、BBR フローと CUBIC フローでスループット公平性が達成されないことを明らかにした。

来年度以降、BBR フローと CUBIC フローのスループット公平性を達成するため、BBR フローと CUBIC フローがボトルネックリンクで競合するときの数理モデルを示し、そのための BBR アルゴリズムの改良方法やパラメータ調整方法を明らかにしていきたい。

[4] 成果資料

[1] Satoshi Utsumi, and Go Hasegawa, “A Study on Fairness Issue of Internet Congestion Control,”
FY 2019 RIEC Annual Meeting on
Cooperative Research Projects, Tohoku Univ.,
February 2020.

採択番号：H31/A25

近距離無線通信を利用した 服薬モニタリングシステムの開発と改良

[1] 組織

研究代表者：

星 憲司 (東北医科薬科大学薬学部)

通研対応教員：

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：2人

[2] 研究経過

自宅で服薬治療を行う患者の服薬アドヒアランスを向上させることは、QOLの向上と医療費の削減のための重要な課題である。研究代表者らは、携帯型の医薬品パッケージに近距離無線通信モジュールを組み込み、それに一包化した医薬品を封入することで、患者の毎日の服薬の状況を長期間に渡って記録・可視化するシステムを開発している。これまでの研究で学内での実験を行い、本システムを利用して服薬の記録が実現できることを確認済みである。また、研究の次の段階として、研究分担者であるこの調剤薬局との共同研究で、開発したシステムの実証実験を進めている。本プロジェクトでは、上記の実証実験に向けて、開発したシステムを、実際のフィールドで利用できる品質に改良することを目的として研究を行った。

本プロジェクトで改良の対象とするシステムの概要は次の通りである(図1)。1日3回(朝、昼、夕)×7日分の、21個の医薬品のポケットを持つ紙製の医薬品パックに、導電性インキでパターンを印刷し、患者がポケットを開封したことが電気的に検出する。医薬品パックは、BLE (Bluetooth Low Energy) による無線通信機能を持つ ARM マイクロコントローラを搭載し、ポケットの開封を検出すると、その時刻の情報を BLE で送信する。BLE のパケットは患者の自宅に設置した中継モジュールを経由して医療機関のサーバに送信され、服薬状況がデータベースに記録される。

本プロジェクトは、本年度が初年度である。期間内に次の打ち合わせを実施した。

- ・2019/7/8 研究の現状とプロジェクトの進め方に関する研究打ち合わせ(拠点内での打ち合わせ、参加者2名)

- ・2019/10/1 研究の現状とプロジェクトの進め方に関する研究打ち合わせ(拠点内での打ち合わせ、参加者2名)

また、実験においては下記の協力者の協力を得た。

協力者：

吉田 啓 (この調剤薬局)

久保慎治 (株式会社タカゾノ)

永野貴裕 (株式会社タカゾノ) ,

協力者とは拠点外で下記の打ち合わせを実施している・

- ・2019/11/13 実証実験に必要な改良点に関する打ち合わせ(拠点外での打ち合わせ、参加者4名)

- ・2019/12/20 システムの改良に関する研究打ち合わせ(拠点外での打ち合わせ、参加者2名)

- ・2020/1/28 システムの改良に関する研究打ち合わせ(拠点外での打ち合わせ、参加者4名)

- ・2020/3/27 研究結果の報告と今後の研究の展開に関する打ち合わせ(拠点外での打ち合わせ、参加者2名)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究計画に従ってシステムに次の改良を行い、実用的に動作することを確認した。

(1) システムの小型化

本システムは BLE による無線通信の圏外であっても動作し、通信が可能になったタイミングで蓄積したデータを送信する。そのため、利用者(患者)が無線通信の可否を意識せずに、システムを自宅から

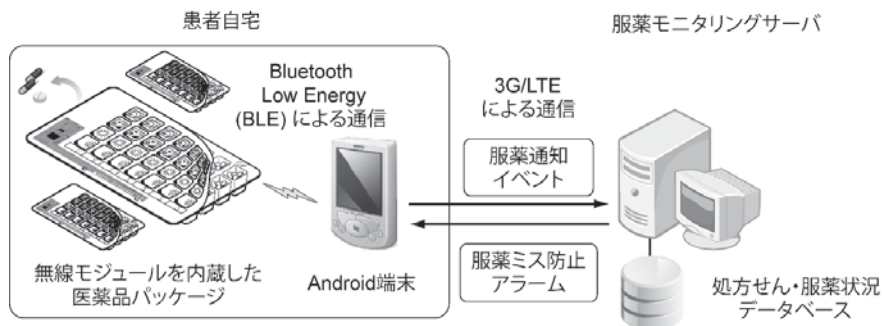


図1：服薬モニタリングシステム 本プロジェクトによる (1) 小型化 (2) 省電力化 (3) 開封検出方式の改良 (4) 中継モジュールの改良、の改良で、薬局での実証実験が可能になった

自由に持ち出せることを特徴としている。この特徴を活かすため、小型化して携帯性を改善した。

医薬品パックに搭載する回路の設計を改良することで、従来 35×40mm, 7.8g だった電子回路のサイズを 18×25mm, 2.5g まで小型・軽量化した。軽量化のために、電源の電池を CR2032(公称容量 225mAh)から SR621(同 23mAh)に変更した。この変更で電源容量は減少するが、システムの省電力化を行って、実用的な動作時間が確保できることを確認した。また、小型化のために、導電性印刷部分との接続に使用しているフレキシブル基板用コネクタを 1.0mm ピッチから 0.5mm ピッチに変更した。この改良に伴い、接続対象の導電性印刷も高密度の印刷が必要になった。実験により、小型化した場合も安定した接続が実現できることを確認した。

(2) 省電力化

医薬品パックに搭載するボタン電池を変更したことで、電源の容量が 225mAh から 23mAh に減少した。これに対応するため、通信方式を変更して省電力化を行い、消費電力を測定し、連続動作時間の測定を行った。

本システムの医薬品パックは、BLE の通信機能を持つ ARM マイコン nRF51822 を内蔵しており、BLE のペリフェラルとして動作する。従来のシステムは、自分自身の存在を示すアドバタイズを定期的に発信し、かつ独自のサービスによって問い合わせ

に回答していた。このサービスは問い合わせの都度メモリに記録された服薬時刻の情報を送信していた。

本プロジェクトでは、省電力化のための試みとして、通信方式を双方向から片方向とし、アドバタイズのみを送信する方式で実験を行った。すなわち医薬品パックは BLE のビーコンとして振る舞い、服薬時刻の情報をアドバタイズパケットに含めて送信する。アドバタイズパケットのペイロードのサイズは最大 37 バイトという制限があるため、120 秒ごとにパケットの内容を変更し、4 回に分けて全ての情報を送信する。アドバタイズパケットのインターバルは 6000ms とした。ARM マイコンのファームウェアは、開発環境 Keil μVision5 を使用して C 言語で開発した。万一の ARM マイコンの異常動作に備えて、ウォッチドッグタイマを有効にし、また 1 時間に 1 回、マイコン内蔵のフラッシュメモリに服薬記録を保存する機能を加えた。

改良後のシステムの消費電力を ULINK-PLUS デバッグアダプタと、N6705A DC 電源アナライザを用いて測定した。消費電力は平均約 10μA で、計算上の連続動作時間は約 96 日間という結果が得られた。実際の運用環境での実験では約 100 日間の連続動作を実現し、実用上十分な動作時間が確保できることを確認できた。

(3) 開封検出方式の改良

医薬品の取り出しを電氣的に検出する機構を改良した。本システムでは、紙製のパックに導電性インキでパターンを印刷し、医薬品を取り出したときにパターンが破断するようにして取り出しを検出している。従来のシステムでは、銀粒子を含む導電性インキ AgIC をインクジェットプリンタで印刷してパターンを作成していた。この方式では、印刷する素材がインキ吸収層を持つインクジェット用光沢紙に限られ、物理的な強度や加工方法に制約があった。また、インキに銀粒子を使用していることから印刷コストが大きかった。そこで、今回は導電性インキを

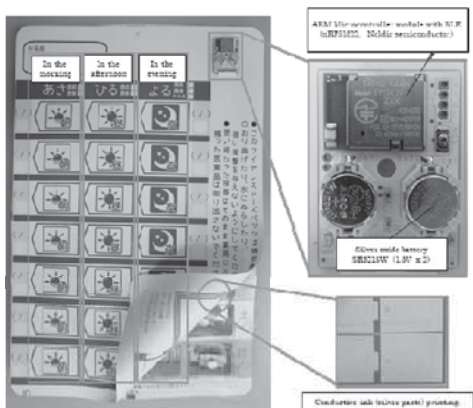


図2：本プロジェクトで作成した医薬品パック

2020-2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Time		Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su		
00:00-02:00																																	
02:00-04:00																																	
04:00-06:00																																	
06:00-08:00																																	
08:00-10:00																																	
10:00-12:00																																	
12:00-14:00																																	
14:00-16:00																																	
16:00-18:00																																	
18:00-20:00																																	
20:00-22:00																																	
22:00-24:00																																	

Index	Patient ID	Sheet ID	Position	Time
1	1002	11	0	2020-02-23 09:48:01
2	1002	11	0	2020-02-05 19:38:01
3	1002	11	3	2020-02-04 08:46:01
3	1002	11	4	2020-02-04 08:46:01
3	1002	11	5	2020-02-04 08:46:01
4	1002	11	6	2020-02-07 08:06:01

図3: Web インタフェースで可視化した各患者の服薬状況

シルクスクリーン印刷する方法に変更した。この変更によって印刷できる対象が広くなり、銀に代えてより安価なカーボン素材の導電性インキが利用できるようになった。本研究では物理的な強度と加工のしやすさから90 μ mの普通紙を選択した。カーボンインキによる導電性印刷物の試作も行ったが、測定の結果銀インキと比較して抵抗率が高く、電子回路の変更が必要になることが分かったため、今回の実験に限り銀インキを採用した。

今回の改良では、電子回路の小型化により、より精密な導電性印刷が必要になった。幅が最小で0.2mmの導電性印刷物を作成し、安定性に問題がないことを確認した。改良によって、広い範囲の素材に導電性印刷を行って利用できるようになり、本研究で使ったパッケージだけでなく、様々な形状の医薬品パックに応用できるようになった。また、本研究では使用しなかったが、電子回路の改良によってより安価なカーボンインキを利用して、印刷コストを大きく下げられることが明らかになった。

(4) 中継モジュールの改良

従来のシステムでは、BLEのパケットをサーバに中継する中継モジュールとしてAndroid端末を使用していた。今回はAndroid端末に代えて、より柔軟な動作設定ができ、連続動作が可能な小型のLinuxサーバを中継モジュールとして利用し、長期間の安定した運用ができるようにした。

Linuxサーバとして、組み込み機器用に設計されたArmadillo IoT G3Lを採用した。このハードウェアはBLEとLTEモジュールを内蔵している。本システムの特性上、LTEの通信を間欠的にすることが可能で、全体の通信量は小さく、通信速度も要求されない。そこで、LTEモジュールにIoT用の通信サービス用のSIM(株式会社IIJ,タイプD)を挿入してサーバとの通信を中継した。

通信を中継するソフトウェアはBLEの通信ライブラリBluezを使用してC言語で開発した。中継モジュールはLTEの通信を監視して、異常が発生した

場合には再接続動作を行うようにした。また、1日1回再起動を行うようにして安定性を向上させた。

(5) 医療機関側のサーバの改良

中継モジュールからの通信は、医療機関側のサーバで受信し、服薬状況はデータベースに記録される。本研究では、サーバのプログラムを改良し、データベースに記録された各患者の服薬状況を可視化する、Webインタフェースを開発した(図3)。

以上の(1)~(5)の改良を行った後、システムの動作確認を行った。金属製の壁と障害物があり、多数のISMバンドの通信が行われている室内でBLEの通信可能距離を測定し、10m以上の距離で中継モジュールとの通信が実用的に行えることを確認した。また、実際の環境で1週間の連続動作実験を行い、服薬状況が正確に記録できることを確認した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本プロジェクトでの改良によって、実環境での実証実験が可能になった。そこで、研究代表者らは、研究分担者であるこの調剤薬局との共同研究で、開発したシステムの実証実験を行った。

この実証実験は、科研費 基盤研究C(平成29年度~平成31年度、研究課題名「近距離通信ネットワークによる24時間体制の服薬サポートシステムの開発」)の一部として、東北医科薬科大学の倫理審査委員会の承認を得て実施した。

実証実験は、この調剤薬局から定期的に医薬品を交付されている患者から被験者を選定して行った。被験者毎の服薬状況に即した4週間程度の実験期間を定め、改良したシステムを利用した服薬を実施した。その後、使用後のバックを回収して残薬数をカウントし、通信内容、メモリに記録された情報、残薬数を比較することで、現場の環境で、開発したシステムが被験者の服薬状況を正しく記録できることを検証した。実証実験の結果は日本薬学会第140年会で報告した。

[4] 成果資料

(1) 星 憲司, 北形 元, 吉田 啓, 久保慎治, 永野貴裕, 川上準子, 青木空真, 渡部輝明, "近距離無線通信を利用した服薬モニタリングシステムの動作検証", 日本薬学会第140年会, 2020

採択番号 : H31/A26

Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications

[1] 組織

研究代表者 :

Dr. Amine El Moutaouakil (UAE University)

通研対応教員 :

Prof. Taiichi Otsuji (RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者 :

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

延べ参加人数 : 3人

[2] 研究経過

During the first year of this collaborative project, PI Dr. Amine El Moutaouakil planned to visit the group of Research Collaborator Prof. Taiichi Otsuji in February 2020 to attend the RIEC technical meeting, and conduct the experimental part of the project at RIEC facilities. Unfortunately, the trip was cancelled due to the COVID19 pandemic and due to the new travel restrictions imposed on federal employees at the United Arab Emirates. Hopefully, the trip will be completed in summer to conduct the experimental part and the necessary plans for the second year of the project with Prof. T. Otsuji and Dr. T. Watanabe.

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.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

In this first year, a theoretical investigation based on the plasmon dispersion model was used to understand the plasmon frequency dependency of both Graphene and MoS₂ nanoribbon patterns on the angle between the plasmon wave vector and Graphene or MoS₂ nanoribbons.

In this model, the Graphene or MoS₂ nanoribbons array are shaped as a homogenous 2D plane with anisotropic sheet conductivity (figure 1), where the plasmon dispersion relation can be approximated by two different complex equations;

a) For the ungated arrays:

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{2\pi e^2 N_{2D}}{\epsilon m^*} q \cos^2 \theta - \frac{v^2}{4} - i \frac{v}{2}}$$

b) For the gated arrays:

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{4\pi e^2 N_{2D} H}{\epsilon m^*} q^2 \cos^2 \theta - \frac{v^2}{4} - i \frac{v}{2}}$$

The parameters used in both equations are:

- v: the electron momentum relaxation rate in nanoribbons array,
- q: the plasmon wave vector,
- m*: the effective mass,
- N_{2D}: the sheet electron density,
- H: the spacing between the array and perfectly conductive plate.



Fig. 1 Schematic diagram of ungated nanoribbons

The real part in both equations represents the dispersion ($\omega/2\pi$), and the imaginary part represents the plasmon dispersion decay ($\gamma/2\pi$). The square root in both equations

defines the decay mode of the dispersion; the decay is limited by half of the electron momentum relaxation rate, but it is affected by the angle between the plasmon wave vector and the nanoribbons.

The comparison between the ungated Graphene and the ungated MoS₂ (figures 2 and 3), it yields that at $\theta=80^\circ$ the plasmon frequency for the ungated Graphene is about 5 THz for $q=10^6 \text{ m}^{-1}$, while for the ungated MoS₂ is about 0.51 THz for the same wave vector. Adding to that, at $\theta=0^\circ$ the plasmon frequency for the ungated Graphene is 31 THz for $q=10^6 \text{ m}^{-1}$ while for the ungated MoS₂ is about 4.6 THz for the same wave vector.

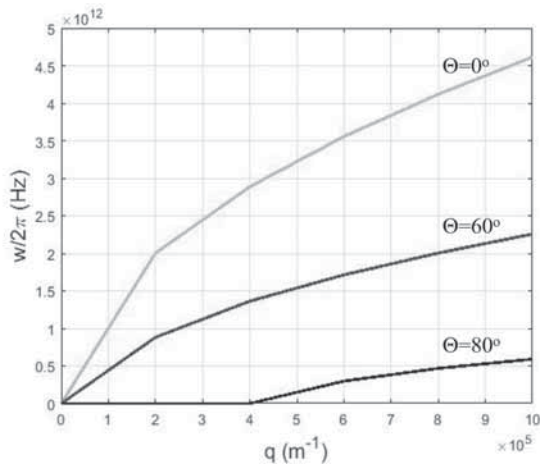


Fig. 2 Plasmon dispersion $w/2\pi$ as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ for MoS₂ ungated nanoribbons array with $v = 6.9 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$.

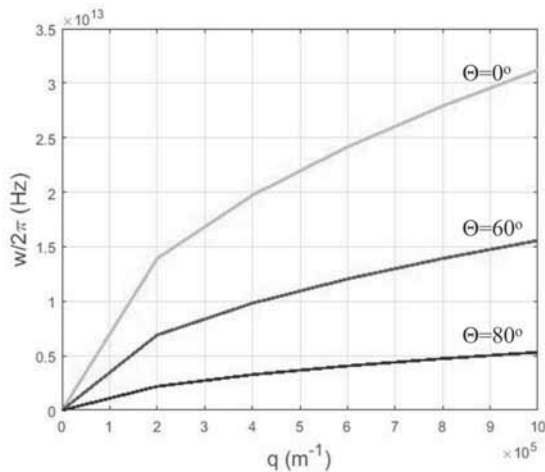


Fig. 3 Plasmon dispersion $w/2\pi$ as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ for Graphene ungated nanoribbons array with $v = 1.32 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$.

For the results in the gated Graphene ($H=30 \text{ nm}$) and the gated MoS₂ ($H=30 \text{ nm}$) (figures 4 and 5), it yields that at $\theta=80^\circ$ the plasmon frequency for the gated Graphene is about 0.8 THz for $q=10^6 \text{ m}^{-1}$, while for the gated MoS₂ no plasmon dispersion is observed for the same wave vector. Adding to that, at $\theta=0^\circ$ the plasmon frequency for the gated Graphene is 7.5 THz for $q=10^6 \text{ m}^{-1}$ while for the gated MoS₂ is about 0.1 THz for the same wave vector.

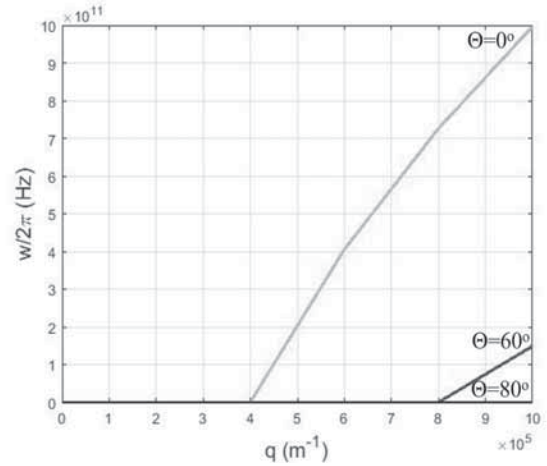


Fig. 4 Plasmon dispersion $w/2\pi$ as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ for MoS₂ gated nanoribbons array with $v = 6.9 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$.

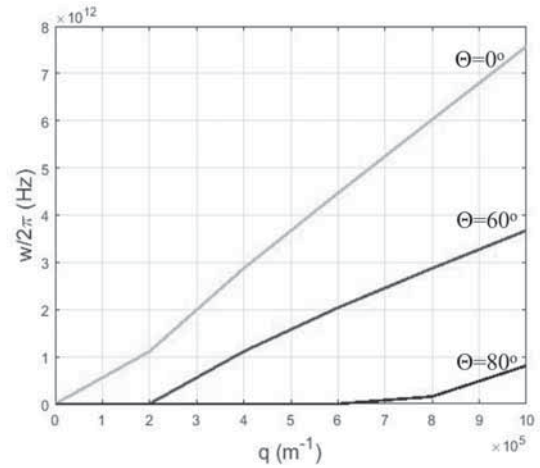


Fig. 5 Plasmon dispersion $w/2\pi$ as a function of the plasma wave vector q for different values of angle θ for Graphene gated nanoribbons array with $v = 1.32 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$.

This explains the concept that the ungated and gated Graphene have higher plasmon dispersion frequency than the ungated and gated MoS₂, respectively. This is due to the existence of the zero bandgap of the Graphene material,

which promotes the plasmon dispersion within the nanoribbons. It is also due to the small effective mass of the Graphene material ($0.002 \times m_0$) in contrast to the effective mass of MoS₂ material ($0.45 \times m_0$) that concludes high THz plasmonic frequencies for small effective mass. Furthermore, the effective mass is related to the width of the nanoribbons and in this case, for the equality of the study, 100 nm width of the nanoribbons were chosen for both materials, which resulted in high effective mass for the MoS₂. Adding to that, the effective mass is inversely proportional to the mobility, $\mu \propto 1/m^*$, that justifies that having a small effective mass endorses the mobility of the electrons to move faster, which means higher THz plasmonic frequencies as in the case of the Graphene nanoribbons.

We have also extended our investigation to different angles between the electric field and the nanoribbons, as well as different H values in gated structures, and we concluded that due to higher electron properties in Graphene, the plasmon dispersion frequency in Graphene nanoribbons was found to be higher than in MoS₂, and the decay rate was found to be lower. Nevertheless, MoS₂ holds decent values that are attractive if combined with the robustness, low coefficient of friction, the resistance to oxidation and the direct bandgap. The decay rate also was found to increase with the use of thin dielectric layers under the gate in the gated ribbons structure, leading to lower dispersion frequencies in both materials. Moreover, the plasmon dispersion frequency was found to decrease with the increase in the angle between the incoming electric field, and the nanoribbons directions for both materials.

The combination of both materials in a heterostructure can be made by tuning the nanoribbon size to obtain an enhanced plasmon dispersion at the same frequency. However, based on the theoretical model, since the Graphene nanoribbons have higher dispersion frequency than the MoS₂ one, there is also a possibility of tuning the frequency in the heterostructure by adjusting the angle between the Graphene and MoS₂, as well as the electric field.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Those new heterostructure devices are expected from a theory point-of-view to show high electronic and optical properties, which will improve the sensitivity and NEP for THz detection. Development of these devices can lead to a new era of low-cost and compact terahertz imaging systems and to develop ultra-high-speed THz wireless communication. This project can be followed by another one to investigate these devices in lasing experiments at room temperatures.

[4] 成果資料

One journal paper under preparation

“Theoretical comparison of the plasmon dispersion and decay properties of Graphene and MoS₂ nanoribbons for THz applications,” A. El Moutaouakil, A. Hijazi, T. Otsuji, (Under preparation)

One presentation at an international conference ()

“Theoretical comparison of the plasmon dispersion and decay properties of Graphene and MoS₂ nanoribbons for THz applications,” A. El Moutaouakil, A. Hijazi, AAAFM-UCLA International Conference on Advances in Functional Materials, August 19 -August 22, Los Angeles, USA.

採択番号：H31/A27

日常・非常時の横断的運用を想定した 定点観測防災 IoT 機器開発に関する共同研究

[1] 組織

研究代表者

杉安 和也 (東北大学災害科学国際研究所)

通研対応教員

横田 信英 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

高橋 秀幸 (東北学院大学教養学部情報科学科)

寅屋敷 哲也 (公益財団法人ひょうご震災記念
21 世紀研究機構 人と防災未来センター)

藤生 慎 (金沢大学理工学研究域地球社会基盤学系)

松本 行真 (近畿大学総合社会学部社会・マス
メディア系専攻)

延べ参加人数：6 人

[2] 研究経過

東日本大震災からの知見による大規模災害への被害低減施策として、2 線堤に代表される土地利用方法の根本的な改善は、「物的被害のリスク低減」に飛躍的な効果をもたらした。一方で、被災リスクの高い沿岸部と、安全な内陸部を隔てる壁となり、互いの現状を直視・確認することを困難にしている現状がある。この結果、避難者（海水浴客や観光客等）と、防災役職者（見回りを担う地域の消防団や区役員等）の双方に「人的被害のリスク増大」をもたらしている。このような背景から、人的被害リスクの低減策を模索することを目的に、災害対応にも適した次世代通信規格を用いた定点観測防災 IoT 機器（屋外 Web カメラ等）を開発・地域実装することで、非常時のリスク低減効果と、24 時間観測の利点を生かした日常時の運用方法を提案する。これにより、横断的・多面的な IoT 観測機器の活用方法を創出

することが、本共同研究の目的である。

本年度はそのキックオフとして、本プロジェクトテーマに関連する活動を展開する各大学の研究者らに研究分担者として参画いただき、互いの知見を共有することを目的に、以下の研究会を開催した(1)。

また、この研究打ち合わせに先立ち、一部メンバーは先行実証実験として、2019 年度いわき市薄磯区津波避難訓練の際に、ドローンと定点観測機器運用を組み込んだ避難訓練支援プログラムを実施している(2)。

(1) 第 1 回 研究会 (電気通信研究所)

2020 年 2 月 21 日 (人数 5 名)

(2) いわき市薄磯区津波避難訓練 (福島県いわき市)

2019 年 10 月 26 日 (人数 4 名)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(1) 津波避難訓練に際した先行実証実験

非常時で観測機器運用を検討するため、2019 年 10 月 26 日に福島県いわき市薄磯区で開催された津波避難訓練の際に、本研究の先行実証実験を開催した(杉安、横田、高橋、松本)。

本実験では、非常時において、自由に稼働するドローンカメラと定点観測カメラとの観測範囲の違いを、2 台のドローン (DJI 社製 MAVIC 2 ENTERPRISE DUAL および Phantom 4) を運用して再現することを試みた。1 台は“ドローンカメラ”としての役割を担い、避難訓練会場を飛び回り、もう 1 台は“定点観測カメラ”として、指定高度・指定方向の観測を行い、どちらも沿岸部で逃げ遅れている避難残存者の観測を行った (図 1)。

このドローンカメラと定点観測カメラを運用する上での利点・欠点は、死角・機材の起動時間の違いなどから評価できる。ドローンカメラでの観測を行う場合、法的規制に基づき、操縦者がドローン本体を目視でき、航空法の制約内の高度の範囲での観測が原則となるが、2-4km 四方・人口 200 人規模の沿岸集落であれば、ドローン本体を随時移動させることでほぼ死角を生じない観測が可能である。一方で、機材の起動準備に数分の準備時間が必要となる。地震発生から数分後に津波が襲来するような集落の場合は、この準備時間の影響は非常に大きい。

他方で、定点観測カメラを用いた場合、ネットワークの輻輳が起きていないという前提で、常時観測が行われているのであれば、準備時間の大幅な短縮することが可能である。しかしながら、これらを取り付ける一般的な電柱の地上高が 10m~12.5m とされている日本の環境下において、防災緑地等を設けた東日本大震災後の土地利用構造では、ドローンと比較すると多くの死角が生じてしまう。これを解決するためには、観測対象の集落内に複数の定点観測カメラを設けるか、もしくは定点観測カメラを地上高 30m 前後の高さに設置する必要があることが、今回の先行実証実験の中で明らかとなった (図2)。これらを統合すると、非常時の運用を想定するのであれば、ドローンもしくは定点観測カメラのどちらかに観測手段を限定するのではなく、双方の利点を生かし、複数の観測手段を用いるべきであると考えられる。

(2) 非常時限定運用の観測機器とは異なる常設観測機器のあらたな運用手段の示唆

本プロジェクトでは、通常の旅費支援の他に、若手特別支援費を配分いただいた。これにより、2020年2月21日に開催した研究会では、本来の予算額では1名のみでの招聘となることを、大阪府・石川県より計2名の共同研究者を招聘すること可能となった (杉安、横田、高橋、藤生、松本)。研究会では、前述の先行実証実験の結果も含め、各分担者が取り組む研究について情報交換・議論を行った。このうち、研究分担者のひとりである藤生らは、ドローン等に搭載した超高解像度カメラの画像を用いた橋梁の画像診断の可能性に関する研究を行っている¹⁾。これは従来であれば点検用足場の組み立てが必要となる橋梁点検を、簡素化できる可能性を秘めている。

藤生らは、さらに超高解像度カメラの画像を5Gネットワーク回線によって転送し、転送先のサーバー内でそれを自動解析することで、橋梁のひび割れ・鋼材の腐食の観測を定期的実施できるシステムの構築に取り組んでいる。これは、診断技術を持つ専門職員を現場に派遣する必要がなくなることを



図1 津波避難訓練での先行実証実験

示している。現在においても沿岸部の主要な橋梁には、交通量や潮位観測を行うための定点観測カメラが設置されている事例があることから、これらの観

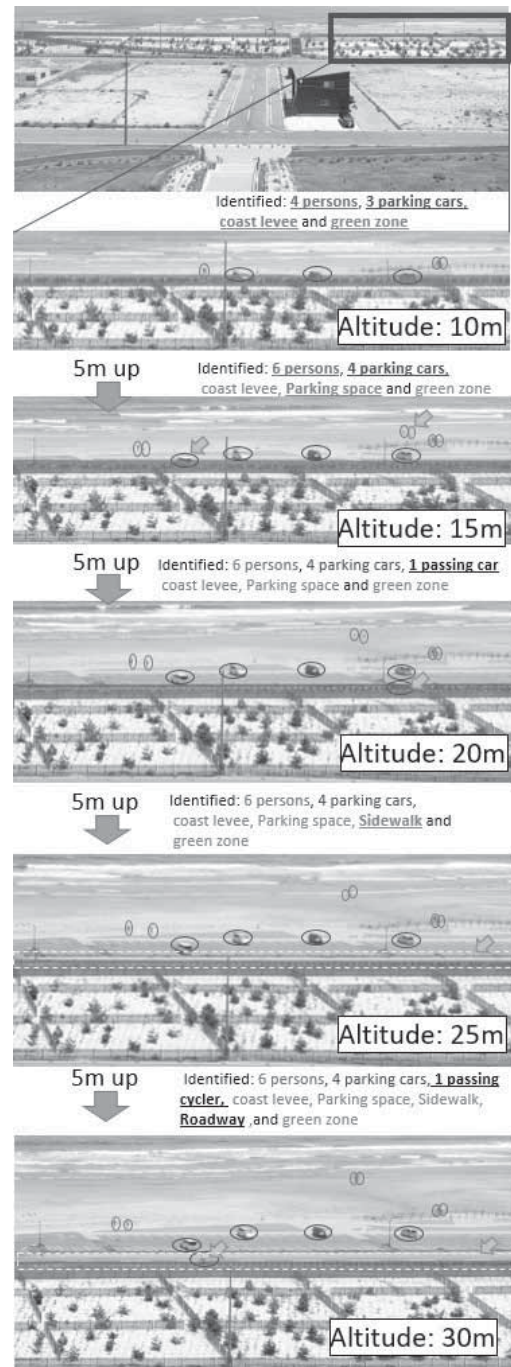


図2 各観測高度での死角の変化

測カメラのスペック・配置場所を調整することで、橋梁の老朽化点検にも活用できる可能性が、研究会内での討論を通じて示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでの研究成果の一部は、杉安、横田、高橋らがセッションオーガナイザーを務める2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics 内の Disaster Risk Redaction セッションにおいて、2編の研究発表を行った。

(GCCE 2019, 2019年10月15-18日 大阪 開催, 同国際会議では総数666編の論文投稿有, 本プロジェクトメンバーは3名が参加)

また、技術開発協力企業を募るべく、みやぎ地域連携マッチングデイ 2020 に高橋、杉安、横田らが東北学院大学・東北大学らの合同チームとして出展した。

(みやぎ地域連携マッチングデイ 2020, 2020年1月17日 仙台 開催, 12グループの出展有, 本プロジェクトメンバーは3名が参加)

これまで本プロジェクトでは、「非常時」とは、災害等が発生した直後の短期間をイメージしており、それ以外の時間を「日常時」と見なしていた。

しかし今後の発展の可能性として、ウィズ/アフターコロナのニューノーマル様式の支援策として、「長期におよぶ非常事態下」という状況も想定していく必要がある。本プロジェクトの先行実証実験にご協力いただいた、福島県いわき市薄磯区では、ドローンや観測カメラ等を活用した登校見守り活動を行うことが検討されている。この実装に向けて今後支援活動を展開していく予定である。

[4] 成果資料

(1) N. Yokota, H. Yasaka, K. Sugiyasu, and H. Takahashi, "Spatial Distribution Extraction of Visible Light IDs for Supporting Robotic Rescue Efforts," 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.7-8, Osaka, Japan, 15-18 Oct. 2019. (Excellent Paper Award を受賞).

(2) K. Sugiyasu, H. Takahashi, N. Yokota, K. Sugiyama, and K. Onodera, "Method of Decreasing Dead Angle Zone under the Tsunami Evacuation Patrol used by UAVs," 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.1060-1061, Osaka, Japan, 15-18 Oct. 2019.

(3) 杉安和也, 高橋秀幸, 横田信英, 橋一光, 松本行真, "ドローンによる残存者探索を組み込んだ津波避難訓練の取り組み-2019年福島県いわき市薄磯区の事例," 令和元年度東北地域災害科学研究集会, Dec. 2019.

参考文献:

1) 南貴大, 藤生慎, 他 超高解像度カメラで撮影された画像を用いた橋梁点検の実施可能性に関する基礎的検討, 社会技術研究論文集 Vol. 15, pp54-64, 2018

採択番号：H31/A28

人体領域通信用無線伝搬路に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

秋元 浩平

(秋田県立大学システム科学技術学部

知能メカトロニクス学科)

通研対応教員：

本良 瑞樹

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

なし

延べ参加人数：2人

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。そこで本年度は実験手法の確立と伝搬特性の基礎原理を明らかにすることを主軸として研究を進めた。

以下、研究活動状況の概要を示す。

(2-1) 研究会など

令和元年12月26日(木)～27日(金)にスマートスペクトラム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2年2月20日(木)に本共同プロジェクト研究発表会ポスターセッションに参加し、研究進捗の報告とそれに関する議論を行った。

(2-2) 共同実験および研究打ち合わせ

令和2年1月27日(月)～31日(金)、令和2年3月2日(月)～6日(金)に東北大学電気通信研究所にて計2回の共同実験および研究打ち合わせを行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(a) 35-50 GHz帯におけるWBAN間干渉伝搬を想定した人体ブロッキング減衰量の測定

WBANの密集時に問題となるWBAN間干渉に対し、我々の以前の研究から人体によるブロッキングの影響が大きい60 GHz帯WBANのWBAN間干渉抑制が有効であることがわかっている。WBANユーザ密集環境では主に被/与干渉ユーザの間に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60 GHz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が、60 GHz帯はWBAN内通信においても人体による減衰が大きい。

そこで、60 GHzより周波数が低い35-50 GHz帯における伝搬路上ユーザの人体ブロッキングの減衰量を測定し、WBAN間干渉の抑制可能性を検証した。図1に測定結果を示す。測定の結果から、胴体によるブロッキングではどの周波数でもおおむね15～20 dB以上の減衰が生じ、一方、腕によるブロッキングでは35 GHzでは最大20 dBの減衰であるが、50 GHzでは最大35 dBの減衰が発生しており、腕によるブロッキングは周波数が高いほど大きくなる。これまでの検討からWBAN間干渉を抑制するために必要な減衰量は12 dBである。本測定ではどの周波数も減衰量が12 dBを超えている。この結果は60 GHzにおける人体ブロッキングの測定結果とほぼ同じであり、35-50 GHz帯では60 GHz帯と同等の伝搬路上ユーザによるWBAN間干渉抑制効果がある。

(b) WBAN間干渉伝搬を想定した人体ブロッキングのモデル化

人体を構成する物質(筋肉、脂肪、骨、血液など)は電波の減衰が大きく、人体を透過する電波のエネルギーは非常に小さくなる。したがって人体が送受信点間の見通しを遮った場合、ブロッキング減衰量は回折による電波伝搬減衰が支配的になると考えら

れる。したがって電波の回折モデルの1つであるナイフェッジ回折モデルをもとに人体のブロッキング減衰をモデル化し、測定結果との比較を行った。図2に作成した人体ブロッキングのモデルを示す。モデルの結果、胴体および腕によるブロッキング減衰の実測値と作成したモデルによる減衰量は良好に一致し、WBAN間干渉伝搬を想定した人体ブロッキングのモデル化が可能となった。

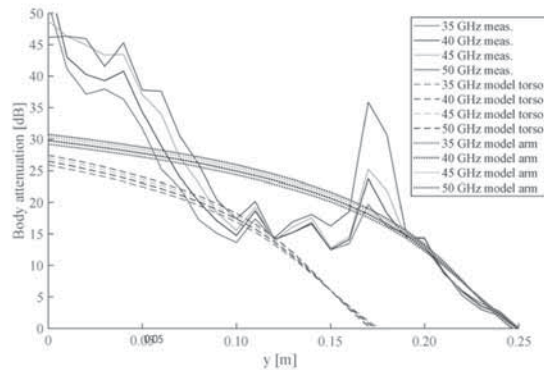


図1 人体ブロッキングの実測値および人体ブロッキングモデルの計算値

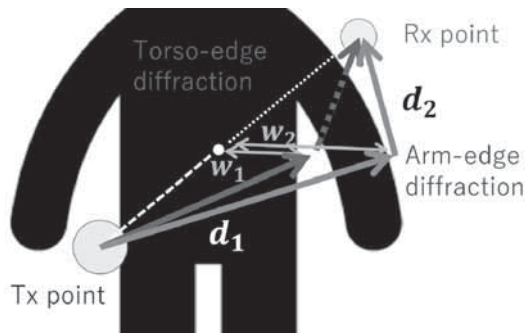


図2 WBAN間干渉伝搬を想定した人体ブロッキングモデルの概念

なお本成果は若手研究者対象型の特別支援を受けたものである。特別支援分の研究費により共同実験のための旅費が確保可能となり、電気通信研究所の設備を使用した高度な実験が可能となった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

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

[4] 成果資料

(1) 秋元浩平, 川上雅士, 戸花照雄, 磯田陽次, “35-50GHz帯におけるWBAN間干渉伝搬を想定した人体ブロッキング減衰量の測定,”信学ソ大,B-17-14, 2019年9月.

(2) K. Akimoto, M. Kawakami, T. Tobana, Y. Isota, “Human Body Blocking at 35-50 GHz for inter-WBAN interference,” The 6th International Workshop on Smart Wireless Communications (SmartCom2019), Nov. 2019,

採択番号 : H31/A29

Redesigning the D-FLIP system: a photo management system for the elderly and the technologically inexperienced

[1] 組織

研究代表者 :

Thippaya Chintakovid, Ph.D. (Assistant Professor at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

通研対応教員 :

Yoshifumi Kitamura

研究分担者 :

Siranee Nuchitprasitchai, Ph.D. (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)

延べ参加人数 : 3 人

[2] 研究経過

D-FLIP (Dynamic & Flexible Interactive PhotoShow) is a novel system proposed by ICD lab in Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, that dynamically displays digital photos using different organizing principles [1]. Various requirements for photo arrangements can be flexibly replaced or added through the interaction and the results are continuously and dynamically displayed. A usability study of the D-FLIP system was performed in this research with Thai old users who had an experience in using a computer or a smartphone. The usability results were analyzed based on Donald Norman's design principles [2]. A key design principle suggested by Donald Norman is discoverability. Discoverability refers to a design quality that helps users know the current state of the system and learn possible actions that can be performed with the system. Discoverability can be realized by the following six design principles: 1) feedback refers to information given to indicate results of actions and the present state of the system; 2) conceptual model means mental models representing users' understanding of how a system works; 3) affordances are design qualities or physical characteristics of a system indicating possible actions to be performed with the system; 4) signifiers refer to marks or indicators signifying which part of the system that users should perform an action such as signs and labels; 5) mappings are design qualities or physical characteristics showing a connection between controls, actions, and intended results. With a good mapping, users will learn which control is used to perform an action to achieve intended results; 6) constraints refer to design qualities or physical characteristics limiting users' actions.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

The analysis of the results are as follows.

- Inconsistent designs of feedback
Some functions display results after users selected the menu, for example, the menu for displaying photos on a world map, as shown in Figure 1. Some requires users to take another action after selecting the menu, for instance the menu for displaying photo details as displayed in Figure 2, and the menu for grouping photos by color, people, and event.

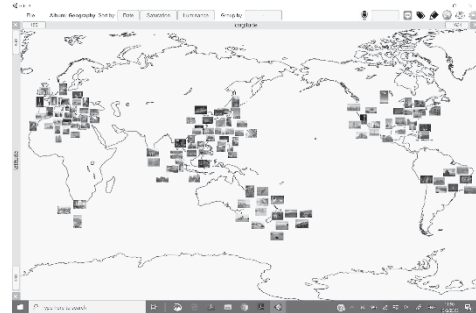


Figure 1: The menu for displaying photos on a world map



Figure 2: The menu for displaying photos details

- Unclear feedback

The scroll bars displayed after users selected the menu 'Date,' 'Saturation,' and 'Luminance' were hard to see. Most users hardly noticed these scroll bars because their colors were similar to the background. Moreover, the scroll bars of 'Saturation,' and 'Luminance' were positioned to the left and the right of the screen. These positions did not catch the users' attention. Numbers signifying saturation values and luminance values were also hard

to comprehend. The users were not able to understand the meaning of each number whether it was high or low values.

- Mismatch between users' mental model & developers' mental model

For the menu 'Date,' 'Saturation,' 'Luminance,' users did not expect that the scroll bars were arranged based on X, Y, Z axes. As illustrated in Figure 2, users expected that they could only select the picture they wanted to know the details. They did not expect that they had to select the icon 'label' before they touched a photo and saw its details.

- Difficulty to perceive affordances

Colors of the scroll bars of the menu 'Date,' 'Saturation,' and 'Luminance' were similar to the background. It was difficult for users to notice the scroll bars and to determine possible actions of the scroll bars.

- Missing signifiers

For the menu to display photo details and group photos by color, people, and event, after users selected the menus, no signifiers indicated that users had to select desired photos.

- Clear signifiers

The icon 'microphone,' 'world map,' 'three-dimensional rotation,' and 'two hands with rotation movement' are examples of clear signifiers. These icons clearly suggest possible actions of the system.

- Unnatural mappings

The split scroll bar is an example of unnatural mapping. Usually, a physical or virtual bar is displayed as a one long bar and can be moved or slid from left to right. Moving left usually indicates an increase, while moving right signifies a decrease.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Our usability results have revealed troubles the Thai elderly users had while using the D-FLIP photo management system. These usability problems were mainly resulted from the mismatch between the system design and users' ability and expectations. However, these usability results were acquired merely from a group of Thai elderly users. Another interesting research question is whether there will be cultural differences in using the D-FLIP system. Potential future research is to examine cultural effects on the design of D-FLIP photo management system. Particularly, a comparison between Thai and Japanese culture can be carried out.

Below shows a photo taken during the data collection sessions.



Figure 3: A snapshot during the experiment

参考文献

1. Vi C, Takashima K, Yokoyama H, Liu G, Itoh Y, Subramanian S, Kitamura Y: Dynamic Flexible and Interactive Display Method of Digital Photographs, Entertainment Computing, Elsevier, Volume 5, Issue 4, December 2014, Pages 451-462, 2014
2. Norman, D. (2013). The design of everyday things. Basic Books.

[4] 成果資料

A poster presentation at FY2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects: Compass for Next-Gen ICT on 20th February, 2020 at RIEC, Tohoku University.

Redesigning the D-FLIP System: A Photo Management System for the Elderly and the Technologically Inexperienced

Innoppa Chantakorn
Information Landscape Research Unit, and
Department of Library Science, Faculty of Arts
Chulalongkorn University, Thailand

Sara no Anuchitratana
Department of Information Technology,
Faculty of Information Technology and Digital
Innovation, King Mongkut's University of Technology
North Bangkok, Thailand

Bai Hanayo, Kazuoaki Fujita & Yoshitami Kuramae
Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University, Japan

Background

Thailand has become an aged society. A number of Thai elderly people enjoy taking photos with their smartphones. Our research interest was 'how the elderly can be technologically facilitated in performing their daily activities, which was the activity of managing photos in this study.

Our research objectives are as follows:

- To redesign the D-FLIP system, a photo management system developed by Information Center, Design Laboratory, RIEC, to make it accessible for the elderly users and anyone who has limited experience with technology use.
- To perform a usability test of the redesigned D-FLIP system.

Usability Testing

1. Open existing photo album
2. Date
3. Luminance
4. Saturation
5. Display photo's details
6. Filter
7. People
8. Event
9. Display photos on world map
10. Display photos on 3D space
11. Search photos using voice recognition
12. Filter by album
13. Add new photo
14. Search photos using geo-location
15. Filter by album
16. Search photos using geo-location

Results

The study applied Norman's design principles [1], to analyze usability test results.

Feedback
Users did not expect that the scroll bars were arranged based on X, Y, Z axes. They expected that they could only select the picture they wanted to know the details. They did not expect that they had to select the icon 'label' before they touched a photo and saw its details.

Signifiers
The icon 'microphone,' 'world map,' 'three-dimensional rotation,' and 'two hands with rotation movement' are examples of clear signifiers. These icons clearly suggest possible actions of the system.

Conceptual Model
Users did not expect that the scroll bars were arranged based on X, Y, Z axes. They expected that they could only select the picture they wanted to know the details. They did not expect that they had to select the icon 'label' before they touched a photo and saw its details.

Mappings
The split scroll bar is an example of unnatural mapping. Usually, a physical or virtual bar is displayed as a one long bar and can be moved or slid from left to right. Moving left usually indicates an increase, while moving right signifies a decrease.

Unnatural mappings

[1] Norman, D. (2013). The design of everyday things. Basic Books.
https://doi.org/10.1002/9781118134898

採択番号：H29/B02

磁性材料の微細構造の観察および制御を通じた 次世代通信機器用磁気デバイスの研究

[1] 組織

研究代表者：

池田 慎治

(公立小松大学生産システム科学部)

通研対応教員：

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

柁 修一郎 (東北大学電気通信研究所)

藪上 信 (東北大学大学院医工学研究科)

遠藤 恭 (東北大学大学院工学研究科)

小澤 哲也 (東北学院大学工学部)

直江 正幸 (電磁材料研究所)

室賀 翔 (秋田大学大学院理工学研究科)

山本 健一 (琉球大学工学部)

佐藤 敏郎 (信州大学工学部)

曾根原 誠 (信州大学工学部)

中山 英俊

(長野高等専門学校電子制御工学科)

井上 光輝 (豊橋技術科学大学大学院)

内田 裕久 (豊橋技術科学大学大学院)

中村 雄一 (豊橋技術科学大学大学院)

高木 宏幸 (豊橋技術科学大学大学院)

後藤 太一 (豊橋技術科学大学大学院)

本田 崇

(九州工業大学大学院工学研究院)

竹澤 昌晃

(九州工業大学大学院工学研究院)

福永 博俊 (長崎大学大学院工学研究科)

中野 正基 (長崎大学大学院工学研究科)

柳井 武志 (長崎大学大学院工学研究科)

延べ参加人数：22人

[2] 研究経過

本プロジェクト研究会は、磁気分野に関するアクチュエータ、磁気センサ、各種インダクタ素子に代表される「磁気デバイス」を発展させることを目的としている。これらの今後の更なる発展のためには、それらを構成する磁性材料を中心とする材料の特性やその発現の物理的メカニズムを詳細に把握することが重要である。さらにそれを踏まえた上で材料を適切に活用するための技術開発が必要である。そこで、関連分野の研究者間の情報交換を促進し、有益な情報を共有、活用するために、次の各分野を専門とする研究者によって構成される研究会を組織している。

1. 磁性材料の微細構造の観察および特性評価
2. 磁性材料の微細構造制御による材料開発
3. 磁気機能性材料のデバイス応用

本年度は第3年度であり、前年度までに2回の共同プロジェクト研究会および1回の協賛研究会を通じて議論が行われた。これまでの研究会においては、磁気および磁性材料に関する研究発表を通じて議論が行われ、磁気的な微細構造の観察手法、磁性薄膜および磁性微粒子の生成、精密加工への応用、高周波磁気特性の利用など、物理、化学から、デバイス応用まで幅広い視点から議論が行われた。本年度においても令和2年3月2日に共同プロジェクト研究会を企画し、磁気的計測手法や磁気的駆動技術など5件の発表プログラムを予定していた。出席者は20名程度を見込んでいたところであるが、新型コロナウイルスの影響により、直前でやむを得ず中止した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は前年度までの成果を受け、新たな研究分担者も交えて研究会を企画していたところである。共同プロジェクト研究会の中止により、予定されて

いた各研究者の発表は、各種学会などにて行われると考えられる。しかしながら、規模の大きな学会では、プログラム編成の都合もあり発表分野は細分化されている。そのため、本共同プロジェクト研究会の参加者が一堂に会して議論する機会にはないのが現実であり、本研究会の貴重さが改めて実感される。本年度の研究会を中止せざるを得なかったことは残念であるが、このような幅広い視点からの議論を通じて研究連携を拓げる試みは重要であると考えられる。

[4] 成果資料

本年度の成果資料を示す。

1. 竹澤 昌晃, 瀧 泰洋, 深瀬 美紀子, 佐藤 誉将, 富田 祐也, “軟磁性体粉末の磁区構造と磁化過程,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-19-079, pp. 1-6 (2019)
2. 江口 徳彦, 森本 祐治, 竹澤 昌晃, 松本 紀久, “Nd-Fe-B 系焼結磁石の加圧・加熱による磁区構造変化,” 第 43 回 日本磁気学会学術講演会, 27aC-5 (2019)
3. 向野 伸, 竹澤 昌晃, 森本 祐治, 宮田 大史, “フラックスゲート磁気センサの小型・高感度化に向けた 磁性アモルファスワイヤ作製装置の開発,” 2019 年度 (第 72 回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会, 04-1A-07 (2019)
4. M. Takezawa, “Analysis of Magnetization Process of Magnetic Materials by In-situ Magnetic Domain Observation with a Kerr Microscope,” 12th International Conference on Ferrites (ICF12), Boston, ICF-34 (2019)
5. 向野 伸, 竹澤 昌晃, 森本 祐治, 宮田 大史, “フラックスゲート磁気センサの小型・高感度化に向けた磁性アモルファスワイヤの作製,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-19-200, pp. 19-22, (2019)
6. 坂倉 健治, 竹澤 昌晃, 町田 浩明, 藤原 照彦, “磁区観察を用いたNd添加Sm-Co系磁石の減磁過程の検討,” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-19-213, pp. 21-24, (2019)
7. Shinji Ikeda ; Sotoshi Yamada, "Magnetic particle composite materials for magnetic sensor made by fused deposition method", Proc. of 2019 13th International Conference on Sensing Technology(ICST), DOI:10.1109/ICST46873.2019.9047742 (2019.12)
8. M. Nakano, S. Takeichi, K. Inoue, K. Takashima, A. Yamashita, T. Yanai, and H. Fukunaga, "PLD-fabricated Pr-Fe-B thick film magnets applied to small motors", DOI:10.1063/1.5130004, AIP Advances(2020.01)

9. T. Yanai, R. Tanaka, R. Ueno, K. Mieda, J. Kaji, T. Morimura, A. Yamashita, M. Nakano, and H. Fukunaga, "Magnetic properties of Fe-Ni-system films prepared by electroless deposition", DOI:10.1063/1.5130446, AIP Advances(2020.01)
10. T. Yanai, Y. Omagari, S. Furutani, A. Yamashita, N. Fujita, T. Morimura, M. Nakano, and H. Fukunaga, "High-temperature properties of Fe-Pt film-magnets prepared by electroplating method", DOI:10.1063/1.5130466, AIP Advances(2020.01)
11. 竹澤 昌晃, “Kerr 効果顕微鏡で観察した磁性体の磁区構造と結晶組織の比較,” 令和 2 年電気学会全国大会, S2-1, pp. S2(1)-S2(4) (2020)
12. M. Nakano, K. Takashima, A. Yamashita, T. Yanai, and H. Fukunaga, "Relationship between target materials and various properties of PLD-made isotropic Nd-Fe-B films", DOI:10.1016/j.jmmm.2020.166557, Journal of Magnetism and Magnetic Materials (2020.05)

採択番号：H29/B03

高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスと その集積システムに関する研究

[1] 組織

研究代表者

知京 豊裕

(国立研究開発法人 物質・材料研究機構)

通研対応教員

羽生 貴弘

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

遠藤 哲郎

(東北大学 大学院工学研究科)

蓮沼 隆

(筑波大学 数理物質科学研究科)

中山 隆史

(千葉大学 大学院理学研究科)

猪川 洋

(静岡大学 電子工学研究所)

奈良 安雄

(兵庫県立大 大学院工学研究科)

生田目 俊秀

(物質・材料研究機構 並木ファンダリー)

大毛利 健治

(株式会社デバイスラボ)

村口 正和

(北海道科学大学 工学部)

馬 奕涛

(東北大学 大学院工学研究科)

新居 浩二

(ルネサスエレクトロニクス株式会社)

上嶋 和也

(ルネサスエレクトロニクス株式会社)

角嶋 邦之

(東京工業大学 工学院)

延べ参加人数：43人

[2] 研究経過

今後のエネルギー利用は、効率の良い電気エネルギーを利用する形へのシフトがさらに加速していく

と予測されており、電気エネルギーの高効率利用技術は益々重要となっていく。電気エネルギーの高効率利用のためには、エネルギー変換における損失の低減と最終需要における消費電力の削減が必要である。まず発電により生み出された電力エネルギーを最終的に仕事として取り出すまでには、複数回のエネルギー変換を経るが、その過程でのエネルギー損失の削減(変換効率向上)が必要である。加えて、電気エネルギーを利用する家電機器から情報機器に至る電気機器の消費電力を削減することも非常に重要となる。特に、近年単独用途の家電等だけではなく、ハイ・パワーとハイ・コンピューティングの様々な高度な機能を同時に仕込まれている電気自動車やドローンなどのシステムチックな応用領域において、これら高効率な電力変換と低消費電力は、将来的には一体のプラットフォームとして扱っていくべきものである。そのカギを握るのが、半導体デバイス技術をベースとする集積回路技術である。

電力変換においては、半導体デバイスとそれによる変換回路およびその制御技術が不可欠であり、また、あらゆる電気機器には、半導体デバイスとそれに基づくメモリ回路と演算回路によって構成されている。従来、電力変換用の半導体素子と集積回路用の半導体素子は、目的用途に応じ、それぞれ別々のアプローチで発展を遂げてきたので、同一集積製造技術のプラットフォーム上の実装が困難である。しかし、集積回路の更なる消費電力削減において、電源の供給をマネジメントするパワーゲーティング技術が不可欠になり、待機中だけではなく動作中でもパワーゲーティングを適用するために、集積回路の動作速度と同レベルの高速応答できるパワーが非常に重要となる。このシリコン半導体を超える高速性能と集積システム一体化を求めるために、個々のデバイス技術、回路技術を高めていくだけでなく、両者を融合していくという視点での研究開発が不可欠であるが、材料とデバイス技術から、プロセスと集積回路技術まで色々な難題が存在して、未だその将来像は十分明らかとなっていない。

本プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、

電気エネルギーの高効率利用のための将来の半導体デバイスとその集積システムのあるべき姿について、緊密に研究討論を行い、その学理と工学技術の構築を目指して活動を行ってきた。本年度は、第3年度として、材料・物性の研究者からデバイス回路研究者まで幅広い分野での人材により構築された研究体制を活かして、高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムについて議論を進めた。当該技術分野での議論を深めていくうえで産業界からのニーズの吸い上げは不可欠であるので、将来の産学連携も意図して、産業界に積極的に声掛けを行い、企業からの研究者も招聘するなどした上で、研究会を開催するに至った。

今年度は、最近のデバイス開発におけるマテリアルインフォマティクスによる材料開発とデバイス構造開発の動向、および、GaN 及び GeSn 系 IV 族などの新規材料を用いた高効率な電力変換用のパワー半導体デバイスや光電子融合デバイスに関する研究開発状況とその今後の方向性などを把握することを目的として、2020年2月22日に研究会を開催した。集積エレクトロニクス分野の産官学の中核を担う研究者らによる研究会 NWDTF および通研共同プロジェクト H29B05 と連携し、共同で開催することができた。当日は、研究会メンバーによる発表に加え、最先端の半導体デバイスの材料プロセス技術動向とその応用展開の方向性などについて、産業界、国の研究機関からの研究者らを招聘し、技術討論を行った。招待講演者に加え、追加招集した産学の研究者らと、国内外の当該分野の現状についてディスカッションを実施し、単に技術討論のみにとどまらず、分野や立場を超えた今後の研究開発の目指すべき方向性について意見交換を行うことができた。なお、研究会の参加者は、産学官の研究者15名、学生11名以上であった。

これに加えて、本分野の主要学術論文誌への論文投稿と、国内外の主要学会での随時会合を持ち、将来の高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムの目指す方向について意見交換・技術討論を行うなど本プロジェクトによる研究者ネットワークの拡大を進めた。本プロジェクトの活動を通して得られた知見を基に、今後の電力変化技術と集積回路技術を融合した新たなパワー集積プラットフォームに向けた技術戦略についても技術討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、電気エネルギーの高効率利用に向けたパワーエレクトロニクスと集積回路技術の融合技術の観点から、今後の技術課題の明確化と将来の集積システムの姿を描くことを目指し、プロジェクトの活動を行った。

開催したプロジェクトの研究会においては、パワーエレクトロニクスと集積回路技術との融合という観点で、材料工学・デバイス工学・集積回路工学など異なる学術的背景を有する研究者が連携できるよう各分野の研究者を複数人配置し、産業界から学界に渡って議論を出来る枠組みを構築した。

その体制を積極的に活用して、プロジェクト研究会においては、最近の国内外のデバイス開発の状況を俯瞰し、マテリアルインフォマティクスなどの分野での日本の取り組みとして最新進捗結果を発表し、をベースにした研究開発プラットフォーム（スマートラボ）の実現について討論を行い、集積回路による性能要求に応じた効率的な開発アプローチの優位性と将来性を確認した。加えて、GaN や GeSn 系 IV 族混晶薄膜のパワーデバイスと光電子融合デバイス応用における最新の研究成果などを起点として、パワー半導体デバイスおよびその材料に関する課題抽出と今後の技術開発と応用展開の動向などについて討論を行った。さらに AlN のスパッタ成膜などプロセスに関する議論もおこなった。特にこのプロジェクトでは大手半導体企業の若手研究者や、国の研究機関の研究者らを招聘し、また同じ集積エレクトロニクスに関する共同プロジェクト (H29B05) メンバーと議論を行うことで、単に当該分野を牽引する大学の研究者だけによる議論に止まらない産業界のニーズと大学などの研究機関が持つシーズの適合や、より広い分野・立場からの研究者らによる活発な議論を行い大きな収穫が得られた。これらの議論を通して、パワーエレクトロニクスと集積回路技術の技術領域融合及び、学界と産業界の業界連携だけではなく、幅広い地域の研究者ネットワークにおける議論と検討により、現時点での最新研究動向と将来パワー半導体集積システムの新たな姿をより鮮明に描くことが出来た。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本年度は、本研究会において、多角的視点から今後のナノ構造半導体材料とその新機能半導体デバイス技術について意見交換を行うことができた。これにより、ナノ半導体材料に基づくデバイス・回路が

要求する電子システムに対する分野を横断した共通認識と、それに基づく今後の技術戦略の提案に向けて前進した。これらの知見を来年度以降の国の大型予算獲得や、新たな形での産学連携研究開発などに向けた新規プロジェクトへの発展につなげていく。

このような電源と計算回路を一体化した新たな集積システムは、電気自動車、ロボット、IT サーバシステム、及びモバイルデバイスなど多くの異なる技術分野と応用領域に対する共通プラットフォームになることが期待されている。そのため、本研究会での成果は、半導体分野のみならず、様々な領域を広くカバーするような波及効果を持つと考えられる。

高効率な電気エネルギー利用は喫緊の社会的要請であり、また、エレクトロニクス産業は依然として日本の基幹産業であるので、本研究会の目指す新たな集積システムのあるべき姿の探索は、学理の方向性の解明のみならず、今後の日本の産業の発展において大きな意義があると考えられる。それに、現在半導体分野で日本が主導権を握れていない原因の一つが、社会科学に立脚した経営的視点による研究のマネジメントの欠如であり、この視点は大学の研究者、企業の研究者が密接に議論しあう場があってこそよく対策できる課題であり、本プロジェクトの本分野への貢献はただの研究開発という枠組みにとどまらないと考える。

加えて、本プロジェクトでは、博士課程の学生や若手研究者にも研究報告の機会を積極的に与えている。若手研究者が大学の研究者からのみならず企業側の研究者の視点からも意見を聞くことの出来る貴重な場となっている。若手研究者の育成という意味でも、重要な役割を果たしていると考えている。

[4] 成果資料

- (1) Shinjiro YAGYU, Michiko YOSHITAKE, Toyohiro CHIKYOW, Takahiro NAGATA. 機械学習を用いた光電子収量分光 (PYS) の閾値予測の測定データを用いた検証. *Vacuum and Surface Science*. 62 [8] (2019) 504-510 10.1380/vss.62.50
- (2) Kota Tatejima, Takahiro Nagata, Keiji Ishibashi, Kenichiro Takahashi, Setsu Suzuki, Atsushi Ogura, Toyohiro Chikyow, “ Effects of substrate self-bias and nitrogen flow rate on non-polar AlN film growth by reactive sputtering”. *Japanese Journal of Applied Physics*. 58 [SD] (2019) SDDG07 10.7567/1347-4065/ab088f

- (3) Yoshiyuki Yamashita, Toyohiro Chikyow. Origin of Fermi level pinning in high-k gate stack structures studied by operando hard x-ray photoelectron spectroscopy. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*. 238 (2020) 146890 10.1016/j.elspec.2019.146890
- (4) Tetsuo Endoh, “Innovative semiconductor technology for energy-saving society and expectations for Iwate”, 令和元年度第2回「北上川バレープロジェクトシンポジウム」, 2020.02.10.
- (5) Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, and T. Endoh, “A free-extendible and ultralow-power nonvolatile multi-core associative coprocessor based on MRAM with inter-core pipeline scheme for large-scale full-adaptive nearest pattern searching”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 59, No. 5G, pp. SGG18 1-11, 2020.03.09.

採択番号：H29/B05

ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスと その新概念情報処理応用に関する研究

[1] 組織

研究代表者

渡部 平司 (大阪大学 大学院工学研究科)

通研対応教員

羽生 貴弘 (東北大学 電気通信研究所)

分担者：

遠藤 哲郎

(東北大学 大学院工学研究科)

宮崎 誠一

(名古屋大学 大学院工学研究科)

内富 直隆

(長岡技術科学大学 工学部電気系)

白石 賢二

(名古屋大学 大学院工学研究科)

執行 直之

(東京工業大学 大学院総合理工学研究科)

渡邊 孝信

(早稲田大学 理工学術院)

初貝 安弘

(筑波大学 大学院数理物質科学研究科)

影島 博之

(島根大学 総合理工学研究科)

細井 卓治

(大阪大学 大学院工学研究科)

村口 正和

(北海道科学大学 工学部)

馬 奕涛

(東北大学 大学院工学研究科)

延べ参加人数：45人

[2] 研究経過

集積システムに対する要求と期待は、年々大きなものとなってきている。たとえば、自動運転などに代表されるリアルタイムでの物体認識や学習などの情報処理技術や、IoT/IoE のための超低消費電力知的 VLSI などの技術に対する社会的要請が高まっており、高速な情報処理と同時にそれらをエッジ端末

で実現するための集積システムの超低消費電力化が不可欠である。しかし、現状のリアルタイムでの物体認識などは、GPU や FPGA などの揮発な画像処理チップによって実装されており、その動作上、低消費電力化に限界があり、実用化において大きな制約と課題を抱えたままである。

近年、不揮発メモリを利用して待機時にチップの電源を落とすパワーゲーティング技術を導入した知的 VLSI の研究が大変注目が浴びている。しかし、ReRAM 等の不揮発混載メモリのパワーゲーティング応答速度はロジック計算回路の処理速度とギャップが存在しており、チップフル動作中のパワーゲーティングが不可能であるため、フル動作時の消費電力削減は非常に困難である。自動運行等の実時間性能が求められる応用領域への知的 AI 処理 VLSI の超低消費電力化はまだ空白領域である。この課題に対し、我々は、ナノ材料の新しい物性をシリコン集積回路に融合した新概念のデバイスとそれに基づく新たな情報処理の可能性に着目してきた。ナノスケールにおける新概念デバイスの動作原理にまで立ち回り、材料の検討を行い、デバイスを構築し、集積回路の基盤技術であるシリコン技術との融合を図ることで、新概念のデバイスを創出し、それによる新たな情報処理ハードウェアの技術を模索することを目的に本共同プロジェクトの共同研究会を立ち上げ研究を行ってきた。

本プロジェクトは本年度が第3年度であった。本年度は、材料・物性の研究者とデバイス回路研究者を一同に集めて、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスについて緊密な研究討論を行い、ナノスケール時代でも安定で高速動作可能な新概念デバイス技術とそれによる新たな情報処理技術の最新成果、将来の方向性と将来のデバイスのあるべき姿を含めて技術開発の指針を得た。つきまして、材料技術、デバイス技術、AI 知的情報処理技術と集積回路技術の各分野におけるプロジェクト内メンバーの研究進捗と他グループの最新研究成果に巡って、分野を横断した技術討論を行うことにより、動作中のパワーゲーティングに適した不揮発メモリ素子として、磁気トンネル抵抗 (MTJ) 素子を中心としたス

ピンデバイス性能優位性と VLSI 実装可能性について検証を進めた。

特にナノ材料・プロセスの物性がデバイスに与える影響と VLSI 実装における不揮発メモリ素子の性能要求を中心に実装例の結果をもって検討を進め、本分野の主要研究会である SSDM などにおいて、随時合会を持ち、Society5.0 の基盤となる将来のエレクトロニクス技術に必要なナノ材料、そのデバイスの動作原理及びハードウェア実装アーキテクチャについて意見交換を進めた。そのうえで、本年度の研究会として、2020 年 2 月 22 日に当該分野の中核を担う産官学の研究者による研究会 NWDTF および通研共同プロジェクト H29B03 と連携し、共同で研究会を開催することができた。当日は研究会メンバーによる発表に加え、最先端の半導体デバイスの材料プロセス技術動向とその応用展開と市場動向までの状況について、公的研究機関などから招待講演者を招聘し、技術討論を行うことで、本テーマの深化を進めた。なお、参加者は研究者 15 名、学生 11 名以上と盛況であった。また、招待講演者に加え、全国に渡って追加招集した学術研究者らと、国内外の当該分野の現状と、その中で今後の我が国が目指すべき方向は何かということテーマにパネルディスカッションを実施し、単に技術討論のみにとどまらず、分野や立場を超えた意見交換を行うことができた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本研究会では、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとそれに基づく新概念情報処理の将来像が明らかとなることおよび、その技術目標が明確化することを目指し進めてきた。これまで AI などの新たな情報処理技術については、ソフトウェア面から語られることが多かったが、社会的に実装することが期待され、近年新たな情報処理に必要な集積システムへの研究展開が盛んに行われている。本研究会では、この視点から技術の研究開発動向と将来技術を明らかにしていくことを目指し、研究会を通じて議論を進めて、ソフトウェアからハードウェアまでの材料デバイスへの性能要求を明確化し、それに応じたナノ材料とデバイス技術の融合の新研究アプローチについて検討してきた。

本年度は、本プロジェクト研究を通じた研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大と技術・市場の動向検討に力点を置き活動を進めた。上述したように、全国の産学研究機関からの集積エレクトロニクス分野の中核をなす研究者らによる研究会 NWDTF との共同で研究会を企画・開催し、材料・デバイス・集積回路の幅広い領域の研究者を招聘し

た会議での総合的・系統的な討論により、ネットワーク拡大に寄与するだけでなく、研究開発アプローチの確立することができた。そして、材料物性から集積システム実装まで一貫した研究討論により、技術開発だけでなく、その原動力である実用展開方向の明瞭化も図っている。当該研究分野では、地域と研究分野を渡った研究者の交流の場が、非常に少なくなっている状況が続いており、本プロジェクトによる多様な研究者の意見交換の場づくりは、本プロジェクトの当該研究分野へ貢献できたと考える。

開催した研究会においては、新規情報処理に不可欠なメモリに必要なデバイス・プロセス技術という観点からの研究開発状況および、そのメモリに基づく超低消費電力 AI システム実証の研究開発状況と課題の抽出を主眼に置いて研究会を開催した。これにより、IV 族混晶の新材料を含むナノスケールの材料技術とその光電子デバイスとパワーデバイスへの応用、及び、スピンドデバイス技術とそのシリコン混載集積回路技術へ応用展開において調査研究と成果報告を行い、材料の特性を最大限引き出しつつ、新規情報処理に求められるシステム全体としての高機能化の要求を満たしていくためのデバイスについて、その研究方向性の端緒を得た。

加えて、研究会のもうひとつのテーマとして、日本の半導体産業の今後について、多角的な議論を行い、これについても今後新たな形をとって継続的に議論していくべきという結論に到達した。

以上述べたように、本年度は、ナノ材料とシリコン技術の融合による新規情報処理システム応用に向けて、本プロジェクトの取り組みを総括し、今後の更なる課題の明確化と発展について深化させることができた。多分野を横断した研究者を多数集め、研究会を組織し活発な議論が行うという当初意図した目的を達成することが出来た。技術討論などを通じ、今後、益々重要になるエレクトロニクス材料・デバイス技術に立脚した情報通信産業、半導体産業を初めとする電子・情報技術分野における成長の維持・競争力の強化に貢献することが期待できる。本研究会の活動により、今後の新規の情報処理 VLSI における低消費電力化技術の役割と研究開発の目指すべき方向性について端緒が得られたと考える。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは大学に籍を置く研究者のみならず、企業の研究者とコラボレーション研究会であり、本年度はプロジェクト研究会では、物性理論などのサイエンス分野の研究者と、材料・製造プロセス・デバイス・回路のテクノロジー分野の研究者を招聘

者も加えて組織し、当該技術を検討した。

この本研究会の枠組みの中で、新たな社会的ニーズとして浮上してきている自動運転やIoT応用について、ナノ材料とシリコン技術の融合による新規情報処理基盤技術が果たす役割について実例を持って討論し明確化してきた。これにより将来に向けた技術目標が体系化されていくと期待できる。産業界の主力プレーヤーが短期間でダイナミックに組変わっていく本分野においては、最先端の研究成果と産業界のニーズを踏まえて、将来の技術の方向性を見出していこうという本プロジェクトは、非常に大きい貢献ができると思う。

本年度は、技術討論以外に、本プロジェクトの活動を通して、将来の大型研究開発プロジェクト獲得や大型の産学連携研究への発展へ向けて方向性を模索する段階である。社会的要請や、産業界からのニーズに基づく技術の成立性の視点に加えて、新概念情報処理に不可欠なサイエンスの視点からコア技術とその課題を検討してきた。その中に多くの若手研究者を巻き込み、議論・発表機会を提供してきており、当該分野の発展において、その波及効果は大きい。本研究会の活動を通じて、当該分野の活性化に寄与することを目指し、将来の集積エレクトロニクスを構築していく上で必要不可欠である日本の更なる競争力強化に大きく貢献するものとする。

[4] 成果資料

- (1) Y. Wada, K. Inoue, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Demonstration of mm long nearly intrinsic GeSn single-crystalline wires on quartz substrate fabricated by nucleation-controlled liquid-phase crystallization", Japanese Journal of Applied Physics, 58, (SB) pp SBBK01-1~6 (2019).
- (2) M. Nozaki, D. Terashima, T. Yamada, A. Yoshigoe, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Comparative study on thermal robustness of GaN and AlGaN/GaN MOS devices with thin oxide interlayers", Japanese Journal of Applied Physics, 58, (SC) pp SCCD08-1~6 (2019).
- (3) T. Endoh, "STT-MRAM and CMOS/MTJ Hybrid AI processors for Low Power Edge System", 8th International Symposium on Control of

Semiconductor Interfaces (ISCSI), Sendai, Japan, 2019. 11. 27.

- (4) Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, and T. Endoh, "An Ultra-Low-Power STT-MRAM-Based Multi-Core Associative Coprocessor with Inter-Core Pipeline Scheme for Large-Scale Full-Adaptive Nearest Pattern Search", 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Nagoya, Japan, 2019. 09. 4-9.
- (5) Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, and T. Endoh, "A free-extendible and ultralow-power nonvolatile multi-core associative coprocessor based on MRAM with inter-core pipeline scheme for large-scale full-adaptive nearest pattern searching", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 59, No. 5G, pp. SGG18 1-11, 2020. 03. 09.

採択番号：H29/B06

IoT 時代におけるスマートスペクトラムとその応用

[1] 組織

研究代表者： 藤井 威生
 (電気通信大学 先端ワイヤレス・
 コミュニケーション研究センター)
 通研対応教員： 亀田 卓
 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

安達 宏一 (電気通信大学)
 有吉 正行 (NEC)
 安在 大祐 (名古屋工業大学)
 石津 健太郎 (情報通信研究機構)
 石橋 功至 (電気通信大学)
 衣斐 信介 (同志社大学)
 梅林 健太 (東京農工大学)
 太田 真衣 (福岡大学)
 大野 光平 (明治大学)
 大山 哲平 (富士通)
 大和田 泰伯 (情報通信研究機構)
 金子 めぐみ (国立情報学研究所)
 田久 修 (信州大学)
 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 (京都大学)
 橋浦 康一郎 (秋田県立大学)
 三宅 裕士 (三菱電機)
 山本 高至 (京都大学)
 石川 直樹 (広島市立大学)
 小澤 佑介 (茨城大学)
 稲毛 契 (東京都立産業技術高専)
 佐藤 光哉 (東京理科大学)
 須藤 克弥 (電気通信大学)
 馬 靖 (東京理科大学)
 秋元 浩平 (秋田県立大学)
 岩田 大輝 (東京農工大学)

延べ参加人数：31人

[2] 研究経過

IoT (Internet of Things) 時代の無線通信ネットワークにおいて、有限な周波数資源をどのように利活用

すべきかを長期的視野で議論する必要があると考えられる。本課題では、多種多様な要求条件のある IoT における周波数資源利用の考え方として、システム要求と周波数状態の双方を考慮し適応的に無線通信ネットワークを設計するスマートスペクトラム技術を中心として、IoT 時代に求められるスマート無線化へのアプローチや最新技術動向を探った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2019年12月26日(木)～27日(金)に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と共催で今年度第1回(通算第4回)の研究会を開催した。スマートスペクトラムとその応用分野に関連する講演を行い、全員で議論した。主な講演内容を以下に示す。

(1) 電磁波イメージングに基づいた高精度インプラント機器位置推定の検討

(安在 大祐・名古屋工業大学)

高度医療の要求の高まりを背景にカプセル内視鏡を始めとしたインプラント医療機器の普及が加速的に進んでいる。インプラント医療機器において、その位置情報を取得することにより治療行為の高効率化や機器動作制御への応用が可能となる。このためインプラント医療機器の位置推定に関する研究が広く行われているが、そのほとんどは体内に存在する医療機器自身が信号発信源であることを前提としたものであり、無線通信機能を持たないインプラント医療機器を推定対象とすることは困難である。これに対し、本研究は人体に電磁波を照射することで生じる散乱電界を用いる電磁波イメージングに基づいた手法に着目し、人体内部構造情報を事前に必要としない位置推定法を検討する。電磁波イメージングによる体内内部構造情報推定において分解能の点で課題があったが、インプラント機器と人体の電気定数の大きな差異に着目することにより電磁波イメージングの分解能向上について試みを行った。また、検討する位置推定法に対して電磁界シミュレーションによる位置推定精度の評価を行い、電磁波イメージングによるインプラント機器位置推定の高精度化

の可能性を検討した。

(2) 物理層研究の再現性を保証する OSS 活動と超並列演算によるシミュレーション高速化

(石川 直樹・広島市立大学)

一般に実験結果の再現には高度な専門性が求められる。分野内の常識や既存研究の仮定と照らし合わせて正確に実験内容を理解する必要がある。簡単な作業ではない。多くの時間を費やした結果、論文中の結果が誤っていると判明する場合がある。悪意等は一切なく、数式の書き間違いやソースコードのバグを原因とする場合が特に多いため、誰もがそのような論文を発表するリスクがある。理論研究において、科学的な正しさを第三者が容易に検証できるようにするためにはどのような取組みが必要だろうか。

本発表では研究再現性を保証するための取組みとして、発表者自身が開発しているオープンソースソフトウェア (OSS) について紹介する。まず、諸分野全体および無線通信ネットワーク分野における国際動向や様々な営利・非営利活動について説明する。次に、取組みの一例として発表者が開発している IMToolkit について紹介する。本ソフトウェアを導入すると、コマンド 1 行で論文中のシミュレーション結果を再現できる。これに関連して、科学的な正しさを保証するための「テスト駆動研究」という取組みも紹介する。ソースコードが正しくともその実行環境が限られ高価な計算機を必要とするようでは再現できないのと同じである。そこで、対象をモンテカルロシミュレーションに限定した上で、GPGPU とテンソル演算による高速化のノウハウについて説明する。数値実験を通して、高性能な CPU を用いるよりも比較的安価な GPU を用いた方が速く計算できることを示す。最後に、ソースコード公開の是非を被引用数、潜在リスク、著作権法の観点から議論する。

発表者は以上の OSS 活動を通して自身が興味を持つ分野の研究開発を一層加速したいと考えている。スマートスペクトラムとその関連分野における現状を踏まえ、今後私たちが目指す研究開発の方向性について議論したい。

(3) 無線環境における並列分散確率的勾配降下法に関する検討 (佐藤 光哉・東京理科大学)

複数の計算資源を活用して高速に機械学習を実施する手法に関する検討が盛んに行われている。このような分散的な学習は通常、1) 各計算資源 (以下端末) における学習機の更新と、2) 更新した学習機の

パラメータの周辺端末との共有の 2 つを繰り返す。しかし、一般的に表現力の高い学習機を構築するためには無数のパラメータが必要となる。そのため、モデル共有時の通信時間がボトルネックとなり、繰り返し回数に対して優れた学習精度を得られたとしても実行時間の観点で非実用的な特性になる恐れがある。

本発表では、集中制御サーバを仮定せず、学習が分散端末間で完結する方式である並列分散確率的勾配降下法 (D-PSGD: Decentralized Parallel Stochastic Gradient) を無線環境へ適用した際の通信設計について議論する。特に、学習に要する実行時間の短縮を目的として、パラメータ共有時の各端末の送信レート設計に着目する。D-PSGD は、繰り返し回数の観点においてはネットワークトポロジが密であるほど優れた精度が得られることが明らかにされている。これを無線環境で実現するためには低レート・広カバレッジでの通信を行なう必要があるが、これは通信時間の増大に繋がる。そのため、実行時間短縮の観点では繰り返し回数に対する D-PSGD の特性や所要通信時間を総合的に加味した送信レート設計が重要となる。本発表では機械学習分野における SGD に関する議論を紹介した後、現在本発表者らが検討を進めている、実行時間特性を改善する送信レート設計法について紹介する。

(4) 電力検出のための広い SNR 領域に亘って適用可能な SNR 推定法 (岩田 大輝・東京農工大学)

周波数資源の逼迫に対して、コグニティブ無線技術を用いた動的な周波数共用に注目が集まっている。この周波数共用では、既存の一次利用者が周波数を用いていない時間帯の検出 (スペクトラムセンシング)、二次利用により周波数利用効率を向上させ、周波数資源逼迫問題の解決を図る。

コグニティブ無線において、電力検出は計算量や検出に必要な事前情報の観点からスペクトラムセンシングによく用いられる検出法である。スペクトラムセンシングにおいては、既存一次利用者の保護及び周波数利用効率の向上という観点から、広い SNR 領域 (例: -20dB ~ 20dB) にわたって一定値以上の検出確率 (例: 90% 以上) を確保しつつ、誤警報確率を最小化する必要がある。しかし、この要求を満たすためには広い SNR 領域で適用可能な SNR 推定が必要となる。加えて、一次利用者の周波数利用はバースト的である場合があるため、信号成分と雑音成分が混在した受信信号に対して SNR 推定を行う必要がある。

そこで本研究では、受信信号の平均電力から高精度に SNR を推定可能なアルゴリズムを提案する。計算機シミュレーションにより、提案アルゴリズムが広い SNR 領域にわたって一定値以上の検出確率を満たす閾値の設定が可能であることを示す。

(5) ランダムアクセスの新たな潮流：理論から実装まで (石橋 功至・電気通信大学)

5G以降の本格的なモノのインターネット時代の到来に向け、多数のデバイスが散発的に小容量のデータを送信する新たな通信形態が注目を集めている。このような通信形態ではデータパケットが非常に短いため、オーバヘッドの影響を無視できず、従来とは異なる通信設計が必要であることが指摘されている。通信・信号処理のコミュニティーでは逐次干渉除去をベースとした ALOHA や圧縮センシングによる信号復元をベースとした NOMA といった方式が生み出される一方、情報理論の世界では Unsourced Random Access と呼ばれる新たな問題設定と共に、提案されている様々な方式のどれが真に優れた方式であるかといった議論が活発になされている。本講演では、情報理論や信号処理など、様々な枠組みから議論される新たなランダムアクセスの形態を紹介すると共に、理論的な限界、それを達成するための手法などを包括的に紹介した。

また、2020年3月30日(月)～31日(火)に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と共催で今年度第2回(通算第5回)の研究会を電気通信大学にて開催することを計画したが、新型コロナウイルス感染症の感染拡大予防のため、実施を取りやめた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトは、国内外の研究者のコミュニティーのすそ野を広げ、今後の無線通信技術の研究開発の方向性を活発に議論することに寄与している。本研究会での議論を発展させ、以下の2つの国際ワークショップの開催につなげた。

(1) 1st International Workshop on Smart Radio for IoT Era (SR-IoT 2019)

2019年7月2日(火)～5日(金)にクロアチア・ザグレブにて開催された国際会議 The 11th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2019) 内で SR-IoT 2019 を開催した。12件の一般講演があり、IoT時代におけるスマートスペクトラムやその応用に関する活発な議論がなされた。



図 1: Workshop on Data-Driven Dynamic Spectrum Sharing (DD-DSS)

(2) Workshop on Data-Driven Dynamic Spectrum Sharing (DD-DSS)

2019年11月11日(月)～14日(木)にアメリカ・ニュージャージー州ニューアークで開催された国際会議 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN 2019) 内で DD-DSS を開催した。総務省・布施田電波政策課長による招待講演と7件の一般講演があり、データ駆動型ダイナミック周波数共用技術やその周辺分野に関する活発な議論が行われた。

[4] 成果資料

(1) D. Anzai, F. Nagao, and J. Wang, “Experimental evaluation on maximum a posteriori location tracking for implantable devices,” 2019 URSI Asia Pacific Radio Science Conference, March 2019 (招待講演).

(2) N. Ishikawa, “IMToolkit: An open-source index modulation toolkit for reproducible research based on massively parallel algorithms,” IEEE Access, vol. 7, pp. 93830-93846, July 2019.

(3) M. Oinaga, S. Ogata, and K. Ishibashi, “Design of coded ALOHA with zigzag decoder,” IEEE Access, vol. 7, pp. 168527-168535, Nov. 2019.

(4) T. Hara and K. Ishibashi, “Grant-free non-orthogonal multiple access with multiple-antenna base station and its efficient receiver design,” IEEE Access, vol. 7, pp. 175717-175726, Nov. 2019.

(5) 岩田 大輝, 梅林 健太, “SNR 推定を伴う電力検出閾値の設定に関する一検討,” 信学技報, SR2019-102, Dec. 2019.

(6) K. Sato, Y. Satoh, and D. Sugimura, “Network-density-controlled decentralized parallel stochastic gradient descent in wireless systems,” IEEE ICC 2020, June 2020 (accepted for presentation).

採択番号：H29/B07

無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術と そのシステム応用

[1] 組織

研究代表者

伊藤 信之 (岡山県立大学・情報工学部)

通研対応教員

末松 憲治 (東北大学・電気通信研究所)

研究分担者

石崎 俊雄 (龍谷大学・理工学部)

岡崎 浩司 (NTT ドコモ・先進技術研究所)

亀田 卓 (東北大学・電気通信研究所)

河合 邦浩 (NTT ドコモ・先進技術研究所)

河合 正 (兵庫県立大学・大学院工学研究科)

川崎 繁男 (JAXA・宇宙科学研究所)

古神 義則 (宇都宮大学・大学院工学研究科)

佐藤 潤二 (パナソニック・AIS 社技術本部)

真田 篤志 (大阪大学・大学院基礎工学研究科)

関 智弘 (日本大学・生産工学部)

谷口 英司 (三菱電機・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・大学院理工学研究科)

西野 有 (BaSAI・代表取締役)

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・大学院先端物質科学研究科)

藤本 竜一 (Kioxia・メモリ技術研究所)

丸橋 建一 (日本電気・IoT 基盤開発本部)

本良 瑞樹 (東北大学・電気通信研究所)

吉田 賢史 (鹿児島大学・大学院理工学研究科)

Dmitry V. Kholodnyak (St. Petersburg
Electrotechnical Univ.)

大久保 賢祐 (岡山県立大学・情報工学部)

九鬼 孝夫 (国士舘大学 理工学部)

延べ参加人数：40 人

[2] 研究経過

AI (Artificial Intelligence) と IoT (Internet of Things) /IoE (Internet of Everything) による第四次産業革命が注目されて久しいが、IoT/IoE を anytime、anywhere

で進めるためには無線通信が重要な鍵となる。しかもこの無線通信は、今までの携帯電話、WLAN のような一つの規格ではなく、高度化した多岐に亘る規格が必要となる。何となれば、AI-IoT/IoE の姿を具体的に考えると、様々な場所にあるひとつひとつのセンサノードから得られる比較的少ない情報を低消費電力無線通信で伝達を行い、集積されたデータを AI によって情報処理し、の結果得られた大量のデータを大容量無線通信によってユーザーに配信する必要があるためである。

そのような観点から、一昨年度の研究会では低消費電力無線通信をサブテーマとして、電池、エナジーハーベストにて動作する無線通信集積回路について、ラピスセミコンダクタの太矢氏、Bluetooth Low Energy について東芝の王氏を招聘し、議論を行い、2年目である昨年度はIoTの利用場面として車載IoTの全体像、無線アプリケーションについて三菱電機の小野氏に、製造現場におけるIoT活用についてNECの丸橋氏を招聘し議論を行った。それらを鑑みて3年目の本年は、電磁波の空間的な選択性を有するFSSを印刷技術を用いて実現しようとする試みを国士舘大学の九鬼教授に、非常に多くの無線基地局(無線グリッド)を配置することによる伝搬実験の様子等を東北大学の亀田准教授に紹介していただき議論を行った。両者の興味深い点のひとつとして、所属以外の大学における研究ということもあり、活発な議論ができた。

また、日露ワークショップをサンクトペテルブルグ工科大学で開催し、システム、電子回路、集積回路等の広範囲の技術討論を行った。以下に実施内容を記載する。

<日露ワークショップ>

日時：2019年9月17日～19日

場所：サンクトペテルブルク工科大学

プログラム：

9月17日

1. T. Fujii, "Smart Spectrum for 5G and Beyond"

2. E. Okamoto, "A Chaos Modulation-Based Secure Non-Orthogonal Multiple Access Scheme for 5G IoT"

3. A. Sergienko, "Adaptive Modulation in TDD-OFDM Wireless Links"
 4. O. Muta, "Power Control Based Downlink Interference Coordination Techniques for Two-tier MIMO Heterogeneous Networks"
 5. A. Ustinov, "Fiber-Optic Transmission Line for Radio-Frequency Signals"
 6. E. Kudoh, "Location Estimation Using Multiple Items of Sensed Information in Indoor Environments"
 7. O. Markelov, "Sea Surface Monitoring Radar with Enhanced Angular Resolution"
 8. P. Baranov, "A Compact 18-Channel Camera for Remote Sensing"
 9. V. Mescheryakov, "HSR: Active Screening System in X/Ku band"
 10. P. Baranov, "3D Imaging Method Based on CCD in the Ultra-Small Integration Time Mode"
- 9月18日
11. K. Nishikawa, "6-10 GHz Cryogenic GaAs pHEMT LNA MMIC"
 12. J. Machac, "Experimental Verification of the Behavior of a Double Negative Metamaterial Composed of Planar Resonant Elements"
 13. K. Okubo, "A Study on Nonreciprocal Composite Right/Left-Handed Transmission Line Using Gyator and Capacitor"
 14. N. Andreeva, "Towards thin film devices with multi-bit memristive switching behavior"
 15. A. Suzuki, "Wide Dynamic Range Rectifier Circuit with Varactor Tuning Technique"
 16. V. Vitko, "Control of the Bistability in Spin-Wave Optoelectronic Ring Resonators"
- 9月19日
17. T. Maruyama, "Beam Direction Control Using Meta-Surface Loaded with Diodes for IoT"
 18. M. Odit, "Asymmetric All-Dielectric Metasurface for Independent Wave Front Control"
 19. L. Liubina, "Millimeter-Wave Slot Reflectarrays"
 20. I. Munia, "A 1-Bit Transmitarray for High Capacity Wireless Networks Applications"
 21. O. Markelov, "Optimization of Airborne Antenna Geometry for Sea Surface Scatterometric Measurements"
 22. A. Ivanov, "Microwave Double Helical Antenna for Exciting Plasma"
 23. M. Fujishima, "300-GHz-Band CMOS Ultrahigh-Speed Transceiver and Its Future"
 24. N. Suemitsu, "Multi-Band Real-Time Spectrum Monitor for Wireless IoT in 900 MHz-6 GHz Bands"
 25. T. Legkova, "Ultra-Low Noise Tunable Spin-Wave-Photonic Oscillators"

26. S. Kameda, "Synchronized SS-CDMA for QZSS Safety Confirmation System"
27. M. Bogachev, "Service Delays in Strongly Linked Network Communities"

<研究会>

- 日時： 令和2年2月28日(金) 13:00~16:00
 場所： 東北大学電気通信研究所 M331 セミナー室
 出席者： 伊藤、末松、岡崎、亀田、河合、川崎、真田、西川、平野、吉田、大久保、九鬼、鈴木(メンバー外) (13名)
 内容：
 13:00 研究代表者挨拶
 13:15 講演1
 「プリントドエレクトロニクスを中心にした山形大学でのサバティカル経験談」 九鬼孝夫(国土館大学理工学部 教授)
 14:15~14:30 コーヒーブレイク
 14:30 講演2
 「My Days in WINLAB」 亀田卓(東北大学電気通信研究所 准教授)
 15:30 ラップアップ, 来期の計画に関する議論
 16:00 閉会

[3] 成果

(3-1) 研究成果

無線IoTを実現するためには、無線伝搬、無線方式、送受信デバイス等の研究が重要である。また、無線通信が高度に発展し、様々な周波数の電波が乱立する時代においては、それらを選択的に封じ込めたり、通過させたりする技術も重要となる。今年の研究会においては、ラトガーズ大学のワイヤレス情報ネットワーク研究所に滞在した、東北大学の亀田准教授に ORBIT による無線グリッド設備を用いた無線方式、伝搬の研究についての講演を行っていただき議論を行った。また、山形大学有機エレクトロニクス研究センターに滞在した国土館大学の九鬼孝夫教授に印刷によって電子デバイスを作成するプリントドエレクトロニクスを用いた FSS (周波数選択性サーフェス、frequency sensitive surfaces) の研究についての講演を行っていただき議論を行った。得られた研究成果としては、無線IoTを実現するための技術として無線方式、伝搬、送受信デバイス、回路等の先端的な技術の研究開発とともに無線グリッド、FSS のような電波の空間的選択技術、また、FSS のようにそれらを安価な印刷技術を用いて実現できる研究開発の重要性である。それらの技術が高度に揃うことにより、無線IoTを実現するための先端的高周波回路技術とそれらを用いたシステム応用の高度化を更に進めることができると考えられた。

それら総合し、本研究のテーマである無線 IoT を実現するための先端的高周波回路技術はどのように進展させるべきか、更なる議論が必要である。

(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、電波伝搬等をコントロールする技術は、公共施設、民間施設、更に家庭等における活用にも横展開できると考えられる。また、先端的高周波回路技術にとってもそれらを考慮した回路技術開発が必須であると考えられる。

(3-3)特別支援（国際）に係る研究成果

日露ワークショップにおいては、無線通信の低消費電力技術、電力伝送技術、アンテナ技術を含む電子回路、集積回路に関する新規な検討が議論され、昨年に引き続き、先端的高周波回路技術の発展に寄与されるワークショップとなったと考えられる。今後引き続き、ロシア側の研究者と協力してこのようなワークショップを開催するとともに、先端的高周波回路技術についての知見を日露研究者間の交流を深めることにより醸成し、さらには国際的な共同研究等へ発展させていく必要があると考えられる。

[4] 成果資料

関連する成果資料（抜粋）

- (1) K. Tsubouchi, F. Adachi, S. Kameda, M. Motoyoshi, A. Taira, N. Suematsu, T. Takagi, H. Oguma, M. Fujishima, R. Inagaki, M. Tsuru, E. Taniguchi, H. Fukumoto, A. Matsuzawa, M. Miyahara, M. Iwata, F. Yamagata, N. Izuka, "Connectivity in Wireless Telecommunications," VLSI Design and Test for Systems Dependability, Springer, Tokyo, pp. 245-324, 2019.
- (2) M. Fujishima, S. Amakawa, "Design of terahertz CMOS integrated circuits for high-speed wireless communication," The Institution of Engineering and Technology (IET), Jul. 1, 2019.
- (3) C. Li, B. C. Chye, Y. Yang, E. Yao, M. Fujishima, "MOSFET Small-Signal Model Considering Hot-Carrier Effect for Millimeter-Wave Frequencies," Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, vol. 40, no. 4, pp. 419-428, Apr. 1, 2019.
- (4) 藤島実, "300GHz 帯で 80Gbps を達成する次世代無線の最前線 テラヘルツ帯 CMOS トランシーバ IC の開発とテラヘルツ通信の近未来 (特集 300GHz 帯 100Gbps 送受信機, センチメートル級測位など 次世代の無線技術展望)," RF ワールド: 無線と高周波の技術解説マガジン, vol. 47, pp. 8-29, Aug. 1, 2019.
- (5) S. Lee, S. Hara, T. Yoshida, S. Amakawa, R. Dong, A. Kasamatsu, J. Sato, M. Fujishima, "An 80-Gb/s 300-GHz-Band Single-Chip CMOS Transceiver," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 54, no. 12, pp. 3577-3588, Oct. 15, 2019.
- (6) 高野恭弥, 天川修平, 片山光亮, 原紳介, 吉田毅, 藤島実, "テラヘルツ通信を実現する 300GHz 帯 CMOS 送信機モジュール," 電子情報通信学会論文誌 C, vol. 102, no. 12, pp. 348-355, Dec. 1, 2019.
- (7) 羽岡侑哉, 河合正, 榎原晃: "終端短絡/開放結合線路を用いた X 帯広帯域疎結合ブランチラインカップラ": 電子情報通信学会論文誌 C-I, Vol. J103-C, No.1, pp.17-23, Jan. 2020.
- (8) 長野健介, 河合正, 榎原晃: "集中定数素子を用いた広帯域電力分配器の構成法": 電気学会論文誌 C, Vol. J140, No.3, pp.342-347, Mar. 2020.
- (9) 坂本 裕太, 小椋 清孝, 森下 賢幸, 伊藤 信之, "3 次元ストライプドインダクタの最適化による低位相雑音電圧制御発振器の検討," 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J103-C, No.1, pp.41-44, Jan. 2020.
- (10) T. Hirano, N. Li, K. Okada, T. Inoue, and M. Sogabe, "Electromagnetic Simulation of CMOS On-Chip Spiral Inductors in 5 GHz band," Proc. of IEEE AP-S International Symposium, pp.1903-1904, Atlanta, GA, USA, July 12, 2019.
- (11) T. Hirano, "Electromagnetic simulation modeling of CMOS chip in Millimeter-Wave Band," IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Session: C6L-C, Sapporo, Japan, May 26-29, 2019. (invited)
- (12) S. Amakawa, A. Takeshige, S. Hara, R. Dong, S. Lee, T. Yoshida, M. Fujishima, K. Masu, H. Ito, "Causal Characteristic Impedance Determination Using Calibration Comparison and Propagation Constant," 2019 92nd ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG), pp. 1-6, Jan. 19, 2019.
- (13) Y. Haoka, T. Kawai, and A. Enokihara: "X-Band Broadband Branch-Line Coupler with Loose Coupling Utilizing Short-/Open-Circuited Coupled-Transmission Lines", 2019 12th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM2019), TH5-3, pp.56-58, May 2019.
- (14) M. Yagi, K. Komoku, T. Morishita, and N. Itoh, "A Study on 14 bit Digital Controlled Oscillator Using Switched Striped Inductor," Proc. of the 2019 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.998-1000, Singapore, Dec. 2019.

採択番号：H29/B08

光波とマイクロ波をシームレスに繋ぐ フルコヒーレント通信・計測システムに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

土田 英実 (産業技術総合研究所)

通研対応教員：

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)

井上 崇 (産業技術総合研究所)

黒須 隆行 (産業技術総合研究所)

吉富 大 (産業技術総合研究所)

石川 浩 (産業技術総合研究所)

鋤塚 治彦 (産業技術総合研究所)

稲場 肇 (産業技術総合研究所)

大久保 章 (産業技術総合研究所)

安田 正美 (産業技術総合研究所)

柳町 真也 (産業技術総合研究所)

洪 鋒雷 (横浜国立大学)

美濃島 薫 (電気通信大学)

中嶋 善晶 (電気通信大学)

浅原 彰文 (電気通信大学)

延べ参加人数：25人

[2] 研究経過

クラウド・ビッグデータ社会の基盤である情報通信システムは、それぞれ独立に構築されたワイヤレスネットワークと、これらを収容する大容量光ネットワークにより運用されている。より安全、安心で効率的な社会基盤を構築するためには、更なる大容量化と多様な情報に対応できる自律分散協調ネットワークが求められている。このような高度なネットワークを実現するためには、それぞれ独立に運用されているネットワークを、光やマイクロ波などの伝送媒体に依存しない仮想的な通信方式に置き換える必要があり、両者をシームレスに繋ぐ極めて高度な技術が要求される。一方、計測標準分野においては、マイクロ波原子時計により実現されている時間の定義が精度の限界に達し、

飛躍的な精度向上が期待できる光格子時計に置き換えられようとしている。新たな時間標準を通信やセンシングに利用するには、光波の優れたコヒーレンスを保持したまま、光周波数をマイクロ波周波数に変換する必要がある。

本プロジェクトでは、先進的な通信、計測システムの確立に貢献することを目的として、光波とマイクロ波の間でコヒーレンスを保持したままシームレスに繋ぐフルコヒーレント通信・計測技術を主題として、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所等の研究者の間で、光、および無線通信用デバイス・システム、光周波数コム応用等に関する研究討論を行った。

本プロジェクトは、今年度が3年目に当たり、令和1年11月13日に電気通信研究所において、東北大学、産業技術総合研究所、電気通信大学、九州大学、大阪大学、沖電気の研究者が参加して研究会を開催し、10件の発表を行った。コヒーレント光伝送、光アクセス技術、テラヘルツ無線通信、テラヘルツ波発生、光周波数コム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)。

11月13日(水)

1. 開会挨拶 廣岡俊彦・中沢正隆(東北大)
2. 線幅8kHz, C+Lバンド波長可変LDの波長可変特性:○葛西恵介・中沢正隆(東北大)・友松泰則・遠藤尚(光伸光学)
3. デジタルコヒーレント光伝送における各種ファイバのGAWBS雑音特性:○竹節直也・吉田真人・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆(東北大)
4. 8.3bit/s/Hzの周波数利用効率を有する単一チャネル15.3Tbit/s-150km, 64QAMコヒーレントナイキストパルス伝送:○吉田真人・木村光佑・岩屋太郎・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆(東北大)
5. 5Gに向けた光アクセスの仮想化技術:○齊藤洋之(沖電気)
6. Linking optical fiber communications with THz wireless by RoF and CDMA:○Julian Leonard Webber(阪大)

7. 256QAM WDM オンライン双方向コヒーレント伝送を用いた次世代C-RAN モバイルフロントホール：○管貴志・吉田真人・葛西恵介・廣岡俊彦・岩月勝美・中沢正隆（東北大）
8. 正弦波変調・ビート位相検出方式デジタルコヒーレントライダ：○土田英実（産総研）
9. UTC-PD を用いたフォトミキシングによるテラヘルツ波の発生と制御：○加藤和利（九大）
10. 天体視線速度観測のための繰り返し30GHz 可視広帯域光コム開発：○大久保章（産総研）
11. 高コヒーレントな波長変換によるデュアルコムファイバレーザの展開：○中嶋善晶・秦祐也・楠美友悟・美濃島薫（電通大）
12. 閉会挨拶 土田英実（産総研）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

- ① 中心波長の異なる3種類の光フィルタを、1つのステップモータで連続的に切り換える波長可変機構を開発し、C+Lバンド（1530-1625nm）全域に渡り、8kHz以下のスペクトル線幅を有する波長可変半導体レーザを実現した。
- ② 長さ150km-160kmのULAF、SSMF、DSFの3種の光ファイバを用いて、GAWBS位相、偏波変調雑音の測定と理論解析との比較を行った。実効コア断面積が大きいほどGAWBS雑音が小さく、高多値QAM信号の長距離伝送には、雑音補償が重要であることを示した。
- ③ 670fs ナイキストパルス、高精度光位相同期回路、光ゲートを用いたSNR改善、OTDM-LO信号間の高精度タイミング安定化回路を利用して、1.28Tbaud 偏波多量64QAMコヒーレントナイキストパルス信号の150km伝送を実現し、単一チャンネル15.3Tbit/s伝送、周波数利用効率8.3bit/s/Hzを得た。
- ④ PON方式光アクセスネットワーク、ネットワーク装置の仮想化とスライス化、ITU-T、ONF、BBFにおける標準化の動向、ならびにサービス要求に応じたOLT資源割当技術、仮想ネットワークのドメインごとの動的帯域割当技術の開発状況を紹介した。
- ⑤ テラヘルツ波の発生と検出に用いる共鳴トンネルダイオードの特性、これを利用したベースバンドRoF伝送と11Gbit/s無線伝送、テラヘルツ帯におけるCDMA伝送の実験を紹介した。
- ⑥ 10基のRRH（Remote Radio Head）を収容するC-RANモバイルフロントホールを想定して、10チャンネル80Gbit/s、256QAM信号の10kmオンライン双方向伝送実験を行い、エラーフリー動作を実現

した。

- ⑦ 半導体レーザの正弦波周波数変調と、ビート位相検出を利用して、光源の線形チャープに依存しない方式のFMCWライダを開発し、距離測定の相対精度±1mmを実現した。
- ⑧ フォトミキシングによるテラヘルツ波発生、UTC-PDアレイを利用した高出力化とビームフォーミング、光源と位相調整器を集積化したモジュール、コヒーレント伝送に向けた位相安定化、光・テラヘルツのシームレス変換技術について、開発状況を紹介した。
- ⑨ 天文や分光器校正に用いるための、可視域から近赤外域に渡る高繰り返し、広帯域光コムを実現するため、光共振器によるモードフィルタリングと広帯域波長変換を利用して、可視域の57%に渡る広帯域光コムを実現した。
- ⑩ デュアルコムファイバレーザの波長域を拡大するため、スペクトル幅56nmの双方向動作ファイバレーザと非線形波長変換を利用して、波長400-900nmの可視域、および波長900-2400nmの中赤外域での発生を実現した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまで独立に発展してきた光波とマイクロ波の通信・計測技術をシームレスに接続して、先進的なシステム確立を目指す点において、本プロジェクトは独自性と優位性を有していると考えられる。超高速、およびコヒーレント光伝送に関して世界最先端のポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、光デバイス、光信号処理、レーザ制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が討議を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

[4] 成果資料

- (1) M. Yoshida, T. Kan, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Real-time 256 QAM bi-directional coherent transmission in next generation mobile fronthaul," OECC 2019, TuA2-3, (Jul. 2019).
- (2) T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, K. Iwatsuki, and M. Nakazawa, "Demonstration of on-line bi-directional 10-RRHs with an 80 Gbit/s/RRH capacity using 256 QAM WDM coherent transmission for next generation mobile fronthaul," ECOC 2019, M.1.C.4, (Sept. 2019).

- (3) M. Yoshida, N. Takefushi, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Suppression of large error floor in 1024 QAM digital coherent transmission by compensating for GAWBS phase noise," *Opt. Express*, vol. 27, no. 25, pp. 36691-36698, (Dec. 2019).
- (4) N. Takefushi, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Theoretical and experimental analyses of GAWBS phase noise in various optical fibers for digital coherent transmission," *Opt. Express*, vol. 28, no. 3, pp. 2873-2883, (Feb. 2020).
- (5) 土田英実, "デジタルコヒーレントライダー - ソフトウェア処理による劣化要因の補償", *光学*, vol. 48, no. 5, pp. 170-175 (May 2019).
- (6) H. Tsuchida, "Regression analysis of FMCW-LiDAR beat signals for non-linear chirp mitigation," *Electron. Lett.*, vol. 55, no. 16, pp. 914-918 (Aug. 2019).
- (7) H. Tsuchida, "Frequency-modulated continuous-wave light detection and ranging with sinusoidal frequency modulation and beat phase detection," *Electron. Lett.*, vol. 55, no. 24, pp. 1297-1299 (Nov. 2019).
- (8) Y. Naito, K. Yamauchi, H. Ito, T. Ishibashi, and K. Kato, "Photonic controlling THz-wave beam steering with sub-milliseconds repetition period," *APMC 2019, T2-4-4* (Dec. 2019).
- (9) K. Nakamura, S. Okubo, K. Kashiwagi, and H. Inaba, "Broad visible frequency comb with 24-GHz mode-spacing based on mode-locked Erbium-fiber laser," *CLEO 2019, SW3G.3* (May 2019).
- (10) Y. Nakajima, Y. Hata, and K. Minoshima, "All polarization-maintaining, polarization-multiplexed dual-comb fiber laser with nonlinear amplifying loop mirror," *Opt. Express*, vol. 27, no. 10, pp. 14648-14656 (May 2019).

採択番号：H29/B09

人の三次元的身体的な行動解析に基づいた 空間型ユーザインタフェース

[1] 組織

研究代表者

山本 豪志朗 (京都大学)

通研対応教員

高嶋 和毅 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

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 (NTT ドコモ → 芝浦工大)

Sabah Boustila (University of Tronto)

延べ参加人数：10人

[2] 研究経過

本研究では、空間における人々の様々な活動を支援し、そして強化するための空間型ユーザインタフェースについて議論する。関連する要素技術として、三次元空間内での人の行動解析技術、意図理解・推定、コミュニケーション技術、ロボット型のディスプレイ(e.g. ドローン等)、バーチャルリアリティ、人を引きつけるためのエンタテインメント技術やインタラクティブインストール等がある。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、本年度が3年目であり、昨年度の探索的な議論をベースにして具体的な研究テーマを立案することを目的として以下のように研究会を計画したが、コロナウイルスの感染予防のため自主的に中止し延期した。

1. 研究会

日時：令和2年3月2日～3日

参加者予定者：

山本 豪志朗 (京都大学)

高嶋 和毅 (東北大学電気通信研究所)

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)

この研究会は、共同プロジェクトH30/B08「未来オフィス空間とインタラクション」と共同で実施する予定であり、インテリアデザイナーや生産性研究をする企業の方も参加する予定であった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

来年度以降に実施する研究会に持ち越し。

本共同研究プロジェクトの構成員は、未来オフィス空間とインタラクションとの共同開催に好意的であった。次回開催時には、産学連携や異種交流を進めるということで意見が一致した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、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。残念ながら今回は開催できなかったが、今後は、医療やスポーツ等についても深い議論が可能と考える。そのため、本プロジェクトを来年度も継続し、近い分野ではあるがお互い強い交流を持たない研究者同士でノウハウや研究動向を整理して、成果をまとめて公開するなどして、身体的動作計測を中心とした研究領域に貢献していきたい。

[4] 成果資料

なし

採択番号：H29/B11

自己運動知覚を含む多感覚統合

[1] 組織

研究代表者：

櫻井 研三（東北学院大学教養学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

行場 次朗（尚絅学院大学）

Hiroshi Ono（York 大学心理学部）

Laurence R. Harris（York 大学心理学部）

蘆田 宏（京都大学文学研究科）

一川 誠（千葉大学文学部）

岡嶋 克典（横浜国立大学環境情報研究院）

北崎 充晃（豊橋技術科学大学工学研究科）

佐藤 雅之（北九州市立大学国際環境工学部）

中村 信次（日本福祉大学子ども発達学部）

金子 寛彦（東京工業大学総合理工学研究科）

古賀 一男（京都ノートルダム女子大学心理学部）

白井 述（新潟大学人文学部）

妹尾 武治（九州大学高等研究院）

寺本 渉（熊本大学文学部）

Philip M. Grove（Queensland 大学 心理学）

松宮 一道（東北大学大学院情報科学研究科）

栗木 一郎（東北大学電気通信研究所）

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：23人

[2] 研究経過

現実の環境における観察者の行動は能動的であり、自己の身体を適切に制御しながら空間内を移動し、外界の対象に近づいてそれを自分の四肢で操作している。しかしながら、視覚や聴覚に関する多くの知覚実験では観察者が静止状態で課題を遂行しており、観察者本人の能動的な身体運動が知覚に与える影響の検討が必要とされている。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るが、最近になって、これらの感覚

が視覚や聴覚とどのように統合されるのかが、多感覚研究によって明らかにされつつある。

本プロジェクトでは、観察者の能動的運動が観察者自身の知覚をどのように変容させるのかという問題に焦点を当て、能動的観察事態における前庭覚と視覚、聴覚の関係、あるいは自己受容感覚と視覚の関係を明らかにすべく、このテーマに取り組んでいる国内外の研究者が集まり議論を深めることを目的として研究を進めた。

本プロジェクト3年目の今年度は、自己運動知覚の研究者である Juno Kim 上級講師（New South Wales 大学, オーストラリア）を招聘し、2020年2月7日（金）16時より電気通信研究所本館4階M431セミナー室において講演会を開催した。また、翌日2月8日（土）10時より同じ4階セミナー室において研究打ち合わせ会を実施し、Juno Kim 上級講師を交えて研究会参加者の研究成果報告と自由討議を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の成果の第1は、自己運動知覚の研究者の中でも比較的若手の Juno Kim 上級講師を招聘できたことである。Juno Kim 上級講師は、やはり共同プロジェクト研究で2016年に招聘したオーストラリアの Wollongong 大学心理学部の Stephen Palmisano 准教授の指導を受けて博士号を取得し、仮想現実（VR）システムを利用した自己運動知覚の研究を続けている気鋭の研究者である。自己運動知覚のみならず、質感知覚の研究でも活躍しており、今回の招聘ではそちらのテーマに関する短い講演もしていただいた。

成果の第2は、プロジェクトのメンバーにとって、VR システムを利用した自己運動知覚研究に関するまとまった講演を聴き、Juno Kim 上級講師本人と直接に議論する機会を得られたことである。国際枠の支援を受けた本プロジェクトの大きな成果といえよう。

(特別支援(国際)にかかると研究成果)

オーストラリアの New South Wales 大学の Juno Kim 上級講師を 2020 年 2 月 5 日から 2 月 11 日の期間、仙台に招聘した。滞在期間中の活動として、2 月 7 日(金) 16 時より電気通信研究所本館 4 階 M431 セミナー室において講演会を開催した。翌 8 日(土) 10 時より同セミナー室において研究打ち合わせ会を実施し、Juno Kim 上級講師に参加していただき、研究会参加者の研究成果報告を行なった後、メンバーの発表についてフリーディスカッションを行なった。また、その前後の日程を利用し、電気通信研究所の鈴木研究室、塩入研究室、東北学院大学教養学部の櫻井研究室、東北大学情報科学研究科の松宮研究室を訪問し、多感覚知覚研究について情報交換を行なった。

2 月に行なわれた講演の要旨は以下の通りである。
講演者：Juno Kim (Sensory Processes Research Laboratory, School of Optometry and Vision Science, The University of New South Wales, Sydney, Australia)

題目：Using virtual reality to understand visual-vestibular integration

要旨：Our perception of self-motion is a multisensory experience. For this reason, simulating self-motion in virtual environments using visual displays alone is potentially challenging; under certain conditions, conflict between sensory information from the visual and vestibular systems can result in the adverse experience of perceived scene distortions and cybersickness. In this special lecture, I will discuss some of the critical constraints required for optimising the perception of self-motion in virtual environments and for minimising the potentially adverse side effects.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究分担者である北崎充晃教授(豊橋技術科学大学)が雑誌「心理学ワールド」の第 88 号で特集「バーチャルリアリティの広がり」を企画し、VR の歴史を含めた心理学との関係、VR 技術の概観、認知研究における VR の活用方法、VR で可能となったヒトの認知研究を紹介した。代表者の櫻井研三(東北学院大学)はこの特集で「身の回りにあるバーチャルリアリティ」と題した記事を執筆・掲載し、主に大学で心理学を学んだことがある読者を対象に、VR 研究と心理学との深い関わりを理解してもらおう啓蒙的役割を果たした。

[4] 成果資料

(1) Fujii, Y, Seno, T. (2020). The Effect of Optical Flow Motion Direction on Vection Strength. *i-Perception*, 11(1), doi: 10.1177/2041669519899108

(2) Suzuki, W., Seno, T., Yamashita, W., Ichinohe, N., Takeichi, H., Palmisano, S. (2019). Vection induced by low-level motion extracted from complex animation films. *Experimental Brain Research*, 237, 3321-3332.

(3) Morimoto, Y., Sato, H., Hiramatsu, C., & Seno, T. (2019). Material surface properties modulate vection strength. *Experimental Brain Research*, 237, 2675-2690.

(4) 有賀 安央衣, 坂内 祐一, 妹尾 武治 (2019) HMD 提示によるベクション刺激と嗅覚刺激の知覚的相互作用に関する検討 日本バーチャルリアリティ学会誌 24(4), 361-370.

採択番号 : H29/B12

Search Science: an interdisciplinary endeavor

[1] 組織

研究代表者 :

Chia-huei Tseng(東北大学電気通信研究所)

通研対応教員 :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Su-ling Yeh (National Taiwan University)

Hsin-I Liao (NTT CS Laboratories)

Jun Saiki (Kyoto University)

Doris Chow (University of Massachusetts, Boston)

Masahiko Terao (Yamaguchi University)

Yaffa Yeshurun (University of Hairfa, Israel)

Zhaoping Li (University of College London)

Jingling Li (China Medical Univeristy)

Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 43 人

[2] 研究経過

Our interest group is interested in search behavior which is now a dynamic research field at the intersection of perception, attention, memory and decision making. We have organized several seminar talks this year to bring together group members to exchange research progress and brainstorm the solutions for future applications on search challenges in human behavior, computational optimization, and industrial applications.

We will report several seminar talks taken place at RIEC this year. The team members gathered as mini groups in this year and fully utilized the opportunities to further develop each other's study plan.

We have achieved:

- (1) Bring in possible factors that may modulate our search behaviors (e.g. sleep) and learn from experts on the possible reach-out research points
- (2) Create a supportive environment to exchange research progress and ideas
- (3) Assist members to formulate and conceptualize research reports for final publication.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

Seminar talks:

June 16, 2019

Uyen Thuy Xuan Phan

Institute of Biotechnology and Food Technology
Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam
Overview of Sensory Evaluation and Consumer
Research: Past, Present and Future

Dr. Phan gave an introductory lecture on how to design human sensory studies for tea, coffee, and fresh meat.

December 16, 2019

Seeing More Than Human: Theory of Mind, Autism
& Anthropomorphism

Dr. Gray Atherton

Lecturer, Edge Hill University, U.K.

This seminar introduces about “anthropomorphism” and its relation to various psychological factors related to autism.

December 16, 2019

Coordination and social cognition: How coordinated
joint action
affects our social cognitions and behaviors.

Dr. Liam Cross

Lecturer, Edge Hill University, U.K.

This is a research report that examines the social functions of synchronized joint action to remove prejudices.



Feb. 20, 2020

Chia-Chien Wu, Harvard University, Boston, U.S.A.
 Medical Gist Perception – Identify breast cancer within a glimpse of a second.
 Dr. Wu gave an invited talk at the International Symposium to show-case the collaboration research outputs on how medical images can help radiology to detect cancer at early stage.

Feb. 21, 2020

Hsin-U Liao, NTT Communication Lab
 Emotional Processing and pupil dilation
 Acoustic salience now can be accurately expressed by participants' pupil size dilation. The physiological and computational implications were reported.

Feb 21, 2020

Yung-Hao Yang, NTT Communication Lab
 Access of consciousness in eye movements and pupil
 Feb 26, 2020
 This is a research report of investigation of consciousness in our eye-movements control with psychophysical methods.

Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France)
 Articulations: a Shared Virtual Reality installation for exploring relational movement
 How to search for the signature movements that connects interpersonal communication? This seminar talk provides



a series study that try to answer this question.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The diversity of this research interest group has enabled us to develop new collaboration opportunities between RIEC and its partners. The group members are also in the process to look for funding opportunities to crystalize the meeting discussions into research initiatives to increase our research impact.

[4] 成果資料

Tseng, C.H., Chen, C.C., Shioiri, S. (2019) The interaction between attention and perceptual grouping revealed by a contrast masking paradigm, Asian-Pacific Conference on Vision, Kyoto, Japan.

Jingling, J., Tseng, C.H., Ono, S., Shioiri, S. (2019) The interaction of grouping and salience in visual search: The electrophysiological evidence for the collinear masking effect, Asian-Pacific Conference on Vision, Kyoto, Japan.

Zhao, S., Chait, M., Dick, F., Dayan, P., Furukawa, S., & Liao, H.-I. (2019). Pupil-linked phasic arousal evoked by violation but not emergence of regularity within rapid sound sequences. *Nature Communications*, 10(1), 4030.

Chien, S. E., & Yeh, S. L. (2020). Animacy perception inferred by eye movement patterns. Vision Sciences Society, St. Pete Beach, FL.

Lee, H. H., Shih, C. Y., Chen, Z. L., Wu, A. Y., & Yeh, S. L. (2019). Are you concentrating or mind-wandering? Electroencephalogram signals reveal differences in attentional states. The Society for Neuroscience, Chicago, IL.

Chang, W. C., Yeh, S. L., & Huang, S. L. (2019). The Extent of Unconscious Semantic Processing under Continuous Flash Suppression. The European Conference on Visual Perception, Leuven, Belgium.

Tsai, C. C., Chien, S. E., Ueda, Y., Saiki, J., & Yeh, S. L. (2019). Does Visual Experience abolish Search Asymmetry? The Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.

Yang, Y. H., Huang, T. R., Huang, T. R., & Yeh, S. L. (2019). Can Semantic Information be Temporally Integrated Under Interocular Suppression? An fMRI study. The Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.

Yeh, S. L., Dong, J. T., Ho, P., Li, S. H., Huang, T. C., Hirai, S., Ueda, Y., & Saiki, J. (2019). More efficient semantic than phonological extraction in reading Chinese/Kanji for Taiwanese/Japanese skilled readers. The Asia-Pacific Conference on Vision, Osaka, Japan.

採択番号：H29/B15

新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究

[1] 組織

研究代表者

深見 俊輔（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

深見 俊輔（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

浅井 哲也（北海道大学大学院情報科学研究科）

奥野 弘嗣（大阪工業大学情報科学部）

森江 隆（九州工業大学大学院生命体工学研究科）

田向 権（九州工業大学大学院生命体工学研究科）

矢嶋 赳彬（東京大学 大学院工学系研究科）

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：13人

[2] 研究経過

近年、脳の情報処理様式に着想を得て、従来は実現が難しかった認識、判断などの複雑なタスクを効率的に行うことを目指した「人工知能」「脳型コンピューティング」などと呼ばれる分野が活況を呈している。「人工知能」の代表格であるディープラーニングなどのソフトウェア技術に立脚した手法は既に社会の多くの場面で活用されている。また IBM 社の TrueNorth や Intel 社の Loihi、Google 社の Tensor Processing Unit のような脳型コンピューティングに特化したハードウェアも開発されており、従来型（フォン・ノイマン型）ハードウェアに対する優位性の一端は実証されている。一方で広く普及しているソフトウェアベースのアプローチ、及びこれまでに開発されている脳型コンピューティング用のハードウェアの設計思想の延長では、本来脳が持つ小型性（～1 リットル）や低消費電力性（～20 ワット）を実現することは難しく、依然として技術的に大き

な飛躍が期待されている。脳により近いレベルの小型性、低消費電力性を実現するためには、より脳の構成要素に近い動作をする新概念の固体デバイス、および脳の内部のネットワークに近い回路・アーキテクチャを採用した専用ハードウェアを構築する必要があると考えられる。

本プロジェクトの目的は、このような小型性、低消費電力性に優れたハードウェアを実現することを目指して「新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究」を行っている研究者が参集し、それぞれの最新の研究内容について発表・議論することにより今後の展開を模索し、大規模な共同研究や大型プロジェクトの申請へとつなげることである。

本プロジェクトは今年度が第三年目であり、一、二年目で理解し合ったお互いの研究内容を踏まえて、より踏み込んで今後の展開を議論するための研究会を開催した。

以下、研究活動状況の概要を記す。本年度の活動実績としては2020年2月5日（水）に東北大学電気通信研究所ナノ・スピ実験施設 A401 号室にて公開の研究会「新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究」を開催した。プロジェクト参画研究者からの6名に加え、2名のプロジェクト外講演者が出席し、また聴講者として5名が参加する形で活発な議論が行われた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

上記研究会では以下の題目及び内容の講演がなされ、議論を行った。

九州工業大学大学院生命体工学研究科の田向からは、「**海馬・扁桃体・前頭前野統合脳型モデルとホームサービスロボットへの応用**」という題目で、ホームサービスロボットへの応用を目指した、海馬・扁桃体・前頭前野統合のハードウェア指向脳型モデルに関して紹介された。また、前頭前野モデルへの

応用を見越した、カオスポルツマンマシンのレザバー応用についても併せて紹介された。

東北大学電気通信研究所の堀尾からは「カオスニューラルネットワークリザバーのダイナミクスと簡単な応用」という題目で、リザバーニューラルネットワークにより複雑なダイナミクスを導入するためのカオスニューラルネットワークモデルを用いたカオスニューラルネットワークリザバーに関する提案が示された。カオスニューラルネットワークリザバーのダイナミクスのリアプノフスペクトルおよび順列エントロピーによる評価結果、および時系列予測タスクに加え、音声認識タスクに応用した場合の、カオスニューラルネットワークリザバーの有効性が示された。

北海道大学大学院情報科学研究科の金子竜也氏（浅井の代理として講演）からは「エッジ AI コンピューティングに向けた低電力・低リソース化学習アルゴリズムとその FPGA 実装」という題目で講演がなされた。これは人工知能（AI）技術が研究だけではなく実用化への取り組みも進んでおり、またソフトウェア AI 開発においては誰もが気軽に AI を試せるプラットフォームが充実しているが、エッジ向けハードウェア AI 開発におけるプラットフォームは学習の点で不十分な点を抱えているという背景のもとでなされ研究である。発表では、これらの課題を解決する学習アルゴリズム・ハードウェアアーキテクチャについての説明がなされた。また、エッジ AI プラットフォームへの取り組みについても紹介された。

続いては今回特別講演者として招待した大阪大学大学院基礎工学研究科の野村光講師からの「ナノ磁性ドットアレイリザバーを用いたマルチビット・バイナリリザーバコンピューティング」という題目での講演であった。ナノ磁性ドットアレイ中で静磁気相互作用により結合した磁性体ドットの磁化状態をリザバーのノード状態として用いることで実現できるリザーバコンピューティングに関する提案がなされた。マルチビットバイナリ入力に対するリザーバコンピューティングの結果などが報告された。

続いて大阪工業大学情報科学部の奥野からは「生体視覚系に学んだ画像の前処理と認識」という題目での講演がなされた。生体視覚系における画像認識は網膜や初期視覚野において前処理された情報の利用を前提としていることが知られている。本発表では、視覚神経系に学んだ画像前処理と、レザバーコンピューティングやディープニューラルネットワークを組み合わせたシステムにおける、物体認識や動作認識の結果が紹介された。

続いて東北大学電気通信研究所の佐藤茂雄からは

「Izhikevich ニューロンモデルのアナログ CMOS 回路による構成」という題目の講演がなされた。生体の神経活動を効率良く再現する Izhikevich ニューロンモデルに基づいたアナログ CMOS 回路の構成方法と試作結果が報告された。また神経パルスの種類とパラメータの関係や電力消費などについての検証と、低電力動作に向けた課題についての考察が述べられた。

最後に東北大学電気通信研究所の深見からは「スピントロニクス素子を用いたストカスティックニューロン（P ビット）とその応用」という題目で講演がなされた。磁気トンネル接合はスピントロニクスの原理を活用した代表的な素子であり、デジタル情報を不揮発に記憶でき、かつ電氣的に読み書きできる。この技術を応用した磁気抵抗ランダムアクセスメモリの実用化が始まりつつある。本講演では、不揮発性を意図的に下げた磁気トンネル接合素子を用いることでストカスティックニューロンの特性を再現でき、それを組み合わせることで量子アニーリングマシンと類似した機能を室温で実現できることが述べられた。

なお、本研究プロジェクトは若手特別支援の対象に指定され、追加での資金の援助を受けた。これによってプロジェクトメンバー外の大阪大学基礎工学研究科の野村光講師を特別招待講演者として招聘することができた。これによって脳型実装ハードウェアのための数理モデルや回路実装、及びスピントロニクス素子を用いたリザーバコンピューティングに関する研究を議題に加えた議論を行うことができ、今後の新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究の発展に資する情報交換を行うことができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを契機として参画研究者間での相互理解が進み、アナログスピンメモリ素子からなる人工シナプスによる脳型情報処理、人工ニューラルネットワーク回路技術、リザーバコンピューティング技術人工知能ハードウェア技術などに関してより具体的な研究指針を得ることができ、今後の共同研究による更なる発展に向けた土壌が形成されると見込まれる。

なお、本プロジェクトの一つの成果として、分担者の佐藤茂雄が代表は CREST 課題「スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤」を 2020 年 10 月から受託している。

また、科研費の学術変革領域や基盤研究(S)への研究提案も申請済みであり、今後大きく発展させていくことを計画している。

採択番号 : H29/B17

脳型 LSI とその応用 国際共同研究

[1] 組織

研究代表者 :

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員 :

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Wai Tung Ng (カナダ・トロント大学)

P. Glenn Gulak (カナダ・トロント大学)

Ali Sheikholeslami (カナダ・トロント大学)

Warren Gross (カナダ・マギル大学)

Vincent C. Gaudet (カナダ・ウォータール大学)

石黒 章夫 (東北大学電気通信研究所)

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

塩入 諭 (東北大学電気通信研究所)

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

松宮 一道 (東北大学大学院情報科学研究科)

松岡 浩 (一般社団法人 日本海事協会)

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

夏井 雅典 (東北大学電気通信研究所)

鬼沢 直哉 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 : 55 人

[2] 研究経過

今年度が最終年度となる本研究課題では、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して研究交流をさらに推進した。以下、研究活動状況の概要を記す。なお、本年度における最も重要な成果として、令和2年2月28日～29日の2日間に渡って開催予定の The 7th International Symposium on Brainware LSI (第7回ブレインウェア国際シンポジウム) が開催予定で鋭意準備万端の状況であったが、世界的規模で拡散中の新型コロナウイルス (COVID-19) に対する日本国政府の注意喚起に従い、令和2年2月26日に正式中止をすることとした。

本シンポジウムは平成26年度に開始した「人間的判断の実現に向けた新概念脳型 LSI 創出事業」プロジェクトとの共催で企画され、本年度が最終年度であっただけに、誠に残念な結果でした。ただ、一部

の招待講演者はキャンセルせずに予定通り渡航しており、それらの研究者との個別の研究打合せを行った。具体例として、カナダ・McGill 大学から招へいた Sting Liu 氏には、上記シンポジウムで講演予定だった

“ Toward efficient training of learning machines using dynamic stochastic computing ”

に関する講演をして頂いた。当研究室と Liu 氏が現在所属する Warren Gross 教授 (カナダ・McGill 大学) とは、現在共同研究を実施しており、その研究キーワードである stochastic computing に関する研究進捗について意見交換した。当研究室からも本シンポジウムで講演予定だった stochastic computing 技術関連の研究進捗を披露し、充実した意見交換を行うことができた。

また、本プロジェクトが共催した研究集会として、以下の研究会等 (国内研究会、国際ワークショップ) を開催して、脳型 LSI 研究の研究成果とそのインパクトを広く関係研究者へ伝達することができた :

(国内研究会)

・ブレインウェア工学研究会

・令和元年12月18日

・東北大学電気通信研究所 本館6階M601

・約40名

本研究会の講師として、中村和之氏 (九州工業大学・教授、株式会社ナノデザイン・取締役 CTO) から「CMOS インバータベースの LSI 回路設計」と題した講演を伺った。CMOS インバータは CMOS 論理ゲートの最もシンプルで基本中の基本ゲートであるが、その特徴は、今でもメモリ設計など CMOS 集積回路技術による LSI ファミリの性能を決定付ける要素技術となっている。その基本中の基本ではあるが、実は奥が深い CMOS 集積回路設計技術に関する講演であり、大変参考になった。

(国際ワークショップ)

・名称 : International Workshop of Emerging Technologies for Brainware LSI and its Applications

・日時 : 令和元年12月13日～14日

・場所 : Waikiki Resort Hotel, Honolulu, HI, USA

・参加者数 : 15名

本国際ワークショップでは、脳型 LSI 実現に資する種々の設計階層におけるキラー技術にスポットを当て、脳型 LSI への有用性に関する意見交換をする場として開催した。海外からの招待講演者として、Wai-Tung Ng 氏 (カナダ・トロント大学・教授) からは、GaN 素子を用いた smart gate driver 設計技術に関する講演を、Weijia Zhang 氏 (カナダ・トロント大学・助教) からは smart gate driver のための信号処理技術に関する講演を、Vincent Gripon 氏 (フランス・IMT Atlantique・上席研究員 (准教授相当)) からは Deep Convolutional Neural Network の様々なネットワーク圧縮技術に関する講演を、それぞれ頂きた。また、日本からの講演者として、米田友洋氏 (国立情報学研究所・教授)、今井雅氏 (弘前大学・教授)、吉瀬謙二氏 (東京工業大学・准教授)、本学本所からは、塩入諭氏 (教授)、堀尾喜彦氏 (教授)、羽生貴弘氏 (教授)、加納剛史氏 (准教授)、山本英明氏 (准教授)、鬼沢直哉氏 (助教)、守谷哲氏 (博士後期課程学生) が参加・講演を行い、それぞれの有用性に関して深い討論を行うことができた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

国際共同研究推進型で申請した本プロジェクトでは、脳型 LSI 研究開発に関連する国内外の研究者との研究交流を通じて、新しい研究プロジェクトを企画し、研究費の獲得と研究開発を推進することを標榜している。本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、脳型 LSI ハードウェア技術に関する研究成果である。平成 26 年度に採択された概算要求「人間的判断に基づく脳型 LSI の推進」プロジェクトが本年度で最終年度を迎えるため、この 6 年間の成果と課題を整理し、次期プロジェクトの獲得へ向けた試みを検討した。特に、現行プロジェクトでは、ハードウェアプラットフォームとして CMOS 集積回路に限定していたため、脳型 LSI 実装時に必要不可欠な低消費電力化については、限定的な効果しか得られていなかった。そこで新規プロジェクトでは、CMOS のみならず新機能デバイスも利用したハードウェアプラットフォームを前提とした提案を企画した。具体的にはスピントロニクス素子とバイオ素子を CMOS 集積回路と組み合わせたハイブリッドな集積回路プラットフォームである。この提案は、残念ながら新しい概算要求としては採択とならなかったため、継続して概算要求へ出していく予定である。ただ、スピントロニクス素子と CMOS 素子を組み合わせたプラットフォームに関する提案は国プロ (JST-CREST; 詳細は下記へ記載) として採択された。

第 2 に、脳型 LSI アルゴリズムに関する成果である。脳型情報処理の有力な候補として本プロジェクトでは、インバーティブル・ロジックによる計算手法に取り組んでいた。本研究テーマは、キヤノンメディカルシステムズ社との共同研究の形で推進しており、この共同研究が本年度 (2019 年度) で満了する予定であった。しかしながら、本研究テーマの成果と今後の展開の可能性を鑑みた結果、さらに 2 年間の継続が内定した (詳細は(3-2)に記載)。

(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、脳型 LSI に関連する大型国家プロジェクトの獲得に発展した。具体的には以下の通り：

1) プロジェクト名：

スピノエッジコンピューティングハードウェア基盤

- ・研究費名：戦略的創造研究推進事業 (CREST)
- ・配分機関名：科学技術振興機構 (JST)
- ・研究期間：2019 年度～2024 年度
- ・研究代表：佐藤茂雄 (主たる共同研究者として参画)

2) プロジェクト名：逆問題ソルバーとその応用

- ・研究費：キヤノンメディカルシステムズ (株)
- ・配分機関名：同上
- ・研究期間：2020 年度～2021 年度
- ・研究代表者：羽生貴弘

[4] 成果資料

(査読付学術論文誌)

- 1) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a Cost-Efficient Controller for Realizing a Data-Shift-Minimized Nonvolatile Field-Programmable Gate Array," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) (in press).
- 2) N. Onizawa, S. Smithson, W. Gross, B. Meyer, and T. Hanyu, "In-Hardware Training Chip Based on CMOS Invertible Logic for Machine Learning," IEEE Trans. Circuits and Systems I, (in press).
- 3) N. Onizawa, D. Shin, and T. Hanyu, "Fast hardware-based learning algorithm for binarized perceptrons using CMOS invertible logic," Journal of Applied Logic, vol. 6, No. 7, pp. 41-58, Nov. 2019.
- 4) N. Onizawa, R. Arakawa, and T. Hanyu, "Design of an MTJ-based nonvolatile multi-context ternary content-addressable memory," Journal of Applied Logic, vol. 6, No. 7, pp. 89-105, Nov. 2019.
- 5) M. Natsui, D. Suzuki, A. Tamakoshi, T. Watanabe, H. Honjo, H. Koike, T. Nasuno, Y. Ma, T.

- Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "A 47.14 μ W 200MHz MOS/MTJ-Hybrid Nonvolatile Microcontroller Unit Embedding STT-MRAM and FPGA for IoT Applications," IEEE Journal of Solid State Circuits (JSSC), vol. 54, issue 11, pp. 2991-3004, Nov. 2019.
- 6) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a highly reliable, high-speed MTJ-based lookup table circuit using fractured logic-in-memory structure," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 58, no. SB, pp. SBBB10~1-SBBB10~7, Apr. 2019.
- 7) M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient XNOR Gate Based on MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture for Binary Neural Network Hardware," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 58, no. SB, pp. SBBB01~1-SBBB01~7, Apr. 2019.
- 8) S. Smithson, N. Onizawa, T. Hanyu, B. Meyer, and W. Gross, "Efficient CMOS Invertible Logic using Stochastic Computing," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: vol. 66, issue 6, pp. 2263-2274, June 2019.
- 9) D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, "Circuit Optimization Technique of Nonvolatile Logic-In-Memory Based Lookup Table Circuits Using Magnetic Tunnel Junction Devices," Microelectronics Journal, Vol. 83, pp. 39-49, Jan. 2019.
- (査読付国際会議論文誌)
- 1) H. Honjo, T. Nguyen, T. Watanabe, T. Nasuno, C. Zhang, T. Tanigawa, S. Miura, H. Inoue, M. Niwa, T. Yoshiduka, Y. Noguchi, M. Yasuhira, A. Tamakoshi, M. Natsui, Y. Ma, H. Koike, Y. Takahashi, K. Furuya, H. Shen, S. Fukami, H. Sato, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno, and T. Endoh, "First demonstration of field-free SOT-MRAM with 0.35 ns write speed and 70 thermal stability under 400° C thermal tolerance by canted SOT structure and its advanced patterning/SOT channel technology," Dig. International Electron Device Meeting (IEDM), pp. 28.5.1-28.5.4, Dec. 2019. 2)
- 2) N. Onizawa, W. Gross, and T. Hanyu, "Stochastic-Computing Based Brainwave LSI Towards an Intelligence Edge," Proceeding of the 26th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS), 4pages, Nov. 2019.
- 3) D. Shin, N. Onizawa, and T. Hanyu, "FPGA Implementation of Binarized Perceptron Learning Hardware Using CMOS Invertible Logic," 26th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS), 2 pages, Nov. 2019.
- 4) R. Arakawa, N. Onizawa, J. Diguët, and T. Hanyu, "Multi-Context TCAM Based Selective Computing Architecture for a Low-Power NN," 26th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS), 2 pages, Nov. 2019. (Received "Best Young Professionals Paper Award").
- 5) N. Onizawa, K. Nishino, S. Smithson, B. Meyer, W. Gross, H. Yamagata, H. Fujita, and T. Hanyu, "A Design Framework for Invertible Logic," Proc. of the 53rd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 4 pages, Nov. 3-6, 2019.
- 6) M. Natsui and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Circuit with Feedback-Type Equal-Resistance Sensing Mechanism for Ternary Neural Network Hardware," IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, 2 pages, October 2019.
- 7) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Controller for Realizing a Data-Shift-Minimized Nonvolatile FPGA," Extended Abstracts of 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019), M-4-02, pp. 525-526, Tokyo, Sep. 2019.
- 8) T. Chiba, M. Natsui, and T. Hanyu, "Design of a Current-Mode Linear-Sum-Based Bitcounting Circuit with an MTJ-Based Compensator for Binarized Neural Networks," Proceedings of the 49th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL), pp. 91-96, May 2019.
- (招待講演等)
- 1) 羽生, "デバイス技術・回路技術・アーキテクチャ技術の融合による新しい設計パラダイム," 三菱電機(株) 情報技術総合研究所(神奈川県大船), Dec. 24, 2019.
- 2) 羽生, "脳型コンピューティングの基礎~不揮発性ロジックが拓く AI ハードウェアの挑戦~, " 第3回 ARL セミナー, Dec. 26, 2019.

採択番号：H29/B18

先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究

[1] 組織

研究代表者

本間 尚文 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

本間 尚文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

Jean-Luc Danger (Telecom ParisTech)

Ulrich Kuhne (Telecom ParisTech)

林優一 (奈良先端科学技術大学院大学

情報科学研究科)

藤本大介 (奈良先端科学技術大学院大学

情報科学研究科)

永田真 (神戸大学科学技術イノベーション研究
科)

三浦典之 (神戸大学・システム情報学研究科)

延べ参加人数：15人

[2] 研究経過

ハードウェアセキュリティに関する研究は、近年益々その重要性を増している。本プロジェクトでは、仏国のグランゼコールの一つである Telecom ParisTech (国立パリ高等情報通信大学) の Jean-Luc Danger 教授を招いてセミナーを開催するとともに集中的な討議を行い、電気通信研究所と Telecom ParisTech が共同で先端的なハードウェアセキュリティ技術を開発することを目的とする。特に、昨年度に引き続き高機能暗号や軽量暗号ハードウェアの設計と安全性評価技術に関する討議を集中的に行い、新たに設計・試作した暗号 LSI のハードウェアアーキテクチャの安全性評価手法を開発した。また、将来的な研究テーマとその連携方法について議論することも目的とした。

本プロジェクトは、本年度が3年目であった。まず、先端的な軽量暗号 (従来暗号と比べて低消費電力・低エネルギー・低遅延などで動作する暗号) ハードウェアの設計と安全性評価技術に関する討議を行い、それを踏まえて新たな暗号ハードウェアを設計し、その ASIC 上での評価を行った。特に、現在最

も広く用いられる国際標準暗号 AES (Advanced Encryption Standard) のハードウェアの高効率実装および耐タンパー実装に関する議論を集中的に行い、そのハードウェアを実装した。耐タンパー化技術としては TI (Threshold Implementation) に基づくマスキング対策を中心に検討し、それを実装・評価した。さらに将来的な連携研究テーマとして、物理攻撃への対策技術や悪意あるハードウェア (ハードウェアトロイ) 検知技術など、ハードウェアセキュリティ全般の課題について短期的なテーマから長期的なテーマまで幅広く議論した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

【研究打ち合わせ・研究討議】

2019年5月10-17日：研究会・打ち合わせ (8名)

2019年9月19-24日：研究討議 (4名)

2020年2月8-12日：研究討議 (3名)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。最も代表的な国際標準暗号である AES の超高効率ハードウェアアーキテクチャを開発した。図1に本共同研究において開発したハードウェアアーキテクチャの概要を示す。さらに、同ハードウェアアーキテクチャに基づくハードウェアを、オープンソースの 45nm セルライブラリを用いて設計し、その性能を評価した。その結果から、世界最高効率で AES 暗号化を達成することを確認した。図2に性能評価結果を示す。

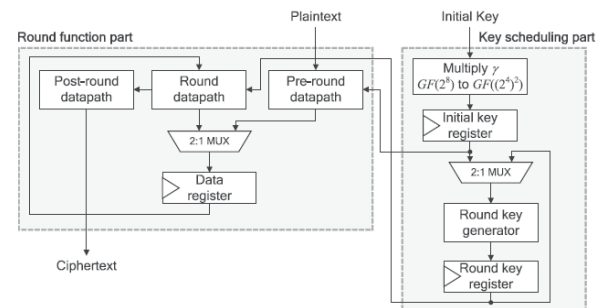


図1 開発したAESハードウェアアーキテクチャ

Synthesis results for proposed and conventional AES encryption hardware architectures with area optimization

		Area (GE)	Latency (ns)	Max. freq. (MHz)	Throughput (Gbps)		Power (uW) @100MHz	Efficiency (Kbps/GE)		PL product
					10 (11) cycles	11 (12) cycles		10 (11) cycles	11 (12) cycles	
SASEBO IPs [20]	Table	21,291.67	16.68	719.42	8.10	7.67	373	393.18	360.42	6,222
	Tower field	10,529.33	30.72	390.63	4.55	4.17	536	431.69	395.72	16,466
Gueron and Mathew [25]	Mapped	12,467.67	26.51	414.94	5.31	4.83	588	426.00	387.27	15,588
	Native	11,311.00	28.38	387.60	4.96	4.51	619	428.62	398.75	17,567
This work		11,257.33	17.38	632.91	8.10	7.36	295	719.64	654.22	5,127

Synthesis results for proposed and conventional AES encryption hardware architectures with area-speed optimization

		Area (GE)	Latency (ns)	Max. freq. (MHz)	Throughput (Gbps)		Power (uW) @100MHz	Efficiency (Kbps/GE)		PL product
					10 (11) cycles	11 (12) cycles		10 (11) cycles	11 (12) cycles	
SASEBO IPs [20]	Table	23,085.00	11.64	1,030.93	12.00	11.00	352	519.66	476.35	4,097
	Tower field	11,431.67	23.04	520.83	6.06	5.56	513	530.16	485.98	11,820
Gueron and Mathew [25]	Mapped	13,249.33	21.78	505.05	6.46	5.88	655	487.92	443.57	14,266
	Native	12,108.33	23.87	460.83	5.90	5.36	755	487.16	442.87	18,022
This work		12,127.00	13.97	787.40	10.08	9.16	279	831.10	755.54	3,898

表 1 性能評価結果 上表：面積最適化結果，下表：面積－速度最適化結果

従来比でエネルギーを 20%以上削減できることがわかる。同成果は、当該研究分野最高峰の学術誌に国際共著論文として掲載された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

同成果は、現在世界的に広く利用されている AES 暗号を従来の半分程度のエネルギーで実行可能とする成果であり、学術的にも産業的にも大きなインパクトを与えるだけでなく、将来の安全かつサステイナブルな社会を構築する上でも貢献が期待される。

また、本プロジェクトを通して、仏国 Telecom ParisTech の交流が活性化し、今後の国際連携研究への発展が期待される。特に、特別支援分（国際）の研究費により、Jean-Luc Danger 教授を招へいすることができ、共同研究を加速させるとともに、今後の協力体制の基盤が得られた。さらに、本共同プロジェクト研究が契機となり、安全な情報処理基盤に関する知見が得られ、下記の外部資金の採択につながった。同外部資金による研究プロジェクトでは、研究分担者の林教授（奈良先端科学技術大学院大学）が主たる共同研究者として参画し、同じく研究分担者の Jean-Luc Danger 教授（Telecom ParisTech）および永田教授（神戸大学）と連携する予定である。

- ・プロジェクト名：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
- ・資金制度：戦略的創造研究推進事業 CREST
- ・配分機関名：科学技術振興機構（JST）
- ・研究期間：2019 年 10 月～2025 年 3 月

[4] 成果資料

(1) Rei Ueno, Sumio Morioka, Noriyuki Miura, Kohei Matsuda, Makoto Nagata, Yves Mathieu, Tarik Graba, Jean-Luc Danger, and Naofumi Homma, “High Throughput/Gate AES Hardware Architectures Based on Datapath Compression,” IEEE Transactions on Computers, DOI: 10.1109/TC.2019.2957355, 2019. (Early Access)

採択番号：H29/B20

産学連携による半導体技術の新たな展開と応用

[1] 組織

研究代表者

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）

阿部 真帆（東北大学電気通信研究所）

丹野 健徳（東北大学電気通信研究所）

森田 伊織（東北大学電気通信研究所）

小野 力摩（東北大学電気通信研究所）

武者 倫正（東北大学電気通信研究所）

庭野 道夫（東北福祉大学感性福祉研究所）

遊佐 博幸（宮城県経済商工観光部）

秋保 憲司（トーカーイ）

古川 誠（トーカーイ）

川崎 弘幸（ワイドテクノ）

延べ参加人数：34人

[2] 研究経過

半導体デバイスの微細化や集積化を実現する半導体プロセス技術は、長年にわたり半導体集積回路の発展を支えてきた。一方、半導体プロセス技術の中核であるプレーナー技術や超微細加工技術は、半導体デバイス以外にも様々な分野へ応用することが可能であり、実際、通信用デバイス、MEMS デバイス、バイオチップなど様々な分野へ応用がなされている。しかしながらその応用分野の開拓はまだ十分とは言えず、より幅広い応用先を発掘することが工学的に重要な課題である。そのためには、民間企業が有する産業ニーズを把握し、最先端半導体プロセス技術を効果的に応用することが不可欠であり、ゆえに本プロジェクト研究では、宮城県ならびに東北経済産業局からの支援を受けながら、電気通信研究所と民間企業との産学連携により、電気通信研究所が有する半導体関連技術と民間企業が有する実用化技術を融合させ、半導体技術の新たな工学分野展開への手がかりを得ることを目指す。併せて、今後の産学連

携関係構築への布石とすることも目的とする。

本プロジェクトは、本年度が第3年度である。今年度も民間企業が有する産業ニーズと、電気通信研究所が有する半導体関連技術を共有し、新たな工学分野展開を図るために、半導体プロセスに関する講習会（半導体基礎講座）と研究会をセットとして以下のように1回開催した。

・第五回半導体基礎講座

日時：令和元年9月24、25日

参加者：21名

講習内容：（講義）MOS トランジスタと半導体プロセス、計測技術の概要、（実習）フォトリソグラフィ、SiO₂ エッチング、Al 成膜、走査型電子顕微鏡、X線回折装置等

・第五回研究会

日時：令和元年9月24日

参加者：24名

テーマ：企業における半導体関連技術のニーズについて

また、半導体基礎講座の内容（座学と実習）は以下の通りである。

- 1 講義（MOS トランジスタと半導体プロセス）
- 2 コンタクトホール形成
 - 2.1 フォトリソグラフィ
 - 2.1.1 乾燥バーク
 - 2.1.2 レジスト塗布
 - 2.1.3 プリバーク
 - 2.1.4 露光
 - 2.1.5 現像
 - 2.1.6 ポストバーク
 - 2.2 SiO₂ エッチング
- 3 配線層の加工
 - 3.1 Al 膜蒸着
 - 3.2 Al 膜リフトオフ
- 4 電気測定
- 5 走査型電子顕微鏡の概略説明と実習
- 6 X線回折法の概略と実習

[3] 成果

(3-1) 研究成果

講習会、研究会には総数11の企業・団体からの参加があった。研究会では、国内外における半導体関連産業の最近の動向や今後発展が期待される分野について知見を共有することができた。また、半導体技術に関する産学連携の必要性、特にフォトリソグラフィやマスク製作を中心として率直な意見交換を行った。これらを通じて、半導体技術の新たな産業応用に向けた産学連携関係の構築に向けて、着実に前進した。

研究会開催において、配分旅費と産学特別支援費により、参加者2名の旅費の一部を支援した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今後、半導体デバイス、通信デバイス、MEMSデバイス、バイオチップ、及びその他関連分野における半導体技術の新たな工学分野展開への手がかりを得ること、及び産業応用に向けた産学連携関係の構築が期待される。

[4] 成果資料

(1) T. Iwahori, R. Yamazaki, T. Sasajima, A. Mizuno, A. Ono, Y. Uehara, and S. Katano, "Plasmon-enhanced Photoreaction using Ag Nanocube Array", 27th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM27), Hotel Laforet Shuzenji, Shizuoka, Japan, 12月5日-7日 (2019).

(2) W. Li, M. Sakuraba, S. Sato, Electron-cyclotron resonance Ar plasma-induced electrical activation of B atoms without substrate heating in B doped Si epitaxial films on Si(100), Materials Science in Semiconductor Processing, vol. 107, 104823, 2020.

(3) S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, Tatsuki Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas, A spiking neuron MOS circuit for low-power neuromorphic computation, Proc. 2019 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), p. 80, 2019.

(4) S. Moriya, H. Yamamoto, Z. Chen, K. Wakimura, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, Time-series information processing in cultured neuronal network models, Proc. 2019 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), pp. 86-88, 2019.

(5) Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, S. Sato, An Izhikevich Model Neuron MOS Circuit for Low Voltage Operation, Artificial

Neural Networks and Machine Learning — ICANN 2019: Theoretical Neural Computation, Springer International Publishing, pp. 718—723, 2019.

(6) S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota and S. Sato, "Quantitative Analysis of Dynamical Complexity in Cultured Neuronal Network Models for Reservoir Computing Applications," 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Budapest, Hungary, 2019, pp. 1-6.

採択番号：H29/B21

カラスの行動制御のための広域音声システムの開発

[1] 組織

研究代表者

塚原 直樹（宇都宮大学バイオサイエンス教育
研究センター）

通研対応教員

北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

末田 航（シンガポール国立大学・Smart
Systems Institute）

永田 健（株式会社CrowLab）

大井 千明（元日本航空操縦士）

片桐 道徳（山形市役所商工観光部雇用創出課）

芳賀 貴明（山形市役所商工観光部雇用創出課）

稲垣 隼人（山形市役所環境部環境課）

延べ参加人数：8人

[2] 研究経過

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 平成 30 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。それらカラスの被害を軽減するため、カラスの行動制御が重要であるが、カラスの賢さゆえに決定打がないのが現状である。これまでの申請者の研究より、カラスは音声によるコミュニケーションが発達していることがわかっており、また、カラスは音源の位置を特定する能力が優れていることがわかっている。そこで本研究では、広範囲に設置した複数のスピーカーから再生箇所をずらしながらカラスの鳴き声を再生することで、カラスが移動しているかのようにカラスが錯覚するような広域音声システムの開発し、カラスが集合しては困る場所から、困らない場所（人が立ち入らないような場所など）へと群れを誘導することを目指す。

本プロジェクトは、本年度が 3 年目であった。初年度は、カラスの行動制御のための広域音声システムの開発を目的とした研究会及び研究打ち合わせを 2 回行った。また、山形市をフィールドとして、カラスの行動制御のための広域音声システムの実証試験を 2 回行った。2 年目は、研究会及び研究打ち合わせを 3 回行った。また、前年度の実験結果の再現

性を確かめるため、山形市での試験を 1 回行った。さらに、別の場所でも同様の結果が得られるかどうかを調べるため、那須塩原市の牧場での試験を 1 回行った。

本年度は、前年度の成果を踏まえながら、研究会及び研究打ち合わせを 9 月 30 日（参加者 3 人）、2 月 20 日（参加者 3 人）の 2 回行った。

これまでの実験より、カラスの群れを意図する場所へ誘導できる可能性を示すことができた。しかしながら、被害現場で応用するためには、長距離でカラスの群れを誘導する必要があり、また、誘導先で定着させるなどの課題がある。それらの課題を解決するためには、見た目をカラスに近づけたカラスドローンやカラスロボットの開発が必要である。

ドローンによるカラスの反応を調べるため、那須塩原市において、スピーカーを搭載した市販のマルチコプターを飛ばし、カラスの鳴き声を再生しながらカラスの反応を確認する実験を行った。

また、ドローンの見た目をカラスに近づけるため、剥製の翼を用いた固定翼機の開発を行っている。

これらの開発には、期間を要する。そこで、すぐに被害現場で応用できる技術を開発するため、会津若松市、佐賀市、八戸市において、カラスの群れの行動誘導実験を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会及び研究打ち合わせにおいて、カラスの行動制御のための広域音声システムの開発に関する議論を行った。これまでの実験結果に関する考察、今後の展開に関し議論した。

カラスの群れを意図する場所へ誘導する技術の完成には、見た目が精巧なカラスドローンやカラスロボットの開発が必要であるが、それには技術的な革新が必要であり、期間を要する。これまでの技術をすぐに被害現場で応用するため、以下の実験を行った。

会津若松市では、会津若松駅周辺に多数のカラスが飛来し、糞害等の被害が生じている。飛来するカラスの群れに対し、行動誘導音声を使った追い払いを実施した。1,000 羽以上のカラスが飛来した。ス

ピーカーより追い払いを目的とした行動誘導音声を再生したところ、上空を旋回する忌避行動が見られ、5分程の再生で周辺のカラスの群れは飛び去っていた。

佐賀市には、中国などから越冬のために飛来するミヤマガラスが多数飛来し、市街地にねぐらを形成する事で、糞害が問題となっている。これまで行った行動誘導試験は、渡りをしないハシボトガラスおよびハシボソガラスであるが、佐賀市では、これまでとは異なる種のミヤマガラスに対し、行動誘導が可能かどうか実験を行った。佐賀大学内を飛行するミヤマガラスの群れに対し、スピーカーより誘引を目的とした行動誘導音声を再生した。通常は西から東へまっすぐ飛行するが、音声を再生すると、カラスの群れは飛行ルートを変え、スピーカーの上空まで飛来した。また、佐賀県庁周辺では、ねぐらで樹木に止まるカラスの群れに対し、スピーカーより誘引を目的とした行動誘導音声を再生した。通常はそのまま朝まで樹木に止まって動かないが、音声を再生すると、カラスの群れはスピーカー周辺まで集まってきた。これらの実験から、飛行ルートを変える、目的の場所へ誘導するなど、ミヤマガラスの行動に変化を与える事ができる事がわかった。

八戸市では、冬場に市街地に飛来し、夜間から朝までカラスが滞在し、糞害が問題となっている。八戸市の協力のもと、それらのカラスの群れに対し、広域的かつ長期的に追い払いが可能かどうかを検証した。その結果、カラスの群れを2ヶ月以上の追い払うことに成功した。

また、那須塩原市において、スピーカーを搭載した市販のマルチコプターを飛ばし、カラスの鳴き声を再生しながらカラスの反応を確認した。その結果、カラスの反応はほとんど見られなかった。見た目や飛び方がカラスとは大きく異なるマルチコプターから鳴き声を再生するよりも、地上のスピーカーから再生した方が効果的であることがわかった。誘導を行うためには、ドローンの見目をカラスに近づけるなどの工夫が必要であると考えられる。そこで、現在カラスの剥製の翼を使用したドローンを開発している。現在、ある程度飛行制御が可能状態にある。

【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、会津若松市、佐賀市、八戸市でのカラスの群れの誘導試験を実施し、事業化に関わる議論を行った。

【特別支援（国際）に係る研究成果】

それぞれの研究会及び研究打ち合わせ、実証試験の実施に伴い、シンガポール国立大学の末田氏を招聘した。

シンガポールでは、ドローンの飛行に対する規制が緩いことから、飛行制御などの開発をしやすい状況にある。前年度には、ドローンを使った具体的なシステムを検討した。本年度は、スピーカーを搭載したドローンを開発し、実証試験を行うことができた。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト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い、任意の場所へ誘導するといった新たな切り口の対策法に興味を持たれたと推測される。

本プロジェクトは、動物行動学とコンピュータサイエンスの異分野融合型の研究課題であり、それぞれの研究分野に対し、新たな手法の提案や新たなアプリケーション例の提案の面で、一石を投ずることが期待される。また、未だ萌芽的な研究分野である、コンピュータを介し動物とのインタラクションを目指す、アニマルコンピュータインタラクションの分野への貢献も期待できる。その他、本システムが開発されれば、野生動物と人の摩擦といった社会的課題を解決することにも貢献できる。

【他のプロジェクトに繋がった事例】

本プロジェクトの関連研究として、下記テーマが採択された。

- ・カラスはディストレスコールのどの音響的特徴を忌避するか？鳴き真似から炙り出す
- ・科研費、基盤研究(C)
- ・研究機関：宇都宮大学
- ・研究期間：2019-04-01 - 2022-03-31

[4] 成果資料

【学会発表】

- (1) 日本鳥学会 2019 年度大会 「カラス追い払い装置「CrowController」の効果と忌避行動のモデル化」、永田健、塚原直樹、2019 年 9 月、帝京科学大学（東京都）

【記事執筆】

- (1) 2019 年 12 月 19 日 農業共済新聞 12 月 3 週号
 (2) 2019 年 12 月 12 日 農業共済新聞 12 月 2 週号
 (3) 2019 年 12 月 5 日 農業共済新聞 12 月 1 週号
 (4) 2019 年 11 月 28 日 農業共済新聞 11 月 4 週号
 (5) 2019 年 11 月 21 日 農業共済新聞 11 月 3 週号
 (6) 2019 年 11 月 14 日 農業共済新聞 11 月 2 週号
 (7) 2019 年 11 月 1 日 月刊 機械化農業 令和 01 (2019) 年 11 月号

【招待講演等】

- (1) 青森県板柳町「カラスの生理・生態を知り被害を防ぐ」、2020 年 2 月
 (2) 学輪 IIDA インターユニバーシティプレオープンキャンパス「カラスの知られざる生態とカラスとの共存を目指した市民参加型の被害対策」、2020 年 1 月
 (3) 飯田市カラス対策講演会「カラスの生理・生態を知り対策に生かす」、2020 年 1 月
 (4) 第 4 回畜産 NW セミナー「カラス同士のコミュニケーションを利用した被害対策」、2019 年 11 月
 (5) 青森県八戸市商工会議所「カラスの生態と対策」、2019 年 9 月
 (6) 福井県あわら市カラス被害対策研修会「カラスの生態と対策」、2019 年 9 月
 (7) 群馬高教研生物部会総会記念講演会「カラスの生理・生態と最新カラス研究」、2019 年 5 月

【メディア出演等】

- (1) 2020 年 2 月 27 日 NHK 「おはよう日本」
 (2) 2020 年 2 月 9 日 東京新聞
 (3) 2020 年 2 月 8 日 朝日新聞
 (4) 2020 年 2 月 6 日 NHK
 (5) 2020 年 2 月 6 日 河北新報
 (6) 2020 年 2 月 6 日 東奥日報
 (7) 2020 年 2 月 6 日 毎日新聞
 (8) 2020 年 2 月 6 日 Yahoo! ニュース
 (9) 2020 年 2 月 5 日 RAB 青森放送
 (10) 2020 年 2 月 2 日 毎日新聞
 (11) 2020 年 2 月 2 日 信濃毎日新聞
 (12) 2020 年 2 月 2 日 産経新聞

- (13) 2019 年 12 月 26 日 テレビ東京「世界を救え！ サムライバスターズ 5」
 (14) 2019 年 12 月 19 日 マイナビ農業
 (15) 2019 年 12 月 11 日 県民福井
 (16) 2019 年 12 月 10 日 福井新聞
 (17) 2019 年 11 月 28 日 マイナビ農業
 (18) 2019 年 11 月 6 日 日本テレビ「ヒルナンデス」
 (19) 2019 年 10 月 3 日 日経コンピュータ創刊 1000 号
 (20) 2019 年 9 月 6 日 CROW'S Vol. 5
 (21) 2019 年 7 月 12 日 TOKYO FM 「Tokyo Midtown presents The Lifestyle MUSEUM」
 (22) 2019 年 5 月 10 日 NHK 「さぬきドキッ！」
 (23) 2019 年 4 月 25 日 NHK 「Nらじ」
 (24) 2019 年 4 月 14 日 フジテレビ「ミスターサンデー」

採択番号：H30/B04

プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成

[1] 組織

研究代表者：

安藤 晃（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

高橋 和貴（東北大学大学院工学研究科）

船木 一幸（宇宙航空研究開発機構）

篠原 俊二郎（東京農工大学）

佐藤 浩之助（九州大学総合理工学研究院）

小紫 公也（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

高木 浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）

吉村 信次（核融合科学研究所）

永岡 賢一（核融合科学研究所）

上杉 喜彦（金沢大学理工研究域電子情報学系）

津守 克嘉（核融合科学研究所）

鷹尾 祥典（横浜国立大学大学院工学研究院）

服部 邦彦（日本工業大学共通教育系）

延べ参加人数：70人

[2] 研究経過

プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場は、新規ナノ材料、微細加工テクノロジー、新機能性材料開発等の分野において独創的なプロセスを実現可能であることから、半導体集積回路、太陽電池、発光ダイオード、人工ダイヤモンド合成、セラミック焼結、磁性材料等の各種薄膜作成、微細構造加工、表面改質等への応用が急展開しており、ナノテクノロジーの進展に不可欠な基盤技術となりつつある。

近年のプラズマ生成・制御技術の技術進展に伴い、その動作圧力領域は 0.1mTorr 以下の低気圧から大気圧、または超臨界状態を含む高気圧領域まで拡張され、またその動作電力も 1mW から 1MW 級へと広範な領域へと拡張が進んでおり、動作時間もフェムト秒から定常状態と種々の生成制御方式の開発が進ん

でいる。上記の研究進展過程において、超高エネルギー密度状態であるプラズマの圧力勾配、外部電磁場や固体壁などの境界条件との相互作用に起因して発生するプラズマの流れ場がその生成・制御技術を確立する上で重要な役割を担っていることが明らかになってきた。またそのプラズマ流中には、時空間領域において微細構造から巨視的構造に至るマルチスケール構造形成が起こることが近年の研究により示唆され、これらの構造形成・制御技術を積極的に制御することで、ナノデバイス分野から核融合プラズマ、宇宙開発に至る広範な分野で新たな応用研究が開始されている。

本研究では、次世代のナノ情報デバイス創製をはじめ、宇宙技術、エネルギー技術等の他の産業応用に関連した学際的な研究交流を積極的に推進し、プラズマ流中の時空間構造形成を活用した新規反応場を開拓することを目的としている。この実現のためには、時空間構造形成の学理の理解と独創的なアイデアを研究へと盛り込むことが必要であり、プラズマ流中の構造形成の基礎と応用に関する研究会を開催する。広範な分野で活躍する研究者との交流を深めることで、プラズマ流生成制御、各種応用、ナノバイオから核融合、宇宙開発に至る研究分野間で情報交換を行い、種々の研究を展開することを目的とする。

以下、研究活動状況の概要を記す

日時：令和2年2月12日(水) 14:30 -17:50

2月13日(木) 9:00 - 11:40

場所：東北大学工学研究科 電気情報系 103 講義室

「プラズマ流に伴う時空間構造形成と多様な新規反応場創成」に関する研究会を開催した。発表題目と講演者は以下の通りであり、参加人数は延べ70人程度であった。

- 1) 挨拶・趣旨説明
安藤晃（東北大学）
- 2) 『磁気ノズルプラズマスラストを対象とした2次元PIC/MCC 計算モデルの構築』

- 江本 一磨 (横浜国立大学)
- 3) 『負イオンビーム集束劣化機構の実験研究』
波場 泰昭 (名古屋大学)
 - 4) 『ミュオン触媒核融合の新現実化』
森 義治 (京都大学)
 - 5) 『RF プラズマ源DT-ALPHA におけるイオン温度の非等方度調査と水素再結合プラズマ生成』
高橋 宏幸 (東北大学)
 - 6) 『磁気ノズル中の無衝突電子流の熱力学的アナロジー』
高橋 和貴 (東北大学)
 - 7) 『乱流抑制・制御機能を内在する革新的3次元プラズマの創生研究』
永岡 賢一 (核融合科学研究所)
 - 8) 『加熱・輸送・乱流現象が繋ぐ実験室-天体プラズマの連携研究プロジェクト SoLaBo-X』
仲田 資季 (核融合科学研究所)
 - 9) 『光渦吸収分光による横方向流れ測定と視線方向空間分解測定の検討』
荒巻 光利 (日本大学)
 - 10) 『方位角方向ドップラー効果による光渦レーザー誘起蛍光スペクトルの変形と流れ計測への応用』
吉村 信次 (核融合科学研究所)
 - 11) 『ヘリコン高密度プラズマ源開発と無電極プラズマ推進研究』
篠原俊二郎 (東京農工大学)
 - 12) 『NIFS NBI グループの最近の研究活動 (重水素ビーム最適化に向けて)』
津守 克嘉 (核融合科学研究所)
 - 13) まとめ、総合議論
安藤晃 (東北大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

核融合プラズマ、実験室基礎プラズマ、宇宙航空用電気推進機プラズマ、およびプロセスプラズマにおけるプラズマ流の生成技術と多岐にわたる構造形成、付随する新規反応の発現、およびその応用技術に関連する報告がなされ、最新の研究発表と討論を行った。

横浜国立大学 江本一磨氏からは、磁気ノズルプラズマスラストを対象とし、PIC/MCC 法による2次元粒子計算モデルを構築した結果に関して報告があった。従来は2次元円筒モデルによる解析が進められていたが、計算コストなどの問題から、電子のみが磁化する弱磁場での計算にとどまっていることが問題であった。そこで、新たに2次元対称で計算負荷の軽いモデルを構築し、磁場を強めた粒子計算を実

施した。得られた電子密度分布はダブルピークとなり、実験で得られている分布とも定性的に一致した点に関して、モデリングと妥当性に関する議論が行われた。

名古屋大学 波場泰昭氏からは、ITER 用 RF 放電放電方式負イオン源開発における、ビーム集束性改善に関する報告があった。ビーム集束性を決める重要な要素の一つは、ビーム引出界面 (メニスカス) であるが、負イオンビームのメニスカス形成過程は未だよくわかっていないことが課題であった。そこで本研究では、ビーム位相空間構造に着目し、負イオンビームのメニスカス形成の解明に資する実験研究を行った。複数速度成分の挙動が負イオンビーム集束性に与える影響に関して議論が行われた。

京都大学 森 義治氏からは、ミュオン触媒核融合 (μ CF) の現状に関する報告があった。ミュオン触媒核融合は、エネルギー源として成立しないと考えられてきた。この常識を覆し、ミュオン触媒核融合 (μ CF) によるエネルギー生産を現実化する新手法を考案した。その手法と今後の発展可能性に関して議論が行われた。

東北大学 高橋宏幸氏からは、RF プラズマ源DT-ALPHA におけるイオン温度の非等方度調査と水素再結合プラズマ生成に関する報告があり、同じく東北大学高橋 和貴氏からは磁気ノズル中の無衝突電子流の熱力学的アナロジーに関する報告があった。

核融合科学研究所 永岡賢一氏からは、磁場閉じ込めプラズマにおける乱流輸送に関する報告があった。トカマクでもヘリカルでも磁場閉じ込めプラズマの輸送を支配しているのは乱流輸送である。乱流輸送は、ゾーナル流による閉じ込め改善効果が非線形飽和レベルに影響するためモードの線形成長率の評価では実験を説明できないことがわかっている。3次元磁場の幾何構造を活用して、非線形効果を含めた乱流輸送を制御する試みに関する紹介があり、その制御手法に関する議論が行われた。

核融合科学研究所 仲田資季氏からは、プラズマ分野の連携研究プロジェクトに関する報告があった。プラズマ中の加熱・輸送・乱流現象は種々のダイナミクスに強く影響を与え、実験室プラズマから天体・宇宙プラズマにおいて共通の重要研究課題となっている。2019 年度から太陽を中心とした天体プラズマ分野と磁場閉じ込めプラズマ分野の連携研究プロジェクトが本格的に活動を開始され、多様な物理パラメータにまたがる乱流現象に着目した共同研究が展開されている。プロジェクトのこれまでの成果についてとこれからの展開についての議論が行われた。

日本大学 荒巻光利氏からは、らせん状の等位相面を持つ光渦を用いたドップラー吸収分光法に関する

報告があった。この分光法はビームを横切る流れにも感度があるという特徴があるが、その評価には光の伝播の効果を適切に考慮する必要があることが明らかになってきた。光渦吸収分光の実験および伝播シミュレーションの結果についての議論が行われた。

核融合科学研究所 吉村信次氏からは、レーザー誘起蛍光法に関する報告があった。通常のレーザー誘起蛍光 (LIF) 法は、光の伝播方向 (縦方向) のドップラー効果を利用することで、原子・イオンの速度分布関数を計測することができる。一方、光渦を用いて LIF 計測を行うと、ビームを高速に横切る粒子が感じる方位角方向ドップラー効果により、そのスペクトルが変形する。この LIF スペクトルの変形から光路を横切る方向の流速の決定手法に関して議論が行われた。

東京農業工業大学 篠原俊二郎氏からは、高周波を用いたヘリコンプラズマ源に関する報告があった。高周波を用いたヘリコンプラズマ源では、電子温度が数 eV の低温で電子密度が 10^{13} cm^{-3} 程度の高密度を、無電極 (プラズマとアンテナが接しない意味) 条件で幅広い外部制御パラメータで得られるため、種々の応用が期待できる。広範囲のサイズ (直径 0.5 mm から 740 mm) のヘリコンプラズマ源開発・特性解析 (Ar の衝突輻射モデルも紹介) と、先進プラズマ推進 (特に無電極での回転磁場印加による追加速) の今後の発展可能性についての議論が行われた。

核融合科学研究所 津守克嘉氏からは、NIFS NBI グループの最近の研究活動に関する報告があった。重水素ビーム最適化に向けての現在の取り組み内容に関する紹介がなされた。負イオン源内プラズマの多角的計測の結果、引出領域ではほぼ正イオンと負イオンのみの負イオンプラズマが形成されており、このようなプラズマから負イオンを引き出す場合、放電領域から電子が拡散してくる複雑な粒子ダイナミクスが起こる。NBI 用大型負イオン源の概要と引出領域で起こる物理現象に関して、実験結果を中心とした紹介があった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

多岐にわたる産業応用が展開されているプラズマ流に関する研究成果が報告され、討論が行われた。新規プラズマ流応用に関する研究から、宇宙開発・核融合研究など継続して研究を推進する必要がある分野にとってもプラズマ流物理の基礎過程の理解は重要である。様々な実験装置でプラズマの流れ場が形成され、定常状態から不安定状態を包括する構造形成の発現に加えて、構造の能動制御まで研究を拡張することで、工学応用が可能となる。本研究会では、これらの時空間構造形成と複雑な挙動・加速・

加熱・計測手法などについて議論や情報交換を行い、その理解を進めることが出来た。プラズマ流が関与する反応場形成と制御法、その応用展開についても紹介があったことで、多くの可能性を創出しつつある点は本研究プロジェクトの大きな成果である。本研究会活動は、プラズマ流構造形成に関する新規反応場の基礎研究および応用分野が発展・理解につながることを期待される。

[4] 成果資料

1. Y. Haba, K. Nagaoka, K. Tsumori, M. Kisaki, H. Nakano, K. Ikeda and M. Osakabe, "Characterisation of negative ion beam focusing based on phase space structure" 2020 *New J. Phys.* **22** 023017.
2. Y. Haba, K. Nagaoka, K. Tsumori, M. Kisaki, K. Takahashi, H. Nakano, K. Ikeda, S. Yoshimura and M. Osakabe, "Response of beam focusing to plasma fluctuation in a filament-arc-type negative ion source" 2020 *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** SHHA01.
3. A. Okamoto, R. Ochiai, K. Satou, H. Hachikubo, M. Sugimoto, T. Fujita, H. Takahashi, "High-Density Plasma Production in Converging Field Following a Magnetic Beach Plasma Source", *Plasma and Fusion Research*, 2019, **14**, 2401005.
4. M. Nakata, K. Nagaoka, K. Tanaka, H. Takahashi, M. Nunami, S. Satake, M. Yokoyama, F. Warner and the LHD Experiment Group, "Gyrokinetic microinstability analysis of high-Ti and high-Te isotope plasmas in Large Helical Device", *Plasma Phys. Control. Fusion*, 2019, **61**, 014016.

採択番号：H30/B06

光の空間モードに関する研究開発

[1] 組織

研究代表者：

浜本 貴一(九州大学大学院総合理工学研究院)

通研対応教員：

吉田 真人(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

姜 海松(九州大学大学院総合理工学研究院)

Mahmoud Nasef(九州大学大学院総合理工学府)

李 雯穎(九州大学大学院総合理工学府)

陳 贊輝(九州大学大学院総合理工学府)

韓 瑜(九州大学大学院総合理工学府)

小川 慧(九州大学大学院総合理工学府)

栗畑 亮太(九州大学大学院総合理工学府)

村上 慎梧(九州大学大学院総合理工学府)

岩崎 圭佑(九州大学大学院総合理工学府)

延べ参加人数：11人

[2] 研究経過

本共同研究は、光の最後の情報資源と言われる空間モードに関する東北大学の光通信システムに関わる研究成果と九州大学のデバイスに関わる研究成果について討議を進め、将来の“空間モード学”ともいべき新しい学術領域を切り開くことを目的とし、本共同研究の進展に基づき、科研費「新学術領域」への応募を目指すものである。

本プロジェクトは、本年度が第二年度で、以下のような成果報告会を行った。

会期 2月18日(火)-19(水)

場所 東北大電気通信研究所

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、上記日程にて令和元年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会を開催した。テーマ名は以下の通りである。

「超高帯域通信のための次世代システムの創生に関する研究 -光の空間モードに関する研究開発-

(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

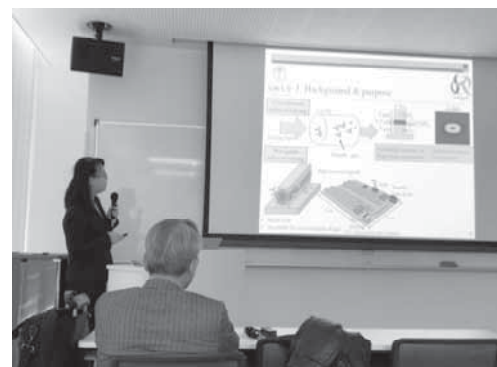
【研究会プログラム】

今年度は以下のプログラムにて研究会を実施した。

- ・(招待講演)長距離伝送用マルチコアファイバの開発、林 哲也(住友電工)
- ・アクティブ MMI レーザを用いた 60GHz および 20GHz のフォトン・フォトン共振の観測、村上 慎梧
- ・マルチコアファイバ中で発生する GAWBS 位相雑音に関する実験および理論解析、竹節直也
- ・超高密度モード多重光ネットワーク実現へ向けた光モードスイッチ高次展開、姜 海松
- ・自己注入同期型 1.5 μm 帯利得スイッチング DFB-LD による 10 GHz, 6.2 ps フーリエ限界コヒーレント光パルスの発生、葛西 恵介
- ・(招待講演) モード学としての発展に向けて、浜本 貴一
- ・10 Tbit/s-160 km QAM 量子雑音ストリーム暗号伝送、吉田 真人
- ・小型呼吸センシング集積光回路に関する研究、李ウエン穎



研究会当日の様子1



研究会当日の様子2

採択番号 : H30/B07

酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用

[1] 組織

研究代表者 :

廣瀬 文彦 (山形大学大学院理工学研究科)

通研対応教員 :

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Patrik Schmuki (University of Erlangen
-Nuremberg)

Richard Rosenberg (アルゴンヌ国立研)

庭野 道夫 (東北福祉大学感性科学研)

水柿 義直 (電気通信大学情報理工学研究科)

守屋 雅隆 (電気通信大学情報理工学研究科)

手老 龍吾 (豊橋技科大学環境・生命工学系)

戸澤 譲 (埼玉大学理工学研究科)

木村 康男 (東京工科大学コンピュータサイエンス学部)

立間 徹 (東京大学生産技術研究所)

益田 秀樹 (首都大学東京大学院
都市環境科学研究科)

安田 哲二 (産業技術総合研究所)

鹿又 建作 (山形大学大学院
有機システム研究科)

但木 大介 (東北大学電気通信研究所)

馬 騰 (東北大学・材料科学高等研究所)

延べ参加人数 : 60 人

[2] 研究経過

金属酸化物は、薄膜トランジスタのみならず、光触媒、絶縁膜、センサーデバイス、太陽電池、水素製造のフォト電極、フレキシブルエレクトロニクスに活用される。また、近年では分子の吸着による酸化物薄膜の導電率変調を利用した医療用バイオセンサとしての研究も進められている。

これらを実現するためには、酸化物をナノレベルで形状を制御して積層することが重要である。そのため、薄膜形成、自己組織化によるナノ周期構造形成、Si テクノロジーとの融合による集積化が必要である。本研究では、酸化物半導体によるナノ構造体を利用した電子デバイスを構築する基盤技術を開発するために、電子デバイス、ナノテクノロジー、表面科学、触媒、電

気化学といった幅広い分野の研究者が協力して表面制御技術やナノ構造制御技術のデバイス化に向けた技術目標や戦略目標を討論することを目的とした。

本プロジェクトでは、ナノテクノロジー、電子デバイス、光電気化学、医工学の幅広い分野の研究者間の意見交換及び交流を目的とした、第 11 回 International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics 開催を目的に準備を進めていた。日時としては R2 年 3 月 5 日および 6 日の二日間で東北大学電気通信研究所での開催を予定していたが、折からの新型コロナウイルス感染の問題が発生し、やむおえずシンポジウムを中止することになった。予定していた研究者の講演は次の通りであるが、R2 年度において当該問題の収束を見計らって、WEB を含めた研究会の開催を検討していく予定である。

11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-10)シンポジウム発表予定者

1.Kazuhiko Matsumoto

Osaka University

"Sugar chain modified graphene FET for virus detection"

2.Craig A. Aspinwall

University of Arizona

"Stabilized lipid membranes in analytical measurement platforms"

3.Kenichi Morigaki

Kobe University

"Artificial photosynthetic model thylakoid membrane embedded in the polymerized lipid bilayer scaffold"

4.Ayumi Hirano-Iwata

Tohoku University

"Bilayer lipid membranes formed in microfabricated silicon chips as a platform for novel biosensors"

5.Daisuke Tadaki

Tohoku University

"A new approach for polarization control of piezoelectric PVDF films using surface chemical modification"

6.Patrik Schmuki

University of Erlangen-Nuremberg

"Self-organized TiO₂ nanotube arrays: Latest features and applications"

7.Yoko Tatewaki

Tokyo University of Agriculture and Technology

- "Electromagnetic properties of self-assembled molecular nanocoils composed of Tetrathiafulvalene derivatives with chiral part and F4TCNQ"
- 8.Fumihiko Hirose
Yamagata University
"Room temperature atomic layer deposition and its application to gas barrier and anticorrosion coatings"
- 9.Ryugo Tero
Toyohashi University of Technology
"Formation of artificial lipid bilayer on an ion image sensor and measurement of time response of potential dependency on ion concentration"
- 10.Yasutaka Tomioka
The University of Electro-Communications
"AC impedance of a free-standing bilayer lipid membrane formed over an aperture in a nanofabricated silicon chip"
- 11.Xingyao Feng
Tohoku University
"Modulation of photoinduced transmembrane currents in a PCBM-doped freestanding lipid bilayer by a lateral bias"

本プロジェクトの活動として、東北大学電気通信研究所で次の研究会を開催した。

電子情報通信学会電子デバイス研究会

2019年4月18日(木) 13:00 - 17:10

- [1] 齋藤 健太郎, 吉田 一樹, 鹿又 健作, 三浦 正範, 有馬 ボシール アハンマド, 久保田 繁, 廣瀬 文彦, “低温イットリア原子層堆積法による絶縁膜の試作と評価,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-1, pp. 1-4, 2019年4月.
- [2] 吉田 一樹, 齋藤 健太郎, 三浦 正範, 鹿又 健作, 廣瀬 文彦, “室温原子層堆積法を用いた ZnO 薄膜の特性評価,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-2, pp. 5-8, 2019年4月.
- [3] 廣瀬 文彦, 吉田 一樹, 三浦 正範, 鹿又 健作, “室温原子層堆積法のガスバリア応用,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-3, pp. 9-11, 2019年4月.
- [4] 馬 騰, 木村 康男, 庭野 道夫, 平野 愛弓, “酸化チタンナノチューブアレイによる有機分子の光触媒分解のその場観察,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-4, pp. 13-15, 2019年4月.
- [5] 但木 大介, 山宮 慎, 馬 騰, 今井 裕司, 平野 愛弓, 庭野 道夫, “金チオール修飾表面を用いた PVDF 膜中の分極処理,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-5, pp. 17-19, 2019年4月.
- [6] フェン シンヤオ, 馬 騰, 出口 貴史, 平野 愛弓, “The self-assembly of nanoparticle-

inserted hybrid lipid membranes at water/air interface,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-6, pp. 21-22, 2019年4月.

- [7] 平野 愛弓, 但木 大介, 山浦 大地, 加藤 美生, 小宮 麻希, 井上 遥, 戸澤 謙, 馬 騰, 山本 英明, 庭野 道夫, “ナノ・マイクロ加工に基づく人工細胞膜デバイスの創成と薬物副作用センサへの応用,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-7, pp. 23-26, 2019年4月.
- [8] 手老 龍吾, 都積 清, “グラフェン酸化物上に形成した脂質二重膜内での分子拡散の観察,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-8, pp. 27-29, 2019年4月.
- [9] 高島 匠吾, 守屋 雅隆, 富岡 康貴, 平田 はるか, 廣瀬 文彦, 平野 愛弓, 水柿 義直, “カーボンナノチューブを混合した自立型平面脂質二分子膜の交流インピーダンスの経時変化,” 信学技報, vol. 119, no. 9, ED2019-9, pp. 31-34, 2019年4月.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、酸化物表面の機能修飾による新機構の発現を中心に議論がおこなわれた。国内研究会では、ナノ薄膜製造技術、脂質二分子膜を用いたセンシングや機能解析をテーマにした内容が多かった。

脂質二分子膜のデバイス応用研究では、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、脂質二分子膜に平行な電界を加えたときに細胞膜電位への影響について、精力的な実験が進められた。この機構を明らかにすることは、細胞のイオンチャネルの動作メカニズムの解明につながり、新しい創薬や医療につながることを期待される。各大学の連携により、電界印加に関するナノストラクチャー製造、電気解析、膜電位評価手法において進展があり、これら成果をもとに大型の国際研究プロジェクトにつなげていくことが期待される。

(3-2) 波及効果と発展性

研究討論の場としての国際シンポジウムは開催できなかったが、これに向けての準備・交流を通して本プロジェクトに関する議論を進めてきた。金属酸化物コーティングに関しては、ガスバリアのみならず、イオン交換吸着膜やガスセンシングデバイスでも進展があった。脂質二分子膜デバイスでは、これまで進めてきた Si チップ型に加えて、テフロンフィルムベースでフレキシブル化が図られ、かつ横電界印加機能が

付加され、イオンチャネル評価デバイスとしての実用の可能性が見出された。本分野については、引き続き同研究分野の研究者との討論を展開し、大型チーム型プロジェクトへの展開を目指したい。

[4] 成果資料

ジャーナル論文

- 1) Teng Ma, Xingyao Feng, Takeshi Ohori, Ryusuke Miyata, Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Takafumi Deguchi, Maki Komiya, Kensaku Kanomata, Fumihiko Hirose, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, “Modulation of photoinduced currents in Fllurene doped freestanding lipid bilayer by a lateral bias”, ACS Omega, 4, 18299-18303 (2019)

- 2) Kazuki Yoshida, Kentaro Tokoro, Kensaku Kanomata, Masanori Miura, Kentaro Saito, Bashir Ahmmad, Shigeru Kubota, Fumihiko Hirose, ”Room temperature atomic layer deposition of niobium oxide using plasma excited humidified argon and its application to anticorrosion to hydrochloric acid”, Journal of Vacuum Science and Technology, A 37, 060901 (2019).

採択番号：H30/B08

集団議論における知的生産性取得の情報工学的アプローチと 心理学的検証法の確立

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）

通研対応教員：

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

藤原 健（大阪経済大学人間科学部）

坂本 大介（北海道大学大学院情報科学研究科）

吉田 成朗（東京大学大学院情報理工学系研究科）

杉浦 裕太（慶應義塾大学理工学部）

上村 明美（株式会社マックス）

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

本研究では、新たなコンテンツやイノベーション創出において、集団で議論することの重要性が広く認識されるようになってきている昨今、その生産性向上のための、生産性取得に対する情報工学的アプローチと、社会心理学的検証手法の確立について議論する。具体的には、センサやカメラ、3次元トラッキング技術や新たなデバイス実装といった情報工学知見を駆使して集団のコミュニケーション特徴を取得し、評価することで、知的生産性モデルを確立し、実際の社会心理学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・活性化を表す集会的なコミュニケーション特徴の議論と、これをコミュニケーションに影響を与えることなく環境に応じてセンシングする手法を開発、さらに、社会心理学実験の実施手法の確立と、実験を通じ得られたコミュニケーション特徴量と集団の知的生産性の関連についての議論、得られた手法のモデル化の実施と、実際のコミュニケーション場への適用に関する議論などが挙げられる。特に、本研究は、社会心理学と情報科学との連携を密接に図る必要がある。本研究では、関連分野で活

躍する若手による研究会を開催し、それぞれの分野の強みや課題、さらにはこれら分野を超え、ロボット工学や人文学、デザイン学といった多種多様な分野を俯瞰して束ね、新たな知見を得ること、さらには要素技術を体系化することで今後の研究構想を練ることとする。

プロジェクトは、本年度は、二回の研究会を開催した。以下、研究活動状況の概要を記す。

1. 一回目研究会

日時：平成30年9月27日～28日

参加者：

伊藤 雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）

坂本 大介（北海道大学大学院情報科学研究科）

上村 明美（株式会社マックス）

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

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。そこで本研究では、まず、実際の企業の知的生産場における課題を明らかにするために、企業における事例や知的生産性の現場について報告をしてもらい、各々が持つ本研究課題に関連するハードウェア実装技術、ソフトウェア実装技術並びに最新の研究動向などがどのように適用可能かを議論した。その後、それらの議論を元に、未来のオフィス空間に求められる計測技術、ロボット技術、映像投影技術、物理インタフェース技術などについて有意義な意見交換をすることができた。2日目も継続して議論を実施した。次回、第二回目へ向けた議題などをまとめて研究会は終了した。

2. 二回目研究会

日時：平成31年1月24日～25日

参加者：

伊藤 雄一（大阪大学大学院情報科学研究科）
坂本 大介（北海道大学大学院情報科学研究科）
高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

本研究会では、以下の通研国際シンポジウムと併設する形で実施した。

- シンポジウム：RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction - Welcome CHI 2021, thinking of the future of HCI together
- 日時 2019年1月24日（金）～25日（土）
- 会場 東北大学電気通信研究所
- 参加人数 約90名

本シンポジウムは、アジア各国の主要なHCI研究者にお集まりいただきご講演頂いたものである。また、国内を中心に若手の研究者の皆さんにもお集まりいただき、日本メンバーおよび各国からの招へい研究者を交えて活発な意見交換を行った。シンポジウムの詳細は以下の通りである。詳細は以下のリンクを参照されたいが、MIT メディアラボの石井裕教授とオレガン州立大学Margaret Burnett教授という著名研究者に招待講演をいただいたことが大きな特徴である。伊藤もそのセッションチェアを務めるなど積極的に議論に参加した。
<https://sigchi.jp/symposium/2018/>

その通研シンポジウムの前後に、シンポジウムの参加者とともに、引き続き生産性研究のための要素技術や将来の研究動向を議論した。ユーザインタフェースだけではなく、アクセスビリティなどの観点も議論できたことは大きな成果であった。多くの人が集まる場を有効活用でき、アカデミアに留まらない、幅広い視座を獲得できたとともに、人脈交流という点においても次につながる成果を得た。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

上記二回の研究会開催はいずれも充実したものであり、メンバー間の研究に対するビジョン、スキルなどを共有するとともに「知的生産性の取得・評価と工場主法の確立」に向けた必要な要素やユーザインタフェース研究に求められる技術など確認することができた。また、分野横断的な視点についても充実した知識の共有ができた。特に、社会心理学の分野においては、情報技術の導入はまだ遅れてお

り、心理実験においても実験開始から終了までの全体を通じたアンケート評価や、参加者の状態取得がほとんどで、情報科学のメンバーが得意とするセンサによるリアルタイム状況解析や、様々なディスプレイデバイスによる被験者への情報提示やその行動変容などで、大きく貢献できる可能性があることが示唆された。これは我々のチームが分野横断型のアプローチを採っているからに他ならず、大きな強みと言えることを確認でき、大きな成果と言える。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

(3-1)でも述べた通り、本プロジェクトは社会心理学と情報科学という二つの分野において、分野横断的アプローチを採り、人の知的生産性をどのように評価し、どのように向上できるかという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつけようとするものである。また、参加者はHCI業界における若手トップランナーであり、このメンバーによって共同研究プロジェクトを実際に立ち上げ、本邦の発展に寄与することを検討している。そのため、本プロジェクトを来年度も継続し、具体的な共同研究を開始させるまで検討を続けたいと考えている。

[4] 成果資料

なし

採択番号：H30/B12

高周波無線電力伝送システムの最適設計と 高効率制御手法の確立

[1] 組織

研究代表者：

関屋 大雄（千葉大学大学院工学研究院）

通研対応教員：

堀尾 善彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

魏 秀欽（千葉工業大学工学部）

高坂 拓司（中京大学理工学部）

引原 隆士（京都大学大学院工学研究科）

麻原 寛之（岡山理科大学工学部）

黒川 弘章（東京工科大学工学部）

菅野 瞭子（千葉大学大学院融合理工学府）

大里 辰希（千葉大学大学院融合理工学府）

ASIYA（千葉大学大学院融合理工学府）

延べ参加人数：26人

[2] 研究経過

無線電力伝送は最後の「有線」である電力伝送の無線化を目指すものであり、通信の無線化と同様のインパクトを社会に与え得る技術として大きな注目が集まっている。実際に iPhone では「置くだけ充電」が標準装備され、EV 充電用として 85kHz 帯が割当てられるなど実用化に向けた研究開発が加速している。一方で、周波数が高くなるほど送電距離が延伸され、さらにシステムの小型化が実現できることから、MHz 帯 ISM バンド(6.78 MHz, 13.56 MHz)における無線電力伝送システムの開発に対しても高い期待が寄せられている。

高周波数動作を志向すると、送電、受電に関わる電力変換回路のスイッチング損失が増加するという問題がある。したがって、定格状態においてコイルからなる無線結合部、電力変換回路を一体化した最適設計が求められる。一方で、負荷に安定した電力を送ることも重要であり、負荷変動、送電コイルと受電コイルの位置ずれに対して頑強な制御手法を確立する必要がある。しかしながら、高周波無線電力

伝送システムにおいては、定格状態において最適設計を達成したとしても、負荷変動、位置ずれが発生すると最適状態から外れてしまい、効率が急激に劣化するという欠点を持つ。これまで様々な方式が検討されてきたが、理論的に電力伝送効率を最大化させ、最適動作を可能とするシステム設計論は確立されていない。

本プロジェクトでは学際領域研究分野である無線電力伝送システムに関する研究開発について、各分野の専門家が一堂に会して議論する場を準備する。本提案では MHz 帯磁界共鳴型無線電力伝送システムにおける最適設計および負荷変動、位置ずれに対する高効率制御手法について議論することを目的としている。

平成30年度は、入力段と出力段に dc/dc コンバータを挿入する無線電力伝送システムについて、詳細な解析が行われた。出力側では定電圧制御、入力側では最小電力を達成する制御を適用することにより、結果的には出力側でインピーダンスマッチング、入力側で定電圧を達成するようにシステムが動作することが解析的に明らかとなった。これにより、負荷変動による効率劣化を大きく抑えることができる無線電力伝送システムを実現できることが示された。また、位置ずれに対しては、送電側から受電側のリアクタンス成分が変動するよう見えるため、効率劣化が十分に抑制されないことも解析的に示された。一方で、負荷変動に対し、インバータ、整流器の出力電圧が変化せず、かつ効率もほとんど変化しない「負荷非依存」と呼ばれる特別な回路動作モード尾の存在を、解析的に明らかにした。この解析手法を応用することにより、これまで提案されてきた多くのインバータ、整流器に対し、負荷非依存モードを適用できる。これにより、負荷変動、位置ずれに対して、特別な制御を施さずに高効率動作下において定電圧を達成できる可能性が出てきた。定電圧を達成するためには制御が必要であるという固定概念を覆す発想の大きな転換となる。

本プロジェクトは本年度が二年目であった。本年

度は昨年引き続き、高周波磁界共鳴型無線電力伝送システムにおいて

1. 負荷変動、位置ずれに対して頑強な特性を有する回路トポロジ
2. 物理的システムサイズの制約下での定格状態における最適設計手法
3. 高効率特性を保證する制御方式について検討した。

本研究テーマはパワーエレクトロニクス、マグネティクス、非線形最適化等複数分野からなる学際領域研究である。また、高周波動作を達成するためには、理論的なアプローチとともに窒化ガリウム(GaN)や炭化ケイ素(SiC)からなる次世代パワー半導体、さらに、コンデンサ、コイル等受動素子に対する実践的検討も重要である。

本プロジェクトは研究代表者の関屋が中心となり、電気エネルギーシステム(引原)、アナログ回路設計(堀尾)、高周波増幅器(魏)、非線形システム解析(高坂、麻原)、非線形最適化(黒川)、など多分野にまたがる専門家から構成される。これらメンバの多くが、電子情報通信学会会員であり、NOLTA ソサイエティ、通信ソサイエティ等の研究会の場で議論を進めた。さらに、2月20、21日に東北大学で「非線形系・複雑系の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究」および「非線形力学理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究」と合同でワークショップを開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず、無線電力伝送位相制御D級インバータの波形の解析表現を導出した(3)。位相差および時比率に依存せず、スイッチ波形を表現できる。また、多重調波解析を導入することにより、位相差の変化によらない、精度の高い波形の表現を実現した。解析によって導出された波形と回路実験の波形との定量的一致を示すことにより、解析式の妥当性を確認する。本回路構成は無線電力伝送の本命と考えており、その基本特性をはじめて解析的に示すことができたインパクトは大きいと考える。

第二に、図1に示す負荷非依存並列共振インバータの解析と設計を行った。昨年度は同様の回路に対して、時比率が50%のときのみ設計法を示したが、ここでは、時比率に依存しない一般性の高い解析表現を導出している。その結果、負荷変動に対して一定出力電圧とZCSを常に達成するための条件を解析的に明らかにした。解析はあらゆる時比率に対応し

ているため、時比率による特性の変化を示すことができる。回路実験の結果は解析結果とよく一致しており、実験結果により、解析と設計方法の妥当性が示された。

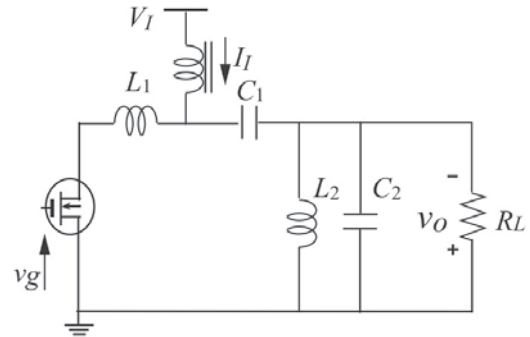


図1 負荷非依存インバータ

第三に高調波励振を含むE級インバータである、E/Fn級インバータに対して一般化された理論解析を行い、解析式を用いて回路の性能を調査した(1)。調波解析をスイッチングインバータの解析に導入することにより、波形式を一般性をもった形で解析的に表現することに成功した。そして、得られた波形式を用いて、回路の特性をスイッチ電圧、電流及び出力電力容量に関して検討詳細に検討することにより、回路の設計指針を明らかにした。また、無線電力伝送システム的设计において重要となる、力率を向上させるための回路設計指針も明らかにした。そのうえで、パラメータ空間全体に対して特性を検討し、最大出力容量を実現するパラメータ、および共振回路の基本周波数に対するリアクタンス成分を零とするための設計パラメータを明示している。回路実験結果は、解析結果、シミュレーション結果と完全に一致しており、導出した解析式の妥当性が示されるとともに、得られた設計指針の有効性が確認された。

第四に、第二の研究で開発した負荷非依存インバータにフィードバック構造を適用することで、図2に示される負荷非依存並列共振発振器を提案した。提案回路は負荷変動に対してソフトスイッチングと一定の出力電圧を達成する負荷非依存モードを適用したはじめての自励発振器である。この回路の特徴として、フィードバック構造に求められる役割を、位相反転機能のみとしたことで、フィードバック部分にインダクタを含む共振構造を持たせないことに成功した。これにより、共振インダクタやキャパシタの変動に対して、発振共振周波が自律的に最適値に追従し、一定出力電圧と高電力変換効率を達成することができる。図3に示す回路実験波形により、負荷およびインダクタンスの変動に対して一定の出

力電圧と高い効率が維持できることを確認し、提案回路の有用性を示している。

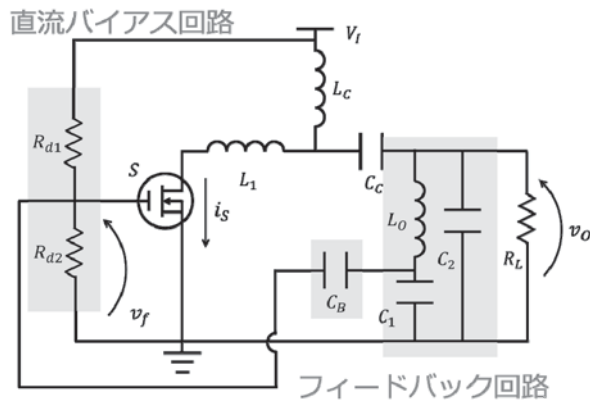


図1 負荷非依存発振器

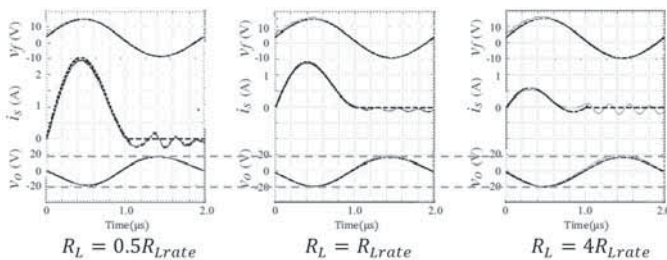


図3 負荷非依存発振器の動作波形

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、前述した複数の大学の研究者による交流により、議論が活性化され、無線電力伝送システム的设计にあらたな可能性を示すに至った。本プロジェクトメンバの多くを含め、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティのメンバで科研費新学術領域など、大型予算の獲得へ向けて活動を進めている。

また、本年度は論文誌 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE で国際会議 NOLTA2018 に関する特集号 (堀尾が論文誌編集長、関屋が NOLTA2018 実行委員長) の企画を行っており、2019 年 10 月号に発行された。また、同誌に関連論文を 2 編発表した。これら、電子情報通信学会の活動を中心に、本研究分野をさらに盛り上げ、研究の活性化に貢献していく。

[4] 成果資料

(1) Jingyue Ma, Asiya, Xiuqin Wei, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Analysis and Design of Generalized Class-E/F2 and Class-E/F3 Inverters," IEEE Access, vol. 8, pp. 61277-61288, Mar. 2020.

(2) Shohei Saito, Shohei Mita, Wenqi Zhu,

Hiroyuki Onishi, Shingo Nagaoka, Takeshi Uematsu, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Novel design approach of soft-switching resonant converter with performance visualization algorithm," IEEE Access, vol. 8, pp. 59922-59933, Mar. 2020.

(3) Tatsuki Osato, Xiuqin Wei, Asiya, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Steady-state analysis and design of phase-controlled class-D ZVS inverter," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 11, no. 2, pp. 189-205, Apr. 2020.

(4) Asiya, Tatsuki Osato, Xiuqin Wei, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya, "Analysis and design of generalized class-E rectifier," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 11, no. 2, pp. 206-223, Apr. 2020.

(5) Yoji Yabe, Hisa-Aki Tanaka, Hiroo Sekiya, Masaki Nakagawa, Fumito Mori, Kensuke Utsunomiya, and Akira Keida, "Locking Range Maximization in Injection-Locked Class-E Oscillator—A Case Study for Optimizing Synchronizability," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 67, no. 5, pp. 1762-1774, Mar. 2020.

(6) Ali Lotfi, Akihiko Katsuki, Fujio Kurokawa, Hiroo Sekiya, Marian K. Kazimierczuk, Frede Blaabjerg, "Steady-State Analysis of Class-E Shunt Inductor Inverter Outside ZCS and ZDCS Conditions," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology vol. 8, no. 9, pp. 1587-1594 Aug. 2019.

(7) Ali Lotfi, Akihiko Katsuki, Fujio Kurokawa, Hiroo Sekiya, Marian K. Kazimierczuk, Frede Blaabjerg, "Analysis of Class-DE PA Using MOSFET Devices With Non-Equally Grading Coefficient," IEEE Transactions on Circuits and Systems I, vol. 66, no. 7, pp. 2794-2802, July 2019.

(8) Haruna Matsushita, Wataru Kinoshita, Hiroaki Kurokawa, Takuji Kousaka, "Nested-layer particle swarm optimization method for bifurcation point detection in non-autonomous systems," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, pp. 289-302, Dec. 2019.

採択番号：H30/B13

高次元ニューロダイナミクスと そのニューロハードウェア構築への展開

[1] 組織

研究代表者

廣瀬 明 (東京大学大学院工学系研究科)

通研対応教員

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

黒江 康明 (京都工芸繊維大学
教育研究プロジェクトセンター)

合原 一幸 (東京大学生産技術研究所)

田中 剛平 (東京大学生産技術研究所)

古橋 武 (名古屋大学大学院工学研究科)

橋 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)

西村 治彦 (兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科)

金城 光永 (琉球大学工学部)

村瀬 一之 (福井大学工学部)

西川 郁子 (立命館大学情報理工学部)

新田 徹 (産業技術総合研究所)

小林 正樹 (山梨大学工学部)

西森 康則 (産業技術総合研究所)

澁谷 長史 (筑波大学大学院
システム情報工学研究科)

山根 敏志 (日本アイ・ビー・エム)

中野 大樹 (日本アイ・ビー・エム)

山田 功 (東京工業大学大学院工学院)

中川 八穂子 (日立製作所)

延べ参加人数：25人

[2] 研究経過

高度に成熟したSi-LSI技術に支えられ、現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で、パターン認識や学習など、フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し、脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは、パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。

さて、ニューラルネットワークモデルのひとつとして複素ニューラルネットワークや量子ニューラルネットワークが提案されており、その波動的特性を利用して、パターン認識、画像処理、時系列予測等への応用がなされている。代表者はこうした複素ニューラルネットワークの特徴にいち早く注目し、レーダ画像の画像処理等へ応用しその有効性を明らかにしており、本分野において世界的に主導的役割を果たしてきている。また、この技術を応用した対人プラスチック地雷可視化システムを構築し、東南アジアの地雷発見等において重要な社会貢献を果たしてきている。

ニューラルネットワーク分野の最近の動向として、従来に比べ層数を大幅に増大したディープ・ニューラルネットワークにより、文字認識や画像認識などの課題において、既存アルゴリズムを圧倒するような認識性能が得られており、認識工学を中心に中核的な技術となりつつある。こうした研究の中で、層ごとの情報表現の善し悪しが情報処理性能に大きく影響することが知られてきている。また、複素ニューラルネットワークなどの高次元化ニューラルネットワークにおいても、豊かな表現能力と情報処理能力に関する研究が盛んに行われており、複素表現、四元数表現、さらにはそれらを包含するクリフォード代数表現を用いて、統括的に理解する意欲的な試みがなされている。つまり、高次元化あるいは多次元化するだけではなく、必要な情報を的確に表現できることが性能向上の鍵であることが明らかになりつつあり、そうした研究の重要性が高まりつつある。またディープ・ニューラルネットワークの消費電力が大きく、また学習に大量のデータを必要として時間がかかることも大きな問題である。

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、アナログ情報、デジタル情報、時間情報、位相情報などを適材適所で利用し、最適化された情報表現を実現することが肝要である。さらに、実時間動作・低消費電力でニューロ処理を行うためには、すべての入力情報を通信でクラウドサーバに集めて処理して結果を配信するのではなく、入力端

での処理すなわちエッジコンピューティングで前処理を行って通信量を削減することも重要技術になる。そこで本プロジェクトでは、豊かな表現能力を有する高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を最大限に引き出すための、最適な情報表現を見出すとともに、効率的かつ/または高速なハードウェア実現のため波動に基づく物理現象そのものを利用したニューラル高効率ハードウェア実現のための基礎技術を確立することを目的として研究を行う。

具体的には、まず、幾何学的情報を利用する課題を中心に、高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を神経回路の統計力学やクリフォード代数を用いて評価する。その中で、情報表現方法と情報処理能力の関係を明らかにし、処理の観点から見た高次元ニューラルネットワークにおける最適な情報表現を明らかにする。次に、ハードウェア実現を目的として、波動物理を利用するハードウェアに依存した制限を加味した最適な情報表現を検討し、そのために必要なハードウェアリソースを明らかにする。それによって、高次元ニューロダイナミクスとデバイス波動物理の融合を図り、情報表現と物理実現の最適化の基礎を確立する。本所ではハードウェア実現に向けた課題を中心に研究を行う。

二年度目にあたる本年度は、12月23、24日に研究会を開催し、各メンバーが関連する研究の進捗状況について報告し、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) 廣瀬 明 (東大)
「合成開口レーダにおけるビッグデータ処理」
- 2) 金子 智喜, 廣瀬 明 (東大)
「衛星通信における四元数ニューラルネットワークを用いたチャネル予測」
- 3) 市村 剛大, 中根 了昌, 田中 剛平, 廣瀬 明 (東大)
「スピン波リザバーコンピューティングにおける有用情報の空間分布」
- 4) 伊丹 哲郎, 松井 伸之, 磯川梯次郎 (兵庫県立大), 幸田憲明 (松江高専)
「マクロ装置と全方向移動ロボットによる量子計算」
- 5) 山田 功 (東工大)
「スパース信号処理のための Linearly involved Generalized Moreau Enhanced モデルと大域的最適解への収束保証付きアルゴリズムについて」
- 6) 黒江 康明 (関西大)
「様々な発火パターンを実現するリカレントスパイクニューラルネットワークの学習法とその応用」
- 7) フリーディスカッション

高次元ニューロダイナミクスの応用について

8) フリーディスカッション

高次元ニューロダイナミクスのハードウェア化について

[3] 成果

(3-1) 研究成果

複素ニューラルネットワーク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は、ニューラルネットワークの考え方を生かした数理的・物理的な面白さの探求や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、複素ニューラルネットワークは複素振幅を扱うニューラルネットワークであると言え、また四元数ニューラルネットワークは偏波を表すポアンカレ球空間などに相当する3次元空間での情報を扱うニューラルネットワークであると言える。この意味で、これらはコヒーレントなニューラルネットワークである。本年度は、複素ニューラルネットワークを干渉合成開口レーダのデータ処理に活かす際に、特に位相値すなわち標高のローカルなテクスチャ(=局所地形)に着目して地形を分類する手法について議論した。その機能を実現するために、複素畳み込みニューラルネットワークを提案し、類似地形の発見を行うニューラルネットワークの構築に成功した。具体的には、直近に噴火した火山の形状やその時間的な形状変化に着目し、特徴を持つ火山をグローバルな観測データから抽出することができるようにした。これは、近い将来の人工知能型の地球観測データ処理に大きな威力を発揮し、防災・減災に役立つと期待される。

また、脳型計算の手法を模倣した断熱的量子計算用ハードウェアの構成について検証した。ジョセフソン接合により結合される超伝導電荷量子ビットネットワークを用いた実装方法を検証し、量子コヒーレンス時間と計算性能の関係を考察した。

(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情報表現方法と情報処理性能に関する知見
- ・量子波動等の波動物理に基づくニューラルネットワークダイナミクスに関する知見
- ・最適な情報表現と効果的な波動物理とを融合したハードウェアの構成方法

[4] 成果資料

(1) S. Shimomura A. Hirose, Adaptive Subsurface 3D Imaging Based on Peak Phase-Retrieval and Complex-Valued Self-Organizing Map, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 17, 1 (2020) 52-56 10.1109/LGRS.2019.2915256.

(2) Y. Sunaga R. Natsuaki A. Hirose, Land form classification and similar land-shape discovery by using complex-valued convolutional neural networks, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 57, 10 (2019) 7907-7917 10.1109/TGRS.2019.2917214.

(3) K. Oyama A. Hirose, Phasor quaternion neural networks for singular-point compensation in polarimetric-interferometric synthetic aperture radar, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 57, 5 (2019) 2510-2519 10.1109/TGRS.2018.2874049.

(4) T. Nitta, M. Kobayashi and D. P. Mandic, "Hypercomplex Widely Linear Estimation through the Lens of Underpinning Geometry", IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 67, No. 15, pp. 3985-3994, 2019.

(5) E. Hitzer, S. J. Sangwine, Foundations of Conic Conformal Geometric Algebra and Compact Versors for Rotation, Translation and Scaling, Adv. of App. Cliff. Algs., (2019) 29(5):96 (First Online: 04 October 2019), 16 pages, DOI: 10.1007/s00006-019-1016-6. Preprint: <http://vixra.org/pdf/1905.0030v2.pdf>

(6) T. M. Pham, D. C. Doan, E. Hitzer, Feature Extraction using Conformal Geometric Algebra for AdaBoost Algorithm based In-plane Rotated Face Detection, Adv. of App. Cliff. Algs. 29(4):61 (First Online: 02 July 2019), 19 pages, DOI: 10.1007/s00006-019-0976-x

(7) S. Breuils, L. Fuchs, E. Hitzer, V. Nozick and A. Sugimoto, Three-dimensional quadrics in extended conformal geometric algebras of higher dimensions from control points, implicit equations and axis alignment, Adv. of App. Cliff. Algs. 29(3):57 (First Online: 18 June 2019), 22 pages. DOI: 10.1007/s00006-019-0974-z. Preprint: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02169419/document>

(8) T. Itami, N. Matsui, N. Kouda, Boltzmann Distribution Model for Controlling Macroscopic Swarm Robots(I), 58th Annual Conference of the

Society of Instrument and Control Engineers of Japan, Fra08. 4, 2019.

(9) S. Sato, Y. Tamura, S. Moriya, Tatsuki Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, J. Madrenas, A spiking neuron MOS circuit for low-power neuromorphic computation, Proc. 2019 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), p. 80, 2019.

(10) S. Moriya, H. Yamamoto, Z. Chen, K. Wakimura, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato, Time-series information processing in cultured neuronal network models, Proc. 2019 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), pp. 86-88, 2019.

(11) Y. Tamura, S. Moriya, T. Kato, M. Sakuraba, Y. Horio, S. Sato, An Izhikevich Model Neuron MOS Circuit for Low Voltage Operation, Artificial Neural Networks and Machine Learning — ICANN 2019: Theoretical Neural Computation, Springer International Publishing, pp. 718-723, 2019.

(12) S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota and S. Sato, "Quantitative Analysis of Dynamical Complexity in Cultured Neuronal Network Models for Reservoir Computing Applications," 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Budapest, Hungary, 2019, pp. 1-6.

(13) M. Tsuji, T. Isokawa, N. Yumoto, N. Matsui, and N. Kamiura, "Heterogeneous recurrent neural networks for natural language model," Artificial Life and Robotics, vol.24, no.2, pp.2450-249, 2019,

採択番号：H30/B14

未来型オフィス空間とインタラクション

Future Office Space and Interaction

[1] 組織

研究代表者：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者：

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

伊藤 雄一（大阪大学 クリエイティブユニット）

平田 泰久（東北大学 大学院 工学研究科）

市野 順子（東京都市大学 メディア情報学部）

小森 雅晴（京都大学 大学院工学研究科）

本江 正茂（東北大学 大学院工学研究科）

山田 茂雄（日本ユニシス(株)）

中原 和洋（日本ユニシス(株)）

福島 浩介（(株)イトーキ）

凌 嘉良（(株)イトーキ）

小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）

松島 咲季子（Learning Design Lab.）

田崎 咲絵（Bloom Sketch）

米澤 一造（飯舘電力(株)）

延べ参加人数：16人

[2] 研究経過

本プロジェクトの目的は、オフィスにおけるワーカーのインタラクションや働く環境そのものの質的な改善を目指し、動的・適応型オフィス家具・空間の構築に関する知見を集め、研究コミュニティを構築し、前述の研究者の知見をさらに融合させることである。空間内での人の活動を計測し、理解するための知見、空間構築・デザインや什器に関する知見、空間・什器をダイナミックに動作させる要素技術の知見、さらには市場としてのニーズも取り入れながら、社会的意義の高いテーマ創出を目指している。

本プロジェクトに関わる研究会は、昨年までの共同プロジェクト「人と空間と情報技術」から引き続き9年目である。本年度も前年度までの成果を踏まえながら、過去に発表のあった研究者に加え、別途

共同プロジェクト「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(B29/B09)」に関わる研究者らと合同で、下記に示す共同研究会を計画していたが、新型コロナウイルスの感染拡大を受け、やむを得ず中止とした。

以下に、計画時の研究会詳細を示す。

研究会名：未来型オフィス空間とインタラクション

日程：2020年3月2日～3日

場所：東北大学電気通信研究所本館5階 M531

回数：第2回

参加人数（計画時）：20名程度（内発表者10名）

参加者（計画時）：

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）

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

松島 咲季子（Learning Design Lab.）

小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）

小笠原 豊（(株)イトーキ）

山田 茂雄（日本ユニシス(株)）

中原 和洋（日本ユニシス(株)）

酒田 信親（奈良先端科学技術大学院大学）

山本 豪志朗（京都大学 医学部附属病院）

池田 聖（立命館大学 情報理工学部）

三武 裕玄（東京工業大学 未来産業技術研究所）

藤本 雄一郎（奈良先端科学技術大学院大学）

小倉 加奈代（岩手県立大学）

ほか

また、本プロジェクトに関わる研究打合せとして、2020年2月27～28日にかけて、伊藤 雄一准教授（大阪大学 クリエイティブユニット）と研究テーマ創出の打合せを実施した。議題は、直近で進めている当該テーマに関連する研究の進捗状況共有と、今後当該テーマを取り組むにあたってのグランドビジョンの検討であった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、新型コロナウイルスの影響のため、プロジェクトメンバーが一堂に会する研究会は実施できなかった。伊藤 雄一 准教授を招聘して実施した研究打合せでは、Adaptive Workplace と呼ばれる研究のグランドビジョンを見出し、これに関する方向性と、いくつかの潜在的な研究テーマを創出することができた。

(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、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。本年度は実施できなかったものの、例年は研究会の実施により学外研究者との交流が活性化し、研究者ネットワークが拡大され、共同研究の可能性が向上している。今後も本テーマに関して産学の幅広い分野からの研究者が集まり、市場のニーズを取り入れた研究テーマ創出、および社会への実装が期待される。

[4] 成果資料

なし

採択番号：H30/B15

ドローンレースの娯楽性を向上させる 配信技法に関する研究会

[1] 組織

研究代表者：

末田 航（デジタルハリウッド大学大学院）

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：

北田 能士（デジタルハリウッド大学大学院）

延べ参加人数：20人

[2] 研究経過

2019年度、本研究会では開発システムの実レースでの運用（シンガポール）、学会等への成果の発信と新たな研究資金確保のための活動を実施した。

1) 開発システムの実レースでの運用

昨年度はACM SIGGRAPH Asia やバーチャルリアリティ学会などで、主にドローン周辺への画像によるレース状況の情報提示を目的とした研究発表と開発システムのデモを行った。今年度の9月には、在シンガポール 日本大使館 Japan Creative Centre の文化イベントとして「J Drone Madness @ JCC」を開催、昨年度より本研究会と並行して活動を進める中山隼雄科学技術文化財団助成金での研究紹介と、デモレースを実施した。

2) バーチャルヒューマンエージェントを利用したレース状況の実況と強調表示

「J Drone Madness@JCC」では、声によるレース状況情報提示と、その技術デモ、日本国外での鑑賞者のフィードバック獲得を目的とした、バーチャルヒューマンエージェントを用いたレースの自動実況を行った。

スポーツ配信におけるプロの実況解説者は、鑑賞者のゲームの状況把握を補助するだけでなく、競技への理解や、楽しさを提供し、興行的にも重要な役割を果たしている。しかし、プロの解説者であっても小型で高速飛行する複数のドローンを追跡しながらの実況は困難である。そこで、本システムではドローンの順位や位置、パイロットの状況などを、ホテルの顧客応対などで使用されている対話型のヒューマンエージェントに一部肩代わりさせる、自動実況システムを構築、同イベントのデモレースに投入した。本イベント



図 1: J Drone Madness @ JCC の様子

では Couger 株式会社からバーチャルヒューマンエージェント「コネクトーム」(図2)の技術提供を受けた²。

実況システムは、ドローンのラップ管理をするセンサーゲートウェイから得られる、ドローンの通過タイミングと機体 ID から、周回数のカウントや順位の変化、フォーカスするパイロットのエピソード(あらかじめパイロット情報データとして登録したもの)レースの文脈に合わせて読み上げた。ドローン機体の検出漏れなどが原因で、時折実況がなされないなどのトラブルがあったが、レースを通して概ね機能した。イベント参加者のアンケートでは、約半数が自動実況の役割や効果を認識、またレースの配信技術として自動実況機能をポジティブに評価した。本システムの方向性として、CG やロボットの AI 実況者とプロの実況者の掛け合いスタイルを想定している。加えて昨今の vTuber の浸透などにより、リアルタイム CG のキャラクターが人工音声と人間の肉声を両方喋る、キャラクター1体を複数の人物が操作する状況も、受け入れられる素地は十分あり、機械による正確な状況配信と人間による娯楽性の両面をもつバーチャル実況キャラクターなど、ユーザのニーズを満たすシステムとしての社会実装への一つの方向性が明確となった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、次の研究成果を得た。
 在シンガポール日本大使館別館 Japan Creative Centre 文化イベント「J Drone Madness @ JCC」の開催^[1]

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

近年 E-Sports はプロスポーツとして認知され、アジア大会など主要なイベントで公式種目となるなど、スポーツや娯楽の領域で新しい市場を創出することが期待されている。ドローンレースもまた、同様にプロスポーツ化による浸透が期待されている。ドローンレースがスポーツや娯楽としての形態の模索段階にある中で、研究成果として前述したが学会等で、HCI や UI/UX に基づき娯楽体験の向上をめざす新しい研究開発領域としてある程度の認知を得ることができた。

また当研究会での活動は、工学教育分野の関係者からの引き合いが多くあった。昨今ドローンは、急速な発展普及を下支えした Ardupilot などの整備されたオープンソースのフレームワークの浸透と相まって IoT やロボティクスと共に、STEM 教育の題材としても注目

を浴びており、機材の価格や情報の充実度からもアクセスしやすいものである。ドローンを娯楽手段として活用するための取り組みとして、本プロジェクトのテーマは娯楽産業への寄与のみならず、工学教育への発展可能性の模索を検討している。

具体的には、(観光やスポーツを含めた)娯楽をテーマにしてドローン取り扱う、小中高生向けドローンワークショップを石川県珠洲市教育委員会、芝浦工業大学、日本航空大学校などと共に進めている。また本活動は、SDGs の掲げるユニバーサルな教育環境の実現のための、域学連携の枠組みでの人材育成プロジェクトとして「文部科学省宇宙航空科学技術推進委託事業」などの教育研究 Grant 獲得を目指している。

[4] 成果資料

在シンガポール 日本大使館別館 Japan Creative Centre 文化イベント「J Drone Madness @ JCC」, https://www.sg.emb-japan.go.jp/JCC/invite_dronemadness_2019.html

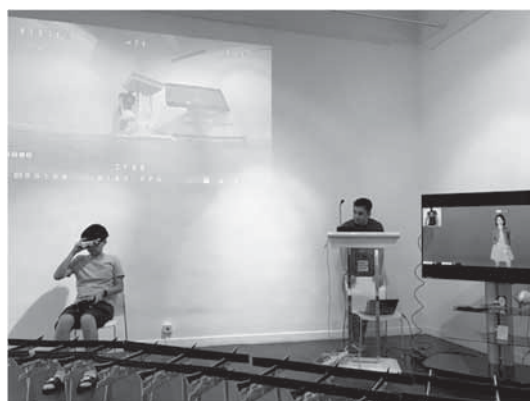


図 2 バーチャルヒューマンエージェント(写真右端)を用いたドローンレース自動実況の様子(上)とクーガー社のヒューマンエージェント「コネクトーム」(下)

¹ <https://couger.co.jp/>

² プレスリリース:

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000012.000033615.html>

採択番号：H30/B17

非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発 およびその応用に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

神野 健哉（東京都市大学知識工学部）

通研対応教員：

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

坪根 正（長岡技術科学大学
電気電子情報工学専攻）

中野 秀洋（東京都市大学知識工学部）

松下 春奈（香川大学創造工学部）

進藤 卓也（日本工業大学工学部）

山仲 芳和（宇都宮大学大学院工学研究科）

佐々木 智志（湘南工科大学工学部）

延べ参加人数：12人

[2] 研究経過

群知能最適化に関する研究・開発は、近年注目を集めている。本プロジェクトでは、このような群知能最適化の動作を非線形力学系理論に基づき解析を行い、その応用事例を開発することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、群知能最適化法での探索手法に関して解析を行い、群知能最適化が有する大域探索能力と局所探索能力のそれぞれに起因する機構を明らかにした。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、所望の大域探索能力および局所探索能力を有する群知能最適化の合成に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

連続最適化問題の解法には勾配法を基にした局所探索法が主に用いられるが、局所探索法は、局所解に陥り易く、解探索に時間を要する場合も多く、目的関数が多峰性関数の形状である場合、最適解を探索することは容易ではない。一般的には評価関数の勾配情報に基づいた探索が用いられる

が、評価関数値のみが与えられ、評価関数式が陽に与えられないBlack-box最適化問題の最適解探索では勾配情報を必要としない直接探索法が望ましい。近年、群知能最適化と呼ばれる直接探索法が注目されており、これらは複数の探索個体が解空間で互いに発見した解情報の交換を行う確率要素を内包した確率的システムで最適値を探索する直接探索法である。このような確率的群知能最適化手法から確率的要素を排除した決定論的群知能最適化手法を対象に動作解析をした結果がこれまでに公表されているが、それらは主に群知能最適化に含まれる制御パラメータの値を決定するためのものであり、その動作の解析は統計力学に依っていることが多い。これに対し、本研究課題では群知能最適化の最適解探索に関する本質的な動作を明らかにした上で、非線形力学系理論に基づき解探索に適した力学系を有する新たな探索個体で構成される群知能最適化法のアルゴリズムの構築を目指している。前年度に群知能最適化が有する大域探索能力および局所探索能力に起因する機構を明らかにした。これを元にそれぞれの機構の能力を最大限に発揮すべく、非線形写像を応用した探索システムの構築を行った。このような目的の下、非線形力学系および最適化アルゴリズムに関する造詣が深い研究者が参集し、各自の研究結果を発表・議論することで今後の展開を模索することを目的として研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。本共同研究プロジェクトでは2019年2月21・22日の2日間、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設A401、A402にて共同プロジェクト・非線形ワークショップの合同研究会を開催した。合同研究会は本共同プロジェクト(H30/B17『非線形力学系理論に基づく群知能最適化の開発およびその応用に関する研究』)とH29/A21『非線形系・複雑系理論の実在非線形・複雑工学システムへの応用に関する研究』、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』および非線形

ワークショップとの合同で開催したものである。参加者は 26 名で各共同プロジェクトの成果をオーラル、およびポスターで発表し、その内容に関して活発な討議を行った。

また 2019 年 12 月 2 日から 12 月 6 日にマレーシアのクアラルンプールで開催された電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ主催の国際会議『非線形理論とその応用に関する国際会議』においては "Optimization Algorithms with Nonlinear Dynamics" という Special Session を開催し約 30 名の参加者らと討論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

群知能最適化手法には様々な方法が提案されているが、本研究では主に粒子群最適化法に着目した。これは多くの群知能最適化手法が粒子群最適化法に帰着できるためである。この粒子群最適化法の解探索時の本質的な動作を明らかにするため、系から確率的要素を取り除き、系を決定論的システムとすることで解探索の動作を非線形力学系理論に基づいて解析した。その結果、系を構成する各粒子の固有値が動作に大きく影響していることを明らかにし、解探索に有効な固有値を明らかにした。複素固有値の場合、各粒子は相平面上で回転運動を呈し、その射影が大域的な解探索に有効であることを明らかにし、複素固有値の実部が正值である場合と負値である場合に関して研究を進めた。

正值である場合、不安定化し、軌道は発散するが、しきい値を設け、値を引き戻す機構を導入することでカオスが発生するようにし、これを探索に効果的に用いることを検討した。カオス軌道を用いることで、これまでになく大域探索能力を有したシステムを構築することが出来た。しかしながら、このシステムでは局所探索能力が低下することを解明した。

複素固有値の実部が負値の場合は探索途中での収束が解探索性能に悪影響を与えることを明らかにし、実部がゼロすなわち、固有値が虚数の場合のシステムを提案した。このシステムは動作がこれまでのシステム以上に簡素になるものの、探索点分布が望ましくないことに起因して、やはり解の局所探索能力が低下することも明らかにした。これらの問題点を克服することを目指し、非線形写像のダイナミクスを積極的に利用した非線形写像最適化(NMO)を提案した。解探索時の各粒子のダ

イナミクスに着目し、解探索能力を向上させる試みはあまり行われておらず、本研究内容は非常に注目されている。この結果を元に宇都宮大学山仲が非線形力学系に基づく複数解探索アルゴリズムを、長岡技術科学大学坪根が離散時間力学系を利用した多点探索型最適化を開発、提案した。これらは機械システムの最適化、デジタルフィルタの最適化などへの応用も提案した。

本年度の研究成果を基に来年度以降に解探索に適した探索点の分布の解明、またそのような分布を生じさせる力学系の設計に関して研究を進めていく方向性をプロジェクトメンバーで共有することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでの研究成果は電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティが主催し、マレーシア、クアラルンプールで 2019 年 12 月 2 日から 6 日に開催された『2019 年非線形理論とその応用に関する国際会議』(International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications; NOLTA 2019)において、Special Session, "Optimization Algorithm with Nonlinear Dynamics" を企画し、プロジェクトメンバーを中心として研究発表が行われた。この Special Session は発表件数 8 件と、他の Special 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、2020 年 11 月に沖縄で開催が予定されている『2020 年非線形理論とその応用に関する国際会議』(NOLTA 2020)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性化させる。

[4] 成果資料

- (1) Kenya Jin'no, Tomoyuki Sasaki, Hidehiro Nakano, "Search Property of Nonlinear Map Optimization", 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2019), pp. 3214-3221, Wellington, New Zealand, 2019. 6. 10-13.
- (2) Kenya Jin'no, Tomoyuki Sasaki, Hidehiro Nakano, "Search Strategy Based on a Nonlinear Map Optimization", 2019 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019),

- pp. 565 - 568, Kuala Lumpur, Malaysia, 2019. 12. 2-6.
- (3) Takumi Genka, Kenya Jin'no, "Constraint Satisfaction Problem Solver by Hysteresis Neural Networks", 2019 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), pp. 569 - 572, Kuala Lumpur, Malaysia, 2019. 12. 2-6.
- (4) Jun Kiyama, Takuya Shindo, Takefumi Hiraguri, "A Study on Throughput Control Using Ant Colony Optimization by Multiple Routes", 2019 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), pp. 617 - 620, Kuala Lumpur, Malaysia, 2019. 12. 2-6.
- (5) Hidehiro Nakano, Arata Miyauchi, "Improvement of Global Search Performance in MOPSO Using Chaotic Maps", 2019 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019), pp. 629 - 632, Kuala Lumpur, Malaysia, 2019. 12. 2-6.
- (6) Masashi Okada, Hidehiro Nakano and Arata Miyauchi, "CycleGAN using Semi-Supervised Learning", 2019 - 26th International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Society (ICONIP2019), pp. 10-19, Sydney, Australia, 2019. 12. 12-15.
- (7) Yutaro Arai, Yasunori Sugita, Tadashi Tsubone, "Parameter identification of IIR adaptive filters by using particle swarm optimization and its application to HRIR", RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020 (NCSP2020), pp. 319-322, Honolulu, Hawaii, USA, 2020. 2. 28-3. 2.

採択番号：H30/B18

ユビキタスコンピューティングの インフラストラクチャ化に向けた実証的研究

[1] 組織

研究代表者：

村尾 和哉 (立命館大学情報理工学部)

通研対応教員：

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

荒川 豊 (奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科)

内山 彰 (大阪大学大学院情報科学研究科)

猿渡 俊介 (大阪大学大学院情報科学研究科)

中村 嘉隆 (公立ほこだて未来大学システム
情報科学部)木谷 友哉 (静岡大学大学院
総合科学技術研究科)

鈴木 秀和 (名城大学理工学部)

神崎 映光 (島根大学大学院総合理工学研究科)

米澤 拓郎 (慶應義塾大学政策・
メディア研究科)川原 圭博 (東京大学大学院
情報理工学系研究科)

岩井 将行 (東京電機大学未来科学部)

梶 克彦 (愛知工業大学情報科学部)

荒瀬 由紀 (大阪大学大学院情報科学研究科)

廣井 慧 (名古屋大学未来社会創造機構)

石田 繁巳 (九州大学大学院
システム情報科学研究院)

松井加奈絵 (東京電機大学理工学部)

高橋 秀幸 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：18人

[2] 研究経過

本プロジェクトでは、ユビキタスシステムの基盤となる、センサ・ネットワーク・サービスという3つの研究領域を融合することと、実世界へのユビキタスシステムの導入した際の課題を明らかにすることを目的として、1年間研究してきた。本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。本

報告書では、本プロジェクトの成果として、1)基礎技術と、2)都市、3)健康、4)災害という3領域での適用事例について研究成果を報告する。

なお、研究活動状況としては、2019年11月29日～30日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催した。研究会には、本研究グループからの7名に加えて、関連する別の研究グループからも21名が参加し、計28件の最先端研究が発表された。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1の研究成果として、**行動認識と行動変容に関する研究成果**を報告する。研究代表者である立命館大・村尾は、脈波と心電の到達時間差からウェアラブルセンサの装着位置を推定する手法[4-1]を提案し、ACM ISWC2019 Best Paper Awardを受賞した。また、スマートフォンの通知時の端末の動きからユーザの行動を推定する手法[4-2]を提案した。九州大・荒川は、インタラクティブサイネージを用いた行動変容の促進に関する研究[4-3]を行った。

第2の研究成果として、**測位や人流に関する研究成果**を報告する。愛知工業大・梶は、大量の移動軌跡情報を利用したPDR(歩行者慣性航法)の精度改善手法[4-4]や横方向・後ろ方向の移動を考慮したPDR[4-5]を提案した。大阪大・内山は、スマートフォンを用いた鉄道駅混雑推定システムCrowdMeter[4-6]を提案した。また、手首装着型センサを用いたサーマルカメラの補正手法[4-7]を提案した。九州大・石田は、交通量の多い道路において車両を音で検出する手法[4-8]を提案している。

第3の研究成果として、**IoTを活用した教育に関する研究成果**を報告する。東京電機大・松井は、様々な授業形態において教師と学生のビデオおよびウェアラブルデバイスにおけるデータ収集に関する研究[4-9]を報告している。

第4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・高橋は、

レスキューロボット用可視光 ID に関する研究 [4-10]を行い、IEEE GCCE2019 において Excellent Paper Award (Silver Prize)を受賞した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
立命館大・村尾は、本プロジェクトを通じて議論してきたウェアラブルセンシングセキュリティに関する研究が JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ研究領域「IoT が拓く未来」に採択された。

- ・ プロジェクト名
- ・ 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 R1 年 10 月から R5 年 4 月まで

大阪大・内山は、本プロジェクトを通じて議論してきたワイヤレスセンシングに関する研究が JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ研究領域「IoT が拓く未来」に採択された。

- ・ プロジェクト名 ワイヤレスセンシングによる Sustainable IoT 基盤開発
- ・ 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 R1 年 10 月から R5 年 4 月まで

九州大・荒川は、本プロジェクトを通じて議論してきた IoT 機器のトラストに関する研究に関して、基盤研究(B)・特設分野研究に採択された。

- ・ プロジェクト名 通信・電磁情報と行動認識に基づく IoT 機器に対するトラストの実現
- ・ 資金制度, 研究費名 科研費基盤研究(B)
- ・ 配分機関名 日本学術振興会
- ・ 研究期間 2019 年 7 月～2022 年 3 月

東京電機大・松井は、本プロジェクトを通じて議論してきた研究課題が電気通信普及財団 研究助成金に採択された。

- ・ プロジェクト名 IoT データを用いた情報提示システムについての研究
- ・ 資金制度, 研究費名 電気通信普及財団 研究助成金
- ・ 配分機関名 電気通信普及財団
- ・ 研究期間 2019 年 4 月～2021 年 3 月

2019 年 9 月に国際会議 ACM UbiComp/ISWC2019 において立命館大・村尾は、人間行動認識を対象としたワークショップ HASCA2019 を開催した。

- ・ 会議, シンポジウム名 HASCA2019
- ・ 日時 2019 年 9 月 11 日～15 日
- ・ 開催場所 ロンドン, 英国
- ・ 参加人数 50 人

[4] 成果資料

- [1] K. Yoshida, K. Murao, Estimating Load Positions of Wearable Sensors based on Difference in Pulse Wave Arrival Time, ISWC2019, pp. 234-243 (2019).
- [2] R. Sawano, K. Murao: Automatic Annotation for Human Activity and Device State Recognition using Smartphone Notification, HASCA2019 (2019).
- [3] Z. Zhang, Y. Takahashi, M. Fujimoto, Y. Arakawa, K. Yasumoto, Investigating Effects of Interactive-signage-based Stimulation for Promoting Behavior Change, Computational Intelligence, Vol.35, No.3, pp. 643-668 (2019).
- [4] K. Yotsuya, K. Naito, N. Chujo, T. Mizuno, K. Kaji, Method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectories Using a Large Number of Trajectories, JIP, Vol.28, pp.44-54 (2020).
- [5] K. Kaji, M. Kaneko, N. Ito, K. Naito, N. Chujo, T. Mizuno, A PDR Smartphone Application Considering Side/Backward Steps, ICMU2019 (2019).
- [6] M. Elhamshary, Y. Moustafa, A. Uchiyama, A. Hiromori, H. Yamaguchi, T. Higashino, CrowdMeter: Gauging Congestion Level in Railway Stations using Smartphones, Pervasive and Mobile Computing, Vol.58 (2019).
- [7] H. Yoshikawa, A. Uchiyama, T. Higashino, ThermalWrist: Smartphone Thermal Camera Correction Using a Wristband Sensor, Sensors, vol.19, issue.18, pp. 3826 (2019).
- [8] M. Uchino, B. Dawton, Y. Hori, S. Ishida, S. Tagashira, Y. Arakawa, A. Fukuda: Initial Design of Two-Stage Acoustic Vehicle Detection System for High Traffic Roads, PerVehicle2020 (2020).
- [9] K. Matsui, T. Kasai, K. Sakai, Challenges for data collecting of teacher and student' behavior in different types of class using video and wearable device, ICIEV and icIVPR2019, pp.56-61 (2019).
- [10] N. Yokota, H. Yasaka, K. Sugiyasu, H. Takahashi, Spatial Distribution Extraction of Visible Light IDs for Supporting Robotic Rescue Efforts, GCCE 2019, pp.7-8 (2019).

採択番号：H30/B20

「こころ」を生み出す脳内機構の理解

研究代表者：

筒井 健一郎（東北大学生命科学研究科）

通研対応教員：

塩入 諭（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

下條 信輔（カリフォルニア工科大学生物工学）

酒井 宏（筑波大学情報学群）

西田 眞也（京都大学情報学研究科）

村上 郁也（東京大学社会学系研究科）

宇賀 貴紀（山梨大学医学部）

河原 純一郎（北海道大学文学研究科）

田中 真樹（北海道大学医学研究科）

一川 誠（千葉大学文学部）

吉田 正俊（生理学研究所）

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）

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き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、2020年3月27日（金）、28日（土）に研究会を予定していたが、新型コロナウイルスの影響で開催を中止した。

[3] 成果

以下の研究会を予定していたが、開催を中止したため、成果としてあげる講演、議論などはない。講演者として、下條信輔教授（カリフォルニア工科大学）、Martin Giese 教授（テュービンゲン大学）、南本敬史博士（国立放射線医学総合研究所）、Po-Jang Hsieh 教授（国立台湾大学）、Sai Sun 博士（カリフォルニア工科大学）依頼した。下條教授には、画像の好み判断に関する脳機能に関する視線の影響など意志決定に関する無意識的、意識的処理に関する研究などに関する講演、Giese 教授には、身体運動の制御と知覚に関連する脳機能の研究、およびそれを通じたモデル化と応用研究などに関する講演、南本博士には陽電子断層撮影法（PET）による画像化による生きたサル的大脑内で人工受容体が発現する位置や範囲を経時的に観察する技術研究などに関する講演、Hsieh 教授には、音と形状の共通性（kiki ということと鋭角的図形/baba ということと曲線的図形の対応など）に関する知覚過程が無意識的な処理によることを示す研究などに関する講演、Sun 博士には、行動における自発的テンポと脳波に見られる脳活動のリズムの関連性の研究などなどに関する講演をしていただく企画をしていた。それぞれ「こころ」を生み出す脳内機構の理解に関連する講演が期待され、次年度以降の実現に向け、対応を続ける予定である。

[4] 成果資料

なし

採択番号：H31/B01

物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現

[1] 組織

研究代表者：

古閑 一憲

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

通研対応教員：

佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

酒井 道

(滋賀県立大学工学研究科)

内田 儀一郎

(名城大学理工学部)

白谷 正治

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

林 康明

(大和大学理工学部)

三重野 哲

(静岡大学理学部)

金子 俊郎

(東北大学工学研究科)

布村 正太

(産業技術総合研究所電子光技術研究部門)

真銅 雅子

(大阪工業大学工学部)

鎌滝 晋礼

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

延べ参加人数：28人

[2] 研究経過

【本研究の目的・概要】

本研究の目的は、反応性プラズマとインフォマティクスの協働による新規半導体プロセスの創成である。プラズマプロセスは、ULSI など半導体デバイス作製において重要な役割を果たすものであり、従来の微細化による高性能化のみならず、近年の3次元構造デバイスの作製においても必須の技術である。プラズマプロセスでは、プラズマ中に材料分子を導入し、室温程度のガス温度で高い化学的活性を実現

している。作製構造物へのイオン照射などの物理的作用と化学的作用の重畳効果により、1nm 程度の寸法精度を 300 mm のウエハ上に実現するに至っている。

しかしながら、近年の構造物の微細化や複雑構造化によりプラズマと構造物のナノスケールでの相互作用（プラズマ・ナノ界面相互作用）とそのゆらぎが構造物の特性を決定づけており、物理的作用と化学的作用が混在する系におけるナノメートルよりも短いスケールでの相互作用の理解が今後のプラズマプロセスの成功の可否を握る鍵となる。この課題に対して、研究代表者は、プラズマ中で発生・成長する微粒子を構造物のモデルとして、微粒子の振る舞いからプラズマ・ナノ界面相互作用ゆらぎを明らかにするなど、微粒子プラズマ研究が課題解決の有効なアプローチとなりうることを明らかにしている。

近年のプラズマプロセスでは、プロセスパラメータの増大とともに、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。

1年目である本年度は、プラズマと照射対象物の様々な反応を概観すること、および、プラズマをネットワーク科学から解析することで何ができるかを議論することを主眼として、以下のテーマについて検討した。

- (1) 反応性プラズマを化学反応ネットワークとして捉える
- (2) 微粒子プラズマの相互作用解析
- (3) 生体応答ネットワーク
- (4) プラズマ以外のネットワーク科学

【研究会の開催状況】

研究会タイトル：

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／応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会 第32回プラズマ新領域研究会 物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現～プラズマ反応場をネットワーク科学として捉える～
日程：2019年9月24日・25日

会場：東北大学 大学院工学研究科 電気・情報系 1号館 2D 講義室

プログラム：※講演は全て招待講演

「趣旨説明」

九州大学 古閑一憲

「シランプラズマ中の気相化学と表面反応」

産業技術総合研究所 布村正太

「シランプラズマ中化学反応ネットワーク解析」

滋賀県立大学 酒井道

「ナノ粒子とラジカルの相互作用ネットワーク評価」

九州大学 古閑一憲

「微粒子プラズマ中2つの微粒子のペアリングと相関解析（見えない物理量・化学成分の簡易モニタリングに向けて）」

静岡大学 三重野哲

「社会における情報普及に関するネットワークシミュレーション」

成蹊大学 村上朝之

「プラズマ照射に対する生体内応答ネットワーク解析」

名古屋大学 田中宏昌

「多層ソーシャルネットワークにおける情報のエピソード伝搬の保護」

東京工業大学 村田剛志

「リカレントニューラルネットワークによる種々の関数近似系の実現」

滋賀県立大 小柴昌隆、酒井道

「プラズマ・液相相互作用における液中反応」

東北大学 高島圭介

「総合討論」

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、研究会開催により、以下に示す研究成果を得た。

まず、低圧プラズマでは半導体プラズマで主に用いられているシランプラズマにおける現象や微粒子プラズマを対象として検討を行った。

布村（産総研）は、シランプラズマを用いた薄膜堆積と膜質の相関について界面層のダンダリングボンド形成の重要性について議論した。正負イオン、ラジカル、ポリマー、ナノ粒子などの影響について

議論し、ジシラン系ラジカルが大きな影響を与えていることを示した。また高ガス圧領域での正イオン生成や重合反応が見られており、2次生成物の膜質への影響や帯電粒子の寄与の解明が鍵となることを示した。外部パラメーターの数に対して、プラズマ中の反応ネットワークは巨大であり、機械学習を含めたネットワーク解析が新しい知見を与えうることを示した。

酒井（滋賀県立大）は、プラズマ現象のネットワーク科学的検討は、空間的・時間的履歴、励起状態、エネルギー状態、化学反応という5つの視点が必要であることを示した。この上で、布村の研究で用いられているシランプラズマを対象として、従来レート方程式を用いて検討されるシランプラズマ中の反応の方程式系を行列で表した場合、ネットワーク科学で用いられる隣接行列と対比可能であることを示した。この観点からシランプラズマ中の反応系をネットワーク解析し1次反応に近いところほど枝が多く、このグラフデータをAIなどで解析することで新たな視点からのプラズマ解析が可能であることを示した。

古閑（九大）は、反応性プラズマ中のSi系ナノ粒子の成長を対象として、プラズマを摂動した際のナノ粒子の応答の時空間揺らぎをスペクトル解析した。スペクトルに現れるピークがナノ粒子とプラズマの相互作用と相関するものであるとの仮定から、揺らぎのスペクトル解析が、ナノ粒子系プラズマにおける相互作用ネットワークを理解するための重要な手法であることを示した。

三重野（静岡大）は、振動電場下のプラズマ中微粒子のペアリング運動について挙動な相互相関をプラズマ空間全体で評価した。これらの解析が、プラズマ中微粒子の系全体を支配する相互作用を簡易にモニタリングとなりうることを示した。

次に、ネットワーク科学とプラズマ科学との接点を探るべく以下の2つの研究について討論した。

村上（成蹊大）は、ネットワーク科学の応用として、太陽電池の普及に関する社会シミュレーションを検討した。近接情報伝達型とSNSのような遠距離情報伝達型における太陽電池普及パターンの違いを明らかにした。プラズマ化学との関わりとしては、局所的効果と大域的効果の混在が、プラズマ中の物理化学現象、電磁界分布などとみなすことが可能であり、ネットワーク解析からのプラズマ現象のアプローチの手法を示した。

村田（東工大）は、ネットワーク科学の基礎理論を示しつつ多層かつ動的なネットワークにおける情報伝播の振る舞いの解析における重要なポイントとなる中心性や特長量計算などの基礎概念を示した。こ

の手法は、プラズマの物理化学現象を捉える上で有効な手段となりうる。

最後に、プラズマ科学分野で最近注目を集めている大気圧プラズマの生体応用とその基礎現象であるプラズマ液体相互作用について討論した。

田中（名古屋大）は、大気圧プラズマを用いたがん治療研究について、名古屋大グループが対象としているプラズマ活性培養液とプラズマ活性乳酸のがん細胞選択死の機序は異なるメカニズムによるものであることを明らかにした。この結果はプラズマを用いたがん細胞選択死のメカニズムを選択することができ多くのがんに対応可能であることを示す。細胞内の分子機構は遺伝子からメタボリズムまで多層ネットワークを形成しており、ネットワーク科学との親和性は高いと考えられる。

小柴（滋賀県立大）は、反応にループ構造が見られるリカレントニューラルネットワークについて検討しており、特異点が現れるような自然現象の表現への利用可能性を示した。例えば、相転移や励起現象、境界をもつ物質の不連続性などの理解が期待できる。

高島（東北大）は、分光スペクトル計測がプラズマと液体の相互作用で生成した未知物質の同定に利用できることをしめした。プラズマと液体・生体の反応には不明な点も多く、ネットワーク科学による理解においても計測は必要不可欠となる。本研究は計測困難なプラズマと液体相互作用の計測に貢献するものである。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにより、プラズマ科学とネットワーク科学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、反応性プラズマをネットワーク科学で理解し制御する契機となった。今後の進展がさらに期待される。

(国際会議への発展)

本プロジェクトに関連して、2つの国際会議が開催された。

令和元年8月7日-8日、韓国において、JP-KO Dust workshop が開催された。本会議では、研究代表者である古閑を含め日本および韓国のプラズマ科学関係者が参加し、プラズマと微粒の相互作用を含めたプラズマ基礎について議論した。

令和元年12月17日-18日、核融合研究所で本プロジェクトと関連した国際ワークショップ、第20回微粒プラズマ・ワークショップ(20th Workshop on Fine Particle Plasmas)が開催された。本プロジェクトの分担者である三重野、白谷はもとより、多

数の参加があり、本分野が国際的に大きく発展する可能性を示した。

[4] 成果資料

(1) L. Shi, K. Tanaka, H. Hara, S. Nagaishi, D. Yamashita, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Effect of Higher-Order Silane Deposition on Spatial Profile of Si-H₂/Si-H Bond Density Ratio of a-Si:H Films, Plasma Fusion Res., Vol. 14, p. 4406144, 2019.

(2) K. Tanaka, H. Hara, S. Nagaishi, L. Shi, D. Yamashita, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Identification and Suppression of Si-H₂ Bond Formation at P/I Interface in a-Si:H Films Deposited by SiH₄ Plasma CVD, Plasma Fusion Res., Vol. 14, p. 4406141, 2019.

(3) R. Zhou, K. Kamataki, H. Ohtomo, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Spatial-Structure of Fluctuation of Amount of Nanoparticles in Amplitude-Modulated VHF Discharge Reactive Plasma, Plasma Fusion Res., Vol. 14, p. 4406120, 2019.

(4) S. H. Hwang, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Effects of Gas Pressure on the Size Distribution and Structure of Carbon Nanoparticles Using Ar + CH₄ Multi-Hollow Discharged Plasma Chemical Vapor Deposition, Plasma Fusion Res., Vol. 14, p. 4406115, 2019.

(5) R. Zukiene, Z. Nauciene, I. Januskaitiene, G. Pauzaite, V. Mildaziene, K. Koga, M. Shiratani, Dielectric barrier discharge plasma treatment-induced changes in sunflower seed germination, phytohormone balance, and seedling growth, Appl. Phys. Express, Vol. 12, No. 12, Art No. 126003, 2019.

(6) Y. Kim, K. Koga, M. Shiratani, Effect of hydrogen dilution on the silicon cluster volume fraction of a hydrogenated amorphous silicon film prepared using plasma-enhanced chemical vapor deposition, Curr. Appl. Phys., Vol. 20, No. 1, pp. 191-195, 2020.

(7) N. Itagaki, Y. Nakamura, R. Narishige, K. Takeda, K. Kamataki, K. Koga, M. Hori, M. Shiratani, Growth of single crystalline films on lattice-mismatched substrates through 3D to 2D mode transition, Sci. Rep., Vol. 10, p. 4669, 2020.

採択番号 : H31/B02

固体素子における非平衡ダイナミクスの 精緻な理解と機能開拓

[1] 組織

研究代表者

小林 研介 (東京大学・大学院理学系研究科
/ 大阪大学・大学院理学研究科)

通研対応教員

深見 俊輔 (東北大学・電気通信研究所)

研究分担者

野村 晋太郎 (筑波大学・数理物質系)

佐々木 進 (新潟大学・工学部)

三沢 和彦 (東京農工大学・大学院工学研究院)

長谷川 修司 (東京大学・大学院理学系研究科)

山口 浩司 (NTT 物性科学基礎研究所)

中山 隆史 (千葉大学・大学院理学研究院)

求 幸年 (東京大学・大学院工学系研究科)

小野 輝男 (京都大学・化学研究所)

塚崎 敦 (東北大学・金属材料研究所)

松野 丈夫 (大阪大学・大学院理学研究科)

越野 幹人 (大阪大学・大学院理学研究科)

新見 康洋 (大阪大学・大学院理学研究科)

大兼 幹彦 (東北大学・大学院工学研究科)

林 将光 (東京大学・大学院理学系研究科)

橋坂 昌幸 (NTT 物性科学基礎研究所)

松田 信幸 (東北大学・大学院工学研究科)

延べ参加人数 : 18 人

[2] 研究経過

半導体技術は現代の社会を支える重要な基盤技術である。その成功を支えているのは、半導体中のキャリアの性質を、精密に理解し制御することを可能にした物性科学・材料科学の長年の蓄積である。特に、トランジスタに代表されるように、キャリアの非平衡ダイナミクスを理解し制御することは本質的に重要であり、それに成功したことが現代エレクトロニクスの基盤となっている。一方、近年、強相関電子系・冷却原子ガス・スピントロニクス等、物理学における様々な分野において、非平衡挙動に注目

した研究が活発に行われるようになってきた。例えば、電子のもつスピン自由度を積極的に利用しようとする新しいエレクトロニクスであるスピントロニクスにおいては、スピントランスファートルクと呼ばれる非平衡現象が要となっている。本研究「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」は、固体素子における非平衡の制御に基づく精密物性科学の構築を通して、革新的ナノデバイスの実現を目指す研究を行っている専門家による討論の場を設け、新規デバイス創成に資する知見を獲得することを目的とする。

本プロジェクトでは、非平衡ダイナミクスの精密な制御を目指した数々の研究、例えば、電流による磁化構造制御、コヒーレント反転連続パルス照射、超低ノイズ非平衡電流測定、グラフェン・トポロジカル物質の機能、ベクトル波形整形パルス、近接場スピン局所分光等、について議論を深め、学理の構築を行う。このような方向性は、まさに、非平衡ダイナミクスを利用した精密物性科学の構築と呼ぶべきものである。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。しかし、その母体はこれまでの活動実績に基づくものである。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。過去3年の討論を経て、非平衡挙動に注目することの重要性が明らかとなった。これを受けて、今後の新たな展開を図るべく「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」についての研究会を開催することが次世代の新原理ナノデバイスを提案する上で必要不可欠であるという認識を得て、本年度の研究活動となった。

以下、研究活動状況の概要を記す。

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（開催場所：〒982-0241 仙台市太白区秋保町湯元字除 33-1「秋保温泉ホテル華乃湯」）。予算の関係上、一泊二日の開催となったが、プロジェクトのメンバー15名（代理出席1名を含む）と、1名のプロジェクト外招待講演者が出席し、活発な議論を行った。特に、東北大学・大学院工学研究科の松田信幸氏による招待講演「光集積回路を用いた量子情報処理」は非常に有意義であった。



写真：共同プロジェクト研究会の様子

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、種々の研究成果を得た。以下に代表的な成果を5件示す。

1. 低熱安定性磁気トンネル接合素子による量子アニーリング機能の実現

熱揺らぎにより0と1の状態を短い時間周期で確率的に取り、かつ外部からの電氣的な制御が可能な磁気トンネル接合素子を作製し、この素子を疑似的な量子ビットとして用いたネットワークを構築した。そしてこのネットワークに量子アニーリングのアルゴリズムを適用し、因数分解の原理実証を行った。本研究は[1]に記載の通り出版された。 ※[··]は、[4] 成果資料 の文献番号に対応する。以下同じ。

2. Fe-Sn ホール素子における低周波雑音

強磁性Fe-Sn ナノ結晶薄膜の異常ホール効果を利用したホール素子は、半導体素子に匹敵する磁場の検出に対して高い感度を示す。この材料を磁力測定に適用するには、低電気ノイズによる優れた検出能力が重要である。Fe-Sn ホールクロスデバイスの検出能力として、磁場感度と

低周波ノイズスペクトルを調査し、半導体ベースのホールセンサに匹敵することを示した。この成果は、Fe-Sn のホール磁気測定への適用可能性を証明している[2]。

3. 反強磁性スピントロニクス

反強磁性材料は、超高速スピンドYNAMIKSの舞台となるため、強磁性材料に基づくものよりも桁違いに速いデバイスを構築するために使用できる。スピントランスファートルクはスピンの電気制御の鍵であり、強磁性スピントロニクスで実証されている。ただし、多くの理論的研究にもかかわらず、反強磁性体のスピン移動トルクの実験的探査は限られたままであった。ここでは、反強磁性結合フェリ磁性体の磁壁の運動に対するスピン移動トルクの効果の実験的調査を報告した。Gd モーメントと FeCo モーメントが反強磁性的に結合したフェリ磁性ガドリニウム鉄コバルト (GdFeCo) 合金を使用すると、非断熱スピントランスファートルクが互い違いの磁場のように作用し、磁壁を効率的に制御できることを明らかとした。また、強磁性体の非断熱的スピン伝達トルクの場合とは対照的に、スピントランスファートルクの非断熱性パラメータはギルバート減衰パラメータよりも著しく大きいことを示した[3]。

4. 非平衡近藤状態の定量的解明

カーボンナノチューブ量子ドットにおいて、通常の近藤効果であるSU(2)近藤効果と、スピンと軌道の両方の自由度を反映したSU(4)近藤効果の両方を実現した。しかも、どちらの場合においても、ほぼユニタリ極限に達する、これまでに報告された中で最も理想的な近藤状態を得た。高精度電流ゆらぎ測定の結果を理論（と精密に比較し、ウィルソン比の定量的な議論によって、観測された近藤状態が強相関極限（ウィルソン比=2）にあることを実証した。さらに、新しい非平衡スケーリング則を実験的に確立した[4]。

5. 磁気ゆらぎによる巨大磁気抵抗効果

反強磁性体を使用したスピントロニクスデバイスは、将来のアプリケーションの有望な候補である。最近、反強磁性体ベースのデバイスで多くの興味深い物理的性質が報告されている。マイクロメートルサイズの三角格子反強磁性体 Ag_2CrO_2 がバタフライ型（蝶の羽の形）をした特殊な磁気抵抗を示すことを解明した。この

物質は、反強磁性的に結合した $S = 3/2$ スピンの 2 次元三角格子 CrO_2 層と、高い導電性を持つ Ag_2 層で構成されている。バタフライ型の磁気抵抗は、磁場が CrO_2 平面に垂直に印加された状況で、磁気秩序温度付近でのみ発現する。この現象は、従来の磁性材料で観察される特徴とは異なるユニークなものである。しかも、その磁気抵抗比は最大で約 15% であり、単一結晶が低磁場下で示す磁気抵抗としては非常に大きい。スピンのゆらぎが重要な役割を果たしていることを理論的に明らかにした[5]。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを契機として、研究者間の交流が飛躍的に活性化し、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だ。本研究会を契機として、参加者の間で、新しい研究者ネットワークが構築されつつある。また、本プロジェクトにおける議論をベースとして、フェリ磁性スピントロニクスや低熱安定性磁気トンネル接合素子による量子アニーリング機能の実現についての研究が進み、今後の発展が期待される。

なお、特筆すべき点として、今年度、本プロジェクトの参加者から以下の受賞者が出ている。本プロジェクトでの活発なネットワークの構築による波及効果の現れの一つと見ることができる。

- 越野幹人：第 16 回（令和元年度）日本学術振興会賞「グラフェンの積層系に関する先駆的理論研究及び新奇物性の開拓」
- 新見康洋：第 23 回丸文学術賞「微小伝導体内の電子の量子コヒーレンスとスピン輸送の研究」
- 小林研介：第 37 回（2019 年度）大阪科学賞「固体素子におけるゆらぎと非平衡機能に関する実験的研究」

[4] 成果資料

以下に代表的な成果 8 件を記載する。

[1] William A. Borders, Ahmed Z. Pervaiz, Shunsuke Fukami, Kerem Y. Camsari, Hideo Ohno, and Supriyo Datta, "Integer factorization using stochastic magnetic tunnel junctions", *Nature* **573**, 390 (2019).

[2] Junichi Shiogai, Zhenhu Jin, Yosuke Satake, Kohei Fujiwara, and Atsushi Tsukazaki, "Low-frequency noise measurements on Fe-Sn Hall

sensors," *Applied Physics Express* **12**, 123001 (2019).

[3] Takaya Okuno, Duck-Ho Kim, Se-Hyeok Oh, Se Kwon Kim, Yuushou Hirata, Tomoe Nishimura, Woo Seung Ham, Yasuhiro Futakawa, Hiroki Yoshikawa, Arata Tsukamoto, Yaroslav Tserkovnyak, Yoichi Shiota, Takahiro Moriyama, Kab-Jin Kim, Kyung-Jin Lee, and Teruo Ono, "Spin-transfer torques for domain wall motion in antiferromagnetically coupled ferrimagnets," *Nature Electronics* **2**, 389 (2019).

[4] Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Julien Basset, Hélène Bouchiat, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Yoshimichi Teratani, Rui Sakano, Akira Oguri, Kensuke Kobayashi, and Richard Deblock, "Quantum Noise in Carbon Nanotubes as a Probe of Correlations in the Kondo Regime," *Journal of Low Temperature Physics* (2019) [online, 10.1007/s10909-019-02232-4].

[5] Hiroki Taniguchi, Mori Watanabe, Masashi Tokuda, Shota Suzuki, Eria Imada, Takashi Ibe, Tomonori Arakawa, Hiroyuki Yoshida, Hiroaki Ishizuka, Kensuke Kobayashi, and Yasuhiro Niimi, "Butterfly-shaped magnetoresistance in triangular-lattice antiferromagnet Ag_2CrO_2 ," *Scientific Reports* **10**, 2525 (2020).

[6] D. H. Kim, M. Haruta, H. W. Ko, G. Go, H. J. Park, T. Nishimura, D. Y. Kim, T. Okuno, Y. Hirata, Y. Futakawa, H. Yoshikawa, W. Ham, S. Kim, H. Kurata, A. Tsukamoto, Y. Shiota, T. Moriyama, S. B. Choe, K. J. Lee, and T. Ono, "Bulk Dzyaloshinskii-Moriya interaction in amorphous ferrimagnetic alloys," *Nature Materials* **18**, 685 (2019).

[7] Shuichi Iwakiri, Satoshi Sugimoto, Yasuhiro Niimi, Kensuke Kobayashi, Yukiko K. Takahashi, and Shinya Kasai, "Observation of the magnetization metastable state in a perpendicularly magnetized nanopillar with asymmetric potential landscape," *Applied Physics Letters* **115**, 092407 (2019).

[8] D. Hatanaka and H. Yamaguchi, "Real-Space Characterization of Cavity-Coupled Waveguide Systems in Hypersonic Phononic Crystals," *Physical Review Applied* **13**, 024005 (2020).

採択番号：H31/B03

次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究

[1] 組織

研究代表者：

今野 佳祐（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

本良 瑞樹（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

羽賀 望（群馬大学）

吉田 賢史（鹿児島大学）

袁 巧微（仙台高専）

チャカロタイ ジェドヴィスノプ(NICT)

延べ参加人数：6人

[2] 研究経過

次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究は、近年ますますその重要性を増している。例えば、以下のような要素技術が重要である。

・高機能アンテナの設計/評価法

次世代無線通信システム用のアンテナとして、数十～数百もの素子から成る高利得のアレーアンテナが想定されている。このようなアンテナは波長に対して大規模であるのみならず、高周波における損失を避けるための新たな高機能材料(例えば低損失なガラスなど)も用いられるなど、複雑な構造となる。また、送受信アンテナ間の電波伝播メカニズムが従来の周波数帯と異なるので、そのメカニズムを踏まえたアンテナ設計が求められる。したがって、このようなアンテナの設計には、波長に対して大規模な問題(ラージスケール問題)、異材料が混在する問題(マルチマテリアル問題)、波長に対して全く異なる規模の大きさの散乱体が混在する問題(マルチスケール問題)を解く電磁界数値シミュレーション技術が必要となる。

・小型デバイスの無線充電法

次世代無線通信システムの応用の一つとして、小型センサや小型デバイスなどの同時接続および制御が挙げられる。このような小型のデバイスにはケーブルを接続するのが困難であり、有線での充電が

難しい。また、電池を搭載すると電池交換などのメンテナンスにコストがかかる。したがって、次世代無線通信システム用小型デバイスの充電は無線によって行う他ないと考えられるが、そのような方法は確立されておらず、新たに構築する必要がある。

本プロジェクト研究では、超広帯域通信のための次世代システムの創成を目指し、以上の課題を克服するための技術の構築を目的として研究を行う。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。そこで、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。以下、研究活動状況の概要を記す。

【研究会】

第一回 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：8月26日(月) 10:00-17:00

会場：電気系1号館612会議室

議題：研究内容の共有等

出席者：6名

第二回 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25日(水) 11:00-17:00

26日(木) 10:00-17:00

会場：電気系1号館612会議室

議題：共同研究の内容等

出席者：5名(WEB参加含む)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、マルチマテリアル問題の数値解析法を確立したことが挙げられる。誘電体や磁性体から成る層状の媒質を含む空間にあるアンテナの高速な数値解析法を構築し、その有効性を明らかにした。

第2に、ラージスケール問題の一つであるアレーアンテナの高速な数値解析法を構築したことが挙げ

られる。アンテナ間の相互作用を表すグリーン関数に遠方界近似を適用した手法を考案し、その精度を明らかにした。

第3に、デバイスの回路モデリングに基づく無線電力伝送システム向けの電磁界数値解析法の構築が挙げられる。アンテナ間およびアンテナ-散乱体間の自己・相互インピーダンスをローラン展開することにより、物理的意味が分かりやすい直観的な回路モデルの実現に成功した。

(特別支援(若手)に係る研究成果)

マイクロ波電力伝送システムで用いられる整流器に関して、1GHz 狭帯域整流器および広帯域整流器の設計、試作、測定を行い、入力RF電力に対する出力DC電力の関係性について、DC 負荷抵抗依存性を明らかにした。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究会のメンバーをベースに、大型科研費の1つである「学術変革領域研究(B)」への申請を実施した。本プロジェクト研究会のメンバーであるチャカロタイ・ジェドヴィスノブが総括代表となり、今野と羽賀が計画研究班の代表に、吉田や袁らは計画研究分担者になっている。

「学術変革領域研究(B)」へは、「広帯域電磁場環境に対するマルチフィジクス解析・計測基盤技術の確立」と題した研究テーマで応募しており、広帯域に亘る電磁界の非線形現象の解明とモデリング、アンテナへの応用等を実施する予定である。各研究課題では、本プロジェクト研究会のテーマの1つともなっているマルチスケール・マルチフィジクスの課題への取り組みや、Beyond 5G 向けの THz 帯アンテナ技術などが含まれている。

このような取り組みを通して、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、更なる共同研究プロジェクトへの発展が期待されている。

(研究分野への貢献)

- ・プロジェクト名:「広帯域電磁場環境に対するマルチフィジクス解析・計測基盤技術の確立」
- ・資金制度名: 科研費 学術変革領域研究(B)
- ・配分機関名: 文部科学省
- ・研究期間: 2020年~2022年

[4] 成果資料

(1) 煤賀司, 今野佳祐, 陳強, ``自由空間のダイアディックグリーン関数の遠方界近似によるモーメント法の高速度化, `` 信学技報, vol. 119, no. 228,

AP2019-96, pp. 85-88, 2019年10月.

(2) 今野佳祐, 陳強, ``多層媒質上にある大規模周期的アレーアンテナの高速な数値解析法の研究, `` 信学技報, vol. 119, no. 228, AP2019-97, pp. 89-94, 2019年10月.

(3) 小淵大輔, 足立真志, 小原拓也, 清水駿斗, 米田峻平, 鈴木絢子, 松浦賢太郎, 成末義哲, 吉田賢史, 西川健二郎, 森川博之, 川崎繁男, “ワイヤレスセンサシステムの実現に向けた高周波デバイスの開発,” 宇宙科学シンポジウム, Jan. 2020.

(4) 林大介, 鳥阪綾子, 宮城祥吾, 吉田巧, 山本隆彦, 吉田賢史, 西川健二郎, 川崎繁男, “固体化マリナーレーダに用いる民生用高出力 GaN 増幅器と宇宙 ICET による Space-by-wireless システムの展開,” 宇宙科学シンポジウム, Jan. 2020.

(5) 吉田賢史, 小淵大輔, 松浦賢太郎, 西川健二郎, 川崎繁男, “K 帯無線通信と C 帯マイクロ波無線電力伝送の両立によるワイヤレスセンサシステムの検討,” 信学総大, C-2-75, March 2020.

(6) 藪田直人, 後藤優花, 小淵大輔, 内海淳, 中岡俊裕, 吉田賢史, 西川健二郎, 正光義則, 川崎繁男, “宇宙情報通信エネルギー技術のための RF HySIC デバイスに関する研究,” 信学総大, C-2-22, March 2020.

(7) S. Yoshida, K. Nishikawa, S. Kawasaki, “10W class high power C-band rectifier using GaN HEMT,” in Proc. Wireless Power Transfer Conf., June 2019.

(8) D. Kobuchi, K. Matsuura, Y. Narusue, S. Yoshida, K. Nishikawa, S. Kawasaki, “Smart wireless sensor system by microwave powering for space-by-wireless,” in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Th1G-2, pp. 1144-1147, June 2019.

採択番号：H31/B04

HCI の特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展

[1] 組織

研究代表者：

坂本 大介(北海道大学大学院情報科学研究院)

通研対応教員：

北村 喜文(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

矢谷 浩司(東京大学大学院工学系研究科)

山下 直美(NTT コミュニケーション科学
基礎研究所)

加藤 淳(産業技術総合研究所)

杉浦 裕太(慶應義塾大学理工学部)

中村 裕美(産業技術総合研究所)

蜂須 拓(筑波大学大学院システム情報工学
研究科)

松村 耕平(立命館大学情報理工学部)

阪口 紗季(東京大学大学院情報学環)

樋口 啓太(東京大学生産技術研究所)

尾形 正泰(産業技術総合研究所)

加藤 邦拓(東京大学大学院情報理工学系
研究科)

池松 香(ヤフー株式会社)

平木 剛史(大阪大学基礎工学研究科)

高田 峻介(筑波大学)

松藤 彰宏(首都大学東京大学院システム
デザイン研究科)

西田 惇(University of Chicago)

中垣 拳(マサチューセッツ工科大学 (MIT)
メディアラボ)

延べ参加人数：17人

[2] 研究経過

Human-Computer Interaction (HCI) 分野は 1980 年頃に誕生し、これまでに 40 年程度の歴史しか持たない比較的若い学術研究領域である。HCI は計算機科学と社会心理学を中心として、人と計算機との関わり合いの中で発生する事象を理解することを目的とした学問分野である。これはすなわち、理工学と人文科学の総合的な研究領域であり、真に学際的 (Interdisciplinary) かつ特定の学術領域に囚われ

ない (Discipline-free) 領域であると言える。

本分野においては、日本であれば情報処理学会や電子情報通信学会が主要な学術団体であり、北米であれば ACM や IEEE、欧州であれば IFIP が主要な学術団体である。一方で、HCI 研究者はこれらの全てに所属することは難しく、また、これらは計算機を中心とした情報科学に特化した学術団体であるという点で、人文科学までも含む 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 3 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 3 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 3 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 3 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。

1. 本プロジェクト研究会と Japan ACM SIGCHI Chapter が主催する国際シンポジウムを開催した。
 - 概要 :
 - 日時 2019年1月24日(金) ~25日(土)
 - 会場 東北大学電気通信研究所
 - 参加人数 約90名
 - 詳細 <https://sigchi.jp/symposium/2018/>

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2019年1月24日(金) および25日(土) の2日間にわたって RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction - Welcome CHI 2021, thinking of the future of HCI together -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、同所の国際シンポジウムとの共同で開催した。本シンポジウムは、大規模重要国際会議 CHI2021 の日本初開催を念頭に、アジア各国の主要な HCI 研究者にお集まりいただき講演頂いた。加えて、国内を中心に若手の研究者の皆さんにもお集まりいただき、日本メンバーおよび各国からの招へい研究者を交えて活発な意見交換を行った。シンポジウムの詳細は以下の通りである。

Friday, January 24

13:00-15:00 Session 1

chair: Yuichi Itoh (Osaka University, Japan)

- Welcome message
Yoshifumi Kitamura (Tohoku University, Japan)
CHI2021 General chair
- Making Digital Tangible: The Battle Against the Pixel Empire
Hiroshi Ishii (MIT Media Laboratory, United States)
- Beyond HCI - Superhuman Sports and Augmented Humans?
Kai Kunze (Keio University, Japan)
CHI2021 Local Arrangement Chair
- Helping adolescent SNS users overcome privacy and security threats
Koji Yatani (The university of Tokyo, Japan)
CHI2021 Journal chair & Sponsor chair

15:00-15:30 Coffee Break

15:30-17:30 Session 2

chair: Kohei Matsumura (Ritsumeikan University)

- Designing Interaction for Computers,

Mobiles, and Robots

Daisuke Sakamoto (Hokkaido University, Japan)

CHI2021 Communication chair

- Programming for X: Programming Experience Research for Convivial Computing
Jun Kato (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan)
CHI2021 Student Research Competition Chair
- Designing Technologies for Mindful Inclusion
Naomi Yamashita (NTT Research Labs, Japan)
CHI2021 Language Inclusion chair
- Toward Augmented Spaces that Enable Sequential Communication
Hideaki Kuzuoka (The University of Tokyo, Japan)
CHI2021 Workshop chair

17:30-17:40 Short Break

17:40-18:10 Technology Visit to the Interactive Content Design Laboratory, RIEC, Tohoku University

18:10-21:30 Reception

Saturday, January 25

9:15-10:30 Session 3

chair: Masa Ogata (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan)

- Doing Inclusive Design: From GenderMag to InclusiveMag
Margaret Burnett (Oregon State University, United States)
CHI2021 Keynote chair
- Human Augmentation and the future of Human-Computer Integration
Jun Rekimoto (The University of Tokyo, Japan)

10:30-10:40 Short Break

10:40-12:20 Session 4

chair: Hiroyuki Manabe (Shibaura Institute of Technology)

- Characterizing Physical World Accessibility at Scale
Kotaro Hara (Singapore Management University, Singapore)
CHI2021 Accessibility chair
- Compute Vision-based Interactive Systems

for Expert Work Assistance and Accessibility Improvement

Keita Higuchi (*Preferred Networks, Japan*)

CHI2021 Local Culture chair

● **Discreet Computing: Discreet interaction and sensing with Radar, Vision and Breath**

Aaron Quigley (*the University of St Andrews, United Kingdom*)

CHI2021 General chair

12:20-12:30 Closing

(特別支援 (国際) に係る研究成果)

本プロジェクトは国際共同研究推進型で採択された課題であった。今年度は電気通信研究所の国際シンポジウムと共同で、昨年度同様に Singapore Management University の Kotaro Hara 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、実りある議論ができた。この結果シンポジウムを盛大かつ効率的に開催することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまでの3年間で本プロジェクトは、プロジェクト関係者以外にも国内外から多数の参加者を集めたシンポジウムに発展した。本プロジェクトがきっかけとなり、日本で初めての ACM SIGCHI Chapter が誕生し、日本だけではなくアジア諸地域に影響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、全国4会場 (札幌、東京、大阪、

金沢) で合計300人の参加者を集めるイベントに成長してきている。今後もアカデミックと産業、HCI とその関係領域の交流が継続され、世界におけるアジアと日本の HCI コミュニティの発展のために、本研究会プロジェクトおよび Japan ACM SIGCHI Chapter の活躍が期待される。

これまでの3年間で本 RIEC プロジェクトおよび Japan ACM SIGCHI Chapter を主体として例年 CHI Conference において国際シンポジウムを開催してきた。次回2020年は我々の手を離れ、これまで交流を深めてきたアジア各国の代表メンバーが中心となって Asian CHI Symposium として開催し、各国の HCI 研究の現状について議論するための準備を進めていた。しかし、新型コロナウイルス (COVID-19) の影響により CHI Conference 自体の現地開催が中止となったため、2020年3月末日現在でシンポジウムについても別の開催形式を模索している。

Asian CHI Symposium 2020

- 日時: 2020年4月25日 (土)
- 開催場所: Hawai'i Convention Center, Honolulu, Hawai'i, USA
- <https://asian-chi.github.io/2020/>

[4] 成果資料

- (1) Kazuyuki Fujita, Eunice Sari, Juho Kim, Adi Tedjasaputra, Ellen Yi-Luen Do, Zhengjie Liu, Uichin Lee, Toni-Jan Keith Palma Monserrat, Akihiro Matsufuji, Shio Miyafuji, Ryosuke Takada, Chat Wacharamanatham, Masitah Ghazali, Xiyue Wang, Thippaya Chintakovid, Kyoungwon Seo, Jinwoo Kim, and Yoshifumi Kitamura. 2019. Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper Sym06, 1-7.
DOI:<https://doi.org/10.1145/3290607.3298996>

採択番号 : H31/B05

アジアにおける HCI 研究コミュニティの活性化 HCI Research Community Development in Asia

[1] 組織

研究代表者 :

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員 :

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Jinwoo Kim (Yonsei University, Korea)

Eunice Sari (UX Indonesia)

Anirudha Nanasaheb Joshi

(Indian Institute of Technology, Bombay, India)

Zhengjie Liu (Dalian Maritime University, China)

Thippaya Chintakovid (King Mongkut's University of
Technology North Bangkok)

延べ参加人数 : 15 人

[2] 研究経過

情報技術に囲まれた高度情報社会に生きる人々のクオリティオブライフを保証していく上で、人と情報システムの関係を経験から検討することはますます重要になってきている。人と情報システムの相互作用について、情報科学、認知科学、心理学、デザイン学等、多岐に渡る分野にまたがる学際的な研究分野が Human-Computer Interaction (HCI) である。

これまで H28/B11 「アジアにおける HCI 研究の活性化」で議論した結果、この分野で最大かつ最高権威の国際会議を 2021 年にアジアの日本に誘致することに結びついた。これまで議論してきた内容を踏まえて、アジアにおける HCI 研究をさらに活性化するため、そしてその国際会議をアジア諸国の協力で成功させるため、各国の若手リーダーに集まってもらい、個々の共同研究を模索するとともに、各国の研究コミュニティの相互理解と横連携を深め、各国の研究コミュニティを繋ぐ役割を担うシンポジウムを開催し、強力なコミュニティ連携構築を目的とする。

この地域の国々間の格差やさまざまなユニークな特徴を理解した上で、相互理解と協力を通して教育や研究レベルの活性化と底上げ、さらにこの地域らしい新産業創出の流れを作り出すことによって、人々の生

活の質 (QOL) を向上させたい。そのために、国連ユネスコに起源する IFIP (International Federation for Information Processing) の TC-13 (Technical Committee on Human-Computer Interaction) や、ACM (Association for Computing Machinery) の SIGCHI (Special Interest Group on Computer Human Interaction) など国際的なネットワークを持つ既存の学会や各国内の関連学会や学術団体と協力しながら、シンポジウムを開催した。

- 日時 2020 年 1 月 12 日 (日) 13 日 (月・祝)
- 会場 東北大学電気通信研究所
- 参加人数 約 15 名
- 詳細 <https://sites.google.com/view/sigchi-asian-symposium-2020jan>

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2020 年 1 月 12 日 (日) に Fourth RIEC and ACM SIGCHI Asian Symposium を東北大学電気通信研究所で開催した。本シンポジウムは、大規模重要国際会議 CHI 2021 が日本初開催となることと、さらに今後 5 年毎にアジアで開催される予定が示されていることを念頭に、このように盛り上がりつつある本分野のアジア地域の今後の着実な発展のため、各国をベースに国際的に活躍されているリーダーで、SIGCHI の Asian Development Committee[1] のメンバを務めている皆さんにお集まりいただき、講演してもらった。本シンポジウムでは、相互理解を深め、人的ネットワークを構築することを通して、この分野の世界的な発展に少しでも貢献することを目的とした。シンポジウムの詳細は次の通りである。

13:10-15:00 Session 1

- **Welcome message**
Yoshifumi Kitamura (Tohoku University, Japan)
Liaison for Japan and Chair of SIGCHI Asian Development Committee
- **Challenges and Opportunities in Bangladesh**
Nova Ahmed (North South University)
Bangladesh Liaison for SIGCHI Asian Development Committee

- **TAICHI and Natural and Tangible User-interactions**
Bing-Yu Chen (National Taiwan University)
Taiwan Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee
- **Empirical evaluations of Speech input technology and auditory graph representations and, technology for language learning**
Manjiri G. Joshi (Indian Institute of Technology (IIT) Bombay)
India Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee

15:00-15:30 Coffee/Tea Break**15:30-18:00 Session 2**

- **K-CHI Activities and Digital Wellbeing Projects**
Uichin Lee (KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology))
Korea Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee
- **HCI & UXD in China**
Zhengjie Liu (Dalian Maritime University)
China Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee
- **Designing for Wellbeing in the Developing Context**
Suleman Shahid (Lahore University of Management Sciences)
Pakistan Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee
- **ICTD & Healthcare – Interventions in Assam, India**
Keyur Sorathia (Indian Institute of Technology (IIT) Guwahati)
India Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee
- **Research YArtifacts Transparency: Sharing is (not always) caring**
Chat Wacharamanotham (University of Zurich)
South East Asia (Thailand) Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee

18:15-18:45 Technology Visit to the Interactive Content Design Laboratory, RIEC, Tohoku University**18:45- Evening Meeting****Discussants**

- Josh (Adi) Tedjasaputra*
South East Asia (Indonesia, Malaysia, Singapore) Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee
- Eunice Sari*
South East Asia (Vietnam and Philippines) Liaison for ACM SIGCHI Asia Development Committee

(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。今年度は昨年度同様に Eunice Sari 氏をはじめ外国から複数の研究者を招へいし、ご講演頂き、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

昨年までの3年間で本プロジェクトは、プロジェクト関係者以外にも国内外から多数の参加者を集めたシンポジウムに発展した。本プロジェクトがきっかけとなり、日本で初めての ACM SIGCHI Chapter が誕生し、日本だけではなくアジア諸地域に影響のある組織となった。この結果として学術研究だけではなく、産業界も巻き込み、HCI の重要性を訴えかけて行く組織として今後の大きな発展が期待されている。

SIGCHI の Asian Development Committee は2015年にアジア5か国・地域の5名で活動を開始し、2019年に10か国・地域の12名に増強された。このことから、本分野でアジア地域の今後の着実な発展が世界的に見ても期待されている。なお、本 Committee の Chair を日本代表の北村が務めている。

昨年までの3年間で Japan ACM SIGCHI Chapter のメンバを主体的な運営メンバとして毎年国際会議 CHI の会場で国際シンポジウム Asian CHI Symposium を開催してきた。次回2020年は、日本のメンバではなく、本プロジェクトやシンポジウム参加者であるアジア各国の代表メンバが中心となって開催し、各国の HCI 研究の現状について議論するための準備を進めていた。しかし、新型コロナウイルス (COVID-19) の感染拡大の影響により国際会議 CHI 自体の現地開催が中止となったため、2020年3月末日現在でシンポジウムについても別の開催形式を模索している。

Asian CHI Symposium 2020

- 日時: 2020年4月25日 (土)
- 開催場所: Hawai'i Convention Center, Honolulu, Hawai'i, USA
- <https://asian-chi.github.io/2020/>

参考資料

1. SIGCHI Asian Development Committee
<https://sigchi.org/people/committees/>



[4] 成果資料

Kazuyuki Fujita, Eunice Sari, Juho Kim, Adi Tedjasaputra, Ellen Yi-Luen Do, Zhengjie Liu, Uichin Lee, Toni-Jan Keith Palma Monserrat, Akihiro Matsufuji, Shio Miyafuji, Ryosuke Takada, Chat Wacharamanotham, Masitah Ghazali, Xiyue Wang, Thippaya Chintakovid, Kyoungwon Seo, Jinwoo Kim, and Yoshifumi Kitamura. 2019. Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper Sym06, 1–7.
DOI: <https://doi.org/10.1145/3290607.3298996>

採択番号：H31/B06

質感・色彩の視覚的な感性認知メカニズムに関する研究

[1] 組織

研究代表者：岡嶋 克典

(横浜国立大学)

通研対応教員：栗木 一郎

(東北大学)

研究分担者(50音順)：

内川 恵二 (神奈川工科大学)
 金子 沙永 (東北大学)
 北岡 明佳 (立命館大学)
 鯉田 孝和 (豊橋技術科学大学)
 郷田 直一 (自然科学研究機構生理学研究所)
 小松 英彦 (玉川大学)
 坂田 勝亮 (女子美術大学)
 佐藤 智治 (一関高専)
 篠森 敬三 (高知工科大学)
 須長 正治 (九州大学)
 徳永 留美 (千葉大学)
 辻村 誠一 (名古屋市立大学)
 中内 茂樹 (豊橋技術科学大学)
 永井 岳大 (東京工業大学)
 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)
 本吉 勇 (東京大学)
 溝上 陽子 (千葉大学)
 矢口 博久 (千葉大学)
 山内 泰樹 (山形大学)
 和田 有史 (立命館大学)

延べ参加人数：18人

[2] 研究経過

人間の脳内における、物体表面の属性(質感や色など)を視覚的に取得するための情報処理メカニズムの研究を主題とする。物体表面の視覚的特徴(質感や色)の分析は物体を同定するための重要な役割を担っている。質感研究は科研の新学術研究領域(H.22-26「質感脳情報」、H.27-「多元質感知」と

して重要な研究課題と認められている。

本研究会では、これらの視覚情報処理に関連する研究を推進している工学・生理学・医学・心理学・美術学などの多様な分野にまたがる研究者を招聘して研究会を開催し、深いディスカッションを通して人間の物体認識メカニズムにおける未解決の重要な研究課題の抽出を行うことを目的とする。

これまでに、色覚研究会(H19/A07)ならびに質感・色覚研究会(H22/B09, H25/B07, H28/B04)として採択された共同プロジェクト研究にて研究会を実施し、活発な意見交換を行ってきた。平均で年2回開催され、通算で24回が開催された。その研究会を通して構築された研究者ネットワークは、2015年7月に通研国際シンポジウムとして共催したInternational Colour Vision Society(国際色覚学会)2015における日本人参加者の確保へと繋がった。

本プロジェクト研究会のメンバー(工学、医学、生理学、心理学、芸術学など)は過去の共同プロジェクト研究にも参加していた。また、H19/A07からは科研費の新学術研究(質感脳情報学:H.22-26)の代表者以下多くのコアメンバーを多く輩出した経緯もある。昨年度から「多元質感知」にも開催案内を告知し共催とした。

過去の研究会参加者からは、これまでと同様のテーマで、同様の形式による研究会の継続を強く希望する声が多く聞かれ、研究者コミュニティにおける研究交流の場の提供にも貢献している。

本年度の活動として、下記の要領で研究会を開催した。共同プロジェクト研究H30/A41「広ダイナミックレンジ環境における視覚特性の定量化」と共同開催した。

日時:12/25(水) 13:00-17:00, 12/26(木) 9:00-16:00
 場所:東北大学 電気通信研究所 本館4階セミナー室(M431)

プログラム

- 1) サブバンド変調逆相関法の試み、永井岳大(東工大)
- 2) 自然照明の「演質感性」:照明統計量, 画像統計量, 質感知覚の相関解析。

- 近藤大佑・藤田隼人・本吉 勇 (東大)
- 3) メラノプシンと桿体が色知覚に与える影響。
鍵本明里・岡嶋克典 (横国大)
 - 4) 測定時の輝度に応じた色残効量の変化。
鯉田孝和・渡邊裕汰 (豊橋技科大)
 - 5) 自然テクスチャ処理の皮質ダイナミクス: VEP
逆相関解析. 本吉 勇・織間大気 (東大)
 - 6) 表面の情動的価値に関連する視覚誘発電位。
小川成美・本吉 勇 (東大)
 - 7) 色情報が嫌悪と恐怖の感情に与える非対称な
影響。
佐藤弘美・村中詩織・畠 若菜・本吉 勇 (東大)
 - 8) 高空間周波数コントラスト変調による光沢感
操作とその制約条件。
清川宏暁 (山形大)・永井岳大 (東工大)
 - 9) 色と輝度の運動残効による速度錯視。
栗木一郎・越坂若菜・羽鳥康裕・Tseng
Chia-huei・塩入 諭 (東北大)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の研究会では、以下のような成果を得た。

永井は、画像の中で人が課題を得手がかりとしている箇所を特定する方法として、サブバンド逆相関法という新しい手法について話題提供を行った。空間周波数のサブバンドに分割した上で逆相関法を行うことにより、通常逆相関法では無駄足になる試行を削減し、影響力の高い画像特徴を効率的に抽出することを目的としている。顔画像や質感画像を用いた「明るさ感」の判断に関わる画像特徴の抽出について発表をした。抽出された画像特徴(サブバンド統計量)が統計的に有意であることをどのように示すか、という問題などが明らかにされた。

近藤らは質感知覚を与えるのに適した照明環境の必要条件を評価する「演質感性」という新しい概念についてその提案と評価実験について話題提供を行った。照明光がどのくらい太陽光(自然光)に近い色の再現性を持っているかを示す指標を演色性という。極端な例では、ある波長 λ_1 のみを反射する物体があった時に、照明光がその波長を一切含まなかった場合、その物体は反射光が無く真っ黒に見える。つまり照明光が含有するスペクトルが自然な見え方を保証する度合いを演色性という。同様の概念を物体の質感に拡張した場合に、どのような要件が求められるかについて、被験者に質感判断を行わせる実験を、様々な統計的特徴を持つ照明環境(ライトフィールド)において実施した結果とそのまとめについて報告した。

鍵本らは、3錐体と桿体にくわえ、21世紀になって網膜で発見された第4の光感受性物質であるメラノプシンが視知覚に与える影響を調べた研究について報告した。分光成分を自在に制御できるプログラマブル光源を用い、メラノプシンと桿体について、それぞれを単体で刺激する光あるいは同時に刺激する光を設計し、それらの色の見え方について検討を行った。特に眼球光学系(角膜・水晶体の分光透過率、黄斑色素濃度)について個人ごとに測定を行い、それらの要因を考慮した上で個人ごとに最適の光刺激を行った。エレメンタリーカラーネーミングにより色の見えの評価を行った結果について報告した。

鯉田らは、特に青または黄に順応した後の残効を測定する場合に、測定刺激の輝度を操作すると残効の見え方が変化する現象について報告を行った。色の順応刺激に一定時間暴露したあと、色残効を打ち消す方法(nulling)により残効の強さを測定した。Nullingを行う際の視野の輝度レベルを変化させると、特に残効の色みの鮮やかさ(彩度)について系統的な変化が見られることを報告した。そもそも、同じ色度の光でも明度レベル(環境における相対的な輝度レベル)によって色の見えの鮮やかさは変化する特性が人間にはある。例えば同じ色度の光の明度を下げると彩度も低下し、最終的には黒(無彩色)になる。こうした明度変化に伴う色の見えの変化を切り分ける必要があるという指摘などがあった。

本吉らは質感に関与する脳内情報処理の機序を明らかにするため、質感刺激に誘発される脳波(visually evoked potential: VEP)と視覚刺激との相関を調べる実験を行なった。質感画像としては特に自然テクスチャのもつ画像統計的な特徴を再現する人工的なテクスチャ合成画像(PS合成画像; Portilla & Simoncelli, 2000)を用いた。画像ごとに得られたVEP波形の特徴を比較し、その画像特徴との関連をデコーディングや回帰分析によって調べる研究について話題提供を行った。PS合成画像とその元画像に当たる自然画像との間に感じる違和感と相関をもつ脳波成分が、比較的遅めの潜時において見出されるという結果を報告した。また、解析方法や刺激条件の比較などについて活発な意見交換が行われた。

小川らは、不快感などの情動的判断に作用する画像の特徴について、本吉と同様の方法を用いて脳波による実験を試みた。情動的価値(快・不快)に関わる評定実験をあらかじめ行った画像を用い、その画像が誘発する脳波成分の特徴について画像の情動価との対照評価を行った。テクスチャ画像とは異なり、比較的低次の視覚野における反応が画像の情動

価との相関を示しているように見える結果を報告した。ただ、画像の統計的な特徴量が誘発する脳波成分と、情動価によって誘発する脳波成分の切り分けが必要と考えられる、など、活発な議論が行われた。

佐藤らは、画像による恐怖と嫌悪感に与える色の影響について、正/中立/負の嫌悪感・恐怖感の画像を用意し、カラー画像とそれを白黒化または色反転した画像について情動価の評価を行い、画像間での評価の相関を解析した。色だけを反転した画像では情動価の正の印象は弱まるが負には反転しない、また恐怖と嫌悪が別のメカニズムと思われる、などの成果を報告した。

清川らは、光沢表面をもつ物体のCG画像からハイライトを除去した画像（“dark”画像）を観察した際に生じる光沢感知覚について、画像特徴との関係の評価する実験を行なった。ここで「ハイライト」と呼ばれる成分は、先行研究（Kim, et al., 2012）において提案された定義で、表面の光沢度を変化させて生成したCG画像のうち、光沢CGの画素の中で無光沢CGの輝度を越えた部分を言う。「ハイライト除去」とはハイライト画素は無光沢CGに置換し、それ以外は光沢CGの画素を採用した画像を言う。この「ハイライト」の定義はかなり特殊で、この先行研究の研究グループの定義に固有の現象であることについて、様々に意見や指摘が行われた。

栗木らは、色と輝度の情報の相互作用に関し、視覚的運動を用いて研究する中で発見した、速度知覚の錯視について報告した。ドーナツ型の回転刺激の運動（4Hz）を10秒以上観察した後で、同じ4Hzの扇型の運動刺激を、ドーナツ型の左右部分に重なるように上 or 下の一方向で呈示する。扇型の運動は左右で同じ速度だが、ドーナツ型の順応刺激と同じ方向に運動する方が早く運動して見える。通常の運動残効は静止刺激を見せると順応方向と逆方向の運動錯視を生じることから直感に反する現象である。この現象は色と輝度の間でも相互作用する事が今回の発見である。この現象を時間周波数の異なる複数の運動メカニズムの相互作用によって説明する試みについての心理物理研究を報告した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、本プロジェクトのメンバー（溝上、須長、辻村、平松、栗木、岡嶋）が中心となって令和2年度の科研費・学術変革領域Bへの応募に結びついた。色彩分野の研究は工学・生理神経科学・心理学などの分野において、それぞれが独立で研究が行われてきた。この学術変革領域では、それらの知

見を総合・融合して新たな研究の展開を誘発することを目的としている。このように、本プロジェクトは異分野における色覚研究者たちの新たな邂逅の場として作用している。

ひとたびカラー画像・映像を経験すると白黒画像に戻れないように、色の情報は視覚の中でも日常的に重要な情報やインパクトを与える要素である。本研究プロジェクトが、さらなる異分野間フュージョンを生み出し、色情報の利用やメカニズムの解明が進化していくことへ貢献することが期待される。

[4] 成果資料

以下に研究会と関連した成果発表について報告する。

- 1) M. Yamakawa, S. Tsujimura, K. Okajima. A quantitative analysis of the contribution of melanopsin to brightness perception, *Scientific Reports*, 9, Article number: 7568, 2019.
- 2) Koshizaka W., Kuriki I., Hatori Y., Tseng C.-H., Shioiri S. The reversal of motion aftereffects on speed perception for color- and luminance-defined motion tested with various temporal frequencies. *OSA Fall Vision Meeting 2019*, Washington D.C., U.S.A., Sep.19-22, 2019.
- 3) 織間大気, 本吉 勇. 視覚誘発電位によるテクスチャ統計量符号化機構の解析. 日本視覚学会 2020 年冬季大会.
- 4) 近藤大佑, 藤田隼人, 本吉 勇. 自然照明場の「演質感性」に関する統計量・知覚相関解析. 日本視覚学会 2020 年冬季大会.
- 5) 佐藤弘美, 村中詩織, 畠 若菜, 本吉 勇. 自然画像から誘発される感情価に対する輝度と色の役割. 日本視覚学会 2020 年冬季大会.
- 6) 小川成美, 本吉 勇. 表面の情動的価値に相関する短潜時の視覚誘発電位. 日本視覚学会 2020 年冬季大会.
- 7) 輝度エッジ強調による光沢感操作が有効となる物理的・画像的条件. 清川宏暁, 田代知範, 山内泰樹, 永井岳大. 日本視覚学会 2020 年冬季大会.
- 8) 鍵本明里, 岡嶋克典. 異種デバイス間カラーマッチングにおけるメラノプシン細胞と杆体細胞の寄与. 日本視覚学会 2020 年冬季大会.

採択番号 : H31/B07

クロアチアー日本 環境電磁工学 ワークショップ

[1] 組織

研究代表者 :

林 優一 (奈良先端科学技術大学院大学)

通研対応教員 :

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

山口 正洋 (東北大学・大学院工学研究科)

永田 真 (神戸大学)

松嶋 徹 (九州工業大学)

井淵 貴章 (大阪大学)

Adrijan Barić (University of Zagreb)

Raul Blecic (University of Zagreb)

Josip Bacmaga (University of Zagreb)

Hrvoje Stimac (University of Zagreb)

延べ参加人数 : 10 人

[2] 研究経過

情報通信機器の小型化・高周波化が進む中で機器の電磁環境を良好に維持し、機器の可用性を維持することは緊急の課題である。こうした課題に対し、本プロジェクトでは日本及びクロアチアの環境電磁工学 (EMC) 分野の研究者が相互に最先端の研究成果を発表及びディスカッションを行い、今後の EMC 分野に求められる知見蓄積を行うことを目的とし、「クロアチアー日本 環境電磁工学 ワークショップ」を開催した。

以下、研究活動状況の概要を示す。

開催期間 : 2019 年 5 月 31 日～6 月 1 日

開催場所 : 東北大学大学院工学研究科青葉記念会館

学会規模 : 日本・欧米 EMC 関連研究者・技術者 (25 名参加 (招待制※))

※本ワークショップでは EMC と関連分野の融合領域形成及び EMC 諸問題に対する新たな解を模索するため、上記の目的に合致した研究者・技術者を招待し、研究発表集中討議を行うため、参加者は招待制とした。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトにより開催したワークショップにおいて、クロアチア、日本両国から集積回路・電子・電気材料工学・電子デバイス・電子機器・パワーエレクトロニクスの EMC 問題に関する成果が発表された。

また、発表された成果を通じて今後取り組むべき EMC 諸問題や、その問題を解決するための融合領域を新たに形成に関する議論が展開され、今後の研究連携に繋がった。

具体的に議論された内容は以下の通りである。

Overview of EMC related activities at University of Zagreb (Prof. Adrijan Barić, University of Zagreb, Croatia)

Undesired Radio Waves of IoT Devices: Evaluation and Countermeasures (Prof. Makoto Nagata, Kobe University, Japan)

Noise suppression sheet and its application to electromagnetic noise suppression radiated from power electronics equipment (Dr. Koichi Kondo, TOKIN Corporation, Japan)

Measurement method based on transverse electromagnetic cell and hybrid coupler for calculation of radiated emission (Dr. Raul Blecic, University of Zagreb, Croatia)

High-Frequency Modelling of a Setup for Time-Domain Inductor Characterization (Mr. Josip Bacmaga, University of Zagreb, Croatia)

Wideband electro-optical differential voltage measurement system (Mr. Hrvoje Stimac, University of Zagreb, Croatia)

High-Q on-chip C-band inductor with a

nanocrystalline MnZn-ferrite film core (Prof. Masahiro Yamaguchi, Tohoku University, Japan)

Non-linear DC offset of LDO due to RF noise (Dr. Takahiro Hino, RICOH Electronic Devices Co., Ltd., Japan, and Dr. Hirobumi Watanabe, RICOH Co., Ltd., Japan)

EMI noise distribution and propagation in SiC power module (Dr. Takaaki Ibuchi, Osaka University, Japan)

Noise Source Amplitude Modulation Technique to Estimate Magnitude of Emissions from Individual Integrated Circuits (Dr. Kengo Iokibe, Okayama University, Japan)

Transmission-line model of overhead distribution line and modal analysis for detection of fault type (Dr. Tohlu Matsushima, Kyushu Institute of Technology, Japan)

Effect of Parasitic Elements at Connector Contact Boundary with Contact Failure on Electromagnetic Radiation (Prof. Yu-ichi Hayashi, Nara Institute of Science and Technology, Japan)

Complex antenna factor and antenna gain of folded rhombic antenna for broadband measurements (Prof. Shinobu Ishigami, and Prof. Ken Kawamata, Tohoku Gakuin University, Japan)

(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 Croatia - Japan Electromagnetic Compatibility Workshop を主催し、本ワークショップには、集積回路・電子・電気材料工学・電子デバイス・電子機器・パワーエレクトロニクスなどに軸足を置きながら、EMC の最先端の研究にも取り組んで来た研究者が参加した。

ワークショップを通じて、それぞれの分野で行われている研究成果を共有することで、EMC の諸問題を解決するための融合領域を新たに形成するための基礎を築くと共に、現在対策が困難である EMC 問題に対して解決の糸口を与えた。

また、本プロジェクトによる 2 回目のワークショップの成功を受けて、今後も両国間でワークショップを継続していくことが正式に決定したことから、本ワークショップが学術・産業界に与えるインパクトは少なくないと考えられる。

【ワークショップ開催風景】



Prof. Adrijan Barić による基調講演の様子



永田真教授による基調講演の様子



クロアチアー日本 環境電磁工学 ワークショップ
参加者

- [4] 成果資料
- [1] Overview of EMC related activities at University of Zagreb (Prof. Adrijan Barić, University of Zagreb, Croatia)
- [2] Undesired Radio Waves of IoT Devices: Evaluation and Countermeasures (Prof. Makoto Nagata, Kobe University, Japan)
- [3] Noise suppression sheet and its application to electromagnetic noise suppression radiated from power electronics equipment (Dr. Koichi Kondo, TOKIN Corporation, Japan)
- [4] Measurement method based on transverse electromagnetic cell and hybrid coupler for calculation of radiated emission (Dr. Raul Blečić, University of Zagreb, Croatia)
- [5] High-Frequency Modelling of a Setup for Time-Domain Inductor Characterization (Mr. Josip Bacmaga, University of Zagreb, Croatia)
- [6] Wideband electro-optical differential voltage measurement system (Mr. Hrvoje Stimac, University of Zagreb, Croatia)
- [7] High-Q on-chip C-band inductor with a nanocrystalline MnZn-ferrite film core (Prof. Masahiro Yamaguchi, Tohoku University, Japan)
- [8] Non-linear DC offset of LDO due to RF noise (Dr. Takahiro Hino, RICOH Electronic Devices Co., Ltd., Japan, and Dr. Hirobumi Watanabe, RICOH Co., Ltd., Japan)
- [9] EMI noise distribution and propagation in SiC power module (Dr. Takaaki Ibuchi, Osaka University, Japan)
- [10] Noise Source Amplitude Modulation Technique to Estimate Magnitude of Emissions from Individual Integrated Circuits (Dr. Kengo Iokibe, Okayama University, Japan)
- [11] Transmission-line model of overhead distribution line and modal analysis for detection of fault type (Dr. Tohlu Matsushima, Kyushu Institute of Technology, Japan)
- [12] Effect of Parasitic Elements at Connector Contact Boundary with Contact Failure on Electromagnetic Radiation (Prof. Yu-ichi Hayashi, Nara Institute of Science and Technology, Japan)
- [13] Complex antenna factor and antenna gain of folded rhombic antenna for broadband measurements (Prof. Shinobu Ishigami, and Prof. Ken Kawamata, Tohoku Gakuin University, Japan)

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 (デジタルハリウッド大学大学院)

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：

塚原直樹 (クロウラボ株式会社)

坂本正之 (日本航空大学校)

加藤靖弘 (日本航空大学校)

野村誠 (日本航空大学校)

山崎敦子 (芝浦工業大学)

延べ参加人数：6人

エクト」で得られた成果を、カラス以外の鳥獣被害(農林水産業、バードストライク)への適用を期待し、石川県能登空港および同空港と隣接する日本航空大学校(以後 JAA)と共同研究を進めている。本研究会では、地域のニーズや過疎化などの課題を解決する UAV を研究開発する取り組みとしてさらに進めるために JAA をハブとして、地域にニーズを充足し地域社会の活性化に貢献する地域密着型の UAV 研究開発・人材育成の形態を検討する。本研究会の目的は JAA と奥能登地域の地方自治体、シンガポール国立大学や芝浦工業大学などと連携し、域学連携の枠組みによる UAV 利活用技術の研究開発として活動の継続するため、各種グラント等への申請、その後の活動の方向付けを行うことである。この取り組みを通じ、UAV を含めた新しい技術活用による地域活性は、娯楽や観光・教育産業などと連携することで、地場産業のみならず、文化事業的側面でも地域の魅力化に繋げてゆく行政や地元ニーズが高いことが認識された。そこで次のステップとして、本テーマ「カラスとコミュニケーションするカラスドローンの開発」に加え、本プロジェクトの全て

[2] 研究経過

本研究会発足以前から、東北大学電気通信研究所の北村研究室などと進めてきた「カラスと対話するプロジ

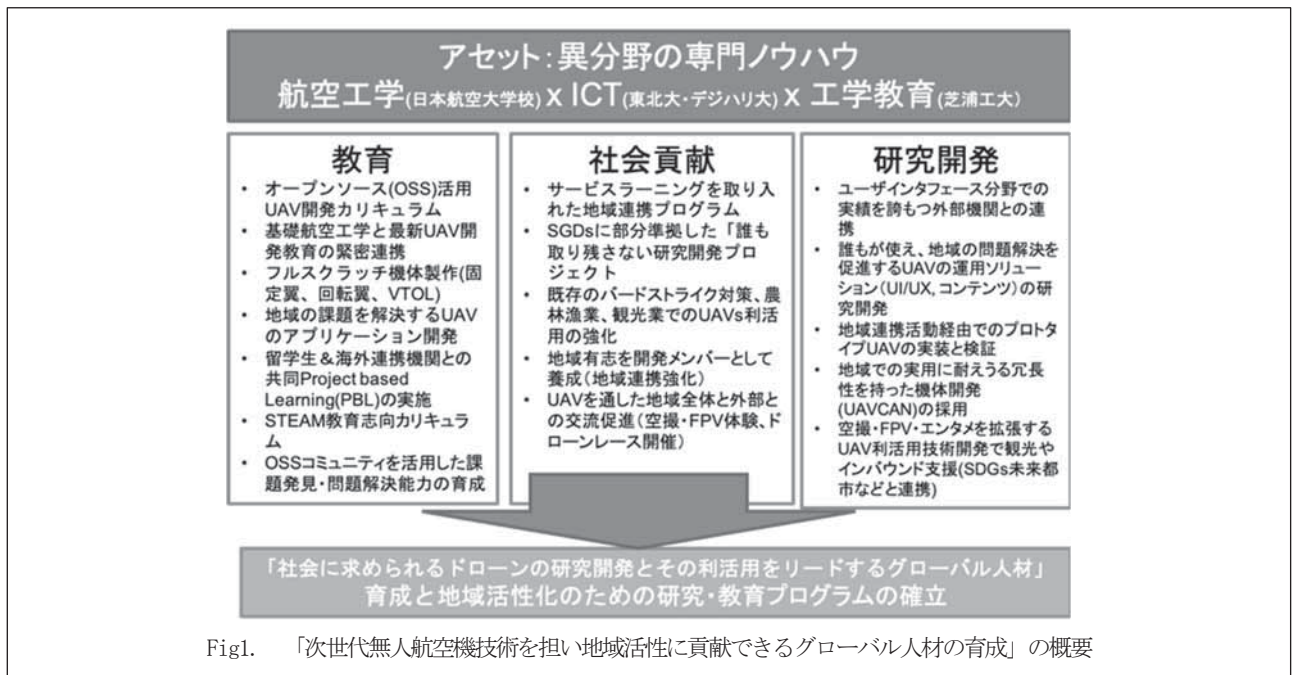


Fig1. 「次世代無人航空機技術を担い地域活性に貢献できるグローバル人材の育成」の概要

のテーマを抱合した、地域活性化のためのUAVのためのリソース確保のための活動として「宇宙航空科学技術推進委託事業」へ応募した。

本研究会の具体的な活動としては、本年度4月に研究分担者が電気通信研究所に一堂に集い、上記の助成金事業の申請内容に関するディスカッションや役割分担などの準備作業を行なった。

本申請企画は最終選考のヒアリングまで行うも採択には至らなかった(最終選考対象7団体中3団体が採択、本申請は4位であった)。不採択理由は、具体的な地域との連携と人材育成事業の受益者が不明確、無人航空機の新たな可能性を開拓する当事業の観点からの計画が不十分とのことであった。しかし文科省の関係者からも再応募を提案され、また同事業の前年度採択機関の大阪府立大学からノウハウの共有を受けるなど、同助成事業の次年度募集やあるいはほかの助成事業への応募に向けて、計画内容のブラシアップを進めている。具体的には、JAAをハブとした地域連携の体制と実績を重ねるため、自治体と連携したドローンを使用した防災訓練や若年層に向けたワークショップの開催協力や、観光・農林水産業への活用のためのヒアリングやドローン操縦講座などを行なった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、「宇宙航空科学技術推進委託事業」の応募の準備過程で手がけた実績の取りまとめや、地域との協働、その結果の学会への投稿などを行なった。

具体的には以下に示す活動成果を得た。

- 輪島市防災訓練 2019年秋(学生参加)
- 穴水町防災訓練 2019年秋(留学生も参加)
- 地域住民対象ワークショップ 輪島市大沢地区 2019年夏(学生参加)
- 小中学生対象ワークショップ 珠洲市教育委員会 2020年3月(子供&学生参加)[2]
- 中学生対象 ドローン出張講座 2019/6
- 珠洲市木ノ浦荘プロモーション用動画ドローン撮影 2019年8月(学生参加)
- 森林組合とのドローンに関する意見交換会(ドローンコース学生も参加)2019年
- 能登地域林業経営者とのドローン活用に関する研究会 2019/12
- 猟友会でのドローン利活用に関する協議。ドローン(赤外線カメラを搭載)を使用した新たな狩猟の取り組み(具体的な議論等は未実施)
- 地元(能登)農業経営者と自作農薬散布ドローンの試作プロジェクト開始 2020/01

- ドローンの防災観光家の活用、輪島市職員の操縦士養成(2020/3)[3]
- Koh Sueda, Atsuko K. Yamazaki, Makoto Nomura, Yasuhiro Kato, ENHANCING STEAM EDUCATION THROUGH DEVELOPING OPEN SOURCE-BASED UAVS, the 14th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2020), Bangkok (will be shown in 2020 Autumn).

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究会発足以前、また別プロジェクトで並行し、地域の協力を得ながら調査や発表などの研究活動を行ってきた。

また、地域と研究開発活動を行うにあたって、地域の人々の生活向上や人材育成を意識することはリバーサイノベーション促進やSDGsの枠組みでもニーズがある。このような状況下で、別プロジェクトとして申請者らが手がける「カラスと対話するプロジェクト」では来年度から、

「クラウドソーシングによる鳥獣対策は可能か? ~カラス目線に立った人間社会との利害の調和と、持続的な共存をテーマにしたシリアスゲームの調査研究とプロトタイピング~」[4]のテーマでIoTやドローンなどによるカラス対策システムをゲーミフィケーションの枠組みで持続的に運営するプロジェクトに着手する。

[4] 成果資料

1. Koh Sueda, Atsuko K. Yamazaki, Makoto Nomura, Yasuhiro Kato, ENHANCING STEAM EDUCATION THROUGH DEVELOPING OPEN SOURCE-BASED UAVS, the 14th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2020), Bangkok (will be shown in 2020 Autumn).
2. 小中学生対象ワークショップ 珠洲市教育委員会 2020年3月(子供&学生参加)
3. ドローンの防災観光家の活用、輪島市職員の操縦士養成(2020/3)
4. 令和元年度科学技術融合振興財団助成金採択プロジェクト(2020/2)

採択番号：H31/B09

マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダ 実用化研究の新展開

[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] 研究経過

本研究は、電波（マイクロ波）あるいは光（赤外線レーザ）を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムを様々な分野へ適用し、これまでにないリモートセンシング情報を得ること、及びその原理実証を行うことを目的としている。システムの開発においては、ハードウェアおよびソフトウェアを高度に組み合わせて開発を進め、測定に用いる波長より十分小さな変異量の測定実証や、降雨や大気や水中の媒質の揺らぎなど測定画像上における様々な要因による画像の悪化の回復を目指す。具体的には、

i) Kuバンド（波長 2 cm）航空機搭載型移動補償方式合成開口レーダを移動体計測が可能なレーダへと改修を進めること、および潮位を測定できるレーダの開発と実機検証

ii) 赤外線（波長 1.55 μm ）を用いた 1-10 cm の高空間分解を実現する、レーザレーダシステムの高速度と 100m 程度までのターゲット検出を目的とする実機検証、を進める。

また、合成開口レーダシステムが計測する位置情報を応用するソフトの開発、および応用ソフトの適用できる分野の検討・開拓、近年発展が目覚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初年度ではあるが、昨年度の前身となる研究会で進めることを検討した以下の項目について研究を展開した。レーザレーダに関しては、室内におけるターゲットの可視化ができたことを受けて、レーザレーダをより高速に稼働できるシステムの開発を進めた。また、レーザによる水中のターゲットの観測においては、ライダーシステムやフォログラムシステムの実証事件などの展開が見られた。レーダを用いた研究開発においては、移動体検出のためのレーダ用アンテナの開発や、地表の変異を観測する MIMO システムの開発と実機適用、よりレーダを軽量化するための検討が展開された。

以下、研究活動状況の概要を記す。

I) 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会：令和2年2月20日 東北大学電気通信研究所本館、ポスター展示、近木祐一郎、間瀬淳、犬竹正明、池地弘行「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究の新展開」

II) 2019 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2年3月16日（テレビ会議にて）、参加者9名

II に関して、当初は東北大学電気通信研究所で行う予定であったが、コロナウィルス予防措置のため、テレビ会議に変更した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

各研究活動において得られた成果を記述する。

I) 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会：本プロジェクトに関連し、犬竹より

「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの実用化研究の新展開」のパネル展示がなされ、今年度推進された Ku バンド合成開口レーダ画像応用ソフトウェア、およびレーザレーダ画像取得検証実験について報告を行った。

II) 共同プロジェクト研究会:本研究プロジェクト研究会では、マイクロ波およびレーザを用いた合成開口レーダの研究開発および災害監視への適用報告など5件の報告があった。以下にそれら報告の概要を示す。

II-1) ALAN コンソーシアムの現状と今後の展開

東北大学 電気通信研究機構 岩月勝美

千歳科学技術大学 電子光工学科 吉本直人
音波等、限られた手段しか使えない“最後のデジタルデバイス領域”と言われる水中環境において、陸上や空間に準じた光無線技術を中心に、海底地形・水中構造物調査、水中モニタリング、海洋エネルギー調査等のビジネスの創出を目指す ALAN コンソーシアムの現状と今後の展開を発表した。

2018年5月に設立された本コンソーシアムは、着実に参加企業が増え、当初3つのワーキンググループで活動を開始したが、現在6つのワーキンググループで、活発な活動を行っている。本コンソーシアムの代表企業である(株)トリマティスの今年度の取り組みとして、(1) JAMSTEC 横須賀本部(追浜) 多目的水槽での ROV に搭載した水中 LiDAR により、水槽内に設置した測定対象物に対し 3D スキャンを国内で初めて実施し、水中での 3D 測距画像の取得に成功したこと、(2) CEATEC2019 での特別シンポジウム開催とブース出展を実施したことを報告した。

II-2) MIMO レーダ型 GB-SAR

東北大学 佐藤源之

地表設置型合成開口レーダ GB-SAR を地滑りモニタリングに適用し、栗原市や南阿蘇村における GB-SAR による地滑り計測事業は地震など自然災害からの復興を支援する活動であるとともに、日本全国で発生する地滑りに対する防災・減災のための社会実装実験と捉えている。こうした GB-SAR の実用的な利用例は、世界的に見てもほとんど実例が無いと考えている。

一方社会インフラのモニタリング技術は今後我が国において非常に重要な技術となりうると考えている。ダムや橋梁などの計測に加え、空港舗装路への適用は世界で初めての結果である。

更に MIMO 型 GB-SAR の導入は、現状の GB-SAR がもつ計測頻度の低さを補う手法であり、従来型の GB-SAR に加えて実装例を増やしながらかつて実用化を推進している。現在 24GHz および 17GHz での実用的なレーダ装置を開発し、実地実験を行っている。24GHz は技適

(技術基準適合証明)を取得し、17GHz は実験試験局として無線局免許を取得している。

II-3) 次世代航空機(空飛ぶクルマと無人航空機の動向と耐空性について)

国土交通省航空局 山鹿光紀

いわゆる「空飛ぶクルマ」は、都市部での送迎サービスや地方における離島や山間部での移動手段、災害時の救急搬送など、身近で手軽な空の新たなモビリティとして大いに期待されている。米国の配車サービス大手の Uber Technologies Inc は、2023年にサンフランシスコとシリコンバレー間で「空飛ぶタクシー」をスタートさせると発表している。このような状況の中、政府としては、「空の移動革命に向けて」と銘打って、「官民協議会」を2018年8月に設立し、2018年12月に、今後の実用化に向けた技術開発や制度整備などをとりまとめた「ロードマップ」を策定した。このロードマップは、わが国においても世界をリードする「空飛ぶクルマ」を是非とも実現させるべく官民が連携して構築したものである。もちろん、そのためには、①ビジネスモデルや技術基盤の確立、②運用概念に基づく機体開発や運航方式の検討、③その具現化のために必要となる制度や体制の整備、などを官民で足並みを揃えて前に進めていくことが重要である。現在、開発者と規制当局が、当該機体や運航方式について安全上の“ゼロリスク(社会的受容性)”に近づけるために、どのような新技術を用いて、機体設計を行い、運航方式で運用するのか、さらにはそれを評価するための基準や運用制度をどう設定することが適切なのかを同時進行的に連携して検討している。

一方、「無人航空機(いわゆるドローン)」は、2015年に航空法を改正して、政府としての位置づけを明確化した。それ以来、社会的な普及が急速に進んでいることを実感している。空撮以外にもいろいろな場面での利用が広がっており、国土交通省としても、センサ搭載の無人航空機を用いたリモートセンシング用途(インフラの点検や測量、災害時の実態把握など)において幅広く活用しているところである。無人航空機の社会実装の工程表となる「空の産業革命に向けたロードマップ」では、2022年度にはレベル4(有人地帯での目視外飛行)を目指すとしているが、これまでなかった技術や産業の発展、普及には安全という裏付けが必要になる。特にその中でも、国土交通省航空局の役割としては、やはり安全面でのルールをしっかりとつくっていくことになるため、「レベル4」のような操縦者の目が届かず地上に人がいるようなところでの飛行にどういった安全確保が必要かという検証を行っている。

II-4) LiveSAR 等今年度の進捗について

近木祐一郎、中園亮汰、権藤偉央利、木村成美、間瀬淳、犬竹正明、池地広行、LiveSAR 開発グループ

ベクトルネットワークアナライザ(VNA)のマイクロ波出力による強度変調レーザ(1.55 μm)を用いてレーザレーダを構築し、数メートル離れたターゲットのイメージングを実証したが、画像取得の高速化が課題であった。本研究では、VNAを4GHz帯域幅のFM発振器とデータ取得システムへと換装し、同様の条件でイメージング実証実験を試みた。VNAを用いた実験では帯域は17GHz、今回のFM発振器を用いたシステムは4GHzであったため、解像度は当然低下するものの、予想される解像度程度でターゲットをイメージングすることに成功している。画像のSN比と画像取得の高速化はまだ改善の余地があり、そのための方策について話し合われた。水中のターゲットをイメージングするためのHeNeレーザを用いたフォログラム計測器の紹介と、実験室での大気中における測定結果について報告された。2m程度離れたターゲットが1mm以下の解像度でイメージングができることが示された一方、レンジ(奥行き)方向の解像度が得られないことが報告されその対策について議論を行った。また、移動体検出を目的としたLiveSARのアンテナ改修の報告がされた。オフセットパラボラアンテナの1つの一次放射器を隣接する2つのホーンと置き換えることで空間的に2方向へと放射するスプリットビームになること、シミュレーションと比較し同様の特性が得られたことが報告された。

II-5) ドローン SAR

池地 弘行、近木 祐一郎

ドローンをSAR搭載に使う利点は運用が低価格で飛行日程が自由にえらべることである。最近の農業用droneは、搭載重量が30kgほどまでになったので、現在のLiveSARの搭載は可能となった。しかし、LiveSARは、レンジが数kmから10kmと、高高度で直線飛行する航空機搭載向けに設計されている。低高度で航跡が自由に選べるドローンには、それに適するような設計が望ましい。レンジが数百メートル以下では、liveSARの1/10以下で、必要なマイクロ波出力はmWatt以下で済むこと、マイクロ波パルス代わりに、連続周波数掃引にすることもできることが検討の結果わかった。また、Kaバンドをえらべば解像度が向上すること、5Gによるデータ送信も検討した。航跡が自由に選べるドローンでは、3次元イメージの取得が可能となる等の利点が示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、

i) Kuバンド(波長2cm)航空機搭載型移動補償方式合成開口レーダを移動体計測が可能なレーダへと改修を進めること、および潮位を測定できるレーダの開発と実機検証

ii) 赤外線(波長1.55 μm)を用いた1-10cmの高空間分解を実現する、レーザレーダシステムの高速化と100m程度までのターゲット検出を目的とする実機検証、を進めること、を主目的に進めてきた。

マイクロ波レーダのみならずレーザを利用した共通する解析処理技術で遠方のターゲットを高精度かつ高時間空間分解で画像取得し、また移動体検出など特徴ある情報をアピールできれば、災害監視のための応用ソフト開発の弾みがつき、防災対策などの関係部署への導入も見えてくるであろう。移動体検出のためのLiveSARシステムの改修に関して以下の資金を獲得している。

資金制度：科研費(基盤研究C)

研究費名：「災害時情報収集のための合成開口レーダによる移動体検出の研究」

配分機関名：福岡工業大学

配分期間：H30より3年間

一方、近赤外を用いたレーザレーダでは10GHzを超える帯域の利用により世界最高性能のmm級の距離測定精度が達成されていて、より高速かつノイズの少ない画像が開発できれば、水中でのセンシングなど応用分野が広がると考えている。

[4] 成果資料

(1) A. Mase, Y. Kogi, T. Maruyama, T. Tokuzawa, M. Kunugita, T. Koike, and H. Hasegawa, "Non-Contact and Non-Invasive Driver's Monitor Using Microwave Reflectometer," Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 90, 81-88, 2020.

採択番号：H31/B10

エッジコンピューティング基盤の 広域分散協調とその国際的展開

[1] 組織

研究代表者：

柏崎 礼生（国立情報学研究所・サイバーセキュリティ研究開発センター）

通研対応教員：

北形 元（東北大学・電気通信研究所）

研究分担者：

北口 善明（金沢大学・総合メディア基盤センター）

近堂 徹（広島大学・情報メディア教育研究センター）

市川 晃平（奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科）

菅沼 拓夫（東北大学・サイバーサイエンスセンター）

中川 郁夫（大阪大学・サイバーメディアセンター）

延べ参加人数：7人

[2] 研究経過

目的・概要

データの発生源との距離が近い場所に配置された計算機群、すなわちエッジコンピューティング環境が注目されている。エッジコンピューティング環境はデータの発生源に近くなければならないため、広範に遍在していることが求められ、ゆえに需要が十分に大きな地域でなければ設備投資への資本投下は効率化されず、経済原理に従ってエッジコンピューティング環境を構成する基盤の運用品質は低下する可能性がある。具体的にはインターネットへの接続性を提供する回線の冗長性や仮想計算機の可用性が十分に提供されないといったことに現れる。

大規模な資本投下が行われているクラウドコンピューティング環境においては DevOps やあ Site Reliability Engineering (SRE) と呼ばれる手法により運用品質の向上を実現できるが、これを支えるオーケストレータと呼ばれるソフトウェアは大規模向けに機能が複雑化しており、小規模利用ではオーバ

ヘッドが大きい。一方で小規模な環境においても利用者は高い運用品質を求める可能性があるが、しかし構築者にとっては運用品質を向上させる動機づけがそもそも希薄であるという需給の齟齬も問題点として挙げられる。

本研究提案では小規模な中小規模のエッジコンピューティング環境を対象としたオーケストレータの設計と実装を行う。フルスクラッチで設計するのではなく、既存のオーケストレータの設計を流用しシンプルな実装を実現する。また、運用品質に応じた報酬を提供する課金モジュールの設計と実装を行う。これにより構築者は、高い運用品質を維持することにより、その構築者本人がより多くの利用を行うことができるというインセンティブが与えられることが期待できる。また複数のエッジコンピューティング環境を広域に接続し合う実証実験も行う。

本提案では3つのステイクホルダーについて考える。1つは各拠点でエッジコンピューティング環境を構築する「構築者」、1つはこの環境の上でサービスを構築し運用する「サービス提供者」、最後は運用されたサービスを利用する「利用者」である。各々のステイクホルダーがそれぞれの立場から提案手法で構築された環境、あるいはサービスを「観測」することにより評価を行い、本研究提案が提供する環境が構築者やサービス提供者だけでなく、環境の運用品質の向上が利用者が体感することのできる数値に波及するかどうかを検証する。

本研究提案者らはこれまで各組織が計算機資源とネットワーク資源を提供することにより構築される広域分散プラットフォーム「Distcloud」を設計・運用してきた。この計算機資源とネットワーク資源をエッジコンピューティング環境として利用する。この環境の上で低遅延や広帯域が特性となるサービスを動作させ、各組織内ネットワークに接続する利用者に対してこのサービスを提供する。サービス利用者には品質計測を行うためのアプリケーションをインストールさせ、計測されたデータを収集することにより統計的な解析を行う。

この取り組みを国内6拠点、海外3拠点で実現することを目標とする。海外拠点の展開についてはAsia Pacific Advanced Network (APAN)などで研究成果について発表することにより協力拠点を増大させる。またエッジコンピューティング環境における機械学習とそのユーザ体感品質の向上に関する実績のある海外の研究者を共同研究者に含めている。10~12月に東北大学でワークショップを開催し、招待講演を含めた5件以上の発表、50名程度の参加者を集客できることを想定している。

研究会, 研究打ち合わせ・研究討論会, 研究発表会, 研究集会等の開催状況

2019年12月16日に東北大学電気通信研究所にてRICC-RIEC workshop 2019を開催した。本ワークショップではGwangju Institute of Science and Technology (韓国)のJongWon Kim教授をお招きしての講演1件と、一般講演セッション2つ、5件の発表からなる。使用言語は全て英語である。参加人数は15名であった。

- Hiroki Kashiwazaki (National Institute of Informatics): A proposal of quantitative approaches to evaluate a resilience of wide-area distributed systems.
- Kohei Ichikawa (NAIST), Atsuko Takefusa (NII), Yasuhiro Watashiba, Yoshiyuki Kido, Susumu Date (Osaka Univ.): Deployment of NFV environment on an international SDN testbed
- JongWon Kim (AI Graduate School, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea): Container-leveraged Service Realization Challenges for Cloud-native Computing
abstract: Cloud-native computing, employing container-based microservices architecture, is accelerating its adoption for agile and scalable service deployment over worldwide multi-cloud infrastructure. In order to transparently enable diversified inter-connections for container-based cloud-native computing, by leveraging SDN/NFV technology, we need to tie distributed IoT things through multi-site edge clouds to hyper-scale core clouds. Thus, in this talk, we first attempt to relate the open-source-driven development for CNI (Container Networking Interface) and CSI (Container Storage Interface) to the required container-enabled cloud-native computing/storage with end-to-end (i.e.,

IoT-SDN/NFV-Cloud) inter-connections. Then, selected container-leveraged service realization challenges such as multi-tenant/multi-cluster Kubernetes orchestration,

pvc (physical+virtual+containerized) harmonization, kernel-friendly accelerated and secured networking, and network-aware service meshes will be briefly discussed.

- Shao Xun (Kitami Institute of Technology): Online Optimization of Orchestration for Distributed Edge Cloud Network
- Gen Kitagata (Tohoku University): Autopoiesis computing: agent-based service generation for IoT.
- AMRIZAL, Muhammad Alfian (Tohoku University): A Markov Model-based Optimization Method of Data Transfer Rate for Faulty Wireless Sensor Networks.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度では、Distcloudを用いてFailure Injection Testing (FIT)を自動化するフレームワーク「SDN-FIT」を実装し、実環境で実装された広域分散アプリケーションの網羅的な評価実験を行った。これまでFITを用いた耐障害性評価研究では、過去に発生した障害を模した特定のパターンの障害を意図的に発生させ、複数の広域分散アプリケーションのパフォーマンスを定量的に算出して比較するというものがあった。このようなアプローチは、任意のトポロジにおいて発生し得る大量の障害のうち少数のみに着目しており、ブラックスワンと呼ばれる「発生確率は低いが、激甚な不利益を生じさせる」障害を考慮することはできない。

提案手法は、発生する障害をリンク障害のみに簡略化するものの、与えられたトポロジで全ての障害組み合わせを実装する。広域分散アプリケーションはその仕様として、ある障害組み合わせでは動作しないことがある。たとえば広域分散データベースでは、そのデータベースを構成するノードのトポロジが2つのクラスタに分離されるような状況(split-brain syndrome)ではトランザクションを停止する実装がありえる。このようなサービス停止時においては、一定時間内に処理可能なトランザクション数のような定量的なパフォーマンス計測を行うことができない。翻すと、全ての障害組み合わせのうち、どれだけの障害組み合わせにおいて仕様通りのサービスを提供できるか(同時に、どれだけの

障害組み合わせにおいて仕様通りのサービスを提供できないか)は、その広域分散アプリケーションのレジリエンスの指標となることを発見した。

また、このような広域分散アプリケーションの耐障害性を検証するためのプラットフォームの運用品質を維持するために、プラットフォームを構成する計算機資源・ネットワーク資源が使われただけ、その提供者に仮想通貨として還元されるモデルを提案した。CPU、メモリ、ストレージ、そしてネットワークのリソースは秒単位で計測され、それぞれどの仮想計算機、コンテナで利用されたかが記録される。還元された通貨を用いて、自分が提供していない資源を利用することができる。このモデルの導入により、資源提供者はそのサービスをより長い時間、継続的に運用することに対する正の動機付けが与えられる。このモデルを検証するためにマルチエージェントシミュレータを実装し、その評価を行った。

この成果は2019年7月に米国で開催されたCOMPSAC 2019のADMNET workshop、および同月に開催されたAPAN48 research workshopで発表を行い、広域分散プラットフォームDistcloudへの参加呼びかけが行われた。APANのCloudWGのchairであるJongWon Kim教授とこの研究について議論を交わし、同年12月に開催されたワークショップにお招きし、講演をして頂くこととなった。マルチエージェントシミュレータの実装とその評価については国内で開催された第48回インターネットと運用技術研究会で発表された。(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の展開は日本学術振興会科学研究費助成事業若手研究「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」(平成31年から3カ年)として採択されたほか、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)による2020年度JHPCN共同利用・共同研究課題として採択され、2020年度は北海道大学、東京大学、九州大学が新たに拠点として加わり、大阪大学の計算機資源が増強されることが内定している。

- 運用品質に因るインセンティブを導入した広域分散エッジコンピューティング環境の研究
- 科学研究費助成事業・若手研究
- 日本学術振興会
- 2019年~2022年

- 広域分散プラットフォームDistcloudを用いたレジリエンスの定量的評価(A quantitative evaluation of the resilience with a wide-area distributed platform “Distcloud”)

- 2020年度 JHPCN 共同利用・共同研究
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究
- 2020年

また以下のシンポジウムを開催した。

- RICC-PIoT workshop 2020
- 2020年2月27日~28日
- 沖縄産業支援センター
- 20名

[4] 成果資料

1. Hiroki Kashiwazaki, Hiroki Takakura, Shinji Shimojo, “Resilience Evaluations of a Wide-area Distributed System with a SDN-FIT system”, 2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), Paris, France, 2019, pp. 1-8.
2. Y. Fujita, A. Inomata and H. Kashiwazaki, “Implementation and Evaluation of a Multi-Factor Web Authentication System with Individual Number Card and WebUSB,” 2019 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Matsue, Japan, 2019, pp. 1-4. doi: 10.23919/APNOMS.2019.8893134
3. Hiroki Kashiwazaki, Shinnosuke Miura, Hiroki Takakura, Shinji Shimojo: “Evaluation of wide-area distributed services by SDN-FIT system”, Proceedings of the 48th meeting of the Asia-Pacific Advanced Network, pp. 2—11, ISSN: 2227-3026 (2019)
4. Hiroki Kashiwazaki, Shinnosuke Miura and Shinji Shimojo, “A Proposal of SDN-FIT System to Evaluate Wide-Area Distributed Applications Based on Exhaustive FIT Scenario Generation,” 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Milwaukee, WI, USA, 2019, pp. 36-41. doi: 10.1109/COMPSAC.2019.10180 (2019)
5. Hiroki Kashiwazaki, Hiroki Takakura, Shinji Shimojo: Omission Approach of SDN-FIT evaluation to evaluate wide area distributed applications, インターネットと運用技術シンポジウム論文集, Vol.2019, pp.17—24 (2019)

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るとは言えない。実用規模な動的言語の静的開発技術の開発は挑戦的な課題と言える。

本共同プロジェクト研究の目的は、動的言語の静的解析技術の確立を目指して日々活動する動的言語の開発チーム、ソフトウェアエンジニア、およびプログラミング言語の研究者が一堂に会する機会を作ること、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。

本プロジェクトでは、本年度は2020年1月27日に第1回目の研究打ち合わせを行った。本研究打ち合わせには、研究代表者、通研対応教員、および分担者4名の合計6名の参加があった。研究打ち合わせでは、動的言語 Ruby の静的解析に関する技術開発において中心的な役割を担う遠藤侑介氏および松本宗太郎氏から、開発の最新状況について発表があり、その技術的内容の詳細について参加者間で議論を行った。以下、研究打ち合わせにおける発表および議論の概要を述べる。

Ruby の次期リリースバージョン (Ruby 3) に向けて、Ruby 開発チームは、型を中心とする静的解析機能を提供することを公言している。具体的な開発項目は、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ングネチャを 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点である。この3つの機能によって、Ruby 言語本体とは独立に、Ruby プログラムを静的解析し Ruby プログラムに含まれる誤りを実行前に検出するフレームワークをユーザーに提供することを計画している。今回の研究打ち合わせでの発表は

2件とも Ruby 3 に向けたこれらの技術の開発状況を報告するものである。

遠藤氏からは、型プロファイラの開発に関する最新の動向および現時点で直面している課題についての報告があった。事例研究を進めるべく、実用されているいくつかのライブラリやベンチマークプログラムを分析したところ、以下の静的解析が難しい状況を発見した。言語のバージョンの違いを埋めるための判定、文字数を減らすための記述上の工夫、複数のメソッドに渡る配列の使用、nil の性質を巧みに用いた条件分岐、kind_of? や respond_to? などのリフレクション機能による条件判定などである。また、型プロファイラでは未検討の機能としてハッシュ、モジュール、例外などへの対応が挙げられた。本報告を受けて、研究打ち合わせでは、型プロファイル結果の妥当性や、いくつかの Web アプリケーションフレームワークを用いた実験の可能性、型プロファイルの文脈依存性や流れ依存性などについて議論が交わされた。

松本氏からは、型定義フォーマットの開発状況について報告があった。開発中の型定義フォーマットの大きな特徴のひとつは、記述の詳細な意味を定めず、その細かい解釈は型定義フォーマットを利用する型検査器などに任せることである。研究打ち合わせでは、定めた型定義フォーマットをライブラリ開発者に積極的に書いてもらいたい、型定義フォーマットは Ruby 言語とは独立なため型定義を書く動機が弱いこと、また型定義を書いたとしてもそのある種の正しさを確かめる方法がないことなど、型定義フォーマットの実用上の問題が提示された。解決策として、型定義を用いた実行時型検査を行うことや、型のための動的なテストを書くことなどが示された。議論では、静的解析のための基盤を動的型検査に利用することの是非や、モックを用いたテストと静的型検査の競合について詳細な検討が行われた。また、型定義フォーマットからのテストの自動生成などの可能性について意見交換がなされた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本共同プロジェクト研究の目的は、実用動的言語の静的解析技術の確立に向けて、技術者および研究者が一堂に会する機会を作ることで、産業および学術の両面から研究開発に取り組むことであった。Ruby の静的解析技術の開発は、Ruby の開発者、Ruby の使用者、およびプログラミング言語理論の専門家全員の協働なくして実現し得ない技術である。本年度は、研究代表者、通研対応教員、研究分担者のメンバーで、Ruby と型についての話題を中心に、次期 Ruby に向けての研究課題やその周辺領域についての活発な議論が行われた。

経過報告からも見て取れるように、本プロジェクトでは産業と学問の両面から様々な着想や知見が提示され、技術者および研究者の双方が新たな視点を得ることができたとともに、どちらか片方だけでは取り組むことが難しい複合領域および未踏領域へ研究の推進する手がかりを得ることができた。本研究打ち合わせによって、本プロジェクトが目指す動的言語の静的解析技術の確立に向けた確かな一歩を進めることができたと言える。

本プロジェクトは産学共同研究推進型の共同プロジェクトである。前述の通り、本年度は研究打ち合わせの開催に留まり、研究分担者以外の技術者や研究者の招聘を行っていない。次年度以降は、産業および学術の両分野から多様性に富む人材を招聘したいと考えている。本年度の参加者の所属機関および企業は以下の通りである：一般財団法人 Ruby アソシエーション、クックパッド株式会社、Square 株式会社、東北大学（順不同）。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究会としての本プロジェクトの一般的な発展性は、立場や専門が異なる技術者や研究者の間での交流を活性化し、開発言語や所属機関を越えた言語開発者コミュニティを形成することができることにある。本プロジェクトは、その構成上、学外と学内、産業と学問、技術者と研究者、各参加者の中心的な興味の技術的にも型付き言語と型無し言語、オブジェクト指向型言語と関数型言語など、相対する多くの要素を含んでいる。それらの違いを超えて互いが連携することにより、各自の活動や研究に良い相乗効果が与えられ、動的言語の静的解析という萌芽的な領域への展開が行われた。このような機会が得られたことは、プログラミング言語研究分野をさらに発展させること、ならびに研究成果を迅速かつ円滑に社会還元するということの両面において、きわめて有意義であったと確信している。本プロジェクトを足がかりに、Ruby の次期リリースバージョンに向けた研究開発を産学で連携してさらに展開する予定である。

[4] 成果資料

Yusuke Endoh, A Type-level Ruby Interpreter for Testing and Understanding, RubyKaigi 2019.
Soutaro Matsumoto, The challenges behind Ruby type checking, RubyKaigi 2019.

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）

林 大悟（東北大学 電気通信研究所）

Keyur Sorathia（IIT Guwahati）

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：6人

[2] 研究経過

本プロジェクトは、複雑なノード・リンクからなるグラフ構造のコンテンツにおいて、グラフ要素同士の密集によるオクルージョンの問題を解消し、目的とするオブジェクトの獲得や、グラフ内のエラーの発見を効率的に行うためのインタラクション手法を確立させることを目指すものである。本プロジェクトによって確立される技術は、今後ますます需要が拡大すると見込まれる屋内地図情報のデータ整備や、これを利用したナビゲーションや検索等の多くのアプリケーションの発展に寄与すると期待される。

本年度から新たに開始した本プロジェクトでは、プロジェクトメンバー間での定期的な研究打合せをオンラインで進め、研究の構想やプロトタイプの実装を進めた。プロトタイプの試用、ユーザスタディ、および論文執筆に際しては、本学にプロジェクトメンバーを招聘し、集中的に打合せを実施した。

下記に具体的な打合せ日程を示す。

□第1回打合せ

日時：2019年6月24～25日

場所：東北大学電気通信研究所本館5階 M561

参加者：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

林 大悟（東北大学 電気通信研究所）

原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

内容：プロトタイプ試用，論文内容検討

□第2回打合せ

日時：2020年1月11～14日

場所：東北大学電気通信研究所本館5階 M561

参加者：

藤田 和之（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）

Keyur Sorathia（IIT Guwahati）

内容：プロトタイプ検討，実験手法検討

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の本研究プロジェクト取り組みでは、国際的に活躍する2名の研究者らと連携して研究を遂行することができた。この成果として、グラフ要素のオクルージョンを解決するインタフェースを提案し、ユーザスタディによる有用性の評価を実施することができた。

提案インタフェースでは、視覚効果にバネのメタファを取り入れ、ユーザのインタラクションに応じた一時的なレイアウトの変更を行う2つの手法を設計した。まず1つ目の **Repel Signification** は、ユーザのドラッグ・ズーム操作時にオクルージョンが生じている箇所を振動するように表示させることで、誤りを含む可能性が高い領域を強調させる手法である。また、2つ目の **Repel Expansion** は、オクルージョンに含まれるグラフ要素をユーザがクリック可能にするため、カーソルを要素に近づけると、その付近に遮蔽されていた要素と、他階層と接続されている要素を出現させる手法である。これら2つを組み合わせることで、ユーザは通常のインタラクションや地図操作を継続するだけで、地図が持つトポロジー情報と各要素の位置情報を破壊することなく、それらのエラー箇所が発見しやすくなり、より効率的なグラフデータの編集が可能になることを示した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果は、当該分野のトップカンファレンスである The 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2020)の Late-Breaking Work (ポスター, 査読あり, 採択率 41.8%)に採択され, 2020年4月に発表予定である。今後, ユーザスタディの内容も含めたさらなる論文発表を予定しているほか, 本成果を受けたさらなる共同研究の発展も期待される。

[4] 成果資料

(1) Kazuyuki Fujita, Daigo Hayashi, Kotaro Hara, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura. Techniques to Visualize Occluded Graph Elements for 2.5D Map Editing. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, to appear.

採択番号：H31/B13

固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御

[1] 組織

研究代表者：好田 誠

(東北大学大学院工学研究科)

通研対応教員：金井 駿

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

千葉 大地 (東京大学工学系研究科)

眞田 治樹 (NTT 物性科学基礎研究所)

深見 俊輔 (東北大学電気通信研究所)

森田 健 (千葉大学工学研究科)

石原 淳 (東京理科大学理学部)

家田 淳一 (日本原子力研究開発機構)

大江 純一郎 (東邦大学物理学科)

国橋 要司 (NTT 物性科学基礎研究所)

鈴木 義茂 (大阪大学基礎工学研究科)

相馬 清吾 (東北大学 CSRN)

高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)

多々良 源 (理化学研究所)

仲谷 栄伸 (電気通信大学情報理工学部)

新田 淳作 (東北大学工学研究科)

林 将光 (東京大学理学系研究科)

水上 成美 (東北大学材料科学高等研究所)

守谷 頼 (東京大学生産技術研究所)

松倉 文礼 (東北大学 CIES)

国橋 要司 (NTT 物性科学基礎研究所)

延べ参加人数：21 人

[2] 研究経過

固体中のスピン軌道相互作用を起因とする様々な物性は金属・半導体双方の分野において極めて重要であり、スピンホール効果やラッシュバ効果など共通する概念が分野の垣根を超えて数多く発現している。

よって物質の枠を超えて現象や物理を議論することはスピントロニクス全体の新たな展開を生み出すだけでなく、新物質や新現象を生み出す土壌になる。しかしながら国内の研究会では金属と半導体スピントロニクス双方を同時に、かつしっかりと議論する場が少なく、互いの領域に隔たりがあることは否めない。本研究プロジェクトの目的は、この隔たりを埋めることで、新たに生まれる融合分野や新奇現象に期待することであり、第一線で活躍する半導体および金属スピントロニクスの研究者を一同に集めてスピントロニクスの進展を広く深く議論する研究会を2020年2月17日に東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設にて開催した。11名の研究者を招いて本分野の最先端研究について成果発表が行われた。

以下に研究会の概要を記す。関剛斎氏(東北大金研)からは、反強磁性スピントロニクスに向けたCu-Ir合金におけるスピンホール効果の定量評価がなされ組成を系統的に変化させることでスピンホール角が制御できることを示した。仲谷栄伸氏(電通大)からは磁気ランダムアクセスメモリにおけるAFC構造を用いたときに電流注入磁化反転における反転電流の低減効果に関して、数値解析とシミュレーション結果が行われ、物理現象の定式化が可能である指針が得られた。また、林将光氏(東大)からは強いスピン軌道相互作用を示す金属やトポロジカル物質におけるスピンホール効果や新規物性に関する報告がなされた。BiSb合金において組成を系統的に変化させることでスピンホール角が1を超えるような大きな値になることを示し、その起源がL点において熱的励起された電子数の増大に起因することを示した。また、電流を印加することでジャロチンスキー-守谷相互作用を制御できることを実験的に明らかにした。深見俊輔氏(東北大通研)は超常磁性磁気トンネル接合を用いた確率論的コンピューティングに関する報告をした。磁気トンネル接合のポテンシャルを下げることで平行と反平行状態を等確率で実現できるようにし、見た目上の重ね合わせ状態を用いることで計算が可能であることを示し、磁気トンネル接合の新たな可能性を明らかにした。守谷

頼氏(東大生研)は2次元物質を3次的に制御し、折ったり重ねたり回したりする新たな手法を報告しました。これにより2次元物質を用いたカンチレバー構造などを自在に実現することが可能になる。森田健氏(千葉大)は高強度テラヘルツパルスにおけるパルス磁場を用いてIII-V族半導体量子構造のスピンの状態を制御し、時間分解カー回転測定からそのダイナミクスを明らかにした。国橋要司氏(NTT)はGaAsにBiをドーピングしたGaAsBi半導体におけるスピンダイナミクスをカー回転スペクトロスコーピーから明らかにし、通常の膜面直方向へ励起されるスピン偏極電子に加えて、フォノン散乱を介して膜面内方向にスピン偏極が生成できていることを実験的に明らかにした。石原淳氏(東理大)は高移動度GaAs/AlGaAs量子井戸構造において、弱光励起により実現できるバリスティックな2次元電子スピンのダイナミクスを時間・空間領域で検出し、スピン軌道相互作用を評価できることを示した。千葉大地氏(阪大)はCo超薄膜に電界を印加した際の磁気モーメントの変化について、その大きさと符号に着目をし、強磁性金属の電界効果の微視的理解に迫る研究を示した。谷口知大氏(産総研)は強磁性金属において発現するスピンホール効果(スピン異常ホール効果)を理論的に明らかにし、実際に強磁性/非磁性/強磁性三層構造を用いた強磁性共鳴の実験から本効果が存在することを確かめた。水上成美氏(東北大AIMR)は、積層反強磁性体における時間分解磁化測定により励起されたマグノンの増幅を見出した。質疑応答も活発に行われ、スピントロニクス分野の更なる広がりに対する可能性を強く感じると共に、異なる分野を網羅的に理解できる良い機会となった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、GaAs/AlGaAs量子井戸構造において、ドリフト・拡散運動に伴うスピンダイナミクスについて時間空間分解カー回転法を用いて明らかにし、スピン軌道相互作用の強さを定量評価できることを示した[1, 2]。電子スピンのドリフト拡散輸送下でスピン軌道相互作用に起因する有効磁場が存在する場合、電子スピンは有効磁場の周りを歳差運動しながら伝搬します。電子スピンのドリフトと拡散双方の影響を同時に受けるときに、この2つの影響を分離評価する手法を確立した。図1(a)に示すように円偏光ポンプ光で励起した電子スピンをプローブ光で空間スキャンすることで電子スピンの時間・空間ダイナミクスを調べることが可能となる。図1(b), (c)に異なる結晶方向にドリフト輸送させた電子スピンの時間・空間発展の様子を示す。時間と共に+x(+y)方

向に電子スピンは移動しながら歳差運動し、外部磁場と結晶方位に依存する有効磁場の向きにより歳差運動周波数が図1(b)と(c)で異なることが分かる。同時に、スピン拡散により歳差運動周波数が空間的にも変調を受けていることを明らかにした。モンテカルロシミュレーションを用いてスピンの時空間発展を良く再現でき、ラシュバおよびドレッセルハウススピン軌道相互作用係数を定量評価できることを明らかにした。それ以外にも、単層MoS₂のバレー偏極・コヒーレンスの光学的制御やCoFeB/エピタキシャルTa系におけるスピン軌道トルクに関する研究を進めた[3, 4]。

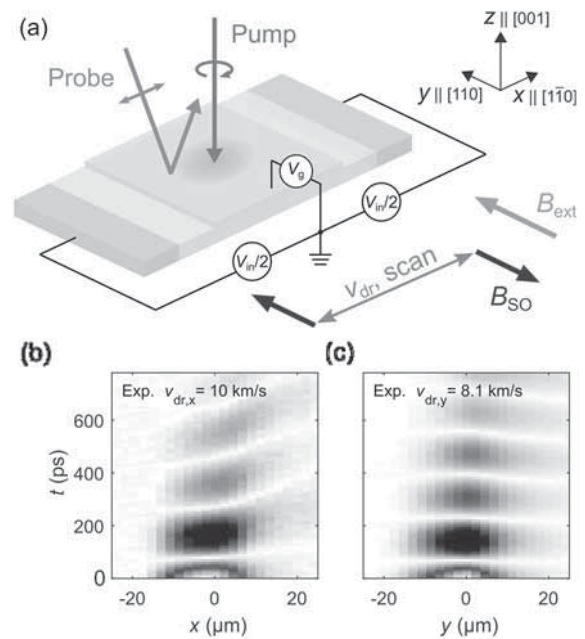


図1. (a)時間・空間分解カー回転測定法(b)x方向と(c)y方向にドリフト輸送させた場合の時間・空間スピンダイナミクス

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、スピントロニクス創成期を支えた研究者から30代の新進気鋭の研究者まで幅広くカバーしており、若手研究者の教育的効果を育みながら、真剣に議論する場を作ることで各自の研究にフィードバックを行う体制を持つ。これにより、領域を超えた研究展開の期待や全く新しい研究の芽を生み出す土壌を醸成している。特にスピントロニクス分野自体も近年様々な新分野へと派生し領域を広げていることから、全てを網羅して勉強する機会が極めて少ない。その中で本研究会は、違う分野の研究者が一堂に集まり議論する機会を得たことは、今後の研究において、磁化・スピンダイナミクスの精密制御そしてデバイス応用に向けた指針を考える上で大変重要な機会である。今後もこのようなネットワーク形成を通じた共同研究の推進を進めて行きたい。

[4] 成果資料

- [1] "Simultaneous evaluation of drift- and diffusion-induced spin orbit fields in a (001) GaAs/AlGaAs two-dimensional electron gas", Takahito Saito, Asuka Aoki, Junsaku Nitta, and Makoto Kohda, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 052402 (2019).
- [2] "Transient diffusive spin dynamics in intrinsic InGaAs/InAlAs quantum wells", Kohei Kawaguchi, Toshiki Fukasawa, Ichirota Takazawa, Hiroki Shida, Yasuhito Saito, Daisuke Iizasa, Takahito Saito, Takahiro Kitada, Yoshihiro Ishitani, Makoto Kohda and Ken Morita, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 172406 (2019).
- [3] "Detection of both optical polarization and coherence transfers to excitonic valley states in CVD-grown monolayer MoS₂", E. Asakura, M. Suzuki, S. Karube, J. Nitta, K. Nagashio and M. Kohda, *Appl. Phys. Exp.* **12**, 063005 (2019).
- [4] "Enhancement of spin current generation in epitaxial a-Ta/CoFeB bilayer", H. Gamou, Y. Du, M. Kohda, and J. Nitta, *Phys. Rev. B* **99**, 184408 (2019).

採択番号：H31/B14

エネルギーマグネティックス機器の 設計プラットフォーム構築

[1] 組織

研究代表者：

山口 正洋（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

石塚 洋一（長崎大学大学院工学研究科）

板垣 篤（凌和電子）

古賀 誉大（アンシス・ジャパン）

中村 貴志（凌和電子）

萩野 浩一（リコー電子デバイス）

真鍋 晋也（ロジック・リサーチ）

延べ参加人数：10人

[2] 研究経過

IoT 機器増加や車・航空機等の電動化により、機器内部の電力変換器の高電力効率化と小型高出力化が期待されている。

電力変換器の体積は、トランス等の磁気部品が多くを占める。理論的には、電力変換器のスイッチング周波数 f_s の高周波化により $1/f_s$ に小型化可能であるが、その上限は現在 $f_s=300\text{kHz}$ 程度である。

そこで本研究では、 $f_s=5\text{MHz}$ 以上の電力変換器設計開発プロセス効率化を支援する磁気部品のフロントローディング開発手法確立を目的とし、電力変換器高電力密度化技術および磁性材料高周波評価・高周波インピーダンス測定検証技術を用い、50 MHz 以上までの磁性部品評価装置を開発し、抽出されたパラメータの磁気シミュレータでの利活用手段を構築することとした。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。本年度は、次の3項目について研究を展開した。

(a) PWM 励磁回路開発：「制御回路」、「駆動回路」および「ノイズ対策」

これまでの研究で、デジタルPID 制御としては、1MHz の高速化技術を提案している。その知見を基盤として、5MHz PWM 励磁回路の安定化を図る。次に、

予備研究により GaN を用いた 1MHz の高電力効率 DC-DC コンバータを開発した成果に基づき、この駆動方式を 5MHz 駆動を目指して拡張する。更に、Ni-Zn フェライト材料によるトランスと、スイッチング素子として GaN-HEMT を採用した 5MHz 駆動高電力密度絶縁型 DC-DC コンバータの開発経験を基に上述の GaN-HEMT の 5MHz 駆動および低ノイズ対策に活用し回路動作を解析する。

(b) ヒステリシスモデルの検証

Jiles-Atherton モデルにより MnZn フェライトコアのインピーダンス計測（インダクタンスと抵抗）および、1A までのバイアスインダクタンス算出が可であることを実証した知見を基に、各種磁性材料について、Pray モデル等の新モデルの適用可能性の検討し、パラメータ抽出法を確立した上で、CAE シミュレータへの実装試験を行う。

(c) ヒステリシスモデルの有効性を実証するための磁性体計測法の確立

世界最高(2003年当時)の9GHz帯透磁率測定装置の開発で培った高周波磁気計測技術に立脚し、高周波リアクトル・トランス用の計測技術として、正弦波励磁およびPWM励磁による高精度計測のための学理を構築し、高調波成分も含めた非線形波形を(a)PWM励磁回路開発との連携を通して、計測ニーズに応えるPWM基本波帯域50Hz~50MHz、測定帯域10Hz~500MHz、AC10Aまで、鉄損と、DCバイアス5A程度までのバイアスインダクタンスを機器設計に必要な精度で計測可能とする。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(d) 研究活動

9月13日に山口・石塚が萩野の案内でリコー電子デバイス社の公開展示デモを都内で見学し、PWM励磁回路とその応用に関する同社の技術とニーズについて情報意見交換を行った。

9月19日、研究代表者が文部科学省で開催されたパワエレに係る磁性体研究開発のヒアリングに出席し、本研究で実施中のヒステリシスモデル等について、必要性和インパクトを啓発し、国として取り組

む必要性を提言した。

11月15日に東北大学大学院工学研究科で研究討論会を行い、4機関から5名が出席し、1機関が電話会議形式で参加した。討論のテーマは次のとおりである。

(i) Steinmetz 定数導出のための同期整流型ハーブリッジDC-DCコンバータ

特徴：一次側と二次側間の絶縁、および広い負荷範囲でのソフトスイッチングによる高い安全性。MOSFET同期整流技術により、高電力および大負荷が接続されている場合の導通損失を低減可能。

課題：熱に対する対策を講じるために、高周波での渦電流の周波数依存性を明確化すること。

(ii) ヒステリシスモデルの有効性を証明するための高出力インピーダンスメーター

特徴：インピーダンス整合と大電力通電を兼ね備えた測定ボードの開発。

課題：浮遊インピーダンスと測定精度との関係の明確化。

(iii) EMC設計

特徴：デバイスが相互に接続されている場合、または相互に近接している場合、すべての電気機器および設備が互いに影響を与える。

EMCは、干渉(EMI)を低減し、イミュニティ(RFI)を強化するための既存および将来のすべての技術とテクノロジーを指す。

課題：EMCシミュレーション。

・仮想プロトタイプを検証する非常に効果的な方法。

- ・製品の品質を向上させる
- ・設計段階でリスクレベルを下げる
- ・どの測定方法よりもはるかに高速
- ・構想段階における自由度の向上
- ・測定できない変数を分析する

12月20日、5機関から5名が電話会議を行い、11月15日に実施した検討会を踏まえたその後の実験・計算結果について討論した。

1月10日、長崎大学に4機関、6名が参集し、また1機関、1名が電話会議として出席し、励磁回路方式とヒステリシスモデルを中心に、その後の進展と最新動向について情報意見交換を行った。

新型コロナウイルス感染拡大防止のため、2月に予定した東北大学での検討会(第2回)を取りやめ、3月10日に5機関、5名による電話会議を計画した。しかし当日になって新型コロナウイルスに対して新たに急な対応が必要となったため、急遽、電話会議を3月23日に延期して実施した。

[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。

まず第1に、高周波のスイッチング電源について実験レベルではスイッチング周波数が10MHz以上に達するものもあるがトランスの実際の波形を把握したうえでの設計は出来ていないことを調査により明らかにした。すなわち課題抽出自体が必要であり、この把握が出来れば、ノイズ放射を実波形で検証でき、スイッチング周波数の高周波化、および効率改善が期待できる。

第2に、従来、特殊な磁気材料特性を測定可能な特殊な環境もつ限られた企業、研究機関しか行えなかった解析技術を広く一般化することが可能になり、これまでよりも多くの設計者が高精度な磁気特性を電磁界解析で試作前に見積もることができるようになる見通しが得られた。フロントローディング設計に貢献し、多くの設計者の開発コストの低減、設計試作機関の短縮を実現できる。

第3に、高度なモデリングにより、実装後の機器の状態を遠隔モニタリング可能とするデジタルツイント技術をあらゆる電力変換器に適用可能とする。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者および産学間の交流が飛躍的に活性化し、次年度は産学連携プロジェクトに発展させるよう一層推進することとした。

[4] 成果資料

(1) Takeshi Hara and Masahiro Yamaguchi, Spray-coated magnetic powder composite planar inductor for compact IoT sensor node, AIP Advances Vol. 10, 015101 (4 pages), DOI: 10.1063/1.5130484, 2020.

(2) Masahiro Yamaguchi, Akihiro Takahashi, Yasunori Miyazawa, Koh Watanabe, Kosuke Jike, Satoshi Tanaka, Noriyuki Miura, Makoto Nagata, Sintered Ferrite Thin Plate Noise Suppressor Mounted on IC Chip Interposer, Proceedings of The 12th International Workshop on the Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits (EMC Compo 2019), pp. 231 - 233, DOI: 12.3456/jo0123456, 2019.

(3) 白石 典彌、岩崎 郁弥、横井 裕一、古賀 誉大、石塚 洋一、LLC DC-DCコンバータの磁気トランスにおける周波数依存分を考慮した損失解析手法の一検討、電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究会、EE2019-77、2020.

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 :

藪田 光太郎 (長崎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 :

(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)

今泉 祥子 (千葉大学大学院工学研究科)

岩村 恵市 (東京理科大学工学部)

鶴木 祐史 (北陸先端科学技術大学院大学)

越前 功 (国立情報学研究所コンテンツ科学研究系)

荻原 昭夫 (近畿大学工学部)

梶山 朋子 (広島市立大学情報科学研究科)

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)

姜 錫 (北海道大学大学院情報科学研究科)

姜 玄浩 (東京工業高等専門学校電子工学科)

貴家 仁志 (首都大学東京システムデザイン学部)

栗林 稔 (岡山大学大学院自然科学研究科)

合志 清一 (工学院大学情報学部)

小嶋 徹也 (東京工業高等専門学校情報工学科)

近藤 和弘 (山形大学大学院理工学研究科)

生源寺 類 (静岡大学大学院工学研究科)

秋山 寛子 (長野工業高等専門学校電子情報工学科)

新見 道治 (九州工業大学大学院情報工学研究科)

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 (首都大学東京学術情報基盤センター)

吉田 真紀 (国立研究開発法人 情報通信研究機構サイバーセキュリティ研究所)

脇山 正博 (北九州工業高等専門学校制御情報工学科)

山田 隆亮 (大阪工業大学情報科学部)

酒澤 茂之 (大阪工業大学情報科学部)

金田 北洋 (長瀬産業株式会社・NVC 室)

延べ参加人数 : 37 人

[2] 研究経過

マルチメディアコンテンツの流通において, マルチメディアの多機能化 (単一メディアへのコンテンツの多重化やメディアからのコンテンツマイニング等) の研究・開発が, 近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは, この多機能マルチメディア生成技術に関する, 最新技術の動向, セキュリティ保護, 知覚特性の発見を共有, 討議することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは, 本年度が初年度であった。

以下, 研究活動状況の概要を記す。

・研究集会, 1 回開催, 2020 年 1 月 27 日 (於・東北大学工学部電気系, 18 名参加)

・研究発表会, 6 回開催, (5 月, 7 月, 9 月, 11 月, 1 月, 3 月, 各参加者 20 名程度)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は, 主に以下に示す研究成果が得られた。まず第 1 に, 新しい埋め込み手法の提案。音響信号, 映像信号の多機能化において, いかにも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。本年度は, 蝸牛遅延フィルタを利用した原理的に人間聴覚に影響を与えない音響信号への電子透かし埋め込み法が提案されている。

第 2 に, コンテンツマイニング。副コンテンツの検出をより頑健にする手法, および適用先の開拓, または陽に埋め込んでいない副コンテンツを掘り起こす研究が行われた。聴覚・視覚的な劣化を許すことで副コンテンツを効率的に埋め込み・検出することが可能となる。防災放送への情報埋込, パターン画像への情報埋込などが研究提案された。

第3に、人工生成メディアの識別。メディア生成技術の発展により、人工生成メディアとの共存が重要となる。スマートスピーカ対話システムが複数存在する場合の発話区間の識別を発話と同時に識別信号を埋め込むことで実現する手法、事後に録音環境の模擬がなされた音響信号を自然録音と弁別する試みなどがなされた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。

こうした、研究分野の発展を受け、電子情報通信学会情報システムソサイエティ英文論文誌小特集号`Enriched Multimedia-Multimedia Security and Forensics`を企画した。2020年3月投稿締め切り、2021年1月号に掲載される。

[4] 成果資料

[1] 佐賀 俊介, 伊藤 彰則, 「高周波帯域への信号埋め込みによる対話システム発話の抑圧」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-94, pp. 1-6

[2] 藪田 光太郎, 「音響信号の非現実的ミックスの検出」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-95, pp. 7-10

[3] マワリム キャンディ オリフィア, 鶴木 祐史, 「Cochlear delay based audio information hiding with segment selection optimization」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-96, pp. 11-16

[4] 南後 建太, 川村 正樹, 「スクリーンショット時にURLを埋め込むiPhoneアプリの開発」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-97, pp. 17-21

[5] 秋山 寛子, 滝沢 善洋, 押田 京一, 「画像解析を用いたカーボンナノファイバーマットの空間の測定」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-98, pp. 23-26

[6] 小嶋 徹也, 池口 恭司, 先村 律雄, 木村 清和, 井上 和真, 「音響データハイディングを用いた防災放送システムに関する研究プロジェクト」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-99, pp. 27-30

[7] 野田 智, 金田 北洋, 岩村 恵市, 「深層学習を用いた動画からの難視性パターン抽出」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-100, pp. 31-36

[8] 劉 若倫, 「How Timbre can Help the Sound Recording (Invited Talk)」, 信学技報, vol. 119, no. 396, EMM2019-101, p. 37

採択番号：H31/B16

型主導コンパイルによる高性能高信頼ソフトウェア構成

[1] 組織

研究代表者：

森畑 明昌（東京大学大学院総合文化研究科）

通研対応教員：

上野 雄大（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

加藤 和彦

（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

阿部 洋丈

（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

長谷部 浩二

（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

田浦 健次朗

（東京大学大学院情報理工学系研究科）

佐藤 重幸

（東京大学大学院情報理工学系研究科）

延べ参加人数：10人

[2] 研究経過

型主導コンパイルはコンパイラが型情報をもとにコード生成を行う技法である。これは多相レコード計算のための手法として Ohori により発明されたが、現在では、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・生産性高く実現するために広く利用できることが判明しつつある。

本共同プロジェクト研究の目的は、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することで、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ような、システムソフトウェア・高信頼ソフトウェア作成上の困難に対し、型主導コンパイルによる系統的・自動的な解決法を見いだすことを目的としている。

上記目的を実現するため、2020年3月5日・6日に研究集会を開催予定であった。これには、研究代表者・通研対応教員・研究分担者に加え、高知工

科大学の鶴川始陽准教授と筑波大学の大学院生である Ryan Nathanael Soenjoto Widodo 氏にもご参加いただく予定であった。しかし、折り悪く新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行が懸念される状況になり、研究集会は中止とせざるを得なかった。代わりに、発表予定であった内容を参加予定者間で交換し、オンラインで議論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

前述の通り、本共同プロジェクト研究集会を開催することはかなわなかった。以下では発表予定だった内容の要旨を紹介し、研究集会でありえた議論の可能性を述べる。

森畑は、コンパイラの系統的な開発手法として古典的に知られる二村射影について、近年その実現に用いられているライブラリを紹介し、そのライブラリの機能を型主導コンパイルによって系統的に実現する可能性について論じる予定であった。これは、型主導コンパイルを搭載したコンパイラがあれば、新しいコンパイラを比較的容易に開発することができることを示唆する。

上野氏には、氏らが開発している高信頼プログラミング言語である SML# のゴミ集め機構の並列化についてお話しいただく予定であった。高信頼言語ではゴミ集め機構がボトルネックになりやすく、性能を高めるためにはその並列化が必須であった。今回の成果により、SML# を高性能計算に用いる際の有用性が高まったと言える。

田浦氏には、氏らの開発している高性能並列計算のための基盤ソフトウェアである MassiveThreads と、上野氏らの開発している高信頼プログラミング言語である SML# との統合状況について、評価・ご議論していただく予定であった。この統合が完成した暁には、高性能な並列計算が、信頼性と生産性を失わずに利用できる可能性がある。

佐藤氏には、複数の計算機がデータを共有する手段として RDMA (remote direct memory access) に着目し、これをプログラミング言語から効率的に利用するためのライブラリの実装についてお話しいただく予定であった。この手法は、多数の計算機を利

用するシステムのためのプログラミング基盤となる可能性がある。

鶴川氏には、不揮発性メモリを活用するためのライブラリである NT-HTM の性能評価についてお話しいただく予定であった。不揮発性メモリはインメモリデータベースなどに使える可能性があるが、これを適切に活用するプログラムの作成は容易ではなく、さらに性能を出すとなると困難を極める。鶴川氏の発表は不揮発性メモリの高信頼・高生産性・高性能な利用に向けての一助になるものであり、プログラミングの観点からも高性能システムソフトウェア構成の観点からも興味深い。

Widodo 氏には分散並列計算基盤でのデータの局所性を改善する手法についてお話しいただく予定だった。Hadoop に代表されるような、広く使われている分散並列計算基盤では、データの局所性によって性能が変わる一方、データの圧縮や複製等の都合もあり局所性のコントロールが難しい。これに対し、局所性を維持したままデータの操作ができるようにする試みを提案している。

以上から明らかなように、各参加者は、それぞれの専門性から、高性能・高信頼ソフトウェア基盤の構築に向けた研究を行っている。しかも、いずれもアドホックに問題を解決しようとするのではなく、系統的に、そして他の手法と接続可能な形で解決を模索している。これらの報告を元に議論を行うことで、高性能・高信頼ソフトウェア基盤における典型的な問題点とそれに対するアプローチを洗い出し、型主導コンパイル手法との関連を議論する予定であった。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、今回そこまで議論を深めることはできなかった。

本共同プロジェクト研究は若手研究者対象型である。これに伴う特別支援費は、高知工科大学の鶴川始陽准教授の招聘費用に充てる予定であった。研究代表者・研究分担者には、プログラミング言語の研究者と、システムソフトウェア・高性能ソフトウェアの研究者が揃っているが、両者を繋ぐ領域であるプログラミング言語処理系の専門家は手薄であった。鶴川氏はプログラミング言語処理系の実装研究において現在日本で最も活躍している研究者の一人であり、本共同プロジェクト研究集会に招くには理想的な方である。残念ながら今回は鶴川氏のお話を直接拝聴する機会には恵まれなかったが、鶴川氏と繋がりを持つことができたのは本共同プロジェクト研究の成果と言える。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同プロジェクト研究集会は中止に終わってしまったこともあり、現時点で大きな波及効果や発展性が見えたとは言いがたい状況にある。その中で、鶴川氏との繋がり、プログラミング言語・システムソフトウェア・高性能ソフトウェアのいずれの観点からも貴重であり、それらを統合する大きな研究への発展を期待させるものである。

また、本共同プロジェクト研究集会は、大学院生をはじめとする若手研究者にとって、専門の異なる研究者と議論する機会を提供する目的もあった。この目的通り、大学院生である Widodo 氏に参加いただく予定であった。今回 Widodo 氏と直接議論することができなかったのは誠に残念である。

[4] 成果資料

初年度であること、研究集会が年度末開催予定であったこと、そして研究集会が中止となってしまったこともあり、現時点では論文のような形での具体的な成果は出ていない。今後可能な限り、別の機会等も生かしつつ、参加予定者の研究交流を行い、今回実現できなかった意見交換を行ってゆきたい。

採択番号 : H31/B17

PSDL: Physical Security of Deep Learning

[1] 組織

研究代表者 :

Shivam Bhasin, Nanyang Technological University, Singapore

通研対応教員 :

Naofumi Homma, RIEC

研究分担者 :

Dirmanto Jap, Nanyang Technological University, Singapore

Ville Vli-maeyry, RIEC

Akira Ito, RIEC

Rei Ueno, RIEC

延べ参加人数 : 6人

[2] 研究経過

Security of machine learning (ML) has been shown as a matter of concern when considering side-channel attacks (SCA). Such attacks which enable theft of ML intellectual property have only be shown for complex ML algorithms like multilayer perceptron (MLP) or convolutional neural network (CNN). However, security of other widely used algorithms for resource constrained platforms is highly unexplored. In this paper, we assess the security of desicion tree ML algorithm against electromagnetic (EM) SCA. Decision trees are widely used in industrial environment specially Industrial internet of things (IIoT) for anomaly detection and quality assurance of the supply chain.

This work follows the attack methodology of Batina et al.

In this paper, we investigate the security of decision tree based ML algorithms against SCA through EM emanation. With a divide-and-conquer manner we recover different secret parameters,

one at a time.

In other words, we present a model extraction attack on tree-based algorithms.

We first identify crucial targets to recover in the decision tree followed by practical demonstration of parameter recovery.

[3] 成果

We target Bonsai, a publicly available library for tree-based ML algorithms which can be fitted into low-end IoT devices, such as ARM Cortex-M3. Once trained offline, the model can be exported to IoT device for deployment. The adversary is a malicious client who legally acquires one (or few) copy of licensed ML models, while she relies on reverse engineering to recover the model and does not pay for additional licenses. As the target is a licensed copy, the adversary can feed known inputs and observe side-channels. As stated earlier, the reverse engineering is based on EM side-channels. For the following experiments we use Arduino due with ARM Cortex M3 as an IoT device with 512KB flash, 96KB SRAM and 84 MHz operating frequency. The measurements are captured using RF-U 5-2 near-field EM probe from Langer on a Lecroy WaveRunner 610zi oscilloscope. A 30 dB pre-amplifier is also used for better measurement quality. We trained a shallow decision trees on Bonsai with USPS handwritten digit dataset. The model is trained on this dataset, and then downloaded to ARM Cortex-M3. For testing, we consider only random numbers as inputs, without limiting to a specific dataset, as it is not required for the analysis.

Identification of Sensitive parameters

The main secret parameters of the model are: *sparse projection parameters, branching function and node predictors*. In general, these parameters are used in separate functions throughout the algorithm. For example, the node predictors are typically used in matrix multiplication, and hence, each individual multiplication can be individually targeted. Rather than separating the parameters for recovery, we identified three crucial operations to be reversed for recovering the model. These operations are fixed point multiplication, loading of the index and conditional branching. We adopt different side-channel methods to recover each parameter.

(3-1) 研究成果

In this section, we describe recovery process for each sensitive parameter individually in divide-and-conquer method, finally leading to a full attack.

Recovering Sparse Projection Parameters and Node Predictors

Operations with node predictor involves a fixed-point multiplication. A known input is multiplied to the secret (but constant) node predictor. The target function is signed multiplication operation. Normally, any type of matrix multiplication operations will eventually lead to signed multiplication operation between two operands. We use correlation power analysis (CPA) to statistically recover the secret node predictor over several EM measurements with known but varying inputs. The leakage model used is Hamming weight.

In Bonsai, the fixed point length can be 8-bit or 16-bit, so the no. of hypotheses is either 2^8 or 2^{16} .

The attack is successful if the correct node predictor shows maximum correlation of all the hypotheses. The attack results are shown in Figure 1a for 16-bit data type (harder of the two cases). The black line depicts higher

correlation leading to recovery of secret code predictor. Note that the correct weight and its logical complement will show same absolute correlation with opposite polarity, due to linearity of the multiplication. Thus, the attacker can either brute force for the polarity of the weights or bias the inputs carefully to recover the exact weight. With 1000 traces, the correct weight candidate and its complement is recovered (not shown here). We then continue the attack to recover the unique key candidate. By introducing minor bias in the input data, with 100,000 measurements we can recover the correct key candidate from its wrong but complement hypothesis. The bias introduced is that there are more positives input than negatives.

Recovering Sparse Projection Index Parameters

When performing dimensionality reduction by multiplication with sparse matrix, the constant and the target features are pre-stored in the memory. The constant can be recovered when targeting the multiplication. The index loading can be targeted with Template Attack (TA) on load operation. As load involves memory access, the operation perform memory access and leaks with higher signal to noise ratio (SNR) than other logical operations. To mount our attack, we should first find the timing when the index is being loaded by the measured EM emanation. In this case, we split the data for training and testing. We first apply pre-processing technique to determine the point of interest. We uniquely identified 3 features, and afterwards, for each label, we measure the template (mean and covariance). Then, on the testing phase, we measure the pdf of the test data, given the templates. To get a better SNR for experiments, we perform averaging of 100 times. The train-test split is then set to 7:3. In the given example for Bonsai, the USPS dataset is projected to 28 feature space. This projection can be also applied to any dimension, but for simplicity, the given feature dimension is used as default. We

showed the results in Figure 1b. It can be observed from the figure, although the success for first order rank is not that good (38.9%), the correct label is within top 5 prediction with high success rate (95.5%). In this case, the first order and top 5 success rate will be highly dependent on the number of features used. In the case of higher number of features, the success rate will decrease.

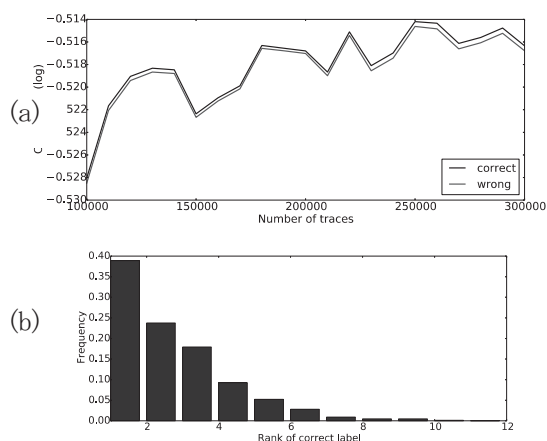


Figure 1: The results of attack on signed multiplication using CPA and attack on index loading using TA. (a) CPA results on fixed point multiplication: The correct value is denoted with black, and the wrong one is denoted with red. In this case, after 100k traces, the correct one can be distinguished. (b) The distribution of the correct label ranking on 3k traces test data.

Recovering Branching Function

In tree based algorithm, typical conditional branches are used to decide which path to transverse. We target the if-else structure of conditional branching using timing side-channel. We measure the execution time of the following function which computes branching function. The timing information is directly available on the EM measurements previously captured, accurate to ns scale. Experiments reported successful recovery of timing information. We observed that the mean timing for first and second branches are \$3.41\$ns and \$3.36\$ns respectively. The variance in timing is only \$0.01\$ns. Hence, by building the timing profile, one can

easily identify the path taken.

Conclusion

In this paper, we report side-channel based model extraction attack for tree-based algorithms running on IIoT. We target Bonsai, a public library, and identify crucial operations to target including sparse projection parameters, branching function and node predictors. Practical experiments on low-end microcontroller using EM side-channel are demonstrated for parameter recovery.

【Seminar/Discussion dates】

- 15-16 October, 2019: Discussion at RIEC (# of participants: 5)
- Teleconferencing Calls:
 - 21 November, 2019, 17 December 2019, 23 January, 2020, 2 March, 2020

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The target operations exploited in the experiments are also present in other learning algorithms, which make the proposed approach generic and applicable to different family of machine learning.

The feasibility of similar vulnerabilities on hardware platform also remains an open question and an interesting research direction.

[4] 成果資料

Dirmanto Jap, Ville Yli-Mäyry, Akira Ito, Rei Ueno, Shivam Bhasin and Naofumi Homma. "Practical Side-Channel Based Model Extraction Attack on Tree-Based Machine Learning Algorithm." Under Submission

採択番号 : H31/B18

モバイルエッジコンピューティングにおける動的サービス制御技術

Study of Dynamic Service Orchestration for Mobile Edge Computing

[1] 組織:

研究代表者:

Xun Shao (Kitami Institute of Technology)

通研対応教員:

Go Hasegawa (RIEC)

研究分担者:

None

延べ参加人数: 7人

[2] 研究経過

This research aims at developing an optimal orchestration framework for general-purpose mobile edge computing systems. The research collaboration was mainly carried out by having research meetings and workshops. Specifically, in FY 2019, we organized and carried out the following activities:

1) We had a research meeting in Prof. Go Hasegawa's lab in Tohoku University on October 9, 2019. The participants included Xun Shao and Go Hasegawa.

2) We attended the RICC-RIEC workshop 2019 (Dec. 16, 2019, in Tohoku University), presenting the primary research results, and discussing with the researchers from multiple research institutions. The participants included Xun Shao, Go Hasegawa, and five other researchers.

3) We attended the FY 2019 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects in Feb. 20, 2020. In this meeting, we summarized our main research results obtained by FY 2019, and clarified the research direction in FY 2020.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

The research results in FY 2019 are three-folded:

1) We conducted a comprehensive survey from industry, and clarified both quantitative and qualitative requirements from mobile network carriers and mobile service providers.

2) We built a comprehensive mathematical model to catch the main characteristics of the orchestration for mobile edge computing, defining the objective function, and clarifying the main constraints.

3) We proposed novel optimization algorithms that integrate the traditional methods and the recent advances in online learning.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The proposed edge computing service and the corresponding mechanisms and algorithms are expected to contribute to the future mobile computing ecosystem.

As an extension of this research, Xun Shao and Go Hasegawa won the research grant from the Telecommunications Advancement Foundation, Japan. The research period is from April 2020 to March 2022, and the grant amount is 2,500,000 Yen.

This research also stimulates the initiation of 10th EAI International Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI 2020) that will be held in August 2020, Japan. Xun Shao serves as the general chair of the conference.

[4] 成果資料

The research paper submission is in preparation.

採択番号 : H31/B19

Securing IoT devices against EM Fault Injection

[1] 組織

研究代表者 :

Ingrid Verbauwhede, KU Leuven, Belgium

通研対応教員 :

Naofumi Homma, RIEC

研究分担者 :

Josep Balasch, KU Leuven, Belgium

Arthur Beckers, KU Leuven, Belgium

Rei Ueno, RIEC

Ville Vli-maeyry, RIEC

Yu-ichi Hayashi, NAIST, Japan

延べ参加人数 : 19 人

[2] 研究経過

The Internet of Things (IoT) is becoming essential in peoples lives. The IOT devices need protection against so-called electronic side-channel and fault-attacks. In this collaboration project, we investigate mitigation strategies suitable for IoT devices against the threat of electro-magnetic (EM) fault injection.

【Seminar/Discussion dates】

- 1-4 February, 2020: Seminar and discussion at RIEC (# of participants: 15)
- 10 December, 2019: joined participation and discussion at the IEDM conference (#attendance: 30 for the conference session, #attendance: 2 for the discussion)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

This project brings together the expertise on side-channel and fault attacks of the KU Leuven partner with the expertise of the RIEC partner. KU Leuven has a large electronics evaluation lab. RIEC has extensive experience with EM.

In this first phase of the project we focused on a new EM Pulse Injection Device [A]. This device was designed by the Japanese partners and used at the lab facilities in Leuven.

The second research focuses on the effects of EM attacks on Ring Oscillators. Ring Oscillators are form an important class of True Random Number Generators. The results of this collaboration are published in [B].

In figure 1 below, the experimental set-up of the work presented in [A] is shown. In this paper, different parameters that effect the EM Pulse are being investigated and first experiments on an embedded micro-controller are shown.

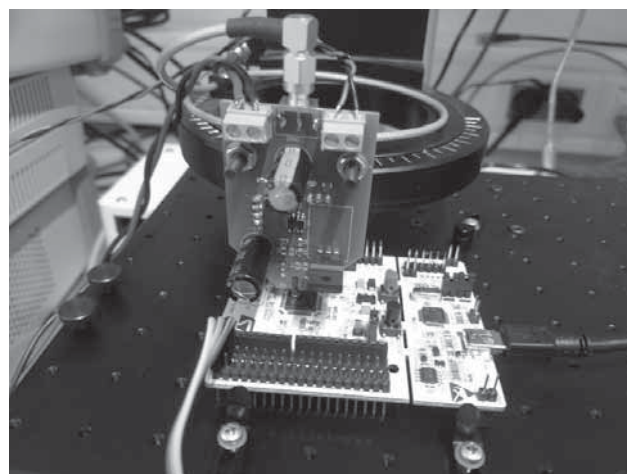


Figure 1: Experimental set-up EM Pulse generator [A].

In figure 2 below, the experimental set-up of the EM information leakage on a tamper resistant device is shown. This is illustrated in [B] with the security evaluation of Ring-Oscillator based True Random Number Generators.

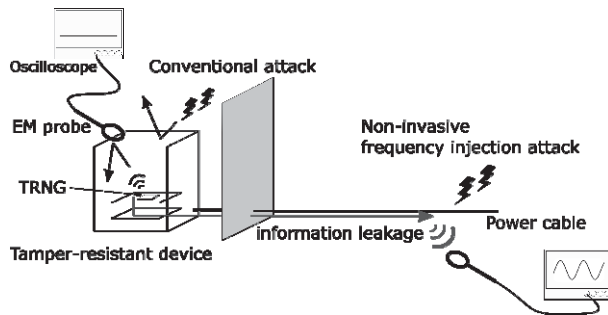


Figure 2: Conventional attack is not possible because of the tamper-resistant casing. However, there is still EM information leakage from a distance [B].

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

Prof. Naofumi Homma and Prof. Ingrid Verbauwhede were both invited to speak at a special focus session of the IEEE International Electron Devices Meeting, IEDM-2019, in San Francisco from December 7-11, 2019. The title of the special focus session was “Reliability and Security in circuits and systems.” The topic of Prof. Verbauwhede was “Security and Reliability - Friend or Foe”. The topic of Prof. Homma was “Designing Secure Cryptographic Circuits”. This is an illustration of our contribution to related research fields.

[4] 成果資料

- A. Beckers, M. Kinugawa, D. Fujimoto, Y. Hayashi, J. Balasch, B. Gierlichs, and I. Verbauwhede, “Design Considerations for EM Pulse Fault Injection,” In Smart Card Research and Advanced Applications - CARDIS 2019, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 16 pages, 2019.
- B. S. Osuka, D. Fujimoto, Y. Hayashi, N. Homma, A. Beckers, J. Balasch, B. Gierlichs, and I. Verbauwhede, “EM Information Security Threats Against RO-Based TRNGs: The Frequency Injection Attack Based on IEMI and EM Information Leakage,” IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 61(4), pp. 1122-1128, 2019.

採択番号：H29/S1

コヒーレント波に基づく学際的先端科学技術の創成

[1] 組織

研究代表者：

三村 秀典（静岡大学電子工学研究所）

通研対応教員：

八坂 洋（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

青木 徹（静岡大学電子工学研究所）

根尾陽一郎（静岡大学電子工学研究所）

伊藤 哲（静岡大学電子工学研究所）

川人 祥二（静岡大学電子工学研究所）

香川景一郎（静岡大学電子工学研究所）

安富 啓太（静岡大学電子工学研究所）

原 和彦（静岡大学電子工学研究所）

小南 裕子（静岡大学電子工学研究所）

猪川 洋（静岡大学電子工学研究所）

佐藤 弘明（静岡大学電子工学研究所）

庭山 雅司（静岡大学電子工学研究所）

小野 篤史（静岡大学電子工学研究所）

佐々木哲朗（静岡大学電子工学研究所）

横田 信英（東北大学電気通信研究所）

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

片野 諭（東北大学電気通信研究所）

藤掛 英夫（東北大学大学院工学研究科）

石鍋 隆宏（東北大学大学院工学研究科）

柴田 陽生（東北大学大学院工学研究科）

延べ参加人数： 61人

[2] 研究経過

平成30年度に続き、コヒーレント波を生成・制御するコヒーレント波光源の開発とコヒーレント波制御に関する研究、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。令和元年8月29日、東北大電気通信研究所にて口頭発表5件、ポスター発表9件、参加者22名で開催した。そして令和元年12月25日、冬季研究会として、静岡大高柳記念未来技術創造館にて、口頭発表5件、ポスター発表8件、参加者は当プロジェクトメンバー以外の学内参加も含め、計28名の参加の下、盛況な研究交流を持つことができた。

そして、令和2年2月20日、通研にて「令和元年度 共同プロジェクト研究発表会—新世代 ICT の羅針盤—通研共同プロジェクトからのメッセージ～」が開催され、共同研究者11名が参加した。その中の「組織間連携プロジェクト成果報告」において当プロジェクトを代表して、電研小野篤史准教授が「Plasmonic color filtering for multi-band image sensor」と題して成果報告を行った。各研究室が、以下の達成を目標として研究を行った。

【静岡大学電子工学研究所】

三村・根尾研究室：「表面プラズモン増幅現象の解明に関する研究」

青木・伊藤研究室：「エネルギー情報を用いたフォトンカウンティングCTに関する研究」

川人研究室：「サブピコ秒時間分解能を有するロックイン型時間分解イメージングデバイスに関する研究」

原・小南研究室：「深紫外光、電子波、音波コヒーレントデバイス創出に向けた高品質六方晶窒化ホウ素結晶の作製」

猪川研究室：「光のコヒーレント性を利用した高機能アンテナ付き光検出器に関する研究」

庭山研究室：「コヒーレント波併用による近赤外分光計測の正確度向上に関する研究」

小野研究室：「金属ナノ構造上の表面プラズモン振動の可視化」

佐々木研究室：「高効率単色コヒーレントテラヘルツ光源の開発」

【東北大学電気通信研究所】

八坂研究室：「超コヒーレント光信号発生に関する研究」

上原・片野研究室：「ボトムアップ手法に基づくナノ構造体の光物性制御とコヒーレント波への展開」

藤掛・石鍋研究室：「フレキシブルディスプレイ用液晶光変調素子の構造探索」

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【静岡大学・三村・根尾研究室】

表面プラズモン共鳴とPWG(Planar Waveguide)の結

合系では、結合強度に依存して、プラズモン誘起透明化、ラビ分裂がおこる。本研究では、このアンチクロッシングが対称・非対称モードに分裂する事に注目した。特に非対称モードは、長距離伝搬プラズモンとなる点に注目しプラズモン増幅を提案している。ATR 装置開発を行い、光源に重水素、ハロゲンランプを用いる事で吸収の E-k 分散関係の可視化を実現した。また PWG にローダミン 6G をドーブし、発光の E-k 分散関係も評価した。この結果、両者は正確に一致し、発光には新しい伝搬モードが確認された。これ以外に分裂の効果を利用した反射率可変ミラーの開発を行った。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】

ナノビジョンサイエンスの概念に基づいた光子・電荷直接変換型の信号処理 LSI を開発した。超微細三次元インクジェットによる高精度バンピングを含む 3DIC の技術を活用して、ピクセル化した CdTe を X 線電荷変換素子としたイメージャーを試作しエネルギー弁別画像の取得に成功した。また、さらに高エネルギー X 線でのイメージングに対応するため新しい変換素子として東北大学工学研究科との共同研究による TlBr を用いた X 線イメージャーを試作実証、できる限り原理的動作に近づけた信号処理アルゴリズムとその LSI が柔軟な入力に対応し、広いダイナミックレンジを持つことを示した。

【静岡大学・川人研究室】

サブ 100 μm 距離分解能（時間にしてサブピコ秒の時間分解能）に至っている Time-of-Flight 距離イメージセンサのさらなる距離分解能の向上に向けて、列並列のドライバ回路のジッタを低減するために、光学的に低減を図る 2 重参照光サンプリングと、電子的に低減を図る電荷注入によるジッタ低減について検討を進めた。光学式に関して、所望のライン光をセンサに入射できる実験系を考案し、準備を進めた。また、電子式に関しては、電荷注入画素を組み込んだラインセンサを 0.11 μm CMOS イメージセンサプロセスにて設計・試作した。

【静岡大学・原・小南研究室】

Si デバイスとの複合化による六方晶 BN の新機能デバイス創出を期待し、原料に BCl_3 と NH_3 を用いる減圧 CVD により Si (111) 基板上への薄膜成長を試みた。成長装置を構成も含めた条件の最適化により、これまでのサファイア基板上の薄膜と同程度に良好な深紫外発光特性を示す試料が得られ、Si 基板上へも高品質な h-BN 薄膜を作製できることを示した。

【静岡大学・猪川研究室】

アンテナ結合ポロメータ:Ti サーミスターの通電加熱による改質で、抵抗値と温度係数が増大し、電気的感度が 4.5 倍となることを見出した。単電

子トランジスタ等（整流作用）：動作点をクーロンダイヤモンドの辺上に設定することにより、ゼロバイアス動作に比べて感度を最大 3 桁向上し、低周波・高周波領域の境界で生じる整流電流の低下を 10%以下に抑えられることが分かった。

【静岡大学・庭山研究室】

コヒーレント波（赤色レーザー光）を用いて、生体組織中を通過する光飛行時間（T o F）の計測値を活用して、光学定数が取得できるシステムの実現を目指し、T o F の平均値とともに度数分布から時間分解波形を取得できる測定系を開発した。そのシステムを用いて生体模擬試料を対象として散乱係数と吸収係数の定量性を検証した。時間分解法と T o F + 空間分解法という複数のアルゴリズムで演算できることは正確度向上に有効である。

【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、結晶性銀ナノキューブをポリオールプロセスにより作製した。さらに銀ナノキューブ単層集積膜作製技術を確立した。銀ナノキューブ単層集積膜を用いて、上原・片野研究室との連携により STM プラズモン発光計測技術による銀ナノキューブプラズモン共鳴およびラマン信号特異的増強の観測に成功した。また、藤掛・柴田研究室と液晶配向性を利用した新規プラズモン共鳴波長制御の研究に着手した。

【静岡大学・佐々木研究室】

角度位相整合を利用する半導体 GaP 結晶を用いた差周波発生法による連続コヒーレントテラヘルツ波発生において、平行光および収束光によるテラヘルツ波発生効率を確認するためシステムを構築し、昨年度実施した最適化計算と実験結果の比較を行った。実際の収束光による発生では、角度位相整合の悪化による発生効率の低下が集光効果による発生効率の向上を打ち消すことが明らかになった。

【東北大学・八坂研究室】

デジタルコヒーレント光通信や高精度光計測などへの応用に向けた、光負帰還法による超小型狭線幅半導体レーザー光源の開発を進めた。光負帰還帯域を向上させるため、Si 導波路を用いた小型光フィルタの帰還ループ長を短縮し、半導体レーザーのスペクトル線幅を 10 MHz から 99.8 kHz まで低減することに成功した。本成果を足掛かりとし、今後はスペクトル線幅の更なる低減に向けた光フィルタ構造の検討を進める。

【東北大学・上原・片野研究室】

高い空間分解能とマニピュレーション能力の両者をあわせ持つ走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて、ナノ構造体の光電子物性をナノスケール領域で理解

する研究を行った。令和元年度において、酸化グラフェンの発光が、数 nm の空間に閉じ込められたナノドメインに支配されることを STM 発光分光を用いて明らかにした。また、当該構成員である小野研究室と共同研究を進めている金属ナノキューブのナノスケール構造解析と表面増強ラマン信号現象の課題について大きな進展があり、得られた成果を論文にまとめ投稿した。

【東北大学・藤掛・石鍋研究室】

ディスプレイ形態の自由度を拡大する新構造液晶デバイスの研究を進めている。本年度は、多様な建築物、移動体、人体など 3次元曲面に貼り付けができるストレッチャブルディスプレイを実現するため、自己組織化 dendrimer の分子ネットワークで固体化した液晶ゲルを試作した。評価の結果、既存の高分子分散液晶に比べて延伸耐久性が飛躍的に向上した。また極度の延伸で液晶ゲル膜が破断した場合でも、膜構造と光学特性に自己修復機能が認められた。

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

コヒーレント波光源の開発、コヒーレント波制御に関する研究及びコヒーレント波応用に関する研究について、以下、述べる。コヒーレント波光源の開発においては、光負帰還法による半導体レーザの狭線化において、スペクトル線幅を 2 桁以上低減することに成功した。THz 波光源では、THz 波発生効率に及ぼす要因として角度位相整合の効果を評価した。コヒーレント波の時間的、空間的制御に関しては、電研と通研の研究室での連携に進展があり、その成果として、STM プラズモン発光計測技術による銀ナノキューブプラズモン共鳴およびラマン信号特異的増強の観測に成功した。また、液晶配向性を利用した新規プラズモン共鳴波長制御の共同研究に着手することができた点は、大きな進展であった。サブ 100 μm 距離分解能 (時間にしてサブピコ秒の時間分解能) に至っている Time-of-Flight 距離イメージセンサのさらなる距離分解能の向上に向けて進展があった。また、光のコヒーレント性を利用した高機能アンテナ付き光検出器に関する研究では、アンテナ結合ポロメータ:Ti サーマスタの通電加熱による改質で、抵抗値と温度係数が増大し、電気的感度大幅な向上を見出した。コヒーレント波応用に関する研究では、特に、フォトンカウンティング CT に関する研究において、3DIC の技術を活用して、ピクセル化した CdTe を X 線電荷変換素子としたイメージャーを試作しエネルギー弁別画像の取得に成功した。コヒーレント波併用による近赤外分光計測の生体試料を対象として散乱係数と吸収係数の定量性を検証で

きるレベルとなった。そして、ディスプレイ形態の自由度を拡大する新構造液晶デバイスの研究において、既存の高分子分散液晶に比べて延伸耐久性が飛躍的に向上する結果が得られている。以上、各研究課題の進展に加え、研究所間の共同研究、連携が進みつつあり、今後の成果への波及効果が期待される。

[4] 成果資料

- (1) 岩間 峻 他、第 80 回応物秋季 21p-E208-7
- (2) K, Yasutomi, Y. Okura, K. Kagawa, S. Kawahito, A Sub-100 μm -range-resolution Time-of-Flight Range Image Sensor with 3-tap Lock-in Pixels, Non-overlapping Gate Clock and Reference Plane Sampling, IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol.54, No.8, pp.2291-2303
- (3) Amit Banerjee, Hiroaki Satoh, Durgadevi Elamaram, Yash Sharma, Norihisa Hiromoto, and Hiroshi Inokawa, "Performance improvement of on-chip integrable terahertz microbolometer arrays using nanoscale meander titanium thermistor," J. Appl. Phys., Vol. 125, No. 21, pp. 214502_1-12, 4 June 2019.
- (4) Durgadevi Elamaram, Hiroaki Satoh, Norihisa Hiromoto and Hiroshi Inokawa, "Investigation of silicon-on-insulator CMOS integrated thermocouple and heater for antenna-coupled bolometer," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 58, pp. SDDE08_1-7, May 21, 2019.
- (5) Ayana Mizuno and Atsushi Ono, "Uniform SERS-active platform based on self-assembled Au nanoparticle monolayer," The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (Nov. 14th, 2019, Hamamatsu, Japan)
- (6) Ayana Mizuno and Atsushi Ono, "Dynamic tenability and polarization anisotropy of elastic plasmonic device," SPIE Optics +Photonics 2019 (Aug. 14th, 2019, San Diego, USA)
- (7) Junya Nakagawa, Tetsuo Sasaki, "Pump-beam focusing effects on terahertz-wave difference frequency generation in GaP crystal", The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019), Hamamatsu, Shizuoka, Nov.14&15 (2019). P1-15
- (8) S. Sato, G. Aizawa, N. Yokota, and H. Yasaka, "Performance improvement of optical negative feedback laser by reducing feedback loop length," IEICE Electron. Express 17, 20190750 (2020).
- (9) S. Katano, T. Sasajima, R. Kasama, T. Iwahori, and Y. Uehara, "Nanoscale Study of Luminescence from a Thermally-reduced Graphene Oxide", 21st International Vacuum Congress, Clarion Hotel & Congress Malmö Live, Malmö, Sweden, 4th July (2019).

採択番号：H29/S2

ナノエレクトロニクスに関する連携研究

[1] 組織

研究代表者：

宇高 勝之（早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構）

通研対応教員：

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

川原田 洋（早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構）

庄子 習一（同上）

本間 敬之（同上）

渡邊 孝信（同上）

岩瀬 英治（同上）

水野 潤（同上）

関口 哲志（同上）

谷井 孝至（同上）

枝松 圭一（東北大学電気通信研究所）

長 康雄（同上）

白井 正文（同上）

石山 和志（同上）

尾辻 泰一（同上）

八坂 洋（同上）

末松 憲治（同上）

廣岡 俊彦（同上）

平野 愛弓（同上）

佐藤 茂雄（同上）

延べ参加人数： 40 人

[2] 研究経過

ナノ構造の創製技術とその電子デバイス等への応用技術の開発は、これからの情報通信分野の新機能デバイス創製基盤技術を確立する上で極めて重要である。東北大学電気通信研究所は、情報デバイス研究部門、ブロードバンド工学研究部門やナノ・スピンの実験施設を中心として、ナノ構造を用いた電子デバイスや集積回路の創製に関して、世界的に評価されている研究成果を数多く上げてきている。

一方、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構はナノテクノロジー関連の研究活動を統合する為の組織として発足し、学際的なナノ理工学に関する研究活動の一つに束ねてワンストップ型の研究開発体制を

築いていくことをその役割としており、これまでに電気化学的手法から微細加工技術まで、多様なナノ構造創製技術を培ってきている。特に 2015 年度には、前身のナノ理工学研究機構から、バイオ・グリーンテクノロジーをも包含するナノ・ライフ創新研究機構へと発展した。

本プロジェクト研究では、これらの二つの研究機関が融合研究を実施することにより、異分野技術の融合による新しい情報通信デバイスの実現を目指した研究を推進することを目的として進められた。両機関が、若手研究者育成に関しても緊密に連携することにより、グローバル化に対応できる研究能力の高い若手研究者の育成に努めることも目的としている。

本共同プロジェクトを通して、これまで精力的に両研究組織間で共同研究ならびに研究会を開催してきており、研究および人的交流を図ってきた。また両機関の研究者間での研究成果を共著論文として発表してきている。また、通研国際シンポジウムをはじめとして、国際会議や論文誌等において成果発表を行っている。

2020 年 3 月 4 日（水）に、東北大学電気通信研究所において、ナノエレクトロニクスをテーマとした研究会を開催し、同テーマに関する教員の口頭講演、ならびに、学生および博士研究員のポスター発表を行い、両組織間で活発な討論を行う予定で計画を進めていたが、コロナウィルスの猛威の影響を考慮し、今年度の開催を見送ることとした。以下に具体的に計画した内容を報告する。

(口頭講演)

GaN-HEMT における表面準位の時空間ダイナミクス制御

東北大 吹留博一 准教授
ダイヤモンド中の NV センターを用いた量子センシング

早稲田大 川原田洋 教授
半導体中の局在電子分極の局所電場効果

東北大 三森康義 准教授

集束イオンビームを用いたシリコンへのエルビウムと酸素の共注入と室温光通信用発光素子への応用
早稲田大 谷井孝至 教授
培養神経回路の機能制御のためのバイオインタフェース設計技術

東北大 山本英明 准教授
帰還接続を持つ単一神経細胞回路の自発活動パターンの可塑的変調

早稲田大 服部晃平 助手
Izhikevich ニューロンモデルとアナログ CMOS 回路による構成

東北大 佐藤茂雄 教授
Device structure optimization of enhanced highly-sensitive multi-slot sub-wavelength grating (MSBG) sensors on SOI platform

早稲田大 Heinsalu Siim

(ポスター発表)

MOS トランジスタの Er イオン注入と 1.5 μm 帯光励起電流の計測

早稲田大 古瀬遼
2 本針型刺激電極の試作とマイクロパターン上神経細胞回路への 刺激導入に関する実行可能性評価

早稲田大 石田実穂子
マイクロパターン基板表面で培養した単一神経細胞回路の自発活動に関する実験的研究

早稲田大 小熊奏一郎
単一 NV センター規則配列と単一細胞パターンニングを用いた神経細胞回路の自発発火パターンの長期計測に向けて

早稲田大 中村洸介
2 次元 NV アンサンブルのスピン特性とその向上

早稲田大 金久京太郎
超伝導ダイヤモンドを用いた SQUID の作製

早稲田大 高橋泰裕
界面制御されたグラフェン・トランジスタの高周波特性

東北大 鴨川貴優
Self-assembled hybrid lipid membranes with phthalocyanine molecules

東北大 Xingyao Feng
超軟ゲル材料上での神経細胞培養と活動計測

東北大 住拓磨
薄膜型 PDMS マイクロ流路を用いた神経細胞パターンニング

東北大 竹室汰貴
SiC デバイス高性能化に向けた金属-半導体接合形成プロセスに関する研究

東北大 達増健

Izhikevich ニューロンモデルの LSI 実装とその評価
東北大 田村祐樹
結晶構造転換のためのサブナノメートル級 Si 極薄膜形成制御に関する研究

東北大 半澤和也

[3] 成果

(3-1) 研究成果

集束イオンビーム装置を用いたダイヤモンド中の単一カラーセンターの配列形成と単一光子源への応用について、一昨年度に共同研究を開始し、本年度も継続的に共同研究を進めている。昨年度に行ったダイヤモンドへの Si スポット照射では、どのスポット照射部位にも、単一 SiV センターでなく、複数の SiV センターが形成されたことが確認された。単一光子源としての動作には、単一 SiV センターの形成が必要となるため、同ダイヤモンド基板に、照射条件を変えて早大側で Si イオンを注入し、SiV センターを形成した。現在、これを東北大側で計測する実験を進行中である。

昨年度の成果として、マイクロパターン基板上への実神経細胞を素子とする神経回路の構築において、複数の神経細胞からなる神経モジュール間の接続を制御することによって、回路全体の同期性が変化すること、さらに、その同期性にモジュール内の帰還接続が重要な役割を果たしていることを明らかにしたことを挙げられる。この成果を受けて、今年度には、自己帰還接続（オートプス）のみを持つ単一神経細胞回路を形成し、その自発発火パターンを計測する実験を始めた。構成論的に神経細胞回路の自発発火パターンを理解するためには、このように、単一神経細胞レベルでの自発発火パターンの理解が必要になる。東北大側でのホールセルパッチクランプ実験結果と早大側で実行したシミュレーション結果を突合したところ、オートプスのみを持つ単一神経細胞回路の自発発火パターンが大きく 3 種類に分類できること、さらには、その 3 種類の自発発火パターンを、その単一神経細胞の AMPA 電流と NMDA 電流とのバランスによって再現できることが分かった。この成果を現在共著論文として BioSystems 誌に投稿した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまでの継続的に行い、また今年度に成果のあったマイクロパターン基板上での実神経細胞回路の構築について、東北大電気通信研究所が主催する The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, さらには、6 大学

連携プロジェクト（名古屋大学未来材料・システム研究所（主幹）、東北大学金属材料研究所、東京工業大学フロンティア材料研究所、東京医科歯科大学生体材料工学研究所、早稲田大学ナノ・ライフ理工学研究機構、大阪大学接合科学研究所）が主催する The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development にて発表し、固体材料と細胞との界面制御と神経細胞機能との制御および理解を進める当該分野に新しい解析手法を提案する機会を得た。

また、このマイクロパターン基板上での実神経細胞回路の構築については、2020年度より、他大学および国際連携も含めて、東北大ー早大での共同プロジェクト研究Aとして個別に進めることにより、より発展的に共同研究を進めることになった。

[4] 成果資料

(1) K.Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, and T. Tanii.: Contribution of AMPA and NMDA receptors in the spontaneous firing patterns of single neurons in autaptic culture, submitted to BioSystems.

採択番号:H30/SI1

AI 研究と人間科学に関する研究

AI and Human Studies

[1] 組織

研究代表者：

Su-Ling Yeh (National Taiwan University)

通研対応教員：

Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

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 (東北大学電気通信研究所)

Yoshihiko Horio (東北大学電気通信研究所)

Takahiro Hanyu (東北大学電気通信研究所)

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：90人

[2] 研究経過

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 U includes experts in Advanced Acoustic Information Systems, Visual Cognition and Systems, Interactive Content Design, Soft Computing Integrated System, New Paradigm VLSI System.

The two research institutes have co-organized a symposium (The First NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies) on December 23, 2017 in Taipei, Taiwan. It was a public event which attracted more than 100 attendants from academic fields

and the public. From the initial preparation and execution, the two teams have established several possible collaboration research lines as well as joint research plan. The second Tohoku-NTU symposium was held on November 24 and 25, 2018 at RIEC in Sendai and the third one was held on NTU, 2019.

In the symposium on November 24 in 2019, there were twelve talks, a panel discussion and a poster session as below.

Talks Speakers and Title

1. Satoshi Shioiri (Tohoku U)

Relationship between Action and Cognition

2. Li-Chen Fu (NTU)

Entering Aging Era with AI and Robotics

3. Masatoshi Koizumi (Tohoku U)

The Processing of Alternative Word Orders in Seediq: An Event-Related Potential Study

4. Janice Fon (NTU)

Between David and Goliath: On the Effect of Accent and Phonetic Variation on Spoken Word Recognition

5. Shuichi Sakamoto (Tohoku U)

Spatial Characteristics of Auditory Selective Attention in the Presence of Multiple Speech Sounds

6. Jyh-Shing Roger Jang (NTU)

On the Use of Machine Learning for Music Analysis and Retrieval

7. Nobuyuki Sakai (Tohoku U)

Do AIs Dream of Palatable Foods?

8. Yi-Chuan Chen (NTU)

Utilizing Shape Symbolism in the Robot Appearance Design

9. Chia-Huei Tseng (Tohoku U)

Partner Advantage: from Human-Human to Human-Robot

10. Tsung-Ren (Tren) Huang (NTU)

Human-centered AI & Robots

11. Yueh-Hsuan Weng (Tohoku U)

How to Realize AI Transparency for Embodied Intelligent Systems?

12. Yen-Yuan Chen (NTU)

The Comparison of the Statement, Guideline and Code of Professional Ethics and Conduct in AI Proposed by World Medical Association, Ministry of Science and Technology, and Association for the Advancement of AI.

Panel Discussion: How AI Will Impact Human Society – Now and Future

Moderator: Jung-Tsun Huang (NTU),

Panelists: Mitsuyuki Nakao(Tohoku U)

Li-chen Fu (NTU)

Yoshihiko Horio(Tohoku U)

Chien Chung Chen (NTU)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

The two teams have identified the following topics for joint research:

- (1) AI & Social Robotics: We are entering a robot-human co-existing society. The major challenge for robot design nowadays is to develop its social nature so that it could provide a customized experience at institutes (e.g. senior home, hospitals) and households. The design of socially-functional robotics is the next generation manufacture goal.
- (2) AI & Education: Many educational theory and application developments with AI technology are made possible with the progression of hardware and software. The next step is to build on available infrastructure and explore creative and innovative educational approaches for future students and learners. The research group started to discuss the data collection during studying, which include face and body movement as well as examination of learning effect.
- (3) AI & Robots for the Aging Society: Both Taiwan and Japan are entering a super-aging society. Together with the change of demographic profiles, the support and care system developments for ageing society is never more urgent than ever. Our two teams include experts from all fields to further investigate this endeavor.
- (4) Speech and Natural Language Processing: The AI together with big data and cloud provide an opportunity for us to advance our understanding of how human auditory system and language/dialogue system. New insights are

made available by utilising the strength of human study power and engineering talents from the two sides.

- (5) Ethics and Law in AI: The heavy leverage of robotics and AI will accompany new responsibility and challenges from the users, designers, and law-makers. We will form an interest group to discuss the setup of policy and regulations to harness a safe and ethical society with AI and advanced robotics.
- (6) AI & Human Mental Functions Use of machine learning (e.g. DNN) to understand human response-based data set is the possible collaboration direction. The applications in computational neuroscience applications (E.g. fMRI data analysis) will be worth developing.
- (7) Yotta Informatics and AI: Information overloading is a general challenge faced by many communities. We propose new solutions to recruit AI to most effectively and efficiently help systems and individuals to re-structure and re-interpret the information for smart use. The core members inside each research group are identified for further discussion.
- (8) AI & Medical Imagine; The correlations between brain imaging and behavioral results is a combination of the strength and research of two sides.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

The project aims to progress the research in the fields of AI and human sciences through the collaboration of the two organizations. We expect a variety of novel applications of information and robotics technologies with the development and use of AI technologies. It is crucial to understand human in the use for many of these applications, and developments 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] 成果資料

- (1) N. Onizawa, D. Shin, and T. Hanyu, "Fast hardware-based learning algorithm for binarized perceptrons using CMOS invertible logic," *Journal of Applied Logic*, Vol. 6, No. 7, pp. 41-58, Nov. 2019.
- (2) N. Onizawa, R. Arakawa, and T. Hanyu, "Design of an MTJ-based nonvolatile multi-context ternary

- content-addressable memory," *Journal of Applied Logic*, Vol. 6, No. 7, pp. 89-105, Nov. 2019.
- (3) M. Natsui, D. Suzuki, A. Tamakoshi, T. Watanabe, H. Honjo, H. Koike, T. Nasuno, Y. Ma, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, S. Ikeda, H. Ohno, T. Endoh, and T. Hanyu, "A 47.14 μ W 200MHz MOS/MTJ-Hybrid Nonvolatile Microcontroller Unit Embedding STT-MRAM and FPGA for IoT Applications," *IEEE Journal of Solid State Circuits (JSSC)*, Vol. 54, No. 11, pp. 2991-3004, Aug. 2019.
 - (4) T. F. Hung., S. L. Yeh & C., H. Tseng, Partner advantage: from human-human to human-robot. The 3rd NTU-Tohoku U Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies, Taipei, Taiwan., 2019
 - (5) C. J., Yu, T. Y., Huang, L.P. Chen, , H. Y., Bu, L. C., Fu, Y. Kitamura & S. L. Yeh, i-Path: An Intelligent System for Preserving Older Adults' Wisdom. The 3rd, 2019 NTU-Tohoku U Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies, Taipei, Taiwan.
 - (6) C.C. Chen., Y.S. Yeh, & C.W. Tyler, Spatial Summation in Noise.. *Journal of Vision*, 19(9):11,1-13., 2019
 - (7) L.T, Tsai, JY. ang, K.M. Liao & C.C> Chen, Legibility, Assessment of Visual Word Form Symbols for Visual Tests. *Scientific Reports* 9,3338. 2019
 - (8) T. H. Tsai, H.T. Su, Y.C. Hsu, Y.C. Shih, C.C. Chen, F.R. Hu & W.Y.I.Tseng, White matter microstructural alterations in amblyopic adults revealed by diffusion spectrum imaging with systematic tract-based automatic analysis. *British Journal of Ophthalmology*, 103(4), 511-516. 2019
 - (9) M. Harasawa, Y. Sawahata, K. Komine, & S. Shioiri, Effects of content and viewing distance on the preferred size of moving images, *Journal of Vision* 20 (3), 6, 2020
 - (10) C. Tseng, Y.T. Wang, S Shioiri, Interpersonal communication on the Japanese concept `Ma", *Acoustical Science and Technology* 41 (1), 2-5, 2020
 - (11) W. Wu, Y. Hatori, C. Tseng, K. Matsumiya, I. Kuriki, & S. Shioiri, A motion-in-depth model based on inter-ocular velocity to estimate direction in depth, *Vision Research* 172, 11-26, 2020
 - (12) S. Takano, K. Matsumiya, C. Tseng, I. Kuriki, H. Deubel & S. Shioiri, Displacement detection is suppressed by the post-saccadic stimulus, *Scientific Reports* (in press).
 - (13) T Hagiwara, K Takashima, M Fjeld and Y Kitamura, Cam Cutter: Impromptu Vision-Based Cross-Device Application Sharing, *Interacting with Computers*, iwz035, December 2019
 - (14) M Huang, K Fujita, K Takashima, T Tsuchida, H Manabe and Y Kitamura, Shear Sheet: Low-Cost Shear Force Input with Elastic Feedback for Augmenting Touch Interaction, *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS)*, 77-87, November 2019
 - (15) R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, & S. Shioiri, Temporal characteristics of auditory spatial attention on word intelligibility, *Acoustical Science and Technology* 41 (1), 394-395, 2020
 - (16) R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, and S. Shioiri, Directional selectivity of auditory attentional spotlight in complex listening environment, *Proc. The 23rd International Congress on Acoustics*, 5764-5770 (2019).
 - (17) S.E. Chien, C.J.Yu, Y.Y. Lai, J.C. Liu, L.C. Fu (2020). Can older adults' acceptance toward robots be enhanced by observational learning? *HCI International Conference*, Copenhagen, DK, 2020
 - (18) C.J. Yu, S.E. Chien, T.J. Wu, S.L. Yeh & L.C. Fu, Can Older Adults' Acceptance toward Robots Enhanced by Observational Learning? *The 5th Taiwan Computer-Human Interaction Conference*, Taipei, Taiwan, 2019
 - (19) Y.C. Tu, S.E. Chien, Y.Y. Lai, J.C. Liu, & S.L., The uncanny valley revisited: age-related difference and the effect of function type. *The Gerontological Society of America*, Austin, TX, 2019
 - (20) Y.C. Tu, S.E. Chien & S.L. Yeh, S. L. Age-related differences in the uncanny valley effect. *Gerontology*, (In press)
 - (21) A. Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio, and H. Ohno, "Artificial neuron and synapse realized in an antiferromagnet/ferromagnet hetero- structure using dynamics of spin-orbit torque switching," *Advanced Materials*, 1900636, DOI: 10.1002/adma.201900636, 2019.
 - (22) Y. Horio, "A brainmorphic computing hardware paradigm through complex nonlinear dynamics," in *Understanding Complex Systems*, Springer, 36-43, DOI: 10.1007/987-3-030-10892-2_5, 2019.
 - (23) 堀尾喜彦, "ブレインモルフィックコンピューティングと物理デバイスへの期待," *応用物理*, 88(9), 619-623, 2019.

第 5 章 シンポジウム・国際会議等

5. 1 通研国際シンポジウム

第12回ミリ波グローバルシンポジウム

12th Global Symposium on Millimeter Waves 2019 (GSMM 2019)

開催日：2019年5月22日（水曜日）～24日（金曜日）（3日間）

開催場所：東北大学 片平さくらホール

参加人数：78名（うち外国人参加者人数30名）

ミリ波国際シンポジウム(GSMM)は、主として将来の情報通信分野への応用が期待される最先端の高周波技術に関する国際会議である。世界から広く論文を募集して技術交流し、情報通信に不可欠となった高周波や無線に関して互いに技術を高めることを目的として、2008年に中国で開催されて以降、世界各国（日本、米国、フィンランド、中国、韓国、カナダ）にて、毎年開催されてきており、これまで日本では、2009年、2013年に開催され今回が3回目となった。

参加者数はアジアを中心に米国、ヨーロッパ各国、ロシアなど世界15カ国から78名を数えた。1日目は3つのワークショップを開催し、ミリ波デバイスについてのレクチャーや、最先端無線通信技術が多用された第5世代携帯電話についてキャリアの方によるレクチャーが開かれた。2日目には東北大学の水野名誉教授のマイクロ波の根幹を担う技術の基調講演などが行われ、また、2・3日目は2セッション併設にて合計12のテクニカルセッションが設けられ、各セッションで活発な議論がなされ盛況であった。

開催には、多くの通研教員・学生が企画運営に携わるとともに、皆様から多くの支援を賜り、成功裏に開催することができた。

会議概要

ミリ波、マイクロ波の無線通信への利用だけでなく、レーダーやセンシング、イメージャーなど幅広いセッションを設定し、また、八木・宇田アンテナ誕生の地である東北大学の強みを活かして、アンテナなどのセッションも設定された。

- (1) 開催内容：3ワークショップ、3基調講演、12オーラルセッション：発表論文数49件
- (2) 参加国：日本、中国、台湾、韓国、インドネシア、フィンランド、アメリカ、インド、ブラジル、パキスタン、イラン、マレーシア、スウェーデン、シンガポール、ドイツ 計15カ国



GSMm2019 会議風景

第 16 回最新情報通信技術に関する 国際ワークショップ The 16th International Workshop on Emerging ICT

開催日：令和元年 10 月 31 日（木）～11 月 2 日（土）

開催場所：工学研究科 電気情報システム・応物系 101 講義室

参加人数：47 名（うち外国人参加者 30 名）

本会議は、情報通信技術を中心に、エレクトロニクスも含めた幅広い内容に関して議論を行う国際ワークショップであり、東北大学と韓国の嶺南大学校、中国の大連理工大学の 3 大学で開催されている。今回で第 16 回目を迎える。

キーノート講演として、工学研究科の西山大樹教授による“Relay by Smart Device for Disaster Response”、大連理工大学の Gong Xiaofeng 教授による“Joint Blind Source Separation Based on Coupled Tensor Decomposition” および嶺南大学校の Wooguil Pak 教授による“Machine learning based security systems”の 3 件の講演があった。一般講演として、オーラルセッションとポスターセッションを含め 18 件の講演があった。講演のテーマは、無線通信や光通信などの通信技術だけでなく、機械学習、パワーエレクトロニクス、自動計測など多岐にわたった。本会議は、上記 3 大学で長く続いている交流を一層深める貴重な機会となった。



第17回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ 17th RIEC International Workshop on Spintronics

開催日：令和元年12月3日（火曜日）～6日（金曜日）（4日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：125名（うち外国人参加者人数32人）

本ワークショップは2005年に第1回が開催されて以来、ほぼ年1回のペースで回を重ね、今回で17回目の開催となった。今回は、我が国をはじめとして、ドイツ、スウェーデン、シンガポール、ポーランド、英国、スイス、フランス、米国、チェコからの招待講演者による28件の招待講演に加え、35件のポスター発表がなされた。また今回も前年と同様に日本学術振興会「研究拠点形成事業（Core-to-Core Program）」のワークショップと連名での開催とした。合計参加者は125名を数え、スピントロニクス分野における最新のトピックスに関して活発な議論がなされた。

今回のワークショップでは、主にスピントロニクスを用いた新概念情報処理、反強磁性スピントロニクス、スピンオービトロニクスというここ進展のスピントロニクス分野で注目度が高い3つのトピックスに焦点を当て、最先端の研究を行っている世界各国の研究者を招待講演者として招いた。加えて、スピントロニクスを用いた新概念情報処理との関連性から、ニューロコンピューティング、量子コンピューティングの分野で活躍する国内の研究者も特別講師として招待し、チュートリアル講演をしていただいた。いずれのトピックも聴衆との間で活発な議論がなされ、今後のスピントロニクス研究の更なる発展の可能性を感じることができた。ポスター発表では本学の学生も発表を行い、世界の一流研究者に対して自分の研究内容を伝え議論することで、今後の研究を進めていくための良い示唆と大きな刺激が得られたものと思う。



ナノ・スピン実験施設 カンファレンスルームにて

ヒューマンコンピュータインタラクション に関する国際シンポジウム

RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction

開催日：2020年1月24日・25日（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 大会議室

参加人数：90名

東北大学電気通信研究所で、RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction と題してシンポジウムを開催した。二日間にわたり、米国、英国、シンガポールなどから国際的に活躍している有名な研究者12名に集ってもらい、講演をしてもらった。

人と情報システムの相互作用について、情報科学、認知科学、心理学、デザイン学等、多岐に渡る分野の研究者や技術者、学生等が世界中から集まり議論する学際的な場として、ACM SIGCHI が主催する国際会議 CHI は、この分野で最大かつ最も権威がある国際会議として1982年から毎年開催されてきた。これまで北米と欧州を中心に開催されてきたが、2021年5月には初めて日本で開催される。そして CHI 2021 には世界50か国から4000人以上が参加し、これまでで最大の CHI になると予想されています。またプログラム等の内容もそれに見合うように充実させ、皆さんの記憶に長く残る CHI とすることが期待されている。そこで本シンポジウムではこの機会に、CHI 2021 の Committee を務めるキーメンバーを中心に国際的に活躍中の皆さんに集ってもらい、人と情報システムの相互作用や Human Computer Interaction と呼ばれる分野の未来を、日本を含めて8か国から集まった約90名の参加者の皆さんと共に考えてみる良い機会となった。



RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction
– Welcome CHI 2021, thinking of the future of HCI together –
January 24 & 25, 2020, Tohoku University, Sendai, Japan

第8回 脳機能と脳型計算機に関する 通研国際シンポジウム

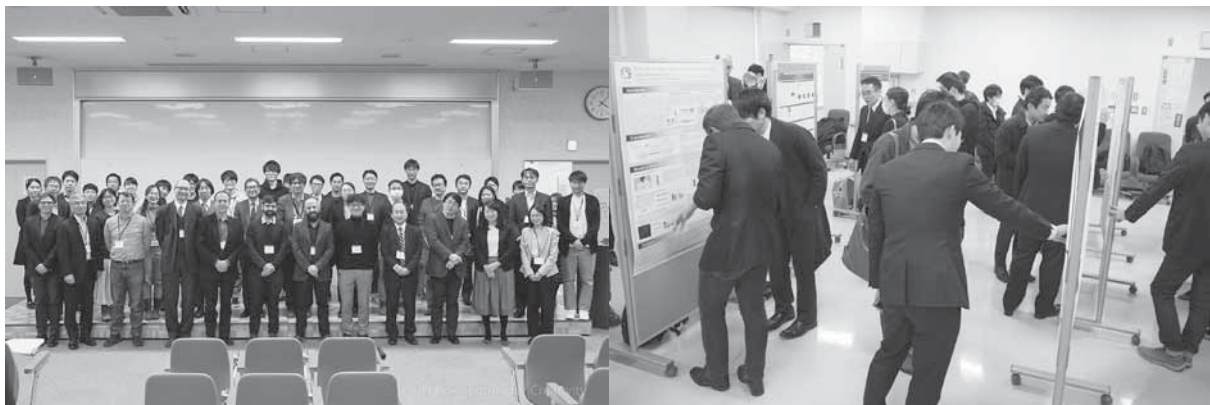
The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

開催日：令和2年2月13日（木曜日）～15日（土曜日）（3日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：82名（うち外国人参加者人数8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。今回が八回目であり、令和2年2月13日～15日の3日間に渡って開催された。スペイン、スウェーデン、フランス、カナダ、韓国、台湾の6か国から8名の海外招待講演者を迎え、27件の口頭発表、20件のポスター発表、1件のパネルディスカッションが行われた。今回は東北大学知のフォーラムとの共催で開催し、神経科学、数理モデル、ハードウェア等の理系研究者だけでなく、哲学や法学などの文系研究者、あるいは企業の方にも多数ご参加いただき、人工知能のあり方についても総合的に議論した。分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われ、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。



第8回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムの様子

5. 2 国際会議等の開催状況

第 8 回半導体界面制御国際シンポジウム & 第 13 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス 国際ワークショップ

8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) &
13th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開催日：令和元年 11 月 27 日（水曜日）～30 日（土曜日）（4 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：76 名

本国際会議・国際ワークショップは、半導体界面制御や新IV族半導体材料のプロセス技術・ナノデバイス応用の幅広い研究分野における包括的な議論を目的に、日本学術振興会半導体界面制御技術第 154 委員会と本研究所の共同プロジェクト研究 H30/A10「高性能 IV 族半導体量子ナノデバイスのための低エネルギープラズマプロセスの開発」と H29/A08「新 IV 族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究」のメンバーが中心となって企画した。その活動の一部は、本ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業の一環でもあり、Local Arrangement 委員として櫻庭政夫准教授が参加した。日本の他、ドイツ、中国、イタリア、台湾、英国、ベルギー、シンガポール、インドネシアの全 9 か国の各国拠点の発表を含む Keynote 講演 2 件、招待講演 22 件、一般口頭発表 20 件、ポスター発表 21 件の総数 65 件の講演が行われ、活発な討論が行われた。世界の半導体産業の活性化のためにも、本国際会議・国際ワークショップの開催は重要であり、今後、世界規模での研究連携のきっかけとなることにより、本学問分野が大きく展開すると期待される。

5. 3 工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研究会名	主査	幹事
1	伝送工学研究会	松浦 祐司 教授	松浦 祐司 教授
2	音響工学研究会	伊藤 彰則 教授	能勢 隆 准教授 坂本 修一 教授
3	仙台“プラズマフォーラム”	安藤 晃 教授	金子 俊郎 教授
4	EMC仙台ゼミナール	曾根 秀昭 教授	山口 正洋 教授
5	コンピュータサイエンス研究会	住井英二郎教授	松田 一孝 准教授
6	システム制御研究会	吉澤 誠 教授	杉田 典大 准教授
7	情報バイオエレクトロニクス研究会	平野 愛弓 教授	平野 愛弓 教授
8	スピニクス研究会	山口 正洋 教授	小川 智之 准教授 トットロイ 助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	張山 昌論 教授	夏井 雅典 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	金井 浩 教授	荒川 元孝 准教授
11	ブレインウェア工学研究会	石黒 章夫 教授	加納 剛史 准教授
12	情報・数物研究会	田中 和之 教授	大関 真之 准教授 奥山 真佳 助教
13	生体・生命工学研究会	塩入 諭 教授	大林 武 准教授 羽鳥 康裕 助教
14	ナノ・スピン工学研究会	佐藤 茂雄 教授	深見 俊輔 教授

伝送工学研究会

主査・幹事 松浦 祐司

【会の目的】

電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的とする

【令和元年の活動概要】

研究会開催

第607回

日時： 2019年5月21日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演

- 607-1. 2次元漏れ波伝送路給電パッチアンテナアレーに関する研究
○目黒巧巳1、陳強1、澤谷邦男1、根岸毅人2、平野義明2
(1東北大学大学院工学研究科、2帝人株式会社)
- 607-2. 誘電体内装によるテラヘルツ波伝送用中空光ファイバの低損失化
○柴田諒介1、片桐崇史2、松浦祐司1
(1東北大学大学院工学研究科、2富山大学)
- 607-3. Dynamic multi-beam control using switched feed with shared reflectarray aperture
○Sen Liu and Qiang Chen
(Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.)

参加人数 47名

第608回

日時： 2019年6月18日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演

- 608-1. 近赤外光を用いた口腔粘膜水分非接触測定システム
○菅原慎太郎、松浦祐司
(東北大学大学院医工学研究科)
- 608-2. 離散波長量子カスケードレーザを用いた非侵襲血糖測定システムの精度改善
○小山卓耶1、木野彩子2、松浦祐司2
(1東北大学大学院工学研究科、2東北大学大学院医工学研究科)
- 608-3. スラブ導波路による光入出力機構に関する研究
○黄 凱、山田博仁
(東北大学大学院工学研究科)

参加人数 46名

第609回

日時： 2019年7月16日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電子情報システム・応物系1号館2階大会議室

一般講演

- 609-1. 85 kHz帯における人体等価液剤ファントム内電界測定用光変調プローブの実験的検討
○南雲 裕¹, 今野 佳祐¹, 陳 強¹, ジェドヴィスノブ チャカロタイ², 和気 加奈子², 渡辺 聡一²
(¹東北大学大学院工学研究科, ²情報通信研究機構)
- 609-2. マイクロストリップラインによる機械制御型誘電体移相器の設計
○長江眞平¹, 佐藤弘康¹, 陳強¹, 加賀谷修², 佐山稔貴²
(¹東北大学大学院工学研究科, ² AGC株式会社)
- 609-3. 統一電源プラグ・システムの動作安定化に関する検討
○大木一史, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
- 609-4. Design of MIMO Antenna Array for GB-SAR Imaging System.
○Anwer S. Abd El-Hameed and Motoyuki Sato (Tohoku University)
- 609-5. Antenna Design of a Passive Cooperative Target for Concrete Temperature Monitoring
○Jiyu Guo, Weike Feng, and Motoyuki Sato (Tohoku University)

参加人数 48名

第610回

日時： 2019年9月17日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

特別講演

- 610-1 Scalable nano-fabrication via engineering the interplay between viscosity, surface tension and microstructure
Dr. Fabien Sorin (Photonic Materials and Fiber Devices Laboratory, Institute of Materials, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)
- 610-2 AIによる電気機器の機種及び動作モード判別に関する研究
○古澤尚弥¹, 山田博仁^{1,2}
(¹東北大学大学院工学研究科, ²東北大学電気通信研究機構)
- 610-3 義歯内蔵式UHF帯RFIDタグアンテナの設計
○シュー ジュンイ¹, 佐藤 弘康¹, 本良 瑞樹², 末松 憲治², 安井一仁³, 陳 強¹
(¹東北大学大学院工学研究科, ²東北大学電気通信研究所, ³有限会社コスモテックス)

参加人数 46名

第611回

日時： 2019年10月15日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演

611-1 波長掃引量子カスケードレーザを用いた中赤外ATR分光システムによる血糖測定の検討

○柴田尚登¹, 木野彩子¹, 杉山厚志², 秋草直大², 松浦祐司¹
(¹東北大学大学院医工学研究科、²浜松ホトニクス)

611-2 導波管漏れ波集光アンテナに関する研究

○橋本卓也, 佐藤弘康, 陳強
(東北大学大学院工学研究科)

611-3 Estimation of Current Distribution by Artificial Neural Network and Eigenmode Currents

○Wang Xin, Keisuke Konno, Chen Qiang
(Graduate School of Engineering, Tohoku University)

参加人数 47名

第612回

日時： 2019年11月19日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

特別講演

612-1 八木・宇田アンテナと東北大学名誉教授・宇田新太郎先生
佐藤 源貞 (アンテナ技研(株)創業者・名誉会長：通信工学科昭和22年卒)

612-2 ミリ波技術開発と渡辺寧先生の大恩
石井宗典 (元日立電子(株)取締役・副会長：通信工学科昭和27年卒)

612-3 テレビ局における映像伝送の電波利用について
浦山靖博 (宮城テレビ放送 総務局)

参加人数 69名

第613回

日時： 2019年12月17日(火) 15:00～

場所： 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演

613-1 光源変調によるRGB-D画像取得に関する研究
○斎藤尚生, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)

613-2 SOIスラブ光導波路への光入出力構造に関する研究
○張祥慶, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)

613-3 スペックル照明用光ファイバプローブを用いた蛍光分光内視鏡
○大久保亨一¹, 片桐崇史², 松浦祐司¹
(¹東北大学大学院工学研究科、²富山大学大学院学術研究部工学系)

613-4 実環境のグリーン関数の抽出とそのモーメント法への応用
 ○中村拓真, 今野佳祐, 陳強 (東北大学大学院工学研究科)
 参加人数 46名

第614回

日時: 2020年1月16日(火) 15:00～
 場所: 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演

614-1 SOIスラブ光導波路によるリング共振器に関する研究
 ○劉 佳文, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
 614-2 電磁石を用いたレフレクトアレイアンテナの基礎研究
 ○小林頌, 今野佳祐, 陳強 (東北大学大学院工学研究科)
 613-3 体表部の中赤外ATR測定による血中脂質の無侵襲分析
 ○木野彩子1, 小西格司2, 松浦祐司1
 (1.東北大学大学院医工学研究科, 2. 東北大学大学院工学研究科)
 参加人数 44名

第615回

日時: 2020年2月18日(火) 15:00～
 場所: 東北大学 青葉山 電気・情報系1号館2階大会議室

一般講演

615-1 利得スイッチ半導体レーザーの注入同期動作に基づく時間幅可変
 の狭帯域ナノ秒光パルスの生成
 ○鄒何傑, 山田博仁, 横山弘之 (東北大学大学院工学研究科)
 615-2 SOIスラブ光導波路による導波路交差に関する研究
 ○郭 嘉梁, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
 615-3 動画像による移動物体の空間認識
 ○中野孝, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
 615-4 アレイアンテナの相関係数の基礎検討
 ○田口裕城1, 今野佳祐2, 陳 強2
 (1.東北大学工学部電気情報物理工学科, 2. 東北大学大学院工学研
 究科)
 参加人数 41名

以上

音響工学研究会

主査 伊藤 彰則、 幹事 能勢 隆、坂本 修一

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、デジタル補聴器、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。

2019年度は、主査伊藤彰則教授、幹事坂本修一教授、能勢隆准教授のもとで、研究会3回（第377回、第379回、第380回）と通研講演会1回が開催された。会場は、第377回が電子情報システム・応物系1号館2A講義室、第379回が電子情報システム・応物系1号館2階大会議室、第380回が電子情報システム・応物系南講義棟103講義室、通研講演会は電子情報システム・応物系南講義棟103講義室であった。なお、第378回は電子情報通信学会HIP研究会、日本認知心理学会感性学研究部会、日本心理学会注意と認知研究会との共催で、第379回は超音波エレクトロニクス研究会と共催で開催された。第377回は2019年9月27日（金）に開催され、研究発表5件、参加者は23名であった。第379回は2020年1月9日（木）に開催され、研究発表4件、参加者は58名であった。第380回は2020年3月2日（月）に開催され、研究発表4件、参加者は21名であった。通研講演会は、2019年10月23日（水）に長谷川創氏（富士通株式会社 AI サービス部）による「Generative Adversarial Networks とその応用について」という題で開催され、参加者は22名であった。

仙台 “プラズマフォーラム”

主査 安藤 晃、 幹事 金子 俊郎

本研究会は、低温プラズマから高温核融合プラズマ，低気圧から大気圧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応用，特に薄膜形成，プラズマプロセス，プラズマ医療・ナノ・バイオ応用，電気推進機，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。

令和元年度の活動として，学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用，計測に関する「研究討論会」を4回開催した。また，大学院生による大気圧プラズマ照射を用いた医療応用，低温プラズマによるナノ材料の創製・構造制御に関する研究，核融合プラズマ加熱のための高周波水素負イオン源開発，磁気ノズルや高周波を利用した次世代電気推進機開発，プラズマアクチュエータ，高周波プラズマの生成・制御，半導体プロセスへの応用に関わる研究発表会を2回開催した。国内，国外研究者によるプラズマ乱流，イオンビーム源開発，プラズマ推進機開発，核融合プラズマ輸送，カーボンナノ材料の創製と評価，プラズマナノバイオ技術を用いた医療・農業応用，宇宙プラズマ・プラズマ流の基礎と応用に関する研究会を計3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 曾根 秀昭、 幹事 山口 正洋

EMC（環境電磁工学）は、電磁ノイズと信号の電磁干渉（EMI）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり、電気・情報工学分野の研究者と技術者は関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない1977年2月に、EMCにいかに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。

令和元年度に本研究会の開催は3回あり、第208回（10月24日）の共催講演会で嶺岸茂樹氏（東北学院大学）と江川隆輔氏（東北大学）による講演、第209回（11月8日）の通研講演会で藤井勝巳氏（情報通信研究機構）と戸花照雄氏（秋田県立大学）による講演、第210回（2月20日）の学生研究発表会で10件（奈良先端大、東北大、東北学院大、秋田県立大）の研究発表があった。

コンピュータサイエンス研究会

主査 住井 英二郎、 幹事 松田 一孝

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。2019年度は第178回講演会から第179回講演会まで2回の講演会を開催した。吉田 展子氏（Imperial College London）は「Behavioural Type-based Static Verification Framework for Go」というタイトルで講演を行った（2019年8月1日）。Jeremy Gibbons氏（Oxford University）は「String Diagrams for Optics」というタイトルで講演を行った（2020年3月16日）。本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査 吉澤 誠、 幹事 杉田 典大

本研究会は、システム制御における理論から応用に至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106回

神奈川工科大学創造工学部

准教授 山崎 洋一 氏

演題：雰囲気を感じて笑顔をもたらすスマイルリビング・スマイルロボット

情報バイオエレクトロニクス研究会

主査・幹事 平野 愛弓

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1件開催した。

The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

令和2年2月13-15日開催 J. Madrenas (Tech. Univ. Catalunya, Spain), P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden), C.-C. Chen (Natl. Taiwan Univ., Taiwan), H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan), Y. Horio (Tohoku Univ., Japan), S. Sato (Tohoku Univ., Japan) 他

スピニクス研究会

主査 山口 正洋、 幹事 小川 智之、トン タット ロイ

スピニクス研究会は、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を創成するために、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と討論の場として1990年に発足した。本研究会は、最新の話題に関する招待講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした一般公募による特別研究会を行っている。本年度はIEEE Magnetics Society Sendai/Sapporo Joint Chapter、および、IEEE Sendai Sectionとの共催・協賛による計4回の研究会を開催した。

第1回は、2019年のIEEE Magnetics Society Distinguished Lecturer (DL)であるSevilla University, Victorino Franco教授による講演会を開催した。第2回は、IEEE Magnetics Society Distinguished Lecturer (DL)であるUniversity of South Florida, Hari Srikanth教授による講演会を開催した。第3回は、東北大学トン タット ロイ助教と東北大学Nguyen Thi Van Anh助教、および、慶應義塾大学山野井 一人助教の3名による講演会を開催した。第4回は、2日間にわたり一般講演と特別講演の合計18件で構成する特別研究会を日本大学工学部郡山キャンパスで開催を計画していたが、直前の台風19号の影響で会場が甚大な被害を受け開催が困難となり中止となった。なお、本研究会の講演予稿を参加者に配信することで公知扱いとした。

本年度の運営は、主査：山口正洋教授（電気）、幹事：小川智之准教授（電子）、トン タット ロイ助教（電気）、企画幹事：薮上 信教授（電気）、Simon Greaves准教授（通研）、遠藤 恭准教授（電気）、菊池伸明助教（多元研）で行った。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査 張山 昌論、 幹事 夏井 雅典

本研究会は、従来の延長上に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、2019年度は以下の2回を開催した。

第110回 2019年10月30日（木）電気通信研究所
研究発表12件

第111回 2019年11月23日（土）法政大学市ヶ谷キャンパス
研究発表2件

演題：パナソニックで歩んだ平成時代

講演者：関部 勉（パナソニック（株））

演題：ハードウェアセキュリティ技術とその展望

講演者：本間 尚文（東北大学 電気通信研究所）

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

目的：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，医用超音波に関する研究発表・討論を行う。

第96回

日時 2019年9月25日(水) 10:30～17:15

会場 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 南講義棟103

電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会，

日本超音波医学会 光超音波画像研究会，

レーザー学会 光音響イメージング技術専門委員会と共催

1. 「高周波数アニュラアレイセンサによる被写界深度の拡大」

◎藤井佳祐¹，佐藤 泰¹，菅野尚哉¹，新楯 諒¹，小林和人²，吉澤 晋¹，
梅村晋一郎¹，西條芳文¹

(¹東北大学，²本多電子)

2. 「2D Matrix Arrayトランスデューサを用いた任意の断面の血流推定」

◎菅野尚哉，池田隼人，安齋快人，西條芳文

(東北大学)

3. 「高効率な音響力学治療のための超音波照射シーケンスの開発

ー様々な超音波照射シーケンスにおける活性酸素種生成量のソノケミ
ルミネセンスを用いた検討ー」

◎塚原健生，梅村晋一郎，吉澤 晋

(東北大学)

4. 「超音波の板波による鋼板上の水深測定方法」

◎木村友則¹，坂本明弘²，須田一成³

(¹三菱電機，²菱電湘南エレクトロニクス，³東京電力パワーグリッド)

5. 「磁気動力超音波イメージングによる磁性体含有生体ファントムの歪み推定」

◎佐藤 泰，菅野尚哉，レベッカ アン プラント，池田隼人，安齋快人，
佐藤 蒼，西條芳文

(東北大学)

6. 「高時間分解能超音波計測による腹部大動脈の脈波伝搬イメージング」

◎茂澄倫也，長岡 亮，長谷川英之

(富山大学)

7. 「半球型アレイトランスデューサーを用いた3次元光音響イメージングにおける1方向垂直照射と4方向傾斜照射の比較検討」

◎森野太介¹, 新楯 諒¹, 長岡 亮², 吉澤 晋¹, 梅村晋一郎¹・西條芳文¹
(¹東北大学, ²富山大学)

8. 「光音響イメージング技術を用いた関節炎定量評価のための基礎的検討」

◎小川晃平, 浪田 健, 近藤健悟, 山川 誠, 椎名 毅
(京都大学)

9. 「CCDカメラを用いた音場計測による光音響信号の再構成に関する基礎的検討」

◎金川まりあ, 近藤健悟, 浪田 健, 山川 誠, 椎名 毅
(京都大学)

10. 「光音響イメージングによる皮膚組織性状の評価法に関する研究」

◎服部弘毅, 浪田 健, 近藤健悟, 山川 誠, 椎名 毅
(京都大学)

11. 「ハンドヘルド型光音響イメージング装置による頸動脈脂質性プラークの検出」

◎塩谷一馬, 浪田 健, 近藤健悟, 山川 誠, 椎名 毅
(京都大学)

12. 「超音波計測による頸動脈内腔表面粗さ推定の精度向上 ～ 血管の拍動成分除去法に関する検討 ～」

◎阿部貴久, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩
(東北大学)

第97回

日時：2019年11月14日(木) 14:40～18:10

会場：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1号館2F 大会議室

演題：

1. 「超音波の位相を用いた心臓壁における微小速度推定法の高精度化」

◎小原 優¹, 森 翔平², 荒川元孝^{1,2}, 金井 浩^{2,1}

(¹東北大学大学院医工学研究科, ²東北大学大学院工学研究科)

2. 「開口分割HIFU照射法による焦点領域外キャビテーション気泡の低減と超音波加熱への影響」

◎田中結衣¹, 梅村晋一郎¹, 吉澤 晋²

(¹東北大学大学院医工学研究科, ²東北大学大学院工学研究科)

3. 「双方向超音波加振による異方性粘弾性体ファントムの粘弾性計測」

◎川村 響¹, 森 翔平¹, 荒川元孝^{2,1}, 金井 浩^{1,2}

(¹東北大学大学院工学研究科, ²東北大学大学院医工学研究科)

4. 「血管内腔の減衰特性を考慮した超音波後方散乱特性解析による赤血球集合度評価法の検討」

◎永澤幹太¹, 深瀬晶予¹, 森 翔平², 荒川元孝^{1,2}, 八代 諭³, 石垣 泰³, 金井 浩^{2,1}

(¹東北大学大学院医工学研究科, ²東北大学大学院工学研究科, ³岩手医科大学内科学講座)

5. 「単一超音波プローブを用いた血圧と血管径の同時計測による橈骨動脈壁の粘弾性推定」

◎斎藤拓海¹, 森 翔平², 荒川元孝^{1,2}, 大庭茂男², 小林和人³, 金井 浩^{2,1}

(¹東北大学大学院医工学研究科, ²東北大学大学院工学研究科, ³本多電子株式会社研究開発部)

第98回

日時 : 2020年1月9日 (木) 14:40~16:40

会場 : 東北大学工学研究科電子情報システム・応物系 1号館2F 大会議室
音響工学研究会と共催

演題 :

1. 「スペクトログラムを用いたCycleGANに基づく声質変換」

◎金垣葵、田中雅也、能勢隆、清水遼平、伊藤燦、伊藤彰則
(東北大学 工学部電気情報物理工学科)

2. 「スペクトル誤差最小分析法による音声パラメータ抽出に関する検討」

◎早坂琢真、能勢隆、伊藤彰則
(東北大学 大学院工学研究科)

3. 「高速超音波撮像による排尿流イメージングの研究」

◎石井琢郎
(東北大学 学際科学フロンティア研究所)

ブレインウェア工学研究会

主査 石黒 章夫、 幹事 加納 剛史

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は第一回を令和元年7月2日、第二回を令和元年10月30日、第三回を令和元年12月18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：「自律分散制御の視座から紐解く首長竜の遊泳様式」福原 洸（東北大）、「拡張Lorenz写像に基づく疑似乱数生成器におけるLUT設計法の検討」堀尾 喜彦（東北大）、「FPGAの不揮発化とその展望」鈴木 大輔（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12件、第三回：「構成的手法による昆虫嗅覚ナビゲーション戦略の理解」志垣俊介（大阪大学基礎工学研究科助教）、「On a Neuron-inspired Internet of Things」Ferdinand Peper（国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）、脳情報融合研究センター（CiNet）、脳情報工学研究室、副室長）、「CMOSインバータベースのLSI回路設計」中村和之（九州工業大学 マイクロ化総合技術センター）。以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査 田中 和之、 幹事 大関 真之、奥山 真佳

情報・数物研究会は、確率的情報処理・統計的学習理論・情報通信理論とその情報統計力学的アプローチに関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計4回の講演会を開催した。

講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：奥山真佳氏（東北大学大学院情報科学研究科）“最適制御理論が平均場量子スピン系を厳密に解く”、越川亜美氏（東北大学大学院情報科学研究科）“イジングマシンを用いた組合せブラックボックス最適化”、高橋惇氏（中国科学院）“多段階の対称性の破れに伴う秩序変数のグラフ理論的構成”。

生体・生命工学会

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。以下に令和元年の活動概要を示す。

第34回は令和元年12月9日（月）16：15から17：15まで東北大学電気通信研究所本館M331講義室にて開催され、筑波大学の手塚太郎先生の「神経スパイク系列における距離と正定値カーネル」と題し、時系列データの解析手法に関する特別講演が行われた。またこれに先立ち、15：00から16：00まで一般講演3件と参加者交流時間を設け活発な討論が行われた。参加者は24名であった。今回も広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。

ナノ・スピン工学研究会

主査 佐藤 茂雄、 幹事 深見 俊輔

21世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。令和元年度は以下のように計5回の研究会を実施した。

第109回 令和元年8月21日 13:30 - 16:45、 “超電導テラヘルツデバイス”
陳 健 (中国・南京大学超電導電子工学研究所, 教授)

第110回 令和元年12月11日 13:30 - 15:00、 “New Mechanisms for Spin-Orbit Torques,” Mark Stiles (米国・National Institute of Standards and Technology (NIST))

第111回 令和元年12月23日13:00-18:00、12月24日9:00-12:45、 「低周波テラヘルツ非線形量子カスケードレーザほか」 藤田一上・林昌平・伊藤昭生・日高正洋・道垣内達夫 (浜松ホトニクス) ほか

5. 4 通研講演会

Generative Adversarial Networks とその応用について

富士通株式会社 AI サービス部

長谷川 創 氏

開催日：2019年10月23日（水）

開催場所：東北大学電子情報システム・応物系 南講義棟 103 講義室

深層学習は今や機械学習の中心分野であり、音声・画像・言語など様々な領域にて大きな成功を収めている。その中でも近年、敵対的学習（Generative Adversarial Network, GAN）と呼ばれる技術はこれまで困難だった高精細な画像や音声特徴量パターンの生成を可能にするなど、大きな注目を集めている。今回の講演者は富士通株式会社にて画像や音声分野を中心に、機械学習・深層学習を用いた信号処理について深い造詣を持ち、多くのアプリケーションを開発した実績がある。ご講演では、GAN の基礎的な部分と応用、特に画像処理や音声処理といった分野にどのように適用されてきたかについて、基本からわかりやすく説明がなされ、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。また GAN を用いた応用例について、実際の画像や音声のサンプルを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、参加者の深層学習への理解と興味の大きな向上へとつながった。

プリント回路の伝送線路とその電磁界特性

秋田県立大学 准教授 戸花 照雄

開催日：令和元年11月8日（金曜日）15：30～17：00

開催場所：東北大学サイバーサイエンスセンター 大会議室

参加人数：15名

電子機器のEMC/EMI問題を考える上で、電子機器内部のプリント回路の電磁界を考慮することが有効である。本講演では、プリント回路を構成するLSIや回路素子を接続するために必要なさまざまな伝送線路に着目して、その回路の内部の電界と磁界分布について示し、ループプローブを用いた回路近傍の磁界分布の測定方法について解説した。また、高周波回路において電気回路を使用するときの問題点と、分布定数回路と電磁気学の関係について説明し、不要電磁波放射を推定するために近傍電界を利用する方法について解説した。

本講演は、IEEE EMC Sendai ChapterとColloquiumの共催として開催し、地域の大学・企業の会員と学生など15名が参加して、講演に続いて熱心な質問応答が行われた。

交換結合磁界の時間依存性

日本大学・工学部 教授 遠藤 拓

開催日：令和元年10月15日（火曜日）17:00～17:45

開催場所：日本大学 工学部 54号館1階 5412教室

参加人数：30名（事前登録者数）

スピントロニクス分野において、交換結合膜は重要な要素の一つである。交換結合磁界を向上させるには、基板加熱やアニールなどの熱処理が効果的である。そのため、薄膜形成後、間を置かず熱処理させることが一般的である。本講演では、熱処理前の薄膜を大気中で放置した結果、交換結合磁界が上昇していくという不思議な現象を観測したことが報告された。なお、本講演会は、直前の台風19号の影響で会場が甚大な被害を受け開催が困難となり中止となり、講演予稿を参加者に配信することで公知扱いとした。

ボルツマンマシンによる神経細胞集団の 有効な非対称結合推定

東京工業大学情報理工学院 小淵 智之

開催日：令和元年11月6日（水）午後4:20～5:50

開催場所：情報科学研究科棟2階中講義室

参加者数：28名

令和元年11月6日に標記講演会を開催した。複数の素子からなるネットワークを成していると見なすことの出来る系は、科学・工学の世界にありふれている。素子の動作がある種のイベントの生起（例：神経細胞の発火/非発火、株価の上下、地震の発生など）と対応する場合、ボルツマンマシン（or ロジスティック回帰）によって、比較的 naturally モデル化することができる。本講演では、実際の時系列データをボルツマンマシンでモデル化する際に普遍的に現れるいくつかの技術的問題に焦点をあて、それを情報理論・計算統計の考え方に従って、系統的・効率的に解決した研究成果が紹介された。本講演会では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。

神経スパイク系列における距離と正定値カーネル

筑波大学図書館情報メディア系 准教授 手塚 太郎

開催日：令和元年12月9日（月） 16：15～17：15

開催場所：東北大学電気通信研究所 3階 M331会議室

参加人数：24名

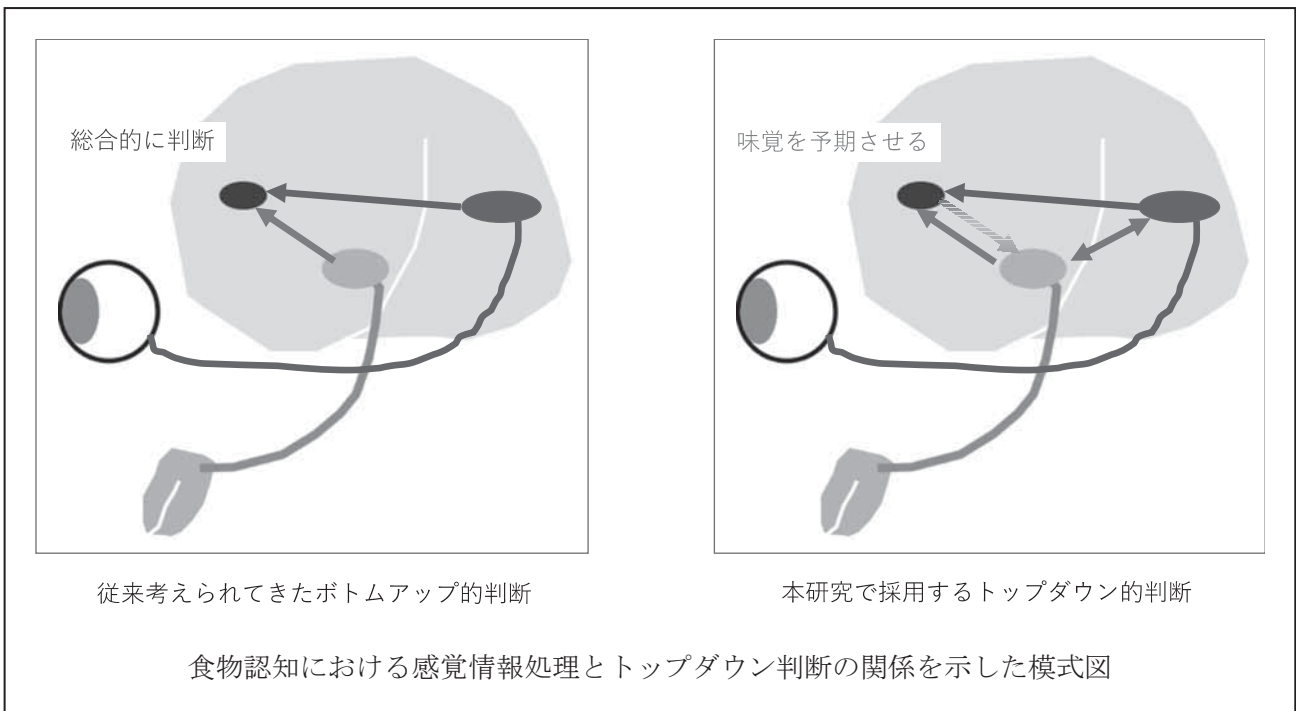
本講演では代表的なスパイク系列距離、ならびにその多チャネル拡張について述べる。また、距離と並び、スパイク系列間の類似度を測る別のアプローチとして正定値カーネルを用いた方法がある。多変量解析はベクトル形式のデータに対してしか使用できないが、スパイク系列のようにベクトルとして表現することが適切でないデータに対しても正定値カーネルは定義でき、これによって多変量解析の非線形拡張であるガウス過程回帰が可能になる。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、生物学系の広範な分野からご来聴を頂き、活発な議論がなされた。

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。

<2019年度の主な成果>

2019年度は、以下の成果を得た。

1. 食物の知覚における認知機能の役割

柿の種を食べている時の食感の言語評価が、柿の種の評価にどのように関わるかということについて、官能評価学の方法を用いて明らかにした。また、食物のおいしさ評価におけるうま味の役割には生後経験に基づく学習が強く影響していることを報告した。さらに、食物のおいしさ評価には食物に含まれる要素の認知だけでなく、主体的な行動や文脈刺激なども関わっていることを発見し

た。これらの研究から、食物の知覚・認知においては、従来中心的に行われてきた嗅覚や味覚以外にも多くの感覚や高次な認知機能が深く関与していることが明らかとなった。

2. 嗅覚と視覚の相互作用

嗅覚刺激の認知において視覚情報が大きな役割を果たしていることが多く報告してきた。今年度は嗅覚刺激の認知（強度・快不快）において、視覚情報の形と色の役割を比較し、後者の役割がより強いことを示した。また、この時の脳活動を fMRI および fNIRS により計測した（NICT との共同研究）。さらに、商品の評価においても、色情報が優先であることについても明らかにした。

3. 人間の行動と感覚情報の相互作用性

聴覚が両眼視野闘争に及ぼす効果や視聴覚間での注意機能の違いの検証、聴覚と体性感覚の相互作用、視聴覚間での感情・覚醒に及ぼす影響の比較などの研究を開始した。

<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

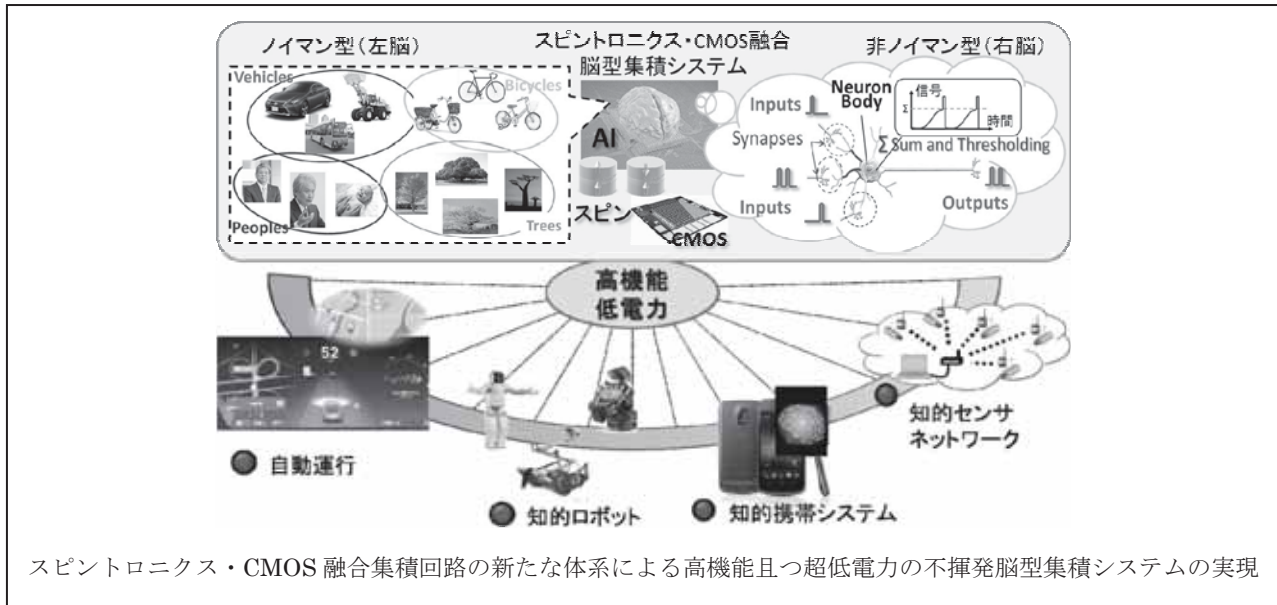
<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Onuma and N. Sakai, Choosing from an Optimal Number of Options Makes Curry and Tea More Palatable, *Foods*, 8 145, 2019 doi:10.3390/foods8050145
- [2] 坂井信之, 香りと多感覚の相互作用, *Aroma Research*, 79, 51-55, 2019
- [3] 坂井信之, うま味と香りの交互作用における学習, *日本味と匂学会誌*, 26, 95-102, 2019
- [4] 齋田涼裕・山本浩輔・竹井亮・鷺尾英明・小山田圭佑・坂井信之, 「ベタベタ感」は柿の種のおいしさに寄与するか?, *日本味と匂学会誌 第 53 回大会プロシーディング集*, S19-S22, 2019
- [5] 大沼卓也・坂井信之, 選択行動が飲料のおいしさ評定に及ぼす影響, *日本味と匂学会誌 第 53 回大会プロシーディング集*, S23-S26, 2019
- [6] 李昺霏・姜毅男・阿部恒之・坂井信之, 前鼻腔性嗅覚と後鼻腔性嗅覚による香り印象の違い, *日本味と匂学会誌 第 53 回大会プロシーディング集*, S85-S882, 2019
- [7] N. Sakai, Top-down processing in food perception: Beyond the multisensory processing, *Acoustical Science and Technology*, 42, 182-188, 2020, DOI: 10.1250/ast.41.182
- [8] N. Sasaki and N. Sakai, Activity in the cerebral cortices accompanying emotional arousal, *Tohoku Psychologica Folia*, 78, 34-45, 2020

高等研究機構 新領域創成部

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室

MRAM を用いた高機能・超低電力不揮発脳型集積システムの実現



スピントロニクス・CMOS 融合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。

<2019 年度の主な成果>

1. スピントロニクス工学、CMOS 融合不揮発脳型集積回路の設計環境の整備

本研究分野では、まずスピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの回路の研究開発基盤
として、設計サーバ・設計ソフトウェアツール群・設計モデル等を含めた設計環境の構築を完成し
た。特に、スピントロニクス素子を回路モデル化して CMOS 集積回路技術と融合した 55nm-CMOS/
55nm-MTJ(Magnetic Tunnel Junction)混載集積回路設計環境の立上げを完了した。このスピントロニ
クス素子モデルでは、動作温度変化や 300mm ウェハ製造バラツキ等による素子の電気特性変化ま
でカバーでき、試作実証と近い条件で高精度の回路シミュレーション検証が可能となる。

2. 「ノイマン型」アプローチでの AI アルゴリズムベンチマーク調査と低電力化要素技術確立

「ノイマン型」の研究テーマにおいては、従来研究のチップに採用されていた AI コンピューティングのアルゴリズムの簡単な性能ベンチマーク調査を行い、画像認識応用を目指す本研究の AI チップのアルゴリズム検討を進めた。さらに、大規模不揮発ディープラーニングハードウェア設計開発の要素技術として考案した自立パワーゲーティング方式の低電力化効果を検証するため、本分野の先行設計で開発したノイマン型のマルチコア不揮発連想メモリシステムを実測し、不揮発スピントロニクスメモリに基づくノイマン型認識チップの超低電力化の可能性と優位性を示した。

3. 「非ノイマン型」アプローチでのニューラルネットワーク構成とアーキテクチャの初期検討

「非ノイマン型」の研究テーマにおいては、パルス信号の時系列処理を実行するスパイクングニューラルネットワークの構成について検討し、それに基づいてデジアナ混載のチップアーキテクチャの提案と高精度回路シミュレーションによる初期検証を完成させた。この成果に基づいて特許を出願し、現在、初回チップの試作と測定評価を進めている。

<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)、14th Prime Minister's Award 受賞(2016)、及び National Invention Award 受賞(2017)、産学連携功労者賞・内閣総理大臣賞 (2017 年)、全国発明賞 (2018 年)。

馬 奕涛 2006 年 3 月 大阪大学電気情報エネルギー工学科卒業。2011 年 3 月 東京大学工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2011 年 6 月 東北大学国際フロンティア研究所研究員。2014 年 4 月同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター産学官連携研究員。2018 年 4 月同大工学研究科助教。2019 年 9 月同大電気通信研究所助教。

<2019 年度の主な発表論文等>

- [1] Yitao Ma, Sadahiko Miura, Hiroaki Honjo, Shoji Ikeda and Tetsuo Endoh, "A free-extendible and ultralow-power nonvolatile multi-core associative coprocessor based on MRAM with inter-core pipeline scheme for large-scale full-adaptive nearest pattern searching," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 59, No. 59, SGGB18(1-11), Mar. 2020.
- [2] Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda and T. Endoh, "An Ultra-Low-Power STT-MRAM-Based Multi-Core Associative Coprocessor with Inter-Core Pipeline Scheme for Large-Scale Full-Adaptive Nearest Pattern Search", Nagoya University, Aichi, Japan, Sept. 4-9 2019. 特許出願
- [3] 特許：特願 PCT/JP2019/ 14353 (発明名：ニューラルネットワーク回路装置、発明者：馬奕涛、遠藤哲郎)
- [4] 特許：特願 2019-182549 (発明名：シナプス回路の駆動方法、発明者：馬奕涛、遠藤哲郎)

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：39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。

<2019年度の主な成果>

・革新的スピントロニクス研究の先導・牽引

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15件を共同研究プロジェクトとして採択した。このうち特に優れた取組み4件には、追加予算を配分して共同研究を促進した。

・優秀な外国人・若手研究者の雇用

部局を超えた共同研究を推進するため、外国人若手助教4名ならびに研究員2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、英国ヨーク大学(2019年5月)、米国パデュー大学、仏国ロレーヌ大学、独国マインツ大学(以上、2019年9月)との国際ワークショップを海外で開催した。世界トップレベル研究拠点(材料科学・スピントロニクス)合同シンポジウムを2020年2月に仙台国際センターで開催し、10ヶ国から招いた講演者を含め250名を超える参加者があった。

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：80 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、次世代半導体メモリから高性能ボード技術やパッケージング技術、画像処理技術などの電子デバイスコンポーネントを中心とした IT 分野の研究開発と自動車向け電装部品コンポーネントを中心としたカーエレクトロニクス分野の研究開発を推進している。

<2019 年度の主な成果>

本学が創出してきたコア技術の実用化に向けて、材料・装置・プロセス・デバイス・回路・システムなど多様な国内外の企業、そして地方公共団体と連携して、産学共同研究、大型国家プロジェクト（内閣府 SIP 第 2 期、JST-OPERA、JSPS Core-to-Core、NEDO プロジェクト、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ）、地域連携プロジェクトからなる CIES コンソーシアムを運営してきた。研究開発分野をスピントロニクスから、AI ハードウェア、パワーエレクトロニクスに拡充し、産学共同研究も 7 課題から 18 課題に大幅に拡大して、集積エレクトロニクス技術に係るコア技術の開発を推進している。コンソーシアム参加企業には、「宮城県と県内市町村が共同申請を行った民間投資促進特区（情報サービス関連産業）制度」と「東北大学と仙台市の協定に基づいた固定資産税等相当額の助成制度」を活用して頂いた。

スピントロニクス集積回路対応としては世界唯一、大学が運営するワールドクラスの企業と互換性のある 300mm プロセス試作評価ラインを活用して、世界最高性能となる多様な革新的技術の開発に成功し、超低消費電力が要求される IoT、及び AI システムへの展開が進展した。具体的には、世界最高書き込み速度性能(14 ナノ秒)を有するキャッシュアプリケーション向け 128Mb STT-MRAM の開発、車載スペックの 150℃の耐環境下で、従来技術@125℃に対してデータ保持時間を 100 万倍に延ばせる 1Xnm 世代向け高信頼磁気トンネル接合素子 (MTJ) の開発に成功すると共に、世界に先駆け 200MHz で 50 μ W 以下の高性能・低消費電力スピントロニクス不揮発マイコンを実証した。次世代パワーデバイスに関する産学共同研究も大きく進展し、GaN on Si パワーデバイスを適用した

超小型インバータの高周波動作を確認する等、自動車の電動化、データセンターの省電力化に大きく貢献する予定である。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とパワーエレクトロニクス技術の 2 つのコア技術を活用し、Society5.0 の実現に不可欠で超低消費電力が要求される IoT/AI システムへの展開を目指している。

加えて、革新的集積エレクトロニクス事業展開と、本学における更なる産学連携高度化に資することを旨として、遠藤哲郎教授が東北大学発ベンチャー「パワースピン株式会社」を創業した。更に、宮城県、岩手県等と協力して、地域・地元企業との事業化検討会を運営し、事業化が進展する等、東北復興・地域貢献の一助となる成果が得られた。

引き続き、世界を先導する集積エレクトロニクス・AI ハードウェア研究開発拠点を目指し、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。

<2019 年度の主な成果>

- (1) 研究プロジェクトの推進：総務省や NICT の委託研究として、「第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発」、「周波数有効利用のための IoT ワイヤレス高効率広域ネットワークスキャン技術の研究開発」、「ニーズに合わせて通信容量や利用地域を柔軟に変更可能なハイスループット衛星通信システム技術の研究開発」等のプロジェクトを推進した。また、JST OPERA 事業共創プラットフォームの形成として、「電力と情報通信のネットワーク基盤融合に関する研究開発」を推進した。さらに、研究開発成果の社会実装への取り組みとして、耐災害 ICT 研究協議会にて改訂を行った「災害に強い情報通信ネットワーク導入ガイドライン」による講演を実施した。
- (2) 情報発信：2019 年 7 月、2020 年 3 月に「電気通信研究機構 NEWS」を発刊した。また、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。

<2019 年度の主な発表論文>

- [1] F. Adachi, “Wireless Evolution Towards 5G,” (Keynote) International Symposium on Networks, Computers and Communications, Nisantasi University, Istanbul, Turkey, 18-20 June, 2019..
- [2] Morihiko Minowa, Hiroyuki Seki, Yukihiro Okumura, Satoshi Suyama, Jun Terada, Satoshi Shigematsu, Yasushi Takatori, Hiroaki Asano, Yukio Hirano, Yasushi Yamao, Fumiyuki Adachi, and Masataka Nakazawa, “5G R&D Activities for High Capacity Technologies with Ultra High-Density Multi-Band and Multi-Access Layered Cells,” in Proc. IEEE VTC Spring 2019, Kuala Lumpur, Malaysia, April, (2019).
- [3] T. Kan, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, K. Iwatsuki, and M. Nakazawa, “Demonstration of on-line bi-directional 10-RRHs with an 80Gbit/s/RRH capacity using 256 QAM WDM coherent transmission for next generation mobile fronthaul”, presented in Radio Access Networks Session, ECOC2019.

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（金属材料研究所長・教授）

教員数：67 名（専任教員：2 名、兼務教員：65 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。

<2019 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 58 件に予算配分した。共同研究先は国内 40 機関、国外 22 機関(11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 6 件、国内研究会 4 件、セミナー・スクール 6 件を共催した。2019 年度の新規事業として、国内外から講師を招いて本センター主催の CSRN セミナー（3 件）を開催した。

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：34 名（電気通信研究所・工学研究科・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・文学研究科・情報科学研究科・経済学研究科・医工学研究科・教育学研究科・生命科学研究科）

目標：超巨大情報量の量と質を扱うための新情報サイエンスとそれに基づく ICT 情報処理技術と新たな自分社会科学を文理連携体制によって構築する

研究内容：人類が作り出すデータ量は日々増加して 2030 年にはヨッタバイト（10 の 24 乗バイト）を超えると推定される。従来の ICT 技術の延長ではこれほど巨大な情報量を適切に取り扱うことができないため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。

<2019 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 81 編、発表・講演 125 件（うち招待講演 35 件）、外部資金によるプロジェクト 19 件。
2. 国際シンポジウム Tohoku U・NTU Symposium: "When AI Meets Human Science"を共催し、国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2020 を計画（新型コロナウイルスパンデミックにより延期）した。
3. 共同利用・共同研究拠点の共同プロジェクト研究（国際共同研究推進型）による海外研究機関との連携を継続した。情報質インフォマティクス研究のオープンイノベーションプラットフォームの構築のために、高等研究機構新領域創成部との連携し、21 世紀情報通信研究開発センター学際連携プロジェクトを推進した。

6. 2 参画する事業・プログラム

博士課程教育リーディングプログラム 「マルチディメンジョン物質工学リーダー養成プログラム」

<施設の概要>

設 置：平成 25 年 10 月採択

博士課程教育リーディングプログラム複合領域型（物質）として採択された。

組 織：プログラム責任者：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：約 60 名（責任者・コーディネーターを含む）

目 標：東北大学の世界的強みである材料科学の実績と人的資源を活用し、大学院前期・後期一貫教育を通じて、マルチディメンジョン物質デザイン思想を実践するための広く確かな基礎知識と研究経験を有するリーダー人材を育成する。「マルチディメンジョン」とは、機能、特性、プロセス、環境調和性、経済性、安全、評価等に関する複合的な軸・次元で物質を幅広く俯瞰的に捉えることを意味する。

<2019 年度の主な成果>

平成 31 年度(令和元年度)から 4 名が新たに加わり、本プログラム学生 50 名が、基盤科目・専門基礎科目・展開科目・応用科目を受講し、プログラム内インターンシップ及び海外や企業での長期インターンシップに取り組んだ。

令和元年 9 月 20 日に東北大学大学院工学研究科において、東北大学リーディングプログラム成果発表会が実施された。本プログラムから選ばれた 3 名の学生が発表を行い、そのうち 1 名が 2019 年優秀学生賞を受賞した。

令和元年 10 月 11 日～13 日に東北大学片平キャンパスにおいて、北海道大学「物質科学フロンティアを開拓する Ambitious リーダー育成プログラム」との第 5 回合同シンポジウムを開催した。このシンポジウムでは、両プログラムの修了生による講演に加え、ベンチャー企業に関する講演、グループに分かれて実際に事業計画書を作成するワークショップなどが実施された。

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。

<2019 年度の主な成果>

センサ、通信、情報処理などの分野で幅広くプロジェクトに貢献している。通信に関しては、飲み込みが可能な mm サイズの超小型電波センサ/タグを用いた人体内通信システム、およびこのための高周波・省電力デバイスの研究開発を行なった。さらに、地元企業と連携して行った部分義歯管理システム用の cm サイズのパッシブタイプの RFID タグおよび RFID タグシステムの研究開発においては、部分義歯に貼り付け可能な RFID タグのプロトタイプ試作を行うとともに、リーダーライターのプロトタイプ機の開発を完了し、2020 年度に特定実験試験局免許を取得予定である。

スピントロニクス国際共同大学院プログラム

<施設の概要>

設 置：平成 27 年 4 月設置

組 織：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）、清華大学（中）

目 標：・世界で活躍する人材の育成

- ・スピントロニクスの理論から応用、デバイス形成や産業化までを俯瞰的に見渡せる人材の育成
- ・広く多様な技術分野のイノベーションを先導することができる人材の育成

概 要：研究中心大学であり門戸開放を謳う東北大学の特色・強みを活かして、海外教育研究機関と共同してスピントロニクス分野における世界的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。

<2019 年度の主な成果>

2019 年度は、ヨーク大学、NIST、ポーランド科学アカデミーなどから招へいされた世界をリードする研究者が、東北大学を訪問した際に講演会・セミナーで講演を行った。

令和元年 8 月 30 日に学生の発表スキル向上を目的としたワークショップを開催した。令和元年 9 月 11 日にパデュエ大学、9 月 17 日～20 日にロレーヌ大学でワークショップを開催し、さらにロレーヌ大学では学生企画交流会も行った。令和 2 年 2 月 9 日～11 日には材料拠点との合同国際シンポジウムを開き、スピントロニクス国際共同大学院関連セッションも開催した。さらに、令和元年 2 月 20 日～21 日に材料科学高等研究所において本プログラム学生企画セミナーが開催された。本学学生・若手研究者によるポスター発表に加え、高麗大学校、梨花女子大学校、ニューサウスウェールズ大学、マサチューセッツ工科大学から招待された研究者による講義が行われた。

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 60 名（責任者・コーディネーターを含む）

目 標：本卓越大学院プログラムでは、産学連携・社会連携を意識して「社会課題の解決」と「新たな価値の創出」を実現する『実践力』と、Society 5.0 における現実空間とサイバー空間およびそれらを繋ぐあらゆる空間を見通せる『俯瞰力』を習得することで、異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成することを目的とする。Society 5.0 の実現にあたっては、ソフトウェア層単独でなく、良質なデータ創生の基盤となるハードウェア層との融合を図る必要がある。本プログラムでは、『人工知能エレクトロニクス』ともいうべき、現実空間からサイバー空間に渡って重要な基盤技術である「人工知能スピンドデバイス（ハードウェア層）」と「人工知能データ科学（ソフトウェア層）」、さらにハードウェア・ソフトウェアを考慮した革新技术である「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。

<2019 年度の主な成果>

第 1 期生を対象に「学際融合教育」と「産学連携教育」を実施し、卓越独自の PBL (Project Based Learning) 入門科目も開始した。また、産学連携教育に必要な基盤設備やカリキュラムの整備を進めると共に、PBL 科目やインターンシップ科目における企業や国内外機関との連携強化の取り組みを進めた。さらに、学内外への広報の強化や説明会を行うと共に、学修成果シンポジウムを開催した。この他、第 2 期生の募集と選抜を行い、新規プログラム生 20 名（新M1 7名、新M2 6名、新D1 7名）を決定した。

第 7 章 評価と分析

東北大学電気通信研究所第35回運営協議会・第6回外部評価委員会議事録

日時：令和2年1月22日（水）午後2時30分～午後17時40分

場所：東北大学電気通信研究所本館6階大会議室

出席者：

岸本 光弘（富士通株式会社 シニアフェロー）

大谷 義近（東京大学物性研究所 教授）

小野寺 正（KDDI株式会社 相談役）

川合 眞紀（大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 分子科学研究所 所長）

喜連川 優（大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所
所長／東京大学生産技術研究所 教授）

田中 弘美（立命館大学 学長特別補佐）

富田二三彦（国立研究開発法人 情報通信研究機構 R&Dアドバイザー）

中川路哲男（三菱電機株式会社 開発本部 役員技監）

長田 典子（関西学院大学理工学部人間システム工学科 教授）

中村 祐一（日本電気株式会社 中央研究所 上席技術主幹）

三木 幸信（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 副理事長）

三谷 公二（日本放送協会 放送技術研究所 所長）

美濃 導彦（国立研究開発法人 理化学研究所 理事）

長坂 徹也（東北大学 大学院工学研究科長）

中尾 光之（東北大学 大学院情報科学研究科長）

高梨 弘毅（東北大学 金属材料研究所長）

村松 淳司（東北大学 多元物質科学研究科長）

菅沼 拓夫（東北大学 サイバーサイエンスセンター長）

伊藤 彰則（東北大学 大学院工学研究科 教授）

通研出席者：

塩入 諭 所長、石山 和志 副所長（総務担当）、北村 喜文 副所長（研究企画担当）、
羽生 貴弘 評議員、白井 正文 所長補佐

上原 洋一、深見 俊輔、佐藤 茂雄、廣岡 俊彦、八坂 洋、末松 憲治、

田中 陽一郎、尾辻 泰一、枝松 圭一、坂本 修一、石黒 章夫、平野 愛弓、

大堀 淳、中野 圭介、長谷川 剛、本間 尚文、堀尾 喜彦の各教授

荘司 弘樹、小川 裕之の各特任教授

片野 諭、阿部 和多加、櫻庭 政夫、山本 英明、大塚 朋廣、

グリープス サイモン ジョン、佐藤 昭、高嶋 和毅、加納 剛史、上野 雄大、

北形 元、夏井 雅典の各准教授

金井 駿、横田 信英の各助教

議 事

塩入所長、石山副所長及び北村副所長から、次のことについて説明があった。

- (0) 外部評価について
- (1) 研究所の活動・運営全般について
- (2) 研究と教育について
- (3) 各種評価について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- ★ 塩入所長の全体のご説明の後、石山副所長、北村副所長、そして再度石山副所長から、研究所の活動、研究教育、各種評価という全般についてご説明をいただいたところで、少し議論をして、休憩の後、もう一度再開ということです。

この評価ボードの中で何を評価していくかということですが、全然関係ないことを委員長が言うとお叱りを受けるかもしれないんですが、この前実はJapan Prizeという国際賞に対する委員会がありまして、そこで私が申し上げたことの1つは、ノーベル賞を見習いましょうと言いました。それはなぜかといいますと、重力波のノーベル賞って皆さんご存じだと思いますけれども、重力波ノーベル賞は3人の受賞者ですが、真ん中に燦然と元気な顔をされた方は物理学者でもないわけですよ。あの方はプロジェクトマネージャーで、あの人がいなければこのビックサイエンスは牽引できなかつた。これはNHKさんも非常に大きく取り上げられたことで、やっぱり評価が難しいアクティビティをどう評価するか。これはやっぱり次の組織を強くするといいますか、今まで必ずしも評価されなかつたようなアクティビティをエンカレッジするというのが、やっぱり評価の中では一番難しいことじゃないかなと。私はこのノーベル賞のシフトはあつぱれだなという一言だと思っています。

北村先生から、エルゼビアに膨大なお金をお支払いいただいたというのも、そのミッドシップス指標の数にあります。あれも魂胆ばればれで、80大学が全員お金を払っているとすると、吐き気がするわけじゃないんですけれども、あれはあれとしてきっちりやるということは日本として重要なんですけれども、その数値が目的関数になってはいけないわけですよ。お金をたくさん稼ぐことは全然目的関数ではなくて、研究のアウトカムそのものが目的の中で、東北大学さんのとりわけ通研という東北大学の一番輝かしい研究所さんが、私が今拝聴している中で、研究というもののスケールが今、大きく上がってきているんですね。研究がピーキーに1つの技術から何かが出てくるというのももちろん重要です。ですから、スピント技術はものすごく重要なんですけれども、今やはり大きくシステムになってくるときに、いろんな研究のコンポーネントがフュージョンしながらその社会に還元されるような構図というのはものすごく重要になってくる。そのインプリメンテーションとして、例えば国際共同、すごく産学連携もやられている。あるいは企業との共同研究もものすごく活発になされている。そして、北村先生からも先ほどご紹介いただいたみたいに、学内の中でどんどん融合、新しい領域をつくろうとされている。これってなかなか数値では出にくい話かもしれないんですけれども、私はこういう

取り組みをなされていることは素晴らしいフワードルッキングをされているお取り組みなんじゃないかなと、まずは全然インテンショナルじゃないんですけども、本心から応援をさせていただきたいなと思った次第です。

今年から入られた委員の先生方もおいでになられると思いますので、今ご説明があった中でいろいろなご質問をしていただければと思いますが、どなたからでも結構ですけども、いかがでしょうか。別に新しく入った先生じゃなくても。どうぞ。

☆ 1つだけ伺いたいことがあって、59ページのパワーポイントで、大学の中で女性教員比率とか科研費採用率、少しビハインドになっているところを強化しましたという話があったんですが、今の喜連川先生の話にも通じるかもしれませんが、強いところをさらに伸ばす、ほかよりもいいところ、そういう方法もあると思うんですね。そういう意味で言うと、この中で通研が秀でているというのは、どういうところで秀でているのか教えていただけますか。

☆ 明らかに優れているのは、大型プロジェクトの数、額、1人当たりというところですね。それ以外にということであれば、これはどちらかというと、たまたまという面もありますけれども、学振の特別研究の採択率というのは全学的に見て高い50%というところですかね。

それから、国際会議招待講演数、基調講演数というもののビジビリティの高さというのも顕著な数字になっています。それを示す全体の表というのは、資料のほうに載せてあったはずですね。少々お待ちください。

☆ 後でもいいです。

☆ はい、じゃあ、それは後でお示しします。

★ 誤解があるといけないんですけども、女性の数はやっぱり絶対になりふり構わず増やすべきだと思います。私はROISっていう機構の男女共同何とかの理事をやっていますので、そこはちょっと富田さんと意思疎通をこの後したいと思います。

☆ 大丈夫です。それは同じです。

★ ほかに。数値をお調べいただくのは後としまして、ぜひ何かご質問をいろいろ。どうぞ。

☆ すごく単純な質問で恐縮なんですけど、いろいろ数値を見せていただいている、今と同じ59ページの場合ですと、例えば基準数値の比較により傾斜配分をしていて、100%を超える値が出ていて、これというのは基準値に対してたぶんこの値だと思うんですけど、この基準値というのはどうやって決めているのかというのを教えていただけますか。

- ☆ 全学で30程度が評価されると。それを理工系や文系や生命系に分けて、それぞれの数値のほぼ平均値を使っているということです。それに対してということです。
- ☆ わかりました。ということは、これは100%以上ということは、かなり優秀というか、たくさんもらっていると理解してよろしいですか。
- ☆ 100%を超えるというのは平均よりも高いということです。
- ☆ ということですよね。少し高いということです。
- ☆ そうです。実際どのくらいの額になるかという、それほど多額になるものでもございませんけれども。
- ☆ お財布によるというものですけれども。
 あともう1点、最近、世界の大学のイノベーションでランキングしたという表が出ていて、非常に私個人として興味を持ったんですが、例えばこの研究所ですと、研究がアイランド型ですとか、大陸型というのがあると思うんですが、どちらかというとうどういうふうに、そのところを戦略的にお進めなのか。あと、経済効果という観点から、その特許をいっぱい出しても本当に経済効果につながっているのかどうかとか、そういうのはどういうふうに戦略的に考えておられるのかあたりも教えてください。
- ☆ 難しいご質問で、今ちょっとすぐに答えられることはあまりないんですけれども、1つ、特許、知財関係については、大学で知財を持つということの位置づけについて、あまり明確になっていないんじゃないかなと。我々は明確にしたいとは思っているんですが、特許をとることになるとどのぐらいメリットがあるかという点で、学内で言いますと、国際集積センターというところは、その知財をうまく使って、企業からの共同研究を大きく入れていると。そのセンター長の遠藤先生に何度かそういう話を伺っているんですけれども、大学で持つ特許をバックラウンド特許として持っているのが重要だと。それで、企業側から見ると、大学が特許を持っていて、それが競争相手に渡るようなことは困るという状況、それに対して大学が特許を持つ意味が大きい。だから産学連携もうまくいっているんだという話があって、1つの答えはそういうところかなと思っています。
 産学連携をどういうタイプで進めようとしているかということについては、今までも現在も大きな議論をしていないということが、正直な答えになります。
- ★ 特許はちょっとまたいろいろ。田中先生、じゃあよろしくお願いします。
- ☆ 科研費の採択率のことでちょっとお伺いしたいんですけれども、大型の案はかな

り平均よりもたくさんとってらっしゃって、1人の科研費の採択が1以下ということで、ちょっと理解がしにくいんですけども、これは年代的に見たら、若い方が科研費を持っていないということなんですか。

☆ すみません、大型科研費の比率が高いということを上記しているんですけども、大型科研費自体の採択の件数自体は多くないので、年齢層でどうこうということには直接影響する数字ではありません。ただ、大型科研費にチャレンジすることは、採択が難しくなるので、全体の採択というか、継続、新規も含めて採択件数はどうしても少なくなるという傾向があるんじゃないかという分析があります。

☆ ただ、お1人の件数が1以下というのは、私立大学でもちょっと理解しにくいんですけども、どの辺に問題があるのかなっていうか、課題があるのか。特にこれは通研の平均ですよ。大学全部じゃなくて。

☆ はい、通研の平均です。大学の先ほど基準値という意味では、たしか0.68です。全国規模で見ると、荘司先生、数字0.4とか5とかいう数字です。これ、1を超えるのはかなり大変な数字になります。

☆ それはわかるんですけども、通研はとにかく研究業績が出て我々はそういう印象を強く持っているんで、平均にしたらこの数値になるのがちょっとわからなくて、若い人があまり……。だから私たちが見てもやっぱり、業績のある先生が大きい予算をとってくるというのはよく存じ上げているんですけども、平均するところこういうふうになるということは、たくさんいろんな新しい取り組みをされていることも、大変驚いたし、素晴らしいことだと思うんですけども、若い方のほうで何か難しさがあるのかなと、ちょっと私は想像してみました。

☆ 実際に、教授、准教授、助教でどのくらい違うかという分析もしておりますけれども、そこには大きな違いは、すごく顕著な違いがあるというわけではないということになっています。もちろん大きなプロジェクトを教授がとってくると、若い方はそれに対応する必要があるというか、一緒にできるということなので、ご自身で科研、応募するのはともかく、採択されなくても自分の研究はできるという環境にあるというのは、一つの若い人に対するインセンティブがそれほど高くない面かとは思っております。ただ、実際に数値でそれが出ているという根拠は持っていません。

★ これは、分担は入っているんですか。

☆ いえ、代表だけです。

- ★ 代表ですよ。ですから、何らかの意味で若い先生方にその資金はたぶん流入しているんじゃないかと思うんですけども、田中先生のご懸念は非常に妥当なところでもありますので、可能な範囲でもうちょっと解析ができるようでしたらお示しいただくのはどうかと思います。

- ☆ ありがとうございます。ぜひそのような分析もしたいと思います。
 ちなみに、分担も含めた件数というのは今まで評価したことはないのですが、もしかしたらそれもやってみる必要があるかなとは思いました。

- ★ でも、外部資金のところの計算は、一般には分担研究者の受け入れるマウントもお入れになっておられるんじゃないかと思うんですけども、そうではないですか。

- ☆ 外部資金が入ってきているというのは、代表者として受け入れたものと、分担者として受け入れたものと、全ての金額を含めた金額です。

- ★ そうですね。ですからこのラインも、分担も入れたラインと、それから代表者だけのラインと、2つぐらいあってもいいんじゃないのかなという感じはしなくもないんですけどもね。どうぞよろしく願いいたします。
 美濃先生、どうぞ。

- ☆ 数値がいっぱい出ていて、すごく立派な数値だと思うんですが、何か数値を見ていると、例えば14ページの論文数の推移、最後の1年は下がっていますよね。それから、次の外部資金獲得状況の合計が出ていますよね。それで、共同研究は上がっているからいいが、科研費の採択状況が非常に下がっていますよね。その辺。
 あと、研究者コミュニティの貢献も下がっているといえば下がっているし、最後の1年がなければすごくいいなと思うんですけども、全部最後の1年が若干下がっている。
 これは何か原因があるのか、いわゆるブリリアントが下向いちちゃったらずいので、その向きかけているのが事実なのか、それだって何か理由があって、来年度になれば大丈夫だよと考えておられるのか、その辺りのところをちょっと教えていただきたいです。

- ☆ ありがとうございます。実はこの資料、昨年度の資料でも同じようなたぶん印象を持たれた方が多いかと思っています。実質的にある程度下がってきて、こういう数値で見ると下がっているんだと思っています。その原因というのは、昨年度、今年度で退職した教授が、総長になられた大野先生も含めて、5足す2、7名で、その後任は何人かは決まっていますけれども、まだ決まっていない。決まった方々もお若い方ということで、どうしてもアクティビティーが落ちるのは仕方がないというか、ある意味想定内だと思っています。むしろ、その後しっかりもとに戻せるかというところが大きな課題だというふうに思っております。

- ★ もう少し長いスパンでのパターンベーションというふうにおおらかに見て差し上げるのがいいんじゃないのかなと個人的には思いますけれども、これだけ見ると、いつも端っこのところだけ下がっちゃうというところが若干気になりますけれども、そうではなくて、6年全体を我々は評価させていただくのがいいんじゃないかと。
- 他にいかがでしょうか。長田先生、どうぞ。
- ☆ 私も研究所の運営で苦心しております、参考にさせていただきたいんですけども、文科省から言われるのがオープンイノベーションの仕組みをつくれと、そして資金の循環をしろということを言われていまして、そういう単なる特許のライセンス費用というだけではなくて、社会実装をした組織がどういうふうに価値を見出していか、というようなことを求められているのですが、それに関してどのような工夫をされているのか、ぜひ参考にさせていただければと思ひまして伺った次第です。
- ★ 何か今のはアドバイザーの立場というよりも相談室になっちゃったような気がします、得点をアップするためにはぜひ東北大学さんから。
- ☆ 我々の研究所の立場というか、その種の問題に対するこれまでの対応というか位置づけというのは、大きな国のプロジェクトをとってくと企業の方との連携が入るといことで産学連携が回っている。個別の民間との産学連携プロジェクトというのは、先ほど少しずつ増えているという様子はありませんけれども、それほど多くなされているわけではございません。将来的にそれをどうするかというのは今後の課題で、オープンイノベーションも含めてだと思ひますけれども、今のところちょっと特別なアイデアはありません。北村先生、何か補足ありますか。
- ☆ 企業との共同研究なんかを増やしたいなと思ひているところで、それは私らの技術を使って何がしかの商品化をしていただきたいなというのが基本的なラインだと思ひるので、そういうのを増やしていきたいな、積極的にやっていきたいなと思ひています。今のところは。
- ★ あまりいい案はないと。そういうときのお答えの仕方をご伝授申し上げますと、MIT、CMEをご覧ください。外部資金は圧倒的に国であって、企業からのお金なんてほんのちょっとです。アメリカと同じようにあんたが強くならなきゃいけないんです、と国におっしゃるのが一番いいことなんです、ちょっとそういうことを言っていると随分時間が経ってしまいます。なんか去年もこんな漫才をしていたような気がするんですが。
- ちょっと休みをさせていただいて、まだご発言……。川合先生、言わないと休めないとおっしゃいますか。

- ☆ 特に通研にだけというわけじゃないんですけども、どこの評価に行っても必ず共通して出されるものがあるって、運営費交付金が下がってきて、人件費が下がってきて、教員が下がってきてと、もうこれは言ってもしょうがないというか、全部そういうふうには処理されているんですね。

だけれども、一方では、人件費は別に運営費交付金の人件費からだけじゃないはずですね。だからそういったコストをどういうふうに定義するかというのにもよりますけれども。実際、研究のアクティビティーというのは人数掛ける予算掛けるアクティビティーみたいな感じなので、1人1人の能力が変わらなければ、人が下がれば下がってくるし、コンサルティングマターがあれば当然全体としてもディアクティベートするはずなので、ここはただ人が下がってきたのでどうしましょう、という話とはもうちょっと違うような気がするんです。

それで、ここから先は研究所の経営方針とかかわるんですけども、承継ポストの人件費でそのまま人数を減らしていけば同じトレンドがずっと続くので、全体的に比例配分したようなことをしていると全部が弱くなってしまうので、何らかし重点化するか、お金を払わずによその人力を借りる方法を考えるとか、何かスイッチしなければいけない時期に来ていると思うんですね。そう思ってちょっと拝見していると、でも客員は全然増えていない、海外のプロジェクトは増えているんだけど人も人が流入している形跡はあまり感じなかったんですけども、この辺はどういうふうを考えて進められるのか。これは経営かなと思うのでちょっとお聞きします。

- ☆ ありがとうございます。1つのお答えは、研究員の数を含めると、それでも減っているんですけども、これは18ページのグラフで、教員数が減っても全体は100名を超えるということで、研究のアクティビティーを何とか保っているというふうに考えています。つまり外部資金を取ってきて、どうしても任期はついてしまうんですけども、比較的若い人を雇用してプロジェクトを進めているというわけです。

それから、もう1つは、減ってきてどうするんだというのは、本当にそのままの体制で進められなくなりつつあるというのは、現状で通研が直面している課題になります。重点領域化というのも想定しつつ、将来、この一番最後のスライドになるんですけども、例えば15年後、30年後にどういう分野で活躍していくのかという共通の認識を持って、そこに直接かかわる分野はある意味重点化というよりは減らさないというふうにして進めるべきなんじゃないかと考えています。これは今個人的に考えている方策ということになります。

- ★ 今の川合先生のご質問は、18ページで言いますと、人件費分に割り当てているということをおっしゃられたというのは、結局外部資金そのものも減ってきているので、外部資金の中で人件費分をオーバーウェルミングにしていると。ピュアなリサーチエクイップメント側に行く側のお金が減っているんじゃないですかという

ようにもとれるんですね。

そういう中で、東北大学さんとしては、感覚的に言うと物よりも人に手厚くしている。それはもう当たり前だと思うんですけども、そんな中でさらなる戦略って何かあるんですかというようなご質問だったと思うんですが、これをやっているってコーヒーを飲めなくなって委員長失格になりますので、ちょっと川合先生にはここでお許しいただきまして、ちょっと一旦お休みをとらせていただけますと幸いです。どうぞよろしくをお願いします。

何分くらい休んでいいでしょうか。では皆さん、ちょっと休憩していただければと思います。

引き続き、塩入所長及び北村副所長から、次のことについて説明があった。

(4) 共同利用・共同研究拠点の活動について

(5) 課題への取り組みについて

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。最後のほうにちょっと夢のあるいろんな新しい取り組みのプロジェクトもご紹介いただけたかと存じますので、ぜひいろいろさらに議論を深めたいと思うんですが、とりわけ今までご発言をなされておられないクワイエットな委員の先生方におかれましては積極的にご発言いただくといいのではないかと思います。いかがでしょうか。

☆ 2つ質問があります。1つは、最初のご説明の部分に戻っても構いませんよね。通研の全体像なんだけれども、そのときに20年ベース、10年ベース、5年ベースというふう到大卒、中長期、短期、中期、長期という研究をやっていくというお話があったんですけども、ちょっと中にあった企業への取り組みなんかが増えてくると、やっぱり中期的というか、より中短期的なところによるんじゃないかと思うんですけども、その全体的な研究のバランスというのをとる仕組みというか、そういう何か全体の研究バランスをとるというような機会というのはどこかにあるんでしょうかということが1点です。

それともう1点は、ちょっとこれは細かいところなんですけれども、ソフトウェアの研究をされているので、社会からの支援というのもあったんですけども、逆に社会貢献という意味でオープンソース的なことというのはどういうふうにお考えになっているかということをお聞かせください。以上です。

☆ 最初の点についてですけれども、所の組織構成が5年、10年、20年になっている。その5年の部分というのはプロジェクトを持っている、先ほど少し紹介しましたけれども、2年前ですかね、IT-21センター、ある種のファンディングエージェンシー的な位置づけにして短期のプロジェクト、必ずしも産学連携でないものも含まれますけれども、支援するという形になっています。

ただ、教員側からすると、自分のエフォートをどういう風に配分するかという問

題になるので、これについては教員の判断に任されています。この部分は20年ホライズンで、ここは5年というようにするという事です。それについて所でどうこうということは考えていません。ただ、産学連携を進めるということになると、そのバランスは産学連携方向に重みに移るんだらうと。それは大学の置かれている環境の中でそうせざるを得ないという面かなというふうには思います。

2番目のご質問については、所として特別にということは今まで議論されたことではないんですけれども、さまざまな教員の業績評価等々のときに、自分たちの開発したボードがどれくらい使われているというのが評価指標としては使われるということなので、それぞれの先生方がそういう形で自分たちの研究成果をオープンにしていくというのは当然あり得ると思います。それをただ積極的にどう支援するという事は、今まで議論されていないところでございます。必要な議論かなというふうには思います。

☆ ありがとうございます。

★ よろしいですか。

☆ ちょっと補足で説明があります。

☆ 今ご質問がありました件につきまして、尾辻のほうから少し補足説明差し上げます。

産学連携といった場合に、今オープンイノベーションという言葉で非常に騒がれておりますけれども、ビジネスラインに乗った、いわゆる我々競争領域という表現をしますと、そこでの産学連携と、それから喜連川委員長のほうから最初に申されました、将来の新しい新領域とか、新しい産業競争力の市場をつくっていくような領域ですね。そういったところに企業の方と最初に初めに取り組んでいくという、いろんなフェースがございます。例えば最後に紹介されたJST OPERAの件につきましては、今競争されている領域ではなくて、将来社会の重要な地位を占めるであろうテクノロジー、そういったところに企業とタイアップして、例えば今はまだ標準化活動がないような領域についても、企業との連携で競争として、ともにつくるという意味で、標準化パスも含めてつくっていくと。そういう産学連携のあり方もあると思うんですね。やはり電気通信研究所なり附置研なり、学術の立場にある我々としては、できるだけそういう長期的な視点に立って、先ほど20年ホライズンという言葉が出ましたけれども、そういった指向性を担保しながら深めていきたいというふうに思っているところでございます。

個人ベースで、組織としてどうという話はあまりないかもしれませんが、今後たぶん重要になってくるかと思って、ちょっと補足させていただきました。

☆ それは全学的にもそういう方向の話がよく出てくるということかと思えます。もう1点すみません、オープンソースについてコメントあります。

☆ 電気通信研究所でソフトウェア構成論というソフトウェアの研究をしております。

先ほどのソフトウェアのオープンソースの考え方ですが、我々は今のうちに、これは必ずしもソフトウェアそのものの研究活動が通研で非常にマジョリティーなので、個人的あるいは代表的と考えていただいてもいいと思いますが、我々の公的な大学でソフトウェアの研究をしている、それもソフトウェアの理論や方式をもちろん研究しておりますが、その大事な側面は実際にソフトウェアをつくることでありまして、つくるからには社会に貢献すべきと我々も考えております。

貢献の仕方としては、もちろん基本的にはソフトウェアプロダクトは全ての方々に使っていただけるような優れたものをつくらうと思っておりますので、オープンソースであるべきと思っております。

具体的な例といたしましては、先ほど塩入所長から簡単にキーワードの紹介があったSML#というプログラミング言語ですが、これをオープンソースとして世界に発信しております。このコピーライトは東北大学が持つ。しかし、ソース全て含めてライセンスはオープンソースライセンス。具体的に言いますと、GUNライセンスではなくBSD系のライセンス。これは我々もこのライセンス形態が非常に重要であると考えています。これはどのような使い方をして、どのような経済活動をしてよろしいというライセンスで、これによって大学でコピーライトをして我々がスクラッチから開発した系統になろうかと思っておりますが、そのオープンソースで言語を配信しております。

以上のような基本的な考え方で、オープンソースというのはしたがって、理論や方式を研究する上でのその側面は、非常に大事な社会的な接点であると思っております。

以上、簡単な補足でございます。

☆ ありがとうございます。

★ ちょっとすみません。先ほどご質問を三谷様からいただいたポイントは、結構というか非常に重要な指摘だと思っております。つまりロングスパンなんですか、あるいはミットスパンなのかショートスパンなのかというのに関しましては、今、塩入所長からは、器はつくりますと。その器の中にどうコミットするかは、これはその教員のアカデミックフリーダムですと、そういうご表現だったんですけども、NHKさんの技研も同じような悩みをたぶん持ちながら聞かれたんじゃないかなと思うんですけども、やっぱり普通の大学とは違って国立大学というのは相当税投下をされていると。それから、その機運がなっていないというのは圧倒的に大きな運営費交付金が付与されている中で、世の中のステークホルダーを見ると、近いところとミッドぐらいまではやれるんですけども、遠いところというのは根源的に機運がなっていたぐらいでないとなかなかやれないんですよね。そこをもう少し誘導を積極的に何かお考えになっておられるんですかというところが、たぶんNHK

さんからのご質問だったんじゃないかと思うんですけども、ポイントは、ほっとかれるというのが一つのポリシーかもしれないけれども、ほっといた結果、どれぐらい未来側のほうに行っているかとか、何かちょっとその辺少し追加コメントがあったらいただけるとどうかなと思います。

☆ 重要なポイントかと思います。どちらかという、というか、どうやって国民の皆様、社会の皆様、タックスペイヤーに説明できるかということになるかと思えます。十分、将来を見越した夢を語ればいいのかと個人的には思っております。

先ほど、最後に申し上げた通研の将来像というのは、そういうことを示すようなものになればいいんじゃないかと。もちろん示して、それはいいね、でも幾らお金が必要なという話になったときに、それだったらこのくらい皆さん納得して出費できますよという説明を可能とするようなものを所として考えなければいけないと思っております。それを所員も理解して、そちらに向けた活動をしているんだということを、いろんところで広報できるといいんじゃないかなと思います。

★ 非常に深いご答弁であったような気がいたします。
それでは、三木委員どうぞよろしくお願いいたします。

☆ 先ほど尾辻先生が補足されたことに結構関連しています。今、所長が説明していたのは80ページになるんでしょうかね。課題の対応への取り組みのところで、たしか産学連携研究推進で、URA活動というのと、それから地域連携というふうに書いてあるんですね。

まず、URAというのは、我々も実は、より社会実相に行くための中を取り結ぶ人間として、イノベーションコーディネーターというのを120名でやっているんですけども、ほとんど、過半数は実は地域の公設事業の方々と運営をしているわけですけども、東北大あるいはこの研究所では、イノベーターはどのような形で運営されていて、どういうふうなミッションを持ってやっておられるかというのをちょっとお伺いしたい。つまり、産学連携というのをさっき言ったように、本当にコンシューマープロダクツに近いようなやつから、何というか、将来のビジネスに結びつけるのにもっとロングスパンで持ったら影響力がひよっとしたら大きいかもしれない。そういうものに対する連携活動があるわけですね。それをどのようにマネジメントしておられるかということ。

それから、もう一つは、今の地域連携という言葉をどういうふうに思っているのかなというのがあります。これが一つ、すみません。

もう一つは、よく我々は産学連携だったりイノベーションというのが出てくると、当然ベンチャーの創出というのはいつも聞かれるんですけども、ベンチャーの創出という点で見たときにどういう活動をしておられて、どういう成果があるのか、その2点をちょっとお伺いします。

☆ まず、URAについてのご質問の後半のほうでの答えになると思うんですけど

も、基本的には企業のニーズと大学のシーズをマッチングさせようという一般的な活動、一般的な成果を目的とした活動をしてもらっています。URAは特任教授として10年以上雇用している方になります。

☆ こちらに何人かおられるのですか。研究所ごとにいるということですか。通研に何人かおられるんですか。

☆ 通研で1名です。全学的に見ると、1名の雇用をしている部局はそれほどは多くないかとは思いますが、でも半数ぐらいはあるのでしょうか。ちょっと数字はわかりません。

現状では、全学でURAのネットワークをつくって企業対応、いろんなどころに入ってきた情報を全学展開できるようにという動きがありますので、それにも通研としては当然積極的に関与しているという状況になります。

ということなんですけれども、もう一つは、URAの特任教授の仕事としては、企業との連携だけじゃなくて、先ほどからのいろいろな論文などの数値、指標の分析等々もやっていただいているということです。その理由の一つは、企業との連携を図ろうとしても、なかなかうまくマッチングするケースは多くないということが実際起きているかなということです。

地域連携のほうは、これは電気情報系全体としてですけれども、仙台市と協働して地域連携、地域の産学連携を主体とした活動をしている組織があります。さまざまな企業からの問い合わせについて、そこが責任を持って、電気情報系に限らずいろいろな情報を回すというところで我々も関与しているということになります。

それから、ベンチャーについては、我々は何か表現できることは、今現状はありません。具体的にベンチャーを立ち上げたというのは研究所からはないです。

☆ ありがとうございます。東北大学としては、じゃあベンチャーというのは積極的にやろうというのは当然あるわけですよね。

☆ はい、そうですね。特に力を入れているのは、NICHe、未来……、ちょっと正式名称が出てきませんが、産学連携を主体としたプロジェクトで運営している組織があります。そこから生まれたベンチャーの数というのは、東北大学全体のかなりの比率、半分までいかなかったかもしれませんが、そこから生まれているということです。

そこでの活動というのは、割と退職した教員の方々がポストを、プロジェクトでご自身の意見も含めて研究を進めるところから生まれているというものが多くのように思います。

☆ ありがとうございます。そのURAに関して、我々先ほども言いましたように百数十人をイノベーションコーディネーターで抱えているんですが、これは地域の公設事業の方々がほとんどで、自前で抱えているのが30人ぐらいいて、たぶん半々

ぐらいで研究者の出身と企業から来ていただいた方なんです。企業から来ていただいた方は当然公募はしているんですが、全体として非常に有効に動いていただいているかというとなかなか難しいところがあって、1つは外かIC(イノベーションコーディネーター)が持ってきたネタを研究者がなかなか食いつかないというのがあるんですね。これはひょっとしたら大学だともっとそれがあられるのかもしれないんですが。

それと、もう一つは、実は先日、静岡県でf-Bis何とかソリューション、静岡県富士市の公的なイノベーションを創出する場所で、いろんな会社さんがやってきて、どうやってオープンイノベーション使ってやればいいのかということをやっているんですが、これは非常に成功例なのでよくテレビで取り上げられたり、全国に展開しているんですけども、その方に、そういう方向にイノベーションコーディネーターのようなものをどうやって育成したらいいんですかねと聞いたら、「いやいや、こういう人はビジネスセンスが必要なので、育成するものなんてありません。発掘するものです。」とか言われて、やっぱり実績のある人を公募してどうやってセレクトするかが大事ですと言われて、そこはもう応募すると全国で200人ぐらいいるそうですが、そのぐらいの中からやらないと、そういうよく働いてくれる人は見つからないということを行っているんだと思いますが、これはちょっと蛇足です。

☆ ありがとうございます。

★ 産との密着度を国家全体から見ると、担っていただくのはやっぱり産総研なんですよね。文科省としての大学は、やっぱり学理の探究側にどうしてもちょっとシフトしちゃうので、ぜひ塩入先生と産総研なんか、たしか美濃先生が理研と包括協定、理研と結ぶよりも産総研と、とは言いませんけれども、オポチュニティーを模索されて。

あと、この最後に、マイクロビットというのは、さっきOPERAとおっしゃっておられましたよね。OPERAというのは、知財のハンドリングの模索プログラムで、産総研というのは経済省と違いますのは、大学の場合、利益相反がものすごく面倒くさいので、東大もそうなんですけれども、出資金事業は原則全部、阪大が動かす、東大動かさないんですよ。それはなぜかという利益相反で、ちょっとベンチャーはたぶんおやりになられると思っているんですけども、ガバナンス上ものすごく面倒くさいところが、たぶん引っかかっているのがほとんどだと思いますので、それも何かちょっと産総研さんと一緒にされると良いのかな、というふうに感じました。

ほかにご質問。では、中川路さんどうぞ。

☆ 企業の立場から、やっぱり産学連携のところについてのお話なんですけれども、今日、産学連携というので出てきたのが、例えば38ページで特許出願というまた一番難しいところで取り組みをされたと思うんですけども、たぶんこういうところを目標にして産学連携をするのではなくて、これからはやっぱり、我々産と学が

いかにお互いのレパトリーを広げていくのかなというところが重要かと思いません。

特に電気通信という、私どもの会社もそうなんですけれども、どっちかというスループットを伸ばすとか、周波数を上げていくとか、SN比を改善するとかという明確な目的があって、それに向かって産学で今まで連携してやってくれば良かったんですけれども、これからはどうやって社会課題を解くかとか、どうやってお互いのレパトリーを広げて新しいフィールドをつくっていくかというところが、お互いの課題だと思えますね。ですから、先ほど尾辻先生がご説明されたようなところがポイントだと思いますので、ぜひ産学連携をアピールされるときは、特許とか難しいところではなくて、いかに新しいフィールドを今模索しているとか、いかに新しい連携パートナーと始めたかとか、何かそういうところを訴求されたほうが、たぶんこれは一番難しいところかと。理解をしていただけるのではないかなと思いました。

☆ ありがとうございます。大変貴重なご意見で、参考にいたします。

★ これ、出願ですよ。ファイルされたやつではないですよ。

☆ そのとおりです。

★ ということは、それは実施されている数ではさらにはないですよ。

☆ そのとおりです。

★ なので、実は実施が一番効果があるんですけれども、これは企業との、ああいうのってコンフィデンシャルな規約になるので、機密保持のために言えないんですよ。

☆ というか、大学側が本当に実施するんですかと、企業はいつも気になって、そこですごく微妙な関係にいつも大学と企業がこの話をするとなっちゃうので、あまりここらをお互いの目標にしないほうがいいと私は思っていますけれども。

★ だからそれは不実施補償をどうするかみたいな話にどうしてもなっちゃう。ここは煩惱の世界なので、実はすごく語れないぐらいいろいろあるわけなんですけれども、例えばNECの江村さんなんかよくお話しするんですけれども、もはや特許の時代でないということは多くの方々が知財本部でもご発言されておられまして、ちょっと違う財を、あまり参考にならないかもしれないんですけれども、今年の特許庁長官との新春放談会とかいうのが1月6日に出ていますので、それをノー・モア・パテント、一言で言ってそんな感じです。あまり言うとこれ、このグラフを書いたURAの方に大変失礼なことを申し上げるといけません。

ほかに。岸本委員どうぞ。

- ☆ 先ほどOSSの話があったので、ちょっとコメントさせてください。
大堀先生もSML#とか非常にいいソフトウェアを公開していただいているのは、すごく良い側面だと思いますけれども、OSSの別の側面として、仲間づくりといいますか、開発のところまで学外の力が使えるというところが非常に大きいと思います。アメリカの大学、UCBとかそういうところは非常に上手に活用していますので、もし全学としてそういったところを推進するようなことを考えるのであれば、ぜひそういった視点も入れていただくといいんじゃないかなと思います。

- ☆ どうもありがとうございます。参考にさせていただきたいと思います。

- ★ 具体的にどういったことを。

- ☆ 例えば、Hadoopというビックデータを処理するやつがもうそろそろだめというか、旬を過ぎているんですけども、その次のApacheとかSparkとか、そういったものがかなり今のデータ処理とか機械学習の基準になって、いろんなアルゴリズムがずんずんそこに追加されるような形になっています。そういう形で利用人も開発者も含んでいくというのが非常に大きな課題だと思います。
すみません、ついでにもう1つだけ質問していいですか。さきほどのトップ10%論文の中で、一番ソフトウェアのところが一歩リードになっているというのがすごく気になっていまして、通研としてそこは重点領域でないとお考えなのか、いやそこもこれから頑張っていくと思っているのか教えてください。

- ☆ あれは単に指標ですから、それで重点領域かどうかを決めるというつもりは全くありません。どちらかというと、どうしてそういう数字になるかというのが疑問で、これから分析しなければいけないのではないかと。あるいは分析結果によってこんな気にする必要がないということであれば、それはそれでいいのかなというふうには思っております。その辺は日本全体でも低い値になっていて、何らかの構造的な問題があるんじゃないかなというふうには感じております。

- ★ 情報系がいつもいじめられているんですけども、日本全体のチャートを出すと、イグザクなものなんですが。それで、ポイントは、さっき言ったようにソフトウェアをやっている人は誰にも褒めてもらえないんです。だから講座がどんどん減っていております。だから大堀先生って本当にヤンバルクイナみたいな方。僕は東北大が大堀先生を抱えて、抱えてというのもどうかなと思うけれども、ちゃんと処遇されているってすごいことだよ。帝大全部見ればわかるんですけども、例えば今、コンパイラをやっている人とか、OSをやっている人なんかほとんどいないんです。なんていうことを言おうと思うと20分ぐらい超えると思うんですけども、あまりこれはここら辺にしておきまして。

小野寺相談役からちょっと。

☆ 先生がおっしゃっているとおりで、ソフトウェアの話が出ちゃったので、別の話をしようと思ったんだけど。

私は、日本企業が、日本全体がと言ったほうがいいかな、特に情報通信電気関係、この15年、20年で完全に凋落したのがもう明らかにソフトウェアだと私は思っている。ですから、ソフトウェアをあまりに、これ大学の先生方もそうかもしれないけれども、一番いけないのは企業側がソフトウェアをあまりに軽視する。しかも、わかっていたはずの電気通信系のベンダーさんがソフトウェアをどんどん削ってしまって、外に出してしまって、最後は日本のベンダーさんが、実は当社も非常に影響を受けたんですけれども、日本のベンダーさんをお願いしたもので、全くものすらできなくて、私は2件本当に経験しています。そのときにはっきりわかったのが、要するにもうインテグレーションすら日本のベンダーさんはできなくなってしまって、4Gではもう何もできなくなったと。これはもうはっきりしています。ですから、私はこのソフトウェアをどうするんだというのは、これは産業界も含めて本当に考えなければいけない問題だろうと思っています。

それで、今日見学させていただいたことも含めてなんですけれども、1つはやっぱりビヨンド5Gを、特に電気通信研究所という名前を冠している以上、このビヨンド5Gについてどう考えるんだと。東北大の電気通信研究所としてどこを攻めるんだと。これをやっぱりはっきり目標を示したほうが私はいいいんじゃないかと思えます。はっきり言って、今のままでビヨンド5Gでもって日本企業がもう一回復活できる要素があるのかないのか。これはいろんな疑問があるんですけれども、だけれどもせめて東北大の電気通信研究所は、電気通信研究所という名前を冠している以上、5Gでここだけは何とか勝ちたいので日本全体で考えましようよというようなプロジェクトをぜひ立ち上げていただきたい。

それに民間企業が乗れるか乗れないかというのは、これは企業の判断になってしまうんですが、なかなか難しいところはあると思うんですが、ぜひそこを目指していただきたいというのが、私も大分年をとったエンジニアになりましたので、そういうふうに思っております。それが1点目。

実は、先生方から先ほどビヨンド5Gでもってスタンダライゼーションの話が出てきたのは、私はものすごく重要だと思っています。私、結果論なんですけれども、ファウエイともずっと付き合ってきましたし、それから中国の今は名前が変わりましたがけれども電信研究院という、まさしくNICTに相当するところとやってきましたけれども、もう去年で15年付き合ってきたんです。3Gのころは、我々の意見を聞きたいというのが彼らのスタンス。今は全く逆転ですからね。4Gでは圧倒的に向こう側が、5Gでは圧倒的に向こうがいつてしまって、もう何でそうなったのかというのは、実はソフトウェアという話もしましたけれども、もう一つはやっぱりスタンダライゼーションです。スタンダライゼーションは、電信研究院が中心になってやっています。ここがスタンダライゼーションをやるとともに、産業界に対してこういう方向性で導入するんだということをはっきり方向性を出しています。

ご存じのとおり、あそこには3つ大きなモバイルの事業者がいますけれども、半分は国の補助、傘下ですから、当然日本と違ってみんな言うこと聞きますので、そこはやりやすいんだろうと思うんですが、だけれども、やっぱり日本としてどう考えるんだというのが大きな問題なんだろうというふうに思いますので、ぜひその辺をお考えいただければと。

それで私、最後のところにちょっとお話しになった2大将来構想というところで、今の構想の中に人間性豊かなコミュニケーションっていう、この人間性豊かなというところをどういうふうに捉えるんだというのが正直言って見えないんですね。人間性豊かというその意味合いが一体どこにあるのか。それは、これは研究所としてやることなのか、東北大学としてやることなのか、そこはちょっと私もよくわからないんですが、ヨッタでは、これは文系の方々ともいろいろお付き合いをされていると伺ってまして、まさしく人間性豊かなというところを一体どこに求めていくべきなのか、それを技術でどう解決するのかというときに、人間性豊かなというこの根本のところは明確にならないと、なかなかそれを解決するといってもターゲットがはっきりしないと解決のしようがないんじゃないかと思うので、この人間性豊かというところをどう考えるのか、ぜひ方向性を出していただきたいなと思います。余計なことばかり言わせていただきました。

★ 小野寺さんに最初にこの意見を言っていたら、その後の議論は大分違ったような気がするんですけども、ぜひこれに対して明快なご答弁をいただけるとありがたいですが。

☆ ありがとうございます。まず、最初のビヨンド5G……

★ すみません。じゃあ田中先生、塩入先生の後にご発言をお願いします。どうぞ、塩入先生。

☆ ビヨンド5Gの推進について、通研としては検討を始めているところです。方向性その他について、末松先生のほうからコメントがいただければ。

☆ 先端ワイヤレスを研究しております。

今まさしく5Gについてのお話が非常に盛り上がっているところでして、我々から見た場合、5Gの端末というのは、いわゆる白物家電と同じような話、例えばノートパソコンと同じような話で、今さら日本でやるのかと。単にこれって、アセンブリさえできれば部品買ってくれば並べられるという状態なので、あえてそこに入っていくという気持ちはないんですけども、やはりインフラ側のほうというのは非常に重要ですし、セキュリティーの問題もありますし、自前で持っていかなければいけないという認識は持っている。

特に、日本でやることを考えたときには、ローカル5Gって今、注目されていますけれども、工場とかそういうクローズしたところで、5Gの技術を使って産業を

強くしていくというところに活路があるのかなというふうに思っておりまして、今我々のところでも総務省のプロジェクトが2件流れています。どちらも工場内のインダストリー4.0を目指した無線IoTの実現というところでいろいろな研究を今させていただいているようなところです。

やはりそういうところで、日本の産業界と繋がった形で、どうやって我々の技術を生かしてくれるのかなというところを模索しているのが現状でして、なかなか学内においてもリンクは確かにあまり進んでいないというのが現状なので、いただいたアドバイスをもとになるべく連携して、大きいプロジェクトを提案できるようにしていきたいなと思っています。ありがとうございました。

- ★ 大きな提案ができたなら、高橋社長がぼーんとお金を出してくれますので、おっしゃっていただければ。ちょっと議事録をとっておかれるといい。

田中先生。

- ☆ 突然、意見がちょっと違うと思いますけれども、時間がないのでちょっとお話ししたいと思います。

東北大学、しかも電気通信研究所というのは、世界的にも、国内にも、顔として大きな大きなミッションを背負ってきたし、それに対してきちんと成果を出してきたというような内容だと思うんです。今日もいろいろと夢なんかをお話し、将来構想も聞かせていただいたんですけども、私、今までみんなが見ていたら、日本の男性はもう精一杯やっていると思うんですよ。これ以上時間をつかってそれを達成するというのは、女性として客観的に言うと、やっぱりこれはもう少し違い視点を入れて、いわゆるインクルージョンとかダイバシティとか、違う人たちの解決の視点を入れたほうが良いんじゃないかと思うんです。

例えば、例としては、広島大学の相田先生という方が、女性で今、戦略的に大学を引っ張っていらっしゃるんですけども、そのときにまず最初に、自分たちは10年後にどうなりたいか、というところを話し合って、10年以内に世界のトップ100大学ランキングに入るという目標を立てるんです。それを達成するために、具体的に細かい目標ができるわけですね。やっぱり最初、なぜ彼女がそれを背負ったかといったら、男の人はできない。なぜかというところ、言い方が悪いですけども、利益誘導しなければいけないからできなかったんです。それを彼女は、最初は1人です。それで、かなりその中でもそういう意見がそろってきた。

もう一つは、奈良高専の校長先生が今女性なんですけれども、初めて女性になったんですけども、全国の理事でもいらっしゃるんですけども、奈良といったらローカルなところですけども、その高専の中で女子の合格率を16から23に上げたんですね。しかもそれは偏差値が4.4以上の女子ばかりを、たった1年でそれだけやったんです。それは何をしたのか。彼女は女性の視点をあげて、理工系に興味のある女子は潜在的にたくさんいるんだけど、今のままの枠組みでは大変敬遠するので、やっぱりアートとか、いろんな工芸とか、女性のブレインという

か嗜好に合ったものもきちんと入れて、責任を持って教育をするというようなことをメッセージを出したようなんです。それが女子高生に伝わって、たった1年でそんなに増えたと。

それと東北大学は、我々のところではサイエンス・エンジェルといって10年前から事業をされ、凄く努力をされていて、それが10倍ぐらいの院生が自分から手を挙げてそういう活動をしたと。そういう視点をぜひ入れていただきたいと思うんです。つまり、掲げた目標を達成するためには、やっぱり魅力的な能力のある人に入ってもらわなければそれが実現できないと思うんですよね。そうすると、そういう人たちに入ってもらうためにはどうしたらいいか。限られた予算で、やっぱり削るもの、変更するものはせざるを得ないと思いますけれども、ちょっとそういう視点を入れて、戦力的に考えていただいて、男性も少し楽になりながら皆で。

★ 所長、いかがでしょうか。

☆ 次の所長を女性にという話にお聞きしましたけれども。

☆ そこまで言っていません。

☆ すぐに何ができるかと言われると、なかなか。我々、先ほども触れましたけれども、女性教員、外国人もですけれども、積極的に枠をつくって任用してきています。その効果はたぶん今後、普通の任用にも影響していくというか、良い影響が出るんじゃないかというふうには思っています。

ただ、今の話は、違う視点で考えられる、具体的に言うと女性の研究者、教員を獲得して、そういう方向にというふうにも聞こえたんですけれども、その視点の変更、どうすればいいんですかね。

☆ 例えば、目標を設定したら女性が、広島大学の例はたぶんそうだと思うのでお話しするんですけれども、真面目ですからそれを達成するために、こうこうとストラテジーを考えますよね。その場合は、今の日本の社会では、なかなかいろんなところからうまくいきませんよね。利害が反するし。でも、それをやれるかやらないか。私たちだったらやらざるを得ないと思ってやるんですよ。今までそういう社会の中の一員として組み入れられていないのでね。でも、それをなかなか男性は其中で育ってきたし、その中で貢献もしてきているし、それはなかなか難しいと思うので、やっぱり女性であるかどうかというよりは、本当になりたい、何年までになりたいというんだったら、それを戦略的にやるというような覚悟をしたり、そのためには本当に何が必要かといって、限られた予算の中で、それで若い人にも入ってもらえるように、何が本当にメリットになっているかというところを、直面して考えて、変えていく、改良していただくように考えていただければなと思います。

★ 男はあかんって。しがらみのない女性と。ちょっとその辺はぜひご一考ください

て。田中先生はこれでご退出になられるので、これだけは言うておかないと、ということ。

ちなみにこの中で、お帰りになるのでこれだけは言うておかないと寝つきが悪い、ということがあったら事前におっしゃっていただきたいんですが。もしそうでなければ、ちょっと先ほど小野寺委員から非常に良いご指摘を1ついただいた中で、人間性豊かとは一体何なのかというのをご質問いただいたかと思しますので、もしお答え可能な先生がおられたら、ちょっと何かメッセージありますか。

☆ 私としては、小野寺委員の最終的に問題がわかれば解決する方法がわかるというところに落とし込むのかなというところについて、もともとそういう理念ではない、問題はわからないけれども漠然とこっち方向が重要だと、そのこっち方向というのが、大容量超高速あるいは超消費電力、それも重要なんですけども、最終的に人間にとってどういう意義があるかというのを常に頭に置いて研究しなければいけないというような理念として捉えています。

それで、具体的にそれがどういうところが問題なのかというのはご指摘のとおりで、文系の先生方からも今後の研究交流で見えてくる面もあるかなというふうには感じています。ただ、あれは解決すべき目標ということではないかなというふう理解しています。

★ どうもありがとうございます。

それでは、まだご発言いただかない村松先生、もし可能であれば。もうちょっと後のほうがよろしければ、いかがでしょうか。

☆ 同じ研究所なので、あまり私も言いづらくてあれなんですけれども、うちの研究所も同じような傾向なので、はいはい、ということで見えていましたけれども。共同研究拠点の話は一緒です。

★ ああ、そうか、失礼しました。富田委員と横で線を引いていましたが、境界線が直線じゃないんですね。失礼いたしました。もしコメントがなければ、特段。申しわけございません。僕、外部との板門店がその辺にあるんじゃないかと思っていました。

☆ ちょっと一つだけ。共同拠点の件はA評価ということで、そういう意味では最終評価に向けてご努力いただければと思いますし、そういう意味では私どもの中でお手伝いできることをしたいと存じますので、ぜひ協力して東北大みんながS評価になるよう頑張りたいと思います。よろしくお願ひします。

☆ NECの中村と申します。去年の議事録を見たら、随分失礼なことを申し上げたので、今年は黙っていようと思ったんですけども、当てられちゃったのであれなんですけれども。

先ほど、喜連川先生がノーベル賞のバリッシュさんの話をされたと思うんですね。先ほど何かURAの方が1人しかいらっしゃらないという話を聞いて、もう少し増やしたほうがいいんじゃないかなというふうに単純に思いました。なぜかという、大野先生はじめ羽生先生と国プロとかいろいろやらせていただいたときに、先生方の国プロとかに応募するための負担があまりにも大きい。せつかくの頭脳をそういうことに使っているんだろかというふうに単純に思ったもので、先ほどオープンソースの話も同じで、いわゆるコミュニティーをつくる人とソフトウェアをつくる人は、やっぱり得意分野が違うと思うんですね。だとしたら、URAの人、URAというのかどうかかわからないですが、そういうことを専門にされる方をもう少したくさん採用して、それで大型の国プロをとっていけば十分ペイすると思うんですよ。なので、そこをちょっと考えていただきたいなと。1人というのも何か、産学連携、その人はたぶん埋まっちゃうので、大型の外部資金獲得どうしますかと。それに付随するいろんな細々としたものを、誰がどう解決するんですかというところを、ちょっと考えていただきたいのが1点。

あと、いろんな方が、ソフトが重要だとか、5Gが重要だとかおっしゃられたんですけども、やっぱりリソースは有限なので、戦略的にここはやるというのと、ここはやらないというところをちゃんと早めに決めて、やるところの投資を増やすというようなやり方をしないとたぶん回らないと思うので、あんまり周りがこれはどうした、これは何でやっていないんだとかっていうのに惑わされずに、しっかり方針を決めていただきたいなというふうに考えました。以上です。

- ★ はやらないと決めてうまくいった事例が何かあったら、東北大学さん凄く喜ばれるんじゃないかと思うんですけども。
- ☆ それこそ2015年に半導体を全部やめて売り払ったりとかしていますし、ほかにもやめて売り払った部門はいっぱいあって、それがことごとく、パソコンだけは売り払った後にすごくうまくいったんですけども、ほかには売り払ったものはほとんど悪くなっていますね。なので、やっぱり、もしかしたら今の段階で5年前と比べて研究がどうなっているかというのをうまく5年10年を見て、そこで何かある程度、あのときにこれは投資はやめておいたほうがよかったとかという反省会を開かれるのは良いことかなと思います。
- ★ これは本当に難しいんですね。つくる側はすごく簡単なんですけれども、やめる側のディシジョンは、田中先生はお帰りになられたんですけども、男性はなかなかできにくい立場にあって、私も非常に中村委員と気持ちは一にするんですけども、この辺、塩入所長は何かコメントございますでしょうか。
- ☆ お話はよくわかりますが、大学としてそういうのを短期的に判断できるかという、個人的にはできないと思っています。どこをやめるかやめないかは、具体的には恐らく教員の任用時の判断、どういう方をとるかになると。そこで分野を問わな

いとは言いませんけれども、ある程度広く見て、どういう人材をとりたいかという判断をしていくというのが、我々の組織での重点化ではないですけれども、取捨選択になるかなと思います。

☆ 別の国立大学の例なんですけれども、今、教員の方の大量退職時代が間もなく来るというので、次にどういう人をとったほうがいいのかというヒアリングを何回か、私はいろんな国立大学から受けているんですね。なので、たぶんそういうことをされてもいいんじゃないかなとは思いますが。

☆ はい、それはご指摘のとおりかと思えます。

☆ 女ならできるっていうの、あれ、やめてほしいですね。

まず、ちょっと視点を変えてちゃんと対応させていただくと、ヒエラルキーの中で育てられてきた同じコミュニティの中で、それはなかなか付度から逃れられないので、違った方たちを入れてくるというのが一つのポイントだと思います。それは、例えば外国籍の方でも良いですし、民間の方でも良いし、何かちょっと違ったところでバックグラウンドを持つ方が入ることで、思い切ったところを如意に出すことができる。捨て身でできる人という意味で女とおっしゃったんだと思うんですけれども。

相田美砂子さんのケースは、相田さんのパーソナリティが非常に強いので、同じことが他の人にできるかというとは決してそうではないと思えますので、思い切って違った経験の方たちを入れるというのは、そういう強さがあるんだと私は思っています。私にはできません。ただ、戦略的にやるっていうのは良いのではないかと。

★ 結局、大堀先生と僕って結構似ていまして、30数年前は通信のマルコーニの発明から70年リレーしてコンピューターの今のイノベーションがあるんですね。コンピューター屋さんで入ったときというのは、今、川合先生がおっしゃられたみたいに、何一つしがらみがないところでやってこられたと。だから男女とか何とかというんじゃなくて、全然違う新しい分野というのをスポンと入れたときに、その人は周りの分野とはあまりしがらみなく、その人のキャラクターにはよるんですけれども、そういうことも現実にはできなくはないんじゃないのかなというような気がするというのが一点。

あと、中村委員ご指摘のとおりなんですけれども、大学ってやっぱり人にかけて、その人をアメリカもテニユアというように長く置くことによって何ができるかというのを実験する、そういう場だと思うんですよね。そうすると、企業はもっとアジリティーをもってばんばん切ると。例えばグーグルのニューラル・ネットの猫をやった人というのは、大体2カ月以上いた人はほとんどいないみたいな感じで、そういう社会のステークホルダーの役割を企業と大学で分けながらリスクヘッジをしていくという考え方もあるんじゃないかなという気がしますので、何かそういう意味で大学に対してこんなことをしたらどう、みたいなのでお互いに寄っていくと

いうのも一つの方法じゃないかなという気が、私はお伺いして感じて次第です。

☆ 今のビヨンド5Gの話を受けてなんですけれども、やはり今、産総研でも産総研の研究スタイルというか、それはもともとは、やっぱり工業試験所から始まって、次は基礎シフトと言われて大学に近づいたというところがあって、今でもまだそういうのがあって、結局研究そのものはボトムアップで、皆それぞれ技術のところをやっているわけですね。

一方でビヨンド5Gというとやっぱりシステムなわけで、日本の全てを、企業も含めてですけれども、何か次のシステムを考えたときにどういうやり方でできるのかというと、これは結局、通研さんやってくださいといってそれで全部できるわけがないし、誰かが何かするという方法をもう一個考える必要があるのかなとは思っていて、例えばトヨタの技術者に聞いたんですが、いや日本の車づくりというのはまだやっぱり数十年遅れていまして、何が遅れているかということ、技術者がそのやり方だと言うんですね。ドイツの車は大体システムの非競争領域というのは皆一緒に、これは大学の中にその会社が全部持っているんですね。そういうコンソーシアムをつくって、それでやっているというような、何か結局コミュニティーをどうやってつくっていくのかというのが非常に大事だと思います。

そういったときに、誰かがどうやって皆で考える、だからきっとこれは誰かができるという問題ではないんだろうなと。だからぜひ、その辺も含めて、そのコミュニティーづくりというか、それが日本全国できなかつたら、それはもう東北エリアで、そういうところから。ただ、数が大きいところでシステムを考えてやったほうが、やっぱりたぶん成功率が上がると。つまりトップダウン的アプローチで。

★ 難しいことは皆、塩入所長何か言っておくと考えてもらえないかなという、だんだんちょっと期待感ムードの議論が多くなってきましたけれども、いかがでしょうか。

☆ 今の部分というのは、どちらかということ全学でもそういう方向、オープンイノベーションとか、非競争領域の企業と企業を大学が結ぶというような方針で動いているというふうに理解していますので、通研もそこに協力することはできるだろうと。通研の中だけでというのはなかなか難しいかなとは思いますが、そういうのがうまくできれば、先ほどご説明した幾つかのプロジェクトは、それにもしかしたら、うまくはまるかなというふうに思います。

★ もうちょっと先かもしれないですね。先ほどもどなたか委員がおっしゃられたスタンダードみたいな話があるわけなんですけれども、今5Gは原則1万個のペテントだと。そこがもう非常に大きなフリクションを生んでいるみたいなことで、そういうレギュレーションが近距離の場合ややこしくなる。もうちょっと先だとあまり皆さんそういうフリクションを感じられないという意味で、たぶん小野寺委員はビヨンド5Gというか6Gぐらいを狙って東北大学さんがリーダーシップというような

ことをお気持ちとしておっしゃられたんじゃないかなと思うんですけども、ぜひそういう新しい方向をご検討いただければと思います。

ちょっと時間過ぎていますが、美濃先生が何か言いたそうな気がしているんですけども、いかがですか。

☆ ちょっと議論を聞いていまして、あまりこういうことを言うとあれなんですけれども、大学全体で人が減っているんですね。けれども活動は活発にしろ、活発にしろと言われていたというのは私はすごく気になっていまして、そもそも人が減っているのに、いろんなこといっぱいできるわけじゃないわけですね。どこも今までどおりの分野を今までどおりカバーしろと。人が減っているのにですよ。そうすると研究者はいろんなことを兼務しなきゃいけなくなって、結局研究の質が下がって、さっき下がっているのを心配していると言ったのはその辺があって、本当にV字回復するんですかと。1人1人の能力を出すために、もっと暇にしてあげないとできないんじゃないですかというのが一番言いたかったんですが、あまり言うといかんかなと思って言わなかったんですけども、そういう状況の中でどうすれば研究力が上がるのかというのを考えると、やはりもう選択しなきゃいけないので、良いところどうのこうのよりも、強いところを伸ばすことをもっと考えて、そこに人を集中させて、というようなことをやらないと無理じゃないかと。人が減っているということをほっといて、同じようにどんどん活動しましょうとなると、これはもう足元から崩れるんじゃないかというのを凄く心配しているんですけども、あまり行け行けどんどんみたいに言っちゃだめかなと思って。

★ それは研発法人としての理研としてのビジョンで、ちょっと大学と違う、国立大学法人と違うかもしれない。塩入先生いかがですか。

☆ 分野を今のまま維持するというのはとても難しいという理解をしていて、それは変えざるを得ないと考えています。どういうふうに変えるかというところが問題で、比較的長期ビジョンを持って変えたいと。そのビジョンをどうするかというのは、これから検討したいという状況なんです。

★ これはたしか川合先生のご指摘も原則、今、美濃先生がおっしゃるのと同じで。ぜひ。

☆ そうです、同じです。教員の時間が、ちゃんと教育と研究にどれだけ向けられているかというのが私はポイントだと思っていて、さっき中村さんからもうちょっと事務的なこととか何かそういうのを、という話があったけれども、もっと他にやらなくてもいいものをいっぱいやっていますよね。倍ぐらいの時間、捻出できるじゃないかと思うんですね。くだらないものはやめると。この評価なんて全然無視すると。とにかく教育と研究にどれだけ時間を割けるかというところで、それしかもう

人のクオリティを上げる方策はないと思うので、そういう意味でまだちょっとだけです。ストラテジックに効率を上げる可能性はあるかなと思います。もう徹底的にやらないと、人が減っている中であげられる要因なんてほかにはないので、そういう意味で戦略はどうですかというふうにお聞きしたんですけれども。それは全てのほうですけれども。

- ★ N I I の私どもも同じで、さっき U R A とおっしゃったんですけれども、全体のポートフォリオを考えますと、それって要するに事務員サイドに入るんですね。ということは何を意味しているかということ、教員の定数を切っても事務員をあげるべきだ、かもしれない。N I I もそれをやろうと思っているんですね。要するに教員はほっといたって賢い人は賢いし、普通の人は普通かもしれないので、これは政府でいうと大きな政府をつくれということを行っているんですね。要するに小さな制度というのはサポートする人が少ないわけですので。

僕も川合先生と同じような考え方をずっと、管理職でいますと、結論的には何かそういうところにどうもコンバイズしてくるような気がしていて、エリートの数を少なく持っておいて、それをサポートする人をしっかりするという構図がいいかもしれない。これ、わからないです本当に。そういう研究所があってもいいような気がするんですけれども、こういう発言を、これちょっとオフレコにしておかないとまずいですけれども、あまり広言する方はやっぱりちょっと付度をしちゃうので、これは女性でも男性でも付度しちゃうので難しいですけれども、これで塩入先生ご意見いかがですかとかいうのも可哀そう過ぎるので。

- ☆ 大丈夫です。そういう議論も通研の中ではあります。

- ★ ありますか。やってどうですか。

- ☆ あるんですけれども、戦略的に、基本的には例えば15年、30年先を見越すと今の体制は維持できないのは明らかです。そのときにどういう分野が必要かというところに、コンセンサスをあえてそこを目指していきたいということになります。

- ★ ちょっとこれはやっぱり東北大学さんだけというよりはもう少し全体で、要するに国家の議論としてやるべき議論でして、うちはスタンフォードから先生にアドバイスに来ていただいたんですが、スタンフォードってマシンラーニング、今いろいろやはり、あの辺の学生のエンロールメントは3,000人なんですね。3,000人いるんです。T A が100人なんです。よくこんなことができるな、みたいな話なんですね。そういう闊達感というものをつくるということも1つ重要。

しかし、ヒントンがやるのも40年ぐらいぼーっとしていたわけですね。ああいう人間を置いておくことも重要。この難しいポートフォリオを一体どうやって組むんですかという大学といますか、そういう研究機関の難しさというのは根源的になかなか解ける問題ではなくて、何か我々が東北大学さん、こうしましょう、こんなのおかしいんじゃないですかということよりも、やっぱりこのアドバイザーリーボ

一どのメンバーと東北大学さんが意識を共有しながら一緒に知恵を絞っていくという時代になってきて、今日はNECさんも三菱さんも富士通さんも、そして産総研さんも、産もうまく持ち寄っていただいて、NHKさんはどっちなのかちょっと微妙な中間だと思いますけれども、そういう中でいろいろ議論できたのは、NICTさんもそういう意味ではちょうど中間ですけれども、とてもよかったんじゃないかなと思います。

最後に何か、今日は女性のトピでもありますので、長田先生、一言最後にいかがでしょうか。

☆　そうですね、オープンイノベーションというのを文科省からずっと言われていて、私もずっと考えていて、今日の今の議論の中で言うと、私は本当にしがらみのないところへボンッと入って勝手にやっているんですよ。全く学内で勝手にやっているの、そういうふうにしたのは良かったなとも思い、辛いなとも思っているところでして。ですので、私は鈴木陽一先生にここに招いていただきまして、最後にはやはりソフトウエアを引っ張っている北村先生とかそういう人たちに、ここから頑張っていてほしいなというふうに思うということで、すみません。

★　あまり無茶振りをしてはいけないということ。

でも、最後の議論はかなり本質なんです。ちょっとトイレに行くときにここでのお話が匿名化して申し上げますと、東北大学の中で、大谷先生からご指摘があった1つは何なんですかと。1.05とか1.何とかであがっていて。あるいはS評価、A評価という、川合先生的に言いますと、あんなものは逆に700万で済むんだったらやらないほうがいいだろうと、一言で言うとそういうことなんです。これはグローバルでもうちょっと違う例で言いますと、GDPR違反ということで制裁金が出るんですけど、ヨーロッパの大きな企業は制裁金を入れて計算するんですね。コンプライアントにするために手間がかかるぐらいだったら、罰金払ったほうが早い、みたいな話なんです。こういうふうにちょっとモダリティチェンジをしながら評価どおりにやるというか、何か細々したものを全部除くと、一体研究者がリアルに頭を使える時間というのをしっかりと計ると。文部科学省はそういう統計を出しているんですね。過去から比べると、明らかに減っている。特に若い研究者が減っていますよね。この辺のメジャーは、例えばどうやって計るかがちょっと難しいかもしれませんが、東北大学さんで例えば可視化して頂いて、うちの大学の先生を見てくださいと。そんな細かいような性能指標というか評価指標は出していないかもしれないけれども、とにかく時間だけは延びているということだけは、ここで明確なエビデンスとして出させていただきますというようなことをCSTIの上山議員に言うと。例えばそういうことをやったときに、不満までも出ないと思うんですよ。

何かそんな大きなことをやっていただけるといいんじゃないかと、評価委員会としてはお告げすると。こんなことを言う評価委員会は世の中でほとんどないと思いますので。中村委員が去年のを見て失礼きわまりないことを言っていたと、僕も何

かそんな記憶があるんですけども、そういうのは我々の持つ役割みたいな、外からぼろかすに言われるのは我々であって、頑張っていたのが東北大学さんと。そういうことがもしできたら大変幸いに存じますし、そういうことにこのメンバーの先生方が皆、お考えになられたと思います。

本日、どうも長い議論、皆様ありがとうございました。

閉 会

—事務局—

皆さん、大変お疲れさまでございました。協議会に関しましては、これで閉じさせていただきます。

資料編

第 1 人 事

1. 教員 (人)

年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
教授	22(0)【0】	25(0)【1】	24(0)【1】	21(0)【1】	23(0)【1】
准教授	19(3)【0】	22(3)【1】	22(3)【1】	22(3)【1】	21(2)【1】
講師	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
助教	23(3)【1】	20(4)【0】	18(2)【0】	24(3)【2】	21(3)【3】
特任教授	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	2(0)【0】
特任助教	0(0)【0】	1(0)【0】	2(1)【0】	1(1)【0】	3(3)【0】

※ () は外国人、【 】 は女性で内数

2. 客員外国人教員 (人)

年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
客員教授	3【0】	7【0】	7【1】	6【2】	8【0】
客員准教授	4【0】	1【0】	5【0】	3【0】	2【1】
計	7【0】	8【0】	12【1】	9【2】	10【1】

※【 】 は女性で内数

3. 客員教員 (人)

年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
客員教授	12(4)【0】	15(8)【0】	17(7)【1】	13(6)【2】	13(8)【0】
客員准教授	6(4)【0】	2(1)【0】	6(5)【0】	4(3)【0】	3(3)【1】
計	18(8)【0】	17(9)【0】	23(12)【1】	17(9)【2】	16(11)【1】

※上記2の客員外国人教員を含む () は外国人・【 】 は女性で内数

4. 非常勤研究員

年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度		令和元年度	
				学術研究員	11(3)【1】	学術研究員	11(5)【0】
教育研究支援者	10(5)【3】	6(0)【1】	5(1)【0】	学術研究員	11(3)【1】	学術研究員	11(5)【0】
産学官連携研究員	9(1)【1】	6(0)【0】	1(0)【0】				
研究支援者	2(1)【0】	4(2)【0】	3(1)【0】				
計	21(7)【4】	16(2)【1】	9(2)【0】	11(3)【1】		11(5)【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27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
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	10(0)【0】	8(0)【0】	3(0)【0】	6(1)【0】	4(2)【0】
受託研修員	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】	1(0)【0】
民間等との共同研究員	2(0)【0】	2(0)【0】	7(0)【0】	11(0)【0】	10(0)【0】
日本学術振興会特別研究員	8(2)【1】	10(1)【1】	9(3)【2】	10(4)【1】	10(3)【0】
内訳 PD	2(1)【1】	2(0)【1】	3(1)【1】	2(2)【1】	0(0)【0】
DC	6(1)【0】	8(1)【0】	6(2)【1】	8(2)【0】	10(3)【0】
日本学術振興会外国人特別研究員	1(1)【0】	1(1)【0】	2(2)【1】	0(0)【0】	1(1)【0】
日本学術振興会外国人招へい研究者	0(0)【0】	1(1)【0】	1(1)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
計	22(3)【1】	23(3)【1】	23(6)【3】	28(5)【1】	26(6)【0】

※雇用契約のない研究員、()は外国人、【 】は女性で内数

6. 客員外国人教員（外国人研究員） ※令和元年度実績

氏名	任用期間	研究内容
Lucyszyn Stepan	H31.4.8～ R1.5.7	テラヘルツ科学・工学
TEPPE, Frederic	R1.6.11～ R1.7.11	ディラック半金属およびトポロジカル絶縁体の新奇物性とそのテラヘルツ応用
CHEN, Jian（陳 健）	R1.7.1～ R1.8.30	超電導デバイスとそのテラヘルツ波および量子計算応用
Yeshurun, Yaffa	R1.8.2～ R1.9.19	運動残効への注意の影響
SHARLIN, Ehud	R1.7.22～ R1.8.23	ロボットを用いたインタラクティブコンテンツ
NETOFF, Theoden I.	R1.7.5～ R1.8.4	培養神経細胞および数理モデルを用いたてんかん性発作の時空間制御に関する研究
Diguet, Jean-Philippe	R1.5.9～ R1.6.8	ハードウェア・ソフトウェア協調設計CAD環境の構築
Quigley, Aaron J.	R1.6.1～ R1.6.30	人とコンテンツのインタラクションに関する研究
Joshi, Anirudha	R1.5.14～ R1.6.14	新興国ユーザのためのインタラクティブコンテンツのデザイン
DIETL Tomasz Stanislaw	R1.11.25～ R1.12.22	スピントロニクス材料とデバイスに関する物理と工学

7. 学術研究員 ※令和元年度実績

氏名	任用期間	研究内容
阿部 尚文	H31.4.1～ R2.3.31	単一光子を用いた量子計測の研究
荒井 薫	R1.10.1～ R1.11.30 R1.12.1～ R2.3.31	<ul style="list-style-type: none"> 共同研究「微小金属異物の検出」 科学研究費助成事業 挑戦的研究（萌芽） 「配列化したサブミクロンアモルファル金属磁性微粒子における静的・動的磁気挙動の解明」 共同研究「微小金属異物の検出」 共同研究「高周波コアロス測定手法の確立」
YLIMAEYRY VILLE OSKARI	H31.4.1～ H31.4.30	共同研究 「(A1)IoTサプライチェーンの信頼の創出技術基盤の研究開発」
金 観洙	H31.4.1～ R1.11.30	共同研究 「SiC薄膜のデバイス化による評価技術開発に関する研究」
佐々木 文憲	H31.4.1～ R2.3.31	総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE） 「Beyond 5Gに向けたグラフェン/BN原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発」
芝 隆司	H31.4.1～ R1.5.31	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」
菅原 諒	H31.4.1～ R1.9.30	科学研究費補助金（基盤研究(A)） 「磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用」
玉越 晃	H31.4.1～ R2.3.31	<ul style="list-style-type: none"> 共同研究 「インバーティブル論理に基づくCMOSベース学習ハードウェアの実現に関する基礎的研究」 NEDO/SIP「超低消費電力MTJ/CMOS Hybrid IoTデバイス基盤技術の研究開発」
MUHAMMAD ALFIAN AMRIZAL	H31.4.1～ R1.11.30	情報通信基盤技術に関する研究開発
RIZHII VICTOR	H31.4.1～ R1.12.20	科学研究費補助（基盤研究（S）） 「二次元電子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用」
ROY TUFAN	H31.4.1～ R2.3.31	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」

8. 学振特別研究員

氏 名	期 間	研究内容
安井 浩太郎	H29. 4. 1～ R2. 3. 31	ムカデが示す歩行・遊泳間の遷移現象から解き明かす生物の適応的運動機能の発現機序
黄 佳維	H29. 4. 1～ R2. 3. 31	人の細かい手作業計測のための3次元モーションセンサシステムの実現と実応用
細谷 友崇	H30. 4. 1～ R3. 3. 31	巨大利得を有する光無線融合アクティブプラズモニックフォトミキシングデバイスの創出
V i d i l P i e r r e	H30. 4. 1～ R2. 3. 31	2量子ビット系の非局所一般化量子測定的光学的実装
守谷 哲	H30. 4. 1～ R2. 3. 31	トップダウン的アプローチによる時空間神経ダイナミクスの解明と脳型計算機への応用
寺岡 諒	H30. 4. 1～ R2. 3. 31	聴覚的注意によるマルチモーダル情報処理過程の解明
B O R D E R S W i l l i a m	H31. 4. 1～ R3. 3. 31	スピントロニクスシナプス・ニューロンの実現による人工神経回路網のフロンティア開拓
管 貴志	H31. 4. 1～ R3. 3. 31	注入同期技術を用いたペタビット／秒級超多値・超大容量光伝送の実現
五十嵐 純太	H31. 4. 1～ R3. 3. 31	微細磁気トンネル接合の直接的かつ多角的評価によるスピントルク磁化反転の統一的理解
竹内 祐太郎	H31. 4. 1～ R3. 3. 31	スピン軌道トルクや位相幾何学的仮想磁場を利用した種々の磁気自由度の電氣的操作

9. 教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

(人)

転出先	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
企業	1	0	1	1	1
通研・教員	0	2	1	2	4
他部局・教員	0	0	1	0	0
他部局・産学官連携研究員、 COEフェロー (令和元年度：他部局・学術研究員)	2	1	0	1	0
他大学・高専教員	0	1	1	0	0
他大学ポスドク	2	0	0	0	1
国外大学・企業	2	1	1	0	0
帰国	4	0	0	0	0
その他	0	0	0	3	1
転出者計	11	5	5	7	7
在職者数	21	9	4	4	4

※ 在職者：非常勤研究員及び日本学術振興会特別研究員（PD）

10. 支援職員

(人)

年度		平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
専任職員	技術職員	11【2】	13【2】	13【3】	16【6】	15【5】
	事務職員	15【4】	14【3】	14【3】	26【16】	27【19】
	再雇用職員	3【0】	2【0】	1【0】	1【0】	2【1】
	計	29【6】	29【5】	28【6】	43【22】	44【25】
非常勤職員	技術職員	14【11】	12【8】	13【10】	14【10】	17【10】
	事務職員	31【28】	33【30】	33【31】	20【18】	25【22】
	計	45【39】	45【38】	46【41】	34【28】	42【32】

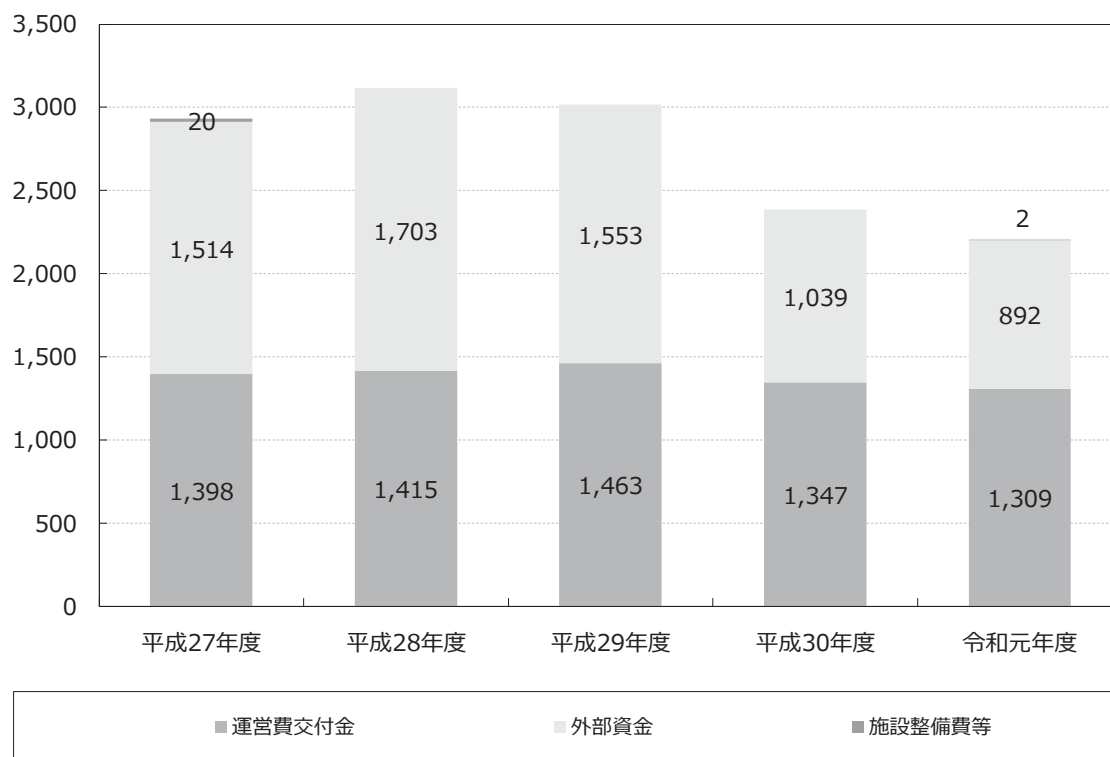
※【 】は女性で内数

※平成30年度より採用された限定正職員は「専任職員」に含む。

第2 予 算

電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円



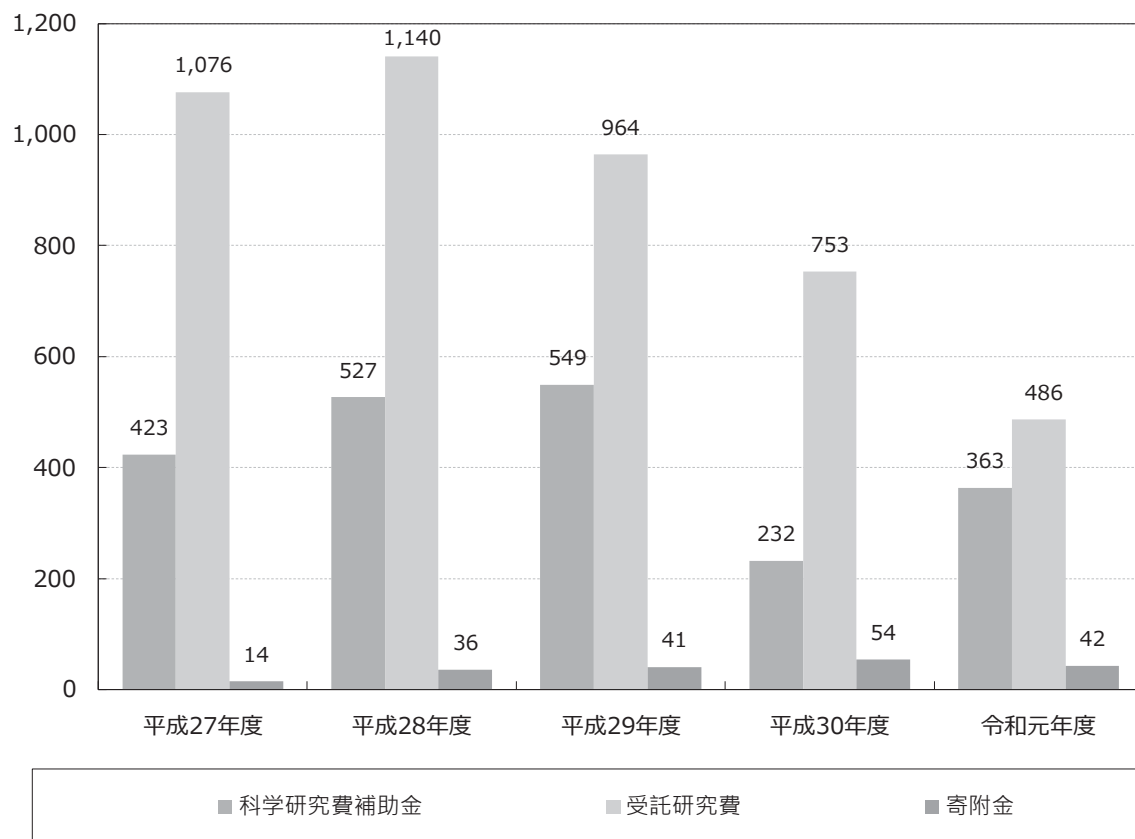
予算額内訳

単位：千円

事 項		平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
運営費交付金	人件費	730,537	808,066	835,904	790,118	742,128
	物件費	667,582	606,599	626,824	556,937	566,533
運営費交付金 計		1,398,119	1,414,665	1,462,728	1,347,055	1,308,661
外部資金	科学研究費補助金	422,846	526,718	549,034	231,643	363,325
	受託研究費	1,076,220	1,140,386	963,585	753,391	486,053
	寄附金	14,490	36,190	40,541	54,344	42,436
	(再掲) 間接経費	219,886	244,413	220,733	134,311	155,852
外部資金 計		1,513,556	1,703,294	1,553,160	1,039,378	891,814
災害復旧経費		0	0	0	0	1,936
移転事業経費		20,011	0	0	0	0
施設整備費		0	0	0	0	0
施設整備費等 計		20,011	0	0	0	1,936
合 計		2,931,686	3,117,959	3,015,888	2,386,433	2,202,411

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27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
科学研究費補助金	422,846	526,718	549,034	231,643	363,325
受託研究費	1,076,220	1,140,386	963,585	753,391	486,053
寄附金	14,490	36,190	40,541	54,344	42,436
合計	1,513,556	1,703,294	1,553,160	1,039,378	891,814

第3 教 育

1. 学部学生・大学院生

(人)

区分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
学部(4年)	52 (0) 【 4】	51 (0) 【 2】	57 (0) 【 3】	57 (3) 【 7】	49 (1) 【 5】
大学院前期課程	117 (13) 【11】	137 (15) 【14】	141 (19) 【 9】	132 (17) 【 8】	132 (16) 【 7】
工学研究科	77 (6) 【 4】	90 (9) 【 4】	85 (8) 【 1】	73 (6) 【 0】	85 (8) 【 1】
医工学研究科	4 (0) 【 1】	5 (0) 【 0】	2 (0) 【 0】	8 (0) 【 1】	5 (0) 【 1】
情報科学研究科	36 (7) 【 6】	42 (6) 【10】	54 (11) 【 8】	51 (11) 【 7】	42 (8) 【 5】
大学院後期課程	36 (9) 【 1】	39 (12) 【 2】	39 (15) 【 3】	32 (11) 【 1】	30 (8) 【 1】
工学研究科	28 (7) 【 0】	28 (8) 【 0】	25 (8) 【 2】	21 (6) 【 1】	19 (4) 【 0】
医工学研究科	0 (0) 【 0】	1 (0) 【 1】	0 (0) 【 0】	1 (0) 【 0】	1 (0) 【 0】
情報科学研究科	8 (2) 【 1】	10 (4) 【 1】	14 (7) 【 1】	10 (5) 【 0】	10 (4) 【 1】
計	205 (22) 【16】	227 (27) 【18】	237 (34) 【15】	221 (31) 【16】	211(25) 【13】

※ () は外国人、【 】 は女子学生で内数

2. 留学生

(人)

区分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
学部4年	0	0	0	3	1
大学院前期	13	15	19	17	16
大学院後期	9	12	15	11	8
計	22	27	34	31	25
地域別内訳					
①アジア	17	20	28	27	21
②北米	0	1	1	1	1
③中南米	1	2	2	1	1
④ヨーロッパ	3	3	3	2	2
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	1	0	0	0
⑦アフリカ	1	0	0	0	0

3. 研究所等研究生・特別訪問研修生

区分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
研究所等研究生	11(9)	6(5)	6(6)	6(5)	9(8)
特別訪問研修生	1(1)	2(2)	2(2)	6(6)	5(5)
計	12(10)	8(7)	8(8)	12(11)	14(13)

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	縦型MOSFETによるSRAMの高性能化に関する研究	小笠原 良介	遠藤 哲郎
	リングオシレータ回路の特性解析を用いた三次元縦型BC-MOSFETのAC特性に関する研究	小笠原 健太	遠藤 哲郎
	珪素鋼板の結晶磁気異方性を考慮した新たな振動発電に関する研究	長内 史也	石山 和志
	四脚動物の高速走行に内在する胴体・脚運動制御メカニズムに関する研究	小泉 幸熙	石黒 章夫
	自律分散制御の視座に基づく首長竜の遊泳様式復元に関する研究	佐藤 光暁	石黒 章夫
	昆虫の環境適応的な歩行に内在する脚間協調メカニズムに関する研究	須田 渉	石黒 章夫
	超高感度ひずみセンサとその振動センサへの応用	曾良 大輔	石山 和志
	パルスレーザを利用した高周波近傍磁界計測システムの同期手法に関する研究	立岡 大青	石山 和志
	Deep Neural Network向けFPGAにおけるMTJを用いた不揮発性選択スイッチ素子に関する研究	平野 瑞希	遠藤 哲郎
	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	石黒 章夫
	GaN on Si型Gate Injection Transistorの駆動電流特性と電流コラプス現象の温度依存性に関する研究	吉田 賢成	遠藤 哲郎
通信工学専攻	ダイレクトデジタルRF送信機用イメージエンハンスメント型1ビットDACに関する研究	張 俊皓	末松 憲治
	異種無線IoTシステムにおける空間再利用手法の研究	小野 謙人	末松 憲治
	物理複製困難関数に基づくハードウェアID生成システムの設計に関する研究	数森 康平	本間 尚文
	ペアリング暗号ハードウェアのサイドチャネル解析に関する研究	門脇 悠真	本間 尚文
	グラフェンを利得媒質とするテラヘルツ発振デバイスに関する研究	込山 貴大	尾辻 泰一
	二次元回折格子構造によるプラズモニックテラヘルツ検出素子の高機能化に関する研究	齋藤 琢	尾辻 泰一
	認証暗号の統合ハードウェアに関する研究	澤田石 尚太郎	本間 尚文
	量子化ニューラルネットワーク向け不揮発積和演算回路の構成に関する研究	千葉 智貴	羽生 貴弘
	光ナイキストパルスを用いた超高速・大容量WDM伝送に関する研究	平田 綾也	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	グラフェンプラズモンによるテラヘルツトランジスタレーザの研究	布施 吉貴	尾辻 泰一
	同種写像暗号のハードウェアアーキテクチャに関する研究	船越 秀隼	本間 尚文
	二次元プラズモンを用いたテラヘルツ帯光-無線周波数下方変換の理論的研究	眞鍋 颯也	尾辻 泰一
	ミリ波帯 WBAN 超過密環境下の通信路容量に関する研究	横内 汰地	末松 憲治
	RFアンダーサンプリング方式水蒸気ラジオメータの超ナイキスト帯域化の研究	呂 行	末松 憲治
電子工学専攻	混合変調レーザの高速変調特性に関する研究	菅野 光成	八坂 洋
	面発光レーザの狭線幅化に向けた薄膜光負帰還フィルタの研究	永野 聖典	八坂 洋
	階層的モジュール構造型神経回路の数理モデリングと実細胞再構成に関する研究	袁 之雄	平野 愛弓
	強磁性金属薄膜におけるジャロシンスキー・守谷相互作用に関する理論研究	岡戸 理功	白井 正文
	精密界面科学に基づく高周波グラフェン・トランジスタの研究	鴨川 貴優	佐藤 茂雄
	CoPt系ナノコンポジット材料のスピントルク磁化反転	古賀 嵩祥	深見 俊輔
	導波路型光フィルタを集積した光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の高性能化に関する研究	佐藤 翔太	八坂 洋
	半導体中の不純物中心に局在する励起子の四光波混合	鈴木 聖也	枝松 圭一
	デジタルコヒーレント光伝送におけるGAWBS雑音特性に関する研究	竹節 直也	八坂 洋
	SiCデバイス高性能化に向けた金属-半導体接合形成プロセスに関する研究	達増 建	佐藤 茂雄
	ナノメートルCMOSプロセスを用いた低電圧動作アナログスパイクニューロン集積回路に関する研究	田村 祐樹	佐藤 茂雄
	超常磁性磁気トンネル接合の磁界及び電流への応答に関する研究	船津 拓也	深見 俊輔
	有機強誘電体薄膜の圧力センサへの応用に関する研究	松本 晋太郎	平野 愛弓
	重金属/強磁性金属ヘテロ構造におけるスピントルク磁化反転エラーレートに関する研究	宮坂 奎伍	深見 俊輔
	イオンチャネル機能解析のための人工細胞膜系の構築に関する研究	横田 滯央	平野 愛弓
ナノ光ファイバを用いたサブマイクロリポソームの光操作技術の開発	吉野 峻晶	枝松 圭一	

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	W/CoFeB/MgOヘテロ構造における高効率スピン軌道トルク生成と磁化反転	古屋 海渡	深見 俊輔
システム情報科学専攻	A Study on Encounter-Type Physical Props for Immersive Room-Scale VR Experience (遭遇型実物体を用いた没入型ルームスケールVRに関する研究)	鄢 一先 (YAN Yixian)	北村 喜文
	A Study for Augmenting Mobile Touch Interaction using Hybrid Position-and-Rate Control (位置と速度制御の併用によるモバイルタッチインタラクションの拡張に関する研究)	黄 梦婷 (HUANG Mengting)	北村 喜文
	バーチャル音空間の主観的印象の多次元構造に関する研究	岡部 敏貴	坂本 修一
	直線加速度運動時における自己と音像との相対位置に着目した音像移動検知限	板垣 匠	坂本 修一
	ルームスケールVR体験における物理的接触の学習効果に関する研究	市川 将太郎	北村 喜文
	関数型言語のための統計プログラミング基盤の研究	魚谷 孝太	大堀 淳
	副ドローンを用いた3人称視点の動的配置によるドローン操縦支援手法に関する研究	海老 晃行	北村 喜文
	多相型言語における直行永続性の研究	大塚 祐貴	大堀 淳
	Augmented Representation of Interactive Content Using Physically Moving Display (物理的に移動するディスプレイを用いたインタラクティブコンテンツの表現拡張)	大西 悠貴	北村 喜文
	脳波を用いた視聴覚注意の空間分布測定	小野 真	塩入 諭
	運動視への輝度情報と色情報の寄与	越坂 若奈	塩入 諭
	あくび表情と他の表情との関連に関する研究	佐藤 一文	塩入 諭
	サッカーボール眼球運動時の視野安定性メカニズムの検討	高野 修平	塩入 諭
	A Study for Egocentric Position-Control Drone Interface through Mobile Augmented Reality (モバイルARを用いたエゴセントリックなドローン位置制御インタフェースの研究)	陳 林峰 (チン リンホウ)	北村 喜文
	A Study on Integration of Virtual and Physical Spaces with Geometrical and Optical Consistency (幾何学的・光学的整合性を考慮した仮想空間と現実空間の統合に関する研究)	鄭 浩 (テイ コウ)	北村 喜文
	3次元収音再生法SENZIの知覚的高精度化に向けた頭部伝達関数処理法に関する基礎的研究	富樫 凌	坂本 修一

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
システム情報科学専攻	VRにおける跳躍動作を用いた疑似移動感覚提示手法に関する研究	林 大悟	北村 喜文
	空間認知処理の違いが主観的正面の音空間知覚に及ぼす影響	前田 啓	坂本 修一
	Investigation of Shift of Visual Attention with Electroencephalogram (脳波計測による腕運動に伴う視覚的注意移動に関する研究)	LI ZHAN	塩入 諭
応用情報科学専攻	次世代無線ネットワークにおける認証連携システムに関する研究	入江 一成	菅沼 拓夫
	高精度な日本語シーン文字認識に関する研究	堀江 風馬	菅沼 拓夫
	ネットワークトラフィックに基づくICT機器の消費電力推定手法に関する研究	阿部 隼斗	菅沼 拓夫
	映像中での遮蔽発生状況を考慮した人物追跡手法に関する研究	榎村 昭宏	菅沼 拓夫
	A Flexible Method of Customer Activities Recognition in Retail Store (店頭における消費者行動の柔軟な認識手法)	WEN, Jiahao	菅沼 拓夫
	UAVを用いた屋外無線センサの位置推定の高精度化に関する研究	加藤 美奈	菅沼 拓夫
	A Real-time System for Piano Learning Using Augmented Reality (ピアノ学習のためのリアルタイムARシステム)	CAI, Minya	菅沼 拓夫
	機械学習を用いたマルウェア検知システムのバックドア攻撃に対する安全性評価に関する研究	佐々木 祥一朗	菅沼 拓夫
	スピントロニクスデバイスに基づくシナプスの数理モデル	佐藤 拓	堀尾 喜彦
	手の周辺の状態に基づく人物と物体のインタラクション検出手法	塚本 竜広	菅沼 拓夫
	IoT環境センサを活用した街の微気象の推定手法に関する研究	林 賢志	菅沼 拓夫
	拡張Lorenz写像に基づく擬似乱数のデジタルハードウェア化についての検討	宮内 清孝	堀尾 喜彦
医工学専攻	培養神経回路の時空間ダイナミクスの計測と操作に関する研究	脇村 桂	平野 愛弓

(博士論文)

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気エネルギーシステム専攻	Decoding Motor Control Mechanisms Underlying Adaptive and Versatile Locomotion in Centipedes (ムカデの適応的かつ多様なロコモーションに内在する運動制御メカニズムに関する研究)	安井 浩太郎	石黒 章夫
通信工学専攻	移動体通信用特性独立可変帯域通過フィルタに関する研究	河合 邦浩	末松 憲治
	テラヘルツ波パラメトリック光源の高性能化とその応用に関する研究	森口 祥聖	尾辻 泰一
システム情報科学専攻	Practical Processing Techniques for Magnetic 3D Motion Tracking (磁気式3次元モーショントラッキングのための実用的な計算法)	黄 佳維 (コウ カイ)	北村 喜文
	聴覚の内因性空間的注意に関する研究	寺岡 諒	坂本 修一
応用情報科学専攻	A Study on SDN-based Pragmatic Service Management for Network Applications (SDNに基づくネットワークアプリケーションのための実用的サービス管理に関する研究)	GUILLEN BARJA, Luis Alberto	菅沼 拓夫
	A Study on SDN-based Inter-domain Node Mobility Management (SDNに基づくドメイン間端末モビリティ管理に関する研究)	畑 美純	菅沼 拓夫

第4 研究

1. 研究成果の掲載・公表状況

区 分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
トピックス (新聞記事等)	55	69	55	65	48

2. トピックス一覧

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
1	訃報	2019/4/10	河北新報	山下 努 (名誉教授)
2	高速動作のまま桁違いの低消費電力化、東北大学が不揮発性マイコン開発 電源や電池なしでの動作を目指す	2019/4/17	日経xTECH	遠藤 哲郎
3	東北大が不揮発性マイコン200MH z で平均47 μ Wに	2019/4/20	日経エレクトロニクス	遠藤 哲郎 羽生 貴弘 夏井 雅典 (准教授)
4	平成 東北の物故者 ②学術・文化 半導体や光通信研究 元東北大総長西澤潤一さん	2019/4/24	河北新報	西澤 潤一 (名誉教授)
5	東北大学はスピントロニクスマイコン開発しAIチップで世界最先行	2019/5/10	電子デバイス産業新聞	遠藤 哲郎
6	脳のように認識する素子	2019/5/13	日経産業新聞	大野 英男 (総長) 深見 俊輔 (准教授)
7	省エネ社会構築目指す	2019/5/22	河北新報	遠藤 哲郎
8	東北大、150℃の耐環境下でデータ保持時間を100万倍に延ばせる1Xnm世代向け高信頼MTJの開発に成功	2019/6/12	日経新聞(電子版)	遠藤 哲郎
9	北海道/東北地区で電波の日記念式典	2019/6/14	電波新聞	安達 文幸 (電気通信研究機構) 根元 義章 (名誉教授)
10	東北大と高輝度光科学研究センター、STT-MRAM用極薄MgOトンネル障壁膜の化学結合状態の微視的变化の観測に成功	2019/6/27	日経新聞(電子版)	遠藤 哲郎
11	東北大、大学発ベンチャー「パワースピン」を設立ースピントロニクス技術でIoTデバイスとAIシステム中心に事業展開	2019/7/1	日経新聞(電子版)	遠藤 哲郎
12	若手研究者 5人に助成 サムコ振興財団	2019/7/5	京都新聞	大塚 朋廣
13	CIES MTJを高温で動作 自動車などにも適用可	2019/7/11	電子デバイス産業新聞	遠藤 哲郎
14	パワースピン 事業活動を本格化	2019/7/25	電子デバイス産業新聞	遠藤 哲郎
15	5G・無線通信技術の事例解説 七十七ビジネス振興財団	2019/7/30	日刊工業新聞	末松 憲治
16	IoTセミなど開催 東北大学電気通信研究所	2019/9/5	日刊工業新聞	石黒 章夫
17	主張/産学連携でイノベ資金 東京工業大学学長・益一哉	2019/9/16	日刊工業新聞	益 一哉 (1999年度まで 通研に在籍)
18	室温中で効率計算 東北大 スピントロニクス素子	2019/9/19	日刊工業新聞	大野 英男 (総長) 深見 俊輔 (准教授)
19	文科省、大型産学連携 4件採択 基盤技術確立へ全固体電池など	2019/9/26	日刊工業新聞	尾辻 泰一
20	研究施設を公開 東北大学	2019/10/1	日刊工業新聞	電気通信研究所
21	ノーベル週間迫る!	2019/10/2	日刊工業新聞	大野 英男 (総長)
22	自動車、5Gなど最新トレンド網羅	2019/10/10	電子デバイス産業新聞	遠藤 哲郎
23	ビックデータ時代 需要増	2019/10/10	河北新報	遠藤 哲郎

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
24	台風19号接近 「安全最優先」で決断 大漁まつり、酒蔵めぐり、巡視船公開…中止や延期	2019/10/11	河北新報	電気通信研究所
25	くらし探検隊 「緑色なのに青信号」日本だけ 停止や右折ルールにも違い	2019/10/12	日経プラスワン	栗木 一郎 (准教授)
26	「ミスター半導体」の功績たどる	2019/10/13	河北新報	西澤 潤一 (名誉教授)
27	又吉直樹のへウレーカ！「あなたは何色に見えますか？」	2019/10/23	Eテレ	栗木 一郎 (准教授)
28	レビュー 第6回電子デバイスフォーラム京都 基調講演	2019/11/14	電子デバイス 産業新聞	遠藤 哲郎
29	東北大、ナノの世界で現れる磁気の渦の高速直進運動を実現	2019/11/14	日経新聞 (電子版)	遠藤 哲郎
30	知見や研究成果紹介 東北大、コンサル設立 製品開発、まぐ健康分野 産学連携収入狙う	2019/11/19	日経新聞	大野 英男 (総長)
31	飛行中のドローンを別ドローンで客観視 2画面と模型で操縦を簡単に 東北大など研究	2019/11/28	Itmedia NEWS	北村 喜文
32	特許発案吹雪の中で	2019/12/1	河北新報	遠藤 哲郎
33	「水陸自在のムカデ、運動制御の仕組みを解明 ロボット工学への応用も 東北大ら」	2019/12/5	財経新聞	石黒 章夫
34	東北大、無磁場高速書き換えスピン軌道トルク素子の開発とCMOS技術との集積化によりSOT-MRAMセルの動作実証に成功	2019/12/9	日経新聞 (電子版)	遠藤 哲郎
35	特殊パルス光で通信速度100倍	2019/12/10	日経産業新聞	中沢 正隆 (電気通信研究機構)
36	東北大、産学連携のコンサル会社	2019/12/11	日経産業新聞	大野 英男 (総長)
37	東北大学イノベーターズカンファレンス 東北大・遠藤氏が講演 書き換え耐性の重要性説く	2019/12/12	電子デバイス 産業新聞	遠藤 哲郎
38	体の複雑な動き、分担して制御	2019/12/13	日経産業新聞	石黒 章夫
39	「陸上と水中 柔軟に適応」ムカデの興味深い動き解明	2019/12/20	科学新聞 The Science News	石黒 章夫
40	光伝送速度100倍超 高速・高効率で光通信 東北大 システム簡素化に期待	2020/1/7	日刊工業新聞	中沢 正隆 (電気通信研究機構)
41	VRのハンドトラッキング範囲を拡張する「Pursuit Sensing」東北大など開発	2020/1/9	Itmedia NEWS	北村 喜文
42	光通信速度100倍 東北大伝送効率アップに成功 「さらなる高速・大容量化を」	2020/1/10	河北新報	中沢 正隆 (電気通信研究機構)
43	NHKスペシャル「食の起源」第5集 美食（出演）	2020/2/23	NHK	坂井 信之
44	新情報！本当にカラダに良い食事SP	2020/2/26	NHK あさイチ	坂井 信之
45	ARでドローンを操作 東北大学が「PinpointFly」開発	2020/2/12	Itmedia NEWS	北村 喜文
46	「植物」「動物」「食べ物・味覚」の先生大集合	2020/3/8	NHK 子供科学 電話相談	坂井 信之
47	NHK放送文化賞受賞者決まる	2020/3/23	電波新聞	村岡 裕明 (名誉教授)
48	NHKスペシャルBS4K「食の起源」第6集 美食（出演）	2020/3/28	NHK	坂井 信之

3. 科学研究費助成事業採択一覧（令和元年度研究代表者）

研究種目	氏名	R1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	T S E N G C H I A H U E I	1,600	3,300	Non-verbal communication through yawning: a cross-cultural comparison	H30	R1
	栗木 一郎	3,200	6,400	広輝度帯域における視覚特性と質感知覚に関する研究	H30	R1
基盤研究(S)	羽生 貴弘	9,000	127,100	脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	H28	R2
	長 康雄	21,500	151,200	非線形誘電率顕微鏡法を用いた界面電荷輸送現象における諸問題の起源解明	H28	R2
	尾辻 泰一	24,700	144,600	二次元原子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用	H28	R2
	深見 俊輔	53,200	155,500	ノンコリニアスピントロニクス	R1	R5
基盤研究(A)	石黒 章夫	6,800	29,700	マルチテレストリアルロコモーションから解き明かす生物の多様な振る舞いの発現機序	H28	R1
	本間 尚文	9,500	32,700	冗長ガロア体算術に基づくセキュリティハードウェアの高水準設計技術の研究開発	H29	R2
	北村 喜文	11,300	34,300	磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用	H30	R2
	塩入 諭	22,300	35,900	自発的注意による視聴覚空間注意の制御	R1	R3
	深見 俊輔	12,000	35,000	ノンコリニアスピントロニクス	R1	R4
基盤研究(B)	柵 修一郎	7,100	13,100	磁場を用いたワイヤレスハプティックインタフェースの開発とその応用	H30	R2
	八坂 洋	10,100	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	10,700	13,900	面発光レーザのスピンの偏極電子密度制御に基づくベクトル変調技術の開発	R1	R3
	吹留 博一	9,300	13,800	二次元電子系素子の界面電子状態の時空間変化の機構解明と素子特性向上	R1	R3
	坂本 修一	5,100	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
	山本 英明	2,500	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
	加納 剛史	2,400	14,200	自切する生物から切り拓くスーパーレジリエントなシステムの設計論	H28	R1
基盤研究(C)	中野 圭介	800	3,400	定式化された形式木言語理論に基づくソフトウェア基盤技術の開発	H29	R2
	高嶋 和毅	1,100	3,500	自律移動デジタルテーブル・ウォール連携による作業空間最適化モデルとシステムの構築	H29	R1
	佐藤 昭	900	3,400	二次元周期回折構造を有するプラズモニクTHzディテクタの研究	H30	R2
	平永 良臣	900	3,400	SNDMを用いた誘電率ナノイメージング手法の開発と材料・デバイス評価への展開	H30	R2
	大堀 淳	900	3,300	超並列技術をML系高信頼言語SML#に統合した超並列関数型言語の実現と最適化	H30	R3
	浅田 和之	700	2,200	プログラミング言語の普遍的モデルとプログラム推論	H30	R2
	菊池 健太郎	500	2,800	先進的な高階書き換え理論に基づく遅延評価関数型プログラムの検証	R1	R4
	上野 雄大	1,600	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	700	3,300	Beyond 5Gのためのモバイルコアネットワークアーキテクチャの確立	R1	R3
	馬 奕涛	1,300	2,800	p-MTJに基づく超低電力不揮発ニューロモーフイックアーキテクチャの確立	R1	R3

研究種目	氏名	R1年度交付額 (千円)	補助金総額 (千円)	研究課題名	採択 年度	終了 年度
挑戦的研究 (開拓)	尾辻 泰一	5,100	19,800	グラフェンディラックフェルミオンのプラズモン異常不安定性とそのテラヘルツ機能応用	H30	R3
挑戦的研究 (萌芽)	佐藤 茂雄	0	4,700	ハードウェア実装を前提とした脳型量子計算アルゴリズムの学習に関する研究	H29	R1
	櫻庭 政夫	1,100	4,900	Si極薄膜における低エネルギープラズマ誘起再配列による結晶構造転換の実験的研究	H30	R1
	吹留 博一	2,500	4,800	生体分子反応における量子効果の直接観測を可能とする雰囲気制御・時間分解X線分光法	H30	R1
	三森 康義	3,300	4,900	ヘテロダイン検波を利用するスピンイメージングシステムの開発	R1	R2
若手研究(B)	渡辺 隆之	600	3,300	電流注入型グラフェンテラヘルツプラズモニックレーザーの創出	H29	R1
若手研究	但木 大介	700	1,800	有機FETを用いたフレキシブル圧力センサの開発	H30	R1
	福原 洸	1,500	3,300	現存生物に内在する自律分散制御則から切り拓く古生物の運動様式の革新的再現手法	R1	R2
	羽鳥 康裕	1,500	3,200	光景が持つ時空間構造の脳内表現が知覚に与える影響	R1	R3
研究活動スタート支援	上野 嶺	1,100	2,300	演算中に生じた誤りを訂正する機構を備えた暗号ハードウェアの設計手法の開発	H30	R1
	Y L I M A E Y R Y V I L L E	1,100	2,200	Development of Tamper-resistant Post-Quantum Cryptographic Hardware	R1	R2
国際共同研究強化	坂本 修一	0	9,900	人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立	H28	R1
	亀田 卓	0	10,800	Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証	H29	R1
	夏井 雅典	0	10,200	知的環境適応型VLSI基盤技術の構築と高信頼脳型LSIシステムへの応用展開	H29	R1
国際共同研究強化(B)	深見 俊輔	6,100	13,800	反強磁性ヘテロ構造におけるスピン軌道トルク磁化反転の空間・元素・時間分解観察	H30	R2
	加納 剛史	700	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	4,000	14,100	磁気トンネル接合への色中心の導入と量子状態の電気的制御	R1	R3
	藤田 和之	1,100	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2019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27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
民間等との 共同研究	件数	33	34	39	43	41
	金額	48	32	74	88	80
受託研究	件数	24	24	16	19	24
	金額	586	429	180	187	218
奨学寄付金	件数	22	36	30	36	19
	金額	14	36	41	54	42

5. 受賞・表彰件数

区 分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
叙勲・受賞・表彰	41	50	52	50	49

6. 受賞・表彰者一覧

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
公益社団法人日本磁気学会・フェロー称号	田中 陽一郎	情報ストレージシステム	磁気の学理および応用に関する研究の発展に多大なる功績： 「垂直磁気記録ハードディスクの実用化開発」により応用磁気分野において多大な貢献を挙げ学術と産業の進歩に貢献した業績 (2006年業績賞受賞の実績により、新たに設定されたフェロー称号を受賞)	平成31年4月1日
文部科学省・平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞」	尾辻 泰一	超ブロードバンド信号処理	業績名： 「プラズモン共鳴を用いたテラヘルツ光源検出素子の研究」	平成31年4月17日
第46回(2019年春季)応用物理学会・講演奨励賞	土肥 昂堯	スピントロニクス	講演題目： 「Ferromagnetic layer thickness dependent domain wall chirality and sign of effective Dzyaloshinskii-Moriya field in W/(Co)FeB/MgO systems」	令和元年5月15日
ISCS Welker Award	大野 英男	(総長)	“For seminal contributions to the materials science, physics of ferromagnetic III-V semiconductors and spintronics.”	令和元年5月20日
Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM) 2019 Best Student Paper Award	枝松 航輝 本良 瑞樹 末松 憲治	先端ワイヤレス通信技術	「Electromagnetic Shielding of Conductive Polymer Combined Fabric」	令和元年5月23日
一般財団法人みやぎ産業科学振興基金・研究奨励賞	亀田 卓	先端ワイヤレス通信技術	「同期SS-CDMAを用いた準天頂衛星安否確認システムの研究」	令和元年5月25日
情報処理学会・東北支部奨励賞	千葉 智貴	新概念VLSIシステム	「不揮発量子化ニューラルネットワーク構造に基づく小型・超低消費電力XNOR回路の構成」	令和元年6月19日
みんなの認知症情報学会・第1回ポスター発表交流会優秀賞	田中 陽一郎	情報ストレージシステム	「ライフサイエンス大規模データ解析に向けたストレージプラットフォームの検討」	令和元年6月30日
平成30年度科学研究費助成事業特別研究員等審査会専門委員(書面担当)表彰	坂本 修一	先端音情報システム	日本学術振興会特別研究員事業の書面審査において、有意義な審査意見を付した。 平成30年度に書面審査を行った約1,500名の専門委員のうち、表彰対象となる任期2年目にあたる約600名の中から109名が選考された。	令和元年6月30日
第41回(2019年度)応用物理学会・優秀論文賞	ボーダーズ ウィリアム アンドリュー (BORDERS William Andrew) 秋間 学尚 深見 俊輔 守谷 哲 栗原 祥太 堀尾 喜彦 佐藤 茂雄 大野 英男	スピントロニクス	論文名： “Analogue spin-orbit torque device for artificial-neural-network-based associative memory operation”、 掲載誌： Appl. Phys. Express 10 (2017) 013007	令和元年7月10日
日本音響学会・学生優秀発表賞	モネステロロ フローラン (MONASTEROLO Florent)	先端音情報システム	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。	令和元年9月5日

研 究

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
2019年度 非線形ワークショップ 合同夏合宿・ 最優秀オールラウンド発表賞	守谷 哲	先端音情報システム	発表題目： 「培養神経回路モデルにおけるダイナミクスの解析と時系列情報処理への応用」	令和元年9月5日
2019年度 非線形ワークショップ 合同夏合宿・ 最優秀ポスター発表賞	田村 祐樹	ナノ集積 デバイス・プロセス	発表題目： 「IzhikevichニューロンモデルアナログMOS回路のLSI実装とその評価」	令和元年9月5日
日本神経回路学会・ 優秀研究賞	栗原 翔太 秋間 学尚 守谷 哲 佐藤 茂雄	ナノ集積 デバイス・プロセス	論文題目： 「運動立体視に基づき空間を認識する視覚情報処理システム」	令和元年9月6日
2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019)・ IEEE GCCE 2019 Excellent Paper Award (Silver Prize)	横田 信英 八坂 洋	応用量子光学	Spatial Distribution Extraction of Visible Light IDs for Supporting Robotic Rescue Efforts	令和元年10月17日
The 6th International Workshop on Smart Wireless Communications・ Best Student Paper Awards	横内 汰地	先端ワイヤレス通信技術	SmartCom 2019で行った「Millimeter-Wave WBAN for Overcrowded Environment: Evaluation of Throughput with Consideration of the Human Body Direction」の論文発表	令和元年11月5日
公益社団法人日本化学会 コロイドおよび界面化学部会・ Best Poster Award (OKINAWA COLLOIDS 2019)	佐藤 まどか	ナノ・バイオ 融合分子デバイス	受賞課題名 (ポスター題目) : 「Analysis of ion channel functions using artificial bilayer lipid membranes」	令和元年11月7日
一般財団法人石田實記念財団・ 研究奨励賞特別賞	吉田 真人	応用量子光学	研究テーマ： 「デジタルコヒーレントQAM伝送に関する研究」	令和元年11月8日
The 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS 2019)・ Best Demo Award	コウ ムティン (Huang, Mengting) 藤田 和之 高嶋 和毅 土田 太一 北村 喜文	情報コンテンツ	「The 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS 2019)」において、「ShearSheet: Low-Cost Shear Force Input with Elastic Feedback for Augmenting Touch Interaction」というタイトルで口頭発表およびデモ発表を行い、Best Demo Awardを受賞しました。	令和元年11月11日
デザインガイア・ ポスター賞	千葉 智貴	新概念VLSIシステム	「省エネルギー二値化ニューラルネットワーク向けMTJベース積和演算回路の構成」	令和元年11月14日
The 12th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia 2019)・ Best Demo Voted by Committee	藤田 和之	情報コンテンツ	「The 12th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia 2019)」のEmerging Technologies (E-Tech) において、「StickyTouch: An Adhesion Changeable Surface」というタイトルでデモ発表を行い、Best Demo Voted by Committeeを受賞しました。	令和元年11月20日
26th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS)2019・ Best Young Professionals Paper Award	荒川 怜	新概念VLSIシステム	Multi-Context TCAM Based Selective Computing Architecture for a Low-Paper NN	令和元年11月28日
日本磁気学会・ 令和元年度学生講演賞 (桜井講演賞)	立岡 大青	生体電磁情報	「高周波近傍磁界測定システムにおける同期問題解決の提案」	令和元年11月29日

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
日本磁気学会・ 令和元年度学生講演賞 (桜井講演賞)	齊藤 悠一	生体電磁情報	「光プローブ法を用いた磁性薄膜の高周波応答の観測」	令和元年11月29日
電子情報通信学会 ハードウェアセキュリティ研究会・ 若手優秀賞	伊東 燦	環境調和型 セキュア情報システム	「ガロア体算術に基づく暗号ハードウェアの形式的トロイフリー性検証」	令和元年12月6日
電子情報通信学会 ハードウェアセキュリティ研究会・ 若手優秀賞	門脇 悠真	環境調和型 セキュア情報システム	「ペアリング暗号ハードウェアの関連電磁波解析に関する検討」	令和元年12月6日
電子情報通信学会 NOLTAソサイエティ・ NOLTA 2019 Student Paper Award	守谷 哲	ナノ集積 デバイス・プロセス	発表題目： 「Time-Series Information Processing in Cultured Neuronal Network Models」	令和元年12月6日
公益財団法人井上科学振興財団・ 第36回(2019年度) 井上研究奨励賞	ヤナ ルスティコバ (Jana Lustikova)	(先端スピントロニクス 研究開発センター (CSIS))	博士論文題目： 「弱ピンニング超伝導合金Mo-Geにおけるボルテックス整流効果」	令和元年12月6日
電子情報通信学会・ 東北支部学生優秀論文賞	シン トッキュ (SHIN, Duckgyu)	新概念VLSIシステム	「CMOSインバーティブルロジックに基づく高速学習ハードウェアの実装」	令和元年12月16日
The 2nd International Forum on Quantum Metrology and Sensing (IFQMS)・ Poster Presentation Award	金田 文寛	(学際科学フロンティア 研究所 (FRIS))	"High-resolution spectral measurements of photon-pair sources via sum-frequency generation" Fumihiro Kaneda, Jo Oikawa, Yasuyoshi Mitsumori, Keiichi Edamatsu	令和元年12月18日
日本音響学会・ 東北支部若手研究者優秀論文賞	片田 晃輔	先端音情報システム	受賞論文名： 「球面調和関数を用いた音場再生における移動作用素適用時の再生誤差の一検討」	令和元年12月24日
多値論理研究会・ 多値論理フォーラム奨励賞	伊東 燦 上野 嶺 本間 尚文	環境調和型 セキュア情報システム	「ブール多項式のZDD表現を用いたガロア体算術演算回路の形式的検証手法」	令和2年1月11日
レーザー学会学術講演会 第40回年次大会・ 優秀ポスター発表賞	及川 憧	量子光情報工学	「自発パラメトリック下方変換光子対の高精度位相整合スペクトル評価方法の開発」	令和2年1月21日
公益社団法人 日本表面真空学会・ 講演奨励賞 (若手研究者部門)	山本 英明	ナノ集積 デバイス・プロセス	「微細加工基板を用いた神経回路ダイナミクスの in vitro 制御」	令和2年2月12日
計測自動制御学会・ 学術奨励賞 研究奨励賞	安井 浩太郎	実世界コンピューティング	「ムカデの歩行・遊泳間の遷移に内在する自律分散制御則」 本賞は、計測自動制御学会が主催する講演会・シンポジウム等の研究発表会において優れた内容の研究報告を行った登壇者から選ばれるもので、その功績を讃えるもの。	令和2年2月28日
RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020・ Student Paper Award	井上 理哲人 福田 佳祐 堀尾 喜彦	ソフトコンピューティング 集積システム	Switched-Capacitor Circuit Implementation of the Chaotic Neural Network Reservoir	令和2年3月2日

研 究

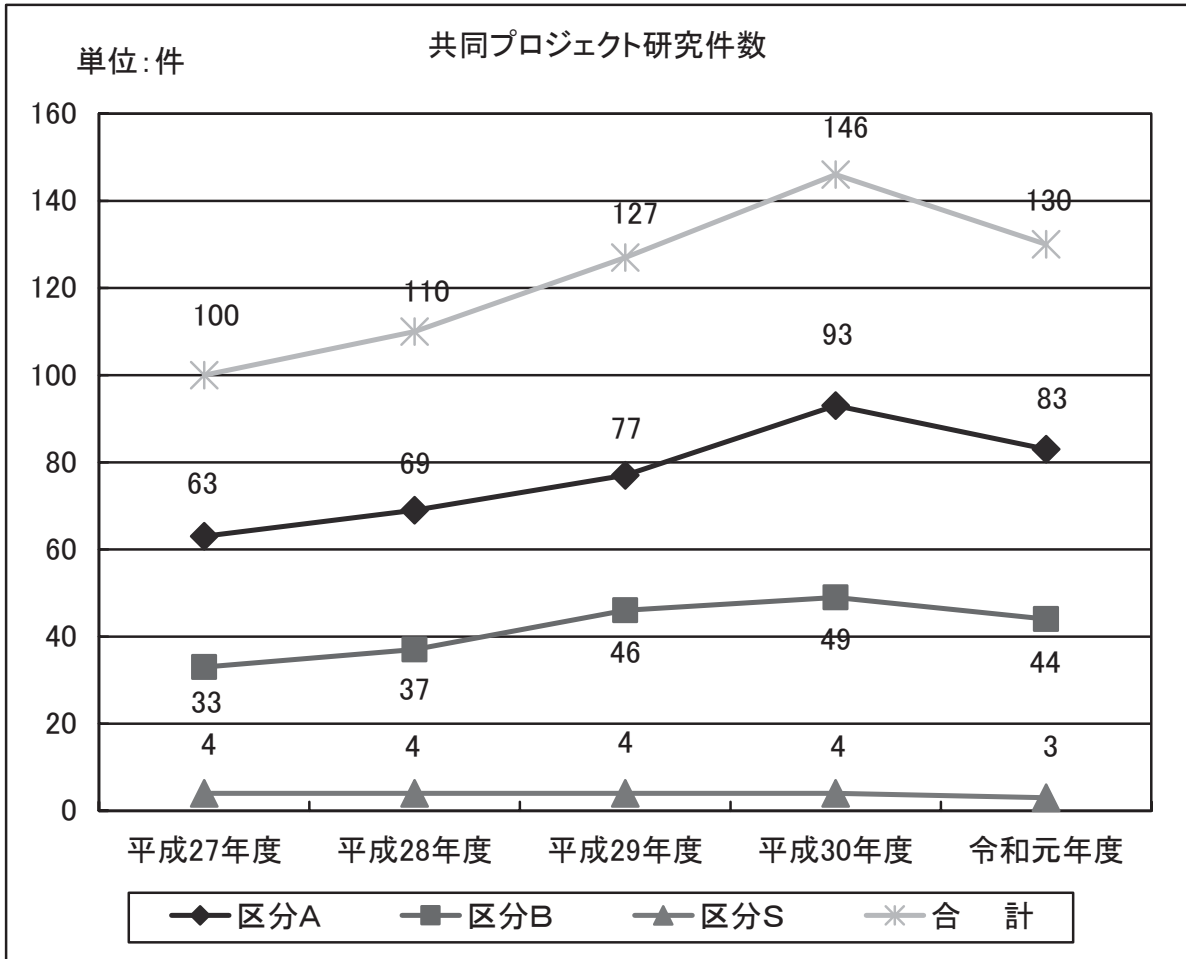
団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
東北最大級のIT&ゲームコンテストDA-TE Apps!2020・ITコンテスト【課題解決型ITサービス部門】：最優秀賞	林 大悟 鈴木 蒼生 土田 太一	情報コンテンツ	「Sotip」(課題解決型ITサービス)	令和2年2月24日
電子情報通信学会 スマート無線研究会・ スマート無線研究会論文賞 (2019 Best Paper Award in Smart Radio)	前畠 貴 本良 瑞樹 亀田 卓 末松 憲治	先端ワイヤレス通信技術	2019年電子情報通信学会スマート無線研究会で行った「デジタルRFフロントエンドにおける回り込み干渉抑圧に関する一考察」の論文発表	令和2年3月5日
日本音響学会・ 学生優秀発表賞	寺岡 諒	先端音情報システム	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2年3月17日
電子情報通信学会・ 2019年度学術奨励賞	小野 謙人	先端ワイヤレス通信技術	2019年度電子情報通信学会ソサイエティ大会で行った「異種無線システム共存のための空間再利用手法Dual-CTSの提案」の論文発表	令和2年3月19日
電子情報通信学会・ 2019年度学術奨励賞	枝松 航輝	先端ワイヤレス通信技術	2019年度電子情報通信学会ソサイエティ大会で行った「導電性高分子含有布の遮蔽特性の広帯域測定」の論文発表	令和2年3月19日
電子情報通信学会・ 2019年度学術奨励賞	竹節 直也	応用量子光学	「デジタルコヒーレント光伝送における各種ファイバのGAWBS 雑音特性」	令和2年3月19日
東北大学工学部・ 令和元年度工学部長賞	小関 隆介	環境調和型 セキュア情報システム	令和2年3月卒業者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。	令和2年3月24日
東北大学工学研究科・ 令和元年度工学研究科長賞	土肥 昂堯	スピントロニクス	令和2年3月修了者のうち特に学業成績が優秀な者に対して授与される。	令和2年3月24日
東北大学工学研究科・ 令和元年度工学研究科長賞	平田 綾也	超高速光通信	「光ナイキストパルスを用いた超高速・大容量WDM伝送に関する研究」	令和2年3月25日
東北大学大学院 電気・情報系運営委員会・ 電気・情報系優秀学生賞	守谷 哲	ナノ集積 デバイス・プロセス	「時空間神経ダイナミクスの数理モデリングと脳型計算機応用に関する研究」	令和2年3月25日
令和元年度東北大学 総長研究支援技術賞	研究基盤 技術センター・ 工作部	研究基盤技術センター・ 工作部	「樹脂等柔らかい材料の精密加工技術開発と研究機器試作への貢献」	令和2年3月25日
東北大学情報科学研究科・ 情報科学研究科長賞	寺岡 諒	先端音情報システム	情報科学研究科を修了する者の中で、本研究科の理念にかない、かつ卓越した学業成績を取った学生を表彰するもの	令和2年3月25日
日本放送協会・ 第71回(2019(令和元)年度) 日本放送協会放送文化賞	村岡 裕明	(名誉教授)	放送事業の発展に寄与し、放送文化の向上に貢献があった人々に対して日本放送協会より贈られるもの	令和2年3月25日

7. 発表論文数

区 分		平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
査読付学術 論文	英文	129	151	147	112	129
	和文	10	8	7	12	5
	計	139	159	154	124	134
査読付国際会議		239	277	255	255	267
解説・総説		9	12	17	12	16
査読付国内会議、 査読なし国内研究会・ 講演会		302	386	356	327	314

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27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
区分A	63	69	77	93	83
区分B	33	37	46	49	44
区分S	4	4	4	4	3
合計	100	110	127	146	130

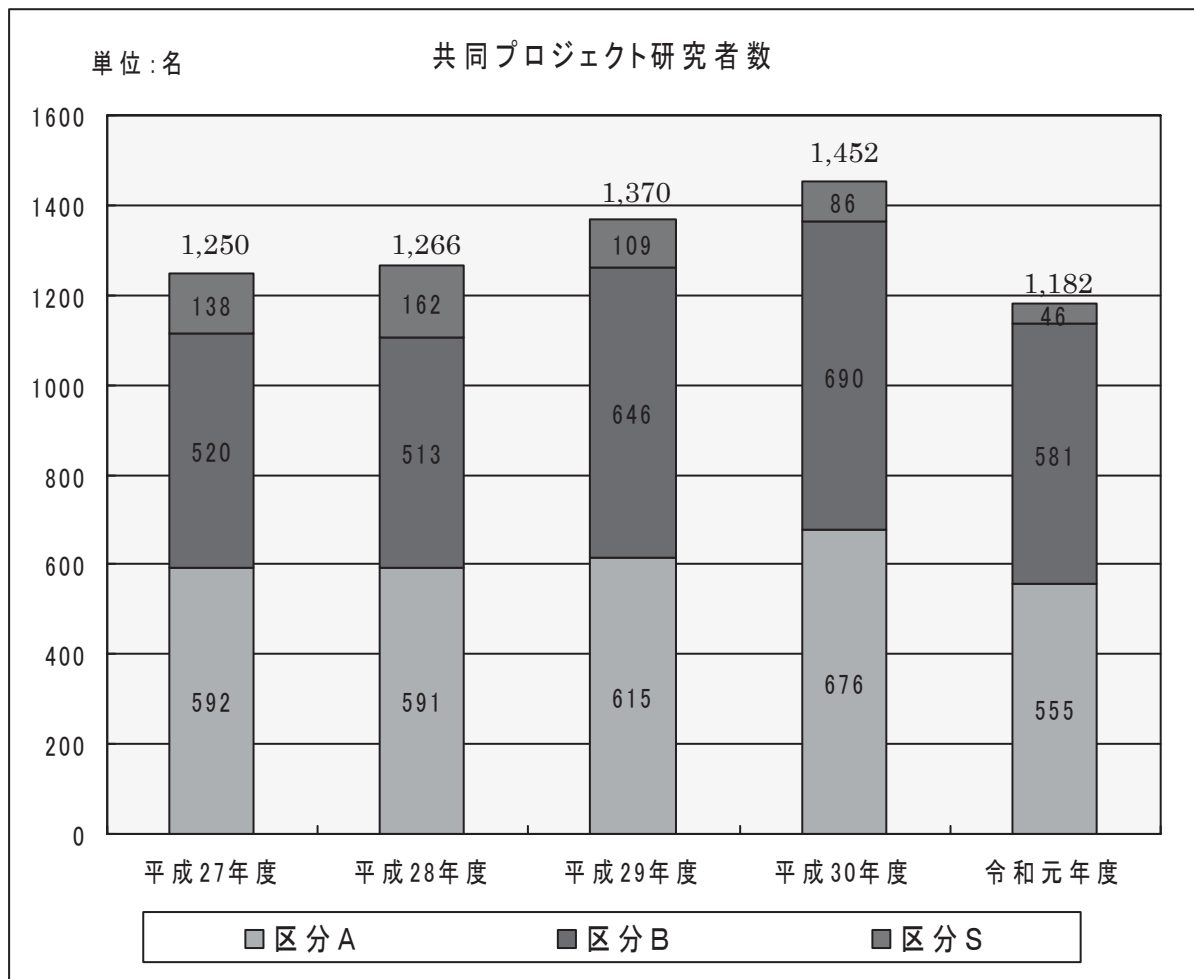
多様な共同プロジェクト研究のさらなる発展を推進すべく、研究区分に加え、6つの研究タイプを設けている。

タイプ別の採択状況は以下のとおりです。

【令和元（平成31）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：5件
- ・萌芽的研究支援型：51件
- ・国際共同研究推進型：38件
- ・その他：1件
- ・若手研究者対象型：15件
- ・先端的研究推進型：59件
- ・産学共同研究推進型：12件

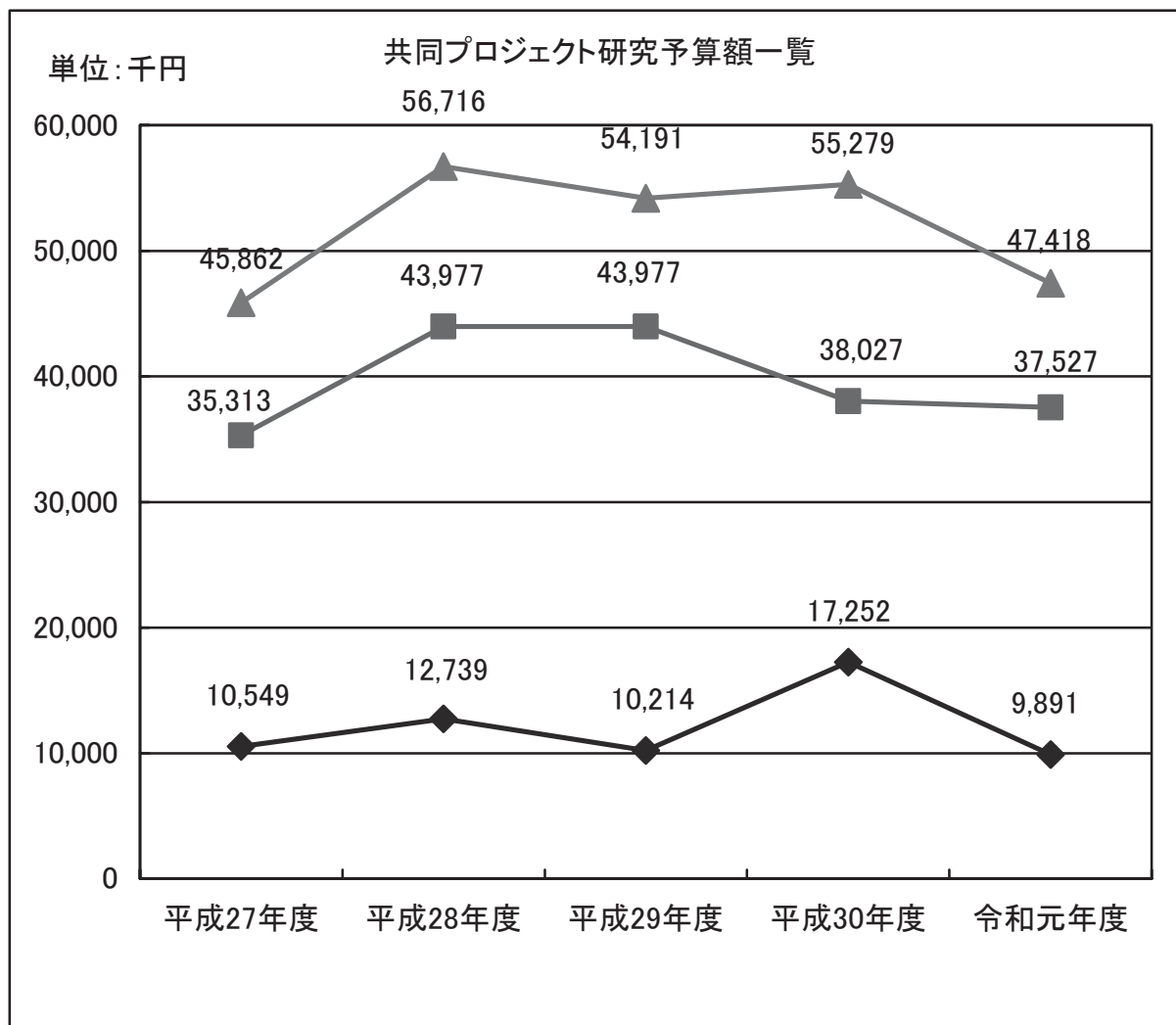
2. 共同プロジェクト研究者数



(単位：名)

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
区分A	592	591	615	676	555
：うち民間	26	26	27	29	13
区分B	520	513	646	690	581
：うち民間	38	46	60	43	47
区分S	138	162	109	86	46
：うち民間	0	0	0	0	0
計	1,250	1,266	1,370	1,452	1,182

3. 共同プロジェクト研究予算額



(単位：千円)

区分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
所内予算	10,549	12,739	10,214	17,252	9,891
拠点経費	35,313	43,977	43,977	38,027	37,527
合計	45,862	56,716	54,191	55,279	47,418

4. 共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト

課題名	財源	研究期間、代表者等	概要
1. 大自由度を巧みに操り実世界環境下を動き回るロボットの構築	JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究)(総額予算3億3,000万円)	H26-R1年度 共同研究者:石黒章夫教授、代表機関:広島大学、参加機関:北海道大学、大阪大学	実世界をしなやかかつタフに動き回るロボットは依然として実現されていない。本プロジェクトは、数学者、生物学者、ロボット工学者そして制御工学者の協働を通して、生物のロコモーションに内在する制御原理を抽出し、これを基にして既存技術では決して達成できないような、タフなロボットの創成を目指している。本プロジェクトの内容は、H24年度・H25年度共同研究プロジェクト(生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御)における議論を通して提案されたものである。(H24/B09)
2. 超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成	JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業)(総額予算2億円)	平成26-R1年度 代表:平野愛弓教授(材料科学高等研究所/電気通信研究所) 庭野道夫教授(電気通信研究所) 参加機関 東北大学 山形大学 東京工科大学	安定化脂質二分子膜内にイオンや電子が伝導できるナノスケールチャネルを形成し、それらのナノチャネルの機能を活用した種々の化学・物理センサの構築を目指す。本プロジェクトは平成24-26年度、共同プロジェクト研究「人工脂質二分子膜の形成とバイオ情報デバイスへの応用」から発展したプロジェクトである。(H24/A13)
3. 二次元原子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用	科学研究費補助金基盤研究(S)(総額予算1億8,798万円)	H28-R2年度 尾辻泰一教授(代表) 佐藤昭准教授(分担) 渡辺隆之助教(分担) 吹留博一准教授(分担)	本研究は、バンドギャップレスな半金属的性質を有するグラフェンを中心として、h-BN等の絶縁体やMoS2等の遷移金属ジカルコゲナイド半導体とのvan der Waals接合からなる二次元原子薄膜ヘテロ接合材料をプラットフォームとして創製し、量子効果やプラズモニク効果などの二次元原子薄膜ヘテロ接合系に特徴付けられた電子・フォトン・プラズモン・フォノンが関わる複合量子系に現れる物理現象を動作機構として新たに導入し、テラヘルツ波領域での増幅・発振・検出・非線形波動制御の各機能を、従来の材料・物理機構が果たし得なかった極めて高いエネルギー効率で実現し得るデバイスを創出することを目的とする。(H22/A01, H27/A04)
4. 昆虫のゾンビ化から紐解く生物の多様な振る舞いの源泉	科学研究費補助金基盤研究(S)(総額予算1億7,784万円)	H29-R3年度 大須賀公一教授(大阪大学) 小林亮教授(広島大学) 石黒章夫教授(東北大学)など	本研究では、ある種のハチの狩猟行動から着想を得て、生物の上位脳機能を生きままに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)
5. 脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	科学研究費補助金基盤研究(S)(総額予算1億2,710万円)	H28-R2年度 羽生貴弘教授	本研究では、脳内情報処理で本質的に利用されている非同期制御回路に、不揮発性素子を用いることで極細粒度パワーゲーティングを適用したダークシリコンロジックLSIの基盤技術を構築する。その技術を脳型アプリケーションに応用することで、脳型コンピューティング実現への可能性を開く。(H26/B09)
6. 新概念スピントロニクス素子創成のための国際研究拠点形成	JSPS研究拠点形成事業 A. 先端拠点形成型(総額予算約8,000万円)	H27-R1年度 大野英男教授、村岡裕明教授、白井正文教授(東北大) 参加機関 ヨーク大学(英国) カイザーラウテルン工科大学(独国)	日英独の拠点大学を中心として新規磁性材料、スピン・光相互変換、排熱利用に関する共同研究を推進して、新概念スピントロニクス素子の創成に挑戦する。(H26/A05)
7. Beyond 5Gに向けたグラフェン/BN原子積層を用いた低環境負荷な超高周波トランジスタ研究開発	総務省戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)フェーズII(総額予算7,800万円)	R1年度 吹留博一准教授 渡邊一世主任研究員(NICT)	Society 5.0等を目指す超スマート社会は、マイクロ秒オーダーの超低遅延性をもつ次々世代無線通信システム(Beyond 5G)を必要とする。本研究開発は、Beyond 5Gに資する「実用的ゲート長(Lg)100 nmで遮断周波数(ft)100 GHzを突破する」性能をもつ低環境負荷なグラフェン・トランジスタ(GFET)を実現する(H30/A01)
8. ヨッタインフォマティクス研究センター設置	国立大学法人機能強化促進費(H30-R2年度予算9,000万円)	H30-R4年度予定 塩入論教授(電気通信研究所) 坂井信之教授(文学研究科) 大町真一郎教授(工学研究科)他	共同プロジェクト研究「情報の質と価値を扱う科学技術の創造」(H28-H30)で進めた、情報の質と価値を取り扱うための研究組織「ヨッタインフォマティクス研究センター」を設置し、そのための文理融合プロジェクトを推進する。(H28/B14)
9. 行動認識と行動介入による情報駆動型社会システムの実証	JST-さきがけ(総額予算5,200万円)	H28-R1年度 荒川豊准教授(奈良先端科学技術大学院大学)	情報技術によって、人に対して割り込みをかけ、その割り込みによって引き起こされる行動変容を社会を駆動するエネルギーにしようという挑戦的な研究である。(H27/A26)

共同プロジェクト研究

課題名	財源	研究期間、代表者等	概要
10. 高安全・高信頼な情報通信のためのトロイフリーLSIシステム設計・検証技術の開発	公益財団法人セコム 科学技術振興財団 (総額予算5,000万円)	H29-R1年度 羽生貴弘教授 鬼沢直哉助教	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）
11. インバーティブル論理に基づくCMOSベース学習ハードウェアの実現に関する基礎的研究	民間（キヤノンメ ディカルシステムズ） (総額予算5,000万円)	H29-R1年度 羽生貴弘教授 鬼沢直哉助教	本研究開発では、CMOSインバーティブル論理を構築し、その手法を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究H29/B17, H29/B23から発展した。
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（戦略的 創造研究推進事業 チーム型研究）（総額 予算3億円）	H30-R5年度 佐藤茂雄教授（研究代 表者） 深見俊輔教授（主たる共 同研究者） 羽生貴弘（主たる共同研 究者）	Society5.0の実現に向けて、エッジコンピューティングシステムに求められる低消費電力性や常時学習機能などの要件を満たすために、不揮発アナログ記憶機能や豊富なダイナミクスを有するスピントロニクスデバイスと、それらを最大限に活用しうるアナ・デジCMOS集積回路や最適化アーキテクチャを追究し、それらの原理実証により、社会実装に向けた道筋を明らかにします。（H29/B17）
13. マルチテレストリアルロコモーションから解き明かす生物の多様な振る舞いの発現機序	科学研究費補助金 基盤研究(A) (総額予算3,861千 円)	H28-R1年度 石黒章夫教授(東北大学) 青沼仁志准教授(北海道 大学)	本研究では、培地の物理的特性の変化に応じて身体の自由度の使い方を巧みに変化させるムカデに着目して、適応的運動機能の発現機序を解明することを目的としている。（H26/B07）
14. 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）（総額 予算3,700万 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。
15. 磁気式3次元モーションセンサシステムの試作と未踏問題への応用	科学研究費補助金 基盤研究(A) (総額予算3,430千 円)	H30-R2年度 代表：北村喜文教授 片山統裕准教授（東北大学 情報科学研究科） 高嶋和毅准教授（東北大学 電気通信研究所） 梶修一郎准教授（東北大学 電気通信研究所）	本研究開発では、従来は計測できなかった対象の3次元の動きを幅広く計測できる新しい磁気式モーションセンサシステムを実現し、いくつかの分野で未解決であった重要な実問題への応用を図る。本研究は、共同プロジェクト研究「深層学習を用いた3次元動作解析、生成の研究、およびHCIへの応用」（H29/A14）、「Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic」（H29/A36）から発展した。
16. Robotics-inspired biology: decoding flexibility of motor control by studying amphibious locomotion	Human Frontier Science Program (総額予算33万 USD)	H29-R2年度 A. J. Ijspeert (EPFL) E. Standen (University of Ottawa) 石黒章夫教授（東北大学）	本プロジェクトでは、サンショウウオなど水陸両用のロコモーション様式を発現する動物種に着目することで、環境の変化に呼応して振る舞いを柔軟に変化させる制御原理の解明を目指す。（H26/B07）
17. 総務省直轄事業「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」	総務省、電波資源 拡大のための研究 開発（H29-R2年 度 合計1億901 万円）	H29-R2年度 末松憲治教授 亀田卓准教授 本良瑞樹助教	本研究開発は、工場などの狭空間における複数通信の衝突・干渉を防ぐ技術の開発のために小形な周波数プロファイリング装置の実現を目指す。（H29/A13）
18. 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-R1年度 予算2,970万円）	H31-R9年度 枝松圭一教授 福田大治研究グル ープ長（産業技 術総合研究所）	光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測を高度化。（H27/A05）
19. 人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業	文部科学省・国立大 学法人等運営費交 付金 特別経費・機 能強化経費（28年 度予算1,855万 円）	H26-R1年度 (参画者：羽生貴弘教授、 石黒章夫教授、佐藤茂雄教 授、鈴木陽一教授、塩入論 教授、坂本修一准教授、松 宮一道准教授、夏井雅典准 教授、加納剛史准教授、秋 間学尚助教、鬼沢直哉助 教、大脇大助教)	電脳社会と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報処理システムの実現には、ハードウェアとソフトウェアが分離した従来型コンピューティングから脱却した全く新しい情報処理構造と、高速かつ高効率な情報処理アルゴリズムの構築が不可欠である。本事業では、ハード・ソフト融合型処理メカニズムに立脚した新しい集積回路システム「新概念脳型LSI」を世界に先駆けて実現することを目的とする。初年度（H26年度）は視覚情報処理の基本構造を確率論的計算構造（ハード・ソフト融合型処理構造の典型例の1つ）で実現できることを実証すると共に、本事業の成果の一部を発展させた研究テーマが、平成28年度科研費・基盤研究Sに採択されるなど、脳型LSI創出事業の一步を着実に踏み出した。（H29/B17, H29/B23）

課題名	財源	研究期間、代表者等	概要
20. 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(電気通信研究所)	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)
21. 実時間音声了解度測定メータの基礎検討研究課題	科学研究費助成事業 基盤研究(C) (総額予算442万円)	H29-R1年度 近藤和弘教授(山形大学)	本研究開発では、高い品質の放送を実現するために、音声品質のブラインド推定モデルを開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「ロングパスエコー下での伝送パラメータを用いない音声了解度推定」(H26-28)から発展した。(H26/A14)
22. マイクロホンネットワークと高品質音声合成による「よく聴こえる」拡声システム	科学研究費助成事業 若手研究 (総額予算416万円)	R1-R2年度 小林洋介助教 (室蘭工業大学)	拡声システムに存在する『「元の音声不明瞭な発話であっても」聴き取りにくくなること』、『不明瞭な発話がなかなか改善されない』という問題を、聴取地点に設置されたマイクロホンネットワークで品質予測した結果を音声放送の改善に利用することで改善し、誰もが聴き取りやすい拡声システムの実現を目指す。(H29/A18)
23. 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)
24. 超低消費電力MTJ/CMOS Hybrid IoTデバイス基盤技術の研究開発	SIP 第二期 戦略的イノベーション創造プログラム (R1年度予算9億2000万円)	H30-R4年度 (代表：遠藤哲郎教授)	本提案では、スピントロニクス素子である磁気トンネル接合(MTJ)とCMOS技術を融合させたMTJ/CMOS Hybrid技術を用いて、あらゆるIoTデバイスに演算処理機能に加えて不揮発機能を融合させることで従来の消費電力と演算処理性能のジレンマを解消し、フィジカル空間に求められる飛躍的な低消費電力性能を有するIoTデバイスの基盤技術を構築する。本プロジェクトの内容は、H29年度の共同研究プロジェクト(「高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムに関する研究」及び「ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとその新概念情報処理応用に関する研究」)における議論を通して提案されたものである。(H29/B03、H29/B05)
25. 【世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出:研究開発テーマ4-1】高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立	OPERA:産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (R1年度予算646万円)	H29-R2年度 代表：遠藤哲郎教授 参加者：馬奕涛助教(電気通信研究所)、張山昌論教授(情報科学研究科)	本プログラムでは、知財等の制度改革を行い、エネルギー・労働力問題の社会的要請を受けて、非競争領域の「不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立」の研究開発テーマをたて、その革新的技術群の創出と人材育成を担う産学共創プラットフォームの形成を目指して研究を進めている。本プロジェクトの内容は、H29年度の共同研究プロジェクト(「高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムに関する研究」及び「ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとその新概念情報処理応用に関する研究」)における議論を通して提案されたものである。(H29/B03、H29/B05)
26. p-MTJに基づく超低電力不揮発ニューロモーフィックアーキテクチャの確立	科学研究費助成事業 基盤研究(C) (総額予算412万円)	H31-R3年度 馬奕涛助教(電気通信研究所)	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ィックチップ(NC)システムに着目して、共同研究のもとで東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター(CIES)の設計環境と評価分析環境を活用し、p-MTJに基づく不揮発NCのモデルの確立から実際の回路設計までの領域横断の手法を用いて、高速・コンパクト・低消費電力のメモリアイブ不揮発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)
27. 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	科学研究費補助金 基盤研究(B) (総額予算170万円)	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)

共同プロジェクト研究

課題名	財 源	研究期間、代表者等	概 要
28. 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（総額予算1億円）	R1-R3年度 関屋大雄教授（千葉大学） 参加機関 ATR, 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）
29. 単一アナログデバイスと局所的学習則を用いるリアルニューロモーフィックシステム	科学研究費助成事業 基盤研究（C） （総額予算330万円）	H31-R3年度 木村教授 中島教授 張教授 羽賀助教 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ィックシステム」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」から発展したものである。（H30/A28）
30. アモルファス酸化半導体の電子構造解析と新規応用提案	東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所共同利用研究	H31-R2年度 木村教授 神谷教授 参加機関 東京工業大学	本研究では、「アモルファス酸化半導体の電子構造解析と新規応用提案」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」から発展したものである。（H30/A28）
31. 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ニクスデバイスと、それらを最大限に活用しうるアナ・デジCMOS集積回路や最適化アーキテクチャを追究し、それらの原理実証により、社会実装に向けた道筋を明らかにします。（H30/A20）

第6 国際活動

1. 電気通信研究所国際シンポジウム

1	高温超伝導単結晶の固有ジョセフソン効果と THz 帯プラズマ振動	平成 9 年 2 月 23-25 日
2	脳の情報原理に基づくブレインアーキテクチャの設計・制作	平成 10 年 3 月 16-18 日
3	ミリ波革新技術とその応用	平成 10 年 12 月 14-16 日
4	Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議	平成 11 年 9 月 13-17 日
5	フォトニック結晶構造国際会議	平成 12 年 3 月 8-10 日
6	半導体スピン物性の基礎と応用	平成 12 年 9 月 13-15 日
7	証明と計算における書き換え技法	平成 13 年 10 月 25-27 日
8	非線形理論とその応用	平成 13 年 10 月 28 日・11 月 1 日
9	ニューパラダイム VLSI コンピューティング	平成 14 年 12 月 12-14 日
10	超高密度スピニックスストレージシステム	平成 15 年 10 月 23-24 日
11	第 3 回 SiGeC 国際ワークショップ	平成 16 年 10 月 12-13 日
12	第 3 回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ	平成 17 年 4 月 11-12 日
13	第 4 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議 (ICSI-4)	平成 17 年 5 月 23-26 日
14	第 1 回新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 17 年 5 月 27-28 日
15	東北大学情報科学研究科国際シンポジウム 新時代の情報科学：脳、心および社会	平成 17 年 9 月 26-27 日
16	第 1 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 2 月 8-9 日
17	第 4 回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ	平成 18 年 5 月 8 日
18	第 4 回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議	平成 18 年 8 月 15-18 日
19	第 2 回新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 10 月 2-3 日
20	第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 2 月 15-16 日
21	日中音響学会議 2007	平成 19 年 6 月 4-6 日
22	アルゴリズム論的学習理論および発見科学に関する合同国際会議	平成 19 年 10 月 1-4 日
23	第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 10 月 31 日・11 月 1 日
24	第 3 回新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 8-9 日
25	第 1 回ナノ構造&ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 21-22 日
26	第 18 回アルゴリズムと計算に関する国際会議	平成 19 年 12 月 17-19 日
27	気相-液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム	平成 20 年 9 月 5-6 日
28	第 4 回新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 9 月 25-27 日
29	第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 10 月 9-10 日
30	ミリ波シンポジウム	平成 21 年 4 月 20-22 日
31	マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ	平成 21 年 4 月 24-25 日
32	第 4 回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム	平成 21 年 8 月 4-5 日
33	第 20 回パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム	平成 21 年 9 月 13-16 日
34	第2回RIEC-CNSIナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する国際ワークショップ(第5回スピントロニクス国際ワークショップ)	平成 21 年 10 月 22-23 日
35	空間音響の原理と応用に関する国際シンポジウム	平成 21 年 11 月 11-13 日
36	第 5 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ	平成 22 年 1 月 29-30 日
37	第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 22 年 2 月 5-6 日
38	第 2 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 22 年 3 月 11-12 日
39	グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム	平成 22 年 10 月 27-29 日
40	第 9 回日韓表面ナノ構造シンポジウム	平成 22 年 11 月 15-16 日
41	第 7 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 23 年 2 月 3-4 日
42	第 12 回国際多感覚研究フォーラム	平成 23 年 10 月 17-20 日
43	第 8 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 2 月 2-3 日
44	第 6 回国際シンポジウム メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス	平成 24 年 3 月 8 日
45	第 3 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 24 年 3 月 21-22 日
46	第 9 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 5 月 31 日・6 月 2 日
47	第 1 回スマートテクノロジー国際ワークショップ	平成 24 年 10 月 18-19 日
48	TU Dresden and Tohoku University Symposium 2012	平成 24 年 11 月 2 日
49	第 1 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 24 年 11 月 15-16 日
50	東北大学-ハーバード大学ジョイントワークショップ	平成 25 年 1 月 15-16 日
51	第 11 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 25 年 1 月 31 日・2 月 1 日
52	メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス第 7 回国際シンポジウム	平成 25 年 3 月 7 日
53	第 6 回ミリ波シンポジウム	平成 25 年 4 月 22-23 日
54	第 2 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 26 年 2 月 21-22 日
55	メディカル・バイオ・エレクトロニクス第 8 回国際シンポジウム	平成 26 年 3 月 6-7 日
56	第 5 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 26 年 3 月 6-7 日

国際活動

57	第12回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成26年6月25-27日
58	電子レンジマグネティック2014に関するIEEE国際会議	平成26年6月29日-7月2日
59	RIEC国際シンポジウム 知覚とコミュニケーション	平成26年7月24日
60	2014アジア太平洋マイクロ波会議	平成26年11月4-7日
61	脳機能と脳コンピュータに関する第3回RIEC国際シンポジウム	平成27年2月18-19日
62	ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成27年3月2-3日
63	第9回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム	平成27年3月2-4日
64	第6回ナノ構造とエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成27年3月2-4日
65	RIEC国際シンポジウム ビジョンと認知	平成27年3月20日
66	国際色覚学会 第23回シンポジウム	平成27年7月3-7日
67	コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開	平成27年9月26-27日
68	第13回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成27年11月18-20日
69	脳機能と脳コンピュータに関する第4回RIEC国際シンポジウム	平成28年2月23-24日
70	ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成28年2月26-27日
71	第10回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム	平成28年3月1-3日
72	第7回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成28年3月1-3日
73	超臨場感音響相互通信に関する国際シンポジウム	平成28年5月20-21日
74	第5回テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するロシア-日本-USA-ヨーロッパシンポジウム (テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するRIEC国際シンポジウム)	平成28年10月31-11月4日
75	ディバンダブルワイヤレスワークショップ2016	平成28年11月9-10日
76	第14回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成28年11月17-19日
77	ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成29年2月24-25日
78	第5回脳機能と脳コンピュータに関するRIEC国際シンポジウム	平成29年2月27-28日
79	RIEC医用光工学国際ワークショップ2017	平成29年3月6日
80	第8回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成29年3月6-7日
81	2017年RIECロシア-日本合同マイクロ波国際ワークショップ	平成29年10月19-20日
82	フォトニクスと光通信に関する国際シンポジウム	平成29年10月25-26日
83	エクスペアレンスデザインと認知科学に関する通研国際シンポジウム	平成29年11月18-19日
84	第15回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ	平成29年12月13-14日
85	第6回脳機能と脳コンピュータに関するRIEC国際シンポジウム	平成30年2月1-2日
86	ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成30年2月23-24日
87	第9回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成30年3月1-2日
88	磁性材料と磁気デバイスに関する日韓シンポジウム	平成30年8月24日
89	ユニバーサル音コミュニケーション国際シンポジウム2018	平成30年10月22-24日
90	2018アジアワイヤレス電力伝送ワークショップ(AWPT2018)	平成30年11月2-4日
91	第3回グラフィエンと関連する二次元材料に関する日欧フラッグシップワークショップ	平成30年11月19-21日
92	第2回東北大学/国立台湾大学連携シンポジウム-人工知能と人間科学の学際的研究-	平成30年11月24日
93	第14回知的情報ハイディングとマルチメディア信号処理に関する国際会議	平成30年11月26-28日
94	ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム	平成30年12月12-13日
95	第16回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ	平成31年1月9-10日
96	第7回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成31年2月22-23日
97	ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成31年3月1-2日
98	第10回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成31年3月6-7日
99	第12回ミリ波グローバルシンポジウム	令和元年5月22-24日
100	第16回最新情報通信技術に関する国際ワークショップ	令和元年10月31日-11月2日
101	第17回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ	令和元年12月3-6日
102	ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム	令和2年1月24-25日
103	第8回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	令和2年2月13-15日

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. IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems
2. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers
3. IEICE Electronics Letter (ELEX)
4. IEICE Transactions on Communications (EB)
5. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics,
Communications and Computer Sciences
6. Journal of Cryptographic Engineering
7. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE (NOLTA)
8. PLOS ONE
9. 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 IEEE-GCC Conference (GCC 2019)
2. 10th International Symposium on Metallic multilayers (MML2019)
3. 11th MRAM Global Innovation Forum
4. 17th RIEC International Workshop on Spintronics
5. 2019 IEEE International Reliability Physics Symposium
6. 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications
7. 2019 MRS Fall Meeting
8. 2019 Spintronics Workshop on LSI
9. 2020 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices
10. 24th Soft Magnetic Materials Conference
11. 8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) & 13th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics
12. ACM Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services 2019
13. ACM Conference on Interactive Surfaces and Spaces 2019
14. ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia 2019
15. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST) 2019
16. APCV 2019 Asia-Pacific Conference on Vision
17. Asian CHI Symposium 2020: Emerging HCI Research Collection
18. Auditory Perception and Cognition
19. Compound Semiconductor Week / International Symposium on Compound Semiconductors (CSW/ISCS2019)
20. Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM)
21. IEEE 5G World Forum (WF-5G 2019)
22. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC 2019)
23. IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integrated Technology (RFIT)
24. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2019)
25. IEEE Virtual Reality 2020
26. International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE 2019)
27. International Conference on Cryptographic Hardware and Embedded Systems 2019
28. International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR2019)
29. International Conferences on Modern Materials & Technologies in Montecatini Terme (CIMTEC 2020)
30. International Congress on Graphene, 2D Materials and Applications (2DM 2019)
31. International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines 2019
32. Purdue-Tohoku Spintronics Workshop II
33. Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE 2019)
34. Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE 2020)
35. SICE annual conference 2020
36. SPICE Workshop on Antiferromagnetic Spintronics
37. SPIE International Conference on Photonics Europe, Conference on Terahertz Photonics (SPIE Photonics-EU)
38. The 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 19)
39. The 10th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2019)

40. The 11th International Conference on ICT Convergence (ICTC 2019)
41. The 1st International Symposium on Designing Human-Centric IoT Society
42. The 2018 IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM 2019)
43. The 2018 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT 2019)
44. The 2019 International Communications Quality and Reliability Workshop (IEEE CQR 2019)
45. The 2019 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2019)
46. The 2020 International Workshop on Pervasive Information Flow (PerFlow'20)
47. The 2020 Wireless Communications Networking Conference (WCNC 2019)
48. The 23rd IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (IEEE CAMAD 2019)
49. The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics
50. The 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019)
51. The 4th Graphene Flagship EU-Japan Workshop on Graphene and Related 2D Materials (EU-JP G-Flagship)
52. The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
53. The ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2019)
54. The International Conference on Information Networking 2019 (ICOIN 2019)
55. The Seventh International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2019)
56. Tohoku-York-Kaiserslautern 10th Core-to-core Workshop on "New-Concept Spintronics Devices"
57. Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2019)
58. When AI Meets Human Science:
The 3rd NTU-Tohoku International Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies
59. Workshop Spintronic Tohoku-Mainz Lorraine 2019

国際活動

4. 国際学会における招待講演数

区分	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
招待講演数	69	73	97	80	96

5. 国際共同研究の実施状況

実施状況(件数)	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
	59	84	106	101	118

6. 国際共同研究一覧

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
フランス	トゥール大学	ナノスケール材料の相変化現象の探索と光電子デバイス応用	H28.4～	上原研
スペイン	カタルーニャ・ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究所	光エレクトロニクス応用に向けた不揮発相転移酸化物素子の創製	H31.4～	上原研
スイス	チューリッヒ工科大学	Two-Dimensional Defect Mapping of the SiO ₂ /4H-SiC Interface	H30.9～	長研
デンマーク	デンマーク工科大学	ブラックシリコンのキャリア分布評価に向けた非線形誘電率顕微鏡法の適用可能性の検討	H29.11～	長研
英国	The University of York	磁気トンネル接合の微細構造の電子顕微鏡を用いた解析と第一原理計算	H25.2～	白井研
ドイツ	Technical University of Kaiserslautern	新概念スピントロニクス素子創製のための国際研究拠点形成	H27.4～	白井研
英国	The University of York	新概念スピントロニクス素子創製のための国際研究拠点形成	H27.4～	白井研
英国	The University of York	磁壁クリープ薄膜の構造解析	H27.6～	白井研
英国	The University of York	平面走査電子顕微鏡を用いた磁性積層膜界面構造解析法に関する研究	H27.6～	白井研
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	H29.10～	白井研
ドイツ	Ruhr-University Bochum	半導体微細デバイスに関する研究	H30.4～	大塚研
アメリカ	Purdue University	原子層物質と微細構造のスピン物性の研究	R1.10～	大塚研
ポーランド	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	H11.4～	深見研
スウェーデン	University of Gothenburg	スピントロニクス素子の発振現象に関する研究	H28.11～	深見研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
スイス	ETH Zurich	X線顕微鏡を用いたスピン軌道トルク磁化反転の観察	H28.11～	深見研
フランス	Université Paris-Sud	スピン軌道トルク磁化反転の時間分解測定	H28.9～	深見研
ポーランド	University of Bialystok	極薄垂直磁化容易薄膜の磁区構造観察	H29.12～	深見研
シンガポール	National University of Singapore	スピントルクダイオードを用いたエナジーハーベスティングの検討	H29.9～	深見研
英国	The University of York	反強磁性ヘテロ構造の結晶構造解析	H30.3～	深見研
フィリピン	Mindanao State University-Iligan Institute of Technology	Effect of sample geometry on the damping mechanism of CoFeB magnetic thin films with perpendicular easy axis using vector-network-analyzer ferromagnetic resonance spectroscopy	H30.9～	深見研
米国	University of Chicago	酸化物材料の量子情報応用	H30.3～	深見研
米国	Purdue University	低熱安定性磁気トンネル接合を用いた新概念情報処理に関する研究	H30.2～	深見研
フランス	Spintec	磁気トンネル接合における発振現象に関する研究	H30.1～	深見研
ドイツ	ミュンヘン工科大学	磁気光学効果を用いたスピン軌道トルク磁化反転の時間分解観測	H30.10～	深見研
ドイツ	マインツ大学	反強磁性体の共鳴現象に関する研究	H30.11～	深見研
フランス	ジーンラムール研究所	テラヘルツ放射利得媒質としてのディラック分散則を有するナノ構造に関する研究	H31.4～	深見研
オーストラリア	University of New South Wales	Dynamics of spin-orbit torque induced switching of metallic antiferromagnet/non-magnet heterostructures	H31.4～	深見研

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	R1.9～	深見研
米国	University of Chicago	磁気トンネル接合への色中心の導入と量子状態の電氣的制御	R1.10～	深見研
スペイン	Technical University of Catalunya	脳型計算用ハードウェア技術	H27.4～	佐藤研
スペイン	カタルーニャ工科大学	脳型計算ハードウェア基盤とその応用	H30.4～	佐藤研
ドイツ	Innovations for High Performance microelectronics (IHP), Technische Universität Berlin	原子層ドーピング	H7.10～	佐藤研
ドイツ ベルギー 米国 フランス スペイン	Innovations for High Performance Microelectronics IHP Tech. Univ. Berlin imec Princeton Univ. MIT Univ. Stuttgart Aix-Marseille Univ. Univ. Vigo Forschungszentrum Juelich	新IV族半導体ナノ構造の原子層制御とデバイス高性能化に関する研究	H29.4～	佐藤研
スペイン	バルセロナ大学	大脳皮質神経回路のin vitroモデリングに関する研究	H29.2～	佐藤研
ドイツ	ミュンヘン工科大学	3次元構造型神経計測デバイスの開発に関する研究	H30.5～	佐藤研
ロシア	St. Petersburg Electrotechnical University	無線IoTを実現するための先端的高周波回路技術とそのシステム応用	H29.4～	末松研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
イタリア	Trent University	移動体IoT探索範囲拡大のためのエネルギーハーベスト応用アクティブリフレクタレーの研究	H30.4～	末松研
米国	Rutgers, The State University of New Jersey	Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証 (国際共同研究強化)	H30.9～	末松研
ロシア	ロシア科学アカデミーモスクワ物理工学研究所	グラフェンテラヘルツプラズモニクデバイスに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミーマイクロ構造物理学研究所	グラフェンを中心とする二次元ヘテロ構造デバイスのテラヘルツレーザー応用に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
米国	Rensselaer Polytechnic Institute	テラヘルツ・ナノエレクトロニクス材料科学に関する日米共同教育研究事業	H26.4～	尾辻研
ロシア	バウマンモスクワ州立工科大学	テラヘルツフォトンクスに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ドイツ	レーゲンスブルク大学	テラヘルツプラズモニクテラヘルツデバイスに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
フランス	CNRS-Montpellier Univ.	テラヘルツ帯プラズモニク・ナノICTデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
フランス	IEMN-Lille; フランス国立マイクロエレクトロニクス・ナノテクノロジー研究所	テラヘルツ帯プラズモニク・ナノICTデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
フランス	University of Savoy	テラヘルツ帯プラズモニク・ナノICTデバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
米国	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	化合物半導体極限高性能トランジスタ技術およびグラフェントランジスタに関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミーコテルニコフ無線電子技術研究所	周期的グラフェンナノ構造におけるテラヘルツ・プラズモニク超放射に関する共同研究	H26.4～	尾辻研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
スペイン	Universidad de Salamanca	半導体プラズモニックナノ構造におけるテラヘルツ放射・検出技術に関する共同研究	H26.4～	尾辻研
ロシア	モスクワ物理工科大学	グラフェンテラヘルツプラズモニックデバイスに関する共同研究	H28.4～	尾辻研
ロシア	University at Buffalo, The State University of New York	テラヘルツ放射利得媒質としてのディラック分散則を有するナノ構造に関する研究	H30.4～	尾辻研
スペイン	サマランカ大学	Development of graphene based devices for terahertz applications	H29.4～	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミー・超高周波半導体エレクトロニクス研究所	Japan-Russia International collaborative research on gated GaAs structures with an array of self-assembled Sn-nanowires and their terahertz applications	H30.4～	尾辻研
米国	University at Buffalo, SUNY, Dept Electrical Engineering	Japan-USA International Collaborative Research on Terahertz Devices based on Graphene-Phosphorene van der Waals Heterostructures	H31.4～	尾辻研
ロシア	Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of Russian academy of sciences	Japan-Russia International collaborative research on high sensitive and tunable room-temperature plasmonic photoconductive antenna-detector	H31.4～	尾辻研
UAE	United Arab Emirates University	Study of 2D nanomaterial devices for terahertz applications	H31.4～	尾辻研
ロシア	モスクワ物理工科大学	Theoretical Study of Nonequilibrium Dynamics of Electrons and Plasmons in Two-Dimensional Electron Systems	H29.4～	尾辻研
米国	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	周波数無相関量子もつれ光子対光源に関する共同研究	H28.1～	枝松研
インド	Raman Research Institute	量子計測基本過程に関する共同研究	H28.1～	枝松研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
インド	Bose Institute	量子計測過程に関する共同研究	H28.5～	枝松研
クロアチア	University of Zagreb・Department of Electronics	クロアチアー日本 環境電磁工学 ワークショップ	H31.4～	石山研
ドイツ	University of Oldenburg	視聴覚音声知覚と次世代補聴技術に関する研究	H29.11～	坂本研
オーストラリア	University of Sydney	多感覚音空間知覚に関する研究	H29.9～	坂本研
ドイツ	Oldenburg University	音声明瞭度・了解度の客観評価に関する研究	H28.4～	坂本研
米国	Rochester Institute of Technology	Immersive experience of virtual auditory environment: investigating influence of physical parameters of height ambiances	H29.4～	坂本研
オーストラリア	University of Sydney	単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究	H30.4～	坂本研
英国	University College London	聴覚の空間的注意に関する研究	R1.6～	坂本研
米国	カリフォルニア工科大学	脳内の並列情報処理	H27.4～	塩入研
米国	カリフォルニア大学バークリー校	継時依存効果に対する頭部方向の影響	H27.4～	塩入研
ドイツ	Ludwig-Maximilians-Universität (ミュンヘン大学)	サッカーボール統合に関する輝度コントラストの影響	H28.4～	塩入研
米国 タイ 台湾	Ohio State University ラジャマンガラ工科大学 タニヤブリ校 国立交通大学 国立台湾大学	色名に関する文化差および個人差の研究	H29.4～	塩入研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
中国	Kunming University of Sciece and Technology	定常的視覚誘発電位を用いた純粹空間的注意計測	H29. 9～	塩入研
台湾	National Taiwan University	AI研究と人間科学に関する研究	H30. 4～	塩入研
米国	カリフォルニア工科大学	「こころ」を生み出す脳内機構の理解	H30. 9～	塩入研
米国	University of Nevada, Reno	Cortical color representation in anomalous trichromats	H29. 1～	塩入研
台湾	China Medical University, Fu-Guan University	Mind and environment interface: Human attention in the brain	H29. 4～	塩入研
台湾	National Taiwan University, China Medical University	The effect of attention on the integration of image components in the human visual system	H29. 4～	塩入研
米国	カリフォルニア工科大学, California Institute of Technology	Social communication: behavioral and brain representations	H29. 4～	塩入研
フランス 台湾	Paris 8 CNRS 国立台湾大学 China Medical University Dr. Sun Yat-sen University National Tschihua University	Search Science: an interdisciplinary endeavor	H29. 4～	塩入研
英国	Northwestern University	Pre-verbal infant learning: Infants' preference and understanding from eye movements and pupil dilation	H31. 4～	塩入研
台湾	国立台湾大学	学習支援のための追体験システムの構築	H31. 4～	塩入研
シンガポール	National University of Singapore	デザイン学の手法に基づく3次元インタラクティブ技術の日常的なジェスチャを活用したヒューマンコンピュータインタラクションへの応用	H28. 4～	北村研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
カナダ	University of Calgary	人と空間と情報技術に関する研究	H28.4～	北村研
中国	Dalian Maritime University	アジアにおけるHCI研究の活性化	H28.4～	北村研
シンガポール	National University of Singapore	汎用超小型ジンバルの開発とそのアプリケーションの研究	H28.4～	北村研
シンガポール	Singapore Management University	HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの確立	H29.4～	北村研
スコットランド	University of Edinburgh	深層学習を用いた3次元動作解析、生成の研究、およびHCIへの応用	H29.4～	北村研
カナダ	トロント大学	VR内の知覚とインタラクションに関する研究	H29.4～	北村研
イタリア	University of Palermo	Creative Application of 3D Magnetic Motion Tracking System to Music: the CubeHarmonic	H29.9～	北村研
シンガポール	シンガポール大学	カラスの行動制御のための広域音声システムの開発	H29.9～	北村研
シンガポール	シンガポール大学	エンタメドローン研究会～エンタテインメント分野へのドローンの活用と興行化へ向けた課題抽出および、その技術的解決手段の検討@EC2017	H29.9～	北村研
タイ	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Creating smart and informative society for the elderly	H30.4～	北村研
シンガポール	シンガポール大学	ドローンレースの娯楽性を向上させる配信技法に関する研究会	H30.4～	北村研
英国	University of St Andrews	知的創造活動の支援ツール開発のための定量的評価指標の検討	H28.4～	北村研
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	H29.4～	北村研
インド	IIT Bombay	Interactive Content for Emergent Users	H31.4～	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	Redesigning the D-FLIP system: a photo management system for the elderly and the technologically inexperienced	H31.4～	北村研
米国	マサチューセッツ工科大学	HCIの特徴を活かした次世代型学術コミュニティの発展	H31.4～	北村研
韓国	Yonsei University	アジアにおける HCI研究コミュニティの活性化	H31.4～	北村研
シンガポール	国立シンガポール大学	地域活性化のためのUAV利活用技術とその社会実装に関する研究会	H31.4～	北村研
シンガポール	School of Information Systems, Singapore Management University	複雑なグラフコンテンツの探索・編集のためのユーザインタフェース	H31.4～	北村研
ニュージーランド	カンタベリー大学	適応的な触覚提示によるVR体験の没入感向上と動作範囲の削減	R1.10～	北村研
スイス	Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL)	生物ロコモーションの制御原理の解明とロボット応用	H27.4～	石黒研
イギリス	The University of Manchester	古生物のロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究	H29.4～	石黒研
スイス カナダ	スイス連邦工科大学 ローザンヌ校 オタワ大学	水陸両用ロコモーションの発現機序解明に関する研究	H29.9～	石黒研
イギリス	The University of Warwick	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バイバルシステムの革新的設計論	R1.10～	石黒研
米国	University of Minnesota	気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成	H30.4～	平野研
ドイツ	University of Erlangen-Nuremberg	酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用	H30.4～	平野研
米国	University of Virginia	エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開	H31.4～	長谷川研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
フランス	国立パリ高等情報通信大学	先端的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究	H29.4~R2.3.	本間研
シンガポール	Nanyang Technological University	PSDL: Physical Security of Deep Learning	R1.9~	本間研
ベルギー	KU Leuven	Securing IoT devices against EM Fault Injection	R1.9~	本間研
ベトナム	Renesas Design Vietnam Co., Ltd.	Brain-inspired edge computing system for automotive application	H30.10~R1.9	堀尾研
ベトナム	Renesas Design Vietnam Co., Ltd.	Brain-inspired edge computing system for automotive application	R1.10~	堀尾研
カナダ	McGill大学	脳型LSIとその応用 国際共同研究	H29.4~	羽生研
フランス	STICC研究所	脳型LSIとその応用 国際共同研究	H29.4~	羽生研
カナダ	トロント大学	脳型LSIとその応用 国際共同研究	H29.4~	羽生研
英国 フランス	University of Cambridge University of Paris Sud	半導体デバイス向け二次元電子・スピン材料拠点	H28.4~	遠藤研

7. 外国人研究者の招へい状況

区分	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
文部科学省事業	8	0	4	67	63
日本学術振興会事業	15	17	9	10	9
当該法人による事業	75	60	82	84	26
その他	65	72	71	69	109
計	163	149	166	230	207
地域別内訳					
①アジア	32	47	56	74	82
②北米	50	28	42	34	22
③中南米	0	2	2	2	1
④ヨーロッパ	76	67	62	110	97
⑤オセアニア	0	4	3	7	3
⑥中東	5	0	1	2	2
⑦アフリカ	0	1	0	1	0
計	163	149	166	230	207
滞在期間別内訳					
1 月以上滞在	15	27	33	36	41
1 週間以上 1 月未満	14	34	42	48	41
1 週間未満	134	88	91	146	125
計	163	149	166	230	207

8. 研究者の海外派遣状況

区分	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
文部科学省事業	30	33	25	9	37
日本学術振興会事業	93	105	112	126	105
当該法人による事業	52	38	27	23	49
その他	59	62	102	126	86
計	234	238	266	284	277
地域別内訳					
①アジア	45	39	56	65	49
②北米	92	80	75	76	91
③中南米	5	3	3	1	1
④ヨーロッパ	89	110	120	136	121
⑤オセアニア	3	4	11	3	13
⑥中東	0	2	0	1	1
⑦アフリカ	0	0	1	2	1
計	234	238	266	284	277

9. 国際学術交流協定一覧

1. 部局間協定

代表者	協定校		協定締結 年月日	研究課題/目標	協定の主な内容					更 新 状 況
	国名	研究機関名			学 生 の 交 流	刊 行 物 の 交 換	研 究 指 導	共 同 研 究 の 実 施	教 官 等 の 交 流	
教授 津屋 昇	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー 物理研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾 性結合に関する研究		○	○	○	○	継 続
教授 沢田康次	アメリカ	シカゴ大学 ジェームス・フランク 研究所	1987.4.27	カオスと乱流		○		○	○	失 効
教授 曾根敏夫	タイ	チュラロンコン大学 理学部	1987.4.28	都市騒音の実態と住民 への影響に関する計測 と評価の国際比較によ る研究		○		○	○	失 効
教授 白鳥則郎	中国	ハルビン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構 築に関する研究		○		○	○	失 効
教授 水野皓司	イギリス	ロンドン大学 クイーンメアリー・ウ ェストフィールドカ レッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の 測定に関する研究		○		○	○	失 効
教授 白鳥則郎	中国	深圳大学科研処	1987.6.15	計算機ネットワーク構 築に関する研究		○		○	○	失 効
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェース とエージェントの知的 化		○		○	○	失 効
教授 山下 努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子 に関する研究	○	○		○	○	失 効
教授 山下 努	ロシア	ロシア科学アカデミ ー通信電子工学研究 所	1998.2.23	超伝電子通信デバイス の研究	○	○		○	○	失 効
教授 山下 努	中国	南京大学 電子科学技術系	1998.4.16	超伝導ミリ波・サブミ リ波デバイスの研究	○	○		○	○	失 効
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 情報通信工学部	1998.11.6	ニューラルネットワー クと知的情報処理に関 する研究	○	○		○	○	失 効
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー (IHP)	2000.1.22	IV族半導体極限ヘテロ 構造形成プロセスに関 する研究		○		○	○	継 続
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 マルセイユナノサイ エンス学際センター	2005.10.24	半導体表面・界面制御 結晶成長の基礎と応用 の研究		○		○	○	継 続
教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子お よびスピントロニクス の基礎と応用の研究		○		○	○	継 続

国際活動

教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネット ワーク研究所 (WINLAB)	2009.12.9	超高速屋内ブロードバ ンド無線通信システム の研究	○			○	○	継続
教授 室田淳一	スペイン	ビゴ大学	2011.2.25	電気通信研究所附属ナ ノ・スピン実験施設を ナノエレクトロニクス 国際共同拠点としてい く	○	○		○	○	継続
教授 室田淳一	アメリカ	ニューヨーク州立大 学・ナノスケール科学 技術カレッジ	2011.9.30	電気通信研究所附属ナ ノ・スピン実験施設を ナノエレクトロニクス 国際共同拠点としてい く	○	○				失効
教授 大野英男	台湾	国立中山大学物理系	2013.5.8	共同研究を促進し、学 生・教職員の交流を活 発に行う		○		○	○	失効
教授 尾辻泰一	ロシア	バウマン・モスクワ国 立工科大学 フォト ニクス・赤外工学研究 教育センターおよび 無線電子工学・レーザ ー工学研究所	2014.6.26	新材料として注目され ているグラフェンおよ び化合物半導体を中心 とする半導体ヘテロエ ピタキシャル材料シス テムによるテラヘルツ 機能デバイス応用の研 究を大きく前進させる	○	○		○	○	継続
教授 中沢正隆	アメリカ	マサチューセッツ工 科大学電子工学研究 所およびマイクロシ ステム技術研究所	2015.1.9	・フォトニクス分野か ら ICT、メカニクス、 マテリアル、メディカ ルエレクトロニクスに 至る工学、理学、医工 学分野における、本学・ MIT の複数の部局にま たがる国際共同研究の 推進 ・大学院生および若手 研究者を中心とした相 互訪問による人的交流 の活性化	○	○		○	○	新規
教授 末松憲治	ロシア	サンクトペテルブル ク電気工科大学	2016.11.22	ハイブリッドセミコン ダクタ回路技術とその 応用	○			○	○	新規
教授 本間尚文	フランス	国立パリ高等情報通 信大学	2017.10.25	・ハードウェアセキュリ ティ分野において国際共 同研究を推進すること ・教員・研究員の交流 により国際化を促進す ること	○			○	○	新規
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	○			○	○	新規
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	○			○	○	新規

2. 大学間協定

代表者	国名	協定校	協定締結年月日	目標	協定締結のねらい					更新状況
					共同研究の促進	学生・教職員交流	国際貢献	地域連携	その他	
教授 大野英男	アメリカ	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	1990.3.15	ナノエレクトロニクス・スピントロニクス分野および先端材料分野において国際共同研究を推進する	○	○				継続
教授 村岡裕明	イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	文化、教育及び科学技術上の交流の促進	○	○	○			継続
教授 伊藤弘昌	ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を活発に行う	○	○				継続
教授 室田淳一	ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を積極的に行う	○	○	○			継続
教授 白鳥則郎 鈴木陽一	台湾	国立清華大学	2009.12.2	毎年数名の教員・学生の相互訪問により、共同研究を促進する	○	○				継続
教授 大野英男	アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	共同研究を推進し、教職員の交流を積極的に行う	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	2012.2.1	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	ヨハネスグーテンベルグ大学マインツ	2012.2.6	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継続
教授 末光眞希	ドイツ	ケムニッツ工科大学	2013.10.31	研究者交流を促進し、学生交流を推進する	○	○				継続

国際活動

教授 大野英男	ドイツ	レーゲンスブルク大学	2017.3.16	大学間学術交流協定および共同学位プログラム覚書をもとにした教育研究を推進する	○	○					新規
教授 鈴木陽一	ドイツ	オルデンブルク大学	2017.7.13	聴覚を中心とする感覚知覚過程，脳内情報処理過程の解明と，その知識に基づく感覚情報提示システム，感覚代行システム等の応用研究に関して，広汎な共同研究の推進と，学生，特に博士後期課程の大学院生の交流，教職員の交流を目指す	○	○					新規
教授 大野英男	アメリカ	パーデュー大学	1997.9.23	共同研究および学生交流の推進	○	○					継続
教授 尾辻泰一	スペイン	サラマンカ大学	2018.5.20	・半導体ナノエレクトロニクス分野、電気通信分野、文学分野、医療分野を中心に国際共同研究を推進するとともに、学生、若手研究の国際交流を促進する ・ダブルディグリー制度の導入をめざす	○	○					新規
教授 末松憲治	ロシア	サンクトペテルブルク電気工科大学	2019.11.22	マイクロ波帯を中心にした高周波回路技術，アンテナ技術を中心にした日露二国間の学術交流に広げて行く根幹となる関係を，所要大学間で締結したい	○				○	○	新規

第7 社会貢献

1. 東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台フォーラム参加者数

年度	平成27年度 東京	平成28年度 仙台	平成29年度 東京	平成30年度 仙台	令和元年度 東京
技術セミナー	237	—	266	—	—
講演会	247	187	266	161	194
〈外部〉	128	117	150	105	121
〈内部〉	119	70	116	56	73
来場者数	251	187	266	161	194

2. 通研一般公開参加者数

参加者数	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
	2,687	2,616	2,137	2,883	(開催中止)

※ 27・29年度は片平まつりと同時開催

※ 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. 学会名誉会員及びフェローの状況

区分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
国際学会 フェロー	9	8	9	4	2
国内学会 フェロー	9	9	9	6	6
計	18	17	18	10	8

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
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

5. 学会役員の様況

区 分	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	元年度
国際学会役員	4	3	3	1	0	1
国内学会役員	13	10	13	13	13	10
計	17	13	16	14	13	11

※会長、理事、評議員等

6. 学会役員一覧

国際学会 (2019)

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
IEEE	Chapter Operations Committee Vice Chair	2019～現在	末松 憲治

国内学会 (2019)

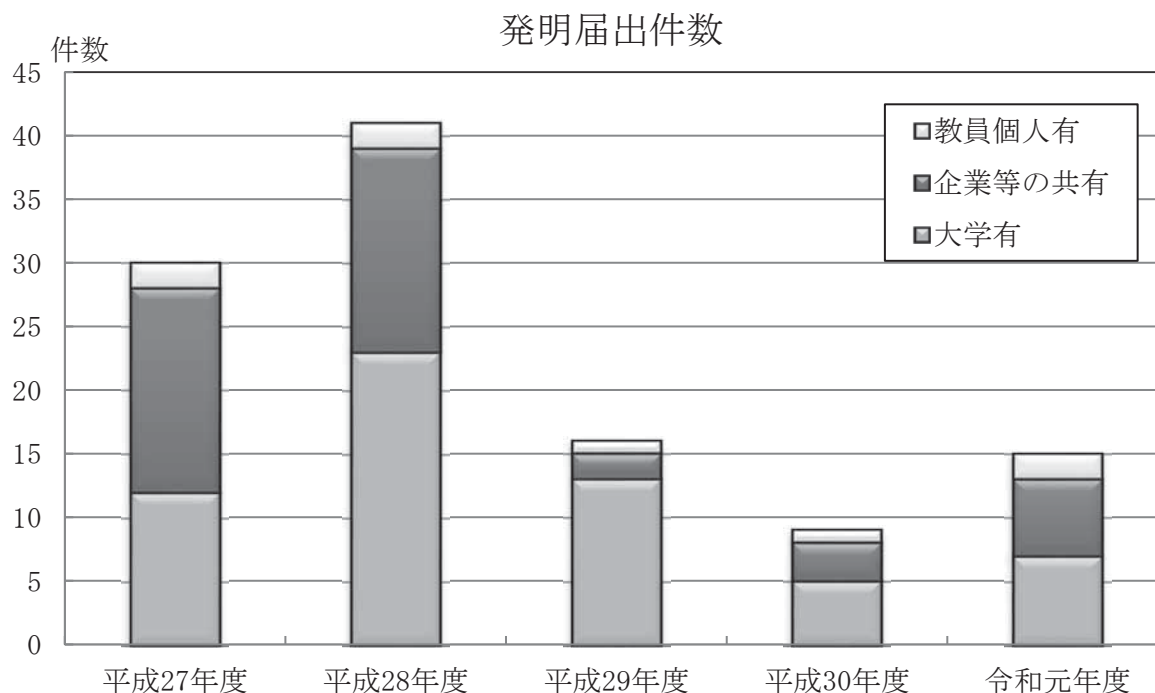
学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
日本神経回路学会	理事	2017～現在	堀尾 喜彦
日本磁気学会	理事	2017～現在	石山 和志
日本磁気学会	理事	2017～現在	サイモン グリーブス
日本誘電体学会	理事・副会長	2019～現在	長 康雄
日本視覚学会	幹事	2010～現在	塩入 論
日本視覚学会	幹事	2011～現在	栗木 一郎
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007～現在	北村 喜文
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2019～現在	高嶋 和毅
日本ソフトウェア科学会	評議員	2015～現在	大堀 淳
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2016～現在	北村 喜文

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 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
文部科学省関連	26	5	13	0	2
他省庁	17	22	24	15	13
地方公共団体	1	3	6	2	4
財団、学会	18	34	34	30	29
その他	38	94	66	86	106
計	100	158	143	133	154

第8 産学官連携

1. 発明届出件数、特許出願数、特許登録数



区 分	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
発明届出件数	30	41	16	9	15
教員個人有	2	2	1	1	2
企業等の共有	16	16	2	3	6
大学有	12	23	13	5	7
国内出願数	28	51	22	16	10
国内登録数	23	18	29	20	16
外国出願数 (含む PCT 出願数)	13	34	22	16	6
外国登録数	13	8	7	9	10

2. 電気通信研究所における技術的相談、指導

区 分	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度
技術的相談、 指導	54	95	65	46	88

第9 広報活動と情報公開

開催行事

1. 第12回ミリ波グローバルシンポジウム 12th Global Symposium on Millimeter Waves 2019 (GSMM2019)	2019年5月22日(水)～5月24日(金)
2. 第16回最新情報通信技術に関する国際ワークショップ The 16th International Workshop on Emerging ICT	2019年10月31日(木)～11月2日(土)
3. 第17回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ 17th RIEC International Workshop on Spintronics	2019年12月3日(火)～12月6日(金)
4. ヒューマンコンピュータインタラクションに関する国際シンポジウム RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction - Welcome CHI 2021, thinking of the future of HCI together -	2020年1月24日(金)～1月25日(土)
5. 第8回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2020年2月13日(木)～2月15日(土)
12. 電気通信研究所 工学研究会	随時
13. 電気通信研究所 一般公開	【開催中止】2019年10月12日(土)～10月13日(日)
14. 電気通信研究所 産学官フォーラム	2019年11月26日(火)
15. 電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会	2020年2月20日(木)

出版物

1. 電気通信研究所要覧 (和文・英文)	年1回発行
2. 電気通信研究所研究活動報告 (和文版・英文版)	年1回発行
3. 東北大学電通談話会記録	年2回発行
4. ナノ・スピン実験施設研究報告書	年1回発行
5. 電気通信研究所ニュースレター (RIEC NEWS)	1回発行 (令和元年度)

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	2020年4月～公開

職員

(令和元年5月1日)

所長 (併) / 教授	Director, Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
-------------	---------------------	-------	-----------------

研究部門	Research Divisions
------	--------------------

情報デバイス研究部門	Information Devices Division
------------	------------------------------

■ ナノフォトエレクトロニクス研究室	Nano-photoelectronics
--------------------	-----------------------

教 授	Professor	上 原 洋 一	Yoichi Uehara
教 授 (兼)	Professor*	藤 掛 英 夫	Hideo Fujikake
准教授	Associate Professor	片 野 諭	Satoshi Katano
准教授 (兼)	Associate Professor*	石 鍋 隆 宏	Takahiro Ishinabe

■ 固体電子工学研究室	Solid State Electronics
-------------	-------------------------

教 授	Professor	(佐 藤 茂 雄)	(Shigeo Sato)
教 授 (兼)	Professor*	遠 藤 哲 郎	Tetsuo Endoh
教 授 (兼)	Professor*	鷲 尾 勝 由	Katsuyoshi Washio
准教授	Associate Professor	吹 留 博 一	Hirokazu Fukidome
准教授 (兼)	Associate Professor*	岡 田 健	Takeru Okada
学術研究員	Research Fellow	佐 々 木 文 憲	Fuminori Sasaki

■ 誘電ナノデバイス研究室	Dielectric Nano-Devices
---------------	-------------------------

教 授	Professor	長 康 雄	Yasuo Cho
教 授 (兼)	Professor*	小 玉 哲 也	Tetsuya Kodama
准教授	Associate Professor	山 末 耕 平	Kohei Yamasue
准教授 (兼)	Associate Professor*	吉 澤 晋	Shin Yoshizawa
助 教	Assistant Professor	平 永 良 臣	Yoshiomi Hiranaga

■ 物性機能設計研究室	Materials Functionality Design
-------------	--------------------------------

教 授	Professor	白 井 正 文	Masafumi Shirai
教 授 (兼)	Professor*	田 中 和 之	Kazuyuki Tanaka
教 授 (兼)	Professor*	安 藤 晃	Akira Ando
准教授	Associate Professor	阿 部 和 多 加	Kazutaka Abe
准教授 (兼)	Associate Professor*	大 関 真 之	Masayuki Ohzeki
准教授 (兼)	Associate Professor*	高 橋 和 貴	Kazunori Takahashi
助 教	Assistant Professor	辻 川 雅 人	Masahito Tsujikawa
助 教	Assistant Professor	新 屋 ひかり	Hikari Shinya
学術研究員	Research Fellow	Tufan Roy	Tufan Roy

■ スピントロニクス研究室	Spintronics
---------------	-------------

教 授 (兼)	Professor*	松 倉 文 礼	Fumihiro Matsukura
教 授 (兼)	Professor*	安 藤 康 夫	Yasuo Ando
教 授 (兼)	Professor*	遠 藤 哲 郎	Tetsuo Endo
教 授 (兼)	Professor*	島 津 武 仁	Takehito Simatsu
教 授 (兼)	Professor*	齊 藤 伸	Shin Saito
教 授 (兼)	Professor*	池 田 正 二	Shoji Ikeda
教 授 (兼)	Professor*	佐 藤 英 夫	Hideo Sato
准教授	Associate Professor	深 見 俊 輔	Shunsuke Fukami
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 駿	Tomoyuki Ogawa
助 教	Assistant Professor	金 井 駿	Shun Kanai
助 教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助 教 (兼)	Assistant Professor*	張 超 亮	Chaoliang Zhang

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室	Nano-Integration Devices and Processing
--------------------	---

教 授	Professor	佐 藤 茂 雄	Shigeo Sato
教 授 (兼)	Professor*	須 川 成 利	Shigetoshi Sugawa
教 授 (兼)	Professor*	張 山 昌 論	Masanori Hariyama
准教授	Associate Professor	櫻 庭 政 夫	Masao Sakuraba
准教授 (兼)	Associate Professor*	黒 田 理 人	Rihito Kuroda
助 教	Assistant Professor	佐 藤 信 之	Nobuyuki Sato

■ 量子デバイス研究室	Quantum Devices
-------------	-----------------

准教授	Associate Professor	大 塚 朋 廣	Tomohiro Otsuka
-----	---------------------	---------	-----------------

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(兼)	Associate Professor*	松田信幸	Nobuyuki Matsuda
助教	Assistant Professor	葛西恵介	Keisuke Kasai

■ 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
准教授	Associate Professor	亀田卓	Suguru Kameda
准教授(兼)	Associate Professor*	今野佳祐	Keisuke Konno
助教	Assistant Professor	本良瑞樹	Mizuki Motoyoshi

■ 情報ストレージシステム研究室	Information Storage Systems
-------------------------	------------------------------------

教授	Professor	田中陽一郎	Yoichiro Tanaka
教授(兼)	Professor*	周暁	Xiao Zhou
准教授	Associate Professor	Simon John Greaves	Simon J. Greaves
准教授(兼)	Associate Professor*	伊藤健洋	Takehiro Ito

■ 超ブロードバンド信号処理研究室	Ultra-Broadband Signal Processing
--------------------------	--

教授	Professor	尾辻泰一	Taiichi Otsuji
教授(兼)	Professor*	西山大樹	Hiroki Nishiyama
准教授	Associate Professor	佐藤昭	Akira Sato
助教	Assistant Professor	渡辺隆之	Takayuki Watanabe
学術研究員	Research Fellow	Victor Ryzhii	Victor Ryzhii

■ 量子光情報工学研究室	Quantum-Optical Information Technology
---------------------	---

教授	Professor	枝松圭一	Keiichi Edamatsu
教授(兼)	Professor*	中尾光之	Mitsuyuki Nakao
准教授	Associate Professor	三森康義	Yasuyoshi Mitsumori
准教授(兼)	Associate Professor*	片山統裕	Norihiro Katayama
助教	Assistant Professor	Soyoung Baek	Soyoung Baek
助教(兼)	Assistant Professor*	松本伸之	Nobuyuki Matsumoto
助教(兼)	Assistant Professor*	金田文寛	Fumihiro Kaneda
学術研究員	Research Fellow	阿部尚文	Naofumi Abe

■ 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	川崎繁男	Shigeo Kawasaki
客員准教授	Visiting Associate Professor	Mark Paul Sadgrove	Mark Paul Sadgrove

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	Associate Professor	栞修一郎	Shuichiro Hashi
准教授(兼)	Associate Professor*	遠藤恭	Yasushi Endo

職 員

■ 先端音情報システム研究室 Advanced Acoustic Information Systems

教 授	Professor	(塩 入 諭)	(Satoshi Shioiri)
教 授 (兼)	Professor*	金 井 浩	Hiroshi Kanai
教 授 (兼)	Professor*	伊 藤 彰 則	Akinori Ito
准教授	Associate Professor	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	能 勢 隆	Takashi Nose
准教授 (兼)	Associate Professor*	荒 川 元 孝	Mototaka Arakawa
助 教	Assistant Professor	Jorge Alberto Treviño López	Jorge Alberto Treviño López
助 教	Assistant Professor	崔 正 烈	Zhenglie Cui

■ 高次視覚情報システム研究室 Visual Cognition and Systems

教 授	Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教 授 (兼)	Professor*	吉 澤 誠	Makoto Yoshizawa
教 授 (兼)	Professor*	川 又 政 征	Masayuki Kawamata
准教授	Associate Professor	栗 木 一 郎	Ichiro Kuriki
准教授	Associate Professor	曾 加 蕙	Chia-Huei Tseng
准教授 (兼)	Associate Professor*	杉 田 典 大	Norihiro Sugita
准教授 (兼)	Associate Professor*	阿 部 正 英	Masahide Abe
助 教	Assistant Professor	羽 鳥 康 裕	Yasuhiro Hatori
助 教 (兼)	Assistant Professor*	金 子 沙 永	Sae Kaneko
学術研究員	Research Fellow	Alfian Amrizal Muhammad	Alfian Amrizal Muhammad

■ 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
助 教	Assistant Professor	藤 田 和 之	Kazuyuki Fujita
学術研究員	Research Fellow	菅 原 諒	Ryo Sugawara

■ 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

■ 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

■ 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
------	--------------------	---------	-------------------

システム・ソフトウェア研究部門	Systems & Software Division
■ ソフトウェア構成研究室	Software Construction

教授	Professor	大堀 淳	Atsushi Ohori
教授 (兼)	Professor*	篠原 歩	Ayumi Shinohara
教授 (兼)	Professor*	住井 英二郎	Eijiro Sumii
准教授	Associate Professor	上野 雄大	Katsuhiro Ueno
准教授 (兼)	Associate Professor*	松田 一孝	Kazutaka Matsuda
准教授 (兼)	Associate Professor*	吉仲 亮	Ryo Yoshinaka
助教	Assistant Professor	菊池 健太郎	Kentaro Kikuchi

■ コンピューティング情報理論研究室	Computing Information Theory
---------------------------	-------------------------------------

教授	Professor	中野 圭介	Keisuke Nakano
教授 (兼)	Professor*	静谷 啓樹	Hiroki Shizuya
教授 (兼)	Professor*	大町 真一郎	Shinichiro Omachi
准教授 (兼)	Associate Professor*	酒井 正夫	Masao Sakai
准教授 (兼)	Associate Professor*	磯邊 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*	曾根 秀昭	Hideaki Sone
教授 (兼)	Professor*	乾 健太郎	Kentaro Inui
准教授	Associate Professor	北形 元	Gen Kitagata
准教授 (兼)	Associate Professor*	後藤 英昭	Hideaki Goto
准教授 (兼)	Associate Professor*	鈴木 潤	Jun Suzuki
准教授 (兼)	Associate Professor*	水木 敬明	Takaaki Mizuki
准教授 (兼)	Associate Professor*	飯岡 大輔	Daisuke Ioka

■ 環境調和型セキュア情報システム研究室	Environmentally Conscious Secure Information System
-----------------------------	--

教授	Professor	本間 尚文	Naofumi Homma
助教	Assistant Professor	上野 嶺	Rei Ueno
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Ville Oskari Yli-Mäyry	Ville Oskari Yli-Mäyry

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室	Soft Computing Integrated System
--------------------------------	---

教授	Professor	堀尾 喜彦	Yoshihiko Horio
----	-----------	-------	-----------------

■ 新概念 VLSI システム研究室	New Paradigm VLSI System
---------------------------	---------------------------------

教授	Professor	羽生 貴弘	Takahiro Hanyu
教授 (兼)	Professor*	青木 孝文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏井 雅典	Masanori Natsui
准教授 (兼)	Associate Professor*	伊藤 康一	Koichi Ito
助教	Assistant Professor	鬼沢 直哉	Naoya Onizawa
助教 (兼)	Assistant Professor*	鈴木 大輔	Daisuke Suzuki
学術研究員	Research Fellow	玉越 晃	Akira Tamakoshi

■ 情報社会構造研究室 (客員)	Information Social Structure (Visitor Section)
-------------------------	---

客員教授	Visiting Professor	松岡 浩	Hiroshi Matsuoka
------	--------------------	------	------------------

附属研究施設	Research Facilities
---------------	----------------------------

附属ナノ・スピン実験施設	Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics
---------------------	---

施設長 (併) / 教授	Director, Professor	上原 洋一	Yoichi Uehara
--------------	---------------------	-------	---------------

■ 共通部	
--------------	--

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

職 員

■ スピントロニクス研究室

Spintronics

教授 (兼)	Professor*	松 倉 文 礼	Fumihiro Matsukura
教授 (兼)	Professor*	安 藤 康 夫	Yasuo Ando
教授 (兼)	Professor*	遠 藤 哲 郎	Tetsuo Endo
教授 (兼)	Professor*	島 津 武 仁	Takehito Simatsu
教授 (兼)	Professor*	齊 藤 伸	Shin Saito
教授 (兼)	Professor*	池 田 正 二	Shoji Ikeda
教授 (兼)	Professor*	佐 藤 英 夫	Hideo Sato
准教授	Associate Professor	深 見 俊 輔	Shunsuke Fukami
准教授 (兼)	Associate Professor*	角 田 匡 清	Masakiyo Tsunoda
准教授 (兼)	Associate Professor*	大 兼 幹 彦	Mikihiko Ogane
助 教	Assistant Professor	金 井 駿	Shun Kanai
助 教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助 教 (兼)	Assistant Professor*	張 超 亮	Chaoliang Zhang

■ 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 (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
准教授	Associate 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
助 教	Assistant Professor	鬼 沢 直 哉	Naoya Onizawa
助 教 (兼)	Assistant Professor*	鈴 木 大 輔	Daisuke Suzuki

■ 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

附属21世紀情報通信研究開発センター

Research Center for 21st Century Information Technology

センター長 (併) / 教授	Director, Professor	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
----------------	---------------------	---------	-------------------

■ 産学官研究開発部

Industry-Academia-Government-Collaboration Research and Development Division

教授 (兼)	Professor*	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
客員教授	Visiting Professor	鈴 木 恭 宜	Yasunori Suzuki
学術研究員	Research Fellow	芝 隆 司	Takashi Shiba

■ 学際連携研究部		Interdisciplinary Collaboration Research Division	
教授 (兼)	Professor*	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教授 (兼)	Professor*	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu
■ 萌芽研究部		Exploratory Research Division	
教授 (兼)	Professor*	北 村 喜 文	Yoshifumi Kitamura
准教授 (兼)	Associate Professor*	亀 田 卓	Suguru Kameda
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
安全衛生管理室		Management Office for Safety and Health	
室 長 (兼) / 教授	Manager, Professor*	石 山 和 志	Kazushi Ishiyama
副室長 (兼) / 教授	Deputy Manager, Professor*	上 原 洋 一	Yoichi Uehara
助 教 (兼)	Assistant Professor*	佐 藤 信 之	Nobuyuki Sato
共通研究施設		Common Research Facilities	
やわらかい情報システムセンター		Flexible Information System Center	
センター長 (兼) / 教授	Director, Professor*	大 堀 淳	Atsushi Ohori
研究基盤技術センター		Fundamental Technology Center	
センター長 (兼) / 教授	Director, Professor*	佐 藤 茂 雄	Shigeo Sato
技術専門員 (技術長)	Technical Staff	末 永 保	Tamotsu Suenaga
■ 工作部		Machine Shop Division	
技術一般職員 (グループ長)	Technical Staff	阿 部 健 人	Kento Abe
技術一般職員	Technical Staff	前 田 泰 明	Yasuaki Maeda
技術一般職員	Technical Staff	関 谷 佳 奈	Kana Sekiya
■ 評価部		Evaluation Division	
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	阿 部 真 帆	Maho Abe
技術一般職員	Technical Staff	丹 野 健 徳	Takenori Tanno
技術一般職員	Technical Staff	柳 生 寛 幸	Hiroyuki Yagyu
再雇用職員	Technical Staff	庄 子 康 一	Koichi Shoji
■ プロセス部		Process Division	
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	森 田 伊 織	Iori Morita
技術一般職員	Technical Staff	小 野 力 摩	Rikima Ono
技術一般職員	Technical Staff	武 者 倫 正	Michimasa Musha
■ 情報技術部		Information Technology Division	
技術専門職員	Technical Staff	丸 山 由 子	Yuko Maruyama
技術一般職員 (グループ長)	Technical Staff	佐 藤 正 彦	Masahiko Sato
技術一般職員	Technical Staff	太 田 憲 治	Kenji Ota
国際化推進室		Office for the Promotion of International Relations	
特任教授	Specially Appointed Professor	小 川 裕 之	Hiroyuki Ogawa
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

職	員
---	---

事務部			Administration Office
事務長	General Manager	金子 雅 人	Masato Kaneko
事務長補佐	Deputy-General Manager	村 上 亜矢子	Ayako Murakami
総務係長	Chief of General Affairs Section	金 澤 由 広	Yoshihiro Kanazawa
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	佐 藤 豪	Go Sato
図書係長	Chief of Library Section	内ヶ崎 洋 一	Yoichi Uchigasaki
経理係長	Chief of Accounting Section	松 本 憲 一	Kenichi Matsumoto
用度係長	Chief of Purchasing Section	佐 藤 寛 之	Hiroyuki Sato

東北大学電気通信研究所
研究活動報告 第26号

2020年 11月発行

発 行 者	塩 入 論
編 集 者	東北大学電気通信研究所総務委員会 〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号
T E L	022-217-5422
F A X	022-217-5426
U R L	http://www.riec.tohoku.ac.jp/
印 刷 所	有限会社 明倫社 〒983-0842 仙台市宮城野区五輪2-9-5 五輪ビル TEL 022-295-8211 FAX 022-295-8213



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication Tohoku University

〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1-1

TEL: 022-217-5420 FAX: 022-217-5426

<http://www.riec.tohoku.ac.jp>