東北大学

電気通信研究所

研究活動報告

自己点検評価報告書

第20号（2013年度）

Annual Report 2013

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University

RIEC

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) 量子光情報工学研究室…… 10
   (3) 固体電子工学研究室…… 12
   (4) 誘電ナノデバイス研究室…… 14
   (5) 物性機能設計研究室…… 16
2. ブロードバンド工学研究部門の目標と成果 …… 18
   (1) 超高速光通信研究室…… 20
   (2) 応用量子光学研究室…… 22
   (3) 先端ワイヤレス通信技術研究室…… 24
   (4) 情報ストレージシステム研究室…… 26
   (5) 超ブロードバンド信号処理研究室…… 28
3. 人間情報システム研究部門の目標と成果 …… 30
   (1) 生体電磁情報研究室…… 32
   (2) 先端音情報システム研究室…… 34
   (3) 高次視覚情報システム研究室…… 36
4. システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果 …… 38
   (1) ソフトウェア構成研究室…… 40
   (2) コンピューティング情報理論研究室…… 42
   (3) コミュニケーションネットワーク研究室…… 44
   (4) 情報コンテンツ研究室…… 46
5. ナノ・スピン実験施設の目標と成果 …… 48
   (1) ナノ集積デバイス・プロセス研究室…… 52
   (2) 半導体スピントロニクス研究室…… 54
   (3) ナノ分子デバイス研究室…… 56
   (4) ナノスピンメモリ研究室…… 58
6. ブレインウェア実験施設の目標と成果 …… 60
   (1) 実世界コンピューティング研究室…… 62
   (2) 知的ナノ集積システム研究室…… 64
   (3) 新概念 VLSI システム研究室 …… 66

7. 21 世紀情報通信研究開発センターの目標と成果 …… 68
(1) 研究開発部　モバイル分野…… 70
(2) 研究開発部　ストレージ分野…… 72
8. 安全衛生管理室 …… 74
9. やわらかい情報システム研究センター …… 76
10. 研究基盤技術センター…… 78

第 4 章　独創的研究支援プログラム

1. Dirac 電子系の新奇な物性制御法の開拓 …… 81
2. 超高速ミリ波通信用シリコンオンチップアンテナの開発 …… 84
研究成果（最終年度）報告
3. 自己身体表象を考慮した人間のマルチモーダル感覚知覚処理機構の解明とモデル化：
視覚と触覚のインタラクション …… 86
4. 窒化物半導体によるミリ波用トランジスタの研究 …… 90

第 5 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 …… 97
H23/A02　カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスの研究 …… 100
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 …… 103
H23/A04　高度歪異種原子層配列Ⅳ族半導体構造形成とナノデバイスへの応用に関する研究 …… 106
H23/A06　ディペンダブル・エアのためのヘテロジニアスネットワークローミング技術の基礎研究 …… 109
H23/A08　再構成神経回路網の情報伝達 …… 112
H23/A09　フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究 …… 115
H23/A10　薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスの設計開発とその応用展開に関する研究 …… 117
H23/A11　サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムに関する研究 …… 120
H23/A12　モノラル入力信号に基づく 2 次元音源定位の研究 …… 123
H24/A01　高輝度量子もつれ光源の開発 …… 126
H24/A02　薄膜電解質を用いた固体酸化物形燃料電池の開発 …… 128
H24/A03　グラフェンの精密な界面制御とナノデバイス応用 …… 131
H24/A04　プラズマナノバイオ・医療の基礎研究 …… 134
H24/A05　高感度周期構造表面プラズモンセンサの開発 …… 137
H24/A06　Ⅳ族半導体量子ヘテロ構造の高集積化のための原子層制御プラズマ CVD プロセスの開発 …… 138
H24/A07　ランガサイト系圧電単結晶の 1000℃までの高温用音響センサーデバイスの設計・評価と作製 …… 141
H24/A08　半導体量子ナノ構造の電子・核スピン物性の研究 …… 144
H24/A10　共鳴トンネル素子を用いた THz 送受信システムの研究 …… 147
H24/A11　前庭情報による音空間歪みに関する研究 …… 150
H24/A12　情動ネットワーキングシステムに関する基礎的研究 …… 153
H24/A13　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 …… 156
H24/A15　超分散環境におけるコンテンツ指向コンピューティングに関する研究 …… 159

H24/A16　共生コンピューティングのためのリポジトリ型マルチエージェントフレームワークの協調機構に関する研究 …… 162
H25/A01　カルコゲナイドナノ構造の作製と物性探索およびメモリー応用 …… 165
H25/A02　InGaAs HEMT を用いた大電力テラヘルツ信号源の研究 …… 168
H25/A03　IV 族半導体－金属合金化反応制御による強磁性ナノドットの高密度・自己組織化形成と磁気的特性 …… 171
H25/A04　強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子構造と物性発現機構の解明 … 174
H25/A05　大規模超伝導量子検出器の実用化に関する研究 …… 177
H25/A06　感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研究 …… 180
H25/A07　脳内の多チャネル色情報表現に関する研究 …… 183
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 …… 186
H25/A09　視覚モデル構築のための協調的環境に関する研究 …… 189
H25/A10　包囲型スピーカアレイを利用した音空間レンダリングの評価 …… 191
H25/A11　ブレインウェアの情報原理とその応用の研究 …… 194
H25/A12　不定な環境における適応能の階層横断的解明と工学的応用 …… 197
H25/A13　「場」と対人コミュニケーションに関する研究 …… 200
H25/A14　スマートエイジングのための知的センシング環境 …… 203
H25/A15　ネットワークの知的管理のための情報取得・活用に関する研究 …… 206
H23/B02　ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する研究 …… 209
H23/B03　将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究 …… 212
H23/B04　電磁鋼板における新たな損失低減化技術 …… 215
H23/B05　機能性圧電材料と高度通信デバイス応用に関する研究 …… 218
H23/B06　超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究 …… 221
H23/B08　次世代 RFIC 用受動・能動回路技術とその応用 …… 224
H23/B09　自己身体の運動が関与する多感覚統合 …… 227
H23/B11　高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・クラウドシステム基盤 …… 230
H24/B01　プラズマ流による高機能性発現と反応場形成の基礎と応用 …… 233
H24/B03　知的ナノ集積システムの課題と展望 …… 236
H24/B05　災害復興エンタテインメントコンピューティング …… 239
H24/B06　アジア太平洋地区における HCI 分野の新学会設立 …… 241
H24/B07　酸化物表面の機能化とナノ・デバイスへの応用 …… 244
H24/B08　光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究 …… 247
H24/B09　生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御 …… 250
H24/B10　高次元ニューラルネットワークの情報処理能力 …… 253
H24/B11　人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究 …… 256
H24/B12　超高速コンピューティング新概念要素技術の国産実用化展開 …… 260
H24/B13　ディジタルコンテンツの高付加価値化技術に関する研究 …… 263
H25/B01　非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測による新規ナノデバイスの開拓研究 …… 266
H25/B02　微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成 …… 269
H25/B03　次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究 …… 272
H25/B04　磁性の電界制御の物理と応用 …… 275

H25/B05　新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開 …… 278
H25/B06　低炭素エネルギー社会を実現する電磁波技術に関する研究 …… 281
H25/B07　物体の表面属性の視知覚に関わる脳内メカニズムの研究 …… 284
H25/B08　身体性に基づく人間の適応的運動機能の理解 …… 287
H25/B09　マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と民生応用 …… 290
H25/B10　メタプログラムに対する論理的アプローチ …… 293
H23/S1　スーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術開発 …… 296
H23/S2　スピントロニクス国際連携 …… 299
H23/S3　ナノエレクトロニクスに関する連携研究 …… 302
H24/S1　人間の機能を取り込んだ革新的概念による共感計算機構 …… 305

第 6 章　国際会議・シンポジウム等

1. 通研国際シンポジウム …… 311
(1) 第二回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム …… 311
(The 2nd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer)
(2) 第 8 回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス国際シンポジウム
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 …… 312
(The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio-and Nano-Electronics,5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics,)
2. 国際会議等の開催状況 …… 313
(1) 第 8 回 Si エピタキシー & ヘテロ構造国際会議及び第 6 回半導体界面制御国際会議 …… 313
(2) 第 8 回　ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議 …… 314
(3) 第 6 回アジアにおけるコンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する国際会議 SIGGRAPH Asia 2013 …… 315
(4) 第 7 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 & 日本学術振興会研究拠点形成事業ジョイントセミナー“高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成” …… 317
(5)「人間的判断の実現に向けた新概念脳型 LSI 創出事業」キックオフシンポジウム …… 318
3. 工学研究会
(1) 伝送工学研究会 …… 320
(2) 音響工学研究会 …… 325
(3) 仙台“プラズマフォーラム” …… 326
(4) EMC 仙台ゼミナール …… 327
(5) コンピュータサイエンス研究会 …… 328
(6) システム制御研究会 …… 329
(7) 情報バイオトロニクス研究会 …… 330
(8) スピニクス研究会 …… 331
(9) ニューパラダイムコンピューティング研究会 …… 332
(10) 超音波エレクトロニクス研究会 …… 333
(11) ブレインウェア工学研究会 …… 335
(12) 情報・数物研究会 …… 336
(13) 生体・生命工学研究会 …… 337
(14) ナノ・スピン工学研究会 …… 338
(15) 先進的情報通信工学研究会 …… 339

4. 通研講演会 …… 340
(1) Leo P. Ligthart 「View on future radar technology, systems and applications」…… 340
(2) 竹田　仰 「空気砲を科学する」 …… 341
(3) 五百旗頭　健吾 「EMC 技術とサイドチャネル攻撃シミュレーション」…… 342
(4) 丸山　次人 「ロボット・メカトロニクスシステムの実用化制御技術」 …… 343
(5) 荻野　俊郎 「Self-Shaping Deposition of Monolayer Graphene Oxide Flakes on Chemically Modified Surfaces」 …… 344
(6) 永山　忍 「様々な応用分野での決定グラフを用いた新しい計算手法について」 …… 345
(7) 香取　勇一 「速いシナプスを持つ神経回路網ダイナミクスとその応用」 …… 346
(8) 青沼　仁志 「適応行動の実時間性を創り出す脳を理解するための ニューロロボティクス」…… 347
(9) 木村　晋二 「極低消費電力回路の実現へ向けて - 論理レベルでの取り組み -」 …… 348
(10) 永田　賢二 「スパースモデリングによるデータ駆動科学」 …… 349
(11) 郷　康広 「ゲノムを通して我が身を知る～ヒトとサルの間にあるもの～」 …… 350
(12) ウラジミール　ミッティン 「Nanomaterials with Charged Quantum Dots for Solar Energy Conversion and Advanced Sensing Applications」 …… 351
(13) 中臺　一博 「ロボット聴覚とその展開」 …… 352
(14) 小泉　寿男 「M2M システムの特質と研究・教育・ビジネス創生の意義」…… 352

第 7 章　通研が関与して設立され、通研教員が研究活動の中核をなす他部局組織等
1. 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 …… 353
2. 電気通信研究機構 …… 354
3. 国際集積エレクトロニクス研究開発センター …… 355
4. 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 …… 356

第 8 章　評価と分析
運営協議会報告…… 357

【資料編】

第 1　人事 …… 369
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教育研究支援者　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 …… 374
①予算状況　②外部資金受入状況
第 3　教育 …… 376
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 …… 381
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申請、採択状況
④科学研究費助成事業採択一覧　⑤競争的資金状況　⑥受章・受賞状況　⑦受章・受賞者一覧

⑧発表論文数
第 5　共同プロジェクト研究 …… 395
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一覧
④共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト研究
第 6　国際活動 …… 402
①電気通信研究所国際シンポジウム　②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国際会議　④国際学会における招待講演数　⑤国際共同研究実施状況
⑥平成 25 年度国際共同研究　⑦外国人研究者招へい状況　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 …… 413
①東京・仙台フォーラム開催状況　②通研一般公開　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 …… 416
①特許届出件数、登録件数　②技術的相談、指導件数
第 9　広報活動と情報公開 …… 417

付　録　職員…… 418

第 1 章　　はじめに

は じ め に

電気通信研究所は、八木・宇田アンテナやマグネトロンなどの先駆的研究を受けて 1935 年に設立されました。以来、情報通信の基盤となる多くの研究成果を世界に先駆けて挙げ、世界をリードする活動を続けてきました。この伝統の上に、人間性豊かなコミュニケーション実現のための科学技術を発展、進化させるべく、研究を展開しています。

このための体制として、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・スピンおよびブレインウェアの 2 つの施設、21 世紀情報通信研究開発センターの 1 センターの組織を設置しています。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)の研究スパンを念頭におき研究を進めて参りました。さらに、大学院工学研究科、情報科学研究科およ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、技術者を輩出すべく人材育成を進める体制をとっています。

また、本研究所は、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平成 22 年度(2010 年度)に受けました。コミュニティのさらなる発展に資するため、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たいという要求がますます強くなっています。また、重要な社会基盤には耐災害性も要求されることを東日本大震災の経験は改めて認識させました。さらに、省エネルギーで高速・大容量の情報処理や情報通信を基盤に、人と人との意思疎通に資する、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おり、本研究所は、これらの社会的な要請を受けとめ、大学附置の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。

本研究所では、このような研究、教育、及び社会貢献にわたる諸活動を広く社会に公開して点検し、研究活動等の改善と今後の発展に資するため、毎年「研究活動報告」を発行してまいりました。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、資料編は前年度より大きく点検項目を増やし、過去 5 年間の各種活動のデータを掲載するなど内容を充実しました。

本研究活動報告をご高覧いただき、電気通信研究所の活動について忌憚のないご意見をお願い申し上げると共に、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。

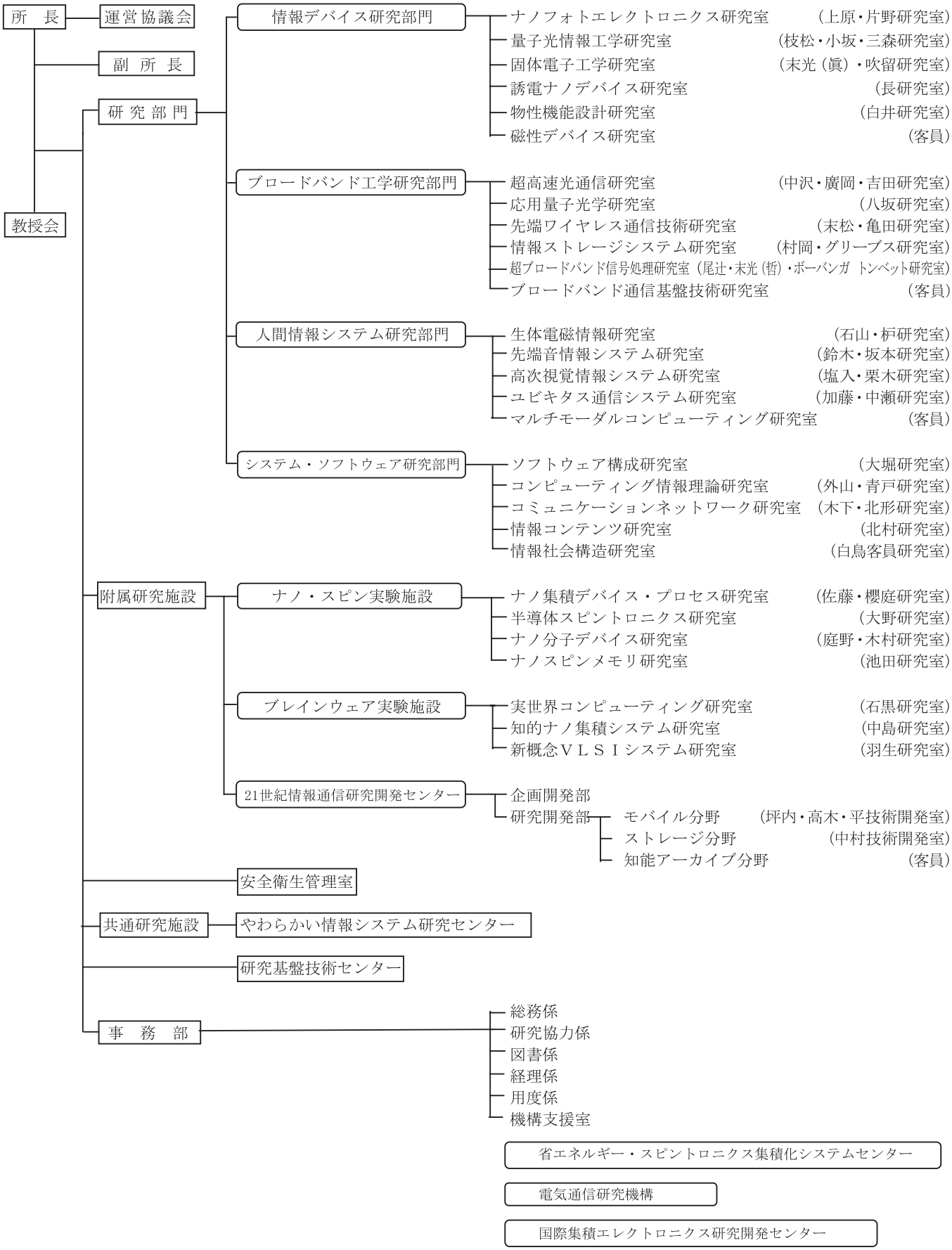
平成 26 年 5 月 1 日

電気通信研究所 所長

大　野　英　男

第 2 章　　組織・運営

２．１　組　　織　　図


所　長
運営協議会
副 所 長
研 究 部 門
教授会
情報デバイス研究部門
ナノフォトエレクトロニクス研究室 (上原・片野研究室)
量子光情報工学研究室 (枝松・小坂・三森研究室)
固体電子工学研究室 (末光（眞）・吹留研究室)
誘電ナノデバイス研究室 (長研究室)
物性機能設計研究室 (白井研究室)
磁性デバイス研究室 (客員)
ブロードバンド工学研究部門
超高速光通信研究室 (中沢・廣岡・吉田研究室)
応用量子光学研究室 (八坂研究室)
先端ワイヤレス通信技術研究室 (末松・亀田研究室)
情報ストレージシステム研究室 (村岡・グリーブス研究室)
超ブロードバンド信号処理研究室（尾辻・末光（哲）・ボーバンガ トンベット研究室)
ブロードバンド通信基盤技術研究室 (客員)
人間情報システム研究部門
生体電磁情報研究室 (石山・栫研究室)
先端音情報システム研究室 (鈴木・坂本研究室)
高次視覚情報システム研究室 (塩入・栗木研究室)
ユビキタス通信システム研究室 (加藤・中瀬研究室)
マルチモーダルコンピューティング研究室 (客員)
システム・ソフトウェア研究部門
ソフトウェア構成研究室 (大堀研究室)
コンピューティング情報理論研究室 (外山・青戸研究室)
コミュニケーションネットワーク研究室 (木下・北形研究室)
情報コンテンツ研究室 (北村研究室)
情報社会構造研究室 (白鳥客員研究室)
附属研究施設
ナノ・スピン実験施設
ナノ集積デバイス・プロセス研究室 (佐藤・櫻庭研究室)
半導体スピントロニクス研究室 (大野研究室)
ナノ分子デバイス研究室 (庭野・木村研究室)
ナノスピンメモリ研究室 (池田研究室)
ブレインウェア実験施設
実世界コンピューティング研究室 (石黒研究室)
知的ナノ集積システム研究室 (中島研究室)
新概念ＶＬＳＩシステム研究室 (羽生研究室)
21世紀情報通信研究開発センター
企画開発部
研究開発部
モバイル分野 (坪内・高木・平技術開発室)
ストレージ分野 (中村技術開発室)
知能アーカイブ分野 (客員)
安全衛生管理室
共通研究施設
やわらかい情報システム研究センター
研究基盤技術センター
事　務　部
総務係
研究協力係
図書係
経理係
用度係
機構支援室
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
電気通信研究機構
国際集積エレクトロニクス研究開発センター

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。

赤　木　正　人（委　員）北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科　教授
秋　葉　重　幸（　〃　）株式会社ＫＤＤＩ研究所　常務取締役　主席特別研究員
一　村　信　吾（　〃　）独立行政法人　産業技術総合研究所　副理事長
伊　藤　公　平（　〃　）慶應義塾大学　理工学部　教授
潮　田　資　勝（　〃　）独立行政法人　物質・材料研究機構　理事長
江　村　克　己（　〃　）日本電気株式会社　執行役員　兼　中央研究所長
大久保　　明（　〃　）独立行政法人　情報通信研究機構　理事
小野寺　　正（委員長）KDDI 株式会社　代表取締役会長
財　満　鎭　明（委　員）名古屋大学　大学院工学研究科　教授
柴　田　　直（　〃　）公益社団法人　応用物理学会　物理系学術誌刊行センター
専任編集長　（東京大学名誉教授）
中小路　久美代（　〃　）京都大学　学際融合教育研究推進センター　特定教授
株式会社 SRA 先端技術研究所　所長
藤　沢　秀　一（　〃　）日本放送協会　放送技術研究所　所長
松　島　裕　一（　〃　）早稲田大学　研究戦略センター　教授
村　瀬　　淳（　〃　）日本電信電話株式会社　先端技術総合研究所　所長
渡　辺　美代子（　〃　）独立行政法人　科学技術振興機構　研究開発戦略センター
フェロー・開発主監
福　村　裕　史（　〃　）東北大学　大学院理学研究科長
金　井　　浩（　〃　）東北大学　大学院工学研究科長
亀　山　充　隆（　〃　）東北大学　大学院情報科学研究科長
新　家　光　雄（　〃　）東北大学　金属材料研究所長
河　村　純　一（　〃　）東北大学　多元物質科学研究所長
小　林　広　明（　〃　）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、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」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。

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ご意見を頂き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同プロジェクト研究委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部研究協力係」より全国の国公私立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、平成１９年度に外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会を設置した。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト研究委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

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



2．4　教育組織

東北大学電気通信研究所(以下通研)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。

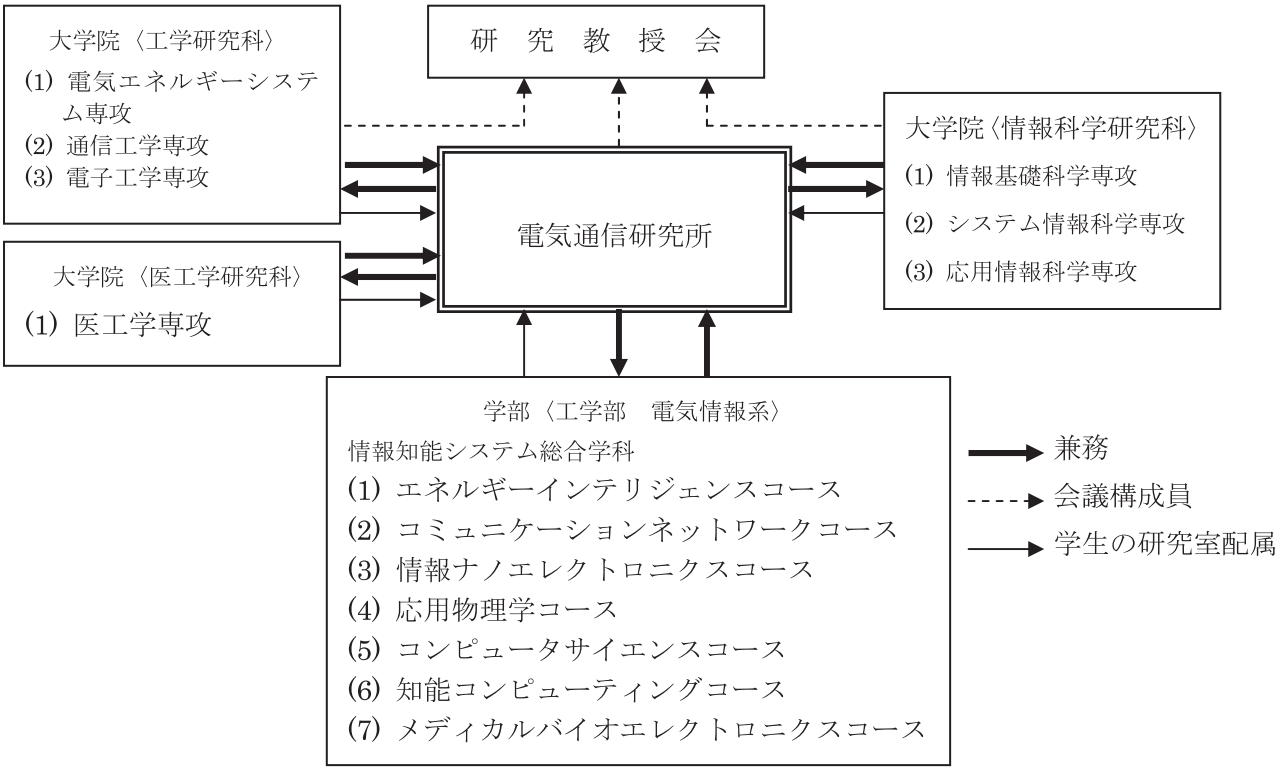
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。2012 年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。

2013 年度は、通研の 25 研究室のうち 2 研究室が工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、6 研究室が通信工学専攻に、10 研究室が電子工学専攻に、2 研究室が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 研究室がシステム情報科学専攻に、1 研究室が応用情報科学専攻に、3 研究室が大学院医工学研究科医工学専攻に、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 165 名、一研究室当たり平均 7 名に達している。

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、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工学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、次世代情報処理機能デバイス実現の基盤となる，ナノスケール光電変換機能，量子スピン機能制御などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に，これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス，再構成可能論理デバイス，誘電情報デバイス，電子・光相関効果電子デバイス，量子効果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６研究室を設置し，さらにナノ・スピン実験施設の１研究室であるナノ集積デバイス・プロセス研究室と有機的連携を保ちつつ研究を行っている．

1. ナノフォトエレクトロニクス研究室
2. 量子光情報工学研究室
3. 固体電子工学研究室
4. 誘電ナノデバイス研究室
5. 物性機能設計研究室
6. 磁性デバイス研究室 (客員研究室)

各分野の目標ならびに2013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. なおナノ集積デバイス・プロセス研究室の目標・成果については，後述のナノ・スピン実験施設の節で述べる．

ナノフォトエレクトロニクス研究室

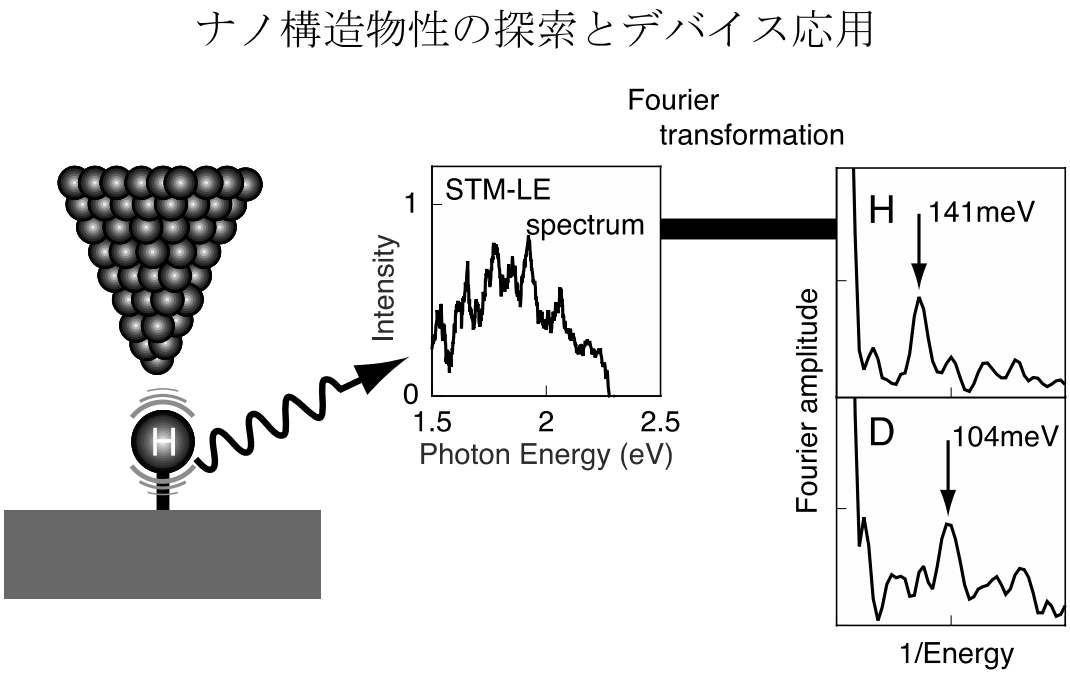


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

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

＜研究室の目標＞

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

＜2013 年度の主な成果＞

1. テラヘルツ（THz）STM発光分光

THz分光はその有用性から非常に着目されているが、光の回折限界のため、たとえば個々のナノ構造デバイス解析への適応には多くの制約を受ける。STM発光分光法は光学分光の一種であるが、得られる位置分解能は計測対象となる光の波長には制約を受けず、原子位置分解能も可能である。従って、THz STM発光分光は、もし実現できれば極めて有用であり、そのためにここ数年間研究を行ってきた。THz STM発光計測の困難は、STM発光がnAのトンネル電流で励起されるため可視域でも光子数計測レベルの強度であること、双極子放射の放射強度が周波数ωの２乗に比例する項を含むためTHz STM発光は極めて微弱になることが予測されること、THz領域で利用可能な光検出器の感度等の性能が可視域で得られる性能に較べかなり劣ること、の３点に要約される。単純には、THz STM発光の観測は不能であると結論される。数年間の準備研究の後に、昨年度THz STM発光計測に成功した。今年度は、計測実験を継続すると共に、上述のような状況にも関わらずなぜ検出に

成功したのかを集中的に研究し、結論を得た。検出成功の要因を一言で表現すれば、THz領域での表面プラズモン・ポラリトンの寿命時間が可視域での寿命時間に比較して著しく長いということである。またSTM発光は、流しうるトンネル電流がnAに制限されるため実用的な発光デバイスとはなり得ないと考えるが、理論計算によれば、マクロスコピックなサイズをもつトンネル接合においてもSTM発光で有効であったTHz発光機構を利用することが可能であり、新しいTHz光源につながる可能性があることを見いだした。

2. 走査トンネル顕微鏡を用いた銀ナノ微粒子の形成と精密配置

金や銀などの貴金属ナノ微粒子と可視光が直接相互作用することにより、微粒子近傍において著しく増強された光電場が発生することが知られている。我々は、このようなバルクマテリアルにみられない特異な電場増強現象を個々の微粒子レベルで精度良く空間制御する研究に着手した。本年度、我々は、原子単位で表面構造を制御できるSTMを用いて銀ナノ微粒子をシリコン基板上の任意の場所に形成させることに成功した。銀探針をSi(111)基板に接近させて負のサンプルバイアスをパルス状にして印加すると、粒径7ー20 nm程度の銀ナノ微粒子が再現性良く形成されることを見出した。電圧依存性および電流依存性の測定から、銀探針から作製された微粒子が電界蒸発により形成されることを明らかにした。

3. 原子平坦な金薄膜作製と自己組織化単分子膜形成

自己組織化単分子膜を利用した分子ナノエレクトロニクスの研究を開始するにあたり、本年度その準備段階として原子平坦な金基板の作製および金基板への単分子膜修飾の実験を行った。真空装置内に設置したマイカ基板に金薄膜の成膜を行ったところ、結晶性の高い金基板を再現性良く得るためには高温下蒸着とアニール処理が不可欠であることを見出した。作製した金基板をオクタンチオールが含まれたエタノール溶液に浸漬させて自己組織化単分子膜(SAM)を作製した。作製したSAM膜のSTM観察を行ったところ、良好な単分子膜が金表面に形成されていることを確認できた。

＜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および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）。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Uehara, M. Kuwahara, and S. Katano, "Measurement of Phonon Energy of Sb_2Te_3 by Scanning Tunneling Microscope Light-emission Spectroscopy", *Solid State Commun.*, **177**, 29-32 (2014).

[2] Y. Uehara, "Theory of Attenuated Total Reflection Including Effects of Roughness", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 102001 (2013).

[3] Y. Uehara, S. Katano, T. Tsunoda, and M. Kuwahara, "Time-resolved Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectroscopy of Sb_2Te_3", *Proceedings of the 25th Symposium on Phase Change Optical Information Storage*, **2013**, 57-60 (2013).

[4] S. Katano, Y. Kim, M. Trenary, and M. Kawai, "Orbital-selective Single Molecule Reactions on a Metal Surface Studied using Low-temperature Scanning Tunneling Microscopy", *Chem. Commun.*, **49**, 4679-4681 (2013).

[5] S. Katano, Y. Kim, T. Kitagawa, and M. Kawai, "Tailoring Electronic States of a Single Molecule Using Adamantane-based Molecular Tripods", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **15**, 14229-14233 (2013).

量子光情報工学研究室

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

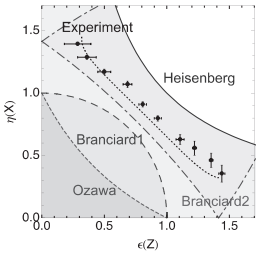


図１．光子の偏光測定における誤差と擾乱の不確定性関係の計測結果（黒丸）と理論不等式の下限値（曲線）。計測結果はハイゼンベルクの不等式（青線）を破り，小澤（赤）およびブランシアード（紫，緑）の不等式を満たす領域にある。

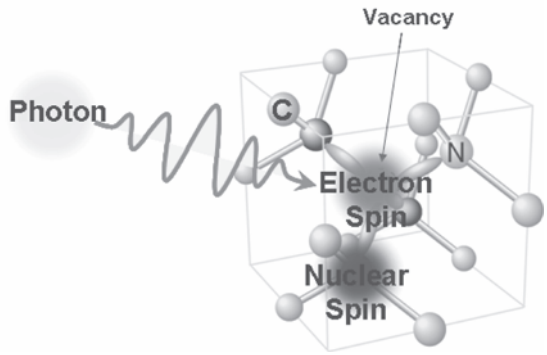


図２．光子からダイヤモンド中の単一NVスピンへの量子メディア変換。

量子光情報工学研究分野　　教　授　枝松 圭一
量子物性工学研究分野　　准教授　小坂 英男
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。本研究分野は，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べき極限技術の開発に積極的に挑戦する。

＜2013 年度の主な成果＞

(1) 量子測定における誤差と擾乱の不確定性関係の実験的検証

量子測定における，ある物理量の測定誤差と他の物理量の擾乱との間の不確定性関係は，量子論の本質的性質であるのみならず，量子計測，量子通信への応用上も重要な意味をもつ。本研究室では，光子の偏光の一般化測定における誤差・擾乱の不確定性関係を検証する実験研究を行い，ハイゼンベルクの誤差・擾乱の関係式が破れ，近年新たに提唱された関係式（小澤の不等式およびブランシアードの不等式）が成立していることを明らかにした（図 1）。

(2) 光子から電子スピンへの量子メディア変換技術の開発

量子情報通信の発展には，量子メディア間のインターフェース技術が重要となる。本研究室で

は, 伝送を担う光子から処理を担う半導体中の電子スピンあるいはダイヤモンド中の核スピンへの量子メディア変換の方法について研究している。本年度は，(1)独自開発の電子スピン状態トモグラフィ技術による光子から電子スピンへの転写忠実度の評価，(2)光子からダイヤモンド中の単一 NV 中心近傍の単一核スピンへの量子状態転写（図２）の基礎実験，等の成果を得た。

(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。本年度は半導体量子ドットにおいて励起子ラビ振動を測定することにより、励起子分極の縦電場成分に起因する局所電場効果の観測に成功するなどの成果を得た。

＜職員名＞

教授　　枝松圭一（2003 年より）
准教授　小坂英男（2003 年より）
准教授　三森康義（2011 年より）
秘書　　長岡亜紀子

＜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

小坂英男　1989 年京都大学大学院理学研究科修士課程修了，NEC 光エレクトロニクス研究所・基礎研究所主任研究員，京都大学大学院工学研究科論文博士取得，University of California Los Angeles 客員研究員，2003 年 7 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助教，2011 年 7 月より現職

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Asakura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki, and N. Ohtani, “Excitonic Rabi oscillations in self-assembled quantum dots in the presence of a local field effect,” Phys. Rev. B **87**, 241301(R)/1-4 (2013)

[2] S.-Y. Baek, F. Kaneda, M. Ozawa, and K. Edamatsu, “Experimental violation and reformulation of the Heisenberg's error-disturbance uncertainty relation,” Sci. Rep. **3**, 2221/1-5 (2013)

[3] R.-B. Jin, J. Zhang, R. Shimizu, F. kaneda, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, “Entangled state generation with an intrinsically pure single-photon source and a weak coherent source,” Phys. Rev. A **88**, 012324/1-4 (2013)

[4] N. Yokoshi, H. Imamura, and H. Kosaka, “Creation of entangled spin qubits between distant quantum dots,” Phys. Rev. B **88**, 155321/1-4 (2013)

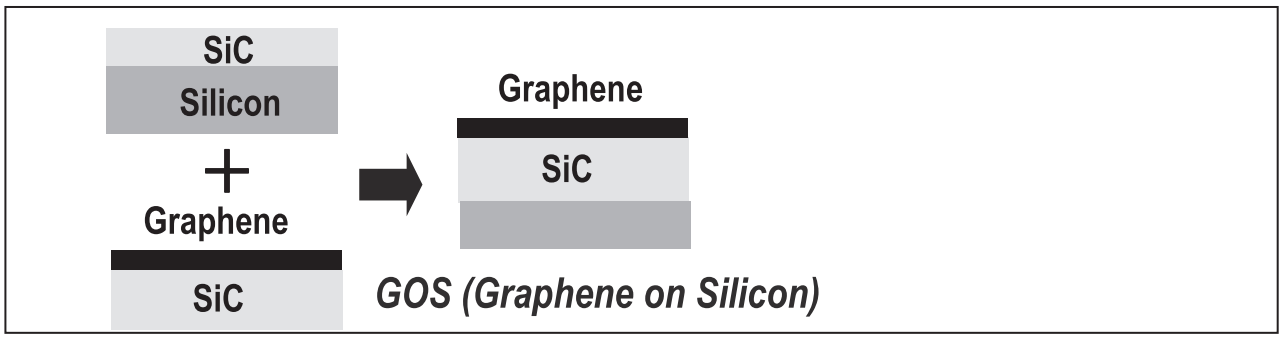
[5] F. Kaneda, S.-Y. Baek, M. Ozawa, and K. Edamatsu, “Experimental test of error-disturbance uncertainty relations by weak measurement,” Phys. Rev. Lett. **112**, 020502/1-5 (2014)

[6] S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, D. Kim, M. Nakayama, G. Oohata, H. Oka, H. Ajiki, and H. Ishihara, “Observation of bound and antibound states of cavity polariton pairs in a CuCl microcavity,” Phys. Rev. B **89**, 035317/1-7 (2014)

[7] T. Inagaki, H. Kosaka, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, “Process tomography of coherent state transfer from light polarization to electron spin polarization in a semiconductor,” Phys. Rev. B **89**, 085311/1-7 (2014)

固体電子工学研究室

グラフェンをシリコン・テクノロジーに



固体電子工学研究分野　教　授　末光　眞希
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＞

グラフェンは炭素原子の蜂の巣状二次元ネットワークである。シリコンの百倍という速さで電子が走る、まさに夢の材料と言える。固体電子工学研究室では、この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。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。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　デバイス応用に適した Si 基板上へのグラフェンのエピ成長とそのデバイス応用

シリコンデバイスとの融合を目指して、Si 基板上へのグラフェンのエピ成長の研究を行った。その結果、このグラフェンが直線的なバンド構造を有することを明らかにした[3]。更には、成長用基板表面の欠陥密度制御により、グラフェンの位置選択的成長法を新たに確立した[4]。更には、セルフ・アラインプロセスの導入によるグラフェントランジスタの高周波動作に成功した[5]。

２．　グラフェン-金属電極界面のナノスケール観察

グラフェン・トランジスタの性能劣化の大きな原因の一つが、グラフェン-金属間の接触抵抗である。この原因を突き止めるため、走査型光電子顕微鏡（3D nano-ESCA）を用いて、金属との界面近傍のグラフェンの電子状態を調べた [6]。その結果、この界面近傍においてグラフェンから金属電極へ電子が移動している数百 nm に亘る領域が存在することを明らかにした。この原因は、価電子帯と伝導帯が接する Dirac 点近傍での状態密度が 0 となることに起因する。

３．　グラフェントランジスタのオペランド観察

グラフェンデバイスの更なる高性能化を目指して、光電子顕微鏡（PEEM）を用いたゲート電圧印加下にあるグラフェン・トランジスタをその場観察した [7]。その結果、ゲート電圧及びグラフェン-金属電極間電荷移動によるフェルミ準位シフトにより誘起される多体効果（励起子効果・Anderson 直交性崩壊）を通して伝導帯の状態密度が変化するこを初めて見出した。この結果は、グラフェンの精密デバイス設計において、多体効果が重要なパラメータとなることを示唆する。

＜職員名＞

教　授　末光 眞希（2008 年より）
准教授　吹留 博一（2008 年より）
客員教授　長澤　弘幸（2013 年より）
技術補佐員　三浦 明美
産学連携研究員　Sai Jiao

＜プロフィール＞

末光　眞希　1975 年 3 月　東北大学工学部電子工学科卒業。1980 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。1980 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1990 年 4 月　同大電気通信研究所助教授。2003 年４月　同大学際科学国際高等研究センター教授、2008 年 4 月同大電気通信研究所教授、現在に至る。半導体薄膜表面工学の研究開発に従事。第 30 回熊谷記念真空科学論文賞受賞（2005 年 11 月）。総長教育賞受賞（2010 年 3 月）。2009 年度 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Paper of the Year 賞受賞。2011 年度表面科学会論文賞受賞（2011 年 12 月）。

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）。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Yohei Inayoshi, Hirokazu Fukidome, Setsuo Nakajima, Tsuyoshi Uehara, Yasutake Toyoshima, Maki Suemitsu, "Discharge Instability at Patterned Conductive Layers on Insulating Substrates during Pulsed-Plasma Chemical Vapor Deposition under Near Atmospheric Pressures," e-J. Surf. Sci., Vol. 11, pp. 47-52, 2013. (DOI: 10.1380/ejssnt.2013.47)

[2] 吹留博一、小嗣真人、川合祐輔、井出隆之、大河内拓雄、木下豊彦、末光眞希, "微細加工基板へのグラフェンのエピ成長による擬電磁場の創出," 表面科学, Vol. 34, pp. 380-384, 2013.

[3] H. Fukidome, Y. Kawai, H. Handa, H. Hibino, H. Miyashita, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, M.-H. Jung, T. Suemitsu, T. Kinoshita, T. Otsuji, and M. Suemitsu, "Site Selective Epitaxy of Graphene on Si Wafers," Proceeding of the IEEE, Vol. 101, pp. 1557-1566, 2013. (invited) (DOI: DOI: 10.1109/JPROC.2013.2259131)

[4] Maki Suemitsu, Sai Jial, Hirokazu Fukidome, Yasunori Tateno, Isao Makabe, Takashi Nakabayashi, “Epitaxial graphene formation on 3C-SiC/Si thin films,“Journal of Physics D, Vol. 47, pp. 094016-1-094016-11, 2014. (DOI: 10.1088/0022-3727/47/9/ 094016)

[5] M.-H. Jung, G.-H. Park, T. Yoshida, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, and M. Suemitsu, "High-Performance Graphene Field-Effect Transistors with Extremely Small Access Length Using Self-Aligned Source and Drain Techniques," Proceeding of the IEEE, Vol. 101, pp. 1603-1608, 2013. (invited) (DOI: 10.1109/JPROC.2013.2258651)

[6] Naoka Nagamura, Koji Horiba, Satoshi Toyoda, Shodai Kurosumi, Toshihiro Shinohara, Masaharu Oshima, Hirokazu Fukidome, Maki Suemitsu, Kosuke Nagashio, and Akira Toriumi, "Direct observation of charge transfer region at interfaces in grapheme devices," Applied Physics Letters, Vol. 102, pp. 241604-1-241604-5, 2013. (DOI: 10.1063/1.4808083)

[7] H. Fukidome, M. Kotsug, K. Nagashio, R. Sato, T. Ohkouchi, T. Itoh, A. Toriumi, M. Suemitsu, T. Kinoshita, “Orbital-specific Tunability of Many-Body Effects in Bilayer Graphene by Gate Bias and Metal Contact”, Scientific Reports, Vol. **4**, pp.03713-1-03713-5 (2014).(DOI: 10.1038/srep03713)

誘電ナノデバイス（長）研究室

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

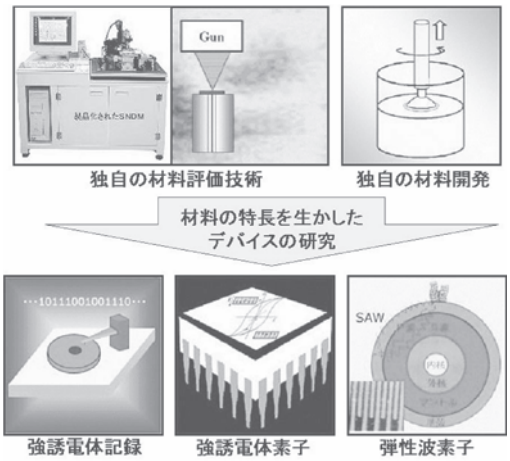


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

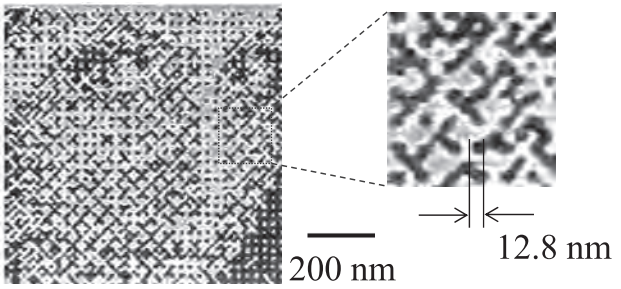


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

誘電ナノデバイス研究分野　教　授　長 康雄

＜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や，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非線形誘電率顕微鏡(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気的に行える世界で初めての装置であり，既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイルの観測や固体中の単一双極子モーメントの可視化など SNDM の高機能・高分解能化を目指した研究を行っている。更に SNDM は強誘電体ドメインをナノレベルで観測・制御できるため，次世代超高密度誘電体記録への応用研究も推進している。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　NC-SNDM による原子レベル極性判別

非接触 SNDM（NC-SNDM）法を用いて単層グラフェンと SiC 基板の間の界面状態を原子レベルで観察できることを明らかにした。また NC-SNDM 法を用いて電気双極子由来の表面電位像を観察する新たな手法を開発した。

２．　超高次非線形誘電率計測による半導体デバイスの評価

測定技術体系の確立を現在進めている超高次非線形誘電率顕微法を用いて、SiC-MOS デバイスの

空乏層の可視化に成功した。

３．　超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

強誘電体プローブデータストレージ方式において HDD 型試験装置を用いたビットの書き込みの実験を行い、2.7 Tbit/inch^2 の記録密度でドット列の書き込みが行えることを実証した。

４．　強誘電体ドメイン境界における導電性に関する研究

$LiTaO_3$ 単結晶上に形成したナノスケールのドメインドットのドメイン壁が微弱な導電性を有していることを新たに発見した。

＜職員名＞

教　授　長　　康 雄（２００１年より）
助　教　平永　良臣　　助　教　山末　耕平
技術職員　我妻　康夫

＜プロフィール＞

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

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Cho, “Nano-Domains and Their Related Phenomena in $LiTaO_3$ Single Crystal Studied by Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2013 Joint UFFC, EFTF and PFM Symposium, 2013

[2] Y. Cho, “Current Conduction around Nanodomain Inversion Dot in Lithium Tantalate Single Crystal”, 13th International Meeting on Ferroelectricity, 2013

[3] D. Mizuno, K. Yamasue and Y. Cho, “Atomic Dipole Moment Distribution on a Hydrogen-Adsorbed Si(111)-(7×7) Surface Observed by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Appl. Phys. Lett. Vol. 103, p. 101601, 2013

[4] Y. Cho, D. Mizuno and K. Yamasue, “Observation of Atomic Dipole Moment on Hydrogen and Oxygen Adsorbed Si(111)-7×7 Surfaces by Using Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 19th International Vacuum Congress, 2013

[5] Y. Hiranaga and Y. Cho, “Measurements of Nonlinear Dielectric Constants of $Pb(Zr,Ti)O_3$ Thin Films Using a Dynamic Measuring Method”, Jpn. J. Appl. Phys, vol. 52, p. 09KA08, 2013

[6] K. Honda and Y. Cho, “Effectiveness of the Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy on the Failure Analysis of Semiconductor Devices”, 24th European Symposium Reliability on Electron Devices, Failure Physics and Analysis, 2013

[7] N. Chinone, K. Yamasue, K. Honda and Y. Cho, “High Resolution Imaging in Cross-Section of a Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor Using Super-Higher-Order Nonlinear Dielectric Microscopy”, Journal of Physics: Conference Series Vol.471, p. 012023, 2013

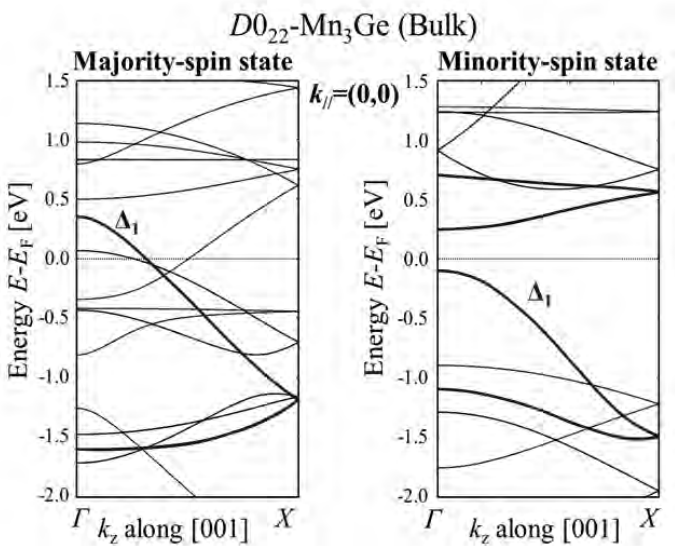
[8] N. Chinone, T. Nakamura and Y. Cho, “High Resolution Visualization of Carrier Distribution in SiC-MOSFET Using Super-Higher-Order Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2013 MRS fall meeting, 2013

[9] K. Yamasue, M. Abe, Y. Sugimoto and Y. Cho, “Site Specific Measurement of Atomic Dipole Moment Induced Local SurfacePotentials on Si(111)-(7×7) Surface by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2013 MRS fall meeting, 2013

[10] Y. Cho, “Electrical Conduction in Nanodomains in Congruent Lithium Tantalate Single Crystal”, Appl. Phys. Lett., Vol. 104, p. 042905, 2014

物性機能設計研究室

次世代スピンデバイス創製のための物性・機能の理論設計



Mn_3Ge の[001]方向の電子バンド分散。太線が MgO 障壁を優先的に透過する Δ_1 バンド [2]。

物性機能設計研究分野　教　授　白井 正文

＜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、高スピン偏極材料を用いたデバイス構造におけるスピン依存電気伝導の理論解析を主たる研究テーマとしている。また、垂直磁気材料の磁気異方性とその電界制御による超低消費電力デバイス創製を目指した理論研究にも着手している。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　垂直磁化トンネル磁気抵抗素子における伝導特性の解析

不揮発性磁気メモリに用いられるトンネル磁気抵抗素子の性能向上のため、新たな垂直磁化材料の開発が求められている。そこで本研究では、$D0_{22}$ 型 Mn_3Ga および Mn_3Ge を電極材料に用いた MgO 障壁トンネル接合におけるスピン依存伝導特性を第一原理計算に基づいて解析した。その結果、Mn_3Ga 電極では磁気抵抗比が顕著な界面依存性（MnMn 終端 600%、MnGa 終端 35%）を示すのに対して、Mn_3Ge 電極では界面構造に依らず 4,000%を超える巨大な TMR 比が得られた。これは MgO 障壁を優先的に透過する Δ_1 電子が、Mn_3Ge では完全にスピン偏極しているためである [2]。

２． ホイスラー合金における組成ずれがスピン偏極率に及ぼす影響評価

高スピン偏極ホイスラー合金 Co_2MnSi における化学量論組成からのずれがスピン偏極率に及ぼす影響を、磁化とトンネル磁気抵抗比の実験と第一原理計算により明らかにした。Co_2MnSi/MgO/Co_2MnSi トンネル接合の磁気抵抗比は、Co_2MnSi の組成が化学量論比より Mn 過剰側にずれたとき最大となる。Mn が欠乏した試料では、Mn サイトを置換した Co 原子に起因したバンドギャップ内の電子状態が生じ、スピン偏極率の低下をもたらす。逆に、Mn 過剰組成の試料では、Mn サイトを置換した Co 原子の量が抑制され、高いトンネル磁気抵抗比が得られるためである [3]。

３． ホイスラー合金／酸化物接合界面における垂直磁気異方性の起源解明

高スピン偏極ホイスラー合金 Co_2XAl (X = V, Cr, Mn, Fe) と MgO の接合界面における垂直磁気異方性の起源を第一原理計算に基づいて解明した。遷移金属元素 X が V, Cr, Mn の場合、XAl 終端界面において垂直磁気異方性と高スピン偏極率が共存する結果が得られた。特に Co_2MnAl に対して比較的大きな界面垂直磁気異方性が期待される。一方、実験で高垂直磁気異方性が確認されている Co_2FeAl/MgO 界面では、Co 終端もしくは過酸化 FeAl 終端界面が大きな界面垂直磁気異方性を示す計算結果を得ており、FeAl 終端以外の界面構造の形成が垂直磁気異方性の起源となっている [4]。

＜職員名＞

教　授　白井 正文（2002 年より）　助　教　阿部 和多加、三浦 良雄　　研究支援者　辻川 雅人

＜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物理系専攻博士後期課程中退。1988 年 4 月　大阪大学基礎工学部技官（教育職）。同助手・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。第一原理計算に基づくスピン機能材料の理論設計に関する研究に従事。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Miura, M. Tsujikawa and M. Shirai, “A first-principles study on magnetocrystalline anisotropy at interfaces of Fe with non-magnetic metals,” J. Appl. Phys., Vol. 113, No. 23, Article No. 233908, pp. 1-6, 2013

[2] Y. Miura and M. Shirai, “Theoretical study on tunneling magnetoresistance of manetic tunnel junctions with $D0_{22}$-Mn_3Z (Z = Ga, Ge),” IEEE Trans. Magn., Vol. 50, No. 1, Article No. 1400504, pp. 1-4, 2013

[3] G.-f. Li, Y. Honda, H.-x. Liu, K. Matsuda, M. Arita, T. Uemura, M. Yamamoto, Y. Miura, M. Shirai, T. Saito, F. Shi, and P. M. Voyles, “Effect of non-stoichiometry on the half-metallic character of Co_2MnSi investigated through saturation magnetization and tunneling spin polarization,” Phys. Rev. B, Vol. 89, No. 1, Article No. 014428, pp. 1-14, 2014

[4] M. Tsujikawa, D. Mori, Y. Miura and M. Shirai, “Perpendicular magnetic anisotropy and its electrical modulation of MgO/Co_2FeAl interface: A first-principles study,” Yamada Conference LXVII - 8th International Symposium on Metallic Multilayers, Kyoto, Japan (19-24 May, 2013)

[5] M. Shirai, M. Tsujikawa and Y. Miura, “First-principles study on magneto-crystalline anisotropy at Co-Fe-Al/MgO interfaces,” (Invited) JSPS York-Tohoku Symposium on Magnetic Materials and Spintronic Devices, York, UK (10-12 June, 2013)

[6] M. Shirai, M. Tsujikawa and Y. Miura, “*Ab inito* study on magneto-crystalline anisotropy in Co-Fe/MgO junctions,” (Invited) International Workshop of Computational Nano-Materials Design on Green Energy, Awaji, Japan (16-19 June, 2013)

[7] Y. Miura, M. Tsujikawa and M. Shirai, “A first-principles study on magneto-crystalline anisotropy at interfaces of Fe with various non-magnetic metals,” (Invited) International Workshop of Computational Nano-Materials Design on Green Energy, Awaji, Japan (16-19 June, 2013)

3．2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

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

(1)先端ワイヤレス通信技術研究室

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

(成果)大規模災害時にも必ずつながる衛星通信ネットワーク実現のため、複数の静止衛星通信システムに対応可能とするマルチモード・ソフトウェア無線小型地球局の研究開発を行い，試作機を用いて被災地などで実証実験を行った。また，準天頂衛星を用いた所在地・ショートメッセージ通信システムに関して，フラグ方式，リザベーションチャネル方式のアクセス方式に提案し，300 万ユーザーを 1 時間以内ですべて収容できることを示した。さらに，通信用フェーズドアレーアンテナおよび RFIC を含むビームフォーミング回路の開発を行った。

(2)超ブロードバンド信号処理研究室

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

(成果)単原子層炭素材料:グラフェンを利得媒質とする新原理テラヘルツレーザーを提案し，自然放出ならびに誘導放出の室温観測に成功するとともに，表面プラズモンポラリトンによる巨大利得増強作用を理論的に発見し、実験実証にも成功した。また，プラズモン共鳴を原理とする超高感度・低雑音テラヘルツ波検出デバイスの開発に成功し，室温動作では自らの世界最高感度記録を更新(200 GHz, 1.5 THz 入射時に各々22.7 kV/W , 6.4 kV/W の検出感度)した。

(3)超高速光通信研究室

(目標)光・量子エレクトロニクスならびに伝送工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルスの発生・伝送・受光技術、短パルスレーザ技術、ならびにデジタルコヒーレント光信号処理技術の研究を行い、グローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

(成果)2048 値の超多値 QAM コヒーレント光伝送を世界で初めて実現し、周波数利用効率を 15.3 bit/s/Hz まで増大することに成功した。また、高速化と周波数利用効率の拡大を同時に実現可能なコヒーレント光ナイキストパルスを用いて、単一チャネル 1.92 Tbit/s、64 QAM 伝送に成功した。これにより、1.92 Tbit/s の高速通信でありながら 7.5 bit/s/Hz という極めて高い周波数利用効率を実現した。

(4)応用量子光学研究室

(目標)高性能・高機能な半導体デバイス実現へ向け、超高速動作可能な光制御型半導体光源、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)外部共振器構造を導入した光制御型パッシブフィードバック半導体レーザを試作し、光信号に対して3dB帯域が50GHz以上に拡大できることを実証した。また、単一モード半導体レーザに光フィルタを周波数弁別器とした簡便な光負帰還回路を付与することで、スペクトル線幅が 1kHz以下の半導体レーザ光源が実現できることを提案し、実証実験を通して狭線幅半導体レーザ光源実現への見通しを得ることができた。

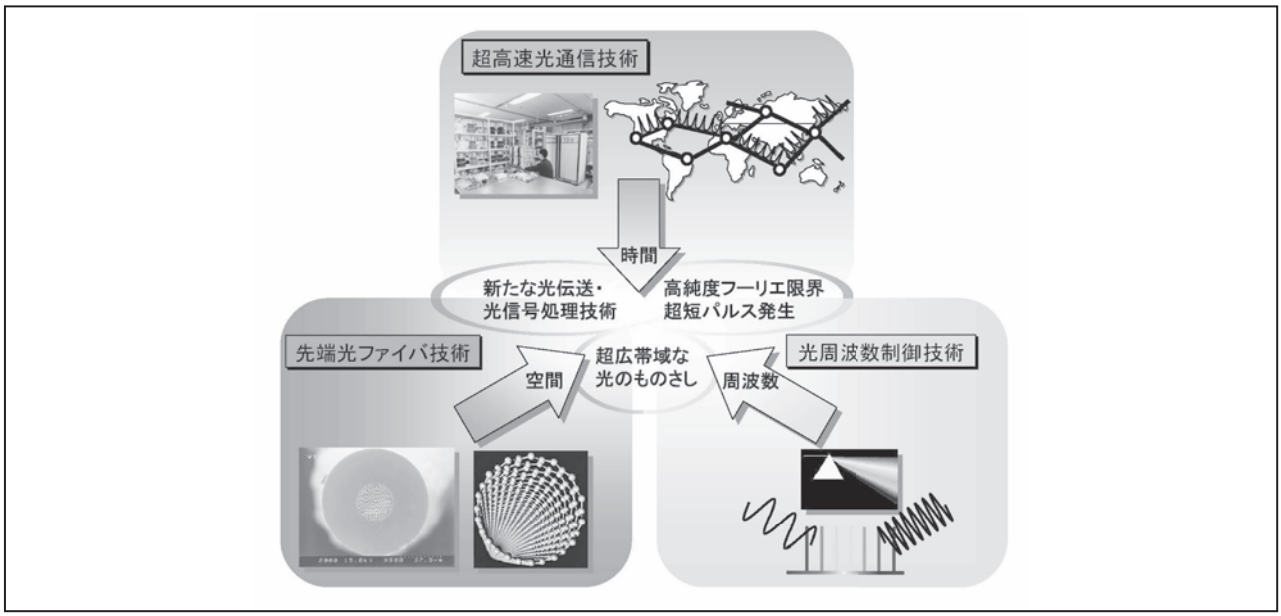
⑸情報ストレージシステム研究室

(目標)次世代型垂直磁気記録によるハードディスク装置の高速・密度化の実現 と、大容量ストレージのシステム化技術の研究を行っている。

(成果)現在の10倍の高面密度に相当する5Tbit/inch2(1平方インチ当たり5兆 ビット)の高密度ストレージについて、研究を続けてきたビットパターン型垂直媒体と熱補助記録の併用で可能になることを記録理論とコンピュータシミュ レーションから示してきた。また、ストレージ情報は著しい大容量化を続けており、これを取り扱うためにディスク装置とストレージシステムの高密度化と並んで、データ転送速度の高速化が必須である。ディスク装置においては新たな 2 次元符号化を研究して複数のトラックの情報を同時読み出しすることで高速化を図るとともに、分散ファイルシステムを用いたディスク装置の並列転送についても実験を行い、10Gbpsを超えるデータ転送速度を得ている。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



光伝送研究分野 教　授　中沢　正隆
光信号処理研究分野 准教授　廣岡　俊彦　　高精度光ファイバ計測研究分野 准教授　吉田　真人

＜研究室の目標＞

インターネットや携帯で扱われる情報が多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスと伝送工学を駆使して、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、デジタルコヒーレント光信号処理技術の研究を行い、21 世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　超高速光伝送技術に関する研究

高速化と周波数利用効率の拡大を同時に実現可能な光パルスとして提案しているコヒーレント光ナイキストパルスを用いて、単一チャネル 1.92 Tbit/s、64 QAM (10 Gsymbol/s×16-OTDM×2 pol ×6 bit)信号の 150 km 伝送に成功した。ナイキストパルスとは sinc 関数的な形状を有し、その裾野はシンボル間隔ごとに強度がゼロとなるパルスのことである。そのため、幅が広く帯域の狭いパルスを用いても、隣接チャネルとの重なりが生じるにもかかわらず干渉が生じない点が特徴である。この特徴を活かし、従来の RZ 光パルスでは 3.2 bit/s/Hz であった周波数利用効率を 1.92 Tbit/s の高速通信でありながら 7.5 bit/s/Hz まで拡大した。

２．　コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

2048 値の超多値コヒーレント光伝送に世界で初めて成功し、容量が 66 Gbit/s の信号を僅か 3.6 GHz の帯域で伝送できることを明らかにした。これにより 15.3 bit/s/Hz の周波数利用効率を実証した。また、QAM を用いた 2 次元量子ストリーム暗号を提案し、16 QAM 信号を用いて 10 Gbit/s-160

km の光秘匿伝送を実現した。I, Q 両軸を用いて 2 次元的にデータ信号を秘匿することにより、従来の ASK (Amplitude-Shift Keying)や PSK (Phase-Shift Keying)方式に比べて暗号としての性能が 2 乗倍向上することを明らかにした。

＜職員名＞

教　授　中沢 正隆（2001 年より） 准教授　廣岡 俊彦（2007 年より）
准教授　吉田 真人（2011 年より） 助教（プロジェクト特任）葛西 恵介　秘　書　篠崎 頼子

＜プロフィール＞

中沢 正隆　1980 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。1984～1985 年 MIT 客員研究員。2001 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。IEEE Daniel E. Noble Award (2002 年)、OSA R. W. Wood Prize (2005 年)、Thomson Scientific Laureate (2006 年)、産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞(2009 年)、紫綬褒章(2010 年)、IEEE Quantum Electronics Award (2010 年)、日本学士院賞(2013 年)など受賞。IEEE、OSA、電子情報通信学会および応用物理学会フェロー。2008 年本学 Distinguished Professor、2010~2012 年本研究所所長、2012~2013 年国際高等研究教育機構長。2011 年より電気通信研究機構長。

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、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。

吉田 真人　2001 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月東北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、コヒーレント光伝送の研究に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、とやま賞、ELEX Best Paper Award、電子情報通信学会論文賞など受賞。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Sakano, Z. M. Fadlullah, T. Kumagai, A. Takahara, T. Ngo, H. Nishiyama, H. Kasahara, S. Kurihara, M. Nakazawa, F. Adachi, and N.Kato, “Disaster resilient networking – a new vision based on movable and deployable resource units,” IEEE Network, vol. 27, no. 4, pp. 40-46, July/August (2013).

[2] K. Harako, D. Seya, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “640 Gbaud (1.28 Tbit/s/ch) optical Nyquist pulse transmission over 525 km with substantial PMD tolerance,” Opt. Express, vol. 21, no. 18, pp.21063-21076, September (2013).

[3] D. O. Otuya, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “A single-channel 1.92 Tbit/s, 64 QAM coherent optical pulse transmission over 150 km using frequency-domain equalization,” Opt. Express, vol. 21, no. 19, pp. 22808-22816, September (2013).

[4] 中沢正隆, “災害に強いネットワークと光通信技術,” 電子情報通信学会誌, vol. 96, no. 10, pp. 748-751, October (2013).

[5] Y. Wang, K. Kasai, T. Omiya, and M. Nakazawa, “120 Gbit/s, polarization-multiplexed 10 Gsymbol/s, 64 QAM coherent transmission over 150 km using an optical voltage controlled oscillator,” Opt. Express, vol. 21, no. 23, pp. 28290-28296, November (2013).

[6] K. Koizumi, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "A single-channel 1.28 Tbit/s-58 km transmission in the 1.1 μm band with wideband GVD and slope compensation," Opt. Express vol. 21, no. 23, pp. 29055-29064, November (2013).

[7] M. Yoshida, T. Hirooka, M. Nakazawa, K. Imamura, R. Sugizaki, and T. Yagi, "Detailed comparison between mode couplings along multi-core fibers and structural irregularities using a synchronous multi-channel OTDR system with a high dynamic range," Opt. Express vol. 21, no. 24, pp. 29157-29164, December (2013).

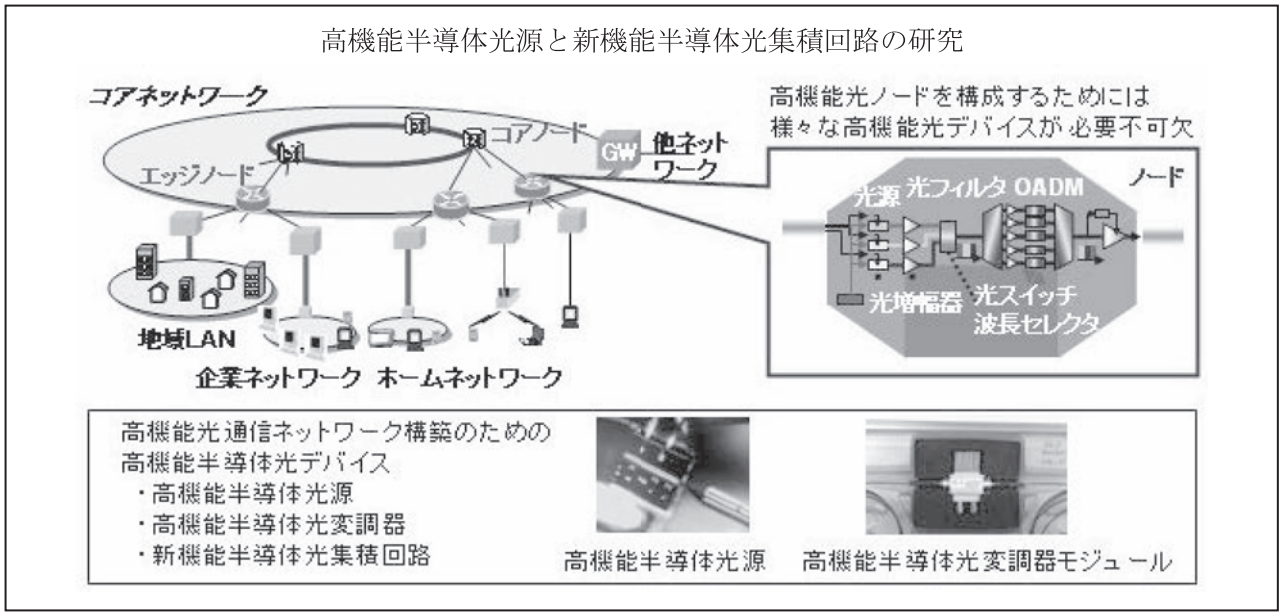
[8] T. Yajima, J. Yamamoto, F. Ishii, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "Low-loss photonic crystal fiber fabricated by a slurry casting method," Opt. Express vol. 21, no. 25, pp. 30500-30506, December (2013).

[9] 中沢正隆, 國分泰雄, “多値・多モード技術の現状と動向,” 電子情報通信学会誌, vol. 97, no. 2, pp. 119-123, February (2014).

[10] M. Nakazawa, M. Yoshida, T. Hirooka, and K. Kasai, "QAM quantum stream cipher using digital coherent optical transmission," Opt. Express vol. 22, no. 4, pp. 4098-4107, February (2014).

応用量子光学研究室

革新的光通信用高機能半導体デバイスの創出に関する研究



高機能フォトニクス研究分野　教　授　八坂　洋

＜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、超高速動作可能な光制御型半導体光源、高機能半導体光源/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。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　光制御型超高速光半導体デバイス

超高速・超大容量光通信ネットワークを構築する上で、光信号で直接高速制御可能な高機能半導体光デバイスの実現が必須である。この高機能半導体光デバイス実現へ向け、外部制御光による光デバイス高速制御の研究を推進した。外部共振器構造を付与し、光子共鳴効果を導入した半導体レーザ光源（パッシブフィードバック半導体レーザ）を光信号で制御することにより、周波数応答特性の飛躍的な拡大が期待できるとの着想を基に、本光源の光信号に対する応答特性の数値解析を通して帯域拡大のための素子最適構造の導出を進めるとともに、本設計を基にした素子試作を進めた。試作した LD 部共振器長 350μm、外部共振器長 220μm のパッシブフィードバック半導体レーザの入力信号光に対する応答帯域を評価することで、3dB 帯域が 50GHz 以上に拡大されたことを確認し、光子共鳴効果の光制御型超高速光半導体デバイスへの適用可能性を明らかにした。

２．　小型狭線幅半導体レーザ光源

近年注目されているデジタルコヒーレント光通信システムにおいては、信号光の位相揺らぎを低減することがシステム性能向上には必要不可欠である。信号光の位相揺らぎは光源のスペクトル広がり(スペクトル線幅)に起因しており、狭スペクトル線幅半導体レーザ光源の実現が必要不可欠である。狭スペクトル線幅光源は高性能光センシングシステム用光源としての応用も期待される。

半導体レーザは小型で低消費電力という特徴を持つが、小型故にその共振器の Q 値を向上することが難しく、通常の半導体レーザは数 MHz のスペクトル線幅(半値全幅)を有する。このスペクトル線幅を、簡便な構成の光学的な負帰還回路を組むことで狭窄化する試みを進めた。単一モード半導体レーザの片出力側に光フィルタを設置し、この光フィルタを周波数弁別回路として機能させることで光負帰還回路を構成した。数値シミュレーションを通して、簡便な本構成でスペクトル線幅を 1/10,000 に低減でき、サブ kHz の線幅を有する半導体レーザ光源が構築できる可能性を明らかにした。また、単一モード半導体レーザ、レンズおよび光フィルタ(ファブリペロエタロン)で光負帰還型半導体レーザ光源を構成して原理検証実験を行うことで、単体動作時に 7MHz であった単一モード半導体レーザの線幅を 1/1,000 の 7kHz まで狭窄することに成功した。今後も更なるスペクトル線幅の狭窄化を目指し、超小型で線幅がサブ kHz の集積型半導体レーザ光源の実現を図る。

＜職員名＞

教　授　八坂　洋（2008 年より）

＜プロフィール＞

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

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Saikai, T. Yamamoto, E. Yamada, and H. Yasaka, “Flat-top Optical Frequency Comb Block Generation using InP-based Mach-Zehnder Modulator,” The 25th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2013), MoD3-3, May 2013.

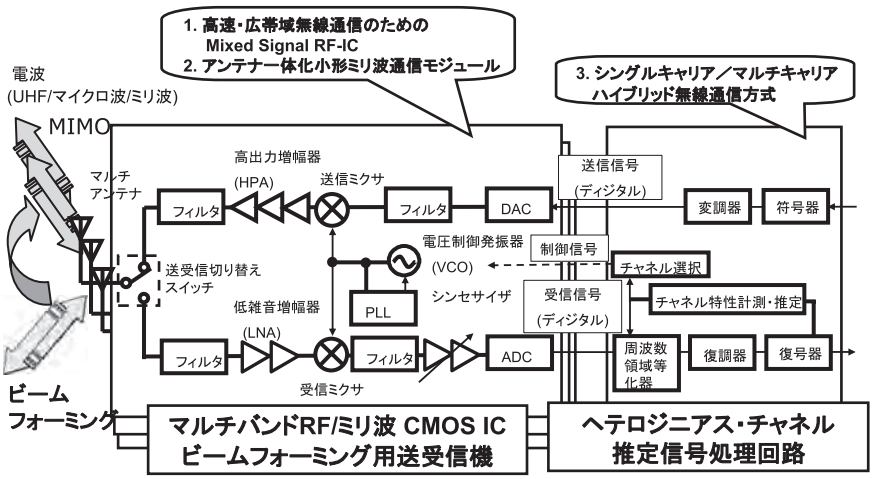
[2] T. Yamamoto, T. Saikai, E. Yamada, and H. Yasaka, “Tailored Optical Frequency Comb Block Generation using InP-based Mach-Zehnder Modulator,” IEICE Transactions on Electronics, vol. E97-C, No. 3, pp. 222-224, 2014.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信ネットワークの実現へ向けて

広帯域ワイヤレス通信用 1 チップ送受信機の研究

信号処理回路･デバイス･実装技術の研究として、シリコン CMOS 技術を用いた超高周波帯 RFパワーアンプ・シンセサイザ・ミキサなどの設計・開発、超小型アンテナモジュールの開発を行っている。そして、これらのシリコン RF デバイス、アンテナモジュールなどのワイヤレス通信端末に必要な回路の特性を、ディジタル回路技術を用いて補償するディジタルアシステッド RFアナログ回路の研究・開発を行っている。



先端ワイヤレス通信技術研究分野　　教　授　末松　憲治
先端ワイヤレスネットワーク技術研究分野　准教授　亀田　　卓

＜研究室の目標＞

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

＜2013 年度の主な成果＞

１．災害時に有効な衛星通信ネットワーク

大規模災害時に衛星通信ネットワークの臨時構築に必要不可欠な存在である小型地球局（VSAT）や衛星回線の円滑な確保を図るため、複数の衛星システムに対応可能とするためのマルチモード地球局技術の研究開発を行った。今年度は地上回線が使用不可能になった時に自動的に衛星回線が接続するマルチモード VSAT を開発し、2014 年 3 月に宮城県山元町において実証実験を行った。

２．準天頂衛星を用いたロケーション・ショートメッセージ通信

大規模災害時に安否確認を迅速に行うことができるシステムとして、準天頂衛星を用いた双方向通信の検討を行った。準天頂衛星を用いた双方向通信の鍵となる技術が、超長拡散符号を用いたス

ペクトラム拡散・符号分割多元接続 （SS-CDMA） 方式である。1W 程度の送信電力で、かつ無指向性に近い低利得な端末用送信アンテナを用いて約 39,000km の距離にある準天頂衛星と通信を行うことを目指し、ランダムアクセス制御方式の検討などを行った。

３．高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF-IC／モジュールの研究

無線通信端末の伝送速度高速化・小型化・低消費電力化を目指し、ミリ波帯無線通信端末用シリコン CMOS VCO・送信増幅器やダイレクト・ディジタル RF 変換器などの検討を 90nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。

＜職員名＞

教　授　末松 憲治（2010 年より）
准教授　亀田　　卓（2012 年より）
産学官連携研究員　谷藤 正一（2013 年 9 月まで）　技術補佐員　千葉 記子

＜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、日本エレクトロニクス実装学会、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)。2001 年 10 月同電気通信研究所助手、2007 年 4 月同助教、2012 年 4 月同准教授。2001 年第 16 回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術学生賞）、2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞、2008 年電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会研究奨励賞、2012 年同研究会技術特別賞各受賞。電子情報通信学会、IEEE 各会員。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Yoshida, Y. Suzuki, T. T. Ta, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A 60-GHz band planar dipole array antenna using 3-D SiP structure in small wireless terminals for beamforming applications,” IEEE Trans. Antennas and Prop., vol.61, no.7, pp.3502-3510, July 2013.

[2] K. Konno, Q. Chen, K. Sawaya, S. Kameda, N. Suematsu, “Reflectarray design by induced electromotive force method,” 2013 IEEE AP-S/USNC-URSI Symposium, pp.1342-1343, Orlando, Florida, USA, July 2013.

[3] T. Takahashi, Y. Miyake, F. Yamagata, H. Oguma, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Large-capacity QZSS location and short message system using frame slotted ALOHA with flag method,” IEEE PIMRC2013, pp.3280-3285, London, U.K., Sept. 2013.

[4] T. T. Ta, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A calibrationless Si-CMOS 5-bit baseband phase shifter using a fixed-gain-amplifier matrix,” IEICE Trans. Electron., vol.E96-C, no.10, pp.1322-1329, Oct. 2013.

[5] N. Suematsu, S. Kameda, H. Oguma, M. Sasanuma, S. Eguchi, and K. Kuroda, “Multi-mode SDR VSAT against big disasters,” EuMC 2013, pp.842-845, Nuremberg, Germany, Oct. 2013 (invited).

[6] T. Maehata, K. Totani, N. Suematsu, S. Kameda, “Concurrent dual-band 1-bit digital transmitter using band-pass delta-sigma modulator,” EuMC 2013, pp.1523-1526, Nuremberg, Germany, Oct. 2013.

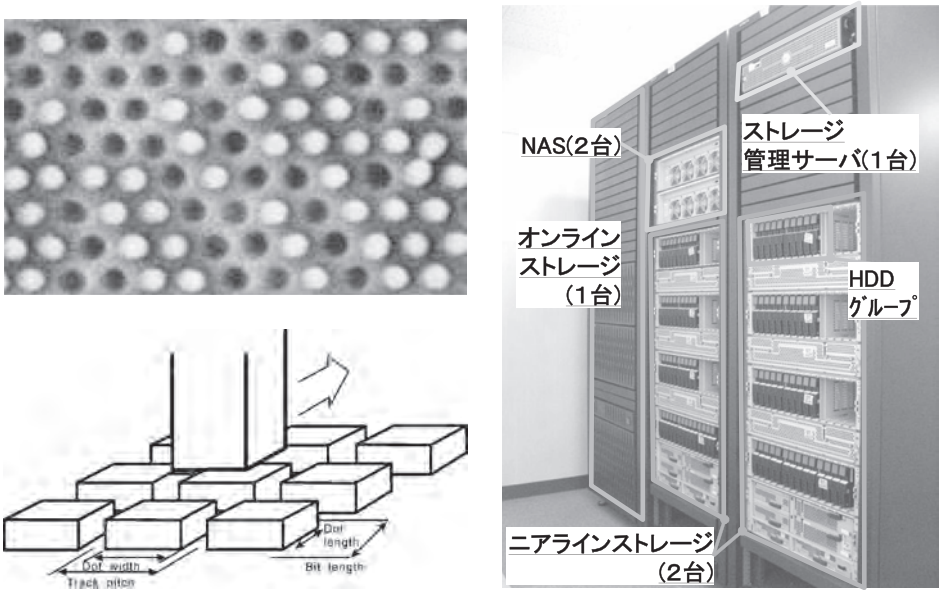
[7] D. Banda, O. Wada, T. T. Ta, S. Kameda, N. Suematsu, and K. Tsubouchi, “Direct RF under sampling reception method with lower sampling frequency,” APMC2013, pp.500-502, Seoul, Korea, Nov. 2013.

[8] N. Suematsu, Y. Suzuki, S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, “A 60GHz band 2x4 array antenna module fabricated by 3-D SiP technology,” IJST2013, IFT-1, Nov. 2013 (invited).

情報ストレージシステム研究室

次世代型垂直磁気記録と情報ストレージのシステム研究

大規模ストレージシステム研究分野　教授　村岡　裕明
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



（左）ビットパターン媒体と垂直ヘッド記録の概念図。（右）分散ファイルシステムによる HDD 並列転送による高速化の効果。

＜研究室の目標＞

IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。この膨大な情報の蓄積を担うのがデータセンターであり、その中心的な技術がハードディスク装置を代表とするストレージ装置である。増大する情報量に対応して磁気ディスクの高密度記録化による記録容量の増加への努力が行われており、本分野では 5-10 Tbits/inch^2 を目指して研究を続けている。このためにコンピュータシミュレーションを含めた記録再生理論の検討と実ヘッドディスクを用いた高密度記録再生の実験を通して、今後の高速データ転送速度と高面密度記録を実現するための記録再生方式の確立に取り組んでいる。また、ハードディスクドライブを応用した大容量高速ストレージシステムのシステム化技術の研究も行っている。

＜2013 年度の主な成果＞

1．　垂直磁気記録ハードディスクの記録再生理論の研究

上記の 1 Tbit/inch^2 の記録密度でのビット面積は 25.4 nm×25.4 nm に相当する。このような超微細ビットでは熱エネルギーによる磁化擾乱のために記録ビット減磁する影響が大きくなる。本研究室では、これを回避できるように記録層をリソグラフィで加工してビットを物理的に分離したビット

パターン媒体による高密度化を検討してきた。昨年度はビットパターン媒体の熱安定性について新しいモデリング手法を用いて明らかにしてきた。一方、ナノサイズの磁性粒子の性状を考慮しないと高密度記録を達成できなくなってきている。昨年度は、これまで検討してきたビットパターン媒体の知見から記録媒体を形成する磁性粒子の統計的な性質を議論しこれまで高密度化を制約していたジッタ性の記録媒体ノイズを低減できることを示した。

２．　コンピュータシミュレーションによる超高密度記録の研究

本研究室では、超高密度記録の実験に先行して検討を進めるために、磁気スピンの歳差運動を表現してナノ領域の磁化挙動を動的に解析でき、高密度記録に重要な熱擾乱現象をモデル化したマイクロマグネティックシミュレーションを用いた検討を進めている。今年度は、熱補助記録の解析を行うために新たに開発した昇温した磁性体の振る舞いを正確に表現したシミュレーション手法を用いて上記の 5 Tbit/inch^2 を目指した高密度記録のシミュレーションを行った。

３．高速大容量ストレージシステムのシステム化の研究

インターネットの情報量の急速な拡大が続いており、ハードディスクにはクラウドデバイスとして大規模データストレージの重要性が増している。昨年度は分散ファイルシステムを用いて大容量ファイルを並列に HDD から送受することでの高速データ転送化を検討した。負荷分散を均質化することで 8 台までのハードディスク装置を並列転送に対して比例的な性能向上を確認し 12 Gbps のデータ転送速度を実験で確認した。

＜職員名＞

教　授　村岡 裕明（2000 年より）
准教授　サイモン・J・グリーブス（2003 年より）
秘　書　渡辺 智絵

＜プロフィール＞

村岡 裕明　1981 年　東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株），1991 年電気通信研究所助手，1993 年同助教授，2000 年同教授。高密度磁気記録理論，磁気記録デバイス及び記録方式，情報ストレージ方式，等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞（2003 年）。IEEE Fellow (2008 年)。

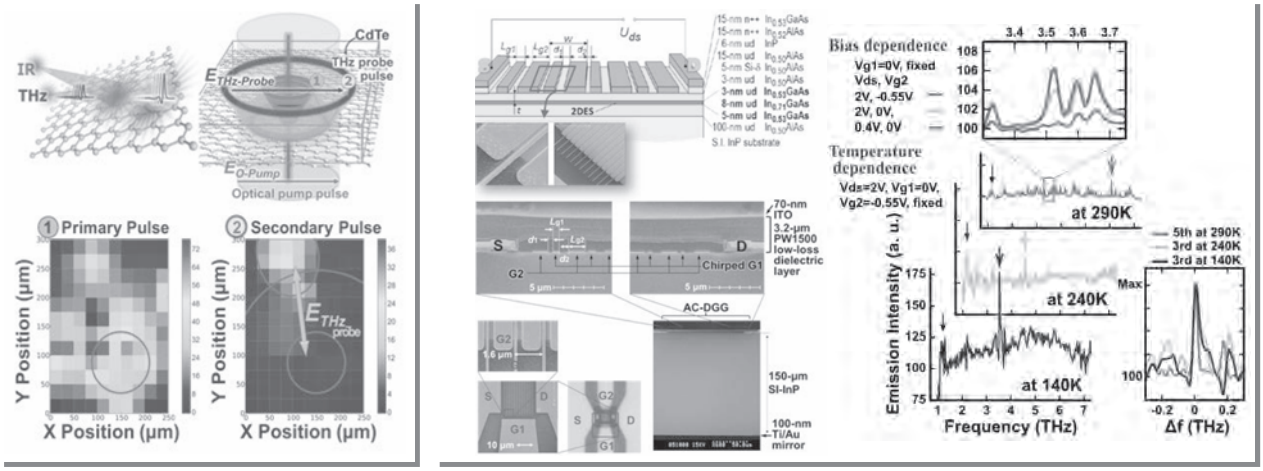
サイモン グリーブス 1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学助教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Simon John Greaves, Yasushi Kanai, and Hiroaki Muraoka, “Thermally assisted magnetic recording at 4 Tbit/in^2,” IEEE Trans. Magn., 49, 6, 2665-2670, 2013. [Invited]
[2] 松浦希望、三浦健司、村岡裕明、“高密度ビットパターン媒体記録のためのシールド型 MR ヘッドの再生分解能” J. Magn. Soc. Jpn., 37, 49-55, 2013.
[3] Kenji Miura, Hiroyuki Katada, Makoto Oguma,Yasutaka Nishida, and Hiroaki Muraoka, “Erase Band Noise and Generation Mechanism Due to an Adjacent Track,” IEEE Trans. Magn. 49, 7, 3795-3798, 2013.
[4] Simon John Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, “High Frequency Recording With Shielded Planar Type Heads,” IEEE Trans. Magn. 49, 7, 3806-3809, 2013.

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



グラフェンおよび化合物半導体における二次元プラズモンのテラヘルツ（THz）デバイス応用
（左：光学励起グラフェンの表面プラズモンポラリトン励起による巨大 THz 利得の実証に成功、右：独自の非対称二重回折格子ゲート InP 系プラズモン HEMT により単色コヒーレント THz 放射に成功）

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
極限高速デバイス研究分野　准教授　末光　哲也
超ブロードバンドデバイス物理研究分野　准教授　ボーバンガトンベット ステファン

＜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。

＜2013 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してその特異なキャリア輸送特性を活用した新原理テラヘルツレーザー創出に向けた研究を推進し，理論発見した表面プラズモンポラリトンによる巨大利得増強作用に実験検証に成功した。また，プラズモン共鳴を原理とするテラヘルツエミッタ―デバイスの開発に成功し，独自の非対称二重回折格子ゲート型 HEMT 構造により、140K と低温ながら世界初の単色コヒーレント CW 発振に成功した。

２．極限高速電子デバイス研究分野

ミリ波からサブミリ波へ，電子デバイスの動作速度の極限を追求すると共に，それらの特性を活かした集積回路応用を目指した研究を推進している。電子移動度が高く高速･高周波特性に優れた InGaAs 系化合物半導体を用いて，トランジスタの極限高速性能を追求

すると共に，ミリ波帯における高効率電力増幅器への応用を進めている。また高耐圧・高出力動作が期待されるGaN系材料を用いたトランジスタの作製プロセスを立ち上げ，高速かつ高耐圧なミリ波帯トランジスタを目指して開発を進めている。

＜職員名＞

教　授　尾辻　泰一（2005年より）
准教授　末光　哲也（2006年より）
准教授　ボーバンガトンベット　ステファン（2013年度より）
助　教　佐藤　昭　（2010年より）
助　教　鷹林　将　（2012年より）
客員教授　RYZHII Victor　（2012年より）
産学官連携研究員 DOBLOIU Adrian　（2012年より）　　秘　書　上野　佳代, 菅原香織

＜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。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。IEEE GaAs IC Symposium最優秀論文賞受賞（1998年）。電子情報通信学会，応用物理学会，IEEE Fellow，OSA各会員。

末光哲也　1992年3月　早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1994年3月　同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1994年4月　日本電信電話(株)入社。2002年1月ー2003年1月　MIT客員研究員。2006年9月　東北大学電気通信研究所助教授，2007年4月　同准教授，現在に至る。化合物半導体超高速トランジスタの研究開発に従事。第1回応用物理学会講演奨励賞受賞（1996年）、電子通信学会論文賞受賞（2003年）。ELEX Best Paper Award受賞（2007年）。応用物理学会，日本物理学会，IEEE，APS各会員。

ボーバンガトンベット ステファン　2003年8月　ナリアン　ヌアビ大学（コンゴ共和国）理学部物理学科卒業。2004年8月　モンペリエ第二大学大学院（仏）理学研究科基礎物理学専攻修士課程修了。2005年8月　同大学院固体物理学および凝縮系物理学専攻Diplomaコース修了。2008年11月　同大学院同専攻博士課程修了。2009年12月　東北大学電気通信研究所日本学術振興会外国人特別研究員。2011年1月　同研究所教育研究支援者。2011年10月　ルーアン大学（仏）CNRS物理材料グループ物理コンサルタント。2012年2月　ロスアラモス国立研究所（米）CINTポスドク研究員。2013年6月　東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。半導体ヘテロ構造二次元電子ガス・カーボンナノチューブ・グラフェンにおけるテラヘルツ帯プラズモンおよびテラヘルツ帯磁気光学的現象に関する研究に従事。

＜2013年度の主な発表論文等＞

[1] T. Otsuji, V. Popov, and V. Ryzhii, “Active graphene plasmonics for terahertz device applications,” J. Phys. D., Vol. 47, Iss. 09, pp. 094006-1-10, Feb. 2014.

[2] V. Ryzhii, A.A. Dubinov, T. Otsuji, V.Ya. Aleshkin, M. Ryzhii, and M. Shur, "Double-graphene-layer terahertz laser: concept, characteristics, and comparison," Opt. Express, Vol. 21, No. 25, pp. 31569-31579, Dec. 2013.

[3] A. Satou, S. Koseki, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Transient stimulated emission from multi-split-gated graphene structure," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 47, Iss. 05, pp. 055103-1-8, Jan. 2014

[4] V. Ryzhii, A.A. Dubinov, V.Ya. Aleshkin, M. Ryzhii, and T. Otsuji, "Injection terahertz laser using the resonant inter-layer radiative transitions in double-graphene-layer structure," Appl. Phys. Lett., Vol. 103, pp. 163507-1-4, Oct. 2013.

[5] T. Watanabe, T. Fukushima, Y. Yabe, S.A. Boubanga Tombet, A. Satou, A.A. Dubinov, V. Ya Aleshkin, V. Mitin, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Gain enhancement effect of surface plasmon polaritons on terahertz stimulated emission in optically pumped monolayer graphene," New Journal of Physics, Vol. 15, Iss. 7, pp. 075003-1-11, July 2013.

[6] M.-H. Jung, G.-H. Park, T. Yoshida, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, and M. Suemitsu, "High-Performance Graphene Field-Effect Transistors with Extremely small access length using self-aligned source and drain techniques," Proceeding of the IEEE, Vol. 101, pp. 1603-1608, July 2013. (invited)

[7] T. Watanabe, A. Satou, T. Suemitsu, W. Knap. V.V. Popov, and T. Otsuji, "Plasmonic Terahertz Monochromatic Coherent Emission from an Asymmetric Chirped Dual-Grating-Gate InP-HEMT with a Photonic Vertical Cavities,"CLEO: Conference on Lasers and Electrooptics Dig., CW3K.7, San Jose, CA, USA, June 12, 2013.

[8] A. Satou, V. Ryzhii, Y. Kurita, and T. Otsuji, "Threshold of terahertz population inversion and negative dynamic conductivity in graphene under pulse photoexcitation," J. Appl. Phys., Vol. 113, Iss. 14, pp. 143108-1-7, April 2013.

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，更には人間が通信していることを全く感じずに自然に使える無意識通信システムを実現するための要素技術とシステム技術開発を目標としている。

この目標達成のため，本部門は次の 4 研究分野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)いつでもどこでもユビキタスに通信手法を意識することなく通信できる環境の実現を目指すユビキタス通信システム研究分野。

2013 年度の各分野の研究目標と成果の概要を以下に示す。

(1) 生体電磁情報研究分野

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

(成果) 超高感度磁界センシングシステム開発、ならびに超高感度ひずみセンシングシステム開発に関する検討の中で、磁性薄膜の異方性制御手法に関して新たな知見を得るとともに、それがセンサの高感度化に極めて有用であることを見いだした。モータ用磁性材料の低損失化に関する検討では、従来対策不可能と思われていた面内渦電流損失が工業的に安価に適用可能な手法で大幅に低減できる可能性を提案した。アクチュエータの医療応用に関しては，人工心臓用ポンプをはじめとしたワイヤレスアクチュエータの研究を進め、生体内で動作する医療ロボットの駆動源としての検討が引き続き行われている。微粒子を規則的に配列させて新たな機能性を実現する新材料の開発に着手し、新機能性材料の提案を行った。

(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，音響信号の基礎的信号処理技術の開発を行い，それらの知見・成果を応用して，臨場感あふれる音響通信システムやユーザインターフェイス等の開発を行っている。

（成果） 聴覚を含む複合感覚情報処理過程に関し，本年度は，聴取者が直線上に移動している場合の3次元音空間知覚に関する実験を進め，前方と後方では異なる様相が見られる背景となる脳内情報処理過程の機序について考察を進めた。また，音声聴取理解における話者の映像情報の効果について実験と考察を進めた。その結果，読唇による音声了解度の向上には口唇周辺の情報が重要な役割を果たす一方，口唇部分をマスクしても，その周辺の映像情報があれば有意な「読唇効果」が得られることが明らかになった。また，3次元音空間制御手法の研究を進め，その鍵となる頭部伝達関数(HRTF)に関して，仰角方法の知覚手がかりの一端を明らかにするとともに，100ch以上の超多チャネル高次アンビソニックス

(HOA)型と2chのトランスオーラル型聴覚ディスプレイの高精度化の研究を進めた。集音システムについては，我々が提案している超多チャネル小型収音システムSENZIの252chの実時間化を目指し，SN比と精度を高める技術を開発した。

(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）2013 年度は，以下の成果を得た。1）自分の手の周囲の空間に特化した知覚機構について，運動残効と呼ばれる心理現象を利用した実験から，手の身体性自己意識が手中心の座標系で表現された空間知覚表象を誘発することを示した．手を使って物を動かす際の効率的な作業に欠かせない機能でありその脳処理を示す顕著な発見である。2）視線推定における頭部方向の重要性を示すために，頭部に対する眼球方向を操作して，それが視覚的認知に与える影響を検討した。頭部と同じ方向を見る場合（正面観察）と頭部と異なる方向を見る場合（横目観察）における視覚探索課題の成績を比較した結果，横目観察において，視覚的注意を必要とする視覚探索の成績が低下した。人が日常的に頭部を対象の方へ近づけて観察するのは，視覚的な情報処理の観点からも妥当であると考えられる。3）記憶した形状を頭の中で回転する課題(心的回転)を利用して，視覚によって得られた形状の表象と触運動によって得られた形状の表象の違いを検討した。その結果，触運動表象は，視覚表象と異なり，明確な回転操作を示さないことが明らかになり，視覚と触覚では異なる形式の表象過程があることを示した。

(4)ユビキタス通信システム

（目標）ユビキタス通信の目標は誰とでも，どこでも，何時でも通信手段を意識することなく通信出来る通信環境を実現することである。この目標実現のために，(1)ユビキタスにセンサ情報を送受信できる広域(～5 km)センサネットワークの研究開発を進める。また(2)マルチ Gbps の通信を屋内で自由に利用できるスーパ・ブロード・バンド通信の核となる技術を研究開発する。さらに，これを国際標準とすべく IEEE での国際標準化に貢献する。
（成果）本年度の主な研究成果は (1)直接拡散 (DSSS) 方式をベースとして、平常時はユビキタスにセンサ情報を送信できる広域(～5 km)センサネットワークとして，また非常時は防災ネットワークとして使用できる ISWAN(Integrated Services Wireless Wide Area Networks)を提案し，この IEEE での国際標準化に貢献した。また、(i) 900MHz 帯の基本伝搬特性を測定し、ルーラルエリアで 5 km，準都市部で 2km，都市部で 1km の通信が可能であることを明らかにし、(ii) 被干渉特性の解析・設計を進め、提案 DSSS 方式が既存センサネットワークよりも 10 - 30 dB 以上、耐干渉力にすぐれていることを明らかにし、(iii) 60 GHz 帯で培ったビームフォーミングアンテナ技術を生かし、広域センサネットワーク基地局用小型ビームフォーミングアンテナを開発し、(iv)これら伝送特性を検証する送受信機の開発を進めた。さらに、(2) 60GHz 帯ビームフォーミングアンテナの研究・開発を進めるとともに、60 GHz 帯の応用として、電波ホースを用いた自動車用ワイヤレスハーネスの研究・開発を進めた。

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

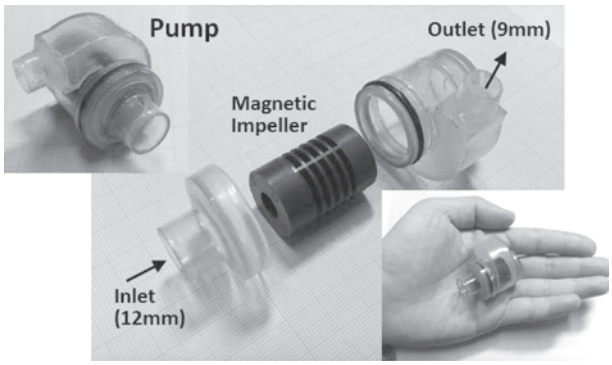


図 1　射出成型磁石インペラを用いたワイヤレス駆動が可能な補助人工心臓ポンプの試作品

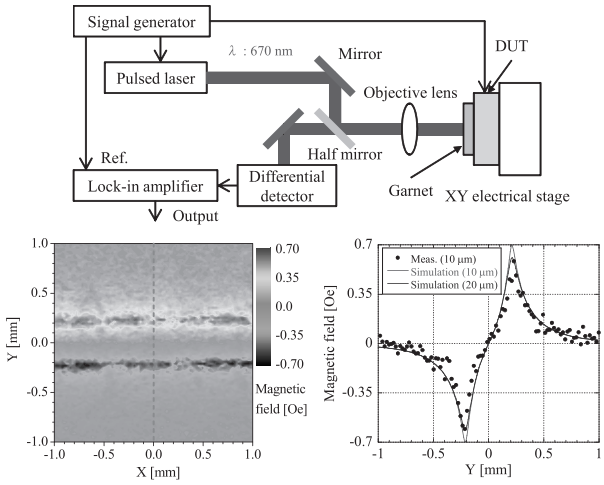


図 2　磁気光学結晶プローブとパルスレーザーを用いた高周波磁界分布計測システム

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　杤　修一郎

＜研究室の目標＞

磁気的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ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。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　高周波磁界計測に関する研究

磁性ガーネットとパルスレーザーを用いることで、非測定磁界近傍から金属製プローブ類を排除できる新しい高周波磁界計測システムを開発し、高い空間分解能で高周波磁界を可視化できることを示した[1]。

２．　次世代医療機器に関する研究

ワイヤレスで動作する磁気アクチュエータの特徴を生かし、生体内で動作する医療機器として完全埋め込み型の補助人工心臓用ポンプを試作し高効率化に関する検討を行った[2]。

３．　三次元位置検出システムに関する研究

ワイヤレス磁気マーカーの三次元位置を高速高精度で検出するシステムの開発を行い、生体内部に挿入することを想定した磁気マーカーの小型化に伴う位置検出精度への影響について明らかにした[3]。

４．　異方性を制御した磁性薄膜を利用した新たな磁気デバイスの提案とセンサ応用

当分野が継続的に行っている超高感度センサ研究において、特に磁性薄膜の磁気異方性を制御するための新たな手法の提案を行い、その誘導のメカニズムについて検討した[4][5]。

５．　磁気アクチュエータに関する研究

生物の動きを規範とする磁気アクチュエータに関する検討を行い、単純な構造で高度な動きを実現するアクチュエータを提案し、その動作メカニズムを検討した[6][7]。

＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）
准教授　杤 修一郎（2010 年より）
助　教　金 性勲（2012 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)。

杤 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。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] J. Takahashi, S. Hashi, K. Ishiyama, “Measurement for Magnetic-field Distribution Using Pulsed Laser with Magneto-optical Effect,” Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 37, No. 2, pp. 24-28 (2013).

[2] S. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, Y. Shiraishi, Y. Hayatus, M. Akiyama, Y. Saiki, T. Yambe, “Preliminary validation of a new magnetic wireless blood pump,” Artificial Organs, Vol. 37, Issue 10, pp. 920-926 (2013).

[3] S. Hashi, S. Yabukami, K. Ishiyama, K. I. Arai, “Downsizing of LC Markers for a Wireless Magnetic Position Detection System,” Sensor Letters, Vol. 11, No. 1, pp. 98-101 (2013).

[4] J. W. Shin, S. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, “Dependence of the magnetic anisotropy on the ratio of the thicknesses of the magnetic and conductive layers,” Journal of the Korean Physical Society, Vol. 63, No. 3, pp. 676-680 (2013).

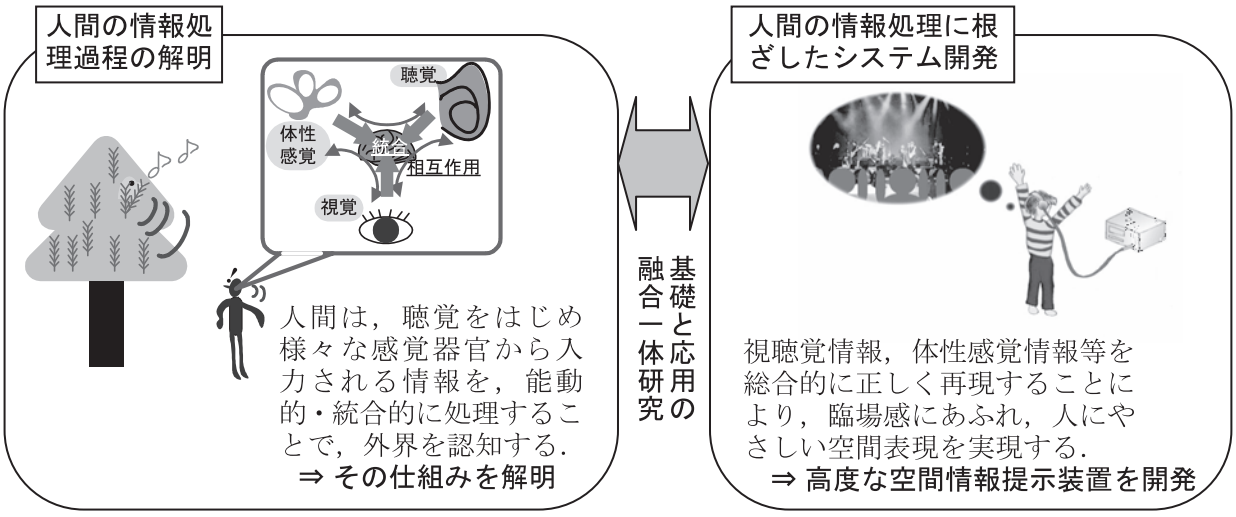
[5] H. Kikuchi, J. Kumano, T. Nakai, Y. Onodera, S. Hashi, K. Ishiyama, “Effects of the Edge Shape of the Elements on the Properties of Stepped Giant Magnetoimpedance,” IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 49, No. 7, pp. 4044-4047 (2013).

[6] T. Fukushi, S. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, “Magnetic Silicone Rubber: Fabrication and Analysis with Application,” Journal of the Korean Physical Society, Vol. 63, No. 3, pp. 686-690 (2013).

[7] S. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, “Hybrid magnetic mechanism for active locomotion based on inchworm motion,” Smart Materials and Structures, Vol. 22, No. 2, 027001 (2013).

先端音情報システム研究室

高次音響情報通信システムの実現を目指して



本分野での研究テーマのイメージ図

先端音情報システム研究分野　教　授　鈴木　陽一
聴覚・複合感覚情報システム研究分野　准教授　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．

＜2013 年度の主な成果＞

１．　聴覚および聴覚を含むマルチモーダル感覚情報処理過程の解明

人間は複数の感覚情報を統合並列処理することで外界をより安定・正確に認識している．本分野ではマルチモーダル感覚情報処理過程における聴覚情報の役割に着目して研究を進めている．2013年度は，自分自身が移動している間の3次元音空間知覚過程にについて詳細な研究を行った結果を，世界的なマルチメディア系学会のプロシーディング論文として掲載した[1]．このテーマでは，国内外での学会においてベストペーパ賞を受賞している［1][2].

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．本分野では，多チャネルマイクロホンを用いた音空間の高精度収音技術の開発や，多チャネルスピーカを用いた音空間再現手法に関する研究を精力的に行っている．2013 年度は，高度な聴覚ディスプレイのアーキテクチャに関する成果をマルチメディアに関する高水準の国際会議論文として発表した[3].

３． 高度ディジタル音信号処理技術の開発

高度なディジタル信号処理を用いて実現される音響電子透かし技術は，次世代マルチメディアシステムへの適用が可能な重要な要素技術である．2013 年度は難聴者をはじめとする多様な聴力を持つ聴取者の音声聴取能力を簡単かつ正確に評価するために構築した日本語単語表を，より的確に用いていくための新しい技術の提案をした[4]．

＜職員名＞

教　授　鈴木 陽一（1999 年より）
准教授　坂本 修一（2011 年より）
助　教　大谷 智子
研究員　崔 正烈
技術職員　齋藤 文孝　　事務補佐員　小野寺 美紀

＜プロフィール＞

鈴木　陽一　1976 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業．1981 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．1981 年 4 月　同大電気通信研究所助手．1987 年 4 月　同大大型計算機センター助教授．1989 年 7 月　同大電気通信研究所助教授．1999 年 8 月　同教授，現在に至る．音の大きさおよび音色，騒音の評価，3 次元音空間知覚と制御，音信号のディジタル信号処理手法等，人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事．日本音響学会佐藤論文賞受賞（1992 年，1994 年），（社）日本音響学会会長（2005 年 5 月から 2007 年 5 月まで）．アメリカ音響学会フェロー．

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，現在に至る．この間，2004 年 3 月に東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士後期課程修了．2007 年　McGill University 客員研究員．聴覚を含む複数感覚情報処理過程の解明，および，その工学応用に関する研究に従事．日本音響学会粟屋潔学術奨励賞（2005 年）受賞．

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Shuichi Sakamoto, Wataru Teramoto, Yôiti Suzuki and Jiro Gyoba, “Auditory space perception during active/passive self-motion,” Proc. 9th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2013), IIHMSP-2013-IS12-10 (4 page manuscript) (2013).

[2] 崔正烈，柳生寛幸，坂本修一，岩谷幸雄，鈴木陽一, “回転運動する聴覚刺激が回転ベクション感覚に及ぼす影響（FIT 船井ベストペーパー賞受賞）”,第 12 回情報科学技術フォーラム（FIT2013），RJ-004, 33-38 (2013).

[3] Jorge Trevino, Takuma Okamoto, Yukio Iwaya, Yoiti Suzuki, Junfeng Li, “Extraction of horizontal Ambisonics data from mainstream stereo sources,” Proc. 9th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2013), IIHMSP-2013-IS12-07　(4 page manuscript) (2013).

[4] 近藤公久，坂本修一，天野成昭，鈴木陽一，“信号対雑音比調整による単語リスト間の単語了解度差補正－親密度別単語了解度試験用音声データセット(FW07)を用いた検証－，” 日本音響学会誌，69(5), 224-231 (2013).

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

＜研究室の目標＞

人間の脳機能は，環境に柔軟に適応できるシステムによって実現されている．このような脳機能を知ることは，工学を含め我々を取り巻く環境のデザインや評価にとってもっとも重要な課題のひとつである．本研究分野では，脳機能について特に視覚系の働きの研究から探求し，その成果を情報通信における人間工学，画像工学などへ展開することを目的としている．人間の視覚特性を知るための心理物理学的実験を中心に脳機能測定やコンピュータビジョン的アプローチを利用して，視覚による立体認識，運動認識、色認識、注意や眼球運動による選択機構の研究を行っている．

＜2013 年度の主な成果＞

１．　自己身体認知による身体部位中心座標系表象の誘発

手のような身体部位を使って物体操作を行うときに，身体部位はどのように身体部位周囲の知覚能力に影響を与えるのかを調べた．運動残効と呼ばれる心理現象を利用した実験により，手の身体性自己意識が身体周囲の空間知覚表象を手中心の座標系に変えることを示した．この結果は，手を使って物体操作を行うときの効率的な手技操作に欠かせない機能を反映していると考えられる．この成果は認知神経科学の分野で重要な問題の一つとして考えられている身体近傍空間と自己意識との関連を明らかにした点で高く評価され，生物学分野の一流誌 *Current Biology* に掲載された．

２．　視覚探索における頭部に対する眼球方向の影響

視線推定における頭部方向の重要性を示すために，頭部に対する眼球方向を操作して，それが視覚的認知に与える影響を検討した。頭部と同じ方向を見る場合（正面観察）と頭部と異なる方向を見る場合（横目観察）における視覚探索課題の成績を比較した結果，横目観察において，視覚的注意を必要とする視覚探索の成績が低下した．人が日常的に頭部を対象の方へ近づけて観察するのは，視覚的な情報処理の観点からも妥当であると考えられる．この研究成果は国際一流誌 *PLoS ONE* に

掲載された.

３． 視覚と触覚の形状表象過程

記憶した形状を頭の中で回転する課題(心的回転)を利用して，視覚によって得られた形状の表象と触運動によって得られた形状の表象の違いを検討した．その結果，触運動表象は，視覚表象と異なり，明確な回転操作を示さないことが明らかになり，視覚と触覚では異なる形式の表象過程があることを示した．この研究成果は国際一流誌 *Scientific Reports* に掲載された．

＜職員名＞

教　授　塩入　　諭（2005 年より）
准教授　栗木　一郎（2006 年より）
助　教　松宮　一道（2005 年より）
産学連携研究員　松原　和也、中島　亮一、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．運動視，立体視，色覚を中心とした初期視覚処理と，眼球運動および注意による視覚情報の選択過程のメカニズムの解明とその応用を目的に，視覚現象の調査，視覚処理の諸特性を測定，それに基づく定量的モデルの構築などの研究に従事．1988.5 Fight for Sight 賞(ARVO 1987 best poster)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，映像情報メデェア学会丹生高柳著述賞受賞，2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 Society for Information Display (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月より同准教授）．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．

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Moving One's Own Body Part Induces a Motion Aftereffect Anchored to the Body Part. Current Biology 24(2), 165-169, 2014. Matsumiya K, Shioiri S
[2] Why Do We Move Our Head to Look at an Object in Our Peripheral Region? Lateral Viewing Interferes with Attentive Search. PLoS ONE 9(3): e92284, 2014. Nakashima R, Shioiri S
[3] Rotation-independent representations for haptic movements. Scientific Reports 3, 2595; DOI:10.1038/srep02595, 2013. Shioiri S, Yamazaki T, Matsumiya K, Kuriki I
[4] Temporal dynamics of visual attention measured with event-related potentials. PLoS ONE 8(8): e70922, 2013. Kashiwase Y, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S

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。そこで本部門は、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、インタラクティブコンテンツを実現するための技術の研究を行う情報コンテンツ研究室の４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 2013 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および実装技術の確立､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。理論研究では、プログラム並列化の基礎となる第三リスト準同型定理を一般化し､その一般化が多相型の理論によって説明できることを示し等の成果をあげた。実践面では､本研究分野で推進している次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進め､LLVM インフラストラクチャに対応する新たなコード生分方式を構築し､LLVM 対応のバックエンドを開発した。これにより、幅広いプラットフォームに対応したコード生成の見通しが得られた。また、企業との共同研究を進め、SML#の産業利用に必須となるデータベース機能の強化を行い、実用言語としての完成度を高めた。

（２）コンピューティング情報理論研究分野

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る。本研究室では、書き換えシステムの基礎理論と定理自動証明、代数的仕様記述、関数・論理型言語などへの応用について研究を進めている。本年度の主な研究成果は以下のとおりである。(i) さまざまな証明手法に基づいて項書き換えシステムの合流性検証器 ACP の開発を進め、第 2 回合流性コンペティッション (CoCo 2013)において第 1 位の成績を収めた。(ii) 減少ダイアグラムと永続性に基づいて、項書き換えシステムの合流性を保証する二つの十分条件を提案した。これらは非線形システムの合流性証明にとくに有効である。

（３）コミュニケーションネットワーク研究室

能動的情報資源を適用した耐災害 ICT ユニットのための知識型管理運用支援に関する研究開発において、複数の ICT ユニットを対象として、ICT ユニットを相互に自動的に接続する論理ネットワークの推定手法、および ICT ユニットにまたがる障害に対処する ICT ユニット連携手法を開発した。また、発展型エージェントシステムの研究において、可搬型情報端末のサービス管理を具体事例としたプロトタイプ試作と実験により、端末の電力消費制御に基づくサービスの継続的な提供が可能となることを実証した。更に、マルチエージェントに基づくセンサ管理基盤の研究開発では、多様な

センサを対象とした異種センサの自律的連携手法を提案し、プロトタイプ試作と実験により提案手法の有効性を確認した。

（４）情報コンテンツ研究室

人との相互作用によって新たな価値を創造するインタラクティブなコンテンツに関して、それらを実現するさまざまな技術に関する研究に取り組んだ。まず、複数のディスプレイをシームレスに結合する 3 次元ユーザインタフェースでは，ポータブルプロジェクタを導入してさらに柔軟性を向上させた。また、昨年度提案した大量のデジタルコンテンツをインタラクティブにかつ柔軟に表示するアルゴリズムは、民間企業との共同研究などの展開を図りつつある。さらに、「場」の状況を認識して快適なコミュニケーション空間を提供する研究では，状況に応じて形状が変化するインタラクティブデジタルテーブルを試作し、人の空間行動に適切に影響を及ぼすことを確認した。

ソフトウェア構成研究室

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装

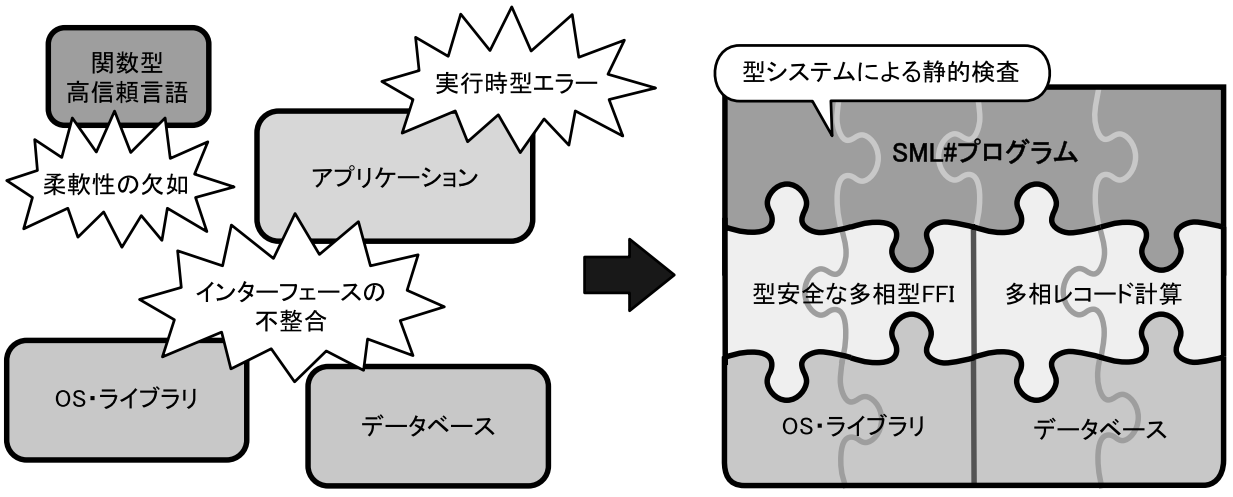


図１：SML#による高信頼言語と既存言語を統合した次世代プログラミング環境の実現

ソフトウェア構成研究分野　教　授　大堀 淳

＜研究室の目標＞

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

＜2013 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，以下の特徴を持つ．

(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 と上位互換性を持つ．

これらの特長および SML#コンパイラに含まれる諸機能は，我々の基礎研究成果によって可能となった最先端のものと評価されている．

本年度の主な開発項目は，SML#コンパイラのバックエンドを SML#独自実装のコード生成器から LLVM を採用したバックエンドに変更したことである. LLVM は言語独立なコード生成器としてオープンソースで開発されているコンパイラインフラストラクチャである．SML#を LLVM 対応にすることにより，64 ビット環境など，より幅広いプラットフォームで SML#を活用できると期待できる．上述した SML#の特徴を保存したまま LLVM 対応を実現するため，我々は LLVM IR へのコンパイルの型理論的な分析とそれに基づくコンパイルアルゴリズムを構築し，SML#コンパイラに実装を行った. LLVM 版 SML#コンパイラは 2014 年度 4 月にオープンソースソフトウェアとして公開され，当研究室の Web サイトからダウンロード可能となる予定である．

また，企業との共同研究プロジェクトを通じ，ODBC 対応データベースへの接続機能など，SML#の産業利用に必須となる機能の実装および SML#コンパイラの改良を行った．

２． 効率の良いプログラムのプログラム変換による系統的な導出

プログラムはその実装手法やアルゴリズムによって効率が大きく異なるが，効率の良い実装を与えるのは難しいことが多い．この困難を軽減するため，我々は，自明な実装に対しプログラム変換を繰り返すことで効率の良い実装を系統的に導出する手法について基礎的な研究を行ってきた．

本年度の主な成果は次の 2 点である．まず，並列化のために利用されてきた定理である第三リスト準同型定理を一般化し，その一般化が多相型の理論によって説明できることを指摘した．第三リスト準同型定理に対してはいくつかの一般化が提案されていたが，いずれも発見的な物にとどまっていた．本研究は，一般化の背景となる理論を与えることで，既存の物に比べより一般的な定理を与えている. 次に, 組合せ最適化問題に対する動的計画法に基づくアルゴリズムの導出に際しては, 既存手法を 2 つ組み合わせるのが有用であることを示した [2]．この研究では，既存手法が動的計画法の導出において本質的に異なる役割を演じていることを指摘し，その観察の意義を両者の協調によって示している．

＜職員名＞

教　授　大堀 淳（2005 年より）
助　教　上野 雄大、森畑 明昌

＜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．

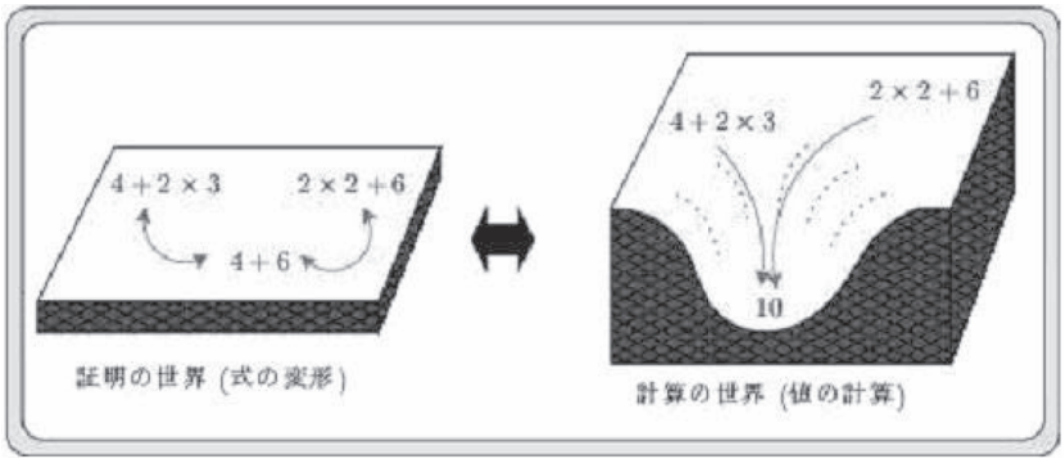
＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Morihata, “A Short Cut to Parallelization Theorems,” In: ICFP'13: Proceedings of the 18th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, pp. 245-256, 2013.

[2] A. Morihata, M. Koishi and A. Ohori, “Dynamic Programming via Thinning and Incrementalization,” In: Functional and Logic Programming, 12th International Symposium, FLOPS 2014, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8475, 2014, Accepted.

コンピューティング情報理論研究室

計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理



コンピュータが扱う多くの問題では『証明の世界』と『計算の世界』の間に自然な結び付きがあります。この結び付きをうまく用いることによって、専門知識のない人でも簡単に利用できる自動証明システムやプログラミングシステムが実現できます。

コンピューティング情報理論研究分野　　教　授　　外山　芳人
コンピューティング論理システム研究分野　　准教授　　青戸　等人

＜研究室の目標＞

本研究室では、証明と計算を融合した新しいソフトウェアの構成原理について研究している。ソフトウェアの形式的開発や検証では、ソフトウェアの効率のみでなく、その論理的な正当性も問題となる。書き換えシステムを基礎とした計算・証明モデルは、証明の世界と計算の世界を統一的な枠組みで取り扱えるため、新しい構成原理に基づくソフトウェアの実現が可能である。我々は、書き換えシステムに基づく関数型言語を対象に、与えられたプログラムから効率的なプログラムへの自動変換、仕様からのプログラム自動合成などの基礎研究を行っている。さらに高階書き換えシステム、プログラムの帰納的性質の自動証明法、関数・論理型言語と定理自動証明システムの融合など、書き換えシステムに基づく計算・証明パラダイムの理論的および実験的研究を進めている。

研究テーマ

（1） 書き換えシステムの基礎理論
（2） プログラム検証・変換・合成
（3） 関数・論理融合型言語
（4） 定理自動証明システム

＜2013 年度の主な成果＞

1. 合流性自動証明法の研究

非線型項適用可能な、永続性と減少ダイヤグラム法に基づく新しい非線形書き換えシステムの合流性自動証明法を提案した。本手法では、非線形項書き換えシステムの合流性の証明問題を、永続性と弱線形性を利用して型付き線形項書き換えシステムの合流性の証明問題に変換する。この型付

き線形項書き換えシステムに対してルールラベリングに基づく減少ダイアグラム法を適用することで合流性を証明する。

2. 非合流性自動証明法の研究

書き換えシステムの非合流性を証明するために、項の意味論における解釈や簡約順序を利用して、2 つの項が同じ項に到達可能でないことを保証する手法を提案した。また、提案手法を多項式解釈や引数フィルタリングと組み合わせた経路順序に基づいて実装するとともに、本研究室で開発している合流性自動証明システム ACP への組み込みを行った。

3. 高階書き換えシステムの研究

変数束縛を扱える高階書き換えの枠組の一つである名目書き換えシステムの新しい形式化を提案し、書き換えの前後でアルファ同値性を保存するための十分条件を与えた。

＜職員名＞

教　授：外山　芳人（2000 年 4 月より）

准教授：青戸　等人（2003 年 1 月より）

助　教：菊池健太郎

＜プロフィール＞

外山　芳人　1952 年生。1977 年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所。1991 年 NTT コミュニケーション科学研究所　主幹研究員。1993 年北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科　教授。2000 年より東北大学　電気通信研究所　教授。この間、プログラム理論、定理自動証明の基礎研究に従事。1997 年第 11 回日本 IBM 科学賞受賞。

青戸　等人　1969 年生。1997 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年、同大学情報科学研究科助手、1998 年群馬大学工学部助手、2003 年東北大学電気通信研究所講師。2004 年同助教授。2007 年より同准教授。博士(情報科学)。書き換えシステム、定理自動証明、ソフトウェア基礎の研究に従事。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

(1) 高橋翔大, 青戸等人, 外山芳人,ボトムアップ最内項書き換えシステムの最内到達可能性,コンピュータソフトウェア, Vol.31, No.1, pp.75-89, 2014.

(2) Takahito Aoto, Disproving confluence of term rewriting systems by interpretation and ordering, In Proceedings of the 9th International Symposium on Frontiers of Combining Systems (FroCoS 2013), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.8152, pp.311-326, 2013.

(3) 鈴木翼, 青戸等人, 外山芳人,永続性に基づく項書き換えシステムの合流性証明法,コンピュータソフトウェア, Vol.30, No.3, pp.148-162, 2013.

(4) Takahito Aoto and Munehiro Iwami, Termination of rule-based calculi for uniform semi-unification, In Proceedings of the 7th International Conference on Language and Automata Theory and Applications (LATA 2013), Lecture Notes in Computer Science, Vol.7810,pp.56-67, 2013.

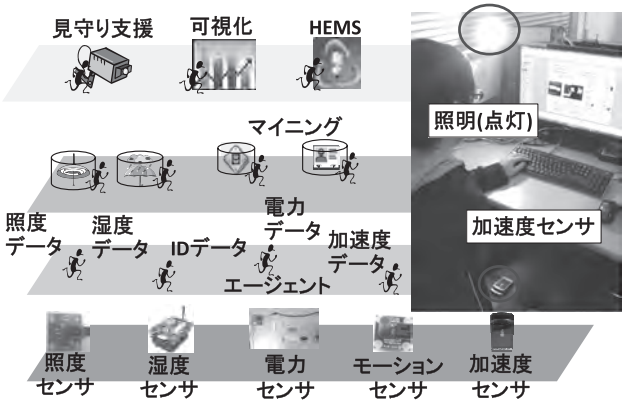
(5) Kentaro Kikuchi,Proving strong normalisation via non-deterministic translations into Klop's extended λ-calculus, In Proceedings of the 22nd Annual Conference of the European Association for Computer Science Logic (CSL 2013), LIPIcs 23, pp.395-414, 2013.

コミュニケーションネットワーク研究室

人間とシステムの協働とコミュニケーションの支援



知識型ネットワーク管理運用支援システム



異種センサの自律的連携管理基盤

インテリジェントコミュニケーション研究分野　教授　木下 哲男
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。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　発展型エージェントシステムとその動作制御機構

発展型エージェントシステムのための動作制御方式に関して、可搬型情報端末のサービス管理を具体事例としたテストベッドシステムの構築と実験を通して、発展型エージェントシステムの考え方を適用した端末の電力消費制御により、サービスの継続的な提供が可能となることを実証した。

２．　耐災害 ICT ユニットのための知識型管理運用支援

被災地の情報通信基盤を迅速に復旧する耐災害 ICT ユニットの管理支援を目的として、複数の ICT ユニットを自動的に接続するための論理ネットワークの推定手法、および複数の ICT ユニットにまたがる障害に対処する ICT ユニット連携手法を開発した。

３．異種センサの自律的連携管理基盤とその連携方式

分散環境上に遍在するセンサを利活用するためのマルチエージェントに基づくセンサ管理基盤に関する研究開発に取り組み、多種多様なセンサ間での連携を可能にするための異種センサの自律的連携手法を提案した。プロトタイプシステムを用いた実験により提案手法の有効性を確認した。

＜職員名＞

教　授　木下 哲男
准教授　北形　　元（2012 年より）
助　教　高橋 秀幸（2011 年より）
助　教　笹井 一人（2012 年より）
事務補佐員　今野 亜未

＜プロフィール＞

木下 哲男　1979 年 3 月 東北大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 沖電気工業（株）入社。1996 年 8 月 東北大学電気通信研究所助教授。2001 年 4 月 同大情報シナジーセンター教授。2010 年 4 月 電気通信研究所教授。現在に至る。工博（1993 年 3 月・東北大学）。知識工学、エージェント工学、知識応用システム・エージェント応用システムなどの研究開発に従事。情報処理学会平成元年度研究賞 (1989 年)および平成 8 年度論文賞 (1997 年)、電子情報通信学会平成 13 年度業績賞 (2001 年)、東北総合通信局長表彰 (2004 年)、INTELEC2009 Outstanding Paper Award (2009 年)など受賞。電子情報通信学会および情報処理学会フェロー。

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。情報処理学会、電子情報通信学会各会員。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Khamisi Kalegele, Hideyuki Takahashi, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Numerosity Reduction for Resource Constrained Learning," Journal of Information Processing (JIP), Vol.21, No.2, pp.329-341, Apr. 2013.

[2] Akiko Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "Dynamic Control and Construction Method for Multiagent Systems Based on an Evolutional Agent System," International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.4, No.2, pp.1-20, Apr. 2013.

[3] Taishi Ito, Yasuhiro Kurita, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Cooperative Multi-agent System Infrastructure for Heterogeneous Sensor Environment," International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.4, No.2, pp.55-70, Apr. 2013.

[4] 高橋秋典, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, "R/S Pox レッグライン特性," 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.6, pp.1761-1770, June 2013.

[5] Khamisi Kalegele, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Multiagent-based processing and integration of system data," International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, Vol.12, No.2, pp.128-155, Sep. 2013.

[6] Wenpeng Wei, Hideyuki Takahashi, Takahiro Uchiya, Tetsuo Kinoshita, "Cooperation Protocol Design Method for Repository-based Multi-agent Applications," The International Journal of Software Science and Computational Intelligence (IJSSCI), Vol.5, No.2, pp.1-14, Apr.-June 2013.

[7] Tetsuo Kinoshita, Gen Kitagata, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Khamisi Kalegele, "An Agent-based Network Management System Using Active Information Resources," International Journal of Advanced Smart Convergence (IJASC), Vol.2, No.2, pp. 10-15, Nov. 2013.

[8] Yujin Lim, Jaesung Park, Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, "A Bargaining approach to optimizing load shedding in islanded microgrid operation," IETE Technical Review, Vol.30, No.6, pp. 483-489, Nov.-Dec. 2013.

[9] Yujin Lim, Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, "Distributed Load-Shedding System for Agent-Based Autonomous Microgrid Operations," Energies, Vol.7, No.1, pp. 385-401, Jan. 2014.

[10] Takumi Kato, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, "Priority-Based Hierarchical Operational Management for Multiagent-Based Microgrids," Energies, Vol.7, No.4, pp.2051-2078, Mar. 2014.

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



複数人共有型立体ディスプレイ



インタラクティブで柔軟な
情報群動的表示



様々なセンサ・ディスプレイ
によるメディア空間

インタラクティブコンテンツ研究分野　教　授　北村 喜文

＜研究室の目標＞

コンテンツは，私たちの生活を豊かにしてくれる． その中でも，人とのやりとりによって提供されるインタラクティブコンテンツは，利便性や快適性だけではなく，感動や幸せな気持ちや喜びなど，さまざまなポジティブな要因を与えてくれるため，最近，さまざまな場面で利用される機会が増えてきている．さらに，コンテンツは必ずしも１人で楽しむものではなく，皆で一緒に楽しむ事も多くある．そこで，人，コンピュータ上のコンテンツ，入出力装置やインタラクションに加えて，それらを取り巻く「場」や「空気」までも考慮して，インタラクティブコンテンツに関する研究を進めている．

＜2013 年度の主な成果＞

１．　メディア空間とコミュニケーション

情報コンテンツの提示と人のコミュニケーションの質との間の関係を調べるため、様々なセンサデバイスと，壁面や床ディスプレイ、自律移動ディスプレイ，カップ型アバイス等によって構成されるメディア空間およびインタフェースシステムを拡張した．特に，自律変形テーブルを新たに開発し，その有効性を検証した[1, 2]．

２．　インタラクティブで柔軟な情報群動的表示法

創発アルゴリズムに基づき，一度に多くの写真を同時にインタラクティブかつ動的に表示することができるインタフェースを開発した[3, 4]．

３．　ディスプレイと 3 次元インタラクション

壁面やテーブルなど複数の固定型ディスプレイとモバイルプロジェクタによる投影画面をシームレスにつないで利用するインタフェースを提案し，評価実験を行った[5]．また，多人数共有型立体ディスプレイ上で直接指示型バーチャル物体操作インタフェースを試作した[6]．

＜職員名＞

教　授　北村 喜文
助　教　高嶋 和毅
秘　書　加藤 紀子

＜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．3 次元ユーザインタフェース，バーチャルリアリティ，エンタテインメントコンピューティング，インタラクティブコンテンツなどの研究に従事．日本バーチャルリアリティ学会フェロー．

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] 高嶋和毅, 会田直浩, 横山ひとみ, 北村喜文, "TransformTable: 人の空間配置を動的に変化させる自律変形デジタルテーブル", 情報処理学会インタラクション 2014 論文集, pp. 41-48, 2014.

[2] Kazuki Takashima, Naohiro Aida, Hitomi Yokoyama and Yoshifumi Kitamura, TransformTable: A Self-actuated Shape-changing Digital Table, In Proceedings of Conferece on Interactive Tabletop and Surface (ITS), pp.179-187, 2013.

[3] Chi Thanh Vi, Kazuki Takashima, Hitomi Yokoyama, Gengdai Liu, Yuichi Itoh, Sriram Subramanian and Yoshifumi Kitamura, D-FLIP: Dynamic & Flexible Interactive PhotoShow, In Proceedings of Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE), pp. 415-427, 2013.

[4] Yoshifumi Kitamura, Chi Thanh Vi, Gengdai Liu, Kazuki Takashima, Yuichi Itoh, and Sriram Subramanian, D-FLIP: Dynamic & Flexible Interactive PhotoShow, SIGGRAPH ASIA Emerging Technologies, 2013. （査読付きデモンストレーション発表）

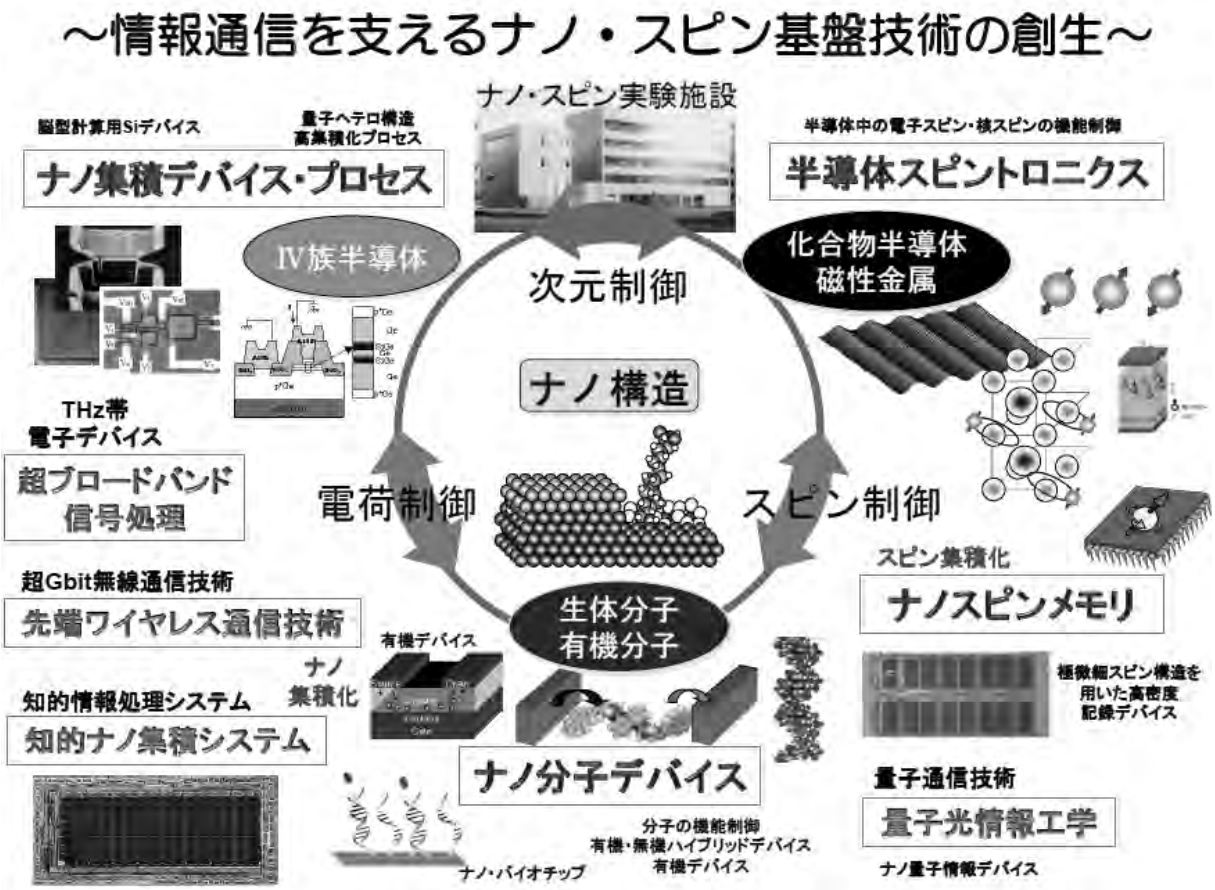
[5] Jorge H. dos S. Chernicharo, Kazuki Takashima and Yoshifumi Kitamura, Seamless Interaction Using a Portable Projector in Perspective Corrected Multi Display Environments, In Proceedings of Symposium on Spatial User Interaction (SUI), pp.25-32, 2013.

[6] Kasim Ozacar, Kazuki Takashima and Yoshifumi Kitamura, Direct 3D Object Manipulation on a Collaborative Stereoscopic Display, In Proceedings of Symposium on Spatial User Interaction (SUI), pp.69-72, 2013.

３．５　ナノ・スピン実験施設の目標と成果

「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、半導体スピントロニクス、ナノ分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究室、量子光情報工学研究室、超ブロードバンド信号処理研究室が入居し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COEとなることを目標としている。



以下に、施設研究部と利用研究室の平成 25 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）

(1) 大規模神経回路の構築を目的として、自動的に動作マージンを最大化する機構を有する多数決回路をベースに、大きなファンインを有するニューロン回路の設計を行った。離散値シナプスを組み込んだ場合の動作を調べ、ニューロン回路として所望の動作が得られることを確認した。また、最適化問題を効率的に解くことができる自励機能と高次結合を持つ神経回路網を FPGA 上に実装し、その性能を確認した。特に、実装できるニューロン数が FPGA 上のメモリ量によって制限されることを回避するために、動的な荷重値生成が有効であることを示した。

(2) 基板非加熱 ECR プラズマ CVD 装置による Si(100)上への歪 SiGe 混晶及び歪 Ge 薄膜のエピタキシャル成長とその格子歪の変化について実験研究を進め、Si(100)上への SiGe 混晶（0<Ge 比率<1）薄膜形成における SiH_4 と GeH_4 の反応速度定数の比率は、Ge 比率によらずにほぼ同程度であるが、SiGe 混晶薄膜の Ge 比率の増加とともに増加することを見いだした。また、Si(100)上に堆積された Ge 比率 0.50 の SiGe 混晶薄膜では、膜厚 11 nm までは Si(100)基板に格子整合し、面内圧縮歪を維持してエピタキシャル成長させることに成功した。

● 知的ナノ集積システム（中島康治）

高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルを FPGA 上に実装し大規模化の方向を検討した。その結果を災害時断絶ネットワーク対応の移動ノードスケジューリングへ適用しその有効性の検証を推し進めた。さらに最適化問題や連想記憶などの高速数値解析を実現する逆関数ゼロ遅延モデルを提案して高次結合との組み合わせや DS-Net との組み合わせにより、その有効性を TSP—LIB 中の問題に適用して確認するとともに、QAP へも適用しこの問題に対しても 100%の正解率を達成した。逆関数ゼロ遅延モデルを連想記憶の相互想起動作へ適用し、大きな記憶容量と広いベースンサイズを実現した。8 x 8 ビット並列乗算器の一部を集積回路として製作し測定を行った。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用したホップフィールド形ネットワークを構成し、集積回路によるニューロン回路の基礎特性の実測を行い、動作を確認した。

半導体スピントロニクス基盤技術関連

● 半導体スピントロニクス・ナノスピンメモリ（大野英男・池田正二）

固体中のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギかつ高機能なスピントロニクス素子への応用を目的として研究を行い、以下の成果を得た。(1) 垂直磁化容易 CoFeB-MgO 磁気トンネル接合(MTJ)において、電界による磁化反転確率の面内磁界依存性を調べ、電界磁化反転の高速化、及び磁化反転確率向上のための指針を示した。(2) 垂直磁化容易 Ta/CoFeB/MgO 積層構造において、面内電流誘起トルクによる有効磁界を求めるとともにそれを用いた磁化反転に成功し、面内電流誘起トルクの 3 端子 MTJ への応用の可能性を示した。(3) Co/Ni 細線において電流による磁壁デピニング確率のパルス幅、及び電流密度依存性を調べ、磁壁移動素子の設計指針を明らかにした。(4) MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO 構造を用いた世界最小直径 11 nm の MTJ の動作を確認した。 (5) Co/Pt 多層膜をベースとする積層フェリ構造を参照層にもつ MTJ において双安定状態、高熱安定性、高 TMR 比を実証した。(6) CoFeB/Ta/CoPt 多層膜を

記録層とする直径 17 nm の MTJ において、高熱安定性と高 TMR 比を実証し、集積回路応用に向けた MTJ の材料設計の指針を得た。

・連携研究

1. 日本学術振興会「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」において、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO 構造を用いた MTJ のスケーリング特性を明らかにした。(2) 垂直磁化容易 $L1_0$ 型 MnAl 規則合金電極を用いた MTJ において、室温で初めて TMR 効果を観測した。(3) FePd/CoFe(B)積層構造において、CoFe(B)層の挿入によりダンピング定数が減少することを明らかにした。(4) Co-Ni 系において Co-Pt 系と同様に準安定な超格子構造が存在しうることを示した。 (5) 3 端子磁壁移動素子のスケーリング特性を調べ、高いスケーラビリティーと省エネルギ特性を有することを示した。

2. 文部科学省「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」の委託研究である「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術開発」プロジェクトにおいて、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) 垂直磁化容易 CoFeB-MgO MTJ において磁化反転電流の面内磁界依存性を調べ、高速領域における磁化反転電流低減の指針を示した。(2) 線幅 20 nm の Co/Ni 積層膜細線における磁壁移動速度を調べ、Co/Ni 積層膜を用いた 3 端子磁壁移動素子の高速動作の可能性を示した。

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一･末光哲也･ステファン ボーバンガトンベット）

1. 超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

ミリ波・テラヘルツ帯での動作が可能な新規電子デバイスおよびそのシステムを研究する。具体的には、半導体ヘテロ接合構造やグラフェンに発現する 2 次元プラズモン共鳴を利用した新しい動作原理のテラヘルツ帯レーザーや高速トランジスタの創出を目指す。さらに、これら世界最先端の超ブロードバンドデバイス・回路を応用して、超高速無線通信や安心･安全のための新たな計測技術の開発を進めている。

2. 極限高速電子デバイス研究分野

本研究分野では、キャリア輸送特性に優れた半導体材料に微細加工技術を駆使してトランジスタ性能の極限高速化を追求する。具体的には、ミリ波・テラヘルツ波帯動作のトランジスタ実現をめざして、高い電子移動度が実現できるインジウム砒化ガリウム（InGaAs）系材料や、高い電子飽和速度が期待される窒化ガリウム（GaN）系材料によるヘテロ接合型電界効果トランジスタおよびそれらを用いた集積回路の開発を推進している。

3. 超ブロードバンド・デバイス物理研究分野

III-V 化合物ヘテロ構造やグラフェンにおけるプラズモン関連現象の理論的・実験的研究を行い、将来の情報通信・計測システムへ応用可能なミリ波・テラヘルツ帯プラズモンデバイスの創出を目指す。

● 量子光情報工学（枝松圭一・小坂英男・三森康義）

1. 量子測定における誤差と擾乱の不確定性関係の実験的検証

量子測定における、ある物理量の測定誤差と他の物理量の擾乱との間の不確定性関係は、量子論の本質的性質であるのみならず、量子計測、量子通信への応用上も重要な意味をもつ。本研究室では、光子の偏光の一般化測定における誤差・擾乱の不確定性関係を検証する実験研究を行い、ハイゼンベルクの誤差・擾乱の関係式が破れ、近年新たに提唱された関係式（小

澤の不等式およびブランシアードの不等式）が成立していることを明らかにした（Phys. Rev. Lett. 誌、Sci. Rep. 誌に発表）。

2. 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指し、情報伝送を担う光子がもつ量子情報を情報処理を担う電子スピンへと転写する量子メディア変換インターフェース技術の開発を進めている。本年度は、(1)光子から電子スピンへの状態転写過程の忠実度をトモグラフィ測定するにより転写が量子的であることを明らかにした（Phys. Rev. B 誌に発表）、(2) ダイヤモンド量子ビットへの光量子状態転写の基礎実験、等の成果を得た。

3. 半導体量子ドットの超高速コヒーレント制御

半導体量子ドット中の電子状態のラビ振動によるコヒーレント制御法の開発は量子情報処理を目指す固体デバイスを実現する上で必要不可欠な技術開発である。本年度は、フォトンエコー法を用いて励起子ラビ振動を観測し、量子ドットの新しい光学効果である局所電場効果を観測した（Phys. Rev. B 誌に発表）。

ナノ分子デバイス基盤技術関連

● ナノ分子デバイス（庭野道夫・木村康男）

1. 赤外分光法を用いた脂肪細胞の分化過程のその場観察法の開発

多重内部反射型赤外分光法を用いて、脂肪細胞の分化過程（脂肪滴形成過程）のその場観察に成功した（Sens. Actuators 誌に発表）。現在、生活習慣病としての肥満症を抑制するための薬の開発が続けられているが、その中で簡便かつ迅速な薬物スクリーニング手法の実現が強く求められている。我々は、上記分光法を用いて脂肪滴の形成の初期段階を検知することに成功し、その成果は今後の抗肥満薬開発への応用が期待される。

2. 局所陽極酸化法による TiO2 マイクロガスセンサの開発

Ti 金属薄膜の局所陽極酸化により、TiO2 ナノチューブ薄膜をベースとしたマイクロスケールのガスセンサの作製に成功した（Sens. Actuators 誌に発表）。さらに、TiO2 ナノチューブ孔内壁に金属ナノ微粒子を電気化学的に担持することにより、検出感度やガス識別能を向上できることを明らかにした。これらの成果は、危険ガスの検知ばかりでなく、呼気センサなどの医療機器への応用が期待される。

3. TiO2 ナノチューブ薄膜をベースとした有機/無機ハイブリッド型太陽電池の開発

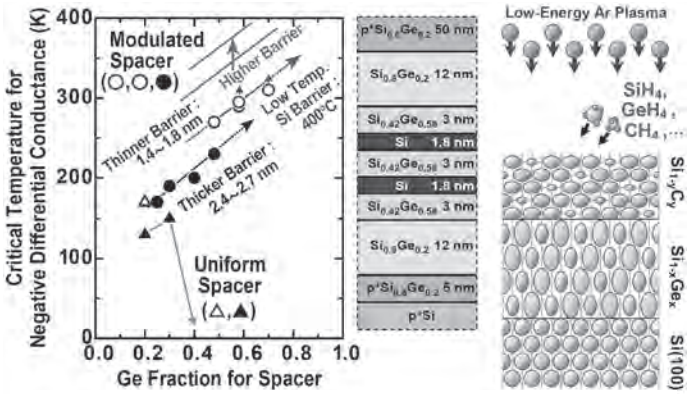
TiO2 ナノチューブ薄膜を用いた有機・無機混合型太陽電池の開発を行っている。ナノスケールのチューブ孔の内壁にナノスケールの P3HT ポリマー薄膜をコーティングするための内壁表面処理法の開発に成功した（Japanese Journal of Applied Physics 誌に発表）。

ナノ集積デバイス・プロセス研究室

従来技術の限界を打ち破るナノ集積化技術の研究



脳型計算機のプロトタイプ実現に向けて



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

＜研究室の目標＞

従来の高速性や大容量性に加え、低炭素社会実現へ向けた低消費電力性や災害時でも動作するロバスト性など多様な要求に対応できる次世代情報通信基盤技術の開発に向けて、3 次元ナノプロセス技術を駆使したシリコン系半導体デバイスの高機能・高性能化と、それらを用いた大規模集積回路の実現が重要な課題である。デバイスの高機能・高性能化においては、新材料や立体構造を導入した新トランジスタ素子・新メモリ素子の開発、量子効果など新しい原理によって動作する新原理動作デバイスの開発、これらに必要な 3 次元プロセス技術の開発を進める。併せて、3 次元集積化実装技術の開発、アナ・デジ混在ディペンダブル大規模集積回路の実現、非ノイマンアーキテクチャの実現に取り組む。

現在の具体的な研究課題として、ナノ集積デバイス研究分野では、不揮発性メモリと乗算機能を有するシナプスデバイスの開発、自励機能などを有する高機能ニューロン回路の設計・製作、3 次元実装されたトポロジー可変型ニューラルネットワークの開発、並びに脳型計算機プロトタイプ実現を当面の目標とする。併せてこれらの製作に必要な各種プロセス技術、各種デバイス技術の確立を図る。また、量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野では、低損傷基板非加熱プラズマ CVD 表面反応などを駆使してナノメートルオーダ極薄領域における高度歪ヘテロ構造形成の原子精度制御を可能にするとともに、量子現象を含めた電荷の移動現象を学問的に体系化し、新規電子物性を探索する。同時に、IV 族半導体量子ヘテロナノ構造において顕在化する量子現象を制御し、Si 集積回路への大規模集積化が可能な IV 族半導体の量子ヘテロ構造および高性能ナノ構造デバイスの実現を図る。

＜2013 年度の主な成果＞

1. ナノ集積デバイス

大規模神経回路の構築を目的として、自動的に動作マージンを最大化する機構を有する多数決回路をベースに、大きなファンインを有するニューロン回路の設計を行った。離散値シナプスを組み込んだ場合の動作を調べ、ニューロン回路として所望の動作が得られることを確認した。また、最適化問題を効率的に解くことができる自励機能と高次結合を持つ神経回路網を FPGA 上に実装し、その性能を確認した。特に、実装できるニューロン数が FPGA 上のメモリ量によって制限されることを回避するために、動的な荷重値生成が有効であることを示した。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

基板非加熱 ECR プラズマ CVD 装置による Si(100)上への歪 SiGe 混晶及び歪 Ge 薄膜のエピタキシャル成長とその格子歪の変化について実験研究を進め、Si(100)上への SiGe 混晶（0<Ge 比率<1）薄膜形成における SiH4 と GeH4 の反応速度定数の比率は、Ge 比率によらずにほぼ同程度であるが、SiGe 混晶薄膜の Ge 比率の増加とともに増加することを見いだした。また、Si(100)上に堆積された Ge 比率 0.50 の SiGe 混晶薄膜では、膜厚 11 nm までは Si(100)基板に格子整合し、面内圧縮歪を維持してエピタキシャル成長させることに成功した。

＜職員名＞

教　授　佐藤 茂雄（2012 年より）
准教授　櫻庭 政夫（2002 年より）
助　教　秋間 学尚（2013 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）。

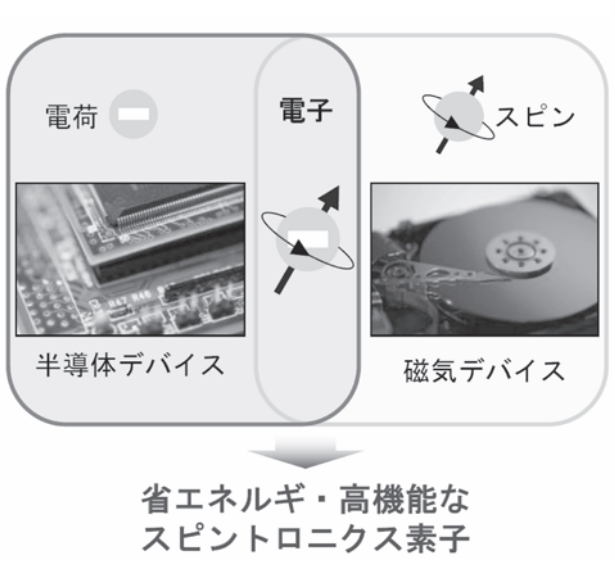
櫻庭 政夫　1990 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1995 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2002 年 8 月　同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月　同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料（SSDM）国際会議 Young Researcher Award 受賞（1992 年）、第 12 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞（2002 年）。

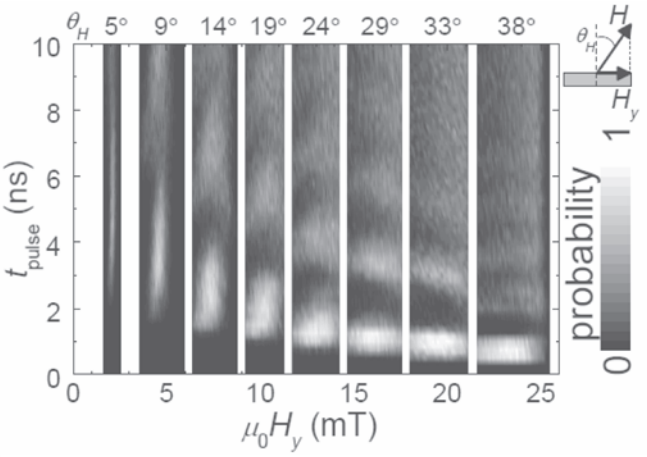
＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] “Epitaxial Growth of B-Doped Si on Si(100) by Electron-Cyclotron-Resonance Ar Plasma Chemical Vapor Deposition in a SiH4-B2H6-H2 Gas Mixture without Substrate”, Y. Abe, M. Sakuraba and J. Murota, Thin Solid Films, 557, (2014), 10-13.
[2] “Epitaxial Growth of Si1-xGex Alloys and Ge on Si(100) by Electron-Cyclotron-Resonance Ar Plasma Chemical Vapor Deposition without Substrate Heating”, N. Ueno, M. Sakuraba, S. Sato and J. Murota, Thin Solid Films, 557, (2014), 31-35.
[3] “Nitrogen Doping Effect upon Hole Tunneling Characteristics of Si Barriers in Si1-xGex/Si Resonant Tunneling Diode”, T. Kawashima, M. Sakuraba and J. Murota, Thin Solid Films, 557, (2014), 302-306.

半導体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・高機能な素子の創生





垂直磁気トンネル接合(MTJ)における電界磁化反転の磁化反転確率のパルス幅 t_{pulse}、外部磁界の面内成分$\mu_0 H_y$依存性(文献 5)。

スピン機能工学研究部　　教　授　大野 英男

＜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かつ高機能なスピントロニクス素子への応用を目的として、半導体、磁性半導体、金属磁性体におけるスピン現象、及びそれらを利用した新規スピントロニクス素子の創生に関する研究を行っている。

具体的には、分子線エピタキシやスパッタリング法を用いたスピントロニクス材料や構造の作製、電界や電流を用いた磁化反転などのスピン機能物性の評価と理解、それらを利用した新規スピントロニクス素子の開発、そしてスピントロニクス素子を利用した種々の集積回路応用に関する研究を進めている。

＜2013 年度の主な成果＞

- 垂直磁化容易 CoFeB-MgO 磁気トンネル接合(MTJ)素子において、電界による磁化反転確率の面内磁界依存性を調べ、磁化反転確率は電界パルスのパルス幅に対して振動的に変化し、その周期は面内磁界の増加とともに減少することを明らかにした。また、振動とともにコヒーレンスが失われることを明らかにした。マイクロマグネティクスシミュレーションの結果、熱擾乱と参照層から記録層に作用する漏れ磁界の分布によって、コヒーレンスが失われることが分かった(文献 1、5)。これは低消費電力な MTJ の書き込み方法として期待される電界磁化反転の高速化、及び磁化反転確率の向上のための指針を示すものである。
- 垂直磁化容易 Ta/CoFeB/MgO の積層構造において、面内電流誘起トルクにより CoFeB 層に作用する有効磁界を求める手法を確立し、それを用いて有効磁界の Ta 膜厚依存性を明らかにした(文献 2)。さらに CuIr チャネル上に作製した面内磁化容易 CoFeB-MgO MTJ において、面内電流誘起トルクを利用した MTJ のスイッチングに成功した(文献 8)。これらの結果は面内電流誘起ト

ルクの 3 端子 MTJ への応用の可能性を示すものである。

- Co/Ni 細線において、電流による磁壁デピニング確率のパルス幅、及び電流密度依存性を調べた。そして、その結果は熱擾乱を考慮した理論計算により再現できることを明らかにした(文献 4)。この理論計算を用いることにより磁壁移動素子の効率的な設計が可能となる。
- (Ga,Mn)As/p-GaAs 積層構造において、マイクロ波照射によりスピンポンピングを誘起し、p-GaAs にスピン流を注入した際に発生する起電力を調べた。そして起電力の外部磁場角度依存性から、逆スピンホール効果とプレーナホール効果により生じる起電力を分離できることを明らかにした(文献 7)。この結果は、スピン流を用いたスピントロニクス素子で重要なスピンホール角をスピンポンピングによる起電力から求める手法を明らかにしたものである。

＜職員名＞

教　授　大野 英男(1994 年より)
助　教　山ノ内 路彦(2012 年より)
研究員　大嶋 則和、中山 裕康

＜プロフィール＞

大野 英男　1982 年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982 年北海道大学講師、1983 年北海道大学助教授、1988-1990 年 IBM T. J. Watson 研究所客員研究員、1994 年より東北大学教授。第 12 回日本 IBM 科学賞、2003 年度 The IUPAP Magnetism Prize、平成 17 年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize、2011 年トムソン・ロイター引用栄誉賞、第 12 回応用物理学会業績賞(研究業績)受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。中国科学院半導体研究所名誉教授号。応用物理学会フェロー。米国物理学会フェロー。東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサー。IEEE Magnetic Society, Distinguished Lecturer for 2009。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、IEEE、AVS 会員。

＜2013 年度の主な発表論文＞

[1] S. Kanai, M. Yamanouchi, S. Ikeda, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric Field-Induced Magnetization Switching in CoFeB-MgO.Static Magnetic Field Angle Dependence", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 50, 4200103 (3 pages), January 2014.

[2] C. Zhang, M. Yamanouchi, H. Sato, S. Fukami, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetotransport measurements of current induced effective fields in Ta/CoFeB/MgO", Applied Physics Express, Vol. 103, 262407 (3 pages), December 2013.

[3] H. W. Chang, S. Akita, F. Matsukura, and H. Ohno, "Hole concentration dependence of the Curie temperature of (Ga,Mn)Sb in a field-effect structure", Applied Physics Letters, Vol. 103, 142402 (4 pages), September 2013.

[4] S. Fukami, M. Yamanouchi, S. Ikeda, and H. Ohno, "Depinning probability of a magnetic domain wall in nanowires by spin-polarized currents", Nature Communications, Vol. 4, 2293 (6 pages), August 2013.

[5] S. Kanai, Y. Nakatani, M. Yamanouchi, S. Ikeda, F. Matsukura, H. Ohno, "In-plane magnetic field dependence of electric field-induced magnetization switching", Applied Physics Letters, Vol. 103, 072408 (4 pages), August 2013.

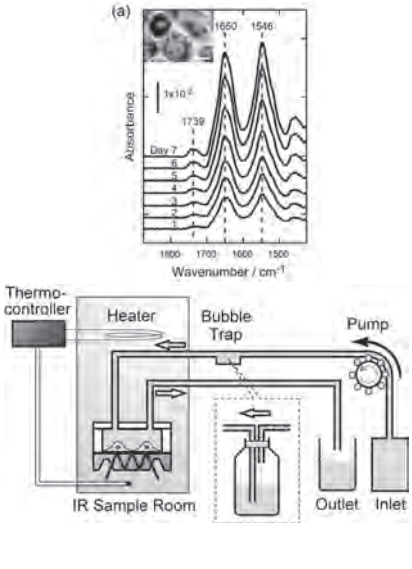
[6] L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Direct-current voltages in (Ga,Mn)As structures induced by ferromagnetic resonance", Nature Communications, Vol. 4, 3055 (6 pages), June 2013.

[7] S. Fukami, M. Yamanouchi, H. Honjo, K. Kinoshita, K. Tokutome, S. Miura, S. Ikeda, N. Kasai, and H. Ohno, "Electrical endurance of Co/Ni wire for magnetic domain wall motion device", Applied Physics Letters, Vol. 102, 222410 (4 pages), June 2013.

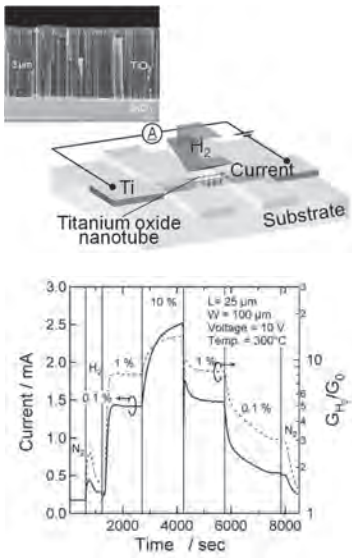
[8] M. Yamanouchi, L. Chen, J. Kim, M. Hayashi, H. Sato, S. Fukami, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Three terminal magnetic tunnel junction utilizing the spin Hall effect of iridium-doped copper", Applied Physics Letters, Vol. 102, 212408 (4 pages), May 2013.

ナノ分子デバイス研究室

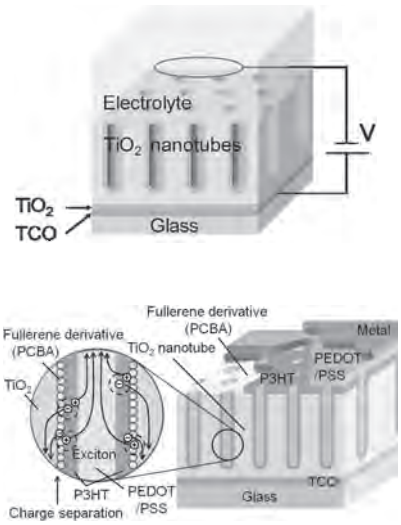
分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と新機能デバイスの創製



多重内部反射型赤外吸収分光法（MIR-IRAS）による細胞動態（脂肪細胞分化過程など）の「その場」計測



陽極酸化によって作製した酸化チタンナノチューブ薄膜を用いたマイクロスケール高感度水素ガスセンサ



酸化チタンナノチューブ薄膜の形成と有機分子を用いた有機・無機ハイブリッド型高効率太陽電池（概念図）

ナノ分子デバイス研究分野　教　授　庭野 道夫
ナノ電子デバイス研究分野　准教授　木村 康男

＜研究室の目標＞

これまで、デバイスの小型化、高機能化等は、フォトリソグラフィ技術に代表される半導体微細加工技術に支えられてきた。また、近年のナノテクノロジーやバイオテクノロジーの進展は、従来の方法では困難であった、電気的・光学的特徴を有する生体分子や超分子およびナノ構造体の合成・利用を実現可能なものとしている。これらの技術や新規材料を融合することにより、高次情報処理を可能にするナノスケール、分子スケールの様々な電子デバイスの実現を目指す。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　赤外分光法を用いた脂肪細胞の分化過程のその場観察法の開発

多重内部反射型赤外分光法を用いて、脂肪細胞の分化過程（脂肪滴形成過程）のその場観察に成功した[1]。現在、生活習慣病としての肥満症を抑制するための薬の開発が続けられているが、その中で簡便かつ迅速な薬物スクリーニング手法の実現が強く求められている。我々は、上記分光法を用いて脂肪滴の形成の初期段階を検知することに成功し、その成果は今後の抗肥満薬開発への応用が期待される。

２．　局所陽極酸化法による TiO_2 マイクロガスセンサの開発

Ti 金属薄膜の局所陽極酸化により、TiO_2 ナノチューブ薄膜をベースとしたマイクロスケールのガスセンサの作製に成功した[3]。さらに、TiO_2 ナノチューブ孔内壁に金属ナノ微粒子を電気化学的に担持することにより、検出感度やガス識別能を向上できることを明らかにした。

３．TiO_2 ナノチューブ薄膜をベースとした有機/無機ハイブリッド型太陽電池の開発

TiO_2 ナノチューブ薄膜を用いた有機・無機混合型太陽電池の開発を行っている。ナノスケールのチューブ孔の内壁にナノスケールの P3HT ポリマー薄膜をコーティングするための内壁表面処理法の開発に成功した[5]。

＜職員名＞

教　授　庭野 道夫（1998 年より）
准教授　木村 康男（2010 年より）

＜プロフィール＞

庭野 道夫　1980 年　東北大学大学院理学研究科博士課程修了. 理学博士. 1980 年　宮城教育大学助手，1986 年　東北大学電気通信研究所助手，1988 年　同助教授，1998 年　同教授，現在に至る．これまで固体光物性，半導体表面物性，半導体材料工学，表面化学の研究に従事．最近の研究課題は，赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスの開発研究など．所属学会は，応用物理学会，日本表面科学会，日本物理学会，電気情報通信学会，電気学会．

木村 康男　1994 年　東北大学工学部電気工学科卒業．1999 年　東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了．博士（工学）．1999 年　東北大学電気通信研究所助手，2007 年　同助教，2010 年 7 月　同准教授，現在に至る．専門は，半導体工学，半導体表面物性．最近の研究課題は，ナノポーラス構造体を用いたデバイス作製とその応用など．所属学会は，応用物理学会，日本表面科学会，電子情報通信学会，電気化学会．

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Aonuma, Y. Kondo, A. Hirano-Iwata, A. Nishikawa, Y. Shinohara, H. Iwata, Y. Kimura and M. Niwano, “Label-free and real time monitoring of adipocyte differentiation by surface infrared spectroscopy”, Sens. Actuators B **176** (2013) 1176-1182.

[2] Katsurabayashi, Shutaro; Aonuma, Yuki; Kubo, Natsuko; et al., “The growing area of cultured astrocytes determines the axonal arborization and glutamatergic synapse formation for a given single neuron”, Journal Of Physiological Sciences 63(2013) S126-S126.

[3] Y. Kimura, S. Kimura, R. Kojima, M. Bitoh, M. Abe, and M. Niwano, “Micro-scaled hydrogen gas sensors with patterned anodic titanium oxide nanotube film”, Sens. Actuators B 177 (2013) 1156-1160.

[4] A. Oshima, Ayumi Hirano-Iwata, Hideki Mozumi, Yutaka Ishinari, Yasuo Kimura, and Michio Niwano,, “Reconstitution of Human Ether-a-go-go-Related Gene Channels in Microfabricated Silicon Chips”, Anal. Chem., 85(2013) 4363-4369.

[5] Ma, Teng; Zhang, Jinyu; Kojima, Ryota; et al., “Investigation of TiO2 Surface Modification with [6,6]-Phenyl-C-61-butyric Acid for Titania/Polymer Hybrid Solar Cells”, Japanese Journal of Applied Physics　52 (2013) 112301.

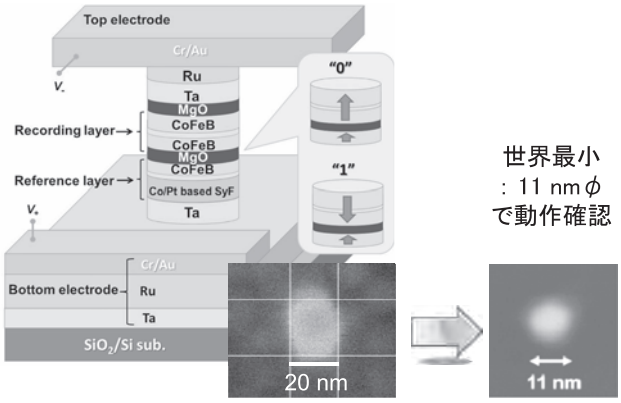
[6] Ichiro Sakurai, Shigeru Kubota and Michio Niwano, “The onset and closure of critical period plasticity regulated by feedforward inhibition”, Neurocomputing (in press).

[7] Ichiro Sakurai, Shigeru Kubota and Michio Niwano, “A model for ocular dominance plasticity controlled by feedforward and feedback inhibition”, IEICE Trans. Fundamentals/Commun./Electron./Inf. & Syst., (in press).

[8] Ayumi Hirano-Iwata; Ryosuke Matsumura; Ryuta Tezuka; Michio Niwano; Tim V. Bliss; Masao Sugawara, “A model for ocular dominance plasticity controlled by feedforward and feedback inhibition”, Electrochemistry Communications (in press).

ナノスピンメモリ研究室

スピンを用いたナノサイズデバイス・メモリの研究



高熱安定性 2 重 CoFeB-MgO 界面 p-MTJ.

IEEE Trans. Magn., 49, 4437 (2013); IEDM 2013.

ナノスピンメモリ研究室　准教授　池田 正二

＜研究室の目標＞

21 世紀の高度情報通信に求められる高機能・低消費電力のメモリ・デバイスとそれによって可能となる新しい論理集積回路および情報通信処理システムを、スピン・磁性を用いて実現することを目標としている。

＜2013 年度の主な成果＞

１．　2 重 CoFeB-MgO 界面記録層を有した微細磁気トンネル接合

磁気トンネル接合(MTJ)を用いたロジックインメモリの更なる高性能化・低消費電力化には、接合サイズを減少させても MTJ の高性能性を維持することが重要である。我々は開発した MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO 構造を用いた MTJ において、直径 20 nm で低書き込み電流と高熱安定性を両立できることを実証した。熱安定性 Δ は直径 30 nm まで 90 という高い値を維持し、20 nm 以下で減少し始めるが、20 nm では約 60 という高い値を維持し、スピン注入磁化反転の閾値電流は 24μA となった。本結果はこれまでに報告されている垂直磁化容易 MTJ の結果と比べると、直径 20 nm では世界最大の熱安定性と、低い書き込み電流を実現している。さらに、世界最小の 11nm 径の素子で動作を確認した。

２．　Co/Pt 多層膜を用いた参照層

垂直磁化容易磁気トンネル接合(MTJ)に用いられる参照層には、①高い熱安定性、 ②高いトンネル磁気抵抗比(TMR 比)を実現できること、③記録層に加わる参照層からの漏れ磁界(H_S)が小さいこと、が要求される。我々は高い磁気異方性エネルギー密度を有する Co/Pt 多層膜と高い TMR 比が得られる CoFeB 層を組み合わせることで、高熱安定性と高い TMR 比を両立することに成功した。さらに、2 つの Co/Pt 多層膜の磁化を Ru スペーサ層を介して逆向きに配置した Synthetic

ferrimagnetic(SyF)参照層を用いることで、記録層に印加される磁界を小さくすることにも成功した。

３． Ta 層を挿入した Co/Pt 多層膜系磁気トンネル接合

Ta 挿入層を有する記録層構造(CoFeB(1.6)/Ta(0.4)/[Co(0.4)/ Pt(0.6)]6)において、300°C で熱処理後の磁気特性を評価したところ、熱処理後に 1.4 mJ/m^2 の高い界面磁気異方性エネルギーを維持し、27 nmϕ-MTJ 素子の MTJ 特性において 201 の高Δを維持しながら、105%の高 TMR 比を実現した。これらは、Ta 層の挿入により CoFeB 層の Co/Pt 多層膜側からの結晶化を抑制し、MgO 側からの結晶化に起因していると考えられる。さらに、17 nmϕ-MTJ 素子において、91%の高 TMR 比と 92 の高Δを実証し、集積回路応用に向けた MTJ の材料設計の指針を得ている。

＜職員名＞

准教授　池田 正二（2006 年より）
研究員　大嶋 則和、山本 直志、Enobio Eli Christopher

＜プロフィール＞

池田 正二　1996 年 3 月　室蘭工業大学工学研究科博士後期課程修了。1996 年 4 月　室蘭工業大学電気電子工学科助手。1999 年 2 月　富士通株式会社，株式会社富士通研究所。2003 年 5 月　東北大学電気通信研究所産学連携研究員。2005 年 6 月　同助手。2006 年 4 月　同准教授、現在に至る。**磁気工学**に関する研究開発に従事。電気情報通信学会北海道支部 奨励賞 (1994 年)、平成 15 年度日本応用磁気学会論文賞 (2003 年)、第 31 回応用物理学会論文賞 (2009 年)、DPS Best Paper Award (2011 年)、SSDM Paper Award (2012 年)。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Ishikawa, H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic properties of MgO-[Co/Pt] multilayers with a CoFeB insertion layer", Journal of Applied Physics, Vol. 113, 17C721 (3 pages), April 2013.

[2] Kotaro Mizunuma, Michihiko Yamanouchi, Hideo Sato, Shoji Ikeda, Shun Kanai, Fumihiro Matsukura, and Hideo Ohno, " Size Dependence of Magnetic Properties of Nanoscale CoFeB-MgO Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicular Magnetic Easy Axis Observed by Ferromagnetic Resonance", Applied Physics Express, Vol. 6, 063002 (3 pages), May 2013.

[3] Shunsuke Fukami, Hideo Sato, Michihiko Yamanouchi, Shoji Ikeda, and Hideo Ohno, "CoNi Films with Perpendicular Magnetic Anisotropy Prepared by Alternate Monoatomic Layer Deposition", Applied Physics Express, Vol. 6, 073010 (3 pages), July 2013.

[4] Hideo Sato, Michihiko Yamanouchi, Shoji Ikeda, Shunsuke Fukami, Fumihiro Matsukura, and Hideo Ohno, "MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO Recording Structure in Magnetic Tunnel Junctions With Perpendicular Easy Axis", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 49, 4437 (4 pages), July 2013.

[5] S. Fukami, M. Yamanouchi, K.-J. Kim, T. Suzuki, N. Sakimura, D. Chiba, S. Ikeda, T. Sugibayashi, N. Kasai, T. Ono, and H. Ohno, “20-nm magnetic domain wall motion memory with ultralow-power operation”, 2013 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), Washington, DC, USA.

[6] H. Sato, T. Yamamoto, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, K. Kinoshita, F. Matsukura, N. Kasai, and H. Ohno, “Comprehensive study of CoFeB-MgO magnetic tunnel junction characteristics with single- and double-interface scaling down to 1X nm”, 2013 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), Washington, DC, USA.

[7] Hideo Sato, Shoji Ikeda, Shunsuke Fukami, Hiroaki Honjo, Shinya Ishikawa, Michihiko Yamanouchi, Kotaro Mizunuma, Fumihiro Matsukura, and Hideo Ohno, "Co/Pt multilayer based reference layers in magnetic tunnel junctions for nonvolatile spintronics VLSIs", Japanese Jounal of Applied Physics, Vol. 53, 04EM02 (3 pages), February 2014.

[8] S. Ishikawa, H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Co/Pt multilayer-based magnetic tunnel junctions with a CoFeB/Ta insertion layer", Jounal of Applied Physics, Vol. 115, 17C719 (3 pages), February 2014.

３．６　ブレインウェア実験施設の目標と成果

東北大学電気通信研究所附属ブレインウェア実験施設は，平成１６年４月の研究組織の改組・再編と同時に新設された。その目的は，電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを，世界に先駆けて実現する基盤技術を創製することにある。本施設は，実世界コンピューティング研究部，新概念 VLSI システム研究部，知的ナノ集積システム研究部の３研究部構成に加えて，サイバーロボット研究部，先端ヒューマンインタフェイス研究部，マイクロアーキテクチャ研究部の整備が予定されており，関連各研究分野の協力の下に，施設の運営を行う。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。

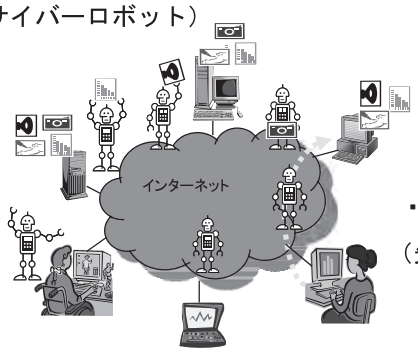
身体性を持つ動的・適応的ハードウェア



・実世界・動的知能構成技術
（実世界コンピューティグ）

・超現実空間構成技術
（サイバーロボット）

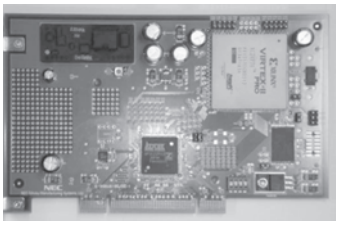
実世界と電脳世界のシームレスな融合
マルチモーダルコンピューティング



・高次多感覚ブレイン情報処理技術
（マルチモーダルコンピューティング）

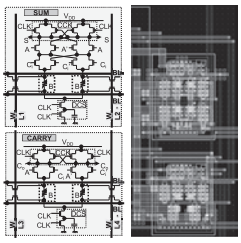
・人ー機械共生アーキテクチャ技術
（先端ヒューマンインターフェース）

超並列ブレインLSIによるハードウェア



・超並列ニューロLSI 技術
（知的ナノ集積システム）

・Mixed-Signal Platform技術
（マイクロアーキテクチャ）



・不揮発ロジックとその応用技術
（新概念VLSIシステム）

＜施設の目標＞

実世界コンピューティング研究部：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．本研究部では，自律分散制御を中核的な概念に据え，生物のようにしなやかかつレジリアントに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解とその知的人工物システムへの実装方策の構築を目指す．

新概念VLSIシステム研究部：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。そこで本研究部では，大局的配線を極端に削減できるロジックインメモリVLSIアーキテクチャの設計法と実現法に関する研究，並びに大局的配線を高速に駆動するための新概念回路技術として多値電流モード非同期回路に関する研究を推進し，従来技術の延長でない新概念VLSIの実現を目指す。

知的ナノ集積システム研究部：集積回路の大規模化とディジタルデバイスの高速化は情報処理性能を飛躍的に高め，知的な柔軟性のある高速処理の実現に向けて研究開発が行われている。本研究部ではこの方向に向かって，しかしデジタル素子の高速化のみではなく，回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し，ブレインライクな知的情報処理システムの構成的研究とそれに向けた新しいデバイスの開発による次世代知的ハードウェアシステムの構築を目標としている。

＜2013 年度の主な成果＞

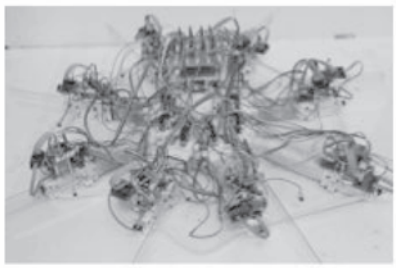
実世界コンピューティング研究部（石黒研究室）：2013 年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1)歩行から走行に至るまで，4 脚動物が示すほとんどの歩容とそれらの間の遷移現象をロボットで再現することに世界で初めて成功した。(2)地面を押し付ける身体部位を変化させることで，全方向に移動可能な自律分散型ヘビロボット実機を製作した．さらに，狭窄空間を走破可能なヘビのロコモーション様式を考察し，それに内在する自律分散制御則を明らかにした．(3)4 脚ロコモーションにおける脚間協調を説明するために提案した CPG モデルを，6 脚や 2 脚ロコモーションの脚間協調への適用可能性について議論した。(4)クモヒトデが示す巧みな腕間協調を説明する自律分散制御則を提案した。

新概念 VLSI システム研究部（羽生研究室）：2013 年度の主な研究成果は以下の通りである：(1)Ternary Content-Addressable Memory (TCAM)の典型的応用例として，インデックス検索を検討．TCAM セル機能もこれに合わせて修正し，かつテストチップ試作を通じて応用分野への有用性を明らかにした。(2)不揮発 FPGA チップを 90nm CMOS/70nm 垂直 MTJ テクノロジを用いて試作・評価を実施。本不揮発 FPGA では，全ての回路情報および演算中のデータが垂直 MTJ 素子に保持されるため，外部メモリへのアクセス無しで電源のオン/オフが可能となる。典型応用例に本 FPGA を適用した結果，従来 FPGA（SRAM ベース）と比較して同等性能を維持ながら 97%の電力削減に成功した。(3) NoC（Network-on-Chip）の基本構成要素「ルータ」を CMOS0.13 μm 技術に基づき試作・性能評価を実施。本 NoC ルータは，非同期式制御の活用により電源電圧・温度変動に起因する遅延ばらつきに対して十分な耐性を有するのみならず，非同期式回路用パケット構造の考案により高速性＆コンパクト性も同時に達成に成功。実際，従来方式の NoC ルータと比較し，約 2 倍の高速化及び 34%の面積削減をそれぞれ達成した。

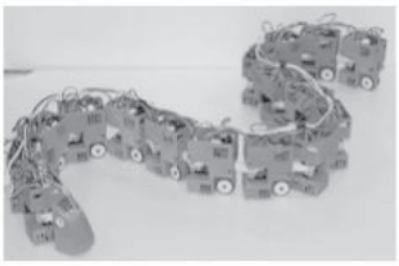
知的ナノ集積システム研究部（中島研究室）：高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルを FPGA 上に実装し大規模化の方向を検討した。その結果を災害時断絶ネットワーク対応の移動ノードスケジューリングへ適用しその有効性の検証を推し進めた。さらに最適化問題や連想記憶などの高速数値解析を実現する逆関数ゼロ遅延モデルを提案して高次結合との組み合わせや DS-Net との組み合わせにより，その有効性を TSP―LIB 中の問題に適用して確認するとともに，QAP へも適用しこの問題に対しても 100%の正解率を達成した。逆関数ゼロ遅延モデルを連想記憶の相互想起動作へ適用し，大きな記憶容量と広いベースンサイズを実現した。8 x 8 ビット並列乗算器の一部を集積回路として製作し測定を行った。また，超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用したホップフィールド形ネットワークを構成し，集積回路によるニューロン回路の基礎特性の実測を行い，動作を確認した。

実世界コンピューティング研究室

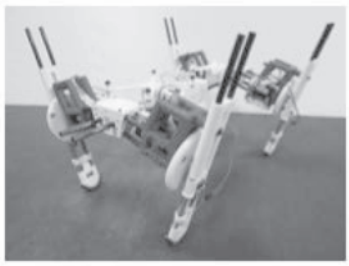
生き物のようにレジリアントな知能システムの創成



形状を変化させて環境変化に適応可能なアメーバ様ロボット



全方向に移動可能な自律分散制御則が実装されたヘビ型ロボット実機



移動速度や身体特性の変化に応じて脚の動かし方を自己組織的に適応可能な4脚ロボット

実世界コンピューティング研究分野　教　授　石黒　章夫

＜研究室の目標＞

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

＜2013 年度の主な成果＞

１．　脚式ロコモーションの CPG 制御

4 脚動物が示す多様かつ適応的な脚間協調の発現機序を説明するために当研究室が提案した，力覚情報に基づいて振動性と興奮子の間で自発的にスイッチングする新規な CPG モデルは，既存モデルに比べて幅広い現象の再現が可能であるため国内外で高く評価されている．本年度は，低速領域から高速領域に至る歩容遷移を試みた．その結果，ウォークからトロット，ギャロップ間の歩容遷移に世界で初めて成功した．

２．　多様な這行様式を発現可能なヘビのロコモーション原理の解明

ヘビは一次元ひも状の単純な身体構造にもかかわらず，ラテラルアンデュレーションやサイドワ

インディングといった多様なロコモーション様式を発現することが可能である．本年度はこのような振る舞いの多様性を実現可能な自律分散制御則のモデル化を行った．その結果，実際のヘビが示すような前後左右に移動可能なロコモーションをシミュレーションならびに実機実験を通して確認した．

３．　真正粘菌変形体が示す自発的なアトラクタ遷移の発現機序解明

真正粘菌変形体は多核単細胞生物でありながら，環境変化に呼応して自身の身体形状を柔軟に変形させることで移動することができる．前年度までの研究で，原形質量保存則を考慮した結合振動子系と局所的なセンサフィードバックにより，完全自律分散制御によってロコモーションを発現できることを実験的に確認した．本年度はこれに加えて，大変形が可能な自律分散制御則のモデル化を行った．その結果，アメーバのように大変形しながら環境に対処できるロボットを実現することができた．

＜職員名＞

教　授　石黒　章夫（2011 年より）
助　教　大脇　大　（2011 年より）
助　教　加納　剛史（2011 年より）
助　教　坂本　一寛（1993 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）。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[１]　T. Kano, R. Kobayashi, and A. Ishiguro, “Decentralized Control Scheme for Adaptive Earthworm Locomotion Using Continuum-Model-Based Analysis”, Advanced Robotics, 28-3, pp. 197-202 (2014) DOI:10.1080/01691864.2013.861770

[２]　T. Kano, T. Kawakatsu, and A. Ishiguro, “*Generating Situation-dependent Behavior*: Decentralized Control of Multi-functional Intestine-like Robot That Can Transport and Mix Contents”, Jounral of Robotics and Mechatronics, 25-4, pp. 871-876 (2013)

[３]　D. Owaki, K. Osuka, and A. Ishiguro, "Stabilization Mechanism underlying Passive Dynamic Running", Advanced Robotics, 27-18, pp. 1399-1407 (2013) doi: 10.1080/01691864.2013.839087

[４]　D. Owaki and A. Ishiguro, “What is the key to postural stabilization on bipedal walking?”, in Proc. of Dynamic Walking 2013 (2013)

知的ナノ集積システム研究室

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

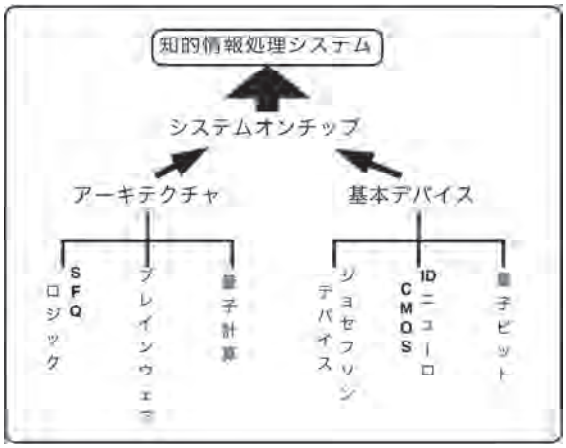


図１　知的ナノ集積システム研究部の研究目標

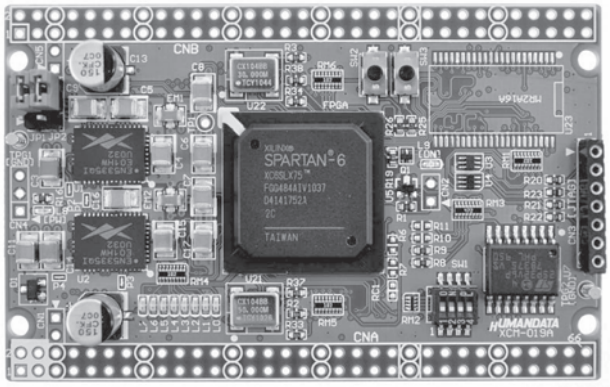


図２　FPGA による HC-ID モデルの実装

知的ナノ集積システム研究部　　教　授　中島 康治

＜研究室の目標＞

集積回路の大規模化とディジタルデバイスの高速化は情報処理性能を飛躍的に高め、知的な柔軟性のある高速処理の実現に向けて研究開発が行われている。本研究部ではこの方向に向かって、しかしディジタル素子の高速化のみではなく、回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し、ブレインライクな知的情報処理システムの構成的研究とそれに向けた新しいデバイスの開発による次世代知的ハードウェアシステムの構築を目標としている。これまで百万シナプスのブレインライクシステムの集積化や、組み合わせ最適化問題である TSP や QAP の NP 完全、NP 困難な問題に100%の解答を与えるアクティブブレインシステムの提案を行い、さらにプロトタイプをシリコンチップ上に作り出し、それを高次のシステムへと展開する方向を開発している。また集積化超伝導素子を用いた FFT の構成や量子計算へのニューロ的手法の導入などの提案も行っている。

＜2013 年度の主な成果＞

[組み合わせ最適化問題に対応するブレインコンピュータの研究]

アクティブ領域を持つポテンシャル上の疑似粒子の運動という新概念を用いて生体神経細胞に見られるバースト発火現象を表現する方程式を解析し各種バースト発振のパラメータ依存性を決定した。また高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルが最適解へ収束する条件を理論的に導出し、数値実験により実証するとともに FPGA 上に実装し大規模化の方向を検討した。その結果を災害時断絶ネットワーク対応の移動ノードスケジューリングへ適用しその有効性の検証を推し進めた。さらに上記モデルを用いた最適化問題や連想記憶などの高速数値解析を実現する逆関数ゼロ遅延モデルを提案して高次結合との組み合わせや DS-Net との組み合わせにより、その有効性

を TSP―LIB 中の問題に適用して確認するとともに、QAP へも適用しこの問題に対しても 100%の正解率を達成した。

［ダイナミック知的記憶システムの研究］

提案した逆関数ゼロ遅延モデルを連想記憶の自己想起や相互想起動作へ適用し、従来と比較して大きな記憶容量と広いベースンサイズを実現して、ダイナミック知的記憶システムの可能性を拡大した。

［磁束量子データプロセッサの研究］

超伝導ディジタル信号処理回路の大規模化と高バイアスマージン化を目的とし、レイテンシを高めた8 x 8ビット並列乗算器の新たな設計を行い、CADパターンを構成し、動作検証のためにその一部を集積回路として製作し測定を行った。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用したホップフィールド形ネットワークを構成し、集積回路によるニューロン回路の基礎特性の実測を行い、動作を確認した。さらに従来の単一磁束量子に基づくパルス論理とは異なるレベル論理方式を検討し、その有効性と動作マージンについて解析を進めた。

＜職員名＞

教　授　中島 康治（1995 年より）

助　教　小野美 武　　秘　書　伊藤 茉莉花

＜プロフィール＞

中島 康治　1972 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1978 年 3 月　同大学院博士課程修了。東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て 1995 年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Tsuji, T. Onomi, and K. Nakajima, “Characteristics of rf-SQUID Ladder Circuits,” Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2013, pp.60-63, Tsukuba, Japan, Nov. 2013.

[2] Takeshi Onomi and Koji Nakajima: "Neuron Circuit Using Coupled SQUIDs Gate with Flat Output Characteristics for Superconducting Neural Network", IEICE Trans. Electron., E97-C, 3, pp.173-287177(2014)

[3] A. Yamada, T. Onomi, and K. Nakajima, “Comparative Study of SFQ Parallel Multipliers,” Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2013, pp.78-81, Tsukuba, Japan, Nov. 2013.

[4] K. Nakajima, “Superconducting Multipliers Based on Single Flux-Quantum Circuits,” CNSE and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar “Atomically Controlled Processing/Nanotechnology for Ultra-large Scale Integration,” Frankfurt Germany, Oct. 2013.

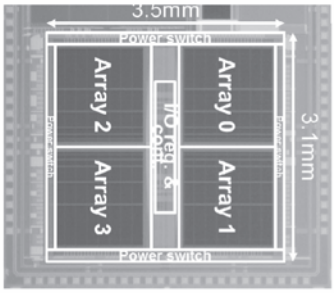
[5] 渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治, “DS-net と IDL モデルを用いた最適化問題解探索,” 通信学会、非線形問題研究会, 2014 年 1 月 21 日(火)−1 月 22 日(水)　ニセコパークホテル（NLP）

[6] 佐々木大輔、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治, “ニューラルネットワークによる DTN ルーティング手法,” 通信学会、非線形問題研究会, 2014 年 1 月 21 日(火)−1 月 22 日(水)　ニセコパークホテル（NLP）

[7] 曽田尚宏、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治、“逆関数遅延ネットワークを用いた最適化問題解探索のための高次形式エネルギー関数設計法”、電子情報通信学会論文誌Ａ、vol. J96-A, no. 1, pp. 12-21, Jan. 2013.

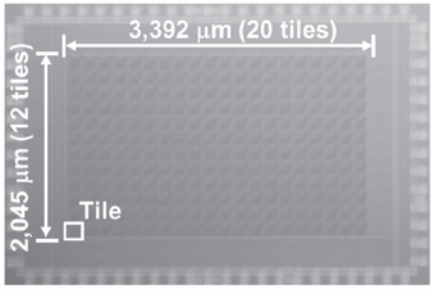
新概念 VLSI システム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現



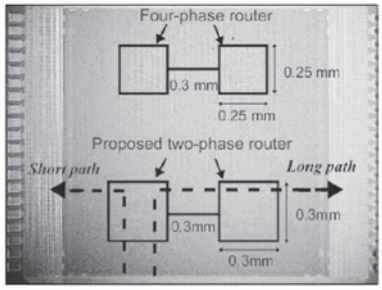
90nm CMOS/70nm 垂直MTJ 技術

図1. 不揮発TCAMチップ:
垂直MTJ素子の活用によって，並列検索中の不一致部分について打切り・電源OFFが可能となった．CPUによる検索と比較して1/100の低エネルギー化を実現．



90nm CMOS/70nm 垂直MTJ 技術

図2. 不揮発FPGAチップ:
垂直MTJ素子の活用によって，回路情報ならびに演算中のデータ全てを不揮発化，待機電力ゼロを実現．



0.13-um CMOS技術

図3. 非同期NoCルータチップ:
非同期式制御及び非同期式回路用パケット構造の活用により、遅延ばらつき変動に影響されない高信頼かつ高速・コンパクトなNoCを実現

新概念 VLSI システム研究分野　教　授　羽生 貴弘

＜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，本研究部では，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（図 1，2）および非同期式制御（図 3）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．

＜2013 年度の主な成果＞

１．垂直 MTJ 素子を用いた不揮発 TCAM チップ試作と動作実証

TCAM(Ternary Content-Addressable Memory)は、ネットワークのルータやデータベース検索等を高性能化させるハードウェアアクセラレータとなる。本年度は、WEB などのサーチエンジン等に活用できる全文検索サーチエンジン向け TCAM を 90nm CMOS/70nm 垂直 MTJ テクノロジを用いて試作・評価を行った(図１)。本 TCAM においては検索・記憶部を分割することで、検索途中で不一致と判断された単語については、検索動作を打切りさらに電源を落とことができる。これにより無駄な待機電力を大幅に削減可能となる。結果として、CPU による文字検索と比較して消費エネルギーを約 1/100 に削減することができた。

２．垂直 MTJ 素子を用いた不揮発 FPGA チップ試作と動作実証

FPGA (Field-Programmable Gate Array)はユーザーが任意の演算機能を実現可能な論理集積回路である。本年度は不揮発 FPGA チップを 90nm CMOS/70nm 垂直 MTJ テクノロジを用いて試作・評価を行った(図 2)。本 FPGA においては全ての回路情報および演算中のデータが垂直 MTJ 素子に不揮発に保持されており，外部メモリとのアクセスを一切することなく電源のオン/オフが可能である。したがって無駄な待機電力を大幅に削減可能となる。結果として，典型アプリを例にとった場合総消

費電力を従来の SRAM ベース FPGA の 97%削減することができた。

3. 遅延ばらつき耐性を持つ高速・コンパクトな NoC ルータの試作と動作検証

ネットワークオンチップ（Network-on-Chip(NoC)）は，大規模集積回路チップ内のデータ転送を効率的に行うためにネットワークを用いる方式である。本年度は NoC を実現するための構成要素であるルータを CMOS 0.13um テクノロジを用いて試作・評価を行った（図 3)。本 NoC ルータは、非同期式制御の活用により電源電圧・温度変動に起因する遅延ばらつき耐性を持つだけでなく、非同期式回路用パケット構造を提案することで高速化・コンパクト化も実現している。その結果、従来方式の NoC ルータと比較して 90%の高速化及び 34%の面積削減を達成した。

＜職員名＞

教　授　羽生 貴弘（2002 年 4 月より）　　助　教　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 3 月同大工学部助手．1993 年 2 月同大助教授．2002 年 4 月同大学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 Best Paper Award（2010 年），SSDM Paper Award（2012 年）などを受賞．IEEE Senior Member.

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] Daisuke Suzuki, et al., “Fabrication of a Magnetic Tunnel Junction-Based 240-Tile Nonvolatile Field-Programmable Gate Array Chip Skipping Wasted Write Operations for Greedy Power-Reduced Logic Applications,” IEICE Electronics Express, Vol.10, No.23, pp.20130772, 2013.
[2] Naoya Onizawa, et al, “Clockless Stochastic Decoding of Low-Density Parity-Check Codes: Architecture and Simulation Model,” Journal of Signal Processing Systems (JSPS), pp. 1-10, Sept. 2013.
[3] Daisuke Suzuki, et al., “Design and Evaluation of a 67% Area-Less 64-Bit Parallel Reconfigurable 6-Input Nonvolatile Logic Element Using Domain-Wall Motion Devices,” Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) vol. 53, no. 4S, pp. 04EM03-1~04EM03-5, Feb. 2014.
[4] Daisuke Suzuki, et al., “Design and Fabrication of a Perpendicular-MTJ-Based Nonvolatile Programmable Switch Achieving 40% Less Area Using Shared-Control Transistor Structure,” Journal of Applied Physics (JAP), vol. 115, no. 17, pp. 17B742-1~17B742-3, Mar. 2014.
[5] Naoya Onizawa, et al., “High-Throughput Low-Energy Self-Timed CAM Based on Reordered Overlapped Search Mechanism,” IEEE Trans. on Circuits and Syst. I, Reg. Papers, vol. 61, no. 3, pp. 865-876, Mar. 2014.
[6] Naoya Onizawa, et al., “High-Throughput Compact Delay-Insensitive Asynchronous NoC Router,” IEEE Transactions on Computers, vol. 63, no. 3, pp. 637-649, Mar. 2014.
[7] Naoya Onizawa, et al., “A Low-Energy Variation-Tolerant TCAM for Network Intrusion Detection Systems,” 19th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC), pp. 8-15, May 2013.
[8] Naoya Onizawa and W. J. Gross, “Low-Power Area-Efficient Large-Scale IP Lookup Engine Based on Binary-Weighted Clustered Networks,” Proc. 50th ACM/EDAC/IEEE DAC, pp. 1-6, Jun. 2013.
[9] Shoun Matsunaga, et al., “Fabrication of a 99%-Energy-Less Nonvolatile Multi-Functional CAM Chip Using Hierarchical Power Gating for a Massively-Parallel Full-Text-Search Engine,” 2013 Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers, pp.106-107, Jun. 2013.
[10] Noboru Sakimura, et al., “A 90nm 20MHz Fully Nonvolatile Microcontroller for Standby-Power-Critical Applications,” 2014 IEEE ISSCC, Dig. Tech. Papers, pp.184-185, Feb. 2014.

２１世紀情報通信研究開発センターの目標と成果

産学官連携による実用化技術の研究開発
～モバイルとストレージ～

＜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ベンチャー企業の創出・育成などを通じて，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．

＜2013 年度の主な成果＞

現在は，2 プロジェクト体制とし，センター専任としてモバイル分野・ストレージ分野を設置し，民間からプロジェクト担当教授を招聘した．平成 14 年度から平成 18 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，平成 19 年度からはこれらの研究成果をさらに発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」と平成 24 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」を実施している．各プロジェクトの概要と平成 24 年度の成果を以下に示す．

１．ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発

平成 19 年度に JST の CREST タイプ研究「ディペンダブル VLSI システムの基盤技術」に対して，新規プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」を提案し，採択された．提案プロジェクトは，ディペンダビリティの高い広域・超高速ワイヤレスネットワークである Dependable Air の実現を目指している．平成 26 年度までの研究期間（当初計画より 2 年間延長）の中で，複数の無線通信システムを統合し，伝送距離・通信速度・消費電力・QoS の最適制御を行うことが可能となる無線通信端末である DWS （Dependable Wireless System）の実現を目指す．本年度は主に，無線通信ネットワークの評価指標の一つとして、ワイヤレスディペンダビリティ指標の概念を提案した．また，ミリ波帯近距離・広帯域通信のための RF フロントエンドモジュールの研究開発として，60GHz 帯無線通信送信器用ビームフォーミングアンテナモジュールの設計・試作等を行った．

２．超高速大容量ストレージシステムの開発

本分野では，平成 24 年度より，大容量化したネットワークストレージサーバの耐災害性を向上させる新たなストレージプロジェクトとして「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」に取り組んでいる．本プロジェクトは東日本大震災に匹敵する広域大災害下において，多数のストレージ機器が被災した場合でも重要な情報を喪失することなくアクセスを続けることのできる技術の確立を目指している．特に半数の機器が損壊しても 90%の情報を保全できることが目標である。今年度はプロジェクト初年度として試験用ストレージ基盤システムを整備し，理論的な検討に基づいてストレージサーバ系の基本設計を行った．

＜職員名＞

センター長・教授　村岡　裕明

企画開発部
客員教授　古西　真

研究開発部
モバイル分野
客員教授　坪内　和夫
客員教授　高木　直

ストレージ分野
准教授　中村　隆喜
産学官連携研究員　原田　正親

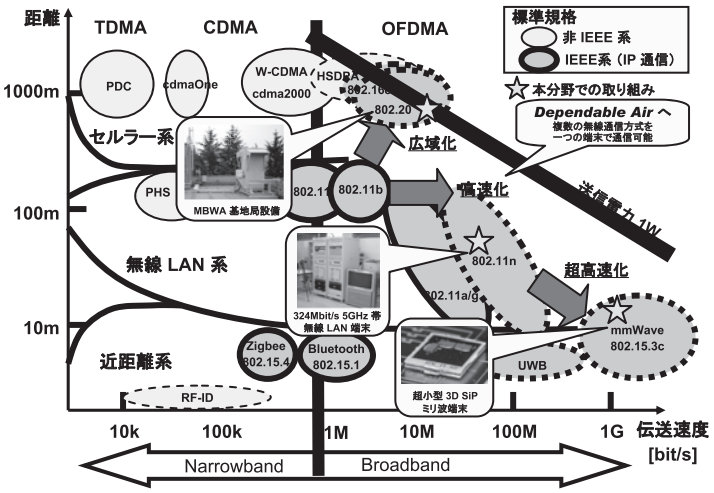
運営委員
本研究所教授　村岡　裕明
長　康雄
末松　憲治
鈴木　陽一　大学院工学研究科教授　安達　文幸
外山　芳人　川又　政征
大野　英男　大学院情報科学研究科教授　加藤　寧
羽生　貴弘　本研究所事務長　伊藤　保春

IT21 センター モバイル分野

ディペンダブル・エアの実現へ向けて

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・伝送速度で通信を行うことができるような小型・低消費電力無線通信端末の実現を目指す．



客員教授　坪内 和夫
客員教授　高木　直
准 教 授　平　明徳

＜研究室の目標＞

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、IT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界の移動通信のリーダシップを担うわが国の移動通信技術は、日本経済を支える原動力としてますます発展する必要がある。

IT-21 センター・モバイル分野では、広い周波数帯域にわたるヘテロジニアス無線通信接続環境をユーザのために最適化することで、災害時でも必ずつながり、市民生活に革新をもたらす情報通信ネットワークとして、異種無線通信方式の統合による高信頼・高速無線ネットワークであるディペンダブル・エアの実現を目標としている。

JST CREST タイプ研究プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」（研究期間: 平成 19～26 年度）により、ディペンダブル・エアを実現するための研究開発を行った。特に、本研究課題では、以下の要素技術開発を中心に研究開発を行っている。

- ワイヤレスネットワークのディペンダビリティ追求の成果（ディペンダビリティ評価指標）: 既存の評価手法にとらわれない高信頼・高安定な無線通信ネットワーク評価指標の追求することで、無線通信ネットワークの設計指針を明らかにする。
- ディペンダブル・エアを実現するネットワーク・信号処理技術: 複数の異種無線通信方式を統合するために必要となるネットワーク技術ならびにベースバンド信号処理技術についての研究開発を行う。

- ディペンダブル・エアの進化を支えるデバイス技術: 複数の異種無線通信方式に対応する端末・基地局を実現するために必要となるマルチモード・マルチバンド RF／アナログ信号処理デバイスの研究開発を行う。

＜2013 年度の主な成果＞

１．QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信

QZSS（準天頂衛星システム）を用いたロケーション・ショートメッセージ SS-CDMA（スペクトラム拡散・符号分割多元接続）方式に関して，時間・周波数同期を用いた高密度・長周期拡散符号 SS-CDMA 方式の検討を行った。QZSS 高精度測位信号を利用することで全無線局を高精度に時間・周波数同期し、上りリンクで拡散符号直交を実現する。今年度はユーザ間タイミング偏差，周波数偏差，位相雑音の影響を評価した。QZSS から提供される高精度測位信号によって得られる時刻・周波数精度を用いることで、1 時間あたり 300 万ユーザの収容が可能であることを示した。

２．ミリ波帯近距離・広帯域通信のための RF フロントエンドモジュールの研究開発

家電ネットワークなど、通信距離 10m 程度の近距離通信への応用を目指し、ミリ波帯無線通信端末用 RF フロントエンドモジュールの研究開発を行った。

＜職員名＞

客員教授　　坪内 和夫（2010 年より）・高木　 直（2010 年より）
准 教 授　　平　 明徳（2013 年より）
技術補佐員　中山 英太・橋浦 尚子・富澤 幸恵（2014 年 1 月から）

＜プロフィール＞

坪内 和夫　1974 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。1974 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。1982 年 4 月～10 月米国パーデュ大学客員助教授。1983 年 3 月東北大学電気通信研究所助教授、1993 年 3 月同教授、2010 年 4 月名誉教授・客員教授、現在に至る。日本物理学会、応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、日本エレクトロニクス実装学会、IEEE 会員。

高木　 直　1973 年 3 月東京工業大学理学部物理学科卒業。1995 年静岡大学・博士（工学）取得。1973 年三菱電機(株) 入社。以来、マイクロ波・ミリ波帯 MMIC 及び半導体高出力増幅器の研究開発に従事。2005 年より東北大学電気通信研究所教授、2010 年客員教授、現在に至る。広帯域無線通信システムの研究に従事。IEICE フェロー、IEEE 会員。

平　 明徳　1996 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電子情報通信学専攻博士前期課程修了。2008 年 3 月早稲田大学・博士（工学）取得。1996 年三菱電機(株) 入社。広帯域移動体通信システム、ディジタル変復調方式に関する研究開発に従事。2013 年より東北大学電気通信研究所准教授。IEICE シニア会員。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] O. Wada *et al.*, “5 GHz-band CMOS direct digital RF modulator using current-mode DAC with idle current,” IWS2013, WE3B-1, April 2013.
[2] T. Takagi *et al.*, “Dependable air and wireless dependability,” GSMM2013, April 2013 (invited).
[3] Y. Suzuki *et al.*, “Hetero-plane beam synthesis using 60 GHz band 3-D phased array antenna module,” IEEE RWS2014, MO3A-4, Newport Beach, USA, Jan. 2014.

IT21 センター　ストレージ分野

高可用性ストレージシステムの実現



試作した高可用性ストレージシステム



試作した電子お薬手帳アプリケーション

准教授　中村 隆喜

＜研究室の目標＞

デジタルカメラで撮った写真のファイルや、チケット発券サービスのデータベース等の電子情報を記録するストレージは、情報サービスの要である。ストレージは、将来世代に情報を伝達する手段として、過去においても、未来においてもその重要性は変わらない。

IT21 センターストレージ分野では、ストレージ技術に関する研究開発を産学官連携で継続的に推進している。平成 14 年度から平成 18 年度までの 5 年間では、IT プログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」を、平成 19 年度から平成 23 年度の 5 年間では、次世代 IT 基盤構築のための研究開発「超高速大容量ストレージシステム」をそれぞれ文科省の委託事業として推進し、大きな成果を上げてきた。

近年、社会システム、情報システムの複雑化に伴い、ストレージの研究分野はデバイス、ドライブに加えて、システムの研究がますます重要になっている。そのような背景のなか、本技術開発室では新たに、次世代 IT 基盤構築のための研究開発「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」を文科省の委託事業として、平成 24 年度より 5 年間の予定で推進する。ストレージシステム関連企業とも連携することで、IT21 センターのミッションである研究成果の 5 年以内の実用化を目指す。

＜2013 年度の主な成果＞

１． 高可用シミュレータによる可用性の検証

高可用シミュレータを用いて、我々の提案方式である「リスクアウェア複製」による可用性向上の効果を確認した。「リスクアウェア複製」は、国や県、市内などの限定した範囲内で地理的に分散した複数のストレージ装置からなるストレージシステムにおいて、同時被災する可能性の低い拠点にバックアップデータを複製する技術である。今回、1000 台のストレージ装置のうち半分の 500 台が直下型の大地震によって損壊することを条件としたシミュレーションで検証し、無作為に複製を行うストレージシステムに比べて 15.8 ポイント高い 90.8%の可用性が得られることを確認した。

２． 高可用性ストレージシステムと電子お薬手帳アプリケーションの試作

「リスクアウェア複製」技術を適用した 10 台のストレージ装置からなる高可用性ストレージシステムを試作した。また、被災者への円滑な災害医療の提供に役立つ電子お薬手帳をスマートフォン用アプリケーションとして試作した。さらに、電子お薬手帳アプリサーバのデータ格納先を高可用ストレージシステムとして用いた場合に可用性が向上することを確認した。

＜職員名＞

准教授　中村 隆喜（2012 年より）
産学官連携研究員　原田　正親

＜プロフィール＞

中村 隆喜　1996 年 3 月 大阪大学工学部精密工学科卒業。1998 年 3 月 同大学大学院工学研究科精密科学専攻博士前期課程修了。同年 4 月　(株)日立製作所入社。中央研究所，システム開発研究所を経て，横浜研究所勤務。2012 年 11 月　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)。ストレージシステムの研究開発に従事。ACIS Best Paper Award 受賞(2013 年)。

＜2013 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Fukatani, K. Matsuzawa, H. Kamei, M. Agetsuma, and T. Nakamura, “A Method for Eliminating Metadata Cache De-allocation Latency in Enterprise File Servers,” IEEE Trans. Magn. Vol. 49, No. 6, pp.2504-2509, 2013

[2] 中村隆喜、“大規模災害でのデータ可用性を向上するリスクアウェア複製機能の提案 (招待講演)”、Institute of Mathematics for Industry (IMI) Seminars: 数理科学技術のストレージシステム研究への応用 (九州大学)、2013

[3] 松本慎也、中村隆喜、村岡裕明、“広域災害向けリスクアウェアデータ複製方式の提案”、電気学会第 55 回情報 システム研究会、2013

[4] H. Kamei, T. Nakamura, and N. Komoda, “SDD: Selective De-duplication with Index by File Size for Primary File Servers,” 2013 Int. Conf. on Computer Design (CDES'13), 2013

[5] 中村隆喜、松本慎也、宗形 聡、宋チュウ、 村岡裕明、“耐災害性強化ストレージシステムの研究開発 (招待講演)”、2013 年並列/分散/協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ、2013

[6] 中村隆喜、松本慎也、 村岡裕明、“耐災害性を向上するリスクアウェア複製機能の提案”、平成 25 年電気学会 電子・情報・システム部門大会、2013

[7] S. Matsumoto, T. Nakamura, and H. Muraoka, “Risk-aware Data Replication to Massively Multi-sites against Widespread Disasters (Best Paper Award),” The 2nd Asian Conference on Information Systems, 2013

[8] 佐藤拓巳、中村隆喜、村岡裕明、“中小サイズファイルのシーケンシャルアクセス転送速度を改善するハイブリッドストレージシステム構成の提案”、電気学会電子・情報・システム部門 情報システム研究会、2013

[9] 佐藤拓巳、中村隆喜、村岡裕明、“中小サイズファイルのシーケンシャルアクセス転送速度を改善するハイブリッドストレージシステム構成の提案”、電子情報通信学会総合大会、2014

３．８　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、通常の会社組織と異なりトップダウン型の安全管理は不向きであり、各部署の自立性に即した対応が必要である。また、教職員以外に学生、研究員などさまざまな形で研究活動に携わっている構成員に対する配慮が必要である。さらに、本研

究所では、薬品、高圧ガス、X線装置などの危険性の高い材料、設備を使用しており、作業環境もクリーンルームなどの特殊な作業場が存在するために、これらに対応した安全管理が必要になる。したがって、安全衛生管理室では、所内の各部署における状況や特性を把握し、実態に即した管理方法や改善対策の策定と勧告、および実行の支援を行い、安全衛生管理を効率的かつ実効性のあるものにするために活動している。本年度における主な活動内容は以下の通りである。

○ 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会・高圧ガス保安講習会の開催。
○ 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。
○ 管理者向け安全講習会の開催。
○ 危険物質総合管理システムの管理、および支援。
○ 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集。
○ 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供。
○ 学内の他部局や監督官庁との連絡調整。
○ Ｗｅｂページによる関連情報の提供。

＜職員名＞

室　　長（教授）	庭野　道夫
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	千葉　綾子

３．９　やわらかい情報システムの研究開発と所内情報システムの管理運用

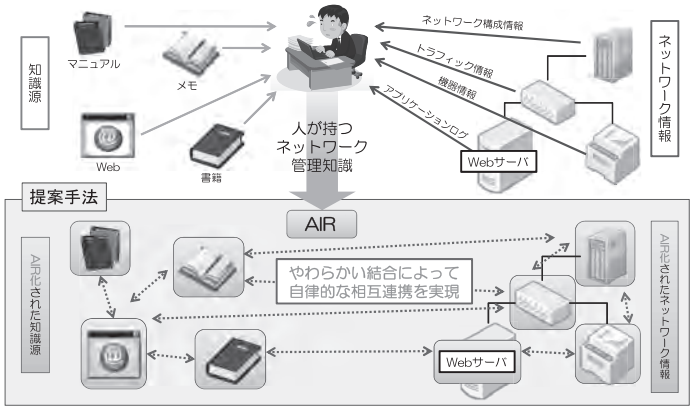


図１　知識型ネットワーク管理支援システム



図２　基幹システムの様子

＜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．本センターにおける研究の目標は，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適合した柔軟な情報処理を行い，さらに視聴覚などの多元知覚情報をフルに生かすことによって柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の原理について，理論及び実験を通して明らかにし，そのシステム構成論を確立することである．

更に，学術情報の高度な組織化，利用，管理・運用，発信などのためのやわらかい分散システムの研究を行い，成果を通研所内の学術情報とネットワークの実際面への適用を通して手法の有効性を確認し，その構成論の確立を目指している．

＜研究テーマ＞

(1) 情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境に関する研究
(2) ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究
(3) 生体の知覚情報処理及び知的ユーザインタフェースに関する研究
(4) 科学技術と倫理に関する研究

＜2013 年度の主な成果＞

(1) 知的なネットワーク管理支援に関する研究（研究テーマ２に関連）

管理業務に必要な情報や知識を能動的に活動させ連携・協調させることにより，管理者にかかる作業労力の負荷を軽減し迅速かつ正確な障害への対処を実現する研究として，エージェント型のネットワーク管理支援システムやネットワークの長期的なデータ収集・蓄積システムを開発している．図1に，開発中の知識型ネットワーク管理支援システムを示す．

(2) 知的ユーザインタフェースに関する研究（研究テーマ３に関連）

やわらかい情報システムにおける利用者の自然な利用形態を促進させる研究として，実空間とディジタル空間の両者を親和的に融合する，開放型協働作業環境に関連する研究を行っている．本年度は，作業対象を異なる作業場へ自由に持ち運び可能であるという実空間の特徴をディジタル空間に応用し，作業形態の変化に応じてディジタル空間内に構成した種々の作業場間で作業対象を自

由に移動可能とし，また作業対象同士を切り貼りする等の直接的連携を実現する協働支援システムを開発し，その有効性を示した．

(3)所内情報システムの管理・運用

やわらかい情報システム研究センターでは，電気通信研究所における学術・研究の基盤となる情報通信ネットワークを管理運用している．

本年度の主な成果として，以下に挙げる取り組みを行った．

・対外接続装置および１号館基幹スイッチの更改．
（図２に基幹システムの様子を示す．）
・仮想システム装置の10G接続への変更．
・「情報セキュリティ講習会」の開催．
・所に関係するシンポジウム・講演会・講習会などの動画コンテンツ作成と公開．
・通研ホームページのリニューアル．
・各研究室からのネットワーク使用に関する相談対応．

＜職員名＞

(1) 運営委員会

教授　木下 哲男（2000年より）　鈴木 陽一（2000年より）　外山 芳人（2000年より）
　　白井 正文（2003年より）　大堀 淳（2007年より）　菅沼 拓夫（2011年より）

(2) 実施委員会

教授　外山 芳人（2007年より）菅沼 拓夫（2010年より，ｻｲﾊﾞｰｻｲｴﾝｽｾﾝﾀｰ所属）
准教授　吉田 真人（2012年より）北形 元（2007年より）
助教　小野美 武　大脇 大　上野 雄大　笹井 一人
技術職員　佐藤 正彦
教育研究支援者　ヨハン スベホルム　ハミシ カレゲレ（2013年より）
研究支援推進員　鈴木 みどり　長瀬 祥子　大橋 有紀　谷口 恵子（2013年より）

(3) 常勤職員

准教授　北形 元（2007年より）
助教　笹井 一人
技術職員　佐藤　正彦
教育研究支援者　ヨハン スベホルム ハミシ カレゲレ（2013年より）
研究支援推進員　鈴木 みどり　長瀬 祥子　大橋 有紀　谷口 恵子（2013年より）

＜教授のプロフィール＞

センター長・木下哲男教授のプロフィールは，インテリジェントコミュニケーション研究分野を参照．
実施委員長・外山芳人教授のプロフィールは，コンピューティング情報理論研究分野を参照．

＜2013年度の主な発表論文等＞

1. Kazuto Sasai, Yuki-Pegio Gunji, Tetsuo Kinoshita, "A Model of Market Behavior based on Time and Space Uncertainty," Proc. of The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 19th 2014), Jan. 2014.
2. Johan Sveholm, Khamisi Kalegele, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Knowledge-based Autonomous Service Management System in Emergency Situations," Proc. of the 5th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST2013), pp.109-113, Nov. 2013.

３．１０　高度な専門知識と技術に基づいた研究支援

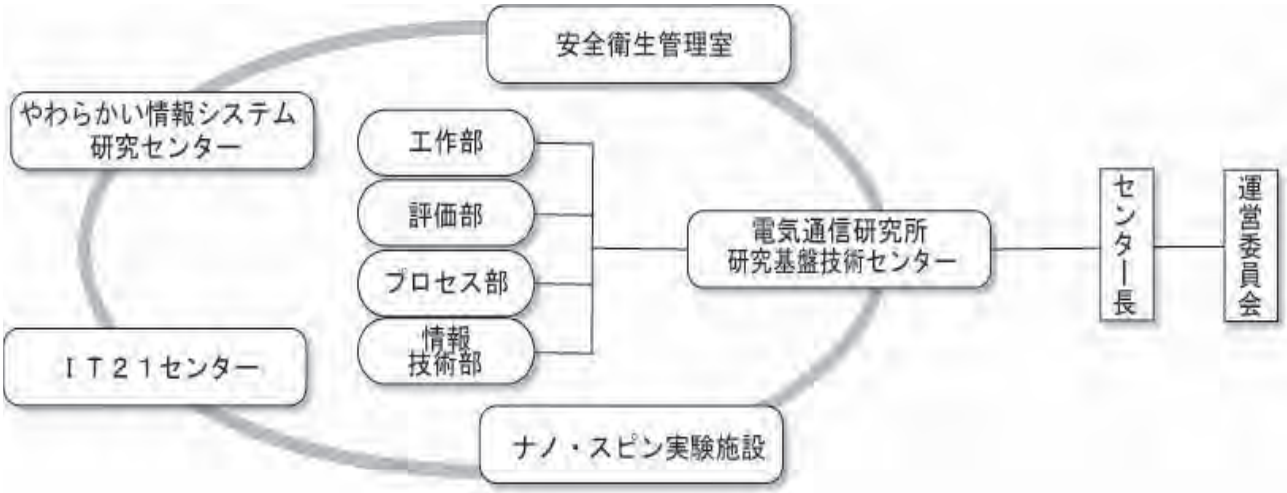


図１　研究基盤技術センター　概略図

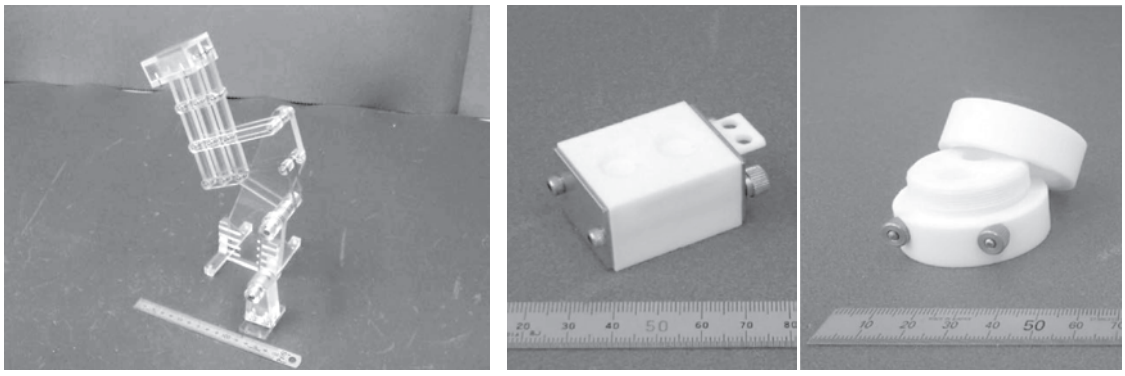


図２　工作部の主な製作品（左:3D アンテナ測定治具、右:スリット付チャンバー・円柱状チャンバー）



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

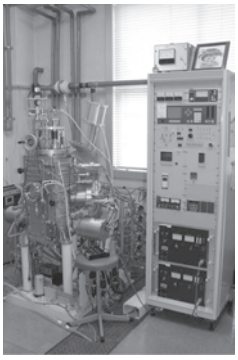


図４　プロセス部保有の加工装置
(電子ビーム蒸着装置)

＜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部を通して研究所内の様々な研究開発活動に対し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。なお、齋藤技術職員と我妻技術職員の活動は先端

音情報システム研究分野と誘電ナノデバイス研究分野にそれぞれ記載される。

＜2013 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、190 件の依頼工作を提供した。この中で約 10%は研究所外からの要求に応じたものである。図２は工作例である。

2. 評価部

評価部では共通計測機器とガラス工作技術の提供を行っている。図３は提供している計測機器の例である。23 の研究室が共通計測機器を利用（総使用時間は 4483 時間）し、8 件のガラス工作依頼に対応した。加えて、寒剤（液体ヘリウムと液体窒素）供給関連の業務と共通クリーン・ルーム（PCR）の運営・管理も担っている。4912 リッターの液体窒素を供給し、5 研究室が液体ヘリウムを利用した。PCR は 8 研究室により利用された。

3. プロセス部

プロセス部は電子ビーム露光技術と光学薄膜作製技術を提供している。ナノスピン実験施設の共通部と協力して 139 件の電子ビーム露光サービスとマスク提供を行った。ナノスピン実験施設のクリーンルームの維持・管理を支援した。また、光学素子を１研究室に提供した。図４は光学薄膜作製のための電子ビーム蒸着源である。

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。

＜職員名＞

センター長（教授）	上原　洋一
助　　教	佐藤　信之
技術職員	庄子　康一、末永　保、阿部　真帆、佐藤　圭祐、阿部　健人、佐藤　正彦、丸山　由子、岩見　友里香、森田　伊織、丹野　健徳、我妻　康夫、我妻　成人、齋藤　文孝、寒河江　克巳、渡邉　博志、菅原　宗朋、田久　長一、小田切　節子、鈴木　みどり、谷口　恵子

第 4 章　独創的研究支援プログラム

研究成果（平成 25 年度）報告

4．1　Dirac 電子系の新奇な物性制御法の開拓

吹留　博一（固体電子物性工学研究分野）

［1］

研究費：物件費 431 万 4 千円
旅費　62 万 4 千円
謝金　6 万 2 千円

［2］成果

（2－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に，**微細加工 SiC 基板へのグラフェン成長による擬スピン制御**に関する研究を行った。

（背景）相対論的量子力学に陽に依拠する Dirac 電子系であるグラフェンは、有望な次世代材料である。しかし、Dirac 電子系物質による既存の材料の単なる置換は、Dirac 電子系の適切な活用ではない。

そこで、私は Dirac 電子系に固有の物理量：擬スピンに着目した。擬スピンとは単位格子を構成する二つの炭素原子の波動関数の偏りに由来する（図 1）。

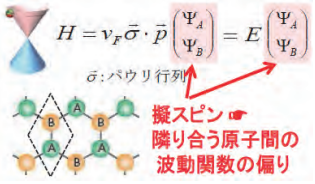


図 1 擬スピンの説明図

擬スピンは、磁場ではなく、応力やエッジ構造により制御可能である。例えば、グラフェンの湾曲（長さ 100nm で 3nm 縦方向に変位）により、電子は～1T の磁場下のような振舞いをし得る。

（目的）基板微細加工によりグラフェンと(SiC)基板間の界面応力を制御し、以て、擬スピンの制御することを目的とした。

（実験）集束イオンビームを用いて 200nm～10μm の大きさの微細パターンを作り込んだSiC バルク基板を、Ar 雰囲気下で 1600℃で加熱することによりその表面にグラフェンを成長させた。物性評価手段としては、低速電子顕微鏡（LEEM）、光電子顕微鏡(PEEM)、及び、顕微 Raman 分光を用いた。

（結果）低速電子顕微鏡及び光電子顕微鏡を用いたグラフェン表面観察により、微細パターンの大きさ及び基板微傾斜角をパラメータとして、表面ステップ密度が制御出来ることを明らかにした（図 2）。顕微 Raman 分光によるグラフェンの基本振動の一つ G’バンド（～2700cm^{-1}）の観察結果から、表面ステップ密度の減少と共に圧縮応力が増大することを明らかにした。更に、このグラフェンの仕事関数のステップ密度依存性を、LEEM 及び顕微 Raman 分光

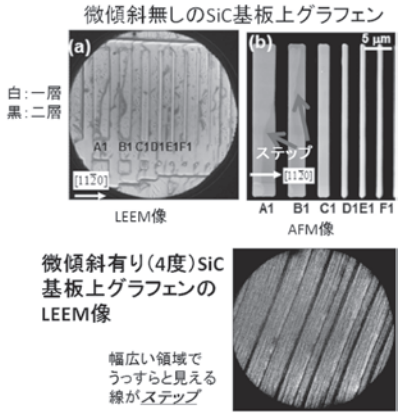


図 2 微細パターンサイズ及び基板微傾斜角による表面ステップ密度の制御

による G バンドのピーク位置により調べた。その結果、表面ステップ減少と共に仕事関数が増大することが明らかとなった。この原因の一つとして、グレインサイズの増大（⇔欠陥 or ステップ密度の減少）が挙げられる。しかし、グレインサイズの増大は仕事関数を減少させると報告されている。

残されたもう一つの原因として、擬スピンと応答する擬電磁場の存在が挙げられる。より具体的には、界面応力によるグラフェンの格子変形に伴う電子密度の再分布に起因して擬スカラーポテンシャルが原因と考えられる（図 3）。ここで、擬スカラーポテン

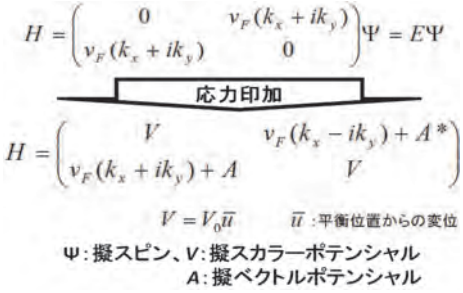


図 3 応力による Dirac 方程式の変形

シャルの増減は仕事関数の増減に対応する。実際、圧縮応力の増大により擬スカラーポテンシャルが増大することが理論計算により示されている。

以上のことから、微細加工 SiC 基板上に成長させたグラフェンの、擬電磁場、ひいては、擬スピンが制御可能であることが示された。

第 2 の成果は，高い水平分解能（20nm）を有する**PEEM を用いたオペランド（動作条件下）顕微分光を用いたグラフェンデバイスの電子状態観察**である。

（目的）グラフェンの電気伝導における分子軌道の

役割を定量的に評価し、以て動作機構を解明する。
（実験）SPring-8 BL17SU に設置されている PEEM を用いて、C1s 内殻準位から伝導帯(?*軌道)への X 線吸収過程を用いて、グラフェンチャネルの電子状態を調べた。空間分解能は 20nm。
（実験）下記二点が明らかとなった；
1）グラフェンの伝導帯を構成するπ*ピークがフェルミ準位によりシフトすることが明らかとなった。このピークシフトは、X 線吸収過程により瞬間的に生じる内殻正孔と電子の相互作用に基づく励起子効果によるものである。ここでグラフェンにおいて特徴的である点が、直線的なバンド構造に由来して。Fermi 準位の位置によりフェルミ準位近傍の状態密度が大きく変化する点である。このフェルミ準位に対する状態密度の顕著な依存性が励起子効果の度合いを大きく変化させる結果、π*ピーク位置が大きく変化することとなる。
　今回明らかとなった励起子効果を含む多体効果はグラフェン中においては顕著となる。よって、光デバイスや高速電子デバイスの動作機構の解明に本研究は役立つものとなる。
2）グラフェン-ソース/ドレイン金属界面でπ*ピークが変化することが明らかとなった。これは、グラフェンの状態密度が Dirac 点近傍において 0 となるため、幅広い電荷移動（ドーピング）領域（CTR）がグラフェンとソース/ドレインを構成する金属との界面に形成されるためと結論される。

第３に，高い水平分解能（70nm）**オペランド三次元走査型光電子顕微鏡（3D nano-ESCA）を用いてグラフェントランジスタの電子状態**を調べた。
（背景）上記の PEEM を用いたオペランド顕微分光においては、XAS スペクトルの定量的解析が非常に難しいという弱点を有していた。それに対し、3D nano-ESCA で測定する束縛エネルギーは、C1s 内殻準位とフェルミ準位のエネルギー差に相当することから、測定値を直接電子状態（フェルミ準位）に結び付けることが容易であるという利点を有する。
（目的）以上のような利点を有する 3D nano-ESCA を用いて、グラフェンデバイス動作中のフェルミ準位位置を測定し、以てデバイス動作機構を解明する。
（実験）SPring-8 BL07LSU に設置されている 3D nano-ESCA を用い、試料として SiO2/Si 基板上のグラフェンをチャネルとしたトランジスタを用いた。
（結果）下記二つの成果を挙げた；
　1）グラフェン-金属電極界面に存在する CTR の存在を実証した。PEEM を用いた研究においても CTR の存在は示唆されたが、間接的なものであった。それに対して、3D nano-ESCA はフェルミ準位位置が直接測定するものであることから、今回の研究結果は、CTR の存在を直接的に実証したものであると言える。
　2）1）の研究はゲート電圧を加えていない。そのため、実デバイス動作条件とは異なる条件下での測定であると言える。ゆえに、ゲート電圧印加機能を 3D nano-ESCA に賦与してグラフェンのフェルミ準位位置を測定した。その結果、グラフェンの直線的なバンド構造に基づいた理論式通りのゲート電圧に対するフェルミ準位位置の依存性が得られた。この結果は、ゲート電圧印加下でのグラフェン・デバイス電子状態のオペランド観察が可能であることを意味する。

第４に，**フェムト秒時間分解光電子分光を用いたグラフェン中のキャリアダイナミクス**の研究を行った。
（背景）グラフェンは蜂の巣状の二次元格子を組むことに由来する直線的なバンド構造を持つため、電子の有効質量は 0 となる。このことから、グラフェンは有望な次世代電子・光デバイス材料である。このような有効質量 0 は平衡状態では実証されていたが、パルス光照射などによる非平衡状態においても電子の有効質量が 0 かどうかは実証されてなかった。
（目的）以上のことから、グラフェン中の非平衡キャリアダイナミクスとグラフェンのバンド分散との関係の定量的解明を目的とした研究を行った。
（実験）本研究では、フェムト秒パルスレーザを用いてグラフェン中の電子を励起し、その後電子状態をどのように緩和していくかを 150fs の時間分解能を有する角度分解光電子分光測定により明らかにすることを試みた。
（結果）その測定結果を図 4 に示す。ここで注目すべき点が、$E_F + 0.2$ eV 付近に現れるスペクトルのコブである。得られたスペクトルを通常の二次元型バンド分散構造、及び、グラフェン固有の直線的バンド構造とフェルミ分布関数の掛け合わせによる再現することを試みた。その結果、このコブは、グラフェンの直線的バンド分散構造に由来するものであることが明らかとなった。以上のようにして、非平衡状態においてもグラフェン中のキャリアの有効質量が 0 であることが世界で初めて実証された。

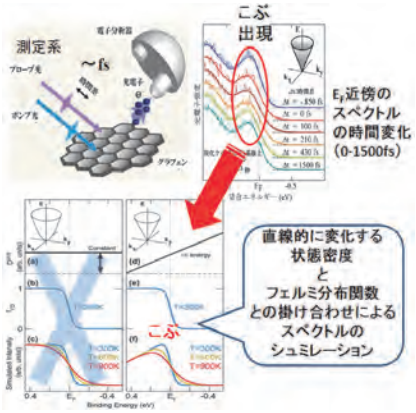


図 4 時間分解光電子分光測定結果

第５に，**デバイス基板上へ転写・接合させたSiC単結晶薄膜表面のグラフェン化**に関して信越化学と共同で研究を行った。

（背景）これまで、我々はSi基板上に直接成長させたSiC薄膜表面にグラフェンを成長させる研究を行ってきた。この方法の問題点は、SiとSiCの大きな格子不整合差に起因してSiC薄膜中に沢山の欠陥が生じることであった。この大きなSiC薄膜中の血管密度はグラフェンの高品質化を妨げていた。

（目的）欠陥が殆ど無いSiCバルク基板から転写・接合させた高品質SiC単結晶薄膜（<1μm）を用いて高品質グラフェンをデバイス用基板（Si・サファイア）に成長させること目的とした研究を行った。

（実験）試料として、Si基板上に転写・接合させた4H-SiC 単結晶薄膜を用いた。グラフェン化は超高真空下（$<10^{-7}$Pa）で行った。

（結果）転写・接合させたSiC単結晶薄膜は欠陥が殆ど無いことが実際に断面透過型電子顕微鏡観察により確かめた。このSiC単結晶薄膜表面上にグラフェンを成長させた。結果として、低速電子回折・X線光電子分光・Raman 分光を用いて間違いなくグラフェンが形成されることが明らかとなった。但し、SiC 単結晶薄膜を転写・接合させた時に生じるSiC表面の荒れのために、グラフェンの高品質化は果たせなかった。今後は、化学的機械研磨（CMP）によりSiC 単結晶薄膜表面の平坦化を行うことにより、グラフェンの高品質化を狙う予定である。

以上のように、擬スピンにとどまらず、キャリアダイナミクスやオペランド顕微分光、新たなエピ成長法に関する研究を行った。これにより、包括的なグラフェンの物性制御法・デバイス特性評価への道が拓けた。これらの成果は、下記のように公表した；

【論文】

1) **H. Fukidome**, et al, *Sci. Rep.*, being revised.
2) **H. Fukidome**, et al, *APEX*, being revised.
3) T. Someya, **H. Fukidome** et al., *Appl. Phys. Lett.* **104** (2014) 161103.
4) **H. Fukidome** et al., *Sci. Rep.* **4** (2014) 03713.
5) N. Nagamura, **H. Fukidome** et al., *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 241604.
6) M. Suemitsu, S. Jiao, **H. Fukidome** et al., J. Phys. D **47** (2014) 094016.
7) **H. Fukidome** et al., *Proc. IEEE* 101 (2013) 1557.
8) M.-H. Jung, **H. Fukidome** et al., *Proc. IEEE* **101** (2013) 1603.
9) I. Katayama, **H. Fukidome** et al., *Phys. Rev. B* **88** (2013) 356506.
10) Y. Inayoshi, **H. Fukidome** et al., e-J. Surf. Sci. 11 (2013) 47.
11) **吹留博一** 他、 表面科学 34 (2013) 380.
12) 舩窪一智、**吹留博一** 他、信学技報 ED2013-15 (2013) 59-62.

【招待講演】

1) H. Fukidome, **EMN SPring Meeting 2014, Las Vegas, USA, 2014.3.1.**
2) **H. Fukidome** SPEM2014, Oxford, UK, 2014.3.20.
3) **吹留博一**, ISSP workshop, Tokyo, 2014.2.18
4) **吹留博一**, SPring-8 Workshop、兵庫 2013.2.1.
5) **吹留博一**, 顕微ナノ材料研究会、2013.12.27，仙台.
6) 吹留博一、東京大学物性研短期研究会、東京大学柏キャンパス、2013.5.28. （査読無）

【特許出願】

1) **吹留博一** 他、基板・基板の製造方法及び電子装置、東北大学・住友電工、2013.6.13
2) 末光眞希、**吹留博一** 他, 基板・基板の製造方法、及び、電子装置、東北大学・住友電工、2013.6.13
3) 舘野泰範、**吹留博一**他, 基板・基板の製造方法、及び、電子装置、東北大学・住友電工、2013.6.13

【報道】

1) 日刊工業新聞 28 面、2013.6.27
2) 日刊工業新聞 15 面、2013.5.31.
3) 財経新聞、2014.4.28

（２－２）波及効果と発展性、将来展望など

（１　オペランド顕微分光法の開拓）

光電子顕微鏡を用いたオペランド顕微分光法は、グラフェンやその他通信用半導体デバイス開発にとって重要であることが、大学だけでなく企業研究者も認識されてきている。この研究はオペランド顕微分光を一つの核としたNEDOプロジェクトへの住友電工・東京大学放射光連携機構との共同申請と繋がった。

（２　信越化学とのグラフェン成長の共同研究）

本プログラムの基盤技術であるグラフェンエピ成長技術が注目されたことが、信越化学との共同研究に繋がり25年度に委託研究を受けた。26年度も信越化学と研究内容を摺合せの上更なる共同研究を続けていく予定である。

（３　フェムト秒時間分解光電子分光法の応用）

東大物性研究との共同で行った時間分解光電子分光がグラフェンの光照射によるキャリアダイナミクスの本質的理解に不可欠であることが分かった。26年度も共同研究を続け、基板相互作用制御やマイクロリボン化等により基礎研究研究を深化させ、レーザーなどのデバイス開発へと繋げる。

（４　グラフェンと3d金属界面の研究）

スピトロニクス（例：理論効率100%のスピン・フィルター）への応用を企図してグラフェンと3d金属界面の研究に着手した。これに関するフリッツハーバー研究所（ドイツ）の共同研究が一つの契機となって、Horn 教授の本所客員教授招聘へと繋がった。26年度も引き続き共同研究を行う。

研究成果（平成 25 年度）報告

４．２ 超高速ミリ波通信用シリコンオンチップアンテナの開発

中瀬　博之（ユビキタス通信デバイス研究分野）

［1］ 研究費：
物件費 5,000,000 円

［2］成果
（1）研究成果

H24 までにシミュレーションで決定した SRR(Split Ring Resonator)を、プリント基板上に作製し、その特性を実測した。図 1 は試作した基板パターンの一例である。SRR 構造を 1mm 間隔で基板全面に配置してある。図 2 は、試作したプリント基板の測定ブロック図である。ネットワークアナライザを用い、電波暗室内でアンテナを用いて基板に信号を照射、反射特性を計測した。アンテナ間距離は 50cm、校正はアンテナ間スルーで行った。アンテナは、アンテナ利得 20dBi(開口角 15 度)のコニカルホーンを用いた。図 3 は、GND 基板および SRR 基板の反射特性である。GND 基板は、理想的には全反射となるべきであるが、基板サイズが有限(20cm 正方)のため周波数依存のリップル特性を持つが、概ね平坦な特性を有している。平均の反射利得は約 -25dB である。一方、SRR を配置したプリント基板の特性は、60GHz 近傍(59.4GHz と 59.6GHz)に -50dB を下回る大きな引き込みが観測された。引き込み以外の周波数では、GND 基板と同じ特徴を持つ周波数依存のリップル特性である。その外形がほぼ一致することから、引き込み以外の周波数帯では、GND プレーンとして動作していると考えられる。

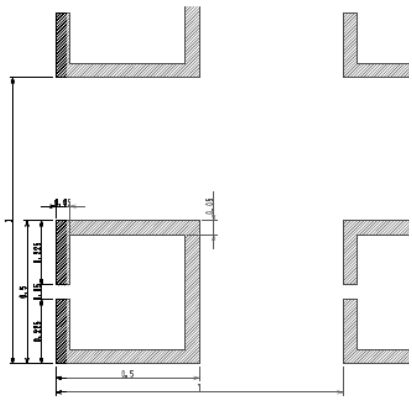


図 1　SRR 基板のレイアウトパターン

引き込みの周波数(59.4GHz と 59.6GHz)における減衰が-50dB を大きく下回っていることから、SRR パターンを持つ基板はこの周波数においてミリ波を透過する特性を有することがわかる。この測定結果は、SRR を基板表面に配置することにより特定の周波数を透過させるハードウェアフィルタを実現したことと等価である。しかしながら、当初の目的である”特定の周波数帯のみ反射させる”という目的と逆の効果が発現しており、この原因を究明する必要がある。

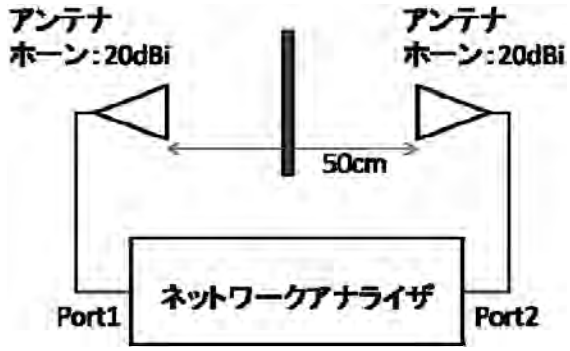
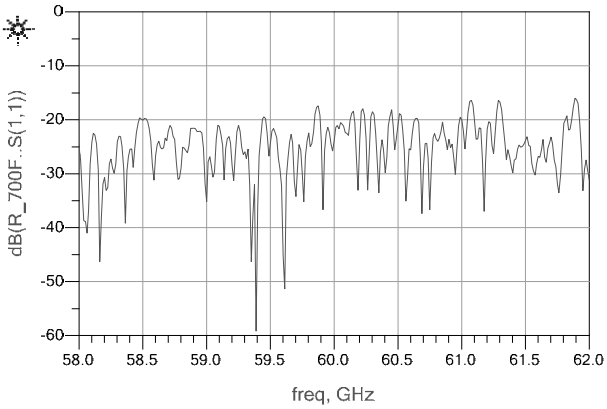
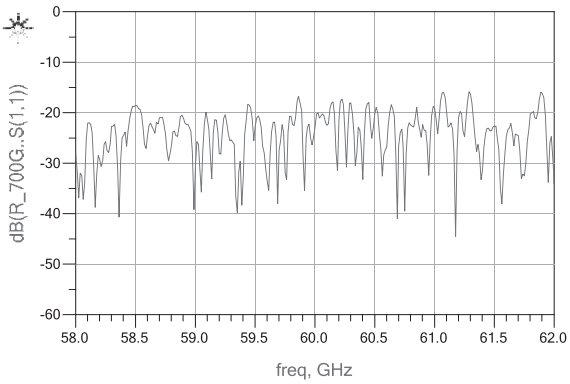


図 2　測定ブロック図



(1) SRR 基板の反射特性



(2) GND 基板の反射特性

図 3　SRR 基板と GND 基板の反射特性

H24 年度のシミュレーション結果から、SRR の特性は偏波面依存性を有することが確認できている。また、偏波面依存性の排除には、SRR のギャップ方向を切り替えることが有効であることも確認済みである。SRR のギャップは、LC 共振回路の容量を決定しており、入射信号の電界に対してセンシティブであると考えられる。電磁波の反射壁(インピーダンス無限大の反射)は、磁気壁の実現によってなされることから、SRR の構造・配置を従来の平面配置から、立体配置とし磁界に対してセンシティブにする必要があると考えられる。

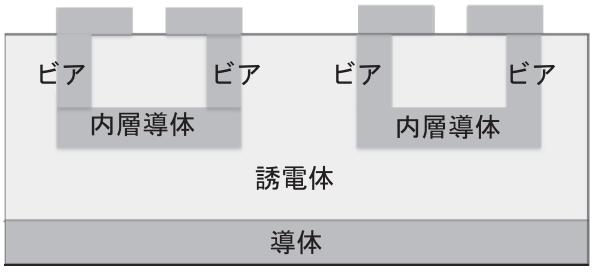


図 4 縦型 SRR 構造

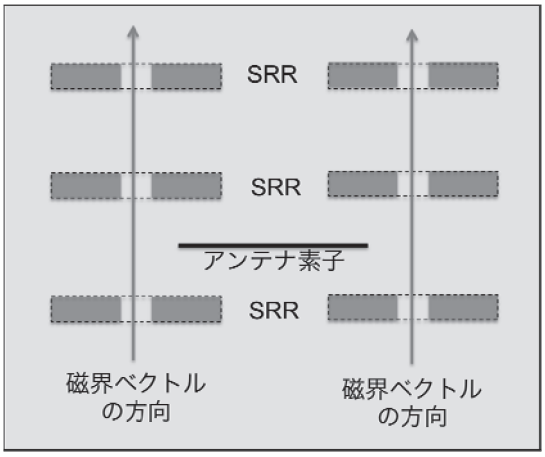


図 5 SRR 配置上面図

入射信号の磁界方向に SRR を共鳴させるには、基板の平面方向の磁界ベクトルと垂直に SRR を配置する必要がある。そこで図 4 に示すような、縦型 SRR を提案する。多層基板の内層導体とビアホールによりリング状の配線を形成し、表層の配線を用いてギャップを形成する。ギャップのサイズ・形状を前年度の検討に基づいて制御することにより、共振周波数を変更でき、設計のフレキシビリティも高い。

図 5 は、SRR 配置の上面図である。アンテナ素子の方向と平行に SRR を配置することで、磁気壁を実現できると考えられる。今後、今回提案の素子の詳細特性について検証を続けるとともに、アンテナ素子とのカップリングを考慮した特性解析と構造の改良を実施していく必要がある。

（2）波及効果と発展性、将来展望など

本プログラムは，これまでに誰も成しえていなかったシリコン基板上への高利得オンチップアンテナの実現を目的とした。誘電体基板状の SRR により、メタマテリアル特性の発現を確認することはできたが、最終的なオンチップでの検証には至らなかった。ミリ波に適用可能なメタマテリアルを用いたデバイスは、今後の超高速無線通信へ大きなインパクトを与えるものであり、その成果は大きく期待されている。特にオンチップアンテナは、無線装置とアンテナとの接続損失を低減し、低消費電力動作を実現することから期待は大きい。電子情報通信学会での発表を通じ、他大学や民間の研究者との交流が深まり、共同研究への発展も期待できる。

【対外発表】

中瀬博之, “メタマテリアル構造を用いたミリ波通信用オンチップアンテナ,” 電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会, C-2-75, Sep. 20, 2013.

研究成果（最終年度）報告

４．３　自己身体表象を考慮した人間のマルチモーダル感覚知覚処理機構の解明とモデル化：視覚と触覚のインタラクション

松宮　一道（高次視覚情報システム研究室）

［１］研究開始当初の背景

情報通信分野において認知科学の知見を工学的に応用し，次世代情報通信技術として自然な遠隔操作が可能な情報通信システムの開発が期待されており，特に遠隔医療・遠隔手術の分野で実用化が強く期待されている．このような情報通信システムの実現には，人間が行う物体操作の知覚・行動プロセスの本質的な理解が必要不可欠である．人間は視覚，聴覚，触覚といった様々な感覚情報を受容し，それらの情報を統合することで物体操作を行っていると考えられており，これらの感覚情報の中でも触覚情報は極めて重要であることが過去の研究から示唆されている．しかし，現在の情報通信システムでは，視覚もしくは聴覚の感覚情報提示だけを行っており，触覚情報の効果的な提示方法についてはまだ確立されていないのが現状である．このような問題を踏まえ，本研究では，人間の知覚システムが示す多感覚情報の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人間が自然に物体操作を行うための感覚情報提示の設計原理を確立することを目標とする．特に，本研究では，視覚と触覚における異種感覚知覚処理機構のダイナミックなメカニズムを心理物理実験により系統的に検討していき，将来的には遠隔医療，遠隔手術，教育などへの応用を視野に入れた新しい情報通信環境の実現に貢献することを目指す．

［２］研究の目的

遠隔地から得られる触覚情報を，通信回線を経由して人の皮膚に伝達することで，あたかも自分がその遠隔地に存在する物体を触っているような感覚をもたらすことができると考えられている．しかし，これまでの研究では，触覚情報を人工的に生成するためのデバイスの開発に重点が置かれており，人間の知覚システムの特性を考慮した触覚情報の効果的な提示方法に関する研究はほとんど進んでいない．

視覚，聴覚，体性感覚などのマルチモーダル感覚情報による外界の知覚に関しては，脳の高次レベルでマルチモーダル感覚情報の統合過程が存在すると考えられており，本研究の代表者はこれまで運動視における視覚－触覚情報の統合機構に関する研究に取り組んできた．一方，人が物体操作を行う際の知覚・行動プロセスに関しては，身体性を加味した視覚－触覚情報の統合が関与することは指摘されているが，その詳細なメカニズムは未だによくわかっていない．そこで本研究では，自己身体性を考慮した手作業時の視覚と体性感覚（触覚・自己受容感覚）のマルチモーダル感覚知覚処理のダイナミックなメカニズムを心理物理実験により明らかにする．特に，本研究期間では，１）手による物体操作時の手の見えが物体の運動知覚にどのような影響を与えるのか，２）見えている手が自分の手であるという認識（手の自己所有感覚）がどのように生成されるのか，３）手の自己所有感覚がどのように物体操作に貢献するのかを明らかにし，４）手の自己所有感覚における知覚モデルを構築する．

［３］研究の方法

本研究では，視覚情報と体性感覚情報の協調・競合効果を心理物理実験により測定し，その定量化を行う．ここでは，手で物体を操作する状況を設定し，コンピュータグラフィックスにより作成された手や物体を提示する．被験者には被験者自身の手は見えないようにし，被験者の手に体性感覚刺激を与える．

実験装置としては，力覚提示装置を用いる．この装置は，ロボットアーム（製品名：PHANToM）により力覚を提示するように構成されている．被験者は，アームの先端をペンを持つように手でつかむ，もしくは，アームの先端に取り付けられた指サックに指を挿入することで仮想物体の体性感覚（触覚・自己受容感覚）を得ることができる．また，視覚刺激は，視覚刺激提示装置を用いて作成し，これにより刺激の提示タイミングを厳密に制御することができる．また，ディスプレイに表示される視覚刺激は視覚と体性感覚で得られる刺激の３次元空間位置を一致させることができる．

使用する視覚刺激は，手で操作するための仮想物体とコンピュータグラフィックスにより作成された手（CG ハンド）を提示する．手で操作する仮想物体として，単純な形状の物体から複雑な形状の物体まで想定できる．単純な物体としては円盤が挙げられるが，本研究の代表者は，既に円盤を手で回す操作課題を用いて，運動視における視覚と体性感覚の相互作用について調べている．視覚刺激と同じ３次元空間位置に触覚刺激の摩擦面を提示し，力覚提示装置のアームをその摩擦面上で円を描くように動かすと視覚刺激が回転した．そのような視覚の回転運動に順応したときの運動残効知覚の持続時間を測定した．その結果，体性感覚刺激が付加されたときに残効時間が増大した．本研究では，この実験をさらに発展させて，より複雑な物体操作課題においてCG ハンドが被験者の手と同期して動く時の物体の運動知覚特性を計測した．

［4］研究成果

手を使って物体を操作するとき，我々は物体と自己の手の両方の動きを注意深く見る．そのような状況では，手が見えていることが物体操作を上手く実行するために必要であるように思えるが，物体操作において手の見えがどのような役割を担っているのかはよくわかっていない．平成 22 年度は，手の見えが，物体操作時の物体の動き知覚においてどのような影響を与えるのかを調べた．その結果，手を見ることが，操作している物体の動きから生じる視覚運動残効を増大させることを発見した．

この実験では，被験者の手を見えないようにし，その見えない手と空間的に一致するように仮想的な手を呈示した（図１）．被験者自身の手で円盤状の視覚刺激を回転させると，その円盤と一緒に呈示された仮想的な手が被験者の手の動きに同期して動いた（図２）．我々は，被験者が自己の手で回転させる視覚刺激の動きの順応によって生じる視覚運動残効の強度を測定した．

順応後に呈示されるテスト刺激の中で，CG ハンドと見えない被験者の手の方位の一致度を増すと，視覚運動残効の強度が増大した（図３）．これは，見ている手が操作物体から生じる視覚運動信号を増強させることを示しており，見かけ上関連のないように思える身体情報が物体の視覚運動知覚に寄与していることを示唆する．

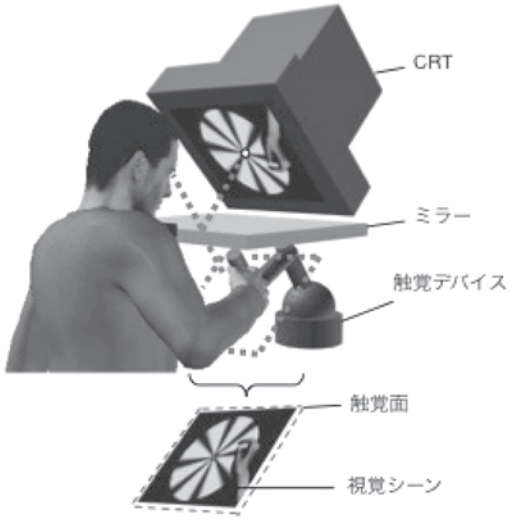


図１．実験装置．視触覚刺激提示装置を使い，被験者の手の動きに同期して動く放射状の縞模様とコンピュータグラフィックスで作成された手の視覚刺激を用い，しばらくその動きに順応した後に，静止した視覚刺激を見ると順応した動きの方向と反対方向の動きが知覚される（運動残効）．

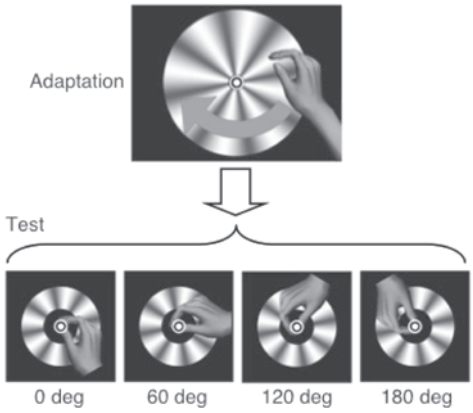


図２．順応刺激とテスト刺激．順応時は，見えない被験者自身の手と方位が一致した CG ハンドと放射状の縞模様が呈示され，見えない被験者自身の手と同期して動いた．テスト時は，CG ハンドの方位が４つの方位のうちの一つがランダムに選択された．

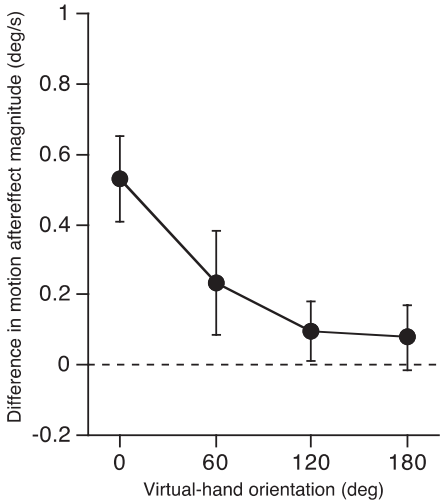


図３．手の方位が操作物体から知覚される視覚運動残効に与える影響．縦軸は，手の動きがあるときとないときの残効強度の差を示す．

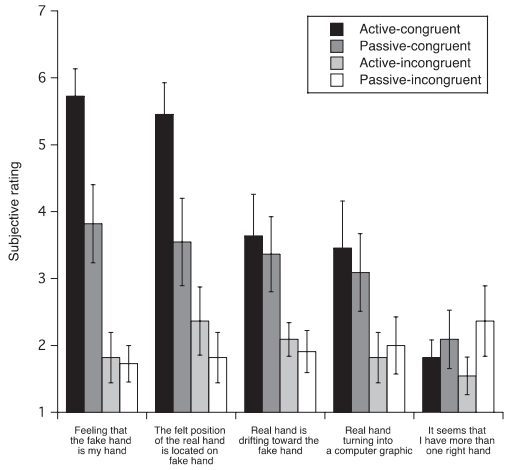


図４．CG の手に対して自己の手と感じたかどうかを主観的に応答した結果．被験者は，実験後，図中に示された５つの質問に対して，-3 から+3 まで評価した．

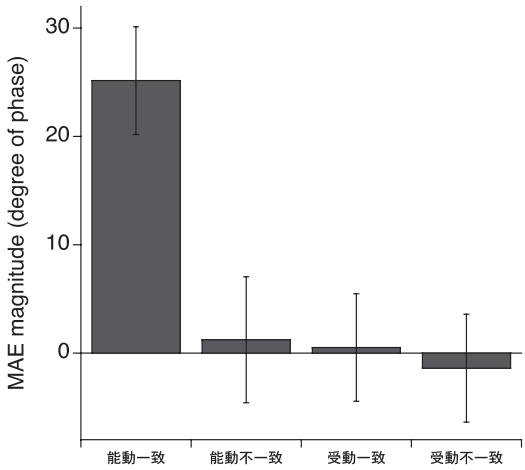


図５．CG の手の周囲で計測された運動残効の強度．横軸は，被験者の手と CG の手の姿勢の関係および被験者の手が能動的に動いたか，受動的に動かされたかを示している．

我々は，日常，手を使って様々な作業を行っている．もし，見えている自分の手を自分の手と認識できないなら，手作業を上手く実行することができないことは容易に想像がつくだろう．実際に，前頭葉や頭頂葉に損傷を受けた患者は見えている自分の手が自分のものでないように感じることが報告されており，この手の自己所有感覚を失うと日常の手作業に重大な支障をきたすことが指摘されている．しかし，これまで手の自己所有感覚に関する研究は，単に手を見せるだけで物体操作を伴わない状況で研究が行われてきたため，物体操作時に手の自己所有感覚がどのように生成されるのかは明らかにされていない．これまでの研究の多くは，手の自己所有感覚を誘発する際に静止した手を用いており，アクティブな手の動きと自己所有感覚の関係についてはよくわかっていない．そこで平成 23 年度では，物体操作時の視覚と体性感覚（触覚・自己受容感覚）のマルチモーダル感覚知覚処理による手の自己所有感覚生成のメカニズムを心理物理実験により調べた．

この実験では，アクティブな手の動きが手の自己所有感覚を誘発するかどうかを調べた．被験者は 60 秒間自分の手を動かした後，自分の手の位置を定位し，仮想的な手の主観的印象を評価した．その結果，アクティブに手を動かし，仮想的な手が被験者の手の方位と一致するときに，仮想的な手の自己所有感覚が強く誘発された（図４）．これより，アクティブな動きによって自己所有感覚が誘発されることが示唆される．

次に，手の自己所有感覚が手の行動制御においてどのような役割を持つのかの明らかにするために，手の自己所有感覚が物体の動きの知覚にどのような影響を与えるかを調べた．手の自己所有感覚は自己身体の知覚にだけ関与し，物体の知覚には関与しないと一般的に考えられている．しかし，この実験により，手の自己所有感覚が手の近くに呈示された物体の動きから生成される運動残効を変調することが見出された．この運動残効は，順応刺激とテスト刺激の位置が網膜上で一致していなくても，これらの刺激が自己所有感覚を感じている手に対して同じ位置に呈示されていれば生じた（図５）．そして，この運動残効は自己所有感覚が生起しないときには消失した．この結果は，手の自己所有感覚が手中心座標系の空間知覚表象を立ち上げていることを示しており，身体性自己意識の機能的役割を示唆している．

これまでの研究により，手の自己所有感覚が物体操作時の手の周囲の空間知覚において重要な役割を担っていることが明らかになったが，手の自己所有感覚を生起する視覚–体性感覚の統合過程がどのようなモデルで説明できるのかは明確ではなかった．手の自己所有感覚の生成機構に関する過去の研究は，視覚情報と体性感覚情報の統合により生成されることを示しているが，この統合過程は視覚が体性感覚を捕捉するモデルを仮定している．しかし，この仮定は実験的に検証されていない．そこで，平成 24 年度は，ラバーハンド錯覚の Proprioceptive drift と呼ばれる現象を利用して，手の自己所有感覚を生成する際に視覚と体性感覚がどのように統合されるのかを調べた．

その結果，CG ハンドが視覚的に明瞭に見える場合は，手の自己所有感覚の生成の際に視覚が体性感覚を強く捕捉し，視覚が優位になった．しかし，CG ハンドの輝度コントラストを低下させ，CG ハンドの視覚的な見えを劣化させると，視覚による体性感

覚の捕捉は劇的に弱まり，体性感覚が優位になった．また，CG ハンドの輝度コントラストを中程度にすると，視覚も体性感覚も優位になることはなく，両感覚が同程度に寄与した．さらに，視覚–体性感覚の両感覚呈示時の自己の手の位置における確度は，視覚のみ，あるいは，体性感覚のみの呈示で得られた確度よりも優れていた．そして本研究は，これらの結果をベイズモデルでうまく説明できることを見出した．これは，脳が，手の自己所有感覚生成のために視覚情報と体性感覚情報を統計的に最適な方法で統合していることを示唆している．

［5］波及効果と発展性

本研究成果で得られた知見は，身体周囲の物体と自己身体とのインタラクションにおける身体性自己意識の機能的役割の理解において重要な進展を与え，効率よく直観的に操作できるヒューマンインターフェースの開発への新たな指針を与える．また，本研究で明らかになった自己身体の能動性が自己意識の生成に関連するという成果は，幻肢痛と呼ばれる身体の一部を失った患者へのリハビリテーションにおける新たな方法を提供する可能性があり，今後の発展が期待される．将来的には，本研究成果を身体認知における視触覚統合システムの計算論的モデルの構築に発展させる必要があると考えている．

［6］主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 5 件）

1. 山崎隆紀，松宮一道，栗木一郎，塩入　論：ポインティング課題における空間表象の位置情報の影響，*VISION*，査読有，22(3), 149-163, 2010.
2. 松宮一道，安藤広志：視覚情報と体性感覚情報の不一致による迂回行動時の身体制御に用いられる視覚的手がかりの分離，*基礎心理学研究*，査読有，30(1), 2-10, 2011.
3. Matsumiya, K.: Haptic face aftereffect, *i-Perception*, 査読有，3(2), 97-100，2012.
4. Matsumiya, K.: Seeing a haptically explored face: visual facial expression aftereffect from haptic adaptation to a face. *Psychological Science*, 査読有，24(10), 2088-2098, 2013.
5. Matsumiya, K., Shioiri, S.: Moving one's own body part induces a motion aftereffect anchored to the body part. *Current Biology*, 査読有，24(2), 165-169, 2014.

〔学会発表〕（計 13 件）

1. 松宮一道，塩入　論：低次運動視処理機構における触覚統合，第二回多感覚研究会，2010 年 12 月 4 日，仙台市・東北大学
2. 松宮一道：見ている手の所有感覚によって増大する視覚運動残効，生理学研究所研究会「認知神経科学の先端 身体性の脳内メカニズム」，2010 年 10 月 22-23 日，岡崎市・生理学研究所
3. Matsumiya, K., Shioiri, S.: Effects of a seen hand on visuo-haptic motion processing, Asia-Pacific Conference on Vision (APCV), Hong Kong, July 2011.
4. Takahashi, M., Matsumiya, K., Kuriki, I., Rumi Tokunaga, R., Shioiri, S.: Similarity and difference in symmetry between the visual and haptic motional representations, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011.
5. Shioiri, S., Yamazaki, T., Matsumiya, K., Kuriki, I.: Visual and haptic mental rotation, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011.
6. Matsumiya, K., Shioiri, S.: Influence of active manipulation of an object on visual motion perception, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011.（招待講演）
7. Matsumiya, K.: Face aftereffect in haptic perception. 13th International Multisensory Research Forum (IMRF), Oxford, UK, June 19-22, 2012.
8. Matsumiya, K.: Visual face aftereffect from haptic exploration of a face. 43rd NIPS International Symposium, Face Perception and Recognition, Okazaki, Japan, October 31-November 3, 2012.
9. 松宮一道：身体の認知と視触覚統合，第 5 回ブレインウェア研究会，宮城県・東北大学，2012 年 12 月 25 日（招待講演）．
10. 松宮一道：顔表情知覚における視触覚統合，日本視覚学会，東京都・工学院大学，2013 年 1 月．
11. 松宮一道：身体性自己意識と視覚–体性感覚統合機構，「人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究」研究会，宮城県・東北大学，2013 年 3 月 1，2 日．（招待講演）
12. 松宮一道：顔と手の認知における視覚と触覚の相互作用，第 5 回多感覚研究会，神奈川県・NTT CS 研究所，2013 年 11 月 21，22 日（招待講演）．
13. 松宮一道，塩入　論：自己の手によって誘発される視覚運動残効，日本視覚学会 2014 年冬季大会，東京都・工学院大学，2014 年 1 月 22–24 日

〔図書〕（計 1 件）

1. 松宮一道：映像情報メディア工学大事典（「4 章 11 節 視覚と体性感覚」の執筆を担当），オーム社，2010 年，基礎編 p. 61–63

［7］その他，本プログラムの特性を活かした研究活動，成果等

東北大学医学部・出江研究室と東北大学電気通信研究室・石黒研究室の合同勉強会，東北大学電気通信研究所主催のブレインウェア研究会（代表　矢野雅文），東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会（代表　筒井健一郎）などで招待講演として本プログラムの研究内容を発表する機会があり，これらの発表を通して，新たなプロジェクトに発展する可能性が示唆された．また，本成果の一部が日経産業新聞，河北新報，朝日新聞に取り上げられた．

研究成果（最終年度）報告

４．４　窒化物半導体によるミリ波用トランジスタの研究

末光　哲也（極限高速電子デバイス研究分野）

［１］研究開始当初の背景

情報通信の大容量化・高度化に伴い，ミリ波，更にはサブミリ波帯で動作する電子デバイスには動作周波数と共に，高耐圧への要求も大きくなっている。一般にこれらの周波数帯に応用されているインジウム燐（InP）系デバイスは，耐圧が低いという欠点がある。この現状を打破する手段として，高耐圧特性に優れ，かつマイクロ波帯への応用が既に進んでいる窒化ガリウム（GaN）系半導体を用いた高電子移動度トランジスタ（HEMT: High Electron Mobility Transistor）をミリ波等，更なる高周波帯域へ拡張することが考えられる。窒化物半導体の代表である GaN は電子の飽和速度が高いため，材料特性の見地から高周波特性にとって有利である。更に，窒化物材料は耐熱性にも優れ，設計によってはシステムの冷却機構を省略して簡素化・省電力化を図ることが可能となる。以上の観点から，窒化物系半導体を用いたミリ波用トランジスタは次世代電気通信システムを担う半導体素子として有力な候補と考えられる。

［２］研究の目的

本研究では，電気通信研究所において GaN 系 HEMT の作製技術を確立し，将来の電気通信用集積回路への応用の基礎を構築することを目的とする。GaN 系 HEMT の特性においては，最大発振周波数（f_{max}）で 300GHz 以上を実現し，また，トランジスタのオフ状態耐圧（BV_{off}）との積，f_{max}・BV_{off} において InP 系 HEMT を上回る特性を開拓することを目標とする（図 1）。

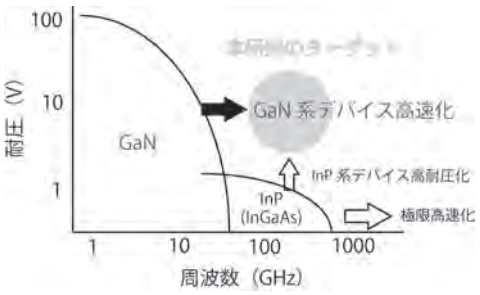


図 1. 各種トランジスタの動作周波数と耐圧

［３］研究の方法

3.1. GaN 系 HEMT 作製基礎技術の確立

研究プログラムの初年度は，まず第１に当研究グループにて GaN 系 HEMT を形成するためのプロセス要素技術を確立することを目的とした。このため GaN 系 HEMT として一般的な AlGaN/GaN エピタキシャル層構造を持つ結晶について，加工（エッチング）技術，及び，電極形成技術の検討を行った。使用したエピタキシャル層構造は，サファイア基板上にバッファ層，GaN チャネル層（200 nm），AlN スペーサ層（1 nm），$Al_{0.33}Ga_{0.67}N$ バリア層（7.7 nm）が有機金属気相成長法（MOVPE）により成長されている。室温での電子移動度と面電子密度はそれぞれ 1340 cm^2/Vs，8.27×10^{12} cm^{-2} である。エッチングについては，塩素系ガスを用いた ICP-RIE (Inductive Coupled Plasma Reactive Ion Etching)を用いて，GaN 系 HEMT の素子間分離に十分な 100nm 程度のエッチングを行うための最適条件を求めた。電極形成については，Ti/Al 金属を堆積した後，600ー800℃の RTA (Rapid Thermal Annealing) を行い，接触抵抗が極小となる昇温条件を求めた。これらの要素技術を元に，ゲート長 1μm の GaN 系 HEMT 作製プロセスのテストドライブを行った。

3.2. SiCN 薄膜を用いた絶縁ゲート GaN HEMT

3.1 に示した最も基本的な AlGaN/GaN ヘテロ構造を用いた HEMT では，ゲート電極における漏れ電流が大きくなることが懸念される。これはゲート電極がショットキー接合のため，順方向電流が流れるためである。この問題を解決するために，ゲートに MIS（Metal Insulator Semiconductor）構造を用いた絶縁ゲート AlGaN/GaN HEMT（図 2）を検討した。GaN 系 HEMT における MIS ゲート用絶縁体薄膜としては，一般には SiN あるいは SiO_2 が用いられるが，半導体との良好な界面を形成するためには，O_2 プラズマ処理や N_2O ラジカル処理などの前処理が必要であることが報告されている。

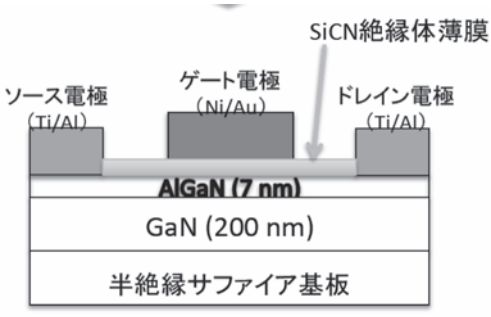


図 2. SiCN を用いた AlGaN/GaN MIS HEMT

本研究ではゲート絶縁膜として HMDS（ヘキサメチルジシラザン）を気化導入したプラズマ CVD 法によって堆積した SiCN を用いた。この堆積法では，350℃に加熱したステージ上に試料を設置して，水素ガスをベースとして HMDS 蒸気を添加して反応室に導入し，RF 電力を印加してプラズマを発生させ，厚さ 10nm の SiCN を AlGaN/GaN HEMT 基板上に堆積する。本手法の利点は，水素ガスによる試料表面の清浄化効果が期待されることから，他の前処理無しでも良好な MIS 界面が実現できる点である。

3.3. SiCN 鋳型を用いた T 型ゲート電極の形成

高周波トランジスタではゲート抵抗を抑えるために T 型ゲート電極が用いられる。しかし T 型ゲート電極頭部に起因する寄生容量がミリ波帯以上では無視できなくなる。そこで寄生容量を低減するための T 型ゲート電極形成法を検討した。

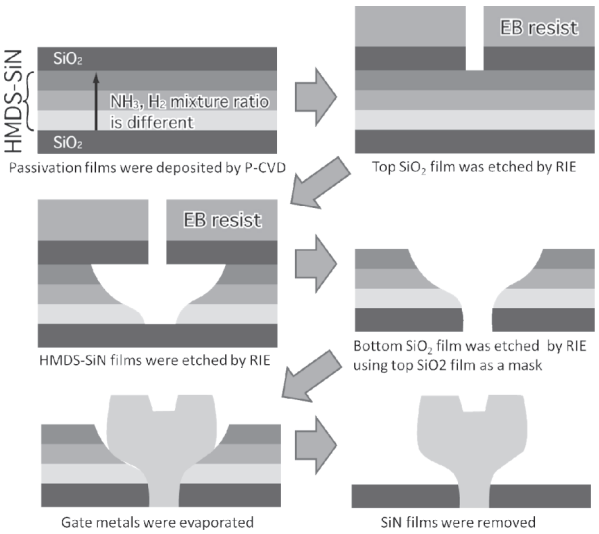


図 3. SiCN 鋳型を用いた T 型ゲート形成の流れ

これまで T 型電極の形成は 3 層以上の異なる種類のレジストを積層して T 字の頭部と脚部の寸法を制御する手法が主であった。しかしこの方法では T 型電極の断面形状を詳細に制御することが困難であった。一方でゲート長の微細化に伴い，T 型電極頭部が作る寄生容量がトランジスタの遮断周波数を律速する要因となることを，我々は確認している。このため，より細やかに T 型ゲート電極の断面形状を制御することを目的とした，新たな電極形成プロセス技術を提案した。具体的には，多層レジストを用いる代わりに，試料上にエッチング特性が異なるシリコン窒化膜（SiN）を連続的に堆積してゲート断面形状に加工した「鋳型」を作製して電極金属を流し込む手法を用いた（図 3）。SiN の堆積手法は，原料として HMDS（ヘキサメチルジシラザン）と水素，及び，アンモニアを用い，水素とアンモニアの混合比によって成膜される SiN への炭素の含有率が変わってくるため，エッチング特性が異なる SiN 膜が生成できる。

［4］研究成果

4.1. GaN 系 HEMT

図 4 に初めて試作したゲート長 1?m の GaN 系 HEMT の電気特性の評価結果を示す。ピンチオフや電流飽和において良好な特性が得られており，素子間分離や電極形成のプロセスの有効性を確認できた。また試料有効領域に含まれる素子の殆どで同様の電気特性を確認した。最大ドレイン電流密度は 300 mA/mm，最大相互コンダクタンスは 100 mS/mm であった。今後ゲート長や電極間隔を微細化することによってこれらの特性の向上を図る。

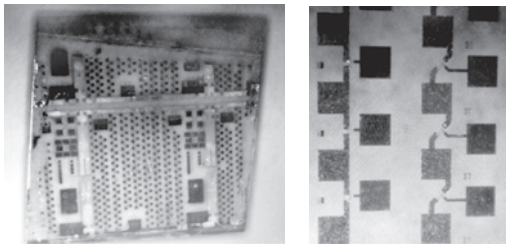


図 4. 試作した GaN 系 HEMT。(左)チップ全景，(右)素子の拡大写真

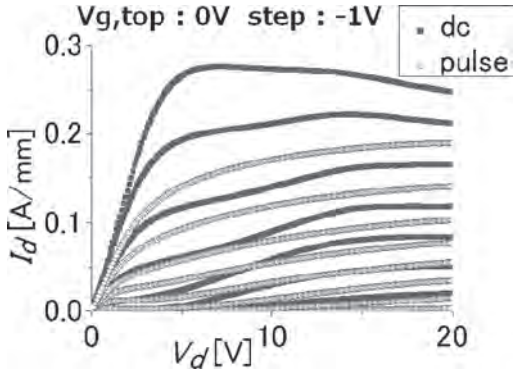
4.2. SiCN 薄膜を用いた絶縁ゲート GaN HEMT

図 5 に試作した AlGaN/GaN MIS HEMT の電気特性の評価結果を示す。SiCN 絶縁膜を導入したデバイスとしていないショットキーゲート構造のデバイスのそれぞれに対して I_d-V_{ds} 特性を比較した。ゲート長はいずれも 0.3 μm である。I_d-V_{ds} 特性のグラフにはゲート入力として DC 電圧を印加した場合とパルス電圧を印加した場合を示している。SiCN ゲート絶縁膜を用いていないショットキーゲート HEMT と比較して，ドレイン電流密度が増加しているのが確認できる。また，パルス入力を印加したときに DC 入力と比較して電流密度が低下する，い

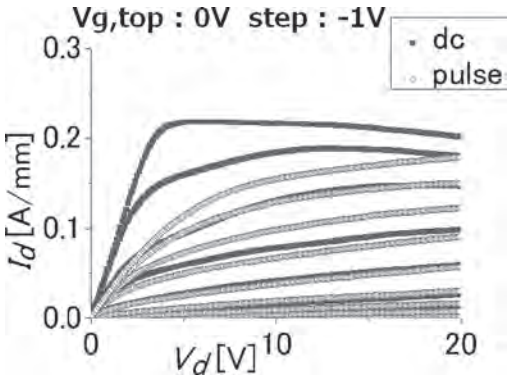
わゆる電流コラプスが，SiCN 絶縁ゲート構造の導入によって抑制された。絶縁ゲート HEMT における相互コンダクタンス（g_m）は 69 mS/mm，電流利得遮断周波数（f_T）は 25 GHz であった。

表 1 SiN MIS ゲート HEMT におけるコンタクト抵抗およびシート抵抗の測定結果

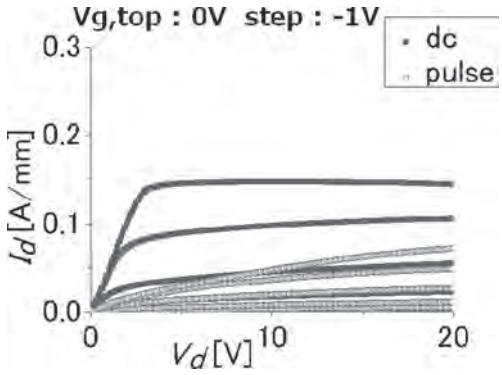
SiN	コンタクト抵抗 [Ω-mm]	シート抵抗 [Ω/square]
水素アニールあり	3.4	536
水素アニールなし	3.4	811



(a) SiCN MIS gate



(b) SiN MIS gate with hydrogen annealing



(c) SiN MIS gate without hydrogen annealing

図 5. AlGaN/GaN MIS HEMT の I_d-V_{ds} 特性

SiCN 堆積時に使用するガスのうち，96%以上は水素が占めている。また SiC では水素雰囲気でのアニールに表面クリーニングの効果があることが報告されている。GaN 系材料において同様の効果が得られるか確認するため，堆積時に水素を使用しない SiN を用い，その堆積前に水素アニールの有り・無しによる HEMT 特性への影響を評価した。SiN 膜はモノシラン，窒素，アンモニアを用いてプラズマ CVD で堆積し，SiN 堆積前に 350℃で 5 分間水素アニールを行った試料と，行っていない試料の 2 種類を用意した。

ゲート長 0.3 μm のデバイスの I_d-V_{ds} 特性を図 5(b)および(c)に示す。この結果から水素アニールは HEMT のしきい値電圧を負方向にシフトさせると共に伝達コンダクタンスを増加させた結果，ドレイン電流密度を増加させた。また，パルス動作における電流コラプスを抑制する効果があることが分かる。表 1 は水素アニールの有無によるオーミック電極のコンタクト抵抗とチャネルシート抵抗の測定結果を示す。コンタクト抵抗は水素アニールによって変化しないが，シート抵抗の値は減少している。HEMT におけるしきい値電圧のシフトとシート抵抗の変化は，GaN チャネルにおけるキャリア密度が水素アニールによって増加していることを示唆している。

水素アニールの AlGaN 表面への影響を確認するため，原子間力顕微鏡（AFM）による観測を行った。その結果，リソグラフィ工程を行う前の AlGaN 表面の二乗平均粗さ（RMS）は 0.262 nm だったものが，リソグラフィ工程後には 0.819 nm まで増加した。この試料について，水素アニールを 5 分間行うと RMS は 0.619 nm に減少し，10 分間行うと RMS は 0.314 nm とリソグラフィ工程前に近い値まで回復することが確認され，水素アニールによる AlGaN 表面のクリーニング効果が確認された。

図 6 は，HEMT の伝達コンダクタンス（g_m）の周波数分散を評価した結果である。即ち，各周波数において S パラメータ測定より算出した $g_m(f)$ を DC にて測定した $g_m(0)$ に対する比として表し，その周波数依存性を示している。この結果から，5 GHz 以下の周波数での $g_m(f)$ の低下が水素アニールによって抑えられることがわかる。今回デバイス作製の際に水素アニールを 5 分間行っているが，AFM 観測の結果によると，これでは表面の平坦性の回復には不十分である。したがって水素アニールを十分に行うことで，低周波領域での $g_m(f)$ の低下をさらに改善できることが期待される。一方，高周波領域での $g_m(f)/g_m(0)$ は SiN 絶縁膜では水素アニールの有無によらず同じ傾向を示し，SiCN 絶縁膜導入により

大きく増加していることが分かる。したがってSiCN自体もSiNと比べて良好な絶縁膜であると言え，今後のミリ波帯応用を目指したGaN系HEMTの開発において，ゲート絶縁膜として有効性の高い材料であることが分かった。

ゲート長100nmのHEMTにおける電流利得の周波数特性を評価した結果，電流利得遮断周波数は37GHzであった。これは同じゲート長のショットキーゲート型HEMTと比較してSiCN MIS構造の導入によって約30%向上した。この遮断周波数とゲート長から見積もられる電子速度は約 0.3×10^7 cm/s と，予想される最大電子速度より一桁小さい。電子が十分に加速されて最大電子速度を達成させるには，より短いゲート長を実現する必要がある。

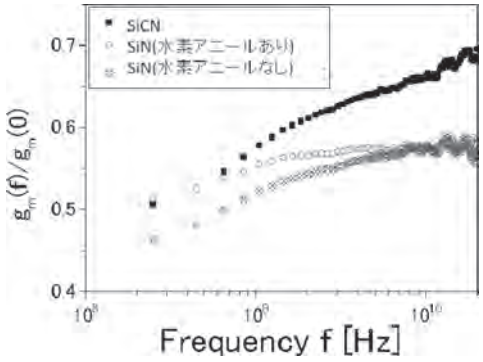


図6. DC伝達コンダクタンス $g_m(0)$に対するRF伝達コンダクタンス $g_m(f)$の比の周波数依存性

4.3. SiCN鋳型によるT型ゲート電極

提案したT型ゲート電極形成手法の効果を実証すべく，3層のSiCNによって校正される鋳型を作製し，InP系HEMTに適用した。その結果，SiCN鋳型によるゲート電極断面形状の違いと，それに伴うトランジスタ特性への効果を確認することが出来た。より緻密な電極形状の制御を行うため，鋳型となるSiCN薄膜の堆積において，水素・アンモニアで構成されるベースガスの混合比を更に細かく10段階に変化させて，組成の異なる10層のSiCNからなる鋳型を形成し，エッチングによる加工を行った。作製した鋳型の断面SEM写真を図7に示す。3層のSiCNの場合と比較して，より理想に近いゲート断面構造を反映した鋳型が形成できることを確認した。SiCN鋳型を用いて作製したゲート電極の断面を図7に示す。従来の工法と比較して，よりなめらかな曲線形状を持つ電極の形成が可能となった。

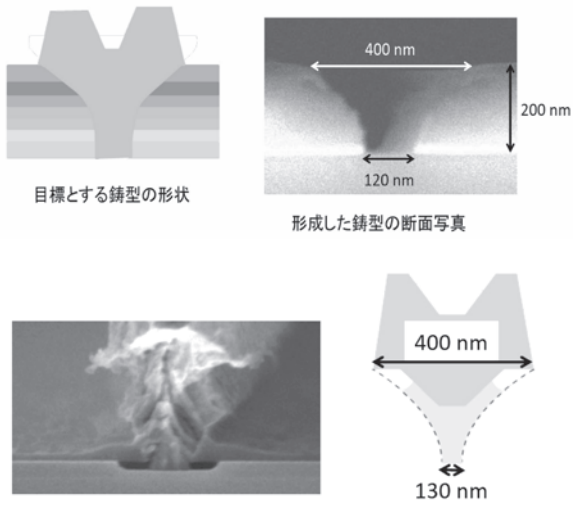


図7. 多層SiCN鋳型によるT型ゲート電極の断面

今回試作したゲート長0.3μmのGaN系HEMTの耐圧については，測定系の最大電圧（100V）を超えており，正確な評価のためには，短ゲート長により高い周波数特性を実現するか，より高電圧に対応した測定系を用意する必要がある。また，最大発振周波数（f_{max}）は，測定系の寄生発振等の影響により，有意な評価が出来なかったため，高周波特性は電流利得遮断周波数で評価した。目標である f_{max}・BV_{off}の評価の実現のため，耐圧評価のための高電圧測定も含めて，GaN系トランジスタに完全に対応できるデバイス特性の評価系を構築することが今後の課題のひとつと考えている。

［5］波及効果と発展性

本プログラムによってGaN系トランジスタの作製技術を確立したことによって，平成24年度には科研費・基盤研究(C)「GaN系HEMTにおける電子速度の詳細評価の研究」に採択され，今後もトランジスタとしての完成度と集積回路への応用を進めていく。

本プログラムを推進するに当たり，窒化物系材料の結晶成長を研究されている，東北大学金属材料研究所の松岡隆志氏のグループと協力関係を構築することが出来た。氏は高い電子移動度が期待されるInGaNの形成等，特色のある結晶成長技術を持っておられるので，それらを電子デバイスへ展開するために協力関係を維持･発展させていくつもりである。

窒化物系半導体トランジスタは，2GHz帯ワイヤレス通信の基地局への応用が進んでいるが，高周波性能の向上により更に周波数の高い大容量通信への応用も可能となる，あるいは，同一周波数においては，より高効率な電力増幅が可能となる。更に耐熱性に優れたGaN系材料の特色から，システムの冷

却機構を省略することが可能となり，省電力化・CO_2 排出削減を目指した電気通信システムの構築への展開が期待される。

［6］主な発表論文等

雑誌論文、学会発表、図書，特許等

[1]. 赤川啓介，吉田智洋，尾辻泰一，末光哲也，”**HMDS-SiN** を鋳型として用いた **T** 型ゲート電極の形成,” 第 58 回応用物理学関係連合講演会，神奈川, 24a-KS-5, Mar. 24-27, (2011).

[2]. T. Yoshida, K. Akagawa, T. Otsuji, and T. Suemitsu, “InGaAs HEMTs with T-gate electrodes fabricated using HMDS-SiN mold,” 38th Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS), Berlin, Germany, pp. 473-474, May 22-26, (2011).

[3]. 吉田智洋，赤川啓介，尾辻泰一，末光哲也，“HMDS-SiN鋳型により作製したT型ゲート電極 InGaAs HEMT のゲート遅延解析,” 第 72 回応用物理学会学術講演会，山形，31a-A-3, Aug. 30-Sep. 2, (2011).

[4]. T. Suemitsu, “Chapter 5.03: GaAs- and InP-based high-electron-mobility transistors,” in *“Comprehensive Semiconductor Science and Technology,”* Elsevier, pp. 84-112 (2011).

[5]. T. Yoshida, K. Akagawa, T. Otsuji, T. Suemitsu, “InGaAs HEMTs with T-gate electrodes fabricated using HMDS SiN mold,” *Phys. Status Solidi C*, **9**, pp. 354-356 (2012).

[6]. 吉田智洋，鹿野優毅，尾辻泰一，末光哲也，“多層SiCN鋳型を用いたT型ゲート電極の断面形状制御,” 第 59 回応用物理学関係連合講演会，東京, 18p-E2-3, Mar. 15-18, (2012).

[7]. 鹿野優毅，小林健悟，吉田智洋，尾辻泰一，片山竜二，松岡隆志，末光哲也，“SiCN をゲート絶縁膜として用いた AlGaN/GaN HEMT,” 第 59 回応用物理学関係連合講演会，東京，18a-GP7-3, Mar. 15-18, (2012).

[8]. K. Kobayashi, M. Kano, T. Yoshida, R. Katayama, T. Matsuoka, T. Otsuji, T. Suemitsu, “AlGaN/GaN MIS-gate HEMTs with SiCN gate stacks,” 39th Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS), Santa Barbara, USA, Aug. 27-30, Mo-1B.3 (2012).

[9]. T. Yoshida, K. Kobayashi, T. Otsuji, T. Suemitsu “InGaAs HEMTs with T-gate electrodes formed by multi-layer SiCN molds,” 39th Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS), Santa Barbara, USA, Aug. 27-30, Mo-P.35 (2012).

[10]. 小林健悟，吉田智洋，尾辻泰一，片山竜二，松岡隆志，末光哲也，“AlGaN/GaN MIS ゲート HEMT 形成における H2 アニールの効果,” 第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学, Sep. 11-14, 11a-PA5-9 (2012).

[11]. 吉田智洋，佐藤昭，尾辻泰一，末光哲也，“InGaAs系HEMTにおけるT型ゲート形状の静電場解析,” 第 73 回応用物理学会学術講演会，愛媛大学, Sep. 11-14, 11a-PA5-4 (2012).

[12]. K. Kobayashi, M. Kano, T. Yoshida, R. Katayama, T. Matsuoka, T. Otsuji, T. Suemitsu, “AlGaN/GaN MIS-gate HEMTs with SiCN gate stacks,” *Phys. Status Solidi C*, **10**, pp. 790-793 (2013).

[13]. T. Yoshida, K. Kobayashi, T. Otsuji, T. Suemitsu, “InGaAs HEMTs with T-gate electrodes formed by multi-layer SiCN molds,” *Phys. Status Solidi C*, **10**, pp. 773-776 (2013).

[14]. 小林健悟，吉田智洋，尾辻泰一，片山竜二，松岡隆志，末光哲也，“SiCN ゲート絶縁膜を用いた AlGaN/GaN MIS ゲート HEMT,” 信学技報, vol. 112, no. 380, pp. 75-78 (2013).

[15]. 吉田智洋，小林健悟，尾辻泰一，末光哲也，“多層 SiCN 鋳型を用いた T 型ゲート電極を用いた InGaAs HEMT,” 信学技報, vol. 112, no. 380, pp. 79-84 (2013).

[16]. 吉田智洋，小林健悟，尾辻泰一，末光哲也，“多層 SiCN 鋳型による 50nm 級 T 型ゲート InGaAs HEMT の作製,” 第 60 回応用物理学春季学術講演会，神奈川工科大学, Mar. 27-30, 29a-G11-7 (2013).

[17]. 小林健悟，吉田智洋，畠山信也，尾辻泰一，末光哲也，“多層 SiCN 絶縁膜による AlGaN/GaN HEMT 用傾斜フィールドプレートの形成,” 電子情報通信学会総合大会，岐阜大学，Mar. 19-22, C-10-7 (2013).

［7］その他，本プログラムの特性を活かした研究活動，成果等

窒化物系材料を用いたトランジスタの分野において先導的な成果を挙げている，マサチューセッツ工科大学（MIT）の Tomas Palacios 准教授と研究交流の環境を構築した。平成 23 年にボストンでの国際会議に参加した際に MIT の氏の研究室を訪問し，本プログラムを紹介して GaN 系トランジスタの現状や課題について多くの情報を得た。また，平成 25 年には，本プログラムで GaN 系 HEMT の研究に

携わった学生を氏の研究室に派遣し，2 ヶ月間滞在させて HEMT の耐圧評価等において共同研究を実施した。

第 5 章　　共同プロジェクト研究

５．１　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE（Center of Excellence）として、その成果をより広く社会に公開し、また研究者コミュニティーがさらに発展するために、共同利用・共同研究拠点として所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本研究所の学問の性格上、単なる設備の共同利用ではなく、本研究所教員との共同研究を前提としているところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは、情報通信における技術・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及び実施は、国・公・私立大学、国・公立研究機関、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６名、学内３名と学外４名の合計１３名の委員により構成されている。共同プロジェクト研究委員会の使命は、本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら、所内外の意見を広く求め、研究所の目的である「人間性豊なコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては、公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会が設置されている。

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

今年度は、平成２５年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の４テーマを取り上げることとした。

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

○平成２５年度共同プロジェクト研究

平成２５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７２件（A：３８件、B：３０件、S：４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、３８件のうち３０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、３０件のうち２２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７件、区分 B の１４件である。さらに、区分 S は情報通信分野において特に力点を置いて研究を推進すべき技術・システム上の課題について、本研究所が中心となりつつ、相乗効果や補完効果の期待できる他大学附置研究所等の研究組織とネットワークを構築し、研究を共同で推進する組織間連携プロジェクトである。

共同プロジェクト研究

平成２５年度共同プロジェクト研究採択一覧

Ｈ２３／Ａ０２	カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスの研究
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
Ｈ２３／Ａ０４	高度歪異種原子層配列Ⅳ族半導体構造形成とナノデバイスへの応用に関する研究
Ｈ２３／Ａ０６	ディペンダブル・エアのためのヘテロジニアスネットワークローミング技術の基礎研究
Ｈ２３／Ａ０８	再構成神経回路網の情報伝達
Ｈ２３／Ａ０９	フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究
Ｈ２３／Ａ１０	薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスの設計開発とその応用展開に関する研究
Ｈ２３／Ａ１１	サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムに開する研究
Ｈ２３／Ａ１２	モノラル入力信号に基づく２次元音源定位の研究
Ｈ２４／Ａ０１	高輝度量子もつれ光源の開発
Ｈ２４／Ａ０２	薄膜電解質を用いた固体酸化物形燃料電池の開発
Ｈ２４／Ａ０３	グラフェンの精密な界面制御とナノデバイス応用
Ｈ２４／Ａ０４	プラズマナノバイオ・医療の基礎研究
Ｈ２４／Ａ０５	高感度周期構造表面プラズモンセンサの開発
Ｈ２４／Ａ０６	Ⅳ族半導体量子ヘテロ構造の高集積化のための原子層制御プラズマ CVD プロセスの開発
Ｈ２４／Ａ０７	ランガサイト系圧電単結晶の 1000℃までの高温用音響センサーデバイスの設計・評価と作製
Ｈ２４／Ａ０８	半導体量子ナノ構造の電子・核スピン物性の研究
Ｈ２４／Ａ１０	共鳴トンネル素子を用いた THz 送受信システムの研究
Ｈ２４／Ａ１１	前庭情報による音空間歪みに関する研究
Ｈ２４／Ａ１２	情動ネットワーキングシステムに関する基礎的研究
Ｈ２４／Ａ１３	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
Ｈ２４／Ａ１５	超分散環境におけるコンテンツ指向コンピューティングに関する研究
Ｈ２４／Ａ１６	共生コンピューティングのためのリポジトリ型マルチエージェントフレームワークの協調機構に関する研究
Ｈ２５／Ａ０１	カルコゲナイドナノ構造の作製と物性探索およびメモリー応用
Ｈ２５／Ａ０２	InGaAs　HEMT を用いた大電力テラヘルツ信号源の研究
Ｈ２５／Ａ０３	IV 族半導体-金属合金化反応制御による強磁性ナノドットの高密度・自己組織化形成と磁気的特性
Ｈ２５／Ａ０４	強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子構造と物性発現機構の解明
Ｈ２５／Ａ０５	大規模超伝導量子検出器の実用化に関する研究
Ｈ２５／Ａ０６	感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研究
Ｈ２５／Ａ０７	脳内の多チャネル色情報表現に関する研究
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／Ａ０９	視覚モデル構築のための協調的環境に関する研究
Ｈ２５／Ａ１０	包囲型スピーカアレイを利用した音空間レンダリングの評価
Ｈ２５／Ａ１１	ブレインウェアの情報原理とその応用の研究
Ｈ２５／Ａ１２	不定な環境における適応能の階層横断的解明と工学的応用
Ｈ２５／Ａ１３	「場」と対人コミュニケーションに関する研究
Ｈ２５／Ａ１４	スマートエイジングのための知的センシング環境
Ｈ２５／Ａ１５	ネットワークの知的管理のための情報取得・活用に関する研究
Ｈ２３／Ｂ０２	ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する研究
Ｈ２３／Ｂ０３	将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究

Ｈ２３／Ｂ０４　電磁鋼板における新たな損失低減化技術
Ｈ２３／Ｂ０５　機能性圧電材料と高度通信デバイス応用に関する研究
Ｈ２３／Ｂ０６　超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究
Ｈ２３／Ｂ０８　次世代 RFIC 用受動・能動回路技術とその応用
Ｈ２３／Ｂ０９　自己身体の運動が関与する多感覚統合
Ｈ２３／Ｂ１１　高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・クラウドシステム基盤
Ｈ２４／Ｂ０１　プラズマ流による高機能性発現と反応場形成の基礎と応用
Ｈ２４／Ｂ０２　免許不要帯無線通信方式
Ｈ２４／Ｂ０３　知的ナノ集積システムの課題と展望
Ｈ２４／Ｂ０５　災害復興エンタテインメントコンピューティング
Ｈ２４／Ｂ０６　アジア太平洋地区におけるＨＣＩ分野の新学会設立
Ｈ２４／Ｂ０７　酸化物表面の機能化とナノ・デバイスへの応用
Ｈ２４／Ｂ０８　光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究
Ｈ２４／Ｂ０９　生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御
Ｈ２４／Ｂ１０　高次元ニューラルネットワークの情報処理能力
Ｈ２４／Ｂ１１　人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究
Ｈ２４／Ｂ１２　超高速コンピューティング新概念要素技術の国産実用化展開
Ｈ２４／Ｂ１３　ディジタルコンテンツの高付加価値化技術に関する研究
Ｈ２５／Ｂ０１　非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測による新規ナノデバイスの開拓研究
Ｈ２５／Ｂ０２　微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成
Ｈ２５／Ｂ０３　次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究
Ｈ２５／Ｂ０４　磁性の電界制御の物理と応用
Ｈ２５／Ｂ０５　新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開
Ｈ２５／Ｂ０６　低炭素エネルギー社会を実現する電磁波技術に関する研究
Ｈ２５／Ｂ０７　物体の表面属性の視知覚に関わる脳内メカニズムの研究
Ｈ２５／Ｂ０８　身体性に基づく人間の適応的運動機能の理解
Ｈ２５／Ｂ０９　マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と民生応用
Ｈ２５／Ｂ１０　メタプログラムに対する論理的アプローチ
Ｈ２３／Ｓ１　スーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術開発
Ｈ２３／Ｓ２　スピントロニクス国際連携
Ｈ２３／Ｓ３　ナノエレクトロニクスに関する連携研究
Ｈ２４／Ｓ１　人間の機能を取り込んだ革新的概念による共感計算機構

○　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。例年、研究の公募は、1 月中旬に来年度の研究の公募要項の公開、2 月 25 日前後が申請書の提案締切となっており、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 月下旬頃に申請者の所属機関の長を通じて通知される。研究期間は、4 月 20 日より 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して頂くことになっている。なお、上の「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるので、申請にあたっては本研究所に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、次のウェブページにて広報している：

URL: http://www.riec.tohoku.ac.jp/nation-wide/index-j.shtml

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

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号 H23／A02

カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスの研究

［1］組織
代表者：内野　俊
（東北工業大学工学部知能ｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ学科）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：末光　哲也
（東北大学電気通信研究所）
N. I. Zheludev
(University of Southampton, ORC)
延べ参加人数：8人

研究費：物件費18万6千円，旅費0円

［2］研究経過

カーボンナノ材料であるグラフェンは高移動度、高電流密度耐性、フレキシビリティー等の特性から高性能デバイスへの応用が期待され、近年ますますその重要性が増している。そこで、本プロジェクトは、グラフェン特有の電気的特性を利用したナノ情報デバイスを創成することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第 3 年度にあたる。前年度はゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合デバイスのための作製プロセスの構築を行い、デバイス高性能化のためには金属／グラフェン間の接触抵抗の低減が必要なことがわかった。そこで、本年度は前年度の成果を踏まえながら、作製プロセスの見直しによる低接触抵抗の実現とデバイス作製を行った。

以下に研究活動状況の概要を記す。試料の作製を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。完成した試料の電気的測定を尾辻研究室の装置、デバイス構造解析を東北工業大学の装置を用いて行なった。実験および分析は、平成25年5月から平成26年2月にかけて4回／月の頻度で行い、研究成果を学術論文および共同研究プロジェクト研究発表会において発表した。

［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、金属／グラフェン間の接触抵抗低減を目的として、グラフェン表面を Al_2O_3 膜で保護し、電極形成直前に酸素プラズマ前処理を行った結果、接触抵抗 $5x10^{-6}\ \Omega\cdot cm^{-2}$ を得て、相互コンダクタンスを改善した。第2に、ゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合を作製し、デバイス動作を確認した。

図 1 に提案デバイスの概念図と動作原理を示す。本デバイスでは、グラフェンへのドーピングをゲート電極からの電気的ドーピングで行なう。グラフェン／シリコンヘテロ接合にゲート電極を付加することにより、グラフェンのフェルミ準位の制御が可能になる。その結果、グラフェン／シリコンヘテロ接合の立ち上がり電圧をゲート電圧で制御するスイッチ素子が実現できる。

まず最初に、金属電極（Pd）／グラフェン界面の接触抵抗を低減することを目的として、電極形成直

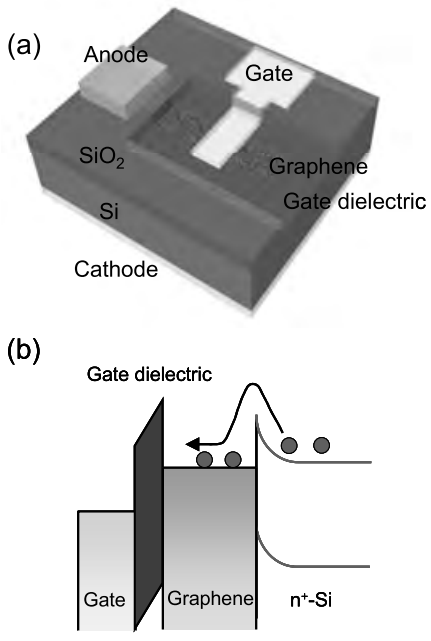


図1(a) ゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合の概念図。(b) ゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合のエネルギーバンド図。

前のプラズマ表面処理（O_2；17 sccm，Ar；36 sccm）の効果を調べた。試料作製に際して、基板としてSiO_2（膜厚285 nm）/ 高濃度P型シリコン上の単層グラフェン基板（Graphene Lab）を用いた。単層グラフェンをドライエッチでパターニングした後、リフトオフでグラフェン上にPd電極を形成した。表1に試料作製条件を示す。試料#2-4は、電極形成前にプラズマ表面処理を行い、試料#4は更に作製プロセス中グラフェンをAl_2O_3膜で保護した。Al_2O_3膜は、Al（膜厚3 nm）をグラフェン上に堆積した後に自然酸化することによりAl_2O_3膜を形成する工程を2回行って作製した。

本実験では、(1) TLM法による接触抵抗、(2) SPMによる表面粗さ、(3) バックゲートFETの電流・電圧特性を評価した。表1にTLM法による接触抵抗の実験結果を示す。プラズマ表面処理により、接触抵抗を従来の約1/100に低減することができた。本実験で得られた接触抵抗値は、これまでに報告されている低接触抵抗値とほぼ同等である。しかし、プロセス時間が短いため、特性が試料間でばらついた。

図2にプラズマ表面処理前後のグラフェン表面をSPMで観測した結果を示す。表面の微細構造がプラズマ表面処理後に消失して、滑らかになっているのが分かった。この結果から、プラズマ表面処理によってグラフェン表面のスカムなどが除去されて低接触抵抗が得られたと考えられる。

図3にプラズマ表面処理のFETの電流・電圧特性への影響を調べた結果を示す。比較のため、プラズマ表面処理を行っていない試料の結果も示す。試料#1と#3を比較すると、プラズマ処理によりON電流が改善したのがわかる。更に、Al_2O_3膜でグラフェンを保護すると（試料#4）、グラフェンと保護膜の界面でキャリアが散乱されるためのシート抵抗が3-7倍大きくなるが、低接触抵抗が得られたことにより約3倍の相互コンダクタンスが得られたと同時にディラック点が低電圧側にシフトした。また、強いプラズマ表面処理を行った試料（#2）はプラズマ処理を行っていない試料と比較して、約10倍のON電流が得られた（測定結果の提示なし）が、ディラック点が100 V付近を示し、製造プロセス起因のドーピングを抑制することができなかった。今後、プロセス条件の最適化が課題として残った。

次に、ゲート付きグラフェン／シリコン・ヘテロ接合について検討した。基板は、前述のCVD単層グラフェン基板を用いた。図4aにグラフェンのラマン分光測定結果を示す。2Dバンド・ピークがGバンド・ピークより大きいことから単層グラフェンであることがわかった。図4bに作製したデバイスのSEM像を示す。昨年度はデバイス作製過程において、グラフェンとシリコン基板のヘテロ接合を作製するのにHF溶液を用いてグラフェン下のSiO_2膜を除去したため、グラフェンが折り重なったり、グラフェン下

表1　接触抵抗評価用試料の作製条件

Sample	前処理条件	接触抵抗(Ω·cm^{-2})	シート抵抗(Ω/?)
#1	なし	3.0E-04 *	660-1500 *
#2	100W for 1s	1.2E-06	500
#3	50W for 3s	N/A	N/A
#4	50W for 3s + Al_2O_3	5.0E-06	4200

*参考データ

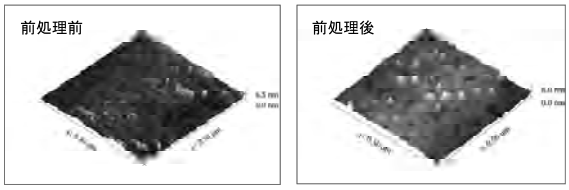


図2　プラズマ前処理前後（#2）のグラフェン表面（SPM像）

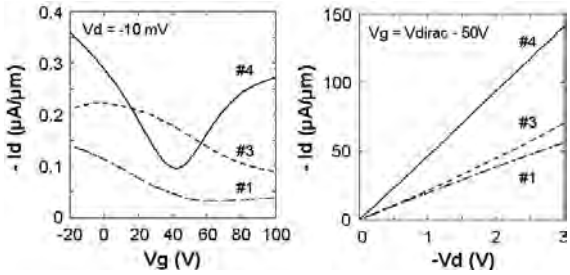


図3　グラフェンFET（バックゲート）の電流・電圧特性

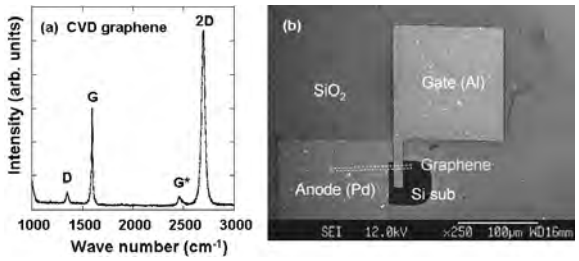


図4　(a) CVDグラフェンのラマンスペクトル，(b) ゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合のSEM像

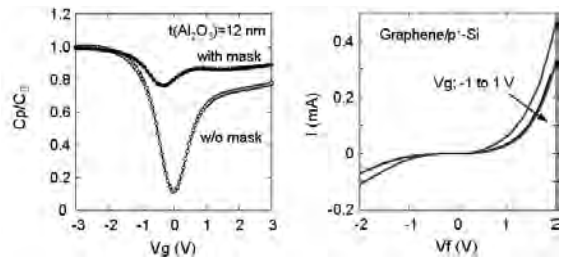


図5　(a) Al_2O_3ゲートのC-V特性，(b) ゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合の電流・電圧特性

に SiO_2 膜が残ってしまった。そこで、今年度は HF ベーパーエッチを用いてグラフェン下の SiO_2 膜を除去した。その結果、グラフェンは折り重なることなく、シリコン基板と接触した。しかし、プロセス簡略化のために Al_2O_3 ゲート絶縁膜をゲート電極をリフトオフで作製するときに用いるレジストパターンを通して形成した結果、ゲートリーク電流が大きくなった。図 5a にグラフェン上に形成した Al_2O_3 ゲートの C-V 特性を示す。比較のため、ウェーハ全面に Al_2O_3 膜を形成した試料の結果も示す。リーク電流が大きいため、Vg=0 V 付近の容量が大きくなった。また、絶縁膜破壊電圧も約 5 V から約 2V へと低下した。リーク箇所として、パターンエッジ付近が考えられる。今後はウェーハ全面に Al_2O_3 ゲート絶縁膜を形成した後に、ゲート電極を作製するプロセスを試みる。

図 5b にゲート付きグラフェン／シリコンヘテロ接合の典型的な電流・電圧特性を示す。順方向電流がゲート電圧により変化することが分かった。しかし、電流 ON/OFF 比は Vf = 0.5 V において約 3 だった。電流 ON/OFF 比が低かった原因として、高濃度 P 型シリコン基板を用いたことやゲート耐圧が低いため、デバイスにゲート電圧を十分に印加できなかったことが考えられる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

金属／グラフェン間の接触抵抗の低減は、グラフェンデバイスを作製する上で重要な課題である。従って、本プロジェクトで開発した接触抵抗低減技術は、今後様々なグラフェンデバイスの開発に貢献すると考えられる。

本プロジェクトでは、市販のグラフェン基板を用いたが、今後は独自に開発した金属単結晶上のエピタキシャル成長単層または２層の単結晶グラフェンを用いてデバイス高性能化を図る。また、本プロジェクトで明らかになったグラフェン／シリコンヘテロ接合のダイオード特性から、グラフェン／シリコンデバイスの太陽電池や光検出器への応用が期待できる。本成果は科学研究費基盤研究 C ”エピタキシャル多層薄膜による低損失プラズモニック・メタマテリアルの実現” に結びつき、今後の発展が期待できる。

［４］成果資料

(1) T. Uchino, F. Shimpo, T. Kawashima, G. Ayre, D. C. Smith C. H. de Groot, and P. Ashburn, "Electrical transport properties of isolated carbon nanotube/Si heterojunction Schottky diodes," Appl. Phys. Lett, 103, (2013) 193111.

(2) STARC ワークショップ（2013 横浜）“カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスと CMOS 融合化技術の研究、” 内野 俊

採択回数	1　2　③

採択番号　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

［１］組織
代表者：岡本 浩
（弘前大学大学院理工学研究科）
対応者：庭野 道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
庭野 道夫（東北大学電気通信研究所）
室田 淳一（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）
小野 俊郎（弘前大学大学院理工学研究科）
豊田 宏（広島工業大学工学部）
福田 幸夫（諏訪東京理科大学
システム工学部）
王谷 洋平（諏訪東京理科大学
システム工学部）
延べ参加人数：15人
研究費：物件費20万5千円，旅費26万9千円

［２］研究経過

次世代の超高集積・高速・低消費電力MOS（MIS）デバイスの実現においてはhigh-k絶縁膜並びに高移動度チャネル層の導入が必要とされる。チャネル層の候補としては電子と正孔両方の移動度がSiより大きいGeが最有力候補の１つであるが、ネイティブな酸化膜構造である従来の$Si\text{-}SiO_2$-MOS構造に対し、界面準位の低減が課題とされている他、界面近傍の絶縁膜中におけるトラップの存在も報告されている。本プロジェクトではこれまでに研究分担者の小野、豊田らが開発したECR（electron cyclotron resonance）プラズマ法による低密度界面準位Ge-MIS構造を対象とし、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可能性のあるトラップの評価技術を開発するとともに、界面準位や欠陥のプロセス条件依存性を明らかにすることにより、同構造のさらなる高品質化を目的として研究を行ってきた。

本プロジェクトは本年度が３年目であり、一昨年度明らかにしたECRプラズマ窒化膜を用いたGe-MIS構造（GeN_x/Ge界面）における優れた界面準位密度が得られるプロセス条件をもとにし、昨年度はコンダクタンス法による界面準位密度のより詳細な分布状況の評価、並びにDLTS（Deep Level Transient Spectroscopy)法による界面近傍の界面準位以外の欠陥に関する評価を進めた。本年度は引き続きこれらの検討を進めるとともに、新たな展開として、研究分担者の福田、王谷らによって開発された、酸化剤としてマイクロ波生成原子状酸素を用いたALD（Atomic Layer Deposition）法による Ge基板上へのAl_2O_3薄膜形成技術によって形成されたAl germanate膜を界面層とするGe-MIS構造の作製とその評価を行った。

なお、本プロジェクトにおいてはこれまでに研究分担者の小野、豊田、福田、室田、櫻庭らが実施した東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト研究（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」、平成２０～２２年度、東北大対応教員：室田淳一教授）による成果を活用している。

本プロジェクトの研究活動は前記薄膜プロセスによるGe-MIS構造の作製、Ge-MIS界面並びに界面近傍の特性評価手法の検討、同特性のプロセス条件依存性評価を軸としたものである。メンバー間の通常の打合せはｅメールによる紙上会議にて実行し、今年度の最終打合せを東北大学電気通信研究所にて実施した（H26.3月）。

研究成果は学術論文誌や国際会議等による発表で一定の評価を得るとともに、本プロジェクトの目的である高品質なGe-MIS構造の作製方法並びにその評価手法の確立に向けて確かな可能性を見いだした。特に今回新たに取り組んだgermanate膜を用いたGe-MIS構造は、界面準位フリーとなる可能性が報告されている大変興味深い系であり[1]、本検討においても早速ECRプラズマ法によるGe-MIS構造と同等の界面準位密度が得られるなどの成果が得られている。大きな可能性を秘めた材料系であると考えており、今後も検討を進めていく予定である。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、酸化剤としてマイクロ波生成原子状酸素を用いたALD法によるGe基板上へのAl_2O_3薄膜形成過程においてAl germanateが自発的に形成されることが見いだされた。この絶縁膜の特徴はGe界面付近から金属電極側に向かうにつれて、その組成がAl germanateからAl_2O_3にグレーデッドに変化している点である。以下、第2の成果であるこの構造の評価結果について、以前から検討を進めているECRプラズマ法によるGe-MIS構造（Si_3N_4/GeN_x/Ge）と比較しながら説明していく。

評価した試料は(100) p型Ge基板上に前記ALD法を用いて作製したAl germanate (11 nm)/Ge構造であり、電極形成後にN_2+10%H_2雰囲気中で400℃-30分間の熱処理を行っている。図1はこの構造の180 Kと室温における*C-V*特性である。*C-V*曲線が小さい電圧で反転から蓄積状態まで変化しており、180 Kと室温における特性差も小さいことから、界面準位密度の低い良好な界面が得られていることがわかる。この特性はECRプラズマ法Ge-MIS構造のものとほぼ同等である。

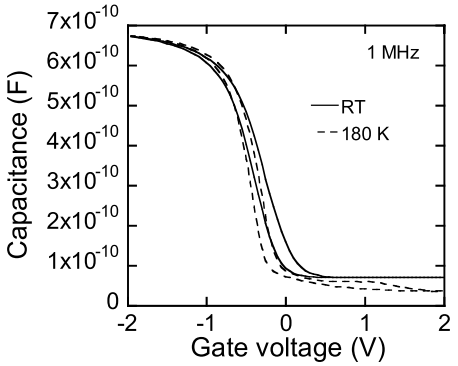


図1． Al-germanate MIS構造の*C-V*特性

界面準位密度を定量的に求めるため、低温コンダクタンス法（測定温度180 K）と室温コンダクタンス法[2]による評価を行った。界面準位密度分布を図2に示す。ここで本試料はp型基板を用いているため、低温コンダクタンス法からはバンドギャップ下半分、室温コンダクタンス法からはバンドギャップ上半分の界面準位密度が得られている。図2より、界面準位密度はECRプラズマ法Ge-MISと同等の低い値が得られており、そのエネルギー分布もミッドギャップに対しほぼ対称であることがわかった。

この試料の界面近傍のトラップを評価するためにDLTS測定を行った。図3にDLTSスペクトル（スペクトルがピークを示す時定数τ=3.3 ms）の捕獲バイアス電圧（*Vc*）依存性を示す。

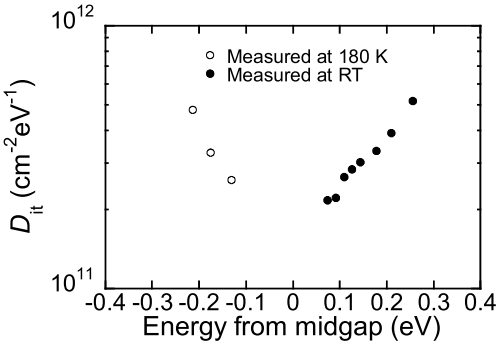


図2.コンダクタンス法によって評価したAl-germanate MIS構造の界面準位密度分布

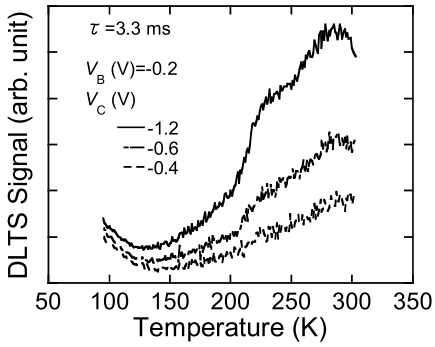


図3.Al-germanate MIS構造のDLTSスペクトルの捕獲バイアス電圧依存性

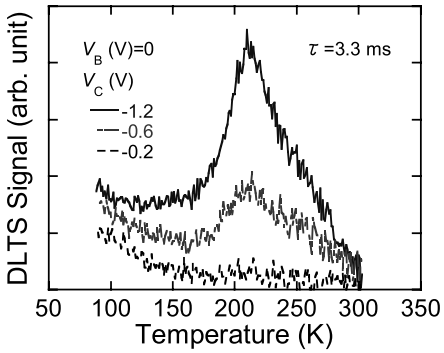


図4．ECRプラズマ法MIS構造のDLTSスペクトルの捕獲バイアス電圧依存性

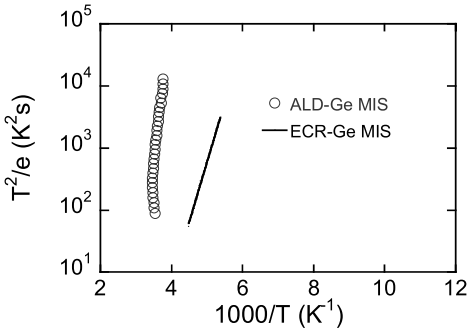


図5．両構造におけるトラップの放出率のアレニウスプロット

280 K付近と220 K付近に主要なピークが観察された。これらのピークはブロードであり複数のトラップによる信号が重畳していると考えられるが、全体的に捕獲バイアス電圧の変化によってピークの温度がシフトしないことから、この信号の起源が界面準位ではなく、Ge バルク中または絶縁膜中トラップによるものであることがわかる。また、DLTS スペクトルの捕獲パルス幅依存性（非表示）は双方のピークの起源が絶縁膜中のトラップであることを示している。さらにこのスペクトルを図４に示すECR プラズマ法による Ge-MIS 構造（$Si_3N_4/GeN_x/Ge$）のものと比較すると、220 K 付近のピークは双方の試料に共通して現れていることがわかる。このことから、このピークの起源となるトラップは２層絶縁膜の inner interface によるものではなく、絶縁膜/半導体界面近傍の絶縁膜中に存在する border trap である可能性が高いことが考察される。また、図３における 280 K 付近のピークは今回の Al-germanate MIS サンプルに特有であり、今後、この起源を調べていく必要がある。図５は各サンプルの複数の時定数条件における DLTS スペクトルから作製したアレニウスプロットであり、図３において280 K付近のピークを示すトラップと図４において220 K付近のピークを示すトラップの放出特性を示している。双方の放出特性は大きく異なっており、トラップの起源も異なることが予想される。これらのトラップ密度を下げるためのプロセス条件を探すことも今後の課題である。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、チーム内メンバーの強みを生かし、多方面からのアプローチが可能となっている。次世代の高性能 CMOS デバイスの実現に向け、作成、評価技術、並びに未だ不明な点が多い Ge 界面とその近傍の物理の解明に向けた発展が期待される。

［４］成果資料

1. Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita; " Spontaneous formation of aluminum germanate on Ge(100) by atomic layer deposition with trimethylaluminum and microwave-generated atomic oxygen", Appl. Phys. Lett. vol. 102, 132904 (2013).
2. 岩崎拓郎，小野俊郎，王谷洋平，福田幸夫，岡本浩;「ECR プラズマ法によって作製したｐ型並びにｎ型 GeN_x/Ge 構造のコンダクタンス法による界面準位密度評価」, 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No. 7, pp. 1279-1284, (2013).
3. 岡本浩，成田英史，佐藤真哉，岩崎拓郎，小野俊郎，王谷洋平，福田幸夫;「ECR プラズマ法によって作製した Ge-MIS 構造における界面近傍トラップの DLTS 評価」, 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No. 8, pp. 1481-1484, (2013).
4. 成田英史，岩崎拓郎，福田幸夫，王谷洋平，小野俊郎，岡本浩;「DLTS 法による ECR プラズマ法GeNx/Ge の界面近傍トラップに対する熱処理効果の評価Ⅱ」, 第 74 回応用物理学会学術講演会 18p-P9-6（2013 年９月，同志社大学）
5. 梁池昂生，原田力維，柳炳學，関渓太，石崎博基，王谷洋平，佐藤哲也，福田幸夫;「マイクロ波生成酸素ラジカル照射による Ge 表面の酸化」，第 60 回 応用物理学関係連合講演会 19p-PG2-9（2014 年３月，青山学院大学）
6. 柳炳學，関渓太，菊地泰斗，梁池昂生，石崎博基，王谷洋平，佐藤哲也，福田幸夫;「反応性 RF スパッター法による p-Ge 基板上への GeO_2 薄膜形成」，第 60 回 応用物理学関係連合講演会 19p-PG2-10（2014 年３月，青山学院大学）
7. 成田 英史, 福田 幸夫, 王谷 洋平, 梁池 昂生, 花田 毅広, 石崎 博基, 岡本 浩;「ALD 法による Al ジャーマネイト絶縁層を用いた Ge-MIS 構造における界面近傍トラップの DLTS 評価」, 第 60 回 応用物理学関係連合講演会 19p-PG2-6（2014 年３月，青山学院大学）
8. H. Okamoto, H. Narita, T. Ono, Y. Fukuda, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, M. Sakuraba, J. Murota, and M. Niwano; "Comparison of the properties of traps in Ge-MIS structures by conductance method and deep level transient spectroscopy (DLTS)", 7th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-5, (Sendai, Japan, Jan., 2014).

引用文献

[1]. M. Houssa, G. Pourtois, M. Caymax, M. Meuris, and M. M. Heyns, " First-principles study of the structural and electronic properties of (100)Ge/Ge(M)O_2 interfaces (M=Al, La, or Hf)", Appl. Phys. Lett. vol. 92, 242101 (2008).

[2]. Y. Fukuda, Y. Otani, Y. Itayama, and T. Ono: “Electrical analyses of germanium MIS structure measurement of the interface trap density in an insulator/germanium interface at room temperature”, *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 54, No. 11, pp. 2878-2883 (2007).

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

H２３／A０４

高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成とナノデバイスへの応用に関する研究

［1］ 組織

代表者：櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：
庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
室田淳一（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）
末光眞希（東北大学電気通信研究所）
鷲尾勝由（東北大学大学院工学研究科）
安田幸夫（東北大学学際科学国際高等研究センター）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
白木靖寛（東京都市大学総合研究所）
財満鎭明（名古屋大学大学院工学研究科）
中塚　理（名古屋大学大学院工学研究科）
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）
平木昭夫（大阪大学大学院工学研究科）
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）
高橋庸夫（北海道大学大学院工学研究科）
堀口誠二（秋田大学大学院工学資源学研究科）
松本　智（慶應義塾大学理工学部）
土屋敏章（島根大学総合理工学部）
宮尾正信（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
佐道泰造（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
宮崎誠一（名古屋大学大学院工学研究科）
須田良幸（東京農工大学総合メディアセンター）
中川清和（山梨大学医学工学総合研究部）
荻野俊郎（横浜国立大学大学院工学研究院）
塩島謙次（福井大学大学院工学研究科）
石谷明彦（ベルギー・IMEC）
阿部孝夫（信越半導体（株））
国井泰夫（日立国際電気（株））
宮本光雄（森田化学工業（株））
佐藤政明（新日本無線（株））
水島一郎（（株）東芝セミコンダクター社）
平山　誠（米国・ニューヨーク州立大学オルバニー校）
Bernd Tillack（ドイツ・IHP）
Matty Caymax（ベルギー・IMEC）
James Sturm（米国・プリンストン大学）
Judy Hoyt（米国・マサチューセッツ工科大学）
Eugene Fitzgerald（米国・マサチューセッツ工科大学）
Erich Kasper（ドイツ・シュトゥットガルト大学）
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）
延べ参加人数：46 人
研究費：物件費 299,000 円，旅費 626,000 円

［2］研究経過

［目的］高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスの開発は，大規模集積回路の高性能化及びその上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である．研究代表者らは，大規模集積化対応の Si 系 IV 族半導体デバイスのナノ構造化に伴い誘起する歪により，半導体物性のみならず，半導体中の不純物の電気的活性度・固溶限界・表面反応定数等が大きく変化することを見いだした．本研究では，化学気相成長法（CVD）による Si-Ge 系原子層積層を駆使して，ナノ構造化と異種原子層積層で誘起される歪が IV 族半導体の表面や界面の反応，不純物原子の電気的活性化，不純物拡散等のプロセスに与える影響を系統的に明らかにする．そして，歪制御と異種原子層配列制御の両面から，デバイス性能を決定づけるキャリアの超高移動度化と超高濃度化を可能にする高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスを開発する．

［概要］本研究代表者らは，これまで，Si 系 IV 族半導体ヘテロ CVD 技術を確立し，CVD 原子層積層を駆使して，無歪 Si(100)や無歪 Ge(100)表面での IV 族元素・不純物原料水素化物ガス分子の吸着・反応が，

Langmuir 型で統一的に記述でき，表面の終端水素原子とその脱離が主要因となること，さらにその異種原子層上への IV 族半導体積層（ここでは原子層ドーピングという.）により，IV 族半導体のキャリアの高移動度化と高濃度化が可能になることを示した. さらに，Si/圧縮歪 $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100)ヘテロ構造を 100 nm レベルで細線加工することにより，欠陥を発生させなくとも引っ張り歪 Si/圧縮歪 $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100)が実現でき，Si 層の高移動度化が可能になることを明らかにした．しかし，現状，① N 原子層ドーピングでは，結晶の劣化を防ぐために原子層ドープ層間に 3nm 程度の Si スペーサが必要であること，② P 原子層ドーピングでは，PH_3 吸着・反応層上の Si 成長表面に P が偏析しやすいこと，引っ張り歪により P の偏析がより顕著になり，ヘテロ界面での固溶限界も下がること，③ IV 族半導体表面の歪が CVD 表面反応速度に影響を与え，0.8%引っ張り歪でさえ，Si 中の B 原子の電気的活性度が大きく低下することを見いだした．これらの課題を解決することを念頭に置いて，本研究では，（1）IV 族半導体表面への歪導入と CVD 反応制御，並びに，（2）原子層ドーピングや（3）高度歪異種原子層配列制御の実験を進め，高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスを開発する.

特に，本研究においては，実用性の極めて高い CVD による専門的原子層積層実験が必要である. 効率的な原子層積層の実験を，現有の高清浄原子層制御対応 Hot Wall 型及び Cold Wall 型 CVD 装置を複数台用いて並列に行う．試料を大気に曝しても，大気湿度が 10%以下で表面が水素終端してあれば，表面の酸化が原子オーダでも生じにくくなることを確認している．したがって，原子レベルでの表面分析においても，反応炉から低湿度大気雰囲気で試料を分析装置（現有 : 角度分解 XPS, XPS, RHEED, AFM, FTIR）に搬送し，実験を効率的に行う．異種原子層配列構造の原子レベル評価に関しては，すでに確立した XPS と湿式エッチングによるサブナノメータ精度での組成・不純物濃度分布測定法を用いる．さらに原子レベル精度に持ち込むよう角度分解 XPS を併用する．なお，原子層レベルでの厚み評価には現有 AFM を用いる．異種原子層配列構造の歪の評価には，現有の可視・紫外光レーザラマン散乱分光システムを用いる．SIMS や断面 TEM による評価は海外共同研究者への協力依頼や外注で対応する．その他の電気的・光学的物性評価やナノ構造デバイス製作のための研究環境は整っている.

［情報交換活動等］IV 族半導体の原子層制御技術やヘテロデバイス技術に関して，外部研究機関分担者との共同研究の成果を国際会議論文及び学術論文（海外機関 6 件，国内機関 2 件）として発表した. また，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も開催した.

- **第８回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議及び第６回半導体界面制御国際会議** (8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-8) & 6th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VI)), 福岡, 2013 年 6 月 2～7 日，発表 172 件（口頭発表 71 件、ポスター発表 101 件）, 参加者 250 名： プロシーディング特集号 : Thin Solid Films, Vol.557, 2014 を出版済.

- **第８回 ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議** (Symp. E12: ULSI Process Integration 8 (224th Meeting of the Electrochem. Soc.)), 2013 年 10 月 27-11 月 1 日, San Francisco，USA，発表 37 件, 参加者 50 名： プロシーディング特集号 ECS Trans., Vol.58, No.9, 2013 を出版済.

- **第７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&JSPS 研究拠点形成事業ジョイントセミナー“高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成”** (7th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar “Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration”), 仙台，2014 年 1 月 27～28 日，発表 38 件（口頭発表 17 件、ポスター発表 21 件），参加者 60 名.

これらの活動により, IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造における物理現象を踏まえたデバイス製作技術，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ることが明確に示され，世界規模での研究連携のきっかけとなることが期待される.

［3］成果

本年度は，高清浄減圧 CVD を用いた Si エピタキシャル成長における C，Ge，B 原子層ドーピング及び減圧 CVD の反応炉内における Ge 表面の Ge 酸化物の挙動について研究を進めた結果，以下に示す研究成果を得た.

まず第 1 に，C 原子層ドーピングの場合には，Si

中の格子置換位置に取り込まれるC原子濃度は基板表面歪の影響を受けることがわかった. その一方で, B 原子層ドーピングの場合には，基板表面歪の影響は小さいことを明らかにした．また，Ge 原子層ドーピングにおいては，Si 上での GeH_4 反応量は Si 基板の歪によって促進され，その促進効果はC やB の原子層ドーピングの場合より大きいことを見いだした. 同時に，原子層ドーピング領域から数ナノメートルの近傍において，歪の発生は観察されないことを確認した.

第２に，減圧 CVD の反応炉内における Ge 表面の Ge 酸化物の挙動について調べた結果，350°C の低温においても Ge 酸化物は蒸発し，対向して置かれた Si 基板表面において Ge 堆積及び Si 酸化物形成が生じることを見いだした．また，350°C での SiH_4 ガスの反応により，Ge 表面の Ge 酸化物の量が減少すると同時に，Si 酸化物が形成されることを明らかにした.

以上のように，高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスの開発のための重要な成果を得た．今後も，この分野の共同プロジェクトを推進することにより，Si ベース IV 族半導体原子制御プロセスの学問分野が大きく発展すると期待できる.

［４］成果資料

1. Y. Yamamoto, B. Heinemann, J. Murota and B. Tillack, “Phosphorus Atomic Layer Doping in SiGe using RPCVD”, Abs. 8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-8) & 6th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VI), Fukuoka, Japan, June 2-7, 2013, Abs.No.AB3-4.
2. T. Kawashima, M. Sakuraba and J. Murota, “Nitrogen Doping Effect upon Hole Tunneling Characteristics of Si Barriers in $Si_{1-x}Ge_x$/Si Resonant Tunneling Diode”, *ibid*, Abs.No.P1-27.
3. T. K. P. Luong, M. T. Dau, A. Ghrib, M. Zrir, M. Petit, V. Le Thanh, M. El Kurdi, P. Boucaud, J. Murota, “Tensile-Strained and n-Doped Ge Epilayers Grown on Si(001) by Molecular-Beam Epitaxy”, *ibid*, Abs.No.P1-42
4. Y. Yamamoto, B. Heinemann, J. Murota and B. Tillack, “Phosphorus Atomic Layer Doping in SiGe using reduced pressure chemical vapor deposition”, Thin Solid Films, 557 (2014) 14-18.
5. T. K. P. Luong, M. T. Dau, A. Ghrib, M. Zrir, M. Petit, V. Le Thanh, M. El Kurdi, P. Boucaud, J. Murota, “Molecular-beam epitaxial growth of tensile-strained and n-doped Ge/Si(001) films using a GaP decomposition source”, *ibid*, 70-75.
6. T. Kawashima, M. Sakuraba and J. Murota, “Nitrogen Doping Effect upon Hole Tunneling Characteristics of Si Barriers in $Si_{1-x}Ge_x$/Si Resonant Tunneling Diode”, *ibid*, 302-306.
7. J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, “Atomically Controlled CVD Processing of Group IV Semiconductors for Strain Engineering and Doping in Ultralarge Scale Integration” (**Invited Paper**), Proc. 4th Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Integrated Circuits and Thin Film Transistors (ULSIC vs. TFT 4), Grenoble, France July 7-12, 2013 (ECS Trans., Vol.54, No.1, Edited by Y. Kuo, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2013), pp.55-64.
8. J. Murota, “Surface reaction controlled chemical processing of group IV semiconductors for advanced electronics technologies” (**Tutorial**), Session: 03-B Chemical Engineering in Semi-conductor Science and Technology, 7th Sino-US Joint Conference of Chemical Engineering (Oct. 14-18, 2013, Beijing, China), No.03-B-3.
9. Y. Yamamoto, J. Murota and B. Tillack, “B and P Atomic Layer Doping of Si / SiGe / Ge for Advanced Process Technology” (**Invited**), 7th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration", Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 27-28, 2014, Abs.No.I-1.
10. H. Okamoto, H. Narita, T. Ono, Y. Fukuda, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, M. Sakuraba, J. Murota and M. Niwano, “Comparison of the properties of traps in Ge-MIS structures by conductance method and deep level transient spectroscopy (DLTS)”, *ibid*, Abs.No.O-5
11. K. Minami, A. Moriya, K. Yuasa, K. Maeda, M. Yamada, Y. Kunii, M. Niwano and J Murota, “Low-Temperature Reduction of Ge Oxide by Si and SiH_4 in Low-Pressure H_2 and Ar Environment”, *ibid*, Abs.No.P-20.

採択回数	1	2	3

採択番号 H23/A06

ディペンダブル・エアのための ヘテロジニアスネットワークローミング技術の基礎研究

［1］組織

代表者：末松　憲治
（東北大学電気通信研究所）
対応者：末松　憲治
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
小熊　　博（富山高等専門学校）
山形　文啓（釧路工業高等専門学校）
飯塚　　昇（鈴鹿工業高等専門学校）
坪内　和夫（東北大学電気通信研究所）
高木　　直（東北大学電気通信研究所）
亀田　　卓（東北大学電気通信研究所）
谷藤　正一（沖縄工業高等専門学校）

延べ参加人数：14 人

研究費：物件費 17 万 5 千円，旅費 69 万 9 千円

［2］研究経過

無線通信ネットワークにおけるディペンダビリティは，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，その品質を保証することである．つまり，通信距離，通信速度，電力を最適制御し，通信品質を確保するところにある．このような次世代の無線通信ネットワークを我々は Dependable Air（ディペンダブル・エア）と呼んでいる．

本研究課題では，ディペンダブル・エアの実現に不可欠である，異種無線通信システム間切り替え（ヘテロジニアスネットワークローミング）技術に関する基礎研究を行う．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」の研究成果を活用する．また，現在進行中の 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」とも連携して，ディペンダブル・エアの構築技術の基礎的検討として，システム設計，モバイルプロトコル検討，基礎的な実証実験などを行う．本プロジェクトは，本年度が第 3 年目である．

以下，研究活動状況の概要を記す．ディペンダブル・エアに関する研究議論を，東北大学電気通信研究所を会場に開催した．以下に開催日を列挙する．

2013 年：　6 月 4 日，8 月 23 日，10 月 1 日，
10 月 2 日，10 月 3 日，12 月 10 日，
12 月 11 日，12 月 12 日
2014 年：　1 月 16 日，2 月 18 日，2 月 19 日，
2 月 20 日，3 月 12 日，3 月 13 日

［3］成果

（3－1）研究成果

ディペンダブル・エアは様々な無線通信システムを効率的・適応的に活用するものである．これまでのところ地上の無線通信を中心に検討してきており，様々な研究成果を得ている．しかしながら，東日本大震災の経験から，地上の無線通信のみでは災害時の接続性確保に問題があることが明らかとなった．

そこで，地上通信インフラを喪失した場合においても必ずつながる無線通信ネットワークとして，ユーザ端末から衛星を経由して通信を行う QZSS（Quasi-Zenith Satellite System）ショートメッセージ通信を提案している．これは日本が独自に打ち上げた GPS（Global Positioning System）を補完する測位衛星である準天頂衛星にてユーザ端末との通信を中継し，ネットワークを構成するものである．図 1 に提案ネットワークの概要を示す．提案ネットワークにおいては，SS-CDMA（Spectrum Spread Code Division Multiple Access）技術を用い，同時通信端末数の増大とプロセスゲインによる SNR （Signal Noise Ratio）回復を狙っている．

このような機能は，準天頂衛星システム事業を所管する内閣府宇宙戦略室から「メッセージ機能」として搭載する事が宣言されている．それによると，端末は 1W 程度の送信電力にて高度 36,000km の衛星と通信を行い，なおかつ災害時には 300 万件のメッセージを 1 時間以内に処理する事が要求されている．例えば携帯電話網では単一基地局にて処理する加入者数は数百から千程度であり，QZSS ショートメッセージ通信を構築するためには，端末からの

送信を効率的に制御するアクセス制御手法が必須となる．本年度は，このアクセス制御手法について，新たな手法を提案し計算機シミュレーションにより検討を行った．

災害時，ユーザからのメッセージが多数送信する状況を想定する．そのような場合，送信したい端末はランダムアクセスと呼ばれる各自任意のタイミングでデータを送信する事となり，データの衝突によって収容端末数が極端に減少してしまう事がわかっている．そのため，端末数に応じた適切な数のタイムスロットを設ける Slotted ALOHA と呼ばれる手法を用いる事で，回線利用効率を最大 36.8%まで増大可能である事が知られている．しかしながら，タイムスロット数が多すぎる場合，利用されないタイムスロットが増大する．また，タイムスロット数が少なすぎる場合，スロット内でのデータの衝突により，送信が成功する端末が減少し，全端末が送信終了するまでの時間が増大する．このように，端末数に対して適切なタイムスロット数が用意されない場合，効率が低下してしまう．

そこで，送信したい端末から「フラグ」という短いデータを送信させる事で端末数を推定し，効率の低下を阻止する手法を提案している．具体的には，「フラグ」を送信させるタイミングを設け，その受信電力から送信端末数を推定する．推定された端末数から，タイムスロットに収容可能な端末数となるように端末固有の ID により送信可能端末を制限する．当然ながら，「フラグ」を送信するタイミングを設けることにより，時間軸上での効率は従来手法より低下するが，それ以上に不要タイムスロットの削減，データ衝突数の減少により最終的な受信完了時間は短くなる．

以上の提案を計算機シミュレーションによって確認した．比較対象としては，通信状況に応じてタイムスロット数を変化させる機能を持たせた Slotted ALOHA を用いた．1/2，2 倍に変更可能とする方式を v2，1/4，1/2，2，4 倍に変更可能とする方式を v4 と名付けた．端末数は 300 万，CDMA により 1 万端末は同時通信可能とし，端末当たりのビットレートは 100bit/sec，各ユーザが送信するデータは 300bit とした．

図 2 にシミュレーション結果を示す．横軸は時間，縦軸は回線利用効率を示す．これにより，従来手法と比較し，提案手法は一貫して回線利用効率が高いことがわかる．また，収容完了時間も 2883 秒と従来手法よりも高速である．

以上より，提案方式は回線利用効率を高め，300 万件のメッセージを 1 時間以内に収容する事が可能である事が示された．

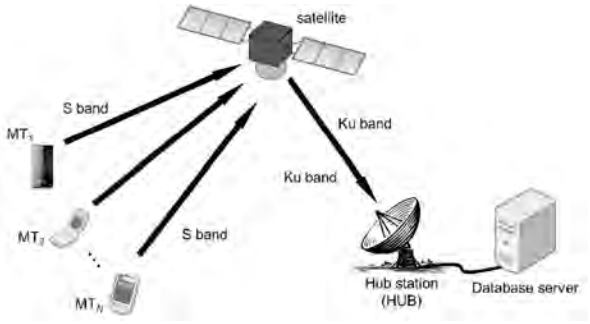


図 1　QZSS ショートメッセージ通信システム概要

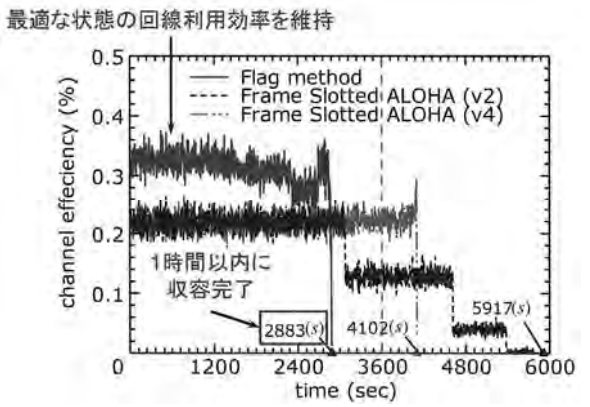


図 2　回線利用効率と収容時間特性

（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，様々な機器に対しネットワークインタフェースを装備し，それらを適切に制御することで，必ずつながるネットワークの実現を目指すものである．東日本大震災において，車両の走行軌跡データを吸い上げることにより，道路の通行可能状況をリアルタイムに把握することが可能になった事例に代表されるように，必ずつながるネットワークを構築すること，そのネットワークに接続される機器の種類・数を増やすことは，新たなユーザ価値をもたらす．これは従来の情報通信分野のみならず，物流，交通，医療，農林水産業，防災など，様々な分野への波及効果が期待できる．そういった意味で，本プロジェクトの意義は非常に大きい．さらに本プロジェクトの研究成果を積極的に国内外の学会発表する事により，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，国内外の大学，企業との関係が非常に強化されてきている．

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

（1）Y. Miyake, K. Komatsu, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, M. Iwata, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “ASIC implementation of multimode frequency domain equalizer for heterogeneous wireless system,” PIMRC2013, 397-402, Sept. 2013.

（2）T. Takahashi, Y. Miyake, F. Yamagata, H. Oguma, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Large-capacity QZSS location and short message system using Frame Slotted ALOHA with Flag Method,” PIMRC2013, 3280-3285, Sept. 2013.

（3）小林 和正, 黄 敏之, 三宅 裕士, 山形 文啓, 小熊博, 飯塚 昇, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “端末数を考慮した異種システム間ハンドオーバの検討, ” 信学技報, vol.113, no.57, SR2013-13, 2013年5月.

（4）平 明徳, 三宅 裕士, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信におけるユーザ間タイミング偏差とシステム容量の検討, ”信学技報, vol.113, no.194, RCS2013-132, 2013年8月.

（5）平 明徳, 三宅 裕士, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信におけるタイミング偏差の影響, ” 信学ソ大, B-3-1, 2013年9月.

（6）三宅 裕士, 平 明徳, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信における周波数偏差の影響, ” 信学ソ大, B-3-2, 2013年9月.

（7）高橋 智英, 三宅 裕士, 山形 文啓, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, 平 明徳, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSSショートメッセージSS-CDMA通信のためのフラグ手法を用いたアクセス制御方式の評価, ” 信学ソ大, B-3-3, 2013年9月.

（8）則島 景太, 小熊 博, 山形 文啓, 亀田 卓, 末松 憲治, 平 明徳, 高木 直, 坪内 和夫, “低仰角時における QZSS の L1-SAIF 信号による位置捕捉精度の検証, ” 信学ソ大, B-3-4, 2013年9月.

（9）向田 瞬, 小泉 敦, 小熊 博, 山形 文啓, 亀田 卓, 末松 憲治, 平 明徳, 高木 直, 坪内 和夫, “危険度を反映した QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信の提案, ” 信学ソ大, B-3-5, 2013年9月.

（10）亀田 卓, 末松 憲治, 平 明徳, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信, ” 信学ソ大, AI-3-3, 2013年9月.

（11）窪庭 純平, 小松 和寛, 三宅 裕士, 亀田 卓, 岩田 誠, 平 明徳, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “ディペンダブル・エアのための周波数領域等化器の ASIC 実装と評価, ”信学技報, vol.113, no.266, SR2013-59, 2013年10月.

（12）平 明徳, 三宅 裕士, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信における周波数偏差の影響, ” 信学技報, vol.113, no.301, RCS2013-185, 2013年11月.

（13）平 明徳, 三宅 裕士, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信における伝送路推定方式の検討, ” 信学技報, vol.113, no.361, RCS2013-245, 2013年12月.

（14）窪庭 純平, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明徳, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “異種無線融合システムにおける位置情報を用いたネットワーク選択手法の提案, ”信学技報, vol.113, no.400, SR2013-87, 2014年1月.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	③

H23/A08

再構成神経回路網の情報伝達

［1］組織

代表者：神谷　温之
（北海道大学大学院医学研究科）

対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
谷井　孝至（早稲田大学理工学術院）
山本 英明（早稲田大学理工学術院）
八木 哲也（大阪大学工学研究科）
森江　隆
（九州工業大学生命体工学研究科）
桂林　秀太郎（福岡大学薬学部）
鈴木　江津子
（北海道大学大学院医学研究科）
早川　吉弘（仙台高等専門学校）
平野　愛弓
（東北大学大学院医工学研究科）
中島　康治（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）
佐藤　茂雄（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）
小野美　武（東北大学電気通信研究所）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：227 人

研究費：物件費 241,000 円，旅費 300,000 円

［2］研究経過

生体の脳組織で実現されている情報伝達や記憶・認知・判断などの機能は，電気・電子工学分野における情報処理の観点からも興味深い．従来，脳機能の研究に用いられている，脳スライスによる神経生理学的手法や，計算論的アプローチからの処理様式の提案手法に加えて，これらを横断するような実験モデル系が構築されれば，それぞれの研究アプローチに対する情報処理メカニズムの知見としてのみならず，神経素子の機能特性を考慮した集積回路などの設計指針に寄与できると考えられる．

本プロジェクト研究は，再構成系神経回路網の構築とその機能解析を目的としている．研究課題としては，①培養神経細胞を用いた実際の脳に近い神経回路網の形成　②形成した再構成神経回路網における情報伝達機構の分析的，および電気生理学的計測・解析　③理論に基づく脳型機能創発のための神経回路の設計　の３点とし，そのための具体的な検討項目として，①再構成神経回路形成のための表面・界面修飾技術の確立　②動態評価指標の探索・刺激応答特性などの機能分析手法の構築　③脳型モジュール機能ユニットを模す情報処理回路の設計と実証　を挙げ，これらを統合・集積化することにより，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や，脳神経回路の誤動作・異常と捉えられるようになりつつある精神疾患などの脳機能紹介の解明のための学術的基盤を確立することを目標とした．

３年目となる本年度は，人工回路網構築のための最重要な基盤技術となる表面パターニング基板の構築と機能解析が進展し，基板上に神経細胞を配置および極性を制御してパターン培養する試みにより完全設計型の神経回路を構築し，パッチクランプ法により，興奮性シナプス伝達を測定することに成功した．これに際し，修飾基板の作製と神経細胞のパターン培養，細胞間の情報伝達処理様式における空間コーディングの検討など，研究分担者間の共同研究も複数実施された．

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す．平成 26 年 2 月 21－22 日，および平成 26 年 3 月 5－7 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．

The 2nd 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：平成 26 年 2 月 21 日（金）－22 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

「Nanoelectronic devices and –materials for neuroscience」A.Offenhäuser (Jüelich research center, Germany)

「Intrinsic activity of defined neuronal networks in

culture」H. Yamamoto (Waseda University, Japan)

「The number of astrocytes is critical for the synaptic transmission in a single cultured neuron」 S. Katsurabayashi (Fukuoka University, Japan)

「A role of activity-dependent competition in regulating the critical period of cortical plasticity」S. Kubota (Yamagata University, Japan)

「 Chaotic Boltzmann machines: Deterministic implementation of stochastic neural networks 」 H.Suzuki (University of Tokyo, Japan)

「Resilient and energy efficient memories based on neuro-inspired codes」 V. Gripon (Télécom Bretagne, France)

「Hippocampal EEG activity of freely behaving mouse in the virtual environment」 N. Katayama (Tohoku University, Japan)

「Network mechanisms of high-frequency oscillation in the hippocampus」 H. Kamiya (Hokkaido University, Japan)

「Microfabricated silicon chips for recording hERG channel activities」 A. Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan)

「Simulation of oculomotor control and learning by a large scale spiking cerebellar neuronal model」 K. Inagaki (Chubu University, Japan)

「Dynamical simulation of retinal ganglion cell responses to natural scenes」 T. Yagi (Osaka University, Japan)

「 Holistic pattern processing in large-scale cortical network models 」 P. Herman (Royal Institute of Technology, Sweden)

「Silicon neuron using stochastic logic」 S. Sato (Tohoku University, Japan)

The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会
日時：平成 26 年 3 月 5 日（水）－7 日（金）
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

「Self-organized TiO_2 nanotube arrays: Latest features and applications」 P. Schmuki (University of Erlangen, Germany)

「Formation of an anodic titanium oxide nanotube film and its application to a front-illuminated dye-sensitized solar cell」 R. Kojima (Tohoku University, Japan)

「Fabrication of highly ordered structure in TiO2 nanotubes for hybrid solar cells」 T. Ma (Tohoku University, Japan)

「Metal-supported titanium oxide nanotube micro gas sensors」 Y. Kimura (Tohoku University, Japan)

「Functional Applications of Nanostructured Silicon」 N. Koshida (Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan)

「Reliable Metaldeposition into TiO2 Nanotubes and Use in Interdigitated Electrode Structures」 N. Liu (University of Erlangen, Germany)

「Growth and functionalization of low-dimensional nanocarbons by advanced plasma processing」 T. Kato (Tohoku University, Japan)

「Self-Shaping Deposition of Monolayer Graphene Oxide Flakes on Chemically Modified Surfaces」 T. Ogino (Yokohama National University, Japan)

「Interaction of spin polarized electrons with adsorbed chiral molecules: reactions and transport」 R. Rosenberg (Argonne National Laboratory, USA)

「Excitation of light emission by electron tunneling in the THz spectral range」 T. Tsunoda (Tohoku University, Japan)

「Tunable preparation of graphene oxide and its metal nanoparticle composites」Y. Nishina (Okayama University, Japan)

「Room temperature atomic layer deposition of oxide films on flexible materials」F. Hirose (Yamagata University, Japan)

「Tools for chip-based recording and stimulation of neuronal network activity」 B. Wolfrum (Forschungszentrum Jülich, Germany)

「Microfabricated Si chips with integrated hERG channels as a platform for drug safety screenings」
A. Hirano-Iwata （Tohoku University, Japan）

「On the Science of Sonoporation: Biophysical Dynamics and Subcellular Impact」A. C. H. Yu (University Hong Kong, China)

「Roles of High-Speed Imaging in Ultrasound-Guided HIFU Treatment」S. Umemura (Tohoku University, Japan)

「High Frame Rate Ultrasonography for Measurement of Tissue Dynamics」H. Hasegawa (Tohoku University, Japan)

「Fabrication of fiber optic biosensor based on surface-enhanced Raman scattering」T. Katagiri (Tohoku University, Japan)

「Osteoblast and macrophage response to hydroxyapatite and alpha-type alumina adsorbed with bovine serum albumin」M. Kawashita (Tohoku University)

「Recent developments and applications of the chemical

imaging sensor systems」T. Yoshinobu (Tohoku University, Japan)

［3］成果

（3－1）研究成果

神経細胞は脳機能を発現するための主構成要素であり，神経細胞を人工的に培養した系は脳機能の理解のための簡略なモデル系として注目されている。培養神経細胞系は、脳スライスや *in vivo* 実験に比べて溶液組成の制御が容易で化学刺激を行いやすいという特長をもつ一方で、高次脳機能において中心的な役割を担うと考えられている長期可塑性が報告されていないという課題も抱えている。本研究では、培養神経細胞系での可塑性発現を目指し、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試みた。表面パターニングには，マイクロコンタクトプリンティング法を用い細胞接着性のタンパク質の微細パターンを固体基板に転写することにより、細胞の配置や極性の制御を試みた。その結果、細胞接着部の形状を非対称にすることにより、軸索の伸長方向を高い確率で所望の向きに誘導することに成功した。今年度は，さらなるパターン形状の改良により細胞の配置・極性の制御確率を向上させるとともに，機能的シナプス形成による培養神経細胞間の配線へと展開し，機能計測の点からも大きな進展が見られた.

マイクロコンタクトプリンティング法により作成したパターン基板上に細胞を配置し培養することが可能となった。そこで，今後さまざまな脳の神経回路モジュールを模倣する第一歩として，もっとも単純な神経回路モジュールである「反回性」神経回路の構築を試みた（図1）. 機能的なシナプス伝達が生じうるのかについて，パッチクランプ法による電気生理学的測定を行った．手技的な困難さから，効率よくハイスループットのアッセイには現時点で適しているとは言えないが，「完全設計型」培養神経回路において脳機能モジュールの活動を再構成した初めての事例として，意義深い成果と考えられる.

今後は，可塑性機能を獲得した培養神経細胞回路網の人工再構成へと発展させていきたいと考えている。

また，上記の再構成神経回路における情報処理を解析するために，「反回性神経回路」の脳内での機能を追求した．行動下での生体の脳内で学習や記憶などのさまざまな認知機能に，高周波数帯域の律動波（オシレーション）と呼ばれる神経活動が関与することが示され，注目を集めている．マウス海馬スライス標本においても，カルバコールやカイニン酸などの薬物を投与することで，再現性良くガンマ帯域のオシレーション（ガンマオシレーション）を誘導することが可能である．ガンマオシレーションの位相固定には，興奮性ニューロンと抑制ニューロンの反回性回路が発振子として機能すると考えられている。しかしながら，オシレーションのトリガーや同期化の機構など，神経回路レベルでのメカニズムの詳細に不明な点が多い. そこで，まず，オシレーションの同期的で正確に位相固定された神経活動を引き起こす受容体レベルでのメカニズムを探索した．低濃度のカイニン酸を投与すると海馬 CA3 野で頑強なガンマオシレーションが誘発されるが，カイニン酸型グルタミン酸受容体阻害剤を投与するとほぼ完全に消失したことから，興奮性ニューロンか抑制性ニューロンに発現するカイニン酸型グルタミン酸受容体が重要な役割を担うと考えられた．今後は，昨年度に本研究で新たに開発した光反応性 AMPA 受容体ブロッカーである ANQX を用いた「入力特異的シナプス光不活化法」を応用し，これを上述した「完全設計型」再構成神経回路でのネットワーク機能の機能解析につなげていきたいと考えている.

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトが目指す，ナノテクノロジーに基づく再構成神経回路網の形成と制御法の開発は，神経生理学・神経生物学分野における従来の生化学・電気生理学的手法とは異なる新規解析手法の開発とともに，未知の神経生理メカニズムの発見へとつながると期待される．また，人工神経回路網の形成と実際の神経回路の動作原理実装は，脳型コンピュータ開発における情報処理回路の制御機構や情報の分散処理に適応しうる．このような神経回路網の基礎的知見，および，新規デバイスの創製は，電子工学や計算科学における萌芽的な学術研究分野を作り出すとともに，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.

［4］成果資料

[1] Ayumi Hirano-Iwata, Ryosuke Matsumura, Ryuta Tezuka, Michio Niwano, Tim V. P. Bliss, Masao Sugawara, “Interference between Field Excitatory Postsynaptic Potentials and Simultaneously Recorded Chronoamperometric L-Glutamate Currents in Mouse Hippocampal Slices.” Electrochem. Commun., in press (2014).

採択回数	1　2　③

課題番号　　H23/A09

フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究

［1］組織
代表者：廣瀬　文彦
（山形大学理工学研究科）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
久保田繁　　（山形大学）
林靖彦　　（岡山大学）
石橋健一　　(株)半一)
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：材料費 21.5 万円，旅費 32 万円
延べ参加人数：10 人

［2］研究経過

本研究では、n 型無機 Si と有機半導体とのヘテロ接合を用いた太陽電池を開発し、高効率フレキシブル太陽電池の実現を目指した。従来、フレキシブルな無機半導体基板として Si シートが知られているが、フレキシブルであるため高温の半導体プロセスが適用できず、太陽電池化することが難しかった。本研究では、塗布型有機半導体膜を印刷法等でフレキシブル Si 上に成形することで、低コストなフレキシブル太陽電池として実現を狙うことを目的としている。本年度は、有機太陽電池の高効率化として、有機層を P3HT からより導電性の優れる PEDOT:PSS に置き換え、性能向上をめざした。その結果は、AM1.5-100mW/cm^2 の模擬太陽光での発電試験の結果、短絡電流として 19mA/cm^2 を記録した。本電池は、発電効率としては 3.57%程度と低いが、有機太陽電池とタンデム化することで、さらなる高効率化が期待できることがわかった。

［3］成果

（3－1）研究成果

我々は塗布形成可能な有機導電膜である PEDOT:PSS と n 型 Si を用いて、図 1 に示される接合型太陽電池を試作した。PEDOT:PSS/Si 接合は図 2 に示されるように、ショットキーダイオードとして、良好な整流性があることがわかり、この整流特性から、Cheung 法に基づくショットキー解析を行った結果、図 3 に示されるような、ショットキー障壁として 0.8eV、内蔵電位として 0.5V の接触になっていることを明らかにした。この構造で、最大 0.5V 程度の開放電圧を持つ太陽電池が実現できる可能性があることを見出した。

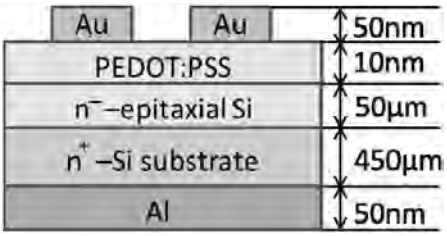


図 1　PEDOT:PSS/n$^-$ Si 有機無機接合電池の断面構造

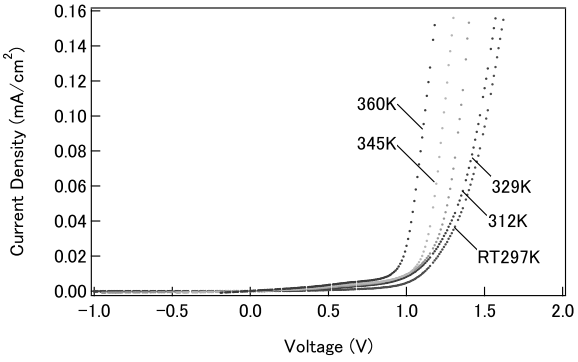


図 2　PEDOT : PSS /n-Si ダイオードの電流電圧特性

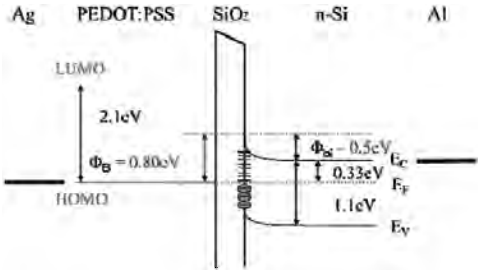


図 3　PEDOT : PSS/n-Si 接合ダイオードのバンドモデル

P3HT との接合では発電効率が 1%程度であったが、PEDOT:PSS に置き換えることで、図３に示されるように、開放電圧および短絡電流密度共に大きく向上した。このサンプルで発電効率として 3.57%を記録している。現在、さらなる発電効率向上のために、形状因子の向上が必要と考え、表面の金による櫛形電極に代えて、フレキシブル透明導電膜の圧着形成を行い、直列抵抗の軽減を試みている。

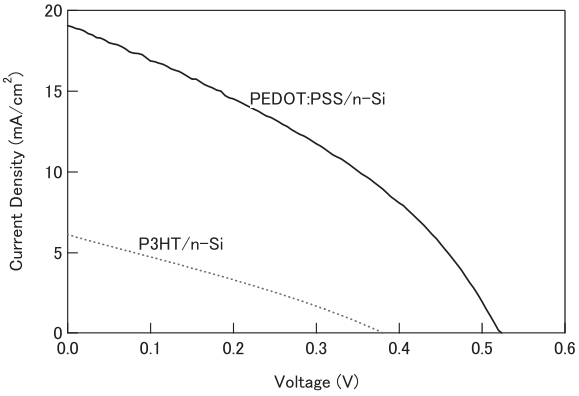


図４　PEDOT:PSS/n-Si ヘテロ接合電池の発電特性
比較例として P3HT/n-Si ヘテロ接合電池の例を掲載している。発電特性は AM1.5-100mW/cm^2 の疑似太陽光照射下で計測した。

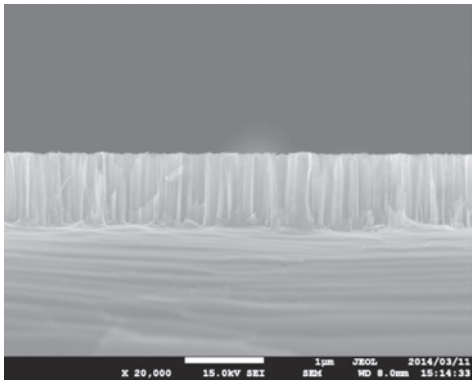


図５　化学エッチング法で作製したナノピラーSi 表面
エッチャントは Ａｇ含有フッ化水素酸である。

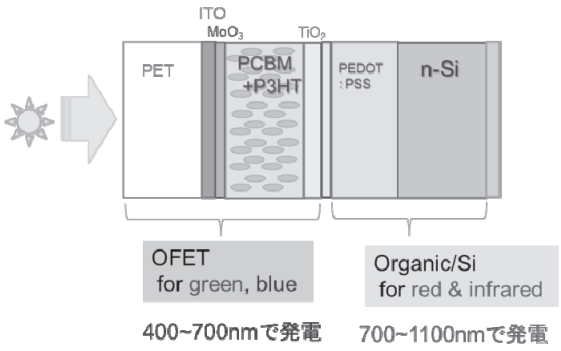


図６　有機無機ヘテロ接合を用いたタンデム太陽電池構造

（３－２）波及効果と発展性など

本研究で開発した有機無機太陽電池は、Si 膜に PEDOT:PSS などの有機導電膜を塗布して製作したものであり、室温形成による低製造コストのメリットもある。発電性能は単体で 3.57%ではあるが、情報端末回路の駆動には十分であり、フレキシブルエレクトロニクスへの応用が期待できる。太陽電池自体の高効率化のために、本研究を通して Si 表面を化学エッチング法によりナノピラー化(図５)を試みており、これと組み合わせて高効率化をしていく予定である。

フレキシブル太陽電池として、現在バルクヘテロ有機太陽電池が盛んに研究されているが、多くの有機太陽電池は光の吸収帯として、緑から青の波長領域に限定される。赤から赤外域での発電については、よい材料がみつかっておらず、タンデム方式が模索されている。図６に示すように有機太陽電池をトップ電池として用い、そこで可視光の光電変換を行い、本研究で開発した有機無機接合をもって赤から赤外域での発電を行うタンデム電池を現在検討中である。

［４］成果資料

1)　“Schottky analysis on P3HT/n- Si heterojunction solar cells”,　N. Oyama, S. Kaneko, K. Kanomata, B. Ahmmad, F. Hirose, 10th Topical workshop on Heterojunction Microelectronics TWHM2013, 10-7.
2)　PEDOT:PSS/n-Si ヘテロ接合太陽電池の試作と評価,　武田秀弥、金子翔、大山直樹、廣瀬文彦, 信学技法, Vol. 113, No. 9, ED2013-4.

採択回数	1　2　③

採択番号 Ｈ２３/Ａ１０

薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスの設計開発とその応用展開に関する研究

［１］組織
代表者：菊池 弘昭
（岩手大学工学部）
対応者：石山 和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中居 倫夫（宮城県産業技術総合センター）
松尾 哲司（京都大学工学研究科）
栃 修一郎（東北大学電気通信研究所）
荒井 賢一（電磁材料研究所）
薮上 信（東北学院大学工学部）
竹澤 昌晃（九州工業大学工学研究科）
小澤 哲也（東北学院大学工学部）
鎌田 康寛（岩手大学工学部）
小林 悟（岩手大学工学部）
延べ参加人数：15 人

研究費：物件費 21 万 5 千円，旅費 19 万 1 千円

［２］研究経過

微細加工した短冊状磁性薄膜において，磁化容易軸の角度を制御することにより，外部磁界の変化に伴う磁区構造の不連続な転移が発生することが見出され，その発生原理解明が進められてきた．これまで磁区のエネルギー安定状態の遷移という観点から実験結果を説明できることが明らかにされている．本研究においては，本現象の発生原理の理論的考察を進展させるとともに材料パラメータや素子構造による特性制御手法の実験的検討を行い，それらの結果を反映させた設計シミュレータの開発を目指す．さらに，素子応用として高空間分解能，高感度な磁界センサへの展開を図り，非破壊検査応用のための基礎検討を行うことを目的とする．応用先のひとつとして発電プラントの蒸気細管等の局所的ひび割れ検知がある．ひび割れの危険がある箇所は強磁性化するため，磁界センサを適用できる．ただし，高空間分解能・高感度が必要であり，設計シミュレータに基づく小型・高感度センサ素子の設計，センサプローブの作製が必要となる．本年度は，単純磁区モデルを用いてインピーダンスの不連続が発生する磁界強度について定性的説明を行い，また，素子端部における反磁界の影響を検討するための素子を試作し，外部磁界と素子インピーダンスとの関係について検討した．さらに応用先の一つとして検討しているインコネル600 合金における強磁性化の基礎的な振る舞いを明らかにすること目的に検討を行った．以下，平成 25 年度の研究活動状況の概要及び成果を記す．

第１回研究打合せ 平成 25 年 5 月 23 日
研究進捗状況の確認及び素子作製を行った．
第２回研究打合せ 平成 25 年 10 月 25 日
研究進捗状況の確認及び素子作製を行った．
第３回研究打合せ 平成 26 年 1 月 9 日
研究進捗状況の確認及び素子作製を行った．
第４回研究打合せ 平成 26 年 1 月 16 日
研究進捗状況の確認及び素子作製を行った．
第５回研究打合せ 平成 26 年 2 月 19 日
素子作製を行うとともに素子測定系，磁区観察装置に関する議論を行った．
第６回研究打合せ 平成 26 年 2 月 28 日
素子測定系，磁区観察装置に関する議論を行った．また，素子形状に関する実験結果を議論した．
第７回研究打合せ 平成 25 年 3 月 17 日
実験結果に基づき磁区構造シミュレーション設計に関する議論を行った．
25 年度共プロ研究発表会 平成 26 年 2 月 27 日
口頭発表を行った．

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第１に，単純磁区モデルを用いてインピーダンスの不連続特性が発生する磁界強度と材料特性や試料形状などの設計パラメータとの関係について明らかにした．図1(a)は単純磁区モデルを示しており，2 つの磁区領域においてそれぞれ方向の異なる磁化ベクトルを持つとする．この系において磁界を印加したときの磁気エネルギーが極小になるときのそれぞれの磁化ベクトルの方向及び磁区の幅を求めることによって，磁界印加方向と平行な方向の磁化成分を求める．図 1 の(b)は(a)の磁区モデルにおいて磁化容易軸の角度を変化させて，磁界印加時の磁化の変化を示した図

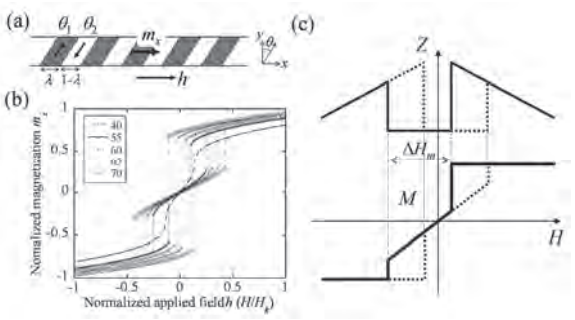


図 1 (a) 単純磁区モデル (b) 単純磁区モデルを用いて計算した磁化曲線 (c) 磁化曲線とインピーダンス特性

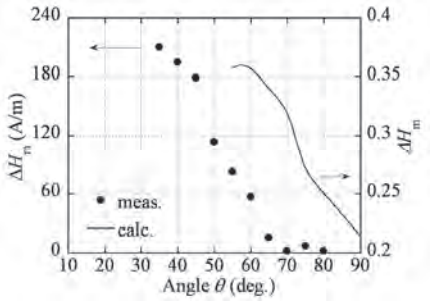


図 2 ΔH_m の容易軸角度依存性（計算値と実験値の比較）

であり，角度によって不連続な磁化変化を示すことを表現できている．(c)は，計算した磁化曲線と，インピーダンス不連続変化の対応を模式的に示した図であり，磁化が不連続に変化する磁界強度で，インピーダンスも不連続に変化することを示している．(c)においてインピーダンスが低い値を示す範囲をΔH_m と定義し不連続特性を評価するひとつのパラメータとする．図 2 は，単純磁区モデルにより算出したΔH_m とインピーダンスの測定結果から求めたΔH_m の実験値とを合わせて示したものである．定量的には今後改良の必要性があるが，定性的には良く一致している．単純磁区モデルには試料の材料パラメータや形状パラメータが含まれるので，これらを変化させた場合のインピーダンスの不連続特性の現れる磁界強度についてはおおよその見積もりが可能になったと考えられる．

第 2 の成果として，素子端部における反磁界がインピーダンス特性に及ぼす影響について明らかにした．図3 は検討に用いた素子の外観写真を示したものである．写真は長さ 3 mm の素子で，各 1 mm の箇所のインピーダンスを測定できるように電極を配置している．素子の幅は 20 μm，膜厚 2 μm で素子幅方向に対して 60 度に容易軸を付与した素子及び従来型の素子幅方向に容易軸を付与した 2 種類の素子を作製した．使用した磁性材料は CoZrNb アモルファス膜であり，磁界中熱処理により異方性を制御した．また，測定時において，図 3 の右から順に”0-1”, “1-2”, “2-3”とした．よって，長さ 3 mm の素子の場合”0-1”, “2-3”は素子端部を含む素子で，”1-2”は中央部のみの素子となる．図 4 は容易軸角度が 0, 60 度の素子のインピーダンスの外部磁界依存性を示した図である．入力電力は-10 dBm，周波数は 100 MHz とし，ヘルムホルツコイルにより，

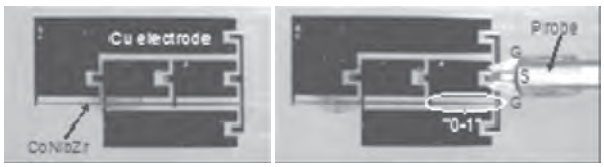
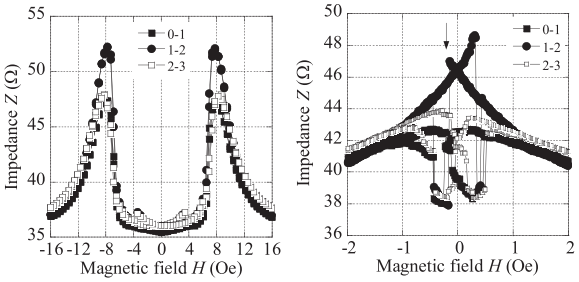
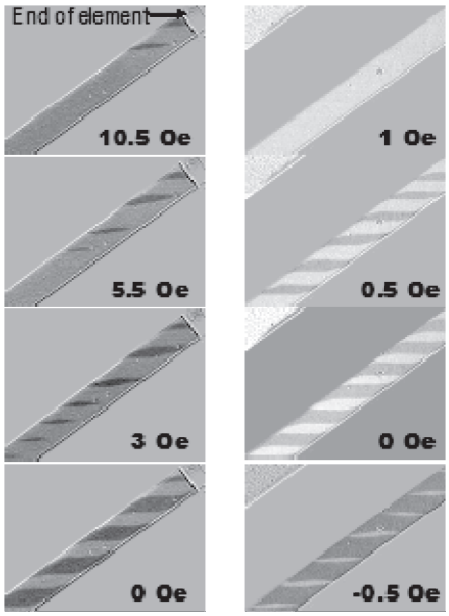


図 3 素子外観



(a) 0° (b) 60°

図 4 容易軸角度 0 度素子の磁区観察結果



(a) 端部 (b) 中央部

図 5 容易軸角度 60 度素子の磁区観察結果

素子長手方向に磁界を印加しながら，ネットワークアナライザを用いて反射法によりインピーダンスを測定した．角度 0 度の素子については，8 Oe 付近でピークをとっており，この磁界強度は膜の異方性磁界と一致する．また，”0-1”, “2-3”と比べて”1-2”の素子は変化が大きいことが明らかである．一方，60 度の素子については，”1-2”においては変化の大きい不連続特性を示しているが，”0-1”, “2-3”においては，変化量が減衰している．また，素子幅を 40, 80 μm に変えた素子においては端部を含む素子では明白な不連続特性は確認できなかった．

図 5 は 60 度の素子について端部と中央部で磁区観察を行った結果である．磁界を素子長手方向に印加しながら観察を行い，磁界は正に飽和している状態から磁界強度を低下させていった場合について行った．素

子中央部では, 1 Oe ではまだ単磁区状態であるのに対し, 0.5 Oe において観察領域全体で一斉に多磁区が現れる. この一斉に変化することがインピーダンスの不連続特性に対応する. 一方, 端部では, 磁界強度が大きいところから, 磁区端部で磁化が反転した磁区が現れ, それが徐々に素子中央部に向かって伝搬してく様子が観察された. よって, 磁区が一斉に変化する, すなわち, 不連続な特性ではなく, 連続的に伝搬していくため, 素子端部を含むところでは, 不連続変化が減衰もしくは, 消失したものと考えられる. これらの要因は試料端部では反磁界が分布しているためと考えられる. 不連続特性が弱められる主要因は反磁界が強いためではなく強度が一定でなく, 分布を持つことに起因する. よって, 反磁界の分布を一定に保つことが不連続特性の変化量を大きくする上で重要になると考えられる. 角度 0 の素子においても, 中央部では, 磁区が一斉に変化する様子が確認された. ただし, 磁区の遷移過程において不連続性は確認されなかった. 端部では, 60 度の場合と同様, 磁区の伝搬する様子が確認された.

さらに, この磁界センサの応用展開先として検討しているインコネル600合金の鋭敏化についても基礎的な検討を行い, インコネルの粒径が変化した場合における鋭敏化による強磁性化の振る舞いについて明らかにした. 強磁性化する量は粒径の 2 乗に反比例することが示された. このことは, 磁界センサにより試料表面の磁気強度を計測することで, 局所的に強磁性化した割合を推定する場合の基礎データになり得る結果である.

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトでは, 素子端部の形状や異方性角度を変化させることでインピーダンス不連続発生の有無及び不連続点の推移を制御可能であることを明らかにし, それらの定性的な振る舞いは単純磁区モデルを用いて説明できることを明らかした. このことは, 傾斜磁区を有する薄膜磁界センサの応用展開を考慮した場合, 素子特性制御の観点から非常に有用である. 一方で, 定量的にも合うようにモデルの精度を高めて, インピーダンスの変化量を定量的に予測できるようにすることが重要である. これらについては検討を行ったが, 本年度内での達成は実現できず, 今後の課題である. この課題がクリアできると高感度センサ設計シミュレータを開発することが可能になり, 材料劣化に伴う強磁性化を磁界センサで検出するための高空間分解能・高感度な磁界センサの実現が期待できる. 非破壊評価の高精度化・高度化に寄与し, 様々な高経年化・老朽化が顕在化してくる社会基盤構造物の健全性評価において多大な貢献が期待できる. 一方で, それらを構築する鋼材の信頼性の評価への適用などの波及効果も期待される. 本プロジェクトは今年度で終了するが, このプロジェクトを足掛かりに科学研究費基盤Bに採択されたので, 次年度以降も科研費の枠組みで検討は継続する.

［4］成果資料

(1) H. Kikuchi, J. Kumano, T. Nakai, Y. Onodera, S. Hashi, K. Ishiyama, “Effects of the shape of the elements on the properties of stepped giant magnetoimpedance”, IEEE Trans. Magn., Vol. 49, No. 7, pp. 4044-4047, Jul. 2013.

(2) H. Kikuchi, T. Sumimoto, Y. Kamada, S. Kobayashi, “Magnetic NDE for sensitization of Inconel 600 alloy”, J. Magn., 18(3), 348-351 (2013).

(3) 菊池弘昭, 高橋洋介, 高橋健太, 中居倫夫, “MI特性に及ぼす容易軸方向及び端部素子形状の影響”, 電気学会マグネティックス研究会, 信州大学, 長野, 9. 24, 25, 2012, MAG-12-083.

(4) 高橋洋介, 高橋健太, 小野寺雄紀, 菊池弘昭, 中居倫夫, 柄修一郎, 石山和志, “単純磁区モデルを用いたMIセンサの不連続特性の考察”, 第37回日本磁気学会学術講演会, 北海道大学, 2013. 9.3 - 9.6, 6aF-3.

(5) 高橋秀樹, 隅本雄貴, 菊池弘昭, “インコネル 600 合金の鋭敏化・強磁性化に及ぼす粒径の影響”, 第37回日本磁気学会学術講演会, 北海道大学, 2013. 9.3 - 9.6, 5pD-6.

(6) 高橋洋介, 高橋健太, 菊池弘昭, 中居倫夫, 柄修一郎, 石山和志, “単純磁区モデルを用いた MI センサにおける不連続特性の容易軸方向依存性に関する検討”, 平成 25 年度スピニクス特別研究会, 銀河ホール, 岩手大学, 2013.10. 17, 18, 13-18-5.

(7) 高橋秀樹, 隅本雄貴, 菊池弘昭, “熱鋭敏化したインコネル 600 合金の磁性と粒径の関係”, 平成 25 年度スピニクス特別研究会, 銀河ホール, 岩手大学, 2013.10. 17, 18, 13-18-6.

(8) 鎌田信吾, 菊池弘昭, 中居倫夫, 柄修一郎, 石山和志, “異なる素子位置における MI 特性と磁区構造変化”, 平成 25 年度スピニクス特別研究会, 銀河ホール, 岩手大学, 2013.10. 17, 18, 13-18-4.

(9) H. Kikuchi, Y. Takahashi, T. Nakai, S. Hashi, K. Ishiyama, “Effects of direction of easy axis on magnetoimpedance properties of thin film with uniaxial anisotropy”, 58th MMM Conference, Denver, Corolado, USA, 4-8 Nov. 2013, AR-06.

(10) H. Kikuchi, Y. Takahashi, K. Takahashi, T. Nakai, S. Hashi, K. Ishiyama,” Effects of direction of easy axis on the magnetoimpedance properties of thin film with uniaxial anisotropy”, J. Appl. Phys., Vol. 115, 17A303, 2014.

(11) 鎌田信吾, 菊池弘昭, 中居倫夫, 柄修一郎, 石山和志, “素子端部と中央部における MI 特性と反磁界の影響”, 平成 26 年電気学会全国大会, 愛媛大学, 2014. 3. 18-20, 22-A4, 2-118.

(12) 科学研究費・基盤研究 B, “傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究”, 研究代表者：菊池弘昭, 採択.

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

採択番号　H２３／A１１

サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムに関する研究

［1］組織
代表者：重野 寛
（慶應義塾大学理工学部）
対応者：北形 元
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
安本 慶一（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
加藤 由花（産業技術大学院大学産業技術研究科）
河口 信夫（名古屋大学大学院工学研究科）
菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）
塚田 晃司（和歌山大学システム工学部）
寺西 裕一（大阪大学サイバーメディアセンター）
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）
山口 弘純（大阪大学大学院情報科学研究科）
研究費：物件費 21 万 5 千円，旅費 41 万 4 千円
延べ参加人数：11 人

［2］研究経過

個人の情報から社会や自然の情報まで，広域に遍在するセンサから収集した実世界情報をサイバー世界に集積・再構築することに加え，新たな情報価値を創造して実世界へ還元することで，人々の活動を統合的かつ高度に支援すること重要な課題である．このようにサイバー世界と実世界が親和的に融合した社会を，サイバー・フィジカル融合社会と呼ぶ．

本プロジェクトでは，サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムを実現する基礎的な技術の確立を目的とする．

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった．前年度は，実世界情報の効率的収集方式，実世界情報の流通基盤，サイバー・フィジカル融合型サービスについての検討を通じ，サイバー・フィジカル融合社会に向けた基礎技術についての課題が明らかになった．そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，実世界情報の効率的収集方式，実世界情報の流通基盤，サイバー・フィジカル融合型サービスに関する研究を展開した．

本年度のまとめとして，2013 年 12 月 13 日に東北大学電気通信研究所において，共同プロジェクト研究会を開催した．その中で，これまでのサイバー・フィジカル融合社会の実現に向けた基盤技術の研究開発を通じ得られた知見を基に，今後の情報処理分野全体の発展を見据えた議論を行い，新たに「情報流」の概念を創出し，この問題点，課題，今後の方向性について議論した．

［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．

(a) ユーザ参加型センシングにおけるインセンティブ機構に関する検討（安本，奈良先端大）

本研究では，ユーザ参加型センシングにおいて，センシングへの参加者の参加確率を高め，依頼者が支払う報酬額を減らすことを目指し，ゲーミフィケーションに基づく新たなインセンティブ機構について研究を行った．提案するインセンティブ機構では，獲得した報酬ポイントに応じてユーザのステータスが変化するレベル制度や，ユーザ間でのランキング制度，バッジ制度を設け，金銭的な報酬だけでなく，精神的な達成感をユーザに与えることで，センシングへの参加を促す．提案するインセンティブを含む参加型センシングシステムを開発し，被験者 18 名で約１か月間実験を行った．実験の結果，ゲーミフィケーションによりセンシングへの参加確率を 53%から 73%へと 20%高めることができた．

(b) 災害時孤立可能性集落を想定した情報システムの提案・検証（塚田，和歌山大）

日本は国土の７割近くを中山間地域が占め，災害時孤立可能性集落が全国で約２万箇所存在する．孤立集落では，外部との情報伝達手段の確保が重要課題であり，多くの自治体では防災行政無線等の通信設備を配備し，大規模災害時にける通信手段を確保している．しかし，これらは電力が必要不可欠であるため，大規模災害に伴う広域かつ長期の停電により，しばしば使用不能となったケースも見られる．そこで，自立して電力を供給できる電力インフラと，自律してネットワークを構築できる通信インフラとを結合させた災害に強い情報配信技術の研究開発に取組んだ．そして，その実現可能性の実証実験を和歌山県内において現在実施中である．

(c) 有線/無線相互補完通信を用いたマルチゲートウェイメッシュネットワークの検討（峰野，静岡大）

通信インフラが安定稼働しないような環境でも，その場で短時間に安定な通信インフラを構築可能な有線/無線相互補完通信を用いた AMGMN (Adaptive Multi-Gateway Mesh Network) を研究開発した. AMGMN は, 有線 LAN および無線 LAN を利用可能なマルチゲートウェイメッシュネットワークで，ワイヤレスメッシュネットワークに有線 LAN のリンクを加えることで，敷設が容易かつ電波障害に耐えられるネットワークを実現した．AMGMN を自動構築可能なよう改変したデバイスドライバを改変した Linux をブータブル USB で実装し，6 台のノート PC で実証実験を行った結果，ルーティングオーバヘッドは極めて小さいだけでなく，マルチゲートウェイ環境での負荷分散も実現できることを確認した.

(d) 自動車アドホックネットワークにおける地図情報を利用したパケット中継手法の検討（重野，慶大）

自動車アドホックネットワーク（VANET）における情報散布の基本的手法であるフラッディングでは，パケットを受信した全ての車両が中継を行うため，通信帯域の圧迫やパケット衝突といった問題が発生する．また，都市環境においては建物が電波伝播の障害となり，通信の成功率を低下させる．そこで本研究では，地図情報から道路網の構造を利用した情報中継制御手法を検討した．地図情報を利用してパケットを確実に中継する道路セグメントを選択し，中継を限定するとともに交差点付近での中継方法を変更することで冗長なパケット中継を削減する．シミュレーションを用いた性能評価により，提案手法の有効性を検討した.

(e) 仮想環境を利用した移動ロボットの遠隔操作手法（加藤，産業技術大学院大学）

インターネットとロボットサービスの融合に注目が集まっている．センサ等の各種デバイスからのデータを取り込んだ，新たなサービスの創出が期待されている．本研究では，インターネットを介したロボットの遠隔操作を対象に，ゲームエンジンを用いて，直感的な操作を実現するシステムを提案した．ロボットの遠隔操作には，ロボットの位置決め（座標と姿勢の推定），目的地までのナビゲート，ネットワーク遅延への対応等の課題がある．我々は，ランドマークを用いた位置補正によりサーバ上で仮想環境と実環境とのマッピングを行う手法を提案し，これらの課題を解決できることを示した.

(f) プロセス移動を行なうクラウド活用型ロボットシステムの開発（寺西，阪大）

クラウド活用型ロボットにおいて，センサ情報の収集・解析処理やロボットの動作制御などのタスクの処理効率を向上させる分散プラットフォーム技術の研究開発を行なった．具体的には，ネットワークの状況に応じて，ロボットが行う処理に対応するプロセスをクラウド上，または，ロボット上のいずれかのうち，適切に処理を実行できる位置に移動させることで，ロボットによるセンサ情報の収集性能を，とくにネットワークが不安定な環境において向上させるプラットフォームの設計とプロトタイプ実装を行なった．実装したプロトタイプシステムが，間欠的なネットワーク接続環境において異常な値を得るまでにかかる時間を短縮できることを確認した.

(g) 位置行動環境認識技術の研究開発（山口，阪大）

人や群衆の位置，行動，環境を複数のセンサを用いて認識・解析し，それを活用して社会システムを高度化する研究を実施した．具体的には，レーザ測域スキャナを用いたトラッキングとシミュレーション，レーザ測域スキャナとスマートフォンを併用した高精度位置推定，スマートフォンを用いた電車やビルの混雑度推定，センサ配置最適化問題などに取組んでいる．例えば高精度位置推定では，レーザ測域スキャナの高精度トラッキング情報と WiFi 等によるスマートフォンの大まかな推定位置をマッチングさせることで，誤差数十センチ程度の位置推定を実現している.

(h) 実世界情報の安定した要求・伝達のための不揮発性ネットワーク基盤の検討（北形，東北大）

大規模災害時においては，極端な通信需要の増加状態の継続により輻輳が緩和されず，大規模な通信障害が長時間に渡り続く．このような不安定な通信品質の下で，安否情報や避難情報などの実世界情報を安定して要求・伝達するため，本研究では，利用者端末からのリクエストとサーバからのレスポンスの両者を紐付けながらネットワーク上に保持することで，リクエストを送信してからサーバからのレスポンスを受信の間に，利用者端末をネットワークから切断し可能とする，不揮発性ネットワーキングの概念を提案し，これを実現する不揮発性ネットワーク基盤とその主要技術について検討を行った.

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果から，多数の情報ストリームをキュレーションし，社会にフィードバックする「情報流」という新たな概念を創出し，下記シンポ

ジウムを開催するに至った.
・シンポジウム名：第１回情報流シンポジウム
・日時：2014 年 3 月 15 日
・開催場所：慶大日吉キャンパス
・参加人数：７４名
今後は，サイバー・フィジカル融合社会と情報流という，大型プロジェクトへ繋がる新たな研究領域への展開が期待できる.

［4］成果資料

（1）Takaaki Kawai, Naoki Yusa, Hiroshi Mineno, “Demonstration of Adaptive Multi-Gateway Mesh Network,” IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC2014), pp.1151-1152, Jan.2014.
（2）河合孔明, 遊佐直樹, 峰野博史, “有線/無線相互補完通信を用いたマルチゲートウェイメッシュネットワークの実装,” 情報処理学会第 21 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2013), pp.53-60, 4.Dec.2013.
（3）河合孔明, 遊佐直樹, 峰野博史, “有線/無線相互補完通信を用いたマルチゲートウェイメッシュネットワークの提案,” 電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク（ASN）研究会, Vol.ASN2013-76, pp.129-130, Jul.2013.
（4）Akinori Suzuki, Hiroko Shindo and Hiroshi Shigeno, "Location Estimation Considering Inside and Outside Wireless LAN Coverage Area," The 16th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS2013), pp.242-249, 4-6 September 2013.
（5）Takuya Okamoto, Hiroshi Shigeno, "Data Collection Method Using Two Types of Forwarding Nodes for Energy Saving in Triage Network," The 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2014), pp.135-140, 6-8 January 2014.
（6）小原啓志, 赤松諒介, 原紘一郎, 岡本卓也, 重野寛, "都市環境での VANET における地図情報を利用した中継制御手法の検討", 情報処理学会 第 56 回高度交通システム研究会 (ITS), Vol.2014-ITS-56 No.7, 8pages, 2014 年 3 月.
（7）高橋雅彦, 土屋陽介, 成田雅彦, 加藤由花, “移動ロボットを利用した案内サービスの構築を支援するプラットフォーム環境,” 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.2, pp.761-772, 2014(2).
（8）Kusu Toshiyuki, Masahiko Takahashi, Yuta Nomoto, Yuka Ito, Yosuke Tsuchiya, Masahiko Narita and Yuka Kato, "An RPG-like Campus Tour Service using Remote Control Robots" the 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2013), Vienna, Austria, pp.8251-8256, 2013(11).
（9）Masahiko Narita, Sen Okabe, Yuka Kato, Yoshihiko Murakawa, Keiju Okabayashi and Shinji Kanda, "Reliable Cloud-based Robot Services," the 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2013), Vienna, Austria, pp.8309-8314, 2013(11).
（10）Fredrik Nordlund, Manabu Higashida, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo, “A Proposal of a Cloud Robotic Sensor Observation Framework integrating Global Movement Plan and Local Measurement Feedback”, 信学技報, Vol. 113, No. 432, pp. 7-12, Feb. 2014.
（11）Yuuichi Teranishi, Yusuke Sawamura, Kaname Harumoto, Shojiro Nishio, “Reducing Latency of Message Diffusion on Congested DTNs”, In Proc. of IEEE Globecom 2013, pp.4557-4563, Dec. 2013.
（12）Jun Shinomiya, Yuuichi Teranishi, Kaname Harumoto, Shojiro Nishio, “A Sensor Data Collection Method for Multi-Granularity Contour Lines Map Creations on an Overlay Network”, Journal of Information Processing, Vol. 21, No. 4, pp. 665-673, Oct. 2013.
（13）Takamasa Higuchi, Sae Fujii, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Context-Supported Local Crowd Mapping via Collaborative Sensing with Mobile Phones, Pervasive and Mobile Computing Journal (Elsevier) (in press)
（14）-Takamasa Higuchi, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Mobile Node Localization Focusing on Stop-and-Go Behavior of Indoor Pedestrians, IEEE Transactions on Mobile Computing (in press)
（15）-Yusuke Wada, Takamasa Higuchi, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Accurate Positioning of Mobile Phones in a Crowd using Laser Range Scanners, Proceedings of the IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (Wimob2013), pp. 441-446, October 2013
（16）Taishi Ito, Yasuhiro Kurita, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Cooperative Multi-agent System Infrastructure for Heterogeneous Sensor Environment," International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.4, No.2, pp.55-70, Apr. 2013.
（17）Khamisi Kalegele, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Multiagent-based processing and integration of system data," International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, Vol.12, No.2, pp.128-155, Sep. 2013.
（18）Yusuke Tanimura, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Knowledge-based Support Method for Autonomous Service Operations after Disasters," Proc. of the 12th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2013), pp.229-233, June 2013.

採択回数	1	2	3

採択番号　H23/A12

モノラル入力信号に基づく２次元音源定位の研究

［1］組織

代表者：伊藤　仁
（東北工業大学）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：　佐藤　直行
（はこだて未来大学）
以下、学生参加者
杉澤　誠　（東北工業大学）
櫻井　雅之（東北工業大学）
田尻　晋也（東北工業大学）
延べ参加人数：6 人

研究費：物件費 18 万 9 千円，旅費 15 万 1 千円

［2］研究経過

人間などの哺乳類は左右一対の耳しか持たないが、音の到来方向の水平角だけでなく鉛直角も推定することができる。この鉛直方向の音源定位に関しては、耳介の反射特性が主要な役割を果たしており、特に頭部伝達関数の 5 kHz 以上の周波数で観測されるピークやノッチなどの所謂 Spectral Cue が重要であることが知られている。また耳介模型を用いた音響測定や数値シミュレーション等の研究により，この Spectral Cue と関係する物理的な構造が外耳道近傍の耳甲介腔(concha cavity)と呼ばれる窪みであることも示されている。だが、この構造の何がどのように定位の手がかりを生み出すのか、また Spectral Cue の何が定位を決定付けるのかなど、その詳細については十分に解明されていない。本研究では，この耳介による反射特性の仕組みについて調べ、その原理を工学的に応用することで、単一マイクロホン入力から２次元の音源定位を行うシステムの実現を目指した。

本プロジェクトは、本年度が第 3 年度であった。これまでの研究活動の中で、人間の耳介形状を高精度に再現する製作技術と、任意の３次元構造物の設計に関するノウハウを蓄積している。そこで本年度は、これらのノウハウを生かして、成人 25 名の左右の耳介模型を製作し、その形状と音響特性を評価した。また、これらの知見に基づいて、2 次元音源定位を行うための反射板を試作し、その音響特性を評価した。

［3］成果

（3－1）研究成果

図 1. に本年度製作した耳介模型の一部を示す。上述した通り、本プロジェクトでは 25 名の成人の左右の耳介の模型を製作したが、図に示す通り耳介の形状は個人差が大きく、同じ被験者でも左右の耳介の形状に有意な差が見られた。今回調べた耳介では、右耳が左耳より有意に細長い形状を持つ傾向があり、今後より多くの被験者について調べることで、この左右差が持つ機能的な役割を明らかにできる可能性がある。

また本プロジェクトでは、これらの耳介模型の音響伝達特性についても調べた。図２に示す実験装置を用いて、様々な角度からテスト音を出力し、外耳道入口近傍での音響伝達特性の入射角依存性を評価

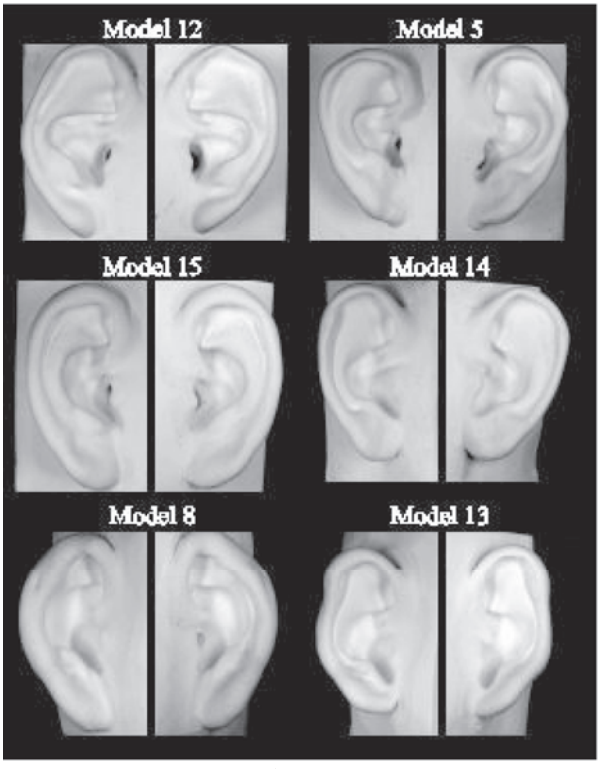


図 1. 耳介模型の写真

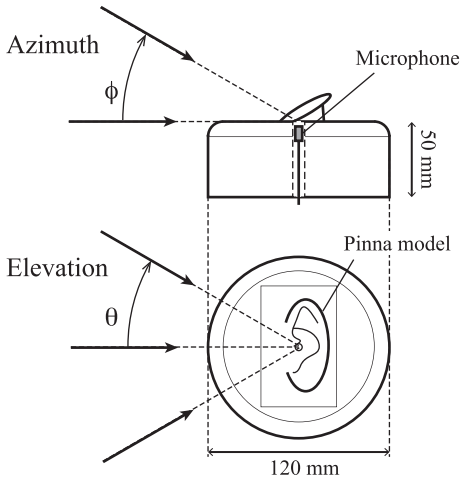


図 2. 耳介模型の音響特性の評価

した。その結果、大多数の耳介模型については 8 kHz 近傍で周波数伝達特性にノッチが見られること、またこのノッチ周波数が入射鉛直角に応じて単調に増加することが確認できた。さらに、この入射水平角が 0 度の場合（正面方向）より 60 度のとき（側面方向）の方が、この鉛直角依存性が弱くなることが明らかになった。耳介の形状と比較すると、側面方向でノッチ周波数と関係するのは主に耳甲介腔であり、正面方向では耳介全体の形状であった。これらの知見は、これまで報告されておらず、音源定位における耳介の役割を理解する上で重要な手掛かりになると考えられる。

本プロジェクトでは、この様な知見を応用して、モノラル音入力から 2 次元の音源定位を行うための反射板を試作した（図 3）。反射板の材質はケミカルウッドで、3D プロッタを用いて精度 0.25 mm で切削した。この反射板の形状は、図の左右方向に関しては、入射角に応じてノッチ周波数が線形に変化する対数らせんであり、上下の入射角に応じてノッチ周波数の範囲が異なるよう設計している。

耳介模型と同様、様々な入射角のテスト音を用いて、この反射板の音響伝達特性を計測した。さらに得られた伝達特性のノッチ周波数を手がかりとして音源定位実験を行い、その性能を評価した。図 4 に結果の一部を示す。この様な反射板を用いた場合(E,F)の音源定位精度は最大 93%であり、一様な対数らせん（A,B）や球状の反射板(C,D)を用いた場合より高い精度が得られた。なお入射水平角は 7 通り、鉛直角 3 通りで、チャンスレベルは 4.8%である。この結果は、上記のような反射板を用いることで、本プロジェクトが目標とする 2 次元の音源定位が原理的に可能であることを示唆するものである。

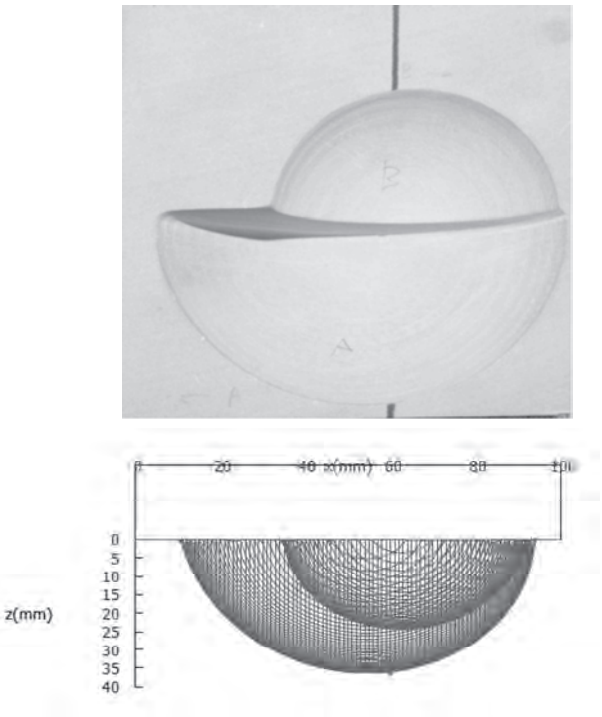


図 3. 試作した反射板（形状 E）

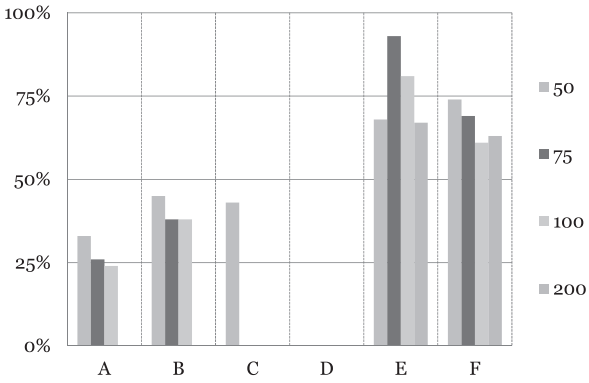


図 4. 音源定位精度の評価

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで調べた耳介の物理的な形状に関しては、過去の研究で報告されていない新たな知見が得られた。この知見は、人間の音源定位メカニズムの解明を促進するだけでなく、関係する他の研究分野にも貢献できる可能性がある。例えば、聴者の周りに多数のスピーカーを配置するサラウン再生ではなく、コンパクトなヘッドホンを用いて臨場感の高い音場を再現するバイノーラル再生では使用者の頭部伝達関数が必要となる。理想的には、煩雑な手続き無しで誰でも使用できることが求められるが、人間の頭部伝達関数は個人差が大きいため、この技術を使用できるのは予め頭部伝達関数を計測した被

験者に限られるという問題がある。本プロジェクトの研究成果を発展させ、頭部伝達関数の中でも重要な役割を占める耳介形状の個人差をモデル化できれば、カメラ画像など最小限の情報から精度の高い頭部伝達関数を推定できる可能性がある。この様な応用に関しては、次年度以降のプロジェクトで検討する予定である。

また反射板を用いた 2 次元音源定位に関しては、本プロジェクトで原理検証を行うことができた。通常、耳介のような反射板を用いた場合でも単一マイクロホンから推定できる音の到来方向は1次元に限られており、複数の反射板を組み合わせることで 2 次元の音源定位を可能とする本プロジェクトの技術は、特にスマートフォンなど小型の情報端末への応用が期待できる。マイクロホンアレイに代表される従来技術の多くは，計算能力やシステムの物理的なサイズを制限せず，主に定位精度を向上させることを目指しているが、本プロジェクトで検討した技術は限られたハードウェアで動作する簡便な手法である点に特徴があるからである。実際のシステムに適用するためには、特に反射板の小型化と、対数らせんの多段化について検討する必要があると予測される。これらに関しては、今後の研究で検討していきたいと考えている。

［4］成果資料

本プロジェクトの成果を下記に示す。なお成果(3)に関しては、電子情報通信学会より東北支部 2013 年度優秀学生賞を受けた。

（1） 杉澤 誠, 伊藤 仁 : 対数らせん反射板を用いた音源定位の研究, 平成26年東北地区若手研究者研究発表会講演論文集 p.21-22, 2014.3.

（2） 櫻井 雅之, 田尻 晋也, 伊藤 仁 : 耳介模型の物理形状と音響特性, 平成26年東北地区若手研究者研究発表会講演論文集 p.23-24, 2014.3.

（3） 杉澤 誠 : 耳介模型の製作と音響伝達特性の評価, 平成25年度電気関係学会東北支部連合大会 2C01, 2013.8.

採択回数	1	②	3

H２４／A０１

高輝度量子もつれ光源の開発

［１］組織
代表者：清水　亮介
（電気通信大学先端領域教育研究センター）
対応者：枝松　圭一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
藪野　正裕（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：５人

研究費：物件費２０万４千円，旅費１０万１千円

［２］研究経過

量子情報通信技術の研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。量子テレポーテーションをはじめとした多光子を必要とする量子情報通信プロトコルの実証実験が行われ、現在では６光子を用いた実験までが可能になっている。一方で、量子情報通信理論の分野では、８量子ビット以上を必要とする量子情報通信プロトコルの提案も存在するが、実現されている量子もつれ光源を用いる限りは、８光子以上が生成される確率が極めて低く、測定精度を向上させることが出来ないため実験が行われていない。そのため、複雑化、大規模化し、多量子ビットを必要とする今後の量子情報通信プロトコル実証を行うためには、量子もつれ光源のさらなる高輝度化が必要不可欠である。本プロジェクトでは，量子もつれ光子光源を高輝度化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、群速度整合 PPKTP 素子を用いて通信波長帯における周波数無相関２光子状態の生成を行い、４光子量子干渉実験から高い明瞭度を持った干渉波形が観測されたことから、PPKTP 素子から直接生成された周波数無相関２光子が多量子ビットを用いた量子情報通信プロトコルの実証実験に極めて有用であることが明らかになった。そこで、本年度は、前年度の研究をふまえながら、波長 800nm 帯における KDP 結晶を用いた周波数無相関２光子状態の直接生成に関する研究を行った。さらに、光子数識別検出器の開発を進めた。

以下，研究活動状況の概要を記す。

光子の周波数無相関化に関しては、以前より枝松教授グループと共同で研究を行ってきた。昨年度の PPKTP 素子を用いた研究に続き、KDP 結晶を用いた成果がまとまったため、本年度、論文誌発表を行った。この成果をもとに、さらなる量子もつれ光源の開発の高輝度化を行うための研究打ち合わせを、１０月に東北大学電気通信研究所にて行った。共同プロジェクトの現状、および今後の研究の進め方について打ち合わせを行った。

２月下旬の共同プロジェクト研究発表会の開催に伴い、代表者の清水が枝松グループを訪問し、これまでの研究の総括について議論を行った。

［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。

KDP 結晶による 800nm 帯での周波数無相関２光子生成と偏光量子もつれ状態の生成

量子光学研究における光の量子状態検出方法としては、主として単一光子検出を利用した方法とホモダイン検出を利用した方法とが存在する。単一光子検出は極限的な極微弱光検出技術として発展してきたが、一方で、ホモダイン検出法はスクイーズド光の様な標準量子限界を超えた光雑音を検出するための手法として、光子検出技術とは独立に進展してきた。しかし、近年、単一光子検出とホモダイン検出とを融合した光検出による量子光学研究も進展してきており、従来は単一光子検出器により検出されてきた単一光子状態や２光子状態といった光子数状態をホモダイン検出によって検出する試みが報告されている。ホモダイン検出では局部発振光と被測定光とをビームスプリッターにより合波し、二つの合波光を高い量子効率を持ったフォトダイオードによって検出することにより局部発振光との位相関係によって変化する被測定光の量子雑音を検出する。この際、被測定光と局部発振光との干渉性が重要となる。

SPDC を利用した単一光子光源の実現方法として、

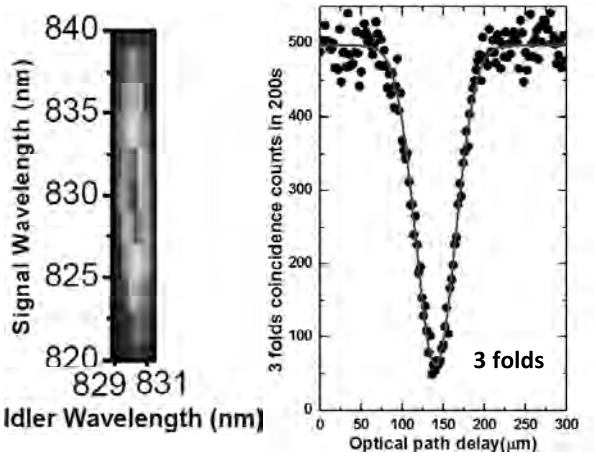


図１　KDP 結晶による周波数無相関２光子の実験結果。(a)2 光子スペクトル、(b)伝令付き単一光子と微弱コヒーレント光（局部発振光）との量子干渉波形。

発生した２光子の一方をトリガー光子として利用することで、もう一方の光子を単一光子として利用する「伝令付き単一光子源」が実現されているが、この様な単一光子状態をホモダイン法により検出するためには単一光子と局部発信光との干渉性が必要になる。伝令付き単一光子源と局部発信光との干渉性を良くするためには前節と同様に、２光子の周波数相関を取り除くことが重要である。従来の研究では、局部発信光との干渉性を確保するためにスペクトルフィルターによる帯域制限による方法が利用されてきたが、スクイーズド光と比べて単一光子状態は光強度が弱く、ホモダイン検出による長時間の測定を必要とした。そこで、群速度整合を利用して局部発振光と干渉性の良い単一光子を直接発生させることで、単一光子光源の高輝度化が実現出来れば測定時間を飛躍的に短縮できる。そこで、本研究では KDP 結晶を利用した群速度整合法により波長 830 nm を中心とした周波数無相関２光子を発生させ（図１(a)）、発生した２光子を利用した伝令付き単一光子状態と局部発信光として利用する微弱コヒーレント光との量子干渉測定を行い、高い明瞭度を持った量子干渉を測定することに成功している（図 1(b)）。今年度は、さらに周波数無相関二光子光源を利用した偏光量子もつれ状態の生成を行った。KDP 結晶を利用した伝令付き単一光子と微弱コヒーレント光との量子干渉の結果として生成された偏光量子もつれ光子に対して量子状態トモグラフィ測定を行い、生成された二光子の量子状態に対する密度行列の再構成を行った（図 2）。その結果、$|\psi^+\rangle = 1/\sqrt{2}\,(|HV\rangle + |VH\rangle)$ の理想的な偏光量子もつれ状態に対して 94.6%の忠実度(Fidelity)で、偏光量子もつれ状態が生成出来ていることが確認できた。また、我々が開発した群速度整合 KDP 結晶による光源を利用することで、BBO 結晶を用いて過去に行われた同様の報告例と比較して、おおよそ６０倍の高いレートで偏光量子もつれ状態を生成することが可能であることが分かった。

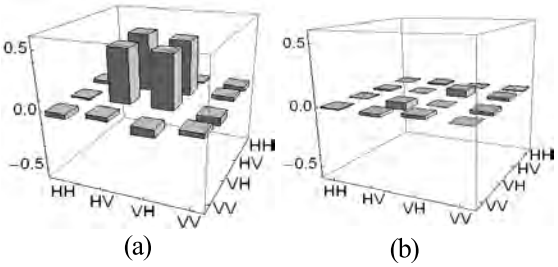


図 2　生成した偏光量もつれ光子に対して行った量子状態トモグラフィ測定より再構成された密度行列の実部(a)および虚部(b)。

（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、単一光子状態と微弱コヒーレント光をビームスプリッターで合波した後の合波光を単一光子検出器により検出しているが、これをホモダイン検出器に置き換えることで、ホモダイン検出法による光子数状態検出実験への展開が可能になる。前述したように、単一光子検出とホモダイン検出とを融合した光検出による量子光学および量子情報通信研究が、近年になりより一層の発展を見せており、今回開発した光源の当該分野への応用が期待出来る。さらに、超伝導材料を使った光子検出技術は、単一光子検出器やホモダイン検出に利用されてきた半導体を使った光子検出器の性能を凌駕しつつある。枝松研究室では超伝導転移端センサによる光子数識別検出器の開発も進められており、今回開発した光源と組み合わせて使用することにより、量子光学および量子情報通信研究のさらなる発展に貢献することが可能となる。

［４］成果資料

（１）“Entangled-state generation with an intrinsically pure single-photon source and a weak coherent source,” R.-B. Jin, R. Shimizu, F. Kaneda, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, Phys. Rev. A 88, 012324/1-4 (2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号　H24／A02

薄膜電解質を用いた固体酸化物形燃料電池の開発

［1］組織
代表者：内山　潔
（鶴岡工業高等専門学校電気電子工学科）
対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：佐藤　智也
（鶴岡工業高等専門学校電気電子工学科）
延べ参加人数：３人

研究費：物件費 20 万 4 千円，旅費 3 万 2 千円

［2］研究経過

固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell, SOFC）は，燃料電池の中でも特に発電効率が高いことで知られているが，動作温度が 1000℃と高く高価な耐熱性材料を多用しなければならないことや高温動作に伴う耐久性の問題からその普及が遅れている。そのためステンレス等の金属材料が使用可能となる 700℃以下の温度で作動する SOFC の開発が望まれている。現在，私たちは中温度域でも高い電気伝導性が得られるプロトン伝導体を電解質として用いるとともに，電解質の厚みを 100nm（従来比約 1/1000）程度まで薄膜化することで低温化を図る全く新しい構造の SOFC を提案している［1,2］。本提案の SOFC は Pd メッキした多孔質ステンレス基板上に形成されることから，新構造の SOFC 実現のためには，良好な結晶性を有する電解質を基板の耐熱温度である 700℃以下で形成することが不可欠となる。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。第１年度において私たちは高プロトン伝導体である Y ドープ $BaCeO_3$（BCYO）についてゾルゲル法を用いて成膜してきたが，X 線回折法(X-Ray Diffraction, XRD)により結晶性を評価した結果，800℃という基板の耐熱温度より高い条件で焼成を行っても良好な結晶性を得ることが困難であることがわかった(図１)。

そこで本年度では鶴岡工業高等専門学校（以下鶴岡高専）に新たに導入された RF マグネトロンスパッタ装置を用い，良好な結晶構造を有する電解質膜の形成条件を見出すことを目的とした。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本研究では，まず新規に導入された装置の立ち上げを行い，その基本的な成膜条件等を調べた。次に主として成膜条件が結晶性に及ぼす影響を調べ，成膜条件の最適化を行いった。またこれと並行して，成膜した固体電解質の電気伝導度測定装置の手法を立ち上げ，成膜条件と伝導度の関係について検討を行った。

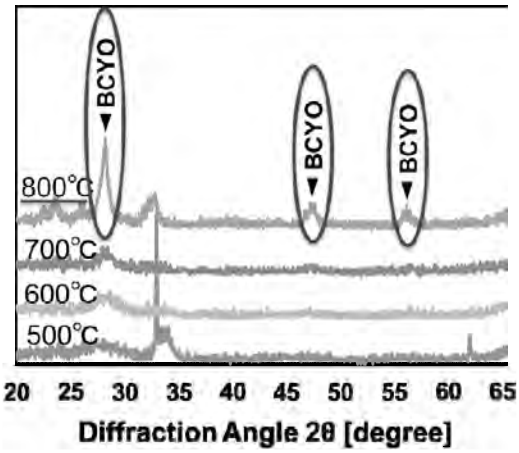


図１　ゾルゲル法で作製した BCYO 薄膜の XRD 結果（CuKα）。図中の温度はアニール温度を表す（アニール条件：大気中，１時間）

この結果，良好な折衝性を有する BCYO 薄膜を 500℃という低い成膜温度で成膜することに成功した。本結果は多くの新規性を含むことから，本年 3 月に青山学院大学（相模原市）で行われた応用物理学会の英語セッションにおいて発表を行った。

［3］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

図２にスパッタ法による BCYO 薄膜の成膜結果を表す(成膜条件：0.1Pa, Ar ガス)。400℃以上の成膜温度で結晶化が開始されており，500℃で成膜した場合が最も高い結晶性を得ることができた。この結果，ゾルゲル法では実現できなかった 700℃以下での成膜を達成することができた。

次に，成膜中の圧力依存性について調べたところ，低圧力下の成膜で最も高い結晶性が得られることが

わかった。

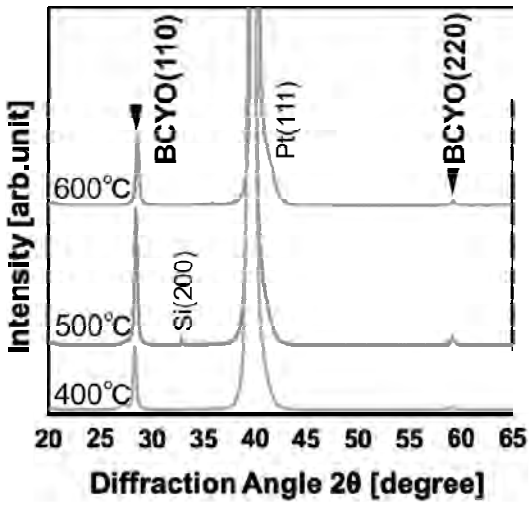


図２　各成膜温度で成膜したBCYO薄膜のXRD結果(成膜条件0.1Pa, Arガス)

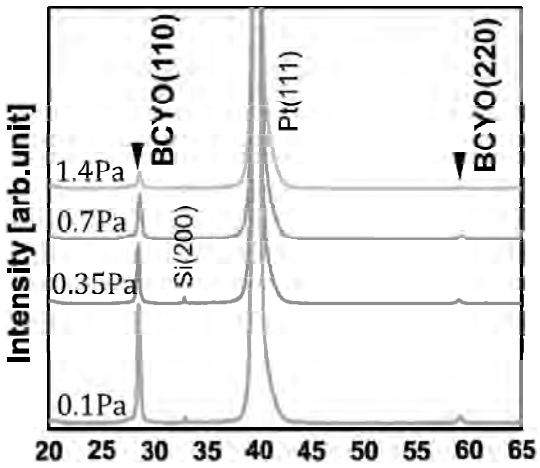


図３　各成膜圧力で成膜したBCYO薄膜のXRD結果(成膜温度500℃，スパッタガス Ar)

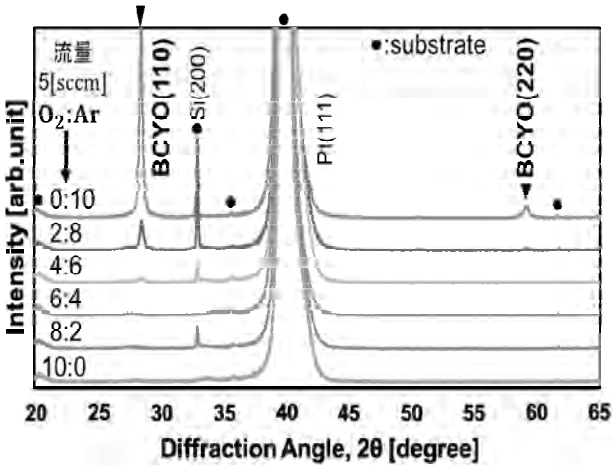


図４　種々のスパッタガス条件で成膜した BCYO薄膜のXRD結果(成膜温度500℃, ガス流量5sccm)

最後に，スパッタガス種の依存性について調べた結果を図 4 に示す。本実験ではガスの総量は一定(5sccm)とし, Ar と O_2 のガス比を変えて実験を行った。その結果，スパッタガスとして O_2 を含まない条件で最も良好な結果が得られることがわかった。

以上のように成膜条件の最適化を行った結果，成膜温度500℃，ガス圧　0.1Pa，ガス種Arの条件において最も結晶性の高い BCYO 薄膜を得られることがわかった。なお本成果は平成 26 年 2 月に開催された共同プロジェクト研究発表会（東北大学）で発表を行った。

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクトでは，RF マグネトロンスパッタ法を用いることで，500℃という低温において良好な結晶性を持つ BCYO 薄膜を形成することができるようになった。一方，本プロジェクトと並行して実施したパルスレーザー堆積（Pulsed Laser Deposition, PLD）法により，プロトン伝導性薄膜を用いたSOFCによる発電が確認された。この発電実験では 650℃という比較的低い温度で 100～150mW/cm²の従来のSOFCと同等の高い発電効率を得ることができた。

しかし, PLD 法による成膜は大面積の成膜を行うことが難しく実用性に乏しいため, PLD 法で得られた知見を本プロジェクトの成膜技術に反映させ，より実用性高く600℃以下で作動するSOFCの開発を行っていく予定である。

なお，これらの成果は昨年１１月に行われた日本学術会議材料工学連合講演会及び本年３月に行われた応用物理学会で発表を行った。また，本成果をさらに発展させるべく提案した平成 26 年度科学研究費において，その研究が採択されることになった。

(外部資金獲得)
- 科学研究費　基盤（C）500 万円
- JSPS
- 平成 26-28 年度

(国際会議，シンポジウムでの発表)

１．第 57 回日本学術会議材料工学連合講演会
- 平成 25 年 11 月 25-26 日
- 京都市京都テルサ
- 数百名

２．平成 26 年春季応用物理学関係連合講演会
- 平成 26 年 3 月 17-20 日
- 青山学院大学（相模原市）
- 数千名

［4］成果資料

（1） 内山潔，燃料電池の低温作動に向けた酸化物薄膜形成手法の開発，第57回日本学術会議材料工学連合後援会講演論文集 pp.205～206 （平成25年11月25-26日）（京都市）

・参考論文

[1] Kiyoshi Uchiyama, Yuri Isse, Yuichi Hori, Takashi Nishida, Yukiharu Uraoka, Tetsuro Kariya, Katsu Yanagimoto, Proceedings of 6th Thin Film Materials & Devices Meeting, 100228102-1～4

[2]Kiyoshi Uchiyama, Hiroyuki Sakairi, Tadashi Shiosaki, Tetsuro Kariya, Hiroki Ikeda, Katsu Yanagimoto, Yoji Yamada, Akira Nakayama, *Jpn. J. Appl. Phys*., **48**, 070205-1～3(2009).

採択回数	1　2　3

H24/A03

グラフェンの精密な界面制御とナノデバイス応用

［1］組織

代表者：末光　眞希
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：末光　眞希
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
吹留　博一（東北大学電気通信研究所）
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
遠田　義晴（東北大学理工学研究科）
遠藤　哲郎（東北大学電気通信研究所）
川合　眞紀（理化学研究所）
吉村　雅満（豊田工業大学）
影島　博之（NTT 物性科学基礎研究所）
白石　賢二（筑波大学数理物質科学研究科）
斎藤　理一郎（東北大学理学研究科）
北島　正弘（防衛大学校）
末光　哲也（東北大学電気通信研究所）
日比野　浩樹（NTT 物性科学基礎研究所）
伊藤　隆　（東北大学学際センター）
安井　寛治（長岡技科大工学研究科）

佐野　栄一（北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター）
福山　敦彦（宮崎大学工学部・材料物理工学科）
成田　克　（山形大学理工学研究科）
永瀬　雅夫（NTT 物性科学基礎研究所）

田中　悟（九州大学大学院工学府）
文　泌景（東北大学大学院理学研究科）
小嗣　真人（高輝度光科学研究センター）
長汐　晃輔（東京大学大学院工学研究科）
堀場　弘司（東京大学大学院工学研究科）
中払　周　（東芝/FIRST）
塚越　一仁（物質・材料研究機構）
菅原　克明（東北大学 WPI）

延べ参加人数：４０人

研究費：物件費１８万９千円，旅費２５万４千円

［2］研究経過

炭素原子の二次元シートであるグラフェンは、その二次元性に起因した優れた物性を有する。特に、シリコンよりも二桁高いというグラフェンの電子・正孔移動度は特筆に値する。ゆえに、グラフェンは次世代情報化社会の実現を可能にする次世代半導体材料として有望視されており、既に ITRS Roadmap に次世代チャネル材料として取り上げられるようになっている。

しかしながら、このグラフェンの製造プロセスの現状には大きな問題点がある。グラフェンの主製造法である「グラファイト塊からのスコッチテープを用いた劈開法」は微小片しか製造出来ないため、大量生産には不向きである。そのため、グラフェンを用いたデバイスの実用化の為に、量産化に適したグラフェン製造の探索及び確立が課題となっていた。

これらの課題を克服する為に、代表者らは、通研共同プロジェクト研究会として、「次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成機構の解明とその制御」を H21～H23 年度に行なってきた。この研究会における研究討論から、グラフェン製造法の探索に関して充分な知見が集積されてきた。また、グラフェンのナノデバイス応用において、デバイス界面（グラフェン/金属界面、グラフェン/絶縁物界面）の精密な制御の重要性が認識されるようになっている。

このような背景、及び、最近の、グラフェンを用いた電子・光デバイス応用への要請の大きな高まり

を受け、申請者は、この研究を発展させた新たな研究「グラフェンの精密な界面制御とナノデバイス応用」を通研共同プロジェクト研究を立ち上げた。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，グラフェンの精密な界面制御とナノデバイス応用に関する研究及び研究会の開催を行い，ナノデバイス応用が必要とする制御する界面構造パラメターが明らかになった。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，SiC 基板の精密制御とその応用に関する研究を展開した。

［３］成果

（３－１）研究成果

（本プロジェクトで明らかになった研究成果を具体的 に記載して下さい。）

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に， 本プロジェクトに関連し、2014 年 2 月 27 日午後 1 時からの共同プロジェクト研究報告会でポスター展示をおこない、Si 基板上に低温エピ成長した SiC 薄膜を用いたエピタキシャルグラフェン形成とその物性制御について報告した。次いで、2014 年 3 月 6 日には「グラフェンの精密な界面制御とデバイス応用講演会」を開催した。 本講演会では、エピタキシャルグラフェンとその基板である SiC にスポットを当て、結晶の微細構造と、それに基づく電子的・光学的な特性を議論するため、名古屋大学工学研究科の乗松航助教に依頼し「エピタキシャルグラフェンの構造解析」の題目で講演いただいた。 また、単に物性の把握にとどまらず、その応用に至るまでを研究会のスコープとするため、京都大学工学部電気電子工学科の須田淳准教授に依頼し、「SiC の物性評価と MEMS 応用」に関する最新の成果に関する発表をいただいた。 これに加え、東北大学の吹留一博准教授による「Nanoscale operando analysis for the scaling of epitaxial graphene transistor」と長澤弘幸客員教授による「3C-SiC バルク結晶の可能性」について報告を行い、基礎物性から応用に至るまでの総合的なディスカッションに及んだ。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など（大型プロジェクトへの発展・国際会議，シンポジウムへの発展・学外研究者との交流共同研究による効果・研究者ネットワークの拡大・若手研究者の育成・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等）

（１　オペランド顕微分光法の開拓）

光電子顕微鏡を用いたオペランド顕微分光法は、グラフェンやその他通信用半導体デバイス開発にとって重要であることが、大学だけでなく企業研究者も認識されてきている。この研究はオペランド顕微分光を一つの核とした NEDO プロジェクトへの住友電工・東京大学放射光連携機構との共同申請と繋がった。

（2　グラフェンと 3d 金属界面の研究）

スピトロニクス（例：理論効率 100%のスピン・フィルター）への応用を企図してグラフェンと 3d 金属界面の研究に着手した。これに関するフリッツハーバー研究所（ドイツ）の共同研究が一つの契機となって、Horn 教授の本所客員教授招聘へと繋がった。26 年度も引き続き共同研究を行う。

(3. SPring-8 との共同研究)

1.の微細加工 SiC 基板上でのエピタキシャルグラフェンの原子レベル観察のために、SPring-8 の光電子顕微鏡(PEEM)を用いた研究を共同で行っている。2009A 期・2009B 期・2010A 期・2011A 期・2011B 期・2012A 期の六期連続で共同研究課題が採択された。これらの PEEM 観察結果から、微細加工パターンとグラフェンの構造・電子物性に強い相関が存在することが明らかとなった。また、当初使用していたビームラインは、BL23SU のみであったが、本年度から、BL23SU に加えて、BL17SU 及び BL07LSU も共同研究の一環として使用出来るようになった。今後も、この緊密な連携関係を保持していくつもりである。彼らと共著論文が、一報出版された。

(4.東京大学との共同研究)

本共同プロジェクトを介した長汐准教授及び堀場講師との討論から、グラフェンデバイスの動作機構に関する共同研究が開始された。その成果として、本年度から、堀場准教授（KEK-PF）及び尾嶋教授（東京大学工学部）が仲介役となって、東京大学放射光連携機構における共同研究が開始され、来年度以降も共同研究も継続される。彼らとの共著論文が、一報出版された。

(5.NTT 物性基礎研究所との共同研究)

本年度の共同プロジェクト本研究会にて発表して頂いた NTT 物性基礎研究所の日比野浩樹博士との討論から、低速電子顕微鏡(LEEM)による SiC 上のエピタキシャルグラフェンの微視的な層数分布・二次元原子配列の研究を開始している。本年度に、日比野博士との共著論文を、一報出版した。

［4］成果資料

1) **H. Fukidome** et al., *Sci. Rep.* **4** (2014) 03713.
2) N. Nagamura, **H. Fukidome** et al., *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 241604.
3) M. Suemitsu, S. Jiao, **H. Fukidome** et al., J. Phys. D **47** (2014) 094016.
4) **H. Fukidome** et al., *Proc. IEEE* 101 (2013) 1557.
5) M.-H. Jung, **H. Fukidome** et al., *Proc. IEEE* **101** (2013) 1603.
6) I. Katayama, **H. Fukidome** et al.,*Phys. Rev. B* **88** (2013) 356506.
7) Y. Inayoshi, **H. Fukidome** et al., e-J. Surf. Sci. 11 (2013) 47.
8) 吹留博一 他、 表面科学 34 (2013) 380.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　H24/A04

プラズマナノバイオ・医療の基礎研究

［1］組織

代表者：金子 俊郎
（東北大学大学院工学研究科）

対応者：庭野 道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：

田路 和幸（東北大学大学院環境科学研究科）
寒川 誠二（東北大学流体科学研究所）
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）
湯田坂　昌子（産業技術総合研究所）
長崎　幸夫（筑波大学大学院数理物質科学研究科）
平田 孝道（東京都市大学大学院工学研究科）
寺嶋　和夫（東京大学新領域創成科学研究科）
一木　隆範（東京大学大学院工学研究科）
永津 雅章（静岡大学工学部）
篠原 久典（名古屋大学大学院理学研究科）
堀 勝（名古屋大学大学院工学研究科）
伊藤　公孝（核融合科学研究所）
伊藤　篤史（核融合科学研究所）
佐野 紀彰（京都大学大学院工学研究科）
松本 和彦（大阪大学産業科学研究所）
浜口　智志（大阪大学工学研究科）
白藤　立（大阪市立大学大学院工学研究科）
伊藤 早苗（九州大学応用力学研究所）
白谷 正治（九州大学大システム情報科学研究院）
中嶋 直敏（九州大学工学研究院）
秋山　秀典（熊本大学自然科学研究科）

延べ参加人数:　70 人

研究費：物件費２４万２千円，旅費２４万３千円

［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、気体、液体、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・医療デバイス創成に資する基盤研究を、全国のプラズマ理工学者を中心としてナノバイオ・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展開する。

本プロジェクトでは上記の目的を遂行するべく，バイオ，医療等のプラズマ－バイオ融合科学分野から，フラーレン・ナノチューブ・グラフェンを用いたナノ科学技術について広範囲な分野を，統合的に鳥瞰・理解するための研究会を開催した．また，プラズマを活用して，機能性ナノ構造創成に関する実験研究を展開した．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：平成 25 年 11 月 1-2 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 情報新棟 451・453 会議室

1. 「プラズマスプレーによる共凝縮を利用した高次複合ナノ粒子創製とそのリチウムイオン電池応用」 神原　淳，ナレン　ゲルン，加賀真城（東京大学）
2. 「液中レーザーアブレーションによるナノ粒子合成反応場のレーザー散乱計測」 佐々木浩一（北海道大学）
3. 「プラズマCVDによるグラフェンナノリボンの構造制御合成とデバイス応用」 加藤　俊顕，畠山　力三，金子　俊郎（東北大学）
4. 「プラズマアグリカルチャーの創成をめざして」伊藤　昌文，太田　貴之，橋爪　博司（名城大学）
5. 「プラズマ照射による細胞機能制御と遺伝子導入」 佐々木　渉太，神崎　展，金子　俊郎（東北大学）
6. 「プラズマ照射による生体膜損傷の分子動力学シミュレーション」 内田　諭（首都大学東京）
7. 「カーボンナノチューブ細胞培養基板による刺激導入」 藤ヶ谷　剛彦（九州大学）
8. 「グラフェン：「質量の無い電子」の物理」越野　幹人（東北大学）
9. 「ナノスケール物質における新奇光電・熱電変換の基礎物理」 小鍋　哲（筑波大学）
10. 「電界誘起気泡による機能創発」山西　陽子（芝浦工業大学）
11. 「医療用マイルドプラズマによる創傷治癒の確立とプラズマ－組織細胞相互作用」 池原　譲（産業技術総合研究所）

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「プラズマナノバイオ・医療の基礎」を主テーマに，プラズマとその応用，ナノカーボンの理論，及び合成・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，生体構成元素の炭素から成るフラーレン・ナノチューブ・グラフェン・生体分子・イオン液体をネットワークとするナノバイオ・医療への応用を意識した，電気・磁気・光学・生物学・医学的新機能性超構造ナノカーボン物質/材料創製，及びそれらを用いた基礎的デバイス化，さらには実際の生体細胞への適用を図ることを目的としており，以下に示す研究成果を得た．

I. プラズマ CVD におけるグラフェンナノリボンの合成機構解明

グラフェンシートは優れた電気伝導特性，柔軟な機械的構造，高い光透過性を合わせ持つ次世代の電子材料として大きな注目を集めている新規ナノ物質である．一般にグラフェンシートは 2 次元シート構造をとっており，バンドギャップを持たない金属的振る舞いを示す．これに対しグラフェンシートがナノメートルオーダー幅の１次元リボン構造（グラフェンナノリボン）をとることで，グラフェンシートに有限のバンドギャップを発現させ得ることが近年明らかになった．これにより，グラフェンナノリボンは主に半導体デバイス分野において，世界中から大きな注目を集めている材料となっている．近年我々はこのグラフェンナノリボンをプラズマ CVD により，基板上の任意の場所に任意の方向へ集積化合成する手法の開発に成功した．しかしながら，本手法におけるグラフェンナノリボン合成機構は不明のままであり，さらなる構造制御合成に向け，この合成機構解明が重要な課題となっていた．

本研究では，熱CVDとプラズマCVDの系統的な比較対象実験を行い，本手法の最大の特徴であるニッケルの蒸発（グラフェンナノリボンの析出と同時に発生）に対するプラズマ効果の解明を試みた．合成温度を700℃から1000℃の範囲で固定し，各温度条件における CVD 後のニッケル蒸発量を熱 CVD とプラズマCVDにおいて比較した結果，熱CVDでは800℃付近で急激なニッケル蒸発が観測されるのに対し，プラズマ CVD の場合は，900℃の時点でも極めて低いニッケル蒸発率を有することが判明した．ニッケル―炭素混合物質におけるニッケルの沸点は，炭素混入量が増えるにつれ上昇する傾向があることが他のグループにより報告されている．従って本手法においては，プラズマにより高密度の炭化水素活性種が生成され，高効率でニッケル中に炭素供給が行われた結果，ニッケル中炭素濃度を熱 CVD の場合に比べ格段に高めることができたと考えられる．これにより，グラフェン析出に必要とされる比較的高い温度条件（900℃以上）においても，ニッケル薄膜を固体状態に保持することが可能となり，その結果，ニッケルナノバーからのグラフェンナノリボン合成が実現したと説明できる．このモデルは，熱 CVD ではニッケルナノバー構造がニッケルの蒸発により壊れてしまい，グラフェンナノリボンが合成できないという実験結果とも一致するものである．

II. 高性能太陽電池に向けた薄膜単層カーボンナノチューブ pn 接合トランジスタの開発

太陽光における近赤外波長領域（800-1650 nm）の利用を目的に，プラズマ機能化した単層カーボンナノチューブ（Single-Walled Carbon Nanotube: SWNT）を用いた太陽電池を作製している．特に，内部にpn接合を内蔵したSWNTを用いる太陽電池は，電子移動度が極めて大きい SWNT の軸方向の電気特性を利用することによって，発電効率を向上させることが可能である．これでまでの本研究室の研究により，一本の SWNTs をチャネルとした太陽電池の原理実証に成功している．しかし，より実用的な観点から，発電性能を向上する目的で，薄膜状のSWNTsをチャネル部として利用したSWNTs薄膜太陽電池の開発に向けた研究を行った．

SWNTs内部のpn接合形成は，あらかじめ薄膜状 SWNTs チャネル部の半分をポリマーによりカバーし，Cs を空間選択的に内包することで実現した．また，各デバイス当たりの電流量増大を目的に，櫛形電極形状の配位を利用した．その結果，光照射無しの場合には，pn 接合内蔵 SWNTs 薄膜トランジスタのソース―ドレイン電流（I_{DS}）–ソース―ドレイン電圧（V_{DS}）特性は明確な整流特性を示し，さらに，光照射を行うことで，解放電圧（0.56 mV）と短絡電流（105 pA）が発現することが判明した

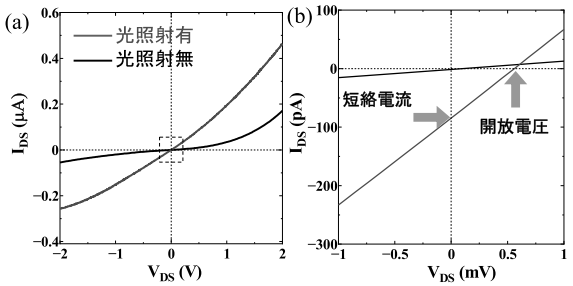


図 1. (a) pn 接合内蔵 SWNTs の光照射有無における I_{DS}-V_{DS} 特性と(b)その拡大図.

(図 1). このように pn 接合を内蔵した SWNTs 薄膜において太陽光発電特性を得られたのは本研究が初めての成果である. 今後はさらなる発電効率の向上に向け, 研究を展開していく予定である.

III. プラズマ照射による低侵襲遺伝子導入

遺伝子導入は先天性の遺伝子疾患のみならず, がん, エイズ, C 型肝炎等の治療法として期待されており, さらには人工多能性幹細胞(iPS 細胞)を作成する技術としても, 盛んに研究が行われている. 近年, 細胞内へ遺伝子を導入する方法としてプラズマ照射の利用が報告されているが, 導入効率が低く, 導入メカニズムも解明されていないため, 実用化に至っていない.

そこで本研究では, プラズマの物理的作用と化学的作用が細胞膜輸送を変化させ, 遺伝子導入に大きく寄与していると考え, それらを制御した大気圧プラズマを生細胞へと照射し, 遺伝子導入に対する効果及び細胞生存率を評価した.

実験は, ヘリウムを原料ガスとしたプラズマジェット(周波数 f = 10～20 kHz, 電圧 V_{pp} = 5～20 kV)を用いて行った. プラズマ照射の遺伝子導入に対する効果を調べるため, 遺伝子を模擬した蛍光物質を用いて細胞への導入実験を行った. プラズマをマウス繊維芽細胞と蛍光物質を混合した懸濁液に直接照射した場合と, プラズマを照射した生理緩衝溶液(プラズマ処理水)を細胞懸濁液に注入した場合を比較したところ, 図 2(a)に示すように, 両者とも蛍光物質が細胞内に導入されるが, 直接照射した場合にその効果が大きいことが明らかとなった.

また, プラズマ処理水を細胞懸濁液に注入するまでの時間(保持時間)を変化させたところ, 図 2(b)に示すように, 保持時間の経過とともに導入効率が減少するが, ある値で飽和することが明らかとなった. このときのプラズマ処理水中に存在する様々な活性酸素種の濃度を測定することによって, 遺伝子導入に寄与するプラズマ中の成分が, 長寿命生成物, 短寿命生成物, 直接照射要因の 3 つに分類できることを明らかにした.

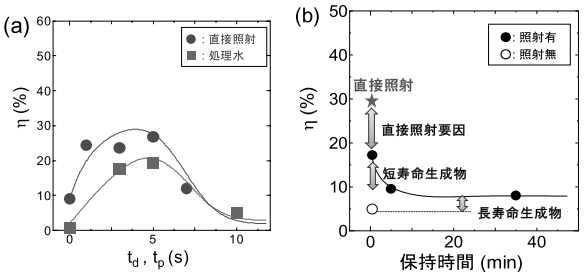


図 2. 遺伝子模擬蛍光物質 導入効率(η)の(a)プラズマ照射方法依存性および(b)保持時間依存性.

［4］成果資料

1. “Controlled Functionalization of Carbon Nanotubes with Nanoparticles Using Gas-Liquid Interfacial Discharge Plasmas”, T. Kaneko, S. Takahashi, and R. Hatakeyama: ECS Transactions, Vol. 45, No. 31, pp. 21-26, 2013.
2. “Potential Structure of Discharge Plasma inside Liquid Directly Measured by an Electrostatic Probe”, Q. Chen, T. Kaneko, N. Matsuda, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, Vol. 102, No. 24, pp. 244105-1-4, 2013.
3. “Dynamics of Nonlinear Coupling between Electron-Temperature-Gradient Mode and Drift-Wave Mode in Linear Magnetized Plasmas”, C. Moon, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Physical Review Letters, Vol.111 , No. 11, pp.115001-1-4, 2013.
4. “Fabrication of Au Nanoparticle- Decorated Standing Graphene/ Carbon Paper Composite”, T. Kato, B. Xu, H. Suzuki, and T. Kaneko: JSM Nanotechnology & Nanomedicine, Vol. 1, No. 3, pp.1018-1-3, 2013.
5. “Catalyst-Free Growth of High-Quality Graphene by High- Temperature Plasma Reaction”, T. Kato, M. Morikawa, H. Suzuki, B. Xu, R. Hatakeyama, and T. Kaneko: Nanoscience & Technology, Vol. 1, No.1, pp.01-1-4, 2013.
6. “Controllable Synthesis of Single and Double-Walled Carbon Nanotubes from Petroleum Coke and Their Application to Solar Cells”, K. Xu, Y. Li, F. Yang, W. Yang, L. Zhang, C. Xu, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Carbon, Vol. 68, pp. 511-519, 2013.
7. “Fast Propagation of an Underwater Secondary Streamer by the Appearance of a Continuous Component in the Discharge Current”, H. Fujita, S. Kanazawa, K. Ohtani, A. Komiya, T. Kaneko, and T. Sato, Europhysics Letters, Vol. 105, No. 1, pp. 15003-1-5, 2014.
8. “Highly Efficient and Minimally Invasive Transfection Using Time-Controlled Irradiation of Atmospheric-Pressure Plasma”, S. Sasaki, M. Kanzaki, and T. Kaneko: Applied Physics Express, Vol. 7, No. 2, pp. 026202-1-4, 2014.
9. “Plasma Processing Based Synthesis of Functional Nanocarbons”, R. Hatakeyama, T. Kato, Y. Li, and T. Kaneko: Plasma Chemistry and Plasma Processing, accepted.
10. “Fabrication of Stable PN Junction Single-Walled Carbon Nanotube Thin Films by Position Selective Cs Plasma Irradiation Method”, Y. Abiko, T. Kato, R. Hatakeyama, and T. Kaneko: Journal of Physics: Conference Series (SPSM26), accepted.

採択回数	1	②	3

採択番号　H２４／A０５

高感度周期構造表面プラズモンセンサの開発

［1］組織
代表者：小田川　裕之
（熊本高等専門学校
情報通信エレクトロニクス工学科）
対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：松田　豊稔
（熊本高等専門学校
情報通信エレクトロニクス工学科）
延べ参加人数：４人

研究費：物件費 18 万 1 千円，旅費 13 万 5 千円

［2］研究経過

本研究は、周期構造に対して傾斜して入射する光による表面プラズモン共鳴吸収の偏光特性を利用することで、従来に比べて非常に高感度で小型の微小屈折変動検出器が得られることを利用した、高感度バイオセンサ及びガスセンサを開発することを目的として行われている。

昨年度までの研究で、燃料自動車等で必要となる水素漏れ検出に応用可能な、高感度の水素センサの研究を行い、水素濃度が 1%以上であれば時定数が 5 秒以内にセンサ出力が得られること、また水素濃度 0.15%では、時定数 10 数秒で検出できることを実験で確かめている。

今年度は、このセンサをより小型化するために、検出方法の検討を行った。また、その結果について、平成 26 年 2 月 27 日から 3 月 1 日まで、電気通信研究所において研究及び検討を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本センサは、周期構造に対して傾斜して入射する光の 0 次回折光の偏光特性に着目しており、プラズモン共鳴吸収の共鳴角付近で楕円率が 0 になり、その前後で楕円率が急激に変化することを利用している。共鳴条件は屈折率に敏感であるため、偏光状態を測定するポラリメータを用いれば、非常に高感度に屈折率変化を測定できる。図 1 は水素濃度を変えたときの楕円率を測定した実験結果である。

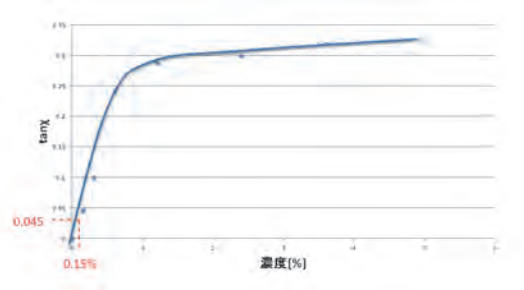


図 1. 水素濃度を変えた時の楕円率

しかし、汎用的なセンサとして利用する場合には、ポラリメータを用いないより小型で簡便な検出方法が望まれる。そこで、図 2 に示すように、偏光板とフォトダイオードによる検出について検討を行った。

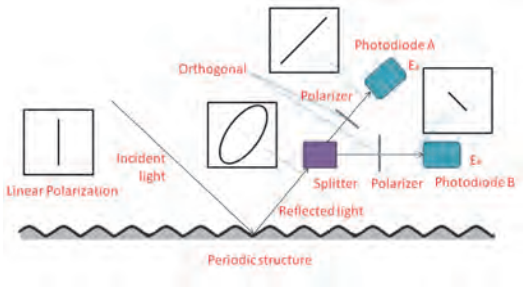


図 2. 偏光板とフォトダイオードで構成した検出法

シミュレーション結果の、偏光板の角度を最適化することにより、偏光を用いずに反射強度だけでセンシングした場合より、感度が高くなることがわかり、本方法の有効性を確認した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本センサは、感応膜を変えることで気体・液体を問わず様々なセンサとして利用でき、また、今回の検出法により小型に校正できることがわかった。今後、幅広い分野に応用可能であると考える。

［4］成果資料

（1）T. Noguchi, H. Odagawa et.al, ISTS2013, (20-22 Hong Kong), WP2-05 (ID273), pp. 1-4 (2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	1　②	3

H２４／A０６

IV 族半導体量子ヘテロ構造の高集積化のための原子層制御プラズマ CVD プロセスの開発

［１］ 組織
代表者：櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：
庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
室田淳一（東北大学電気通信研究所）
嶋脇秀隆（八戸工業大学工学部）
小林信一（東京工芸大学工学部電子機械学科）
中島　寛（九州大学産学連携センター）
佐道泰造（九州大学大学院
システム情報科学研究院）
近藤博基（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）
延べ参加人数：9 人
研究費：物件費 194,000 円，旅費 225,000 円

［２］研究経過

［目的］量子効果デバイスやナノスケールトランジスタなどの次世代ナノデバイスの高集積化の実現において，ナノメートルオーダ厚さの歪 Si や歪 Ge などの量子ヘテロ構造形成やそこにおける高キャリア濃度化の達成が極めて重要である．本研究では，原子オーダで平坦かつ急峻な表面・ヘテロ界面を有する Si-Ge-C 系IV族半導体量子ヘテロ構造を高集積化するためのプラズマ化学気相成長（CVD）プロセスの開発を目標とする．特に，基板非加熱でのプラズマ CVD における量子ヘテロ構造へのイオン・ラジカル入射制御やプラズマガス改質制御を駆使することにより，界面ミキシングや不純物（主に B や P など）の偏析・クラスタリングを抑制し，組成や不純物濃度分布のサブナノオーダ制御や不純物の結合状態や電気的活性化の制御を可能とする Si-Ge-C 系IV族半導体量子ナノ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセス基盤技術の構築を目指す．

［概要］基板非加熱プラズマ CVD におけるイオン・ラジカル入射制御やプラズマガス改質制御を駆使し，Si 基板と格子整合した歪 Ge，歪 SiGe 混晶，歪 C ドープ Si などの Si-Ge-C 系エピタキシャル成長，並びに，それらへの高濃度（10^{21} cm^{-3} 以上）での不純物（B, N, P）ドーピング制御を，各種面方位の Si 基板やフォトリソグラフィと異方性エッチングにより微細加工した Si 基板上の立体構造側壁面でも可能とするための実験を行い，Si-Ge-C 系IV族半導体量子ヘテロ構造形成のための成膜・ドーピング条件を探索する．高分解能 X 線光電子分光とウェットエッチングを組み合わせたサブナノメータ分解能での深さ方向組成分布評価も有効活用する．並行して，X 線回折やラマン散乱分光を駆使した格子歪量評価や電気特性評価等によるヘテロ界面バンド不連続量に関する評価分析も行い，その結果を速やかに成膜実験条件の検討にフィードバックさせることにより，実効的障壁高さの制御範囲を拡大するための高障壁用新材料導入の指針を着実かつ系統的に蓄積し，Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセス基盤技術として確立していくことを目指す．さらに，Hall 効果素子などの試作により電気特性とそのウェハ面内均一性を評価し，高度歪やヘテロ界面での原子結合状態が Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造中の電子物性や量子力学的効果に与える影響を明らかにしていく．特に，基板非加熱下での Si-Ge-C 系IV族半導体量子ヘテロ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセスという未踏領域での成膜実験並びに評価分析が中心となることから，実験データ信頼性の確保のための再現実験と測定誤差の検証を繰り返していくことが必要となる．以上のような系統的な実験研究の知見をまとめて，高集積化対応ナノデバイスの新領域開拓を進めていく．

本研究は，主として東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設のクリーンルーム内で行う．ここでは、本研究に必須な原子層制御対応 ECR プラズマ CVD 装置複数台での並列実験と各種の薄膜の表面・界面の評価分析が専用で行える．さらに，表面原子層の分析評価に重要な低湿度化が行える専用のクリーンルームと，半導体ナノデバイス製作のための共用の直接描画電子ビーム露光装置・ i 線ステッパ・一連のプロセス装置とデバイス評価装置が整

えられている．そこにおいて，研究代表者らはこれまでに，ナノメートルオーダ厚さでエピタキシャル積層させた歪 SiGe 混晶／Si ナノスケール量子ヘテロ構造により室温動作共鳴トンネル素子を実現するとともに，実験室レベルの小口径ながら，その負性抵抗特性のウェハ面内均一性を確認し，その高性能化の実験研究を進めてきた（科研費・基盤(B)，代表者：櫻庭政夫，平成 19～21 年度及び平成 23～25 年度）．さらに，原子オーダで平坦な高度歪 Ge 及び Si ナノ薄膜のエピタキシャル成長を基板非加熱プラズマ CVD プロセスの低エネルギー（低損傷）化により実現し，非平衡高度歪ナノ構造形成手法としての有効性を示してきた（科研費・特定領域研究（計画研究），代表者:櫻庭政夫，平成 18～21 年度）．

［3］成果

本年度は，基板非加熱 ECR プラズマ CVD 装置による Si(100)上への歪 $Si_{1-x}Ge_x$ 混晶及び歪 Ge 薄膜のエピタキシャル成長とその格子歪の変化について実験研究を進めた結果，以下の研究成果を得た．

まず第１に，Si(100)上への $Si_{1-x}Ge_x$ 混晶薄膜形成における $Si_{1-x}Ge_x$ 混晶薄膜の Ge 比率は，SiH_4 分圧と GeH_4 分圧の比率と良く一致することから，SiH_4 と GeH_4 の反応速度定数の比率が Ge 比率によらずにほぼ同程度であることを確認した．さらに，$Si_{1-x}Ge_x$ 混晶薄膜の Ge 比率の増加とともに，SiH_4 と GeH_4 の反応速度定数が増加する傾向があることを見いだした．

第２に，反射高速電子回折による $Si_{1-x}Ge_x$ 混晶及び Ge 薄膜の結晶性評価の結果から，薄膜がエピタキシャル成長する限界の膜厚が存在し，それを超えて堆積する薄膜は非晶質になることを見いだした．

第３に，$Si_{1-x}Ge_x$ 混晶及び Ge 薄膜の X 線回折のピーク位置から薄膜の歪緩和量を評価した結果，Si(100)上に堆積された $Si_{0.50}Ge_{0.50}$ 混晶薄膜では，膜厚 11 nm までは Si(100)基板に格子整合し，面内圧縮歪を維持してエピタキシャル成長していることがわかった．$Si_{0.25}Ge_{0.75}$ 混晶及び Ge 薄膜においても同様に，膜厚が数 nm までの領域では Si(100)基板に格子整合してエピタキシャル成長するが，Ge 比率増加にともない，歪緩和が生じる臨界膜厚が薄くなる傾向があることも確認した．

以上の結果は，原子層オーダで界面急峻性が制御された IV 族半導体ヘテロ構造形成と量子効果デバイスの実現のために重要な成果であり，これらの研究成果の一部はすでに，国際会議において発表し，査読付き学術誌論文（Thin Solid Films 誌の国際会議特集号）として出版済みである．今後もさらに，これらの実験環境・成果の活用を念頭に置いて，各所でそれぞれ特徴ある実験研究を進めている関連分野研究者との間での相互研究連携の可能性を積極的に探索していくことにより，新規研究分野開拓を加速するための共同研究拠点としての役割も果たせるものと期待できる．

［4］成果資料

1. Y. Abe, M. Sakuraba and J. Murota, “Epitaxial Growth of B-Doped Si on Si(100) by ECR Ar Plasma CVD in a SiH_4-B_2H_6-H_2 Gas Mixture without Substrate Heating”, Abs. 8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-8) & 6th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VI), Fukuoka, Japan, June 2-7, 2013, Abs.No.P1-4.
2. N. Ueno, M. Sakuraba, J. Murota and S. Sato, “Epitaxial Growth of $Si_{1-x}Ge_x$ Alloy on Si(100) by ECR Ar Plasma CVD in a SiH_4-GeH_4 Gas Mixture without Substrate Heating”, Abs. 8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-8) & 6th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VI), Fukuoka, Japan, June 2-7, 2013, Abs.No.P1-8.
3. Y. Abe, M. Sakuraba and J. Murota, “Epitaxial Growth of B-Doped Si on Si(100) by Electron-Cyclotron-Resonance Ar Plasma Chemical Vapor Deposition in a SiH_4-B_2H_6-H_2 Gas Mixture without Substrate”, Thin Solid Films, 557 (2014) 10-13.
4. N. Ueno, M. Sakuraba, S. Sato and J. Murota, “Epitaxial Growth of $Si_{1-x}Ge_x$ Alloys and Ge on Si(100) by Electron-Cyclotron-Resonance Ar Plasma Chemical Vapor Deposition without Substrate Heating”, Thin Solid Films, 557 (2014) 31-35.
5. M. Sakuraba and J. Murota, “Group-IV Semiconductor Quantum Heterointegration by Low-Energy Plasma CVD Processing” (**Invited Paper**), Proc. Symp. E12: ULSI Process Integration 8, San Francisco, USA, Oct. 27-Nov. 1, 2013 (ECS Trans., Vol.58, No.9, Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2013), pp.195-200: Abs. 224th Electrochem. Soc. Meeting, Abs.No.2226.

6. N. Ueno, M. Sakuraba, J. Murota and S. Sato, “Formation and Characterization of Strained $Si_{1-x}Ge_x$ Films Epitaxially Grown on Si(100) by Low-Energy ECR Ar plasma CVD without Substrate Heating”, Proc. Symp. E12: ULSI Process Integration 8, San Francisco, USA, Oct. 27-Nov. 1, 2013 (ECS Trans., Vol.58, No.9, Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2013), pp.207-211: Abs. 224th Electrochem. Soc. Meeting, Abs.No.2228.

7. Y. Abe, S. Kubota, M. Sakuraba, J. Murota and S. Sato, “Epitaxial Growth of Heavily B-Doped Si and Ge Films on Si(100) by Low-Energy ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, Proc. Symp. E12: ULSI Process Integration 8, San Francisco, USA, Oct. 27-Nov. 1, 2013 (ECS Trans., Vol.58, No.9, Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2013), pp.223-228: Abs. 224th Electrochem. Soc. Meeting, Abs.No.2230.

8. N. Ueno, M. Sakuraba, J. Murota and S. Sato, “Characterization of Strain in $Si_{1-x}Ge_x$ Films Epitaxially Grown on Si(100) by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, 7th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration", Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 27-28, 2014, Abs.No.P-21.

採択回数	1	②	3

採択番号　H24／A07

ランガサイト系圧電単結晶の1000℃までの高温用音響センサーデバイスの設計・評価と作製

［1］組織
代表者：大橋　雄二
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：櫛引　淳一（東北大学大学院工学研究科）
安達　正利（富山県立大学）
唐木　智明（富山県立大学）
延べ参加人数：５人
研究費：物件費18万1千円，旅費18万2千円

［2］研究経過

自動車エンジンの燃焼ルームやタービンなど高温環境下での温度・圧力センサー用材料として，水晶の数倍もの電気機械結合係数を有し，かつ融点まで相転移が生じないランガサイト系圧電単結晶が期待されている．それらは，1500℃近い温度まで圧電性を保ち，エージング特性も水晶並みに優れている．しかしながら，それらの高温特性，特に1000℃付近での音響関連物理特性や材料の評価が十分になされていない．そのためデバイス作製上，高温領域での音響特性は重要な課題の一つとなっている．

本研究の目的は，室温付近で非常に精密に固体中の音速，漏洩弾性表面波速度が測定できるUltrasonic Micro-Spectroscopy (UMS) システム（東北大学）で測定された23℃の諸定数をベースに，高温用ジグと 4194A インピーダンスアナライザーを用いた共振・反共振法（富山県立大学）を組み合わせて，室温から1000℃までのランガサイト系圧電単結晶の音響関連物理定数(弾性定数, 圧電定数, 誘電率, 及びそれらの温度係数)を決定し，高温用音響センサーのデバイス設計･評価及び作製を行うことである．

本プロジェクトでは，本年度が次年度である．

ランガサイト系結晶として $La_3Ga_5SiO_{14}$(LGS), $La_3Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O_{14}$ (LTGA), $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$(CNGS), 以外に新たに $Ca_3NbGa_{3-x}Al_xSi_2O_{14}$(CNGAS), $Ca_3TaGa_3Si_2O_{14}$ (CTGS)を取り上げて，CNGAS の単結晶の育成，および UMS システムによるそれらの室温近傍の精密な音響関連物理定数（弾性定数，圧電定数，誘電率，密度）の決定を行うとともに，低温側（-30ー80℃）の範囲の温度係数測定を行い，温度係数測定法の精度とその決定手順・方法について議論した．さらに，CNGS 単結晶の高温下での抵抗率改善を目的として，CNGS の Ga を Al で置換した結晶の育成を試み，より優れた特性の結晶の開拓にも挑戦した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

打合せ，実験及び討論：

（1）平成25年12月18日～20日：
教授　安達　正利（富山県立大学）
（2）平成26年1月28日～31日
院生　釈永　大智（富山県立大学）
（3）平成26年2月26日～28日：
教授　安達　正利（富山県立大学）

研究発表

（1）　大橋雄二, 櫛引淳一, 安達正利, "三方晶系点群３２結晶の音響関連物理定数と温度係数の高精度測定法の検討," 日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会, 第133回研究会資料, pp. 37-40 (2013.10.3).
（2）　釈永大智，呂涛，宋勝傑，谷藤智彦，唐木智明，藤井正，「ランガサイト系単結晶 $Ca_3NbGa_{3-x}Al_xSi_2O_{14}$の育成」，平成25年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会，(2013.11.23).
（3）　釈永大智，呂涛，宋勝傑，谷藤智彦，唐木智明，藤井正，安達正利, 大橋雄二，櫛引淳一「ランガサイト系単結晶 $Ca_3NbGa_{3-x}Al_xSi_2O_{14}$の育成」，圧電材料・デバイスシンポジウム2014，A-2，pp. 3-4 (2014.1.29).
（4）　大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一，安達正利，「パルスエコー法と共振法を併用した三方晶系点群３２結晶の音響関連物理定数の温度係数測定法の検討」，圧電材料・デバイスシンポジウム2014，I-1，pp. 111-112 (2014.1. 30).
（5）　大橋雄二, 荒川元孝, 櫛引淳一, 安達正利, “三方晶系点群３２結晶の音響関連物理定数の温度

係数測定法の検討,” 第61回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 18p-F5-8, p. 01-133 (2014.3.18).

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究では，まず，ランガサイト系単結晶 $Ca_3NbGa_{3-x}Al_xSi_2O_{14}$ の Al の置換量 x を変えながらチョクラルスキー法による育成を行い，育成条件や EDX による結晶の組成分析依存性と音響的性質などを調べた.

まず, チョクラルスキー法による結晶育成の基本となる CNGS 単結晶の育成を行った. その結果，X 軸方向，Y 軸方向，Z 軸方向各々について良質な単結晶を得ることができた. 次に, CNGS の Ga を一部 Al 置換した CNGAS(x=0.2, 0.3, 0.4, 0.5)の結晶育成を試み, 良質な単結晶の育成に成功した. 図１に, x=0.3 および x=0.5 の場合の育成結晶の例を示す. 良質な単結晶を得るためには，適切な温度制御，育成条件を見出すこと，ネッキングを行うこと，良質かつ同じ組成の種子結晶を準備することが必要である. また, Al 置換量を増やしていくごとに融点が上がることを確認した. EDX による組成分析を行った結果, 図２に示すように CNGAS の仕込み組成に対して育成した単結晶の Al 置換量が多い傾向にあることを確認した. これは，Ga^{3+} と比較して Al^{3+} はイオン半径が小さく C サイトに入りやすいことが原因であると推測できる. また，CNGAS は CNGS と比較して融点が高くなる. CNGS-CNAS 系で固溶領域が存在し，そのため，Al が仕込み量より多く結晶に入ったと考えられる.

図３は測定した密度と Al 置換量の関係の結果である. 原子量の大きい Ga が原子量の小さい Al と置換されることにより密度が減少していることを示す.

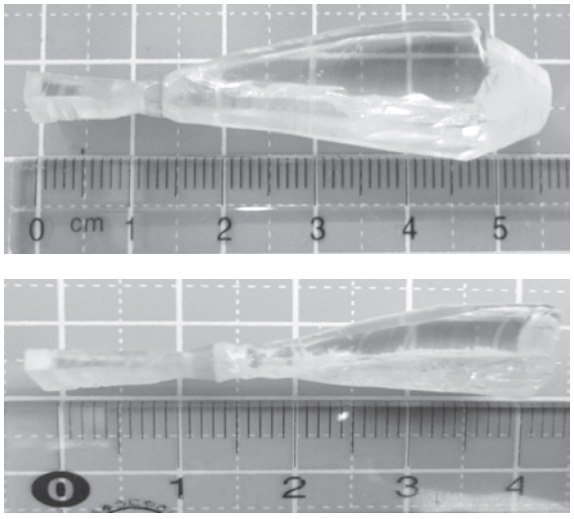


図１　CNGAS 育成結晶：上段 x=0.3，下段 x=0.5

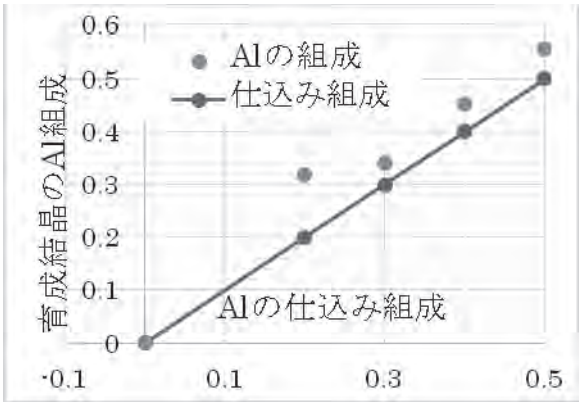


図２　CNGAS の定量分析結果

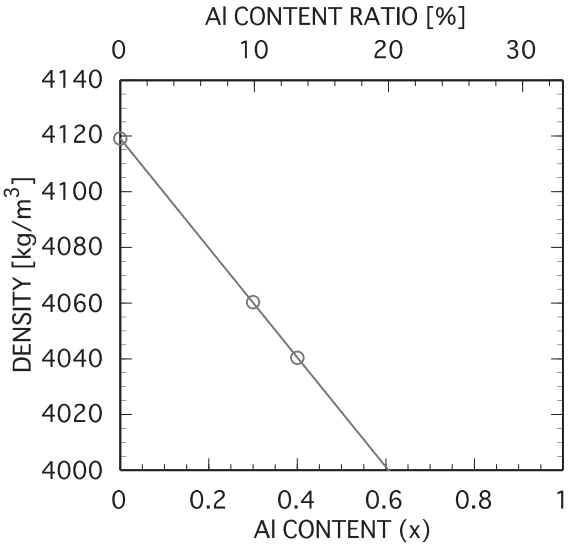


図３　CNGAS の密度と Al 置換量の関係

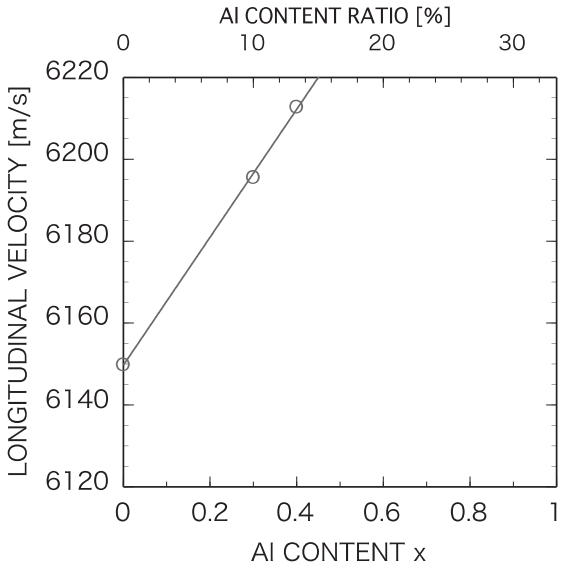


図４ CNGAS の X 軸伝搬縦波音速の Al 置換量依存性

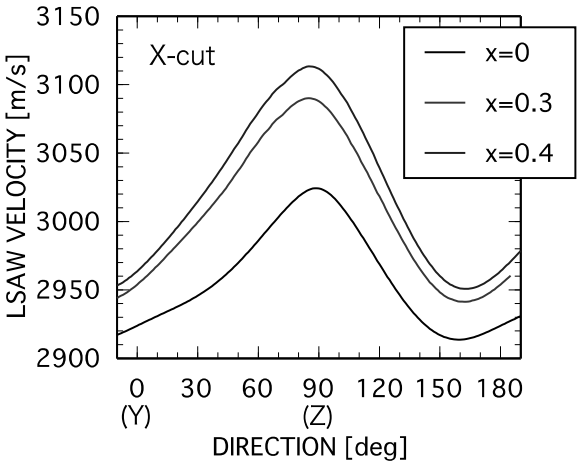


図５　X-cut CNGAS(*x*=0, 0.3, 0.4)試料に対するLSAW速度の伝搬方向依存性.

表１　23℃におけるランガサイト系単結晶CNGSおよびCTGSの音響関連物理定数.

Constant		CNGS	CTGS
Elastic constant [$\times 10^{11}$ N/m^2]	c_{11}^E	1.549	1.564
	c_{12}^E	0.750	0.746
	c_{13}^E	0.766	0.776
	c_{14}^E	-0.0040	0.0056
	c_{33}^E	2.263	2.273
	c_{44}^E	0.406	0.417
Piezoelectric constant [C/m^2]	e_{11}	0.353	0.317
	e_{14}	-0.297	-0.587
Dielectric constant	$\varepsilon_{11}^S/\varepsilon_0$	16.09	15.31
	$\varepsilon_{33}^S/\varepsilon_0$	27.85	22.04
Density[kg/m^3]	ρ	4119.0	4624.1

図４は, UMS技術を用いてCNGASのX軸伝搬縦波音速のAl置換量依存性を測定した結果である. Al置換量が増加するにつれて縦波音速がほぼ線形に上昇することが確認された. また, 図５は, CNGAS(x=0, 0.3, 0.4)のX-cut基板試料に対して, UMS技術の中心システムである直線集束ビーム超音波材料解析(LFB-UMC)システムを用いて漏洩弾性表面波(LSAW)速度の伝搬方向依存性を測定した結果である. Alの置換量が増えるにつれ, LSAW速度が上昇した. また, その速度プロファイルは結晶の対称性を反映した異方性を示しており, Al置換を行ってもその異方性は存在しており, 弾性的にもランガサイト構造を保ったままGaとAlが置換されたことを示唆する結果が得られた.

X軸伝搬の縦波音速は, 弾性定数c_{ij}^E, 圧電定数e_{ij}, 誘電率ε_{ij}^S, 密度ρを用いて次式のように表される.

$$V_{XL} = \{(c_{11}^E + e_{11}^2/\varepsilon_{11}^S)/\rho\}^{1/2} = (c'/\rho)^{1/2}$$

したがって, 図３のように密度ρが減少することで縦波音速が上昇しただけとも考えられるが, 上式の実効的な弾性定数c'の変化を求めると, Al置換量が増大するにしたがってc'も上昇しており, 弾性定数および圧電定数が上昇していることを示す結果であった.

今後, よりAl置換量を増やしたCNGASの育成, CNGSにおけるAlの固溶限界量の決定, Al置換による高温における絶縁性の改善が期待される.

一方, UMS法により-30から＋80℃のCNGS, CTGSの音響基礎特性を測定した. 表１にそれらの23℃での誘電・弾性・圧電定数の値を示す. CNGS, CTGSとも他のランガサイト系の材料よりe_{14}が特に大きく, すべり振動子に適していると考えられる.

（３－２）波及効果と発展性など

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た. また, 本プロジェクトで明らかになった各種圧電単結晶材料の弾性･圧電特性の評価法として, 直線集束ビーム(Line-Focus-Beam: LFB)超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー（Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS）技術」と共振・反共振法およびパルスエコー法で得られる材料定数に関する共同研究という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき, 材料定数測定法の標準化など, 今後の発展が期待される.

また, 決定した定数を用いた計算から, ランガサイト系単結晶(特にCNGSおよびCTGS)について, 室温近傍のバルクすべり波共振器デバイス用途への新しい可能性を見出したことにより, ランガサイト系単結晶を用いたデバイス応用研究分野の活性化のきっかけを与える貢献をした. また, 新しいCNGAS単結晶の育成の可能性を見出したことで, さらに新しいデバイス応用の分野が開拓されることが期待される.

［４］成果資料

（１）T. Karaki, T. Katayama, K. Yoshida, S. Maruyama, and M. Adachi “Morphotropic Phase Boundary (MPB) Slope of (K,Na,Li)NbO_3--$BaZrO_3$ Binary System adjusted by Third Component (Bi,Na)TiO_3 additive”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 52, (2013) 09KD11-1-4 (4pages).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

採択番号　H24/A08

半導体量子ナノ構造の電子・核スピン物性の研究

［1］組織
代表者：大野　裕三
（筑波大学数理物質系）
対応者：大野　英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：松倉文礼（東北大学 WPI-AIMR）
山ノ内路彦（東北大学電気通信研究所）
石原淳（東北大学電気通信研究所）
延べ人数　5 人
研究費：物件費 201,000 円，旅費 213,000 円

［2］研究経過

・本プロジェクトの目的・概要

原子レベルの結晶成長制御やナノスケールの微細加工技術，さらには金属・半導体など構造・物性の異なる物質の境界を越えた材料科学の進展により，将来の IT 技術を支える機能デバイス材料・物性として，電子のもつ電気的な性質（電荷）と磁気的な性質（スピン）の両方の自由度を活用するスピントロニクス，特に非磁性の半導体をベースとする半導体スピントロニクス研究分野が大きく注目されている．これまでに本申請者らは，非磁性半導体へのスピン偏極電流注入や，量子井戸構造における電子スピンダイナミクスの制御など，先駆的な研究成果をあげ，本分野の発展に貢献してきた．一方，超感度・高空間分解の光を用いたスピン検出など実験技術や，新しい観点から論じたスピン軌道相互作用などの理論研究が近年著しく進展し，半導体量子ナノ構造におけるスピンダイナミクスに関する研究は大きく展開しつつある．特に，電流誘起スピン分極[5]やスピンホール効果など，これまでほとんど未開拓であった非磁性半導体における電子スピン物性が次々に明らかにされつつある．一方で，こうした現象の研究には，物質創成，計測いずれにも世界最高水準の技術が要求されており，国内外を見てもごく限られた実験研究がなされている状況である．これら新奇な物理現象について系統的な実験を積み重ねていくことにより，多くの知見を蓄積し，それを材料（組成）や素子構造の設計に還元することができれば，物理機構が明らかになるだけでなく，金属磁性体や磁性半導体に代わる新しいスピン偏極電流源のほか，量子スピンメモリやスピンスイッチング素子など半導体量子スピントロニクスの基礎材料として応用が期待できる．

本研究では，GaAs/AlGaAs 系半導体ヘテロ構造および量子ドット構造を中心に，スピンホール効果や半導体量子ナノ構造におけるスピンダイナミクス，特にスピン・軌道相互作用と低次元量子閉じ込め構造に関連するスピン物性を実験的に解明するとともに，これを制御することによって，新機能発現の基礎となる物性実現と，その応用への展開を目的とする．目標としては，(1)電気的・光学的にスピン伝導・スピン分極状態を制御可能な GaAs/AlGaAs 系半導体量子ナノ構造デバイスの設計・作製，(2)単一電子スピンダイナミクスの制御と検出，(3)量子ナノデバイスにおけるスピン分極の実証とスピン依存伝導のイメージング実現，を目指す．

本年度は，主に研究打ち合わせを計 2 回実施した．
(1)平成 25 年 10 月 26 日
(2)平成 26 年 3 月 2-5 日

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究では，スピントロニクスにおいてきわめて重要な役割を果たすスピン軌道相互作用（SOI）と，ある条件下で発現するスピン緩和を完全に抑制するスピン永久旋回(Persistent spin helix: PSH) に注目し，結晶の反転非対称性に起因する Dresselhaus スピン軌道相互作用と構造の反転非対称性に起因する Rashba スピン軌道相互作用が共存する2次元電子系における SOI の定量的評価，および高空間分解での局所スピン分布の測定による電子スピン時空間ダイナミクスの評価とその制御を行うことを目的とした．スポット径が歳差運動長より十分小さい走査型 TRKR 測定系を構築することで，スピンの時空間発展を観測した．

対物レンズを使用し，プローブ光のスポット径を?$_{FWHM}$ ~ 1.5 ?m 程度まで絞り，さらにプローブ光の光学系を 2 軸のピエゾスキャナ上に構築することで，試料面内のプローブ光走査を可能にした．また，ポンプ光は試料に対して45度の角度で入射しており，スポット径は6？m程度である．

変調ドープ GaAs/AlGaAs 単一量子井戸構造の試料において，二次元電子のスピン空間分布の時間変化を測定した結果を図1に示す．x//[1$\bar{1}$0], y//[110]であり，その位置における KR 信号をカラーマップで示してある．図1(a)はスピンを励起してから 40 ps 後，図1(b)は 360 ps 後

のスピン空間分布測定結果である. $(x, y) = (0, 0)$を中心にポンプ光のスポット径の拡がりを持って励起された電子スピンは, 直後にはそのスピン状態を同一方向(アップ)に保っている(Δt = 40 ps). その後, 時間とともに電子スピンは拡散するが, 運動方向に依存してスピンの状態が変化しており, 励起後十分に拡散した場合のスピン空間分布の測定結果(Δt = 360 ps)からもはっきりとわかるように, 励起された電子スピンは x 方向に運動するときには空間的に歳差運動するが, y 方向には励起スピン状態を保っている. すなわち, x 方向に運動する電子スピンが受ける有効磁場はDresselhausとRashba SOIの足し合わせになるため大きくなり, 一方で, y 方向に運動する電子スピンが受ける有効磁場は2つのSOIがキャンセルされるためほぼゼロになっている, ということである. つまり, 図1(b)に見られるこのスピンアップダウンの空間的なストライプパターンは本試料がDresselhausとRashba SOIの強さが等しいスピン永久旋回(PSH)に近い状態であることを直接的に観測できたことを意味している. また, 磁場印加時のスピン空間分布の時間変化から, SOIパラメータを実験的に求めることができ[11], 本構造では$\alpha = 1.7\times10^{-11}$, $\beta_1-\beta_3 = 1.2\times10^{-11}$ eVcmとなることがわかった.

Rashba SOIは量子井戸内の有効電場によって大きさが変わるため, ゲート電極を設けることで, 電圧によって外部制御が可能となる. SOIの大きさが変化すればスピンの空間分布も変化するはずであるが, 上記実験ではスピン空間分布の変化は観測できない. そこで次に, ゲート電極を設けたGaAs/AlGaAs量子井戸を用い, 二次元電子スピンの時空間ダイナミクスを測定することで, ゲート電圧によるスピン空間分布の制御を直接観測した. ここで用いた試料はGaAs/AlGaAs量子井戸上に半透明ショットキー電極としてAuを8 nm蒸着したものである. 異なるゲート電圧においてスピン空間分布 $S_z(x,y)$を測定した結果を図2に示す. 全てのゲート電圧において空間的なスピンのアップダウンのストライプパターンが観測されており, そのパターンはゲート電圧 V_g の大きさによって変化している. 特にスピンのアップダウンの周期はSOIの大きさによって決まるが, V_g によってその周期が変化しており, SOIの制御とスピン空間分布の制御を直接的に観測することができた. また, 図2下段は x 方向のスピン空間分布の時間発展 $S_z(x,\Delta t)$の測定結果であり, 各ゲート電圧において, スピンが時間的にどのように拡散と歳差運動を行なうかを示している. 図よりゲート電圧によって歳差運動長λ_{SO}が変化しているだけでなく, スピンストライプパターン形成までの時間も変化していることがわかる. これは負バイアスによるキャリア密度の減少により, 移動度, 拡散の速度が低下するためであると考えられる. また, 磁場印加時のスピン空間分布の時間変

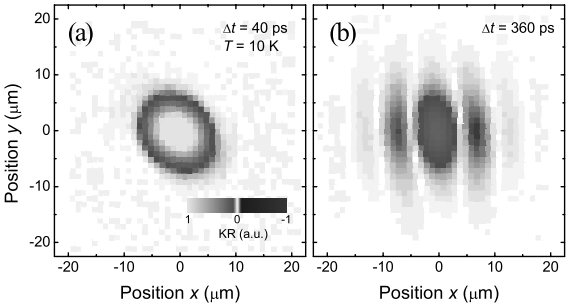


図1　走査型TRKR測定系を利用した, スピンの時空間ダイナミクスの測定結果. (a)スピン励起後40 ps, (b)スピン励起後360 ps.

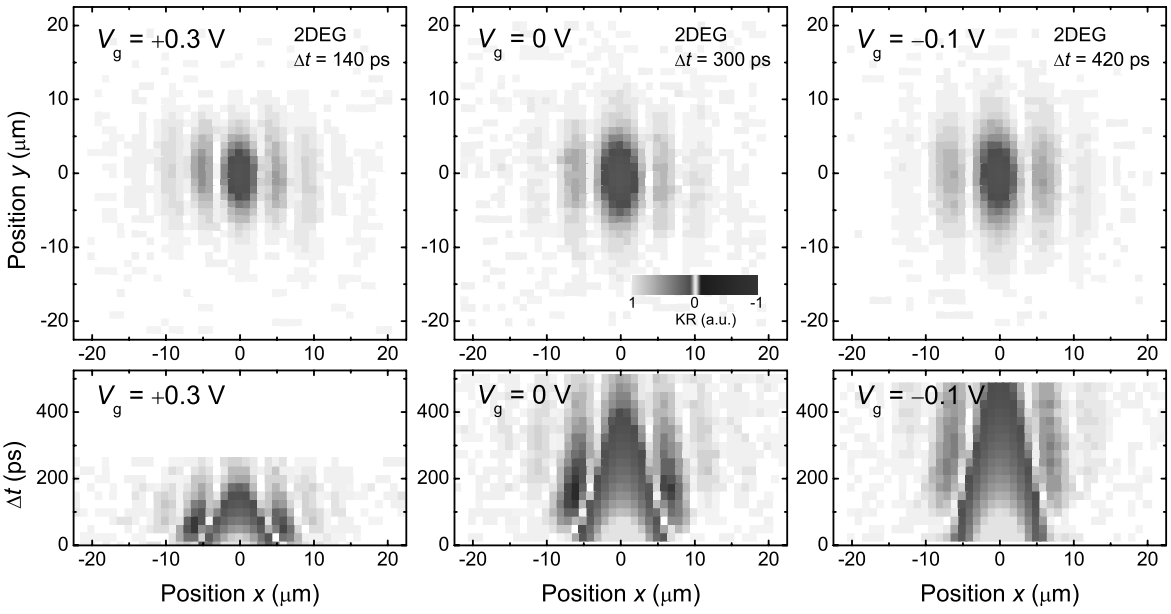


図2　ゲート電圧 V_g = 0.3, 0, –0.1 Vにおける拡散後のスピン空間分布(上段)と x 方向(//[110])のスピン空間分布の時間変化(下段).

化から，V_g=–0.2 V において$\alpha=\beta_1-\beta_3$となる条件を見出し，PSH 状態を得ると同時に，SOI パラメータαと$\beta_1-\beta_3$のゲート電圧依存性を得ることに成功した．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトと並行して，平成 23 年度採択の科学研究費補助金基盤 A「半導体・磁性体ハイブリッド構造におけるスピン制御とスピンダイナミクスの光検出」および平成 24 年度新規採択の挑戦的萌芽研究「ＧａＡｓ／ＡｌＧａＡｓ量子細線構造におけるスピン永久旋回状態の形成とスピン輸送」を実施し，相乗的な効果が得られた．

［４］成果資料

1. J. Ishihara, Y. Ohno and H. Ohno, Appl. Phys. Express. 7, 013001 (2014).

採択回数	1	②	3

採択番号　H24/A10

共鳴トンネル素子を用いたTHz送受信システムの研究

THz wave generation and detection systems using resonant tunneling devices

［1］組織
代表者：前澤　宏一
（富山大学大学院理工学研究部）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
森　雅之　（富山大学大学院理工学研究部）
潘　杰　（富山大学大学院理工学研究部）
中野　純　（富山大学大学院理工学研究部）
呉　東坡　（富山大学大学院理工学研究部）
森田　弘樹（富山大学大学院理工学研究部）
坂本　宙　（富山大学大学院理工学研究部）
山田　悟史（富山大学大学院理工学研究部）
中山　大周（富山大学大学院理工学研究部）
安藤　浩哉（豊田高専情報工学科）

延べ参加人数：11人

研究費：物件費　21万7千円，旅費23万4千円

［2］研究経過

共鳴トンネル素子(RTD)はTHzを超える高速性を持つ高周波デバイスであり、最近THz領域の信号源として注目を集めている。しかし、共鳴トンネル発振器にはスプリアス発振やバイアス不安定性という大きな問題があり、その応用は非常に限られていた。我々はこの問題を抑制できる新しい構成のRTD-THz信号源を提案し、前回の共同研究においてその可能性を明らかにしてきた。一方、RTDはその強い非線形性と増幅特性からTHz信号の受信システムへの応用も有望である。本応募課題はこれまでの成果を基盤に、RTDによる信号源と受信回路を一体化したTHz送受信システムの構築を目指すものである。

本プロジェクトは、本年度が二年目であり、上記目的を達するため、RTDを用いた極短パルス生成技術について検討を進めるとともに、THz信号受信回路の検討を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

1) 極短パルス生成器

我々は以前から、RTDと抵抗からなる簡単な回路でpsオーダーの極短パルスが容易に生成できることを実証してきた。しかし、パルス強度が小さく、これを増大させることが難しいという問題点があった。これは、RTDのピーク電圧、バレー電圧が小さな値に固定されていることが原因であり、RTD面積を大きくしてもパルスパワーはほとんど変化しない。この問題を解決するには、出力回路の低インピーダンス化が必要であり、50Ω負荷との間にインピーダンス変換回路を挿入する必要がある。この変換回路は、極短パルスに対応した広帯域性が要求される。

昨年度、我々は、シミュレーションによる検討を行い、テーパー線路がこのインピーダンス変換回路として有効であることが明らかにした。本年度は、回路を実際に試作し、その効果を調べた。

回路は、InP基板上にMBE法により成長したRTD層を用い、コンタクト露光とウエットエッチング、メタル蒸着/リフトオフ工程を用いて作製した。図1に作製した回路のチップ写真を示す。図中、(a)はテーパー線路のないパルス生成器、(b)がテーパー線路インピーダンス変換器を挿入したパルス生成回路である。出力波形の例を図2に示す。半値幅10

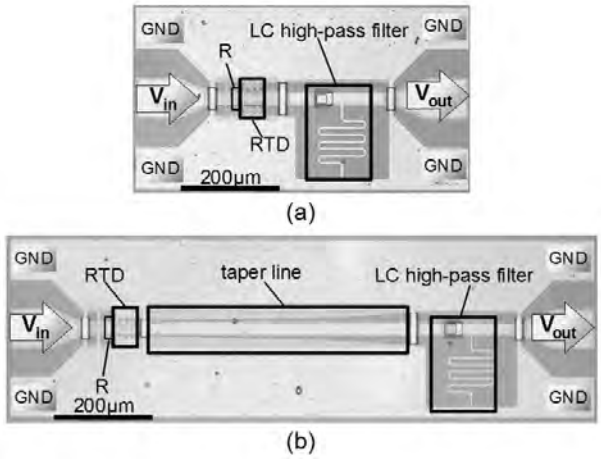


図1　作製した共鳴トンネルパルス生成器。(a)出力直結型、(b)テーパー線路インピーダンス変換回路を用いたもの。

ps 程度の極短パルスが得られている。シミュレーションにより得られた負荷インピーダンスに対するパルス強度の依存性とともに、本実験結果をプロットしたのが図 3 である。実験結果とシミュレーション結果の良い一致が得られている。

なお、図からわかるように出力パワーはインピーダンスの減少とともに増大する。また、その効果は面積が大きいほど大きくなる。したがって、よりインピーダンスの小さな変換回路を採用すれば出力の一層の増大が期待できる。ただし、今回用いたコプレーナ伝送線路構造では、これ以上の低インピーダンス化は難しい。現在、マイクロストリップ構造を利用した高出力パルス生成器の試作に向けてプロセス検討を続けている。

2) 超再生検波による THz 信号検波の検討

THz 帯域では、信号の増幅が難しく、ディテクターには高感度なものが望まれている。超再生検波方式のディテクターは高感度性が特徴であり、長い研究の歴史がある。我々は、RTD 発振器の高次高調波による励起を検討し、THz 波のディテクターとしての有効性を検討した。

図 4 に、検討した超再生検波回路の基本構成を示す。この回路は RTD 発振器のバイアス電源をパルス駆動にするとともに、C_{IN} を介した入力ポートを設けたものである。この回路を超再生検波回路として用いる場合、周期的なバイアス電圧を印加する。図 5(a) にその例を示す。ここで、V_a は、RTD の高電圧側の正抵抗領域を、V_b は負性抵抗領域をバイアスできるように選んだ。発振は、V_b を印加した時生じ、V_a で停止する。図 5(b)、(c) はシミュレーションにより得られた動作波形である。図 5(b) は無入力時の V_{RTD} の時間変化を示している。RTD が負性抵抗にバイアスされると少し遅れて自走発振が始まることが分かる。自走発振周波数は約 14 GHz である。これに対して、14 GHz、 0.1 V_{pp} の正弦波信号を入力したのが図 5(c) である。発振の立ち上がりが 2ns 以上早くなっているのが読み取れる。発振の始まる時間 t_s は入力信号の強度に依存する。したがって、t_s を読み取れば信号強度を知ることができる。これは、例えば、図 4 のノード N1 に包絡線検波回路を接続することで容易に行うことができる。C_b は大きな値を用いているため、ここに FET バッファを接続しても回路動作にはほとんど影響を与えない。

我々は、この回路に自走発振周波数の高調波となる信号を入力した時の応答を調べた。その結果、信号入力感度は自走発振周波数から離れると弱くなるが、二次以上の高次における感度の減少は小さく、

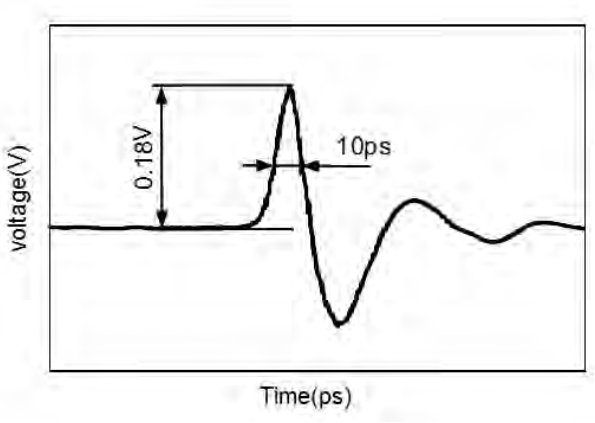


図 2　出力波形の例

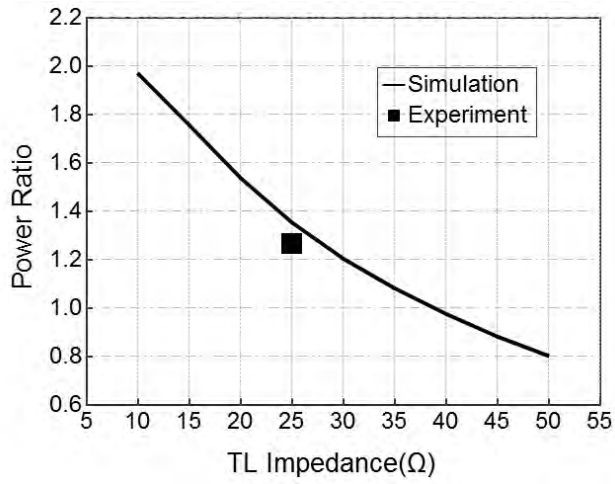


図 3　出力パワーのインピーダンス依存性のシミュレーション結果

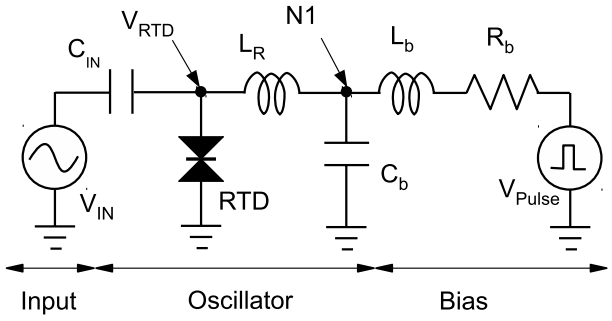


図 4　RTD を用いた超再生検波の基本回路

非常に高い周波数まで信号を検知できることが明らかになった。このことは、低周波の自走発振回路でも容易に THz 波が検知できることを意味している。現在、試作により、この効果を実証すべく、準備を行っている。

現在、上記検討を基に、THz 波の生成、検波の実験的検証を目指して検討を進めている。測定には東北大学電気通信研究所に設置されている THz 測定システムを用いる予定であり、2 月 20 日には、東北大学において、今後の研究計画、特に実験手法、回路構成、実装方法に関する打ち合わせを行った（参加者：尾辻、安藤、中野、前澤)。

［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 極短パルス生成器

RTD を用いたパルス生成器の問題点であったパルスパワーの増大を図るため、テーパー線路インピーダンス変換器を内蔵した回路を試作し、その効果を確認した。

② 超再生検波による THz 信号検波の検討

RTD 発振器の高周波特性を利用した、超再生検波方式を提案した。高調波の利用により、THz 波の検知が可能なことをシミュレーションにより確認した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度は、昨年度のシミュレーション検討結果に関し、実験による検証を行った。また、新しい THz 検波方式として RTD を用いた高次高調波超再生検波方式を提案した。

本提案は、最近関心が高まっている THz 波(100GHz-10THz)の信号生成/検出技術として有望であり、今後、THz 波の応用範囲を大きく拡大する可能性を秘めている。

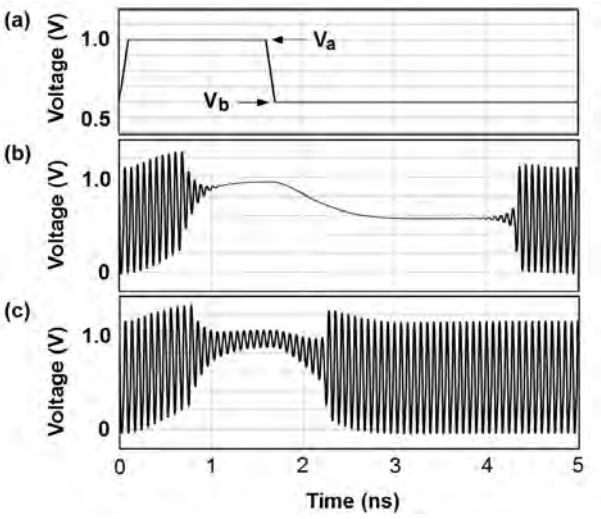


図 5 RTD 発振器における超再生検波の基本動作

［4］成果資料

[1] K. Maezawa, J. Pan, D. Wu, Y. Kakutani, J. Nakano, M. Mori, “Possibility of THz detection with resonant tunneling super regenerative detectors based on extremely high order harmonics,” IEICE Electronics Express, Vol. 10, No.20 (2013) pp. 20130676.

[2] J. Nakano, T. Shibata, H. Morita, H. Sakamoto, M. Mori, K. Maezawa, “Fluidic Self-Assembly Using Molten Ga Bumps and Its Application to Resonant Tunneling Diodes,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol.52 (2013) 116501.

[3] Dongpo Wu, J. Pan, K. Mizumaki, M. Mori, K. Maezawa, "Ultrashort pulse generators using resonant tunneling diodes with improved power performance," The 25th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials Kobe Convention Center, Hyogo, 19-23rd May (2013)

[4] J. Nakano, T. Shibata, H. Morita, H. Sakamoto, M. Mori, K. Maezawa, "Fluidic self-assembly for heterogeneous integration of high performance resonant tunneling diodes using molten gallium bmps," The 37th Workshop on Copound Semiconductor Devices and Integrated Circuits, Warnemunde, Germany, 26-29th May (2013)

[5] J. Pan, D. Wu, M. Mori, K. Maezawa, "RF large signal characterization of active transmission lines loaded with InGaAs/AlAs resonant tunneling diode pairs," 10th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2013), Hakodate, Hokkaido, Japan, 2-5th September (2013) .

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　H24/A11

前庭情報による音空間歪みに関する研究

［1］組織

代表者：寺本　渉
（室蘭工業大学大学院工学研究科）
対応者：坂本　修一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：なし
延べ参加人数：８人
研究費：物件費２０万１千円，旅費１８万４千円

［2］研究経過

視覚や聴覚など複数の感覚情報を伝達するマルチモーダルな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り，人間のマルチモーダル知覚の特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる。人間は，通常，眼や頭部，身体全体を動かしながら周囲の環境を認識しているが，従来のシステムの多くが，こうした情報の受け手の動きが提示された情報を認識する上でどのような影響を及ぼしているかについて考慮してこなかった。すなわち，情報提示の細部のリアリティのみが追求され，聴取者が動いた場合に音空間がどのように知覚され，それは行動にどのような影響を与えるのかついては研究されてこなかった。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，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を実現するための手法の提案へとつなげることが期待できる。

そこで本プロジェクトでは，そうしたシステムを実現するための基礎的検討として，前庭情報を主とする自己運動情報によって音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して行った。

この分野の研究は，ドイツや北米で盛んに研究されているが，直線加速度運動が人間の聴覚情報処理に及ぼす影響については系統的な検討がなされておらず，新しい試みである。また，従来，直線加速度刺激を扱った研究の多くは，耳石器へ刺激を与える際に，モーションプラットフォームなどを急激に傾けることによって代用していた。それに対して本研究は，東北大学電気通信研究所所有の自走式車いす型装置を使って滑らかな直線加速度刺激を与えることができるため，より精確な知見を提供できると考えられた。

具体的には，自走式車いす型装置によって提示される直線運動に関して，方向／加速度／速度／能動性という自己運動パラメータと聴覚刺激の提示空間位置（進行方向／進行方向反対側）を系統的に操作した音源定位実験を行うことにより，自己運動時の聴覚空間の「かたち」を明らかにするための実験を行った。

本プロジェクトは，平成 19～23 年度に文部科学省科学研究費補助金特別推進研究「マルチモーダル感覚情報の時空間統合」，平成 24 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」の発展研究として位置づけられる。前年度までのプロジェクトの成果をもとに，前庭情報と聴覚情報のマルチモーダル効果の一般性および特異性を検証するため，自己運動知覚にとって重要な感覚器の一つである視覚的自己運動情報が聴覚情報処理に与える影響を，自己運動の方向，速度，加速度，音源位置を系統的に操作して実験を行い，自然で豊かな感性情報通信を実現すべく発展させるものである。

以下，研究活動状況の概要を記す。

第１回研究打ち合わせ（2013 年 7 月 31 日ー8 月 2 日）　前庭情報と聴覚情報の相互作用を検討した従来の研究を整理し，今年度の研究計画について議論を行った。

第２回研究打ち合わせ(2013 年 12 月 13 日ー15 日)　追加実験を実施した。また，半年間進めてきた視覚的自己運動情報が音空間知覚に与える影響について，途中経過を確認した。さらに，学術論文投稿に向け，データの精査を行い，追加実験の必要性について議論を行った。

第３回研究打ち合わせ（2014 年 2 月 27 日ー3 月 1 日）　今年度の成果の総括と，次年度の方向性について議論を行った。また，東北大学で行われた共同プロジェクト発表会で発表を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

○ 視覚的自己運動情報の影響

聴覚末梢系へ入力される音情報は，聴取者の動きに応じて聴取者と音源との位置関係が変化することで，異なってくる。しかし，自己運動に伴って音情報の変化が発生した場合，我々は音源から発生される音情報自体が変わったと認識することなく，音源と自分自身との位置関係が変化したと認識し，難なく音源位置や方向を把握し，適切な行動を行うことができる。このことは，聴覚系が聴覚末梢系からの情報と聴取者自身の頭部や身体の運動情報を統合し，適切な解を得ていることを示唆する。自己運動に関する情報は主に，前庭系と視覚系によって与えられる。従来，前庭回転加速度刺激や自己回転運動知覚を生じさせるような大視野視覚運動刺激によって，聴覚対象の定位に系統的な錯誤が生じることが知られている。しかし，日常我々が良く経験する直線加速度運動の影響ついては，ほとんど知られていない。そこで我々は前年度，自走式車椅子装置を使って，前庭情報による直線等加速度自己運動が音空間知覚に及ぼす影響を検討した（図1）。その結果，前進方向への直線等加速度運動中に自分の真横と感じられる音源位置が加速度の増加に伴って進行方向側に偏位することを示された。一方，後進方向への直線等加速度運動ではこの現象は生じず，速度による影響も受けなかった。また，他の実験では，前進直線等加速度運動中の進行方向側の音空間の構造を調べた。その結果，前進方向への直線等加速度自己運動時には，音空間が圧縮して脳内に表現されている可能性が高いことがわかった。

本年度は，自己運動情報を与える感覚系を前庭系から視覚系に変更し，同様の実験を行った。視覚系は自己運動を知覚する上で非常に重要である。事実，実際に動いていなくても，大視野に一様に動く刺激を提示することによって我々は自己運動を知覚することができ，これは視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）と呼ばれる。特に，前庭系は加速度検出器であるため，等速運動を検出するためには視覚情報が不可欠である（Brandt et al., 1973）。自己運動速度や方向，距離等を検出するうえでも，空間解像度の高い視覚系からの情報が極めて強い影響をもつ。また，前庭刺激の場合には，実際に被験者を動かしているため，音の提示時間（30ms）の間に両耳への入力情報は変化する。このことが原因で前述のような現象が生じた可能性も否めない。そこで，前庭系と並んで，自己運動知覚にとって重要な感覚器である視覚的自己運動情報が聴覚情報処理に与える影響を検討することによって，前庭情報と聴覚情報のマルチモーダル効果の一般性および特異性を検証した。

実験1では，視野の広い範囲にランダムドットパタン（拡大または縮小）を提示して，ベクションを生起させ，前後方向への直線等加速度自己運動中に自分の真横と感じられる音の位置がどのように変化するか検討した（図2）。その結果，主に後進時に自分の真横と感じられる音の位置が進行方向側にシフトすること（別の言い方をすれば，実際にはかなり後方に位置している音を真横に知覚すること）が示された。実験2では加速度を変化させ（0.15および0.3 m/s²），加速度情報と自己運動情報それ自体（自己運動に関する主観的経験）のどちらが重要な役割を果たしているのかについて検討を行った。その結果，後進条件でのみ，加速度に比例して，真横に感じられる音の位置が後方にシフトすることが示された。実験3では，加速度刺激の代わりに等速度刺激を用いて，前庭による自己運動情報と視覚による自己運動情報の齟齬が少ない状況で実験を行った（等速運動時には前庭系は作用しないため）。その結果，この状況でも，後進条件でのみ真横に感じられる音の位置が後方にシフトすることが示された。以上から，前庭直線加速度刺激時には前進運動時にのみ，視覚による自己運動知覚時には後進時にのみこの現象が生じることがわかった。一般に，視覚情報しか与えられない場合には，前進の自己運動は，後進よ

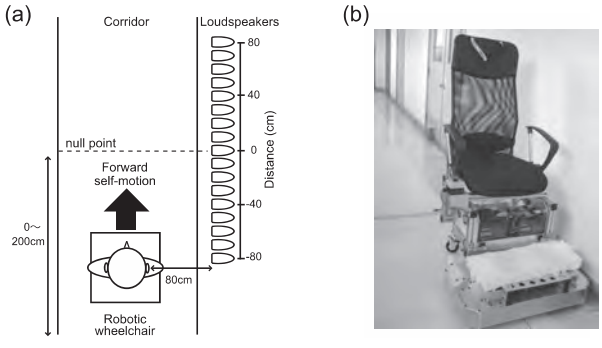


図1. 前庭加速度刺激実験の実験環境

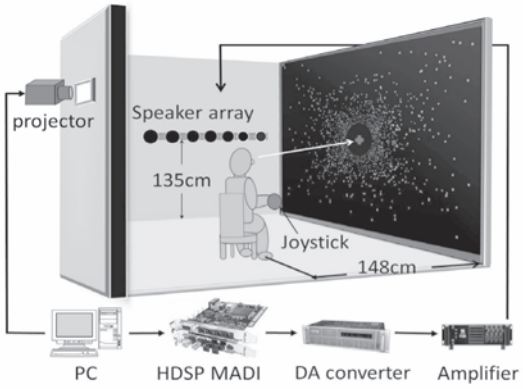


図2. 視覚的自己運動刺激実験の実験環境

りも知覚されにくいと報告されている。これは，前進は日常よく経験する運動であるため，視覚系と前庭系が強く結びついており，視覚入力しかない場合には前庭系からの抑制が強く働くためとされる。また，視覚系は同一の網膜像から物体運動と自己運動を切り分ける必要があり，特に拡大パタンが与えられたときには，自己運動情報としてよりも，危機回避上有利な接近「物体」情報として処理されやすい可能性も指摘されている。したがって，視覚情報による自己運動知覚時の結果は，このような自己運動処理の運動方向による非対称性が働き，後進時にのみ顕著に現れた可能性が高い。一方，前庭刺激時には，この視覚系の非対称性を補うべく，前進自己運動に対する感受性または情報の重み付けが高められており，比較的弱い刺激を用いた本研究においては，前進時にのみ現れ，後進時には現れなかった可能性が考えられる。これらは今後さらに検討していく必要がある。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトがきっかけとなって，東北大学および室蘭工業大学の２大学による共同研究体制が発足した。また，本研究の成果は，平成 25 年 10 月に開催された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である 9th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2013)で高く評価され，Best Paper Award として選定されるに至った。

この分野の研究は，回転加速度運動に関してはドイツや北米で盛んに研究されてきたが，日常我々がよく体験する直線加速度運動が人間の聴覚情報処理に及ぼす影響については装置の制約もあり，系統的な検討がなされてない。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

・寺本渉 (2013) 直線加速度自己運動時の音空間の歪み．基礎心理学研究，32(1), 1–6.
・寺本渉，茂石一樹，崔正烈，坂本修一，行場次朗 (2013) 視覚的自己運動情報による音空間の歪み．日本バーチャルリアリティ学会研究報告，vol.18 (VRpsy01), 19–22.
・Sakamoto, S., Terashima, H., Teramoto, W., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Difference of the perceived auditory space between walking and passive self-motion. Proc. 166th Meeting of the Acoustical Society of America, vol.134(5), 4062.
・Sakamoto, S., Teramoto, W., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Auditory space perception during active/passive self-motion (invited lecture). Proc. 9th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2013), IIHMSP-2013-IS12-10 (4 page manuscript). Best Paper Award 受賞
・Teramoto, T. Cui, Z., Moishi, K., Sakamoto, S., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Distortion of auditory space during linear vection. Proc. 36rd European Conference on Visual Perception (ECVP'13).
・Teramoto, T. Cui, Z., Moishi, K., Sakamoto, S., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Distortion of auditory space during visually induced self-acceleration. Proc. 14th International Multisensory Research Forum (IMRF).
・Sakamoto, S., Teramoto, W., Furune, F., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2013) Compression of perceived auditory space during uniformaly-accelerated forward self-motion (invited lecture). Proc. The 21st International Congress on Acoustics, 050128, 1–9.

採択回数	1　②　3

採択番号　H24/A12

情動ネットワーキングシステムに関する基礎的研究

［1］組織

代表者：小俣　昌樹
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
対応者：北形　元
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
菅沼　拓夫（東北大学電気通信研究所）
延べ参加人数：８人

研究費：物件費２０万４千円，旅費１４万９千円

［2］研究経過

本プロジェクトの目的は，対応者の北形および分担者の菅沼らが研究する「やわらかい情報システム」と代表者の小俣らが研究する「情動推定システム」とを融合して，ユーザの集中度・ストレス・情動に連動して柔軟にネットワークを制御する「Affective networking system」を設計することである（図１参照）。

本プロジェクトは，本年度が第２年度である。前年度は，作業成績と集中と生体信号との関係を検証し，その結果，作業成績と脳波のθ波のパワー値・β波のパワー値・脈拍数・呼吸振幅・皮膚電気活動との間に関係があることを示した。本年度は，中枢神経系の脳血流と脳波から情動の正負を表す感情価を推定するモデルを構築した。また，興味と生体信号との関係を表わすモデルを構築した。以下，この研究活動状況の概要を記す。

（1）　情動と生体信号との関係の検証

コンピュータユーザの状態を表わすさまざまな要因の中の心的状態のひとつとして，「情動」と生体信号との関係を検証した。具体的には，情動を生起する視覚的刺激とそれを観察した人の脳波・脳血流・脈波・皮膚電気活動・呼吸などの生体信号の変化との関係を分析した。

（2）　興味と生体信号との関係の検証

ネットワーク利用時におけるそのコンテンツへの「興味」も，ネットワーク制御の要因として重要である。そこで，映像コンテンツへの「興味」の主観的評価値と視聴時の生体信号との関係を調査した。

（3）　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て研究内容を議論・検討した。

- 日時：2014 年 2 月 4 日（火）14:00~17:15
- 会場：東北大学電気通信研究所 2 号館 3 階 W301 室
- 発表内容
  - 山梨大学小俣研究室
    - スマートフォンユーザの移動状態と周囲音に基づく通話是非率自動推定システムの設計，氏原祥吾
    - タブレット端末と携帯端末との状態変化を利用したインタフェースの提案，相澤聖也
    - e-learning 学習者の理解度と生体信号の関係，細川峻麻
    - 生体信号とヒューマンコンピュータインタラクション，小俣昌樹
  - 東北大学電気通信研究所
    - 3 次元共生空間における HMD を用いた空間提示手法の提案，伊藤寛祥
    - 電波強度と表示端末の移動履歴を利用したセンサ情報の AR 可視化，山崎蓮馬
    - 高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発，菅沼拓夫

（3）　ポスター発表

2014 年 2 月 27 日に東北大学片平さくらホールで開催された「電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会」において，ポスター発表を行なった。



図１：Affective networking system の概要

［３］成果

（３－１）研究成果

第１に，情動と生体信号との関係を検証するために，情動を逐次推定できる回帰モデルの構築のためのさまざまな実験を実施した。

感情価が既知の静止画を用いたオドボール課題を行ない，その感情価と生体信号との関係をMARS モデルで分析したところ，66 %の寄与率を得た。そして，測定したさまざまな生体信号の中で，脳波のα_2波帯域のパワー値が情動を説明する最も重要な指標であることがわかった。また，そのつぎに，脳血流の HEG 率が重要な指標であることがわかった。

さらに，静止画の色と感情と閲覧時の生体信号との関係を分析したところ，快感情のときと比べて不快感情のときのほうが脳血流の HEG 率が有意に高くなること，および脳波のθ波帯域のパワー値が有意に高くなることがわかった。

第２に，興味と生体信号との関係を検証するために，２分間程度の映像コンテンツ視聴時における視聴者の映像への興味の主観的評価と生体信号との関係を検証する実験を実施した。

この実験結果として，視聴したあとの興味の主観的総合評価が高い場合，視聴中の脈波の LF/HF 比が高くなり，脳血流の HEG 率および脈波の HF パワー値が低くなる傾向があることがわかった。しかしながら，被験者全体を一括した重回帰分析の寄与率と被験者ごとの重回帰分析の寄与率とを比較すると，被験者ごとの寄与率のほうが高いことから，現時点ではこれらの関係を一般化することは難しいと考える。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで提案する「Affective networking system（図 1）」は，人間の生理心理指標とコンピューティングおよびネットワーキングとを融合する新たなインタラクションスタイルのひとつとして考えられる。そのため，成果に示したユーザの情動や興味と生体信号との関係がより詳細に解明できれば，ユーザの心的状態へ柔軟に対応するコンピュータを設計することができるようになると考える。

さらにこのシステムを発展させて，ユーザの中枢神経系を中心にさまざまな生体信号を測定し，情動のみならず，意図や意思などのより高次なユーザの反応を推定することができるようになれば，「ブレインネットワークインタフェース」へとつながると考える。

また，このような人間の生理心理指標を識別したり推定したりする方法が開発されていくことは，コンピュータ分野のみならず，患者の心的状態まで含めて数値化して観察記録するような医療分野，製品のユーザビリティを心的状態まで含んで評価するような工業分野，心的状態をフィードバックしてあらたなインタラクションを生み出すエンターテイメント分野などにも貢献できると考える。

［4］成果資料

（1） 宮崎雄宇, 小俣昌樹, “感情と生体信号とユーザビリティ評価の作業成績との関連性の調査,” 日本バーチャルリアリティ学会研究報告(第 48 回サイバースペースと仮想都市研究会), Vol.18, No.CS-1, pp.1-6, 2013.

（2） 氏原祥吾, 小俣昌樹, “ユーザの移動と周囲の音に着目した通話可能率の推定,” 日本バーチャルリアリティ学会研究報告(第 48 回サイバースペースと仮想都市研究会), Vol.18, No.CS-1, pp.7-12, 2013.

（3） 川頭匠, 豊浦正広, 小俣昌樹, 茅暁陽, “情動誘導映像の設計,” 芸術科学フォーラム, Article 40 , 2013-3 . http://www.ite.or.jp/ken/paper/20130315tADo/

（4） 氏原祥吾, 小俣昌樹, “ユーザの移動と周囲の音に着目した通話是非推定モデルの設計,” FIT2013（第 12 回情報科学技術フォーラム）, Vol.3, pp.29-32, 2013

（5） 田邉将悟, 小俣昌樹, “映像への興味の主観的評価と視聴中の生体信号との関係,” FIT2013（第 12 回情報科学技術フォーラム）, Vol.3, pp.371-376, 2013

（6） Masaki Omata, Daisuke Kanuka and Xiaoyang Mao, “Emotion Estimation from Biological Signals and Its Application to an Emotional Painting Tool,” 2013 International Conference on Cyberworlds, pp.240-246, 2013.

（7） Masaki Omata, Satoshi Kagoshima and Yasunari Suzuki, “A Physiological Evaluation of Immersive Experience of a View Control Method using Eyelid EMG,” International Conference on Physiological Computing System(PhyCS2014), pp.224-231, 2014.

（8） Takuo Suganuma, “Resilient Networking Technology for Disaster Medicine Based on Software Defined Network,” Proc. of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2013), 2013.

（9） Takuma Oide, Atsushi Takeda, Takuo Suganuma, and Akiko Takahashi, “Implementation and Evaluation of the Well-distribution Algorithm for an Overlay Network,” Proc. of the 7th IEEE International Workshop on Middleware Architecture in the Internet (MidArch2013), pp.373-378, 2013.

（10） Takuya Kawamura, Toru Abe, Takuo Suganuma, “A Design of State Acquisition Function using Range Image Sensor for 3D Symbiotic Space,” Proc. of the Third International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2013), pp.622-627, 2013.

（11） Toru Abe, Adrian Agusta, Yuto Mitsuhashi, Taukuo Suganuma, “A QoS control method for camera network based people detection systems,” Proc. of the 9th Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP2014), pp.242-248, 2014.

（12） 鈴木彩香, 阿部亨, 菅沼拓夫, “小型携帯端末内蔵の複数センサを利用した動作推定手法の提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.140, IN2013-50, pp.83-87, 2013.

（13） 森瞬, 阿部亨, 菅沼拓夫, “共生型 3 次元仮想空間における空間提示機能の高度化, “第 21 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2013) 論文集, pp.95-98, 2013.

（14） 山崎蓮馬, 阿部亨, 菅沼拓夫, “電波強度と表示端末の移動履歴を利用したセンサ情報の AR 可視化,” 第 76 回情報処理学会全国大会, 4D-5, 2014.(発表予定)

（15） 伊藤寛祥, 川村拓弥, 阿部亨, 菅沼拓夫, “3 次元共生空間における HMD を用いた空間提示手法の提案,” 第 76 回情報処理学会全国大会, 2ZA-4, 2014. (発表予定)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

H24／A13

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

［1］組織
代表者：平野　愛弓
（東北大学大学院医工学研究科）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
井出　　徹（岡山大学大学院自然科学研究科）
手老　龍吾（豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端融合研究所）
菅原　正雄（日本大学文理学部）
星野　忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
荻野　俊郎（横浜国立大学大学院工学研究院）
谷井　孝至（早稲田大学大学院）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費 197,000 円，旅費 243,000 円
延べ参加人数 227 名（シンポジウム参加者を含む）

［2］研究経過

バイオエレクトロニクスは 21 世紀の重要な科学技術分野の一つであるが，その発展のためには，現在の半導体微細加工技術をバイオテクノロジーと融合することにより，バイオテクノロジーを高度化することが強く望まれている．特に，その多様な機能が次々と解明されつつある生体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．この融合が実現すれば，生体情報を物理信号に変換し，また，逆に物理信号を生体信号としてフィードバックできる高度なバイオ・インタフェイスシステムが構築でき，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献すると期待されている．

本研究では，生体高分子の中でも特に創薬の観点から注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に，半導体ナノ微細加工技術との融合により，新規なバイオ電子・イオンデバイスとしてのイオンチャネルチップやアレイの開発を目指している．具体的には，イオンチャネルの機能発現に必須のマトリクスである脂質二分子膜を半導体材料表面に集積した新規脂質二分子膜デバイスを作製し，さらにその膜中に生体イオンチャネルを包埋したイオンチャネルチップを開発する．この技術が開発されれば，イオンチャネルタンパク質に対する新規候補薬物の副作用誘発性についての高精度な解析が可能となり，バイオエレクトロニクスの分野の更なる発展にも貢献できる．半導体工学の研究者とチャネル研究の分野で活躍する研究者とが協力して，新しいバイオエレクトロクスの分野を開拓すると期待される．

２年度の本年度は，これまでに研究代表者らが開発してきた安定化脂質二分子膜デバイスへの効率的なイオンチャネル包埋法について詳細な検討を開始した開発した．これにより，副作用評価の観点から最近注目されている心筋の hERG チャネルを培養細胞より抽出して，安定化脂質二分子膜中へと包埋し，そのチャネル電流を単一チャネルレベルおよびマルチチャネルレベルで，シリコンチップ中で記録することに成功している。平成 26 年 2 月 21－22 日，および平成 26 年 3 月 5－7 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 2nd 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：平成 26 年 2 月 21 日（金）－22 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

「 Nanoelectronic devices and –materials for neuroscience」A.Offenhäuser (Jüelich research center, Germany)

「Intrinsic activity of defined neuronal networks in culture」H. Yamamoto (Waseda University, Japan)

「The number of astrocytes is critical for the synaptic transmission in a single cultured neuron」 S. Katsurabayashi (Fukuoka University, Japan)

「A role of activity-dependent competition in regulating the critical period of cortical plasticity」S. Kubota

(Yamagata University, Japan)
「Chaotic Boltzmann machines: Deterministic implementation of stochastic neural networks」 H.Suzuki (University of Tokyo)
「Resilient and energy efficient memories based on neuro-inspired codes」 V. Gripon (Télécom Bretagne, France)
「Hippocampal EEG activity of freely behaving mouse in the virtual environment」 N. Katayama (Tohoku University, Japan)
「Network mechanisms of high-frequency oscillation in the hippocampus」 H. Kamiya (Hokkaido University, Japan)
「Microfabricated silicon chips for recording hERG channel activities」 A. Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan)
「Simulation of oculomotor control and learning by a large scale spiking cerebellar neuronal model」 K. Inagaki (Chubu University, Japan)
「Dynamical simulation of retinal ganglion cell responses to natural scenes」 T. Yagi (Osaka University, Japan)
「Holistic pattern processing in large-scale cortical network models」 P. Herman (Royal Institute of Technology, Sweden)
「Silicon neuron using stochastic logic」 S. Sato (Tohoku University, Japan)

The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会
日時：平成 26 年 3 月 6 日（木）－7 日（金）
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

「Self-organized TiO_2 nanotube arrays: Latest features and applications」 P. Schmuki (University of Erlangen, Germany)
「Formation of an anodic titanium oxide nanotube film and its application to a front-illuminated dye-sensitized solar cell」 R. Kojima (Tohoku University, Japan)
「Fabrication of highly ordered structure in TiO2 nanotubes for hybrid solar cells」 T. Ma (Tohoku University, Japan)
「Metal-supported titanium oxide nanotube micro gas sensors」 Y. Kimura (Tohoku University, Japan)
「Functional Applications of Nanostructured Silicon」 N. Koshida (Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan)
「Reliable Metaldeposition into TiO2 Nanotubes and Use in Interdigitated Electrode Structures」 N. Liu (University of Erlangen, Germany)
「Growth and functionalization of low-dimensional nanocarbons by advanced plasma processing」 T. Kato (Tohoku University, Japan)
「Self-Shaping Deposition of Monolayer Graphene Oxide Flakes on Chemically Modified Surfaces」 T. Ogino (Yokohama National University, Japan)
「Interaction of spin polarized electrons with adsorbed chiral molecules: reactions and transport」 R. Rosenberg (Argonne National Laboratory, USA)
「Excitation of light emission by electron tunneling in the THz spectral range」 T. Tsunoda (Tohoku University, Japan)
「Tunable preparation of graphene oxide and its metal nanoparticle composites」 Y. Nishina (Okayama University, Japan)
「Room temperature atomic layer deposition of oxide films on flexible materials」 F. Hirose (Yamagata University, Japan)
「Tools for chip-based recording and stimulation of neuronal network activity」 B. Wolfrum (Forschungszentrum Jülich, Germany)
「Microfabricated Si chips with integrated hERG channels as a platform for drug safety screenings」
A. Hirano-Iwata （Tohoku University）
「On the Science of Sonoporation: Biophysical Dynamics and Subcellular Impact」 A. C. H. Yu (University Hong Kong, China)
「Roles of High-Speed Imaging in Ultrasound-Guided HIFU Treatment」 S. Umemura (Tohoku University, Japan)
「High Frame Rate Ultrasonography for Measurement of Tissue Dynamics」 H. Hasegawa (Tohoku University)
「Fabrication of fiber optic biosensor based on surface-enhanced Raman scattering」 T. Katagiri (Tohoku University)
「Osteoblast and macrophage response to hydroxyapatite and alpha-type alumina adsorbed with bovine serum albumin」 M. Kawashita (Tohoku University)
「Recent developments and applications of the chemical imaging sensor systems」 T. Yoshinobu (Tohoku University)

［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．

研究代表者らはこれまでに，テーパーの付いた滑らかなエッジを持つ微細孔を作製したシリコンチップ中に脂質二分子膜を形成することにより，機械的強度の高い二分子膜系を構築できることを報告してきた（*Langmuir*, 26, No.3, 1949–1952 (2010).）．昨年度は，このシリコンチップを SiO_2 熱酸化膜とテフロン層で被覆することによりチップ容量を下げ，ノイズ電流幅を 1-2 pA にまで抑制した．このノイズレベルは生体チャネルの単一チャネル電流を測定可能なレベルである．そこで平成２５年度は，この安定かつ低ノイズな脂質二分子膜中に，副作用評価が必須となったタンパク質 hERG チャネルを包埋し，そのチャネル活性について，チャネル電流記録を行った．その結果，図１のような hERG チャネルの単一チャネル電流を記録することに成功した。観測された単一チャネルコンダクタンスは 12 pS であり，同様の測定条件を用いてパッチクランプ法で観測された報告値 12 pS とよく一致していた．また，シリコンチップ中の hERG チャネルは濃 K^+ 条件において内向き整流性を示したが，この結果もパッチクランプ法での報告とよく一致していた．さらに，観測されたチャネル電流は，特異的阻害剤の E-4031 や，hERG チャネルへの副作用のために使用停止となった抗ヒスタミン剤のアステミゾールによっても阻害され（図２），生体膜中と同様の hERG チャネルの薬物反応性をシリコンチップ中で再現することに成功した．このような hERG チャネルに対するブロッカーアッセイは，溶液交換の可能な膜系において初めて実現可能であり，強度の高い人工脂質二分子膜系の構築によりはじめて達成することができた．

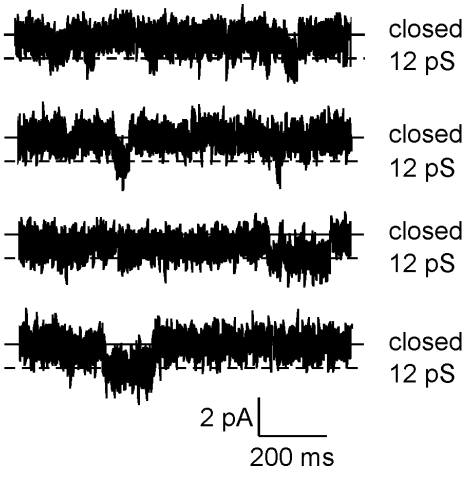


図１．hERG 単一チャネル電流の例

（３－２）波及効果と発展性など

半導体微細加工とバイオ素子との融合を目指す研究は，近年，ますます盛んになっている．特に，イオンチャネルタンパク質は，創薬における主要ターゲットであることや，hERG チャネルに対する薬物副作用の問題から新規な高効率なチャネル電流測定系の構築への需要が高まっている．また，hERG チャネルは心筋の活動電位発生における主要構成要素の一つであるため，もう一つの主要構成要素の Na チャネルとの共包埋が可能になれば人工活動電位の発生も可能となり，これにより人工軸索膜という新しい膜反応場の創成につながると期待される．固体デバイスとタンパク質，特に膜タンパク質のチャネルタンパク質とを結合させようとする試みは，今大きな発展を迎える時期にあり，今後の研究の進展が大いに期待される．

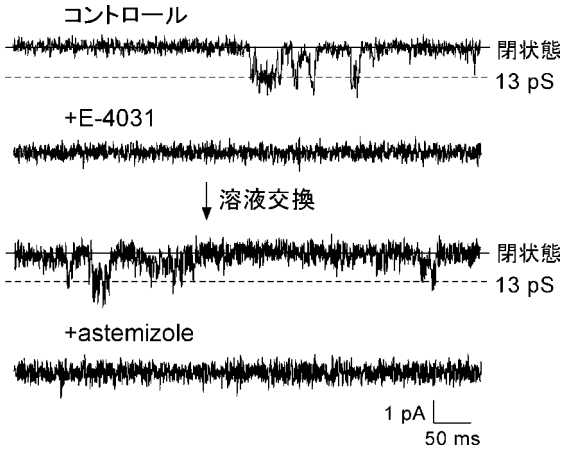


図２．hERG チャネル電流に対する副作用薬物の抑制作用

［４］ 成果資料

（１） Azusa Oshima, Ayumi Hirano-Iwata, Hideki Mozumi, Yutaka Ishinari, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, Reconstitution of Human *Ether-a-go-go*-Related Gene Channels in Microfabricated Silicon Chips. Analytical Chemistry, 85, Issue 9, 4363-4369 (2013).

採択回数	1	(2)	3

採択番号 H24/A15

超分散環境におけるコンテンツ指向コンピューティングに関する研究

［1］組織
代表者：宗森 純
(和歌山大学システム工学部)
対応者：木下　哲男
(東北大学電気通信研究所)
分担者：
岡田 謙一（慶應義塾大学理工学部）
石川　博（静岡大学情報学部）
石原　進（静岡大学工学部）
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）
小泉 寿男（東京電機大学理工学部）
佐藤 文明（東邦大学理学部）
白石　陽（はこだて未来大学システム情報科学部）
白鳥 則郎（早稲田大学大学院国際情報通信研究科）
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）
塚本 昌彦（神戸大学工学部）
富樫　敦（宮城大学事業構想学部）
桧垣　博章（東京電機大学理工学部）
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部）
宮西 洋太郎（(株)アイエスイーエム）
村山 優子（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
由井薗 隆也（北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科）
渡辺　尚（大阪大学大学院情報科学研究科）
延べ参加人数：23人
研究費：物件費 26 万 9 千円，旅費 60 万 2 千円

［2］研究経過

高速な無線ネットワークの発達，スマートフォンやタブレット端末等の普及と動画やアプリケーションのダウンロードによって，大量のリッチコンテンツがネットワーク上をやりとりされる状況になってきた．Twitter と呼ばれるソーシャルメディアの利用者は約５億人で，１日あたり３億件のつぶやき情報がネットワーク上を流れている．また，センサ技術や制御技術の高度化により，Ｍ２Ｍと呼ばれる物同士の通信によって，物流や農業機械，建設機械などの自律的な制御が可能となってきている．これらのコンテンツはネットワーク上に広範囲に分散して生成・蓄積されているとともに，コンテンツを加工したり配信する各種のサービスも広範囲に分散して提供されている．この状況は，従来のクライアント・サーバによる分散システムから，より複雑な“超分散システム”へと環境が変化していることを意味している．

しかしながら，このような大量のコンテンツから適切なものを選択したり，再構成して新たなコンテンツを作成したり，安全で適切な配信方法で配信したりすることはまだ十分に実現できてはいない．その理由としては，コンテンツの形式や属性，働きや機能が十分にフォーマル化（形式化）されていないため，コンテンツがあってもそれを十分に再利用できない点があげられる．また，大量のコンテンツを収集して加工するための計算方法が開発されていないことがある．更に，コンテンツの種類や目的に応じた安全で効率の良い通信方法が開発されていない点がある．

本研究では，コンテンツの属性，機能，利用環境に応じて検索方法・処理方法・配信方法が動的に定まる「コンテンツ指向コンピューティング」を提唱し，その開発環境と応用システムを実現する．コンテンツ指向コンピューティングでは，コンテンツの属性，機能，利用環境をフォーマルに定義する“コンテンツモデル”が規定される．コンテンツモデルでは，その属性や特性の記述にオントロジー（意味構造）を導入し，国や分野ごとに異なる言葉が用いられたとしても共通の概念として検索可能とする．これによって，ネットワーク上に広く分散管理されている大量のコンテンツの中から必要なコンテンツを容易に検索できるようにする．コンテンツモデルは，コンテンツのデータと，データを処理したり操作するためのプロセス群から構成され，プロセスの実現方法については外部に隠蔽する．そのため，コンテンツを利用する場合，処理の具体的な中身を知ることなく，プロセスのインタフェースだけ知っていればコンテンツを再生したり加工することができる．このモデルを使うことで，コンテンツを利用した新たなサービスを開発する場合においても，抽象的な操作の組み合わせにより実現可能となる．

本年度は，このプロジェクトの２年目である．本年度の目標は，コンテンツ指向コンピューティングの基本要素技術の開発とその実用性の評価である．要素技術としては，ユーザのコンテキスト情報の取得・配信技術，嗅覚コンテンツの作成・評価技術，クラウド上にコンテンツを安全に蓄積・処理する技術，不安定なネットワーク上でコンテンツを配信す

る技術，位置情報コンテンツを安全に配信するための匿名化技術等が開発されその結果が報告された．

以下，研究活動状況を記す．

研究推進会議を１回開催し，最新の研究成果を持ち寄り，議論を重ねた．開催日程および概要は以下の通りである．

＜研究推進会議＞

日時：平成 25 年 12 月 13 日～12 月 14 日

場所：東北大学電気通信研究所２号館 W217

参加者数：21 名(プロジェクトメンバ 13, 他 8)

Ａ．研究報告

(1)「工場の生産情報・エネルギー情報融合における M2M 技術」小泉寿男（東京電機大学）

(2)「ビジネスモデルを科学するプロジェクト報告」片岡信弘(東海大学)

(3)「ウェアラブルセンサー機器ネットワークシステム」水野忠則（愛知工業大学）

(4)「データ可視化のための開発環境について」富樫敦（宮城大学）

(5)「分散型発想支援システムによるコンテンツ開発環境の構築」宗森純（和歌山大学）

(6)「ハイブリッド方式による位置情報匿名化」佐藤文明（東邦大学）

(7)「ウェアラブル環境におけるコンテンツプログラミング」塚本昌彦（神戸大学）

(8)「実践的な災害コミュニケーションの研究事例の紹介」村山優子（岩手県立大学）

(9)「嗅覚ディスプレイの医療への適用」岡田謙一（慶応大学）

(10)「Pub/Sub モデルによる DTN に基づく効率的な情報配信方法」高橋修（はこだて未来大学）

(11)「コンテンツ分割によるクラウドセキュリティ向上策」宮西洋太郎（(株) アイエスイーエム)，白鳥則郎（早稲田大学）

(12)「協調分散 M2M システムアーキテクチャに関する研究」北上眞二，白鳥則郎（早稲田大学）

Ｂ．招待講演

「日本の科学技術の現状」東野輝夫（大阪大学）

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度に得られた成果の一部を以下に述べる．

ｉ）コンテンツの配信技術（成果論文(10)）

高橋（はこだて未来大）らは，コンテンツ配信ネットワークのための Publish/Subscribe モデルに基づく効率的な DTN ルーティングの開発を行った．DTN(Delay Tolerant Networks)は，不安定なネットワーク上でも中継ノードが蓄積・交換することによってデータの到達性を高める通信技術である．しかし，DTN では，通信相手を指定したルーティングを前提としており，コンテンツの属性や内容に応じたデータの配信を行うことはできなかった．今回提案したのは，Publish/Subscribe モデルというコンテンツの配信方法の導入である．Publish/Subscribe モデルでは，イベントブローカ（EV）というノードがコンテンツ提供者からのコンテンツ情報を管理し，コンテンツ要求者からの要求コンテンツ情報とのマッチングを計算して，コンテンツを配信するもので，提供者と要求者は相手を直接指定する必要はなく柔軟に配信できる．この通信モデルを DTN 端末に導入することで，不安定なネットワークでも安定して柔軟な配信が可能になった．

ⅱ）位置情報の匿名化技術（成果論文(6)）

ユーザの位置情報は，位置情報に応じたサービスを提供したり，地域や道路の混雑度を知るために非常に有益であるが，逆にプライバシー問題も発生することが指摘されている．この問題に対応するために，位置情報を管理するサーバに曖昧化された位置情報を提供する方法，ダミーの位置情報を提供することで利用者を特定しにくくする方法などが提案されている．しかし，これらの方法は匿名度を上げれば位置情報の有用性が低下する．逆に，位置情報の精度を上げようとすると，匿名度が下がってしまう．この問題に対して，佐藤（東邦大学）らは曖昧化方式とダミー方式とを組み合わせたハイブリッド手法を提案した．ノード密度が低いとき，近傍にノードが存在しないため，曖昧化してもノードが特定されやすくなるため，相対的にダミー方式の有効性が高くなる．また，ノード密度が高いとき，近傍に多数のノードが存在することから，ダミー方式より曖昧化方式の有効性が高い．これらの特性から，ノード密度に応じて，適切に曖昧化方式とダミー方式を併用することで，有用性を損なうことなく，匿名性を向上できることを示した．

（３－２）波及効果と発展性など

本研究は，従来のセンサーネットワークや分散処理技術，仮想化やクラウド技術を基盤技術として，様々なサービスコンポーネントがコンテンツモデルとして仮想化され，それらを安全で柔軟に利用できる環境を開発する．そして，そのコンポーネントを検索し統合して新しいコンテンツを専門家でなくても容易に構築できるようにする．その結果，従来 ICT 技術の導入が遅れていた農業，医療，教育といった分野への様々なコンテンツ・サービスの導入を促進することが可能となる．

本プロジェクトメンバーが中核となる新しい国際学会が設立され，白鳥，東野，岡田，水野，宗森らによる国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics)2013 を 9 月にスウェーデン・ストックホルムで開催した．本国際会議において，本プロジェクトに関わる無線ネットワークやセキュリティに関する研究成果が報告された．

本プロジェクトでは，議論した内容を基にして，

昨年度に東野，岡田，宗森，渡辺らの多くのメンバが中心となり，科研費特定領域研究「実世界のダイナミズムに基づく情報流学の創成」を申請するに至った．残念ながら採択には至らなかったものの，今年度はその方向性を深掘りする多くの成果が得られている．そして，来年度にこの要素技術をもとに，SCOPE（戦略的情報通信研究開発推進制度）等のいくつかの外部資金獲得への計画が立案された．

［４］成果資料

(1) Tomohiro Kokogawa, Yuji Maeda, Takahiro Matsui, Junko Itou, and Jun Munemori: “The Effect of Using Photographs in Idea Generation Support System”, Journal Of Information Processing, Vol.21, No.3, pp.580-587(2013.3).
(2) Hajime Yoshida, Takaya Yuizono, Takashi Yoshino, and Jun Munemori: “Development and evaluation of an emotional chat system using sense of touch”, KES Journal Vol.17, No.3, pp.235-242 (2013.7).
(3)深澤 彩，鈴木 理沙，岡田 謙一：″パルス射出を用いた測定法による嗅覚能力の数値化″，情報処理学会論文誌，Vol.54，No.10，pp.2325-2332 (2013.10).
(4)吉川 潤，齋藤 淑，小花貞夫：″車車間通信を利用した局地的交通情報の共有方式に関する一考察″，情報処理学会DICOMO2013シンポジウム，6E-2 (2013.7)
(5)北上眞二，山本森樹，今村誠，神戸英利，小泉寿男，菅沼拓夫：″オープンソースソフトウェア環境を基盤としたM2Mデータ分析サービスシステム″，電気学会論文誌C，Vol.133，No.8，pp.1521-1528(2013.8)
(6)三浦健太,佐藤文明:″モバイルサービスにおけるクローキングとダミーに基づく位置情報プライバシー″，情報処理学会論文誌，Vol.55，No.2，pp.782-789 (2014.2).
(7)S. Toyoda and F. Sato: ″Stepwise Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks″, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.5, No. 2, pp.61-69 (2013.8).
(8)Toshihiro Uchibayashi, Bernady Apduhan, and Norio Shiratori: ″An ontology update mechanism in IaaS service discovery system″, International Journal of Web Information Systems, Vol. 9 Iss.4, pp.330-343 (2013).
(9)Jinxiao Zhu, Yulong Shen, Xiaohong Jiang, Osamu Takahashi, and Norio Shiratori: ″Secrecy Capacity and Outrage Performance of Correlated Fading Wire-tap Channel″, IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E97-B, NO.2, pp. 396-407(2014.2).
(10)Ryosuke Abe, Yoshitaka Nakamura, and Osamu Takahashi : ″A DTN Routing Scheme Based on Publish/Subscribe Model″, International Workshop on Informatics (IWIN2013) , (2013.9).
(11)Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa: ″An Integrated Power Consumption Model for Distributed Systems″, IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE), Vol. 60, No. 2, pp.824-836 (DOI: 10.1109/TIE.2012.2206357) (2013.2).
(12)Tadateru Ohkawara, Ailixier Aikebaier, Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa : ″Quorum-based Synchronization Protocols for Multimedia Replicas″, International Journal of Cluster Computing, Vol. 16, No.4, pp.979-988(DOI:10.1007/s10586-012-0239-2)(2013.12).
(13)國本慎太郎，藤田直生，佐野渉二，寺田努，塚本昌彦:″モバイルエージェントを用いた格子状ネットワークを構成するユビキタスコンピュータ群の制御″，情報処理学会論文誌，Vol. 54，No. 5，pp. 1697-1708(2013.5).
(14)堀江達矢，所 洋平，片山拓也，寺田 努，塚本昌彦:″Xangle: ウェアラブルコンピューティングのための加速度センサを用いたポインティング手法″，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 15，No. 4，pp. 443-456(2013.11).
(15)A. Togashi, Y. Kitano, and H. Suguri, ″Lightweight Web Methodology with Practical Applications to Medical Fields″, ICIPM 2013 - 8th International Conference on Information Processing and Management, in Seoul, April 1-3, 2013. also to appear in the International Journal of Engineering Inventions (IJEI).
(16)Noboru Kiyama, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino:″Quantifying Relationship between Relative Position Error of Localization Algorithms and Object Identification″, Wireless Networks (Springer), Vol. 19, No. 6, pp.1037-1049(2013.8).
(17)Akira Uchiyama, Sae Fujii, Kumiko Maeda, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino :″UPL: Opportunistic Localization in Urban Districts″, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 12, No. 5, pp.1009-1021, (2013.5).
(18)久保田 僚介，田頭 茂明，荒川 豊，北須賀 輝明，福田晃:″無線LANを用いた屋内位置推定における学習コスト削減のための高精度データ補間手法″，情報処理学会論文誌，Vol.54，No.4，pp.1609-1618 (2013.4).
(19)Osamu Yuuki, Kunihiro Yamada, Tadanori Mizuno, Hiroshi Mineno, and Masakatsu Nishigaki: ″Pocket Agent Devices for Personal Wireless Communications″, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.5, No.1, pp.29-48(2013.4).
(20)西岡大，齊藤義仰，村山優子:″専門知識のないユーザを対象とした情報セキュリティ技術に関する安心感の構造″，情報処理学会論文誌，Nol.54, No.9, pp.2197-2207 (2013.9) .
(21)Takuya Fujihashi, Ziyuan Pan, and Takashi Watanabe: ″Traffic Reduction on Multi-view Video Live Streaming for Multiple Users″, IEICE Transactions on Communications, Vol. E96-B, No. 07, pp. 1-13 (2013.7).

採択回数	1　2　3

採択番号　H24／A16

共生コンピューティングのためのリポジトリ型マルチエージェントフレームワークの協調機構に関する研究

［1］組織

代表者：打矢　隆弘
（名古屋工業大学情報基盤センター）
対応者：木下　哲男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
北形　元（東北大学電気通信研究所）
高橋　秀幸（東北大学電気通信研究所）
菅沼　拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）
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）

延べ参加人数：25 人

研究費：物件費 22 万 7 千円，旅費 24 万 2 千円

［2］研究経過

現在のユビキタス情報社会では，至る所で情報端末が利用できるアンビエント環境が整備されつつあるが，一方で，情報通信技術の恩恵を受けることのできる人とできない人の間に生じる情報格差（デジタルディバイド）が大きな課題となっている．この課題を解決するためには，新しい情報通信パラダイムである「人間と情報システムの共生」の考え方が重要であり，国内外で大きな注目を浴びている．本研究では，人・社会・情報環境を総合的な協調系と捉え，これらが共生する世界である「共生社会」の実現に向けた研究開発（共生コンピューティングの実現）を進めている．

共生コンピューティングでは，情報システム自身が利用者の動作や状況，とりまく環境の状況を認識することで，利用者がいかなる環境でサービスを要求した場合でも，利用者の手を煩わせることなく，その利用者に適した情報システムを利用者環境に自動生成することが可能となる．さらに利用者の PC 利用スキルやシステムの利用履歴を把握することで，システムの利用状況に即して情報システム自身を段階的に進化・発展させ，情報弱者に対する高度なサービス提供を実現する．

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・運用するためには，従来重要視されてきた自律性・協調性といった性質に加え，学習性・永続性などの多様な性質を有するソフトウェアを系統的に設計・開発・構築するための支援環境の整備が必要不可欠である．本研究では，これまで我々の研究グループで開発を進めてきたリポジトリ型エージェントフレームワーク DASH とインタラクティブエージェント開発環境 IDEA をベースとして，ソフトウェアをエージェントシステムとして構築するうえで必要となる「人間とシステムの共生に基づくボトムアップ型エージェントシステム構築方法」を確立し，これに基づく開発・運用支援ツールを構築する．さらに，このツールを活用し，各種の共生型アプリケーションの開発を促進する．

本プロジェクトは，本年度が第 2 年度であった．前年度は学習性・永続性を備えたエージェントの開発・運用手法の策定，共生型アプリのプロトタイプ開発を行った．本年度は，前年度の成果を踏まえながら，特に下記に関する研究を展開した．

・学習エージェントの開発・運用支援の強化
・永続エージェントの開発・運用支援の強化
・即応エージェントの開発・運用手法の策定
・各種の共生型アプリケーションの開発

以下，研究活動状況の概要を記す．今年度は平成 26 年 2 月に下記の研究発表会を行った．

東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト「共生コンピューティングのためのリポジトリ型マルチエージェントフレームワークの協調機構に関する研究」研究発表会：平成 26 年 2 月 7 日 14:00〜，電気通信研究所 2 号館 3F W301 会議室（参加者：打矢，木下，北形，高橋，菅沼，菅原，藤田，真部）

［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．

[学習性を備えたエージェントの開発・運用手法]

前年開発した学習エージェント設計支援機構を拡張し新たにNash-Q学習エージェントの開発・運用を実現した(図1). この学習法により環境に存在する各エージェントが互いに干渉しない行動を学習可能となり，システムの動作効率の向上が達成される.

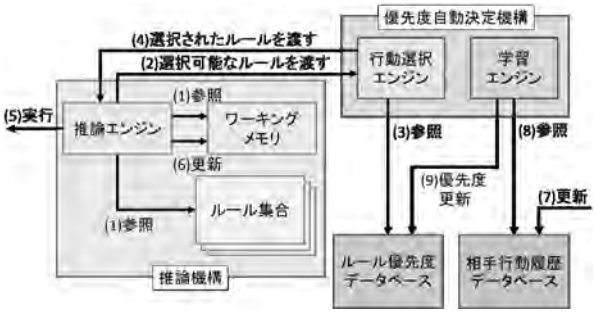


図1：学習エージェント設計支援機構

[永続性を備えたエージェントの開発・運用手法]

前年開発したエージェントシステムのスナップショット管理機構を拡張し，新たに分散環境を対象としたシステムの保存・復元を実現した(図2). これにより，分散型エージェントシステムに対しても，耐障害性を大幅に向上できた.

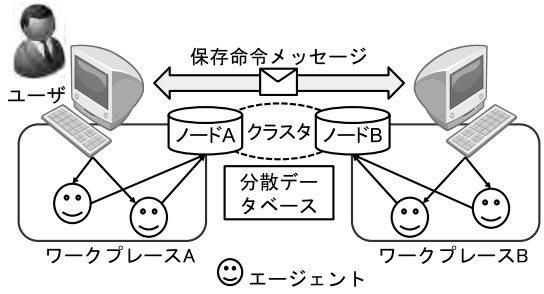


図2：分散環境におけるスナップショット管理機構

[即応性を備えたエージェントの開発・運用手法]

既存フレームワーク DASH では「熟考型」のエージェントを開発・運用の対象としていたが，エージェント内部の推論機構の拡張により新たに「即応型」のエージェント開発・運用を実現した. これによりシステムの処理速度の向上を図る.

[共生型アプリケーション1：個人認証]

ファジー推論に基づく新しい個人生体認証方式を確立し，その性能を評価した([4](1)).

[共生型アプリケーション2：児童見守り支援]

地域情報と行動履歴を用いた児童見守り支援システムを開発し，実証実験により有効性を確認した([4](2)).

[共生型アプリケーション3：マイクログリッドシステム]

持続可能な耐久性のある電力網の実現を目指し，災害時の様々な障害に耐えうる，マルチエージェントを基にした需給制御手法を確立した([4](3)).

[共生型アプリケーション4：分散B/Uシステム]

エージェント技術を用いてバックアップのセキュリティやコスト，システム管理に必要なユーザ負担の問題を解決する分散バックアップシステムを実装し，分散バックアップ手法を確立した([4](4)). 評価実験では，本研究の即応性の支援により，バックアップ時間の短縮が達成されたことを確認した.

[共生型アプリケーション5：異種センサ連携]

マルチエージェントに基づく異種センサ連携フレームワークを提案した(図3) ([4](5)(6)). 家電やセンサなどから構成される種々の構成要素をエージェントとしてモデル化し，異種センサ間の用途に応じた連携機能，センサの即興的な追加や削除への対応を実現する. システムの一例として，スマートホーム内の家電制御システムを開発し，性能評価を行った.



図3：分散エージェントによる家電制御システム

[共生型アプリケーション6：ネットワーク管理支援システム]

複雑化するネットワークを管理する負担を軽減するため，発生した障害から推定される原因およびその対策法を能動的情報資源(AIR)として保存することで，必要に応じてそれらが活性化され，管理者の解決作業を支援するシステムを構築した([4](7)(8)). 評価実験では，障害解決に要する時間を大きく削減することに成功した.

[共生型アプリケーション7：災害時情報共有システム]

地震等の大規模災害時における P2P 型情報共有システムを開発し，実験により有効性を示した([4](9)).

（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3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](10)(11)(12)(13)(14)(15)(16)).

また本プロジェクトには多数の学部生・大学院生がコミットしており，若手研究者の育成への足掛りとなった. 更に，認知コンピューティングに関する国際会議 ICCI*CC2013(2013.07NY)で「共生コンピューティング」セッションを開催する等，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を図っている.

［4］成果資料

(1) Yusuke Manabe, Kenji Sugawara, "Soft biometric Verification by Integrating Static and Dynamic Features based on Fuzzy Inference", ICCI*CC 2013, pp. 242-247, 2013. (Best Paper Award)
(2) 今野将，藤田茂，菅原研次，"地域情報と行動履歴を用いた児童見守り支援システムのための目的地推定手法"，電気学会論文誌 C，Vol.133, No.7, pp.1417-1426, 2013.
(3) Takumi Kato, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Kim Hak-Man, Tetsuo Kinoshita, "Multiagent-Based Management of Energy Demand and Supply Based on Priority in Microgrid", Proc. of the 2nd International Workshop on Smart Technologies for Energy, Information and Communication (STEIC2013), pp.157-165, 2013.
(4) Motohiro Shibakawa, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, "Development of the Distributed Backup System using Multi-Agent Technology", Proc. of the 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI*CC2013),pp.268-273, 2013.
(5) Taishi Ito, Yasuhiro Kurita, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Cooperative Multi-agent System Infrastructure for Heterogeneous Sensor Environment", International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.4, No.2, pp.55-70, 2013.
(6) Hideki Hara, "Design of a Symbiotic Sensor Network", Proc. of 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC 2013), pp.248-253, 2013.
(7) Tetsuo Kinoshita, Gen Kitagata, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Khamisi Kalegele, "An Agent-based Network Management System Using Active Information Resources", International Journal of Advanced Smart Convergence (IJASC), Vol.2, No.2, pp.10-15, 2013.
(8) Yusuke Tanimura, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "An Autonomic Network Service Management using Knowledge-based Support System", Proc. of the 2nd International Workshop on Smart Technologies for Energy, Information and Communication (STEIC2013), pp.96-104, 2013.
(9) Takuma Oide, Atsushi Takeda, Akiko Takahashi, and Takuo Suganuma, "Design of a P2P Information Sharing System and Its Application to Communication Support in Natural Disaster", Proc. of the 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC2013), pp.118-125, 2013.
(10) Wenpeng Wei, Hideyuki Takahashi, Takahiro Uchiya, Tetsuo Kinoshita, "Cooperation Protocol Design Method for Repository-based Multi-agent Applications", The International Journal of Software Science and Computational Intelligence (IJSSCI), Vol.5, No.2, 2013.
(11) Takahiro Uchiya, Syo Itazuro, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, "IDEAL: Interactive Design Environment for Agent System with Learning Mechanism", Proc. of the 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI*CC2013), pp.153-160, 2013.
(12) Khamisi Kalegele, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Data Reservoir Agent for KDD-based Systems Analytics", Proc. of the 2nd International Workshop on Smart Technologies for Energy, Information and Communication, pp.43-50, 2013.
(13) Shota Kotato, Hideyuki Takahashi, Wei Wenpeng, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "User-Oriented Information Delivery System based on Autonomous Cooperation of Heterogeneous Contents", Proc. of the 2nd International Workshop on Smart Technologies for Energy, Information and Communication (STEIC2013), pp.105-112, 2013.
(14) Takuya Kawamura, Toru Abe, Takuo Suganuma, "A Design of State Acquisition Function using Range Image Sensor for 3D Symbiotic Space", Proc. of the Third International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2013), pp.622-627.
(15) Kouta Awahara, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma, "Autonomous Control Method using AI Planning for Energy-efficient Network Systems", Proc. of the Third International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems, pp.628-633, 2013.
(16) Claude Moulin, Kenji Sugawara, Shigeru Fujita, "Synchronous Remote Collaboration Using Multi-touch Devices", 3PGCIC, pp.707-712, 2013.

採択回数 ① ２ ３

採択番号　H25/A01

カルコゲナイドナノ構造の作製と物性探索、およびメモリー応用

［１］組織
代表者：桑原　正史
（産業技術総合研究所）
対応者：上原　洋一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐野　陽之（石川高等専門学校）
坂井　譲（トゥール大学）
稲岡　毅（琉球大学）
片野　諭（東北大学電気通信研究所）
浦辻　秀明（芝浦エレテック）
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）
斉藤　央（産業技術総合研究所）
保坂　純男（群馬大学大学院）
延べ参加人数：10 人

研究費：物件費 22 万 9 千円，旅費 17 万 1 千円

［２］研究経過

金属や半導体のナノ構造作製やその特性評価については多くの研究例があり、量子ドットレーザー等と言った実用化に向けてのデバイス作製まで行われている。一方、半金属もしくは狭ギャップ半導体材料のナノ構造作製や評価の研究例は非常に少ない。我々は、この点に注目し、この材料がナノ構造化に伴いどのような特性を示すのかについて興味を持った。また、この範疇の代表的な材料であるカルコゲナイドは、DVD, Blu-Ray などの光メモリーや相変化メモリーの記録材料として実用化されているが、これらメモリーの記録部は、年々縮小し、100nm 以下のサイズとなっている。従って、ナノ構造の特性を調べて把握しておくことは、今後のメモリー開発に必要不可欠である。以上のことが本プロジェクト提案の動機となっている。

今年度は、採択の一年目であり、まずカルコゲナイドのナノ構造の作製に注力し、作製方法の確立を目指した。さらに作製条件による形状変化や組成変化を調べた。

（独）産業技術総合研究所において、ナノ構造の作製や電子顕微鏡(SEM)による形状観察を実行した。この際、他の参画研究者とともに議論を重ね、作製方法の確立を目指した。組成分析は東北大通研所有の組成分析法(EDX)を用いて、ナノスケールでの分析を行った。また、産総研や東北大通研所有の走査型プローブ顕微鏡での形状観察も行った。代表者は、数ヶ月に一度、東北大通研を訪問し、上原教授や他の研究分担者らと進捗報告、実験打ち合わせ、共同実験を行い、本プロジェクトを進めた。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度の成果の第一は、ナノ構造の作製方法の確立である。Sb_2Te_3 および $Ge_2Sb_2Te_5$ という代表的なカルコゲナイドに対し、これを基板（高配向熱分解黒鉛：HOPG）に薄くスパッタし、その後加熱によってナノ構造を作製する方法を確立した。第二の成果として、ナノ構造の組を詳細に調べたことである。以下、ナノ構造作製方法、形状評価、組成評価について記す。

ナノ構造作製は、以下の通りである。HOPG 基板にカルコゲナイドをスパッタ法により、厚さ 5nm で堆積させる。これをアルゴンガス雰囲気中で加熱してナノ構造を得た。基板として HOPG を選んだ理由は、カルコゲナイドとの相互作用が弱く、ナノ構造作製に適していると考えたからである。また、厚さを 5 nm としたのは、10 nm 以上では、加熱後も膜として存在していたためである。なお、スパッタ法で 5 nm を作製する際、既存のスパッタ装置でこのような微量スパッタの制御が困難であった。そこでスパッターゲット前に、遮蔽版を設置し、基板に到達するスパッタ量を絞っている。これにより、1 nm 程度の厚さの制御も可能となった。試料はスパッタ後に大気に開放され、アルゴンガス雰囲気の加熱ステージにおかれる。加熱温度は、200℃、250℃、300℃とした。ナノ構造作製後、SEM で観察した結果を Sb_2Te_3 の場合を図 1 に、$Ge_2Sb_2Te_5$ の場合を図 2 に示す。Sb_2Te_3 の場合、200℃ 2 分の加熱によって、直径 15nm 程度のナノ微粒子、250℃、５分の加熱でナノニードルが形成されることがわかった。

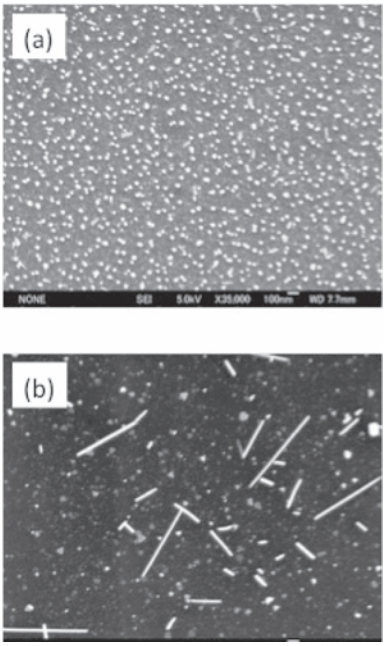


図 1　Sb_2Te_3 のナノ構造　(a) ナノ微粒子：200℃で 2 分加熱　(b) ナノニードル:250℃で 5 分加熱

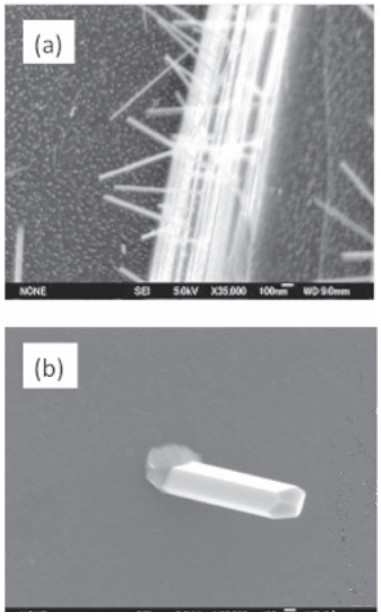


図 2　$Ge_2Sb_2Te_5$ のナノ構造 (a)ナノニードル、250℃、5 分加熱　(b) ナノロッド、300℃、30 分加熱

ただし、200℃で 10 分以上の加熱でも、ナノニードルが形成される。トータルの熱量がナノ構造形成に影響を与えていることがわかる。$Ge_2Sb_2Te_5$ では、200℃においてもナノ微粒子が形成されず、250℃以上でナノニードル（直径　20nm）やナノコラム（太さ　300nm）が形成されることがわかった。以上のナノ構造の形成プロセスを明らかにするため、SEM によるその場観察（加熱をしながら観察）を試みたが、ナノ構造が形成されるプロセスは観察されなかった。結晶化温度である 150℃前後において、蒸散と見られる現象が確認された。真空中においては原子の移動が可能（結晶化温度）になると蒸散してしまうようである。

次にこれらの構造物の組成分析について記す。図 3 は、Sb_2Te_3 のナノ微粒子の組成分析結果である。

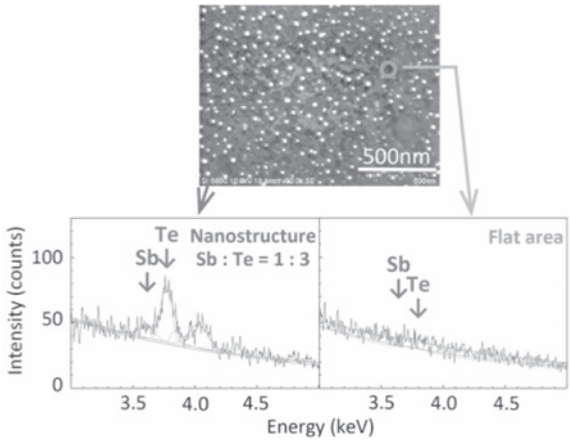
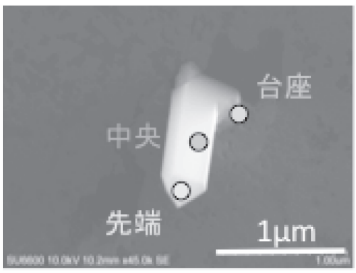


図 3　Sb_2Te_3 のナノ微粒子組成分析結果　ナノ微粒子の組成は、Te リッチとなっている。粒子間には、Sb および Te が存在しないことがわかる。

粒子の組成は、ターゲット材の組成比である Sb:Te=2:3 から Sb:Te=1:3 へと変化していることがわかる。粒子間には、Sb も Te も存在していないことから、Sb が蒸散していると考えられる。Te の蒸気圧は Sb より高いため蒸散し易いのは Te の方であるが、Te が残留し、Sb が蒸散しているという結果である。これに関しての詳細はわからないが、基板との相互作用が原因ではないかと考えている。図 4 は $Ge_2Sb_2Te_5$ のナノロッドとその組成分析である。写真のナノロッドは、代表例であり、その他 2 つのナノロッドについても組成分析を行っており、図 4 中の組成比はそれらの値を示している。ナノロッドの組成は、やはり Te の組成比率が大きくなっているが、Te の組成が Ge や Sb に比べ、10 倍以上となっていることがわかる。ナノニードルの組成分析について、ここには示さないが、やはり Te の組成が Ge や Sb に比べ、10 倍以上となっている元々の組成比（2 : 2 : 5）からこれほど大きく異なっている原因については、現在のところわからない。組成元素の中で Te の蒸気圧が一番高く蒸散し易いため、Te の組成比は低くなってもおかしくないが、結果は逆となっている。Te と基板の炭素との結合が他の元素に比べ、強いこと等が考えられるが、明らかではない。これに関して、今後調査して行く予定である。



	Ge : Sb : Te
台座	0.8-3.8 : 1 : 12.0-23.6
中央	0.1-1.9 : 1 : 27.1-41.1
先端	0.2-1.9: 1: 33.6

図４　ナノロッドの SEM（上）と各部の組成分析結果（下）

（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、採択されて 1 年が経過した。当初の参画者から人数も増え、他大学や企業との共同研究まで発展して来た。今後、ナノ構造特有の物性を示すことができれば、カルコゲナイドのサイズ効果を初めて検証したことになる。更にその特異な物性を利用した相変化メモリーや光記録デバイス等の応用が拓ける可能性がある。また新たな展開として、東北大の上原教授の技術である時間分解トンネル顕微鏡発光を用いた薄膜 Sb_2Te_3 のフォノン発光の観測やトンネル電子励起による THz 発光の観測にも成功しており、カルコゲナイドの応用が記録分野だけでなく他にも広がりつつある。

［４］成果資料

The 25th Symposium on Phase Change Oriented Science 2014, Sendai Akyu において、以下の３件の発表を行った。また３件とも査読付きのプロシーディングとして掲載されている。

1. “Time-resolved scanning tunneling microscope light emission spectroscopy of Sb_2yoteidearu”, Y. Uehara, S. Katano, T. Tsunoda, and M. Kuwahara. P.57-p.60.
2. “Fabrication of nano-structure for Sb_2Te_3 “, H. Uratsuji, M. Kuwahara, Y. Uehara, J. Sakai, and S. Hosaka. P.80-p.81.
3. “Chemical composition analysis of individual chalcogenide alloy nano-structure”. M. Abe, M. Kuwahara, J. Sakai, H. Uratsuji, and Y. Uehara. P.82-p.83.

論文

論文発表は以下の一報である。

“Measurement of phonon energy of Sb_2Te_3 by scanning tunneling microscope light-emission spectroscopy”, Y. Uehara, M. Kuwahara, and S. Katano, Solid State Commun. **177** (2014) 29-32.

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２５／Ａ０２

InGaAs HEMT を用いた大電力テラヘルツ信号源の研究

［１］組織

代表者：楳田　洋太郎
（東京理科大学理工学部）
対応者：末光　哲也
（東北大学電気通信研究所）
分担者：瀬川　智子（東京理科大学理工学部）
小山　雅史（東京理科大学理工学部）
渡邊　邦彦（東京理科大学理工学部）
野田　昴志（東京理科大学理工学部）
吉田　智洋（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：７人

研究費：物件費２１万９千円，旅費１７万円（予算）

［２］研究経過

（１）目的

テラヘルツ波とは，電波と光の中間領域に位置する電磁波であり，物質をよく透過する，物質固有の吸収スペクトルをもつ，X線と比較して波長が長く人体に安全である，半導体不純物への感度が高い，水と氷で吸収差がある等，他の周波数帯の電磁波にはない特徴をもつ．しかし，これまでテラヘルツ波は，十分な出力の信号源がなかったため，システムへの応用があまり進んでいない．テラヘルツ波のうち，1THz 以上の比較的高い周波数については，量子カスケードレーザー等の光学的手法により発生することができるが，1THz 以下の周波数では出力レベルが低下する．また，常温での信号発生が困難なため，大型で取り扱いが難しく，高価になる問題がある．一方，電子回路を用いれば，小型，簡易かつ低コストでテラヘルツ波を発生させることができる．しかし，テラヘルツ領域での電子回路による信号源は，集中定数設計ではトランジスタを小さくせざるを得ないため，大きな出力を発生することが難しい．特に，信号発生の単位となる発振器については，300GHz 以上においては出力が 1mW 未満と小さく[1]-[3]，実用的な信号処理に適しない問題があった．

本研究では，電子回路を用いた大電力テラヘルツ信号源の実現について検討を行う．常温で最も高速な InGaAs 系 HEMT を用いて信号源を作製することにより，テラヘルツ領域での電気的信号発生を可能とする．さらに，発振器に分布定数回路設計を導入することにより，テラヘルツ領域での信号源の出力電力を実用的なレベルにまで向上させ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．

本研究で検討するテラヘルツ領域とは，1THz を中心とした上下１桁の 100GHz～10THz の領域である．テラヘルツ領域では，波長がミリメートル程度以下と小さいため，集中定数設計による電子回路では，伝搬による位相遅れによる特性劣化を避けるため，トランジスタを大きくすることができない．このため，テラヘルツ領域での発振器の出力電力は小さく，ミキシング等のアナログ信号処理を行うために十分でなかった．

そこで，本研究ではトランジスタとして InGaAs 系 HEMT を用いることにより，テラヘルツ領域においても十分な出力電力を確保するとともに，発振器に分布定数構成を取り入れることにより，アナログ信号処理に十分な電力の電気信号を発生させる．具体的には，大電力の分布定数増幅器の出力信号を入力側に帰還することにより，大電力のテラヘルツ発振器（分布定数発振器と称する）を構成する．分布定数増幅器は内部の伝送線路による伝搬遅延が大きいため，発振の基本周波数は低くなるが，適当な高調波に対する帯域通過フィルタを帰還ループ内に挿入することにより，分布増幅器が利得を有する最高周波数付近まで発振が可能であることを回路シミュレーションによる初期検討で確認している．さらに，カスコード接続されたトランジスタの段間にも分布定数構成を導入することにより，発振器の発振周波数を極限まで高める．これらの技術により，300GHz 以上の周波数において，アナログ信号処理に適用可能な 1mW 以上の出力電力を，単一の発振器で出力することを目標とする．

平成 25 年度は，損失を含まない理想的な集中定数インダクタを用いて分布定数増幅器および分布定数発振器を設計し，単位増幅器あたり同一のゲート幅を持つ InGaAs 系 HEMT を用いたコルピッツ発振器よ

りも大きな出力電力が得られることを回路シミュレーションにより示した. 平成 26 年度は，理想的な集中定数インダクタを現実的な損失を持つ伝送線路に置き換え，テラヘルツ帯における出力電力特性を回路シミュレーションおよび実験により評価する予定である.

（4）研究打合せの開催状況

本プロジェクト研究における平成 25 年度中の研究打合せの概要を下記に記す.

・第 1 回研究打合せ

日時：平成 25 年 8 月 1 日（木）13～16 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也（東北大学准教授），吉田智洋（東北大学大学院博士 2 年），楳田洋太郎（東京理科大学教授），瀬川智子（東京理科大学大学院修士 2 年），小山雅史（同左），渡邊邦彦（同修士 1 年），野田昴志（同左）

打合せ内容：

東京理科大学から，InGaAs 系 HEMT を用いた分布発振器の設計について，2013 年電子情報通信学会ソサイエティ大会にて発表を行うとの説明があった.また，InGaAs 系 HEMT 回路試作の設計について報告があった.また，TEG として作成する増幅器の設計について報告があった.この中で，レイアウトより生じる交差配線容量の影響とその対策法ついて説明があった.電気通信研究所からは，試作のスケジュールについて報告があった

・第 2 回研究打合せ

日時：平成 26 年 3 月 13 日（木）13～16 時

出席者：末光哲也（東北大学准教授），吉田智洋（東北大学大学院博士 2 年），楳田洋太郎（東京理科大学教授），小山雅史（東京理科大学大学院修士 2 年），渡邊邦彦（同修士 1 年），野田昴志（同左）

打合せ内容：

電気通信研究所より，InGaAs 系 HEMT 回路試作 TEG 測定結果について報告があった.東京理科大学からは，試作した回路試作ウェハより 50GHz までのＳパラメータ測定により得られた高精度な小信号および大信号等価回路モデル，および TEG として作成した増幅器についての測定結果について報告があった.

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果が得られた.

高周波発振回路としてInGaAs系HEMTを用いた分布発振器を設計するとともに，出力電力の評価を行った．本回路では，ゲート幅の合計値を段数に関わらず一定とすることで，高い周波数でも高出力電力を得ることができた．さらに，カスコード接続トランジスタの段間にインダクタンスを挿入し伝送線路を構成することで，遮断周波数の値を大きくした．これにより，最大発振周波数の値を大きくした．その結果，分布発振器において最大発振周波数182GHz，出力電力0.5mWが得られた.

設計した分布発振器を図1に示す．この回路ではドレイン側のループ部分であるVout1で電力を取り出せるように設計した．設計方法としては，分布増幅器の出力をバンドパスフィルタを通して入力に帰還させて構成している．バンドパスフィルタで周波数帯域内から周回の位相が2πの整数倍となる周波数を選択し，発振周波数を得ている．ここで，発振条件を満たすよう位相を調整するために，分布増幅器の出力側とBPFの間に遅延として50Ωの伝送線路を挿入した．また，出力は，50Ω負荷を分岐してもインピーダンス整合条件が崩れないように，分岐点に180° hybridを用いた.

この回路について，分布増幅器部分が5段，10

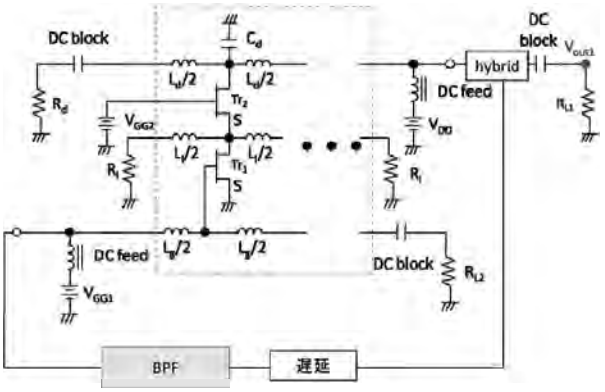


図 1　分布発振器の構成

表 1　シミュレーション諸元

段数		5	10	20
バイアス	V_{GG1}	-0.4V		
	V_{GG2}	0.5V		
	V_{DD}	1.8V		
トランジスタ Tr_1,Tr_2		InGaAs 系 HEMT（ゲート長 80nm）		
負荷抵抗 R_g,R_i,R_{L1},R_{L2}		50Ω		
1 段当たりのトランジスタのゲート幅[μm]（フィンガー数）		100 (2)	50 (2)	25 (2)
インダクタンス L_g,L_d[nH]		0.26	0.15	0.069
インダクタンス L_i[nH]		0.27	0.085	0.05
静電容量 C_d[fF]		58	28	16
BPF	-3dB 帯域幅	0.5GHz		
	-20dB 帯域幅	3GHz		

段，20段の3通りで発振周波数に対する出力電力の評価を行った．BPFの中心周波数が発振周波数となる．そのため，BPFの中心周波数の値を変化させ，その時の出力電力をHBシミュレーションにより求めた．遅延は各回路の最大発振周波数から求めた周期をそれぞれの最大値として，1周期内の複数の値でシミュレーションを行い，最適値を選んだ．

シミュレーション諸元を表1に示す.また，分布発振器とコルピッツ発振器の比較をそれぞれ図2に示す．この図において， 50GHz付近，100GHz付近のコルピッツ発振器のゲート幅はそれぞれ5，10段の分布発振器と同じ50μm×2finger，25μm×2fingerとなっている．また，135GHz付近のコルピッツ発振器のゲート幅は14.3μm×2fingerとなっている．この値は20段のゲート幅12.5μm×2fingerとは異なるが，コルピッツ発振器ではこれ以下のゲート幅で発振しなかったためである．図2より，周波数が高くなるほど分布発振器の方が高い出力電力が得られていることが分かる．

（3－2）波及効果と発展性など

本研究の予想される波及効果としては，テラヘルツ領域におけるアナログ信号処理が，電子回路により小型，簡易，かつ安価に実現できるようになる．これにより，テラヘルツ波を用いた多くの応用技術が実現可能となる．たとえば，集積回路の欠陥検査，郵便物中の危険物検査，皮膚がんの診断，空港やビルにおける爆弾・セラミックナイフなどの危険物検査，遮蔽空間内の高感度有毒ガス検出，壁内部の腐食や亀裂などの診断，医薬錠剤の多層コートなどの品質検査，病院で渡される包装屋久の誤成分チェック，薬品工場での異種錠剤混入検査，青果物の品質評価など，従来にない多くの分野への応用が期待できる．

一方，本プロジェクト研究ではInGaAs系HEMTの集積回路試作に必要な製造プロセスの開発，および設計CADシステムの構築を行っており，これらの作業は，現在，東北大学電気通信研究所と東京理科大学理工学部の間で行われている.これらが完成し，InGaAs系HEMTを用いた集積回路の試作の環境が整えば，多くの研究機関の回路設計研究者に本集積回路プロセスを用いた回路試作の希望を募り，本プロセスを用いた超高速，高効率回路の研究を大きく展開することができると考えている.さらに，本研究の当面の目標は電力増幅器の高効率化であるが，一度試作プロセスと設計用CADシステムが完成すれば，さらにInGaAs系HEMTの超高速性を生かしたテラヘルツ領域で動作する電子回路の研究を開始することができる.これにより，近い将来この方面でも本プロジェクトが多くの研究者を引き付け，これまであまり例のないテラヘルツ領域での電子回路応用という新たな研究領域を開拓できると期待している．

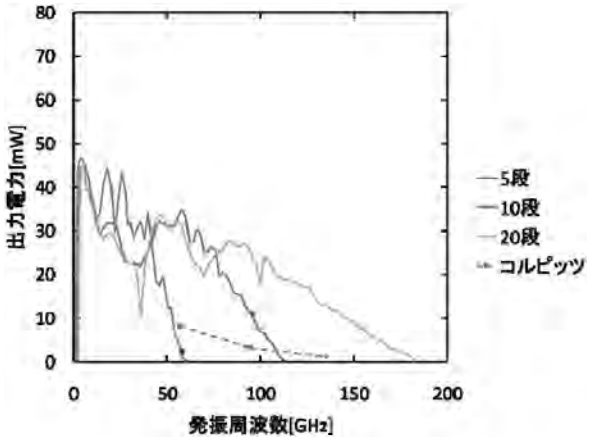


図2　分布発振器とコルピッツ発振器の出力電力の比較

［4］成果資料

（1） 瀬川智子，“InGaAs 系 HEMT を用いた分布発振器の設計，”2013 年電子情報通信学会ソサイエティ大会（福岡工業大学，福岡県福岡市），C-2-6，2013 年 9 月．

（2）瀬川智子，“InGaAs 系 HEMT を用いた分布発振器によるテラヘルツ信号源の大出力化，”平成 25 年度共同プロジェクト研究発表会（東北大学片平さくらホール，宮城県仙台市），2013 年 2 月（ポスター発表）．

採択回数　①　２　３

採択番号　Ｈ２５／Ａ０３

Ⅳ族半導体-金属合金化反応制御による強磁性ナノドットの高密度・自己組織化形成と磁気的特性

［１］組織

代表者：宮崎　誠一
（名古屋大学大学院工学研究科）

対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
牧原　克典（名古屋大学大学院工学研究科）
室田　淳一（東北大学電気通信研究所）
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）
張　海（名古屋大学大学院工学研究科）
温　映輝（名古屋大学大学院工学研究科）
福岡　諒（名古屋大学大学院工学研究科）

延べ参加人数：８人

研究費：物件費 22 万 5 千円，旅費 30 万円

［２］研究経過

シリサイドやジャーマナイドのナノドットにおいて構造(サイズ、化学組成、結晶性、相構造)に依存して発現する固有の電子状態や物理現象を精密制御することを目的として、ナノドットの高密度形成技術の研究を行う。具体的には、既に申請者らが確立したSiナノドット及びGeナノドットの自己組織化形成技術および Si ナノドットの金属シリサイド化技術を基盤として、磁性体(Co_2FeSi、Fe_3Si、FeGe)のナノドット形成手法の確立に展開する。さらに、バルク材料には見られない、ナノサイズにおいて固有に存在する組成、結晶構造のナノドットを実験的に探索し、電子状態を定量評価することで、従来の半導体量子ドットや金属ナノドットでは実現困難な新しい強磁性ナノ材料系の創生を目指す。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、Si 系発光材料の一つであるβ-$FeSi_2$、MnGe および、高い保磁力によるスピン保持特性が期待できる CoPt および FePt 合金に着目し、SiO_2 上の金属積層膜に外部非加熱でリモート水素プラズマ処理を施すことで、シリサイド（およびジャーマナイド）と合金ナノドットの高密度形成を試みた。

以下、研究活動の状況の概要を記す。

本共同プロジェクト研究の推進するために、東北大学にて実験打ち合わせを実施し、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・運営した４つの国際会議8th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures and the 6th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (June 2-6, Fukuoka および JSPS Core-to-Core Program Workshop (June 6 Fukuoka、Oct. 23-25, Frankfurt および Jan. 27-28, Sendai)での成果発表や意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

H_2-RP 支援による Fe シリサイドおよび Mn ジャーマナイドナノドットの高密度形成

これまでに、シリコン熱酸化(SiO_2)膜上の極薄 Fe 膜に外部非加熱でリモート H_2 プラズマ(H_2-RP)処理を施し、Fe 原子の表面マイグレーションと凝集を促進することで、面密度~10^{11}cm^{-2} の高密度 Fe ナノドットが形成されることを報告した[1]。本研究では、Si 系発光材料の一つであるβ-$FeSi_2$ に着目し、非晶質 Si 膜(a-Si)を極薄 Fe 膜で挟んだ極薄積層膜に H_2-RP 処理を施すことで、Fe シリサイドナノドットの高密度一括形成を試みた。p-Si(100)基板を 1000˚C、2%O_2 中で酸化して形成した膜厚 5.0 nm の SiO_2 膜上に、電子線蒸着により膜厚~1.8nm の Fe 膜を堆積した後、膜厚~1.0nm の a-Si 薄膜、引き続き、膜厚~1.8nm の Fe 薄膜を形成した。その後、外部非加熱で、H_2-RP 処理(60MHz-ICP: 500W, 13.3Pa)を行った。比較として、a-Si および Fe 極薄単層膜においても同様の処理を施した。SiO_2 上に形成した a-Si および Fe 単層膜について H_2-RP 処理前後で測定した AFM 表面形状像において、H_2-RP 処理前の単層膜の表面平均粗さ(RMS)は(a-Si: ~0.33 nm, Fe: ~0.28 nm)、下地 SiO_2 の RMS(~0.3 nm)と同程度であることから、均一な膜堆積が確認できた。また、H_2-RP 処理後には、極薄 Fe 膜ではナノドット(平均ドット高さ~3 nm、面密度~3.6×10^{11} cm^{-2})の形成が認められるのに対し、a-Si 膜では変化が認められなかった。一方、Fe/a-Si/Fe 極薄積層膜では、H_2-RP 処理によって、ドットの形成が認められ、面密度は Fe 単層膜を処理して形成した Fe ナノドットと同程度であったが、ドット高さは Fe ナノドットに比べ~2 倍であった。極薄積層膜を H_2-RP 処理して作成したナノドットのラマン散乱スペクトルを測定した結果、246cm^{-1} に明瞭なβ-$FeSi_2$ からの信号が認められた。これらの結果から、Fe/a-Si/Fe 極薄積層膜における表面形状変化は、Fe 極薄膜表面で原子状水素の再結合が高効率に生じる際に発生する生成熱により上層 Fe 原子の表面マイグレーション・凝集と共に下地 a-Si との合金化反応が進行し、Fe シリサイドドットが形成したとして解釈できる。また同手法を用いて、Mn(~1.0nm)/a-Ge(~1.0nm)積層膜への H_2-RP 照射によって、Mn ジャーマナイドナノドットを面密度~1.8×10^{11}cm^{-2} で形成できることも明らかにした。

CoPt および FePt 合金ナノドットの高密度形成と磁化特性

SiO_2 膜上の Pt(~1.0nm)/Co(~1.0nm)および Pt(~4.4nm)/Fe(~3.6nm)積層膜に H_2-RP 処理を施した後の AFM 表面形状像を図 1 に示す。いずれの場合においてもナノドットの形成が認められ、表面形状像から算出した面密度は、2.8×10^{11}cm^{-2} (Pt/Co)、2.0×10^{11}cm^{-2} (Pt/Fe)であった。Pt 箔で覆った熱電対を用いて Pt 箔の温度変化測定した結果、~570˚C まで温度の上昇が認められたことから、H_2-RP による表面形状変化は、Pt 極薄膜表面で原子状水素の再結合に起因した局所加熱によって金属原子の表面拡散・凝集が生じ、ナノドットが形成したとして解釈できる。また、導電性 AFM 探針を用いた帯電特性評価において、探針電圧-5.0V を印加した領域では、ナノドットへの電子注入・保持に起因した表面電位変化による帯電が安定して観測できることから、互いに絶縁分離した高密度金属ナノドットが形成できていることが確認できた。Pt/Co 積層膜においては、低運動エネルギー側の光電子カットオフエネルギーにより仕事関数を評価した結果、H_2-RP 処理により合金化が促進することが分かった。H_2-RP 処理後の Pt/Fe 積層膜を XRD 評価した結果、FePt(001)および(002)ピークが明瞭に認められたことから、$L1_0$ 相の形成が示唆される。FePt 合金ナノドットの面内および面直方向に外部磁場を印加し、磁化特性を評価した結果(図 2)、$L1_0$-FePt 相に起因する垂直磁気異方性が室温で認められ、磁化曲線から算出した面内および面直方向の保磁力は各々~0.9kOe、~4.8kOe であった。

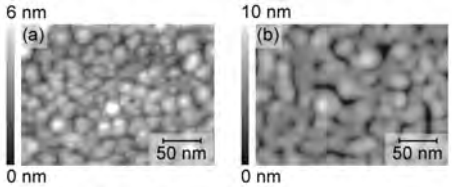


図 1　H_2-RP 処理後の表面形状像. (a) Pt/Co 積層膜、(b)Pt/Fe 積層膜

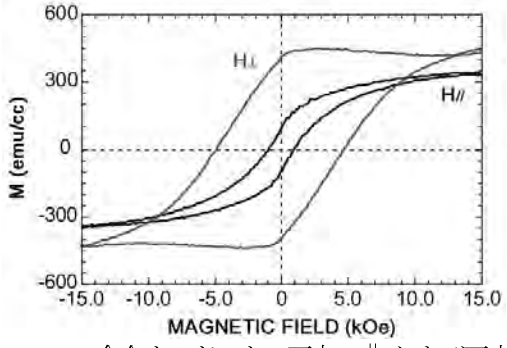


図 2　FePt 合金ナノドットの面内(H ∥)および面直(H ⊥)方向に外部磁場を印加した際における磁化曲線

（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、シリコンやゲルマニウム極薄膜と金属との合金化反応の制御に関する基礎データや知見を蓄積し、半導体(β-$FeSi_2$、MgGe)や磁性体(FePt)のナノドット形成手法を確立した。今後、形成したナノドットの組成や結晶構造、電子状態を精査することで、機能性材料としての応用可能性を実証し、ナノドットのサイズや組成と安定な結晶構造との関係を明らかにするとともに、形成したシリサイドおよびジャーマナイドナノドットの電子状態や電気伝導特性を詳細に分析することで、ナノドットにおいて固有の物性やキャリヤ輸送特性が発現することを実験的に検証し、シリサイドあるいはジャーマナイドナノドットにおいて、バルク材料や薄膜では準安定である結晶相や相図にはない新たな結晶相を安定に形成することができれば、従来の薄膜材料と比べて物性が格段に優れた新しい材料系の創生が期待できる。

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。

［４］成果資料

(1) 福岡諒、張海、牧原克典、大田晃生、徳岡良浩、加藤剛志、岩田聡、宮崎誠一 “FePt 合金ナノドットの構造および磁化特性評価” 応用物理学会第 61 回春季応用物理学会, (於 青山学院大学, 18a-F11-2, 3 月 2014 年

(2) 張海、牧原克典、大田晃生、池田弥央、宮崎誠一 “リモート水素プラズマ支援による Fe シリサイドナノドットの高密度形成” 応用物理学会第 61 回春季応用物理学会, (於 青山学院大学, 19p-D3-12, 3 月 2014 年

(3) 温映輝、牧原克典、大田晃生、池田弥央、宮崎誠一 “リモート水素プラズマ支援による Mn および Mn ジャーマナイドナノドットの高密度一括形成” 応用物理学会第 61 回春季応用物理学会, (於 青山学院大学, 19p-D9-10, 3 月 2014 年

共同プロジェクト研究

採択回数	①	２	３

採択番号　Ｈ２５／Ａ０４

強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子構造と物性発現機構の解明

［１］組織

代表者：今田　　真
（立命館大学 理工学部）

対応者：白井　正文
（東北大学 電気通信研究所）

分担者：
鹿又　　武（東北学院大学 工学部）
岡田　宏成（東北学院大学 工学部）
木村　昭夫（広島大学 理学研究科）
朱　　思源（広島大学 理学研究科）
安達　義也（山形大学 理工学研究科）
梅津　理恵（東北大学 金属材料研究所）
高橋　　学（群馬大学 工学部）
恒川　雅典（滋賀大学 教育学部）
寺嶋　健成（立命館大学 理工学部）
上田　茂典（物質・材料研究機構）

延べ参加人数：１８人

研究費：物件費２４万５千円，旅費３２万４千円

［２］研究経過

強磁性形状記憶合金とは，温度や応力を利用するだけではなく，磁場によっても形状記憶効果が発現する物質である。磁場によって変位を制御できることから，高速応答が可能な磁場駆動アクチュエータへの応用が期待されている。本プロジェクトでは，強磁性形状記憶合金やスピントロニクス材料の機能発現機構を，高エネルギー分光をはじめとした実験的手法と電子状態の第一原理計算を組合せて解明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る。

以下，研究活動状況の概要を記す。

強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子状態を，バルク敏感な硬Ｘ線光電子分光やＸ線吸収磁気円二色性といった高エネルギー分光を用いて解析した。得られた実験結果を第一原理計算の結果と比較することにより，機能発現機構を考察した。年度末の平成 26 年２月３日～4 日に研究会を開催し，最新の研究成果について意見交換した。研究会の講演者と講演題目は以下のとおりである。

安達義也「Ni-Co-Mn-Ga の磁気相転移と電気抵抗」
梅津理恵「Ni-Mn-Sn メタ磁性形状記憶合金のマルテンサイト相における磁気状態」
寺嶋健成「Ni_2MnGa の硬Ｘ線光電子分光における偏光依存性と電子状態」
木村昭夫「光電子分光および内殻吸収分光でとらえるホイスラー系強磁性形状記憶合金の電子状態：現状と将来展望」
角田一樹（広島大学）「ホイスラー型強磁性形状記憶合金 Ni-Fe-Ga-Co のマルテンサイト機構の研究」
辻川雅人（東北大学）「Co_2TiSn の圧力下における構造と磁気特性」
岡田宏成「Pd 基ホイスラー合金のマルテンサイト変態と磁気特性」
許　晶（東北大学）「$Co_2Cr(Ga,Si)$系合金におけるマルテンサイト変態およびそのリエントラント挙動」
長迫　実（東北大学）「VASP を活用した新規 Co 基ホイスラー型形状記憶合金の探索」
上田茂典「$L1_0$型 FePt の電子状態」

［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。

強磁性形状記憶合金として Ni_2MnGa が知られているが，Ni-Mn-Z (Z = In, Sn, Sb)（Z 系）では，低温から温度の上昇とともに，強磁性マルテンサイト相，常磁性マルテンサイト相，強磁性オーステナイト相，常磁性オーステナイト相と相転移することがわかり，メタ磁性形状記憶合金と名付けられた。Co 置換した Ni-Mn-Ga 系合金（Ga 系）においてＺ系と同様なメタ磁性形状記憶効果が観測された。Ga 系とＺ系では，マルテンサイト変態のメカニズムが異なると考えられていたが，統一的なモデルが期待されている。これらの合金のマルテンサイト変態の機構を明らかにするために，Co 置換した Ni-Mn-Ga 合金 $Ni_{50-x}Co_xMn_{31.5}Ga_{18.5}$ (x = 0～11)において，種々の組成の多結晶試料を作製し，マルテンサイト相とオーステナイト相のキュリー温度やマルテンサイト変態温度の関係を調べ，結晶磁気相図を明らか

にした。（安達義也）

代表的な強磁性形状記憶合金である Ni_2MnGa のマルテンサイト変態温度は，原子数当たりの価電子数(e/a)の増大に伴い上昇すると見なされているが，$Ni_2(Mn,Fe)Ga$ や $Ni_2Mn(Fe,Ga)$など，その傾向に従わない合金系も報告されている。本年度は，$Ni_{50+x}Mn_{27-x}Ga_{23}$ の試料を作製し，相図を作成するために各種実験を行った。この合金系では，$-25 \leq x \leq 6$ の組成領域において常磁性オーステナイト相，常磁性マルテンサイト相，強磁性オーステナイト相，そして強磁性マルテンサイト相の 4 種の相状態が存在することが分かった。変態温度とキュリー温度は $x = 2.5$ 付近でクロスオーバーし，マルテンサイト構造相変態はMn過剰側のかなり広い組成領域においても観測されることが明らかになった。e/a の増大に伴って変態温度が上昇するのは，$x = 0$ 近傍のごく限られた領域においてのみであり，$x = -8$ 以下の組成ではむしろ逆の傾向が見られた。本合金系の構造相変態の起源解明のためには，電子論を踏まえたさらなる研究が必要である。（梅津理恵）

強磁性形状記憶効果を示す起源にはマルテンサイト機構が深く関係している。そのため本研究では，実用的応用が期待されているホイスラー合金 Ni-Fe-Ga-Co のマルテンサイト機構に関わる電子状態の研究を，硬X線光電子分光，磁気円二色性分光，第一原理計算を用いて行った。実験の結果，マルテンサイト変態に伴ってフェルミ準位近傍の状態密度が高束縛エネルギー側に移動し，擬ギャップが形成されることが観測された。この結果は，Ni 3d 軌道および Fe 3d 軌道のバンドヤーンテラー効果に起因することが，第一原理計算から明らかとなった。さらに，降温過程と昇温過程で変化が生じ，電子状態がヒステリシスを描いていることが本研究において初めて明らかとなった。

（角田一樹，木村昭夫）

Co 系ホイスラー合金 Co_2TiSn において，30 kbar 程度の圧力下でマルテンサイト変態とみられる透磁率の急激な温度変化が測定された。本研究では，Co_2TiSn が圧力下でマルテンサイト変態を示す可能性について第一原理計算を用いた検討を行った。まず，全エネルギーの格子定数依存性を評価し，体積の減少に伴い正方晶が安定化することを確認した。この結果は，体積減少に伴い縮退した Co e_g 軌道が占有され，正方晶へ歪むことによるエネルギー利得が生じるためと考えられる。ただし，相転移圧力は 464 kbar と実験値に比べ桁違いに大きな値が得られた。この不一致の原因を探るために，不規則化の影響について検討を行った。その結果，Co-Ti および Co-Sn 不規則化は，飽和磁化やスピン偏極率の変化にほとんど影響を及ぼさないが，立方晶と正方晶のエネルギー差を縮めることを明らかにした。

（辻川雅人）

メタ磁性形状記憶効果を示す Ni 基ホイスラー合金の関連物質である Pd 基合金に着目し，マルテンサイト変態の発現機構を明らかにすることを目的として，反強磁性体 Pd_2MnIn へ過剰 Mn を導入した $Pd_2Mn_{1+x}In_{1-x}$ のマルテンサイト変態および磁気特性を調査した。$Pd_2Mn_{1+x}In_{1-x}$では，わずか $x = 0.1$ の過剰Mnの導入によってマルテンサイト変態が出現することがわかった。強磁性 Ni 基，Pd 基合金では，およそ $x = 0.5$ でマルテンサイト変態が出現することから，母物質が強磁性体の場合と反強磁性体の場合では，マルテンサイト変態の発現機構が異なる可能性が考えられる。母相の反強磁性相はマルテンサイト相の出現によって $x = 0.2$ で消失する。マルテンサイト相では磁気的長距離秩序は現れず，ブロッキング状態にあると考えられる。$x = 0.5$ でマルテンサイト変態温度は 300 K を超え，$x = 0.6$ においてマルテンサイト相は $L1_0$ 構造をとることがわかった。

（岡田宏成）

Co-Cr-Ga-Si 系合金において，ハーフメタル型の母相が，一旦マルテンサイト変態した後，低温で再び現れるといったリエントラント挙動を示すことを見出した。$Co_{51.5}Cr_{26.5}Ga_{11}Si_{11}$ 合金は，高温で一度母相からマルテンサイト相に相変態した後，200 K 以下においてマルテンサイト相が強磁性母相へ戻る。また，透過電子顕微鏡観察の結果，マルテンサイト相が $D0_{22}$ 構造で，高温と低温の母相が同じく $L2_1$ 構造であることが分かった。さらに，室温でひずみを加えたサンプルに加熱または冷却のいずれを施しても，逆マルテンサイト変態による形状回復が得られ，加熱と共に初めて冷却による形状記憶効果を見出した。このような特異な現象は，本合金以外において報告がない。

そこで，第一原理計算によって母相とマルテンサイト相の全エネルギーを評価し，マルテンサイト変態する可能性のある新規ハーフメタル型 Co 基ホイスラー合金をスクリーニングし，実際にマルテンサイト変態する 4 合金系を発見した。今後は，マルテンサイト変態におけるリエントラント挙動の起源を明らかにすると共に，Co 基ホイスラー合金の強磁性形状記憶合金としての応用を目指す。

（許　晶，長迫　実）

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献

本プロジェクトにおいて，強磁性形状記憶合金における構造相転移の微視的起源を解明することにより，巨大磁歪材料を用いた室温で動作するアクチュエータの実用化が促進されるものと，今後の発展が期待されている。

［４］成果資料

(1) X. Xu, M. Nagasako, W. Ito, R. Y. Umetsu, T. Kanomata, R. Kainuma, “Magnetic properties and phase diagram of $Ni_{50}Mn_{50-x}Ga_x$ ferromagnetic shape memory alloys”, *Acta Mater.*, **61**, 6712 (2013).
(2) A. Kimura, M. Ye, M. Taniguchi, E. Ikenaga, J. M. Barandiaran, V. A. Chernenko, “Lattice instability of Ni-Mn-Ga ferromagnetic shape memory alloys probed by hard x-ray photoelectron spectroscopy”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 072403 (2013).
(3) X. Xu, T. Kihara, M. Tokunaga, A. Matsuo, W. Ito, R. Y. Umetsu, K. Kindo, R. Kainuma, “Magnetic field hysteresis under various sweeping rates for Ni-Co-Mn-In metamagnetic shape memory alloys”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 122406 (2013).
(4) X. Xu, T. Omori, M. Nagasako, A. Okubo, R. Y. Umetsu, T. Kanomata, K. Ishida, R. Kainuma, “Cooling-induced shape memory effect and inverse temperature dependence of superelastic stress in $Co_2Cr(Ga,Si)$ ferromagnetic Heusler alloys”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 164104 (2013).
(5) K. Niitsu, X. Xu, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, “Stress-induced transformations at low temperatures in a $Ni_{45}Co_5Mn_{36}In_{14}$ metamagnetic shape memory alloy”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 242406 (2013).
(6) Y. Chieda, T. Kanomata, R. Y. Umetsu, H. Okada, H. Nishihara, A. Kimura, M. Nagasako, R. Kainuma, K. R. A. Ziebeck, “Magnetic phase diagram of Heusler alloys $Pd_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$”, *J. Alloys Compds.*, **554**, 335 (2013).
(7) R. Y. Umetsu, H. Ando, S. Yamashita, K. Endo, H. Nishihara, R. Kainuma, T. Kanomata, “Phase diagram and magnetic moment of $Ni_{50+x}Mn_{27-x}Ga_{23}$ ferromagnetic shape memory alloys”, *J. Alloys Compds.*, **579**, 521 (2013).
(8) R. Y. Umetsu, D. Kikuchi, K. Koyama, K. Watanabe, Y. Yamaguchi, R. Kainuma, T. Kanomata, “Giant magnetic moment of Fe in the $Ni_2Mn_{0.3}Fe_{0.7}Ga$ alloy by powder neutron diffraction study”, *J. Alloys Compds.*, **580**, 506 (2013).
(9) T. Kanomata, R. Y. Umetsu, K. Ohtsuki, T. Syoji, K. Endo, K. Fukushima, H. Nishihara, W. Ito, Y. Adachi, T. Miura, K. Oikawa, R. Kainuma, K. R. A. Ziebeck, “Magnetic phase diagram of $Ni_2Mn_{1.44-x}Cu_xSn_{0.56}$ shape memory alloys”, *J. Alloys Compds.*, **590**, 221 (2014).
(10) Y. Hayasaka, S. Aoto, H. Date, T. Kanomata, X. Xu, R. Y. Umetsu, M. Nagasako, T. Omori, R. Kainuma, T. Sakon, H. Nishihara, K. R. A. Ziebeck, “Magnetic phase diagram of ferromagnetic shape memory alloys $Ni_2MnGa_{1-x}Fe_x$”, *J. Alloys Compds.*, **591**, 280 (2014).
(11) R. Y. Umetsu, K. Endo, A. Kondo, K. Kindo, W. Ito, X. Xu, T. Kanomata, R. Kainuma, “Magnetoresistance and transformation hysteresis in the $Ni_{50}Mn_{34.6}In_{15.6}$ metamagnetic shape memory alloy”, *Mater. Trans.*, **54**, 291 (2013).
(12) X. Xu, I. Katakura, T. Kihara, M. Tokunaga, W. Ito, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, “Optical microscopic study on the NiCoMnAl metamagnetic shape memory alloy by *in situ* observation under pulsed high magnetic field”, *Mater. Trans.*, **54**, 357 (2013).
(13) T. Kanomata, K. Endo, N. Kudo, R. Y. Umetsu, H. Nishihara, M. Kataoka, M. Nagasako, R. Kainuma, K. R. A. Ziebeck, “Magnetic moment of Cu-modified Ni_2MnGa magnetic shape memory alloys”, *Metals*, **3**, 114 (2013).
(14) R. Y. Umetsu, K. Fukushima, K. Sano, T. Kanomata, Y. Taniguchi, Y. Amako, R. Kainuma, “Mössbauer spectroscopy studies on magnetic properties for ^{57}Fe-substituted Ni-Mn-Sn metamagnetic shape memory alloys”, *Metals*, **3**, 225 (2013).
(15) X. Xu, W. Ito, M. Tokunaga, T. Kihara, K. Oka, R. Y. Umetsu, T. Kanomata, R. Kainuma, “The thermal transformation arrest phenomenon in NiCoMnAl Heusler alloys”, *Metals*, **3**, 298 (2013).

採択回数 ① ２ ３

H２５／A０５

大規模超伝導量子検出器の実用化に関する研究

［１］組織

代表者：神代　暁
（産業技術総合研究所）
対応者：佐藤　茂雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
猪股　邦宏　（理化学研究所）
大野　雅史　（東京大学大学院工学系研究科）
伊豫本　直子（九州大学大学院工学研究院）
日高　睦夫　（産業技術総合研究所）
唐津　謙一　（国立天文台）
竹井　洋　（宇宙航空研究開発機構）
水柿　義直　（電気通信大学情報理工学部）
前澤　正明　（産業技術総合研究所）
明連　広昭　（埼玉大学工学部）
吉川　信行　（横浜国立大学工学部）
藤巻　朗　（名古屋大学工学研究科）
小野美　武　（東北大学電気通信研究所）
中島　康治　（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：１９人

研究費：物件費２６万１千円，旅費２７万７千円

［２］研究経過

近年，電波天文，材料物性，医療などの分野においてサブミリ波やテラヘルツ波を高精度に検出することが重要な課題となっている．このような波長領域での低雑音な光子検出には熱雑音の抑制が必要不可欠であり，極低温環境で動作する超伝導の素子が利用されることが多い．非常に高い感度を持つ超伝導量子検出器はマイクロ波から可視・近赤外光，X線，ガンマ線に至る幅広いエネルギー領域の光子検出が可能であり，X線天文学における衛生搭載用撮像素子，蛍光X線分析用エネルギー分散測定装置，放射性同位元素の同定，量子計算機を構成するための要素など，様々な分野に利用できるものとして期待されている．

超伝導デバイスの性能を十分に発揮するためには100mK程度の極低温環境が必要になるが，現在では機械式冷凍機の発展と普及により容易かつ低コストに極低温環境を実現することが可能になりつつある．一方で，高性能な単体デバイスを実用的なシステムに組み込むために必要な周辺技術が十分成熟しておらず，実用化のために，専門分野の異なる研究者の知見・技術を統合して研究開発を行うことの重要性が高まっている．本プロジェクトでは，超伝導検出器の研究者と超伝導計算機の研究者を集め，超伝導を利用した量子検出技術の実用化に必要な研究開発を遂行する．特に，イメージングなどへの応用を考慮し，多数の素子(典型的には千素子以上)を同時かつ高速に制御/読み出すための技術について重点的に研究を進める．

［３］成果

（３－１）研究成果

初年度にあたる本年度は，１０月２日，３日に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により研究会を開催した．各メンバーが関連する研究成果を報告し，改めて本プロジェクトの目的を確認すると共に，今後の研究方針や研究計画ついて議論した．以下に研究会のプログラムを示す．

1. HTS-SQUIDを用いた試料回転型磁化率計の最適化と水分量計測への応用，堺健司・日下瞬・岡本直大・浜崎大地・モハマドマワルディサーリ・紀和利彦・塚田啓二（岡山大）
2. Bi-2212固有接合から放射される電磁波の接合サイズ依存性，小瀧侑央・西方　翼（長岡技科大）・川上彰（NICT）・加藤孝弘・鈴木常生・中山忠親・安井寛治・末松久幸・新原皓一（長岡技科大）
3. 衛星・探査機に搭載するサブミリ波帯ヘテロダイン受信機の開発，菊池健一・笠井康子（NICT）・黒田剛史（東北大）・佐川英夫（NICT）・西堀俊幸（JAXA）・真鍋武嗣（阪府大）・落合啓（NICT）
4. ［招待講演］MKIDと宇宙・素粒子実験への応用，石野宏和（岡山大）・羽澄昌史（高エネルギー加速器研究機構）・樹林敦子・岐部佳朗（岡山大）・美馬　覚（理研）・佐藤伸明・吉田光宏（高エネルギー加速器研究機構）・渡辺宏記（総研大）
5. 宇宙マイクロ波背景放射（CMB）精密観測のた

めの多素子超伝導共振器（MKID）カメラの開発，唐津謙一（国立天文台）・関本裕太郎（国立天文台/東大）・野口卓・鵜澤佳徳・松尾宏・木内等（国立天文台）・成瀬雅人（埼玉大）・新田冬夢（筑波大）・関根正和・関口繁之・岡田隆（東大）

6. ［招待講演］ガンマ線検出用超伝導転移端センサの研究，大野雅史・畠山修一・入松川知也・高橋浩之（東大）・ダマヤマンティトゥシャラ・大谷知行（理研）・安宗貴志・高崎浩司（原子力機構）

7. 低発熱型SQUID とFPGA を用いた超伝導遷移端型 X 線マイクロカロリメータのための周波数分割方式信号多重化装置の開発，酒井和広・竹井洋・山本亮・満田和久・山崎典子（JAXA）・日高睦夫・永沢秀一・神代暁（産総研）・宮崎利行（理研）

8. 誘電体 X 線マイクロカロリメータの開発，菊地貴大・関谷典央・満田和久・山崎典子・川崎繁男・竹井洋（JAXA）・前畑京介（九大）・佐藤浩介（東京理科大）

9. 超伝導回路量子電磁力学系における大きな分散シフト，猪股邦宏（理研）・山本　剛（NEC）・Pierre-Marie Billangeon（理研）・中村泰信（東大）・蔡兆申（理研）

10.超伝導転移端検出器のマイクロ波帯周波数多重読出～TES と MKIDs 技術の融合；国外動向と産総研の取組～，神代暁（産総研）

11.［招待講演］超伝導単一光子検出器アレイシステムの開発，三木茂人・山下太郎・寺井弘高・王鎮（NICT）

12.高検出効率な低フィリングファクター超伝導ナノワイヤ単一光子検出器，山下太郎・三木茂人・寺井弘高（NICT）・王鎮（NICT/SIMIT）

13.極低暗計数率超伝導単一光子検出器の作製および300km 量子鍵配送実験，柴田浩行・清水薫・本庄利守・武居弘樹・都倉康弘（NTT）

14.超伝導ストリップイオン検出器による巨大分子の高感度質量分析，全伸幸・志岐成友・藤井剛・浮辺雅宏・小池正記・大久保雅隆（産総研）

15.［招待講演］超伝導ストリップ線イオン検出器を用いた飛行時間分析装置のための単一磁束量子読みだし回路の研究，吉川信行・佐野京佑・山梨裕希（横浜国大）・全伸幸・大久保雅隆（産総研）

16.外部のこぎり波入力による時間デジタル変換器の設計，伊藤圭介・于国偉・喜多祐真・田中雅光・藤巻朗（名大）

17.超伝導ナノワイヤ検出器を用いた光子数検出器用単一磁束量子論理デジタル信号処理回路，武田俊亮・成瀬将人・田井野　徹・○明連広昭（埼玉大）・陳健・呉培亨（南京大）

また，主な講演内容は次の通りである．【唐津】国立天文台・先端技術センターでは，宇宙マイクロ波背景放射（Cosmic Microwave Background，以下CMB）の精密観測及び，原始重力波起源の B モード偏光の世界初検出を目標として，超伝導共振器（Microwave Kinetic Inductance Detector，以下MKID）を用いた電波（ミリ波）カメラの開発を行っている．B モード偏光の観測のためには，1000素子規模の高品質，高感度な MKID カメラが必要であり，我々は，高品質な超伝導薄膜の成膜プロセスの確立及び薄膜の性能評価，カメラ用光学素子の開発，多素子読み出し回路の開発など，高感度 MKID カメラに必要な技術の開発を進めている．本稿では，国立天文台における MKID カメラの開発状況について報告する．【大野】高エネルギー分解能γ線スペクトロスコピーを目指して、バルクの錫吸収体と超伝導転移端センサ（TES）を接続したマイクロカロリメータを開発している．TES と吸収体の熱伝導を向上させるため、我々は Ir/Au 超伝導近接2重層薄膜上に金バンプポストを形成し、その上に錫吸収体を搭載した．このような検出素子において、122keV のγ線に対して166eV、662keV のγ線に対して526eV のエネルギー分解能を達成した．【酒井】小型 X 線天文衛星 DIOS 搭載に向け我々は超伝導遷移端型X線マイクロカロリメータのための周波数分割方式信号多重化回路の開発を行っている．極低温での限られた冷却能力でも256素子以上のマイクロカロリメータを駆動可能な低発熱型多入力 dc SQUID を開発し、評価を行ってきた．また、低発熱型多入力 SQUID の性能を最大 限引き出すため、FPGA 評価ボードと ADC/DAC モジュールを用いて周波数分割方式信号多重化装置の開発も行い、SQUID とダミー素子を用いて信号対雑音比の評価を行った．【菊地】我々は将来的にメガピクセルかつ E/ΔE~1000での撮像分光観測を目的とした X 線マイクロカロリメータ(DMC)の開発を進めている．これは誘電体温度計をキャパシタとして用いた LC 共振器を素子とし共振周波数(fr)の変化から X 線エネルギーを分光する．素子毎に fr を変えることで、1本の配線で原理的に数1000素子の信号多重化が可能である．これまでの先行研究によって極低温で SrTiO3の比誘電率に温度依存性が確認された．そして SrTiO3を用いた Q>1000の共振器の開発に成功した．現在は原理実証のため SrTiO3を用いたシングルピクセルでの X 線検出を目指している．ここではこれまでの研内内容と将来計画を発表する．【猪股】超伝導磁束量子ビットと超伝導共振器が容量を介して結合した系において，分散シフトの増大が観測されたので報告する．量子ビットと共振器のエネルギーの離調が5GHz の系に対して，観測された

80MHz の分散シフトの大きさは，量子ビットの第2励起準位以上のエネルギー準位からの寄与を考慮した一般化された Rabi モデルを用いて定量的に説明される．増大された分散シフトを量子ビットの読み出しに応用することによって，読み出し忠実度90%の Rabi 振動の観測に成功し，さらに忠実度の損失は主に量子ビットの緩和によってもたらされていることを確認した．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトの遂行により，大規模光子検出システムの実現による電波天文や材料物性，医療分野におけるイメージング技術の格段の向上，コヒーレント光通信限界を超える光波量子受信器の開発などが期待される．また本課題の成果を，本所が有するサブミリ波・テラヘルツ波発生技術と統合することにより，情報通信分野における新しい知見・技術の獲得が可能と考えられる．

［4］成果資料

1. F. Hirayama, S. Kohjiro, D. Fukuda, H. Yamamori, S. Nagasawa, M. Hidaka, “Microwave SQUID Multiplexer for TES Readout,” IEEE Trans. Appl. Supercond., 23, 2500405 (2013).
2. K. Sakai, Y. Takei, R. Yamamoto, N.Y. Yamasaki, K. Mitsuda, M. Hidaka, S. Nagasawa, S. Kohjiro, T. Miyazaki, “Baseband feedback frequency-division multiplexing with low-power dc-SQUID and digital electronics for TES X-ray microcalorimeters,” J. Low Temp. Phys. (2014), doi: 10.1007/ s10909-013-1040-1 (published online).
3. K. Koshino, K. Inomata, T. Yamamoto, Y. Nakamura, “Theory of deterministic down-conversion of single photon occurring at an impedance matched λ system,” New Journal of Physics, 15, 115010 (2013).
4. K. Koshino, K. Inomata, T. Yamamoto, Y. Nakamura, “Implementation of an impedance matched λ system by dressed-state engineering,” Physical Review Letters, 111, 153601 (2013).
5. Z. R. Lin, K. Inomata, W. D. Oliver, K. Koshino, Y. Nakamura, J. S. Tsai, T. Yamamoto, “Single-shot readout of a superconducting flux qubit with a flux-driven Josephson parametric amplifier,” Applied Physics Letters 103, 132602 (2013).
6. Y. Sato, M. Moriya, H. Shimada, Y. Mizugaki, M. Maezawa, "Design and operation of 1000-fold voltage multiplier based on double-flux-quantum amplifier," Physics Procedia, 45, 221-224, 2013.
7. Y. Mizugaki, K. Kuroiwa, M. Moriya, H. Shimada, M. Maezawa, "5-bit Quasi-Sinusoidal Voltage Waveform Synthesized Using Single-Flux-Quantum Pulse-Frequency Modulation," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 23, 3, 1300804, 2013.
8. Y. Takahashi, H. Shimada, M. Maezawa , Y. Mizugaki, "Demonstration of 6-bit, 0.20-mVpp Quasi-Triangle Voltage Waveform Generator Based on Pulse-Frequency Modulation," IEICE Transactions on Electronics, E97-C, 3, 194-197, 2014.
9. K. Karatsu, M. Naruse, T. Nitta, M. Sekine, S. Sekiguchi, Y. Sekimoto, T. Noguchi, Y. Uzawa, H. Matsuo, H. Kiuchi, "Measurement of MKID Performance with High-speed and Wide-band Readout System", J Low Temp Phys (2014), to be published
10. T. Nitta, K. Karatsu, Y. Sekimoto, M. Naruse, M. Sekine, S. Sekiguchi, H. Matsuo, T. Noguchi, K. Mitsui, N. Okada, M. Seta, N. Nakai, "Closed-Packed Silicon-Lens Antennas for Millimeter-Wave MKID Camera", J Low Temp Phys (2014), to be published
11. T. Nitta, S. Sekiguchi, Y. Sekimoto, K. Mitsui, N. Okada, K. Karatsu, M. Naruse, M. Sekine, H. Matsuo, T. Noguchi, M. Seta, N. Nakai, "Anti-Reflection Coating for Cryognic Silicon and Alumina Lenses at Millimeter-Wave Bands", J Low Temp Phys (2014), to be published
12. M. Naruse, Y.Sekimoto, T. Noguchi, A. Miyachi, K. Karatsu, T. Nitta, M. Sekine, Y. Uzawa, T. Taino, H. Myoren, "Optical Efficiencies of Lens-Antenna Coupled Kinetic Inductance Detectors at 220 GHz", IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology , Vol.3, Issue 2, pp.180-186, 2013.
13. H.Myoren, S. Taguchi, K.Ohshima, T. Wakatsuki, T. Taino, L. Parlato, G.P. Pepe, "Performance of Superconducting Single-Photon Detectors Using NbN/NiCu Nanowires", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.23, Issue 3, 2201304, 2013.
14. H. Myoren, Y. Akamatsu, R. Sato, S. Sato, M. Naruse, T. Taino, "SFQ digital signal processing circuits for multi-quantum beam detectors using STJ array with neutron absorbers", 2013 IEEE 14th International Superconductive Electronics Conference (ISEC), 6604290, 2013.

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　H25/A06

感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研究

［1］組織
代表者：田中　章浩
（東京女子大学現代教養学部）
対応者：坂本　修一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：なし
協力者（学生）：
秋山　優香，岸　真由子，杉本　沙織，
平塚　真美，堀　紗矢香
（東京女子大学現代教養学部）
延べ参加人数：7 人

研究費：物件費 186,000 円，旅費 160,000 円

［2］研究経過

音声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り，人間の音声知覚の特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる．例えば，発話速度やポーズの長さといった要因が音声の聞き取りに大きく影響することが知られている．

また近年は，高次臨場感通信など感性情報の伝送の重要性が非常に高まってきている．「何を言っているか」のみならず，「どのように言っているか」すなわち話し手の情動や印象などの感性情報の伝送を実現する上では，音声の言語情報のみならず，パラ言語情報も併用することが必要不可欠であると考えられる．しかし，パラ言語情報の音響特徴量がどのような要件を満たせば感性情報を効果的に伝送できるのかは明らかでない．

そこで本研究では，感性情報を高精度に伝送可能な音声情報通信システムを構築するための基礎的検討として，人間の音声知覚能力を検討して，高感性音声情報通信システムが満たすべき要件を同定することを目的とする．

本プロジェクトは，平成 22～24 年度に共同プロジェクトとして採択された「人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報処理システムに関する研究」の延長として位置づけられる．前回の共同プロジェクトの成果をもとに，マルチモーダル情報に限定せず，音声に含まれる感性情報の知覚特性について包括的に検証することで，自然で豊かな感性情報通信を実現すべく発展させることを目標とする．具体的には，(a) 音声による感性情報の知覚プロセスの検討，(b) 音声知覚における言語情報と感性情報のトレードオフに関する検討の 2 点を研究課題として設定した．

1 年目にあたる本年度は，(a)に関しては，顔と声というマルチモーダル情報から年齢や印象はどのように知覚されるのかを検討した．(b)に関しては，言語情報と情動情報のマルチモーダル音声知覚は同時に両立するかどうかという問題について検討した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

第 1 回研究打ち合わせ（9 月）　3 年間の計画および今年度の方向性について議論した．また，音声知覚における言語情報と感性情報のトレードオフに関する実験結果について議論した．

第 2 回研究打ち合わせ（11 月）　顔と声からのマルチモーダルな年齢推定および印象評定の実験結果について議論した．

［3］成果

（3－1）研究成果

(1) 音声による感性情報の知覚プロセスの検討

初めて話す相手の年齢を正しく推定することは，コミュニケーションを円滑に進めるうえで重要である．年齢を推定する際には相手の顔や声の情報が手がかりとなるが，顔と声のどちらがより強く影響するのかは明らかではない．また，推定された年齢はその人物に対する印象にも影響を与える可能性がある．そこで，顔と声から推定される年齢が食い違うような人物刺激を作成し，年齢推定における顔と声の重みづけについて検討するとともに，推定された年齢と人物印象の関連性についても検討した．予備実験において，年上，年相応，年下と評定された女子大学生の顔画像（静止画）および音声を実験刺激として用いた．実験では，顔年齢（年上，相応，年下）と声年齢（年上，相応，年下）を独立に操作し，両者を組み合わせた計9条件で人物刺激を呈示した．参加者は年齢推定，印象評定（明るさ・親しみやすさ・頼もしさ・真面目さ・活発さ・大人っぽさの各項目），顔と声の一致度評定の 3 種類の課題をおこなった．実験の結果，年齢推定は顔と声両方の影響を受けるものの，相対的貢献度は顔のほうが大きいことが明らかとなった．また，すべての印象項目で声による影響がみられ（大人っぽさと頼もしさの評定では顔の影響も有意），人物の印象には声が強く影響することが明らかとなった．年齢推定と印象評定の関連について検討したところ，真面目さ・大人っぽさ・頼もしさでは声年齢と印象に対応がみられ，これらの3項目の印象形成には推定される年齢が関与している可能性が示唆された．以上より，感性情報のなかでも，年齢（顔優位）と印象（声優位）では重要な情報が異なることが示された．

(2) 音声知覚における言語情報と感性情報のトレードオフ

音声情報通信においては，聞き手は話し手が「何を言っているか」（音声知覚）を聞き取ると同時に，「どのように言っているか」（情動知覚）の処理をおこなう必要がある．マルチモーダルな音声情報処理の場合，視聴覚音声知覚では口元の動きを読み取ることが重要であり，視聴覚情動知覚では目元に着目することが重要であることが示されている．これらの研究は独立におこなわれてきたため，両者を同時におこなうときに目元と口元からどのように情報を取得しているのかは明らかではない．そこで，発話動画の目元および口元の見えを操作し，言語課題と感情課題における成績を比較した．実験では，「牛」「石」「虫」の3単語，「喜び」「怒り」「悲しみ」の3感情，モデル4名，顔の呈示領域5条件を組み合わせた計180の動画を使用した．音声にはノイズを重畳した（SNR -10dB）．発話動画は，口遮蔽条件，目遮蔽条件，目口遮蔽条件，全遮蔽条件，全体呈示条件の5条件で呈示した．参加者は，言語課題（何といっているか判断）および感情課題（どのような感情であるかを判断）をおこなった．実験の結果，言語課題では口遮蔽によって正答率が低下し，感情課題では目遮蔽および中間部（鼻付近）遮蔽によって正答率が低下した．これらの結果から，音声知覚と情動知覚では有用な視覚情報は異なることが示された．

（3－2）波及効果と発展性など

（大型プロジェクトへの発展・国際会議，シンポジウムへの発展・学外研究者との交流共同研究による効果・研究者ネットワークの拡大・若手研究者の育成・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等）

心理物理実験を通して人間の知覚プロセスを明らかにすることで，従来の手法以上に効果的かつ自然で豊かな音声情報を伝送可能な条件を見出し，「何を言っているか」と「どのように言っているか」の2つの側面のバランスのとれた音声情報通信システムの構築へとつながることが期待される．

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．また，本プロジェクトをきっかけに，代表者は日本認知科学会で新たな分野（多感覚コミュニケーション）に関するワークショップを企画・開催した．さらにこのワークショップを足がかりとして，感性音声情報処理の国際比較プロジェクトが発足し，アムステルダム大学の Disa Sauter 博士とともに，今年度は日本科学未来館において実験を進める予定である．これらのプロジェクトやワークショップ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，感性音声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

学会発表等

（1）田中章浩. “情動の多感覚コミュニケーション” 第 16 回東京大学文学部心理学研究室セミナー（2013 年 6 月）

（2）田中章浩・伊藤哲・外谷健司・大河原聡・渡邊克巳. (2013). “音声による情動表現の認知―年齢およびラジオ聴取頻度との関連―.” 電子情報通信学会技術研究報告, HIP2013-62, pp.13-16.

（3）髙橋麻衣子・髙木幸子・田中章浩 (2013) “発話内容の理解における発話者の表情の影響” 電子情報通信学会技術研究報告, HIP2013-45, pp. 61-66.

論文

（1）髙木幸子, 田部井賢一, Huis In 't Veld Lisanne, de Gelder Beatrice, 田中章浩. (2013). “表情と音声の示す感情が一致していない刺激からの感情知覚―異文化バーチャル・リアリティ・コミュニケーションへの応用―”. 基礎心理学研究, 32, pp.29-39.

国際会議、シンポジウム等への発展

（1）田中章浩. “感情音声と認知科学.” 日本認知科学会・知覚と行動モデリング（P&P）研究分科会ワークショップ「文化と実験心理学」(東京) (2014 年 3 月)

（2）田中章浩. “顔と声による情動認知の文化差.” 日本認知科学会・知覚と行動モデリング（P&P）研究分科会ワークショップ「文化と実験心理学」(東京) (2013 年 3 月)

（3）田中章浩. "コミュニケーションを支える知覚・認知基盤" 日本認知科学会第 30 回大会・ワークショップ（玉川大学）(2013 年 9 月)

（4）田中章浩. "情動コミュニケーションにおける多感覚統合" 日本心理学会第 77 回大会・公募シンポジウム「多感覚間統合機能の行動神経科学：ヒト適応向上に寄与する脳機能」(札幌) (2013 年 9 月)

（5）田中章浩. "認知心理学から迫る多感覚的なこころの文化差" 日本認知心理学会第 11 回大会シンポジウム「認知心理学の最前線」(つくば) (2013 年 6 月)

採択回数 ① 2 3

採択番号：Ｈ２５／Ａ０７

脳内の多チャネル色情報表現に関する研究

［1］代表者：栗木　一郎
（東北大学）
対応者：栗木　一郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者（５０音順）：
佐藤　智治（豊橋技術科学大学）
中内　茂樹（豊橋技術科学大学）
永井　岳大（山形大学）

延べ参加人数：４人

研究費：物件費１９万２千円，旅費１４万６千円

［2］研究経過

人間の脳内における色情報処理メカニズムを心理物理学的に調べる．色彩は人間の視覚情報の中で強い影響力を持っている．カラー画像は白黒画像よりはるかに多くの情報を持っており，例えば，物を探す時に対象物と妨害物が色で区別できる場合には，探索効率が劇的に向上（ポップアウト）する．インターネットや放送などの情報通信網を通して映像情報を提示する場合には色の情報は大きな役割を担うため，色情報処理の基礎メカニズムの解明は重要な課題である．近年の複数の研究により，人間の脳内で色情報を表現する仕組みが，従来考えられていた赤／緑と青／黄の成分の組み合わせではない事が示されているが，詳細はまだ明らかではない．本共同研究では，主に心理物理実験を通してその特性の解明を試みる．

本研究における代表者・共同研究者はこの問題にすでに個々のアプローチを試みており，これらの研究者が共同する事により，新たな成果に結びつく可能性は極めて高い．他の視覚・感覚モダリティとの相互作用などの高次の視覚情報処理を必要とする心理物理学的な課題において，従来考えられていた色情報の表現形式では説明できない効果を見出すことにより，多チャネル色メカニズムの特性の解明に繋げられることが期待される．その結果を学会発表や学術論文として対外的に発表し，将来的に科研費などの研究助成を将来的に共同申請するためのスタートアップとして本共同研究を実施する．

初年度は，現在の周辺研究に関するサーベイや，今後の実験計画についての打ち合わせから開始した．

［2．1］打ち合わせ概要

平成 25 年度は初年度のため，第１回の打ち合わせ（場所：東北大学 電気通信研究所 小会議室；出席者：佐藤，中内，永井，栗木）を 9 月 30 日に開催し，先行的知見について以下のような整理・確認を行うとともに，研究計画の立案を行った．

網膜において存在する３種類の錐体（L, M, S）の信号の線形結合（L-M, S-(L+M)）によって網膜で初期の色覚情報が形成される事が知られており，この情報の形態は外側膝状体（LGN）まで維持されている事が知られている．

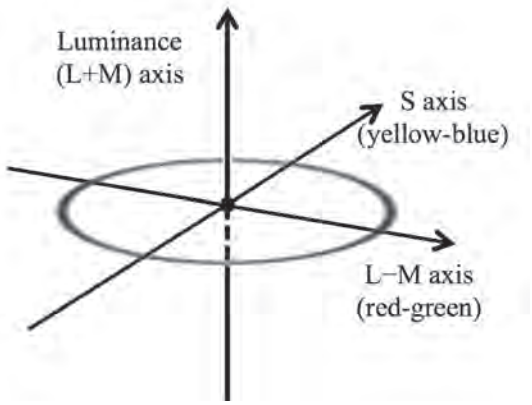


図１．錐体拮抗型反対色空間．L, M, S は長・中・短波長に最大感度を持つ光受容器（錐体）の応答を示す．L-M は主に赤・緑，S-(L+M)は青・黄，L+M は輝度軸を構成する．この色表現形式は大脳の直前まで保持されている．

一方，Hanazawa et al. (2000)および Wachtler et al. (2003)のマカクサルにおける電気生理学的研究において，第一次視覚野（V1）のニューロンは L-M および S-(L+M)の座標軸以外の方向に選択性を持つニューロンの存在を報告している．これらのニューロンは単なる L-M, S-(L+M)の線形結合ではない狭帯域の色相選択性を示すものが存在していた．一方，心理物理学的な研究において，Webster and Mollon (1994), Goda and Fujii (2001), Hansen and Gegenfurtner (2005)は同様に中間的な色相に選択性を持つシステムの存在を報告している．しか

し，これらの心理物理学的な先行研究の多くは色の見え方そのものに依存しない色の弁別・検出といった特性に関する報告か，色の見えに関する研究であってもテストされる色相方向が限定され，中間的な色相の選択性を持つシステムの数（バラエティ）に言及していない．Kuriki (2007)は，コントラスト順応を行った後の色の見え方の変化特性を計算モデルによりフィッティングすることでシステム数の推定を試みている．最近では，色の弁別とカテゴリー化に関する課題を行う時の刺激呈示時間を操作（50 ms, 500 ms)すると抽出される色相選択的メカニズムが狭帯域から広帯域に変化する，という心理物理学的な研究報告が存在する（Cropper et al., 2013）．しかし，中間的な色相に選択的なメカニズムの様相に関する結論は得られていない．

一方で，色の見えのメカニズムは色検出・弁別メカニズムと共通であるとする発表（Hillis and Brainard, 2005）も存在する．しかし，非白色に順応したときの最大感度は順応色と一致するものの，色の見えの中立点（無彩色点）は順応色と必ずしも一致しないことは，色恒常性研究における不完全順応の報告（Fairchild and Renniff, 1995; Kuriki and Uchikawa, 1998）および経験的な観察からも明らかであり，この現象について非白色の順応環境での検証が必要であると考えられる．無彩色点特性は色の見えメカニズム（多チャネル色情報表現）を反映している可能性が高く，色弁別特性は低次の視覚システムの特性を反映している可能性が高い．

以上の論点整理の結果，まず，非白色順応条件下における色の見えのシフトと色弁別最大感度の関係について，心理物理学的手法および計算モデルを用いて調べる計画を立案した．

［3］研究成果

まず，平成25年度に行った心理物理学的実験の進捗状況について報告する．また栗木が進めている関連研究として，脳内の色相選択的メカニズムのバリエーションを脳活動計測（fMRI）により調べた研究についても，その概要を報告する．

［3．1］不完全順応における色の見えと色弁別

心理物理学的実験により不完全順応における色の見えと色弁別の比較を進めている．色の見えと色弁別はウェーバーフェヒナーの法則によって強く結びつけることができ，色の見えにおける色差は色弁別閾の積分によって推測できる．従って，色の見えと色弁別が共通のメカニズムであるならば，色の見えの中立点（無彩色点）と色弁別最大感度は不完全順応状態であっても一致するはずである．本研究では，各条件における白色点を測定することで不完全順応が生じていることを確認した．また，色弁別と色の見えを測定する実験を，完全順応可能な条件（灰色）と不完全順応が生じる条件（赤: L-M 軸上）について実施した．被験者に呈示された視覚刺激は3つの黒枠で囲まれた正方形領域であり，それらは各順応色の背景上に呈示された．視覚刺激の時空間的構成はすべての実験で統一されていた．

無彩色点測定実験の結果，灰色に順応した条件では白色と順応色は一致したが，赤色に順応した条件では白色は順応色と一致しなかった．この結果から，今回使用した赤色条件では不完全順応が生じていることが確認できた．次に，色の見え実験によって知覚的な色差を測定した結果，色差が最も大きくなる点，すなわち色の見えにおける中立点は各順応条件における白色と概ね一致することがわかった．さらに，弁別実験では，色弁別感度最大となる色度は灰色条件と赤色条件の両方について順応色と一致していることがわかった．これらの結果から，不完全順応状態において，無彩色点は白色点と一致し，弁別感度最大となる色度は白色ではなく順応色であることがわかった．これらの結果は，弁別を司るメカニズムは赤色に十分順応しているが，色の見えを司るメカニズムでは不完全順応が生じている可能性を示唆しており，色の見えと色弁別が異なるメカニズムによって表現されている可能性を示唆する．今後，視覚刺激の背景領域の色などを変化させ色の見えと色弁別の関係を検証する．そして，実験により得られた結果を説明するモデルを構築し，色の見えと色弁別の関係に必要なパラメータを明らかにする．

［3．2］脳活動計測による研究

脳活動計測（fMRI）を用いて色相選択的な色メカニズムの存在を検証する研究を理化学研究所と共同で進めている．この研究では，色相が時間的に徐々に変化する視覚刺激を呈示し，MRI 画素 (voxel) ごとの脳活動（BOLD）信号の時間変化を測定する．いわゆる位相エンコーディングによる視野マッピングと同じ手法だが，色相選択性をマッピングする事が特徴である．30秒以上の連続した刺激呈示において持続的にBOLD信号を検出し続けるための技術ならびに逆位相で変調する2つの刺激ブロック間で差分を取る技術などの開発により，色相変化に依存した明瞭な信号変化を抽出する事に成功した．

このBOLD信号の時間変化が最大／最小になる色相方向を求めることにより，古典的な錐体拮抗反対色型の色メカニズム（L-M, S-(L+M)）が選択的に応答する2軸の中間的な色相方向に選択的な脳活動が存在する事を確認した．さらに，この脳活動がL-M, S-(L+M) メカニズムの応答の合成ではない事を

fMRI 順応実験により検証した.

この実験で得られた中間色相に選択的なメカニズムは，(1) 第一次視覚野において既に存在が確認されたが個人差が大きい事，(2) 個人に固有の「ユニーク色」と BOLD 信号データの間に明確な一致性が見られない事の２点が大きな特徴として挙げられる.

過去の fMRI 研究と比較すると，脳活動のデコーディング（Parks et al., 2009; Brouwer and Heeger, 2009; Goddard et al, 2010; Kuriki et al., 2011）や計算モデルによる補間（Brouwer and Heeger, 2013）等と異なり，連続的な刺激呈示に対する応答を記録した事，ならびに生の BOLD 信号変化から位相選択性を導出する技術（Tajima et al., 2011; Sun et al., 2013）を用いた事により，連続的な色相選択性の分布を調べることができた．色覚メカニズムの詳細な解明に近づく事ができたと考えられる.

［３．３］まとめ

脳活動計測や他の心理物理学的な実験結果から，錐体反対色型の色情報表現と，カテゴリー的な高次の色情報表現の間に，中間的な色相に選択性を持つ多チャネルの色情報表現がある事は確実性が高い．しかしながら心理物理学的・知覚的に顕著に多チャネル色情報表現を示す研究事例が少ない．誰の目にも顕著な事例（デモ）を示せれば，色情報表現の変遷の解明に近づくことができ，国際的にも強いインパクトを与えられる．今後は本研究プロジェクトにおける心理物理学的な研究において，新たな発見に注力して行く必要があると考えられる.

今後のプロジェクトの実施を通じ，東北大学と豊橋技術科学大学，山形大学との共同研究プロジェクトが開始できた事は初年度の大きな成果である．さらに，心理物理実験では初期の実質的な結果が得られた．今後は基礎的な知見をさらに集積し，脳内の視覚情報表現の解明を課題として科研など外部研究資金や投稿論文などの成果の獲得を進めて行く予定である.

［４］成果資料（関連する研究発表など）

1) Kuriki I., Sun P., Ueno K., Tanaka K., Cheng K. “Hue selectivity in human visual cortex studied by fMRI.” 22nd Symposium of the International Colour Vision Society. Winchester, U.K., 2013.
2) 佐藤智治・永井岳大・栗木一郎・中内茂樹．不完全順応下における色弁別と色の見え．平成 25 年度共同プロジェクト研究会「物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究」.
3) 佐藤智治，永井岳大，栗木一郎，中内茂樹「脳内の多チャネル色情報処理に関する研究」平成 25 年度共同プロジェクト研究発表会.

採択回数 (1) 2 3

採択番号 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

［1］組織
代表者：森勢　将雅
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
小澤　賢司
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
渡邉　一樹
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
延べ参加人数：５人
研究費：物件費２２万２千円，旅費２５万８千円

［2］研究経過

人間の聴覚の特性に立脚した音声処理技術を開発することは，音声認識の精度向上や音声合成の品質向上の観点から有益である．例えば，現在の音声処理技術で母音の種類を識別する場合，入力された波形をフーリエ変換することで得られるスペクトルを基準に次元圧縮した特徴量を用いる．この理由として，現在利用されている識別器で高い性能を達成するためには，母音に相当する情報のみを取り出す特徴量抽出が重要であることが挙げられる．一方，人間の聴覚は音信号を多チャネルのパルス列への変換する末梢系，および末梢系の出力から１次聴覚野の出力までの中枢系から構成されており，各器官を経て得られた膨大な情報から母音に相当する情報の抽出を行っていると考えられる．従来の音声処理技術は，限られた計算機資源という制約下で高い性能を達成する立場からは有効であるが，人間の聴覚を精密に近似するという観点からは十分であると言い難い．「人間の聴覚は音をどのように捉えているか」という観点から，音声の認識・合成技術を再構築することが本研究の本質となる．

本研究プロジェクトは，人間の聴覚特性に立脚した音声処理の枠組みを提案し，主に音声認識，音声合成に関して検討する．まず，本年度は初年度であることから，研究メンバーとメールベースでの協議検討を実施し，主な研究ターゲットとして個人性識別の問題を中心に扱うこととした．これらの内容について，平成 25 年 8 月 9 日に東北大学電気通信研究所（以下通研と呼称する）を訪れ，通研対応教員，研究分担者による集中的なディスカッションを実施した．その後，平成 26 年 2 月 27 日に，通研で開催された共同プロジェクト研究発表会で成果報告を行い，他分野の研究者との意見交換を実施した．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の研究では，本年度集中的に取り組む(1) 聴覚末梢系・中枢系それぞれについて高精度なモデルを採用することによる個人性識別の研究，および (2) 聴覚情報表現に基づく高品質音声合成技術の高速化に関する検討を実施した．これらの研究テーマについて，本報告書では(1) を中心に詳述し，(2) については概要を述べる．

(1) 聴覚末梢・中枢系を模擬するモデルを組み合わせたフレームワークによる個人性識別の研究

一般的な音声識別は，音声波形から特徴量を抽出するプロセスと，抽出された特徴量を対象にパターンマッチングを行う識別プロセスから構成される．特徴抽出部では一般的に Mel-frequency cepstral coefficients (MFCC)が，識別部には Gaussian mixture model (GMM)が主に利用されてきた．しかしながら，MFCC は，母音の特徴がスペクトルの大局的構造に対応することに着目し，音声の大局的構造を保持する目的で提案された特徴量であり，GMM も人間の聴覚を模擬する技術として提案されたものではない．本研究プロジェクトでは，特徴抽出部に人間の聴覚末梢系を模擬するため，現在までに提案されている中で最も精密なモデルである動的圧縮型ガンマチャープ (dynamic compressive GammaChirp (dcGC))聴覚フィルタバンクを利用した．dcGC は，聴覚が有する非線形時変特性も含めて模擬する最先端の聴覚モデルである．聴覚中枢系では，聴神経からの出力である多チャネルのパルス列を入力とし，蝸牛神経核腹側核，下丘，内側膝

状体，一次聴覚野を経て多チャネルのパルス列が出力される．本研究では，この多チャネルのパルス列の入出力機能を有する識別器として Deep neural network (DNN)を採用した．具体的には，図 1 のように，聴覚末梢系のモデルを dcGC，聴覚中枢系のモデルを DNN として，これらを組み合わせることによる音声識別のフレームワークとして提案した．

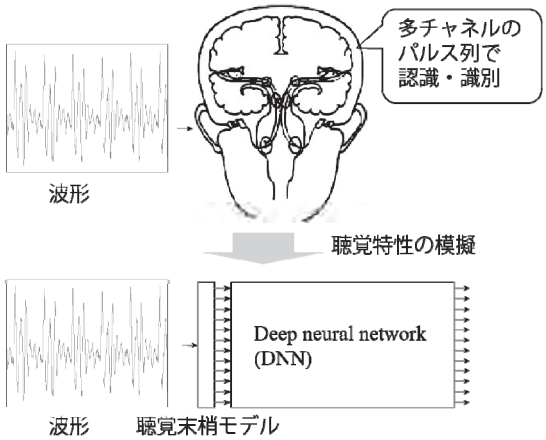


図 1：提案した音声処理のフレームワーク．非線形時変特性を有する聴覚末梢モデルと，DNN を聴覚中枢系モデルと見立てて利用している．

さらに，dcGC の出力に対し，Patterson らにより示された聴覚機能の 1 つである時間積分を導入することで，聴神経の出力の時間積分である Peri-stimulus time histogram (PSTH)を求め特徴量として利用した．図 2 は男性の発する母音/a/を対象とした分析結果を示しており，上段が dcGC の出力，下段が PSTH に対応する特徴量である．図からも明らかに，下段の PSTH には時刻に対する変動が含まれない．これは，人間の「持続母音の発声中に音色の変化を知覚しない」という感覚と一致する．

提案したフレームワークの有効性を検証する実験は，4 名の音声が収録されたデータベースにより実施した．本データベースには，4 名の話者が日本語 5 母音を単独で，2 オクターブの範囲で発話した音声が 48 kHz/16 bit サンプリングで 1 名当たり 370 サンプル収録されている．本実験ではオープンテストを実施するため，データベースに収録された各話者について，半分のファイルを学習用に，残る半分をテスト用に用いることとした．また，本年度は基礎的な評価を実施するため，DNN における中間層の数や中間層のユニット数と識別誤差との関係を調べることを中心に実験を実施することとした．

dcGC の分析パラメタは，予備的な実験結果に基づき，100 Hz から 12 kHz までを対象に 128 ch で分析することとした．時間積分に相当する平滑化は 20 ms の Hamming 窓により実施した．DNN では逆誤差伝播法で学習を行い，過学習を防ぐため Dropout を 0.5 の比率で導入した．入力層は，提案法による特徴量である 128 ch の PSTH とし，出力層は 4 名の話者に対応する 4 つのビットとした．学習は，正解話者のビットのみが 1，他のビットが 0 を示す教師信号を用いて実施した．なお，識別性能を示すための指標として採用した誤差率は，全ての音声のフレーム数を分母，誤った回答を出力したフレーム数を分子として計算した．

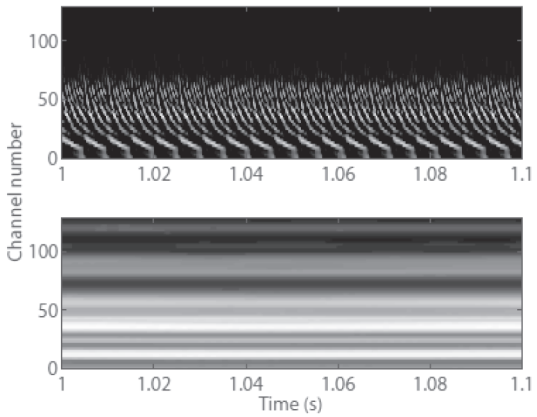


図 2：聴覚末梢モデルの出力（上段），出力を時間積分し PSTH 表現にした特徴量（下段）．時間的に滑らかな特徴が得られている．

図 3 は識別誤差と隠れ層との関係，図 4 は識別誤差と隠れ層のユニット数との関係を示している．なお，図 3 における隠れ層のユニット数は 128，図 4 における隠れ層の数は 2 層とした．これらの図からも明らかに，識別誤差は，隠れ層の数が 2 で概ね収束していること，また，隠れ層のユニット数については，入力層のユニット数が 128 であるにも関わらず，256 以上でも誤差が低減していることが確認できる．これらのことから，提案するワークフレームにおいて，隠れ層の数は 2 程度で十分であることが示された一方，隠れ層のユニット数については，適切な値を与えるための検討をさらに実施する必要があるといえる．

従来法との比較として音声認識に利用されている 13 次元の MFCC を DNN の入力とした実験を実施した．図 3, 4 より，提案法の誤差が最良の条件で 1% 以下となっていることに対し，MFCC による識別結果は 7%と高い誤差を示すことが確認された．DNN は画像処理において画素値そのものを入力としても良好な性能を示すことから，波形そのものを入力した実験も実施したが，こちらは 28%と大幅に誤差が増加する結果となった．次年度は，DNN に適した特徴抽出の観点からも検討を進める必要があるといえる．

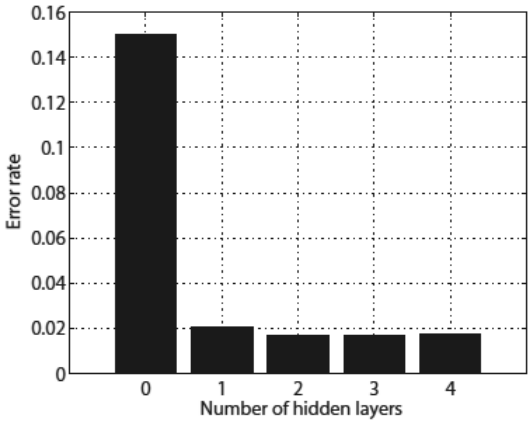


図３：提案する DNN の性能評価．隠れ層の数と識別誤差との関係を示しており，概ね２層で誤差が収束していることが分かる．

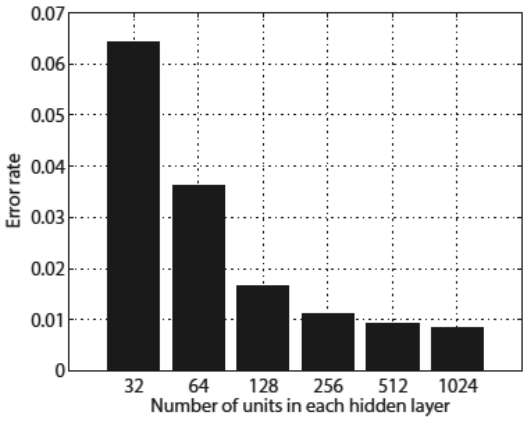


図４：提案する DNN の性能評価．隠れ層のユニット数と性能との関連を示している．入力層のユニット数 128 以上でも誤差は低減している．

⑵ 聴覚情報表現に基づく高品質音声合成技術の高精度・高速化に関する検討

本年度は，研究代表者が有する代表的な研究成果である，音声合成システム TANDEM-STRAIGHT を，並列処理による高速化を実現するためのアルゴリズム改良と GPGPU による高速化について取り組んだ．

TANDEM-STRAIGHT は，聴覚の立場から提案された音声合成システムであり，入力された音声に匹敵する品質で音声を合成可能なシステムである．その構造は VOCODER と同一であり，すなわち，音声を高さに相当する基本周波数，音色に相当するスペクトル包絡，および掠れ量に相当する非周期性指標に分解する分析法，および３つのパラメタから音声を合成する合成法から構成される．高精度な音声合成技術である一方，計算コストに関する問題があることから，精度を落とさない高速化が課題とされていた．

本年度は，この問題を解決するため，GPU を用いた並列処理を提案した．具体的には，現在の実装でフレーム毎に行われている処理の並列化だけではなく，例えば２つの波形を切り出してそれぞれのパワースペクトルやケプストラムを計算する処理など，並列に処理できる演算を並列化することとした．また，GPU プログラミングでは，CPU・GPU 間のメモリ転送に時間を要するため，計算に必要となるメモリを計算して事前に GPU 側に確保し，演算結果のみ CPU に転送することで高速化を図った．なお，本年度は非周期性指標の高速化には着手していない．

速度評価には，CPU に Intel の Xeon E5-2690 2.9 GHz，GPU に NVIDIA の Tesla C2075 を利用した．分析に関するパラメタ設定は，CPU のみ，GPU を利用した場合の両方で同一とした．並列処理を導入することにより，基本周波数推定で約７倍，スペクトル包絡推定で約４倍の高速化が実現された．また，本研究成果は FIT2013 で発表し，FIT 奨励賞を受賞している．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトの実施により，音声処理における聴覚特性を積極的に利用する必要性，重要性，有効性を示したといえる．本年度では個人性識別に着目して研究を進めてきたが，音声認識における音素識別部においても同様に高い性能を達成することが期待される．また，本年度取り組んだ個人性識別は，個人性認証として法科学分野で利用されている重要な技術にも応用可能である．高品質音声合成技術も，現在世界中から注目されている歌声合成産業を支える主要な技術の１つと位置づけられる．

これらの成果は，次年度の前半には学術論文として投稿し，世界的に周知することを目指す．これらの技術を発展させ，より高度な音声処理技術として昇華させるために，科学技術振興機構によるさきがけに申請する予定である．

［４］成果資料

（１）森勢将雅，小澤賢司：GPGPU による音声分析合成システム TANDEM-STRAIGHT の高速化，FIT2013 第 12 回情報科学技術フォーラム，pp. 265-266, 2014.（FIT 奨励賞受賞）

（２）森勢将雅，小澤賢司：聴覚末梢系モデルと Deep neural network による話者識別の基礎的検討，電子情報通信学会技術研究報告，vol. 113, no. 404, pp. 7-12, 2014.

採択回数	①	2	3

H25/A09

視覚モデル構築のための協調的環境に関する研究

［1］組織

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：
内川惠二（東京工業大学）
小川　正（京都大学）
村上郁也（東京大学）
宇賀貴紀（順天堂大学）
河原純一郎（中京大学）
西田眞也　(NTT)
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（東北大学）
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）
徳永留美（立命館大学）

延べ参加人数：25 人

研究費：物件費 264,000 円，旅費 222,000 円

［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する。視覚のモデルとしては，色覚，時空間特性，運動視特性，立体視特性など初期処理についての定量的なものが提案されているし，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に依存しないため、相互関連を検討することには困難が伴う。本研究は、平成 20 年度から 22 年度に進めた「視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究」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。

初年度である今年度は，の協調的モデル構築のために，佐藤らの進めている視覚数理モデル構築のためのプラットフォームの利用を中心に検討した。以下に，研究活動状況の概要を記す。

6 月 25 日　分担者佐藤が来所し，モデル構築プラットフォームの利用方について打合せを行った。

1 月 24 日　2014 年日本視覚学会冬季大会において，代表者酒井の「自然画像輪郭における対称性の知覚」，「輪郭の凸性・閉合性・対称性と図方向知覚」，「質感表現の探索」の研究および分担者佐藤の「複素関数による両眼性細胞の数理モデル化と画像処理への応用」などの研究発表を中心に，参画者らが，視覚モデルの利用について情報交換した。

3 月 3 日　所内での研究打合せを開催し，代表者酒井，分担者佐藤，石井，河原，西田，および関連研究者の丸谷，細川が来所あるいは web による参加した。

［3］成果

（3－1）研究成果

3月3日の所内での研究打合せにおいては，佐藤の 協調的視覚モデルの概略説明とその利用例に続き，酒井，石井，河原が最近の研究成果と視覚モデル利用の可能性について報告した。佐藤は，協調的視覚モデルについて以下の報告をした。

1. ヒトの視覚研究のアプローチの1つとして，数理モデルの構築という手法がある．この視覚の数理モデルをスムーズに構築できるプラットフォームがあれば，今後研究されるモデルの開発や修正が容易になると考えられる．

2. 視覚数理モデル構築用プラットフォームに必要な機能は，可視化，過去の開発コードの再利用などであることが調査により確認された．

3. 視覚数理モデル開発に最適であることがわかっているOpenRTMを，MATLABに対応させることで要求される機能を補う． 本研究により，視覚のモデル研究用に適しているとされる OpenRTM が MATLAB に対応された．MATLAB 言語で記述された既存の視覚数理モデルを OpenRTM 上で動作させることに成功した．

4．提案されている視覚的注意モデルを網羅的に提案プラットフォームに構築して比較を実現した。

講演後，丸谷と細川らが構築した視覚実験用プラットフォームとの連携について議論し，実験とモデル評価のシームレスな連動システムについて検討することとした。その他，環境構築の簡便性，web 対応システムなどについて議論した。

それに引き続き，酒井による形状知覚過程の特性としての曲率選択性の学習モデルに関する講演，石井による3次元空間における幾何学的錯視のモデル化を想定した講演，河原による視覚的注意の妨害刺激への注意誘導効果に関する講演があった。それぞれ関連メカニズムおよび，それを理解するための協調的視覚モデルの利用方法について議論した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

協調的に視覚モデルを構築利用することで，視覚研究の発展が期待されるのみならず，画像工学的な展開が期待できる。現在では，画像の取得，伝送，記録，表示いずれにおいても急激な技術革新が進み，画像の質の評価など，画像の見えを対象とする問題は多岐にわたる。例えば，画像圧縮によるブロックノイズ，インターネット環境による動画の駒落ちなど，それまでには考える必要のなかったタイプの画質の劣化を扱うことが要求されている。画質評価を視覚処理の問題と考えると，視覚モデルの利用によってこのような想定されない問題についても正当な評価が可能となる。

画質の向上／劣化要因は，画像圧縮など画像処理の影響の他に画像機器の特性や通信環境の評価でも重要である。人間の見えによる評価は，主観評価実験によって実現できるが，個人差の問題から多くの被験者が必要となるため時間も経費もかかる。その点を回避するために，見え方を予測する視覚モデルを前提とした画質評価(PVQMs, Perceptual Visual Quality Metrics)の研究が盛んである。

そのような環境で，下にあげるように，参画者間の連携によって共同研究および開発企画を進めることができた。

1) Visiome プラットフォーム(PF)の継続開発・公開運用とコンテンツ収集・登録

・共同研究
・理化学研究所
・平成25年4月1日から平成26年3月31日まで

2）筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻研究開発プロジェクト(A,B)

・ 大学院生の研究開発プロジェクト
・ 筑波大学
・ 平成26年4月1日から平成26年3月31日まで

［4］成果資料

採択回数	1　2　3

H２５／A１０

包囲型スピーカアレイを利用した音空間レンダリングの評価

［１］組織
代表者：土屋　隆生
（同志社大学理工学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岩谷　幸雄（東北学院大学工学部）
井口　　寧（北陸先端科学技術大学院大学）
大谷　　真（信州大学工学部）
山本　逸朗（東北学院大学工学部）
鎗水　翔也（東北学院大学工学部）
東海　林凌（東北学院大学工学部）
延べ参加人数：８人
研究費：物件費 22 万 5 千円，旅費 25 万円

［２］研究経過

まず，本プロジェクトの研究目的を簡単に述べる。画像分野では，形状や色データを基にコンピュータ上に仮想的な 3 次元画像空間を構築し，2 次元のディスプレイ上に投影・可視化するレンダリング技術が確立，実用化されており，3 次元コンピュータグラフィックス(CG)としてリアルな画像が提供されている。一方，音響の分野でも同様な概念として音空間レンダリングという技術が提案，研究されている。音空間レンダリングは，CG と同様に計算機上に仮想的に構築された 3 次元音空間に対して音波伝搬計算を行い，聴取位置で数値的に表現された音響信号をスピーカにより可聴化する技術である。音空間レンダリングを用いると，ホール内で実際に収録されたような自然な響きの音響信号が数値計算のみで得られる。音空間レンダリングは，波動性を考慮する必要上，膨大な計算機資源が必要になるため，GPU (Graphics Processing Unit) を用いたレンダリングの高速化により，CD 並の音質で中規模ホール(7,000 m^3)程度の音空間のレンダリングに成功している。

このように 3 次元音空間レンダリングは，GPU クラスタを用いた高速化によって計算技術としてはほぼ実用域に達しており，つぎのステージとして提示技術や聴感評価などの検討に移りつつある。本研究では，コンサートホールなどの大規模な人工環境に対するレンダリングを GPU クラスタにより実施した後，レンダリング結果を東北大学電気通信研究所の157ch包囲型スピーカアレイシステムに出力することで仮想的な立体音響空間を提示し，音空間レンダリングがどの程度自然な音響空間を実現可能であるかを聴取実験により評価する。最終的には，音空間レンダリングをベースとした高自由度で人間と調和可能な多チャンネル立体音響システムの実現を目指す。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。以下に，研究活動状況の概要を記す。

・H25 年 8 月に電気通信研究所で開催された電気音響研究会の際に，研究の進め方に関する打ち合わせを実施し，同研究会で関連研究の発表を行った。
・H25 年 9 月に豊橋技術科学で開催された音響学会秋季研究発表会の際に，研究の進捗状況について報告し，同発表会で成果の一部を発表した。
・H25 年 10 月には東北大学電気通信研究所で，分担者全員が一堂に会し，実験計画等に関する打ち合わせを行った。
・H26 年 1 月に関西大学で開催された電気音響研究会の際に，研究の進捗状況について報告し，同発表会で成果の一部を発表した。
・H26 年 2 月に電気通信研究所で開催された共同プロジェクト研究発表会の際に，研究の総括について打ち合わせを実施し，同発表会で成果の一部を発表した。
・H26 年 3 月に日本大学で開催された音響学会秋季研究発表会の際に，最終報告を実施し，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

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，レンダリングされた音空間について，音源の距離や指向性といった属性が，現状のシステムを用いて聴取者にどの程度伝えることが可能かについて，主観評価実験により検討した。

容積約 4,500m^3 の直方体ホールを想定し，音源(歌

手)からスピーカ位置までのインパルス応答(157ch分)を計算した。ソプラノ歌手の無響室録音音源(ヘルシンキ大学で無響室録音されたドンジョバンニのアリア)で畳み込んだ音源を被験者に 157ch 包囲型スピーカアレイシステムで提示した。まず，音源距離(10, 15, 20m)と壁の反射率(0, 0.9)を変化させてレンダリングした場合について実験した。被験者は，正常な聴力を持つ男子大学生 10 名で，2 つの刺激のうちどちらが近く感じるかを回答させた。図 1 は，刺激間の心理距離を比較するために d を求めたものである。図から，音源の指向性を前向きとした場合，R=0.0 で被験者は刺激間の距離差を弁別可能であることが示唆された。一方，後ろ向きの場合には，距離に関わらず d の値はほぼ一定であるので距離の弁別が難しいことが示唆された。これらは，音空間知覚においても直接波が到達しづらいために生じるものと推察される。

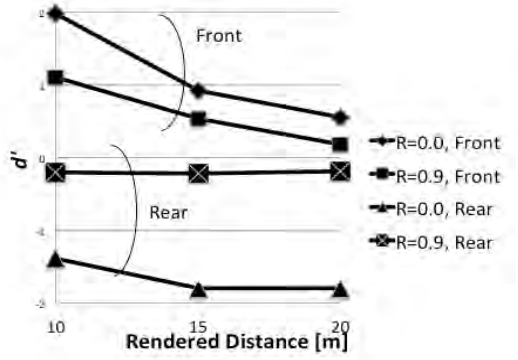


図 1　刺激中の心理的距離

つぎに，歌手の向き(前，後ろ，無指向性)を変化させた場合についてレンダリングにより実験を行った。音源の指向性(前向き，後ろ向き，無指向性)を 3 種類から回答させた。図 2 に正解率を示す。無指向(omni)の音源は，どの条件においても正解率が低い。また，自由空間(R=0.0)では，距離に関わらず正解率が高く，音源の指向性の伝達が良好である。R=0.9 のときの結果をみると，10m であれば前向きの正解率も自由空間のときと同等の傾向になっている。一方，音源距離が 20m になると，正解率がどの指向性でも低くなるのがわかる。

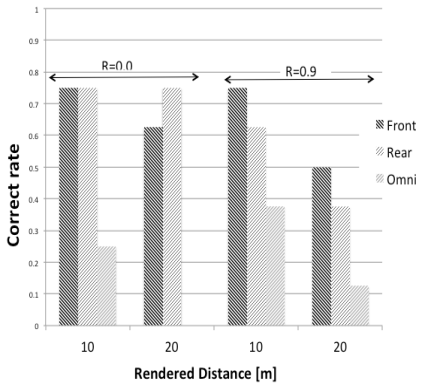


図 2　知覚された方向性の正確な割合

以上から，無指向性音源の場合，音源距離の弁別はできないが，音源に指向性を付与することで距離の知覚がある程度可能になり，特に音源が前向きの指向性を付与されている場合には，ほぼ正確に弁別可能であることが示唆された。さらに，音源の指向性を含めたレンダリングは，音空間の自然性を高めるために重要であることが示唆された。

つぎに，レンダリングされた音空間における音源定位の精度を検討した。レンダリングした空間は，13×13×13 m の立方体の空間である。無響空間を想定し壁の反射率は 0 とした。このモデル内に包囲型スピーカアレイと同じ閉領域を考え，音源からアレイスピーカ位置までのインパルス応答を計算した。なお，インパルス応答は，ラウドスピーカ位置に閉空間の外から入射する波面のみをカージイド指向性で受音したものである。レンダリングは，スピーカアレイの中心（聴取者の頭部位置）から 5 m の位置に仮想スピーカを 30° おきに 12 個並べた状況を仮定した。各仮想スピーカから包囲型スピーカアレイそれぞれのスピーカ位置までのインパルス応答を計算した。用いた音源は 48 kHz サンプリングのホワイトノイズである。折り返し歪みのない上限 340 Hz を境として 340 Hz 以下(LPF340Hz)と 340 Hz 以上（HPF340Hz）の 2 つの音源を用意した。被験者は聴力の正常な 20 代の男子大学生 10 名である。被験者は，包囲型スピーカアレイの中心におかれた椅子に着席し，正面を向いて音の方向を判断した。実験では，12 カ所の仮想スピーカからランダムに 1 カ所を選び提示した。各スピーカ位置はセッション内で 10 回提示され，被験者はトータル 120 回の判断を行った。被験者の回答は，30° 間隔の精度で 12 方向から強制選択させた。実験中は，目を閉じて正面を向いた状態となるように指示した。

LPF340Hz と HPF340Hz に対する実験結果を図 3, 4 に示す。横軸は提示した仮想スピーカの角度であり，縦軸は被験者が知覚したスピーカの角度である。円の大きさは，被験者の解答数に比例している。HPF340Hz の場合には，良好な定位がされていることがわかる。一方，図 4 を見ると前方で前後誤判断が頻発しており，折り返し歪みのない低域に

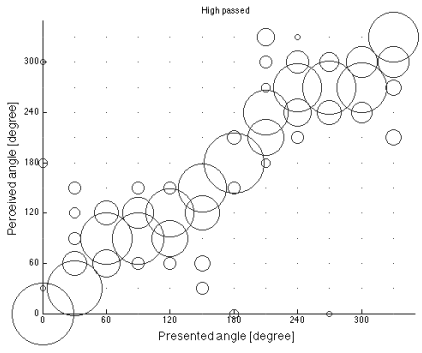


図 3　音源定位実験結果(340Hz HPF 時)

おいて前後誤判断が頻発していることがわかる。これは，仮想音場のインパルス応答の受音点の指向性をカージオイドとしたため，低域において方向性が低減されたためではないかと考えている。

高い精度で空間レンダリングされた音空間を折り返し歪みがあるシステムで提示し主観評価を行った。その結果，全体としては良好な定位結果を得ることができた。一方，低域については，レンダリングの受音点指向性の付与の方法を熟考する必要がある。

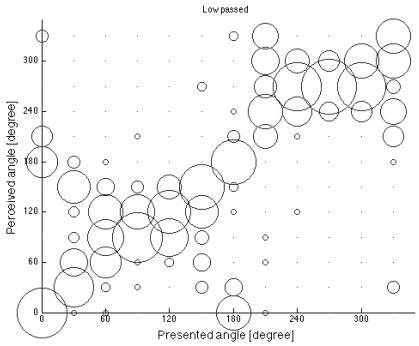


図４　音源定位実験結果(340Hz LPF 時)

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいて，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，その成果を基に総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)への申請に発展した。また，本プロジェクトの成果は，音空間レンダリングという新しい研究領域の開拓に結びつき，また，日本音響学会の電気音響分野の１つのカテゴリーにも採用されたことで今後の発展が期待される。

［４］成果資料

（１）土屋隆生，岩谷幸雄，大谷　真，井口　寧，"包囲型マイクロホン・スピーカアレイによる音空間レンダリングの試み", 電子情報通信学会技術研究報告，EA2013-57, pp.23-28 (2013.8).

（２）山本逸朗，鎗水翔也，岩谷幸雄，土屋隆生，"空間レンダリングされた高精細音空間の主観的評価", 日本音響学会講演論文集, pp.719-720 (2013.9).

（３）Y. Iwaya and T. Tsuchiya, "Subjective Evaluation of High-definition Virtual Sound Field using a 157-channel Surrounding Loudspeaker Array," Proc. 9th Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (2013).

（４）大谷 真, 倉林宏明, “動的バイノーラル合成による音場の可聴化,” 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, AI-2013-20 (2013).

（５）T. Yiyu, Y. Inoguchi, Y. Sato, M. Otani, Y. Iwaya, H. Matsuoka and T. Tsuchiya, "A Real-time Sound Rendering System based on the Finite-Difference Time-Domain Algorithm," Proc. Sympo. on Ultrasonic Electronics, 34, pp.235-236 (2013).

（６）丸田直樹，山下　脩，土屋隆生，大谷　真，岩谷幸雄, "CE-FDTD 法の境界条件について　～密度変化の取り扱い～," 電子情報通信学会技術研究報告，US2013-90, EA2013-103, pp.47-52 (2014).

（７）岩谷幸雄，庄子拓也，川崎誉洋，千葉順子，大谷　真，土屋隆生, "遠隔レンダリング型聴覚ディスプレイの試作," 電子情報通信学会技術研究報告, EMM2013-90, pp.11-16 (2014).

（８）土屋隆生，岩谷幸雄，大谷　真，井口　寧，鈴木陽一, "包囲型スピーカアレイにレンダリングされた高精細音空間の主観的評価", 東北大学電気通信研究所平成 25 年度共同プロジェクト研究発表会 (2014).

（９）鎗水翔也，山本逸朗，東海林凌，岩谷幸雄，土屋隆生, "空間的折り返し歪みがある稠密スピーカ音場における音像定位"，日本音響学会講演論文集, pp.905-906 (2014.3).

（10）土屋隆生，岩谷幸雄，大谷　真，" CE-FDTD 法の反射境界について"，日本音響学会講演論文集, pp.1397-1398 (2014.3).

（11）T. Yiyu, Y. Inoguchi, Y. Sato, M. Otani, Y. Iwaya, T. Tsuchiya, "Design and Implementation of a Two-dimensional Sound Field Solver Based on the Digital Huygens'Model", Microprocessors and Microsystems, Elsevier, 38, pp.216-225(2014)

採択回数	① 2 3

採択番号 H２５／A１１

ブレインウェアの情報原理とその応用の研究

［1］組織

代表者：加納 敏行（日本電気株式会社）
対応者：中島 康治（東北大学電気通信研究所）
分担者：大野英男，大堀淳，羽生貴弘，塩入論，鈴木陽一，佐藤茂雄，石黒章夫，北村喜文，矢野雅文，川上進，坂本修一，坂本一寛，秋間学尚（以上，東北大学電気通信研究所），亀山充隆，中尾光之，橋本和夫，片山統裕（以上，東北大学大学院情報科学研究科）虫明明（東北大学大学院医学系研究科），野口正一（仙台応用情報学研究振興財団），牧野悌也，菅原研（東北学院大学），多田順次（東京デザインテクノロジーセンター専門学校），中嶋宏，田崎博（以上，オムロン(株)），藤澤浩道，影山昌広，古賀昌史（以上，(株)日立製作所）前田賢一，木下淳宏（以上(株)東芝），濱本将樹（シャープ(株)），小野田邦広，光本直樹（以上（株）デンソー），武理一郎，桝井昇一，山川宏（以上，(株)富士通研究所），小川雅嗣，松田雄馬，若山永哉（以上，日本電気株式会社）
延べ参加人数：85 人
研究費：物件費 49 万 8 千円，旅費 15 万 1.5 千円

［2］研究経過

現代の高度情報社会はWebに代表されるように，インターネット技術とそれを支えるハードウェアの驚異的な進歩によってもたらされている.「より高速に！より大量に！」をモットーに情報技術が発展してきた. これによって社会は多大な恩恵を受けたが，これを単に延長しても，理想とする高度情報社会は実現しない．インターネットシステムのハードやソフト資源の有効な利用方法も最適にはほど遠い．次世代 Web プラットフォームが構築されれば，コンテンツ市場がオープン化して，流通するトラッフィクも爆発的に増大すると思われる．またビッグデータなど膨大なデータを貯蔵し処理する技術も盛んに開発されている．例えば，インターネットではシステムの資源を効率的に運用する方法として，クラウドコンピューティング，オープンフロー，SDN などが研究されている．これらは基本的には予め作っておいたテーブルから選択して制御する方法になっている．情報システムはエネルギーを大量に消費するので，情報システムとエネルギーシステムは一体的に運用する必要性がある．しかし，システムが大規模になってくると，予測できない変化や，故障など不測の事態を含めて予めテーブルを作ることは原理的に不可能になる．つまり，現代の科学技術は大規模で非線形の複雑システムのロバストな制御方法は持っていないことを意味している．認識においても同様のことが言える．本共同プロジェクト研究では，取り扱う情報の質と量を飛躍的に向上させるために，生命システムのもつ多面的，階層的な情報原理を明らかにし，柔軟に情報処理が出来るブレインウェアシステムの創成を目指してきた．この目的を達成するため，生理学による知見（解析論的アプローチ）を踏まえ，ブレインウェアシステムの設計原理（設計論的アプローチ）を明らかにするための研究を展開した.

1. 最適化問題；NP 困難である巡回セールスマン問題等の最適化問題の新規解法の発見.
2. 問題解決機能；無限定環境下で制約充足問題をリアルタイムに解く方法論の開発．認識機能；予め図と地が分離していない実世界におけるパターンの分節化とその記号表現と状況理解のための文脈を取り入れた意味的な処理形式の研究.
4. 行動機能；予測不可能的に変化する実環境に適応的に目的を達成する制御機構の研究．非ウィナー型リアルタイム制御機能の解明.
5. 情報データベース；従来の検索エンジンと情報ベースに代わる，ブレインウェアの記銘と連想記憶想起などの新たな情報データベースの開拓.

これらの諸問題は基本的には少ない情報原理で解かれなくてはならない．共通原理に基づく柔軟な情報処理の機能獲得方法を明らかにするとともに，これを実現する新しい人工物アーキテクチャの創成を目指している.

以下，研究活動状況の概要を記す.

研究会開催実績：

● 第１回「脳における時間情報と空間情報の相互変換のしくみ―海馬の計算論モデル研究から―」（理学研究所脳科学総合研究センター 神経情報基盤センター長 山口陽子），「アクティブニューラルネットワーク― ID（逆関数遅延）モデルファミリ―」（東北大学電気通信研究所・教授・中島康治） 2013 年 4 月 23 日，出席者 14 名（企業 6 名，大学 8 名） ● 第２回「(1) 運動知覚の計算理論ならびに (2) 数理モ

デル作成技術」（電気通信大学・情報システム学研究科・准教授・佐藤俊治），「個体間相互作用により調節される脳機能の恒常性」（北海道大学・電子科学研究所・准教授・青沼仁志）　2013 年 6 月 25 日，出席者　16 名（企業 5 名，大学 11 名）　● 第 3 回「共創としてのコミュニケーション」（東京工業大学大学院・総合理工学研究科・教授・三宅美博），「群知能システムとは何か？～自然の群れと人工の群れ～」，（東北学院大学・教養部情報科学科・教授　菅原研）2013 年 8 月 27 日，出席者 10 名（企業 3 名，大学 7 名）　● 第 4 回「自然画像の階層的学習による視覚皮質モデル」（ATR 研究所　脳情報通信総合研究所・さきがけ研究者・細谷晴夫），「ノイマンバスボトルネックをカバーする集合演算プロセッサ SOP」（株式会社エイ・オー・テクノロジーズ・社長　井上克己）2013 年 10 月 29 日，出席者 22 名（企業 8 名，大学 14 名）　● 第 5 回「生物の適応的歩行制御機構の構成論的理解」（京都大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻・助教・青井伸也），「マウス用バーチャルリアリティ行動実験系の開発と展望」（東北大学 大学院情報科学研究科 応用情報科学専攻・准教授・片山統裕）2012 年 12 月 24 日，出席者　15 名（企業 3 名，大学 12 名）　● 第 6 回「曲率を用いて形態を表現するための神経回路網のモデル化」（東北学院大学 教養学部・情報科学科・准教授・牧野悌也），ブレインストーミング「ブレインウェアによる ICT のさらなる発展―実世界の不良設定性を超えて―」（全員参加）2014 年 3 月 7 日，出席者 8 名（企業 2 名，大学 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．

ブレインウェアシステムは，リアルタイム性を必要とするために，現在のチューリングマシンを基盤としたノイマン型情報処理とは全く異なる．この情報処理機構による新しい情報産業を創出するため，基本となる基盤技術の確立を目指した．

・ID（逆関数遅延）モデルファミリ；組合せ爆発が生じるような問題はローカルミニマムに陥るために，最小値を一意的に求めることが出来ない．現代情報論では NP 困難と言われるように変分法の限界を示している．この問題に対し，ID ニューロンを用いることでポテンシャル自身のダイナミクスを利用してローカルミニマムに陥らず一意に解く方法論の開発に成功しており，これは情報数理学としても基本となる基盤技術・要素技術の新規な方法論であり，今後の情報処理技術・産業の発展が期待できる．

・制約充足法；リアルワールド問題として，予測不可能的に変化する無限定環境下において，大自由度の複雑システムをリアルタイムかつ自律的に制御する方法論は持っていない．無限定環境下での制御をウィーナーのサイバネテクスの制御法に代わって，目的を制約条件とする制約充足方を提案した．これによって初めて無限定環境下でのリアルタイムの制御が可能になった．本技術は現代社会の様々リアルワールド問題を解決手段となりうることから，ロボットを含めた様々な大規模複雑システムに適応されることが期待される．

・認識機能に関しては，空間視と形態視の統合を図った．脳は基本的にコンピュータのような CPU が存在しない．むしろデジタルコンピュータが出てくる前のアナログコンピュータに近い．しかし問題に応じて回路を繋ぎ変えるような手続きは必要としない．あいまい情報，不完全情報，部分情報が入力されても，大小関係回転パターンであっても，同じ回路で計算が行える機構が入っている．回路網の変更は回路網の環境とも言える，旧皮質によって行われる．したがって，計算論を明らかにする，アーキテクチャを明らかにすることで，脳型の情報システムの設計を行う基盤が創られつつあることを示す．これらは従来の情報処理であるテンプレートマッチングとは原理の異なる情報システムとなるような視覚機能の飛躍的な向上が期待される．

・平成 25 年度東北大学電気通信研究所ブレインウェア研究会報告書（平成 26 年 3 月刊行）

（3－2）波及効果と発展性など

アルビン・トフラーは産業革命に次ぐ第三の波として「情報革命」を挙げているが，本当の意味での「情報革命」は生命システムにおける脳や身体の情報原理が明らかになり，それが現実世界で適用されるようになって初めて実現する．生命システムにおける脳や身体の情報原理を応用することで，エネルギーシステム，インターネット，交通システムなどの社会インフラはもちろんのこと日常の生活環境も一変することは想像に難くない．

ブレインウェアの研究を発展させることで，科学技術のパラダイムシフトを引き起こし，新規基幹産業の開拓はもちろん，住みやすい社会構造への変革も同時にもたらされることは間違いない．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，産学の共同研究などに発展している．脳型情報処理という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）が学問的・産業的なブレイクスルーになり，現在の閉塞状況を打破するような発展が期待されている．

［4］成果資料

1.　T. Kano, R. Kobayashi, and A. Ishiguro, “Decentralized Control Scheme for Adaptive Earthworm Locomotion Using

Continuum-Model-Based Analysis", Advanced robotics, 28-3, pp. 197-202 (2014)
2. T. Kano, T. Kawakatsu, and A. Ishiguro, "Generating Situation-dependent Behavior: Decentralized Control of Multi-functional Intestine-like Robot That Can Transport and Mix Contents", Jounral of Robotics and Mechatronics, 25-4, pp. 871-876 (2013)
3. D. Owaki, K. Osuka, and A. Ishiguro, "Stabilization Mechanism underlying Passive Dynamic Running", Advanced Robotics, 27-18, pp. 1399-1407 (2013)
4. 影山昌広、浜田宏一"画像の位相シフトを利用した超解像再構成処理の適用可能性と２次元拡張に関する検討", 映像情報メディア学会誌 in press, 2014
5. S Shioiri, T Yamazaki, K Matsumiya, I Kuriki, "Rotation-independent representations for haptic movements", Scientific reports 3, Article number: 2595, doi: 10. 1038/srep02595, pp. 1-7, 2013
6. K Matsumiya, S Shioiri, "Moving one's own body part induces a motion aftereffect anchored to the body part", Current Biology 24 (2), 165-169, 2014
7. Naoyuki Sato, Fast entrainment of human electroencephalogram to a theta-band photic flicker during successful memory encoding. Front Hum Neurosci, doi: 10.3389/fnhum.2013.00208, 2013.
8. Naoyuki Sato, Taiki Sato, Takeya Okazaki, Mitsuru Takami, Electroencephalogram dynamics during social communication among multiple persons. Lecture Notes in Computer Science, vol.8226, part I, pp.145-152, 2013.
9. Naoyuki Sato, A computational model of cortical pathways formed with electroencephalogram synchronization. Proceedings of The International Conference on Cognitive Neurodynamics (23-27 June 2013, Sweden) (to be published from Springer).
10.Xu Bai, Michitaka Kameyama, "A Bit-Serial Reconfigurable VLSI Based on a Multiple-Valued X-Net Data Transfer Scheme", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E96-D,No.7, pp.1449-1456,2013
11.. Xu Bai, Michitaka Kameyama, "A Multiple-Valued Reconfigurable VLSI Architecture Using Binary-Controlled Differential-Pair Circuits", IEICE Transactions on Electronics, Vol.E96-C, No.8, pp.1083-1093, 2013
12. Martin Lukac, Michitaka Kameyama and Yoshichika Fujioka, "VLSI platform for Real-World Intelligent Integrated Systems Based on Algorithm Selection", IADIS International Journal on Computer Science and Information Systems, Vol. 8, No. 2, pp.72-90, 2013
13. 1. M. Vidojkovic, X. Huang, X. Wang, C. Zhou, A.Ba, M. Lont, Y.-H. Liu, P. Harpe, M. Ding, B. Busze, N. Kiyani, K. Kanda, S. Masui, K. Philips, H. de Groot, " A 0.33nJ/b IEEE 802. 15.6/ Proprietary- MICS/ISMB and Transceiver with Scalable Data- Rate from 11kb/s to 4.5Mb/s for Medical Applications" Digest of ISSCC, pp. 170-171, 2014.
14.崔正烈, 寺島英明, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, "ベクション感覚と平衡感覚刺激並存下の音像定位", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 18(1), 27-35, 2013
15.本多明生, 神田敬幸, 柴田寛, 浅井暢子, 寺本渉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 行場次朗, 鈴木陽一, "視聴覚コンテツの臨場感と迫真性の規定因", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 18(1), 93-101, 2013
16.. S. Sakamoto, G. Hasegawa, A. Honda, Y. Iwaya, Y. Suzuki, J. Gyoba, "Bodyvibration effects on perceived reality with multi-modal contents,"ITE Transactions on Media Technology and Applications, 2(1), 46-50, 2014
17. T. Dietl, and H. Ohno, "Dilute ferromagnetic semiconductors: Physics and spintronic structures," Reviews of Modern Physics, vol. 86, pp.187-251, 2014
18. L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Direct-current voltages in (Ga,Mn)As structures induced by ferromagnetic resonance", Nature Communications, Vol. 4, pp. 3055(1) - (6), 2013
19. S. Kanai, Y. Nakatani, M. Yamanouchi, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "In-plane magnetic field dependence of electric field-induced magnetization switching." Applied Physics Letters, vol. 103, pp. 072408(1) - (4), 2013
20. Masaki Hamamoto, Yoshiji Ohta, Keita Hara & Toshiaki Hisada,"Free-flight analysis of dragonfly hovering by fluid structure interaction analysis based on an arbitrary Lagrangian?Eulerian method, Advanced Robotics, Vol. 27, pp. 657-666, 2013

採択回数	① 2 3

H25/A12

不定な環境における適応能の階層横断的解明と工学的応用

［1］組織

代表者：高橋 達二
（東京電機大学理工学部）
対応者：笹井 一人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
浦上 大輔（東京工科大学）
太田 宏之（防衛医科大学校）
西川 麻樹（東京大学）
青野 真士（理化学研究所）
上浦 基 （東京電機大学）
澤 宏司（日本女子大学附高）
脇坂 崇平（理化学研究所）
白川 智弘（防衛大学校）
園田 耕平（滋賀大学）
西山 雄大（新潟大学）
新里 高行（筑波大学）

延べ参加人数：19 人 (以上 13 名＋学生参加者 6 名)
研究費： 物件費 24 万 8 千円, 旅費 42 万 3 千円

［2］研究経過

ネットワークの環境化を始めとした情報技術の社会への全面的な浸透やロボティクスなどの必要から、人間との調和の必要な情報システムにも、人間が活動する不定な世界への適応能力を与えることが必要であり、これが本プロジェクトの目的である。

本プロジェクトでは、人間とより深くかかわる情報システムにとって重要である、環境の不定性をもとにした適応能の解明とその工学的応用を目的とする。具体的には、人間思考・推論・意思決定傾向の解明（グループA）、さらに情報システム間・人間間の協調的なインタラクション原理の解明（B）と情報システムと人間の認知的融合を可能とするインターフェイスの構築（C）から、情報システムへの適応能の付与（D）を目指して研究を推進する。

本プロジェクトは，本年度が第 1 年度であった。次年度は，現在 4 つに分かれているグループの研究を包括的なコンセプトの下に再統合し，共同研究をさらに促進することで，より生産的な研究プロジェクトとした。

具体的には、不定性と階層横断性の基礎的な研究を行った。不定性は、リスク（確率分布が既知）や不確実性（確率分布が未知だが起こりうる事象と世界＝普遍集合は確定している）と区別され、何を事象と捉えるかといった事象の単位や、エージェントの想定する世界の不完全性を含んだより現実的かつ深刻なものである。本年度は不定性に関し、特に非マルコフ性としてのモデリングを行った。特に、工学的応用を視野に入れ、非マルコフ的環境・エージェント能力の下での効率的な探索・行動方法の研究を行った。また、階層横断性は、最も基礎的な場合として、二つの階層を考えつつそれらの相互作用を考えざるを得ない状況としてモデリングした。

本年度の研究活動状況としては、当プロジェクトの研究会として次の 2 件を行った。

- H25/A12 キックオフ研究会 2013 年 8 月 31 日(土) 14:00 ~ 17:00 於 東京電機大学千住キャンパス 1 号館 2 階 1206 セミナー室（参加者 7 名＋学生 10 名）
- H25/A12 共同プロジェクト研究会 2013 年 11 月 23 日(土) 13:00 ~ 16:00 於 東北大学電気通信研究所 2 号館 W214 号室（参加者 10 名+学生 6 名）

また、大部分のメンバーが参加した共催研究会として次を行った。

- 2013 年度人工知能学会全国大会(第 27 回大会) オーガナイズドセッション OS-24「内部観測と推論」 2013 年 6 月 4 日 14:10–20:00、6 月 5 日 15:00–19:20（オーガナイザ : 高橋、太田、浦上）（発表 27 件、参加者 50 名以上）
- International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 19th 2014) OS13 “Protocomputing,” 2014 年 1 月 22 日 13:00–14:30 (チェア：上浦、コチェア：高橋)（発表 5 件、参加者約 10 名）
- 第 7 回内部観測研究会・第 24 回計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会（共同開催） 2014 年 3 月 8 日(土)ー9 日(日) 於 神戸大学理学部 Z103 教室 （世話人 : 笹井）（発表 18 件、参加者約 30 名）

- The First International Tokyo Workshop on Intelligence and Cognition (TWIC) Day 1（2014 年 3 月 19 日　於　自由学園明日館），Day 2 (2014 年 3 月 22 日　於　東京電機大学理工学部 2211B 室）

［3］成果

（3－1）研究成果

不定性と階層横断性について得られた結果について述べる。不定性は非マルコフ性と無際限性として、階層横断性は二つの階層間の相互作用と、結果としてもたらされるベキ分布と帰納的な一般化（汎化）として具体化され扱われた。

不定性を、非マルコフ性としてモデリングした。マルコフ性とは、将来の可能性が現在のみで決定し、過去に依存しないという性質である。そのため、非マルコフ性とは、環境を確率的な力学系としてモデリングできない、あるいは環境の状態というものの瞬時の把握が不可能であり、潜在的なプロセスの進行を無視できない、ということを意味する。これは強化学習システムの現実的な応用では必ず問題になる性質であるが、それへの対処の方法は高次化などを除くとこれまでにほとんど提案されていない。

非マルコフ性は環境の構造の複雑性としてもエージェントの認識能力の有限性としても考えられ、エージェントの内的視点からは両者が区別できない点が重要である。これに関し、神経系がいかにして非マルコフ的な環境への適応、遅延報酬への対応を可能としているかについて神経生理学[1]の知見を得ただけでなく、新しい強化学習モデル (QTimer) としての研究を行った [2]。また、非マルコフ性は力学系においても状態の粗視化によって現れる。これについて、ロボット (Acrobot) に強化学習で大車輪運動を獲得させる課題でシミュレーションと実機の作成を行い、状態の粗視化の下で有効に作動する強化学習アルゴリズム (LSQ) を LS モデルの研究[3]に基づき提案した [4]。

不定性に関しては世界の無際限性としてのモデリングも重要である。無際限な世界での効率的な探索の事例を発見し、また人間がいかにして無際限さの下で有効に推論を行っているのかの解明を進めた。

まず、神経すら持たない単細胞多核体である真性粘菌変形体を用い、数十 mg スケールの単細胞が十分に広い一様な空間をどのように探索するかを観察する実験を行った。この実験では 1 個体の変形体が数日間をかけても探索し尽せないスケールの、均一な実験系が用いられた。その結果、単細胞生物である変形体においても Lévy flight 様のベキ分布に従う探索が行われていることが発見され、細胞の探索行動においても一般的に動物が行う探索行動に類似するパターンが見出されることが示された。今後、細胞や組織一般の運動や形態成長を研究する上での重要な足掛かりとなると同時に、”生体の知的行動”という広い観点に基づく研究を行う [5,6]。

また、推論に欠かせない条件文・双条件文等が、従来の二値論理の実質含意ではなく条件付事象としてモデリングされるべきであることを解明した [7,8]。実質含意が無際限な世界では機能しないのに対し、条件付事象は条件付けによりローカルな判断を可能とする。

階層横断性の効用について、意識モデル、社会的認知に関する実験とモデル、そして社会モデルでの検証を行った。

意識に関しては、Libet et al (1983)により、意識的意思に先行する脳内活動が示されたことを踏まえ、動作の主体感の起源を巡るpredictionかpostdictionかという二項対立的な論争は、主体感を生成するメカニズムを前提としたものであると議論し、二項対立の調停を含意する観測由来ヘテラルキー (階層横断性) の概念を経由して、自発性の原器はむしろ意識的部分と無意識的部分の捩れとその解消にあることを論じた[9]。

ヒトの認知発達のひとつの指標となる役割取得能力（他者の行動の動機や目的を知る能力）に関し、情報の概念化の二つの側面（汎化と評価）に対する役割取得能力の寄与を，小児の発達段階を通して明らかにした．その寄与とは不完全な情報の補償であり，その結果として知識の極端な一般化がもたらされる可能性があることを報告し，他者を肩代わりするシステムとして自己のモデルを提案した [10]. また、汎化と評価に関してはニューラルネットワークモデルとしても提案した [11]。

社会モデルとしては、多数のエージェントが協調動作する際に、必要となる頑健な協調方式について、ざら場市場のモデルを用いて検証した。従来の同期・非同期モデルに対して、部分空間の大きさを導入し、その効果によって生命にみられる頑健性と関係が深いとされるべき分布がみられることがわかった [12]。

（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成果は、研究経過で述べたとおり、人工知能学会全国大会オーガナイズドセッション、国際学会 AROB 19th 2014 オーガナイズドセッション、第 7 回内部観測研究会・第 24 回計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会（共同開催）、国際ワークショップ (TWIC)として発信された。

国際会議、シンポジウムとしては、前述のワークショップやオーガナイズドセッションの主催を行っ

たが、国際的な共同研究も活発に行った。2014 年 3 月には、フランスとイギリスから Jean Baratgin, Frank Jamet, Hugo Mercier, David Over が来日し、不定な環境での適応についての議論を行った。また、ドイツから Henrik Singmann も来日し、TWIC で 3 件の発表を行った。

本プロジェクトの研究は大学院生との共同研究 2 件[13,14]を含む計 5 件の学会賞[15,16,17]を受賞しており、若手研究者の育成として一定の成果を挙げているものと考えている。

今後は人工知能学会全国大会でのセッションと、ICNAAM 2014 (ギリシャ) , BICT 2014 (ボストン) において Artificial, Biological and Bio-Inspired Intelligence (ABBII) セッションを開催する。研究結果は論文として公表するが、Frontiers のジャーナル (Frontiers in Bioengineering and Biotechnology) から特集号の企画を依頼されており、本プロジェクトの成果に基づいた特集号（仮トピック： Cognitively inspired computing）の提案も行う予定である。

［4］成果資料

1. Ohta, H., Sakai, S., Ito, S., Ishizuka, T., Fukazawa, Y., Kemuriyama, T., Tandai-Hiruma, M., Mushiake, H., Sato, Y., Yawo, H. and Nishida, Y., “Paired stimulation between CA3 and CA1 alters excitability of CA3 in the rat hippocampus,” *Neuroscience Letters*, 8, 534, 182–7, 2013.
2. 太田 宏之, 甲野 佑, 高橋 達二, 線条体ニューロンの持続的発火と強化学習, 2014 年度人工知能学会全国大会 (第 28 回)) 予稿集 , 2N5-OS-03b-4.
3. Uragami, D., Takahashi, T., Matsuo, Y., “Cognitively inspired reinforcement learning architecture and its application to giant-swing motion control,” *BioSystems*, 116:1–9, 2014.
4. Oyo, K., Takahashi, T., “A cognitively inspired heuristic for two-armed bandit problems: The loosely symmetric (LS) model,” *Procedia Computer Science (Proceedings of IES 2013: The 17th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems)*, 24, 194–204, 2014
5. Shirakawa T., Sato H., "Construction of a Molecular Learning Network," *J. Adv. Comput. Intell. Intell. Informat.*, 17, 6, 913–918.
6. Furuki H., Sato H. and Shirakawa T., “Fractal-based analysis for the energy consumption efficiency of biological networks,” *J. Adv. Comput. Intell. Intell. Informat.*, 17, 6, 919–925, 2013.
7. Sawa, K., Yokokawa, J., Takahashi, T., “Logical equivalence: Symmetric and asymmetric features,” *Symmetry: Culture and Science*, 24, 1–4, 339–346, 2013.
8. Takahashi, T., Yokokawa, J., Oyo, K., “Adaptation to environment through causal induction with “biconditional probability,” *Proc. of the Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 19th 2014)*, 724–729, 2014.
9. Sonoda, K., Kodama, K., Gunji, Y.-P., “Awareness as observational heterarchy,” *Frontiers in Psychology*, 4, 686, 1–12, 2013.
10. Nishiyama Y., Kato K., Nagasawa M., Kawasaki K., Hasegawa I., “Developing a conceptualization of social relationship via rudimentary objective-subjective distinction on social world,” *Proc. of the Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 19th 2014)*, 2014 (**Young Author Award**)
11. Uragami, D., Ohta, H., “Multilayered neural network with structural lateral inhibition for incremental learning and conceptualization,” *BioSystems*,118C:8–16, 2014.
12. Sasai, K., Gunji, Y.-P., Kinoshita, T., “A Model of Market Behavior based on Time and Space Uncertainty,” *Proc. of the Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 19th 2014)*, 2014.
13. 甲野佑, 高橋 達二, 自己組織的に環境変化を感知し方策を遷移する緩対称性推論モデル, JSAI 2013 ◎(2013 年度人工知能学会全国大会 (第 27 回)) 予稿集, 1L3-OS-24a-3in. (2013) [人工知能学会 2013 年度全国大会優秀賞 受賞]
14. 横川 純貴, 高橋 達二, 不確定情報の下での条件文と双条件文の 3x3 真理値表, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, 1T-5.(2014) [情報処理学会第 76 回全国大会学生奨励賞受賞]
15. 上浦基, 高橋 達二, 因果帰納確率モデルの情報学的考察, JSAI 2013 (2013 年度人工知能学会全国◎大会 (第 27 回)) 予稿集, 1L5-OS-24c-3. (2013) [人工知能学会 2013 年度全国大会優秀賞 ◎受賞]
16. 高橋達二. (2013). 論理的階層の圧縮としての内部観測によるトレードオフの乗り越え, 2013 年度人工知能学会全国大会(第 27 回)) 予稿集, 1L3-OS-24a-2. [人工知能学会 2013 年度全国大会優秀賞 受賞]

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号　A２５／A１３

「場」と対人コミュニケーションに関する研究

［1］組織

代表者：大坊 郁夫
（東京未来大学）

対応者：北村喜文
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
大坊 郁夫（東京未来大学）
大森 慈子（仁愛大学）
市野 順子（電気通信大学）
山口 徳郎（沖電気工業株式会社）
花村 周寛（大阪府立大学）
伊藤 雄一（大阪大学）
月田 有香（Numenia LLC）
藤原 健（大阪大学）
横山 ひとみ（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）

延べ参加人数：16 人

研究費：物件費 24 万 5 千円，旅費 25 万 8 千円

［2］研究経過

東北大学電気通信研究所で試作しているメディアスペース（仮称）を活用して，様々な情報コンテンツの提示やそれらの変化が対人コミュニケーションに与える影響を，情報科学，社会心理学，空間デザイン学の分野の研究者，さらに実社会で活躍しているコミュニケーショントレーナーの協力により調査する．具体的には，メディアスペースで複数の人が会話を行う「場」の状態をセンシング・解析し，様々な機器や方法によって提示される情報コンテンツと対人コミュニケーションの質の間の関係を明らかにする．

本プロジェクトは，23 年度，24 年度と共同プロジェクト（タイプ B）に引き続くものであり，本年度（タイプ A）では，これまでの議論や成果をもとに，近年，急速に脚光を浴びている即興劇に基づいたコミュニケーショントレーニングに関して社会心理学的実験を行い，その効果をメディアスペースの各種センサによって身体動作や視線・瞬目，対人距離・位置関係などの非言語情報，言語情報，さらに心理的状態（e.g., 場の活性度, 感情状態）を取得し，解析した．

本プロジェクトでの活動状況の詳細を以下に示す．

１．24 年度共同プロジェクトの成果発表

昨年度の共同プロジェクトにて議論を進めた関連する３件（成果欄に記載）の研究発表について議論し，最終稿やプレゼンテーション等を洗練させた．

２．コミュニケーショントレーニングの評価実験の立案（10 月 21-22 日）

東北大学電気通信研究所で試作しているメディアスペースを用いたインプロを評価検証するための実験計画を立案する研究会を開催した．ここでは，研究代表者の大坊をはじめ，実際に企業等の新人研修で多くの講習経験を持つインプロトレーナーである月田氏，センサを用いた状態推定の研究者である伊藤氏や市野氏も参加した．本研究会では，利用するセンサ，計測用ソフトウエアの調整，実験環境，実験参加者，教示，手続き，実験で対象とするインプロのプログラム構成，予想される結果と解析方法および対外発表計画までを二日間にわたって議論し，資料にまとめた．これらの詳細は，［3］に示す．

３．インプロによるコミュニケーショントレーニングの評価実験実施（12 月 13-16 日）

先の研究会で議論してまとめた計画に則り，入念な事前準備と予備実験を経て，東北大電気通信研究所北村研究室実験室において，コミュニケーショントレーナー月田氏によるインプロの効果を評価する実験を実施した．実験参加者は初対面の８人×３組であり，実際の実験は２日間にわたって実施した．

４．評価実験結果の解析（2-3 月）

実験終了後から，25 年度末にかけて，実験の心理学的指標に加え，メディアスペースの複数のセンサで取得した被験者の行動指標等の大量のデータ解析を実施した．これには主に電子メールによって情報のやりとりをしたが，東北大電気通信研究所での打ち合わせも開き，細かなデータに関しても詳細な議論をして結果をまとめた．

［3］成果

（3－1）

研究計画の詳細

インプロは，即興劇に基づくコミュニケーショントレーニングであり，発想力，表現力，コミュニケーションの活性化，そしてチームの団結力や信頼関係の向上を図ることができるとされている．本研究では，それらの効果を検証するために，被験者募集により，年齢差が小さく，男女均等な配分でかつ全員が初対面である８人グループを三組構成した．実験では，それぞれの組で，自己紹介後，８人によるあるテーマの議論（15 分）をし，月田氏によるインプロによるトレーニング（約 90 分）後，さらに別のテーマを議論（15 分）させ，そのすべての過程において行動と心理指標を取得した．主にインプロ前後の議論における心理状態や非言語的行動指標に着目し，表現力や，自己表現性などを調査した．非言語情報については，図１に示すように，頭部に３次元位置センサを，腕には加速度センサ，首元には無線マイクを装着し，インプロや議論中の動きに支障がないように配慮した．またすべてのデータはリアルタイムで取得し，サーバに集められるようにプログラムされている．インプロについては，詳細は省くが，自己紹介，名前キャッチボール，Yes, Game, No Game, といったものであり，大きな身体的動作や相手との対話において，瞬時の対応（たとえば，常に肯定・否定してから次の会話を発展させていく等）求めるようなものであり，トレーナーの統制のもと，実験参加者は他の７人とのインタラクションを進めてゆく．

実験結果

３組, 計 24 名の被験者による実験の結果を簡単に述べる．図 2，図 3 に，実際の実験の様子を示す．議論場面では，輪を作って座り，インプロの場面では図に示すように比較的大きな即興的な身体の動きが伴う（これらはすべて計測している）．心理指標では，インプロ前後の議論を比較した結果，インプロ後では，「協力的になった」,「相互に興味をもった会話となった」,「自分の考えをうまく表現できた」,「自分の気持ちをしぐさで表現できた」，「相手の考えや気持ちを正しく読み取ることができた」など，会話における意思疎通性が大幅に向上したことがわかった. さらに,「相手に柔軟に対応することができた」，「アイディアが出やすかった」など，発想についてもポジティブな結果が見られた. その他,「このグループの話し合いに満足している」，「議論が楽しい」，「他のメンバから受け入れられている」，「このグループのメンバは魅力的である」，等といった，チーム団結力などの向上が有意に見られたことが明らかになった.

また，センサによって取得した会話中の非言語情報の解析も行った．データが膨大であるため，その一部は現在も解析中であるが，議論において極めて重要な発話に関しては，発話音量，発話時間（量）ともに，インプロ後の議論は，その前のものに比べて, 10%から 20%程度向上することが明らかになった. これは, 心理指標の結果を保証する結果である. 議論のテーマは，こちらから予め指定したものであったが，インプロによってチーム力が向上したことにより，議論における会話や，議論の過程（発想等）を積極的に楽しむ傾向が強くなったと考えられる.

今後さらに解析は続けるが，これまでの結果からも, インプロの有用性は十分に説明することができ, この成果は，電子情報通信学会コミュニケーション基礎研究会で発表予定である．今回の結果からは，発想力や表現力の向上も見られ，非常に有望であることが分かったが，これについては，継続の効果を検証することも重要である．また，インプロによってチーム力の向上が顕著であったため, この知見は,「場」をセンシングし, 理解するための方法論や「場」への刺激を通したコミュニケーションの活性化手法へ大きく寄与するものと考えられる.

発表予定文献

月田有香，高嶋和毅，横山ひとみ，市野順子，伊藤雄一，北村喜文，大坊郁夫：即興劇（インプロ）によるコミュニケーショントレーニングが集団討論場面に与える影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Jul. 2014.

（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, 共同プロジェクト（タイプ B）から引き続く三年目のものであり，過去の成果に基づいたものである．今回のタイプ A では，実際に実験を計画し，システム構築，実験実施，そして解析といった研究プロセスを学外研究者と共有することで，これまでの交流を飛躍的に発展させることができたと言える．特に，本研究の構成員は，年齢層やその専門分野が様々（情報，心理学等）であり，分野をまたいだ交流をさらに充実させることができた.

本研究で対象としたインプロというトレーニング法は，最近，急速に普及しつつあるものであり，多くの企業や組織の注目は非常に高い．本共同プロジェクトの成果や，今後の推進によって，情報技術・インタラクティブシステムの研究者，対人社会心理

学研究者，コミュニケーショントレーニングの現場を結んだ萌芽的かつ実用的な研究領域へと発展する可能性は高いと言える．

［4］成果資料

Kazuki Takashima, Naohiro Aida, Hitomi Yokoyama and Yoshifumi Kitamura, TransformTable: a self-actuated shape-changing digital table, In Proceedings of Conferece on Interactive Tabletop and Surface (ITS), pp.179-187, Oct. 2013.

高嶋和毅，会田直浩，横山ひとみ，北村喜文，"TransformTable: 人の空間配置を動的に変化させる自律変形デジタルテーブル"，情報処理学会インタラクション2014論文集, pp. 41-48, Mar. 2014.

坂本 登，高嶋 和毅，横山 ひとみ，北村 喜文，"人の空間行動に応じた自走式デジタルテーブルの移動とコンテンツの提示に関する検討"，ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集，pp. 671-674, Sep. 2013.



図1．実験に用いたセンサ



図2. 議論場面



図3. インプロ講習場面

採択回数	1　2　3

採択番号 H25/A14

スマートエイジングのための知的センシング環境

［1］組織

代表者：程　子学
（会津大学コンピュータ理工学部）
対応者：北形　元
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
荊　雷（会津大学コンピュータ理工学部）
王　軍波
（会津大学産学イノベーションセンター）
周　穎慧(会津大学コンピュータ理工学研究科)
武田 敦志（東北学院大学教養学部情報科学科）
今井　信太郎
（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
菅沼　拓夫
（東北大学サイバーサイエンスセンター）
阿部　亨
（東北大学サイバーサイエンスセンター）
程 同軍（会津大学コンピュータ理工学部）
Zairan Wang
（会津大学コンピュータ理工学研究科）
Dido Vongsa
（会津大学コンピュータ理工学研究科）
魯 子先（会津大学コンピュータ理工学研究科）
浅野 宜雄
（会津大学コンピュータ理工学研究科）
鈴木 彩香（東北大学大学院情報科学研究科）
川村 拓弥（東北大学大学院情報科学研究科）
延べ参加人数：16 人

研究費：物件費 23 万 8 千円，旅費 14 万 7 千円

［2］研究経過

高齢者社会の到来にともない，健康寿命の延長，生き甲斐作り，一人暮らし支援，孤独死の防止などは，ケア･福祉において大変重要になってきており，高齢者の生活の質を改善しつつひとりひとりが知的に成熟する「スマートエイジング」の考え方が注目されている。本プロジェクトでは，高齢者の生活支援に焦点を当て，スマートエイジングのための知的センシング環境の構築を目的とした研究開発を行った。具体的には高齢者の生活状況に関するデータの収集，高齢者生活状況（コンテキスト）の認識，高齢者の生活状況に適する支援プラットフォームの設計，及びプロトタイプの開発を目的として研究を実施した。

本プロジェクトは，本年度が第 1 年度であった。本年度は，高齢者の生活支援のための知的センシング環境実現のための基礎的研究として，以下の 3 項目に関する研究を展開した。

(1) 高齢者の生活状況に関するデータの収集
(2) 高齢者生活状況（コンテキスト）の認識
(3) 高齢者の生活状況に適する支援プラットフォームの設計

以下，研究活動状況の概要を記す。

平成 25 年 12 月 6 日(金)に，下記の要領で，本プロジェクトの第 1 回研究会を開催した。

「スマートエイジングのための知的センシング環境」H25 年度第 1 回研究会
日時： 12 月 6 日(金) 14:30 - 17:15
場所：東北大学 電気通信研究所

第一部：研究成果発表会
(1) プロジェクト概要紹介　菅沼拓夫（東北大）
(2) 程研究室研究紹介　程 子学（会津大）
(3) 指輪型手指装着装置による人間行動センシング
周 穎慧（会津大）
(4) 日常行動の観測による高齢者の生活支援のための状況アウェアシステム及び SNS への配信
浅野 宜雄（会津大）
(5) ソケット通信を利用した一人暮らしの高齢者をモニタリングするシステム
Dido VONGSA（会津大）
(6) 装着型デバイス―マジックリングにより人間活動の研究及び生活支援できるシステム
魯　子先（会津大）
(7) A Situation Awareness IoT System for Supporting Life of Senior Citizen
Zairan Wang（会津大）

(8) 加速度センサを用いた動作推定のためのデータ処理手法の一検討　今井信太郎（岩手県立大）
(9) 菅沼研における高齢者見守り支援に関する研究紹介　菅沼拓夫（東北大）
(10) 小型携帯端末内蔵の複数センサと知識を利用した人物の動作推定　鈴木彩香（東北大）
(11) 距離画像センサによる鏡型空間共有システムの設計　川村拓弥（東北大）

第ニ部：
「スマートエイジングのための知的センシング環境」のこれからの研究方向、共同研究の進め方に関するフリーディスカッション

［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，指輪型デバイスを利用した高速かつ高精度なジェスチャー認識に関する研究開発を行った。具体的には，ジェスチャー動作をグループに分類し，グループごとにHMMの適応的調整を行うことでジェスチャー認識の複雑さを低減し，計算コストを抑える事前分類法を提案した。ジェスチャーの分類にはK-means法，グループのモデリングには表ベースモデリング法，ジェスチャーのモデリングにはHMM学習法をそれぞれ採用した。指輪型デバイスであるMagic Ringを用いた実データによる実験の結果，提案手法は従来のHMMと比較し，精度を落とすことなく計算量を大幅に低減できることが検証できた。

第2に，一つの3軸加速度センサを用いて，実時間で1ストロークの指ジェスチャーを分割するための閾値選択・調整法に関する研究開発を行った。本手法では，まず最初に，ベイジアン決定理論に基づき，一般的な1ストロークの境界を決定するための初期閾値を得る。次に，ユーザごとの特性を反映した，閾値の動的調整を適応的に行う。本手法の有効性を検証するために，25人の被験者の12のジェスチャーからなる1,110以上のサンプルデータを用いた実験を行った。実験の結果，本提案手法は，計算量を低減しつつ，高い分割精度と個人適応性を実現することが検証できた。

第3に，小型携帯端末内蔵の複数センサと知識を利用した人物の動作推定手法に関する研究を行った。人間の基本動作を，センサを用いて推定する動作推定手法においては，センサの設置コストや，センサ利用に伴う動作上の制約等の課題がある。本研究ではそれらの課題を解決するため，現在広く普及しているスマートフォン等の小型携帯端末を利用した動作推定手法を提案した。本提案手法では小型携帯端末に内蔵された複数のセンサを用いて人間の動作に関連する情報を獲得・収集し，それらを効果的に活用して人間の基本動作の推定を行う。さらに，当該動作の発生している時刻，場所などに関する知識を導入し，知識処理技術とセンサ情報を組み合わせることで，動作推定の精度を向上させる。本提案手法を用いた評価実験により，複数センサの利用と知識処理技術との連携により動作推定の精度が向上することが確認できた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは1年目であり，大型プロジェクト，研究会の創立，シンポジウムの開催等に直接的につながる具体的な成果，貢献はなかった。しかしながら，プロジェクトメンバーの個別研究と，研究会等を通じたそれらの成果の連携により，センサデバイスと知識処理を相互活用したセンシング・認識技術の新たな研究開発の方向性が，本プロジェクトの推進により少しづつ明らかになりつつあり，スマートエイジングのための知的センシング環境という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。

［4］成果資料

1) Y. Zhou, Z. Cheng, L. Jing, J. Wang, T. Huang, “Pre-classification Based Hidden Markov Model for Quick and Accurate Gesture Recognition Using a Finger-worn Device,” Applied Intelligence, Vol.40, No.4, pp.613-622, 2014.
2) Y. Zhou, Z. Cheng, L. Jing, “Threshold Selection and Adjustment for Online Segmentation of One-stroke Finger Gestures Using Single Tri-axial Accelerometer,” Multimedia Tools and Applications, (Online published)
(DOI) 10.1007/s11042-014-2111-2
3) Lei Jing and Yinghui Zhou and Zixue Cheng, "Context-Aware Service Roaming for Heterogeneous Embedded Devices over Cloud." Journal of Systems Architecture (JSA)", 2013, Vol. 59 No. 3, pp. 776-784.
4) Lei Jing and Zixue Cheng and Shigetomo Kimura, "A Hybrid MAC Layer Protocol to Trade-off between Maximum Delay and

Energy Efficiency for Wireless Home Automation Networks", "Journal of Convergence Information Technology (JCIT)", 2013, Vol. 8 No. 2 pp. 776-784.

5) Zixue Cheng, Junbo Wang et al A Context-aware IoT Middleware for Management of Conflicts Using a Priority Scheme based on Diagram of Situation State Transition, Journal of Internet Technology (Accepted)

6) Y. Zhou, D. Saito, L. Jing, "Adaptive Template Adjustment for Personalized Gesture Recognition Based on a Finger-worn Device", 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing (iCAST 2013 & UMEDIA 2013), Aizu-wakamatsu, November,2-4, Japan, 2013.

7) Y. Zhou, Z. Cheng, T. Hasegawa, L. Jing, T. Huang, J. Wang, "Detection of Daily Activities and Analysis of Abnormal Behaviors Based on a Finger-worn Device," 2012 The 5th IET International Conference on Ubi-Media Computing (U-Media 2012), Xining, China, Aug. 2012. (Best Paper Award)

8) Y. Zhou, Z. Cheng, L. Jing, J. Wang, "A Probability Model for Recognition of Dynamic Gesture Based on a Finger-Worn Device," 8th International Conference on Active Media Technology, AMT 2012, Macau, China, December 4-7, 2012.

9) Z. Cheng, J. Wang, T. Huang, P. Li, N. Yen, J. Tsai, Y. Zhou, L. Jing, "A Situation-Oriented IoT Middleware for Resolution of Conflict Contexts based on Combination of Priorities", The 8th International Conference on Embedded and Multimedia Computing (EMC13), August 23-25, Taipei, Taiwan, 2013

10) J. Wang, Zixue Cheng, Peng Li, Jian Chen, and Yinghui Zhou, "Design of a Best Load Balancing Method for Anti-Disaster Mobile Mesh Communication Networks", Proc. of MS 2013 : The 2nd IEEE International Conference on Mobile Services, Jun 27, 2013 - Jul 2, 2013, Santa Clara Marriott, CA, USA, pp. 63-69.

11) Junbo Wang, Zixue Cheng, Mengqiao Zhang, Yinghui Zhou, Lei Jing, "Design of a Situation-Aware System for Abnormal Activity Detection of Elderly People", The 2012 International Conference on Active Media Technology, 4-7 Dec. 2012, Macau (Lecture Notes in Computer Science Volume 7669, 2012, pp 561-571).

12) J. Wang, K. Matsumoto, Z. Cheng, Y. Zhou, "A Location Optimization Method Based on Communication Requirements to Reconnect Separated Communication Areas after a Disaster", The 2013 IEEE International Conference on Internet of Things, August 20-23, 2013, Beijing, China, pp 653-657.

13) Yilang Wu, Junbo Wang and Zixue Cheng, "An Adaptive Data Resourcing Model to Relieve the Pain of Searching from Hybrid Clouds for Big Data" The 2014 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications July 21-24, 2014, Las Vegas, Nevada, USA

14) Takuya Kawamura, Toru Abe, Takuo Suganuma, "A Design of State Acquisition Function using Range Image Sensor for 3D Symbiotic Space," Proc. of the Third International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2013), pp.622-627, October 2013.

15) 鈴木彩香, 阿部亨, 菅沼拓夫, ``小型携帯端末内蔵の複数センサを利用した動作推定手法の提案," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.140, IN2013-50, pp.83-87, July 2013.

16) 鈴木彩香, 阿部亨, 菅沼拓夫, ``小型携帯端末内蔵の複数センサと知識を利用した人物の動作推定手法とその評価," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.473, IN2013-158, pp.89-94, March 2014.

17) 生出拓馬, 阿部亨, 菅沼拓夫, ``広域センサネットワークのためのエージェントフレームワークに関する一検討," 第 76 回情報処理学会全国大会予稿集, 5X-1, March 2014.

共同プロジェクト研究

採択回数	① 2 3

採択番号（H25／A15）

ネットワークの知的管理のための情報取得・活用に関する研究

［1］組織

代表者：岩谷　幸雄
（東北学院大学工学部）

対応者：北形　元
（東北大学電気通信研究所）

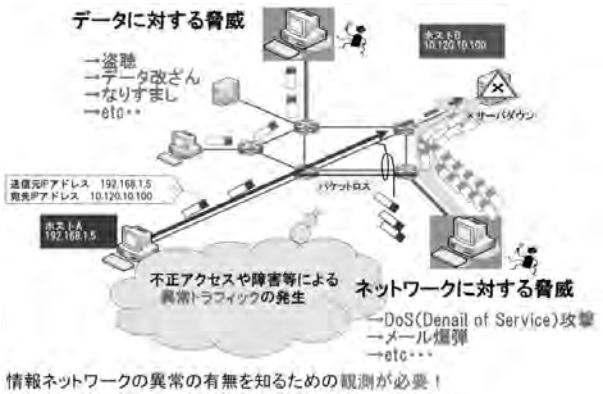
分担者：
木下　哲男（東北大学電気通信研究所）
五十嵐　隆治（秋田大学工学資源学研究科）
高橋　秋典（秋田大学工学資源学研究科）
上田　浩（京都大学学術情報メディアセンター）
笹井　一人（東北大学電気通信研究所）
横山　洋之（秋田大学工学資源学研究科）
藤原　克哉（秋田大学工学資源学研究科）
小原　仁（秋田大学工学資源学研究科）
今野　将（千葉工業大学工学部）
矢入　聡（仙台高等専門学校）
打矢隆弘（名古屋工業大学情報基盤センター）
久米原　栄（群馬大学総合情報メディアセンター）
奈須野　裕（苫小牧工業専門学校）

延べ参加人数：２５人

研究費：物件費２６万１千円，旅費３６万１千円

［2］研究経過

情報ネットワークシステムは，現在なくてはならない重要なインフラであり，その利活用については，国内においても政府（総務省）の e-Japan ならびに u-Japan が構想されるなど，今後も我が国のイノベーションを支える大きな柱であることは間違いない。しかし，インターネットの発展・普及は正と同時に負の側面をも助長している。サイバーテロによる危機，フィッシングなどの詐欺被害，一部のヘビーユーザーによる帯域圧迫，ファイル交換ソフトによる著作権侵害などが負の側面である。これらの危機に備えるため，ネットワーク管理者は管理対象のネットワークの状態を把握する必要がある。これらの把握については，マニュアルや教科書に書いてあるような一般的な管理知識の他に，そのネットワーク固有の特性や構成に関する知識も必要となる。さらに，問題が起こったときの原因追及に至っては，管理者の経験やノウハウも必要である。このように，実際のネットワーク管理を考えると，通り一辺倒な管理システムでは対応できないことが分かる。つまり，ネットワーク上のデータは，分散的な情報として扱うべきであり，これらの情報を駆使して管理を行うためには，知的な処理が必要となる。そこで本研究では，分散システムとしてネットワークをとらえ，それを管理するための情報・知識取得とその活用方法について検討することを目的としている。



図：研究背景の概念図

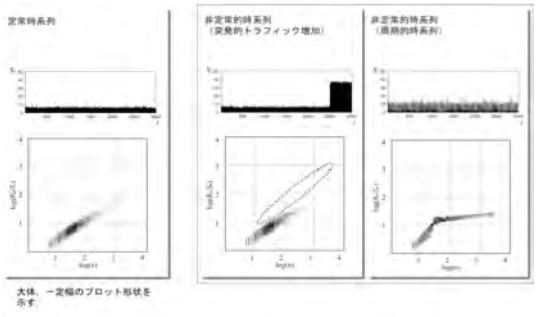
特にトラヒックの観点からは，「不正検知」として知られるように，シグネチャ（定義された不正行動）をデータベース化して登録し，パケットの動向とデータベースのパタンマッチングにより，具体的な異常現象を捉えることが主流である。一方，ネットワークの具体的な事象をとらえるのではなく，医者が患者に対して聴診器をあてるがごとく，聴診器のように異常の潜在性をとらえることで，人間の管理者を支援するという立場がある。これは，「異常検知」に分類され，過去の統計データなどで通常の行動の傾向（プロファイル）を記録し，そのデータと大きく外れた挙動を異常状態として検知するものである。我々は，後者の立場に立ち，ネットワークのトラヒックの挙動を統計的にとらえ，通常状態からの逸脱の発見をして，ネットワーク管理者にトリガをかけ

ることが真の意味で，ヒューイスティックな管理を支援することにつながると考え研究を進めている。本年は，断続的なアドホックの研究打合せを進めつつ，２月に全体の成果報告会を開催し，次年度の方針を固めた。

［３］成果（以下１０.５ポイント）

（３－１）研究成果

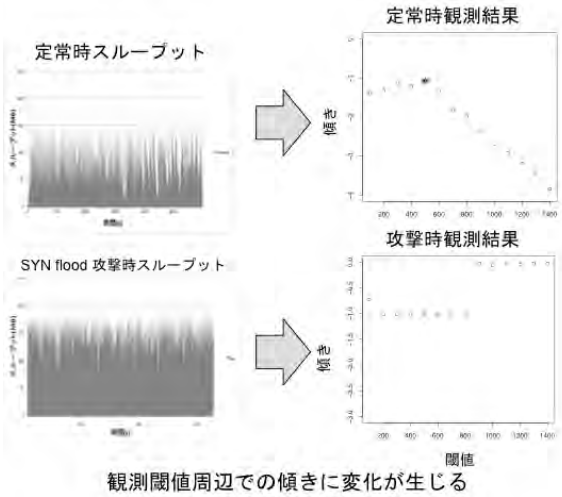
A) R/S 解析法による異常検知抽出：トラヒックフロー時系列は確率過程であり，測定により得られる量は統計量となる。近年の研究結果によるとフロー変動は自己相似過程に従う場合もあり，従来のトラヒックモデルであるポアソン過程のみでは記述できないことはよく知られている。ネットワークトラヒックで見出された典型的なものは自己相似パラメータ H が 1/2<H<1 となる長期依存過程であるが、この挙動を推定する際に描画される Pox Diagram の形態がトラヒックの性質に対応して変化することを発見した。特に，通常のトラヒックに周期的時系列（例えば，DoS 攻撃など）が含まれる場合，その形状が膝で曲がった足のような形状（レッグライン）に変化することが示された。



図：トラヒックの性質と Pox Diagram の形状変化（右下図がレッグライン）

B) 相転移モデルの挙動の変化：過去の研究からネットワークの輻輳への転移をする際に，長期依存性が表れるとする相転移モデルが提唱されている。本研究では，このモデルを輻輳していない時に適用したときに，トラヒックの統計的性質を観測する手段に使えるのでは無いかという仮定を設け，実際のトラヒックフローへ適用した。その結果，DDoS 攻撃されている時の相転移モデルの観測結果は，定常時のものと比べて変化する可能性があることが示唆された。

C) ネットワーク観測ソフトウェアエージェントの試作：以上のようなトラヒックの統計的な挙動を観測し，ネットワーク管理者にアラートを上申するようにし，さらに当該ネットワークのトポロジーや設定に特化した知識へ連携させるために，ソフトウェアエージェントの概念に基づいたシステムを構築することを目指している。このため，東北大学等で開発したエージェント開発環境 IDEA を用いてネットワーク観測エージェントを試作した。



図：相転移モデルを適用した観測結果

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究に関連する分担者の多くは，各大学でネットワーク管理に携わる者が多く，管理に関する知識やノウハウ獲得に関する多くの知見が獲得できるものと考えている。ネットワークの規模とその使われ方，すなわちユーザーパターンにも影響される。具体的にはネットワークが設置されている機関（教育機関，研究機関，行政機関など）毎に異なると考えられる。この機関依存のネットワーク特性の異同も検討する。本プロジェクトでは，東北大学電気通信研究所，東北学院大学，秋田大学，京都大学，苫小牧高専，千葉工業大学，名古屋工業大学のメンバーから参加するため，機関依存のネットワーク特性および研究室レベルから大学組織といったスケーラブルのある検討も期待できる。

また以上の知見を，東北大学電気通信研究所で実施されているネットワーク管理支援システムへ資する「能動的情報資源(Active Information Resource: AIR)」の一要素としての活用も視野に入れている。今後，連携をさらに深め，大型研究資金へのアプライも検討していく。

［４］成果資料

1. Khamisi Kalegele, Hideyuki Takahashi, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Numerosity Reduction for Resource Constrained Learning," Journal of Information Processing (JIP), Vol.21, No.2,

pp.329-341, Apr. 2013.
2. Khamisi Kalegele, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Multiagent-based processing and integration of system data," International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, Vol.12, No.2, pp.128-155, Sep. 2013.
3. Yusuke Tanimura, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Knowledge-based Support Method for Autonomous Service Operations after Disasters," Proc. of the 12th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2013), pp.229-233, June 2013.
4. Yusuke Tanimura, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "An Autonomic Network Service Management using Knowledge-based Support System," Proc. of the 2nd International Workshop on Smart Technologies for Energy, Information and Communication (STEIC2013), pp.96-104, Aug. 2013.
5. Johan Sveholm, Khamisi Kalegele, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Knowledge-based Autonomous Service Management System in Emergency Situations," Proc. of the 5th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST2013), pp.109-113, Nov. 2013.
6. Khamisi Kalegele, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "System Monitoring Models as Active Information Resources," Proc. of the 5th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST2013), pp.226-230, Nov. 2013.
7. Khamisi Kalegele, Yusuke Tanimura, Johan Sveholm, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "A Knowledge-based Method for Autonomous Failure Isolation and Recovery Support," 信学技報, vol. 113, no. 168, MoNA2013-13, pp. 1-5, Aug. 2013.
8. 杉澤知，高橋秋典，五十嵐隆治，上田浩，岩谷幸雄，木下哲男，奈須野裕：フロー量閾値設定のトラフィック特性の同定に関する研究，平成25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2013 8/22-8/23, 於，公立会津大学キャンパス]，1F03 (会津, 8 月), 2013.
9. 加賀谷享諒，高橋秋典，五十嵐隆治，上田浩，岩谷幸雄，木下哲男：R/S Pox レッグライン特性を用いたトラフィック状態推定法に関する研究，平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2013 8/22-8/23, 於，公立会津大学キャンパス]，1F09 (会津, 8 月), 2013.
10. 竹原里紗：可視化によるポートスキャン検知に関する研究，平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2013 8/22-8/23, 於，公立会津大学キャンパス]，1F07 (会津, 8 月), 2013.
11. 藤井俊，五十嵐隆治，高橋秋典：区分的周辺分布によるトラフィック特性の同定，平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2013 8/22-8/23, 於, 公立会津大学キャンパス], 1F04 (会津, 8 月), 2013.
12. 高橋秋典，五十嵐隆治：情報セキュリティーポリシーを考慮したトラフィックデータ統計情報提供システムの試作，平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集,[2013 8/22-8/23, 於，公立会津大学キャンパス]，1F08 (会津, 8 月), 2013.
13. 稲次優斗，三浦歩，岩谷幸雄，五十嵐隆治，北形元，木下哲男：情報セキュリティーポリシーを考慮したトラフィックデータ統計情報提供システムの試作，平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2013 8/22-8/23, 於，公立会津大学キャンパス]，1F06 (会津, 8 月), 2013.
14. 杉澤知，高橋秋典，五十嵐隆治，上田浩，岩谷幸雄，木下哲男，奈須野裕：フロー量閾値設定のトラフィック特性の同定に関する研究，平成25 年度情報処理学会東北支部研究会，No.6,（秋田，12 月）2013.

採択回数	１　２　３

採択番号 Ｈ２３／Ｂ０２

ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する研究

［1］　組織

代表者：渡部　平司
（大阪大学 大学院工学研究科）
対応者：大野　英男
（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）
堀口　文男
（東洋大学 工学部
コンピュテーショナル工学科）
内富　直隆
（長岡技術科学大学 工学部電気系）
佐竹　郁夫
（大阪大学 大学院理学研究科）
白石　賢二
（名古屋大学 大学院工学研究科）
名取　研二
（東京工業大学フロンティア研究機構）
有門　経敏
（東京エレクトロン）
執行　直之
（東芝 セミコンダクター社）

（(注) 分担者全員を記載する。）
延べ参加人数：３４人

研究費：物件費　５万円，旅費　４０万９千円

［2］研究経過

現代のエレクトロニクス社会を支えるメモリ技術の中核を担うシリコン半導体デバイスは、既に数十ナノメートルのスケールに到達しており、そのさらなる高速化・低消費電力化・高集積化・高信頼化を目指して、多くの材料・プロセス・デバイス・回路技術が提案されてきている。しかし、シリコンデバイスの微細化がナノスケールまで進むとともに、量子効果と統計的揺らぎ効果を伴う様々な新しい半導体物理現象が発現し、従来技術に従うデバイス・スケーリングによるメモリの大容量化・高性能化は非常に困難となる。実際、半導体メモリの代表格であるフラッシュメモリ（ファイルメモリ）、DRAM（メインメモリ）、SRAM（キャッシュメモリ）など産業上中核をなす全てのシリコン半導体メモリにおいて、従来の動作原理のままでは、20nm 世代以降の微細化・大容量化を実現することが困難であると予想される。

現在、STTRAM, ReRAM などのナノ材料の新しい物性及びナノ構造デバイスを活用した新しいメモリ技術の研究が盛んに行われているが、新規物性を利用したデバイスとシリコン技術の融合については十分な議論がなされていないのが現状である。この状況を打破するためには、ナノスケールにおけるデバイスの動作原理にまで立ち返り、材料の検討とデバイスの構築を行い、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が必要不可欠である。

本共同プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略を立案することを目的として研究を進めてきた。

本プロジェクトは，本年度が最終年度であった。本年度も、昨年度から進めてきた、ナノスケール半導体材料とシリコンデバイス・回路技術の両分野からの、「新概念大容量メモリとそのシステム応用」の課題についての学際的な検討を継続し、ナノスケール時代でも安定・高速に動作可能な超大容量メモリ技術の方向性、及び、具体的な設計手法に関して、半導体研究の中核を担う研究者の集まる研究会であるゲートスタック研究会・SSDM などを中心に、コアメンバーによる議論を進めた。今年度は特に、本課題を総括する意味で、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリの応用回路およびさらに上位のシステム技術にフォーカスし検討を進めた。

これらの検討を踏まえ、産官学の半導体デバイス分野の中核を担う研究者が集まる研究会 NWDTF

と他の共同プロジェクトとの合同で、今年度も平成２６年３月８日に、「NWDTF-13 in Sendai および通研共同プロジェクト合同研究会」を開催した。

［2］ 成果

（3－1）研究成果

「ナノ材料の物性」と「プラットフォームであるシリコン技術」との融合を意図し、当該分野の第一線の研究者を組織、招聘した。これにより、分野横断的かつ緊密な議論を行い、得られた知見を有機的かつ効率的につなぐことで、将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略が明らかとすることを目標として進めてきた。

今年度の研究会においては、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する最新の研究状況と研究方向を議論し、①ナノ材料、②プロセス設計、③デバイス設計、④デバイス動作原理、⑤回路設計、⑥システム・アーキテクチャ設計、⑦CAD ツール技術の各項目に対して、幅広く検討を行い、本研究会の総括を行った。本年度は、特に出口である回路設計、システム・アーキテクチャ設計に焦点を当てて、検討を進め、本研究会では、ナノスケールの材料とデバイスによる集積回路のシステム応用について議論を進め、将来のメモリとロジックの融合による脳型情報処理などの新情報処理の可能性についても議論を深めた。加えて、産業界からの参加者を交え、今後の半導体集積回路のニーズとシーズについて検討を行い、将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略について総括を行った。本プロジェクトを推進する中で、今後の省エネ社会を成立させるうえで、高効率なエネルギー処理システムとナノスケールの省エネデバイスを融合させたパワー集積システムの必要性という新たな方向性を明確化することが出来た。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を通して、ナノ材料とシリコン技術の融合という観点から、ナノスケール時代でも安定で高速動作可能な新概念大容量メモリを実現するための今後の技術戦略を、新材料特性やメモリ回路構造の活用からそのシステム応用まで見据えて行った。これにより、新概念高性能メモリの新たな研究方向を拓くだけではなく、これまでのメモリと関連する材料、デバイス、回路技術の理解をさらに深めて体系化することを期待した。

結果として、本プロジェクト研究を通した、研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大を推し進め、上述した、産官学の半導体研究分野の中核をなす研究者らによる研究会 NWDTF との共同での研究会を毎年度開催し、より広く将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に関する研究への応用について意見交換および技術討論を行うことができた。また、多くの若手研究者に本研究会において研究報告と一流の研究者達との議論の場を設けた。これにより若手研究者に成長の機会を与えることが出来たと考えている。

特に、本プロジェクトでは、物性理論や数学などのサイエンスと、材料・製造プロセス・デバイス・回路のテクノロジーの分野を横断した大学のみならず産業界の研究者を集め、研究会を組織し、活発な議論が行われた。この場で検討された新概念大容量メモリのための技術戦略目標は、ナノエレクトロニクス時代の情報通信産業、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される。

加えて、この産業界を含む研究者間のネットワークが大きく拡がり、これをひとつの契機として、プロジェクトメンバーの東北大遠藤教授をセンター長とする東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターの設立に至った（平成２４年度１０月発足）。本センターでは大学としてはアジア最大のクリーンルームと 300mm,ウエハ対応の設備を有し、従来の大学の枠組みを超えた国際的な産学連携により、本課題と合致するナノ材料をシリコン技術の融合による新メモリへの応用などの集積エレクトロンクス分野の研究開発が展開されつつある。

また、同じく本プロジェクトメンバーの東北大学遠藤教授を代表者とした科学技術振興機構（ＪＳＴ）の大型プロジェクトＡＣＣＥＬが採択され、平成２６年度から開始される。本件においても、本共同プロジェクト研究会における産業界との問題意識の共有や人材交流が、採択のひとつの原動力となった。

・資金制度：ＪＳＴ戦略的創造研究推進事業
　　ＡＣＣＥＬ
・課題名　：「縦型ＢＣ－ＭＯＳＦＥＴによる
　　三次元集積工学と応用展開」
・研究代表者：遠藤 哲郎（東北大学）
・研究期間　：５年間

半導体産業を取り巻く環境は、本プロジェクトを立ち上げてからの３年間の間にも大きく変化し、我が国の基幹産業のひとつである半導体分野の今後を考えると、本プロジェクトの重要性は益々大きなものとなっていると考える。本研究会を発展させた研究会を新たに立ち上げることを計画し、申請中であ

る。

［4］　成果資料

1. T. Hosoi, I. Hideshima, R. Tanaka, Y. Minoura, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, T. Shimura, and H. Watanabe,"Ge diffusion and bonding state change in metal/high-k/Ge gate stacks and its impact on electrical properties," Microelectronic Engineering, 109, 137-141 (2013).

2. Y. Minoura, A. Kasuya, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Design and control of Ge-based metal-oxide-semiconductor interfaces for high-mobility field-effect transistors with ultrathin oxynitride gate dielectrics," Appl. Phys. Lett., 103, 033502 (2013).

3. Y. Minoura, T. Hosoi, J. Matsugaki, S. Kuroki, T. Shimura, and H. Watanabe, "Phosphorous Ion Implantation into NiGe Layer for Ohmic Contact Formation on n-Ge," Extended Abstracts of 2013 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology (IWDTF2013), pp.101-102, (University of Tsukuba (Tokyo Campus), Japan, November 7-9, 2013).

4. T. Hosoi, I. Hideshima, R. Tanaka, Y. Minoura, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, T. Shimura, and H. Watanabe, "Ge diffusion and bonding state change in metal/high-k/Ge gate stacks and its impact on electrical properties," The 18th Conference of "Insulating Films on Semiconductors"(INFOS2013), (The Jagiellonian University, Cracow, Poland, June 28, 2013).

5. 山元 隆志, 小川 慎吾, 細井 卓治, 志村 考巧, 渡部 平司,"メタルゲート/High-k ゲート絶縁膜の界面構造解析," 第 77 回半導体・集積回路技術シンポジウム, (東京工業大学蔵前会館ロイヤルブルーホール, July 12, 2013).

6. Takuya Imamoto and Tetsuo Endoh, “Novel Field Effect Diode Type Vertical Capacitorless One Transistor Dynamic Random Access Memory Cell with Negative Hold Bit Line Bias Scheme for Improving the Hold Characteristics,” Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), Vol.52, No. 4, Issue 2, pp: 04CD08(5pages), April 2013. [DOI: 10.7567/JJAP.52.04CD08]

7. Hyoungjun Na and Tetsuo Endoh , “A Multi-pillar Vertical Metal–oxide–semiconductor Field-effect Transistor Type Dynamic Random Access Memory Core Circuit for Sub-1 V Core Voltage Operation without Overdrive Technique,” Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), Vol.52 No.4. , 04CE08 (8 pages), April 2013. [DOI: 10.7567/JJAP.52.04CE08]

8. Yijie Xiong, Yitao Ma and Tetsuo Endoh, “A Nonlinear Multidimensional-Vector-Adaptive Core Circuit For High-Speed Low-Power Flexible Pattern Matching,” 2013 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD), pp: 293-297, Seoul, Korea, June 26-28, 2013

9. Takuya Imamoto and Tetsuo Endoh, “Suppression of Self-Heating Effect Employing Bulk Vertical-Channel Bipolar Junction Transistor (BJT) Type Capacitorless 1T-DRAM Cell”, IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, pp. 140-141, Hyatt Regency Monterey Hotel and Spa, Monterey, California, October 7-10, 2013.

10. Akihiro Itagaki, Masakazu Muraguchi and Tetsuo Endoh, “Intrinsic Region Length Dependence of Vertical Double Gate IMOS,” 16th International Workshop on Computational Electronics (IWCE), pp: 190-191, Nara, Japan, June 4-7, 2013.

採択回数	1	2	3

採択番号　Ｈ２３／Ｂ０３

将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究

［１］組織
代表者：山部　紀久夫
（筑波大学　大学院数理物質科学研究科）
対応者：大野　英男
（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）
山田 啓作
（筑波大学 大学院数理物質科学研究科）
蓮沼　隆
（筑波大学 大学院数理物質科学研究科）
知京　豊裕
（独立行政法人　物質・材料研究機構
半導体材料センター）
猪川　洋
（静岡大学　電子工学研究所）
中山　隆史
（千葉大学　大学院理学研究科）

延べ参加人数：２５人

研究費：物件費５万円，旅費２９万３千円

［２］研究経過

（本プロジェクトの目的・概要，及び，研究会，研究打ち合わせ・研究討論会，研究発表会，研究集会等の開催状況を記載して下さい。）

シリコンMOS集積回路技術に基づく電子システムはエレクトロニクス社会を支える基盤である。将来の大規模マルチメディア情報処理や超高速データ通信、知能化生活支援・管理などを実現できるユビキタス電子システムの実現に向けて、電子システムには今後もより一層の継続的な高性能化が求められており、その中核を担う集積回路の高性能化、高集積化、高速化、低消費電力化、低コスト化は必要不可欠である。一方で、集積回路を構成する基本素子であるシリコンMOSデバイスは、既に数十ナノメートルのスケールに到達している。そのため、ナノ半導体材料・ナノデバイス中では、微細化に伴う様々な量子効果と統計的揺らぎ効果を伴う新しい現象が発現し、従来の学理と技術だけではこれ以上の高性能化が困難な状況に達している。特に、将来の電子システムを構築する上で、必要不可欠な10nm以降の真のナノメータ世代にまで対応可能なナノ半導体材料およびナノ構造デバイス技術は、未だ確立されていないのが現状である。

本共同プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、将来の電子システムのためのナノ半導体材料とナノ構造デバイスのあるべき姿について、緊密に研究討論を行い、その学理と技術の構築を目指している。そして、得られた知見を基に将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料・ナノ構造デバイスの今後の技術戦略を提案することを目的として研究を進めてきた。

本プロジェクトは，本年度が最終年度であった。本年度も昨年度に引き続き、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料・ナノ構造デバイスの今後の技術戦略について検討を行った。その中で、今年度は特に、ナノ半導体材料・デバイスによってもたらされる電子システムという観点から検討を進め、研究を総括した。以下，研究活動状況の概要を記す。

（この際に，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を記載してください。）

この検討を踏まえ、産官学の半導体デバイス分野の中核を担う研究者の集まる研究会 NWDTF と共同で、平成２６年３月８日に本研究についての共同研究会（「NWDTF-13in Sendai および通研共同プロジェクト合同研究会」）を開催した。その中で、ナノ半導体材料・デバイスによってもたらされる電子システムに特に、焦点を当てて議論を行い、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する議論を深めた。さらに、今後の半導体集積化技術のあるべき姿について、世界の技術動向を踏まえた事例検討と議論を行い、本研究の総括を行った。

上記研究会に加えて、半導体研究の中核を担う研

究者の集まる研究会である、ゲートスタック研究会などを中心に、コアメンバーによる議論を行い、本研究課題への理解を深化させた。

［3］成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

（3－1）研究成果

ナノ半導体材料とナノ構造デバイスにおいて生じる、量子効果と統計的揺らぎ効果について、特にデバイス中の界面での現象を中心に検討を行い、それに基づき、将来の電子システム応用を視野に入れた、学理の方向性を明らかにすることを目標として研究を進めてきた。量子論・統計学などを学術的背景とする研究者と、材料工学・デバイス工学・集積回路工学を学術的背景とする産学官の幅広い研究者を招聘し、研究会を実施し、上記課題について、検討を進めた。

本年度開催した研究会においては、ナノスケールデバイス中の界面の形成過程とそれがデバイスへ及ぼす影響などのナノ材料、ナノ構造デバイスについて、前年度から引き続き焦点を当てて討論を行った。加えて、今年度は特に、上記ナノ材料・ナノ構造デバイスの応用技術として、光検出器応用における課題や実回路における回復効果と材料・プロセスの関係の明確化などについて議論した。さらには新たな情報処理技術を視野に入れた将来の電子システムをのためのナノ半導体材料とナノ構造デバイスのあるべき姿について、緊密な研究討論を行った。上記課題について、幅広い学問背景を持つ研究者間で上記議論を行い、単なるナノ半導体材料とナノ構造デバイスの研究にとどまらない、より上位の電子システムを視野に入れた学理構築のための端緒が得られた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクト研究を通した、研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大を推し進めた結果、上述したように、今年度も多くの研究者を招聘し、産学官の半導体研究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開催することができた。幅広い分野・立場の研究者による議論により、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場を得て、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料・ナノ構造デバイスに対する分野を横断した共通認識の構築と、それに基づく今後の技術戦略の提案の端緒を得た。

電子システムの中核を担う半導体材料・デバイスの技術分野は、世界的に見ても今後も成長を続ける基幹産業のひとつであり、今後のナノメータ時代に適合する学理と技術を再構築することの意義は非常に大きい。本プロジェクトは本年度最終年度であったが、半導体産業を取り巻く環境は日々大きく変化しており、本課題の重要性は益々大きなものとなっていると認識している。ナノ半導体分野は、バイオテクノロジー、生態認証、磁性デバイス、MEMS など多くの異なる技術分野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おり、本研究会における課題は波及効果が大きく、引き続き発展させていくべき課題であると考えている。

本プロジェクトにおける研究会では、多くの若手研究者に研究報告の機会を与えており、若手研究者が一流の研究者らから忌憚のない意見を聞くことの出来る貴重な場となっている。従って、若手研究者の育成環境の提供という意味でも、重要な役割を果たしていると考えている。

本プロジェクトを推進する中で構築した研究者間のネットワークをひとつの契機として、プロジェクトメンバーの東北大遠藤教授をセンター長とする東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターの設立に至った（平成２４年度１０月発足）。本センターでは大学としてはアジア最大のクリーンルームと 300mm,ウエハ対応の設備を有し、従来の大学の枠組みを超えた国際的な産学連携により、本課題のテーマと合致する集積エレクトロンクス分野の研究開発が展開されつつある。

また、同じく本プロジェクトメンバーの東北大学遠藤教授を代表者とした科学技術振興機構（ＪＳＴ）のプロジェクトＡＣＣＥＬが採択され、平成２６年度から開始される。本件においても、本共同プロジェクト研究会における産業界との問題意識の共有や人材交流が、採択のひとつの原動力となった。

- 資金制度：ＪＳＴ－ＡＣＣＥＬ
- 課題名：「縦型ＢＣ－ＭＯＳＦＥＴによる三次元集積工学と応用展開」
- 研究代表者：　遠藤 哲郎（東北大学）
- 研究期間：　５年間（平成３１年３月終了予定）

以上述べたように、本プロジェクトで検討を進めている、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究は今後の日本の科学技術の発展に大きく貢献するものと考えられ、大きな展開が期待される。

［4］成果資料

1. Hasunuma, R (Hasunuma, Ryu)[1] ; Yamabe, K (Yamabe, Kikuo), “Evaluation of Kink Generation Rate and Step Flow Velocity on Si(111) during Wet Etching,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 52, No.11, p.110127, 2013

2. Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe, “Si Emission to Atmosphere during Thermal Oxidation of Si Substrates,” 2013 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology, Tech. Dig. pp. 55 – 56, Nov. 2013.

3. 林真理子，門馬久典，蓮沼隆，山部紀久夫, “多結晶HfO2厚膜の絶縁特性,” 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 17p-B5-7, 2013年9月17日.

4. 門馬久典，蓮沼隆，山部紀久夫, “酸化・還元アニールによる多結晶 HfO2 膜の相変態と電気的特性変化”, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会， 18p-P9-4, 2013年9月18日.

5. 土井修平，蓮沼隆，山部紀久夫, “シリコン表面の酸化膜密度とエッチングレートの相関性評価,” 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-C9-1~12, 2013年9月20日

6. 土井修平，林真理子，蓮沼隆，山部紀久夫 ” シリコン表面の酸化膜密度分布,” 第６１回応用物理学会春季学術講演会19p-PG2-3, 2014年3月19日

7. Takuya Imamoto and Tetsuo Endoh, “Impact of Tapered Silicon Channel on the Asymmetric I-V Characteristics of nanoscale Double Gate MOSFETs,” 2013 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD), pp: 211-215, Seoul, Korea, June 26-28, 2013.

8. Kazuki Itoh and Tetsuo Endoh, “A Novel Alternating Voltage Controlled Current Sensing Method for Suppressing Thermal Dependency,” in proceeding of 2013 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD), 7B-3, pp: 288-292, Seoul, Korea, June, 2013.

9. Takeshi Sasaki and Tetsuo Endoh, “Gate Leakage Reduction of Vertical MOSFET with High-k Dielectric Film Employing Gate Dielectric Capacitance Oriented Design,” 16th International Workshop on Computational Electronics (IWCE), pp: 188-189, Nara, Japan, June 4-7, 2013.

10. Takeshi Sasaki and Tetsuo Endoh, “Gate Length Scaling of High-k Vertical MOSFET toward 20nm CMOS Technology and beyond”, IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, pp. 121-122, Hyatt Regency Monterey Hotel and Spa, Monterey, California, October 7-10, 2013.

採択回数	1　2　3

H23/B04

電磁鋼板における新たな損失低減化技術

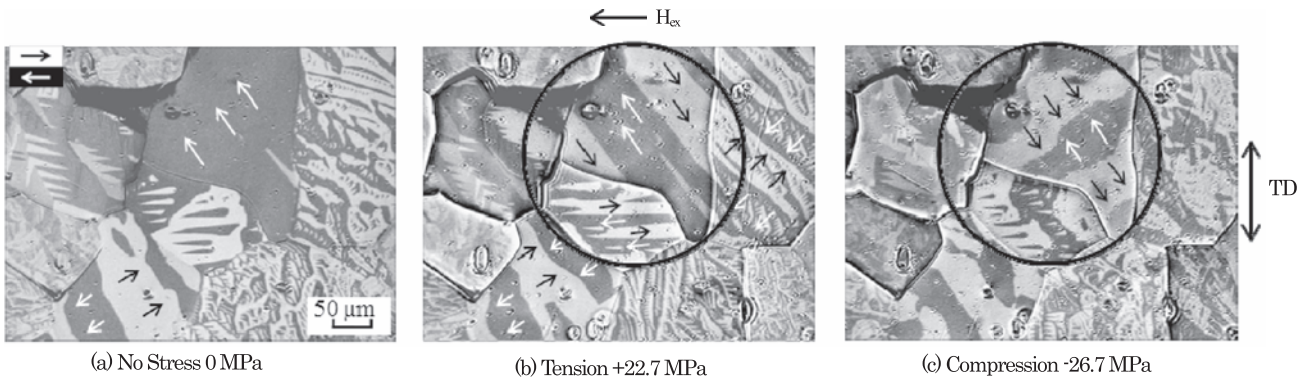
［1］組織
代表者：石山和志
（東北大学電気通信研究所）
対応者：石山和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：山口　俊尚(福岡工業大学)
山崎　二郎(九州工業大学)
福永　博俊(長崎大学
開道　力(北九州高専)
杤　修一郎(東北大学)
久保田　猛(新日鉄住金)
尾田　善彦(JFE スチール)
延べ参加人数：９人(招へい者含む)

研究費：物件費　0 円，旅費 14 万 4 千円

［2］研究経過

無方向性珪素鋼板（Non-Oriented Si-Fe：以下 NO Si-Fe）は電動機や発電機の鉄心材料に使用され、今後も多くの需要が見込まれる。このような工業的背景から、NO Si-Fe の僅かな低鉄損化により、大きな省エネルギー効果が得られると期待されている。NO Si-Fe は 3 wt%の Si を含有する Fe 基合金であり、結晶構造は bcc で[001]軸を磁化容易軸とする結晶磁気異方性をもつ。また、10～100 μm 程度の結晶粒が鋼板内でほぼランダムに配向している多結晶体である。そのため、面内での磁気異方性が小さく、全方向で高い透磁率が得られる。NO Si-Fe はこれまでにも高透磁率かつ低鉄損な材料の開発が進められてきた。その中でも、鉄損の一つである渦電流損失は Si 含有量の調整や板厚の薄手化等により低減されてきた。しかし、磁化の板厚方向成分の変化によって生ずる面内渦電流損失は、従来の手法では十分に低減されず、さらなる低損失化の妨げとなっている。磁化の板厚方向成分が存在する要因としては、ランダムに配向している結晶粒の磁化容易軸が板面に対して傾いていることが挙げられる。珪素鋼板の作製プロセスにおいて、この結晶方位を完全に制御することは難しい。そこで我々は、逆磁歪効果を利用した等方性面内張力による面内渦電流抑制手法の有用性について検討を行ってきた。面内等方的な磁気特性を維持したまま、板厚方向の磁気モーメントを面内方向へ回転させるには、面内の全方向に均一な張力を印加する方法が有効的であると考えられる。これまでにも、各種応力が NO Si-Fe の磁気特性に及ぼす効果についていくつか報告されているが、等方性面内応力との関係性については不明な点が多い。したがって本研究では基礎検討として、等方性面内応力が無方向性珪素鋼板の磁気特性に及ぼす効果について東北大学電気通信研究所での実験結果をもとに討論を行った。具体的な実験結果は以下のとおりである。

図 1 に応力による磁区構造変化の観察結果を示す。ここで、図 1 (a), (b), (c)はそれぞれ印加応力が 0 MPa, +22.7 MPa, -26.7 MPa の場合の観察結果である。また、Hex は 0 kA / m である。図 1 に示すように NO Si-Fe の磁区構造は面内応力によって大きく変化しており、その変化は結晶粒ごとで様々である。しかし、磁区構造の変化は結晶粒ごとで独立



(a) No Stress 0 MPa　(b) Tension +22.7 MPa　(c) Compression -26.7 MPa

図 1　印加応力による磁区構造変化

Fig. 1. The changing of magnetic domain pattern by applied stress (H_{ex} = 0 kA/m).

ではなく、隣接する結晶粒の磁区構造変化から大きな影響を受ける様子が実験で確認された。特に結晶粒界において、divB＝0 を満たすような条件のもとで磁区構造変化が生じていると考えられる。図 1 (b) に示すように、NO Si-Fe へ+22.7 MPa の面内引張応力を印加時、磁区構造が規則的な状態へ変化する様子が見られた。例としては図 1 (b)の丸で囲んだ部分で生じたような、ストライプ磁区の形成である。これらの結晶粒では、面内に近い方向へ[001]軸が配向していると予想される。引張応力でストライプ磁区が形成される現象は、(110)面単結晶に一方向張力を印加した際の挙動と似ている。すなわち、全方向に引張応力を印加しているのにも関わらず、局所的に見れば一方向張力を印加した場合と同じ効果が得られていることになる。この結果より、等方性面内応力が磁気特性へ及ぼす効果は結晶方位によって優劣があると考えられる。また、図 1 (c)に示すように、-26.7 MPa の圧縮応力印加時には、すべての結晶粒の磁区構造がより複雑へ状態に変化した。これは、磁気モーメントが板厚方向へ回転したことで、表面の磁極分布が複雑化したためと考えられる。また、丸で囲んだ部分の結晶粒では、磁気モーメントが向かい合うような磁区構造へ変化した。この表面状態から、白と黒の境界部付近で内部に還流するような磁区構造を形成していると考えられる。これより、少なくともこの結晶粒では圧縮応力によって磁化の板厚方向成分が増加していると予想される。

図 2 に外部印加磁界条件がそれぞれ異なる場合についての応力による面内磁化変化(RD)の測定結果を示す。図 2 (a), (b), (c)はそれぞれ、Hex が 16 kA/m, 32 kA/m, 80 kA/m の条件下における測定結果である。図 2 に示すように応力による磁化変化の傾向は外部印加磁界の大きさ、すなわち、磁化状態によって違いが見られた。

Hex が 16 kA/m の条件下において、NO に引張応力を印加した場合、面内磁化は 10 MPa 程度まで僅かに増加したが、それ以上の応力では変化がみられなかった。一方、圧縮応力では面内磁化が比例的に減少する傾向が見られた。測定において、応力を圧縮応力（-26.7 MPa）から引張応力（22. 7 MPa）へ変化させた場合の磁化変化量は 3.78×10^{-3} T であった。NO Si-Fe の磁区構造を単磁区と仮定した上で、面内磁化 M と飽和磁化 Ms の関係を $M = M_s\cos\theta$ と近似する。ここで、θ は面内に対する磁気モーメントの傾斜角である。この式より、応力による磁気モーメントの回転角は 0.113 ° と推定される。Hex が 48 kA/m の条件下における面内方向磁化変化は 16 kA/m の場合と同様の傾向を示した。しかし、変化量が 7.00×10^{-3} T と大きく、特に圧縮応力による磁化減少量の増大が顕著であった。磁気モーメントの回転角に換算すれば、0.225 °である。これは磁界で磁気モーメントが面内方向へ向いていた分、圧縮応力によって板厚方向へ向く磁気モーメントが増えたためと考えられる。

Hex が 80 kA/m の高磁界領域では、引張応力及び、圧縮応力による磁化変化はほとんど見られなかった。この条件下では、磁界によるゼーマンエネルギーが非常に大きいため、応力変化による弾性エネ

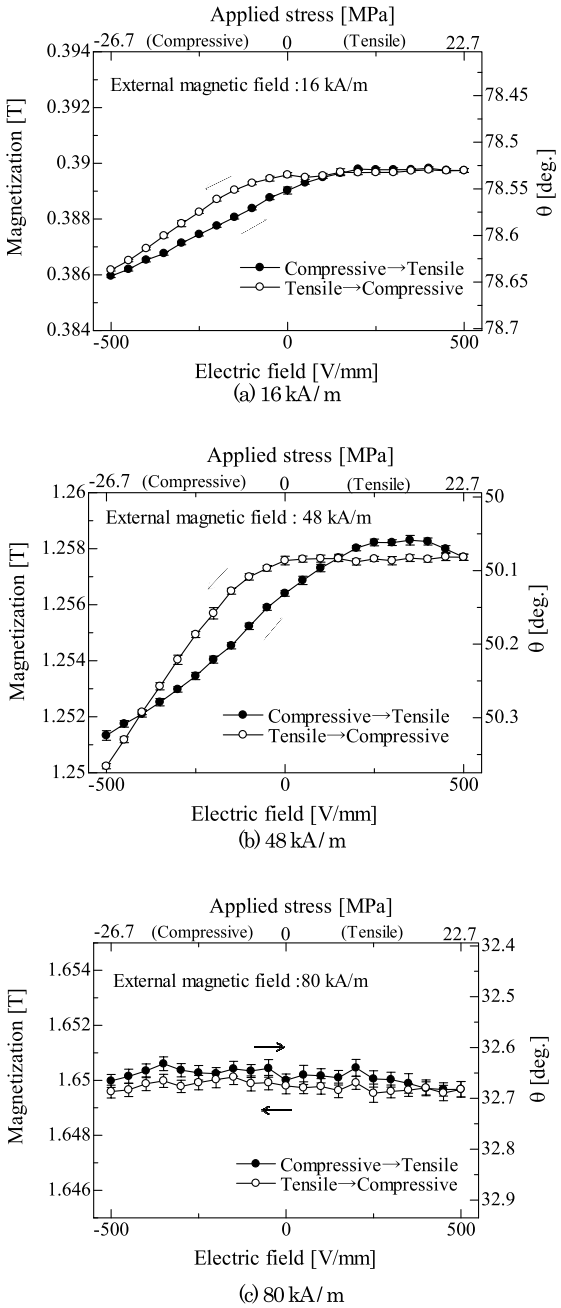


図 2　各外部磁界条件下における面内応力による面内方向磁化変化

Fig. 2. In-plane magnetization (RD) as a function of in-plane stress under various magnetic fields

ルギーの影響が小さいと考えられる。このため、印加応力による磁化回転が生じず、面内方向磁化の変化が観測されなかったと考えられる。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究では等方性面内応力下における無方向性珪素鋼板の磁気特性について検討した。磁区構造観察では、印加応力による磁区構造の連続的変化を観ることができた。特に引張応力では、各結晶粒の磁区構造が規則的な構造へと変化し、(110)面配向と考えられる結晶粒でストライプ磁区の形成が観察された。また、面内方向磁化測定の結果、面内一様応力がNO Si-Fe の磁気特性に及ぼす効果は面内において等方的であり、その傾向としては圧縮応力で顕著に面内方向磁化が減少した。一方、引張応力においても変化量は小さいものの、増加傾向を示した。この結果は正の磁歪定数を持つ材料に対し等方性面内張力を印加した場合、逆磁歪効果により面内磁化が増加するという仮説と一致している。

以上の結果より、NO Si-Fe に等方性面内応力を印加することで、面内等方的な磁気特性を維持したまま、面内渦電流損失の低減へ繋げられる可能性があることを明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの途中成果をもとにして申請した科学研究費が基盤研究(B)として平成 26 年度から採択され、さらに一層の研究の進展が望まれる。

また、平成 26 年 7 月に台湾で開催される国際会議に、本プロジェクトメンバーを中心としてシンポジウムを開催し、この分野を広く国内外にアピールする予定である。

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	(3)

採択番号 H23/B05

機能性圧電材料と高度通信デバイス応用に関する研究

［1］組織

代表者：梅村　晋一郎
（東北大学大学院医工学研究科）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
安達正利（富山県立大学名誉教授）
今野和彦（秋田大学大学院工学資源学研究科）
宇野武彦（神奈川工科大学工学部）
江口　治（C&A）
小田川裕之（熊本高等専門学校））
垣尾省司（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
門田道雄（東北大学大学院工学研究科）
金井　浩（東北大学大学院工学研究科）
唐木智明（富山県立大学工学部）
木村悟利（日本電波工業）
櫛引淳一（東北大学名誉教授）
工藤すばる（石巻専修大学理工学部）
黒澤実（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
小松隆一（山口大学大学院理工学研究科）
近藤　淳（静岡大学創造科学大学院
ナノマテリアル部門）
佐藤良夫（太陽誘電）
鹿田真一（独立行政法人産業技術総合研究所
ダイヤモンド研究センター）
芝　隆司（日立メディアエレクトロニクス）
高野剛浩（東北工業大学工学部）
長　康雄（東北大学電気通信研究所）
永田　肇（東京理科大学理工学部）
中村僖良（PDT ラボラトリー）
橋本研也（千葉大学大学院工学研究科）
広瀬精二（山形大学大学院理工学研究科）
舩坂　司（セイコーエプソン）
宝川幸司（神奈川工科大学工学部）
森田剛（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
谷津田博美（日本無線）
山田　顕（東北学院大学工学部）
山中一司（東北大学大学院工学研究科）
山之内 和彦（東北大名誉教授）
若月　昇（石巻専修大学大学院理工学研究科）
和佐清孝（京都大学大学院工学研究科）
渡部泰明（首都大学東京理工学研究科）

延べ参加人数：８９人

研究費：物件費５万円，旅費６５万円

［2］研究経過

本研究会は，次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価，更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い，研究・開発を進めることを目的に行われている．本年度は平成 26 年 1 月 29 日，1 月 30 日の両日に東北大学工学部青葉記念会館を会場とし，「圧電材料・デバイスシンポジウム 2014」と題する公開シンポジウム形式で行った．プロジェクト研究メンバーのほか，一般からも講演を募り，東北大学の吉川彰教授による「ランガサイト型圧電単結晶の単結晶成長」，東工大の鶴見敬章教授による「圧電基本式における非線形応答および損失の記述」，東北大学の松浦祐司教授による「光ファイバを用いた全光学式光音響イメージングシステム」と題する招待講演 3 件を含む計 31 件の研究発表が行われた．参加者は昨年度とほぼ同じ 84 名であり活発なシンポジウムとなった．各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである．

(A) 高温圧電材料Ⅰ：ランガサイト型圧電単結晶の単結晶成長，ランガサイト系単結晶 $Ca_3NbGa_{3-x}Al_xSi_2O_{14}$ の育成，$Ca_3TaGa_3Si_2O_{14}$ 単結晶の低周波数振動についての発表があった．

(B) 高温圧電材料Ⅱ：エピタキシャル PZT 系厚膜の高温 550℃における高い電気機械結合係数，$Bi(Me)O_3$-$PbTiO_3$ 高キュリー温度セラミックスの単結晶薄膜化についての発表があった．

(C) 圧電特性：圧電基本式における非線形応答および損失の記述，音響電気効果を考慮した GaN 単結晶の GHz 域音速の温度・周波数分散測定，粒子配向型ビスマス層状構造強誘電体セラミックスのハイパワー圧電特性，結合係数が 90%を超える圧電材料の特性を活かす超音波プローブの設計指針についての発表があった．

(D) 計測・評価への応用Ⅰ：広域加熱・局所冷却を用いた閉口き裂の超音波映像と熱応力解析による閉

口応力の推定，閉口き裂の非線形超音波応答の減衰二重節点モデルによる定量解析，c 軸平行配向 ZnO 膜/平面・円管状石英上を伝搬する SH-SAW の液体センサ応用, SiOx 膜を用いたボール SAW センサによる高感度微量水分測定システムの開発についての発表があった.

(E) 薄膜作製 : RF バイアス三極スパッタ法によるイオン照射を用いた O 面，Zn 面，a 面および m 面 ZnO 薄膜の配向制御，RF マグネトロンスパッタ法による a 面サファイア基板上 V ドープ ZnO 薄膜の成長と評価，極性反転 ZnO および AlN 系薄膜の境界を伝搬するセザワ波の高い電気機械結合係数，c 軸傾斜 ScAlN 薄膜の擬似すべりモード電気機械結合係数についての発表があった.

(F) 薄膜デバイス : PZT 系エピタキシャル薄膜を用いた二次モード分極反転共振子，パッシブ SAW センサのモード結合法を用いた解析と応用，高音速薄膜装荷による縦型漏洩弾性表面波の低損失化についての発表があった.

(G) 非圧電デバイス : 光ファイバを用いた全光学式光音響イメージングシステム，高 Q シリコン MEMS 円板振動子についての発表があった.

(H) 圧電材料・可視化評価方法 : 非鉛系圧電セラミックス MPB 傾きの調整，ロータス効果を用いた四ほう酸リチウム球状結晶の作製，圧電デバイスの振動モード可視化システムへの ウェーブレット変換の導入, SHF 帯で測定可能な弾性振動可視化システムの実現についての発表があった.

(I) 計測・評価への応用Ⅱ : パルスエコー法と共振法を併用した三方晶系点群 32 結晶の音響関連物理定数の温度係数測定法の検討，超音波マイクロスペクトロスコピー技術による強化ガラスの表面応力評価法の検討，超音波照射により皮質骨に発生する誘発電位の検討，単一細胞可視化のための超高周波数超音波顕微鏡の開発，ソノサイトメトリーに関する基礎的検討についての発表があった.

［3］成果

（3－1）研究成果

高温圧電材料関連では，Bi(Me)-$PbTiO_3$ 高キュリー温度セラミックスを単結晶薄膜化しキュリー温度がセラミッツクスより高温化される可能性を示した.

圧電特性関連では，粒子配向型ビスマス層状構造強誘電体セラミックスを作成し，そのハイパワー圧電特性を評価し，無配向材料との比較検討にその得失を明らかにした.

計測および評価への応用関連では，広域加熱・局所冷却によるき裂開口の様子を超音波フェーズドアレイ像で映像化し，伝熱・熱応力解析結果と比較することで，き裂閉口応力を推定し，実験条件を模擬できるように減衰二重節点モデルを拡張することで，波形レベルまで実験結果が再現され，き裂面での非線形散乱現象も見出した．また，ゾルゲル法で作製した SiOx を感応膜に用いたボール SAW センサの性能を調べるために水分リークの無いセンサセルを開発して，10 nmol/mol レベルの微量水分の測定に成功した．さらに，超音波マイクロスペクトロスコピー技術を用いて，化学強化ガラスの表面応力評価法の検討を行い，音速変化の主因が弾性定数の変化によるものであることを明らかにし．三方晶系点群 32 結晶の音響関連物理定数の温度係数測定法について，従来の共振法だけでは圧電との結合が小さいモードでの計測精度が低下し，関与する定数の精度が低下することを明らかにし，パルスエコー法を併用することで改善されることを示唆する結果を得た.

薄膜デバイス関連では，インピーダンス負荷パッシブ SAW センサのシミュレーションためのモード結合法の係数の最適化および新しい ID-Tag 方式の提案を行った．また，X カット 36° Y-$LiNbO_3$ 基板上に AlN 薄膜を装荷すると, 縦型漏洩弾性表面波のバルク波放射に起因する損失が格段に低減することを理論的，実験的に示した.

電材料・可視化評価方法関連では，ロータス効果を用いて圧電結晶の $Li_2B_4O_7$ 球状結晶の育成を検討し，単結晶育成の条件を調べた．また，圧電デバイスの振動モード可視化システムとして，水晶共振器に対しウェーブレット変換を導入したところ，良好な特性を得た．さらに，開発した弾性振動可視化システムの最高周波数を 5 GHz 帯まで拡大した.

（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研究会を母体として開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は，圧電材料を主題として，材料探索，作製，評価，デバイスへの応用と，それぞれ第一線の研究を包括的に討論できる数少ない場として高く評価されている．発表された論文が他の学術誌で引用されており，当該分野での主要な研究集会の一つとして認知されるに至っている．今年度はまた近年の非圧電デバイスの進歩についても情報が得られるような機会とした．関連分野で活発に研究を進めている研究者が集って発表と討論を行うことで，密接な情報交換と研究協力が促進し，次世代の圧電デバイスの研究・開発の進展に貢献している．本プロジェクト研究会での成果は通信分野のみならず，最近では医療における可視化，評価などの様々な圧電デバイス応用への一層の発展が進みつつある.

［4］成果資料

(1) Hironori Itoh, Hideyuki Okamura, Chihiro Nakamura, Maiko Mimura,Takashi Abe, Masahiko Nobuto and Ryuichi Komatsu, Growth of Shaped Si Crystal Using Substrate Repelling Si Melt, Transactions of the Materials Research Society of Japan. 38[3] 337-340 (2013).

(2) Tomono, K., Furuya, H., Miyamoto, S., Okamura, Y., Sumimoto, M., Sakata, Y., Komatsu, R., Nakayama, M., Investigations on hydrobromination of silicon in the presence of silicon carbide abrasives as a purification route of kerf loss waste, Separation and Purification Technology 103 , pp. 109-113, 2013.

(3) T. Nagayama, J. Kondoh, T. Oonishi, K. Hosokawa, "Measurement of Plasma Clotting Using Shear Horizontal Surface Acoustic Wave Sensor," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 52, 07HD09-1-07HD09-5, 2013.

(4) Yoshikazu Ohara, Koji Takahashi, Satoru Murai, Kazushi Yamanaka, "High-Selectivity Imaging of Closed Cracks Using Elastic Waves with Thermal Stress Induced by Global Preheating and Local Cooling", Applied Physics Letters, Vol. 103,(2013) 031917-1-5.

(5) Masako Ikeuchi, Kentaro Jinno, Yoshikazu Ohara, Kazushi Yamanaka, "Improvement of Closed Crack Selectivity in Nonlinear Ultrasonic Imaging Using Fundamental Wave Amplitude Difference", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 52 (2013) 07HC08-1-5.

(6) G.Zhang, A.Kochhar, K.Yoshida, S.Tanaka, K.Hashimoto, M.Esashi, andR.K.Pokharel "A Low Phase Noise FBAR Based Multiband VCO Design," IEICE Elex, 10, 13 (2013) pp.1-6.

(7) W.Zhu, A.Leto, K.Hashimoto, and G.Pezzotti, "Evaluation of Critical Stress Intensity for Crack Initiation and Rising R-Curve Behavior in Wurtzitic AlN Film Grown on (001)Si Substrate," Thin Solid Fims, 537 (2013) pp.176-179.

(8) Hiroki Takahashi, Hideyuki Hasegawa, and Hiroshi Kanai: "Improvement of Automated Identification of the Heart Wall in Echocardiography by Suppressing Clutter Component" Japanese Journal of Applied Physics Vol. 52, pp. 07HF017-1-07HF017-7 (July 2013)

(9) K.Imano and T. Endo:"Experimental Study on the Mode Conversion of Lamb Wave Using a Metal Plate Having a Notch Type Defect", Inter Jour. Soc. Mater. Eng. Resour., Vol.19, No. 1/2,pp.20-23,2013.

(10) Koji Shiga, Shogo Yasuda, Yuji Hiruma, Hajime Nagata, and Tadashi Takenaka, Electrical Properties of Grain Oriented $Bi_4Ti_3O_{12}$-based Ceramics for High Temperature Sensors, Key Engineering Materials, "Electroceramics in Japan XIIV", Vol. 566, pp. 237-240 (2013).

(11) Nobutaka Yawata, Hajime Nagata and Tadashi Takenaka Dielectric and Piezoelectric Properties of Mn-doped KNbO3 Ceramics Ferroelectrics, Vol. 458, pp. 158-162 (2013).

(12) F. Matsukura, M. Uematsu, K. Hosaka, and S. Kakio, "Longitudinal-Type Leaky Surface Acoustic Wave on $LiNbO_3$ with High-Velocity Thin Film," Jpn. J. Appl. Phys., vol.52, no.7, pp. 07HD02-1-4, (2013).

(13) Kanako Ohta, Gaku Isobe, Peter Bornmann, Tobias Hemsel and Takeshi Morita,"Study on optimizing ultrasonic irradiation period for thick polycrystalline PZT film by hydrothermal method",Ultrasonics, vol. 53, pp. 837-841, 2013 (2013.4).

(14) Gaku Isobe, Takafumi Maeda, Peter Bornmann, Tobias Hemsel, and Takeshi Morita,"Synthesis of lead-free piezoelectric powders by ultrasonic-assisted hydrothermal method and properties of sintered (K0.48Na0.52)NbO3 ceramics", IEEE Trans. on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency Control, vol. 61, pp.225-230, Feb. 2014.

(15) D.Hara, and N.Wakatsuki, "Suppression of Arc Ignition for a DC Current Fuse using Transient Current Switch Circuit"IEICE Technical Report EMD2013 Vol.113 No.298 pp59-62, Dec. 2013.

(16) S. Kurosawa, M. Kitahara, Y.Yokota, K.Hishinuma, T. Kudo, O. Buzanov, A. Medvedev, V. I. Chani, A. Yoshikawa, Scintillation properties of a non-doped Ca3TaGa3Si2O14 crystal, IEEE Transactions on Nuclear Science, 61(1), 20140200,p. 339- 342

採択回数	1　2　③

H２３B０６

超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究

［1］組織

代表者：土田 英実
（産業技術総合研究所 電子光技術研究部門）
対応者：中沢 正隆
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
廣岡 俊彦　（東北大学電気通信研究所）
吉田 真人　（東北大学電気通信研究所）
森 雅彦　（産業技術総合研究所）
鳥塚 健二　（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）
挾間 寿文　（産業技術総合研究所）
鍬塚 治彦　（産業技術総合研究所）
洪 鋒雷　（産業技術総合研究所）
稲場 肇　（産業技術総合研究所）
大苗 敦　（産業技術総合研究所）
原子 広大　（東北大学）
David Odeke Otuya（東北大学）
王 怡昕　（東北大学）
大宮 達則　（東北大学）
岩國 加奈　（慶應大学）
鈴木 淳太　（東京理科大学）
美濃島 薫　（電気通信大学）
松尾 昌一郎　（フジクラ）
藤原 幹生　（情報通信研究機構）
石井 啓之　（ＮＴＴ）

延べ参加人数：２３人

研究費：物件費５万円，旅費２４万４千円

［2］研究経過

現在の光通信システム、ならびに光計測・標準システムは、マイクロ波領域の無線通信、計測・標準において培われた技術を手本にして、大容量化と高精度化の道を歩んできた。高いキャリア周波数を有するコヒーレントな光波のポテンシャルをさらに引き出すためには、コヒーレンスを活用するための位相制御技術と、時間領域の超高速制御を融合することが必要である。これまで個別に研究開発が進められてきた光波の位相制御技術と、超高速制御技術を合体することにより、光通信、計測・標準システムの極限性能を追求することが可能になる。本研究では、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所の研究者の間で、光波の極限的な制御技術と通信、計測への応用に関する研究討論を行い、将来の方向性に関する議論を行った。

本プロジェクトは，今年度が３年目に当たり、平成２５年１２月３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、慶應大学、東京理科大学、フジクラ、情報通信研究機構、ＮＴＴの研究者が参加して研究会を開催し、１１件の発表を行った。コヒーレント光伝送、超高速光伝送、マルチコア光ファイバ、光伝送用光源、量子暗号通信、光周波数コム等の発表に対して、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）。

１２月３日（火）

１．開会挨拶　　中沢正隆（東北大学）
２．光コムのオフセット周波数の簡単で新しい安定化方法：○大苗敦・大久保章・保坂一元・稲場肇・洪鋒雷（産業技術総合研究所）
３．高速制御可能な光コムを用いたデュアルコム分光計の開発：○岩國加奈（慶應大学）・大久保章・稲場肇（産業技術総合研究所）・長谷川太郎（慶應大学）・保坂一元・大苗敦（産業技術総合研究所）・佐々田博之（慶應大学）・洪鋒雷（産業技術総合研究所）
４．高速制御型光周波数コムの高繰り返し周波数化：○鈴木淳太（東京理科大学）・稲場肇・保坂一元（産業技術総合研究所）・小口研一（慶應大学）・大久保章（産業技術総合研究所）・岩國加奈（慶應大学）・大苗敦・赤松大輔・洪鋒雷（産業技術総合研究所）
５．超大容量伝送を実現するマルチコアファイバの研究動向：○松尾昌一郎（フジクラ）
６．NICT における量子暗号開発の現状：○藤原幹生（情報通信研究機構）
７．光ナイキストパルスを用いた高 PMD 耐力 1.28

Tbit/s/ch-525 km 伝送：○原子広大・瀬谷大輝・廣岡俊彦・中沢正隆(東北大学)

８．単一チャネル 1.92 Tbit/s, 64 QAM-150 km コヒーレントパルス伝送：○David Odeke Otuya・葛西恵介・廣岡俊彦・吉田真人・中沢正隆(東北大学)

９．デジタルコヒーレント通信用狭線幅半導体レーザの開発動向：○石井啓之(NTT)

10. 光 VCO を用いた 120 Gbit/s, 64 QAM-150 km コヒーレント伝送：○王怡昕・葛西恵介・中沢正隆(東北大学)

11. 周波数利用効率 14.3 bit/s/Hz を有する 1 Tbit/s 256 QAM-OFDM 伝送：○大宮達則・吉田真人・中沢正隆(東北大学)

12. 非線形位相雑音の観測:○土田英実（産業技術総合研究所)

13. 閉会挨拶　土田英実（産業技術総合研究所)

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

① 光周波数コムのオフセット周波数を安定化する新たな原理を提案し、ファイバレーザを用いて動作を実証した。繰り返し周波数を参照信号とするため、シンセサイザは不要である。

② 高速制御可能な光周波数コムを用いてデュアルコム分光計を構築し、アセチレンの吸収スペクトルを観測し、絶対周波数測定が可能であることを確認した。

③ 線幅転送用光周波数コムの高繰り返し化と高出力化を図り、２台のシステムを用いて安定度の評価を行った。

④ 既存伝送路の限界を打ち破る媒体として期待されているマルチコア光ファイバの開発状況を解説した。クロストーク低減、入出力、増幅器などの技術が着実に進展し、ファイバ 1 本当たり 1Pb/s を超える伝送容量が実現された。

⑤ NICT を中心とする量子暗号通信の開発状況を解説した。国内の量子鍵配送ネットワーク、連続変数による量子鍵配送、IP ネットワークとの融合、秘密分散共有などの動向を述べた。

⑥ ナイキストパルスを用いた超高速 OTDM により、1.28Tbit/s/ch-525km 偏波多重 DPSK 伝送を行い、従来のガウス型パルスで問題となる２次偏波モード分散を大幅に低減できることを示した。

⑦ 周波数領域等化と RZ-CW 変換を利用して、単一チャンネル 1.92Tbit/s-64QAM-150km コヒーレント光パルス伝送を行い、OTDM の周波数利用効率 3.2bit/s/Hz を実現した。

⑧ デジタルコヒーレント通信用狭線幅半導体レーザの開発状況を解説した。波長可変レーザとして、外部共振器型、DFB アレイ、DBR 型が競合している。トランシーバの小型化と省電力化に対応した μITLA や、光源と変調器の集積技術などの進展を述べた。

⑨ 光VCO方式による低位相雑音の光PLL回路を用いて、120Gbit/s-64QAM-150km 伝送を行い、パワーペナルティ 1dB 実現した。

⑩ 周波数領域等化と逆伝搬法を利用して、単一チャンネル 1Tbit/s-256QAM-560km OFDM 伝送を行い、周波数利用効率 14.3bit/s/Hz を実現した。

⑪ 高感度遅延自己ヘテロダイン法を利用して、相互位相変調を介した非線形位相雑音の観測を行った。パワースペクトルの測定結果は偏波依存性と群速度分散を考慮した理論と良く一致した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまで個別に扱われてきた光波の位相制御と時間領域の超高速制御を融合して利用する技術の確立を目指し、デバイスからシステムに渡る広範囲な議論を行う点において、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、高機能光デバイス、光信号処理、レーザ制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

本プロジェクト研究を契機として、下記のプロジェクトに採択された。

- プロジェクト名:超高速光通信に関する拠点形成
- 資金制度、研究費名：先端研究拠点事業、国際戦略型
- 配分機関名：日本学術振興会
- 研究期間：平成２３ー２５年度

［4］成果資料

(1) H. Inaba, K. Hosaka, M. Yasuda, Y. Nakajima, K. Iwakuni, D. Akamatsu, S. Okubo, T. Kohno, A. Onae, and F.-L. Hong, “Spectroscopy of ^{171}Yb in an optical lattice based on laser linewidth transfer using a narrow linewidth frequency comb,” Opt. Express vol. 21, no. 7, pp. 7891-7896 (Apr. 2013).

(2) Y. Sasaki, K. Takenaga, S. Matsuo, K. Saitoh, and M. Koshiba, “Trench-assisted low-crosstalk few-mode multicore fiber,” 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013), Mo.3.A.5 (Sep. 2013).

(3) H. Uemura, K. Takenage, T. Ori, S. Matsuo, K. Saitoh, and M. Koshiba, “Fused taper type fan-in/fan-out device for multicore EDF,” CLEO-PR & OECC/PS 2013, TuS1-4 (Jul. 2013).

(4) K. Harako, D. Seya, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “640 Gbaud (1.28 Tbit/s/ch) optical Nyquist pulse transmission over 525 km with substantial PMD tolerance,” Opt. Express, vol. 21, no. 18, pp. 21063-21076 (Sep. 2013).

(5) D. O. Otuya, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “A single-channel 1.92 Tbit/s, 64 QAM coherent optical pulse transmission over 150 km using frequency-domain equalization,” Opt. Express, vol. 21, no. 19, pp. 22808-22816 (Sep. 2013).

(6) 才田隆志, “デジタルコヒーレント通信向け集積光デバイス,” 信学ソ大, BCI-1-7 (Sep. 2013).

(7) Y. Wang, K. Kasai, T. Omiya, and M. Nakazawa, “120 Gbit/s, polarization-multiplexed 10 Gsymbol/s, 64 QAM coherent transmission over 150 km using an optical voltage controlled oscillator,” Opt. Express, vol. 21, no. 23, pp. 28290-28296 (Nov. 2013).

(8) T. Omiya, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “1 Tbit/s 256 QAM-OFDM transmission over 560 km with 14.3 bit/s/Hz spectral efficiency,” CLEO-PR & OECC/PS 2013, MR1-2 (Jul. 2013).

(9) H. Tsuchida, “Direct observation of cross-phase-modulation-induced nonlinear phase noise,” Appl. Phys. Express, vol. 6, no. 6, 062203 (Jun. 2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号　H23/B08

次世代 RFIC 用受動・能動回路技術とその応用

［1］組織

代表者：石崎　俊雄
(龍谷大学)
対応者：末松　憲治
(東北大学電気通信研究所)
分担者：
伊藤信之 (岡山県立大学)
岡崎浩司 (NTT ドコモ)
亀田　卓 (東北大学電気通信研究所)
河合邦浩 (NTT ドコモ)
河合　正 (兵庫県立大学)
川崎繁男 (JAXA 宇宙研)
古神義則 (宇都宮大学大学院)
真田篤志 (山口大学大学院)
関　智弘 (NTT 未来ねっと研究所)
谷口英司 (三菱電機情報総研)
楢橋祥一 (NTT ドコモ)
西川健二郎 (鹿児島大学)
西野　有 (三菱電機鎌倉製作所)
檜枝護重 (三菱電機情報総研)
藤本竜一 (東芝セミコンダクター社)
丸橋建一 (NEC システム IP コア研究所)
藤島実（広島大学）

延べ参加人数：21 人

研究費：物件費 0 円、旅費 62 万 3 千円

［2］研究経過

無線を使った超ブロードバンド通信を実現するために、小型な無線端末に用いられている高周波(RF:Radio Frequency)IC の高性能化、高機能化が求められているが、これまでの半導体プロセス微細化に頼った小型化、あるいは、単に既存のアナログ・ディジタル回路を統合した高集積化だけでは、十分な高性能化、高機能化が実現できず、新しい性能、機能を付加することのできるブレークスルー技術が必要となっている。

本研究では、次世代の RFIC を実現することを目標に、RFIC チップ上に形成する受動/能動回路の設計技術、製造プロセス/実装技術に関して、最新の技術動向を調査・研究し、そのロードマップを作成することを目的に研究を行っている。また、無線通信事業技術者などシステム側の研究者とのディスカッションを通じて、システム応用への道すじについても検討している。本プロジェクトは、本年度が最終年度であり、高機能に対応する新型 RFIC の可能性について、集中的に議論した。

今年度は 1 回の研究討論会を実施した。以下に実施内容を示す。

＜研究討論会＞

日時：平成 25 年 11 月 1 日（金）13：30～21：00
場所：仙台市青葉区片平 2 丁目
東北大学電気通信研究所（ナノスピン総合研究棟 4 階カンファレンスルーム 他）
出席者（敬称略）：檜枝、伊藤、岡崎、真田、楢橋、谷口、西川、川崎、河合（邦）、河合（正）、亀田、末松、石崎。

なお、招待講演者として、終日、Prof. Dmitry Kholodnyak (St. Petersburg Electrotechnical University)と田中聡氏（村田製作所）が参加。

[プログラム]

11 月 1 日

13:00～13:15　研究代表者(石崎先生)挨拶
通研対応教員(末松先生)からのプロジェクト運営説明

13:15～14:15 講演 1 ：サンクトペテルブルグ工科大学 Dmitry Kholodnyak 先生*
「メタマテリアル技術の最新動向」

14:15～15:15 講演 2 ：村田製作所田中 聡氏*
「携帯電話用 PA および RFIC の技術動向（企業からの視点）」

15:15～15:30 休憩

15:30～16:30 講演 3 ：岡山県立大学伊藤 信之先生
「移動体通信用集積回路の現状と展望」

16:30～17:00 「メタマテリアル技術の RFIC への展開」についての討議

17:00-19:00 休憩

19:00-21:00 RFIC に関する各自の研究紹介（出席者全員）と 3 年間の総括。

［3］本年度の成果

昨今の携帯電話・スマートホンによるデータトラフィックの急激な増大に対し、割り当て帯域の増加やキャリア・アグリゲーションで対応しようとしている。そのため無線回路は図１に示すようにマルチモードマルチバンド対応を余儀なくされている。また、図２は対応するデジアナ混載 RFIC のチップイメージ図である。今後もバンド数は増加する傾向にあるため、チップはますます巨大化し、動作に不具合が生じることが懸念される。そこで、回路構成を簡素化する技術が必要となり、回路の広帯域化技術が開発されつつある。

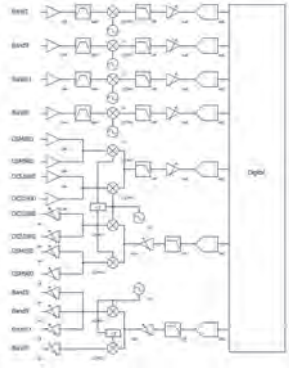


図１．キャリア・アグリゲーションに対応した
デジアナ混載 RFIC 構成図

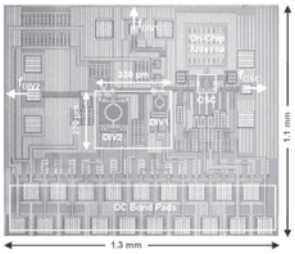


図２．デジアナ混載 RFIC のチップイメージ図

一方、送信系においても同様な課題が存在しているが、送信系においては高価な化合物半導体やモジュールが用いられるため、当初から少ない系統で対応せざるを得ない状況があった。そのために、いろいろな技術が既に開発されている。図３に示すのは、負荷インピーダンス変化に対応した高効率低歪みパワーアンプの構成図である。

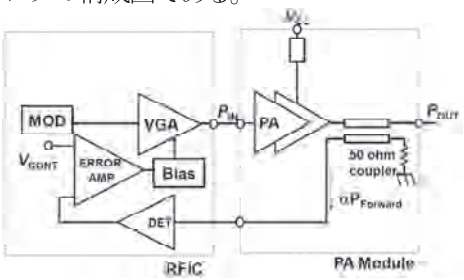


図３．負荷インピーダンス変化に対応した
高効率低歪みパワーアンプの構成図

この回路では、出力電力レベルに応じてパワーアンプの特性を電圧制御することにより、負荷インピーダンスの変化による特性の変化を抑圧し、結果としてマルチモードマルチバンド対応を実現している。

また、半導体技術だけにこだわらず、低温同時焼成セラミック（LTCC）を用いたＲＦモジュールも有力な手段である。LTCC を用いたモジュールでは、低速波・後進波を利用してメタマテリアル構造を取り入れた小形化・高機能化が図られている。

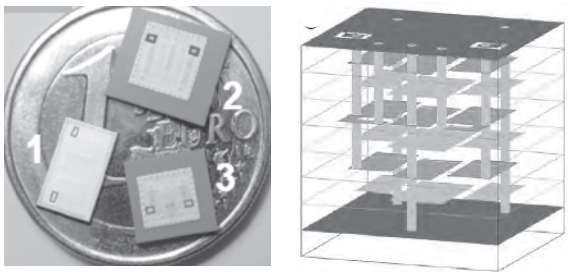


図４．LTCC メタマテリアルフィルタ

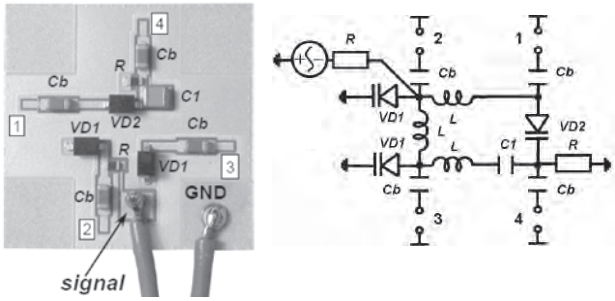


図５．LTCC メタマテリアルチューナブルラットレースリング

図４は、LTCC メタマテリアルフィルタの例であり、小型であるにも拘らず従来フィルタと同等の性能が得られている。また、図５は、LTCC メタマテリアルを用いたチューナブルラットレースリングである。この例では、バラクタダイオードを用いて、電圧制御型の可変特性を実現している。構造は、LTCC 基板の上に、バラクタダイオードやチップキャパシタを実装するという、ハイブリッドＩＣの構造になっている。これは、将来の技術の方向性を示すアプローチであり、半導体の技術を補完し、より高機能を小型に実現できる可能性を示すものである。

以上述べたように、今年度は、主にメーカー出身の方の意見を参考にして、通信システムの変化とそれに対応する新技術を活用した次世代 RFIC の実現性の検討、課題の抽出を行った。受信系および送信系における課題とその解決技術、また、メタマテリアル技術と LTCC 技術を統合したハイブリッド集積化技術による課題解決のアプローチを確認した。

これらの結果から、従来の半導体技術と新しい回路技術や LTCC などの別のプロセス技術を合体させたハイブリッド技術こそが直面する技術課題の解

決の有効な手段であることが明らかになった。

そこで次のプロジェクトとして、次世代高周波 IC を実現することを目標に、RFIC の高性能化（SoC: System-on-Chip）と SiP（System-in-Package）を実現するハイブリッド化技術の研究を提案したい。これは、アナログＩＣとデジタルＩＣを統合するハイブリッド化であり、また、半導体技術と LTCC などのセラミック技術を統合するハイブリッド化でもある。機会があれば、是非、次世代 RFIC のハイブリッド化技術の研究を継続して行い、情報通信技術の進展に寄与していきたいと考えている。

［４］３年間の研究活動のまとめ

３ 年間の活動のまとめとして、共同プロジェクト発表会（２月２７日東北大学片平さくらホール）にてポスター発表を行った。

ポスターの内容は、3 年間の活動成果をまとめたもので、高周波集積回路（RFIC）の高性能化・高機能化に対する既存の半導体プロセス・回路技術の限界を打ち破るために、次世代 RFIC のロードマップの作成と応用デバイスの抽出を目的として検討した結果を発表した。

まず、メタマテリアルに関する研究について、LTCC 技術を用いて小型・高性能な RF デバイス、ハイブリッドモジュールが実現できることを示した。次に、シリコン・化合物半導体への応用について、ミリ波ＣＭＯＳの技術動向、化合物半導体（GaAs、GaN）とメタマテリアル技術の組み合わせ事例を調べ、半導体技術の進化を確認した。さらに、RFIC 応用デバイスの検討について、携帯電話・無線ＬＡＮの今後の高速・高周波化の動向を把握し、次世代 RF IC の技術動向を確認した。

以上、これまでの議論の結果、ロードマップに嵌め込むところまでは到らなかったが、以下のような結論が得られた。

- RFIC への技術的要求は今後益々高くなることは無線通信の進化のトレンドから明らか
- メタマテリアルなどパッシブの新技術が出現して来ており、それを取り込むことで更なる展開が望める
- 半導体も、ミリ波に向けた高周波化や化合物半導体の特性改善が着実に進んでいる
- 新技術と如何にマッチングさせるかがカギを握る

また、海外研究者との連携が新技術を開発していく上で有効であることがわかった。上記結論から明らかになった今後検討すべき技術項目を参考に、国際学会 APMC2014（仙台）でワークショップの提案を予定している。

［５］成果資料

[1] T. Kawai, Y. Sumitomo, A. Enokihara, I. Ohta, K. Satoh, Y. Suzuki, H. Okazaki, S. Narahashi, Parallel ring-lines type rat-race circuit for loose coupling utilizing composite right-/ left-handed transmission lines", 2013 European Microwave Conference Proc., pp. 298-301, 2013.

[2] 住友祐馬、河合正、榎原晃、太田勲、佐藤圭、鈴木恭宜、岡崎浩司、楢橋祥一、"右手系／左手系複合線路を用いた広帯域小型ラットレース回路"、信学論（C）、Vol. J96-C, No.12, pp. 490-498, 2013.

[3] N. Itoh, Y. Itano, S.Morimoto, S. Yoshitomi, "Striped Inductor for Quasi Millimeter Wave Voltage-Controlled Oscillator," Proc. of the 2013 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2013), pp.319-321, Seoul, Nov. 2013.

[4] Y.Itano, S.Moromoto, S.Yoshitomi, and N.Itoh, "High-Q MOS Varactor Models for Quasi-Millimeter-Wave Low-Noise LC-VCOs," Accepted on IEICE Transaction on Fundamentals, vol. E97-A, No.3, pp.759-767, Mar. 2014.

[5] T.T.Ta, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T.Takagi, K.Tsubouchi, "A Calibrationless Si-CMOS 5-bit Baseband Phase Shifter Using a Fixed-Gain-Amplifier Matrix," IEICE Trans.Electron. Vol. E96-C(10), pp.1322-1329, 2013.

[6] T.T.Ta, M.Nakamura, O.Wada, K.Gomyo, Y.Suzuki, S.Yoshida, S.Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, "60-GHz band beam forming receiver RFIC for broadband communication phased array antenna module," 2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proc., pp. 230-232, 2013.

[7] D.Banda, O.Wada, T.T.Ta, S.Kameda, N.Suematsu, K.Tsubouchi, "Direct RF under sampling reception method with lower sampling frequency," 2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proc., pp. 500-502, 2013.

[8] O.Wada, T.T.Ta, S.Tanifuji, S.Kameda, N.Suematsu, T.Takagi, K.Tsubouchi, "5GHz-band CMOS direct digital RF modulator using current-mode DAC with idle current," 2013 IEEE IWS2013 Proc., 2013.

[9] 中谷圭吾、石崎俊雄、「マイクロ波加熱用 2.4GHz 帯 100W GaN-HEMT 高効率電力増幅器」、電子情報通信学会総合大会、C-2-8、2014 年 3 月。

採択回数	1　2　3

採択番号　H２３／B０９

自己身体の運動が関与する多感覚統合

［1］組織

代表者：櫻井　研三
（東北学院大学　教養学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学　電気通信研究所）
分担者：
行場　次朗（東北大学　文学研究科）
古賀　一男（京都ノートルダム女子大学）
佐藤　雅之（北九州市立大学 国際環境工学部）
北崎　充晃（豊橋技術科学大学　工学研究科）
一川　誠（千葉大学　文学部）
蘆田　宏（京都大学　文学研究科）
金子　寛彦（東京工業大学 総合理工学研究科）
岡嶋　克典（横浜国立大学環境情報研究院）
妹尾　武治（九州大学　高等研究院）
坂本　修一（東北大学　電気通信研究所）
松宮　一道（東北大学　電気通信研究所）

延べ参加人数：29 人

研究費：物件費５万円，旅費４４万円

［2］研究経過

モバイル機器の普及により，人間が能動的に運動する状態で情報に接する際の知覚特性を知ることが求められてきている。これまでの視覚や聴覚による多くの知覚実験では，観察者は静止した状態で刺激を受け取りながら課題を遂行していたため，観察者本人の能動的な身体運動が刺激の知覚に与える影響を検討することは困難であった。しかし，現実の環境における観察者の行動は能動的であり，自己の身体を適切に制御しながら空間内を移動し，外界の対象に近づいてそれを自分の四肢で操作する場面の方が，静止状態で対象を観察する場面よりも，はるかに多い。それらの能動的行動において主要な役割を果たす自己身体の感覚情報は自己受容感覚と前庭覚であるが，これらの感覚が，視覚や聴覚とどのように統合されるのかという多感覚研究が盛んに行なわれるようになってきた。

本プロジェクトではこの多感覚統合の問題をとりあげた。1 年目は，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に注目して，能動的観察事態における自己受容感覚と視覚の関係，および前庭覚と視覚・聴覚の関係に焦点を当てた研究会を開催した。続いて 2 年目には，主に視覚誘導性自己運動知覚（ベクション）について議論を深めることを目的とした研究会を開催した。

本プロジェクト 3 年目の今年度は，これまでの 2 年間に講演を実現できなかった研究者 3 名を招聘し，自己運動知覚についての研究会を 2014 年 1 月 8 日と 9 日に通研大会議室において開催した。講演者は，新潟大学の白井述氏と，首都大学東京の村田佳代子氏，室蘭工業大学の寺本渉氏の 3 名であった。その後，他の参加者の各自の研究（進捗）報告や自己身体の運動に関係する最近の研究の話題提供と討論を行なった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の成果の第 1 は，1）自己運動知覚に関する発達研究と，2）視覚以外の感覚情報で誘導される錯覚的自己運動知覚の研究を，本プロジェクトに取り込んで議論できたことである。

本年度の研究会では，白井氏の講演が前者の 1)の研究に，村田氏の講演が 2）の研究に該当する。また寺本氏の講演は，自己身体の運動と視覚・聴覚にもとづく外界の知覚との関係が昨年度の研究会に続いて取り上げられた。

研究会の最後に，3 年間の総括と次年度以降の活動に向けての打合せが行なわれ，発展的に新規の共同プロジェクト研究の申請を行なうことで合意した。

さらに，本プロジェクトの 3 年間を通しての最大の成果は，自己身体運動をともなう状況での人間の知覚と多感覚統合に関する研究者同士のネットワークを形成できたことにある。このテーマは，工学や心理学の様々な領域で取り上げられているにもかかわらず，多くの研究者が集まる機会は，それぞれの学会の単発のシンポジウムや研究会しかないという状況であった。その意味で，本プロジェクト研究会が関連研究者同士のネットワーク形成と定期的な議

論の機会を生み出したことは，大きな意義がある。

以下に，1月に行なわれた研究会での3件の講演の要約を述べる。

1）光学的流動知覚と移動行動制御：その特性と発達（白井　述・新潟大学）

一般的に、環境中を移動する観察者の視野上には大域的な視覚運動パタンが生じる。こうした運動パタンは光学的流動と呼ばれ、移動行動の制御と関連する（例えばGibson, 1950）。本講演では光学的流動知覚と移動行動の相互作用について検討した2つの研究を紹介した。

最初に、前後方向へ移動中の光学的流動の検出特性についての研究成果（Shirai & Ichihara, 2012）を報告した。通常、前・後方向の移動に際しては、視野上に放射状に拡大・縮小する光学的流動（拡大・縮小運動）がそれぞれ生じる。本研究では、観察者の搭乗した車いすを一定の周期で前後動させ、それと同時にヘッドマウントディスプレイを用いて拡大・縮小運動を呈示した。その結果、車いすの前後動と光学的流動の関係が一致する条件（前・後の移動中に拡大・縮小運動をそれぞれ呈示）では、不一致な条件（前・後の移動中に縮小・拡大運動をそれぞれ呈示）よりも光学的流動の検出感度が低下した。これらの結果から、ヒトの視覚系には移動行動によって生じる光学的流動の主観的な「見え」を抑制し、視覚世界を安定させる機能があることが推測される。

次に、光学的流動知覚の発達と、ハイハイ、歩行などの移動行動の発達間の相互作用についての発達研究（Shirai & Imura, 2014）を紹介した。生後数ヶ月の乳児でも一定の光学的流動知覚の能力を持つことが示されているが（cf. Shirai & Yamaguchi, 2010）、初期発達において移動行動の獲得と光学的流動知覚との間にどのような関係があるのかは明らかにされていなかった。本研究では、生後5ー12ヶ月児106名を対象に、拡大、縮小、回転などの光学的流動に対する視覚選好を測定し、それと同時に乳児の移動行動の可否を観察法によって評価した。その結果、移動行動の発達に伴い、縮小運動に対する選好のみが低下する可能性が示された。こうした発達について縦断的に再検討するため、移動行動獲得前の乳児20名を対象に、光学的流動に対する視覚選好の測定と移動行動の評価を毎月実施した。乳児が移動行動可能であると初めて評価された月齢と、そこから3ヶ月前までの連続した4ヶ月間を分析期間とした。その結果、縮小運動への視覚選好は、移動行動が獲得される1ヶ月前から有意に低下することが明らかになった。これらの結果は、光学的流動知覚における発達的変化が移動行動の成熟に先立って生じることを示唆する。

2）皮膚感覚と自己運動（村田佳代子・首都大学東京）

停車している電車に乗っている時、反対のホームに停車している電車が動き出した所を見ると自分の乗っている電車が反対の方向に動いたかのように感じられることがある。これは視覚誘導性自己運動知覚（ベクション）という現象である(Dichgans & Brandt, 1978; Lee & Lishman, 1975)。こうした現象は視覚刺激だけでなく聴覚刺激や前庭刺激によっても生じる事が多く報告されている（Lackner,1977）。日常生活の中で自己が能動的または受動的に移動するとき、視覚や聴覚の感覚器官だけでなく、空気や風の抵抗により皮膚からも情報を受け取る。Seno ら(2011)によると視覚刺激と同時に皮膚に風を呈示すると自己運動知覚が増幅することを報告している。しかし視聴覚刺激を伴わない皮膚感覚由来の自己運動知覚に関する検討はまだ十分に行なわれていない。本研究では、被験者の視覚や聴覚を遮断し、皮膚刺激を与えたときの自己運動知覚の特徴を検討した。その結果、皮膚感覚と前庭感覚に刺激を呈示すと自己運動が生じる事が確認された。また、前方から風を呈示した場合、他の方向よりも自己運動が強く生起した。

また、この結果に関連して、予備実験で、顔にアイマスクを着用すると自己運動が減少する、もしくは消失するとの報告が確認された事実と、生理学的に顔面の神経経路が他の皮膚感覚と異なる神経伝達経路を有すると言う2つの事が挙げられる。この2点の事実から皮膚感覚からの自己運動知覚の生起に特化した身体部位の領域があるか否かを顔を対象とし、顔の部位を上下半分に分けてお面無し条件と下部お面条件、上部お面条件と下部お面条件、お面無し条件と上部お面条件の3ブロックで比較した。その結果、顔の上部が塞がれると明らかに自己運動が減少する事が確認された。更に顔の上部と手の甲での比較でも顔に風刺激が当たると自己運動の増幅が確認された。これらの結果から、自己が移動する際に手掛かりとしている皮膚情報は他の身体部位と比較すると顔が敏感で有り、中でも特に顔面神経の第1枝領域付近に自己運動に関する情報に鋭敏な部位があることが示唆された。

3）自己運動時の音空間知覚（寺本　渉・室蘭工業大学）

外部環境をリアルタイムに把握することは脳が行うべき重要な課題の一つである。しかし，感覚入力から知覚や行動への出力には少なくとも数百ミリ秒

の神経伝達時間が必要であり，特に外界と自分との関係が時々刻々と変化する自己運動時には，入力情報のみを用いてこの課題を遂行することは極めて難しい。したがって，「自分がどちらに向かってどのくらいの速度（加速度）で進んでいるのか」という自己運動情報に基づき知覚モデルを構築し，外部環境でこれから起きる事象をあらかじめ予測するという「先読み処理」を行うことが最も有効である。

本講演では，自己運動時の音空間知覚における先読み処理について2つの内容が示された。一つ目は，検出反応に現れる聴覚的な「注意」を支配する先読み処理についてであった。実験では，大型バーチャル・リアリティ装置に観察者の運動をシミュレートした映像が提示された。被験者はその映像を観察しながら，ヘッドフォンによって右耳と左耳に提示される2つの音刺激（高音と低音）のうちどちらが先に聞こえたかを回答した。その際，被験者が自己運動を感じている場合には，進行方向側の音刺激が素早く検出されることが示された（詳細は，Teramoto et al., 2008）。また，この現象は検出対象を視覚（Teramoto et al., 2004）や触覚刺激（Figliozzi et al., 2005）に変更しても認められることから，注意の予測的制御を行う上で，多くの感覚系で自己運動情報が重要な役割を担っていることを示唆された。

二つ目は，実音源の定位に関わる先読み処理についてであった。実験では，被験者を自走式車椅子装置に乗せ，前方または後方に直線等加速度運動させた。音対象は，被験者の頭部位置があらかじめ決められた位置を通過した瞬間に，進路に沿って並べられたスピーカのいずれかから提示された。被験者は音標的が自分の前方と後方のいずれから聞こえたかを回答した。その結果，前進方向への直線等加速度運動中には，進行方向側音対象が実際よりも聴取者の近くに誤定位され，それが加速度に比例することも見いだした（詳細は，Teramoto et al., 2012）。一方，観察者の運動をシミュレートした映像を提示した場合には後進方向のみで本現象が生起することも示され，前後方向の自己運動知覚における視覚系と前庭系の役割の違いが，実音源の定位に関わる「先読み」処理の違いにも反映される可能性が示唆された。

（3－2）波及効果と発展性など

現在の情報機器は，従来のように人間が着座した静止状態で受動的に情報を受け取るスタイルから，スマートフォンのように可視化された情報そのものを歩行等の運動状態で能動的に操作するスタイルに，急激に移行している。自己身体の運動を前提とした多感覚統合について議論する本プロジェクトは，このような情報機器の変化に対応した知見を提供できるものであり，上述の成果は，今後の情報機器のインタフェイス改善に役立つと期待できる。

同時に，本研究の波及効果として，iPad やAndroid 端末を多感覚統合の特性を探る知覚研究の実験装置として利用しようとする動きも出始めている。従来型の実験のような静止観察ではなく，動的な状態での観察者のパフォーマンスを測定できることで，これまでとは異なる人間の知覚特性が少しずつ明らかにされていくと予想される。

また，2014 年 7 月に高松で開催される国際学会APCV 2014 のシンポジウム「Illusory perceptions of body orientation and self-motion in real and virtual environments」は，本プロジェクトの成果を踏まえて，代表者である櫻井が企画したものである。

［4］成果資料

特になし

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

採択番号　H23/B11

高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・クラウドシステム基盤

［1］組織

代表者：加藤 和彦（筑波大学システム情報系情報工学域）
分担者：大堀 淳（東北大学電気通信研究所）
大山 恵弘（電気通信大学 電気通信学部 情報工学科）
品川 高廣（東京大学情報基盤センター）
阿部 洋丈（筑波大学システム情報系情報工学域）
杉木 章義（筑波大学システム情報系情報工学域）
長谷部 浩二（筑波大学システム情報系情報工学域）
岡 瑞起（筑波大学システム情報系情報工学域）
上野 雄大（東北大学電気通信研究所）
森畑 明昌（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：１２人

研究費：物件費０円，旅費 227,000 円

［2］研究経過

概要：

ネットワーク環境やその上のクラウドシステムは近年急速に普及しつつあり、これを駆動するためのソフトウェア基盤の開発が必要となっている。しかし、クラウドシステム向けソフトウェアの設計と実現は未だ系統的な設計法や実装技術が確立しているとは言い難いのが実情である。クラウドシステムには、通常のソフトウェアに比べさらに高度なセキュリティと信頼性が求められ、これは従来のアドホックな実装では達成しがたい。

以上のような現状をふまえ、本研究会では、関数型言語 ML に代表される高信頼プログラミング技術を活用し、ディペンダブルなクラウドシステム基盤を開発するための検討を行っている。

本年度の主な活動として、2014 年 2 月に東北大学電気通信研究所において、研究代表者および分担者を中心に大学院生も交え研究集会が開催された。この研究会では、クラウドコンピューティングおよびその周辺分野について、各研究グループからお互いに様々な話題を持ち寄り、最近の成果や今後の発展、それらの相互連携などについて議論を行った。

今回は特に、東京大学の池上教授をゲストに迎え、例年に比べさらに広範な話題を取り扱った。今後の発展性を展望しつつ、様々な分野をまたぐ形の、新鮮で刺激的な議論ができた点は、本研究会の大きな成果である。

以下、研究会での発表内容についてその概要を述べる。

まず上野から、大堀グループが開発している次世代高信頼関数型言語 SML#の現状について報告があった。SML#のバックエンドを LLVM と呼ばれるシステムを用いた物に置き換えたことが本年度の大きな成果である。これにより、効率の改善や組み込み系への対応等で大きなメリットがあると期待され、クラウド基盤への利用可能性も高まったと言える。

次に森畑から、既存の並列化手法が漸増計算にも応用できるという趣旨の発表があった。不安定なネットワークを介しつつの計算では、漸増計算は重要であり、クラウド計算への応用も期待される。

大堀研究室の修士二年の学生である深澤からは、スクリプト言語 Ruby の意味の定式化についての報告があった。Ruby は世界で広く使われているプログラミング言語の中でも最も複雑なものの一つであり、これの意味が定式化できたということは、今後クラウドを利用した複雑な計算でも同様の技術が適用できる可能性が高い。

加藤からは、最近加藤グループが精力的に取り組んでいる Cave and Court Computing の紹介がなされた。これは、分散コンピューティングの知見をもとにマルチコア並列計算を行うもので、同期を減らしたアルゴリズムを用いることで B 木の構成・検索に対しよい並列速度向上を得ることに成功している。このようなアプローチは何故有効であり、またどのような計算に対して有用であるか等について、盛んに議論が行われた。

阿部からは、大規模計算機クラスタでの計算ノードへの処理の割り当てを改善する手法の提案が行わ

れた。従来手法は主に各ノードのCPU負荷をもとに割り当てを行っていたが、通信量の多い計算では通信経路の負荷を下げる割り当てが望まれる。このような割り当てをOpenFlowを用いて実装したところ、いくつかの例について性能が改善したことが報告された。

池上教授からは、人工生命の研究の歴史、およびその計算機科学との関わりについて紹介があった。加えて、「生命の本質は各コンポーネント（細胞・器官・個体など）の協調動作である」という観点から、生命と並列・並行計算との関係について、大胆な問いがなされた。本発表の内容は聴衆に大きなインパクトを与え、並列計算の現状分析から人類に対する哲学的な問いまでを含み、多岐に渡る題材について議論が行われた。

大山からは、新種マルウェアの分類の一助とするため、そのマルウェアのAPIコール列のN-gramを利用する手法について報告があった。クラウドコンピューティングを含む新たな計算パラダイムにおいては、攻撃手法も新しい物となるため、新種に対してロバストなセキュリティ手法は大いに求められている。

岡からは、twitterでの単語の登場頻度の解析について報告が行われた。単語の登場頻度には急にその量が高まる「バースト」と呼ばれる現象があるが、バーストには外部の刺激（例えば地震など）によって起こるものと、その世界での話題のフィードバックによって起こるもの（いわゆる「炎上」など）があり、両者はバースト直前の登場頻度のゆらぎから分類できることが述べられた。高性能計算においても、例えばスラッシングのように、計算の進捗状況によってパフォーマンスが局地的に大きく低下することがあるが、このような現状にも同様の理解が行えるかは興味深いところである。

長谷部からは、分散環境で安全な通信を行うためのプロトコルの安全性を形式的に保証する手法について、その歴史や難しさについてのチュートリアルが行われた。残念ながら、ここまでの発表での議論が白熱していたこともあり、この発表は中途で時間切れとなってしまった。しかしこの発表は聴衆から非常に好評であり、時を改めて再度の講演を行うことが約束された。

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトの目標は、クラウド基盤を含むディペンダブルなシステムソフトウェアの研究開発から得られた知見と、高信頼プログラミング言語の理論・実装を融合し、高信頼クラウドコンピューティングの基盤技術の発展を目指すことであった。本年度も、各研究グループの現状の研究成果を持ち寄り、それらの連携によってクラウドコンピューティングにどのようなインパクトの可能性があるか、またそのためにはシステムソフトウェア・プログラミング言語のそれぞれの分野でどのような課題があるかについて議論を行った。

上記報告からも見て取れるように、様々な視点からの実り多い議論がなされており、研究会は意義深いものであったと言える。これに加え、3年間の研究交流の結果のひとつとして、加藤・大堀両グループは、互いの長所を組み合わせることで、クラウドを含む分散・並列計算に対し大きな科学的貢献ができるとの確信を持ちつつある。

加藤グループでは近年Cave and Court Computingという新たな計算方法論を提案している。これについて、計算機環境からの性能改善（阿部）・解析（岡）・形式的保証（長谷部）などの専門家を揃えている。一方、大堀グループは、そのような並列計算をも視野に入れたソフトウェア基盤としてSML#を開発しており、ソフトウェアレベルの最適化などを専門としている。また、実際に様々な問題をCave and Court Computingのような枠組みに落とし込む手法についても研究している（森畑）。以上の通り、お互いの長所は相補的であり、研究交流・共同研究はお互いの研究の更なる発展を促す可能性が高い。以上のような認識に至ったこと、より正確には、そのような認識に至る程度にお互いの研究を把握することができたことは、本プロジェクトの大きな成果の一つである。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの波及効果や発展性については、以下が挙げられる。

まず、本プロジェクトでの議論を通じ、システムソフトウェアとプログラミング言語の両方の分野において、各研究メンバーが自分の専門分野と多少異なる立場からの視点を得ることができた。特に今回は、池上教授の講演もあり、コンピューティング・ソフトウェアに限らない、分野横断的な議論を行うことができた。これは、各研究メンバーそれぞれの研究テーマに良い相乗効果を与えたと確信している。（具体的な研究成果は[4]成果資料を参照のこと。）

また、本プロジェクトで開催された研究集会は、特に若手研究者や大学院生にとって、他の研究グループと交流し自分の研究についての意見をもらう貴重な機会にもなっている。このような機会は、研究をさらに発展させたり新たな研究テーマを発見したりするにあたり、また若手研究者同士のコミュニティを形成する上でも、きわめて有意義であった。こ

の意味で、本プロジェクトは若手研究者の育成にも貢献していると言える。

［4］成果資料

1. A. Morihata, M. Koishi, A. Ohori. Dynamic Programming via Thinning and Incrementalization. FLOPS 2014. (Accepted)
2. 森畑明昌. 漸増計算法の第三リスト準同型定理による系統的導出. 第16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, 2014.
3. 斎藤皓, 上野雄大, 森畑明昌, 大堀淳. SML#のSQL統合機能への行集約機能の実装. 第16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, 2014.
4. A. Morihata. A Short Cut to Parallelization Theorems. ACM ICFP 2013, 245–256, 2013.
5. 大堀淳. 関数型言語 SML#の開発 ―我が国のソフトウェア産業新生へのささやかな貢献を目指して―. 日本ソフトウェア科学会第30回大会 (招待講演), 2013.
6. 森畑明昌. XPath 問合せの Work Efficient な分散並列評価. 日本ソフトウェア科学会第30回大会, 2013.
7. 遠藤誠典, 百足勇人, 森畑明昌, 上野雄大, 大堀淳. 変数参照関係を用いた関数型プログラムのコードリーディング支援. 日本ソフトウェア科学会第30回大会, 2013.
8. 上野雄大, 大堀淳. 関数型言語からキーバリューストアへの型安全なアクセス機構. 日本ソフトウェア科学会第30回大会, 2013.
9. 忠鉢洋輔, 表祐志, 品川高廣, 加藤和彦. 軽量ハイパバイザによるシステムイメージの完全性保護, 情報処理学会論文誌 54(12): 2402–2412, 2013.
10. A. Sugiki. An Integrated Management Framework for Virtual Machines, Switches, and their SDNs. IEEE ICON 2013, Special Session on Software Defined Network, 6 pages, 2013.
11. 杉木章義, 加藤和彦. クラウド基盤ミドルウェア Kumoi のセキュリティ設計と実装. コンピュータソフトウェア: 30(4), 3-17, 2013.
12. J. Okoshi, K. Hasebe, K. Kato. Power-Saving in Storage Systems for Internet Hosting Services with Data Access Prediction. IGCC 2013, 10 pages, 2013.
13. K. Hasebe, T. Sawada, K. Kato. Using a Potential Game for Power Reduction in Distributed Storage Systems. IEEE SDS 2014, 550–555, 2014.
14. G. Bana, K. Hasebe, M. Okada. Computationally Complete Symbolic Attacker and Key Exchange. ACM CCS 2013, 1231–1246, 2013.
15. 渡場康弘, 木戸善之, 伊達進, 阿部洋丈, 市川昊平, 山中広明, 河合栄治. 竹村治雄. 計算資源とネットワーク資源を考慮した割当ポリシを配備可能とするジョブ管理フレームワーク, 電子情報通信学会論文誌: J97-D(6), 2014. (採録決定)
16. D. Morita, K. Ichikawa, H. Abe, S. Date, S. Shimojo. Implementation and Evaluation of Multiple Deduplication Methods for VM Disk Images Composing a Virtual Cluster. INFORMATION: 16(8-B), 6055–6068, 2013.
17. K. Ichikawa, S. Date, H. Abe, H. Yamanaka, E. Kawai, S. Shimojo. A Network Performance-Aware Routing for Multisite Virtual Clusters. IEEE ICON 2013, 2013.
18. Y. Watashiba, Y. Kido, S. Date, H. Abe, K. Ichikawa, H. Yamanaka, E. Kawai, H. Takemura. Prototyping and Evaluation of a Network-aware Job Management System on a Cluster System Leveraging OpenFlow. IEEE ICON 2013, 2013.
19. Y. Watashiba, S. Hirabara, S. Date, H. Abe, K. Ichikawa, Y. Kido, S. Shimojo, H. Takemura. OpenFlow Network Visualization Software with Flow Control Interface. Doctoral Symposium of IEEE COMPSAC 2013, 475–477, 2013.
20. C. Lee, H. Abe, T. Hirotsu, K. Umemura. Performance Implications of Task Scheduling by Predicting Network Throughput on the Internet. IEEE ISPA 2013, 1089–1098, 2013.
21. P. U-chupala, P. Uthayopas, K. Ichikawa, S. Date, H. Abe. An Implementation of a Multi-site Virtual Cluster Cloud. JCSSE 2013, 155–159, 2013.
22. 中村 燎太, 松宮 遼, 高橋 一志, 大山 恵弘. Kullback-Leibler 情報量を用いた亜種マルウェアの同定. マルウェア対策研究人材育成ワークショップ2013, 877–884, 2013.

採択回数	1	(2)	3

採択番号 H24/B01

プラズマ流による高機能性発現と反応場形成の基礎と応用

［1］組織

代表者：安藤　晃（東北大学工学研究科）
対応者：末光眞希　（東北大学電気通信研究所）
分担者：大竹正明　（東北大学電気通信研究所）
佐藤岳彦　（東北大学流体科学研究所）
服部邦彦　（日本工業大学共通教育系）
船木一幸　（宇宙航空研究開発機構）
佐々木浩一（北海道大学院工学研究科）
中島秀紀　（九州大学大学院総合理工学研究院）
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）
佐宗章弘　（名古屋大学大学院工学研究科）
小紫公也　（東京大学大学院　新領域創成科学）
津島 晴　（横浜国立大学大学院）
戸張博之　（日本原子力研究開発機構）
北野勝久　（大阪大学大学院工学研究科）
田中雅慶　（九州大学大学院総合理工学研究院）
高木浩一　（岩手大学工学部電気電子工学科）
水野　彰　（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）
吉村信次　（核融合科学研究所）
永田正義　（兵庫県立大学工学研究科）
永岡賢一　（核融合科学研究所）
上杉喜彦　（金沢大学自然科学研究科）
津守克嘉　（核融合科学研究所）
林　信哉　（佐賀大学理工学部）
永津雅章　（静岡大学創造科学技術大学院）
竹入康彦　（核融合科学研究所）
市村　真　（筑波大学数理物質科学研究科）
中嶋節男　（積水化学工業（株）NBO 開発推進センター）
延べ参加人数：６０人

研究費：物件費　５万円、旅費３８万３千円

［2］研究経過

現在、プラズマ生成技術は新しい材料の製造プロセス分野においても欠かせぬ手段として活用されており、半導体集積回路、太陽電池、発光ダイオード、ダイヤモンド合成、セラミック製造、磁性材料、超電導材料など各種薄膜形成、微細加工、表面改質応用に不可欠なナノテクノロジーの基盤技術となっている。特に、最近は高真空から大気圧領域を含む広範な圧力領域でのプラズマ流の形成技術に関する研究開発が進んでおり，その応用技術へも強い関心が寄せられている。このようなプラズマ生成制御技術にはプラズマの流れ場が重要な役割を果たしていることが明らかとなってきた。プラズマの流れが新しい機能性場を生み出し、ナノ分野をはじめ宇宙推進技術や種々の応用研究に重要な役割を果たしている。現在では基礎研究だけでなくプラズマ流の計測・可視化技術も含めた応用研究が積極的に進められている。

本研究では、次世代のナノ情報デバイスの創製をはじめ、宇宙技術や他の産業応用に関連した分野間を越えた研究交流を積極的に図ることを目的とし、プラズマの流れが生み出す新機能性場についての基礎研究や応用研究に関する研究会を開催した。これまで様々な立場で研究が行われてきたプラズマ流の生成・制御法と、ナノ・バイオから核融合に至る広範囲な応用研究の情報交換を行い、お互いの特性の評価、理論的検討などを進め、関係する機能性場、反応場の高度化を進め、種々の応用研究へ適応することを目的として開催された。

以下に、本年度開催した研究討論会の概要を記す。

日　時：平成 26 年 2 月 19 日(水) 13:00 -18:00
　　2 月 20 日(木) 9:30 – 12:20

東北大学工学研究科 情報新棟 451・453 会議室にて、「プラズマ流による高機能性発現と反応場形成の基礎と応用」に関する研究会を開催した。発表題目と講師は以下の通りである。

(1) 池添竜也（筑波大学）
　『大型タンデムミラー装置 GAMMA10 における磁力線方向への粒子輸送』
(2) 上杉喜彦（金沢大学）
　『窒素／炭素を含む低温反応性プラズマを用いた水素同位体吸蔵の制御』
(3) 津守克嘉（核融合科学研究所）
　『NBI 用負イオン源内プラズマ』
(4) 佐々木徹（長岡技術科学大学）
　『パルスパワー装置を利用した高エネルギー密度状態の形成とその計測』

(5) 齋藤和史（宇都宮大学）
『コンプレックスプラズマにおける渦』
(6) 加藤雄人（東北大学）
『地球放射線帯での波動粒子相互作用とその直接観測』
(7) 鷹尾祥典（京都大学）
『超小型高周波イオン推進機の放電特性およびイオンビーム引き出し機構の解析』
(8) 小室淳史（東京大学）
『大気圧ストリーマ放電によって発生する衝撃波の生成機構について』
(9) 笠嶋悠司（産業技術総合研究所）
『量産用プラズマエッチング装置におけるパーティクルの突発的多量発生』
(10) 飯島貴朗（東海大学）
『シートプラズマを用いた応用的研究』
(11) 高橋宏幸（東北大学）
『高周波プラズマ源におけるヘリウムプラズマの体積再結合および分布計測』

［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，および大気圧プラズマを含むプロセスプラズマにおけるプラズマ流の生成技術と付随する高機能性現象の発現，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．

まず筑波大学の池添氏からは，大型タンデムミラー装置 GAMMA 10/PDX で進行中のダイバータ模擬実験の現状に関して報告があった．ここでは開放端部における粒子束密度の上昇という課題があり，追加粒子供給と位相制御アンテナを用いた効率的 ICRF 加熱を駆使し，主な閉じ込め領域の密度の大きな上昇，それに伴う $10^{23}m^{-2}s^{-1}$ を超える粒子束を達成できた．端損失粒子束の内，高速イオン成分に関しては古典的衝突によるロスコーン損失とは異なる輸送機構が存在し，自発励起波動が関与することが示唆されたとの報告がなされた．

金沢大学の上杉氏からは， SOL 領域を模擬した水素/重水素・メタン混合プラズマにおける窒素導入による炭素膜堆積と水素同位体吸蔵抑制効果の検討に関して報告・討論がなされた．ここでは，Si サンプル上に堆積した膜厚を比較した結果、窒素導入による膜堆積抑制効果は表面温度に強く依存し、360 K以上では窒素導入によって膜堆積が抑制される一方で，360K 以下の低温状態では窒素導入によって膜堆積が促進されたとの興味深い報告があった．また アルゴン、ヘリウム放電を用いた脱離実験において、窒素が添加されていた場合には放出される水素あるいは重水素量が減少し，堆積時の窒素導入による水素吸蔵抑制効果を示唆するデータが得られた。

核融合科学研究所の津守氏からは，大型ヘリカル装置（LHD）加熱のためのセシウム(Cs)添加型水素負イオン(H-)方式 NBI の開発状況に関する報告があった。高電力ビーム入射安定性の改善を目的とした，イオン源ビーム引出領域内プラズマの総合的・多角的計測実験を行っている。その結果，同領域では水素イオン性プラズマが観測され, Cs 添加時には生成表面機構が支配的になる H-密度が, 表面近傍だけではなく引出領域内の広い空間分布を持ち，ビームとして引き出されていることが新計測法 Hα CCD イメージング方によって明らかになった。また, 現在も明確でない H-引出界面の構造の解明に関連するビームレット計測を開始し，今後の計画について議論がなされた。

長岡技術科学大学の佐々木氏からは，様々なプラズマパラメータの高エネルギー密度プラズマ発生法と理工学的動向について概説があり，その応用や関連現象に関して討論がなされた．またその計測技術の開発状況に関しても報告があった。

宇都宮大学の斎藤氏からは，円柱状の rf プラズマに 1 kG 程度の磁場を印加した状態で，微粒子として直径 3μm のアクリル球を多数導入しコンプレックスプラズマを形成したところ, 実験条件によって, 微粒子は，2 次元的な薄い円盤や 3 次元的な厚みのある円盤(いずれも微粒子は水平面内で回転運動), 上方に向けて微粒子が吹き出す円盤(微粒子はヘリカルな運動)などの種々の渦構造を形成することが明らかになったとの報告があり，その形成機構に関する考察と議論がなされた。

東北大学の加藤氏からは，地球放射線帯の生成・消失過程の解明を目的とする衛星計画 ERG（Exploration of energization and Radiation in Geospace）が、2015 年度の打上を目標に開発が進められており, その開発状況に関する報告があった。ERG 衛星には、プラズマ波動ー粒子間相互作用におけるエネルギー交換量の直接計測をねらう装置が搭載される。装置の計測原理について、ERG 衛星の概要とあわせて紹介があり，その有用性について報告があった。

京都大学の鷹尾氏からは，重量 50kg 以下の超小型人工衛星をより有効活用するために有用である、軌道・姿勢制御を行う超小型推進機（マイクロスラスタ）の開発に関する報告があった。ここでは、誘導結合プラズマ源を用いた超小型高周波（RF）イオン推進機を対象とし、様々な放電条件（ガス流量・圧力、RF 電力、周波数）に対して、シングルプロー

ブによるイオン源の電子密度・温度測定、ビーム電流測定、粒子計算（PIC/MCC: Particle-in-Cell/Monte Carlo Collisions 法）の結果紹介がなされた。また計算結果と計測結果の比較，およびその解釈に関して紹介があった。

東京大学の小室氏からは，大気圧ストリーマ放電のモデリングに関する研究報告があった．大気圧ストリーマ放電は汚染ガス処理やがん治療など、様々な応用技術の開発が進められているが、その物理機構は未だ完全には解明されておらず、適切なシミュレーションモデルが確立されていないため，大気圧ストリーマ放電のモデリングを行い、実験結果との比較を繰り返すことで、正確に現象を再現できるようなシミュレーションモデルの開発を目指しており，特にガス加熱現象に着目することで，実験結果をよく再現できるとの報告があり，その重要性に関して議論がなされた。

産業総合技術研究所の笠嶋氏からは，半導体量産ラインの中でも歩留り低下を引き起こすとされているプラズマエッチング工程でのパーティクル検出技術，およびその発生メカニズムに関する報告があった．ここでは、電場応力が撃力として作用し、パーティクルが突発的多量に発生し得るというメカニズムが明らかになった。

東海大学の飯島氏からは，シートプラズマを用いた高速プラズマ流の形成に関する研究報告があった。ここで発生可能な高速プラズマ流を，核融合ダイバータ模擬実験，電気推進機，負イオン源へと応用するための研究開発状況が紹介された。特にシートプラズマの周辺近傍における水素負イオン密度の上昇など，興味深い構造形成が紹介された。

東北大学の高橋氏からは，高エネルギーイオンビーム入射による核融合プラズマダイバータ模擬実験へ向けた高周波プラズマ源 DT-ALPHA の装置開発状況に関して紹介があった。比較的低い RF パワーおよびガスパフ量の下でのプラズマ空間分布計測結果の報告があり，プローブの局所データを用いた発光強度分布の再構成により、電離進行成分がプラズマ柱に渡り分布する一方で再結合成分はプラズマ周辺部に局在化することが明らかになった。この局在化の原因を検討するため RF 補償プローブによる電子エネルギー分布関数計測を行い，得られた結果に関する議論が行われた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究会では、材料開発から環境改善、そして宇宙推進や核融合研究にいたるまで、様々な産業への応用が展開されつつあるプラズマ流に関する話題と研究成果が報告され、討論が行われた。

本研究会でも議論されたように、宇宙開発や核融合研究など長期にわたる着実な研究の展開にとってもプラズマ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、それとともに電場形成や構造化など新規現象が発現している。本研究会では、これらのプラズマの流れ場形成や、関連した複雑な挙動、加速、加熱、計測手法などについて議論や情報交換を行い、普遍性のある物理現象の理解を進めることが出来た。

プラズマの流れが生み出す様々な高機能性の発現と反応場における基礎現象を総合的に理解し、その応用展開についても紹介があり、共通の認識・課題設定を深めることが出来たことは、今後の技術融合や研究進展に対して大きな成果であった。本研究会活動を基点として、プラズマの流れが生み出す新機能性の発現と反応場の基礎研究および応用分野において、今後ますます研究の発展・理解につながることが期待される。

［４］成果資料

(1) K. Ikeda, H. Nakano, K. Tsumori, et al., Rev. Sci. Instrum. **85**, 02A724 (2014)
(2) Katoh, Y. and Y. Omura, J. Geophys. Res. Space Physics, **118**, 4189 (2013).
(3) Y. Saitou and O. Ishihara, Phys. Rev. Lett. **111**, 185003 (2013).
(4) A. Sasaki, Y. Takai, Y. Uesugi, Y. Tanaka, T. Ishijima, and S. Masuzaki, J. Nucl. Materials, **438**, S1092 (2013).
(5) R. Ikezoe, M. Ichimura, M. Hirata, et al. Nucl. Fusion **53**, 073040 (2013).
(6) T. Sasaki, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, **733**, 28 (2014).
(7) Y. Takao, K. Eriguchi, and K. Ono, J. Appl. Phys. **112**, 093306 (2012).
(8) A. Komuro, R. Ono, and T. Oda, J. Phys. D: Appl. Phys., **46**, 175206, (2013).
(9) Y. Kasashima, N. Nabeoka, and F. Uesugi, Jpn. J. Appl. Phys. **52**, 066201 (2013).
(10) H. Takahashi et al., Fusion Sci. Technol. **63**, 1T, 404 (2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号 H24/B03

知的ナノ集積システムの課題と展望

［1］組織
代表者：早川吉弘（仙台高等専門学校）
責任者：中島康治（東北大学電気通信研究所）
分担者：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）
小山内実（東北大学大学院医科学研究科）
佐藤茂雄（東北大学電気通信研究所）
早川美徳（東北大学教育情報基盤センター）
矢内浩文（茨城大学工学部）
雨宮好仁（北海道大学工学部）
浅井哲也（北海道大学工学部）
原田知親（山形大学工学部）
廣瀬明（東京大学大学院工学研究科）
堀尾喜彦（東京電機大学工学部）
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）
林初男（九州工業大学大学院生命体工学研究科）
和久屋寛（佐賀大学理工学部）
引原隆士（京都大学工学部）
上田哲士（徳島大学工学部）
西尾芳文（徳島大学工学部）
赤羽秀郎（茨城大学工学部）
石田文彦（富山高等専門学校専攻科）
荒木　修（東京理科大学理学部）
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情報科学科）
金城光永（琉球大学工学部電気電子工学科）
水柿義直（電気通信大学大学院情報理工学研究科）
丹野航太（東北大学金属材料研究所）
延べ参加人数：64 人
研究費：校費50万円，旅費44万1千円

［2］研究経過

本プロジェクトの目的は、新たな情報処理システムを原理的な観点から追求することである。そのシーズは生物神経系の実験的研究のモデルとして得られる脳の情報処理原理を活用したアクティブなシステムと量子計算であり、その融合をも視野に入れるものである。その可能性の理論的検討を行い、そこで得られた知見をハードウェア試作により実践的な検証を試みる。ハードウェアとしては従来どおり半導体（シリコン）と超伝導体（ニオブ）ベースの集積回路を対象とする。

これまでの実践的および理論的研究によってニューラルネットワークの可能性について様々な事実が蓄積されてきており、応用へと発展する成果も得られてきている。しかしながら本質的には、緩い意味で「人間とコンピューターでは得意課題が排他的である」という程度の理解しか未だ得られていないのも事実である。それは、ひとつには超並列的なデータを処理するアーキテクチャーが未だに明確になっていないこと、そもそも膨大な並列データの取捨選択方法が未知であることが理由である。実験、理論、実践を通して現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、新たな知的情報処理システムの基礎を築くばかりでなく、その実践的応用を進める上での現状の課題・展望を明らかにし、次のプロジェクト研究へのステップアップの準備研究会と位置づける。

本プロジェクトは，本年度が２年目にあたり，広範囲な脳機能・脳型計算機関連分野の研究者と現状の問題点について情報共有をすることを目的に、平成26年2月21日~22日の通研シンポジウムとの共催の形で研究会を実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである(発表順)。

【The 2nd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer】

Nanoelectronic devices and -materials for neuroscience
Offenhäuser, Jüelich research center, Germany

Intrinsic activity of defined neuronal networks in culture
H. Yamamoto, T. Tanii, Waseda Univ., Japan

The number of astrocytes is critical for the synaptic transmission in a single cultured neuron
S. Katsurabayashi, T. Hoshiyama, S. Iwamoto, Y. Aonuma, N. Kubo, M. Kubo,K. Takasaki, K. Kubota, K. Mishima, M. Fujiwara, M. Niwano, K. Iwasaki,
Fukuoka Univ., Japan

A role of activity-dependent competition in regulating the critical period of cortical plasticity
S. Kubota, I. Sakurai, M. Niwano, Yamagata Univ., Japan

Chaotic Boltzmann machines: Deterministic implementation of stochastic neural networks
H. Suzuki, Univ. of Tokyo, Japan

Resilient and energy efficient memories based on neuro-inspired codes
V. Gripon, Télécom Bretagne, France

Hippocampal EEG activity of freely behaving mouse in the virtual environment
N. Katayama, K. Hidaka, T. Araya, A. Karashima, M. Nakao, Tohoku Univ., Japan

Network mechanisms of high-frequency oscillation in the hippocampus
H. Kamiya, Hokkaido Univ., Japan

Microfabricated silicon chips for recording hERG channel activities
Hirano-Iwata, Y. Ishinari, Y. Kimura, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan

Simulation of oculomotor control and learning by a large scale spiking cerebellar neuronal network model
K. Inagaki, Y. Hirata, Chubu Univ., Japan

Dynamical simulation of retinal ganglion cell responses to natural scenes
T. Yagi, T. Sanada, H. Okuno, R. Ishida, J. Hasegawa, N. Nakashima,
Osaka Univ., Japan

Holistic pattern processing in large-scale cortical network models
P. Herman, Royal Institute of Technology, Sweden

Silicon neuron using stochastic logic
S. Sato, K. Nakajima, H. Akima, M. Sakuraba, Tohoku Univ., Japan

[3]成果

（３－１）研究成果

既存のコンピューターは、そのままでは人間と同等の知的情報処理をするには不十分であることが明確になってきた。また、脳のモデルであるニューラルネットワークも、理論は徐々に発展しているものの決定的な技術には成熟していない。そこでこのプロジェクト研究では、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学の広い分野の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成することで、具体的問題へ応用するための基礎概念や構成法の理解が進むと期待している。

今年度は具体的な問題への応用を目指す方向で成果を得ることが出来た。

最初にニューロシステムを用いた組合せ最適化問題の解探索においては、原理的には高速であるがシミュレーション等の実計算においては速度低下の問題解決が望まれているが、この問題に対して新しいニューロンモデルの提案、及び単一ネットワークシステムに問題を埋め込む従来手法から複数のネットワークの協調動作を利用する手法への切り替えによって、従来の約 10 倍の問題サイズまで計算が可能となった。さらに、FPGA を用いたシステムの開発によりハードウェア化についても一定の成果を得ることができた。

また、具体的な応用問題として、災害等で通信インフラが破壊された条件下でも通信路を確保するルーティングスケジュール決定手法へのニューラルネットワークシステムの適用による成果も得ることができた。特に、ノードとシンク間を往復動作によるパケットルーティングと巡回型パケットルーティングを適応的に切り替えて解を生成可能なニューラルネットワークシステムを提案することができた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにでは、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学等に幅広い分野の研究者の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成しているため、「International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications」をはじめとする様々な分野の国際会議においてその成果を発信することができ、現コンピューターでは克服しきれない知的処理の課題を補間する近未来の情報システムの議論の場所を作り上げることができたと考えている。そのために本プロジェクト研究の成果は、学術的あるいは技術的に、これまで克服困難であった人間らしい知的情報処理を克服する方向を示すと同時に、現コンピューターでは克服しきれない知的処理の課題を補間する役割を果たし、我々が必要とする近未来の情報システムの基礎となる成果を発信できたと考える。

［4］成果資料

1. “Characteristics of rf-SQUID Ladder Circuits,” Y. Tsuji, T. Onomi, and K. Nakajima, Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2013, pp.60-63, Tsukuba, Japan, Nov. 2013.
2. “Comparative Study of SFQ Parallel Multipliers,” A. Yamada, T. Onomi, and K. Nakajima, Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2013, pp.78-81, Tsukuba, Japan, Nov. 2013.
3. “FPGA による高次結合離散 ID ニューラルネットワークの実装”、電子情報通信学会 2013 年総合大会、A-2-27、2013 年 3 月、松井孝輔、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
4. “逆関数ゼロ遅延(IDL)ネットワーク”、電子情報通信学会 2013 年総合大会、A-2-29、2013 年 3 月、渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
5. “高次結合逆関数遅延ネットワークを用いた DTN スケジューリングの最適化”、電子情報通信学会 2013 年総合大会、A-2-30、2013 年 3 月、佐々木大輔、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
6. “SFQ 高速並列乗算器における部分積加算回路の比較”、電子情報通信学会 2013 年総合大会、C-8-2、2013 年 3 月、山田朗文、小野美武、佐藤茂雄、中島康治
7. “平坦な入出力特性を持つ超伝導ニューロン回路の設計と試作”、 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、28a-PB1-27、2013 年 3 月、小野美武、中島康治
8. “高次結合逆関数遅延ネットワークによる DTN ルーティング手法”、電子情報通信学会 2013 年ソサエティ大会、A-2-2、2013 年 9 月、佐々木大輔、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
9. “逆関数ゼロ遅延モデルによる連想記憶の性能評価”、電子情報通信学会 2013 年ソサエティ大会、A-2-10、2013 年 9 月、蒋靖、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
10. “DS-net における逆関数ゼロ遅延(IDL)モデルの有効性”、電子情報通信学会 2013 年ソサエティ大会、A-2-11、2013 年 9 月、渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
11. “SFQ 高速並列乗算器における各種構成回路の比較”、電子情報通信学会 2013 年ソサエティ大会、C-8-11、2013 年 9 月、山田朗文、小野美武、佐藤茂雄、中島康治
12. “DS-net とアクティブニューロンモデルの有効性の検討”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-102 , pp. 159-164, Oct. 2013, 早川吉弘、奥田光、渡邊裕斗、中島康
13. “GPU を用いた高機能ニューラルネットワークの高速計算”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-103 , pp. 165-168, Oct. 2013, 丹野航太、早川吉弘
14. “ニューラルネットワークによる DTN ルーティング手法”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-136 , pp. 41-44, Jan. 2014, 佐々木大輔、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
15. “DS-net と IDL モデルを用いた最適化問題解探索”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-137 , pp. 45-50, Jan. 2014, 渡邊裕斗、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
16. “逆関数ゼロ遅延モデルを用いたニューラルネットワークの学習”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-142 , pp. 73-76, Jan. 2014, 堀内優太、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治
17. “広い引き込み領域を持つ神経回路連想記憶のハードウエア化に関する研究”、電子情報通信学会非線形問題研究会、NLP2013-147 , pp. 99-102, Jan. 2014, 蒋靖、早川吉弘、佐藤茂雄、中島康治

採択回数	1　②　3

採択番号　H２４／B０５

災害復興エンタテインメントコンピューティング

［1］組織

代表者：北村 喜文
（東北大学 電気通信研究所）
対応者：北村 喜文
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
足立 智昭（宮城学院女子大学 発達科学研究所／震災復興 心理・教育臨床センター代表）
小谷 英文（国際基督教大学 高等臨床心理学研究所　震災復興 心理･教育臨床センター 臨床オーガナイザー）
西川 昌弘（国際基督教大学 高等臨床心理学研究所）
柏岡 秀紀（独立行政法人情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所）
森島 繁生（早稲田大学 先進理工学部）
野間 春生（株式会社国際電気通信基礎技術研究所）
坂本 大介（東京大学大学院 情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻）
米澤 朋子（関西大学 総合情報学部）
伊藤 雄一（大阪大学 ウェブデザインユニット（大学院情報科学研究科兼務））
安藤 英由樹（大阪大学 大学院情報科学研究科）
寺田 努（神戸大学 大学院工学研究科）
平井 重行（京都産業大学）
金高 弘恭（東北大学 大学院歯学研究科）
伊藤 彰則（東北大学 大学院工学研究科）
高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

研究費：物件費 50,000 円，旅費 319,000 円

［2］研究経過

エンタテインメントは，人々の心に豊かさを与え幸せにするものとして，私たちの生活の中に浸透している． これを，情報通信の技術を用いてその魅力をさらに高め，可能性を広げようとする研究がエンタテインメントコンピューティングである．この新しい研究成果を活かして，被災地の創造的復興につなげるとともに，今後， 世界中でいつ起きるかもしれない災害にも対処できるように，さまざまな分野の研究者や企業の方と協力しあいながら，いろいろな知見を蓄えようとするのが目的である．本年度は心理療法としてプレイセラピィ（遊戯療法）の中でよく用いられる積木に関して，共同研究プロジェクトを具体化させるための研究会を平成 26 年 2 月 5 日と 6 日に開催し，積木を使った遊戯療法のワークショップと研究成果のデモンストレーションを行って議論をした．

［3］研究成果

（3－1）研究成果

積木は古くから最も幅広く普及している玩具の 1 つである．それで遊ぶことによって，子供は想像力を豊かにし，空間知覚能力を養い，他者との社会的関係も学ぶことができる．その遊びには子供の心理状態や発達状態を表すとも言われており，それゆえ，心理療法としてプレイセラピィ（遊戯療法）等にもよく用いられてきた．訓練された治療者（セラピスト）は，子供が積木で遊ぶ様子を観察することによって，その子の心の状態を推し量ることができる．加えて，適切に遊びを誘導することによって，心理状態を改善する方向に向かわせることもできる．しかし，ここでの観察からの心理状態の推定では治療者の主観を完全に排除することは非常に困難であるため，治療者による判断にばらつきが生じてしまうことも少なくない．そこで，何らかのセンサ等で計測・収集したデータに基づいた客観的な心理状態の推定手法が切望されている．

先の大震災で津波の被害を受けた子供たちの中には，ストレス障害の症状が見られる例も多かった．震災直後数か月の間には，幼児が険しい顔つきで積木を積んでは崩すという津波・地震遊びを繰り返し行うという例が，本共同プロジェクトの分担者である足立のもとに多数報告された．これは，様々なきっかけで想起される恐怖体験の情動表出としての行動と考えられた．また，この積木遊びは恐怖の感情を徐々に開放することに役立ち，治療的な役割も果たすことになった．このように，積木遊びは，心的ストレスを被った子供の状態を知り，さらに彼らに対する心理的ケアを考える上で，非常に重要なツールと成り得ることを示している．

そこで，積木に複数のセンサを実装することによ

って，子供が積木で遊ぶ最中の様々なデータを子供に負担をかけない方法で計測し，そのデータを解析して遊びの過程を認識するとともに子供の心理状態を客観的に推定して可視化することができれば，効果的であろうという結論に至った．そのために必ずしも多種のセンサを最初から実装する必要もなく，限定された種類のセンサを実装した積木を試作することによって，子供の積木遊びの過程をどの程度まで認識できるかのフィージビリティスタディを行うところから始めてもよいのではないかと考えられる．その結果を受けて，センサの数を増やした複合センサ積木の試作を開始する．これは，積木の重ね方や並べ方といった静的なイベントだけではなく，子供の積木のつかみ方，動かす軌跡や速度，置き方，崩し方，といった，子供の心理状態が最も顕著に表れる遊びの詳細な過程を認識することを目的としている．さらに，医師や臨床心理士の管理下で，実際の遊戯療法の現場で，様々な心理状態の子供たちが遊ぶ中のデータを計測・収集し，それらを解析することで，心理状態を認識する手法を検討する．さらにその結果を適切に可視化して表示する方法も検討するというシナリオが良さそうである．

そのような検討の結果，積木の各面間で手指などが接触している箇所や，自由に置かれた積木同志が重なったり接触したりしている領域を検出して積木の全体形状の認識を行うために，赤外線を用いた接触認識手法の検討を開始した．具体的には，赤外線LED とフォトトランジスタを積木の各面に敷き詰め，赤外線の受光状態を利用して積木の面同志の重なりと面内の手指の接触認識する手法である．今後，実装を進めたいと考えている．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の結果，遊びの過程や心理状態を認識する積木ができれば，遊戯療法の治療者に客観的な情報を与え，診断や治療のサポートをすることができる．さらに，医師や心理療法士に負担をかけることなく，家に居ながらにしていつでも我が子の心の状態を知ることもできる．

本研究は，今後，　世界中でいつ起きるかもしれない災害にも対処できるように準備を始めるとともに，今後ますます深刻さを増すストレス社会に対応することにも効果的であると思われる．さらに，認識した遊びの過程と心理状態に応じてコンピュータが何らかのレスポンスを利用者に返す知的ユーザインタフェース構築へのきっかけとして，幅広い研究開発につながることも夢見ている．



積木による遊戯療法のワークショップ



研究会での議論

［4］成果資料

- 安藤正宏，細井俊輝，中島康祐，高嶋和毅，伊藤雄一，足立智昭，尾上孝雄，北村喜文，"StackBlock: 積み重ね形状構築を可能とするブロック型デバイス"，情報処理学会 インタラクション 2014, pp.135-142, Mar. 2014.
- 安藤正宏，細井俊輝，中島康祐，伊藤雄一，北村喜文，尾上孝雄 "ブロック型デバイスのための赤外線を用いた積み重ね形状認識におけるブロック間距離の影響に関する検討"，日本バーチャルリアリティ学会研究報告，Vol.18，No.CS-4, pp.11-14, Nov. 2013.
- 安藤正宏，細井俊輝，中島康祐，伊藤雄一，北村喜文，尾上孝雄 "積み木型ブロックデバイスのための赤外線による積み重ね認識手法に関する検討"，ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.15, No.7, pp.125-128, Sep. 2013.

採択回数	1　②　3

採択番号　Ｈ２４／Ｂ０６

アジア太平洋地区における HCI 分野の新学会設立

［1］組織

代表者：北村 喜文
（東北大学 電気通信研究所）
対応者：北村 喜文
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
Gaurav Bhargva (ABB Corporate Research Center)
Anitawati Mohd Lokman (Universiti Teknologi MARA (UiTM) Malaysia)
I Putu Gede Adiatmika (Udayana University)
N Adiputra, MOH (Udayana University)
I Wayan Surata (Udayana University)
Seongil Lee (Sungkyunkwan University, Korea)
Woontack Woo (KAIST)
Fang You Sun (Yat-sen University)
JianMin Wang (Sun Yat-sen University)
Zhengjie Liu (Dalian Maritime University)
Shengdong Zhao (National University of Singapore)
Henry Duh (National University of Singapore)
LIM Kee Yong (Human Centered Analysis & Design Pte Ltd)
任 向実 (高知工科大学)
黒須 正明 (放送大学)
葛岡 英明 (筑波大学)

延べ参加人数：約 150 人
（公開のパネル討論参加者を含む）

研究費：物件費 6,000 円，旅費 605,000 円

［2］研究経過

ACM (Association for Computing Machinery) の SIGCHI (Special Interest Group on Computer Human Interaction)が，アジア太平洋地域の HCI 分野の研究活動を活性化する方策を話し合うためのワークショップを 2011 年 3 月 25 日～27 日に北京で企画し，この地域の各国から研究者を 2～3 人ずつ招聘した. 10 カ国から 26 人が集まり，SIGCHI の EC (Executive Committee) 6 名と一緒に会合を持った．ここで主に話し合ったのは，各国の HCI 分野の学界，産業界，教育などの現状に関する意見交換，今後のこの分野の発展の可能性や問題点，地域の HCI のコミュニティがこれまでに果たしてきた役割は何か，SIGCHI のような組織がこの地域に対してできることは何か，といった内容であった．この 3 日間のワークショップでの議論でいくつかの点があらためて明らかになり，各国の研究者間で共有された．そして，参加者達は次第に，この地域の HCI の研究者が互いにリソースや経験を共有しながら協力しあうことはできないだろうかと考えるようになった．そこで，2011 年 3 月に北京に集まった 26 名を中心として，約 35 名が電子メールなどでディスカッションを始め，2012 年度までに，上記の北京を含めて，表 1 の(1)～(7)に示す計 7 回の顔を合わせての会合をこれまでに持った. 2013 年度は, (8)～(12)の 5 回の会合を持った.

表 1: これまでの会合

(1)	2011 年 3 月 25～27 日	中国　北京
(2)	2011 年 5 月 8 日	カナダ　バンクーバー (CHI に合わせて)
(3)	2011 年 12 月 2～3 日	中国　昆明
(4)	2012 年 4 月 2～3 日	中国　北京
(5)	2012 年 5 月 6 日	米国　オースチン (CHI に合わせて)
(6)	2012 年 8 月 31 日	日本　松江 (APCHI に合わせて)
(7)	2013 年 2 月 2～4 日	日本　仙台
(8)	2013 年 4 月 27 日	フランス　パリ (CHI に合わせて)
(9)	2013 年 8 月 9 日	日本　京都
(10)	2013 年 10 月 19～20 日	日本　仙台
(11)	2013 年 11 月 22 日	中国　香港 (SIGGRAPH Asia に合わせて)
(12)	2014 年 2 月 27 日	日本 東京 (情報処理学会インタラクションに合わせて)

［3］研究成果

（3－1）研究成果

ヒューマンインタフェースやヒューマンコンピュータインタラクションなどと呼ばれる分野では，何らかの形で人と技術の関係を調べることが基本的な研究テーマの一つであるが，こうした研究の成果を，世の中に役立つものとして確実に還元（たとえば人々の生活の質や満足感の向上につなげるなど）するためには，新しいアイデアや技術に基づいて実際に稼働するもの（システムやサービスなど）を試作して，人に使ってもらい試してみるといったスタイルの研究推進の方法がよくとられる．このような研究の中で生み出される研究試作物は，インタラクティブ技術の研究遂行にとっては特に必要不可欠なものであり，学術集会などの中で併設されたデモのプログラムなどの機会によって，世の中の多くの人に体験してもらうことが，研究推進の原動力となっていることが多い．

インタラクティブ技術の研究推進のためには，研究成果を発表する一つの大切なスタイルとして，デモは不可欠である．研究試作物のデモを体験したり使ったりすることで，人々は，技術の進歩を実感し，未来の生活を思い描き，また，さらに新しいより良いアイデアを思いついたりすることができる．またこのような研究を通して，新しい技術が生み出されるだけでなく，そのための理論の構築や，机上の研究だけでは得られにくいシステム指向の研究が推進され，さまざまな現場で役に立つ実工学といったものも展開される．そして研究者にはさまざまなノウハウや知識，方法論などが蓄積され，さらには職人魂までも育まれる．

この分野は，もともと人を相手にする学問技術分野である以上，論文の生産性は他の工学分野などと比べると低くなりがちである．そのため，そもそも論文数だけで比較されると我々の分野は不利で，そのため他から見ると実際よりも弱小な分野と思われている感もある．加えて，研究試作物を多くの人に体験してもらうデモシステムとして完成度を上げ，数日以上もの間説明もしながらそれを連続稼働させる（さらにデモをしながら日々内容を進化させる場合も少なからずある）ことは，研究者やグループの多大なエネルギーを消費させ，さらに論文生産性を下げる要因となってしまう．こうなると，優秀な若手研究者の中には，インタラクティブ技術の研究，さらにヒューマンインタフェースやヒューマンコンピュータインタラクションの分野を避けようとする者が増えてしまうような負の連鎖が生じてしまう危機的な事態も起こりうる．

この分野で，これまで論文になりにくいからという理由で扱われなかった課題にも，重要な研究テーマは多く残っているだろう．そこで，「人」に関わる研究分野にある程度共通する対象として，人の体験や経験（エクスペリエンス）を中心に据えた研究の推進と，それに学術的権威を与えて加速させるための研究成果の発表活動を支える学会や学術集会の仕組みを作るべきだという結論に至った．まだ具体的な定義は議論中であるが，我々人間が遭遇するさまざまな体験こそが大事なのであり，それをどのようにより良くするかといったことを議論できるような仕組みや場が，今，必要のではないかと考えている．そういった研究のことを，エクスペレンシャルインタラクション（experiential interaction）と呼ぶことにする．

これまでにも，人の体験や経験を，従来通りの文字媒体による論文形式でまとめて発表するような例はあったが，やはり記述や表現が不完全になりがちで，困難が付いて回っていた．人の体験や経験を記録して他人に伝え，議論可能な形にするためのメディアは，将来的にはもっと適したものが登場するかもしれないが，現時点でその可能性が最も高いメディアは，ビデオではないかと考える．そこで，エクスペレンシャルインタラクションの研究では，ビデオを中心に活用した研究成果の発表と，それに対する権威付けの仕組みを整える必要があると思われる．簡単に言えば，従来の論文の代わりになるものをビデオで作ろうという訳であるが，ビデオで論文に匹敵する（または越える）論理性やリファレンスなどの情報をいかに盛り込むかや，物理的やコンテンツ的にどのように，またどの程度のルールや拘束を与えるか等，議論しなければいけない事項は少なくないと思うが，検討の価値はあるように思う．すでに一般の科学の分野でもビデオジャーナルのようなものもいくつか出始めているが，それらを参考にしながら，この分野に有効な方法を確立できればと考えている．

さらに，何らかの価値基準を設けて査読を行う体制も整える必要がある．エクスペレンシャルインタラクションの研究の良し悪しや，ビデオによる研究内容の表現方法の良し悪し等の基準を設ける必要がある．これは，研究に対する権威をどう与えるかという議論であり，学会などの研究コミュニティが果たすべき役割であると考える．これこそが我々が行うべきものであろう．まただ，こうしたニーズはアジアに留まるものではないので，他の地域も含めた国際的な議論ができればと思う．

（3－2）波及効果と発展性など

このような委員内での議論の結果を踏まえ，一般の研究者の意見や考えを聞くため，パネル討論形式で，多くの人々と意見交換する機会を 2 回持った．1 つは 2013 年 11 月 22 日に，中国の香港で開催された SIGGRAPH Asia の会場内であった．2 度目は，東京で開かれた情報処理学会シンポジウム「インタラクション」の会場内であった．

会場の意見は総じてポジティブで，こうした考えを歓迎して受け入れられたように思う．そうした中，ビデオを用いた論文の代わりの役割を果たすものを Vaper と呼ぶことにし，それを用いて研究成果を共有する方法をデザインしてゆくことが，この分野の発展にとって大切なことであろうという考えが共有された．

［4］成果資料

研究会における議論に関連する文献をあげる．

1） 北村 喜文: エクスペリエンシャルインタラクション ― 論文化しにくい人の経験や体験に焦点を当てた研究，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 15, No. 4, pp. 295-298 （発行日: 2013 年 11 月 15 日）

2） Panel Discussion: Future of Communicating Research http://sa2013.siggraph.org/en/attendees/emerging-technologies.html?view=session&type=etech&sessionid=202

3） パネル討論：HCI 研究成果の研究者コミュニティでの新しい共有法 http://www.interaction-ipsj.org/2014/event.html



2013 年 11 月に開催したパネル討論
（香港で開かれた SIGGRAPH Asia の会場内）



2014 年 2 月に開催したパネル討論の様子
（東京で開かれた情報処理学会シンポジウム「インタラクション」の会場内）

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

H２４／B０７

酸化物表面の機能化とナノ・デバイスへの応用

［1］組織

代表者：荻野　俊郎
（横浜国立大学大学院工学研究院）

対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
越田　信義（東京農工大学大学院共生科学技術研究部）
立間　徹　（東京大学生産技術研究所）
玉田　薫　（九州大学先導物質化学研究所）
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）
嘉数　誠　（佐賀大学大学院工学系研究科）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学大学院医工学研究科）

研究費：物件費５万０千円，旅費３０万５千円
延べ参加人数227名

［2］研究経過

酸化物は，透明電極やトランジスタ，ガスセンサ，色素増感太陽電池等様々なデバイスに利用されており，絶縁体としてのみならず，半導体として電子デバイスになくてはならない材料となっている。ガスセンサや色素増感太陽電池では，分子の吸着構造やナノ構造体の形状が性能に大きな影響を及ぼす。また，酸化物半導体ナノ構造体の微細化・集積化が実現されれば，ガスセンサの低消費電力化，冗長化による高機能化により，医療用臭気センサなどへの応用が期待される。これらを実現するためには，ナノ構造体の制御が重要である。また，酸化物表面構造を制御，機能化することによってバイオセンサ等の新規センサの開発も期待される。以上のように，酸化物半導体ナノ構造を利用したデバイスは，その表面制御，ナノ構造制御が重要である。そこで，本研究では，酸化物半導体を中心としたナノ構造体を利用した電子デバイスを構築するための基盤技術を開発するために，半導体工学やナノテクノロジー，表面科学，触媒，電気化学，医工学といった幅広い分野の研究者が協力して酸化物表面制御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。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であり，電子工学，光電気化学，医療応用等，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合同シンポジウムを共催した。以下に，その合同シンポジウムのプログラムを付記する。

The 2nd 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：平成 26 年 2 月 21 日（金）－22 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

A.Offenhäuser (Jüelich research center, Germany), “Nanoelectronic devices and –materials for neuroscience”.

H. Yamamoto (Waseda University, Japan), “Intrinsic activity of defined neuronal networks in culture”.

S. Katsurabayashi (Fukuoka University, Japan), “The number of astrocytes is critical for the synaptic transmission in a single cultured neuron”.

S. Kubota (Yamagata University, Japan), “A role of activity-dependent competition in regulating the critical period of cortical plasticity”.

H. Suzuki (University of Tokyo, Japan), “Chaotic Boltzmann machines: Deterministic implementation of stochastic neural networks”.

V. Gripon (Télécom Bretagne, France), “Resilient and energy efficient memories based on neuro-inspired codes”.

N. Katayama (Tohoku University, Japan), Hippocampal EEG activity of freely behaving mouse in the virtual environment”.

H. Kamiya (Hokkaido University, Japan), “Network mechanisms of high-frequency oscillation in the hippocampus”.

○ A. Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan) , “Microfabricated silicon chips for recording hERG

channel activities”.
K. Inagaki (Chubu University, Japan), “Simulation of oculomotor control and learning by a large scale spiking cerebellar neuronal model”.
T. Yagi (Osaka University, Japan), “Dynamical simulation of retinal ganglion cell responses to natural scenes”.
P. Herman (Royal Institute of Technology, Sweden), “Holistic pattern processing in large-scale cortical network models”.
S. Sato (Tohoku University, Japan), “Silicon neuron using stochastic logic”

The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会
日時：平成 26 年 3 月 5 日（水）－7 日（金）
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

P. Schmuki (University of Erlangen, Germany), “Self-organized TiO_2 nanotube arrays: Latest features and applications”,
R. Kojima (Tohoku University, Japan), “Formation of an anodic titanium oxide nanotube film and its application to a front-illuminated dye-sensitized solar cell”.
T. Ma (Tohoku University, Japan), “Fabrication of highly ordered structure in TiO_2 nanotubes for hybrid solar cells”
○Y. Kimura (Tohoku University, Japan), “Metal-supported titanium oxide nanotube micro gas sensors”.
○N. Koshida (Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan), “Functional Applications of Nanostructured Silicon”.
N. Liu (University of Erlangen, Germany), “Reliable Metaldeposition into TiO_2 Nanotubes and Use in Interdigitated Electrode Structures”.
T. Kato (Tohoku University, Japan), “Growth and functionalization of low-dimensional nanocarbons by advanced plasma processing”.
○T. Ogino (Yokohama National University, Japan), “Self-Shaping Deposition of Monolayer Graphene Oxide Flakes on Chemically Modified Surfaces”.
R. Rosenberg (Argonne National Laboratory, USA), Interaction of spin polarized electrons with adsorbed chiral molecules: reactions and transport”.
T. Tsunoda (Tohoku University, Japan), “Excitation of light emission by electron tunneling in the THz spectral range”
○Y. Nishina (Okayama University, Japan), “Tunable preparation of graphene oxide and its metal nanoparticle composites”.
F. Hirose (Yamagata University, Japan), “Room temperature atomic layer deposition of oxide films on flexible materials”.
B. Wolfrum (Forschungszentrum Jülich, Germany), “Tools for chip-based recording and stimulation of neuronal network activity”.
○A. Hirano-Iwata (Tohoku University, Japan), “Microfabricated Si chips with integrated hERG channels as a platform for drug safety screenings”.
A. C. H. Yu (University Hong Kong, China), “On the Science of Sonoporation: Biophysical Dynamics and Subcellular Impact”.
S. Umemura (Tohoku University, Japan), “Roles of High-Speed Imaging in Ultrasound-Guided HIFU Treatment”.
H. Hasegawa (Tohoku University, Japan), “High Frame Rate Ultrasonography for Measurement of Tissue Dynamics”.
T. Katagiri (Tohoku University, Japan) , “Fabrication of fiber optic biosensor based on surface-enhanced Raman scattering”.
M. Kawashita (Tohoku University) , “Osteoblast and macrophage response to hydroxyapatite and alpha-type alumina adsorbed with bovine serum albumin”.
T. Yoshinobu (Tohoku University, Japan), “Recent developments and applications of the chemical imaging sensor systems”.

［3］成果
（3－1）研究成果
本プロジェクト研究では, 太陽電池やガスセンサ, バイオセンサなどの酸化物半導体を中心としたナノ構造体を利用した電子デバイスを構築するための基盤技術を開発することを目的としている。本技術が開発されれば, 人が出す臭いから病気を診断することができる携帯型医療用臭気センサなどの実現に寄与でき, 電子デバイス分野のみならず医療分野への貢献が期待される。本プロジェクト研究で共催した合同シンポジウムでは, 酸化グラフェンの大量合成技術とその応用等の酸化グラフェン関係の発表や, 陽極酸化を利用した酸化チタンナノチューブ形成技術とそのナノチューブ内への金属ナノ粒子の電気化学的堆積法, 及び、それらを利用したガスセンサや太陽電池の構築に関する発表があり, ナノ構造体の形成法やそれらの特性, さらには, ナノ構造体表面の評価技術ついての深い議論がされた。また, それ

ら技術の医療分野や人工神経細胞網構築のための基礎技術への応用など，基礎的な研究からそれらの応用研究まで様々な分野からの発表及び議論が活発になされた。

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など

本プロジェクト研究では，酸化物半導体を中心としたナノ構造体を電子デバイスへ応用するための基盤技術の構築を目標に，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合同シンポジウムを共催した。

陽極酸化は，自己組織的に形状の揃った酸化チタンナノチューブ構造を形成することが可能であり，半導体微細加工技術と組み合わせることにより，酸化物半導体ナノ構造体を集積化することが可能になると考えられる。このようなボトムアッププロセスとトップダウンプロセスとを組み合わせるプロセスは，酸化物半導体ナノデバイスだけでなく，グラフェンデバイスの構築にも有用であり，ナノデバイス構築のための共通の手法であると考えられ，その技術のさらなる発展が期待される。また，本年度開催されたシンポジウムでは，酸化チタンナノチューブ内への金属または金属微粒子の電気化学的な堆積や有機半導体の堆積が可能であることが示され，今後，表面修飾による様々な機能を有するハイブリッドナノ構造を利用したナノデバイスの構築が期待される。また，バイオテクノロジーや医療分野への応用に関する発表も多数あり，これらの知見及び広い分野の研究者の交流は，ナノエレクトロニクスや化学・バイオセンサ，それらの医療応用，グラフェンデバイスへの応用など，今後の研究の進展に大いに貢献すると考えられる。

［４］成果資料

（１）Teng Ma, Jinyu Zhang, Ryota Kojima, Daisuke Tadaki, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Investigation of TiO_2 Surface Modification with [6,6]-Phenyl-C_{61}-butyric Acid for Titania/Polymer Hybrid Solar Cells”, Jpn. J. Appl. Phys. **52**　112301 (2013).

採択回数	1　②　3

H２４／B０８

光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究

［1］組織
代表者：新谷　昌人
（東京大学地震研究所）
対応者：中沢　正隆
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
三ヶ田　均（京都大学大学院工学研究科）
浅川　賢一（海洋研究開発機構）
高橋　幸男（海洋研究開発機構）
荒木　英一郎（海洋研究開発機構）
小林　直樹（宇宙航空研究開発機構）
高森　昭光（東京大学地震研究所）
新藤　雄吾（沖電気工業株式会社）
坂田　正治（元防災科学技術研究所）
延べ参加人数：２３人
研究費：物件費５万円，旅費26万円

［2］研究経過

日本列島は地殻活動が活発な地域であるプレート境界に位置しているため、地震あるいは火山活動に伴う災害を受けやすい地理的環境にあるといえる。したがって、わが国においてはとりわけその現象を正確に観測し理解することが学術的にも防災の観点からも重要である。多くの地震は数～数十kmの地下深部で起こる現象であり現状では発生域で直接観測することはできない。そのため、陸上においては地震計やＧＰＳによる観測、海域では自己浮上式地震計の臨時観測などが行われてきた。これらの観測により、地下深部の地震現象について一定の理解が得られていたが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下東北地震）により、それまでの観測手法や地震現象の理解の限界が明らかになった。陸から離れた海底下の地殻の状態を把握するためには観測点が圧倒的に不足しており、また震源域の貴重な観測データは地震発生後の停電や津波被害により多くが消失した。

より稠密で高精度かつ災害時にも安定な観測手法が不可欠であり、東北地震後に日々変化し続ける日本列島のひずみなどの状況を正確に把握するためにもこのような観測手法の確立は火急の課題である。各種の光計測センサーやそれらを結びつける光ファイバーネットワークは非常に有望な手法であると考えられ、既存の光ファイバー網と小型無電源のセンサーを組み合わせればデータ送受信や光源の一元管理ができ、面的な観測データの取得や停電時の動作も可能となる。これまで地震研究所においてはレーザー干渉技術を用いたひずみ計、地震計、重力計などの機器開発が行われ、電気通信研究所において研究されている光ファイバーネットワーク技術・周波数安定化光源を組み合わせ、両者が連携すれば光ベースの面的な地殻活動観測網実現へさほど遠くない状況と思われる。

本プロジェクトで開催される研究集会は、地震をはじめとした地球科学の研究者と光通信の研究者および光ファイバー・通信分野の民間の参加者などが計測技術と観測網構築に関する発表を行い、光観測網の早期実現へ向けて議論をすることを目的としている。本年度はプロジェクトの２年目であり、前年度の研究会で行ったやや広い観点（陸域、海域、惑星探査）の議論を踏まえ、光観測網へ向けた具体的な取り組みについて情報交換・議論する場として今回の研究集会を位置づけた。内容としては、海域・陸域の計測手法の紹介および光計測のためのレーザー・センサ開発などのトピックで講演をしていただいた。

平成２５年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究」は平成26年3月5日（水）13:30～17:30に東北大学電気通信研究所２号館４階大会議室で開催された。

講演に先立ち、対応教員の中沢教授より開会の挨拶があった。東北地震後の観測そして東南海・南海地震に備えるために、通信・安定化レーザー技術を応用した面的な地殻活動監視ネットワーク構築の重要性が言及された。つづいて、最初の講演は海洋研究開発機構の浅川氏による「11000m級軽量セラミックス耐圧球の実用化と長期定域観測用水中グライ

ダーの開発」であった。深海底における地震計等の観測用機器を収納する耐圧容器として従来はガラス球やチタン球が用いられてきたが、前者は 6000m までの深度であり、セラミックスを材料として用いればその高い圧縮強度により海溝の最深度である 11000m にも耐え、チタン球の半分の重量のものを作ることができる。また、耐食性・低熱膨張係数・コストに優れ、長期精密観測に適している。しかし、引っ張り強度が弱く、容器の設計が難しいという課題があった。水中コネクターを取り付ける貫通孔付近に応力が集中しやすいため、有限要素法解析により構造を工夫し、小型模型を用いた繰り返し／長期水圧試験で問題無いことを確認した。実機では数台の試作機で海溝への設置・回収に成功している。また、セラミックス耐圧容器の信頼性について、１軸圧縮試験器を用いたアコースティックエミッション（ＡＥ）の測定により内部破壊の評価を行っている。水中グライダーについては昨年の講演で紹介されたが、今年度は浮力をコントロールする小型エンジンが開発され重量・寸法がともに従来の半分となった。実用へ向けた試験を行っている。

次に、中央大学の鹿熊氏は「地震計用非線形ばねの特性について」という題目で講演された。これは、地震計内部の振り子を構成するおもりを吊すばねの特性に関するもので、一般に低周波の固有振動数を持つ振り子を構成すると地震計の帯域が広がり、検出性能が向上する。しかし、そのためには通常は重いおもりと弱いばねが必要となり、装置が大型化する。この非線形ばねは一定の質量のおもりを支持しつつ振り子の平衡点の付近で復元力がとくに小さくなるような非線形特性を持つ特殊なばねであり、小型のわりに帯域の広い地震計を作ることができる。非線形ばね以外の振り子の低周波化の方法としては、倒立振り子など構造を利用したもの、磁石の吸引力による復元力の打ち消し、変位検出コイルにコンデンサなどを取り付けた電気的なもの、などがある。一方、非線形ばねとしてはばね材の薄板に切り込みを入れて立体的に構成されたダイヤフラムばねが紹介され、実物が会場で回覧された。製作時の初期歪等による特性のばらつきからの選別、ばね特性のモデル化などが説明された。このタイプの非線形ばねは、Hi-net 地震観測網でボアホール用 1Hz 地震計センサーに使用されている。

東大地震研の高森氏は「神岡大型レーザー伸縮計」に関する講演であった。これは、神岡鉱山に建設中の重力波検出器 KAGRA の一部として、1.5km の基線長を持つ地殻変動などを観測するためのレーザー干渉計である。使用されるレーザーはヨウ素の吸収スペクトルに周波数安定化された波長 532nm の倍波 Nd:YAG レーザーである。干渉計は、非対称マイケルソン型で、有効径 15 インチの大型のレトロリフレクタ（コーナーキューブ鏡）が用いられる。干渉計の全光路は径 40cm のステンレスパイプで真空に保持される。大型鏡の品質が装置の性能に直結するため、鏡面歪みと干渉効率との関係を計算した。その結果と製造中に測定された鏡面歪みを比較し、製品の改良に活かされた。2015 年に観測を開始する予定である。

中沢研葛西氏からは「狭線幅、低雑音、高出力 $^{13}C_2H_2$ 周波数安定化エルビウムファイバリングレーザー」に関して講演された。コヒーレント光通信においては、高出力・狭線幅・低振幅雑音の光源が必要であり、波長 1.5μm 帯でアセチレン吸収線を用いたレーザー安定化の研究を行っている。以前、の共同プロジェクト研究で、電通研と地震研がそれぞれ開発した周波数安定化レーザーと絶対重力計とを組み合わせ重力測定を実施したことがある。将来的には、光ファイバーネットワークを用いた面的な計測システムの光源としての用途を考え、安定度・低雑音とともに出力が大きいことが重要である。従来のエルビウムファイバリングレーザーは、高出力におけるマルチモード発振や緩和振動ノイズが問題となっていた。そこで本研究では、安定発振する短共振器と緩和振動制御回路によりそれらの問題を解決した。その結果、周波数安定度 10^{-11}〜10^{-12}、線幅 5kHz、出力 160mW の光源を実現した。面的な地震・地殻変動計測システムへの応用が期待される。

中沢研吉田氏からは「光通信波長帯高精度レーザー歪みセンサー」が紹介された。これは坂田式レーザー津波計・歪み計を参考に、外圧による中空容器の変形を光ファイバーリング共振器の基線長の変化として高精度に検知する原理の水圧センサーである。独自に製作した円筒形の中空容器は、側面の厚みが場所によって薄肉・厚肉と２種類あり、それぞれに固着されて巻かれたファイバーが受ける水圧による歪みが異なる。従って、両者のファイバーリング共振器からのビート周波数から水圧が検知できる。水位 1cm の変化に対し 12.2MHz のビート周波数変化となり、90μm の水位変化まで検知できることがわかった。2 本の共振器の差を取ることにより温度の影響は 1/50 程度に低減されているが、0.5~1.2MHz/min のドリフトが見られた。今後、温度の影響の低減や容器の形状を工夫し、測定精度を向上させる。

元防災科学技術研究所・東大大学院総合文化研究科の坂田氏は「レーザー海底流速計の構想」という題目の講演をされた。津波は風による波浪と異なり、海面とともに海中・海底にも流れが生じる長波であ

る。そこで、海底に弾性体を設置し、流れによる弾性体のたわみをレーザー干渉計で高精度に計測すれば津波を測定することができる。過去に氏が開発した坂田式レーザー津波計と同様の光干渉計測で、円筒容器のたわみを内部に固定された２つの干渉計により計測する案が示された。この流速計と従来の水圧を測るタイプのレーザー津波計を併用すれば、海面の上下変動観測としての津波観測とともに、海底の流れを捉える津波流体力学に寄与できる。実用化にはいくつか課題があると思われるが、passive な光計測センサーのメリットは大きいと思われる。

最後に、東大地震研の新谷が「光計測を用いた地震・地殻変動観測ネットワーク」のタイトルで講演を行った。地震や地殻変動観測では地動の計測ダイナミックレンジが広く、様々なタイムスケールの信号を正確に計測する必要があり、干渉計や周波数安定化レーザーを用いた光計測のメリットを十分に活かすことができる応用分野といえる。一例として、火山観測を目的とした小型絶対重力計の開発が説明された。霧島観測所で実施された試験観測では 0.8 μgal の精度の計測結果が得られた。この装置をさらに小型化し複数を火山体に設置し、光源を共通にして光ファイバーで結べば、火山下のマグマの動きを地下の密度変化として面的にモニターできるであろう。さらに、光ベースの広帯域地震計・傾斜計は精度が高く、地下深い高温環境、あるいは惑星探査の低温・高放射線の環境など極限環境における計測に応用できる技術である。

［３］成果

（３－１）研究成果

昨年度につづき、本研究会を通じて地球科学観測・光計測に関する最新の情報を共有することができた。今回は新規センサーの開発に関するトピックが複数あり、光計測ネットワークの実現へ向けた具体的な取り組みが進められていることを感じた。中沢研で開発された周波数安定化光源は、地震研で開発している絶対重力計や地震計等の光源として応用できる。研究会のみならず共同開発研究にもつなげていきたい。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトは光ファイバーネットワークの構築にむけて、基礎研究を積み上げている段階である。研究会で講演されたように、いくつかの技術開発はすでに進行中である。また、昨年度採択された科研費・挑戦的萌芽研究が２件継続している（海中観測用光塩分センサー開発、スロー地震観測を目指したレーザー干渉式歪偏差計開発）。小型絶対重力計と極限環境センサー開発は「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の建議の項目に挙げられている。

［４］成果資料

（１）新谷昌人, 寺田聡一, 長基線レーザー干渉計による地殻ひずみの高精度観測, 光学, 43, 73-79, 2014.

（２）A. Araya, H. Sakai, Y. Tamura, T. Tsubokawa, and S. Svitlov, ”Development of a compact absolute gravimeter with a built-in accelerometer and a silent drop mechanism”, in Proc. of the International Association of Geodesy (IAG) Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TGSMM-2013), 17-20 September 2013, Saint Petersburg, Russia. (in press).

（３）M. Shinohara, T. Yamada, T. Kanazawa, K. Uehira, H. Fujimoto, T. Ishihara, A. Araya, K. Iizasa, and S. Tsukioka, Development of an underwater gravimeter and the first observation by using autonomous underwater vehicle, Underwater Technology Symposium (UT), 2013 IEEE International, doi:10.1109/UT.2013.6519864, 2013.

（４）新谷昌人, 重力鉛直偏差計に関わる技術開発, 文部科学省平成２４年度科学技術試験研究委託事業「移動体搭載型重力計システムの高度化と実海域における実証試験観測」報告書, 18-25, 2013.

（５）篠原雅尚・金沢敏彦・新谷昌人・藤本博己・山田知朗・石原丈実・月岡哲, 海底鉱物資源の産業利用－日本EEZ内の新資源－, 第３章1.移動体搭載型重力計システムの開発と実証試験観測, シーエムーシー出版, 2013.

（６）A. Fujisaki, K. Kasai, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Generation of 9 W, 4 kHz linewidth $^{13}C_2H_2$ frequency-stabilized fiber laser output with core pumped erbium-doped amplifier,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2013), CW3M.1 (2013).

（７）葛西恵介, 吉田真人, 廣岡俊彦, 中沢正隆, 増田伸, "狭線幅、低雑音、高出力 $^{13}C_2H_2$ 周波数安定化エルビウムファイバーリングレーザー," 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-A14-1 (2013).

（８）K. Kasai, A. Fujisaki, M. Yoshida, T. Hirooka, M. Nakazawa, and S. Masuda, "A 160 mW output, 5 kHz linewidth frequency-stabilized erbium silica fiber laser with a short cavity configuration," Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2014), SW1N.4 (2014).

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　3

採択番号 Ｈ２４／Ｂ０９

生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御

［1］組織

代表者：小林　亮
（広島大学大学院理学研究科）
対応者：石黒　章夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中垣　俊之
（公立はこだて未来大学情報学部）
櫻沢　繁
（公立はこだて未来大学情報学部）
國田　樹
（公立はこだて未来大学情報学部）
黒田　茂
（公立はこだて未来大学情報学部）
及川典子
（公立はこだて未来大学情報学部）
青沼仁志
（北海道大学電子科学研究所）
井上康介
（茨城大学知能システム工学科）
伊達　央
（防衛大学情報工学科）
秋山　正和
（北海道大学電子科学研究所）
伊藤　賢太郎
（広島大学大学院理学研究科）
風間　俊哉
（広島大学大学院理学研究科）
梅舘　拓也
（日本学術振興会）

延べ参加人数：２５名（参加した学生を含む）

研究費：物件費５万円，旅費３６万９千円

［2］研究経過

動物は，複雑で不確実な環境に適応しながら，その中を驚くほどしなやかに動き回ることができる．この優れた適応的運動機能の発現機序の理解は，生物学に資するのみならず，工学の分野においても既存技術では実現し得ないような高度に適応的なロボットの構築にもつながるため，その波及効果はきわめて大きい．

動物のような大自由度系の運動制御を実現する鍵は，自律分散制御であると考えられているが，現段階ではその詳細は明らかではなく，ロボティクスにおける理論もアドホックなレベルに留まっている．それゆえ，大自由度系における自律分散制御を設計するには，何らかの設計原理が必要である．われわれは，粘菌やアメーバのような単細胞生物に立ち返って，この設計原理を抽出することを試みる．単細胞生物のロコモーションには，中枢が無い故に自律分散制御がもっとも端的な形で現れているからである．これらの生物を起点に，より複雑な多細胞生物のロコモーションにアタックしていくのが，本プロジェクトの道筋である．

今年度は，参加メンバー間の情報交換を目的として研究会を開催した．以下にその概要を示す：

開催日程：　平成 25 年 10 月 28 日ー30 日
場所：　東北大学電気通信研究所２号館中会議室
プログラム：

1) 小林　亮　教授（広島大学）：　生物ロコモーションに内在する自律分散制御則の数理的解明の方法論と意義
2) 中垣俊之　教授（公立はこだて未来大学）：申請粘菌変形体が示す適応的運動の発現機序
3) 加納剛史　助教（東北大学）：　ヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則
4) 伊藤賢太郎　助教（広島大学）：　真正粘菌が示す多様な振動パターンの数理モデル
5) 大脇　大　助教（東北大学）：　四脚動物の多様な運動パターンの発現機序
6) 風間俊哉　研究員（広島大学）：　ヒラムシが示す這行運動の解析
7) 石黒章夫　教授（東北大学）：　生物ロコモーションに内在する自律分散制御の統一的理解

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度の成果を踏まえ，今年度からはヘビが示す這行運動の研究者に新たに加入してもらい，研究体制を充実させた．その結果，ヘビが示す這行運動とムカデなどの多脚歩行の間には多くの共通点を見出すことができた．進化論的に異なる動物の間にも，その脚間協調メカニズムにはなんらかの共通原理が存在するのではとのアイデアも出た．進化という時間軸に基づいて生物ロコモーション様式に通底する原理を探るという方法はきわめて斬新な考え方であり，今後さらに深堀りしていきたい．

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

生物ロコモーションの発現機序に関する研究は，これまでロコモーション様式に応じた個別論的考察がなされてきた．本共同プロジェクト研究での議論を通して得られた進化的視座から生物ロコモーションの通底原理を考察するというアプローチは，新奇な観点を持ち込むことが期待される．そしてこれにより，現象論的な類似点の列挙に終始していた現状を打破できると考える．

本共同プロジェクト研究を通して学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，以下の研究予算の獲得につながった：

- 進化的視座から脚式ロコモーションの統一的理解を目指す数理的研究（代表　小林亮　広島大学教授）
- 科研費挑戦的萌芽研究
- 広島大学，東北大学
- H25 年度ーH26 年度

今後はこれ以外にも，JST CREST や科研費基盤研究（A)などの大型研究予算にも積極的に申請していきたい．

［4］成果資料

1) Dai Owaki, Koichi Osuka, and Akio Ishiguro, Stabilization Mechanism underlying Passive Dynamic Running, Advanced Robotics, (2013) doi: 10.1080/01691864.2013.839087
2) Dai Owaki, Leona Morikawa, and Akio Ishiguro, Why do quadrupeds exhibits exclusively either trot or pace gaits?, in Proc. of Dynamic Walking 2013 (2013).
3) Dai Owaki and Akio Ishiguro, What is the key to postural stabilization on bipedal walking? in Proc. of Dynamic Walking 2013 (2013)
4) Dai Owaki and Akio Ishiguro, Nonlinearity in Ankle Elasticity Enhances Robustness on Bipedal Walking, in Proc. of International Workshop on Soft Robotics and Morphological Computation (2013).
5) Takeshi Kano, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, Decentralized Control Scheme for Adaptive Earthworm Locomotion Using Continuum-Model-Based Analysis, Advanced Robotics, Vol. 28, No. 3, pp. 197-202 (2014) DOI: 10.1080/01691864.2013.861770
6) Takeshi Kano, Toshihiro Kawakatsu, and Akio Ishiguro, *Generating Situation-dependent Behavior*: Decentralized Control of Multi-functional Intestine-like Robot That Can Transport and Mix Contents, Jounral of Robotics and Mechatronics, Vol. 25, No. 4, pp. 871-876 (2013)
7) Ryo Fujiwara, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro, Self-swarming Robots That Exploit Hydrodynamical Interaction, Advanced robotics, Vol. 28, No. 9, pp. 639-645 (2014) DOI:10.1080/01691864.2013.879365
8) Takeshi Kano, Yuki Watanabe, Fuyuhiko Satake, and Akio Ishiguro, Decentralized-controlled Multi-terrain Robot Inspired by Flatworm Locomotion, Advanced robotics, Vol. 28, No. 7, pp. 523-531 (2014) DOI:10.1080/01691864.2013.878667
9) Takeshi Kano and Akio Ishiguro, Obstacles Are Beneficial to Me! Scaffold-based Locomotion of a Snake-like Robot Using Decentralized Control, in Proc. of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. (IROS 2013), pp. 3273-3278 (2013)
10) Takuya Umedachi, Ryo Idei, Kentaro Ito, and Akio Ishiguro, True-slime-mould-inspired hydrostatically-coupled oscillator system

exhibiting versatile behaviours, Bioinspiration & Biomimetics, IOP Publishing, 8, 035001, doi:10.1088/1748-3182/8/3/035001, 2013.

11) Takuya Umedachi, Vikas Vishesh and Barry Trimmer, Highly Deformable 3-D Printed Soft Robot Generating Inching and Crawling Locomotions with Variable Friction Legs, Proc. of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), WeAT11.5, 2013.

12) Toshiya Kazama, Koki Kuroiwa, Takuya Umedachi, Yuichi Komatsu, Ryo Kobayashi, Locomotion Diversity in an Underwater Soft-Robot Inspired by the Polyclad Flatworm, Proc. of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), MoVT14.13, 2013.

13) Toshiya Kazama, Koki Kuroiwa, Takuya Umedachi, Yuichi Komatsu, Ryo Kobayashi, A swimming machine driven by the deformation of a sheet-like body inspired by polyclad flatworms, Proc. of the The International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2013), 2013 (Best Poster Award on Toshiya Kazama)

14) M. Iwamoto, D. Ueyama, and R. Kobayashi, The Advantage of Mucus for Adhesive Locomotion in Gastropods, Journal of Theoretical Biology (accepted)

15) Y. Nishigami, M. Ichikawa, T. Kazama, R. Kobayashi, T. Shimmen, K. Yoshikawa, and S. Sonobe, Reconstruction of Active Regular Motion in Amoeba Extract: Dynamic Cooperation between Sol and Gel States, PLoS One: e70317-(2013)

16) Takuya Umedachi, Vikas Vishesh and Barry Trimmer, Caterpillar-like soft-bodied robot exploiting large-deformation continuum behavior, Proc. of 2013 International Workshop on soft robotics, Switzerland, 2013.

17) K. Kuroda, I. Kunita, Y. Tanaka, A. Ishiguro, R. Kobayashi, and T. Nakagaki, Common Mechanics of Mode Switching in Locomotion of Limbless and Legged Animals, Journal of the Royal Society Interface (accepted).

採択回数	1　②　3

H２４／B１０

高次元ニューラルネットワークの情報処理能力

［1］組織

代表者：廣瀬　明
（東京大学大学院工学系研究科）
対応者：佐藤　茂雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中島　康治　（東北大学電気通信研究所）
黒江　康明　（京都工芸繊維大学大学院
工芸科学研究科）
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）
青木　宏之　（東京高等工業専門学校）
古橋　武　（名古屋大学大学院工学研究科）
橘　完太　（工学院大学情報学部）
Eckhard Hitzer（国際基督教大学教養学部）
松井　伸之　（兵庫県立大学大学院工学研究科）
礒川　悌次郎（兵庫県立大学大学院工学研究科）
西村　治彦　（兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科）
金城　光永　（琉球大学工学部）
村瀬 一之　（福井大学工学部）
根本 幾　（東京電機大学情報環境学部）
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）
萩原　将文　（慶応義塾大学理工学部）
木ノ内　誠　（山形大学大学院理工学研究科）
小林　正樹　（山梨大学工学部）
西森　康則　（産業技術総合研究所）
延べ参加人数：２２人
研究費：物件費５万円，旅費３８万６千円

［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．また自律的動作による解探索や学習によるエラー訂正・適応的動作が可能であり，こうした機能の重要性は今後高まっていくと予想される．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が提案されており，ニューロンの出力が振幅と位相で表現されるため，波動的性質を有することが知られている．またパターン認識，画像処理，時系列予測等において，位相情報を活用する波動的情報処理の優位性が知られている．代表者は複素ニューラルネットワークにいち早く注目し，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．また最近では，この技術を東南アジアの地雷発見等に応用し重要な社会貢献を果たしてきている．

この分野の最近の動向として，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を含む高次元化ニューラルネットワークの豊かな表現能力と情報処理能力に関する研究が盛んに行われている．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．ちなみに，小惑星探査機「はやぶさ」の姿勢情報の表現には四元数が用いられていたことが知られている．

人間と環境を調和させるには，要求される情報処理を障壁なく効率的に行うことが必要不可欠であり，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することが肝要である．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，クリフォード代数を用いた数理解析により明らかにし，ハードウェアの開発と併せて実用的技術として確立することを研究目的とする．

具体的には，まず，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，画像処理等実応用における高次元ニューラルネットワークの優位性を明らかにする．次に，FPGAやGPGPUを利用しハードウェアとして実現し，Si-LSIによる構成への足がかりとする．本所ではハードウェア実現を主な研究テーマとする．

二年度目にあたる本年度は，２月３日に研究会を開催し，各メンバーが関連する研究成果を報告し，かつ今後の研究方針や研究計画ついて議論した．以下に研究会のプログラムを示す．

1) 「ポアンカレ球空間でのクォータニオン・ニューラルネットワーク処理による偏波合成開口レーダ適応植生分類」廣瀬　明（東大）
2) 「量子粒子群の高次元情報処理能力」松井　伸之（兵庫県立大）
3) 「リカレントクリフォードニューラルネットワークのダイナミクス　－非退化なクラスに対するエネルギー関数とその存在条件－」黒江　康明（京都工繊大）
4) 「自己結合をもつロータホップフィールドネットワーク」小林　正樹（山梨大）
5) 「３層複素ニューラルネットワークの特異点近傍における振る舞い」新田　徹（産総研）
6) ”A Method of Fuzzy Clustering based on Conformal Geometric Algebra” 橘　完太（工学院大）

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度はまず，本プロジェクトメンバーが中心となり，計測自動制御学会の第四回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会（12 月 4〜5 日、於 : 九州大学）において、「高次元ニューラルネットワーク」と題するセッションを企画、実施した．以下はその講演タイトルである．

１２月４日　高次元ニューラルネットワーク１

1) 「極変数複素ニューロンにおけるプラトー」新田徹（産業技術総合研究所）
2) 「パラメータの自動調整が可能なカオス複素多方向連想メモリ」長名優子（東京工科大学）
3) 「四元数ニューラルネットワークの歩行者数推定への適用」村本憲幸（兵庫県立大学）

１２月５日　高次元ニューラルネットワーク２

1) 「四元数ネットワークインバージョンのための正則化」小川毅彦（拓殖大学）
2) 「大規模fan-inを有するニューロンを実現する多数決回路」秋間学尚（東北大学）
3) 「リカレントクリフォードニューラルネットワークのダイナミクス」黒江康明（京都工芸繊維大学）

また，同じく計測自動制御学会の先端融合システムズアプローチ創出委員会応用クリフォード代数 WG が，本プロジェクトメンバーを中心に構成され，主にテレビ会議により計 4 回の WG が開催された．なお，クリフォード代数は，実数，複素数，四元数を一般化した代数であり，幾何学的情報を統一的に表現することが可能である．

これらの活動により，クリフォード代数を用いて高次元表現されたニューラルネットワークについて，その情報処理能力を解析し，具体的な応用における提案方法の優位性を確認すると共に、今後の課題について整理することができた．

（３－２）波及効果と発展性など

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．

・高次元ニューラルネットワークの持つ情報処理能力の解明
・画像解析など各種パターン認識課題における最適な情報表現方法
・FPGA や GPGPU を用いた高次元ニューラルネットワークのハードウェア化

［４］成果資料

1. T. Nitta: Local Minima in Hierarchical Structures of Complex-Valued Neural Networks, Neural Networks, Vol.43, pp.1-7 (2013).
2. T. Nitta: Construction of Neural Networks that Do Not Have Critical Points Based on Hierarchical Structures, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol.4, No.9, pp.68-73 (2013).
3. T. Nitta: A Theoretical Foundation for the Widely Linear Processing of Quaternion-Valued Data, Applied Mathematics, Vol.4, No.12, pp.1616-1620 (2013).
4. Minh Tuan Pham and Kanta Tachibana: An algorithm for fuzzy clustering based on conformal geometric algebra. Proc. The Fifth International Conference KSE2013, Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 245, No. 2, pp.83-94, 2013.
5. K.Tazuke, N.Muramoto, N.Matsui, and T.Isokawa: An Application of Quantum-Inspired Particle Swarm Optimization to Function Optimization Problems, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2013), pp.1234-1239, 2013.
6. K.Omachi, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, and N.Matsui: A Complex-valued Design for Synergetic Computers, Proceedings of SICE Annual Conference 2013, pp.577-584, 2013.
7. K.Ogawa, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, and N.Matsui: Function Approximation by Complex-Valued Multilayer

Perceptron with Stochastic Resonance, Proceedings of SICE Annual Conference 2013, pp.1544-1547, 2013.
8. T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui: Quaternionic Neural Networks for Associative Memories, in A.Hirose ed., Complex-Valued Neural Networks: Advances and Applications, Wiley-IEEE Press, Chapter 5, pp.103-131, 2013.
9. N.Muramoto, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui: On Processing Three Dimensional Data by Quaternionic Neural Networks, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2013), pp.3023-3027, 2013.
10. N.Muramoto, T.Minemoto, T.Isokawa, H.Nishimura, N.Kamiura, and N.Matsui: A Scheme for Counting Pedestrians by Quaternionic Multilayer Perceptron, Proceedings of the 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2013), F5C-3 (12pages), 2013.
11. M. Kobayashi, A. Nakajima, M. Kitahara: Multidirectional Associative Memory with Two Hidden Layers, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.8, No.3, pp.299-300 (2013)
12. S. Furusawa, M. Kobayashi: Chaotic Complex-valued Bidirectional Associative Memory with a Real-valued Context Part, Nonlinear Theory and Its Applications, Vol.4, No.3, pp.299-312 (2013)
13. Y. Suzuki, M. Kobayashi: Complex-valued Bidirectional Auto-Associative Memory, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2013), pp.984-990 (2013)
14. R. Bujack, I. Holz, G. Scheuermann, E. Hitzer: Moment Invariants for 2D Flow Fields Using Normalization, Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis) 2014, March 4-7, Yokohama, Japan. Best Paper Award.
15. E. Hitzer: Two-sided Clifford Fourier transform with two square roots of -1 in Cl(p,q), Advances in Applied Clifford Algebras, 2014, 20 pages, DOI: 10.1007/s00006-014-0441-9. First published in M. Berthier, L. Fuchs, C. Saint-Jean (eds.) electronic Proceedings of AGACSE 2012, La Rochelle, France, 2-4 July 2012. Preprint: http://arxiv.org/abs/1306.2092 .
16: E. Hitzer: The quest for conformal geometric algebra Fourier transformations, In T. Simos, G. Psihoyios and C. Tsitouras (eds.), Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2013, AIP Conf. Proc. 1558, pp. 30-33 (2013). DOI: 10.1063/1.4825413, Preprint: http://vixra.org/abs/1310.0248
17. F.Shang, A.Hirose, “Quaternion Neural-Network-Based PolSAR Land Classification in Poincare-Sphere-Parameter Space,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing , to appear
18. S.Onojima, Y.Arima, A.Hirose, “Millimeter-wave Security Imaging Using Complex-Valued Self-Organizing Map for Visualization of Moving Targets,” Neurocomputing , 134 (2014) 247 - 253
19. R.Natsuaki, A.Hirose, “Circular Property of Complex-Valued Correlation Learning in CMRF-Based Filtering for Synthetic Aperture Radar Interferometry,” Neurocomputing, 134 (2014) 165-172

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

採択番号（H24B11）

人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究

［1］組織

代表者： 筒井健一郎
（東北大学生命科学研究科）
対応者： 塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
酒井　宏（筑波大学）
西田眞也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
村上郁也（東京大学）
宇賀貴紀（順天堂大学）
河原純一郎（産業技術総合研究所）
田中真樹（北海道大学）
一川　誠（千葉大学）
吉田正俊（生理学研究所）
富田浩史（東北大学）
金子寛彦（東京工業大学）
齋木　潤（京都大学）
小川　正（京都大学）
渡邊克己（東京大学）
七五三木聡（大阪大学）
佐藤暢哉（関西学院大学）
鮫島和行（玉川大学）
行場次朗（東北大学）
大内田裕（東北大学）
栗木一郎（東北大学）
松宮一道（東北大学）
河邉隆寛（ＮＴＴ基礎研）
櫻井研三（東北学院大学）
大木　紫（杏林大学）
村田　哲（近畿大学）

延べ参加人数：31 人
研究費：物件費 0 円，旅費 270,000 円

［2］研究経過

人間の情報処理機構を理解する事は，今後の情報通信技術の発展にとって必要不可欠である．今年度は行動に関わる空間認識処理に関する研究に注目し，人間の認識と行動の脳内処理に関する議論を深めた。本研究会の特徴を活かして，心理物理学，電気生理学，計算モデルを含む分野横断型の議論から，ヒューマンインタフェース技術開発なども含め，将来の方向性を検討した。

本プロジェクトは本年度が１年目であるが，前年度まで続けたプロジェクトで有効であった長時間の議論に加え，参加者全員のショートプレゼンテーションも加えて幅広い情報交換もこころがけた。以下，研究活動状況の概要を記す。

平成24年2月28日 － 3月1日
研究会
代表者筒井，分担者村上，宇賀，田中，一川，金子，吉田，小川，佐藤，鮫島，河邊，櫻井，大木、村田，寺本，大内田が来所し，大木、河邊，村田，筒井，櫻井の講演に基づき，関連研究分野の展開にいて議論した．

各講演と議論について１時間半の時間をとり，個別の実験内容，周辺分野の動向および今後の展開など広い分野での議論することができた．それに加えて懇親会において参加者全員のショートプレゼンテーションに基づく自由な討論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

以下に研究会において議論した各テーマについて，その概要を記す．

１．空間内の到達運動制御と身体認知

大木 紫　（杏林大学 医学部 統合生理学）

ヒトにおける腕の到達運動は、空間内のターゲットに関する視覚情報を運動に変換した結果生じる。この運動には、運動前にプレプログラムされた運動指令のみならず、運動中の視覚入力による運動修正が関わることが明らかになっている。このため、運動中にターゲット位置を突然ジャンプさせると、switching 運動と呼ばれる運動修正が観察される。この switching 運動を用いることで、視覚から運動修正を引き起こす神経メカニズムについて調べることができる。Switching 運動は、最速のもので潜時 120ms 以下であり，通常の視覚誘発反応より短潜時で引き起こすこともある高速の運動である。その潜時分布には幾つかのピークが見られ、眼球運動と

同様、幾つかのループの信号の流れにより引き起こされると考えられている。これらのループには、①皮質下のみを介する経路、②大脳皮質（視覚野、頭頂連合野、運動前野、運動野）を介する複数の経路、が含まれる。興味深いことに、例えば右腕でリーチングした場合、ターゲットが反対側（左）にジャンプした方が、逆方向より、潜時が有意に短くなることが観察された。この反対側への反応の優位性は、１）運動開始直前から見られ、また２）同時に引き起こされる眼球運動や３）視知覚にも同様の傾向が観察された。従ってこの左右差は、運動出力とは無関係な、注意の変位により引き起こされたと考えられ、到達後の物体操作との関係が示唆された。なおこの左右差は、到達運動の映像を見るだけで引き起こさされるが、対面する他人の到達運動を観察することでは起こらなかった。

Switching 運動の神経回路を解析するため、ターゲットジャンプの直後にターゲットを消し、更に一次視覚野の機能を経頭蓋磁気刺激（TMS）により干渉した。予想通り、被験者はターゲットジャンプを見落とす（知覚できない）試行が増えた。しかし、ジャンプが知覚できなくても、特に早い switching 運動は起こることが確認された。おそらく、上述①と②の経路を介し、無意識に運動修正が可能であることがわかった。

Switching 運動への大脳皮質の関与を更に調べるため、例えば頭頂連合野の働きを TMS で干渉する実験が行われている（Desmurget et al., 1999）。この結果、干渉下では被験者は、ターゲット到着直前の無意識の軌道修正ができなくなることが報告されている。我々は、皮質下の経路の関与を調べるため、頸髄症患者での到達・switching 運動を解析した。頸髄症は頸髄の圧迫により神経伝導路の伝導障害がおこり、運動では主に錐体路の伝導障害による手の巧緻運動障害が生じる。しかし腕の近位筋の筋力低下はほとんど見られないにも関わらず、switching 運動の潜時延長や到達運動の軌跡の変化が観察された。除圧の手術の後には、TMS で調べた錐体路の伝導状態に改善は見られないにもかかわらず、到達運動や手の巧緻運動の機能回復が観察された。脊髄内の神経回路が機能回復に関わる可能性が示唆された。

２．多感覚統合からみた行為・行為結果の因果性知覚

河邉 隆寛（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）

人間は、環境中に生じた変化が自己の行為を通じて因果的に生じたものかどうかを容易に知覚することができる。この知覚のことを本講演では行為・行為結果の因果性知覚と呼ぶ。先行研究（例えば、Blakemore, Frith, & Wolpert, 1999）は、行為制御に特化した内部モデルを踏まえて行為・行為結果の因果性知覚を説明してきた。その一方で、行為と行為結果とは異なる脳内部位で処理されることが予測されるため、それらの感覚情報の統合は多感覚統合の様式に従うものと思われる。つまり、多感覚統合に関わる情報処理が行為・行為結果の因果性知覚の決定に関与するのではないかと考えた。ここでは，多感覚統合の統合様式の一つである多感覚群化に注目し、行為信号と行為結果信号との知覚的群化が行為主体感覚を決定する可能性を検討した。最初の研究では、行為と行為結果とが異なる知覚的グループとして知覚された場合に因果性知覚が低減することを示した（Kawabe, Roseboom, & Nishida, 2013, Proceedings of Royal Society of London, B）。次に、多感覚群化を支える要因である感覚信号間の顕著性マッチングが行為・行為結果の因果性知覚を決定することを示した。具体的には、行為結果として与えられる視覚情報の顕著性を操作した場合に、行為結果の顕著性が高い場合に因果性知覚が強くなることを示した。

上記２つの研究では、評定課題を通じて観察者に因果性知覚の強度について尋ねていた。３番目の研究では、行為と行為結果との因果性を学習することで、行為結果の知覚的解釈が変容することを示した。行為と行為結果との時間近接性が高い場合には知覚的解釈の変容が強く生じ、両者の時間近接性が低い場合にはその変容が生じないことを観察した（Kawabe 2013, Frontiers in Human Neuroscience）。これらの結果から、行為・行為結果の因果性知覚が、脳情報処理の一般原理である群化に基づくと考えられる。

３．脳内で共有される自己と他者の身体図式

村田 哲（近畿大学 医学部 生理学）

古典的には、認知と運動制御は分けて考えられていたが、当然のことながら、運動を達成するには感覚情報を切り離すことはできない。一方で、運動が知覚過程にも影響を及ぼすという考えは以前からある。サルの脳でのミラーニューロンの発見はそれをさらに社会的認知機能へと発展させた。二つの視覚経路のうちの頭頂葉に終わる背側視覚経路は、運動の出力に近い運動前野と相互に結合し、空間知覚のみならず感覚運動制御にも関わっている。この相互方向の結合によって、運動の出力の信号と感覚情報が相互作用をひきおこす。例えば、下頭頂小葉にある AIP 野と腹側運動前野の F5 では、把持運動に

関わるニューロン活動が知られており、頭頂葉からの空間情報が F5 に伝わる。一方で、F5 からの運動の出力信号のコピーが AIP に送られていると考えられる。制御理論では、運動指令のコピー（遠心性コピーないしは随伴発射と呼ぶ）により感覚フィードバックが予測され、またそれが実際の感覚フィードバックと比較がされて、運動の信号を修正し、より正確な運動が達成するという考えがある。運動前野から頭頂葉への情報の流れは、この随伴発射と推測される。我々は、最近になって、頭頂葉のミラーニューロンが、自ら行う視覚誘導性の運動のときに、他者の動作だけでなく自らの運動に対しても視覚的に反応することを明らかにした。ミラーニューロンは他者の内部状態を推測するニューロン活動といわれているが、頭頂葉のミラーニューロンは、上記のような感覚運動制御のシステムの中にあって、自己の運動をモニターする役割がある。自己と他者の動作を共有表現し、自他の動作を比較することで、自他の身体の区別や模倣学習などにも関わるのである。また、他者の動作に反応するということは、他者の身体マップが自己の脳内にも何らかの形で存在するということである。頭頂連合野の VIP 野にあるニューロンは、体の一部分に体性感覚受容野を持ち、また同時にそのすぐ周辺の空間に視覚受容野を持っていて、自己の身体部分や周辺空間のマッピングに関わると考えられている。我々の研究では、これらのニューロンは自己の身体部位と同時に、対面する他者の同じ身体部位上の視覚刺激にも反応することが明らかになった。このことから、他者の身体をマップする際に、自己の身体マップが参照されるのではないかと考えられる。また、VIP 野は PFG 野との結合もあり、ミラーニューロンへ身体情報を送っているのであろう。感覚運動制御では、身体が脳にしたがって動くだけではない。脳内の運動制御システムの中で感覚と運動の情報の相互作用により身体が表象される必要がある。こうしたシステムの中で、自己の身体と他者の身体の共有した表現があり、これが他者の脳内のシミュレーションに関わるようになったと推測される。

４．遅延反応温故知新ー経頭蓋磁気刺激を使った機能介入による研究

筒井健一郎（東北大学大学院生命科学研究科）

前頭連合野は、ヒトの臨床症状、およびサルを使った破壊実験や単一ニューロン活動記録実験の結果によって、行動の目的を遂げるために必要な情報を短期間保持し、操作する能力、すなわち作業記憶を担っていると考えられている。また、頭頂連合野も霊長類において顕著な発達が認められるが、ヒトの臨床症状、およびサルを使った破壊実験や単一ニューロン活動記録実験により、体性感覚や視覚情報などを統合し、マルチモーダルな空間的イメージの形成に関与している部位であることが示唆されている。前頭連合野と頭頂連合野には、相互の線維連絡があることが明らかになっているほか、空間的作業記憶課題遂行中に、遅延期間に持続的に発火するニューロンが同様に記録されることから、前頭連合野と頭頂連合野は、空間的作業記憶を実現するために協調して機能している可能性が示唆されている。さらに、前頭連合野の後方に位置する運動前野は、前頭連合野および頭頂連合野との線維連絡があり、これらの領域において計画・企図された行動について、より具体的な運動イメージを形成して実行に移す役割を担っていると考えられている。したがって、運動前野もまた、空間的作業記憶課題の遂行に重要な役割を果たしていると考えられる。

ここでは経頭蓋磁気刺激（transcranial magnetic stimulation: TMS）を用いた神経活動の抑制により、前頭連合野、頭頂連合野、および、運動前野の機能的役割分担を調べた，以下の結果を得た。前頭連合野を刺激した場合には、刺激半球と対側・同側のいずれの手を使っても、刺激半球と対側の視野のボタンがターゲットとなった試行の正答率が、遅延時間依存的に低下した。これにより、前頭連合野は、対側の空間的注意や短期記憶に関与していることが示唆された。一方、運動前野を刺激した場合には、刺激半球と対側の手を使用したときに、ターゲットのボタンの位置に関係なく、また、遅延時間の長さに関わらず、正答率が低下した。これにより、運動前野は、対側の手を使った運動の企図や実行に関わっていることが示唆された。頭頂連合野を刺激した場合には、刺激半球と対側の視野のボタンがターゲットとなったときに、それと対側の手（すなわち、刺激半球と同側の手）を使わせたときに限って、正答率が低下した。この結果の解釈は難しいが、半側の頭頂連合野の機能抑制効果が、操作対象の位置と用いる手の組み合わせによって生じるという結果は、頭頂連合野が空間情報から運動情報への変換過程を担っていることを示す先行研究による知見と一致すると考えられる。このように，TMS という脳活動に対する新たな可逆的介入法を用いることにより、従来の実験法では困難であった、異なる脳領域への機能介入の効果を、同一課題を用いて同一個体で繰り返し調べるということが可能になった。これにより前頭連合野、頭頂連合野、運動前野の機能的差異を、はじめて単独の実験によって明確に示すことができた。

自己運動方向の知覚における多感覚統合

櫻井 研三（東北学院大学 教養学部人間科学科）

我々の知覚系は，外界の状態や自己身体の状態をとらえる際に，視覚・聴覚・触覚・前庭覚などの多感覚を統合する情報処理を行なっている．自己身体の状態を知覚する多感覚情報処理の一例は，視覚と慣性手がかり（主に前庭覚）にもとづく自己運動の方向知覚である．自己運動が直進運動あるいは回転運動の場合，前庭系と視覚系に反対方向の運動情報が与えられると，一方の情報に従った運動方向のみが二者択一的に知覚され，前庭系への情報が優位になるには，一定以上の加速度が必要であることが報告されている．そこで我々は，視覚と前庭覚により与えられる自己運動方向が直交する場合に，両者が統合される可能性を探る多感覚統合の実験を行なった．観察者が正立着座した状態で左右方向の身体運動を与えられながら，前後方向の身体運動に対応する拡大縮小のオプティカルフロー刺激を視覚的に呈示されると，観察者が知覚する自己運動方向は視覚と前庭覚がそれぞれ伝える自己運動方向の中間値となった．我々はこの研究を展開し，オプティカルフロー刺激を様々な振幅で呈示しながら，様々な身体運動方向の組合せで実験を行なった．さらに，身体座標系と重力座標系が一致しない場合でも，多感覚統合が同様に生じるかどうかを調べるため，観察者を仰臥姿勢にして，身体座標系と重力座標系を直交させた複数の運動方向の組合せについても実験を行なった．これらの実験の結果は，視覚と前庭覚の統合において，両者の何らかの重みづけ結合が行なわれていることを示唆する．この重みづけ結合について，最も良く適合すると考えられるのはベイズ推定モデルやベクトル合成モデルである．ただし，どちらのモデルも２つの情報が統合されることを前提とした理論であり，前述の情報同士が競合する場合のように，どちらか一方の情報だけが優位となる排他的知覚を十分に説明できないことが，問題として残されている．

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

長時間の議論を確保したことから，研究の意義や本質的問題について検討することができた．議論された内容は、各研究の問題意識の共有に繋がるものでありその意義は大きい．今回のテーマから、社会的行動も含めて，行動に関わる知覚認識処理の重要性が理解できた。今後，情報通信技術においてインターラクティブな情報呈示機器におけるインタフェース技術の開発などへの展開も期待される。

［４］成果資料

Kawabe, T. (2012). Postdictive modulation of visual orientation. *PLoS One, 7*(2), e32608.

Kawabe, T., Roseboom, W., & Nishida, S. (2013). The sense of agency is action-effect causality perception based on cross-modal grouping. *Proc Biol Sci, 280*(1763), 20130991.

村田　哲　前田和孝　運動と認知を結ぶ手　シンポジウムⅠ　「手と脳」The
hands as a link between motor control and cognitive function 神経心理学
29(1)：61-70　2013

村田　哲　身体意識とミラーニューロン　Clinical Neuroscience 29 909-918 2011

Ishida H, Nakajima K, Inase M, Murata A. Shared Mapping of Own and
Others' Bodies in Visuotactile Bimodal Area of Monkey Parietal Cortex. J
Cogn Neurosci.　22(1) 83-96 2010

Murata A. and Ishida H. Representation of bodily self in the multimodal
parieto-premotor network　In: Representation and Brain, edited by
Shintaro Funahashi, Springer(2007) pp151-176

Ohara, S., Sato, S., Tsutsui, K., Witter, M. P., & Iijima, T. (2013). Organization of multisynaptic inputs to the dorsal and ventral dentate gyrus: retrograde trans-synaptic tracing with rabies virus vector in the rat. *PLoS One, 8*(11), e78928.

Ishii, H., Ohara, S., Tobler, P. N., Tsutsui, K., & Iijima, T. (2012). Inactivating anterior insular cortex reduces risk taking. *J Neurosci, 32*(45), 16031-16039.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

採択番号　Ｈ２４／Ｂ１２

超高速コンピューティング新概念要素技術の国産実用化展開

［1］組織

代表者：折田　義彦（公財:日本海洋科学振興財団）
対応者：羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
分担者：
板倉　憲一（独法:海洋研究開発機構）
犬竹　正明（東北大学名誉教授）
小林　広明（東北大学ｻｲﾊﾞｰｻｲｴﾝｽｾﾝﾀｰ）
高村　守幸（株式会社富士通研究所　）
谷　啓二（日本ｱﾄﾞﾊﾞﾝｽﾄﾃｸﾉﾛｼﾞｰ株式会社）
徳田　伸二（一財:高度情報科学技術研究機構）
西川　岳（日本電気株式会社）
福井　義成（独法:海洋研究開発機構　）
福田　正大（一財:計算科学振興財団　）
松岡　浩（東北大学電気通信研究機構）
峯尾　真一（一財:高度情報科学技術研究機構）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
村松　壽晴（独法:日本原子力研究開発機構）
渡辺　正（福井大学国際原子力工学研究所）
延べ参加人数：16 人
研究費：物件費　0 円，旅費：　22 万 9 千円

［2］研究経過

“超高速コンピューティング”は，①地球温暖化・異常気象・自然災害等から身を守る，②原子力・火力などのエネルギー供給システムを長期にわたり安全に動かす，③航空機・自動車などの交通手段の高い安全性・信頼性を確保する，④放射線治療・循環器系手術などの分野でより高度な医療技術を確立する等々，人の命・生活基盤に直接かかわる極めて重要な技術であり，“国家基幹技術”として継続的に国産技術が市場を先導していくことが望ましい。このためには，競争の激しい世界市場の中で，絶えず，革新的な新しい概念の要素技術を編み出し，実用システムにいち早く組み入れていく継続的な努力が必要である。

近年の“超高速コンピューティング”は，超低消費電力でコンパクト，そして，高い信頼性を求めている。このニーズに対応できる強力な方法として，東北大学電気通信研究所では，①不揮発性デバイス，②演算・記憶・制御機能の一体化や動的再構成可能化，③ロジックインメモリ構造，④非同期転送によるグローバルクロック削除など　のデバイス・回路レベルの要素技術が発案されている。

本共同プロジェクト研究会は，このような新概念回路技術をはじめとする新概念要素技術に注目して，その可能性を把握し，地球環境，航空・宇宙，原子力，ものづくり等の超高速コンピューティング応用分野における各種システム提案に適当なタイミングでそれを組み入れ，各分野の研究開発プロジェクトの中で新概念要素技術の国産実用化を促進することを目的としている。

本プロジェクトは，本年度が２年度目であった。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本研究会は，地球環境，航空・宇宙，原子力等の超高速コンピューティング応用分野における各種システムの調査を行いながら，それらに応用可能な新概念回路技術をはじめとする新概念要素技術を検討し，各分野のプロジェクトへの国産技術実用化展開を図ろうとするものである。各種システムに関する調査は，本研究会のワーキンググループに位置づけられる少人数会合を，東京近郊において，個別に 6 回開催して行った。また，平成 25 年 12 月には，電気通信研究所（２号館 W217 会議室）において，下記のとおり全体会合を開催し，集中的に意見交換を行った。概要は，以下のとおりである。

○平成 25 年 12 月 19 日（木）13:25~17:00

冒頭，本共同プロジェクト研究会の代表者であり，公益財団法人海洋科学振興財団の常務理事・事務部長・むつ研究所長である折田義彦氏により開会の挨拶がなされた。

最初は，「①スパコン“京”の利用状況と今後」と題して，高度情報科学技術研究機構神戸センター共用促進部次長の峯尾真一氏からスパコン『京』の利用状況に関する説明があった。『京』におけるジョブスケジューリングポリシー，待ち時間ポロシー等の紹介があり，効率的な利用ができるジョブスケジューリングへの改良が望まれている旨の指摘がなされた。

次に，「②海洋シミュレーションの応用例と展望」

と題して，折田義彦氏から，公益財団法人海洋科学振興財団のむつ海洋研究所が実施している研究開発活動の内容とその成果について説明があり，関連する質疑応答がなされた。青森県沖における海流のシミュレーション事例や計測融合シミュレーションを利用したＡＵＶやＲＯＶの可能性について紹介がなされるとともに，“スピントロニクスの原子力への応用”に関する日本原子力研究開発機構の報告会において入手された興味深いプレゼンに関する情報提供がなされた。

続いて，「③小型高分解能合成開口レーダ開発の現状と今後」について，東北大学犬竹正明名誉教授から説明があった。具体的には，国土交通省の河川技術研究開発公募（平成 21～24 年度）で実施した“リアルタイム画像処理合成開口レーダの実用化に関する技術開発”において，最高分解能 13cm，ヘリコプタ上で 30 秒以下のリアルタイム画像表示の性能を，25kg という小型軽量で達成できたことが発表された。

さらに，「④核融合コードにおける超高速コンピューティングへの取り組み」について，一般財団法人高度情報科学技術研究機構の徳田伸二氏から説明があった。核融合炉において実時間・超高速コンピューティングが果たすべき役割，それを実現するための計算環境の条件，プラズマの安定性計算の高速化に関する成功事例，今後の課題としての平衡計算の高速化について，丁寧な解説がなされた。

続いて，「⑤原子炉安全評価の現状と今後」について，福井大学国際原子力工学研究所の渡辺正特命教授から詳細な説明があり，関連する質疑応答がなされた。これからの原子炉安全解析においては，従来実施されていた安全側の予測ではなく，統計的安全評価による最適予測が主流になっていくことが示された。

○平成 25 年 12 月 20 日（金）9:30~16:00

（1）午前の部　9:30~12:00

「⑥調査データに基づく今後の計算機要件」と題して，日本アドバンストテクノロジー株式会社谷啓二氏から説明があり，関連する質疑応答がなされた。谷氏は，平成 24 年 2 月から計算機仕様検討会を開催し，今後のスパコンによる大規模シミュレーションアプリの内容についてヒアリング調査を実施してきており，これをベースに，次世代の計算機のロジック・メモリ・結合ネットワーク等に必要な要件を考察している。今回の発表では，アプリの実行性能を評価するため，以下の３つのパラメータに注目することが提案された。

(i)$(B/F)_{BW}$：　いわゆる通常の“メモリバンド幅”であり，最も重要なパラメータ。

(ii)$(B/F)_{IN}$：　並列処理する場合のノード間通信性能の指針を与えるパラメータ。

(i)$(B/F)_{vol}$：　アプリの問題サイズと計算機並列数を左右するパラメータ。

発表においては，これらのパラメータを具体的な６つのアプリ（a. BCM(Building Cube Mesh)モデル（←立方体格子の積み上げによる構造格子の生成），b. 大気海洋モデル（←格子点法による流体解析＋大気海洋の物理モデル），c. Front ISTR（←有限要素法による構造解析），d. FaSTR（←有限要素法による航空機の CFD），e. demiglace（←粒子法による海洋流体解析），f. 地震波伝播解析（←格子点法））について概算し，要素計算機に必要なピーク性能を導出するまでの過程が示された。まとめとしては，初代地球シミュレータで達成していた$(B/F)_{BW}$＝4.0 を超える高メモリバンド幅を要求するアプリが数多くあること，要素計算機の性能としては，概ね 100～400GFLOPS 程度が求められていることなどが指摘された。

続いて，「⑦産業利用の計算機の問題点」と題して，海洋研究開発機構地球シミュレータセンターシミュレーション応用研究開発プログラム特任技術主幹の福井義成氏から説明があり，関連する質疑応答がなされた。メモリーウォール問題の本質的な分析から始まり，プロセッサコアとメモリ構成の基本的な問題を考察し，理想の計算機に近づく方法について解説がなされた。

さらに，「⑧CAE 計算環境研究会での検討状況」について，一般財団法人計算科学振興財団の福田正大氏から説明があった。同研究会が検討した CAE (Computer Aided Engineering)用スパコンプロセッサの設計例について丁寧な解説がなされるとともに，CAE 計算環境研究会の今後の展開方針が紹介された。

（2）午後の部　13:30~16:00

「⑨直接流体シミュレーションの早期活用を目指して」と題して，松岡浩氏から説明があり，関連する質疑応答がなされた。「多速さ格子ガス法（整数型格子ボルツマン法）による流体シミュレーションによって，計算科学ロードマップにおける“直接流体シミュレーション(DNS)”の実現予測をスパコン１世代分前倒しで実現し、しかも産業開発レベルで普及する。」という具体的な目標が提案された。また，そのための２つの道として，(i) 1 兆格子点規模の DNS をデスクトップで実現し，Validation by DNS-Platform によるものづくり産業開発を促進する道、と(ii)10 億格子点規模の計測融合 DNS をパソ

コンスティックで実現し，計測融合 DNS-stick によるユビキタスな組込み流体制御システムの利用を普及する道が示された。

次に,「⑩不揮発性ロジックＬＳＩ研究開発の現状と展望」と題して，本共同プロジェクト研究会の東北大学電気通信研究所側における対応教官をして頂いている羽生貴弘教授から，最近の研究成果について具体的な事例説明があり，関連する質疑応答がなされた。不揮発性ロジックインメモリアーキテクチャの概念解説に始まり，不揮発性スピンロジックの代表的な応用例として，不揮発性 TCAM (Ternary Content-Addressable Memory)，不揮発性 FPGA (Field-Programmable Gate Array)等の紹介がなされた。論理回路と記憶回路を混在することで電線遅延を減らし，その記憶回路を演算回路の上に重ねて形成することで消費電力と回路面積を大きく削減し，さらに，記憶回路を不揮発性にすることで非動作時の電力を完全にオフにすることができる。さらに，今後の研究展望について説明があった。

最後に，代表者である折田義彦氏により閉会の挨拶がなされて，共同プロジェクト研究会が終了した。

［３］成果

（３－１）研究成果

昨年度の研究会においては，今後の超高速コンピューティングの発展を支える新概念要素技術として注目すべき技術を，単なる羅列ではなく，全体システムの構成をイメージしながら，その中で果たすべき役割の重要性に応じて位置付けることができた。特に，それらのうち，ハードウェアに関する主要な要素技術は，以下のとおりであった。

・高い B/F を実現するベクトルプロセッサ技術,
・スマートフォン低消費電力技術のスパコン活用,
・スピン素子等不揮発性素子内蔵の演算回路技術,
・メモリとプロセッサを重ねる LSI３次元実装技術,
・パターンド媒体など磁気ディスク高密度記録技術

また，かかる状況の中で，将来の超高速コンピューティングの国産実用化展開の促進に向けて，我々のグループが，いま具体的に何をなすべきか？という方向が定まってきた。すなわち,“産業界のニーズに本当に役立つスパコン利用環境の構築”が急務であり，本共同プロジェクト研究会のメンバーによる相互連携で今後この実現に向けて努力していくとのコンセンサスが得られた。

本年度は，以上の検討の流れを受けて,“産業界のニーズに本当に役立つスパコン利用環境の構築”を進めるための具体的な手順を研究成果として得ることができた。それらは，構築すべきスパコン利用環境の規模から，①大規模センターマシン，②産業用 CAE マシン，③計測融合組込みマシン，の３つに分類することができる。①と②を実現する手順としては，まず，実アプリを高効率で処理できるような実効性能の良い要素計算機の開発を行い，次に，そのチップを共通ベースに“CAE マシン”から“センターマシン”をカバーする。（超大規模なあるいは LINPACK ベンチマークをターゲットとするような計算機は開発の対象としない。）谷啓二氏が，別途,“計算機仕様検討会”を立ち上げ，実用アプリを効率よく計算するというニーズから計算機に課せられる要件を抽出されたことは，前述のとおりである。また，高村守幸氏，福田正大氏，福井義成氏ほかが中心になり，別途,“CAE 計算環境研究会”を立ち上げ，CAE 用プロセッサの設計・試作を目指しており，本開発を行う組織の設立を目指している。③の“組込みマシン”については，松岡浩氏から“計測融合 DNS-stick”の提案があり，折田義彦氏らとともに，海洋科学分野への具体的な応用事例の実現を目指す努力が続けられている。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本研究会の成果は，前述のとおり，ユビキタスな計測融合組込みマシン用途も含め，幅広い利用普及を期待できる。また，高村守幸氏，福田正大氏，福井義成氏は，帝京大学の田村唯士教授とともに，別途，下記の CAE に関するシンポジウムを開催しており，CAE アプリユーザの組織化が進められている。

第２回シンポジウム“CAE 向け計算環境を考える”

・平成 25 年 10 月 16 日（水）13-00~17:10
・帝京大学霞ヶ関キャンパス教室 4・5
　千代田区平河町 2-16-1 平河町森タワー9 階
・主催：　CAE 計算環境研究会
・協賛：　株式会社ソフトウェアクレイドル
　日本電気株式会社
　富士通株式会社

［４］成果資料

本共同プロジェクト研究会は、超高速コンピューティングの国産実用化を促進する方策の検討を行うことが目的であるため，研究成果が掲載されている学術論文という意味での成果資料はない。

参考資料として，以下を記載する。

第２回シンポジウム配布資料：

「--第２回シンポジウム
　-- CAE 向け計算環境を考える」
日時：平成 25 年 10 月 16 日（水）13-00~17:10
会場：帝京大学霞ヶ関キャンパス教室 4・5
　千代田区平河町 2-16-1 平河町森タワー9 階
主催：　CAE 計算環境研究会

採択回数	1 ② 3

採択番号　　Ｈ２４／Ｂ１３

ディジタルコンテンツの高付加価値化技術に関する研究

［1］組織

代表者：西村　明
（東京情報大学総合情報学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
青木　直史（北海道大学大学院情報科学研究科）
岩村　惠市（東京理科大学工学部）
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）
河口　英二（九州工業大学名誉教授）
川村　正樹（山口大学大学院 理工学研究科）
栗林　稔　（神戸大学大学院工学研究科）
貴家　仁志（首都大学東京システムデザイン学部）
合志　清一（工学院大学情報学部）
近藤　和弘（山形大学大学院理工学研究科）
小嶋　徹也（東京工業高等専門学校情報工学科）
篠田　浩一（東京工業大学大学院情報理工学研究科）
生源寺　類（静岡大学工学部）
新見　道治（九州工業大学情報工学部）
野崎　剛一（長崎大学情報メディア基盤センター）
野田　秀樹（九州工業大学情報工学部）
長谷川まどか（宇都宮大学大学院工学研究科）
馬場口　登（大阪大学大学院工学研究科）
日置　尋久（京都大学大学院人間・環境学研究科）
藤吉　正明（首都大学東京システムデザイン学部）
宮崎　明雄（九州産業大学情報科学部）
吉田　真紀（大阪大学大学院情報科学研究科）
脇山　正博（北九州工業高等専門学校制御情報工学科）
児玉 涼　（山口大学理工学部）
今井 美和花（東京工業高等専門学校情報工学科）
立川 徹（東京工業高等専門学校情報工学科）
原田　翔平（北海道大学大学院情報科学研究科）
島浦　紳吾（北海道大学大学院情報科学研究科）

研究費：物件費５万円，旅費 66 万９千円

［2］研究経過

メディア処理技術やそれを用いた放送，媒体，ネットワークメディアの発展に伴い，文書，写真，映画，音楽などのディジタルコンテンツの流通が急増している。メディア上のコンテンツ流通が急速に多様化・複雑化するなかで，セキュリティ対策やプライバシー保護によるコンテンツの保護や，メディアに依存したコンテンツの統合方法や高付加価値化が強く求められている。そこで，メディアを流通するコンテンツの『価値』を守る・高める・創る・測るための技術および制度設計について，コンテンツ種別の垣根を掃って，幅広い議論や意見交換を行う場が必要である。

プロジェクト二年目は，本共同研究プロジェクトのメンバーが参加する電子情報通信学会『マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント(EMM)研究専門委員会』にて６回の研究会を開催した。以下では，EMM 研究会が単独で開催した３回の研究会，およびEMM 研究会傘下の「情報ハイディング及びその評価基準研究会(IHC)」が実施した電子透かしコンテストについて活動状況を記載する。

第 12 回情報科学技術フォーラム　イベント企画

第２回統一的評価基準に基づく電子透かしコンテスト～チャレンジングな評価基準を超えられるか！～
日時：平成 25 年９月６日，場所：鳥取大学
概要：電子透かし技術に対して統一的な評価基準を定めて公開し，その基準を超える電子透かし方式を募集した(http://www.ieice.org/iss/emm/ihc/)コンテスト第二回を開催した。コンテストにおいて，評価基準を超えた電子透かし方式の提案者を招き、その説明及び性能に関するデモなどを行って頂き，ディスカッション、及び表彰を行った。

第１回 EMM 研究会

日時：平成 25 年５月 24，25 日
場所：高知城ホール
[ポスタセッション]

- 電子透かし統一基準に準拠した攻撃ツールの作成，岩村惠市・玉井裕太（東京理科大）
- 編集順序を保証するコンテンツ編集アプリケーションの開発，小倉圭司・佐野達彦・稲村勝樹・岩村惠市（東京理科大）
- Wet Paper 符号に対する IST 法の導入とその問題点に関する検討，山本隆博・川村正樹（山口大）
- Optimal Tracing Algorithm for Fingerprinting Code under Averaging Attack, Minoru Kuribayashi（Kobe Univ.）
- A Recommendation System for Anonymous Fingerprinting of Text Posted on Social Networks , HoangQuoc Nguyen-Son（SOKENDAI）・Hiroshi Yoshiura（Univ. of Electro-Comm.）・Noboru Sonehara・Isao Echizen（NII）
- Study on digital watermarking for speech signal based on LSFs modification, Shengbei Wang・Masashi Unokii（JAIST）
- レビューに基づいた映画ポスターの色彩変更による期待度と満足度および総合評価への影響，八木祐太・梶山朋子・大内紀知（青学大）

[一般講演]

- 2D 画像へのデプスマップの埋め込み, 海野　浩（神奈川工科大）・高嶋洋一（NTT）・上平員丈（神奈川工科大）
- 標準 QR コードと互換性を有するカラーコードの検討，菊池真徳・藤吉正明・貴家仁志（首都大東京）

［チュートリアル講演］

- 情報ハイディングの深化と価値向上　～ ハイディング応用の最前線 ～，越前　功（NII）
- 画像データを対象とする情報ハイディング　～ JPEG 画像を利用したハイディング ～, 新見道治（九工大）
- EMM 研究における音響分野の基礎　～ ハイディングからエンリッチメントへ ～, 西村　明（東京情報大）

第 5 回 EMM 研究会

日時：平成 26 年 1 月 27 日，28 日
会場：　東北大学 電気通信研究所
[一般講演(1)]

- 音響学教育のための教材開発，青木直史（北大）
- 音声信号処理に基づく英語プレゼンテーション音声の特徴分析，今井美和花・松永竜太郎・小嶋徹也・吉本定伸・堀　智子（東京高専）・野口ジュディー・津多江（武庫川女子大）
- 遠隔レンダリング型聴覚ディスプレイの試作，岩谷幸雄・庄子拓也・川崎誉洋・千葉順子（東北学院大）・大谷　真（信州大）・土屋隆生（同志社大）
- 錯視を生じさせる幾何学模様が表面に描かれた立体物の印象，大谷智子（東北大）

［招待講演］

- ソーシャルネットワークのプライバシーと個人の特定，吉浦　裕（電通大）

[一般講演(2)]

- クリッピング画像からの透かし復号法とその IHC に基づく評価，児玉　涼・川村正樹（山口大）
- BPCS ステガノグラフィ法における複雑度分布を用いた閾値設定，原田翔平・島浦紳吾・姜　錫・坂本雄児（北大）
- JPEG 画像を対象としたヒストグラムドメイン可逆データハイディング手法，島浦紳吾・原田翔平・姜　錫・坂本雄児（北大）

第 6 回 EMM 研究会

日時：平成 26 年 3 月 7 日，8 日(木)
会場:北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科講義棟 2F I3・4（3 月 7 日）
近江町交流プラザ 4F 研修室 1（3 月 8 日）
[招待講演]

- 映像意味検索の現状と課題,, 篠田浩一（東工大）

[ポスタセッション]

- 視覚特性を考慮した限定色画像に対する大容量情報埋込方式, 谷口敢一・今泉祥子・青木直和・小林裕幸（千葉大）
- 電子透かしに適したソーラス符号と LDPC 符号の誤り訂正能力の比較，平田展裕・川村正樹（山口大）
- 進化型多目的最適化を用いた 2 次元コード用電子透かしの設計，小野智司・前原　武・中居謙太郎・池田　亮・谷口康太郎・中山　茂（鹿児島大）
- プライバシー保護と犯罪防止を両立する監視カメラシステム，小林健人・岩村惠市（東京理科大）・越前　功（NII）
- 音声データハイディングを用いた防災無線システムのための携帯端末用アプリケーションの試作，山口良昌・大泉明弘・立川　徹・小嶋徹也（東京高専）
- 拡張現実感を利用した建物内ナビゲーションシステムの開発，藤本明工・新見道治・野田秀樹（九工大）
- QR コードと互換性を持つ改ざん検出可能な二

次元コード，石原敬之・新見道治・野田秀樹（九工大）
- 基底画像の置き換えによる電子透かしの埋め込み法の提案，金森雷太・川村正樹（山口大）
- センシティブデータの漏洩検知による適応的な公開範囲設定システムのプロトタイプ実装，町田史門（総研大）・梶山朋子（青学大）・嶋田　茂（産技大）・越前　功（NII）
- 量子化ビットのランダムシフトを利用した音声スクランブル法，朱　治・山本克彦・鵜木祐史（北陸先端大）・青木直史（北大）
- Comparative Evaluations of Inaudible and Robust Watermarking Methods for Digital-Audio Signals，Jessada Karnjana・Masashi Unoki・Shengbei Wang・Nhut M. Ngo・Ryota Miyauchi（JAIST）
- 署名継承と編集制御を同時に実現可能なコンテンツ保護方式，古賀克磨・岩村恵市・稲村勝樹（東京理科大）・越前　功（NII）

[一般講演]
- 均等色空間の性質を利用したJPEG画像を対象とする電子透かし法，江口健太・岩田　基・黄瀬浩一（阪府大）
- 加法電子透かし法の IHC 評価基準による性能評価，戸塚拓伸（阪大）・吉田真紀（NICT）・藤原　融（阪大）
- On Inaudibility of Cochlear-Delay-based Watermarking Method with Blind Detection，Nhut M. Ngo・Masashi Unoki（JAIST）
- Simplified Tracing Algorithm of Fingerprinting Code Against Averaging Attack，Minoru Kuribayashi（Kobe Univ.）
- 難視性パターンの数式表現とその評価，川端健太・金田北洋・岩村惠市（東京理科大）・越前　功（NII）
- カメラを利用した難視性パターンからの情報抽出方法の提案と評価，小田俊輔・金田北洋・岩村惠市（東京理科大）・越前　功（NII）
- 高臨場感ヘッドホン再生のための制約条件・重み付き最小二乗法によるサラウンド信号合成，西村竜一（NICT）・薗田光太郎（長崎大）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は以下に挙げる研究成果を得た。

東京情報大学，北陸先端大学院大学，近畿大学，山形大学では，音響電子透かし埋め込み済み信号への信号処理攻撃の妥当性を，処理後の客観音質評価より検討した。その結果，透かし技術評価を行う際に，実施すべき信号処理攻撃が明らかになった[1]。

また，本共同プロジェクトメンバーが中心となる，EMM 研究会の傘下に設立された IHC 研究会は，動画像，静止画像および音響信号への電子透かし技術の評価基準を更新し，基準をクリアする技術を公募するコンテストを開催した。その結果は，FIT2013 イベント企画において発表し，基準をクリアした技術はEMM研究会で発表された[2]。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

EMM 研究会は設立 3 年目を迎え，5 月研究会では，これまでの EMM 研究分野での成果とその今後を展望しつつ研究分野の構成を理解する助けとなるようなチュートリアル講演を，サイバーフィジカル連携分野[3]，画像処理分野[4]，音響処理分野[5]に関して実施した。これらの内容を集約・充実させて，電子情報通信学会会誌において，「情報ハイディングの新たな広がり」という解説記事を執筆した（印刷中）。この記事は，本研究分野に新たに参入する研究者への導入となる貢献を果たすことが見込まれる。

IHC 研究会は，今年度で 2 回目の国内規模のコンテストの開催を経て，次年度は 6 月に京都で開催される ACM 国際会議 ASIACCS2014 のサテライトワークショップ(IWIHC2014: International Workshop on Information Hiding and its Criteria)において，国際的な電子透かし技術コンテストの開催を予定している。このワークショップへは，既に各国から 11 件の投稿があり，研究分野の世界的な波及効果が確認された。

［4］成果資料

[1] “Objective evaluation of sound quality for attacks on robust audio watermarking”, Nishimura, A., Unoki, M., Ogiwara, A., and Kondo, K., In International Congress on Acoustics 2013, POMA (2013), vol. 19, 9 pages.
[2] クリッピング画像からの透かし復号法とその IHC に基づく評価，児玉　涼・川村正樹，信学技報，Vol.113, No.415, pp.27-32, (2013).
[3] 情報ハイディングの深化と価値向上　～ ハイディング応用の最前線 ～，越前　功，信学技報，Vol.113, No.6, pp.1-6, (2013).
[4] 画像データを対象とする情報ハイディング　～ JPEG 画像を利用したハイディング ～，新見道治，信学技報，Vol.113, No.6, pp.49-54, (2013).
[5] EMM 研究における音響分野の基礎　～ ハイディングからエンリッチメントへ ～，西村　明，信学技報，Vol.113, No.6, pp.67-72, (2013).

採択回数	(1)　2　3

採択番号 H25/B01

非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測による新規ナノデバイスの開拓研究

［1］組織

代表者：野村 晋太郎
（筑波大学数理物質系）
対応者：大野　英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
押山　淳
（東京大学工学系研究科）
白石　賢二
（筑波大学数理物質系）
小林　研介
（大阪大学大学院理学研究科）
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
（東京大学理学系研究科）
綿巓　明伯
（東京農工大学大学院工学系）
一宮　彪彦
（名古屋大学工学研究科）
中山　弘
（大阪市立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）
名取　研二
（東京工業大学ﾌﾛﾝﾃｨｱ研究ｾﾝﾀｰ）
伊藤　智徳
（三重大学大学院工学研究科）
遠藤　哲郎
（東北大学大学院工学研究科）
山口　浩司
（NTT 物性科学基礎研究所量子電子物性研究部）
平山　祥郎
（東北大学大学院理学研究科）
中山　隆史
（千葉大学大学院理学研究科）

延べ参加人数：１５人

研究費：物件費 5 万円，旅費 36 万円

［2］研究経過

近年、急速に進歩しつつある不揮発性スピントロニクスデバイスにおいて、消費電力の低減化と動作速度の向上を図るために、ナノ構造中での非平衡スピン・ゆらぎの観測手法とその物理的解明の重要性が増している。本プロジェクトではナノ構造の作製・観測・理論解析の専門家による討論の場を設け、新規ナノデバイス創成に資する知見の獲得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。最近大きな発展の見られる精緻なスピン制御と観測手法、例えば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について議論を行い、非平衡スピンとゆらぎについての物理的解明のための研究手法と今後の研究の進め方について議論を深めた。本プロジェクトでは、半導体サイエンスからは「ナノ電子物性理論」、「高度なレーザー技術」、「非平衡状態測定」等、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織した。平成２５年１０月３１日-１１月１日に宮城県黒川郡大和町「ベルサンピアみやぎ泉」に於いて開催された研究会では、１５名の参加者を得て、非平衡スピンとゆらぎをナノスケールで制御する処方箋の確立を目指した徹底的な討論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，MEMS 共振器に形成されるフォノンモードを用いたフォノンのレーザー発振について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第２に、ダイヤモンドの伝導についての理論的な側面から議論が行われ、将来のハイパワー素子への応用に向けての研究課題が明らかにされた。

第３に，地上の生体物質にみられるＬ型アミノ酸過剰ついて第一原理量子論に基づいた仮説が提示され、この新しい仮説について議論が行われた。

第４に、反射高速陽電子回折による高輝度、高強度による新しい表面構造の最近の研究成果に報告がされ、今後の研究課題が明らかにされた。
第５に，有機・無機ハイブリッド材料の開発の現状について報告があり、フィルムベースエレクトロニクスの実現に向けての研究課題が明らかにされた。
第６に、新しいGa原料を用いた新しいHVPE法について報告がされ、大面積GaNウエハーの製造のための今後の研究課題が明らかにされた。
第７に，GaAs(001)面への高濃度窒素ドープについて最新の成果が報告され、極限の原子薄膜における二次元物性が議論され、今後の研究課題が明らかにされた。
第８に、半導体界面における励起子の量子的乖離過程についてのシミュレーション結果が示され、有機太陽電池等の高効率化へ向けての今後の研究課題が明らかにされた。
第９に、スピン流によって情報伝達を行うスピントロニクス素子に固有の雑音源としてスピンショット雑音についての議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。
第１０に、Beyond-Siデバイスの候補であるInSb系半導体ヘテロ接合ついての報告があり、良好な電子密度制御性のために解決すべき課題が明らかになった。
第１１に、従来のT2の拡張概念である「一般化T2」の測定手法に基づいた位相緩和を起こす揺らぎの物理的描像について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。
第１２に、電子-正孔多体相関状態の基底状態を外部制御して発光により検出する方法が提案され、今後の研究課題が明らかにされた。
第１３に、二次元トポロジカル絶縁体の候補となっている単一原子層のハニカム構造をもつシリセンの電子状態についての実験的研究の現状について報告があり、今後の展望が明らかにされた。
第１４に、単一原子層のハニカム構造をもつシリセンの電子状態について密度汎関数法に基づく計算結果が示され、実験的研究の現状と照らし合わせて議論され、今後に解決すべき課題が明らかになった。
第１５に、スピントロニクスを用いた集積回路の意義と技術の現状について報告され、省エネルギー・高性能であるというスピントロニクス素子の優位点を生かした日の丸半導体の復活のための方策について議論が行われ、今後の課題が明らかにされた。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など
（大型プロジェクトへの発展・国際会議（シンポジウム）への発展・学外研究者との交流，共同研究による効果・研究者ネットワークの拡大・若手研究者の育成・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等）

本プロジェクトは，半導体サイエンスからは「ナノ電子物性理論」、「高度なレーザー技術」、「非平衡状態測定」等、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織され、分野間の壁を越えたところで、非平衡スピン・ゆらぎについての物理的解明を行い、不揮発性スピントロニクスデバイスの超低消費電力化と超高速化のための処方箋の確立を目指した徹底的な討論する希有の機会を提供することができた。その結果、ナノスケールのゆらぎと電子相関が現行のデバイスに与えている限界、さらに、そこを越えて性能と新機能を追求する新原理デバイスのいくつかの可能性が提案された。具体的には、スピントロニクス素子中のスピンショットノイズ、GaN、ダイヤモンド等を用いたハイパワー素子の省電力化や高信頼性化、太陽電池の高効率化に対して大きな指針が示された。また、最先端デバイスにおいてのみ見いだされる問題点の徹底討論から、サイエンスの側から解決すべき課題が明らかにされた。以上のナノサイエンス・ナノテクノロジーに関する成果は、ナノスケール特有の非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測に根ざした新原理デバイスの大きな指針を与え、科学技術立国日本の再生への大きな原動力となると期待される。

［4］成果資料

(1) Y. Okazaki, I. Mahboob, K. Onomitsu, S. Sasaki, and H. Yamaguchi, "Quantum point contact displacement transducer for a mechanical resonator at sub-Kelvin temperatures", Applied Physics Letters **103** (19), 192105 (2013).

(2) K. Onomitsu, M. Mitsuhara, H. Yamamoto, and H. Yamaguchi, "Ultrahigh-Q Micromechanical Resonators by Using Epitaxially Induced Tensile Strain in GaNAs", Applied Physics Express **6** (11), 111201 (2013).

(3) I. Mahboob, V. Nier, K. Nishiguchi, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, "Multi-mode parametric coupling in an electromechanical resonator", Applied Physics Letters **103** (15)(2013).

(4) Kazushiro Nomura, Shoko Hanagata, Atsushi Kunisaki, Rie Togashi, Hisashi Murakami, Yoshinao Kumagai, and Akinori Koukitu, "High-Temperature Heat-Treatment of c-, a-, r-, and m-Plane Sapphire Substrates in Mixed Gases of H_2 and N_2", Japanese Journal of Applied Physics **52**, 08JB10 (2013).

(5) Rie Togashi, Sho Yamamoto, K. Fredrik Karlsson, Hisashi Murakami, Yoshinao Kumagai, Per-Olof Holtz, and Akinori Koukitu, "Effect of High NH3 Input Partial Pressure on Hydride Vapor Phase Epitaxy of InN Using Nitrided (0001) Sapphire Substrates", Japanese Journal of Applied Physics **52**, 08JD05 (2013).

(6) Toru Kinoshita, Toshiyuki Obata, Toru Nagashima, Hiroyuki Yanagi, Baxter Moody, Seiji Mita, Shin-ichiro Inoue, Yoshinao Kumagai, Akinori Koukitu, and Zlatko Sitar, "Performance and Reliability of Deep-Ultraviolet Light-Emitting Diodes Fabricated on AlN Substrates Prepared by Hydride Vapor Phase Epitaxy", Applied Physics Express **6**, 092103 (2013).

(7) Hideharu Tanaka, Osamu Kojima, Takashi Kita, and Kouichi Akahane, "Enhancement of Optical Anisotropy by Interconnection Effect along Growth Direction in Multistacked Quantum Dots", Japanese Journal of Applied Physics **52** 012001 (2013).

(8) Satoshi Yasuno, Takashi Kita, Aya Hino, Shinya Morita, Kazushi Hayashi, and Toshihiro Kugimiya, "Physical Properties of Amorphous In–Ga–Zn–O Films Deposited at Different Sputtering Pressures", Japanese Journal of Applied Physics **52** 03BA01 (2013).

(9) Kensaku Chida, Tomonori Arakawa, Sadashige Matsuo, Yoshitaka Nishihara, Takahiro Tanaka, Daichi Chiba, Teruo Ono, Tokuro Hata, Kensuke Kobayashi, and Tomoki Machida, "Observation of finite excess noise in the voltage-biased quantum Hall regime as a precursor for breakdown", Phys. Rev. B **87,** 155313 (2013).

(10) K. Akiba, T. Yuge, S. Kanasugi, K. Nagase, and Y. Hirayama, "Optically induced nuclear spin polarization in a single GaAs/AlGaAs quantum well probed by a resistance detection method in the fractional quantum Hall regime", Phys. Rev. B **87**, 235309 (2013).

(11) K. Takashina, Y. Niida, V. T. Renard, B. A. Piot, D. S. D. Tregurtha, A. Fujiwara, and Y. Hirayama, "Spin and valley polarization dependence of resistivity in two dimensions", Phys. Rev. B **88**, 201301(R) (2013).

(12) S. Nomura, M. Yamaguchi, H. Tamura, T. Akazaki, Y. Hirayama, M. Korkusinski, and P. Hawrylak, “Photoluminescence fine structures in the fractional quantum Hall effect regime “, Phys. Rev. B **89** (11), 115317 (2014).

(13) M. Ono, J. Ishihara, G. Sato, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Strain and origin of inhomogeneous broadening probed by optically detected nuclear magnetic resonance in a (110) GaAs quantum well", Phys. Rev. B **89**, 115308 (2014).

(14) M. Yamada, T. Hirahara, and S. Hasegawa, "Magnetotransport measurements of a superconducting surface state of In- and Pb-induced structures on Si(111)", Phys. Rev. Lett. **110**, 237001 (2013).

(15) N. Nagamura, R. Hobara, T. Uetake, T. Hirahara, M. Ogawa, T. Okuda, K. He, P. Moras, P. M. Sheverdyaeva, C. Carbone, K. Kobayashi, I. Matsuda, and S. Hasegawa, "Anisotropic Electronic Conduction in Metal Nanofilms Grown on a One-Dimensional Surface Superstructure", Phys. Rev. B **89**, 125415 (2014).

(16) M. Aitani, Y. Sakamoto, T. Hirahara, M. Yamada, H. Miyazaki, M. Matsunami, S. Kimura, and S. Hasegawa, "Fermi level tuning of topological insulator thin films", Jpn. J. Appl. Phys. **52**, 110112 (2013).

(17) Zhi-Xin Guo, Shinnosuke Furuya, Jun-ichi Iwata, and Atsushi Oshiyama, "Absence and presence of Dirac electrons in silicene on substrate", Phys. Rev. B **87**, 235435 (2013).

採択回数　①　2　3

採択番号　H２５/B０２

微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成

［1］組織

代表者：白谷 正治
（九州大学大学院システム情報科学研究院）
対応者：庭野 道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
足立 聡（宇宙航空研究開発機構）
飯塚 哲（東北大学大学院工学研究科）
石原 修（横浜国立大学大学院工学研究院）
内田 儀一郎（大阪大学接合科学研究所）
上村 鉄雄（核融合科学研究所）
古閑 一憲（九州大学大学院システム情報科学研究院）
佐藤 徳芳（東北大学）
齋藤 和史（宇都宮大学大学院工学研究科）
柴田 裕実（大阪大学）
高橋 和生（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
東辻 浩夫（岡山大学）
林 康明（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
増崎 貴（核融合科学研究所）
三重野 哲（静岡大学理学部）
山野内 敬（仙台高等専門学校）
渡辺 征夫（九州大学）

延べ参加人数：22 人

研究費：物件費 4 万 6 千円、旅費 32 万 3 千円

［2］研究経過

本研究プロジェクトの目的は、量子効果が期待できる新規ナノ材料を反応性微粒子プラズマプロセスを用いて探索し、次世代のナノ情報通信デバイスへと応用展開することにある。近年、反応性ガスを用いたプラズマプロセスにより、気相中で様々なナノ材料の生成が実現している。プラズマを利用したナノ粒子生成には、粒子の凝集を制御できる等のプラズマプロセス特有の利点があるが、サイズ制御や構造制御など微粒子微細制御法の確立までには至っていない。このような研究背景において、本研究プロジェクトでは、ナノサイズからミクロンサイズまでの微粒子を含むプラズマ（微粒子プラズマ）の基礎的物性を明らかし、その知見を新規ナノ粒子生成プロセスへと応用展開することを目的とする。具体的には、プラズマ中微粒子群の相転移・臨界現象など微粒子プラズマ特有の微細揺動現象の発現メカニズムを議論し、揺動制御による新規ナノ材料創成プラズマプロセスの実現を目指す。本研究プロジェクトの特徴は、基礎プラズマ分野と応用プラズマ分野の領域横断的な研究組織を構成することにより、多角的な視点から新規プラズマプロセスに関する活発な議論を行う点にある。以下、研究活動状況の概要を記す。

【研究討論会開催状況】
日時：平成 25 年 9 月 5 日（木）、6 日（金）
場所：東北大学青菜記念会館４階大会議室
参加者：5 日　40 人、6 日　34 人

1. ガス銃衝突反応におけるプルームの微粒子測定
　三重野 哲（静岡大学理学部）
2. プラズマ・液界面相互作用によるナノ粒子合成
　白井 直機（首都大学東京大学院理工学研究科）
3. ウエットプロエスによる単分散複合粒子の合成と集積化
　長尾 大輔（東北大学大学院工学研究科）
4. 構造制御重相プラズマによる空間選択ナノ粒子合成
　金子 俊郎（東北大学大学院工学研究科）
5. 反応性プラズマ中ナノ粒子のサイズ分布制御
　白谷 正治（九州大学大学院システム情報科学研究院）
6. プラズマ生成ナノ粒子を用いた大容量 Li 電池
　内田 儀一郎（大阪大学接合科学研究所）
7. コンプレックスプラズマの基礎物性と構造形成
　石原 修（横浜国立大学 大学院工学研究院）
8. 円柱状微粒子プラズマにおける構造形成
　東辻 浩夫（岡山大学）
9. 微粒子プラズマにおける電極と容器構造による微粒子空間分布の変化
　高橋 和生（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科）
10. 微粒子プラズマ物理を応用したグロー放電プラズマ中におけるカーボンナノチューブの制御成長
　林 康明（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科）

［3］成果

（3－1）研究成果

三重野氏（静岡大）から、宇宙での隕石の衝突を模擬した微粒子プラズマ実験に関する成果が報告された。ミリサイズのポリカ粒子を 6.5 km/s まで加速し、Fe ターゲット等に入射させる斬新なアイデアで、Fe ターゲット前面で高温プルームが発生し、炭素系の大変ユニークな微粒子の形成が確認された。微粒子の粒径は、10 nm 程度のものが主であるが、カプセル形状の炭素微粒子が観測され、その中に Fe が内包する新規構造を見いだした。

白井氏（首都大学東京）から、大気圧プラズマジェット応用の最新の成果が報告された。大気圧プラズマジェットを溶液に照射する気相/液相ハイブリッドプロセスでナノ粒子の生成に成功した．具体的には $HAuCl_4$ 溶液を用いて Au ナノ粒子、$AgNO_3$ 溶液を用いて Ag 粒子の生成に成功し、また 2 つの溶液を混ぜることにより、Ag コア周辺に Au が堆積した Ag/Au コアシェルナノ粒子の生成に成功した。また、放電基礎現象として、溶液表面に同心円状の放電パターンが自己組織的に形成されることを新たに見いだした。さらに、He プラズマジェットの周辺に N_2 ガスや O_2 ガスを流し、大気ガスの影響を排除したプラズマジェット実験の一例も報告された。

特別講演として長尾氏（東北大）から、溶液プロセスを用いた新機能性ナノ粒子生成とそのマニュピレート法に関する最新結果が報告された。具体的には、ゾルーゲル法を用いたシリカ、チタニアナノ粒子の生成、磁場を用いた溶液中ナノ粒子の挙動制御について報告され、プラズマ気相プロセスとの相違点についての興味深い議論が展開された。

金子氏（東北大）から、気相液相界面を利用した新規プラズマプロセスついて報告された。気相プラズマと液体との界面近傍の局所電場（物理機構）と両媒体の解離・電離反応（化学反応）を制御するという、新規プロセスの概念が提案された。プロセスの具体例として、Au ナノ粒子の生成とそのカーボンナノチューブ中への内包が紹介され、カーボンナノチューブ内への DNA 修飾 Au ナノ粒子の出し入れによるデリバリーシステムへの応用展開の可能性が示された。また、気液界面プラズマプロセスに、強磁場を併用することにより、プラズマ中に設置したメッシュのパターンを、ナノ粒子配列パターンに転写できることが実験的に示され、新規プロセスの幅広い応用の可能性が示された。

白谷氏（九州大）から、反応性プラズマを用いたナノ粒子生成と粒径制御法に関する研究結果が報告された。プラズマ駆動高周波電圧をAM変調することにより、気相中で生成されるナノ粒子群のサイズ分布が精密に制御でき、狭サイズ分布ナノ粒子生成が実現可能であることが実験的に示された。このメカニズムとして、ナノ粒子生成・成長に関するレート方程式が解析され、秒オーダーのタイムスケールでナノ粒子の CVD 成長に寄与する活性ラジカル群の長距離相互作用の効果が、微粒子成長に関する新規モデルとして提案された。

内田氏（大阪大）から、Si、Ge 等のIV族ナノ粒子の太陽電池、Li イオン電池応用が報告された。ナノ粒子を量子ドットとして利用することで、高効率量子ドット太陽電池が実現可能であることが示された。主な実験結果として、ナノ粒子量子ドット太陽電池の量子効率が示され、ナノ粒子のバンドギャップの 2 倍以上のエネルギーを有する光入射で、効率が急激に上昇する現象が報告され、1 個のフォトン入射で 2 個以上のキャリアが生成される多重励起子生成現象の可能性が示された。

石原氏（横浜国立大）から、微粒子プラズマの基礎物理現象に関する最新の実験結果が報告された。0.15 T 程度の磁場を印加することで、微粒子群の回転運動が観測され、さらに竜巻状に重力に逆らって上昇する現象が新たに見いだされた。また、その駆動メカニズムを明らかにし、この結果は米国一流学術誌 Physical Review Letter に報告された。

東辻氏（岡山大）から、微粒子を含有するプラズマのボイド構造に関する理論的研究結果が報告された。流体近似を用いた解析により、プラズマ密度の径方向分布が導出され、微粒子局在箇所において、電子密度がイオン密度に比べ上昇することが明らかになった。また、微粒子の粒径の増大により、微粒子局在箇所が、中心近傍から周辺に移動し、ボイド構造が形成されることが理論的に示された。

高橋氏（京都工芸繊維大）から、微粒子プラズマの無重力実験に関する最新結果が報告された。ガス圧力 34 Pa、微粒子サイズ 2.55 μm の条件で低パワーの微弱 RF 放電プラズマを発生させることにより、微粒子群のボイド構造が消滅できることが報告された。また、PK3 プラス、PK4 などと命名された異なる無重力微粒子プラズマ実験系に関して、プラズマ密度の径方向分布を系統的にまとめ、中心付近のプラズマ密度が 10^9 cm^{-3} 以下の条件でボイド構造が消滅できることが示された。

林氏（京都工芸繊維大）から、高配向カーボンナノチューブ成長に関する研究成果が報告された。RF 放電プラズマと DC 放電プラズマを併用することでプラズマを安定化させ、さらに基板前面の強シース電界を利用した新規カーボンナノチューブ配向性制御法に関する結果が示された。また、カーボンナノチューブの自動車用燃料電池やスーパーキャパシタ

への大々的な応用展開の可能性が示された。

佐藤氏（東北大）から、微粒子プラズマにおけるプラズマ電子温度、電子エネルギー分布の重要性が指摘され、プラズマの利点を意識した研究展開の必要性が述べられた。また、新規プラズマプロセスを用いた生成物の探索にとどまらず、その反応・生成過程を学問的に体系化することの重要性が指摘された。最後に渡辺氏（九州大）から、プロセスに利用するプラズマの基礎特性を詳細に理解することの重要性が述べられた。また、ウエットプロセスなどの他分野との研究交流の重要性が指摘されるとともに、自然現象と関連させた微粒子プラズマ物理研究の重要性が指摘された。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献

- 平成 25 年 12 月 12 日、13 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 14 回微粒子プラズマ研究会が開催された（Organizing committee chair：京都工芸繊維大 高橋氏（分担者））。本プロジェクトの分担者はもとより、インド、パキスタン、カザフスタン、ドイツ、ロシア、オーストラリアからも多数の参加があり、本分野が国際的に大きく発展する可能性を示した。
- 平成 26 年 3 月 28 日本物理学会春季大会、領域 2 シンポジウムで、本プロジェクトと関連した「微粒子プラズマの計測と制御」に関するシンポジウムが開催された（Chair: 静岡大学　三重野氏（分担者））。分担者である高橋氏、東辻氏、齋藤氏、古閑氏の発表を含む 5 件の招待講演が行われ、物理学の見地からも本プロジェクトの研究課題の重要性が認識された。
- 本プロジェクトで議論される微粒子プラズマの基礎物理現象と応用の最新トピックは、国際宇宙ステーションを用いたドイツ・ロシア・日本の微粒子プラズマに関する国際共同研究（JAXA、京都繊維大　高橋氏、岡山大　東辻氏ら）へと発展する可能性を有している。
- 若手育成に関して、今回の研究会において、約 20 人の学生の参加があった。本研究プロジェクト研究会では、微粒子プラズマの基礎物理、ナノ粒子生成応用、デバイス応用と広範囲に渡る最新のトピックが議論され、本分野の若手研究者の育成に大きく貢献したものと考えられる。

［４］成果資料

【学術論文】

[1] Y. Saitou and O. Ishihara, “Dynamic Circulation in a Complex Plasma”, Phys. Rev. Lett. 111 (2013) 185003.

[2] F. Sayed, S. V. Vladimirov, Yu. Tyshetskiy, and O. Ishihara, "Modulational interactions in quantum plasmas", Physics of Plasma 20, (2013) 072116.

[3] B. P. Pandey, S. V. Vladimirov and O. Ishihara, "Surface waves in the magnetized, collisional dusty plasmas", Physics of Plasmas 20, (2013) 103703.

[4] M. J. Rahman, T. Mieno, "Production of Single-Walled Carbon Nanotubes by Modified Arc Discharge Method", Jpn. J. Appl. Phys, 52 (2013) 056201.

[5] M. A. Imtiaz, T. Mieno, “High Density Fluorine Negative-Ion Source Generated by Utilizing Magnetized SF_6”, Journal of Modern Physics, 5 (2014) 89.

[6] T. Mieno, N. Matsumoto, “Production of Carbon Nanotubes and Carbon Nanoclusters by the $\boldsymbol{J}\times\boldsymbol{B}$ Arc-Jet Discharge Method”; Chap. 1 of “Carbon Nanotubes and Other Composites”, INTECH, Croatia, 2013, pp.3-18.

[7] M. J. Rahman, T. Mieno, “Effects of magnetic field and gravity on single-walled carbon nanotubes production in three directions of arc discharge current”, Proc. 12th Asia Pacific Physics Conf., 14-19, July, 2013. pp.1-8.

[8] G. Uchida, Y. Wang, D. Ichida, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, "Characteristics of Crystalline Silicon/Si QuantumDot/Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Hybrid Solar Cells", Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 11NA05.

[9] G. Uchida, M. Sato, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, "Characteristics of Photocurrent Generation in the Near-Ultraviolet Region in Si Quantum-Dot Sensitized Solar Cells", Thin Solid Films 544 (2013) 93.

【国内会議発表】

[10] 高橋和生, 斗内愛美, 東辻浩夫, 足立聡, 「微小重力環境における円筒状微粒子プラズマのクーロン結晶 の観察」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 2013-09-19 同志社大学京田辺キャンパス

[11] 齋藤和史, 石原修, 「磁場中コンプレックスプラズマにおける厚みのある円盤の回転運動」, 日本物理学会秋季大会, 28aKC-1（徳島大, 2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　3

採択番号　H25/B03

次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究

［1］組織

代表者：柳井　武志
（長崎大学大学大学院工学研究科）
対応者：石山 和志
栃 修一郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
藪上 信（東北学院大学工学部）
小澤 哲也（東北学院大学工学部）
直江 正幸（電磁材料研究所）
内田 裕久（東北工業大学工学部）
池田 愼治（富山高等専門学校）
佐藤 敏郎（信州大学工学部）
曽根原 誠（信州大学工学部）
中山 英俊（長野工業高等専門学校）
井上 光輝（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）
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）
山本 健一（琉球大学工学部）

延べ参加人数：３０人

研究費：旅費３５万４千円

［2］研究経過

携帯電話やパソコンなどに代表される情報通信機器は著しく発展しており，今後も更なる発展が予測される。情報通信機器の今後の発展のためには，内部で用いられる電気・電子デバイスの発展が不可欠であり，デバイスで用いる電気・電子材料の特性を熟知したうえで，デバイスに応用していく必要がある。すなわち，優れたデバイスの開発には材料からデバイス作製まで一貫した研究開発が有利といえるが，研究者が扱う研究テーマの細分化が進んでいる現状では，材料開発からデバイス開発まで一貫した研究開発を行うことは，設備的にも時間的にも容易なことではない。研究・開発のスピードと質を両立させようと考えると，それぞれの専門家・研究者が持つ知見や技術に関する情報交換の場を積極的に活用し，共有する必要があるといえる。

以上のような背景の下，我が国がこれまで学術面・産業面で世界的にリードしてきた“磁気”の分野に関するデバイスすなわちアクチュエータ，磁気センサ，各種インダクタ素子などに代表される「磁性デバイス」を発展させることを目的に，主に

① 材料開発
② 材料評価
③ 磁性デバイス開発

の各分野を専門とする研究者で本研究会を組織した。

本プロジェクトは，本年度が初年度であり，11/25-26 の 2 日間，東北大学　電気通信研究所内の会議室にて，「次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究」というテーマにて，博士課程の学生も交えた研究成果発表ならびにディスカッションを行った。本研究会では，各自の研究を見つめなおすことによる研究の質の向上を主題としつつ，各自が得意とする研究分野および各自が有する技術を紹介し，また関連する成果報告を行った。この研究会を通じ，各々の分野の現状と課題を共有・理解し，ディスカッションを通じた課題克服法および共同研究の可能性の模索を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の研究ならびに研究会を通じて，得られた研究成果を要約して以下に記述する。

東北大学のグループは，磁性ナノ粒子を内包する磁性複合薄膜の作製に関する検討を行い，電気泳動堆積法と電析法を用いることで，フェライト系のナノ材料をコア材料とし，白金系電析膜をマトリックスとする新しいタイプのコンポジット磁性膜作製を提案した。研究会当時は，5 kOe 程度の保磁力を有する磁石膜であったが，研究会内でのディスカッションならびに成膜手法に関する助言を活用し，現在

では10 kOeを超える大きな保磁力を有する磁性膜の作製に成功している。

信州大学のグループは，各種電子機器で用いられるLSIの低消費電力化を目指し，LSIにおいて演算処理ブロックごと電源管理を行うLSIスマートグリッドに着目した。LSIスマートグリッドの実現は，機器の待機電力を低減し，データ処理も電力も効率的に管理することが可能になると期待される技術である。本年度は，特に有機インターポーザ内蔵型プレーナパワーインダクタの開発に注力した開発を進めた。インダクタには，小型，低背，漏洩磁界が小さいものが要求されるため，コイルは平面スパイラル構造で，外鉄磁心構造とし，磁心にはZn-Feフェライトめっき膜（$u' \simeq 48, u'' \simeq 0@f = 30$ MHz）とFe系微粒子エポキシ樹脂中分散型複合材料（$u' \simeq 7.5, u'' \simeq 0.5@f = 30$ MHz）を用いた。演算処理ブロック近傍用小電流・薄型インダクタには，Zn-Feフェライトめっき膜（約10 μm）をコイルの上下に配し，一方，大電流用インダクタには，コイルの下層にZn-Feフェライトめっき膜（約10 μm），上層に複合材料（約30 μm）を配した構造とした。このような構造を実現し，演算処理ブロック近傍用小電流・薄型インダクタの特性を評価した結果，$f = 30$ MHzにおいて，インダクタンス$L \simeq 5$ nH，性能指数$Q \simeq 10$が得られ，同サイズの空心インダクタに比べLは約3倍，Qは約2倍に向上させることができた。また，電磁界解析ソフトフェアにより磁束密度分布を解析したところ，磁性膜装荷によって磁性膜内に磁束が集中し，外部へのクロストークノイズが減少する傾向が示された。大電流用インダクタは試作途中であるが，電磁界解析ソフトフェアによる解析結果では，$f = 30$ MHzにおいて，$L \simeq 7$ nH，$Q \simeq 14$，直流重畳特性も4.5 AでLが30 %しか低下しない可能性が示唆された。

電磁材料研究所のグループは，代表的な高周波磁性材料であるグラニュラー膜に関する開発を進めた。高周波で使用する場合，膜の電気抵抗率を増加させる必要があり，これを実現すべくマトリックス相にフッ化物を適用した。特に，バンドギャップが高く，結晶性が良好なCaF_2が抵抗率の増加に有効であることを明らかとした。このCaF_2をマトリックス相とし，グラニュール相に高い磁気異方性を有するCo-Pd基合金を適用したCoPd-CaF_2のグラニュラー膜を磁界中タンデムスパッタ法にて作製した。この膜に，面内磁化容易軸方向に静磁界を加えて300 ℃程度の熱処理を施したところ，明瞭な面内一軸磁気異方性が発現した。異方性の制御は，高周波デバイスへの応用の際に不可欠な要素であり，高電気抵抗かつ異方性の制御性の良いCoPd-CaF_2のグラニュラー膜が得られたことから，次世代の高周波デバイス用の新しい材料としての活用が期待される結果となった。なお，本成果に関連する報告を行った電磁材料研究所の直江氏はフェライト国際会議（ICF11）にて，New Product & Novel Technology Awardを受賞した。

長崎大学のグループは，電析法で作製した磁性膜に関する研究を進め，その中から，水溶液からの高保磁力白金膜と水溶液に代わる新規溶媒からの磁性膜作製について報告を行った。従来，白金系の電析膜は，記録媒体用の数～数十 nmの薄い膜厚のものの研究が盛んであったが，医療・歯科用の小型デバイス用途として，ミクロンオーダーの比較的厚い膜が望まれるようになってきた。1 μmを超える厚い白金系の電析膜で高保磁力を示すものの報告は少なく，本年度はまず1 μmを超える厚い白金系の電析膜の作製に取り組んだ。その結果，浴内でのFeイオンの錯体化による安定化やPt試薬の溶解度向上をはかることで，20 μm程度の厚さを有する膜質の良好なFe-Pt膜を実現した。また，この膜に熱処理を施すことで，研究会当時で8 kOe程度の高い保磁力を得た。現在では，10 kOeまで保磁力を向上させることができている。また，水溶液に代わる新規溶媒として，新共晶溶媒（DES：Deep eutectic solvent）に着目し，FeやNi，Fe-Niの膜作製に関する萌芽的な研究に取り組んだ。その結果，DES浴は高い電流効率で成膜が可能であることがわかってきた。DESから作製したFe膜に関しては，査読付きの欧文誌に投稿した論文が採択され，現在，出版中である。また，このテーマはH26年度の科学研究費補助金基盤研究(C)に新規採択され，今後の発展が期待される分野である。上記，Fe-Pt膜およびDES浴から作製したFe-Ni膜に関しては，2014年5月に，磁気の分野では大きな国際会議の一つであるthe IEEE International Magnetics Conferenceにて報告予定である。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度は，初年度であったが，本プロジェクト研究会を通じて，学外研究者との交流が活性化したと考えられる。実際に，プロジェクト研究会での講演内容をもとに，一部で共同研究が始まった。東北大学と長崎大学のグループは2014年5月のthe IEEE International Magnetics Conferenceでその成果を発表予定である。また，その他にも共同研究がスタートしたグループもあり，今後も継続的な交流を行うことで，新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつくと考えられ，今後の個々の研究あるいは研究者が連携した研究の発展が期待される。

［4］成果資料

(1) H. Fukunaga, A. Tou, M. Itakura, M. Nakano, and T. Yanai, “Magnetic Properties of Sm-Co/a-Fe Nanocomposite Thick Film-Magnets at Room and High Temperatures”, *IEEE Transactions on Magnetics*, **50**, No. 1, 2014. 1, pp. 2101504-1～4.

(2) M. Nakano, K. Motomura, T. Yanai, and H. Fukunaga, “Nanocomposite Thick-Film Magnets with Nd-Fe-B+・-Fe Phases Prepared under High Laser Energy Density”, *IEEE Transactions on Magnetics*, **50**, No. 1, 2014. 1, pp. 2101404-1～4.

(3) T. Yanai, T. Shimokawa, Y. Watanabe, M. Nakano, K. Suzuki and H. Fukunaga, “Electrodeposited Fe-Ni Films Prepared in a Citric-Acid-Based Bath with Different pH Values”, *IEEE Transactions on Magnetics*, **50**, No. 1, 2014. 1, pp. 2000703-1～3.

(4) R. Horikawa, H. Fukunaga, M. Nakano, and T. Yanai, “Magnetic properties of isotropic and anisotropic $SmCo_5$/α-Fe nanocomposite magnets with a layered structure simulated by micromagnetic theory”, *Journal of Applied Physics*, **115**, No. 17, 2014. 1, pp. 17A707-1～3.

(5) T. Okada, Y. Gonzalez-Alfaro, A. Espinosa, N. Watanabe, T. Haeiwa, M. Sonehara, S. Mishima, T. Sato, A. Munoz-Noval, P. Aranda, M. Garcia-Hernandez, E. Ruiz-Hitzky, “Magnetic and electronic properties of bimagnetic materials comprising cobalt particles within hollow silica decorated with magnetite nanoparticles”, *Journal of Applied Physics*, **114**, No. 12, 2013. 9, pp. 4304-4311.

(6) N. Hirokubo, H. Komatsu, N. Hashimoto, M. Sonehara, T. Sato, ″Wideband Visible Wavelength Range MEMS Fabry-Perot Tunable Filter with Highly Accurate Calibration System″, *IEEE Sensors Journal*, **13**, No. 8, 2013. 8, pp. 2930-2936.

(7) M. Sonehara, H. Kamada, S. Iida, T. Sato, “Characterization of Tunable Magnetic Sensor Using Bias Magnetic Field of a Hard Magnetic Film Magnetized by Pulsed-Magnetic Field”, *IEEE Transactions on Magnetics*, **49**, No. 7, 2013. 7, pp. 3854-3857.

(8) Y. Sugawa, Kazuma Ishidate, Makoto Sonehara, Toshiro Sato, ″Carbonyl-Iron/Epoxy Composite Magnetic Core for Planar Power Inductor Used in Package-Level Power Grid″, *IEEE Transactions on Magnetics*, **49**, No. 7, 2013. 7, pp. 4172-4175.

(9) H. Fukunaga, R. Horikawa, M. Nakano, T. Yanai, T. Fukuzaki and K. Abe, “Computer Simulations of the Magnetic Properties of Sm-Co/a-Fe Nanocomposite Magnets With a Core-Shell Structur”, *IEEE Transactions on Magnetics*, **49**, No. 7, 2013. 7, pp. 3240-3243.

(10) M. Takezawa, Y. Kimura, Y. Morimoto and J. Yamasaki, “Analysis of Magnetization Reversal Process of Nd-Fe-B Sintered Magnets by Magnetic Domain Observation Using Kerr Microscope”, *IEEE Transactions on Magnetics*, **49**, No. 7, 2013. 7, pp. 3262-3264.

(11) T. Yanai, H. Uto, T. Shimokawa, M. Nakano, K. Suzuki, and H. Fukunaga, “Electrodeposited Fe-Co Films Prepared from a Citric-acid-based Plating Bath”, *Journal of the Korean Physical Society*, **62**, No. 12, 2013. 6, pp. 1966-1968.

(12) T. Shimokawa, T. Yanai, K. Takahashi, M. Nakano, K. Suzuki, and H. Fukunaga, “Electrodeposited Fe-Ni Films Prepared from a Tartaric-acid-based Bath”, *Journal of the Korean Physical Society*, **62**, No. 12, 2013. 6, pp. 1963-1965.

(13) T. Yanai, Y. Sakamoto, M. Nakano, H. Kakehashi, A. Okada, H. Fukunaga, “Reduction in eddy current loss for a power coupler in an electrodeless discharged lamp”, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, **37**, No. 3-2, 2013. 5, pp. 151-154.

(14) S. Okazaki, A. Takeuchi, A. Takeshima, M. Sonehara, T. Sato, N. Matsushita, “Fabrication of a Zn ferrite thick film planar power inductor for DC-DC converter LSI package”, *Wiley Electronics and Communications in Japan*, **96**, No. 4, 2013. 4, pp. 53-60.

代表的な査読付き欧文紙を掲載

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２５／Ｂ０４

磁性の電界制御の物理と応用

［１］組織

代表者：白井　正文
（東北大学 電気通信研究所）
対応者：白井　正文
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
小田　竜樹（金沢大学 理工研究域）
中村　浩次（三重大学 工学研究科）
鈴木　義茂（大阪大学 基礎工学研究科）
塩田　陽一（大阪大学 基礎工学研究科）
野崎　隆行（産業技術総合研究所）
喜多　浩之（東京大学 工学系研究科）
千葉　大地（東京大学 工学系研究科）
延べ参加人数：１１人

研究費：物件費　５万円，旅費　３２万２千円

［２］研究経過

不揮発性磁気メモリをはじめとするスピントロニクス・デバイスのさらなる低消費電力化を実現するためには，電界印加による磁化反転の技術を確立することが不可欠である。本プロジェクトでは，磁性の電界効果の理解を深め，そのデバイス応用を促進することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が初年度であり，国内の関連研究者を集めて，最新の研究成果を発表すると共に，共同研究の可能性について意見交換した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度は，研究会を平成 25 年 11 月 27 日（第１回）と平成 26 年３月５日（第２回）に開催した。講演者と講演題目は以下のとおりである。

第１回　研究会
小田竜樹「接合界面の磁気異方性と電界効果」
野崎隆行「MgO 二重バリア構造における電圧磁気異方性制御」
塩田陽一「超薄膜 3*d* 遷移金属／MgO 接合系における電圧効果及びスピン波共鳴の分裂」
縄岡孝平（大阪大学）「Fe 薄膜におけるスピン波伝搬の電圧変調」
喜多浩之「CoFeB／酸化物スタックにおける界面磁気異方性の電圧印加による不揮発的な制御の試み」
辻川雅人（東北大学）「FeCo 薄膜磁性の電界制御に関する第一原理計算」

第２回　研究会
千葉大地「金属磁性の電界制御」
辻川雅人「金属薄膜磁性の電界変調効果に関する第一原理計算」

［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。

界面 MgO/Fe をもつ２種類の系 MgO(5ML)/Fe(5ML)，MgO(5ML)/Fe(5ML)/MgO(5ML)について密度汎関数法に基づき，第一原理電子状態計算を実施した。構造最適化後の電子状態について議論を行った。MgO と Fe の母相では対応する格子定数が 4%程度異なっているため，2 種類の系についてそれぞれについて MgO と Fe に対応する面内格子定数を用いた計算を実施した。計算した 4 つの系について，Fe 原子と O 原子が最近接で結合する配置で計算を行った。構造最適化により界面構造について次のような結果を得た。面内格子定数にほとんど依らず界面を構成する 2 面の距離は同じであった。界面の Mg は Fe 層側に 0.04～0.06Å 程度変位している。これに関連して，界面に電気双極子モーメントが誘起されている。界面構造については，周期境界条件を用いてバルク系にて計算された結果とほぼ同じ結果であることが確認された。磁性層と誘電体層で平均的静電ポテンシャルを評価することにより，MgO の両端に Fe 層がある場合と，片方のみに Fe 層がある場合とで，Fe 層と MgO 層の間の電位差に大きな変化が生じることが明かになった。MgO(5ML)/Fe(5ML)の場合，この電位差は界面の電気双極子モーメントの向きと符合しており，MgO(5ML)/Fe(5ML)/MgO(5ML)に比較して，界面 Fe 上の電子数が少なくなっていることが明かとなった。この計算結果は，誘電体の片方の界面を変化させることにより，反対側の界面に分布する電子数を変化させることが可能であることを示唆するものである。

（小田竜樹）

Fe/MgO 界面の結晶磁気異方性に対する B 元素の

影響を調べるために，B 元素を Fe 層内および界面に挿入した MgO/FeB 構造の第一原理計算を行った。B 元素は界面に偏析する傾向にあり，B 原子が界面に位置した場合，垂直磁気異方性が消失すること，しかし，界面から 2 原子層以上離れた場合，垂直磁気異方性が回復することがわかった。これは，B 原子が界面にある場合と比べ，界面にない場合，界面の Fe-O 軌道間混成により垂直磁気異方性が強められるためである。また，外部電場による結晶磁気異方性の変化はB元素が界面に偏析することにより小さくなる傾向にあった。

一方, 3d 遷移元素のみからなる強い垂直磁気異方性を示す磁気トンネル接合系金属薄膜をを設計するために，Fe 原子と他の遷移元素（Mn, Co, Ni）からなる種々の超格子薄膜の結晶磁気異方性を計算した。計算の結果, 7 原子層からなる Fe-Ni 薄膜（Fe/Fe/Ni/Fe/Ni/Fe/Fe 超格子薄膜）において，結晶磁気異方性エネルギーが 2.5 meV/f.u. (0.28 meV/Å^2) という強い垂直磁気異方性を示す金属薄膜を提案することができた。これは，Fe 薄膜と比較して 3 倍程度強い垂直磁気異方性を示している。（中村浩次）

MgO/CoFeB/Ta 構造において, 電界効果によるトルクを電圧誘起強磁性共鳴法により評価を行った。高周波電圧印加による強磁性共鳴を励起し，印加磁場方向に対するスペクトルの形状変化から，明らかにスピントルクとは異なる対称性を持つことを理論的・実験的に実証した。また，直流電圧も同時に加えることで，非線形共鳴の観測および電界効果により共鳴周波数がシフトすることを明らかにした。同様の手法を用いて, Ta 下地および Ru 下地を有する CoFeB/MgO 接合において，電界効果によるトルクが逆方向であることが明らかになった。これは電界効果の符号が下地層に対して影響されることを示唆している。

一方，MgO/Fe/Au エピタキシャル構造において，伝搬するスピン波の電界制御，およびスピン波スペクトルの Fe 膜厚依存性を調べた。Fe 5 nm の素子においてダブルロックイン法による高感度な測定回路を用いることで，電界効果によるスピン波共鳴の変調が観測された。また，ネットワークアナライザを用いた S_{11} 測定において，Fe 1 nm の超薄膜領域においては，スピン波共鳴の分裂が観測された。電界効果との関係性を調べる上で大変興味深い。
（塩田陽一，鈴木義茂）

高い熱安定性を有する構造での電界磁気異方性制御実現を目的として，MgO サンドイッチ構造における電界効果を調べた。Fe 参照層(50 nm)/MgO(2.5 nm)/FeB(1.5 nm)/MgO(1.5 nm)/上部電極からなるトンネル接合素子を用いて，磁気抵抗曲線のバイアス電圧依存性から磁気異方性変化の定量評価を行った。上部電極側を正電圧とするバイアス方向において, 約 100 fJ/Vm と従来構造比で 2 倍以上の大きな界面磁気異方性エネルギー変化を観測した。また，単層障壁構造と異なる傾向として，負バイアス側においても，絶対値は小さくなるものの，正バイアスと同符号の異方性変化を観測した。この結果は，電界効果のバイアス電圧依存性に新しい自由度を与える可能性を示唆しており，起源解明が今後の重要な課題である。（野崎隆行）

電界効果によって界面磁気異方性エネルギー（K_{int}）が変化する現象には，従来から提案されてきた界面電荷の増減によるものとは別に，界面近傍での化学状態変化によるものが想定される。CoFeB と Al_2O_3 の積層構造の界面に TiO_x 層を僅かに挿入したところ，電界に応答した異方性変化が観察されるほか，電界印加を中断しても元の値には復帰せずに不揮発的に残る成分があることを見出した。この不揮発的な効果は TiO_x 層を挿入したときのみ顕在化し，かつ，直前に印加した電界の向きに応じて繰返し増減した。K_{int} は界面を構成する酸化物の酸素欠損によって敏感に変化することから，TiO_x 中で正に帯電する酸素空孔の分布が電界によって不揮発的に変化し，それに K_{int} が応答したと考えられる。現時点では不揮発な K_{int} の変調効果は小さいが，これを増大させることができれば，より大きな電界効果の実現を期待できる。（喜多浩之）

Pt 上に成膜した Co 超薄膜では、電界印加によりキュリー温度が 100 K 程度変化することが分かっている。本年度は同系における磁気異方性の電界効果，磁壁移動速度の電界効果，磁性の電界効果の製膜条件依存性を中心に研究を進めた。磁気異方性の電界効果については，様々な温度で電界下での磁気異方性を調べた結果，磁気異方性が電界により変化する符号が，試料温度がキュリー点に近づくと逆転することが分かった。磁壁移動速度の電界効果については，透明電極下の磁壁移動を光学的に観察し，磁壁移動速度の電界効果を直接観察することに成功した。磁性の電界効果の製膜条件依存性については，Co/Pt をスパッタ製膜する際のキャップ層の MgO 製膜時のスパッタパワーにより，電界効果の符号が制御できることが分かった。一方，磁性半導体 (Ga,Mn)As の磁化の熱安定性を電界制御することで，無磁場下で電界パルスによる磁化スイッチングを観測した。（千葉大地）

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献

本プロジェクトにおいて，磁性の電界変調の微視的起源を解明することにより，磁性の電界制御を利用した省エネルギー・スピントロニクス・デバイスの実用化を促進できるものと，今後の発展が期待されている。

［４］成果資料

(1) K. Hotta, K. Nakamura, T. Akiyama, T. Ito, “Role of interfacial B impurity in magneto-crystalline anisotropy at MgO/Fe interface”, *J. Korean Phys. Soc.*, **63**, 762 (2013).

(2) K. Hotta, K. Nakamura, T. Akiyama, T. Ito, T. Oguchi, A. J. Freeman, “Atomic-layer alignment tuning for giant perpendicular magneto-crystalline anisotropy of 3d transition- metal thin films”, *Phys. Rev. Lett.*, **110**, 267206 (2013).

(3) Y. Shiota, F. Bonell, S. Miwa, N. Mizuochi, T. Shinjo, Y. Suzuki, “Opposite signs of voltage-induced perpendicular magnetic aniso- tropy change in CoFeB/MgO junctions with different unerlayers”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 082410 (2013).

(4) T. Nozaki, K. Yakushiji, S. Tamaru, M. Sekine, R. Matsumoto, M. Konoto, H. Kubota, A. Fukushima, S. Yuasa, “Voltage-induced magnetic anisotropy changes in an ultrathin FeB layer sandwitched between two MgO layers”, *Appl. Phys. Express*, **6**, 073005 (2013).

(5) J. Koba and K. Kita, “Voltage-induced nonvolatile change of magnetic anisotropy of CoFeB ultrathin films stacked with multivalent oxides”, *ECS Trans.*, **58**, 127 (2013).

(6) K. Yamada, H. Kakizakai, K. Shimamura, M. Kawaguchi, S. Fukami, N. Ishiwata, D. Chiba, T. Ono, “Electric field modulation of magnetic anisotropy in MgO/Co/Pt structure”, *Appl. Phys. Express*, **6**, 073004 (2013).

(7) H. Kakizakai, K. Yamada, M. Kawaguchi, K. Shimamura, S. Fukami, N. Ishiwata, D. Chiba, T. Ono, “Direct observation of domain wall motion in Co/Pt wire under gate electric field”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 070206 (2013).

(8) D. Chiba and T. Ono, “Control of magnetism in Co by an electric field”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **46**, 213001 (2013).

(9) T. Koyama, A. Obinata, Y. Hibino, D. Chiba, “Sign reversal of electric field effect on coercivity in MgO/Co/Pt system”, *Appl. Phys. Express*, **6**, 123001 (2013).

(10) D. Chiba, T. Ono, F. Matsukura, H. Ohno, “Electric field control of thermal stability and magnetization switching in (Ga,Mn)As”, *Appl. Phys. Lett.*, **103**, 142418 (2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	１　２　３

採択番号　H25B05

新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開

［１］組織

代表者：尾松　孝茂
（千葉大学大学院融合科学研究科）
対応者：枝松　圭一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：芦田　昌明（大阪大学）
石川　顕一（東京大学）
井戸　哲也（(独)情報通信研究機構）
大村　英樹（(独)産業技術総合研究所）
桂川　眞幸（電気通信大学）
熊倉　光孝（福井大学）
長谷　宗明（筑波大学）
延べ参加人数：４５人

研究費：物件費７，５００円，旅費１６万３千円

［２］研究経過

〇目的

光源開発、物質科学、量子光学、デバイス工学が高度に融合したことで、光の位相や電場ベクトルなどの時間・空間パラメーターが極限化され、アト秒物理をはじめとする革新的光科学が生まれた。
量子光学を研究する枝松圭一教授と新規光源開発を研究する千葉大学尾松孝茂教授をコーディネーターとし、光源開発、物質科学、量子光学、デバイス工学を手がけている第一線の若手研究者を一同に集め、協調的融合を促す。その結果、光を用いた革新的ナノ情報デバイスが創成できる。

〇概要

本プロジェクト研究会の具体的な実施状況を以下に示す。

6 月 5 日　招待講演者リストアップと研究会日程の決定。（東北大学電気通信研究所）
7 月―9 月　研究会プログラムの決定と各学会及び研究会への案内の配信。（メール審議）
10 月 15-16 日　研究会実施。（東北大学電気通信研究所）
研究会規模は講演件数 28 件(招待講演者 5 名含む)、聴衆約 70 名。(当日のプログラムは次ページに添付)
11 月-12 月　反省会と研究会実施報告書作成。メール審議）

光を用いた次世代ナノ情報デバイス創成には光源開発、物質科学、量子光学、デバイス工学の研究者ネットワークと協調的な融合が必要不可欠である。そこで、本研究会では、これらの研究分野で活躍している若手研究者を一同に集め、最新の情報交換と研究討議を行った。その結果、次世代の日本の新しいナノ情報デバイス創成に向けた研究者ネットワークが構築できた。

「新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開」研究会

平成 25 年 10 月 15－16 日
東北大学ナノスピン実験施設 4F 会議室

10 月 15 日(火)
9:00　開会の挨拶　枝松圭一　（東北大）
9:10－9:55　山田博仁　（東北大）招待講演 1
9:55－11:40　量子光学 1
青木　隆朗　「キャビティ QED による原子と光子の量子操作」

清水　亮介　　「多光子波束による物質の非線形光学応答」
早瀬　潤子　　「量子ドットによる光・量子メモリの創出と高光非線形性の探求」
前田　はるか　　「デコヒーレンスフリーな非発散波束の生成と量子制御への応用 」
熊倉　光孝　　「原子波回路を用いた物質波ソリトンの光学的制御」
越野　和樹　　「光子数確定パルスの空間制御理論」
木下　俊哉　　「光格子によるアトムトロニクスのためのデバイス開発」
11:40－13:00　　昼食
13:00－13:45　　中沢正隆　（東北大）招待講演 2
13:45－15:00　高強度物理
石川　顕一　　「高強度超短パルス短波長光中の原子分子ダイナミクス」
大村　英樹　　「位相制御光による量子的分子操作と極限計測技術への展開」
井戸　哲也　　「位相コヒーレント真空紫外パルスによる精密原子分光」
板谷　治郎　　「高次高調波のコヒーレンスを利用した分子動画観測」
森下　亨　　「強高度レーザーによる超高分解能４次元時空イメージング」
15:00－15:15　　休憩
15:15－16:00　　笹木敬司　（北大）招待講演 3
16:00－17:15　テラヘルツフォトニクス&プラズモニクス
芦田　昌明　　「光伝導アンテナによる光電場の直接検出 」
久保　敦　　「ナノ光学素子中のプラズモンダイナミクスのフェムト秒映像化」
永井　正也　　「2 準位電子のモノサイクルパルスによるコヒーレント過渡応答」
田中　拓男　　「プラズモニック・メタマテリアルの創製と新奇光デバイスへの展開」
宮丸　文章　　「フラクタル構造による光制御可能性の探索と光機能素子の創製」

10 月 16 日(火)
9:30－10:15　　佐藤俊一　（東北大）招待講演 4
10:15－11:15　　新機能光源
菱川　明栄　　「強レーザー場における NO 分子の解離性イオン化：π-σ 軌道遷移の効果」
尾松　孝茂　　「トポロジカル光波シンセシス」
桂川　眞幸　　「分子光変調による超高繰り返し超短パルス光の発生」
芦原　聡　　「赤外サイクルパルス光波による分子振動ダイナミクスの追跡」
11:15－11:30　休憩
11:30－12:15　　計測科学
長谷　宗明　　「コヒーレント物質波制御による電子・光子の操作」
櫛引　俊宏　　「光技術による生体幹細胞の分化制御　－再生医療実現化にむけた光技術の創成－」
三代木　伸二　　「重力波検出技術が拓く超巨視的量子性の物理」
12:15－13:00　　伊藤弘昌　(理研)　招待講演 5
13:00　　閉会の挨拶　枝松圭一　（東北大）

〇研究成果

1) “Light induced conch-shaped relief in an azo-polymer film,” M. Watabe, G. Juman, K. Miyamoto, T. Omatsu, Scientific Reports, **4**, 4281 (2014).
2) “Transfer of light helicity to nanostructures,” K. Toyoda, F. Takahashi, S. Takizawa, Y. Tokizane, K. Miyamoto, R. Morita, T. Omatsu, Phys. Rev. Lett., **110**, 4-143603 (2013)
3) “Experimental violation and reformulation of the Heisenberg's error-disturbance uncertainty relation,” S.-Y. Baek, F. Kaneda, M. Ozawa, K. Edamatsu, Scientific Reports, **3**, 2221 (2013).
4) “Excitonic Rabi oscillations in self-assembled quantum dots in the presence of a local field effect,” K. Asakura, Y. Mitsumori, H. Kosaka,　K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki, N. Ohtani, Phys. Rev. B **87**, 7-241301 (2013)

5) “Achromatic THz wave plate composed of stacked parallel metal plates,” M. Nagai, N. Mukai, Y. Minowa, M. Ashida, J. Takayanagi, H. Ohtake, Opt. Lett. **39**, 146-149 (2014).

6) “Coherent phonon-induced optical modulation in semiconductors at terahertz frequencies,” M. Hase, M. Katsuragawa, A.M. Constantinescu, H. Petek, New Journal of Physics, **15**, 055018 (2013)

採択回数　①　2　3

H25／B06

低炭素エネルギー社会を実現する電磁波技術に関する研究

［1］組織

代表者：大平　孝
（豊橋技術科学大学）
対応者：末松　憲治
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
水野　皓司（東北大学 電気通信研究所）
石川　容平（京都大学 生存圏研究所）
伊東　健治（金沢工業大学 工学部）
伊山　義忠（熊本高専）
澤谷　邦男（東北大学 工学部）
常信　和清（富士通研究所）
高木　直（東北大学 電気通信研究所）
徳満　恒雄（住友電工）
二川　佳央（国士舘大学 理工学部）
野本　俊裕（東北工業大学 工学部）
橋本　修（青山学院大学 理工学部）
松永　誠（岡山理科大学）
宮崎　守泰（三菱電機）

延べ参加人数：１６人

研究費：物件費0円，旅費30万5千円

［2］研究経過

有限な地球資源の有効活用、さらに環境汚染のないエネルギー世界の実現は、未来の世界が持続的に発展していく上で不可欠なものであり、現在の我々に課せられた大きな課題でもある。また、先の東日本大震災の教訓を受け、原子力に代わるエネルギーの探索も重要である。これらの課題解決の方策として、脱化石燃料化、再生可能エネルギーによる発電技術（太陽光、風力、etc.）の開発・実用化が世界規模で進められつつある。

電力の有効利用に関しては、家庭における太陽光発電、スマートメータ、HEMS(Home Energy Management System) 、V2G(Vehicle to Grid)/V2H(Vehicle to Home)などからなるスマートハウスシステムが提案され、大きな市場が見込まれる。また、脱化石燃料の観点から電気自動車（ PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle /EV(Electric Vehicle))の開発が世界中で積極的に進められつつある。これらのシステムを実現する上で重要な技術として、蓄電技術とワイヤレス給電技術が注目され、積極的に技術開発が進められている。また、一方、省電力技術は古くて新しい課題であり、高効率化、低消費電力化、低損失化の技術開発、さらには、エネルギー・ハーベスティングなどの新技術開発が進められつつある。

このような現状における課題解決のため、本プロジェクトでは、電磁波によるエネルギー応用技術に着目し、以下の項目を中心に研究を行う。

（1）ワイヤレス給電技術の研究
（2）省電力RF技術の研究
（3）電磁波によるエネルギー応用に関する新システム提案と課題検討

本プロジェクトは，本年度が第１年度目であり、1回の研究討論会を実施した。以下に実施内容を示す。

＜研究討論会＞
日時：平成25年10月18日（金）13：00～
場所：仙台市青葉区片平２丁目
東北大学電気通信研究所 2号館 中会議室
出席者（敬称略）：水野皓司、大平孝、石川容平、伊東健治、伊山義忠、常信和清、末松憲治、高木直、徳満恒雄、二川佳央、V.V. Komarov
[プログラム]
（1）「次世代電力系統のためのRF回路理論　トランスレス線形変圧器とは何か」　大平 孝
（2）「GaN HEMT技術」　常信 和清
（3）「マイクロ波ミラー衛星と海洋インバースダムを中核にしたグローバルスマートグリッド構想」
石川 容平
（4）「私のサブミリ波帯の研究と東北大学」
水野 皓司
（5）「若者との付き合い、育成に関して」
伊山 義忠
（6）「Modeling and Design of Microwave Metal Mesh Filters 」　V.V. Komarov
（7）「APMC2014 ワークショップ提案に関して」
末松 憲治
（8）「WLCSP 技術によるマイクロ波・ミリ波コンポーネントは低炭素化に寄与する 」　徳満 恒雄
（9）「パルス駆動ミクサの基本特性 」　伊東 健治

（１０）「左手系線路を用いたマイクロ波の集束」
　二川 佳央
（１１）「CMOS 増幅器 」 高木 直
（１２）全体討議

［３］成果
（３－１）研究成果
研究討論会での報告・討論を通じて（１）ワイヤレス給電技術、（２）省電力 RF 技術、（３）新技術・新システム、に関して以下の知見を得た。

（１）ワイヤレス給電技術
・これまでワイヤレス通信で培ってきた RF 回路技術には小型軽量電力変換が実現できる可能性が秘められている。そのための最初のキー技術として変圧器に着目し、従来の巻き線トランス式の変圧器に替わる新しい回路方式を提案した。
・電力システムにおいて、変圧器に求められる基本機能は、１）電圧が１／N、２）電流が N 倍、３）変圧比 N が負荷インピーダンスに依存しない（この機能を LiLT :Load-invatiant Linear Transform と呼ぶ）、の３点である。線形２ポート網が LiLT となる回路トポロジについて検討し以下の理論を導出した。１）合計３個以下の L（インダクタ）、C（キャパシタ）では LiLT が構成できない、２）L、C を４個用いれば LiLT が構成できる、３）そのトポロジは合計４種類存在する。
・これにより、従来の巻き線トランス（相互インダクタンス）を用いず、集中定数 LC 素子だけを用いて変圧器を構成できる回路トポロジを明らかにし、トランス変圧器の小型軽量化の可能性を示した。

（２）省電力 RF 技術
・窒化ガリウム（GaN）を用いた高電子移動度トランジスタ（HEMT : High Electron Mobility Transistor）の ICT システムへの応用が期待されている。特に、高効率・省電力な GaN パワーデバイスによる低炭素エネルギー社会への貢献が期待されている。
・GaN HEMT ではピエゾ効果と自然分極効果により GaN と AlGaN の界面に高密度の２次元電子ガス(2DEG)が蓄積し、オン時の抵抗（Ron）が低いトランジスタ特性が得られる。また、ワイドバンドギャップ半導体としての高い破壊耐圧と合わせて、GaN HEMT はパワーデバイスとしての優れた性能を有しており、これにより高出力・高効率性能を有している。例えば、携帯電話の基地局では 100W クラスの高出力かつ高効率なパワーデバイスが必要とされる。従来の GaAs MESFET や Si LD-MOSFET を用いたパワーアンプでは 100 W クラスのパワーを出すには、複数のデバイスを並列構成にする必要があったが、GaN パワーHEMT はその高い出力性能により、一つのデバイスで 100 W 以上を出すことができ、高効率・省電力のパワーアンプが実現可能である。また、新たな市場としてミリ波大容量通信システムが注目され、そこに用いるパワーアンプ用にも GaN HEMT が有望である。また、数+MHz 以下のパワーエレクトロニクス用にも GaN HEMT は有望である。

（３）新技術・新システム
・東日本大震災による原発事故により我が国の一次エネルギー確保が一層重要な課題となった。それまで温暖化対策として進めてきた自然エネルギーによる再生可能エネルギーの性格付けが一変し、火力発電、水力発電とともに基幹エネルギーの主役として注目されるようになった。しかし、自然エネルギーが、国家の基幹エネルギーとなるためには、全天候的に稼働可能な蓄電インフラ（ストック）が十分に存在することが必要である。このインフラの機能は平準化による品質改善と需給関係調整の二つの目的で必要とされる。不安定な自然エネルギーを高品位に改質し、基幹エネルギーとして位置付けることを可能にするために、マイクロ波ミラー衛星と海洋インバースダムを中核にしたグローバルスマートグリッド構想を提案した。
・本提案システムの構築によって、エネルギー産出国はマイクロ波衛星回線を使って紛争地域や危険地域を通過せずに二国間でのエネルギー取引を行うことも可能となる。すなわち安全なビジネスと海洋生物保護を保証する。また原子力を含む世界の夜間電力の相互融通が瞬時に可能であり、グローバルな省エネと災害時の救援システム、発電プラントの設備能力の向上等が期待できる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献
本プロジェクトメンバが実行委員長となり下記国際会議を開催予定
国際会議：APMC 2014
実行委員長：末松教授（東北大学）
開催期日：2014 年 11 月 4～7 日
開催場所：仙台国際センタ（仙台）

［4］成果資料

[1] 大平 孝, “電化道路電気自動車”, 自動車技術, 特集：進化する道路関連技術, vol. 67, no. 10, pp. 47-50, Oct. 2013.

[2] Takashi Ohira, "Power efficiency and optimum load formulas on RF rectifiers featuring flow-angle equations" IEICE Electronics Express, ELEX, vol. 10, issue 11, pp.1-9, June 2013.

[3] Takashi Ohira, "Basic circuit theory for emerging RF power conversion in future smart grid systems", IEEE Distinguished Microwave Lecture, pp.1-6, Bangkok, Dec. 2013.

[4] 澤谷邦男、佐藤弘康、水野皓司、"ミリ波イメージング"、映像情報メディア学会誌、Vol.67, No.6, pp.465-467, 2013 年 6 月.

[5] 水野皓司、「私のサブミリ波帯の研究と東北大学」、日本学術振興会 テラヘルツ波科学技術と産業開拓第 182 委員会、第１８回研究会（平成２５年７月１８日）.

[6] Kenji Itoh, Keisuke Noguchi, Shinichi Betsudan, Shigeru Makino, Tetsuo Hirota and Eiji Taniguchi, "The RF bridge rectifier with an impedance transformer miniaturization for wireless power transmission," Proc. 2013 IEICE International Conference on Integrated Circuits, Design and Verification, pp.11-14, 2013.

[7]細谷鴻平, 伊東健治, 別段信一, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介,"インピーダンス変成器を設けたブリッジ形高周波整流回路における高調波処理時の整流効率," 信学技報, MW2013-11, pp.7-12, 2013.

[8] 伊山義忠, “スパイラルインダクタについての発振回路のQファクタ解析－1 端子対等価回路によるＱファクタ比較－,” 信学技報, MW2013-134, pp.17-21, 2013 年 11 月.

[9] 山口聡, 高橋徹, 荒巻洋二, 大塚昌孝, 小西善彦, 澤谷邦男, “ポスト壁キャビティ付誘電体スラブを装荷した定在波型導波管シリーズスロットアレーアンテナ,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol. J96-B, no. 6, pp.631-640, June 3013.

[10] K. Makiyama, T. Ohki, N. Okamoto, M. Kanamura, M. Nishimori, S. Masuda, Y. Niida, Y. Nakasha, K. Joshin, S. Ozaki, N. Nakamura and T. Kikkawa, "High frequency GaN HEMT for millimeter-wave application," Proc. 37th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits held in Europe, pp.1-4, 2013.

[11] N. Suematsu, S. Kameda, H. Oguma, M. Sasanuma, S. Eguchi, K. Kuroda, "Multi-mode SDR VSAT against big disasters (invited)," 43rd European Microwave Conference (EuMC) 2013, EuMC45-2, Oct. 2013.

[12] Satoshi Yoshida, Yuya Suzuki, Tuan Thanh Ta, Suguru Kameda, Noriharu Suematsu, Tadashi Takagi, and Kazuo Tsubouchi, “A 60-GHz band planar dipole array antenna using 3-D SiP structure in small wireless terminals for beamforming applications,” IEEE Trans. Antennas and Prop., vol. 61, no. 7, pp.3502-3510, July 2013.

[13] T. T. Ta, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A calibrationless Si-CMOS 5-bit baseband phase shifter using a fixed-gain-amplifier matrix," IEICE Trans. Electron., vol. E96-C, no. 10, pp.1322-1329, Oct. 2013.

[14] T. Takagi, S. Kameda, N. Suematsu, and K. Tsubouchi, "Dependable air and wireless dependability (invited)," 6th Global Symposium on Millimeter-Waves 2013 (GSMM2013).

[15] K. Tsukashima, M. Kubota, O. Baba, T. Kawasaki, A. Yonamine, T. Tokumitsu, and Y. Hasegawa, "E-band receiver and transmitter modules with simply reflow-soldered 3-D WLCSP MMICs," Proc. 8th European Microwave Integrated Circuits Conference 2013, Nuremburg, pp. 588-590.

[16] Yoshio Nikawa and Suguru Nakamura, “Dynamic measurement of permittivity and permeability using ferrite loaded cavity”, 2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 4 pages, in CD-ROM, June, 2013.

[17] Yoshio Nikawa and Suguru Nakamura, “Dynamic measurement of temperature dependent permittivity and permeability using cylindrical cavity resonator”, Proc. 14th International Conference on Microwave and High Frequency Heating, p. 244, Sept. 2013.

[18] 吉池 諒, 安住壮紀, 須賀良介, 前田益利, 宇野誠, 橋本 修, "近傍電磁界に対するキャップ型電波吸収体の吸収量推定法," 信学論(C), Vol. J96-C, No. 6, pp.156-159, June, 2013.

[19] 稲木一平, 須賀良介, 橋本 修, "電波吸収体を用いた開口面アンテナのサイドローブ抑制に関する一検討," 信学論 (C) (2014 年 1 月 採録決定).

[20] 宮崎 守泰, “研究・開発におけるシミュレータの実際,” 小特集「マイクロ波・光デバイス分野におけるシミュレーション技術の進展」, 信学誌, vol. 96, No. 6, pp. 380-385, 2013.

共同プロジェクト研究

採択回数　①　２　３

採択番号：Ｈ２５／Ｂ０７

物体の表面属性の視知覚に関わる脳内メカニズムの研究

［１］代表者：岡嶋　克典
（横浜国立大学）
対応者：栗木　一郎
（東北大学）
分担者（５０音順）：
内川惠二（東京工業大学）
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（自然科学研究機構生理学研究所）
齊藤　晴美（NTT サイバーソリューション研究所）
坂田　勝亮（女子美術大学）
篠森　敬三（高知工科大学）
須長　正治（九州大学）
徳永　留美（立命館大学）
辻村　誠一（鹿児島大学）
中内　茂樹（豊橋技術科学大学）
永井　岳大（山形大学）
仲泊　聡　（国立障害者ﾘﾊﾋﾞﾘﾃｰｼｮﾝｾﾝﾀｰ病院）
西田　眞也（NTT コミュニケーション科学基礎研）
福田　一帆（東京工業大学）
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）

延べ参加人数：　２９人

研究費：物件費０円，旅費２７万５千円

［２］研究経過

ICT 技術によりコミュニケーションが行われる際に，必要な情報が的確に伝達される事は重要な要素技術であると考えられる．例えば電子商取引などの場面において，質感や色の情報が的確に伝えられる事は社会的にも要請の高い重要な技術である．一方，観察対象を物体として同定・認識することは人間の視覚情報処理機構の重要な目的の一つである．質感や色は物体の同定において特に重要な情報であり，人間はこれらの情報を視覚的に取得し，視覚的な物体の同定を日常的に行っている．本研究では，物体表面の属性に関する様々な研究を行っている第一線の視覚研究者や，当該分野で著明な業績を上げている関連研究者などが一堂に会して研究会を行うことにより，物体表面の属性（質感・色など）を視覚的に取得する情報処理に関する知見を結集することを目的とする．

人間の脳内における，物体表面の属性（質感や色など）に関する情報処理メカニズムの研究を主題とする．色彩は視覚情報の中で強い影響力を持っている．例えば，白黒画像中で物の探索を行うのは，カラー画像中で行うよりはるかに困難である．また，物体の同定（identification）は視覚情報処理の重要なゴールの１つであり，物体表面の持つ特徴（質感や色）の分析は物体同定のための重要な役割を担っている．質感は科研の新学術研究領域（質感脳情報）として取り上げられており，視覚科学・神経科学の分野では重要な研究課題の１つと認められている．

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・美術学などの文理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．

初年度の研究会においては，質感や色などの物体表面の特徴に関する視覚的情報処理の研究分野におけるホットトピックを探る目的で，研究者同士の意見交換を目的とした研究会を行った．

以下の概要で研究会を開き，各研究者の研究状況の報告およびその内容に関する詳細な検討を２回にわたって行った．

平成２５年度，質感・色覚研究会（第１回）
日時：平成２５年１２月２５日ー２６日
場所：東北大学電気通信研究所　大会議室

プログラム
１．物体の反射成分と色残効（永井岳大：山形大学）
２．コンピュータビジョンにおける反射成分分離問題等へのアプローチ（岡谷貴之：東北大学，招聘）
３．輝き知覚を増強する色条件（鯉田孝和：豊橋技術科学大学）
４．メラノプシン神経節細胞の視知覚処理への寄与（辻村誠一：鹿児島大学）

５．視覚／触覚／視触覚による布地感判断の基礎（石川智治：宇都宮大学）
６．不完全順応下における色弁別と色の見え（佐藤智治・永井岳大・栗木一郎・中内茂樹：豊橋技術科学大学，山形大学，東北大学）
７．専門家と非専門家による漆器の見分け（阿山みよし・高橋良武：宇都宮大学，招聘）
８．色依存の静止画が動いて見える錯視（北岡明佳：立命館大学）
９．実空間において紙の光沢が色恒常性に与える影響（溝上陽子：千葉大学）

平成２５年度，質感・色覚研究会（第２回）
日時：平成２６年３月２２日
場所：東北大学電気通信研究所　中会議室

プログラム
１．表面光沢知覚におけるハイライトとシェーディングとの空間的な整合性（澤山正貴・NTT コミュニケーション科学基礎研究所：招聘）
２．ＬＣＤモニタ上の蛍光感知覚について（堀内隆彦：千葉大学：招聘）
３．瞳孔反応を用いた色覚テストの可能性（辻村誠一：鹿児島大）
４．部分的色相マッチングによる知覚反対色過程の研究（山本洋紀：京都大学）
５．質感と色の見えのモードの関連・実験装置見学（栗木一郎：東北大学）

いずれの研究会も文部科学省新学術研究領域「質感認知の脳神経メカニズムと高度質感情報処理技術の融合的研究（略称：質感脳情報学）」との共同開催として行われた．招聘講演者はいずれも，質感脳情報学との交流に基づいて選出された．

［3］研究成果
以下，研究会におけるそれぞれの講演について，検討された事項を要約する．

［3．1］第１回研究会
永井は，暗黒中に単独で呈示され刺激布置としては光源色モードの知覚を生じる刺激に，画像的に質感の情報を与え，色恒常性が得られるかを調べる研究について報告を行った．照明光の手がかりを画像のどこから得ているかについて調べた心理物理実験の経過を報告し，研究方針について議論を行った．

岡谷は主に色や照明情報の画像処理に関する問題について工学的視点からの研究紹介を行った．特徴量ベクトルの成分にスパース性を仮定した場合，局所的な画像処理で照明光の変化に依存しない表面反射率に類似した成分を抽出できるアルゴリズムなどを紹介した．心理物理学的研究において用いられているアイディアと接点の多い話題が提供され，活発な議論が行われた．

鯉田はテスト刺激の周辺に輝度傾斜をもつ誘導領域を追加するとテスト刺激が輝いて見える錯視について，誘導領域に着色するとより強く錯視が感じられることを報告した．さらに，本来無色である明るい領域に色がついて見えることや，それらの現象を説明する３種類のモデルについて報告した．

辻村は，網膜に存在して光受容性を持つ色素を含有するメラノプシン神経節細胞が知覚にどのような影響を及ぼすか，コントラスト検出閾値を測定することによって調べた．メラノプシン神経節細胞は，錐体や悍体などを中心に調べられてきた過去の知覚研究の一部に現れている可能性がある．メラノプシンを単体で刺激する事の技術的困難さにより，厳密な検証を進める必要がある事を報告した．

石川らは，布地の画像と触覚による質感情報を与え，生地の一致性をどの程度正確に判断できるかについて心理物理学的手法により調べた．刺激に使われた画像の撮影状況，画像の空間的精度や輝度階調について活発な議論が行われた．特に布地の観察状況について標準が存在せず，探索的な実験が必要である事から複数の感覚モダリティにおける質感知覚研究の困難さが垣間見られた．

佐藤は，非白色を中心とする有彩色刺激へのコントラスト順応において，色弁別感度と色の見えのシフトの一致／不一致を検討する実験について報告した．この２つの指標による感度測定の結果が不一致である場合，少なくとも色弁別を司るメカニズムと色の見え方を司るメカニズムの２つ以上のメカニズムが存在する事が示される．一致／不一致の評価方法について集中した議論が行われた．

阿山は漆塗りの質感評価について，漆工芸の熟練者と非熟練者がどのような手かがりを使っているかをしらべた研究について報告した．観察（視覚）のみの場合や，手にもって観察した場合，さらに正誤のフィードバック学習を行った場合の観察方法の変化を評価した．漆工芸の鑑別に使われる手がかりを表示するだけの空間・輝度分解能を持ったディスプレイが存在しない事により，実物を使った実験を行われたが，視覚以外の感覚情報に基づく判断が特に経験者では重要視されるなど，視覚のみの要因について抽出する研究の困難さが伺われた．

北岡は，静止画が動いて見える錯視の中で特に色の組み合わせに依存する新しいタイプのものについて報告を行った．このタイプは明るい所と暗い所で運動方向が逆転する特徴を持っている．この運動方向の逆転について，悍体応答を含めた運動検出器モデルによる検討の必要性などについて意見交換が行われた．

溝上は，紙の光沢が色恒常性に与える影響について調べた研究を報告した．市販の色票も光沢／無光沢が別系列の商品として扱われており，両者の色の見えが完全には一致しない事が知られている．心理物理実験にはプラスティックや毛糸など，質感手がかりを豊富に持つ刺激も用いられた．マッチングが見た目の色なのか，光沢などの付加的な視覚情報を除去した後の物体表面の反射特性（アルベド）に関するマッチングか，など実験条件や評価方法に関する詳細な意見交換が行われた．

［3．2］第２回研究会

澤山は，光沢を持つ CG において現れるハイライトと図形の３次元的起伏によって生じる見かけの明度変化との空間的相関性が質感知覚に与える影響について，心理物理実験を行った初期の結果を報告した．実験方法や結果の評価方法について多くの意見交換が行われた．

堀内は，液晶モニタ(LCD)上において蛍光色を表示する際に，光学的な特性の忠実な再現だけでは実物の持つ蛍光感とモニタ上の画像から得る蛍光感が顕著に異なる事について，様々な観察条件における心理物理実験の結果を報告した．心理物理実験において，CG 上で模擬された環境に関する質問が相次いだ事，またモニタの輝度階調解像度が実物の質感を模擬するのに不十分であった事による要因などについて活発な議論が行われた．

辻村は，瞳孔反応を色覚の検査に用いる事ができるかについて，瞳孔反応の基本的な特徴を含めて報告を行った．色覚の検査や網膜上の３錐体の存在比率の検査には網膜電位(ERG)が用いられる事が多く，ERG に対する瞳孔反応の優位性について意見交換が行われた．瞳孔反応は，網膜像を画像的に処理する皮質経路と異なる神経系で生じる事が知られており，色覚特性に限らず神経経路の違いが顕著に現れる現象への応用などが指摘された．

山本は，言語的な色カテゴリーよりもプリミティブな脳内の色情報表現について，部分的色マッチングという方法を用いた実験結果について報告した．特に２色覚者の中で，日常的に緑や赤などの弁別が健常者と同様に行える人の用いている，中間的な色情報表現に関する研究について，質疑や意見交換が集中的に行われた．

［3．3］まとめ

今年度は，文部科学省の新学術領域・質感脳情報との共催で研究会を企画し，質感脳情報の班員から特に本研究会と関連の深い研究を進めている研究者を話題提供者として招聘し，意見交換を促進する試みを行った．

岡谷や堀内は工学的視点から，質感・色覚の基礎研究に関連する問題提起を行った．通常，人間の知覚を起点として行われる視覚科学研究が多い事に対し，画像データ空間での情報処理を起点として人間の見え方の特性に迫る方法論が新鮮であった．

阿山と石川は実物を用いた多感覚的な質感研究について報告を行い，一般的な視覚ディスプレイが質感研究に十分な解像度を持っていない事を端的に示した．表示可能な輝度範囲が広く高精細な画像が呈示可能な有機 EL ディスプレイは，画像生成するシステムがその階調表現に十分対応していない．第２回の研究会では，運用上の工夫によって解消される可能性についても，詳細な情報交換が行われた．

質感研究では特に実物の模倣を高精細表示する要求により高性能ディスプレイが開発され，その関連で従前では不可能だった色覚基礎研究が実現できる可能性が広がっている．一方，高精細な画像は大量の情報を含有するようになり，さらに画像固有性を排除するために基礎研究では多量の画像を使用する必要が生じるため，データドリブンの視覚研究の重要性も再認識される．本年度実施した新学術領域「質感脳情報」の研究者との交流は，知覚中心の研究にこれらの問題の再認識を促す契機となり，有意義であった．次年度以降も，さらに研究交流を促進していくべきであると考えている．

［4］成果資料（関連する研究発表など）

1) 山岸理雄，田村秀樹，中内茂樹，永井岳大，鯉田孝和「色勾配によるグレア錯視の増強と色相特性」日本視覚学会 2014 年冬季大会．
2) 辻村誠一，岡嶋克典「メラノプシン神経節細胞のコントラスト知覚処理への寄与」日本視覚学会 2014 年冬季大会．
3) 北岡明佳「色依存の静止画が動いて見える錯視：杆体が関与？」日本色彩学会誌, 37(4), 400-401.
4) 佐藤智治，永井岳大，栗木一郎，中内茂樹「脳内の多チャネル色情報処理に関する研究」平成 25 年度共同プロジェクト研究発表会．

採択回数	1　2　3

採択番号Ｈ２５／Ｂ０８

身体性に基づく人間の適応的運動機能の理解

［1］組織

代表者：近藤　敏之
（東京農工大学大学院工学研究院）
対応者：石黒　章夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
太田　順（東京大学人工物研究センター）
村田　哲（近畿大学医学部）
大木　紫（杏林大学医学部）
渋谷　賢（杏林大学医学部）
中島　剛（杏林大学医学部）
高草木　薫（旭川医科大学医学部）
筧　慎治（東京都医学総合研究所）
中溝　克己（近畿大学医学部）
船越　洋（旭川医科大学医学部）
太田　哲夫（旭川医科大学医学部）
淺間　一（東京大学大学院工学研究科）
池本　有助（富山大学工学部）
田中　宏和
（北陸先端科学技術大学院大学）
前田　貴記（慶応義塾大学医学部）
加藤　元一郎（慶応義塾大学医学部）
千葉　龍介（首都大学東京）
青井　伸也（京都大学工学研究科）
稲邑　哲也（国立情報学研究所）
Jeffrey　TAN（国立情報学研究所）
出江　紳一（東北大学医工学研究科）
田中　尚文（東北大学医工学研究科）
大内田　裕（東北大学医工学研究科）
芳賀　信彦（東京大学医学部）
内藤　栄一（情報通信研究機構）
花川　隆
（国立・精神神経医療研究センター）
横井　浩史（電気通信大学）
四津　有人（東京大学医学部）
矢野　雅文（東北大学電気通信研究所）
伊藤　宏司（立命館大学）

延べ参加人数：35 人

研究費：物件費 5 万円，旅費 61 万 1 千円

［2］研究経過

外界から得られる膨大な感覚情報を統合し，身体を構成する 600 余りの骨格筋を適切に制御することによって，我々の意図は外界に表出される．その実現には，感覚を統合し運動への仲立ちとなる“脳内の身体表現”が存在し，これが自身の意図により円滑に駆動されることが必要である．通常我々はこの“脳内身体表現”を意識することはないが，脳疾患によりこれが損なわれると，身体の動かし方がわからない，動かしていることがわからない，そもそも身体が自分のものであることがわからない等の状況が生じる．このことは，脳卒中や認知症・パーキンソン病などの脳疾患に伴う運動障害の背景に，この“脳内身体表現の異常”が潜んでいる可能性を強く示唆する．

また社会の超高齢化により，我が国では運動障害を有する患者が急増している．脳疾患に伴う運動障害者数は 100 万人を超え，また，将来，介護やリハビリテーションが必要となるロコモティブシンドローム（運動器疾患）の罹患者数も 4,000 万人を超えている．加えて，人工物技術の発展や脳と機械を直接結ぶ BMI（Brain-Machine Interface）技術の発展は，自身の身体を利用しない社会の趨勢を加速させている．

このような現状は，今こそ身体の意義を問い直す時期に来ていることを意味しており，感覚知覚・運動制御と“脳内身体表現”の関係を解明し，これに基づく適応的運動機能の再構築を可能とする研究領域を設立することが本プロジェクトの目的である．

本プロジェクトは本年度が初年度であり，また，構成メンバーの専門が脳神経科学，システム工学，リハビリ医工学と多岐に渡るため，メンバー間の情報交換と具体的連携方法についての議論を第一の目的として研究会を開催した．以下にその概要を記す．

開催日程：　平成 25 年 9 月 30 日ー10 月 1 日
場所：東北大学電気通信研究所大会議室
プログラム：
1）太田 順（東京大学）：「身体性システム科学の構築をめざして」
2）渋谷 賢（杏林大学医学部）：「仮想現実下の到達運動を用いた身体保持感と運動主体感の検

討」
3) 出江 紳一（東北大学）：「非侵襲的脳刺激による神経機能回復～Maladaptive plasticity を回避する方策～」
4) 田中　宏和（北陸先端科学技術大学院大学）：「運動野の情報表現ー計算論的モデルー」
5) 関 和彦（国立精神・神経医療研究センター）：「脳の感覚運動変換機構に対する生理学的アプローチー大脳皮質への入出力を左右する神経メカニズムー」
6) 矢野 史朗（立命館大学）：「セロトニン神経系の数理モデルに内在する緩慢なダイナミクスについて」

［3］成果（以下１０.５ポイント）

（3－1）研究成果

９月の研究会において講演に引き続いて行った相互討論や，その後，不定期に研究会を重ねた結果，本年度は，以下に示す研究成果を得た.

まず，人間の環境認知・適応的運動制御という観点について，システム工学，脳神経科学，リハビリテーション医工学のそれぞれの分野における取り組みを相互にヒアリングすることによって，プロジェクトとして目指すべき研究の方向性の再確認と，具体的な連携の方針が定まった．すなわち，本プロジェクトでは，脳神経科学的知見に基づき，予後予測可能なレベルのモデルベースド・ニューロリハビリテーションの実現を最終的な目標とすることを確認した．その実現のためには，患者の脳内で現在の身体状態がどのように表現されているか定量的にモニタするためのバイオマーカー（脳内身体表現マーカー）を同定することが必要であること，またこのマーカーの候補としては，ミラーニューロンシステムを中心とする前頭-頭頂ネットワークの活動動態に注目することが重要であることが議論された．その過程で，実際に運動している脳神経系に操作的に介入する神経生理実験（介入神経科学）に取り組むことの重要性と，近年飛躍的に発展する脳機能イメージングと機械学習を組み合わせた脳情報復号化（デコーディング）と呼ばれる最新技術を導入することの必要性が指摘された．そこで，プロジェクト期間の途中から，両研究分野における日本の第一人者である関和彦氏（国立精神・神経医療研究センター，部長）と今水寛氏（国際電気通信基礎技術研究所，室長）をメンバーに追加してプロジェクトの実施体制を強化した.

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の議論を通して，脳神経科学とシステム工学およびリハビリテーション医工学を融合する新しい研究領域発足に関する具体的方策の手がかりが得られた．このプロジェクトでの議論をベースとして，平成 26 年度文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究（研究領域提案型）に応募した．平成 26 年 3 月の現時点で，書類選考をクリアし，ヒアリング対象領域に選抜された．これを採択に結びつけ，本プロジェクトで立ち上げたコンセプトの新学術領域を発足させることが今後大いに期待される．H26 年度も引き続き御支援を願えれば幸いである.

［4］成果資料

1. Takebe Y, Kanai-Pak M, Kuwahara N, Maeda J, Hirata M, Kitajima Y, and *Ota J: Recognition of Nursing Activity with Accelerometers and RFID, Kybernetes, 42, 7, accepted (2013).
2. Nakanishi, H, Shichijo, N, Sugi, M, Ogata, T, Hara, T, and *Ota J: Modeling the Process of Animation Production, International Journal of Automation Technology, 7, 4, 439/450. (2013).
3. *Ogawa K, Imamizu H: Human sensorimotor cortex represents conflicting visuomotor mappings, Journal of Neuroscience, 33, 16412-22 (2013)
4. *Fukushima H, Goto Y, Maeda Y, Kato M, Umeda S: Neural substrates for judgment of self-agency in ambiguous situations. PLOS ONE. 2013, 8(8): e72267
5. *Maeda T, Takahata K, Muramatsu T, Okimura T, Koreki A, Iwashita S, Mimura M, and Kato M: Reduced sense of agency in chronic residual schizophrenia with predominant negative symptoms. Psychiatry Research, 2013.
6. *Takei T, *Seki K: Synaptic and functional linkages between spinal premotor interneurons and hand-muscle activity during precision grip. Frontiers in Computational Neuroscience 7:40 (2013).
7. Takei T, *Seki K: Spinal premotor interneurons mediate dynamic and static motor commands for precision grip in monkeys. J.Neuroscience 33:8850-60 (2013).
8. *Ganesh G, Osu R, Naito E: Feeling the force: Returning haptic signals influence effort inference during motor coordination. Nature Scientific reports (in press) 2013.
9. Hosoido T., Mori F., Kiyoto K., Takagi T., Samo Y., Goto M., Nakajima K. and *Wada N. Qualitative comparison between rats and humans in quadrupedal and bipedal locomotion. J. Behav. Brain Sci. 3: 137-149, 2013.
10. *An Q, Ishikawa Y, Nakagawa J, Oka H, Yamakawa

H, Yamashita A, Asama H: Measurement of Just Noticeable Difference of Hip Joint for Implementation of Self-efficacy: In Active and Passive Sensation and in Different Speed, Advanced Robotics, (2013).

11. *Tamura Y, Egawa M, Yano S, Maeda T, Kato M, Asama H: Activeness Improves Cognitive Performance in Human-Machine Interaction, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, **17**, 425-432 (2013).
12. *Hayashi Y, Kondo T: Mechanism for synchronized motion between two humans in mutual tapping experiments: Transition from alternative mode to synchronization mode, Physical Review E, Vol.88, No.2, (2013).
13. *Tanaka H, Sejnowski TJ: Computing reaching dynamics in motor cortex with Cartesian spatial coordinates, Journal of Neurophysiology 109, 1182-1201 (2013).
14. *Tanaka H, *Katura T, and Sato H: Task-related component analysis for functional neuroimaging and application to near-infrared spectroscopy data, NeuroImage 64, 308-327 (2013).
15. *Yano S, Watanabe T, Aonuma H, Asama H: Pitchfork Bifurcation in a Receptor Theory-Based Model of the Serotonergic System, Molecular BioSystems, 9 (8), 2079–2084, (2013).
16. *Aoi S, Kondo T, Hayashi N, Yanagihara D, Aoki S, Yamaura H, Ogihara N, Funato T, Tomita N, Senda K, Tsuchiya K: Contributions of phase resetting and interlimb coordination to the adaptive control of hindlimb obstacle avoidance during locomotion in rats: a simulation study, Biological Cybernetics, 107(2):201-216, 2013.
17. *Aoi S, Katayama D, Fujiki S, Tomita N, Funato T, Yamashita T, Senda K, Tsuchiya K: A stability-based mechanism for hysteresis in the walk-trot transition in quadruped locomotion, Journal of the Royal Society Interface, 10(81):20120908, 2013.
18. *Ueda T, Suzukamo Y, Sato M, Izumi S. Effects of music therapy on behavioral and psychological symptoms of dementia: a systematic review and meta-analysis. Ageing Res Rev. 2013; 12: 628-641.
19. *Nakanowatari T, Suzukamo Y, Suga T, Okii A, Fujii G, Izumi SI. True or Apparent Leg Length Discrepancy: Which Is a Better Predictor of Short-term Functional Outcomes After Total Hip Arthroplasty? J Geriatr Phys Ther. 2013
20. Jain R and *Inamura T: Bayesian Learning of Tool A ordances Based on Generalizat ion of Functional Feature to Estimate Effects of Unseen Tools, Artificial Life and Robotics, Vol.18, 2013
21. *Haga N, Kosaki K, Takikawa K, Tanaka H, Okada K, Nakahara Y, Ogata N: Education and related support from medical specialists for Japanese patients with major skeletal dysplasias. Disabil Health J, 2013.
22. Nakahara Y, Katagiri T, Ogata N, *Haga N: ACVR1 (587T>C) mutation in a variant form of fibrodysplasia ossificans progressiva—second report. Am J Med Genet Part A, 2013.
23. Tojima M, Ogata N, Yozu A, Sumitani M, *Haga N: A novel three-dimensional motion analysis method for measuring the lumbar spine range of motion: Repeatability and reliability compared with an electrogoniometer. Spine 38: E1327-E1333, 2013.
24. Zhang Y, Ogata N, Yozu A, *Haga N: Two-dimensional video gait analyses in patients with congenital insensitivity to pain. Dev Neurorehabil 16(4): 266-270, 2013.
25. *Haga N, Kubota M, Miwa Z: Epidemiology of hereditary sensory and autonomic neuropathy type IV and V in Japan. Am J Med Genet A 161A: 871-874, 2013.
26. Yamamoto T, Yokota K, Amao R, Maeno T, Haga N, Taguri M, Ohtsu H, Ichikawa Y, Goto J, *Tsuji S: An open trial of long-term testosterone suppression in spinal and bulbar muscular atrophy. Muscle Nerve 47: 816-822, 2013.
27. Jiao S, Zhang Y, Ma W, *Haga N: FOP in China and Japan: an overview from domestic literatures. Am J Med Genet Part A 161A: 892-893, 2013 査読有
28. Shitara H, Shinozaki, Takagishi K, Honda M, *Hanakawa T: Representations of movement and sensory afferents in motor areas as revealed by simultaneous neuroimaging and brain-/ nerve-stimulation. Front Hum Neurosci 7: 554 (2013).
29. Hosoda C, Tanaka K, Nariai T, Honda M, *Hanakawa T: Dynamic neural network reorganization associated with second language vocabulary acquisition: a multimodal imaging study. J Neurosci 33(34): 13663-13762 (2013).
30. *Owaki D, Osuka K, and Ishiguro A: Stabilization Mechanism underlying Passive Dynamic Running, Advanced Robotics, 2013.
31. *Owaki D, Kano T, Nagasawa K, Tero A, and Ishiguro A: Simple Robot Suggests Physical Interlimb Communication Is Essential for Quadruped Walking, Journal of The Royal Society Interface, doi: 10.1098/rsif.2012.0669, 2013.

採択回数	①	2	3

H２５／B０９

マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と民生応用

［１］組織
代表者：間瀬　　淳
（九州大学産学連携センター）
対応者：八坂　　洋
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
犬竹　正明（東北大学電気通信研究所）
池地　弘行（九州大学産学連携センター）
佐藤　源之（東北大学東北アジア研究ｾﾝﾀｰ）
高橋　一徳（東北大学東北アジア研究ｾﾝﾀｰ）
近木祐一郎（福岡工業大学電子情報工学科）
山鹿　光紀（富士重工業㈱宇宙航空ｶﾝﾊﾟﾆｰ）
山口　芳雄（新潟大学工学部）
木村　　宏（岐阜大学工学部）
森山　敏文（長崎大学工学部）
王　　小龍（筑波大学プラズマ研究ｾﾝﾀｰ）
際本　泰士（筑波大学数理物質科学研究科）
浦塚　清峰（情報通信研究機構: NICT）
金井　　宏（無人宇宙実験システム研究開発機構: USEF）
島田　政信（宇宙航空研究開発機構: JAXA）
冨尾　　武（宇宙航空研究開発機構: JAXA）
奥野　善則（宇宙航空研究開発機構: JAXA）
伊藤　直樹（宇部工業高等専門学校）
加茂　圭介（富士重工業㈱ 宇都宮製作所）
牧野　　滋（三菱電機㈱ 開発本部）
原　　芳久（三菱電機㈱ 鎌倉製作所）
村田　　稔（日本電気㈱ 誘導光電事業部）
徳田　伸二（高度情報科学技術研究機構）
川上　春夫（アンテナ技研㈱）
小木曽　賢（アンテナ技研㈱）
酒井　文則（サクラテック㈱）
鈴木　昭宏
熊谷　秀夫（多摩川精機㈱）
村手　直明（中日本航空㈱）
能美　　仁（アルウェットテクノロジー㈱）
米澤　千夏（東北大学大学院農学研究科）
齋藤　元也（東北大学大学院農学研究科）
内野喜一郎（九州大学総合理工学研究院）
延べ参加人数：３４人

研究費：物件費 5 万円，旅費 24.9 万円

［２］研究経過

本研究は，電波（マイクロ波）および光（赤外レーザ）を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムの開発製作および評価を効率よく推進していくこと，特に，要素技術としてのハードおよびソフトの開発を進めるとともに，同技術を組み合わせた先進 SAR システムの製作と民生応用を主体とした実用化を実現するための検討を進めるものである。

具体的には，SAR システムの技術開発，実機適用上の課題検討に関する研究会，SAR システムの試験および運用に関する検討会を通じて，① Ku バンド（波長 2 cm）および赤外線（波長 1.55 mm）を用いた航空機搭載合成開口レーダの民生応用についての調査検討を行う。② 1-10 cm の高空間分解を実現するスポットライト方式 SAR システムの開発と実機検証を進めていくことである。以下，研究活動状況の概要を記す。

１）平成 25 年度通研共同プロジェクト研究発表会：ポスター発表「ヘリ搭載画像レーダ “Live SAR” の開発とその高分解能化」（平成 26 年 2 月 27 日）

２）平成 25 年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究」研究会：平成 26 年 3 月 5 日 13:30-17:30，電気通信研究所 1 号館 N 棟 308 講義室にて開催，参加者 11 名（1 名 TV 会議による参加）。

３）平成 25 年度 “Live SAR” およびレーザ SAR に関する共同研究検討会：平成 26 年 3 月 6 日 9:30-12:00，東北大学電気通信研究所 1 号館 N 棟 308 講義室にて実施，出席者 7 名。

［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。

１）平成 25 年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究発表会」：本課題「マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と民生応用」に基づいたポスター発表「ヘリ搭載画像レーダ “Live SAR” の開発とその高分解能化」を犬竹（東北大）が行った。

２）平成 25 年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究」研究会：「国土交通省プロジェクトのまとめと “Live SAR”の現状」，「マイクロ波変調レーザ SAR 開発」，「SAR の応用例（波高測定および地すべり・崩落の監視等）」，「SAR 用無人機の開発」に関する講演があった。主な内容を講演順に概述する。

犬竹（東北大）は，国土交通省委託研究（平成21-24年度）「リアルタイム画像生成 “Live SAR” 開発の総括」について報告した。スポットライト方式合成開口レーダ（中心周波数 16 GHz）のハードウェア（マイクロ波回路，アンテナ，慣性センサ付ジンバルマウント系等），およびソフトウェア（運転制御および画像生成）の技術開発，車両搭載およびヘリコプター搭載による画像生成の実際について報告した。国交省成果報告会では，SAR 技術開発の紹介とともに，ユーザインターフェイス画面上で指定した任意方向の高分解（13 cm）画像を迅速（30 sec 以下）に取得でき，地上へリアルタイムに画像転送できることを強調した。これに対し評価委員より，災害調査での SAR の活用につながる研究開発であることが評価され，今後は画像データの蓄積により，画像精度の向上と画像判読技術の開発を進めるようコメントがあったことが報告された。

間瀬（九大）は「超広帯域チャープマイクロ波変調レーザ応用合成開口レーダ開発の現状」について発表した。本システムの特長としては，①マイクロ波 SAR では，電波法の規制から掃引周波数幅を〜2 GHz 以上にすることが難しく，10 cm 以下の空間分解を得ることが困難であるのに対し，レーザ変調では帯域幅 10-20 GHz を実現できるため，さらに優れた空間分解が期待される。②波長 1.55 μm という目に優しいレーザを用い，既存のレーザレーダのように高強度レーザを使用しないため安全性に優れているなどである。現在までに，レーダ装置としての検証を実験室（光学距離5-7 m）で行い，マイクロ波変調の帯域幅 5-10 GHz、掃引時間 1 ms-10 μs に対して，送信光学系および受信光学系が一体化したモノスタティック方式，独立したバイスタティック方式のいずれの方式においてもレンジ方向の空間分解 ±(1-2) cm が得られたこと，合成開口レーダとしての試験を実験室で行った後地上実験へと進める予定であることが報告された。

近木（福岡工大）が「沿岸設置津波観測レーダ開発の現状」について報告した。私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の一環として平成 25 年度よりスタートした「画像技術・レーダ技術を融合した津波計測」の一課題であり，合成開口レーダの波高計測への適用を目的としている。現在研究が進められている，GPS 波浪計を活用した沖合波浪計測，光ファイバネットワークを利用した計測は，海面および海底に直接設置されたセンサを用いるものであるが，本研究は，陸上に設置される画像センサとマイクロ波レーダを用いた遠隔測定で，沖合 50 km 先の波浪の高さ，形状，速さの計測から，画像とマイクロ波情報の 4 次元総合解析により津波の高さや到達時間を 20-30 分前に予測することが期待される。講演では，計算機シミュレーションを用いた種々の波長の波からの反射波の解析，および大学屋上から沖合を観測するため，幅 20 m にわたって配置された，周波数 12.825-12.925 GHz，16 チャンネルアンテナアレイを用いたレーダシステムの構築について報告された。

佐藤（東北大）は，「Ground-Based SAR による崩落現場監視」について報告した。GB-SAR は地表に設置する合成開口レーダで，地滑り，火山活動，雪崩など，特定の位置での連続モニタリングとしての利用が期待されている。繰り返し計測することで，微小な地表面の変位計測（干渉測定 : 1/100 波長の精度で 17 GHz では 0.2 mm に対応）が可能である。報告では，干渉測定における信頼性向上のため，大気補正として温度および湿度の変位を組み込んだ屈折率の式を導入し，実データを用いた検証を進めたことが強調された。コーナーキューブを用いた変位測定では従来手法と同程度の精度が得られることも検証されている。

高橋（東北大）は、「GB-SAR の干渉計測による栗原市荒砥沢地すべり斜面の観測」について報告した。GB-SAR システムは，周波数 17.2±0.075 GHz，2 m のレールを 2 分毎に繰返し走査される。信号処理にはバックプロジェクション型合成開口処理が適用されている。同グループは，2011 年 11 月に GB-SAR を栗原市荒砥沢地区に設置し試験運用，2012 年 6 月より長期モニタリング運用を開始している。現在までに，広範囲な斜面全体の観測とともに，小規模・局所的な表層土砂の流出・堆積の観測，地震による斜面変動の観測を実現している。観測領域の広域性は光学センサでは困難であり，GB-SAR の有効性を実証するものである。

山鹿（富士重工業㈱）は「センサ・プラットフォームとしての無人航空機（UAV）の動向と基盤技術」の題名で，UAV（Unmanned Aerial Vehicle:）の開発および運用の現状を紹介した。UAV は，軍事応用（国境警備等）を目的として開発が始まったものであるが，最近では，森林火災や大規模災害での運用も視野に入れた研究開発が進んでいる。UAV の運用は，世界では 1918 年に始まっており，わが国では 1941 年が最初である。UAV は，機体重量，飛行高度，飛行速度により 5 つのカテゴリーに分類されている。機体の大きさは最大 14.5 m（Global Hawk）から最小 1.5 m（Scan Eagle）にわたっている。代表的な基盤技術としては，飛行制御，センサ，データリンク，機体発進，機体回収の６つの技術が挙げられるが，センサプラットホームとしての役割を考慮した場合，センサの開発が大きな比重をもっている。現在殆どの機体には，その許容負荷重量に対応した光学センサおよび電波センサ（SAR）が搭載されており，”Live SAR” のような軽量かつリアルタイム画像処理 SAR センサの開発はきわめて重要であることが強調された。

３）平成25年度 “Live SAR” およびレーザSARに関する共同研究検討会：以下の課題について討論を進めた。
ⅰ）H25年度のLive SAR機上試験の総括と今後―①機上での画像収集の課題として，MCPポイントとアンテナ方向の誤差，②電波再申請の課題，③飛行試験の見通し等について討論された。
ⅱ）Live SAR 画像ソフトウェアの課題と今後―①SAR画像生成ソフトおよび制御回路の課題，②運転ソフトおよびGUIの課題，③ジンバル追尾制御ソフトの課題，④Live SARの基本ソフトの高速化，⑤応用ソフト開発，について討論された。基本ソフトによる運転の信頼度向上が最重要課題であり，応用ソフト開発（水域観測，送電鉄塔観測，山間部鉄道レール監視他）はその確立の後進める方向でとの提案があった。
ⅲ）実用化の課題およびレーザSAR研究の方針―①フェーズドアレイとしてのパッチアンテナの開発，②反射波抑制レイドームの製作と特性測定，③マイクロ波変調レーザ応用SARの実験的検証，④平成26年度通研共同プロジェクト研究への申請（代表者：近木祐一郎）等について討論を進めた。

（３－２）波及効果と発展性，研究分野への貢献など
１）本プロジェクトにより，SAR 研究に関連し，全国的な規模でのネットワークの拡大，特に，民生用を中心とした応用分野の広がり，産学連携など新しい観点に基づいたネットワーク構築を図ることができた。
２）プロジェクト研究の主目標の一つである，スポットライト方式 SAR システムの開発では、国土交通省委託研究（代表者：犬竹）に基づく SAR システムが平成 24 年度までに完成、車輌を使用した地上試験，ヘリコプターを使用した機上試験を平成 24-25 年度にわたって実施し，画像取得にも成功している。
３）光電波融合による計測法開発としてマイクロ波変調レーザを用いた合成開口レーダの研究を開始した。
４）分担者の１名により SAR の遠隔津波観測への適用が検討され，新規プロジェクトへの展開を進めた。

［４］成果資料

(1) S-W. Chen, M. Ohki, M. Shimada, and M. Sato, “Deorientation effect investigation for model-based decomposition over oriented built-up areas”, IEEE Geosci. Remote Sensing Letts. **10**, 2, 273-277 (2013).
(2) A. Mase, N. Ito, Y. Kogi, H. Ikezi, M. Inutake, X. Wang, D. Kuwahara, Y. Nagayama, T. Yoshinaga, S. Yamaguchi, S. K. Padhi, “Progress in Microwave Imaging of Plasmas and Applications”, Proc. Int. Symp. Electromagnetic Theory (URSI Commission B) (May 2013) pp. 242-245. (invited)
(3) Y. Kogi, S. Matsukawa, M. Yoshikawa, A. Mase, Y. Nagayama, K. Kawwahata, “Development of antenna system and simulation of analysis method for digitally-controlled millimeter-wave interferometer”, Trans. Fusion Sci. Technol. **63**, 1T, 172-175 (May 2013).
(4) X. Wang, I. Sakagami, and A. Mase, “A compact dual-band Wilkinson power divider with two design approaches”, J. Electromagnetic Waves Applications **27**, 6, 758-771 (Jun. 2013).
(5) S-H. Seo, J. Park, H. M. Wi, W. R. Lee, H. S. Kim, T. G. Lee, Y. S. Kim, J-S. Kang, M. G. Bog, Y. Yokota, and A. Mase, “Development of frequency modulation reflectometer for Korea Superconducting Tokamak Advanced”, Rev. Sci. Instrum. **84**, 084702 (Aug. 2013).
(6) Y. Kogi, H. Ikezi, A. Mase, N. Ito, M. Sato, A. Suzuki, F. Sakai, S. Mizukami, K. Kameari, and M. Inutake. “Development of Spotlight Mode SAR “Live SAR” for Flood Area Surveillance”, Proc. Asia-Pacific Conf. on Synthetic Aperture Radar, Tsukuba (Sept. 2013).
(7) 王，間瀬，池地，近木，犬竹，内野：「超広帯域マイクロ波変調レーザレーダシステムの開発」電気関係学会九州支部連合大会，熊本 (2013 年 9 月).
(8) 吉田，近木，池地，間瀬，犬竹，佐藤：「SAR における移動体検出のアルゴリズムの検証」電子情報通信学会ソサイエティ大会，福岡 (2013 年 9 月) B-2-13.
(9) X. Wang, I. Sakagami, and A. Mase, “Generalized Miniaturized Dual-band Wilkinson Power Divider with Series RLC Circuit”, Proc. 2013 Asia-Pacific Microwave Conf., Seoul (Nov. 2013) T3B-5.
(10) 間瀬，張，伊藤，北條：「マイクロ波イメージングシステム」特許第 5408617 号 (2013 年 11 月).
(11) 坂上，王，間瀬：「平面構成二周波ウイルキンソン電力３分配器」電子情報通信学会論文誌 **J-96C**，12，480-489 (2013 年 12 月).
(12) 間瀬：「ミリ波イメージングレーダの開発と応用」日本テクノセンターセミナー (2013 年 12 月).
(13) X. Wang, I. Sakagami, and A. Mase, “Miniaturized Wilkinson Power Divider with Two Capacitors”, Microwave and Optical Technology Letters, **56**, 2, 301-304 (Feb. 2014).
(14) E. Kawamori, Y-H. Lin, A. Mase, Y. Nishida, C. Z. Chen, “Multichannel microwave interferometer with use of antenna-switching method for electron density measurement in laboratory plasma experiment”, Rev. Sci. Instrum. **85**, 023507 (Feb. 2014).
(15) 間瀬，近木：「生体情報測定システム」特許第 5467395 号 (2014 年 2 月).
(16) 犬竹，池地，間瀬，近木，佐藤，山鹿，奥野，富尾：「ヘリ搭載画像レーダ “Live SAR” の開発とその高分解能化」 平成 25 年度通研共同プロジェクト研究発表会 (2014 年 2 月).
(17) X. Wang, I. Sakagami, A. Mase, and M. Ichimura, “Wilkinson power divider with complex isolation component and its miniaturization”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 62 (2014). (to be published)

採択回数 (1) 2 3

採択番号　Ｈ２５／Ｂ１０

メタプログラムに対する論理的アプローチ

［1］組織

代表者：亀山　幸義
（筑波大学システム情報系）
対応者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤　雅彦
（京都大学情報学研究科）
桜井　貴文
（千葉大学理学研究科）
五十嵐　淳
（京都大学情報学研究科）
中澤　巧爾
（京都大学情報学研究科）
浜名　誠
（群馬大学大学院理工学府）
竹内　泉
（産業技術総合研究所セキュアシステム研究部門）
協力者：
青戸　等人
（東北大学電気通信研究所）
菊池　健太郎
（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：　１０人

研究費：物件費２万円，旅費１７万２千円

［2］研究経過

メタプログラムは，プログラムをデータとして扱うプログラムのことであり，プログラム変換，プログラム特化，実行時コード生成など幅広い応用を持つ．一方で，メタプログラムの安全性や信頼性を確保する手法およびその理論的基礎付けについては十分研究されていない．本プロジェクトは，メタプログラムに対する論理的アプローチに関する最新の成果に基づき，高い信頼性を持つメタプログラムの高性能の確立と，メタプログラム検証法の確立を目指すものである．

プロジェクトの初年度となる本年度は，メタプログラムにおいて鍵となる概念，言語，計算体系，および，それらの形式化・モデル化の手法について，メンバの研究成果を基づいて整理を行い，上記目的達成のための情報交換・研究討論を行った．

今年度の活動：平成２５年１２月１８～１９日の２日間に，東北大学電気通信研究所において，研究集会を開催した．参加者は，本プロジェクトのメンバ９名である．この集会は，各メンバの発表および討論から構成したが，当初予定の時間枠に収まらないほどの非常に活発かつ真剣な議論が展開され，有意義な研究集会となった．集会での発表は以下の通りである．

浜名：On Multiversal Polymorphic Algebraic Theories
竹内：数学と変数
外山：Random Descent on Ordered Commutative Monoid
佐藤：Variable Bindings in Simple Type Theory
菊池：Nominal Rewriting における書き換え規則の条件について
青戸：帰納的定理の決定可能性
中澤：ラムダ（ミュー）計算の合流性について
五十嵐：多段階計算における cross-stage persistence　について
亀山：Hygienic and Effectful Code Generation
浜名：On Multiversal Polymorphic Algebraic Theories, Part II

［3］成果

（3－1）研究成果

1．メタプログラム言語に関する研究

実行時コード生成などのメタプログラミングを行うためのプログラミング言語の研究では，生成されたコードが自由変数を持たず，かつ，型が整合的につくこと等の性質を保証する仕組みについて多くの研究がなされてきたが，従来研究は，対象となるプログラム言語が非常に制限されていた．本年度の研究では，コード構成子 (code combinator) に基づくメタプログラミング言語で，任意の monadic effect を許しつつ，上記の性質を有する新しい言語を提案した．従来のメタプログラムにおける多数のプログラム例をこの言語で記述できること，また，上記性質を満たすかどうかを的確に判定できることを確認した．この言語の理論的性質の詳細な解析は今後の課題である．

2．多段階プログラミング言語における CSP 機能

実行時にプログラムコードをデータとして操作・実行できる，いわゆる多段階プログラミング言語では，コード生成時に存在する様々な値をコード値に埋め込む cross-stage persistence (CSP) とよばれる機能が実用上，重要である．CSP 機能の安全性を保証するための既存研究はあるが，意味論を与えるための ad hoc な操作が導入されているなど，CSP がなぜ安全に実行できるのかといった原理的な部分での理解には，ほど遠かったのが現状である．本年度の研究では CSP を含む型付計算体系を見直し，見通しのよい，より単純な意味論を持つ体系を構築することに成功した．

3．変数の束縛機構に関する研究

変数の束縛機構は，プログラミング言語とくに関数型言語における基本的な研究課題として多数の研究者により長年研究されている．本研究では，ラムダ項の束縛変数の出現位置を表わすため，map と skeleton を用いた新しい表現法を導入した．これに対して種々の望ましい性質が成立することを証明し，さらに，その証明を Isabelle/HOL および Minlog システムを用いて形式化し検証した．

さらに，map と skeleton を用いた変数の束縛表現を単純型付 λ 計算に適用するとどうなるかを考察した．その結果，この計算体系に関して，従来は証明が非自明であった「文脈の水増し(weakening)規則が許容される規則であること」を自然に証明できることが確認できた．

4．名目書き換えに関する研究

名目書き換えは，変数束縛を扱えるように通常の項書き換えを拡張した枠組みの一つであり，近年注目されているが，理論はまだ整備途上である．本年度の研究では，従来とは異なる名目書き換え関係を導入し，書き換えの前後でアルファ同値性を保存する規則の新たなクラスを提案した．また，そのクラスに規則が入るための十分条件を与え，いくつかの具体的な規則がその条件をみたすことを確認した．

5．数学における変数に関する研究

数学には様々な変数が現れる．それは現時点では以下のように分類されている：(1)恒等式の文字，(2)方程式の未知数，(3)多項式論の変数，(4)座標変数と確率変数，(5)独立変数と従属変数，(6)自由変数と束縛変数．本年度の研究ではこの内の(3)多項式論の変数について議論した．多項式論の変数は係数環に添加した超越元である．変数を添加した環は，変数を生成元として係数環によって自由生成された環である．この生成元が変数と呼ばれる所以は，係数環の元以外にも，如何なる環の元も代入できる，という点にある．

6．多相型代数理論の研究

ジェネリックなプログラムを可能にさせる多相データ型は，関数型プログラミング言語で初めて取入れられたのち，オブジェクト指向言語や，並行計算システムなど様々な計算システムに取入れられてきた．本年度の研究では，様々な多相システムを統一的に扱うための体系として，多相型代数理論を提案した．具体的には，代数的モデルを持つ論理体系を圏論的考察から導出し，その健全性と完全性を証明した．また，この体系が確かに様々な実例を統一的に扱うことができることを実際に例示することにより示した．

7．　ラムダ・ミュー計算の簡約体系に関する研究

ラムダ計算の拡張であるラムダ・ミュー計算は，関数型言語にストリームデータを操作する機構を追加した計算体系であり，ラムダ計算で成立していた種々の基本的性質が成立することが示されている．しかし，合流性が閉項に限られるなど未だ理論的に不完全な部分があった．そこで本年度の研究では，ラムダ・ミュー計算の拡張体系を与え，その（閉項に限らない）合流性，強正規化可能性，ラムダ・ミュー計算に対する保守性，分離定理，既存の表示的意味論に対する完全性などの基本的性質が成立することを証明した．

８．書き換え理論に関する研究

項書き換えシステムの合流性は，計算モデルの意味論や正当性検証の基礎となる重要な性質であり，その自動検証法は現在活発に研究が進められている．項書き換えシステムでは，適当な型付けにもとづいて部分システムに分解し，それぞれの部分システムの合流性から全体の合流性を示すことが可能である．しかし，型付けによる分解に失敗する場合には，この分解手法は使えない．そこで，本年度の研究では，非線形変数に対する型情報を利用した新しい合流性自動証明法を与えた．また，減少ダイアグラム法に基づいて，合流性の一般化である可換性の自動証明法を提案した．

９．帰納的定理の決定可能性に関する研究

等式論理を基礎とするプログラムにおいて，データ構造に関する性質は，帰納的定理として取り扱うことができる．このため，等式論理における帰納的定理についてはさまざまな自動証明法が知られている．与えられた性質が帰納的定理か否かは，一般には決定不能であり，それが決定可能となるクラスは知られているが，自動証明法と組み合わせて用いるのに適した決定手続きはあまり知られていない．そこで，本年度の研究では，いくつかのよく用いられるデータ構造上における帰納的定理について，自動証明法と組み合わせて用いるのに適した決定手続きを与えた．

（３－２）波及効果と発展性など

本研究は，メタプログラムの信頼性を格段に向上させるため，プログラム言語，書き換え系，型理論，論理学，ラムダ計算，言語哲学など様々な分野で研究実績のあるメンバを集めて，その知見を交換することにより，従来は，比較的ばらばらに検討されてきた各種の理論を統一し，メタプログラムに対する新しい見方を与えることが目指している．本年度は初年度であり，各メンバが現在までの成果を相互に認識し，研究交流を深めた段階であるが，来年度以降の研究の進展により，最終的には，メタプログラムに対する新しい論理的解釈と，それに基づく意味論，そして，信頼性を高めるための種々の技法が考案されると期待している．

［４］ 成果資料

・Takahito Aoto, Disproving confluence of term rewriting systems by interpretation and ordering. In Proc. of 9th FroCoS, pp.311-326, LNAI 8152, 2013.

・Takahito Aoto and Munehiro Iwami. Termination of rule-based calculi for uniform semi-unification, In Proc. of 7th LATA, pp.56-67, LNCS 7810, 2013.

・Marcelo Fiore, Makoto Hamana. Multiversal Polymorphic Algebraic Theories, In Proc. of Twenty-Eighth Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, (LICS 2013), p.520-529, IEEE Computer Society, 2013.

・花田裕一朗, 五十嵐淳. 多段階計算 λ> のための越段階埋込. 日本ソフトウェア科学会第30回大会論文集, 2013.

・Yuichiro Hanada and Atsushi Igarashi. On cross-stage persistence in multi-stage programming. In Proc. of the International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS2014), Lecture Notes in Computer Science, 2014. Springer-Verlag.

・Yukiyoshi Kameyama, Oleg Kiselyov, Chung-chieh Shan, Combinators for Impure yet Hygienic Code Generation, In Proc. of ACM SIGPLAN Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM2014), pp.3-14, 2014.

・Kentaro Kikuchi. Proving strong normalisation via non-deterministic translations into Klop's extended λ-calculus, In Proc. of the 22nd Annual Conference of the European Association for Computer Science Logic (CSL 2013), LIPIcs 23, pp.395-414, 2013.

・Masahiko Sato, Randy Pollack, Helmut Schwichtenberg, Takafumi Sakurai. Viewing $¥lambda$-terms through maps, Indagationes Mathematicae, Volume 24, Issue 4, pp. 1073-1104, 2013.

・的場正樹, 青戸等人, 外山芳人. 片側減少ダイアグラム法による項書き換えシステムの可換性証明法,
コンピュータソフトウェア, Vol.30, No.1, pp.187-202, 2013.

・鈴木翼, 青戸等人, 外山芳人. 永続性に基づく項書き換えシステムの合流性証明法, コンピュータソフトウェア, Vol.30, No.3, pp.148-162, 2013.

・鈴木貴樹, 菊池健太郎, 青戸等人, 外山芳人. 名目書き換えシステムの合流性について, 第16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論文集(PPL2014), S10-3, pp.1-15, 2014.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	③

採択番号　Ｈ23／Ｓ１

スーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術開発

［1］組織

代表者：三村　秀典（静岡大学電子工学研究所）
対応者：鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
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）
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）
村岡　裕明（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）
八坂　　洋（東北大学電気通信研究所）
黒田　　徹（ＮＨＫ放送技術研究所）
島本　　洋（ＮＨＫ放送技術研究所）
大竹　　浩（ＮＨＫ放送技術研究所）
宮下　英一（ＮＨＫ放送技術研究所）
山本　敏裕（ＮＨＫ放送技術研究所）
濱崎　公男（ＮＨＫ放送技術研究所）
大久保洋幸（ＮＨＫ放送技術研究所）
小野　一穂（ＮＨＫ放送技術研究所）
江本　正喜（ＮＨＫ放送技術研究所）

延べ参加人数：３９人

研究費：２４０万円

［2］研究経過

スーパーハイビジョン(SHV)は将来のテレビジョンシステムで, 走査線数4320本の超高精細映像と三次元マルチチャンネル音響で構成され，ハイビジョンの 16 倍の超高精細映像で極めて高い臨場感が得られることを特徴とする。本研究では，これを実現するために必要なスーパーハイビジョンの基盤となるデバイス，映像音響およびストレージサブシステム，視聴覚品質評価などの要素技術を開発することを目的として，平成20年度から22年度までの3年間,「スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発」という研究題目で研究を実施した。平成 23 年度よりさらに継続して研究を実施することが承認されたので，第2期となる本共同プロジェクト研究においても，それぞれの組織が有する基盤技術を活用してスーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術を開発することを目的とし,「スーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術開発」という研究題目の下で第2期3年目の研究を行った。

前年度(平成 24 年度)，ワークショップ(2 月 22 日開催)の席で，NHK 放送技術研究所より，スーパーハイビジョンの実用化に関して，2020 年の本放送を目指し，2016 年には実用化試験放送を開始できないかを検討している旨が紹介された。これを受けて，第2期最終年度となる平成25年度は各研究グループ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】

川人研究室：「スーパーハイビジョン用 CMOS イメージセンサの研究」

三村研究室:「スーパーハイビジョンディスプレイおよびスーパーハイビジョンHARP用収束電極付微小電子源の形成」

原　研究室：「スーパーハイビジョンディスプレイ対応新規蛍光体の合成」

猪川研究室:「単電子カウンティング光検出器の研究」

【東北大学電気通信研究所】

鈴木・坂本研究室：「スーパーハイビジョン用音空間忠実再生要素技術の研究」

村岡研究室:「スーパーハイビジョンストレージサブシステム構成法の研究」

塩入研究室:「スーパーハイビジョン映像観察中の注意評価の研究」

【ＮＨＫ放送技術研究所】

撮像・記録デバイス研究部：高フレームレートなスーパーハイビジョン用 CMOS イメージセンサの実現に向けて，カラム並列巡回型 A/D 変換技術を用いて試作した CMOS イメージセンサの高感度化に取り組むとともにスーパーハイビジョン用ストレージシステムの設計を行う。

表示・機能素子研究部：スーパーハイビジョン用ディスプレイに必要な，超高精細化に適した蛍光体の特性について検討する。

テレビ方式研究部：スーパーハイビジョンの

22.2ch 音響を家庭で楽しむ一つの方法である聴覚ディスプレイの設計に必要なパラメーターを主観評価実験研究により提案する。

人間・情報科学研究部：スーパーハイビジョン映像評価法確立のために，SHV 観視では周辺視野特性が重要であることに着目して，SHV の誘目度地図作成，広視野対応の視線測定装置の開発，視線移動測定を行う。

本プロジェクトの研究成果は下記のように披露された。

平成 25 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―
日　時：平成 26 年 2 月 27 日（木）13:00~19:30
場　所：東北大学片平さくらホール
発表者：静岡大学　川人祥二教授
東北大学　村岡裕明教授
内　容：
(1) 川人祥二教授
Session 2 人間と環境を調和させる次世代情報通信システム
Title：スーパーハイビジョンのシステム化に向けた撮像関連技術開発
(2) Session 3 特別講演
Title：高密度大容量情報ストレージ技術の展望

［3］成果

（3－1）研究成果

第 2 期の本共同プロジェクト研究を推進するにあたり，上記［2］に示されたサブプロジェクトの今年度の研究計画に基づいて研究を展開した。それぞれのサブプロジェクトの研究成果は下記の通りである。

【静岡大学・川人教授―NHK・島本主研】

スーパーハイビジョンの実現に向け，3300 万画素，120fps の超高精細高フレームレート撮像素子を開発している。平成 25 年度は，さらなる高感度化を目指し，半導体製造プロセスルールを微細化したイメージセンサの試作を行った。また，イメージセンサを単板カラー化し，カメラヘッドの重量を 2kg まで軽量化した超小型スーパーハイビジョンカメラを開発し，紅白歌合戦などの SHV コンテンツ撮影に用いた。

【静岡大学・三村教授】

SHV ディスプレイや SHV HARP で は，電子ビームを収束でき，かつ放出電流量が減少しない電界放出微小電子源の開発が重要である。平成 25 年度は，３段ゲートスピ ント型微小電子源のシミュレーションを実施し、結果について議論した。

【静岡大学・原　教授】

深い赤色発光を示す新しい発光蛍光体として $Mg_2XO_4:Mn^{4+}$ (X=Ti, Si, Ge)に着目し、Ti を用いた場合において、ピーク波長約 670 nm の発光を示すことを明らかにした。さらに、450 ~ 530 nm において励起帯を有することが確認され、青色 LED などの可視光光源による励起が可能であることを示した。

【静岡大学・猪川教授】

単電子カウンティング光検出器の量子効率改善に関しては、表面プラズモンアンテナの材料依存性について検討し、Au のみならず Al や Ag でも同等以上の改善効果があることを見出した。高速化に関しては、電荷検出感度を 10^{-5} e/√Hz まで改善できれば既存の検出器と同等の速度が達成できることを見出した。

【東北大学・鈴木教授―NHK・大久保主研】

スーパーハイビジョン用 22.2ch 音響を家庭でできる限り忠実に再現できるよう，22.2ch 音響の特徴である上下方向情報提示に関し，仰角定位の知覚手がかりに関する研究を進めた。また高次 Ambisonics エンコード音を従来の 5.1ch ステレオシステムなどで再生するためのアルゴリズム開発を行った。

【東北大学・村岡教授―NHK・宮下主研】

スーパーハイビジョン映像のストレージには 72Gbps 以上の超高速転送レートと単位時間当たり極めて大きな記録容量を要する。この高転送レートに対して，ストレージシステムの高速化が重要である。本年度は並列分散ファイルシステム Gluster を実装したサーバで 10Gbps を超える転送レートを確認した。

【東北大学・塩入教授―NHK・江本主研】

広視野映像観察時の注意状況を評価するために，視聴者の頭部運動と視線を同時に計測するシステムを用いて，スーパーハイビジョン映像観察時の視聴者行動を計測した。また注意モデルにおいて，一人称的視点の映像における自己運動成分と対象物の運動の，視覚処理モデルに基づく分離アルゴリズムを開発した。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究を企画した直接のモチベーションは，NHK が 2020 年の実用化を目指すスーパーハイビジョンの開発を支援し，その放送サービスの実現に寄与することであった。これは，静大電研，東北大通研共に，NHK という公的機関

を通じた社会貢献という形で，将来の画像技術に対して多大なる貢献ができることを意味する。またその成果は画像技術コミュニティーに広く認められるものと期待した。さらに SHV 技術は，放送技術改革にとどまらず，サイエンス，医療，バイオ，福祉等に改革をもたらすビッグ技術に確実に発達するものと考えたところである。

実際，前述の通り，NHK 放送技術研究所より，スーパーハイビジョンの実用化に関して，2020 年の本放送は確実な動きとなり，2016 年には実用化試験放送を開始する検討が真剣に進められている。

一方で，本共同プロジェクト研究は 2 期 6 年間の研究を行う中で，SHV の実現の見通しもある程度見えてきたことから，SHV の先を考えようという機運も生まれてきていた。その現れが，昨年度(平成 25 年 2 月 22 日)に開催した共プロ S ワークショップのサブタイトルとして掲げられた「スーパーハイビジョンの先を目指して」に現れている。

以上に記した研究の成果と，SHV を取り巻く状況を考えたとき，SHV に関する共同プロジェクト研究は今期を持って完結とするのが相当と判断される。また，今後は，光を中心とする波動の高度で自由な操作・伝達・表現を実現するための材料・デバイス技術，情報処理技術を共同で研究し，将来の社会基盤技術として広範囲に応用していくための先端的な科学技術体系の構築を目指すことが適当と判断する。

［4］成果資料

・安江俊夫，林田哲哉，米内淳，北村和也，渡部俊久，小杉智彦，渡辺恭志，大竹浩，島本洋，川人祥二,「フレーム周波数 120Hz スーパーハイビジョン用イメージセンサの高感度化」，映情メ学技報, **37**[27], IST2013-28, ME2013-70, 1-4 (2013).

・A. Koike, Y. Neo, H. Mimura, H. Murata, T. Yoshida, T. Nishi, and M. Nagao, “Field Emitter Equipped With a Suppressor to Control Emission Angle”, IEEE Electron Device Letters **34**,704-706 (2013).

・Y. Neo, A. Koike, T. Fujino, H. Mimura, H. Murata, T. Yoshida, T. Nishi, and M. Nagao, “Electron Optical Properties of Microcolumn with Field Emitter”, Jpn. J. Appl. Phys. **52**, (2013) 036603-1-5.

・河北，小南，中西，原,「近赤外発光 Mn^{4+}酸化物蛍光体の合成と発光特性」，信学技報, **113**, 77-80 (2014).

・H. Kominami, S.V. Mjakin, M.M. Sychov, V.G. Korsakov, V.V. Bakhmetjev, A.A. Sidorova, E.A. Sosnov, Y. Nakanishi, K. Hara, H. Mimura, "Effect of annealing atmosphere and electron beam pre-irradiation on the properties of $SrGa_2S_4$:Eu phosphor films", Optical Materials, **35**, 1109 (2013).

・H. Satoh, K. Kawakubo, A. Ono and H. Inokawa, “Material Dependence of Metal Grating on SOI Photodiode for Enhanced Quantum Efficiency”, IEEE Photonics Technology Letters, **25**[12], 1133-1136 (2013).

・H. Inokawa, H. Satoh, K. Kawakubo and A. Ono, “Enhancement of SOI Photodiode Sensitivity by Aluminum Grating”, ECS Trans., **53**[5], 127-130 (2013).

・Y. Suzuki, J. Trevino, T. Okamoto, Z. Cui, S. Sakamoto and Y. Iwaya, “High definition 3D auditory displays and microphone arrays for the use with future 3D TV” (invited lecture), Proc. Three Dimensional Systems and Applications (3DSA), (4 pages ms) (2013).

・山本, 村岡,「並列分散ファイルシステム Gluster FS による HDD データ転送の高速化」，信学技報 MMS2013-20, 2013.

・TaigaTsuchiai Kazumichi Matsumiya, Ichiro Kuriki and Satoshi Shioiri, “Implicit learning of viewpoint-independent spatial layouts”, Frontiers in Psychology, **3,** 207, 1-10 (2012).

・Yu Fang, Ryoichi Nakashima, Kazumichi Matsumiya, Rumi Tokunaga, Ichiro Kuriki, Satoshi Shioiri, “Eye position distribution depends on head orientation”, J. Vision, **12**[9] 1248 (2012).

採択回数	1　2　3

採択番号 H23/S2

スピントロニクス国際連携

［1］組織

伊藤　公平
（慶應義塾大学理工学部）
対応者：大野　英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
江藤　幹雄（慶應義塾大学理工学部）
斎木　敏治（慶應義塾大学理工学部）
的場　正憲（慶應義塾大学理工学部）
佐藤　徹哉（慶應義塾大学理工学部）
松本　佳宣（慶應義塾大学理工学部）
栄長　泰明（慶應義塾大学理工学部）
能崎　幸雄（慶應義塾大学理工学部）
山本　直樹（慶應義塾大学理工学部）
早瀬　潤子（慶應義塾大学理工学部）
田邊　孝純（慶應義塾大学理工学部）
牧　　英之（慶應義塾大学理工学部）
神原　陽一（慶應義塾大学理工学部）
渡邉　紳一（慶應義塾大学理工学部）
安藤　和也（慶應義塾大学理工学部）
枝松　圭一（東北大学電気通信研究所）
白井　正文（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
池田　正二（東北大学電気通信研究所）
小坂　英男（東北大学電気通信研究所）
島津　武仁（東北大学電気通信研究所）
板倉　文礼（東北大学電気通信研究所）
平山　祥郎（東北大学理学研究科）
遊佐　　剛（東北大学理学研究科）
安藤　康夫（東北大学工学研究科）
佐久間昭正（東北大学工学研究科）
佐橋　政司（東北大学工学研究科）
杉本　　論（東北大学工学研究科）
新田　淳作（東北大学工学研究科）
大兼　幹彦（東北大学工学研究科）
好田　　誠（東北大学工学研究科）
齊藤　　伸（東北大学工学研究科）
土浦　宏紀（東北大学工学研究科）
角田　匡清（東北大学工学研究科）
手束　展規（東北大学工学研究科）
高梨　弘毅（東北大学金属材料研究所）
水口　将輝（東北大学金属材料研究所）
北上　　修（東北大学多元物質科学研究所）
岡本　　聡（東北大学多元物質科学研究所）
遠藤　哲郎（東北大学学際科学国際高等研究センター）
水上　成美（東北大学原子分子材料科学高等研究センター）
吉田　　博（大阪大学基礎工学研究科）
佐藤　和則（大阪大学基礎工学研究科）
福島　鉄也（大阪大学基礎工学研究科）
真砂　　啓（大阪大学基礎工学研究科）
舩島　洋紀（大阪大学基礎工学研究科）
中西　彰尊（大阪大学基礎工学研究科）
植本　光治（大阪大学基礎工学研究科）
Nguyen Dang Vu（大阪大学基礎工学研究科）
高　　成柱（大阪大学基礎工学研究科）
秋原　達哉（大阪大学基礎工学研究科）
高柳　賢一（大阪大学基礎工学研究科）
田中　浩朗（大阪大学基礎工学研究科）
永井　健太（大阪大学基礎工学研究科）
高鷲　裕貴（大阪大学基礎工学研究科）
新屋　ひかり（大阪大学基礎工学研究科）
岸田　匠人（大阪大学基礎工学研究科）
大久保　宏海（大阪大学基礎工学研究科）
上出　浩貴（大阪大学基礎工学研究科）
河野　　浩（大阪大学基礎工学研究科）
酒井　章雄（大阪大学基礎工学研究科）
藤本　純治（大阪大学基礎工学研究科）
白石　誠司（大阪大学基礎工学研究科）
安藤　裕一郎（大阪大学基礎工学研究科）
Michale P. Delmo（大阪大学基礎工学研究科）
江口　　学（大阪大学基礎工学研究科）
唐　　振暁（大阪大学基礎工学研究科）
亀野　　誠（大阪大学基礎工学研究科）
Sergey Dushenko（大阪大学基礎工学研究科）
青木　泰則（大阪大学基礎工学研究科）
小池　真利子（大阪大学基礎工学研究科）
塚原　文香（大阪大学基礎工学研究科）
豊川　修平（大阪大学基礎工学研究科）
安達　永純（大阪大学基礎工学研究科）
市場　昴基（大阪大学基礎工学研究科）

江本　裕行（大阪大学基礎工学研究科）
濱崎　嵩宏（大阪大学基礎工学研究科）
鈴木　義茂（大阪大学基礎工学研究科）
新庄　輝也（大阪大学基礎工学研究科）
田村　英一（大阪大学基礎工学研究科）
水落　憲和（大阪大学基礎工学研究科）
三輪　真嗣（大阪大学基礎工学研究科）
Frederic BONELL（大阪大学基礎工学研究科）
森下　弘樹（大阪大学基礎工学研究科）
塩田　陽一（大阪大学基礎工学研究科）
PHAM Van Thach（大阪大学基礎工学研究科）
LAM Duc Duong（大阪大学基礎工学研究科）
下岡　孝明（大阪大学基礎工学研究科）
土井　悠生（大阪大学基礎工学研究科）
梅山　真理子（大阪大学基礎工学研究科）
小林　悟士（大阪大学基礎工学研究科）
高橋　良彰（大阪大学基礎工学研究科）
森　　周太（大阪大学基礎工学研究科）
山下　真司（大阪大学基礎工学研究科）
林　　寛（大阪大学基礎工学研究科）
福井　貴大（大阪大学基礎工学研究科）
夛田　博一（大阪大学基礎工学研究科）
山田　　亮（大阪大学基礎工学研究科）
神谷　　健（大阪大学基礎工学研究科）
金松　東成（大阪大学基礎工学研究科）
丸本　　光（大阪大学基礎工学研究科）
Marine Fayolle（大阪大学基礎工学研究科）
Pham Song Toan（大阪大学基礎工学研究科）
田中　雅明（東京大学工学系研究科）
大矢　　忍（東京大学工学系研究科）
中根　了昌（東京大学工学系研究科）
ファムナムハイ（東京大学工学系研究科）
田畑　　仁（東京大学工学系研究科）
松井　裕章（東京大学工学系研究科）
加藤　雄一郎（東京大学工学系研究科）
樽茶　清吾（東京大学工学系研究科）
大岩　　顕（東京大学工学系研究科）
川崎　雅司（東京大学工学系研究科）
喜多　浩之（東京大学工学系研究科）
千葉　大地（東京大学工学系研究科）

延べ参加人数：117 人

研究費：物件費・旅費 300 万円

［２］研究経過

スピントロニクス（Spintronics）とは、物質の電気特性と磁気特性の双方を制御することにより得られる新しい物理現象を利用して、エレクトロニクス・マグネティクス・フォトニクスといった電子・情報通信産業のイノベーションを創成する新しい学術分野である。本共同プロジェクトは「スピントロニクス国際連携」と題し、科研費特定領域やその他の競争的研究資金の枠組みを遙かに超えて、全国の研究者に門戸を開き、国公私立大学の先端的学術成果と、独立大学法人の共同利用・共同研究施設や附置研のリソースを統合する共同研究ネットワークを構築することを行う。また、世界中のエキスパートに本連携への参加を促し、国際連携および科学外交という両側面から我が国がスピントロニクスの発展を支える土台を整えることを目的とする。

第3年度を迎えた本プロジェクトでは、前年度に行った若手研究者スクール・啓蒙活動の発展系として、後述のとおりの若手研究者を中心とした新しい発表・勉強会を開催した。またウェブ配信をとおした様々な啓蒙活動を実施した。

［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。

まず第１に、ダイヤモンドを用いたスピントロニクス量子センシングに成功した。第２に、スピントロニクスロジック素子やメモリー素子の基礎動作を示すことに成功した。第３に、様々なスピントロニクスマテリアルデザインに成功した。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

平成２３年度に開始した本事業では、既に確立された国内連携ネットワークのメンバーが中心となり、新しい形態の研究会を宮城蔵王にて２泊３日で共催した。プログラムは以下に示す通りであるが、特徴的なのが、発表者全員が 30ー40 代の若手研究者であること、そして発表内容は自分の専門分野の世界的観点からの状況紹介と、今、取り組むべき課題や今後の展開について紹介することである。すなわち通常の自分の研究成果を発表する従来の研究会とは異なり、発表者と聴衆が一体となってそれぞれの分野の現状と意義について考える環境を整備した。さらにプログラムから明らかなとおり、同一テーマを異なる講師が発表することから、異なる視点を前面におしだした議論ができるように工夫した。

----- 10月17日（木）-----

Topic 1: 磁性半導体の現状と将来

「理論研究の課題」 佐藤和則（阪大）

「(III,Mn)Asのバンド構造」松倉文礼（東北大）



研究会集合写真

「(III,Mn)Asのバンド構造」大矢忍（東大）
「新磁性半導体」福村知昭（東大）
「新磁性半導体」川崎雅司（東大）
「新磁性半導体」ファム ナムハイ（東大）
----- 10月18日（金）-----
Topic 2: 半導体へのスピン注入、輸送、検出
「半導体へのスピン注入」浜屋宏平（九州大）
「半導体へのスピン注入」安藤和也（慶大）
「半導体へのスピン注入」白石誠司（阪大）
Topic 3: スピンカロリトロニクス・スピン軌道相互作用
「スピンカロリトロニクスの課題」齊藤英治（東北大）
「スピンカロリトロニクスの課題」安立裕人（原研）
「スピン軌道相互作用に関する課題」好田誠（東北大）
Topic 4: More than Moore, Beyond CMOSのための高速スピントロニクス
基調講演 平本俊郎（東大）
「Beyond CMOS」 羽生貴弘（東北大）
「高速スピントロニクス」能崎幸雄（慶應大）
「スピン流エレクトロニクス」木村崇（九州大）
「カーボンスピントロニクス」加藤雄一郎（東大）
----- 10月19日（土）-----
Topic 5: 半導体量子スピントロニクス
8:45-9:00 「量子ドット光学系」早瀬潤子（慶應）
9:00-9:15 「量子ドット電気・光学系」大岩顕（東大）
9:15-9:30 「ダイヤモンド系」水落憲和（阪大）
9:30-9:45 「量子情報処理素子」阿部英介（理研）

また、昨年度に引き続き、本国際連携は従来の第一線の研究者が集まり議論をする研究集会型の共同研究事業とは異なり、最先端の知識や成果のビデオ配信・スピントロニクス入門ビデオ講義配信・一般向けスピントロニクス研究の紹介ビデオなどを英語と日本語で世界中に発信する「共有機構」を構築するもので、その「つながり」により誘発されるスキルを持った人材の流動性を重視し、その一人一人が世界のスピントロニクス研究機関を渡り歩くことにより共同研究の促進に取り組むことである。Spintronics Research Netのホームページを充実させ、海外研究者への情報発信を充実させた。

本プロジェクトの活動は、平成25年度において2件の大型プロジェクトを獲得するための基盤となった。

1) 日本学術振興会・研究拠点形成事業（先端拠点形成型）
- 課題名：同位体スピントロニクス
- 代表者：伊藤公平（慶應義塾大学）
- 期間：平成25ー30年

2) 日本学術会議・第 22 期学術の大型研究に関するマスタープラン・重点大型研究計画認定
- 「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の整備」
- 提案者：田中雅明（東大）、伊藤公平（慶大）、大野英男（東北大）、白井正文（東北大）、吉田博（阪大）、吉野淳二（東工大）、その他、本プロジェクトメンバー一同

［4］成果資料

（1）K. Ohashi, T. Rosskopf, H. Watanabe, M. Loretz, Y. Tao, R. Hauert, S. Tomizawa, T. Ishikawa, J. Ishi-Hayase, S. Shikata, C. L. Degen, and K. M. Itoh, *"Negatively Charged Nitrogen-Vacancy Centers in a 5 nm Thin ^{12}C Diamond Films,"* Nano Lett. **13**, 4733-4738 (2013).

（2）M. Otsuka, T. Matsuoka, L. S. Vlasenko, M. P. Vlasenko, and K. M. Itoh, *"Identification of Photo-Induced Spin-Triplet Recombination Centers Situated at Si Surfaces and Si/SiO_2 Interfaces, "* Appl. Phys. Lett. **103**, 111601 (2013).

（3）M. Ono, J. Ishihara, G. Sato, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, *"Strain and origin of inhomogeneous broadening probed by optically detected nuclear magnetic resonance in a (110) GaAs quantum well",* Phy. Rev. B, **89**, 115308 (4 pages) (2014).

（4） M. Seike, T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, "Self-organized ferromagnetic nanowires in MgO-based magnetic tunnel junctions," Solid State Commun., **167**, 14-17 (2013).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号　H23/S3

ナノエレクトロニクスに関する連携研究

［1］組織

代表者：逢坂　哲彌
（早稲田大学ナノ理工学研究機構長）

対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
宇高 勝之（早稲田大学理工学術院）
堀越 佳治（同上）
本間 敬之（同上）
川原田 洋（同上）
庄子 習一（同上）
山本 知之（同上）
渡邉 孝信（同上）
谷井 孝至（同上）
品田 賢宏（早稲田大学高等研究所）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
枝松　圭一（同上）
末光　眞希（同上）
長　　康雄（同上）
白井　正文（同上）
石山　和志（同上）
中沢　正隆（同上）
村岡　裕明（同上）
尾辻　泰一（同上）
室田　淳一（同上）
大野　英男（同上）

延べ参加人数：37 人

研究費（物件費及び旅費）：　３００万円

［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。早稲田大学ナノ理工学研究機構は世界に誇るナノテクノロジー関連の研究活動を統合するための組織として発足し、ナノ理工学に関する研究活動を１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。一方、東北大学電気通信研究所では、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、これまで、世界的に評価の高い成果を数多く上げている。本プロジェクト研究では、これらの２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た。また、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た。

2012 年度 第 1 回研究会、ならびに、2013 年度第 2 回研究会では、両組織の研究紹介を目的として幅広い分野の研究者が最近の研究成果を紹介するための講演会を開催した。2013 年度は、より緊密な連携を図るために、『カーボン系材料および電気化学におけるナノエレクトロニクス』にテーマを絞り、2014 年 2 月 26 日（水）に東北大学電気通信研究所 2 号館 4 階 大会議室にて研究交流会を開催した。また、昨年度からの継続として、若手研究者の育成を目的としたポスター発表を、同研究所 1 号館 1 階談話室にて行い、活発な議論を行った。東北大学からの発表は 16 件、早稲田大学からの発表は 12 件であり、聴講者を含めて合計約 40 名の参加があった。以下に講演者と講演題目を発表順に列挙する。

【口頭講演】

本間 敬之　　早大　教授
「固液界面反応を用いた新規高純度シリコン材料創製プロセスの 構築」

林禎彰　　東北大　博士課程 1 年
「電気化学的手法によるナノ粒子複合材料の試作」

木村康男　　東北大　准教授
「陽極酸化 TiO2 ナノチューブ微小ガスセンサの作製」

川原田洋　早大　教授
「ダイヤモンドおよびカーボンナノチューブのパワー半導体デバイ スへの適応」

尾辻泰一　東北大　教授
「グラフェンアクティブプラズモンとそのテラヘル

ツレーザー応用」
竹延大志　早大　教授
「Novel functionalities in carbon nanotube transistors」
吹留博一　東北大　准教授
「グラフェンデバイスのオペランド・ナノ分光解析」
野田優　早大　教授
「カーボンナノチューブの触媒成長の理解、カスタム合成と応用」
櫻庭政夫　東北大　准教授
「IV 族半導体高度歪ナノ薄膜形成のための低エネルギープラズマ プロセス」
秋間学尚　東北大通研、吉田高穂　日立中研
「収差補正走査透過電子顕微鏡におけるロンチグラムを用いた低 次収差自動補正」
片野諭　東北大　准教授
「走査トンネル顕微鏡で探る単一分子のナノスケール光電子物性」
【ポスター発表】
ヴォダルツ　ジギー　早大 修士課程 2 年生
「電析 Co-Pt ナノドットアレイの初期析出制御と特性評価」
羅ヌリ 早大 博士課程 2 年生
「Growth Technology of High-Density Carbon Nanotube A Electronic and Thermal Applications」
小坂 昌輝　早大 修士課程 2 年生
「金属フリーグラフェンの誘電体基板上形成と構造制御」
蒲　江　早大 修士課程 2 年生
「二次元ナノ材料を用いた電気二重層トランジスタ」
舟橋一真　早大 学部 4 年生
「Flexible transistor and inverter of large-area WSe2 thin film」
田村崇人　早大 修士課程 1 年生
「ダイヤモンドへの低エネルギー集束イオンビーム照射によるシリコン－原子空孔発光中心の作製」
上野尚文　東北大　修士課程 2 年生
「プラズマ CVD による Si-Ge 系薄膜形成に関する研究」
川崎鉄也　東北大　修士課程 1 年生
「グラフェンチャネル FET を用いたミリ波帯フォトミキシング」
小関勇気　東北大　修士課程 1 年生
「グラフェン中テラヘルツプラズモンの高ドープ基板による減衰」
杉山弘樹　東北大　修士課程 1 年生
「光学励起グラフェンにおけるテラヘルツ帯増幅自然放出の観測」
田島圭一郎　東北大　学部 4 年生
「微細加工基板上にエピ成長させたグラフェンの電子状態のナノスケール観察」
角田貴也　　東北大　修士課程 1 年生
「THz 領域の走査トンネル顕微鏡発光」
寶槻雅樹　東北大　学部 4 年生
「走査トンネル顕微鏡を用いた Si 基板上への選択的ナノ構造形成」
小島領太　東北大　博士課程 3 年生
「酸化チタンナノチューブ膜の形成と色素増感太陽電池への応用」
Ma Teng 東北大　博士研究員
「Surface modification for TiO2/P3HT hybrid solar cells」

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度までとは異なり、2013 年度の研究会では、特定テーマ「カーボン系材料および電気化学におけるナノエレクトロニクス」を中心に研究会を開催した。このテーマに与る萌芽的かつ挑戦的な研究内容を紹介する発表が多かったことが、今回の研究会の特徴であった。この結果、ナノエレクトロニクスの中でも、比較的広い分野をテーマとしたこれまでの研究会と比べ、より専門性の高い、深い議論がなされた。研究会のテーマが、萌芽的で前競争的な分野であったため、低炭素応用、大量生産技術、さらにはセンサ応用において、新たな共同研究の契機となった。

さらに、この研究交流をベースとして研究者の人事交流が行われた。具体的には、早大 助教（1 名）が、本連携研究の枠組みで培ってきた神経細胞の機能制御・解析技術を発展させることを目的として、東北大学 国際高等研究教育機構 学際科学フロンティア研究所 教員公募に応募し、採用に至った。本共同プロジェクト研究を発展させる形で、若手研究者が共同研究の中心的な役割を果たすことができるポジションを獲得した。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

佐藤茂雄（東北大）、庭野道夫（東北大）、平野愛弓（東北大）、谷井孝至（早大）、山本英明（早大）を含む連携体制によって脳型機能創発に与る共同研究を開始し、バイオ － ナノ － デバイス － システムを横断する連携研究を進めた。2012 年度には、神経細胞の機能制御・解析（バイオ）に、ガラス基板表面パターニング（ナノ）を活用する技術の構築

に関する連携（庭野一谷井）において具体的な成果を挙げ、生きた細胞を扱う生物系と固体の加工・改質を基本とするデバイスとの間を結ぶ技術の下地を構築してきた。そして、これらの共同研究を下地として、生体神経回路、培養神経回路、半導体神経回路、ハイブリッド脳をシームレスに理解し、環境適応機能の発現メカニズムを明らかにすることを目的とする新しい研究領域（ハイブリッド脳）を立ち上げた。2013 年度には、それまでの成果を基盤として、さらにそれを神経細胞回路の時空間ダイナミクス解析にまで発展させることを目的として共同研究を進めた。具体的な成果として、実神経細胞回路を再構成する技術を構築し、記憶とパターン認識の基本となる神経細胞回路の可塑性発現に目途を立てた。この共同研究を基盤として、研究課題を「ハイブリッド脳」として、2014 年度 科学研究費補助金 新学術領域研究 （研究領域提案型）に申請した。

前述のとおり、早稲田大学ナノ理工学研究機構は分野横断的な研究を束ねる機構であり、バイオ材料・ソフトマテリアルから半導体等の固体基板まで幅広い材料にナノ加工・ナノ改質を施せる施設となっている。一方、東北大学電気通信研究所は、材料の基礎からデバイス・システムまでを統合的に研究できる環境となっている。したがって、両組織は設備の観点からも互恵補完的に連携できる。

材料・情報の基礎科学から、情報を生成・認識・伝送・蓄積・処理・制御するためのデバイス、回路、アーキテクチャー、ソフトウェアまでを一体化システムとしてとらえ、これらの研究を有機的連携のもとに総合的に進めることにより、両研究機関の連携において先導的研究を進めることができるだけでなく、若手研究者育成において新しい潮流を創り出すことができると期待される。また、両機関の人的交流はナノテクノロジー、ナノエレクトロニクス分野の研究をこれまで以上に活性化すると期待される。

このように、この連携研究を基盤として、大型研究プロジェクト申請に発展していること、さらに、研究交流だけでなく、任期付研究員の人事交流（早大から東北大への異動）が図られたことは、今年度の本連携研究の成果である。

［4］成果資料

本年度の研究会での発表内容を纏めた研究会報告書を作成した。

採択回数	1	②	3

採択番号　Ｈ２４／Ｓ１

人間の機能を取り込んだ革新的概念による共感計算機構

［1］組織

代表者：鷲尾　隆
（大阪大学産業科学研究所）
対応者：北村　喜文
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
八木　康史（大阪大学産業科学研究所）
田中　秀和（大阪大学産業科学研究所）
沼尾　正行（大阪大学産業科学研究所）
小林　　光（大阪大学産業科学研究所）
松本　和彦（大阪大学産業科学研究所）
谷口　正輝（大阪大学産業科学研究所）
高橋　昌男（大阪大学産業科学研究所）
神吉　輝夫（大阪大学産業科学研究所）
來村　徳信（大阪大学産業科学研究所）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
庭野　道夫（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）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
枝松　圭一（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）
長　　康雄（東北大学電気通信研究所）
白井　正文（東北大学電気通信研究所）
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
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）
中島　康治（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
大堀　　淳（東北大学電気通信研究所）
外山　芳人（東北大学電気通信研究所）
木下　哲男（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：35 人

研究費：300 万円

［2］研究経過

携帯電話やパソコンなどの情報機器の普及により、コミュニケーションは密になったように見えるが、人に深く共感する機会は却って減っていると言われる。一方、これらの機器が生成・蓄積するデータは、大規模化・多様化・複雑化して来ている。本研究ではこのような大規模化・多様化・複雑化する情報環境の中での「共感計算機構」実現を目指し、大規模、多様、複雑なデータを解析するデータマイニング技術をベースに、共感する能力、すなわち、自身が共感すると同時に、ユーザを共感させる能力を人工知能に持たせることを目指している。人工知能の入出力は、論理的な構造を持つことが期待されている。そのためのセンサを開発すると同時に、そのような入出力を扱える共感計算機構を、データマイニング技術をベースに、アンビエント知能等を対象にして研究している。

また、本プロジェクトでは、構成的適応インタフェース(CAUI)の要素技術として、計測技術、表現技術、生成技術について、総合的な研究を展開している。計測技術では、センサのハードウェアを開発すると同時に、意味差分(SD)法によるアンケート、脳波、脈波、脈拍、血圧、行動パターンなどの間の関係を調べて、これら大規模、多様、複雑な手がかりからデータマイニング・機械学習等の技術により多くの人の共感状況を推定する。構成的適応ソフトウェアとしては、各種のデータマイニング・機械学習技術に重みや確率を組み合わせることで、コンテンツとそれへの共感の関係を、高次の記述レベルについても、動的に獲得する。それに基づいて、コンテンツを生成する。このような一般的な観点で、ユーザ計測と評価を基に、共感を引きだす方法を検討している。

本年度は、情報システム・ソフトウェア分野の若手研究者間の交流と情報交換を目的とした研究会を、平成 25 年 10 月 15 日～16 日に東北大学電気通信研究所 2 号館 2 階 W214 セミナー室において開催した。この研究会における話題提供者は以下のとおりである。

青戸 等人、小野美 武、河原 吉伸、北形 元、
來村 徳信、北村 喜文、木下 哲男、栗木 一郎、
塩入 諭、高嶋 和毅、高橋 秀幸、沼尾 正行、
羽生 貴弘、松宮 一道、満上 育久、森畑 明昌、
森山 甲一、横山 ひとみ、鷲尾 隆

本研究テーマに関連するインタフェース、ビジョ

ン、音響、ゲーム、人工知能、データマイニングなどの研究についての発表が行われた。参加者にとっては、新たな知見が多数あり、すべての話題について、各研究分野間の壁を越える積極的な質疑応答がなされた。

また、情報デバイス分野の若手研究者間の交流を目的とした研究会を、平成25年7月31ー8月2日に山形県山形市蔵王四季のホテルにおいて開催した。この研究会における講演者は以下のとおりである。

尾辻泰一、松本和彦、谷口正輝、沼尾正行、中谷和彦、田中秀和、サイモングリーブス、ステファンボーバンガトンベット、三浦良雄、山ノ内路彦、佐藤昭、マテン

当日は情報系とデバイス系双方からの参加を得て、広範なテーマでのオーラルセッションに加えて、フリーディスカッションセッションを設け、十分に時間をかけて活発な討論が分野横断的に行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

上記の研究会で報告のあった各研究グループの研究成果ないし報告の概要は以下のとおりである。

大阪大学産業科学研究所側を代表して、当該研究所の歴史的背景、環境・エネルギー・医療・安全安心の課題解決に向けた社会貢献を目指す総合理工学型研究所であること、現在の人員・予算規模・研究部門組織と各部門の研究成果概要、企業リサーチパーク・共同研究拠点活動・国際連携の概要などの説明がなされた。

（鷲尾 隆）

通研からは、ブレインウェア実験施設が紹介された。本施設は2004年の通研改組の際に新設され、平成26年度概算要求の採択を受け、ブレインウェア研究開発施設と名称変更された（平成26年4月1日付）。本施設では、情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイドが急増している現代社会の危機的状況を回避するために、ハードとソフトを一新し、人間的な判断機能を取り込んだ低消費電力で柔軟なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型LSI」の開発を推進することが紹介された.

（羽生 貴弘）

「共感計算」の研究では、人工知能に共感する能力、すなわち自身が共感すると同時にユーザを共感させる能力を持たせることを目指している。その一環として、本年は脳波による感情の推定について、新しい解析手法を提案した。また、共感させる音楽コンテンツを生成するため、リズムを導入した場 合の実験を行った。

（沼尾 正行）

超伝導電子デバイスによる信号処理回路として、単一磁束量子論理回路による並列パイプライン動作に基づく4ビットの積和演算処理回路の集積化を報告し、高速・低消費電力動作（30GHz, 1.3mW）の検証結果を報告した。また、知的情報処理回路への応用として、ディジタルおよびアナログ方式による超伝導ニューラルネットワークの提案を行った。これらの基本となるニューロ素子の設計を行い、実測での動作に成功した結果について述べた。

（小野美 武）

オントロジーは曖昧な概念を明確に定義し、知識の基盤を提供する。本発表では機能と人工物概念の明確化とそのメリットについて述べた、まず、規約的な機能オントロジーを構築し、産業界の現場で実用して多くの実益が得られた。次に、学界や産業界における多くの機能概念を説明できる機能参照オントロジーを構築した。さらに人工物の様々な定義を比較し関係付けた。

（來村 徳信）

最短路にとどまらず、様々な要件を満たす経路を発見するためのシステムを構築した。このシステムでは、ある領域限定言語によって、どのような経路を発見したいかを記述する。システムはこの記述から経路発見プログラムを生成し、経路探索を行う。この手法により、入力グラフの大きさをnとし、記述の大きさを定数とすれば、O(n log n)時間で経路を発見できる。

（森畑 明昌）

ユーザの好みを推定し適応するシステムの例として、ユーザに適応する2つのコンピュータゲームの研究を行った。まず、格闘ゲームにおいて、ユーザの能力をコンピュータが学習し、ユーザのレベルに応じた対戦相手を構築する方法を提案した。さらに、ホラーゲームにおいてより恐怖感をもたらすゲームを作成するために、ユーザの状態が恐怖感にどのように影響するかを調査した。

（森山 甲一）

災害時の人々の活動を支援する仕組みに関する研究として、被災地に設置される移動型ネットワーク装置のための知識型ネットワーク運用・管理機構、及び、利用要求に応じてウェブ情報と放送情報を連携させる機構を取り上げ、プロトタイプによるデモ等を交えて当該研究に関する議論と情報交換を行った。

（木下 哲男、 北形 元、 高橋 秀幸）

人とのやりとりによって,利便性や快適性だけではなく、感動や幸せな気持ちや喜びなど、さまざまなポジティブな要因を与えることを目標に進められているインタラクティブコンテンツの研究の中から、約 10 件のデモンストレーションを参加者全員で見て体験し，共同研究の可能性などについて議論を行った。

（北村 喜文、 高嶋 和毅、 横山 ひとみ）

八木教授が研究代表者を務める CREST「歩容意図行動モデルに基づいた人物行動解析と心を写す情報環境の構築」について、これまでの実施内容の一部を紹介した。具体的には、注視方向と歩容の関係、歩行者の三次元形状計測や特徴量化を取り上げ、その概要を紹介した。

（満上 育久）

等式論理に基づく計算モデルである項書き換えシステムの合流性自動証明システムの開発状況および国際競技会の開催・参加状況について報告した。本年度は，永続性を利用した非左線形システムの合流性証明法、および、意味論を用いた解釈や項上の簡約順序を利用した非合流性証明法を開発した。

（青戸 等人）

データ中の構造情報を学習に取り組む枠組みである構造正則化学習において、劣モジュラ性に基づく高速なアルゴリズムの開発を行った。特に、変数間の近接性を利用できる（一般化）Fused 正則化は、高速に実装可能な（パラメトリック）最大流問題へと帰着できる事を示し、大規模な遺伝子データ解析やコンピュータ・ビジョンへの適用における有用性について確認を行った。

（河原 吉伸）

視線推定における頭部方向の重要性を示すために、頭部に対する眼球方向を操作して、それが視覚的認知に与える影響を検討した。この実験では、頭部と同じ方向を見る場合（正面観察）と頭部と異なる方向を見る場合（横目観察）における、視覚探索課題の成績を比較した。その結果、横目観察において、視覚的注意を必要とする視覚探索の成績が低下した。このことから、横目観察は、主に視覚的注意が関与する視覚的な情報処理を妨害することが示唆される(論文３)。つまり、人が日常的に頭部を対象の方へ近づけて観察するのは、視覚的な情報処理の観点からも妥当であると考えられる。

（塩入 諭、 栗木 一郎、 松宮 一道）

単原子層炭素材料：グラフェンを利得媒質とする新原理テラヘルツレーザーを提案し、フェムト秒赤外線レーザーで光学励起したグラフェンからの室温テラヘルツ光誘導放出の原理検証に成功した。さらに、光学励起もしくは電流注入励起によって反転分布状態にあるグラフェンにテラヘルツフォトンを照射すると表面プラズモンポラリトンが励起され、その伝搬に伴い 10^4 cm^{-1} オーダもの巨大利得作用が得られることを理論的に発見した。

（尾辻泰一）

自己組織化現象を介して形成される極微な単結晶ナノワイヤを形成する本質的なメカニズムを理論的・実験的に検討した。その極微な単結晶ナノワイヤを用いてシリコン基板上で単一ナノワイヤメモリスタ素子を創製し、極微サイズ領域における堅牢なメモリスタ特性と従来の薄膜素子では固体内部に潜んでいたメモリスタ物性の本質的な特性を抽出した。

（柳田 剛）

グラフェンのバンド分散を微視的に変調することを目的とした研究を行なった。そのために、異なる面方位を有する微斜面を露出させた微細加工 Si(100)基板に SiC(111)および SiC(100)面を作製することにより、異なる積層構造を有するグラフェンを同一基板面上に作製可能であることを、低速電子顕微鏡及び光電子顕微鏡により検証した。さらに、顕微 Raman 分光により、これらのグラフェンのバンド分散も大きく変化していることを明らかにした。

（吹留博一）

電子相転移により巨大な物性変化を示す酸化物群（VO_2、Mn 酸化物）に対し、ナノリソグラフィーと薄膜結晶成長を融合により作製されるワイヤ、ウォールなどの様々な形態を有する酸化物３次元ナノ構造において、金属-絶縁体相転移や超巨大磁気抵抗効果の変化率がバルク薄膜に比べ 10^2～10^3 倍に向上することを報告した。ナノからマイクロサイズで物質中に生じる電子・スピン相ドメインの生成を 3 次元ナノ構造により規定することが可能であることを提案した。

（田中秀和）

希少金属を含まない $L1_0$型 FeNi 規則合金の結晶磁気異方性の起源を第一原理計算により解析した。この規則合金の垂直磁気異方性には、Fe 原子の 3d 電子が主に寄与していることを明らかにした。また、FeNi 規則合金に面内圧縮歪を加えると、垂直磁気異方性が増強することから、より大きな垂直磁気異方性を得るためには、FeNi より小さな格子定数をもつ材料をバッファ層に用いることが有効である。

（白井正文）

走査トンネル顕微鏡（STM）を用いた単一分子のダイナミクス制御について報告した。STM 探針か

ら注入するトンネル電子のエネルギーを精密に制御することにより、金属表面に吸着した分子の脱離および分解反応を選択的に誘起できることを示した。また、カーボンナノチューブのナノスケール発光を計測した。STM 探針を用いたナノ構造欠陥の導入によりバンド間遷移に起因する発光を局所的に制御できることを示した。

（片野　諭）

トンネル電流で１塩基分子を読み取る１分子識別技術と、１分子 DNA がナノポアを通過する流動速度を制御する１分子速度制御技術の二つが、１分子 DNA シークエンサーのコア技術になる。１分子識別技術を用いることで、現在の DNA シークエンサーでは直接読取ることができないが、がんマーカーとして重要なマイクロ RNA と短い DNA の塩基配列決定に成功した。一方、ナノポアにゲート電極を組み合わせることで、電気浸透流を調整し、１ 分子 DNA の流動速度を制御する技術を開発した。

（谷口正輝）

陽極酸化技術とフォトリソグラフィを組み合わせ、TiO_2 ナノチューブ膜を微小領域に形成することにより、２μm×２μm という微小ガスセンサが作製可能であることを示した。また、ナノチューブ壁の厚さを薄くすることによりその感度やリニアリティを向上できることを示した。これらは、局所陽極酸化が多孔質微小ガスセンサの作製に有効な手法でることを示しており、低消費電力化及び多成分同時測定集積化ガスセンサの構築が期待される。

（木村康男）

カーボンナノチューブ電界効果型トランジスタ（CNT-FET）において、CNT ソース・ドレイン電極間のショットキー障壁厚さをゲート電界により制御した。この結果、コヒーレントな系において近藤状態を実現し、ゲート電界により近藤温度が制御可能であることを示した。また、CNT 周囲に、トンネル可能な薄いアルミナ膜と厚い窒化シリコン膜ゲート絶縁膜を形成し、その界面に形成される量子ドットと CNT チャネル間で単電荷を捕獲・放出し室温でメモリ素子動作を示した。

（上村崇史）

（３－２）波及効果と発展性など

近年、携帯電話、通信カラオケ、ゲーム機、携帯型デジタルプレイヤーが普及し、デジタルコンテンツの需要が高まっている。品質の高い固定コンテンツだけではなく、その場の状況に当意即妙に合わせたコンテンツやフィードバックが有用な機会は多い。各個人や文化によって異なる嗜好にどのように合わせていくかは、これまで一つの文化圏などの大きな単位でしか考慮できず、職人芸に依存していた。本研究により、こうした文化的な細かな違いをマップとして可視化することなども可能になり、各国の文化を分析、把握する上で、強力な手段となる可能性がある。さらに、共感を引きだす情報機器の開発につなげられれば、健全な人間関係や社会の構築にも貢献することになる。

そのためのセンサの開発が、日本のエレクトロニクス産業の再生につながり、ひいてはこの研究のすそ野の大きさから見て、日本を活性化して再生する最良の方策になりうる。組織間連携によりこの方向の研究を推進することは、現在各方面で形成されつつある脳研究に基づく情報システム開発の萌芽的組織の中核となる拠点形成を可能とし、今後の研究を牽引する組織作りができる。成されつつある脳研究に基づく情報システム開発の萌芽的組織の中核となる拠点形成を可能とし、今後の研究を牽引する組織づくりが可能となる。

［４］成果資料

(1) N. Otani, et al.: "Generation of Rhythm for Melody in a Constructive Adaptive User Interface," 4th International Workshop on Empathic Computing (IWEC '13) in IJCAI'13, 2013.

(2) M. Sugiyama, C. Azencott, G. Dominik, Y. Kawahara, & K. Borgwardt, "Multi-task feature selection with multiple networks via maximum flows," in Proc. of the 2014 SIAM Conf. on Data Mining (SDM'14) (Accepted)

(3) 河原吉伸 "構造的な事前情報を用いた機械学習：構造正則化と劣モジュラ性" 情報処理, Vol.52, No.7, pp.734-740, 2013.

(4) C. Azencott, D. Grimm, M. Sugiyama, Y. Kawahara & K. Borgwardt, "Efficient network-guided multi-locus association mapping with graph cuts," Bioinformatics, Vol.29, No.13, pp.i171-i179, 2013 (Special Issue: ISMB/ECCB'13 Proceedings Papers).

(5) K. Nagano & Y. Kawahara, "Structured convex optimization under submodular constraints," in Proc. of the 29th Ann. Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'13), pp.459-468, 2013.

(6) Y. Kitamura and R. Mizoguchi : "Ontological characterization of functions: Perspectives for capturing functions and modeling guidelines",

Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM), Vol. 27, No. 3, pp. 259-269, Cambridge Univ. Press, 2013.

(7) K. Moriyama, S.E. Ortiz B., M. Matsumoto, K. Fukui, S. Kurihara, and M. Numao: "An Intelligent Fighting Videogame Opponent Adapting to Behavior Patterns of the User". IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E97-D, No.4, pp.842-851, 2014.

(8) V. Vachiratamporn, R. Legaspi, K. Moriyama, and M. Numao: "Towards the Design of Affective Survival Horror Games: an Investigation on Player Affect". Proc. 2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, ACII-2013, pp.576-581, 2013.

(9) Hozuma Nakajima, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi, "Depth-based Gait Feature Representation," IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications (CVA) Express Paper, Vol.28, 2013.

(10) Mitsuru Nakazawa, Ikuhisa Mitsugami, Hirotake Yamazoe, Yasushi Yagi, "Distinguishing Pedestrians Facing to the Front and the Side by Gait Observation," The 2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR2013), pp.486-490, Nov., 2013.

(11) Hozuma Nakajima, Yasushi Makihara, Hsu Hsu, Ikuhisa Mitsugami, Mitsuru Nakazawa, Hirotake Yamazoe, Hitoshi Habe, Yasushi Yagi, "Point Cloud Transport," International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), Nov., 2012.

(12) Mitsuru Nakazawa, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Makihara, Hozuma Nakajima, Hirotake Yamazoe, Hitoshi Habe, Yasushi Yagi, "Dynamic Scene Reconstruction using Asynchronous Multiple Kinects," International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), Nov., 2012.

(13) Lin Chen, Fumihiro Matsukura, and Hideo Ohno, "Direct-current voltages in (Ga,Mn)As structures induced by ferromagnetic resonance", Nature Communications, Vol. 4, 3055 (6 pages), June 2013.

(14) Y. Aonuma, Y. Kondo, A. Hirano-Iwata, A. Nishikawa, Y. Shinohara, H. Iwata, Y. Kimura, M. Niwano: “Label-free and real time monitoring of adipocyte differentiation by surface infrared spectroscopy”, Sensors and Actuators B, Vol.176, pp.1176-1182, 2013.

(15) N. Ueno, M. Sakuraba, J. Murotab, S. Sato, "Epitaxial growth of Si1−xGex alloys and Ge on Si(100) by electron-cyclotron-resonance Ar plasma chemical vapor deposition without substrate heating," Thin Solid Films, Vol. 557, pp. 31–35, 2014.

(16) S.-Y. Baek, F. Kaneda, M. Ozawa, and K. Edamatsu, Experimental violation and reformulation of the Heisenberg's error-disturbance uncertainty relation, Sci. Rep. 3, 2221/1-5, 2013.

(17) H. Fukidome, S. Abe, R. Takahashi, K. Imaizumi, S. Inomata, H. Handa, E. Saito, Y. Enta, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, T. Kinoshita, S. Ito, and M. Suemitsu, “Controls over Structural and Electronic Properties of Epitaxial Graphene on Silicon Using Surface Termination of 3C-SiC(111)/Si”, Appl. Phys. Express, vol. 4, 115104, 2011.

(18) Y. Cho: “Electrical conduction in nanodomains in congruent lithium tantalate single crystal”, Appl. Phys. Lett. Vol.104, 042905, 2014.

(19) Y. Miura, M. Tsujikawa, and M. Shirai: "A first-principles study on magnetocrystalline anisotropy at interfaces of Fe with non-magnetic metals", Journal of Applied Physics, Vol. 113, article no. 233908, 2013.

(20) T. Otsuji, V. Popov, and V. Ryzhii, “Active graphene plasmonics for terahertz device applications,” J. Phys. D., Vol. 47, Iss. 09, pp. 094006-1-10, 2014.

(21) S. Sakamoto, S. Hongo, T. Okamoto, Y. Iwaya and Y. Suzuki, Improvement of accuracy of 3D sound space synthesized by real-time "SENZI", a sound space information acquisition system using spherical array with numerous microphones (invited lecture), Proc. The 21st International Congress on Acoustics, 055051, pp. 1-9, 2013.

(22) Nakashima R, Shioiri S Why Do We Move Our Head to Look at an Object in Our

Peripheral Region? Lateral Viewing Interferes with Attentive Search. PLoS ONE 9(3): e92284, 2014.

(23) T. Onomi and K. Nakajima, "Neuron Circuit Using Coupled SQUIDs Gate with Flat Output Characteristics for Superconducting Neural Network," IEICE Trans. Electron., vol. E97-C, no. 3, pp.173-177, 2014.

(24) Naoya Onizawa, Tomoyoshi Funazaki, Atsushi Matumoto, and Takahiro Hanyu, "High-Throughput Compact Delay-Insensitive Asynchronous NoC Router," IEEE Transactions on Computers, vol. 63, no. 3, pp. 637-649, Mar. 2014.

(25) Akimasa Morihata: A Short Cut to Parallelization Theorems. In: ICFP'13: Proceedings of the 18th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, Boston, Massachusetts, September 25 - 27, 2013, pp. 245-256, ACM, 2013.

(26) 鈴木翼, 青戸等人, 外山芳人, 永続性に基づく項書き換えシステムの合流性証明法, コンピュータソフトウェア, Vol.30, No.3, pp.148-162, 2013.

(27) T. Aoto, Disproving confluence of term rewriting systems by interpretation and ordering, In Proc. of the 9th International Symposium on Frontiers of Combining Systems (FroCoS 2013), LNAI, Vol.8152, pp.311-326, 2013

(28) Tetsuo Kinoshita, Gen Kitagata, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, and Khamisi Kalegele, "An Agent-based Network Management System Using Active Information Resources," International Journal of Advanced Smart Convergence (IJASC), Vol.2, No.2, pp.10-15, The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), 2013.

(29) Kazuki Takashima, Naohiro Aida, Hitomi Yokoyama and Yoshifumi Kitamura, TransformTable: a self-actuated shape-changing digital table, In Proceedings of Conferece on Interactive Tabletop and Surface (ITS), pp.179-187, 2013

第 6 章　国際会議・シンポジウム等

６．１　通研国際シンポジウム

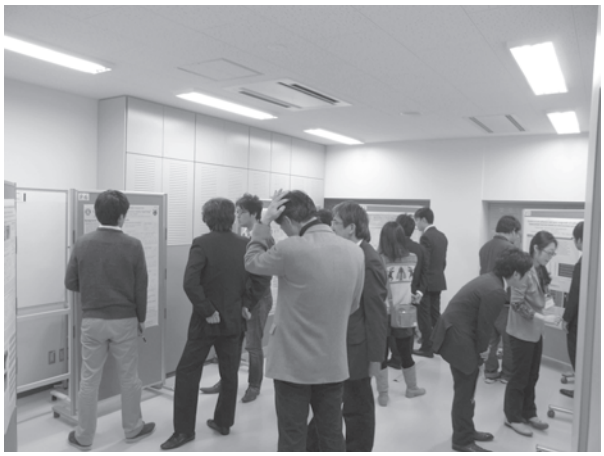
第二回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム

The 2nd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

開 催 日：平成26年2月21日（金曜日）～22日（土曜日）（2日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：64名

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。今回が二回目であり、平成２６年２月２１日、２２日の２日間に渡って開催された。ドイツ、フランス、スウェーデンの３か国から３名の海外招待講演者を迎え、計１３件の口頭発表、９件のポスター発表が行われた。講演内容は、神経科学、培養神経回路、集積回路など多岐にわたるものであったが、分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われた。多数の学生が参加したこともあり、若手の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。





第二回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムでの発表の様子

国際シンポジウム

第８回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス国際シンポジウム
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

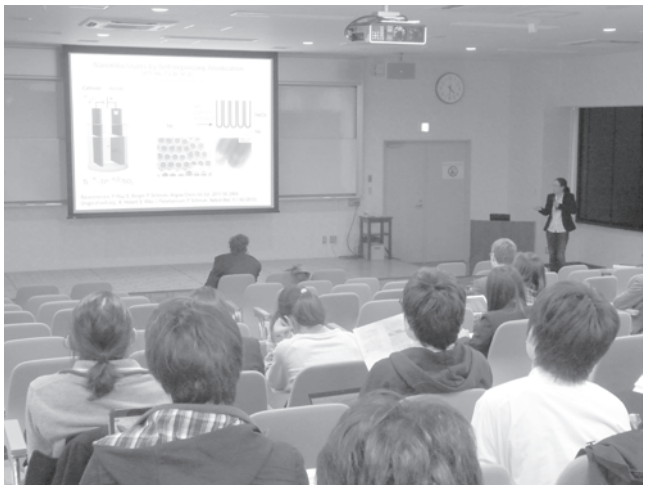
The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics,
5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics,

開 催 日：平成２６年３月６日（木曜日）～７日（金曜日）（２日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：９２名

前半はナノ構造とその応用についてのセッションであり、ナノチューブやナノカーボンなどのナノ構造体について、その形成技術や，太陽電池やガスセンサーなどへの多様な応用法についての発表があり、特に応用法について深い議論がなされた。また、近年注目されている酸化グラフェンの大量生成法についての発表が注目された。後半は微細加工技術のバイオ応用やメディカル応用のセッションであり、固体基板上に培養した神経細胞ネットワークの計測技術、脂質二分子膜に包埋したチャネルタンパクを用いたセンサーや、超音波を用いたイメージング技術や新規ケミカルバイオセンサーについての発表があり、それらの性能や特性についての深い議論がされた。これらの知見及び広い分野の研究者の交流は，ナノエレクトロニクスやそれらの医療応用など，今後の幅広い研究の進展に大いに貢献すると考えられる。

参加人数は、海外から５名の招待講演者を含め、二日間で研究者、学生など 90 名を数え、活発で有意義な討論及び情報交換が行われた。この合同シンポジウムは次年度も開催予定である。





６．２　国際会議等の開催状況

第８回Siエピタキシー＆ヘテロ構造国際会議 及び第６回半導体界面制御国際会議

8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Hetero- structures (ICSI-8) & 6th Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces

開 催 日：平成25年6月2日（日曜日）～6日（木曜日）（5日間）
開催場所：福岡
参加人数：250名

本国際会議は，Siエピタキシーとヘテロ構造・ナノ構造の物理とデバイス技術の研究分野における新展開に関して包括的に議論することを目的に，企画・開催された国際会議である．本研究所からは組織委員として室田淳一特任教授と櫻庭政夫准教授が参加した．基調講演2件と招待講演19件の他，一般口頭発表50件とポスター発表85件の計172件の発表が行われ，Si及びSiGeC系ヘテロ材料の結晶成長機構の理論から物性，プロセス技術及び超微細半導体デバイスや電子・光複合デバイスへの応用までの幅広い領域について最新の研究動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた．また，上記発表の多くが学術論文としてまとめられ，その論文集は学術論文誌Thin Solid Films (Vol.557, 2014) の特集号として出版済である。日本を含む世界の半導体産業の活性化のためにも，本会議の開催は重要な意味を持つものであり，次世代Si系ヘテロナノデバイス開発の道が開拓されると期待されることから、継続開催（2015年）も決定され，世界の英知を結集した討論の場が準備されている．

国際会議等

第8回　ECS ULSIプロセスインテグレーション国際会議

8th ECS Int. Symp. on ULSI Process Integration (Symp. E12, 224th Meeting of the Electrochem. Soc.)

開 催 日：平成25年10月28日（月曜日）～30日（水曜日）（3日間）
開催場所：San Francisco, USA
参加人数：50名

本国際会議は，ULSIプロセスインテグレーションと関連する材料・デバイス技術に関して包括的に議論することを目的として企画・開催された国際会議である．本研究所からは室田淳一特任教授（組織委員）と櫻庭政夫准教授が参加した．基調講演2件と招待講演19件の他，一般口頭講演16件の計37件の発表が行われ，上記分野における最新の研究開発動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた．また，上記発表の多くが学術論文としてまとめられ，その論文集は学術論文誌ECS Transaction (Vol.58, No.9, 2013) の特集号として出版されている．今後，この分野の研究が推進されることにより，ULSIプロセスインテグレーションに関連する材料・デバイスの学問分野が大きく展開するであろう．

第 6 回アジアにおけるコンピュータグラフィックスと インタラクティブ技術に関する国際会議 SIGGRAPH Asia 2013

The 6th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia

開催場所： 香港コンベンション&エクシビションセンター
開催日： 2013 年 11 月 19 日(火)～22 日(金)
Web： http://sa2013.siggraph.org/

SIGGRAPH は，米国に拠点を置く ACM (Association for Computing Machinery) の 1 つの SIG (Special Interest Group) で，コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する諸活動を行っている．そして，この分野で世界最大の国際会議として SIGGRAPH を 40 年前より主催し，毎年夏に米国で開催して 2 万～3 万人の参加者を集めてきた．そのアジア版である SIGGRAPH Asia は，2008 年に開始され，2008 年シンガポール（参加者数 3389 人, Exhibition 出展社数 81 社)，2009 年横浜（同 6424 人, 71 社)，2010 年ソウル（同 9238 人, 102 社)，2011 年香港（同 7734 人, 122 社)，2012 年シンガポール（同 4338 人, 79 社）と開催され，2013 年は 11 月 19 日～22 日に香港で開催され，6,078 人の参加者と 80 社の出展社数を集めた．

SIGGRAPH および SIGGRAPH Asia では, 主に技術系と芸術系のプログラムが並行して組まれ, いずれもこの分野で最大の規模と学術的権威を誇っている. 技術系プログラムには, Technical Papers, Emerging Technologies, Posters など，芸術系プログラムには，Art Gallery や Computer Animation Festival などがある．このうち，コンピュータグラフィックスの技術を主に担当するプログラムが Technical Papers で，インタラクティブ技術を担うのが Emerging Technologies である．Technical Papers は，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最新技術に関する論文の著者による口頭発表で，例年，約 400 件の投稿から厳正な査読（採択率 20%程度）を経て採択が決まる．Emerging Technologies は，最新のインタラクティブ技術に関するデモンストレーション展示で，例年，約 100 件の投稿から厳正な査読（採択率 20%程度）を経て採択が決まり，会議参加者はこれらを体験できるとともに，デモを行っている研究者とその場で直接議論もできる．

電気通信研究所の北村喜文教授は, Emerging Technologies のプログラムを複数年かけてより発展・充実させるために，Director という役割に就き，毎年任命される Chair と協力して運営にあたっている．2013 年の Emerging Technologies には，査読を経て採択された 6 か国から 17 件の研究成果が会期中の 3 日間にわたってデモンストレーション展示され，好評を博した．

2014 年の第 7 回 SIGGRAPH Asia は 12 月 3～6 日に中国・深圳で開催が予定されている．



SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies 会場内に設けられたプレゼンテーションとディスカッションのスペース

国際会議等

第7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＆日本学術振興会研究拠点形成事業ジョイントセミナー“高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成”

7th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar “Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration”

開 催 日：平成26年1月27日（月曜日）～28日（火曜日）（2日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
参加人数：60名

本国際ワークショップは，新Ⅳ族半導体材料のプロセス技術及びナノデバイスへの応用までの幅広い領域についての包括的な議論を目的に，本研究所の共同プロジェクト研究H23／A04「高度歪異種原子層配列IV族半導体構造形成とナノデバイスへの応用に関する研究」が中心となって企画した国際会議である．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、並びに、日本学術振興会研究拠点形成事業「高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成」（コーディネーター：室田淳一特任教授）の活動の一環として開催され，組織委員長兼プログラム委員長として室田淳一特任教授が，組織委員として佐藤茂雄教授と櫻庭政夫准教授が参加した．日本、ドイツ，フランス，ベルギーの各国拠点代表者らの発表を含む招待講演8件、一般講演9件、ポスター講演21件の総数38件の講演（内、東北大学通研の関係する発表8件）が行われ，活発な討論が行われた．世界の半導体産業の活性化のためにも，本国際ワークショップの開催は重要であり，次回は2015年に開催することが決定されている．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．本会議の詳細はhttp://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/EI4GroupIV-WS2014/ において公開されている．

国際会議等

「人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業」キックオフシンポジウム

The 1st International Symposium on Brainware LSI

開 催 日：平成２６年３月２８日（金曜日）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟
参加人数：６４名

平成２６年度概算要求において、東北大学 電気通信研究所が提案した「人間的判断の実現に向けた新概念脳型ＬＳＩ創出事業」が採択され、新規プロジェクトがスタート致しました。
本プロジェクトは、情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイドが急増している現代社会の危機的状況を回避するために、ハードとソフトを一新し、人間的な判断機能を取り込んだ低消費電力で柔軟なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型ＬＳＩ」の開発を目指すことを目的としております。
本プロジェクトのスタートにあたり、脳型コンピューティングおよび半導体集積回路による実現を専門とする国内並びに海外の研究者を招へいし、キックオフシンポジウムを開催致しました。脳型ＬＳＩ実現に向けた様々な分野からの融合的アプローチの可能性について講演者との活発な議論がなされた。

6．3　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	片桐 崇史 准教授
2	音響工学研究会	伊藤 彰則 教授	坂本 修一 准教授
3	仙台“プラズマフォーラム”	安藤　晃 教授	金子 俊郎 教授
4	ＥＭＣ仙台ゼミナール	曽根 秀昭 教授	山口 正洋 教授
5	コンピュータサイエンス研究会	篠原　歩 教授	住井英二郎 准教授
6	システム制御研究会	吉澤　誠 教授	本間 経康 准教授
7	情報バイオトロニクス研究会	庭野 道夫 教授	吉信 達夫 教授
8	スピニクス研究会	山口 正洋 教授	佐藤　文博 准教授 塩川 陽平 助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	羽生 貴弘 教授	本間 尚文 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	梅村晋一郎教授	吉澤　晋　准教授
11	ブレインウェア工学研究会	中島 康治 教授	小野美 武 助教
12	情報・数物研究会	田中 和之 教授	和泉 勇治 准教授
13	生体・生命工学研究会	塩入 諭 教授	大林 武 准教授
14	ナノ・スピン工学研究会	佐藤 茂雄 教授	木村 康男 准教授
15	先進的情報通信工学研究会	木下 哲男 教授	菅沼 拓夫 教授

伝送工学研究会

主査　松浦祐司，　幹事　片桐崇史

伝送工学研究会は，最も長い歴史をもつ研究会であり，これまでの開催回数は５５０回を超える。本研究会は，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しており，放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの招待講演と研究報告を行ってきた。
本年度は９回の研究会が開催され，特別講演が1件，一般講演が４０件行なわれた。最新の研究動向と成果が発表され，活発な議論が行われた。

第553回
日時：　2013年5月28日（火）　15:00-17:00
場所：　東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
553-1.Numerical and Experimental Study on Planar Waveguide Sheet with Switching Diversity
○陳冠華1，陳強1，澤谷邦男1，大内田真智子2，平野義明2（1東北大学工学研究科，2帝人株式会社）
553-2.周波数領域離散信号処理を用いるアナログ波形伝送
○ヴォタンハイ，熊谷慎也，小原辰徳，安達文幸（東北大学工学研究科）
553-3.デュオバイナリ・パーシャルレスポンスフィルタを用いたシングルキャリア伝送における周波数領域等化
○阿保航平，アムナートブンカジャイ，山本哲矢，安達文幸（東北大学工学研究科）
553-4.帯域可変薄膜フィルタを用いた高速ファイバラマンイメージングの検討
○井上里美1，片桐崇史2，松浦祐司1,2（1東北大学医工学研究科，2東北大学工学研究科）
参加人数：45人

第554回
日時：　2013年6月25日（火）　15:00-17:30
場所：　東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
554-1.携帯電話基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討
○伊藤和也1，陳強1，田中健2（1東北大学工学研究科，2日立国際八木ソリューションズ（株）製品　設計本部）
554-2.フォトニック結晶フィルタと主成分分析を用いた近赤外画像計測
○三橋将礼，大寺康夫，山田博仁（東北大学工学研究科）
554-3.高出力Er:YAGレーザ伝送用チューブリーキー導波路の製作
○小林駿1，片桐崇史1，松浦祐司1,2（1東北大学工学研究科，2東北大学医工

学研究科）
554-4.Multi-antenna receiver design in a frequency selective fading channel
○Wei Peng, Fumiyuki Adachi（東北大学工学研究科）
554-5.Adaptive Sparse Channel Estimation Method for Broadband Wireless Communication Systems
○Guan Gui, Fumiyuki Adachi（東北大学工学研究科）
参加人数：42人

第555回
日時：2013年7月23日（火）　15:00-17:30
場所：東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
555-1.300mm基板上に作製したシリコン細線導波路
○平野秀1，相馬宗厳1，北智洋1，田主裕一朗1，関三好2，外山宗博2，堀川剛2，山田博仁1（1東北大学大学院工学研究科，2(独)産業技術総合研究所）
555-2.DS-CDMA DANの上りリンク容量と所要送信電力
○井下翔平，宮崎寛之，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
555-3.シングルキャリアSTBCダイバーシチを用いるマルチユーザMIMO下りリンクに関する検討
○吉岡翔平，熊谷慎也，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
555-4.Research on Wireless Power Transfer with Near-field coupling using Multi-port antennas
○呉銘達1，袁巧薇2，陳強1（1東北大学大学院工学研究科，2仙台高等専門学校）
555-5.ラマン分光イメージ伝送用中空ファイババンドル
○片桐崇史1，井上里美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）
参加人数：45人

第556回
日時：　2013年9月24日（火）　15:00－17:00
場所：　東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
556-1.中空導波路を用いたTHz領域用ATRプローブ
○堀田浩介1，片桐崇史1，松浦祐司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）
556-2.光電界センサの高感度化のためのアンテナに関する検討
○阿部寛人，陳強（東北大学大学院工学研究科）
556-3.循環遅延パイロットチャネル推定および最適送信周波数領域等化を用いるシングルキャリア時空間符号化送受信ダイバーシチ
○宮崎寛之，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
556-4.マルチホップ伝送における飛び越し経路を用いたダイバーシチを考慮した干渉キャンセラに関する検討

○松野貴徳，宮崎寛之，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
参加人数：43人

第557回
日時：　2013年10月22日（火）　15:00～18:00
場所：　東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
557-1.Variable is Good: Adaptive Sparse Channel Estimation using Sparse VSS-NLMS Algorithms
○Guan Gui and Fumiyuki Adachi（東北大学大学院工学研究科）
557-2.シリコン細線光導波路リング共振器と非対称MZIフィルタを用いた波長可変レーザ
○根本景太，北智洋，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）
557-3.変調散乱ダイポールアレーアンテナの受信性能の実験的評価
○齋藤公利，今野佳祐，陳強（東北大学大学院工学研究科）
557-4.近傍界による無線電力伝送のインピーダンス整合に関する基礎的検討
○大尻勇気，呉銘達，陳強（東北大学大学院工学研究科）
557-5.導波モード共鳴現象を利用した光ファイバの解析
○広瀬遥，大寺康夫，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）
557-6.フォトニック・メタ表面による偏波変換
○大寺康夫（東北大学大学院工学研究科）
参加人数：40人

第558回
日時：　2013年11月26日（火）　15:00-18:00
場所：　東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
558-1.高速移動環境下における時分割複信シングルキャリア周波数領域時空間符号化ダイバーシチ
○宮崎寛之，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
558-2.DS-CDMAおよびSC-FDMAを用いる分散アンテナネットワークの上りリンク容量
○井下翔平，宮崎寛之，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
558-3.変調波源の波源位置推定法の数値解析
○仁科文化，陳強（東北大学大学院工学研究科）
558-4.対数周期ダイポールアレー素子を用いたリフレクトアレーの広帯域化
○横川佳，今野佳祐，陳強（東北大学大学院工学研究科）
558-5.中空光ファイバガスセルを用いた紫外ガス吸収分光
○出仙勇毅1，片桐崇史1，松浦祐司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）
558-6.ハイブリッド集積シリコンフォトニクス
○北智洋（東北大学大学院工学研究科）
参加人数：38人

第559回
日時： 2013年12月24日（火） 15:00-17:00
場所： 東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
559-1.TiO2チャネル導波路における広帯域光発生
○内島晃司，北智洋，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）
559-2.携帯電話基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討
○伊藤和也1，陳強1，井上真豪2（1東北大学大学院工学研究科，2日立国際八木ソリューションズ（株）製品設計本部）
559-3.Improvement of Near-Field Power Transfer Efficiency by switching Parasitic Elements
○呉銘達1，袁巧薇2，陳強1（1東北大学大学院工学研究科，2仙台高専）
559-4.高速なモーメント法に関する研究
○今野佳祐，陳強（東北大学大学院工学研究科）
参加人数：40名

第560回
日時： 2014年1月28日（火） 15:00-16:30
場所： 東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
560-1.Reading Performance Improvement of Smart-Shelf System by Using Diversity Reception
○陳冠華1，陳強1，澤谷邦男2，大内田真智子3，平野義明3（1東北大学大学院工学研究科，2東北大学NICHe，3帝人株式会社）
560-2.下りリンク分散アンテナネットワークにおけるMIMO伝送での周波数利用効率とエネルギー利用効率に関する一検討
○嘉治英俊，熊谷慎也，天間克宏，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
560-3.77 GHz Passive Millimeter-wave Imaging Device for Security Applications
○Hiroyasu SATO (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
参加人数：43人

第561回
日時： 2014年2月25日（火） 15:00-17:00
場所： 東北大学 電気・情報系 451・453会議室
演題：
【特別講演】View on future radar technology, systems and applications
○Dr. Leo P. Ligthart1,2（1 Delft University of Technology, 2 CNEAS Tohoku University)
561-1.AlGaN/GaN HEMT のゲート電流安定化技術
○林一夫1，佐々木肇強2，大石敏之1，亀田卓3，高木直3，末松憲治3（1三菱電機株式会社情報技術総合研究所，2三菱電機株式会社高周波光デバイス製作所，3東北大学電気通信研究所）
561-2.GaAs HBT の高性能化

○紫村輝之1，平野嘉仁1，亀田卓2，高木直2，末松憲治2（1三菱電機株式会社高周波光デバイス製作所，2東北大学電気通信研究所）
561-3.GPUを用いたリフレクトアレー設計の高速化に関する一検討
○多田靖弘1，横川佳2，今野佳祐2，陳強2（1東北大学工学部情報知能システム総合学科，2東北大学工学研究科）
参加人数：40人

音 響 工 学 研 究 会

主査　伊藤彰則，幹事　坂本修一

音響工学研究会は，音波，固体振動，超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し，討論や意見交換をする場として， 1950 年頃に発足した研究会である。関連する分野は，電気音響，聴覚・心理音響，建築音響，騒音制御，ディジタル補聴器，音声分析・合成，音声認識・理解，音環境工学など，多岐にわたっている。 2013 年度は，主査伊藤彰則教授，幹事坂本修一准教授のもとで，研究会 3 回（第 362 回，第 363 回，第 364 回）と通研講演会 1 回が開催された。会場は，第 362 回が電気通信研究所 2 号館大会議室，第 363 回と第 364 回が東北大学工学部電子情報システム・応物系 103 会議室で行われた。なお，第 362 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，日本光学会視覚研究グループ，日本心理学会「注意と認知」研究会との共催で，第 363 回は IEEE SPS Sendai Chapter と共催で，第 364 回は超音波エレクトロニクス研究会， IEEE SPS Sendai Chapter と共催で開催された。第 362 回は 2013 年 11 月 19 日（火），20 日（水）に開催され，研究発表 19 件，参加者は延べ 91 名であった。第 363 回は 2013 年 12 月 18 日（水）に開催され，研究発表 2 件，参加者は延べ 52 名であった。第 364 回は 2013 年 12 月 26 日（木）に開催され，研究発表 5 件，参加者は 41 名であった。通研講演会は， 2014 年 3 月 14 日（金）に竹田仰教授（長崎総合科学大学）による「空気砲を科学する」という題で開催され，参加者は 8 名であった。

工学研究会

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，放電，核融合などのプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質，電気推進機などの応用とそれ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。

平成２５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。大学院生によるプラズマ乱流現象，水中気泡内放電生成，プラズマ推進機の性能評価と物理現象，プラズマ利用ナノカーボン薄膜提要電池開発，二酸化炭素のメタンへの変換技術，水素負イオンビーム源開発，ナノ微粒子の生成などの研究発表会を２回開催。国内，国外研究者によるプラズマ閉じ込めと核融合，プラズマ推進機開発，非平衡プラズマ中の不安定性，フラーレン・グラフェン・カーボンナノチューブ，ナノ材料の安全評価，宇宙プラズマ，プラズマ流の基礎と応用に関する「研究発表」を５回開催した。多様な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を行うとともに情報交換を行うことができた。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　曽根　秀昭，　幹事　山口　正洋

ＥＭＣ（環境電磁工学）は，電磁ノイズと信号の電磁干渉（ＥＭＩ）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり，電気・情報工学分野の研究者と技術者は関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない1977年2月に，ＥＭＣにいかに取組むべきかを調査し，学問として体系化する目的で，「ＥＭＣ仙台ゼミナール」が発足した。この活動は，誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであり，ここで討論された先進的な研究は，我が国や世界のＥＭＣ研究の方向を示し牽引力の役割を果たしており，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001年にIEEE EMC Society 仙台Chapterが設立され，連携して活動している。

平成25年度は，第196回（10月23日）に岡山大学の五百旗頭健吾氏による通研講演会「EMC技術とサイドチャネル攻撃シミュレーション」，IEEE International Symposium on EMCへの参加報告2件と林優一氏のBest Symposium Paper Award受賞記念講演，第197回（２月28日）に京都大学の松嶋徹氏を招いて「情報通信機器から生じる漏えい電磁波の予測法および低減設計法」の講演と学生による５件の研究発表があった。

工学研究会

コンピュータサイエンス研究会

主査　篠原　歩，　幹事　住井　英二郎

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。2013年度は第165回講演会から第168回講演会まで4回の講演会を開催した。
Justie Su-Tzu Juan氏（National Chi Nan University）は、「Hamiltonicity Related Problems in Various Graphs」というタイトルで講演、Yi-Jung Chen氏（National Chi Nan University）は、「Memory System Synthesis for MPSoCs with 3D-stacked Memories」というタイトルで講演を行った（4月22日）。
小林　直樹氏（東京大学大学院情報理工学系研究科）は、「Pumping by Typing」というタイトルで講演を行った（6月21日）。平田　耕一氏（九州工業大学大学院情報工学研究院）は、「Tai mapping hierarchy and variations of tree edit distance」というタイトルで講演を行った（11月27日）。Md. Saidur Rahman氏（Bangladesh University of Engineering and Technology）は「Pairwise Compatibility Graphs」というタイトルで講演会を行った（2月5日）。
また、第33回・第34回NUEセミナーを共催し、Irek Ulidowski氏（University of Leicester)は、「Modelling of bonding with processes ad events」というタイトルで講演会を行い（5月23日）、Vincent van Oostrom氏（Utrecht University）は「Z Syntax-Free Developments」というタイトルで講演会を行った（10月29日）。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査　吉澤　誠，　幹事　杉田　典大

本研究会は，システム制御における，理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は以下のとおりである。

１）（講演会）チェコ工科大学プラハ校　准教授　ブコフスキ　イボ氏（演題：Learning Entropy and its Use for Novelty Detection in Bio-Signal）

２）（通研講演会）東北工業大学工学部　教授　丸山　次人氏（演題：ロボット・メカトロニクスシステムの実用化制御技術）

工学研究会

情報バイオトロニクス研究会

主査　庭野　道夫、幹事　吉信　達夫

ナノ・バイオエレクトロニクスは重要な科学技術分野の一つであるが，その技術革新のためには，電子工学技術と多様な機能をもつ生命科学反応系との融合が必要不可欠である．しかし，生体分子の活性の保持など，半導体素子と生体分子との界面設計については解決すべき課題も多い．本研究会では，電子工学や半導体工学の研究者と，表面科学，生命科学，生理学，バイオマテリアル工学，医工学の様々な分野の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，情報バイオトロニクス研究会共催の国際シンポジウムを２回開催した．

The 2nd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
平成26年２月21－22日開催　【Plenary talk】 ”Nanoelectronic devices and –materials for neuroscience”　A.Offenhäuser (Jüelich research center, Germany)，H. Yamamoto (Waseda University)，S. Katsurabayashi (Fukuoka University)，S. Kubota (Yamagata University)，H.Suzuki (University of Tokyo)，V. Gripon (Télécom Bretagne, France)，N. Katayama (Tohoku University)，H. Kamiya (Hokkaido University)，T. Yagi (Osaka University) 他

The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
平成26年３月 5-7 日開催　【Plenary talk】 ”Self-organized TiO_2 nanotube arrays: Latest features and applications” P. Schmuki (University of Erlangen, Germany)，Y. Kimura (Tohoku University)，N. Koshida (Tokyo University of Agriculture and Technology)，B. Wolfrum (Forschungszentrum Jülich, Germany)，A. C. H. Yu (University Hong Kong, China)，T. Yoshinobu (Tohoku University) 他

スピニクス研究会

主査　山口正洋，　幹事　佐藤文博、塩川陽平

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目指し、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。本会では例年、最新の話題に関する依頼公演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討議を主とした特別研究会を企画している。本年度は主催・共催研究会および他の研究会への協賛も含め計8回を開催した。以下、IEEE Magnetics Society Sendai ChapterおよびIEEE Sendai Sectionと共催した主研究会について概要を示す。

平成25年4月8日には、IEEE Magnetics Societyの2013年Distinguished LecturerであるAdekule Adeyeye教授（National University of Singapore）による人工的に作製されたナノスケール強磁性体における磁気特性に関する講演会を開催した。5月28日には、関野正樹准教授（東京大学）と高橋俊輔氏（昭和飛行機工業㈱）を招き、磁気を用いた先端アプリケーションと題して講演会を開催した。医療へのアプリケーションとして関野准教授に脳頭蓋への磁気刺激療法に関して，産業界における最新情報として高橋氏に自動車へのワイヤレス給電に関しての講演が行われた。6月21日には、磁気記録に関して桐野文良教授（東京藝術大学）をはじめ9名の講演者を招き講演会を開催した。8月30日には、IEEE Magnetics Societyの2013年Distinguished LecturerであるRudolf Schaefer教授（Leibniz Institute for Solid State and Materials Research）による磁気光学を用いたマイクロ構造体の計測に関する講演会を開催した。10月3日にはIEEE Magnetics Societyの2013年Distinguished Lecturerである高梨弘毅教授（東北大学）を招き、スピン流をキーワードに、スピントロニクスの原理から最新の研究動向についての講演が行われた。10月17日、18日には、岩手大学工学部にて特別研究会を開催した。全25件の講演がなされ、東北地区の磁気に関わる研究者を中心とした参加者のべ44名による活発な研究討論が行われた。12月5日には、中根了昌特任講師（東京大学）、磯上慎二准教授（福島工業高等専門学校）、Al-Mahdawi, Muftah K.O氏（東北大学）の３名により磁気抵抗素子を用いた新たなデバイスに関する講演会を行った。平成26年3月24日には、IEEE Magnetics Societyの2014年Distinguished LecturerであるTim St Pierre教授（University of Western Australia）による磁性材料の医学への応用に関する講演会を開催した。

本年度の運営は、主査：山口正洋教授（電気エネルギー）、幹事：佐藤文博准教授（電気エネルギー）、塩川陽平助教（電子）、企画幹事：栃修一郎准教授（通研）、菊池伸明助教（多元研）、Simon Greaves准教授（通研）、中村健二准教授（電気エネルギー）、小川智之助教（電子）で行った。

工学研究会

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査　羽生 貴弘，幹事　本間 尚文

本研究会は，従来の延長上にない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており，平成 25 年度は以下の 5 回を開催した。

第 84 回　平成 25 年 7 月 27 日（土）如水会館
　研究発表 1 件

第 85 回　平成 25 年 10 月 5 日（土）東京・ＴＫＰ大手町カンファレンスセンター
　研究発表 2 件

第 86 回　平成 25 年 11 月 19 日（火）電気通信研究所２号館２階セミナー室（Ｗ２１４）
　研究発表 11 件

第 87 回　平成 26 年 3 月 1 日（土）東京・TKP 東京駅八重洲カンファレンスセンター
　研究発表 2 件

第 88 回　平成 26 年 3 月 25 日（火）情報知能システム総合学科　通研講演会
　　演題：「様々な応用分野での決定グラフを用いた新しい計算手法について」
　講演者：永山忍（広島市立大学）

超音波エレクトロニクス研究会

主査　梅村　晋一郎，　幹事　吉澤　晋

目的：超音波計測，音波物性，超音波デバイスとその応用，医用超音波に関する研究発表・討論を行う．

第73回
日時: 平成25年11月28日 (木)　14:40 ～ 17:30
会場: 東北大学工学部 電子情報システム・応物系451・453会議室

演題:
1. “ラット摘出心筋を用いた電気的興奮の伝播に伴う心筋の収縮応答の超音波計測”
   藤田雄太[1]，田頭秀章[2]，長谷川英之[1,3]，福永浩司[2]，金井浩[3,1]
   (1 東北大学大学院医工学研究科，2 東北大学大学院薬学研究科，
   3 東北大学大学院工学研究科)
2. “音響放射圧の双方向局所連続加振により生体軟組織内部に発生する剪断波伝播速度の超音波計測による剪断弾性率推定”
   舘佳織[1]，長谷川英之[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)
3. “血管内皮反応時の脈波伝播速度変化の補正による橈骨動脈壁粘弾性の超音波計測の精度向上”
   佐藤光貴[1]，長谷川英之[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)
4. “頸動脈壁内腔面の微小表面形状の超音波計測における点拡がり特性抑制による空間分解能向上”
   永井慶史[1]，長谷川英之[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)

第74回
日時: 平成25年12月26日 (木)　13:00 ～ 16:35
会場: 東北大学工学部 電子情報システム・応物系 103会議室

演題:
1. “キャラクタの印象がユーザの許容度に与える影響
   ～音声対話アプリケーションを用いた検証～”
   大谷智子[1]，徐シン[2]，加藤恒夫[2]，相澤清晴[3]
   (1 東北大学電気通信研究所，2 (株)KDDI研究所，3 東京大学)

2. “屋外拡声系の語彙選択法の検討と津波警報音の開発
－災害情報の伝達性能の向上を目指して－”
崔正烈[1]，増見洋治[1,2]，虎井駿[1,2]，坂本修一[1,2]，岩谷幸雄[3]，鈴木陽一[1,2]
(1 東北大学電気通信研究所，2 東北大学大学院情報科学研究科，
3 東北学院大学)
3. “テキスト音声合成における統計的アプローチに基づく音声多様化の検討”
能勢隆 (東北大学大学院工学研究科)
4. “心臓壁の収縮機能評価のための2次元変位推定における心筋の変形を考慮した超音波信号間の相関算出”
浅利大[1]，長谷川英之[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)
5. “超音波信号の振幅・位相に基づく心臓壁領域自動同定法における心臓壁ラテラル方向変位にロバストな特徴抽出の最適化”
中原紘平[1]，長谷川英之[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)

以上

ブレインウェア工学研究会

主査　中島　康治、幹事　小野美　武

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。

本年度は第一回を平成 25 年 7 月 24 日、第二回を平成 25 年11月 19 日、第三回を平成 25 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。第一回：「ヘビの多芸多才なロコモーションに内在する自律分散制御則」加納　剛史（東北大）、「適応脳科学に向けて－逆問題を解くブレインウェア－」矢野　雅文（東北大）、「不揮発ロジックが拓く次世代VLSIプロセッサの展望」望月　明（東北大）、第二回：（紙面の都合上省略）、第三回：「速いシナプスを持つ神経回路網ダイナミクスとその応用」香取　勇一（東京大学）、「適応行動の実時間性を創り出す脳を理解するためのニューロロボティクス」青沼　仁志（北海道大学）、「極低消費電力回路の実現へ向けて　－論理レベルでの取り組み－」木村　晋二（早稲田大学）。以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査　田中和之、　幹事　和泉勇治

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６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：齋藤真樹氏（東北大学大学院情報科学研究科）"非一様に離散化された変数空間における、離散的なMRFの周辺分布推定"、岡谷貴之氏（東北大学大学院情報科学研究科）"ディープラーニングの画像認識への応用"、片岡駿氏（東北大学大学院情報科学研究科）"マルコフ確率場による未観測データ補完と領域分割"、森立平氏（東京工業大学大学院情報理工学研究科）"Characterizations and generalizations of the Bethe approximation"、中島千尋氏（東北大学原子分子材料科学高等研究機構）"交換モンテカルロ法を用いた素因数分解"、坂田綾香氏（東京工業大学大学院総合理工学研究科）"Dictionary LearningにおけるSample Complexityの見積もりとBelief Propagationアルゴリズム"。

生 体 ・ 生 命 工 学 研 究 会

主査　塩入　諭，　幹事　大林　武

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．以下に平成２５年度の活動概要を示す．

第 28 回は平成 25 年 11 月 25 日（月）に１４：００から１５：００まで情報科学研究科 2 階大講義室にて開催され，自然科学研究機構　新分野創成センター　ブレインサイエンス研究分野・特任准教授の郷　康広先生の「ゲノムを通して我が身を知る　～ヒトとサルの間にあるもの～」と題する特別講演が行われた．引き続いて同日の１５：１５から１６：３５まで４件の一般講演があった．参加者は２７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．

工学研究会

ナノ・スピン工学研究会

主査　佐藤　茂雄，　幹事　木村　康男

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。平成２５年度は以下のように計４回の講演会を実施した。

第67回　平成25年5月17日　14:00 - 15:30
"Nanomaterials with charged quantum dots for solar energy conversion and advanced sensing applications"
Vladimir Mitin (Dept. Electrical Eng., University at Buffalo, USA)

第68回　平成25年6月27日　15:00 - 16:00
"On the Possible Generalization of TFT and ULSIC Technologies"
Yue Kuo (Texas A&M University, USA)

第69回　平成25年12月16日　12:35 - 18:15, 12月17日　09:30 - 15:25
「60GHz帯CMOS無線機の研究開発」
○岡田健一（東工大）
「超100GHz帯増幅器技術の進展とその通信への応用」
○佐藤 優・川野陽一・芝 祥一・松村宏志・高橋 剛・鈴木俊秀・中舍安宏・原 直紀・高橋 剛（富士通）
「共鳴トンネルダイオードを用いたテラヘルツ発振器における最近の進捗と今後の展望」
○鈴木左文・浅田雅洋（東工大）
他８件

第70回　平成26年1月31日　15:00 - 16:00
"Digital implementation of multimodel bioinspired spiking neural networks based on SIMD and AER"
Jordi Madrenas (Technical University of Catalunya, Spain)

先進的情報通信工学研究会

主査　木下 哲男、　幹事　菅沼 拓夫

2013 年度は、以下の研究会、及び、通研講演会をそれぞれ２回開催した。

・第５回先進的情報通信工学研究会・通研講演会
日時：平成 25 年 12 月 13 日(金)　15：00-16：30
場所：東北大学電気通信研究所　2 号館 W214 セミナー室
題目：ロボット聴覚とその展開
講師：中臺 一博（株式会社ホンダ・リサーチ・インスティチュート・ジャパン・プリンシパルリサーチャ）

・第６回先進的情報通信工学研究会・通研講演会
日時：平成 26 年 2 月 6 日(木)　15：00-16：30
場所：東北大学電気通信研究所　2 号館 W214 セミナー室
題目：M2M システムの特質と研究・教育・ビジネス創生の意義
講師：小泉寿男（東京電機大学理工学部・客員教授）

・第７回先進的情報通信工学研究会
日時：平成 26 年 2 月 7 日(金)　14：00-15：40
場所：東北大学電気通信研究所　２号館 W301 セミナー室
共催：通研共同プロジェクト研究「共生コンピューティングのためのリポジトリ型マルチエージェントフレームワークの協調機構に関する研究」（代表：打矢隆弘（名古屋工業大学））
講演数：４件

・第８回先進的情報通信工学研究会
日時：平成 24 年 2 月 27 日(月)　13：30-16：00
場所：東北大学サイバーサイエンスセンター・本館５階・講義室
共催：通研共同プロジェクト研究「ネットワークの知的管理のための情報取得・活用に関する研究」（代表：岩谷幸雄（東北学院大学））
講演数：４件

６．４　通研講演会

View on future radar technology, systems and applications

Delft University of Technology・Em.Prof.・Dr. Leo P. Ligthart

開 催 日：平成２５年２月２５日（火）１５：００～１６：００
開催場所：東北大学 電気・情報系 451・453会議室
参加人数：４０名

本講演会ではデルフト工科大学名誉教授のリヒトヘルト教授が，これまでのレーダー開発の経験をもとに，レーダー技術の今後の課題と応用分野について，多くの例をあげて説明された．応用例として時速150～250km/hで走行する長距離バスである”Superbus”のコンセプトや，瓦礫中の生存者の探索といった興味深いテーマが紹介され，多くの学生をはじめ，幅広い専門分野の聴講者の興味を引いていた．講演後はさまざまな議論が展開された．

空気砲を科学する

長崎総合科学大学
竹田仰教授

開 催 日：平成 26 年 3 月 18 日（金）
開催場所：電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室

大学等で行われる様々な研究成果を広く一般に公開するアウトリーチ活動は，単に研究活動のアピールという意味だけでなく，一般市民の様々な視点からの研究成果の新しい見方の発見や，今後の研究テーマの発掘という観点ということからも非常に重要な活動である。聴覚や視覚といったメディア研究は「見聞かせる」ものがあるという点でこのような活動に非常になじみやすいものであり，実際に多くの研究者がこのような活動を積極的に行ってきている。それぞれの研究者が行ってきた活動やその成果を共有していくことで，より効率的・効果的な活動を行うことが可能となる。

今回の講演者は，段ボール等の箱状の物体に空けた穴から衝撃で空気の固まりを発出する空気砲について，そのメカニズムや空気砲から効率的に強力に空気の固まりを発出する機構について研究を進めてきた。この成果はメディアに取り上げられ，実際に番組で巨大空気砲を構築してその威力を実験で検証するといったことも行われている。その一方で，講演者は九州大学総合研究博物館の館長をされていたこともあり，VR 技術等を駆使して博物館に貯蔵されている標本や他の貯蔵品を一般市民に興味深くアピールするといった活動も精力的に行ってきた。

ご講演では，遊びに使われる空気砲を科学的に研究する困難さやそこで得られた知見を一般市民になじみやすい形にエンターテイメント応用する際に悪戦苦闘した内容，並びに，触覚も考慮した VR 技術を用いてこれまで行ってきた様々なアウトリーチ活動の実際の様子についてお話しいただき，そこから得られる知見や今後のアウトリーチ活動の必要性，方向性について活発な討論を行った。

通研講演会

EMC技術とサイドチャネル攻撃シミュレーション

岡山大学　五百旗頭健吾

開催日：平成２５年１０月２３日（水曜日）１４：００～１６：００
開催場所：東北大学　サイバーサイエンスセンター　講義室
参加人数：２０名

暗号回路から非意図的に漏えいする電磁波を用いて、暗号化に必要とされる秘密鍵が取得されるサイドチャネル攻撃の脅威が問題となっている。講師はEMCマクロモデルを用いて暗号回路を記述し、情報の漏えいを予測する技術を確立している。予測技術を構成する要素技術として(1)PDNの寄生インピーダンスとEMI発生及びPI低下の関係、(2)EMCマクロモデルによるシミュレーションとサイドチャネル攻撃シミュレーションについて講演した。

(1)EMI発生及びPI低下の関係については、EMI放射や電源電圧変動(バウンス)の原因はICのスイッチングによる高周波電流の発生が原因であることを述べ、ノイズ源であるスイッチング電流がアンテナとなる構造より放射するメカニズム及びPI低下のメカニズムについて、具体的に詳説した。(2)ノイズ発生及び妨害の可能性を機器製造前に予測する手法について解説し、さらにシミュレーション手法のサイドチャネル攻撃シミュレーションへの応用についても詳説した。さらにモデル内にIC上の電源電圧変動とICと基板間の伝達インピーダンスを取り入れることで、サイドチャネル攻撃に対する安全性予測をボード設計の段階で実現できることを示した。

通研講演会

ロボット・メカトロニクスシステムの実用化制御技術

東北工業大学工学部
知能エレクトロニクス学科　教授　丸山次人

開 催 日：平成２５年１２月１３日（金）１６：００～１７：３０
開催場所：東北大学サイバーサイエンスセンター　中会議室
参加人数：１４名

食事搬送自律移動ロボット，ハードディスクドライブ(HDD)，ディーゼルエンジンを例として取上げ，制御上の課題と実用化制御技術，さらに先行研究技術について紹介をした．通産省プロジェクト「食事搬送自律移動ロボット」に関しては，安全性，自律性，親和性をキーワードに開発した視覚情報に基づくナビゲーションや障害物検知，呼びかけ・挨拶や親しみやすいデザインなどの要素技術，および実証試験結果について紹介を行った．HDD に関しては，高密度化を達成するためのイノベーション技術（垂直磁気記録）を概観するとともに，高精度位置決めを実現するための装置化技術（メカ・制御・信号処理）について紹介し，製品バラツキや温度変化に有効なロバスト制御についても言及した．排気ガスの大幅な低減が求められているディーゼルエンジンについては，現行 PID 制御の課題を解説するとともに，モデルベース開発のコンセプトと開発手法を紹介し，実機試験評価したモデル予測制御についても言及した．制御理論と実用化時期の関係について触れるとともに，これからの制御理論についての紹介がなされ，制御技術の実用化について活発な議論が展開された．

通研講演会

Self-Shaping Deposition of Monolayer Graphene Oxide Flakes on Chemically Modified Surfaces

横浜国立大学・教授・荻野　俊郎

開催日：平成２６年３月５日（木）１６：５０～１７：１０
開催場所：東北大学電気通信研究所　４階　カンファレンスルーム
参加人数：５１名（The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronicsと共催）

講演者の研究室では，半導体のような固体材料と生体物質との融合を試みてきている．本講演では，ナノテクノロジーの展開におけるキー材料として注目されているグラフェンとバイオテクノロジーとの融合を目指し，グラフェン酸化物と化学修飾表面との界面設計における最近の成果について、わかりやすく講演していただいた。講演者らはグラフェン酸化物の広範囲な単層構造の形成にも成功しており，グラフェン研究者らの関心を集める講演となった．バイオエレクトロニクスの発展を目指す電子工学，表面科学，医工学，材料科学等の多様な分野の研究者から多くの意見が交換され，活発な討論が展開された．

様々な応用分野での決定グラフを用いた新しい計算手法について

広島市立大学大学院情報科学研究科　准教授　永山忍

開 催 日：平成２６年３月２５日（火）１６：００～１７：００
開催場所：東北大学工学部情報知能システム総合学科 2 号館 204 号室
参加人数：１３名

決定グラフは、LSI の設計自動化や形式的検証の分野で発展してきたが、近年では、LSI 設計に関する分野だけにとどまらず、様々な分野での計算に応用され、高い成果を上げている。本講演の講師は、決定グラフを応用する際に成功のカギを握る決定グラフにおける基本的な計算の考え方を紹介するとともに、データマイニングやシステム解析など、決定グラフを用いることで高い成果を上げた応用分野を幾つか解説した。講演後は決定グラウの選択方法やビッグデータ解析への可能性などについて活発な質疑がなされた。

通研講演会

速いシナプスを持つ神経回路網ダイナミクスとその応用

東京大学　研究員　香取　勇一

開 催 日：平成 25 年 12 月 18 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム
参加人数：36 名

短期的シナプス可塑性や、スパイクタイミングに依存する可塑性（STDP）など伝達強度が速く変化するシナプスの性質が明らかになっている。本講演では、このような速いシナプスを含む神経回路網モデルの解析と応用に関する研究をご紹介頂いた。脳の高次機能に関わる前頭前野における柔軟な情報表現の数理モデルに関しては、短期的シナプス可塑性が起こすネットワーク構造の再構成が、神経回路網の情報表現における役割を動的に切り換えることをご指摘頂いた。また短期的シナプス可塑性を持つ連想記憶ネットワークの解析に関する研究、さらに神経ネットワークをデジタル電子回路（FPGA）に実装する試みに関してご紹介頂き、活発な議論が展開された。

適応行動の実時間性を創り出す脳を理解するための ニューロロボティクス

北海道大学　准教授　青沼　仁志

開 催 日：平成 25 年 12 月 18 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム
参加人数：36 名

「適応行動の実時間性」の理解は生物学とロボット工学の共通課題である。人工物制御ではフレーム問題の克服がひとつの重要課題であるが，生物の世界にフレーム問題は存在しない。動物はまわりの環境や経験によって柔軟に行動を切替える。動物が受容し知覚する環境刺激は，個体がおかれている状況に応じて異なる意味をもち，普遍的な環境である時間や空間ですら行動主体の状況に応じて異なって知覚される。適応行動の実時間性を解明するには，行動主体にとっての環境の意味を理解し，知覚された情報が処理され行動発現につながる脳の仕組みを解明する必要がある。ニューロロボティクスはそのための有効なアプローチである。本講演では，昆虫の闘争行動に見られる適応的な行動切替メカニズムについてニューロロボティクスからのアプローチについて紹介がなされ、活発な議論が展開された。

通研講演会

極低消費電力回路の実現へ向けて
－ 論理レベルでの取り組み －

早稲田大学　教授　木村　晋二

開 催 日：平成 25 年 12 月 18 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム
参加人数：36 名

近年、情報通信機器・システムの多様化・高機能化に伴い、その低消費電力化の重要性が高まっており、今後の極低消費電力回路の実現へ向けての LSI の設計技術の動向について、ご講演者の研究成果を交えながら概説頂いた。具体的には、細やかな電力の制御を行うために、論理素子の制御値や、次世代のメモリ素子を用いる手法についてのご紹介を頂き、極低消費電力回路の実現へ向けた論理レベルでの取り組みについての活発な議論が展開された。

スパースモデリングによるデータ駆動科学

東京大学新領域創成科学研究科 助教 永田賢二氏

開 催 日：平成２５年１０月１５日（金）午後４：２０－５：５０

開催場所：東北大学電子情報システム・応物系 3 号館 2 階大セミナー室

参加者数：１５名

平成２５年１０月１５日に標記講演会を開催した。講演では、近年、疎表現に注目した様々な情報処理の方法論として、最近、情報科学のみならず生命・脳科学、地球惑星科学など様々な分野で 注目されているスパースモデリングの現状について平成２５年度に発足した文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」での活動内容を中心に紹介された。講演ではスパースモデリングの目的・狙いを概説されるとともに、そのキーテクノロジーの一つであるスペクトル分解について理論・応用の両面から解説され、今後のスパースモデリングの可能性についての活発な議論が行われた。永田氏は、現在、同新学術領域研究の領域代表である岡田真人教授（東京大学）に協力し、スパースモデリングの解析と利活用の先駆的研究を進めており、世界的に注目を集めている。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。

通研講演会

ゲノムを通して我が身を知る
～ヒトとサルの間にあるもの～

自然科学研究機構 新分野創成センター ブレインサイエンス研究分野
特任准教授・郷　康広

開 催 日：平成２５年１１月２５日（月）１４：００～１５：００
開催場所：東北大学大学院情報科学研究科 2 階大講義室
参加人数：２７名

ヒトの全ゲノム配列が解読されて 10 年あまり，ゲノム解析の勢いはとどまるところを知らない．いわゆる次世代シーケンサーの登場による配列解読技術の飛躍的な進歩もあり，ヒトの病気の原因遺伝子解明や多様性研究のためにすでに数万人規模の全ゲノム配列が解読され，解析が行われている．しかし，いくら多様なヒトゲノムが明らかになったとしても，ヒトの本質的な理解，さらには進化的意義を知るためには，ヒトゲノムだけでなく，ヒト以外の種と比較することが必要不可欠である．そこで，ヒト以外の霊長類ゲノムを調べる事によって見えてくる「ヒトとサルの間にあるもの」について考えてみたい．また本講演会では、工学系分野の方だけでなく，医学系，文学系，生物学系の広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き，活発な議論がなされた．

Nanomaterials with Charged Quantum Dots for Solar Energy Conversion and Advanced Sensing Applications

ニューヨーク州立大学バッファロー校・電子工学科
教授　ウラジミール　ミッティン

開 催 日：平成２５年５月１７日（金）１４：００～１５：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン研究棟４階Ａ４０１室
参加人数：１５名

講演者らが研究を進めてきた太陽電池・光検出器用途の新奇量子ドット構造について、その設計・作製・特性評価を中心に講演を行なった。量子ドット周辺のポテンシャル障壁をドープ種類・濃度制御によって最適設計することにより、光生成電子の再捕獲を抑制するとともに、高効率光吸収・高スケーラビリティを同時に達成できることが示された。

通研講演会

ロボット聴覚とその展開

株式会社ホンダ・リサーチ・インスティチュート・ジャパン
プリンシパルリサーチャ　中臺 一博

開 催 日：平成 25 年 12 月 13 日（金）１５：００～１６：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所　２号館　２階　W２１４セミナー室
参加人数：２５名

ロボット聴覚は、ロボットが自身に備わった耳を使ってまわりの音環境を理解する技術の実現に関する新しい研究領域であり、近年、種々の研究開発が活発化してきている。本講演では、ロボット聴覚研究の概要、及び、ロボット聴覚を活用して進められている屋外環境理解に関する研究開発の現状の紹介があり、今後の研究の方向性について議論が行われた。

M2M システムの特質と研究・教育・ビジネス創生の意義

東京電機大学理工学部・客員教授　小泉寿男

開 催 日：平成 26 年 2 月 6 日（木）１５：００～１６：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所　２号館　２階　W２１４セミナー室
参加人数：２３名

M2M システムは、センサー技術、センサーネットワーク、インターネットと情報処理技術を融合した横断的技術に基くもので、研究面では多くの新たな課題を内在している。また、教育面では学生実験や卒研の対象とすることにより、学生のアイディア創出力を充実させる可能性がある。更に、事業面では、新ビジネス創生の可能性を有している。本講演では、NPO 法人 M2M 研究会の設立意義と活動を踏まえ、M2M システムを研究・教育・ビジネスの面から諸技術の紹介があり、今後の動向について議論が行われた。

第　7　章　　通研が関与して設立され、通研教員が研究活動の中核をなす他部局組織等

７．１　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(CSIS)

＜施設の概要＞

設　置：平成 22 年 3 月 10 日設置　FIRST プログラムの開始に合わせて当センターを設置、 東北大学が中心となり、産学官が連携したスピントロンクス論理集積回路の研究開発を実施。

組　織：・センター長　：大野英男（通研所長・教授）
・FIRST プログラム支援機関　：東北大学
・職員数：30 名（うち兼務 17 名）

目　標：スピントロニクス素子との融合が集積回路にもたらす変革を主導するとともに、論理集積回路における世界のイノベーションサイクルが日本を軸として回る体制の構築を目指す。

研究内容：スピントロニクス材料開発・デバイス開発・集積プロセス開発・回路 IP 開発・設計手法ツール開発を一貫して行い、その上でスピントロニクス論理集積回路を設計・試作し、省エネルギー性と高性能性を実証。

＜2013 年度の主な成果＞

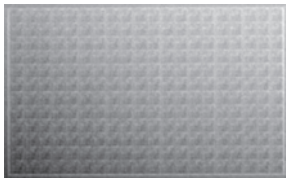
2013 年度は、材料・デバイス性能の一層の高度化を図るとともに、FIRST プログラムの目標であるスピントロニクス論理集積回路の性能（既存の CMOS 集積回路に対して面積比×性能（遅延時間）比×消費電力比で 1/64 以下）を、搭載素子数が 100 万個を超える 90nm 世代 CMOS 技術を用いた大規模集積回路において実証した。取り上げた集積回路は、演算・情報処理を行うロジック部と情報記憶を行うメモリ部からなる現在の論理集積回路の構成を考慮した代表例と、記憶機能と論理演算機能がコンパクトに一体化した新しい回路構成であるロジックインメモリ（Logic-in-Memory；LIM）アーキテクチャを適用した性能実証チップである。

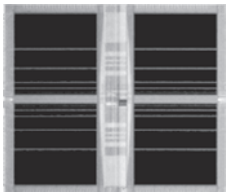
以下にそれらを示す。

・高性能 CPU 混載キャッシュメモリ応用として 1Mbit 高速・高集積・不揮発性メモリ STT-MRAM
・汎用論理集積回路の応用として不揮発メモリと CPU などから構成されるマイクロコントローラ
・汎用論理集積回路の応用として製造後に回路構成変更可能な不揮発ゲートアレイ FPGA
・専用論理集積回路として LIM アーキテクチャを適用した文字検索用 TCAM


STT-MRAM


ﾏｲｸﾛｺﾝﾄﾛｰﾗ


ｹﾞｰﾄｱﾚｲ FPGA


文字検索 TCAM

以上の世界をリードする成果を、VLSI，IEDM，ISSCC など世界トップレベルの国際学会において発表した。加えてスピントロニクス論理集積回路の設計・実証を希望する他組織の研究者を招聘して、より多様な大規模実証集積回路の設計を進め、共同で性能評価を行った。現在、世界でスピントロニクス論理集積回路を実際に設計・試作し、動作実証を行ってその優位性を明らかにしているところは本センター以外になく、スピントロニクス集積回路技術において世界を主導した研究開発が進められている。

2013 年度の成果は、52 件の雑誌論文掲載と 223 件の学会発表、特に世界トップレベルの集積回路国際学会(VLSI Symp.，IEDM，ISSCC)に計 6 件の論文発表を行い、新聞報道もなされた。知的財産権活動として、国内 18 件と国外 11 件の特許を出願し、特許が 2 件成立した。

７．２　電気通信研究機構

＜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　：中沢正隆（教授）
・職員数：56 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。

＜2013 年度の主な成果＞

(1)研究プロジェクトの推進：2011 年度の総務省「情報通信の耐災害性強化のための研究開発プロジェクト」の継続研究テーマとして、「大規模通信混雑時における通信処理機能のネットワークに関する研究開発」、「被災地への緊急運搬及び複数接続運用が可能な移動式 ICT ユニットに関する研究開発」、「災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発」、「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発」を推進した。さらに、上記研究開発プロジェクトの社会実装への取り組みとして、宮城県山元町において災害時に有効な衛星通信ネットワークの実証実験および宮城県角田市において「災害に強い情報通信ネットワークの構築に向けたガイドライン」策定を目的としたセミナーを実施した。 また、JST の減災、復興プロジェクトとして「災害対応支援を目的とする防災情報のデータベース化の支援と利活用システムの研究開発」及び「超音波血管・血流透視装置の開発」を推進した。

(2)情報発信：2013 年 7 月に「電気通信研究機構 NEWS」を創刊し、全国の関係諸機関に配布した。また、2013 年 7 月 23 日に電気通信研究機構シンポジウムを開催し、関連自治体、民間企業、公的研究機関、大学等の関係者に上記の研究プロジェクトの成果発表を行った。

＜2013 年度の主な発表論文＞

[1]中沢正隆、「災害に強いネットワークと光通信技術」、電子情報通信学会誌、 Vol.96、No.10、pp.748-751　(2013) .

[2]Fumiyuki Adachi, “Disaster-resilient Multilayered Communications Network”, invited talk, ETPSC’2013 (2013).

[3] Yuichi Kawamoto, Hiroki Nishiyama, and Nei Kato, “Toward Terminal-to-Terminal Communication Networks: A Hybrid MANET and DTN Approach”, Invited paper, ETPSC’2013 (2013).

７．３　国際集積エレクトロニクス研究開発センター

＜施設の概要＞

設　置：平成 24 年 10 月 1 日、東北大学は民間企業との産学連携研究を拡充し、集積エレクトロニクス産業の発展に向けた組織として設置。平成 25 年 4 月、本研究開発センターの研究棟が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。

組　織：・センター長　：遠藤哲郎（工学研究科・教授）
・職員数：約 50 名（東北大通研、工学研究科、情報科学研究科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し、及び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とともに、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：産学共同研究および国プロ等による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幅広い集積エレクトロニクス分野の研究開発。

＜2013 年度の主な成果＞

2013 年 4 月、東北大学青葉山新キャンパスに、初の民間 100%拠出となる「国際集積エレクトロニクス研究開発センター（2012 年 10 月設置）」の研究棟が竣工した。

本センターでは、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幅広い集積エレクトロニクス分野の産学共同研究が既に開始されている。次世代半導体メモリ分野での研究プログラムでは、東北大学が世界を牽引している STT-MRAM（磁気メモリ）の研究開発を、我が国の大学では初となる 300㎜ プロセス試作ラインを整備して国内外の半導体企業・装置企業及び大学・研究機関等と推進している。

このセンターが集積エレクトロニクス技術の世界的研究開発拠点となり、様々な産学共同研究とその中での高度人材育成を通して「東北復興・日本新生の先導」の役割を担い、この分野で我が国の国際的な競争力の強化に寄与するとともに、将来の省エネ社会の実現につながる新産業を創出することが期待されている。

なお、本センターは、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）制度の活用、さらに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など、宮城県・仙台市からの支援を受けている。

７．４　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、東芝を中心とした企業と産学連携した研究開発を実施。

組　織：・機構長・プロジェクトリーダー　：高山 卓三（東芝・部長）
・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

研究開発概要 ： 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。

第 8 章　評価と分析

８．１　運営協議会報告

第２９回東北大学電気通信研究所運営協議会議事録

日　　時：平成２５年１２月１２日（木）午後１時３０分～午後５時０５分
場　　所：東北大学電気通信研究所２号館４階大会議室
出 席 者：
赤木　正人（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科　教授）
秋葉　重幸（株式会社ＫＤＤＩ研究所　常務取締役　主席特別研究員）
一村　信吾（独立行政法人産業技術総合研究所　副理事長）
伊藤　公平（慶応義塾大学理工学部　教授）
潮田　資勝（独立行政法人物質・材料研究機構　理事長）
江村　克己（日本電気株式会社　執行役員　兼　中央研究所長）
大久保　明（独立行政法人情報通信研究機構　理事）
小野寺　正（ＫＤＤＩ株式会社　代表取締役会長）
財満　鎭明（名古屋大学大学院工学研究科　教授）
柴田　　直（公益社団法人　応用物理学会　物理系学術誌刊行センター
専任編集長、東京大学名誉教授）
中小路　久美代（京都大学　学際融合教育研究推進センター　特定教授
株式会社ＳＲＡ先端技術研究所　所長）
藤沢　秀一（日本放送協会　放送技術研究所長）
松島　裕一（早稲田大学研究戦略センター　教授）
村瀬　　淳（日本電信電話株式会社先端技術総合研究所　所長）
渡辺　美代子（独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター
フェロー・開発主監）
早坂　忠裕（福村　裕史東北大学大学院理学研究科長の代理）
金井　　浩（東北大学大学院工学研究科長）
高梨　弘毅（新家光雄東北大学金属材料研究所長の代理）
河村　純一（東北大学多元物質科学研究所長）
曽根　秀昭（小林　広明東北大学サイバーサイエンスセンター長の代理）
伊藤　彰則（東北大学大学院工学研究科教授）

通研出席者：大野英男所長、庭野道夫副所長、塩入　諭副所長、鈴木陽一教育研究評議員、石山和志所長補佐、中島康治、外山芳人、村岡裕明、中沢正隆、羽生貴弘、枝松圭一、大堀淳、上原洋一、末光眞希、八坂洋、末松憲治、北村喜文、石黒章夫、佐藤茂雄の各教授、荘司弘樹、沼田尚道の各特任教授

議　　事

（１）研究所の活動全般について

（２）研究体制と研究成果について

（３）研究所の評価について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

☆ 大学院前期・後期の学生数は漸減傾向にあるが、これをどのように解析しておられますか。

★ 学生定員は一定ですが、電気通信研究所以外の学生の配属研究室が増えたため、少し減っているようです。今のところこれを増やすあるいは減らすという分析の対象にはしていません。

☆ 若い世代が集まり、アクティビティをいかに維持するかということですが、若手を引きつける何かが足りないとすれば、それらについてご検討いただきたいと思います。

★ 大学院の後期課程に関してはまだ努力の余地があると思います。後期課程の漸減傾向が続く場合は、しっかりした対応をしなければならないと考えています。

☆ ２つ質問があります。１つは成果についてですが、非常にわかりやすいご説明をいただき、研究あるいは研究者コミュニティへの評価が高いということが理解できました。通研が掲げている「人間性豊かなコミュニケーションを実現する」という観点においては、どのように評価されているのでしょうか。

２つ目は、多様性について、わかりやすい図表等データを示していただき、ありがとうございます。短期的な目標は明確になっていますが、将来どういう姿を描いておられるか、長期的な目標、例えば数値目標として外国人の方とか女性の方をどれぐらいの割合にするかなどはどう考えていますか。

★ ２点目からお答えします。多様性については、女性教員を増やしたいと思っています。現在、お一人ですが自主財源枠で採用しており、長期的には、女性教員数は学生の女性割合を最初に目標にしたいと思っています。現在、女子学生の割合は5%程度で、その女子学生を増やし、さらに、大学の教員が魅力的なものと感じられるようにいろいろな努力が必要だと考えています。

研究成果に関しては、「人間性豊かなコミュニケーション」をどう捉えるかですが、それを理念として掲げております。研究のスパンで言えば、震災に対応してどういうＩＣＴ技術が必要かということは、例えば電気通信研究機構での努力がなされており、どのように社会実装されたかが、一番直近になるかと思います。大学の研究としては、さらに中期的、長期的なパラダイムを変えるようなところまで重層的に研究をしていきたいと思っています。それは社会がどれだけよくなったかという指標を、どう計っていくのかこれからしっかり考えなければならないと思います。

☆ 今の議論の関係で、このたびロードマップが改訂されているようですが、こうい

う活動は重要だと思います。これは外部の意見が取り入れられているのでしょうか。
★　平成 22 年度の共同利用・共同研究拠点制度が導入された時期にロードマップを策定していますが、外部の方の意見を聞くという過程を踏んでおりません。中期目標期間の 6 年間のスパンで考えていくのが適切で、外部の意見を取り入れるという視点も必要と考えています。
☆　毎年人件費が減っていく中で、自主財源で女性教員や外国人教員枠を設定することは、すばらしいことだと思います。この人件費はどのように捻出しておられますか。
★　物件費を流用する形で対応しています。

☆　特別枠でなく、正規枠で、女性教員、外国教員を優先的に採用するお考えはないのですか。
★　もちろんございます。どちらも正規の教員ですが、自主財源で任用する教員ポストは、現在のところ最初に 5 年を考えています。5 年任期で採用し、適切な人材があればさらに任期なしのポストに就任していただくという運営をしています。

☆　困難な研究に対して、熱意をもって取り組んでおられる若手教員が多くいますので、ぜひそれを推進していただきたい。
☆　昨年、ビジョンについて発言させていただきましたが、このたびロードマップで明確になったことは、たいへんうれしく思います。これらの取り組みのなかで国内では、すばらしい業績を挙げておられるようですが、海外の研究組織、例えばＮＳＦなどとの協力、プロジェクト等の取り組みはどうですか。また、先生方が論文数とか被引用数だけではなく、どれだけ海外の組織の人との共著論文があるかなど、示していただければ通研の強みになると思います。
★　今回、スライドの資料として用意してございませんけれど、海外の連携としては、ハーバード大学と大学間協定を締結しており、通研が世話部局になっています。また、東北大学重点戦略プログラムとしてＭＩＴとの連携事業が行われています。それ以外にＮＳＦの日米国際交流研究教育推進事業が進んでおりますし、ＪＳＰＳの先端的研究拠点事業：Core to Core の拠点プログラムを２つ実施しています。次回から資料として含めたいと思います。
　共著論文に関しては、非常に重要だと考えていますが、統計を集めるに至っておりません。今後の課題と認識しております。

☆　若手研究者の活性化について紹介されていますが、異分野との研究交流は非常に重要な取り組みで、今後とも進めていただきたいと思います。その際にＵＲＡ的な人材を配置すればより活性化するのではないでしょうか。もう一つは、特許件数が示されていますが、23 年度以降、特許が減っているようですが何か理由があるのでしょうか。
★　特許のほうは、25 年度は 11 月現在のデータで、審査中のものもあり、これから増えると思われます。また、通研教員が他の組織と連携しており、それらのセンター等を集計しますと平年並みと考えております。それから、特許の維持ですが、従

来は大学が特許収入で維持するというスキームでしたが、最近、特許をプールして、その特許を産学連携相手に無償で使用していただき、産学連携研究を拡大させ、特許を魅力の一つとして活用するという新しい試みが始まっています。

若手研究者の支援では、研究交流会による若手研究者の分野間交流の実施や頭脳循環として長期海外派遣をエンカレッジして、今後実施する予定です。また、これらの取り組みを支援するため、国際化推進室に特任教授を配置しており、プログラムの企画・実施等を行っています。

☆　広報の関係ですが、いろいろな成果が示されていますし、外部評価においてもすばらしい成果を挙げ評価されているようですから、それらを、マスコミだけではなくて、インターネットやその他さまざまな手法で広報を行ったほうがよいと思います。

★　外部評価でも、産学連携を進めるうえで、どういう成果があったかを社会に発信していくべきであり、例えば、定期的に記者会見をするなどのご助言をいただいています。現在のところはプレスリリース、ウェブサイト、そしてフォーラム、ニュースレターがあります。それ以外に、どのように情報を発信していけばいいかこれから検討していきたいと思います。

☆　新聞発表の資料は、日本の新聞ですが、海外ではオンラインの新聞も増えており、ニューヨークタイムズに掲載されると、今度はシアトルタイムズにも掲載されるなど連鎖的に広がっていくわけですが、海外紙への発表はどのようになっていますか。それから、今回要覧を刷新したようですが、日英両方対応して、苦労のあとが見え内容等も吟味されていて、非常に素晴らしいパンフレットになったと思います。

★　ありがとうございます。要覧の表紙が来年完成する新棟です。プレスリリースについては、日英両方を行うことが徐々に増えております。一部の報道はウェブのＥＥタイムズなどに掲載されるようになっています。日英両方用意するということを積極的にやっていきたいと思います。

☆　海外の研究者との交流ですが、民間の研究所の経験から言いますと、外国人教員、研究者への採用も必要ですが、日頃からのつき合いも重要で、例えば、有名な先生を招へいしシンポジウムを行うなど、１週間程度のイベントを毎年あるいは隔年でもいいから開催することです。アジアだけでなく、いろいろな地域から女性も含め多くの方々に来ていただき、継続的に続けていくことが大事ではないかと思います。

★　通研国際シンポジウムという枠組みがございまして、年に数回の国際シンポジウムに通研の冠をつけ、仙台近郊で開催するということを条件にサポートしています。それらも含め、今ご提言のありましたことを戦略的かつ長期的に考えていきたいと思います。

☆　部局ビジョンに「これまでとは質的に異なる高次の情報処理やコミュニケーション」という大変魅力的な言葉に感動しました。「質的に異なる高次の情報処理」という基本的な物の考え方と、通研の持っているポテンシャル、そしてこういう活動を通じて大学院学生をどのように教育するのかをお聞かせください。
★　一つの例としては、ブレインウェア実験施設で研究成果を挙げている脳型 LSI ですが、これは逐次処理ではなく、ある種フォン・ノイマンを超えた形の処理ができるというもので、ハードウェアに関しては省エネルギーのハードウェアに見通しができつつあり、設計技術が進歩したということ、それをどうやって、脳の仕組みというより脳を模擬した形の仕組みまで高められるかという研究が進んでいます。現在、新概念脳型 LSI 創出事業というプロジェクトを要求しており、これには、５つほどの研究室の研究成果が基礎となっており、通研のポテンシャルがある意味「質的に異なる高次の情報処理」の糸口をつかんでいるのではないかと考えています。
「質的に異なる」というのは、LSI の仕組みとして質的に異なるというほか、情報の質的な違いということも視野に入れています。現在、大容量という方向ですが、むしろ本当に人間にとって必要な情報は何か、どういう情報を伝えるべきかという視点で考えていきたいという方向性です。具体的には、いろいろなパターンがありますが、脳型ＬＳＩを使って何かをしようというときに、感性や無意識情報を伝えようというような、やや漠然としたことも含んでいます。
学生の教育で、特に大学院後期課程の学生ですが、全く新しい情報のパラダイムで、切り口を一緒に切り開いていくという経験をしてもらい、もっと端的に言いますと、我々と同様の苦しみも味わってもらうということが、大事な教育、経験になるのではないかと考えています。

☆　外部評価でも 2･30 年先を見越した新しい挑戦に期待しますというコメントがありますが、通研でも 20 年ホライゾンというか長期的な研究テーマが大学に求められていますが、全体の見直しをしながら進むということになると思います。それらの将来構想、見直しのサイクルなどはどのように考えていますか。
★　現在、将来計画委員会を結成して、我々の体制が今後どうあるべきかを含めて議論し、それを教授会で検討している段階です。法人化前は実験施設が 10 年時限で、10 年ごとに部局全体も含めて組織の見直しを行っていました。現在は中期目標・中期計画の期間が 6 年で、2 期目となっていますので、6 年ないし 12 年の単位で部門編成も含めた見直しをしていく必要があると考えています。

☆　大学の場合、先生方の研究テーマは非常に個性がありますが、一方組織としての全体的なテーマを明確にしていかなければならないわけですが、それをどのように考えていますか。また、6 年ないし 12 年の期間は、今のような技術の変化が激しい時代だと長過ぎる感じもありますが、いかがでしょうか。
★　比較的長いスパンの研究ができるところと短いサイクルできちんと対応していくところは組織を分けて対応することが適切ではないかと考えています。例えば、

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、電気通信研究機構、国際集積エレクトロニクス研究開発センターは、短期に研究成果を出して社会に還元していくとことをミッションにしています。それと同時に、いろいろなテーマに対応できるよう長いスパンの研究ができる組織を整えておくことも重要で、目的によって組織を整備していくという考えです。

☆　教授には任期がなくて、准教授、助教に任期があるということですが、教員任期制については、どのように考えていますか。

★　任期制については、そもそも若手の職に任期をつけるべきかという議論も相当長くしており、ご批判もあるでしょうが、まだ結論に至っていません。一つの考え方は、例えば助教というエントリーポストは、仮に任期がなかったとしても次のステップに行くドライブがかかっていますので、任期をつける必要があるかという議論はございます。それから、任期のあるなしにかかわらず、教員の次のステップへの展開は、研究室を主宰する教授が責任をもって行いますし、人事委員会等組織としてもしっかりとサポートし展開していく体制になっています。

☆　サイエンスにしてもテクノロジーにしても出口志向というのが異常に強くなっています。出口志向を強調しないと問題があるのでしょうか。また、大学は本気でベーシックをしようという人間をどのように考えていますか。

★　出口志向はあります。研究費の仕組みがそうなっていますし、大学としては研究費を獲得するうえで避けて通れない状態です。一方、理論系、情報理論の基礎の研究者について、出口に結びつかなくても少し応用志向にしようというような議論は一切しておりませんし、基礎研究の重要性は通研全体で共有していると考えています。

☆　通研の予算は、運営費交付金が 13 億円、外部資金が 29 億円で、外部資金が多くなっていますが、外部資金は出口がなければならない。東北大は昔から実学尊重の実学のほうが大きいのでしょうか。

★　実学、そういう大きなプロジェクトを獲得される方が複数いるというのは、逆に基礎的をことしておられる方が安心して研究ができると考えてもいいと思います。

☆　研究費のことですが、ＪＳＰＳの科研費は約 2，500 億ぐらいで、これは基礎研究重視です。ＪＳＴ中心の課題達成型の研究費は 1，000 億以下ですから、日本では、はるかに基礎研究費のほうが多いということです。課題達成型、出口志向が強くなっているのは間違いないのですが、全体の費用として科学技術予算は基礎研究を重視していますので、そこは誤解のないようにお願いします。

（４）共同利用・共同研究拠点の活動について
（５）その他
（６）今後の課題について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

☆　共同プロジェクト研究の制度改正を検討しておられるようですが、現在の共同プロジェクト研究では、海外機関との連携が欠けているように感じます。例えば私どもはロボットですが、フランスＣＮＲＳとジョイントラボラトリーをつくっており、一緒に活動することによってＥＵのファンドも取れますし、日本のファンドも取れます。個々の提案型もいいのですが、もう少しトップダウンに近い形の共同プロジェクト研究もお考えになったらいかがでしょうか

★　重要なご指摘かと思います。今回の制度改定は、組織間連携、共同プロジェクトＳについて、特別言及しているものではありませんが、組織間連携Ｓを国際共同研究型に積極的に考えてはというご助言かと思います。そのとおりだと思います。

☆　共同プロジェクト研究ですが、個人提案ベースのタイプＡ、Ｂは、どういう形で提案がなされて、どなたが選択をされ、どれぐらい提案数が来て、採択されているのでしょうか。また、70 件というのは多い数でしょうか。これから増やす方向でしょうか。

★　提案は公募で、研究所のホームページ上に公募情報を掲載します。採択件数は、ほぼ 100%になっています。それは、通研の対応教員が最初から提案に関わっていて、提案自体が洗練されたものになっています。選考は３人の評価委員が提案書を評価し、３人とも採択できないという場合のみ不採択とします。もともと大きな予算ではないので、できるだけ萌芽的な研究テーマも含め、多くの方に参画していただこう考えており、それらの成果が、大型プロジェクトにつながっているという実績も多数ありますので、変更しようという議論はありません。件数については、予算が限られているので、これ以上増やすことは現実的ではないと考えています。例えば若手に支援を厚くし、どこかを削るということは考えています。

☆　部局ビジョンに、「機動的な研究グループを形成できる柔軟な組織運営」とありますが、これは研究所内だけなのか、青葉山の組織も考えられているのか、機動的なグループ構成というものをもっと広く捉え、学外、国外まで連携していけばよろしいのではないでしょうか。

★　今まさに検討中です。どういう形でグルーピングするかということはこれからの検討になりますが、現在の方向性は、研究所内に閉じた形ではなく、大学はもちろんのこと、国内、国外の方々も入れる柔軟な組織を考え、目指しております。

☆　ダイバーシティの関係で、外国人と女性というわかりやすい指標が出てくるわけですが、弊社の場合も電気系の企業なので、ほとんど電気系の人間で、電気系から採用するとみんな金太郎飴のようになってしまいます。工学部でも電気系と機械系は物の見方が違うし、工学部と理学部、工学部と経済学部はもちろん違うというようなことがダイバーシティの原点かなと感じています。意識を少し広げる、外部評価をする場合も同じ分野の方だけが評価するのではなく、分野の幅を広げていくということが大切で、それは我々にも言えることで、ぜひお願いしたいと思います。

★　通研の教授で、文学部を卒業された方も１人います。さらに、文科系の教育を受けて助教になっている方もいます。そういう意味で徐々に、バウンダリーが滲みつつあるのではないかと考えています。あるチームも文学研究科と共同研究をしますし、どの分野も広がりを持たないといけないと思います。

　一方で学生の教育では、やはり基礎を身につけて、その基礎をもって広がりに対応してもらいたいと考えています。基礎がなくて広がりというのはあり得ないことです。

☆　４年間いた学部により、例えば電気系と機械系でその人の脳の働きが決められているような気がします。それでもやはり専門はしっかり取り組むということが重要だと思います。そしてドクターになったら、教員とともに試行錯誤し、苦労をともにすることが重要だと思います。

☆　これは感想ですが、１０年ぐらい前はグローバル化などという言葉はほとんど聞かなかった。ダイバーシティとか頭脳循環、グローバル化に対応するのは結構大変です。

★　雇用に関しどういう条件をつけるかということは、今のところまだ議論の俎上に上っていません。英語で教育するとか、外国とやりとりできる方を採用するとか、現在の教員に海外経験の機会を増やすなどが、今のベクトルだと思いますし、我々の財産になります。いずれにしろグローバル化というものを組織として今後もどういうふうに捉え、どう対応していくかを十分検討する必要があると思います。

☆　私の機関では、女性専用枠１名を分野特定しないで募集を行っています。多くの方々に応募していただき、非常に優秀な女性を採用できました。電気系に限ると難しいと思いますが、ケミストリー、フィジックス、バイオ系、コンピューターサイエンスだと結構いるようです。

☆　学部では、電気の教育をしっかり行い、そして次につなげることが大切です。本学では、次の展開という意味で、学融合ということに力を入れており、新領域創成科学研究科が設置され、意識的に幾つかのグループをつくり、研究会を実施していました。私の研究室はブレインという関係もあり、文学部の心理学と生命科学のバイオ、ＤＮＡなどの３研究室がセミナーを行うなど、必ずしもそれが共同研究にはならなかったけれど、学生も含め、他分野の考え方を入れるとどういうふうに研究が展開するか大きな刺激を受けました。

☆　この件に関して、私どもも同じような苦労をしております。情報通信だけやっていると情報通信からなかなか抜け出せない。そこで、最初は人と人のつながりより、研究交流会を開催し、お互い共同のテーマ見つけだすことを繰り返し行うのも効果的だと思います。私どもは農業分野、建築分野などと研究交流会を開催し、フリーディスカッションを行っていますが、特に若手の方々にこういう形で共同研究していただくことがダイバーシティにつながります。それから、優秀な女性研究者の方には、研究所のスポークスマンとして、いろいろ場で発表や広報等でご活躍し

ていただければよろしいのではないでしょうか。
☆　大学に何を期待するかというと、やはり一番は基礎学力です。基礎学力のない学生が社会に出ると、その後苦労しますので、やはり基礎学力を高めるためにダイバーシティを推進していただきたいと思います。特に、現在の先生方よりも学生、若手教員が今後の大学を背負っていくわけで、共同プロジェクトなども大事ですが、まずは、興味を持っていただく、興味を持っている学生を育てる、研究に興味を持ち、社会のことに自ら興味を持つ、苦労しながら何か社会のためにやらなければいけないという意識のある学生、若手を育成する何か仕掛けあるいは仕組みを大学として考えていただきたいと思います。
☆　ダイバーシティについて、企業サイドは非常に頭の痛い問題を抱えています。特に理系の学生を数多く採用している企業がそうですが、文系の学生は男女比50%でも採用可能です。ところが、理系の学生は、もともと大学卒業者の比率が、理系全体で見ても 10 数%しかいないわけです。その中で女性を採用となると、結局その比率以上に採用しなければならず、厳しい状態にあります。そういう意味で、大学だけでできることではないのですが、理系の女子学生を増やす方策を、社会全体でつくっていかないならないと感じます。
★　前回も少しロールモデルというお話が出たと思いますが、我々の分野の女子学生にはオープンキャンパスでの説明、高校生との対話など、随分前面に出てもらっています。一朝一夕にというわけにはいきませんが、優秀な女子学生も多いので、いろいろな形で関わってもらい努力を重ねているところです。

☆　今の話題に関連して、外部評価で、社会貢献等に積極的に取り組むのは負担が大きいということでしたが、私どもも同様です。理科離れに対応して、出前授業等学外に出て子供たちに教えるなど活動を行っているわけですが、かなり負担になっています。通研は、毎年一般公開を実施されているし、そのほかの活動も活発で、なにか負担にならないような仕組みでもあるのでしょうか。
★　それはございません。熱意とある種組織立った仕組みに支えられており、教員だけでなく事務も含めた協力態勢があって、毎年この時期にはこういうことをするということが定着しています。私どもは、東京フォーラム、仙台フォーラムという形で毎年フォーラム、共同プロジェクト研究発表会、一般公開を実施し、これ以上はできないというところに来ていると思います。そのバランスをどうやってとるか。大学は教育・研究活動が根幹であり、研究成果の出ない研究所は意味がないわけですから、研究所の構成員と一緒に考えながら、少し整理もしつつ、積極的な役割を果たしていかなければいけないと考えています。

☆　アウトリーチ活動に関し、私どもの試みでおもしろかった事例を紹介いたします。私どもは毎年一般公開しており、6，000 人ほど参加しますが、今年初めて、地元学校のスーパーサイエンスハイスクールの方々にも展示・発表してもらいました。一般公開に来られた方々も、理科クラブ的な雰囲気にすぐなじみ、楽しんでいましたし、発表される生徒も生き生きとしておりました。通研の一般公開にも活用

していただければ、裾野もひろがるのではないでしょうか。
★　そういう視点はこれまではありませんでした。一般公開に、普段は見学されている方にも参加していただく機会を設けるというのは、大変斬新なアイデアで、ぜひ検討させていただきます。
☆　アウトリーチ活動も重要だと思いますが、理系と文系がこのように明確に分かれているのは日本ぐらいで、異分野融合が進みにくい現状があります。ビッグデータの関係で当然コンピュータの能力を上げてアルゴリズムを考えることも能力としては必要ですが、もっと根本的に社会的課題は何なのかを見極める力、普段の生活を分析して課題として問題提起する能力、マーケティング能力などを身につける教育が必要ではないでしょうか。
☆　本学には環境情報学部があり、１年生から固定された理系教育はせずに、広い意味での理系教育を行う研究室がたくさんあります。そこの学生は伸び伸びと勉学していますが、就職の際に理系として扱ってもらえないというのが現状です。その学部の教員は理工学部出身の方が多いので、最初から数学、物理、化学ばかりを学ぶ、あるいは筋力トレーニングばかりを行うということに疑問を感じた人たちがいるわけで、女性比率も高い環境情報学部などを理系として扱っていただいて、そういう糸口から理系を広げる、そういう中間層が増えるといいなというのが個人的な感想です。
☆　企業側も、学生を求めるときに基礎力は重要だと言ったり、問題発見能力も大事といったり、系統立っていないことも事実です、女性は現実を見て問題を発見することが優れており、データサイエンティストなどともてはやされてもいます。企業側も大学側もうまくそういうポジショニングをつくってあげることが必要と考えています。

☆　私は、みなさんとは別の考えです。工学分野で世界に目を向けると脅威は中国や韓国、主に中国だと思いますが、それらに対抗するためにも、日本の情報通信を牽引する唯一の研究所としてのブランド、誇りを大切にしていただきたいということです。並みの組織と同じようなことをする必要はありません。女性が少ないのは残念ですが、優秀な女性を採用したら、イベントに引き出したりちやほやしたりせず、男性と同様に厳しくレベルの高い研究者に育成することこそ、通研の貫くべき姿であり、ぜひ申しあげなければならないことと思っておりました
☆　もう少し具体的な話ですが、ＵＲＡの補助などについて、現在、教員が教育研究のほかに、いろいろの負担がかかってきて、そうかといって事務職員も業務量の増大、複雑化でカバーし切れない場面が多くなってきました。広報活動あるいは安全衛生など、そういうものの対応はどのように考えていますか。
★　教員の負担が年々増えており、事務職員も同様です。しかし、やるべきことが増えているというのは間違いないと思います。会社ご出身の方々には理解できないところかもしれませんが、大学では、やったほうがいいことというのはみんなやることになってしまって、しかしそれに対して、この事業ならこういうリソースが必要で、何人必要で、だからこれだけの費用がかかるという発想がほとんどないのが

実態です。しっかり整理していかなければ立ち行かなくなる事態も考えられます。ＵＲＡを雇用して、教員の負担を減らしたいと思いますが、一方で人件費減の現実が重くのしかかっており、大学全体で考えていかなければならないと思います。

☆　ＵＲＡの関係ですが、現在 1 年間 2 億円で、10 年事業が採択されました。多くのＵＲＡを雇用して、それを大学としてどのように有効活用していくか考えているところです。場合によっては部局に常駐することなど、考えています。
★　東北大学で、そういう事業が採択されましたので、ぜひ教員が教育研究に集中できるような態勢を構築できれば思います。

☆　話が戻って恐縮ですが、私は学生を採用する立場にいますが、通研の卒業生、特にドクターの研究者は、先生方と一緒に苦労し、研究の失敗も含めて人格形成されており、非常に信頼できます。いろいろなタイプの研究者を育てることが、世の中で言われていますが、それは東北大学全体で消化すればいいことで、情報通信分野のエキスパートを育成することが、通研のミッションではないかと思います。
☆　全国９０の共同利用・共同研究拠点で情報通信と名のついたものは通研しかないということで、非常に大きなブランドだと思います。これからも情報通信の研究拠点として最先端の研究を推進し、委員の先生方の意見も取り入れ、情報通信分野の優秀な人材を育てていただきたいと思います。本日は皆さんにご熱心に議論いただき、まことにありがとうございました。

☆は委員の発言、★は電気通信研究所の発言

資　料　編

第１　人　事

１．教員

（人）

年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
教授	28(0)【1】	27(0)【1】	27(0)【0】	25(0)【0】	25(0)【0】
准教授	18(1)【0】	18(1)【0】	20(1)【0】	19(1)【0】	20(1)【0】
講師	0	0	0	0	0
助授	25(0)【0】	27(0)【2】	27(0)【2】	25(1)【2】	24(1)【1】
特任教授	0	0	1(0)【0】	3(0)【0】	3(0)【0】

※（　）は外国人、【　】は女性で内数

２．客員外国人教員

（人）

年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
客員教授	2【0】	4【1】	2【0】	6【0】	1【0】
客員准教授	4【0】	2【1】	3【0】	1【0】	6【0】
計	6【0】	6【2】	5【0】	7【0】	7【0】

※【　】は女性で内数

３．客員教員

（人）

年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
客員教授	16(2)【0】	24(7)【2】	19(4)【0】	18(7)【0】	11(2)【0】
客員准教授	9(6)【0】	7(3)【2】	9(4)【1】	5(1)【0】	10(7)【0】
計	25(8)【0】	31(10)【4】	28(8)【1】	23(8)【0】	21(9)【0】

※上記2の客員外国人教員を含む（　）は外国人・【　】は女性で内数

４．非常勤研究員

（人）

年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
教育研究支援者	2(0)【0】	6(1)【1】	6(3)【0】	7(1)【1】	9(4)【0】
産学官連携研究員	8(1)【0】	10(1)【0】	6(1)【0】	11(4)【1】	10(2)【0】
研究支援者	8(0)【1】	6(2)【1】	4(2)【0】	5(5)【0】	4(3)【0】
計	18(1)【1】	22(4)【2】	16(6)【0】	23(10)【2】	23(9)【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）、産連研究員(共同研究費・受託研究費)
研究支援者（科学研究費補助金）

５．各種研究員

（人）

年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
客員研究員	2 (2)【0】	1 (1)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】
受託研究員	10 (0)【0】	11 (0)【0】	9 (0)【0】	6 (1)【0】	6 (1)【0】
受託研修員	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】
民間等との共同研究員	12 (1)【1】	12 (0)【0】	16 (1)【0】	4 (0)【0】	4 (0)【0】
日本学術振興会特別研究員	11 (1)【1】	11 (2)【1】	9 (2)【0】	4 (0)【0】	5 (0)【0】
内訳　PD	4 (1)【0】	2 (0)【0】	1 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (0)【0】
DC	7 (0)【1】	9 (2)【1】	8 (2)【0】	4 (0)【0】	4 (0)【0】
計	35 (4)【2】	35 (3)【1】	34 (3)【0】	15 (1)【0】	16 (1)【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）

氏　名	任用期間	研究内容
COUTAZ JEAN-LOUIS	H25.4.1～ H25.5.17	半導体における超高速過渡現象とそのテラヘルツ帯時間分解計測技術に関する研究
FILIMONOV SERGEY	H25.4.2～ H25.5.30	超低圧ＣＶＤによるＳｉ上ＳｉＣ成長の理論的研究
JIN CRAIG TSUNG-WEI	H25.4.16～ H25.5.15	超多チャネル３次元音場制御技術の研究
SHARLIN　EHUD	H25.7.26～ H25.8.26	ロボットを用いたヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究
DUBINOV ALEKSANDR	H25.10.1～ H25.11.30	グラフェンテラヘルツレーザーの創出
BOUDOT WILLIAM	H25.11.18～ H25.12.25	視覚科学および関連研究環境開発技術

７．教育研究支援者

氏　名	任用期間	研究内容
藪野　正裕	H26.4.1～ H27.3.31	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所―MIT電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」に関する研究補助
JIAO SAI	H26.4.1～ H27.3.31	グラフェン・オン・シリコン（GOS）技術の研究
犬竹　正明	H25.4.1～ H26.3.31	光変調技術の研究
大宮　達則	H25.4.1～ H26.3.31	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所―MIT電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」に関する研究補助
松原　和也	H25.4.1～ H25.4.30	視線計測と視覚認識に関連する研究対象の検討
BAYKAS TUNCER	H25.4.1～ H27.3.31	広域ネットワークの同期制御方式の研究
西村　容太郎	H26.4.1～ H27.3.31	震災復興のためのナノスピン実験施設復興プロジェクト
SVEHOLM JOHAN LEIF ARNE	H25.4.1～ H25.6.30	やわらかい情報処理の概念に基づくネットワークシステムの高度な保守・管理・運用に関する研究開発
馬　騰	H25.10.1～ H26.3.31	酸化チタンナノチューブを用いた有機/無機ハイブリッドナノ構造に基づいた太陽電池の開発に関する研究

８．学振特別研究員

氏　名	期　間	研究内容
渡辺　隆之	H23.4.1～ H25.3.31	グラフェンの非平衡キャリアダイナミクスを利用した新原理テラヘルツレーザの研究
水沼　広太朗	H23.4.1～ H25.9.30	垂直磁気異方性電極を用いた磁気トンネル接合に関する研究
金井　駿	H24.4.1～ H26.3.31	強磁性金属における電界誘起磁化反転に関する研究
石原　淳	H24.4.1～ H26.3.31	半導体量子構造中の電子・核スピンコヒーレントダイナミクスの制御に関する研究
中山　裕康	H25.4.1～ H27.3.31	強磁性超薄膜における電界誘起冷却効果

９．教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

（人）

転出先	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
企業	3	5	4	3	6
通研・教員	1	1	2	2	1
他部局・教員				2	1
他部局・産学官連携研究員、COEフェロー	1	1	1		1
他大学・高専教員	1	2	1		2
他大学ポスドク		2			
国外大学・企業	1	1	1	2	
帰国		1	3	1	2
転出者計	7	13	12	10	13
在職者数	22	24	17	23	24

※　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）

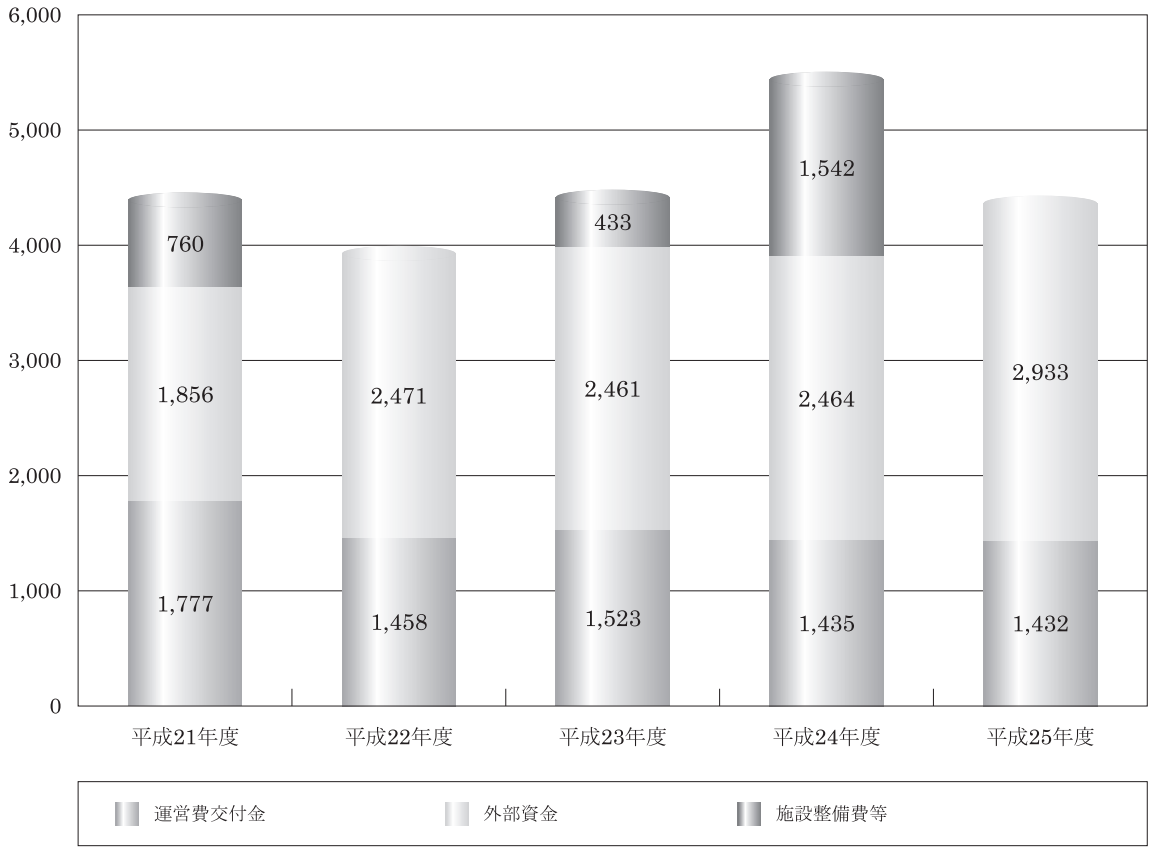
	年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
専任職員	技術職員	11【1】	8【1】	9【1】	10【3】	10【3】
	事務職員	14【3】	14【4】	15【4】	15【3】	18【3】
	再雇用職員	7【1】	10【1】	5【0】	4【0】	6【0】
	計	32【5】	32【6】	29【5】	29【6】	34【6】
非常勤職員	技術職員	10【8】	11【9】	16【12】	29【12】	19【12】
	事務職員	39【35】	38【35】	38【35】	36【33】	36【33】
	計	49【43】	49【44】	54【47】	65【45】	55【45】

※【　】は女性で内数

第２　予　算

１．電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円



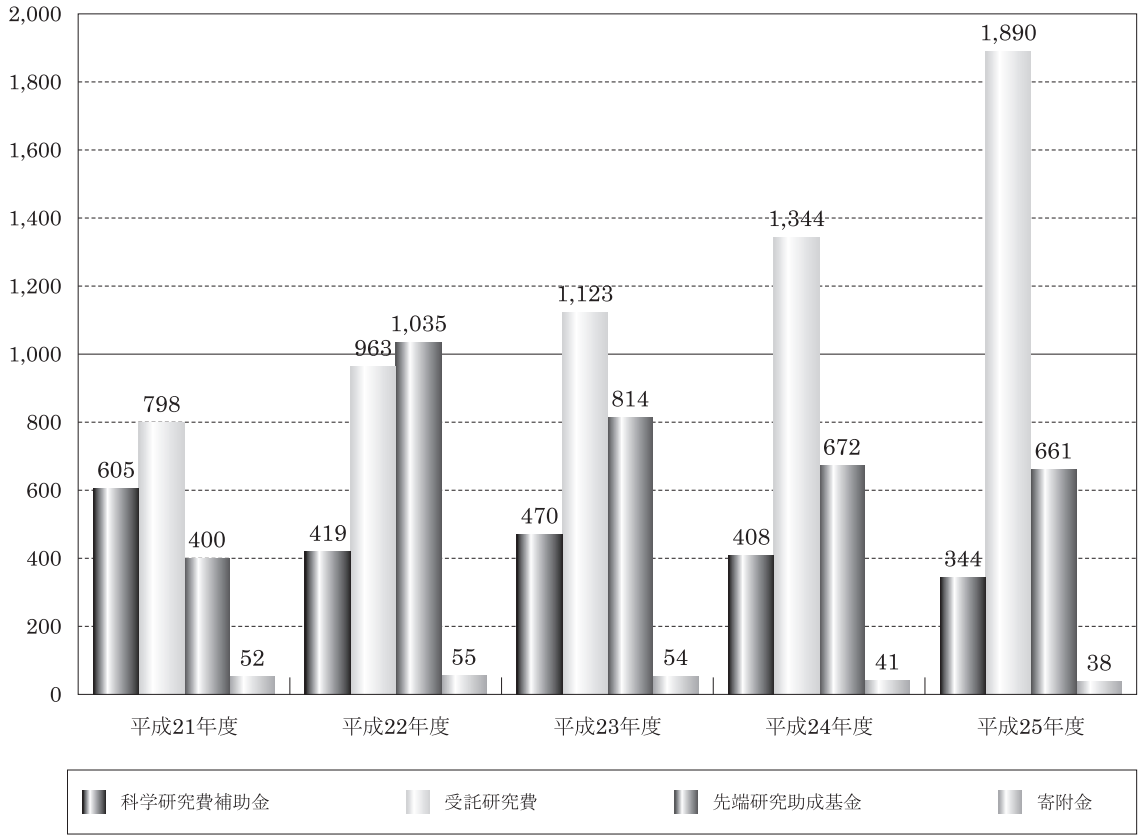
予算額内訳

単位：千円

事　項		平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度
運営費交付金	人件費	1,026,511	777,776	835,898	770,443	723,507
	物件費	750,364	680,411	687,253	665,038	708,222
運営費交付金　計		1,776,875	1,458,187	1,523,151	1,435,481	1,431,729
外部資金	科学研究費補助金	605,100	418,680	469,840	407,629	343,824
	受託研究費	798,053	962,712	1,122,944	1,344,071	1,890,012
	先端研究助成基金	400,440	1,034,827	813,777	671,668	660,578
	寄附金	51,954	55,085	54,167	40,714	38,100
	（再掲）間接経費	279,667	275,547	311,801	326,869	336,037
外部資金 計		1,855,547	2,471,304	2,460,728	2,464,082	2,932,514
災害復旧経費				432,607	4,993	0
施設整備費		760,000	0	0	1,536,530	0
施設整備費等　計		760,000	0	432,607	1,541,523	0
合　計		4,392,422	3,929,491	4,416,486	5,441,086	4,364,243

２．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 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度
科学研究費補助金	605,100	418,680	469,840	407,629	343,824
受託研究費	798,053	962,712	1,122,944	1,344,071	1,890,012
先端研究助成基金	400,440	1,034,827	813,777	671,668	660,578
寄附金	51,954	55,085	54,167	40,714	38,100
合計	1,855,547	2,471,304	2,460,728	2,464,082	2,932,514

第３　教　育

１．学部学生・大学院生

（人）

区分	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
学部（4年）	69（ 1）【 4】	59（ 4）【 2】	66（ 3）【 3】	53（ 1）【 2】	54(3)【3】
大学院前期課程	133（ 6）【 5】	146（17）【 6】	146（23）【 3】	137（20）【 4】	127(12)【7】
工学研究科	85（ 4）【 3】	94（12）【 5】	96（16）【 2】	86（11）【 2】	80(5)【3】
情報科学研究科	48（ 2）【 2】	52（ 5）【 1】	50（ 7）【 1】	51（ 9）【 2】	47(7)【4】
大学院後期課程	52（17）【 2】	41（17）【 2】	50（18）【 3】	43（15）【 2】	38(9)【1】
工学研究科	44（14）【 1】	34（14）【 1】	39（12）【 2】	35（ 9）【 2】	29(4)【1】
情報科学研究科	8（ 3）【 1】	7（ 3）【 1】	11（ 6）【 1】	8（ 6）【 0】	9(5)【0】
計	254（24）【11】	246（38）【10】	262（44）【 9】	233（36）【 8】	219(24)【11】

※（　）は外国人、【　】は女子学生で内数

２．留学生

（人）

区分	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
学部４年	1	4	3	1	3
大学院前期	6	17	23	20	12
大学院後期	17	17	18	15	9
計	24	38	44	36	24
地域別内訳					
①アジア	23	33	38	29	20
②北米	0	0	0	0	0
③中南米	0	1	2	3	3
④ヨーロッパ	0	0	0	0	0
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	0	1	1	0
⑦アフリカ	1	4	3	3	1

３．研究所等研究生・特別訪問研修生

（人）

区分	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
研究所等研究生	17（15）	17（15）	10(7)	6(6)	8(7)
特別訪問研修生			2(2)	2(2)	2(2)
計	17（ 15）	17（15）	12(9)	8(8)	10(9)

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	足底感覚情報を活用した二脚ロボットのCPG制御	福田　裕樹	石黒　章夫
	身体の力学的特性を活用した四脚ロボットの自発的歩容遷移	森川　玲於奈	石黒　章夫
	柔軟磁石を用いた磁気アクチュエータに関する研究	福士　恭基	石山　和志
	面内一様応力下における無方向性珪素鋼板の逆磁歪効果に関する研究	村上　祐貴彦	石山　和志
通信工学専攻	差動形回路方式に基づく低電圧動作論理ゲートの構成に関する研究	樫内　清弘	羽生　貴弘
	非同期NoC用高効率チップ間データ転送回路の構成に関する研究	渡邉　友馬	羽生　貴弘
	光電子融合グラフェンチャネルトランジスタのデバイスプロセス技術に関する研究	江藤　隆紀	尾辻　泰一
	高電子移動度トランジスタにおけるプラズモン共鳴を利用したテラヘルツ電磁波検出に関する研究	栗田　裕記	尾辻　泰一
	グラフェンのテラヘルツ帯非線形光学応答に関する研究	小嶋　一輝	尾辻　泰一
	ミリ波応用を目指したGaN系高電子移動度トランジスタの高速化及び高出力化の研究	小林　健悟	尾辻　泰一
	グラフェンアクティブプラズモニクスとそのテラヘルツ帯デバイス応用に関する研究	矢部　裕平	尾辻　泰一
	カーボンナノチューブとグラフェンを可飽和吸収体に用いたフェムト秒レーザの特性比較	小野　敬人	中沢　正隆
	Cs光原子時計のハイブリッドモード同期に関する研究	得平　和成	中沢　正隆
	ストレージ装置の最適アクセス手法に関する研究	佐藤　拓巳	村岡　裕明
	並列分散ファイルシステムによる高速データ転送の研究	山本　直人	村岡　裕明
	Study on Direct RF Under Sampling Receiver for Multi-Mode VSAT Application(マルチモード小型地球局用ダイレクトRFアンダーサンプリング受信機の研究)	BANDA DALISO	末松　憲治
	60GHz帯異平面アレー合成3次元ビームフォーミングアンテナの研究	鈴木　祐也	末松　憲治
	QZSSショートメッセージ通信のためのアクセス制御手法の研究	高橋　智英	末松　憲治
	マルチモード・マルチバンドダイレクトディジタルRF変調器の研究	和田　平	末松　憲治
電子工学専攻	遷移金属窒化物電極トンネル磁気抵抗素子に関する理論研究	周　敏燕	白井　正文
	Entangled Photon Pair Generation in a Periodically Poled Lithium Niobate Waveguide（周期分極反転ニオブ酸リチウム導波路における量子もつれ光子対発生）	陳　切　春	枝松　圭一
	シリコン細線マイクロリング共振器を用いた高効率光子対生成	阿部　洋一	枝松　圭一

電子工学専攻	Generation of Frequency-Uncorrelated Photon Pairs in a PPKTP Waveguide （PPKTP導波路を用いた周波数無相関光子対生成）	曹　博	枝松　圭一
	半導体量子ドットにおける顕微共鳴発光分光法の開発	長谷川　寛幸	枝松　圭一
	ダイヤモンド窒素欠陥中心における単一電子スピンのマイクロ波量子操作の研究	武藤　好昭	枝松　圭一
	超伝導光検出器を用いた通信波長帯光子の量子干渉の計測	吉越　敬大	枝松　圭一
	Co/Pt多層膜-CoFeB積層電極を用いた磁気トンネル接合に関する研究	石川　慎也	大野　英男
	強磁性ヘテロ構造における面内電流誘起有効磁場に関する研究	張　超亮	大野　英男
	プラズマCVDによるSi-Ge系薄膜形成に関する研究	上野　尚文	佐藤　茂雄
	FePt規則合金垂直磁化膜の磁気異方性と構造に関する研究	堀田　明良	島津　武仁
	Si基板上3C-SiC膜の結晶方位回転エピ成長とエピタキシャルグラフェン高品質化に関する研究	三本菅　正太	末光　眞希
	ガスソースMBE法による微傾斜Si(111)基板上3C-SiC薄膜成長とシリコン基板上エピグラフェンの高品質化	原本　直樹	末光　眞希
	Arアニール法による高品質エピタキシャルグラフェンを用いた電界効果トランジスタの作製	舩窪　一智	末光　眞希
	超高次非線形誘電率顕微鏡法の開発と強誘電体及び半導体素子の評価	茅根　慎通	長　康雄
	イオン液体電気化学有機トランジスタに関する研究	飯野　祥平	庭野　道夫
	酸化チタンナノチューブを用いた超微細ガスセンサに関する研究	戸邊　翼	庭野　道夫
	水クラスターイオンの基本特性に関する研究	山下　尚哉	庭野　道夫
	集積型狭線幅半導体レーザ光源用光フィルタの研究	児玉　直紀	八坂　洋
	半導体マッハツェンダ変調器による平坦な光周波数コムブロック生成の研究	西海　健明	八坂　洋
	光制御型パッシブフィードバックレーザ高速化の研究	三枝　慈	八坂　洋
	光フィルタを外部共振器とした狭線幅半導体レーザ光源の研究	吉岡　龍一	八坂　洋
情報基礎科学専攻	再利用性を考慮したネットワークデータの分析機構に関する研究	板橋　佑介	木下　哲男
	論理ネットワークの推定に基づくネットワーク機器接続情報の導出に関する研究	唐鎌　行大	木下　哲男
	マルチエージェントによる異種センサの自律的連携に関する研究	栗田　泰洋	木下　哲男
	永続性と減少ダイアグラム法に基づく合流性証明	内田　和真	外山　芳人
	閉包操作に基づく項書き換えシステムの到達可能性判定	四方　駿作	外山　芳人

システム情報科学専攻	マルチカーネル学習に基づく映像内暴力シーン検出方式に関する研究	後藤　慎一	北村　喜文
	摩耗を考慮した画像マッチング型コイン同定技術に関する研究	李　　越	北村　喜文
	ユーザの空間配置を動的に変化させる自動変形デジタルテーブルの試作と評価	会田　直浩	北村　喜文
	動画像に対する不変性・局所性を有する動き特徴量記述方式に関する研究	相原　和明	北村　喜文
	有害映像フィルタリングのための映像解析技術に関する研究	王　乾宇	北村　喜文
	不可視エージェントを用いたCGキャラクター動作記述方式に関する研究	川村　昇平	北村　喜文
	自走式デジタルテーブルを用いた空間行動の誘導に関する研究	坂本　登	北村　喜文
	インタラクティブな情報コンテンツ群動的表示手法に関する研究	佐藤　拓弥	北村　喜文
	Augmenting Fixed Display Environments with Portable Projectors（ポータブルプロジェクタによる静的ディスプレイ環境の拡張）	チェルニチャロ・ジョルジェ	北村　喜文
	A Study of Multi-focus Scroll and Zoom Interactions using Elastic Metaphor（たわみのメタファを用いたスクロールとズームのインタラクションに関する研究）	ホン・ジョンジュ	北村　喜文
	モノクロ画像に対するハイブリッド型自動彩色手法に関する研究	林　天輝	北村　喜文
	速度選択的な順応効果を用いた運動視メカニズムの研究	山田　祥之	塩入　諭
	SQLの高度な機能の型付き関数型言語への導入に関する研究	斎藤　皓	大堀　淳
	Ruby言語の形式的な意味論に関する研究	深澤　優鷹	大堀　淳
	Binaural Synthesis Based on the Spherical Harmonic Analysis with Compact Microphone Arrays（小型マイクロホンアレイを用いた球面調和解析に基づくバイノーラル音信号合成法の研究）	SALVADOR CASTANEDA CESAR DANIEL	鈴木　陽一
	聴取者の頭部形状と姿勢の変化に適応した3次元収音システムに関する研究	佐藤　祥来	鈴木　陽一
	多感覚コンテンツにおける高次感性の規定因に関する基礎的研究	高橋　恵美	鈴木　陽一
	音声了解度の向上に寄与する話者映像の顔の部位に関する研究	長谷川　玄	鈴木　陽一
応用情報科学専攻	オフィス環境におけるネットワークシステムの省電力化のための自律的制御手法	粟原　孝太	菅沼　拓夫
	小型携帯端末内蔵の複数センサと知識を利用した人物の動作推定に関する研究	鈴木　彩香	菅沼　拓夫
	スマートメータを利用した家庭における生活状況推定に関する研究	吉野　太郎	菅沼　拓夫
	神経回路による途絶耐性ネットワーク等の最適スケジューリングに関する研究	佐々木　大輔	中島　康治
	広い引き込み領域をもつ神経回路連想記憶のハードウェア化に関する研究	蔣　靖	中島　康治

応用情報科学専攻	高次結合離散逆関数遅延ニューラルネットワークのFPGA実装に関する研究	松井　孝輔	中島　康治
	Dadda型部分積加算を用いた単一磁束量子並列乗算器の高速化に関する研究	山田　朗文	中島　康治
	逆関数ゼロ遅延神経モデルを用いた最適化問題解探索システムに関する研究	渡邊　裕斗	中島　康治

（博士論文）

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気・通信工学専攻	半導体二次元電子系のプラズモンを利用したコヒーレントテラヘルツ波の発生・増幅に関する研究	渡辺　隆之	尾辻　泰一
電子工学専攻	磁気トンネル接合における強磁性共鳴と電流誘起磁化反転に関する研究	水沼　広太朗	大野　英男
	半導体量子構造におけるスピンの時空間ダイナミクスに関する研究	石原　淳	大野　英男
	強磁性金属薄膜における電界による磁化制御に関する研究	金井　駿	大野　英男
	Study on Hybrid Solar Cells Made of Titanium Oxide Nanotube and Polymer（酸化チタンナノチューブとポリマーを用いたハイブリッド太陽電池に関する研究）	マ　タン	庭野　道夫
	酸化チタンナノ構造の形成と太陽電池への応用に関する研究	小島　領太	庭野　道夫
	視覚野神経回路におけるシナプス組織化に関する研究	櫻井　伊知郎	庭野　道夫
情報基礎科学専攻	Agent-based Design Method for Evolutional Systems （発展型システムにおけるエージェント指向設計手法に関する研究）	魏　文鵬	木下　哲男
システム情報科学専攻	聴覚ディスプレイのアクティブ聴取化に関する研究	韓　喆洙	鈴木　陽一
	A formulation of Ambisonics in unconventional geometries （非球形のアレイ形状を持つAmbisonicsの定式化）	Jorge Trevino	鈴木　陽一

第４　研　究

１．研究成果の掲載・公表状況

区　分	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
トピックス （新聞記事等）	38	45	59	66	71

２．トピックス一覧

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
1	視覚障害者の歩行訓練ソフト　産総研と東北大開発	2013/4/12	日本経済新聞	鈴木　陽一
2	視覚障害者の歩行訓練システム　反射音、立体的に再現　産総研と東北大	2013/4/16	日経産業新聞	鈴木　陽一
3	視覚障害者向け訓練システム　音で周囲の様子把握　産総研・東北大	2013/4/12	日刊工業新聞	鈴木　陽一
4	インタビュー日本の頭脳⑬待機電力ゼロ半導体 大野英男・東北大学教授　日本復活、知恵と意思カギ	2013/4/23	日経産業新聞	大野　英男
5	簡単操作で衛星通信　東北大など基地局開発　大規模災害時に力	2013/4/26	河北新報	末松　憲治
6	イノベーションを巡る誤認	2013/5/16	日経産業新聞	西澤　潤一 （名誉教授）
7	視覚障害者歩行訓練システム開発	2013/5/16	毎日新聞	鈴木　陽一
8	Superradiant terahertz lasing with graphene metamaterials	2013/5/28	SPIE Newsroom (web)	尾辻　泰一
9	デバイス高速化に道	2013/5/31	日刊工業新聞	末光　眞希
10	ネット検索　消費電力100分の１に　東北大・NEC	2013/6/11	日本経済新聞	羽生　貴弘
11	1メガNVRAM　待機電力ゼロ実証	2013/6/11	日刊工業新聞	羽生　貴弘
12	強磁性ナノ細線の障壁　電流と磁場で差異　京大東北大　デバイス省力化に道	2013/6/18	日刊工業新聞	大野　英男
13	グラフェン　必要箇所だけ成長　東北大など　シリコン融合素子に道	2013/6/28	日刊工業新聞	吹留　博一
14	微小な磁気　正確に計測　省エネ型素子開発に活用　東北大	2013/6/28	日経産業新聞	松倉　文礼 大野　英男 陳林（博士研究員）
15	物理の基本　不確定性原理に「欠陥」　新理論 光使い検証　東北大など	2013/7/18	日本経済新聞	枝松　圭一

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
16	ハイゼンベルグ不等式　破れ検証　量子力学原理見直しへ　東北大・名大	2013/7/18	日刊工業新聞	枝松　圭一
17	ミクロの世界精密な測定可能「不確定性原理」限界突破安全な量子情報通信技術に道　小沢・名大教授の理論　東北大など、光で確認	2013/7/18	河北新報	枝松　圭一
18	災害時にもつながる携帯　通話回線を強制確保　ドコモなど実用化へ	2013/7/19	産経新聞	電気通信研究機構
19	「小澤の不等式」光で証明　量子コンピューター開発期待	2013/7/18	読売新聞	枝松　圭一
20	不確定性原理覆す新数式光測定でも成立実証　小澤名大教授ら	2013/7/18	中日新聞	枝松　圭一
21	東北大など、不確定性原理における「小澤の不等式」の成立を実験で証明	2013/7/18	マイナビニュース(Web)	枝松　圭一
22	日本のイノベーター　強磁性半導体の開発　消費電力100分の1に　東北大学教授　大野英男氏（上）	2013/7/23	日経産業新聞	大野　英男
23	日本のイノベーター　強磁性半導体の開発　日の丸半導体復活へ奮闘　東北大学教授　大野英男氏（下）	2013/7/24	日経産業新聞	大野　英男
24	量子力学の原則　新理論提唱　「小澤の不等式」裏付け　東北大・名大教授ら	2013/8/8	朝日新聞	枝松　圭一
25	超高速で演算　磁気素子を開発	2013/8/20	日本経済新聞	大野　英男
26	IEEE会長が東北大視察　「日本の技術力で迅速に震災復旧」	2013/8/27	河北新報	電気通信研究所
27	ノーベル賞を占う　来週発表　有力研究・日本人は	2013/10/3	朝日新聞	大野　英男
28	深層断面　最先端研究開発支援プログラム「FIRST」　予算基金化　「予想以上」の成果	2013/10/4	日刊工業新聞	大野　英男
29	読売テクノ・フォーラム　日の丸半導体復活へ新技術	2013/10/17	読売新聞	大野　英男
30	岩崎、高倉健氏ら文化勲章　文化功労者舛岡氏ら	2013/10/26	河北新報	岩崎　俊一、舛岡富士雄(名誉教授)
31	文化勲章　新たな文明を築けた　文化功労者　今後も役立つ技術を	2013/10/26	河北新報	岩崎　俊一、舛岡富士雄(名誉教授)
32	高倉健さんら5人に文化勲章　電子工学　岩崎俊一氏	2013/10/25	河北新報(夕刊)	岩崎　俊一、舛岡富士雄(名誉教授)
33	文化勲章受章者と文化功労者の略歴と業績	2013/10/25	日経新聞(夕刊)	岩崎　俊一、舛岡富士雄(名誉教授)
34	世界のため貢献　東北人がんばれ　大容量ハードディスクに道　文化勲章の岩崎さん会見	2013/10/26	朝日新聞	岩崎　俊一、舛岡富士雄(名誉教授)

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
35	文化勲章受章者　文化功労者	2013/10/26	毎日新聞	岩崎　俊一、 舛岡富士雄 (名誉教授)
36	瑞宝中綬章　前東北工業大学長　沢田康次さん 「復興大学」設立に尽力	2013/11/3	河北新報	沢田　康次 (名誉教授)
37	東北苦難「共に頑張る」文化勲章岩崎氏ら5人に 親授	2013/11/4	河北新報	岩崎　俊一、 舛岡富士雄 (名誉教授)
38	文化勲章・功労者　岩崎さんらが両陛下と懇談	2013/11/6	河北新報	岩崎　俊一 (名誉教授)
39	秋の叙勲	2013/11/3	朝日新聞	沢田　康次 (名誉教授)
40	大脳内に前兆の「揺らぎ」動物の問題解決行動 東北大グループ確認　神経細胞に変化	2013/12/5	河北新報	坂本　一寛
41	パソコン１～２秒で起動　東北大が新型メモリー	2013/12/10	日経産業新聞	大野　英男
42	電流量1/100で動作　半導体メモリー素子開発 東北大	2013/12/11	日経産業新聞	大野　英男
43	名大・小澤教授の「不等式」高精度実験でも成立	2013/12/25	中日新聞	枝松　圭一
44	新理論「小澤の不等式」新測定法で実証　東北大 と名古屋大	2013/12/25	日経新聞(夕刊)	枝松　圭一
45	20ナノメートル素子　書き換え低消費電力　東北 大・京大確認　新半導体回路に道	2013/12/27	日刊工業新聞	大野　英男
46	「測定誤差と擾乱に関する不確定性関係」で不等 式の実験的検証に成功　東北大名古屋大	2014/1/1	科学新聞	枝松　圭一
47	ひらめく瞬間　神経に乱れ　東北大、不規則活動 を発見	2014/1/7	日経産業新聞	坂本　一寛
48	目の前の物との位置認識　視界の手が重要な役割 東北大が解明	2014/1/9	日経産業新聞	松宮　一道 塩入　諭
49	脳、手周囲の空間認識　東北大グループ知覚機能 を発見　義手応用へ期待	2014/1/10	河北新報	松宮　一道
50	手の周りの空間がよく見えている　人間の認識の 仕組み解明　東北大の松宮助教ら	2014/1/21	朝日新聞	松宮　一道
51	電子産業復興研究者ら探る　仙台でシンポ	2014/1/23	河北新報	大野　英男
52	先端研究の成果を発信　東北大フェア	2014/1/29	河北新報	北村　喜文
53	科学の泉　生き物とロボットのあいだ①難しいし なやかでタフな動き　NIE	2014/1/28	河北新報	石黒　章夫
54	科学の泉　生き物とロボットのあいだ②可動部の 動き、一元管理　NIE	2014/1/29	河北新報	石黒　章夫

	記　事　名	掲載年月日	出典	関係教員
55	新型PCメモリを開発　起動時間の短縮と省エネを実現	2014/1/21	東北大学新聞	大野　英男
56	進化する不確定性原理、実験検証	2014/3月号	日経サイエンス	枝松　圭一
57	科学の泉　生き物とロボットのあいだ③予測不能な変化対応まだまだ　NIE	2014/1/30	河北新報	石黒　章夫
58	科学の泉　生き物とロボットのあいだ④「文殊の知恵」的制御が鍵　NIE	2014/1/31	河北新報	石黒　章夫
59	科学の泉　生き物とロボットのあいだ⑤動きの仕組み　単細胞にヒント　NIE	2014/2/1	河北新報	石黒　章夫
60	科学の泉　生き物とロボットのあいだ⑥単細胞　防災への応用期　NIE	2014/2/2	河北新報	石黒　章夫
61	次世代電子スピン技術　究極の記憶素子に応用　理研など研究加速	2014/2/3	日経産業新聞	大野　英男
62	第9回キャンパスベンチャーグランプリ東北　東北経済産業局長賞　特別賞　東北大学大学院　八重樫和之	2014/2/5	日刊工業新聞	石黒研究室
63	東北大とNEC、スピントロニクス活用し無線センサーの電池寿命を１０倍に延ばす技術	2014/2/11	日刊工業新聞	大野　英男
64	垂直磁化で大容量実現へ　11nm素子で初の動作実証	2014/2/11	半導体産業新聞	大野　英男
65	消費電力1/80の半導体　NECと東北大　磁石の性質を利用	2014/2/11	日本経済新聞	大野　英男
66	NECと東北大　無線センサー端末向けMCU開発　スピントロニクス論理集積回路技術を活用　電池寿命10倍に	2014/2/13	電波新聞	大野　英男
67	日本のイノベーター　大容量通信支える光増幅器　半導体レーザーで小型化　東北大学教授　中沢正隆氏	2014/2/18	日経産業新聞	中沢　正隆
68	日本のイノベーター　大容量通信支える光増幅器　伝送量1000倍へ技術競う　東北大学教授　中沢正隆氏	2014/2/19	日経産業新聞	中沢　正隆
69	仙台でトーキン科学技術賞贈賞式　若手研究者10人に栄誉	2014/3/13	電波新聞	大脇　大
70	若手研究者10人に栄誉　トーキン科学技術賞贈賞式　仙台から研究成果を世界に発信	2014/3/25	電波新聞	大脇　大
71	災害時、通信絶やさず　携帯電話が不通→衛星回線に即切り替え　東北大などシステム開発　停電でも7日作動　大人数の利用可能	2014/3/26	河北新報	末松　憲治

３．科学研究費助成事業の採択状況

〔単位：百万円〕

区　分	平成22年度			平成23年度			平成24年度			平成25年度		
科学研究費	(上)申請件数 (下)採択件数	金額	(上)直接経費 (下)間接経費	(上)申請件数 (下)採択件数	金額	(上)直接経費 (下)間接経費	(上)申請件数 (下)採択件数	金額	(上)直接経費 (下)間接経費	(上)申請件数 (下)採択件数	金額	(上)直接経費 (下)間接経費
特別推進研究	2 2	160	123 37	2 2	194	149 45	1 1	113	87 26	1 1	83	64 19
特定領域研究	3 3	16	16 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0
新学術領域研究	7 2	11	8 3	14 3	12	9 3	9 3	12	9 3	12 2	9	7 2
基盤研究（S）	5 2	48	37 11	4 2	107	82 25	4 2	86	66 20	3 2	66	51 15
基盤研究（A）	11 4	61	47 14	10 4	53	41 12	9 5	70	54 16	8 3	42	32 10
基盤研究（B）	21 10	63	49 14	21 14	78	60 18	20 12	77	59 18	19 12	70	54 16
基盤研究（C）	9 8	9	7 2	13 10	23	18 5	14 11	13	10 3	15 12	18	14 4
萌芽研究	14 1	3	3 0	18 3	7	5 2	22 10	18	14 4	19 12	21	16 5
若手研究（S）	1 1	20	15 5	1 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0
若手研究（A）	3 0	0	0 0	1 0	0	0 0	1 0	0	0 0	3 1	9	7 2
若手研究（B）	15 10	17	13 4	19 12	22	17 5	23 13	23	18 5	17 12	19	15 4
研究活動スタート支援	2 1	1	1 0.3	1 1	1	1 0	2 1	1	1 0	2 1	1	1 0
研究成果公開促進費	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0
特別研究促進費	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0
学術創成研究費	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0
小計	93 44	409	319 90	104 51	497	382 115	105 58	413	318 95	99 58	338	261 77
その他の補助金等	4 4	1,214	1,134 80	4 4	652	594 58	3 3	450	404 46	2 2	514	464 50
合計	97 48	1,623	1,453 170	108 55	1,149	976 173	108 61	863	722 141	101 60	852	725 127

４．科学研究費助成事業採択一覧（平成25年度研究代表者）

単位：千円

研究種目	氏名	25年度交付額	補助金総額	研究課題名	採択年度	最終年度
特別推進新研究	尾辻　泰一	63,500	361,400	グラフェンテラヘルツレーザーの創出	23年度	27年度
新学術領域研究	坂本　一寛	4,900	9,800	興奮性細胞・抑制性細胞神経回路の前頭葉領野間分業と動物－環境間の関係創発	24年度	25年度
	栗木　一郎	2,500	4,500	色の見えのモードと質感との関連およびその神経基盤	25年度	26年度
基盤研究（Ｓ）	中沢　正隆	24,100	141,500	繰り返しと光周波数を同時安定化したＧＨｚ帯モード同期パルスレーザの実現とその応用	21年度	25年度
	長　康雄	26,600	161,800	非線形誘導率顕微鏡の高機能化及び電子デバイスへの応用	23年度	27年度
基盤研究（Ａ）	鈴木　陽一	12,400	34,700	高精細３次元音空間情報のセンシングとディスプレイ技術の開発	24年度	26年度
	小坂　英男	11,800	35,800	量子ドットにおける単一光子から単一電子スピンへの量子状態転写	24年度	26年度
	石黒　章夫	7,600	30,300	特異な対称構造を持つクモヒトデから探る振る舞いの多様性の発現機序	24年度	27年度
基盤研究（Ｂ）	塩入　諭	1,700	15,100	並列運動視処理の機能と役割	22年度	25年度
	羽生　貴弘	2,400	14,000	不揮発性素子を用いたＰＶＴバラつきフリーＶＬＳＩシステムの基盤研究	22年度	25年度
	杤　修一郎	3,200	15,400	非接触型ワイヤレス３Ｄトラックパッドの開発	23年度	25年度
	北村　喜文	4,000	15,700	情報コンテンツの提示により変化する「場」の状態推定と制御に関する研究	23年度	25年度
	三森　康義	2,300	15,200	半導体ドット中の励起子の光誘起縦電場効果	23年度	25年度
	櫻庭　政夫	5,400	15,700	IV族半導体高度歪量子ヘテロ共鳴トンネル素子の高性能化プロセス	23年度	25年度
	北形　元	4,500	14,000	大規模災害時の円滑な通信を実現する不揮発性ネットワーキング技術の研究開発	24年度	26年度
	栗木　一郎	4,400	13,300	視覚特徴要素信号の脳内でのフローに関する研究	24年度	26年度
	大堀　淳	1,100	6,300	ML系多相型言語SML#の実用化技術に関する基礎研究	25年度	29年度

研究種目	氏名	25年度交付額	補助金総額	研究課題名	採択年度	最終年度
基盤研究（B）	末光　眞希	10,300	14,600	グラフェンエレクトロニクス実現を加速するＳｉ基板上エピグラフェンの革新的高品質化	25年度	27年度
	木村　康男	8,600	13,800	多成分同時測定ワンチップガスセンサのためのセルフアラインメント局所陽極酸化技術	25年度	27年度
	末松　憲治	5,900	13,400	電流モード・ダイレクト・ディジタル・コンバージョンＲＦ－ＩＣの開発	25年度	27年度
基盤研究（C）	青戸　等人	1,000	3,900	定理自動証明における補題発見法に関する研究	23年度	25年度
	松宮　一道	500	4,500	異種感覚情報の統合による手の自己所有感覚生成機構の解明とモデル化	23年度	25年度
	坂本　修一	1,180	4,000	高度感性情報の抽出・提示を実現する視聴覚音声コミュニケーションシステムの構築	23年度	25年度
	吹留　博一	700	4,200	基板微細加工を援用した選択的結晶成長によるグラフェンのナノ物性制御	23年度	25年度
	池田　正二	700	4,200	極微細スピントロニクスデバイス形成技術の開発	23年度	25年度
	小野美　武	1,200	3,900	組合せ最適化問題を解く超伝導ニューラルネットワークの構成と動特性解析	24年度	26年度
	末光　哲也	1,500	4,100	ＧａＮ系ＨＥＭＴにおける電子速度の詳細評価の研究	24年度	26年度
	外山　芳人	1,100	3,500	合流性に基づくプログラム自動検証法の研究	25年度	27年度
	佐藤　茂雄	1,200	3,600	脳型計算機用ナノシナプスデバイスの開発	25年度	27年度
	阿部 和多加	1,400	3,800	水素化合物の金属化及び超伝導の理論研究	25年度	27年度
	片野　諭	1,600	4,000	プラズモン光電場の極限空間操作によるナノケミストリー	25年度	27年度
	三浦　良雄	1,600	3,900	正方晶ホイスラー合金をベースとした垂直型磁気抵抗素子の理論設計	25年度	27年度
挑戦的萌芽研究	北村　喜文	1,100	2,900	複数ディスプレイ環境における柔軟でシームレスな可視化とインタラクション	24年度	25年度
	鈴木　陽一	1,700	3,000	視聴覚話者情報がもつ音韻・感性情報の分析とクロスモーダル推定・合成手法の模索	24年度	25年度
	三森　康義	900	2,900	半導体による直交位相振幅スクイズド光の発生	24年度	25年度

研究種目	氏名	25年度交付額	補助金総額	研究課題名	採択年度	最終年度
挑戦的萌芽研究	長　康雄	1,000	3,100	非線形誘電率顕微鏡を用いた原子双極子モーメントの可視化と原子種の同定	24年度	26年度
	中島　康治	1,200	3,100	磁束量子・反磁束量子対の生成・消滅に基づく高速論理演算・記憶方式の開発研究	24年度	26年度
	吉田　真人	1,100	3,000	ＣＮＴ可飽和吸収体と光変調器を併用したハイブリッドモード同期レーザの開発	24年度	25年度
	杤　修一郎	1,300	3,100	熱膨張差誘起応力を利用した磁歪薄膜の異方性制御法の確立と高感度歪センサへの応用	24年度	25年度
	庭野　道夫	1,800	3,000	半導体表面上の人工神経細胞回路網構築と神経信号伝達計測	25年度	26年度
	末光　眞希	800	3,000	多層エピ成長による結晶配向転換を用いたＣＭＯＳプロセスの革新	25年度	27年度
	中沢　正隆	1,900	3,100	光通信波長帯高精度レーザ歪みセンサの開発	25年度	26年度
	石山　和志	1,300	3,000	磁気ビーズを能動的に分散させる新たな手法の提案と実証	25年度	26年度
	石黒　章夫	1,500	3,000	生物ロコモーションの通底原理から拓くマルチテレストリアルロボットの設計論	25年度	26年度
若手研究（Ａ）	大脇　大	7,100	15,600	網羅的視野から解き明かす四脚動物の多様な歩容の発現機序	25年度	27年度
若手研究（Ｂ）	佐藤　昭	1,100	3,300	グラフェン内テラヘルツプラズモンの理論解析とそのテラヘルツ波素子への応用	23年度	25年度
	森畑　明昌	700	2,400	プロセッサ数に比例する並列速度向上を保証するＸＭＬ処理言語の研究	24年度	26年度
	上野　雄大	700	2,100	高水準かつ安全なプログラミング言語間連携機構の実現	24年度	26年度
	鷹林　将	1,300	3,500	炭素機能性材料を用いた革新的次世代電子デバイスの開発	24年度	25年度
	山ノ内 路彦	1,000	2,300	面内磁化膜における内因性ピニング	24年度	25年度
	山末　耕平	800	3,500	走査型非線形誘電率顕微鏡を用いたエネルギーアシスト方式強誘電体記録	24年度	26年度
	亀田　卓	1,100	3,500	安定した通信品質を提供するＳＣ/ＭＣハイブリッド移動通信ネットワークの実験的実証	24年度	26年度

研究種目	氏名	25年度交付額	補助金総額	研究課題名	採択年度	最終年度
若手研究（B）	加納　剛史	1,800	3,600	ヘビのロコモーションから探る身体の可変形性が生み出す適応的運動機能の発現機序	24年度	25年度
	高橋　秀幸	1,800	3,100	被災地の地域包括ケアシステムを実現する情報連携フレームワークの研究開発	25年度	27年度
	中島　亮一	1,000	1,800	頭部方向が視覚的注意特性に与える影響に関する認知心理学的研究	25年度	26年度
研究活動スタート支援	横山 ひとみ	1,100	2,200	対面場面における説得者の言語・非言語的チャネルに関する研究	24年度	25年度

※基金分については2013年度請求金額を記載

５．競争的資金状況

単位：件、百万円

		平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度
民間等との共同研究	件数	28	28	43	25	35
	金額	94	95	115	53	57
受託研究	件数	24	28	32	32	33
	金額	694	832	684	734	511
奨学寄付金	件数	29	23	25	23	15
	金額	74	55	54	39	38

６．受章・受賞件数

区　　分	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
叙勲・受賞・表彰	43	27	38	34	38

７．受章・受賞者一覧

賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
（社）電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会 技術特別賞	亀田 卓 末松 憲治	先端ワイヤレス通信技術研究	バンドパスΔΣ変調による1 ビット RF デジタル送信器	平成 25 年 5 月 23 日
日経エレクトロニクスジャパン　ワイヤレステクノロジーアワード審査員特別賞	石山・桭研究室	生体電磁情報研究	補助人工心臓用のワイヤレス・ポンプ	平成 25 年 5 月 31 日
東北総合通信局・平成２５年度「情報通信月間」東北総合通信局長表彰	鈴木　陽一	先端音情報システム研究	東北情報通信懇談会運営委員として、東北地域における地域情報化及び情報通信の普及促進に尽力するとともに、「宮城県女川町ＩＣＴ復興街づくり検討会」の座長として、情報通信技術を活用した復興街づくりのための提案を取りまとめるなど、地域における情報通信の普及発展に多大な貢献をしたことによる表彰	平成 25 年 6 月 3 日
（財）宮城産業科学振興基金 平成 25 年度研究奨励賞	佐藤　昭	超ブロードバンド信号処理研究	「グラフェンの非平衡キャリアダイナミックスの高精度モデル化とそのテラヘルツレーザーへの応用」	平成 25 年 6 月 8 日
International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications（ITC-CSCC）2012 Best Paper Award	亀田 卓 三宅 裕士 小松 和寛 末松 憲治 高木 直 坪内 和夫	先端ワイヤレス通信技術研究	ASIC Implementation of Multimode Frequency Domain Equalizer for Dependable Air	平成 25 年 7 月 2 日
OECC 2013 Best Paper Award	大宮　達則	超高速光通信研究	発表論文 1 Tbit/s 256 QAM-OFDM transmission over 560 km with 14.3 bit/s/Hz spectral efficiency (T. Omiya, M. Yoshida, and M. Nakazawa) に対して	平成 25 年 7 月 3 日
FIT2013 船井ベストペーパー賞受賞論文	崔　正烈 柳生　寛幸 坂本　修一 鈴木　陽一	先端音情報システム研究	平成 25 年 9 月に開催された「情報科学技術フォーラム（FIT）2013*」における発表論文「回転運動する聴覚刺激が回転ベクション感覚に及ぼす影響」が、全査読付き論文から選ばれた FIT 論文賞候補論文の中で特に優秀な論文 3 編以内に与えられる船井ベストペーパー賞に選定された *）年に 1 回開催される情報処理学会と電子情報通信学会情報システムソサイエティ合同の会議	平成 25 年 9 月 5 日

賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
第23回日本数理生物学会大会ポスター賞	佐藤　英毅 坂本　一寛 石黒　章夫 加納　剛史	実世界コンピューティング研究	第23回日本数理生物学会大会における優秀なポスター発表に関して　受賞内容「腕切断実験から探るクモヒトデの腕間協調メカニズム」	平成25年9月12日
第23回日本数理生物学会大会ポスター賞	佐竹　冬彦 石黒　章夫 加納　剛史	実世界コンピューティング研究	第23回日本数理生物学会大会における優秀なポスター発表に関して　受賞内容「狭窄空間におけるヘビのロコモーションの数理モデル」	平成25年9月12日
2013 IEEE Global Conference on Consumer Electronics（GCCE 2013）・Excellent Paper Award	白鳥　則郎 和泉　諭 菅沼　拓夫	情報社会構造研究（客員）	G－MIB：Green-oriented Management Information Base and Its Standardization in IETF	平成25年10月3日
9th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2013) Best Paper Award	坂本　修一 鈴木　陽一 他2名	先端音情報システム研究	2013年10月16～18日に北京にて開催されたIIH-MSP 2013において発表した「Auditory space perception during active and passive self-motion」が優れた発表として選定された	平成25年10月17日
MOC Award	中沢　正隆	超高速光通信研究	For significant contribution to advanced ultra-high speed optical communication systems by successful achievement of EDFA and ultra-short pulse lasers	平成25年10月30日
The Second Asian Conference on Information Systems (ACIS 2013) Best Paper Award	松本 慎也 中村 隆喜 村岡 裕明	研究開発部ストレージ分野IT-21センター	Risk-aware Data Replication to Massively Multi-sites against Widespread Disasters	平成25年11月1日
平成25年度文化勲章	岩崎　俊一	名誉教授	電子工学功績	平成25年11月3日
平成25年度文化功労者	舛岡　富士雄	名誉教授	半導体工学・電子産業技術功績	平成25年11月3日
平成25年度秋の叙勲瑞宝中綬章	沢田　康次	名誉教授	教育研究功労	平成25年11月3日
一般財団法人石田實記念財団　研究奨励賞	Simon Greaves	情報ストレージシステム研究	「磁気記録の情報ストレージシステムのシュミレーションについての研究」が情報通信産業の進歩発展に貢献	平成25年11月8日
一般財団法人石田實記念財団　研究奨励賞	杤　修一郎	生体電磁情報研究	高精細手指用ワイヤレスモーションキャプチャシステムのの開発とヒューマンインターフェースへの応用に関する研究	平成25年11月8日

研　究

賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
IEEE Sendai Section Student Award Encouragement Prize	中井　彬人	先端音情報システム研究	2013年8月開催の電気関係学会東北支部連合大会において発表した「Accurate Measurement of Head Related Transfer Function Based on Visual Feedback System」が優れた発表として選定された。	平成25年11月15日
第35回（2013年秋季）応用物理学会　講演奨励賞	金井　駿	半導体スピントロニクス研究	「電界誘起磁化歳差運動の実時間観測」	平成25年11月19日
RIEC Award東北大学学生賞	渡辺　隆之	超ブロードバンド信号処理研究	「グラフェン内表面プラズモンポラリトンによるテラヘルツ巨大利得増強作用に関する研究」	平成25年11月21日
NEC C&C財団・2013年度C&C賞	中沢　正隆	超高速光通信研究	コヒーレント光ファイバ通信システムの高度化に関わる先駆的・先導的貢献	平成25年11月27日
IEEE・Fellow	尾辻　泰一	超ブロードバンド信号処理研究	「for contributions to plasmonic semiconductor integrated device technology for terahertz sensing」 (半導体プラズモニック集積デバイス技術とそのテラヘルツセンシング応用に関する貢献)	平成26年1月1日
電子情報通信学会磁気記録情報ストレージ研究会専門委員長賞	青木　朋徳	誘電ナノデバイス研究	２Tbit／inch^{2}の記録密度を持つハードディスクドライブ型強誘電体記録の研究成果発表に対しての表彰	平成26年1月24日
電気学会　優秀論文発表A賞	佐藤　拓巳	情報ストレージシステム研究	論文「中小サイズファイルのシーケンシャルアクセス転送速度を改善するハイブリッドストレージシステム構成の提案」に対して	平成26年2月5日
公益財団法人トーキン科学技術振興財団 トーキン財団奨励賞	大脇　大	実世界コンピューティング研究	「四脚動物が示す多様な運動パターンの解明に関する顕著な業績に関して」	平成26年3月4日
文部科学省主催 第3回サイエンス・インカレ－学生による自主研究の祭典－ サイエンス・インカレ奨励表彰	横山　真悟	情報コンテンツ研究（StepQIスクールアドバンス創造工学研修生）	東北大学工学部で，平成24年度から文部科学省の理数学生育成支援事業として情報知能システム総合学科を中心として実施している“Step-QIスクール”のプログラムである“アドバンス創造工学”において取り組んだ研究「様々なセンサ・アクチュエータを搭載したスマートペン」による受賞	平成26年3月2日

賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
OFC 2014 Outstanding Student Paper Competition Honorable Mention	別府　翔平	超高速光通信研究	発表論文 2048 QAM (66 Gbit/s) Single-Carrier Coherent Optical Transmission over 150 km with a Potential SE of 15.3 bit/s/Hz (S. Beppu, M. Yoshida, K. Kasai, and M. Nakazawa) に対して	平成 26 年 3 月 11 日
東北大学大学院情報科学研究科 教育賞	鈴木　陽一	先端音情報システム研究	情報科学研究科における教育に多大な貢献をしたことに対する表彰	平成 26 年 3 月 13 日
電子情報通信学会　電子デバイス研究会 2014 年度学生発表奨励賞 大学院工学研究科長賞	小島　領太	ナノ分子デバイス研究	「陽極酸化 TiO2 ナノチューブ膜を用いた前面照射型色素増感太陽電池の特性に与える TiCl4 処理の効果」	平成 26 年 3 月 18 日
2014 年応用物理学会春季学術講演会 ポスター賞	松村　亮佑	ナノ分子デバイス研究	「電気刺激によって放出された神経伝達物質グルタミン酸の時間分解計測」	平成 26 年 3 月 18 日
日本音響学会東北支部若手研究者優秀論文賞	北島　周	先端音情報システム研究	平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会において発表した論文「音像定位の周波数スペクトル手がかり同定に向けた聴覚興奮パターンの算出」が特に優秀と認められた	平成 26 年 3 月 18 日
電子情報通信学会 平成 25 年度学術奨励賞	三宅　裕士	先端ワイヤレス通信技術研究	「準天頂衛星ロケーション・ショートメッセージ通信システム用 SS-CDMA の瞬時収容数に関する検討」 「QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信における周波数偏差の影響」	平成 26 年 3 月 19 日
電子情報通信学会 平成 25 年度学術奨励賞	和田　平	先端ワイヤレス通信技術研究	「電流モード DAC を用いた負荷抵抗内蔵 5GHz 帯 CMOS ダイレクトディジタル RF 変調器」 「電流モード DAC を用いた 2GHz 帯ダイレクトディジタル RF 変調器のオーバーサンプリング特性」	平成 26 年 3 月 19 日
平成 25 年度 東北大学工学部長賞	平山　絵里子	半導体スピントロニクス研究	在学中の学業成績が優秀と認められたため	平成 26 年 3 月 25 日
平成 25 年度 東北大学電気・情報系優秀賞	石川　慎也	半導体スピントロニクス研究	修士論文「Co/Pt 多層膜-CoFeB 積層電極を用いた磁気トンネル接合に関する研究」	平成 26 年 3 月 26 日

賞名	氏名	所属	業　績	受賞日
平成25年度 東北大学電気・情報系優秀賞	Trevino Jorge	先端音情報システム研究	博士論文「A formulation of Ambisonics in unconventional geometries（非球形のアレイ形状を持つAmbisonicsの定式化)」	平成26年3月26日
電子情報通信学会東北支部 平成25年度優秀学生表彰	Jang Han	半導体スピントロニクス研究	在学中の学業成績が優秀かつ電子工学及び情報通信分野において将来性が期待されるため	平成26年3月26日

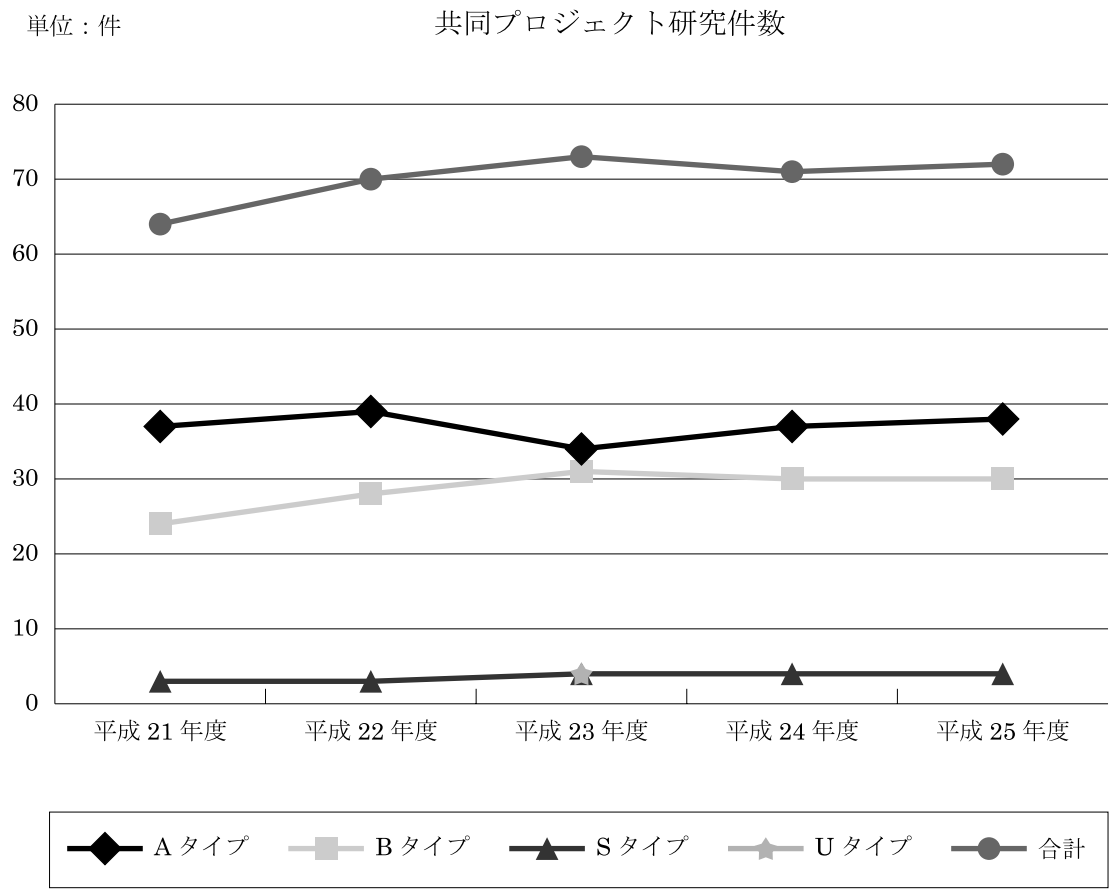
８．発表論文数

区　分		21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
査読付学術論文	英文	140	161	154	201	156
	和文	24	19	16	16	12
	計	164	180	170	217	168
査読付国際会議		207	289	207	225	287
解説・総説		18	17	14	17	15
査読付国内会議、査読なし国内研究会・講演会		439	425	343	413	363

第５　共同プロジェクト研究

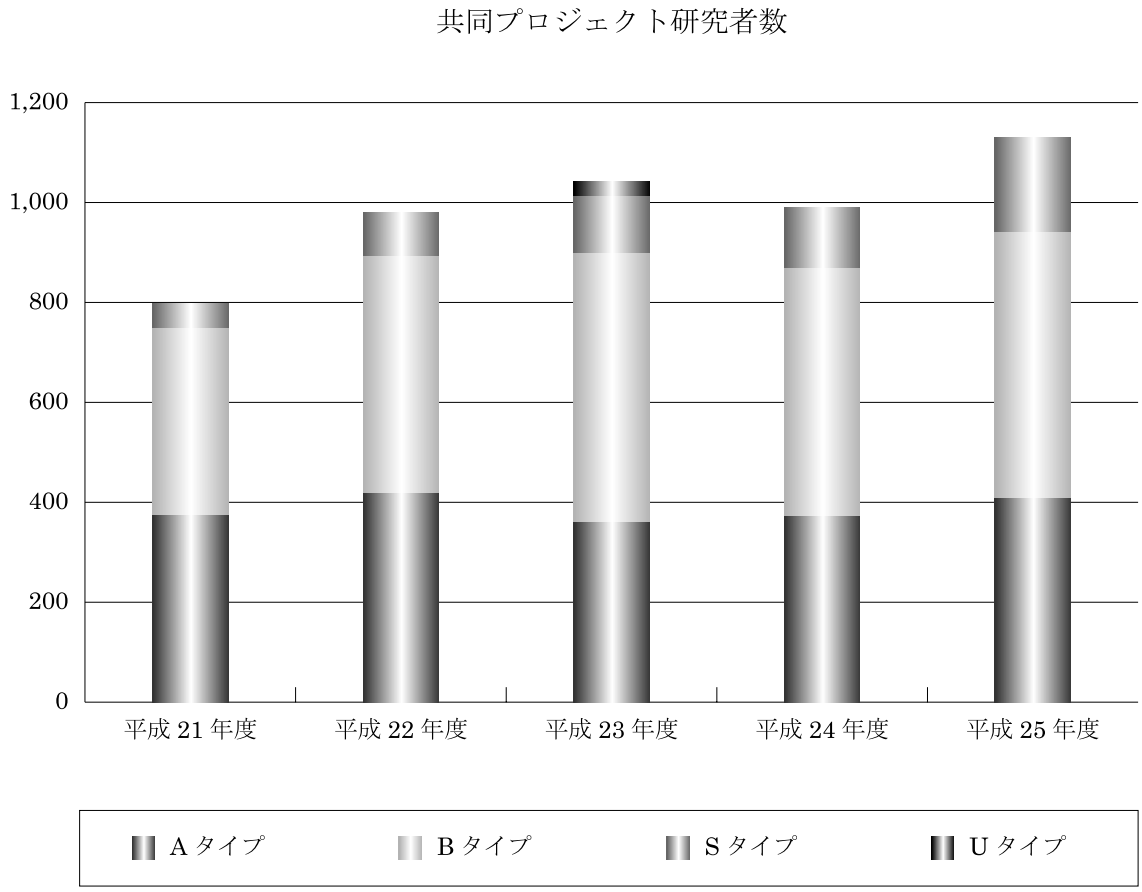
１．共同プロジェクト研究件数

単位：件



区　　分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
Ａタイプ	37	39	34	37	38
Ｂタイプ	24	28	31	30	30
Ｓタイプ	3	3	4	4	4
Ｕタイプ			4		
合　　計	64	70	73	71	72

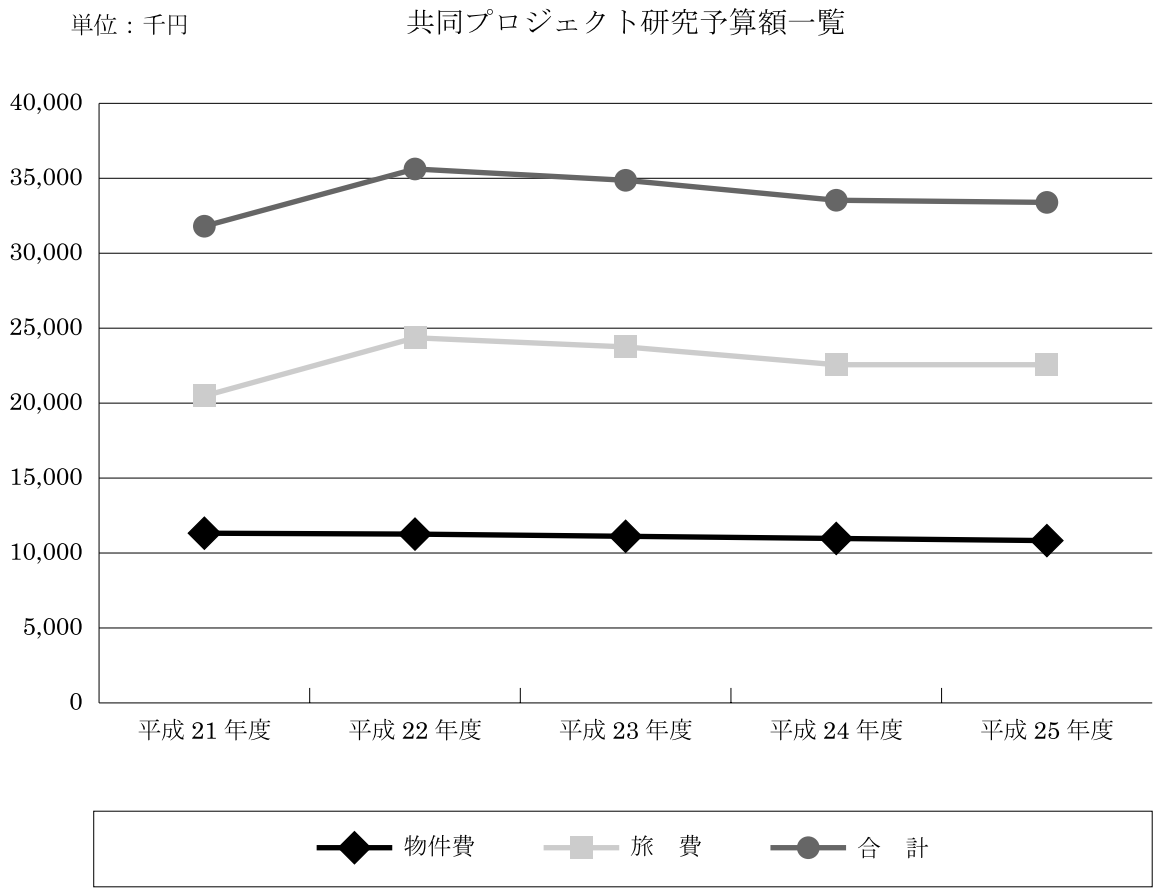
２．共同プロジェクト研究者数



	平成 21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
Aタイプ	374	418	360	371	407
：うち民間	36	32	21	28	30
Bタイプ	373	475	538	498	534
：うち民間	35	50	64	57	49
Sタイプ	50	88	115	121	189
：うち民間	6	7	8	0	0
Uタイプ			29		
：うち民間			5		
計	797	981	1, 042	990	1, 130

３．共同プロジェクト研究予算額

単位：千円



（単位：千円）

区　　分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
物 件 費	11, 322	11, 262	11, 116	10, 972	10, 829
旅　　費	20, 480	24, 359	23, 750	22, 563	22, 563
合　　計	31, 802	35, 621	34, 866	33, 535	33, 392

４．共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト研究

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
「災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発 」	総務省情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発事業（総額予算24.3億円）	H24-H25年度 （代表：末松憲治教授 参加者：亀田准教授、坪内客員教授（通研）澤谷教授、陳教授（以上工学研究科）　参加機関：スカパ―JSAT、サイバー創研、アイ・エス・ビー、富山高専参画）	被災地のニーズに応じた回線の円滑な確保を可能とする、次世代VSATを用いた衛星通信ネットワーク技術として(ア)複数の衛星システムに対応可能とするための技術：ソフトウェア無線を適用したマルチモード地球局技術(イ)地球局の消費電力を低減させるための技術：省電力可搬地球局技術(ウ)衛星回線の収容効率を向上させるための技術：通信帯域最適化制御技術の研究開発を推進した。
「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術の研究開発」	文部科学省：国家課題対応型開発推進事業（次世代ＩＴ基盤構築のための研究）（24.25年度予算2.23億円）	H24-H28年度 （代表：大野英男教授 参加者：羽生教授、池田准教授、山ノ内助教、夏井助教(通研)、松倉教授（原子分子材料科学高等研究機構）安藤教授、遠藤教授、大兼准教授、永沼助教（以上工学研究科）　参加機関：山形大学、宇宙航空研究機構、日本電気、東栄科学産業、東京工業大学、慶応義塾大学、筑波大学、北海道大学参画）	現在のコンピュータシステムに使われているワーキングメモリ(WM)は揮発性のため、待機電力を消費し、災害時の給電停止によりデータが消失し迅速な復帰への障害となる。また今後必要となる20nm以下の素子寸法では、実現のための道筋が明確でなく、さらにソフトエラー等の耐環境性の悪化も懸念される。20nm以下の微細な不揮発性スピントロニクスWMを実現すると、システムの低消費電力性能、停電時のバックアップ性、耐環境性の向上が期待され、停電復帰時のデータ再ロード不要なシステムの構築が可能となる。本研究開発では、情報通信基盤の耐災害性強化に向け、20nm世代以下の不揮発性WMの材料・デバイス基盤技術を構築し、その適用法をシミュレーションで明らかにする。
「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発 」	文部科学省：国家課題対応型開発推進事業（次世代ＩＴ基盤構築のための研究）（24.25年度予算1.1億円）	H24-H28年度 （代表　村岡裕明教授 参加者：大堀教授、サイモン准教授、上野助教、森畑助教、原田研究員（通研）菅沼教授、後藤准教授（以上、サイバーセンター）安達教授（工学研究科）　参加機関：日立製作所、日立ソリューションズ東日本、静岡大学、HGSTジャパン、東北新生ITコンソーシアム参画）	東日本大震災において、中小サーバやパソコンから住基情報や医療情報等の重要情報が喪失した。また、長時間の通信途絶によってクラウド系へのアクセスも切断されてストレージ系が長期間使用できない事態があった。これを改善するストレージシステムの耐災害性を高めて、半数の機器損壊でも90%の情報にアクセスできる高可用な（災害時も継続して使用可能な）ストレージ基盤技術を開発する。また、最近の広帯域情報に対応するために情報ストレージシステムの転送速度を5倍に高速化する。
「高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成」	日本学術振興会：先端研究拠点事業(24.25年度予算3.4千万)	H24-28年度 （代表：室田淳一客員教授　参加者：大野教授、庭野教授、池田准教授、中島教授、佐藤教授、櫻庭准教授、木村准教授(通研)、松倉教授（原子分子機構：WPI)、参加機関：東京大学、名古屋大学、IHP・ベルリン工科大学・シュツットガルト大学(以上ドイツ)・IMEC（ベルギー）CNRS－CINaH・CNRS－IM2NP・CNRS－IEF(フランス)	世界規模の国際共同研究拠点の形成により、日本単独では困難な高集積原子制御プロセス基盤技術の深耕を国際共同研究により強力に推進するとともに、グローバル化が進む現代の研究開発においてリーダーシップを発揮できる若手人材育成体制を構築する。同時に、世界規模の国際会議・国際ワークショップを各拠点国で企画・開催し、学術論文誌特集号の出版を継続的に行うとともに、本事業のセミナーも同時期に開催し、研究開発資産を集積する体制を構築する。これらの活動を通して、高集積原子制御プロセスの学問的体系化を図り、次世代情報通信の基盤を創出する。

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
「グラフェンテラヘルツレーザーの創出」	科学研究費補助金：特別推進研究（23～25 年度予算　3.45 億円）　学外 1 組織の参画	H23-27 年度 （代表：尾辻泰一教授 研究分担者：末光教授、末光准教授、佐藤助教（通研）　参加機関：北海道大学）	新材料グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーの創出に関する研究において、電流注入型レーザーにおけるキャリア過冷却効果、ならびに、表面プラズモンポラリトンの利得増強作用を発見した。新しい室温発振テラヘルツレーザーの実現へ前進した。
「非線形誘電導率顕微鏡の高機能化及び電子デバイスの応用」	科学研究費補助金:基盤研究 S（23～27 年度予算 1.6 億円）	H23-H27 年度 （代表：長康雄教授　研究分担者：平永助教、山末助教（通研）	高次（電界の 3 乗項までの）非線形誘電率を検出し非接触状態で原子双極子モーメントの観測できる非接触型走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM)を用いて水素の吸着した Si(111)7x7 構造の観測を行い、水素吸着により Si 表面のアドアトムが持つ大きな正の双極子モーメントがほぼゼロとなる事を発見し、さらに電界の 5 乗項まで検出できる超高次 SNDM 法を新たに開発し、これを強誘電体の分極観測と半導体のドーパント濃度分布計測に用いてその超高分解能特性を明らかにするなどの成果を得た。
「次世代ネットワークにおける超臨場感音響相互通信の実現」	日本学術振興会日中韓フォーサイト（A3Foresight）事業（23～25 年度予算　2.8 千万円）	H23-H26 年度 （代表：鈴木陽一教授 参加者：岩谷准教授、坂本准教授、崔研究員(通研）伊藤教授(工学研究科）　参加機関：北陸先端大学、東北学院大学、NICT　中国：中国科学院、北京理工大学　韓国:ソウル大学、世宗(セジョン）大学	次世代ネットワークでは、これまでには伝送できなかったより多くのデータの高速でかつ安全な通信の実現により、単にこれまでのような意味や内容といった情報だけではなく、あたかも本物がそこにあるかのような感覚や相互作用も通信できることが期待される。そこで、多数のマイクロホンで音空間を高精細に収録し、その音空間を再生する多数のスピーカの配置に合わせて最適に再構成する技術開発を目的とし、これにより、人は音の情報だけではなく、音の広がり感、距離感、音源の向きなども時間、空間を超えて伝える臨場感あふれる音空間コミュニケーションの実現をめざしている。
「歩容意図行動モデルに基づいた人物行動解析と心を写す情報環境の構築」	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 2.7 億円）	H22-27 年度 （主たる共同代表者：塩入諭教授　参加機関 大阪大学、近畿大学、警察大学校）	行動として歩行を取り上げ、行動と意図の関係を歩容意図行動モデルとして記述し、映像中の歩行パターン(歩容)から「人の意図や心身状態、人間関係」を読み取る技術 を構築。
「グリーン ICT 社会インフラを支える超高速・高効率コヒーレント光伝送技術の研究開発」	日本学術振興会：最先端・次世代研究開発支援プログラム（総額予算：1.35 億円）	H22-H25 年度 （代表：廣岡俊彦准教授）	光の高速性とコヒーレンスに着目して、超短光パルスの振幅および位相に同時に情報を乗せ、さらに光時分割多重方式を導入することにより、新たな超高速・高効率光伝送技術（OTDM-RZ/QAM 伝送技術）を実現。

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
「テラヘルツナノサイエンスに関する米国 NSF 主催日米国際交流研究教育推進事業(PIRE) の発足」	日本学術振興会：先端研究拠点事業(総額予算 3 千万円)	H22-H26 年度 （グループリーダー：尾辻泰一教授）	ナノ・カーボンおよびグラフェンのテラヘルツ科学技術応用を研究課題とする日米共同教育研究プログラム。若手研究者、大学院学生を毎年２～３名を共同研究先の米国大学（ライス大学、ニューヨーク州立大学)に 2 ヶ月短期派遣。米国からは毎年 1 名の学部学生を短期滞在受入れ。
「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」	内閣府:最先端研究開発支援プログラム（総額予算：34 億円）	H21-H25 年度（代表：大野英男教授　参加者：遠藤教授、白井教授、羽生教授、池田准教授、三浦助教、阿部助教、夏井助教（通研）田中教授、安藤教授、大兼准教授、永沼助教(以上工学研究科) 松倉教授 (WPI)，島津教授（学際セ）田中教授（医工学研究科）参加機関：東京大学、京都大学、物性・材料研究機構、日本電気、日立製作所、アルバック参画)	不揮発性スピントロニクス素子が集積回路と融合、論理集積回路の大変革を行うとともに、世界のイノベーションサイクルが日本を軸として回る体制を構築。
「繰り返しと光周波数を同時安定化した GHz 帯モード同期パルスレーザーの実現とその応用」	科学研究費補助金：基盤研究 S（総額予算 1.8 億）	H21-H25 年度 （代表：中沢正隆教授 研究分担者：廣岡准教授、吉田助教(通研))	コヒーレントな光パルスを利用する QAM 伝送方式を世界で初めて提案し、800 Gbit/s の高速伝送を単一チャンネルで実現することに成功した。
「超高速光通信に関する拠点形成」	日本学術振興会：先端研究拠点事業－拠点形成型－(H23 年度より「国際戦略型」へ発展))(総額予算 9.4 千万円)	H21-25 年度 代表：中沢正隆教授（コーディネーター）　参加者：八坂教授、尾辻教授、枝松教授（以上電気通信研究所)、山田教授（工学研究科）　拠点機関：東北大電気通信研究所 ベルリン工科大学（ドイツ)、デンマーク工科大学（デンマーク)、サザンプトン大学（イギリス）協力機関：チャルマース工科大学、(スウェーデン）マサチュセッツ工科大学パーデュ大学（アメリカ合衆国)	超高速光伝送・信号処理に関する共同実験を実施。各機関の最先端デバイス技術を結集し、単一波長 1.28 Tbit/s の 525 km 長距離超高速伝送に世界で初めて成功。

課題名	財　源	研究期間、代表者等	概　　要
「グラフェン・オン・シリコン（GOS）材料・デバイス技術の開発」	JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業）（総額予算4.8億円）	H19-H25年度 （代表：尾辻泰一教授 参加者：末光教授（通研） 参加機関：会津大学、北海道大学）	東北大電気通信研究所が独自に開発した結晶成長技術を用いて、シリコン基板上に成長したエピタキシャルグラフェンをチャネル材料に導入して試作したトランジスタを用い、世界で初めてシリコン半導体を60倍上回る優れた電子移動度の確認に成功した。
「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」	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：7.3億円）	H19-H26年度 （代表：坪内和夫客員教授　参加機関：東京工業大学、高知工科大学、広島大学、富山高専、三菱電機）	複数の無線通信システムを統合し，信頼性の高い広域・超高速ワイヤレス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，伝搬路や高周波デバイスの周波数特性の改善を可能とする広帯域周波数領域等化回路のLSIへの実装に成功した。
「衛星通信ネットワークを用いた安否確認アプリケーションの研究開発」	総務省・先進的通信アプリケーション開発推進事業（総額予算：680万円）	H25年度 （代表：亀田卓准教授 参加機関　富山高専）	有線・無線の地上通信ネットワークに加え，衛星通信ネットワークを用いたディペンダブルクラウドサーバ安否確認システムの開発
「HEMTを用いた高性能・省電力ミリ波・テラヘルツ帯無線通信用フロントエンド回路の研究開発」	総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）（総額予算：600万円）	H25年度 （末松憲治教授）	有線・無線の地上通信ネットワークに加え，衛星通信ネットワークを用いたディペンダブルクラウドサーバ安否確認システムの開発
「InGaAs系HEMTを用いた高性能・省電力ミリ波・テラヘルツ帯無線通信用フロントエンド回路の研究開発」	総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）（総額予算：458万円）	H25年度 （末光哲也准教授　代表機関　東京理科大)）	InGaAs系HEMTを用いたミリ波集積回路のテラヘルツ帯への周波数開拓及び省電力化
「光通信波長帯高精度レーザ歪みセンサの開発」	総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）（総額予算：458万円）	H25年度 （末光哲也准教授　代表機関　東京理科大)）	InGaAs系HEMTを用いたミリ波集積回路のテラヘルツ帯への周波数開拓及び省電力化

第６　国際活動

１．電気通信研究所国際シンポジウム

1 高温超伝導単結晶の固有ジョセフソン効果と THz 帯プラズマ振動	平成 9 年 2 月 23-25 日
2 脳の情報原理に基づくブレインアーキテクチャの設計・制作	平成 10 年 3 月 16-18 日
3 ミリ波革新技術とその応用	平成 10 年 12 月 14-16 日
4 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議	平成 11 年 9 月 13-17 日
5 フォトニック結晶構造国際会議	平成 12 年 3 月 8-10 日
6 半導体スピン物性の基礎と応用	平成 12 年 9 月 13-15 日
7 証明と計算における書き換え技法	平成 13 年 10 月 25-27 日
8 非線形理論とその応用	平成 13 年 10 月 28 日 -11 月 1 日
9 ニューパラダイム VLSI コンピューティング	平成 14 年 12 月 12-14 日
10 超高密度スピニックストレージシステム	平成 15 年 10 月 23-24 日
11 第 3 回 SiGeC 国際ワークショップ	平成 16 年 10 月 12-13 日
12 第 3 回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ	平成 17 年 4 月 11-12 日
13 第 4 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議（ICSI-4）	平成 17 年 5 月 23-26 日
14 第 1 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 17 年 5 月 27-28 日
15 東北大学情報科学研究科国際シンポジウム　新時代の情報科学：脳、心および社会	平成 17 年 9 月 26-27 日
16 第 1 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 2 月 8-9 日
17 第 4 回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ	平成 18 年 5 月 8 日
18 第 4 回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議	平成 18 年 8 月 15-18 日
19 第 2 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 10 月 2-3 日
20 第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 2 月 15-16 日
21 日中音響学会議 2007	平成 19 年 6 月 4-6 日
22 アルゴリズム論的学習理論および発見科学に関する合同国際会議	平成 19 年 10 月 1-4 日
23 第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 10 月 31 日 -11 月 1 日
24 第 3 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 8-9 日
25 第 1 回ナノ構造&ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 21-22 日
26 第 18 回アルゴリズムと計算に関する国際会議	平成 19 年 12 月 17-19 日
27 気相－液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム	平成 20 年 9 月 5-6 日
28 第 4 回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 9 月 25-27 日
29 第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 10 月 9-10 日
30 ミリ波シンポジウム	平成 21 年 4 月 20-22 日
31 マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ	平成 21 年 4 月 24-25 日
32 第 4 回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム	平成 21 年 8 月 4-5 日
33 第 20 回パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム	平成 21 年 9 月 13-16 日
34 第2回RIEC-CNSIナノエレクトロニクス･スピントロニクス･フォトニクスに関する国際ワークショップ(第5回スピントロニクス国際ワークショップ)	平成 21 年 10 月 22-23 日
35 空間音響の原理と応用に関する国際シンポジウム	平成 21 年 11 月 11-13 日
36 第 5 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ	平成 22 年 1 月 29-30 日
37 第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 22 年 2 月 5-6 日
38 第 2 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 22 年 3 月 11-12 日
39 グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム	平成 22 年 10 月 27-29 日
40 第 9 回日韓表面ナノ構造シンポジウム	平成 22 年 11 月 15-16 日
41 第 7 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 23 年 2 月 3-4 日
42 第 12 回国際多感覚研究フォーラム	平成 23 年 10 月 17-20 日
43 第 8 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 2 月 2-3 日
44 第 6 回国際シンポジウム　メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス	平成 24 年 3 月 8 日
45 第 3 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 24 年 3 月 21-22 日
46 第 9 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 5 月 31 日 -6 月 2 日
47 第 1 回スマートテクノロジ国際ワークショップ	平成 24 年 10 月 18-19 日
48 TU Dresden and Tohoku University Symposium 2012	平成 24 年 11 月 2 日
49 第 1 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 24 年 11 月 15-16 日
50 東北大学－ハーバード大学ジョイントワークショップ	平成 25 年 1 月 15-16 日
51 第 11 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 25 年 1 月 31 日 -2 月 1 日
52 メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス第 7 回国際シンポジウム	平成 25 年 3 月 7 日
53 第 6 回ミリ波シンポジウム	平成 25 年 4 月 22-23 日
54 第 2 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 26 年 2 月 21-22 日
55 メディカル・バイオ・エレクトロニクス第 8 回国際シンポジウム	平成 26 年 3 月 6-7 日
56 第 5 回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成 26 年 3 月 6-7 日

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 Acoustical Science and Technology
2 ACTA ACUSTICA (Chinese version)
3 Applied Intelligence: International Journal of Artificial Intelligence, Neural Networks, and Complex Problem-Solving Technologies
4 Asian Journal of Computer Sciences
5 Frontiers in Virtual Environments (a section of Frontiers in Robotics and AI)
6 Higher-order and symbolic computation
7 IEICE Electronics Express
8 International Journal of Energy, Information and Communication
9 International Journal of Information Sciences and Computer Engineering
10 International Journal of Computer Science and Network Security
11 Japanese Journal of Applied Physics
12 Journal of Magnetics, Korean Magnetics Society
13 Journal of SPIN
14 Nature Communications
15 Neural Networks
16 NPG Asia Materials
17 Optical Fiber Technology
18 Optical Review
19 The Journal of Computer Animation and Virtual Worlds (John Wiley & Sons, Inc.)
20 Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology

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 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN)
2 13th International Ceramics Congress, 6th Forum on New Materials, and 5th International Conference Novel Functional Carbon Nanomaterials (CIMTEC2014)
3 18th International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (EDISON)
4 2013 Spintronics Workshop on LSI
5 2014 International Topical Meeting on Microwave Photonics/ The 9th Asia-Pasific Microwave Photonics Conference(NWP/ APMA2014)
6 20th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20) and 16th Modulated Semiconductor Structures (MSS-16)
7 24th MAGNETIC RECORDING CONFERENCE (TMRC2013)
8 25th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM)
9 32nd Electronic Materials Symposium (EMS)
10 3DUI 2013 International Symposium on 3D User Interface
11 3rd Berkeley Symposium on Energy Efficient Electronic Systems
12 5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR)
13 6th Global Symposium on Milli-Meter Waves (GSMM)
14 7th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH VII)
15 7th Terahertz Days/GDR-I Workshop
16 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013)
17 ACM SIGGRAPH Asia
18 ACM SIGGRAPH Asia 2013: The 6th SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia 2013
19 ACM SIGGRAPH Asia 2014: The 7th SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia 2014
20 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)
21 Asia-Pacific Conference on Vision (APCV) 2014
22 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)
23 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD)
24 Eurographics Workshop on Virtual Environment (EGVE)
25 European Conference on Optical Communication (ECOC)
26 European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC)
27 IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems
28 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic
29 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2014)
30 IEEE Computer Society
31 IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems
32 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic
33 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)
34 International Federation for Information Processing (IFIP) Human-Computer Interaction (TC-13)
35 International Conference on Optical Terahertz Science and Technology (OTST)
36 International Conference on Artificial Reality and Tele-existence (ICAT)
37 International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM)
38 International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA)
39 International Electron Device Meeting (IEDM)
40 International Quantum Electronics Conference (IQEC)
41 International SiGe, Ge, & Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symposium
42 International Symposium on Advanced and Applied Convergence
43 International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS)
44 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications
45 SPIE International Conference on Defense, Security, and Sensing
46 SPIE Photonics West, Physics and Simulation of Optoelectronic Devices
47 IEEE Computer Society
48 The IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT2014)
49 The International Conference Industrial & Engineering Applications of Artif. Intell. & Exp. Systems (IEA/AIE2014)
50 The International Conference on Smart Technology for Energy, Information and Communication (IC-STEIC2014)
51 The International Multisensory Research Forum
52 Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM)

４．国際学会における招待講演数

区分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
招待講演数	112	97	79	100	89

５．国際共同研究の実施状況

実施状況(件数)	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
	39	36	31	39	46

６．平成２５年度国際共同研究

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
ロシア	RFBR	グラフェンオンシリコン：シリコン基板上炭化珪素ヘテロエピと高品質グラフェン成長	2013.4.1～2015.3.31	末光研
ドイツ	Fritz Harber Institute	Interaction of 3d-metal with Epitaxial Graphene	2013.4.1～2014.7.31	末光研
米国	コーネル大学	水素化合物の金属化と超伝導	2013.4.1～2014.3.31	白井研
ドイツ	ハインリッヒヘルツ研究所	日本学術振興会先端研究拠点事業「超高速光通信に関する拠点形成」	2009～2013	中沢研
イギリス	サザンプトン大学	日本学術振興会先端研究拠点事業「超高速光通信に関する拠点形成」	2009～2013	中沢研
デンマーク	デンマーク工科大学	日本学術振興会先端研究拠点事業「超高速光通信に関する拠点形成」	2009～2013	中沢研
米国	MIT	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所-MIT 電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」	2010～2014	中沢研
フランス	CNRS-Montpellier Univ. Univ. Savoir IEMN	テラヘルツ帯プラズモニック・ナノＩＣＴデバイスを利用した無線通信(JST-ANR 戦略的国際科学技術共同研究推進事業)	2013.4.1～2014.3.31	尾辻研
米国	ニューヨーク州立大学バッファロー校レンセラー工科大学 ライス大学	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	2013.4.1～2014.3.31	尾辻研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
米国	MIT	化合物半導体極限高性能トランジスタ技術に関する共同研究	2013.4.1～ 2014.3.31	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 ロシア科学アカデミー物理工学研究所 ロシア科学アカデミーマイクロ構造物理学研究所 バウマンモスクワ国立工科大学	テラヘルツ・プラズモニックナノエレクトロニクス・ナノフォトニクスに関する共同研究	2013.4.1～ 2014.3.31	尾辻研
スペイン	サラマンカ大学	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	2013.4.1～ 2014.3.31	尾辻研
中国	中国科学院	JSPS（日中韓フォーサイト）「次世代ネットワークにおける超臨場感音響相互通信の実現」	2013.8.1～ 2014.7.31	鈴木研
韓国	ソウル大学	JSPS（日中韓フォーサイト）「次世代ネットワークにおける超臨場感音響相互通信の実現」	2013.8.1～ 2014.7.31	鈴木研
フランス	パリ第５大学	Investigation of spatiotemporal dynamics of visual attention using steady state visual evoked potential	2011～現在	塩入研
米国	オハイオ州立大学	Color naming of Japanese	2011～現在	塩入研
韓国	Incheon National University	マルチエージェント型マイクログリッドの構築技術	2012.7.1～ 2014.6.30	木下研
イギリス	Univ. of Bristol	Dynamic & Flexsible Interactive Contents Reprsentation	2011 ～ 現在	北村研
オーストラリア	Univ. of South Australia	Estimating Conversational Engagement	2013 ～ 現在	北村研
カナダ	Univ. of Calgray	Robotic Digital Table	2013 ～現在	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
ドイツ	高性能マイクロエレクトロニクスセンター(IHP)，ベルリン工科大学	原子層ドーピング	1995.10～現在	佐藤研
ベルギー	大学共同マイクロエレクトロニクスセンター(imec)	表面原子層制御	2005.5～現在	佐藤研
スペイン	ビゴ大学	レーザプロセッシング	2007.11～現在	佐藤研
ドイツ	シュトゥットガルト大学	原子制御プロセス	2008.2～現在	佐藤研
ポーランド	ポーランド科学アカデミー	強磁性半導体の電界制御、半導体量子細線における電子伝導	1999.1～現在	大野研
ドイツ	マックスプランク研究所・ゲーテ大学	極微細 GaAs/AlGaAs ホールセンサ	2008.2～現在	大野研
イギリス	ヨーク大学	顕微カー回転による半導体へのスピン注入の光イメージング	2009.4～現在	大野研
スイス	IBM 研究所	半導体量子井戸構造におけるスピン軌道相互作用に関する研究	2008.2～現在	大野研
米国	コロンビア大学	強磁性半導体のミューオン・スピン緩和測定	2005.9～現在	大野研
オーストラリア	シドニー大学	磁性半導体の原子プローブ解析	2008.1～現在	大野研
ドイツ	レーゲンスブルク大学	低次元強磁性半導体素子の輸送特性	2009.2～2014.3	大野研
フランス	仏国立科学研究センター	垂直異方性を持つ強磁性薄膜の電界効果	2009.7～2014.3	大野研
米国	カリフォルニア大学サンタバーバラ校	ZnO のスピン物性に関する研究	2007.4～現在	大野研

相手国	研究機関名	研究課題名	期　間	研究室
米国	フロリダ州立大学	高感度微細ホールセンサ	2002.4～現在	大野研
米国	ニューヨーク大学	高感度微細 InAs/AlSb ホールセンサ	2008.1～現在	大野研
カナダ	カナダ国家研究会議	量子カスケードレーザテラヘルツ光源	1990.4～2014.3	大野研
フランス	パリ南大学	トンネル磁気抵抗素子におけるサブナノ秒での磁化反転ダイナミクスに関する研究	2007.1～2014.3	大野研
米国	カリフォルニア大学デービス校	CoFeB/MgO 電界効果素子の硬 X 線光電子分光	2009.4～現在	大野研
ドイツ	ヨハネス・グーテンベルグ大学	トンネル磁気抵抗素子の硬 X 線光電子分光による構造解析	2010.4～2014.3	大野研
米国	米国立標準技術研究所(NIST)	CoFeB/MgO/CoFeB トンネル磁気抵抗素子のノイズ解析	2010.4～2014.3	大野研
スウェーデン	グーテンベルグ大学	CoFeB/MgO 積層構造における発振現象の解析	2013.9～現在	大野研
イギリス	ヨーク大学	CoFeB/MgO 積層構造における界面磁気異方性の温度依存性	2013.4～現在	大野研
米国	アルゴンヌ国立研究所	陽極酸化ナノチューブの電子状態に関する研究	2013.4～2014.3	庭野研
カナダ	McGill 大学, Waterloo 大学	Stochastic Decoding of Low-Density Parity-Check Codes	2013.4～2013.9	羽生研
カナダ	McGill 大学	Spintronics based low-power VLSI	2013.7～2013.9	羽生研
カナダ	Toronto 大学	Non-volatile FPGA	2013.11	羽生研

７．外国人研究者の招へい状況

区分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
文部科学省事業	2	0	0	7	9
日本学術振興会事業	8	1	39	16	8
当該法人による事業	35	13	11	37	39
その他	2	15	3	19	56
計	47	29	53	79	112
地域別内訳					
①アジア	6	5	20	29	35
②北米	16	10	15	25	18
③中南米	1	0	0	0	0
④ヨーロッパ	21	13	15	23	51
⑤オセアニア	3	1	2	1	7
⑥中東	0	0	1	1	0
⑦アフリカ	0	0	0	0	1
計	47	29	53	79	112
滞在期間別内訳					
１月以上滞在	3	0	5	1	17
１週間以上１月未満	7	6	23	23	18
１週間未満	37	23	25	55	77
計	47	29	53	79	112

８．研究者の海外派遣状況

区分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
文部科学省事業	70	8	11	1	2
日本学術振興会事業	15	91	131	150	49
当該法人による事業	26	20	40	17	21
その他	82	100	93	192	166
計	193	219	275	360	238
地域別内訳					
①アジア	43	46	84	84	36
②北米	81	82	99	133	89
③中南米	1	0	2	0	2
④ヨーロッパ	66	77	85	132	104
⑤オセアニア	1	8	3	5	2
⑥中東	1	4	2	6	4
⑦アフリカ	0	2	0	0	1
計	193	219	275	360	238

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	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 曽根敏夫	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	ハルピン工業大学 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

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	2011.9.30	電気通信研究所付属ナノ・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 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		○		○	○	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 白鳥則郎	タイ	キングモンクット工科大学　ラカバン校	2004.4.15	共同教育プログラムの推進、学生交流及び共同研究の推進	○	○				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 白鳥則郎	フランス	コンピエンヌ工科大学	2010.3.15	共同研究を活性化させ、研究者交流と学生交流を活発に実施する	○	○				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

国際活動

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	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

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	21 年度 東京	22 年度 仙台	23 年度 東京	24 年度 仙台	25 年度 東京
技術セミナー	231	—	255	—	186
講演会	304	162	267	203	246
〈外部〉	226	100	182	133	134
〈内部〉	78	62	85	70	112
来場者数	357	162	342	203	269

２．通研一般公開参加者数

参加者数	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
	2,047	1,241	1,976	812	1,975

※ 19・21・23 年度は片平まつりと同時開催、22 年度ははやぶさ展示

３．学会名誉会員及びフェローの状況

区　　分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
国際学会 フェロー	7	6	6	7	8
国内学会 フェロー	10	8	8	8	9
計	14	14	14	15	17

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	中　沢　正　隆
IEEE	村　岡　裕　明
IEEE	加　藤　修　三
IEEE	尾　辻　泰　一
OSA	中　沢　正　隆
米国物理学会	大　野　英　男
米国音響学会	鈴　木　陽　一
英国物理学会評議会	大　野　英　男

※　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	中　沢　正　隆
電子情報通信学会	加　藤　修　三
電子情報通信学会	鈴　木　陽　一
電子情報通信学会	中　島　康　治
応用物理学会	大　野　英　男
応用物理学会	庭　野　道　夫
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	鈴　木　陽　一
日本バーチャルリアリティ学会	北　村　喜　文

５．学会役員の状況

区　　分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
国際学会役員	4	3	4	5	4
国内学会役員	9	10	12	13	10
計	13	13	16	18	14

※会長、理事、評議員等

６．学会役員一覧

国際学会（2013）

学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
IEEE Microwave Theory and Techniques Society	Japan Chapter Chair	2013～2014	末松　憲治
IEEE Photonics Society	Board of Governors	2013～現在	中沢　正隆
NC-AFM	Program Committee	2013	長　　康雄
IEEE CS-MVL	TC chair	2014～現在	羽生　貴弘

国内学会（2013）

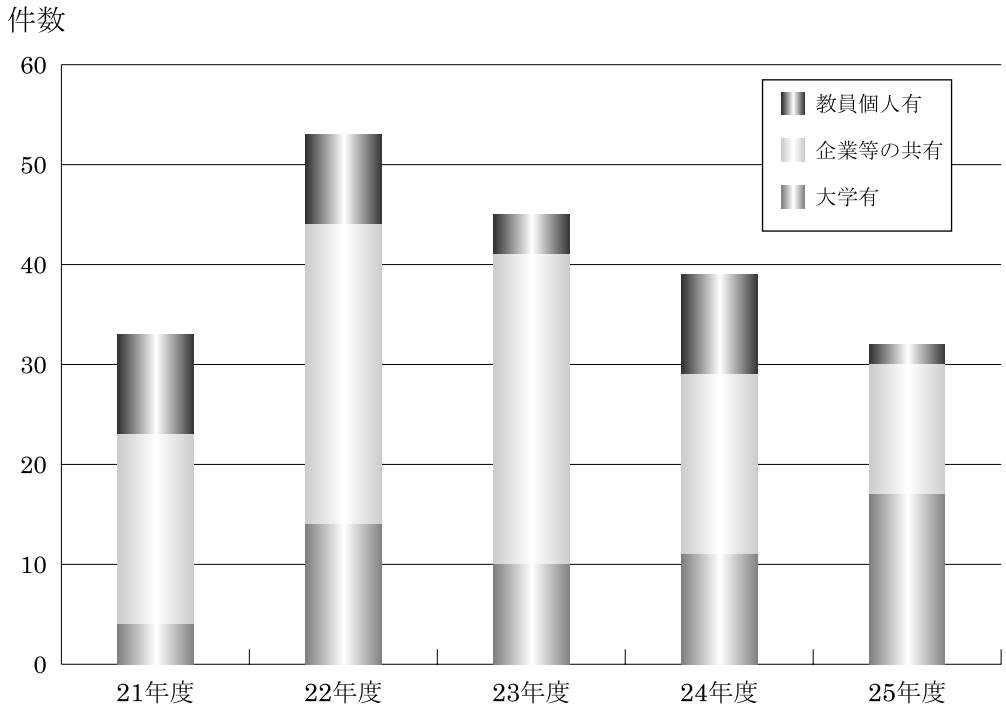
学　会　名	役　職　名	任　期	氏　名
日本視覚学会	会　長	2008～2014	塩入　諭
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2005～2013	鈴木　陽一
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2008～2013	北村　喜文
日本音響学会	理　事	2001～現在	鈴木　陽一
日本音響学会	評議員	2011～現在	坂本　修一
日本神経回路学会	理　事	2012～現在	庭野　道夫
日本神経回路学会	理　事	2013～現在	佐藤　茂雄
ヒューマンインターフェース学会	評議員	2007～現在	北村　喜文
情報処理学会	理　事	2012～現在	木下　哲男
通信学会	ESS 副会長	2013～2014	中島　康治

７．各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

区　分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
文部科学省関連	33	26	30	21	33
他省庁	13	13	13	14	19
地方公共団体	4	2	6	3	1
財団、学会	42	19	20	17	22
その他	38	57	47	57	66
計	130	117	116	112	141

第８　産学官連携

１．特許届出件数、指導件数



区　　分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
発明届出件数	33	53	45	39	32
教員個人有	10	9	4	10	2
企業等の共有	19	30	31	18	13
大学有	4	14	10	11	17

２．電気通信研究所における技術的相談、指導件数

区分	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度
技術的相談、指導	20	13	16	20	58

第９　広報活動と情報公開

開催行事

1.　電気通信研究所国際シンポジウム 6th Global Symposium on Millimeter Wave 2013	2013 年 4 月 21 日(日)～23 日(火)
2. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第二回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム」 The 2nd RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2014 年 2 月 21 日(金)～22 日(土)
3. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第 8 回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス国際シンポジウム、 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」 The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	2014 年 3 月　6 日(木)～ 7 日(金)
4. 電気通信研究所工学研究会	随時
5. 電気通信研究所産学官フォーラム	2013 年 11 月 21 日(木)
6. 電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会	2014 年　2 月 27 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･英文）	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）	年 3 回発行

その他

1. 電気通信研究所ホームページ	公開中
2. 電気通信研究所総覧 Web 公開	公開中
3. 電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中

職　　員

（平成 25 年 5 月 1 日）

所長（併）／教授	Director, Professor	大　野　英　男	Hideo Ohno

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

▪ 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	小　坂　英　男	Hideo Kosaka
准教授	Associate Professor	三　森　康　義	Yasuyoshi Mitsumori
准教授（兼）	Associate Professor*	片　山　統　裕	Norihiro Katayama
研究員	Research Fellow	藪　野　正　裕	Masahiro Yabuno

▪ 固体電子工学研究室　Solid State Electronics

教　授	Professor	末　光　眞　希	Maki Suemitsu
客員教授	Visiting Professor	長　澤　弘　幸	Hiroyuki Nagasawa
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*	小　谷　光　司	Koji Kotani
准教授（兼）	Associate Professor*	吉　澤　　晋	Shin Yoshizawa
研究員	Research Fellow	Sai Jiao	Sai Jiao

▪ 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*	梅　村　晋一郎	Shinichiro Umemura
助　教	Assistant Professor	平　永　良　臣	Yoshiomi Hiranaga
助　教	Assistant Professor	山　末　耕　平	Kohei Yamasue
再雇用職員	Technical Staff	我　妻　康　夫	Yasuo Wagatsuma

▪ プラズマ電子工学研究室　Plasma Electronics

教　授（兼）	Professor*	安　藤　　晃	Akira Ando
准教授（兼）	Associate Professor*	飯　塚　　哲	Satoru Iizuka
准教授（兼）	Associate Professor*	高　橋　和　貴	Kazunori Takahashi

▪ 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
准教授（兼）	Associate Professor*	和　泉　勇　治	Yuji Waizumi
助　教	Assistant Professor	三　浦　良　雄	Yoshio Miura
助　教	Assistant Professor	阿　部　和多加	Kazutaka Abe

▪ 磁性デバイス研究室（客員）　Magnetic Devices (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	高　橋　一　郎	Ichiro Takahashi

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	中　沢　正　隆	Masataka Nakazawa
教　授（兼）	Professor*	山　田　博　仁	Hirohito Yamada
教　授（兼）	Professor*	松　浦　祐　司	Yuji Matsuura
准教授	Associate Professor	廣　岡　俊　彦	Toshihiko Hirooka
准教授	Associate Professor	吉　田　真　人	Masato Yoshida
准教授（兼）	Associate Professor*	大　寺　康　夫	Yasuo Ohtera
准教授（兼）	Associate Professor*	片　桐　崇　史	Takashi Katagiri
助　教（プロジェクト特任）	Assistant Professor	葛　西　恵　介	Keisuke Kasai
研究員	Research Fellow	犬　竹　正　明	Masaaki Inutake

研究員	Research Fellow	陳　　雷	Lei Chen
研究員	Research Fellow	小　泉　健　吾	Kengo Koizumi
研究員	Research Fellow	大　宮　達　則	Tatsunori Omiya

■ 応用量子光学研究室　　Applied Quantum Optics

教　授	Professor	八　坂　　洋	Hiroshi Yasaka

■ 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
准教授	Associate Professor	亀　田　　卓	Suguru Kameda
産学官連携研究員	Research Fellow	谷　藤　正　一	Shoichi Tanifuji

■ 情報ストレージシステム研究室　　Information Storage Systems

教　授	Professor	村　岡　裕　明	Hiroaki Muraoka
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
客員教授	Visiting Professor	Victor Ryzhii	Victor Ryzhii
教　授（兼）	Professor*	安　達　文　幸	Fumiyuki Adachi
准教授	Associate Professor	末　光　哲　也	Tetsuya Suemitsu
助　教	Assistant Professor	佐　藤　　昭	Akira Sato
助　教（プロジェクト特任）	Assistant Professor	鷹　林　　将	Susumu Takabayashi
研究員	Research Fellow	Adrian Catalin Dobroiu	Adrian Catalin Dobroiu

■ ブロードバンド通信基盤技術研究室（客員）　　Basic Technology for Broadband Communication (Visiting Section)

客員教授	Visiting Professor	大　野　裕　三	Yuzo Ohno
客員准教授	Visiting Associate Professor	廣　畑　貴　文	Atsufumi Hirohata

人間情報システム研究部門　　Human Information Systems Division

■ 生体電磁情報研究室　　Electromagnetic Bioinformation Engineering

教　授	Professor	石　山　和　志	Kazushi Ishiyama
教　授（兼）	Professor*	山　口　正　洋	Masahiro Yamaguchi
教　授（兼）	Professor*	津　田　　理	Makoto Tsuda
教　授（兼）	Professor*	渡　邉　高　志	Takashi Watanabe
准教授	Associate Professor	柵　　修一郎	Shuichiro Hashi
准教授（兼）	Associate Professor*	遠　藤　　恭	Yasushi Endo
准教授（兼）	Associate Professor*	宮　城　大　輔	Daisuke Miyagi
助　教	Assistant Professor	金　　性　勲	Sung Hoon Kim

■ 先端音情報システム研究室　　Advanced Acoustic Information Systems

教　授	Professor	鈴　木　陽　一	Yôiti Suzuki
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*	長谷川　英　之	Hideyuki Hasegawa
准教授（兼）	Associate Professor*	川　下　将　一	Masakazu Kawashita
助　教	Assistant Professor	大　谷　智　子	Tomoko Ohtani
再雇用職員	Technical Staff	齋　藤　文　孝	Fumitaka Saito
研究員	Research Fellow	崔　　正　烈	Zhenglie Cui
研究員	Research Fellow	韓　　喆　洙	Cheolsu Han

■ 高次視覚情報システム研究室　　Visual Cognition and Systems

教　授	Professor	塩　入　　諭	Satoshi Shioiri
教　授（兼）	Professor*	吉　澤　　誠	Makoto Yoshizawa
准教授	Associate Professor	栗　木　一　郎	Ichiro Kuriki
准教授（兼）	Associate Professor*	杉　田　典　大	Norihiro Sugita
助　教	Assistant Professor	松　宮　一　道	Kazumichi Matsumiya
産学官連携研究員	Research Fellow	中　島　亮　一	Ryoichi Nakashima

■ ユビキタス通信システム研究室　　Ubiquitous Communications System

教　授	Professor	加　藤　修　三	Shuzo Kato
教　授（兼）	Professor*	陳　　強	Qiang Chen

職　員

准教授	Associate Professor	中瀬博之	Hiroyuki Nakase
研究員	Research Fellow	Tuncer Baykas	Tuncer Baykas

▪ 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	越田信義	Nobuyoshi Koshida
客員教授	Visiting Professor	三好正人	Masato Miyoshi
客員准教授	Visiting Associate Professor	西村竜一	Ryuichi Nishimura

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
准教授（兼）	Associate Professor*	住井英二郎	Eijiro Sumii
助　教	Assistant Professor	上野雄大	Katsuhiro Ueno
助　教	Assistant Professor	森畑明昌	Akimasa Morihata

▪ コンピューティング情報理論研究室　Computing Information Theory

教　授	Professor	外山芳人	Yoshihito Toyama
教　授（兼）	Professor*	静谷啓樹	Hiroki Shizuya
教　授（兼）	Professor*	大町真一郎	Shinichiro Omachi
准教授	Associate Professor	青戸等人	Takahito Aoto
准教授（兼）	Associate Professor*	酒井正夫	Masao Sakai
准教授（兼）	Associate Professor*	磯邉秀司	Shuji Isobe
助　教	Assistant Professor	菊池健太郎	Kentaro Kikuchi

▪ コミュニケーションネットワーク研究室　Communication Network Systems

教　授	Professor	木下哲男	Tetsuo Kinoshita
教　授（兼）	Professor*	斎藤浩海	Hiroumi Saito
教　授（兼）	Professor*	曽根秀昭	Hideaki Sone
教　授（兼）	Professor*	乾　健太郎	Kentaro Inui
准教授	Associate Professor	北形　元	Gen Kitagata
准教授（兼）	Associate Professor*	岡崎直観	Naoaki Okazaki
准教授（兼）	Associate Professor*	水木敬明	Takaaki Mizuki
助　教	Assistant Professor	高橋秀幸	Hideyuki Takahashi
助　教	Assistant Professor	笹井一人	Kazuto Sasai
産学官連携研究員	Research Fellow	Khamisi Kalegele	Khamisi Kalegele

▪ 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（兼）	Associate Professor*	阿部　亨	Toru Abe
准教授（兼）	Associate Professor*	青木輝勝	Terumasa Aoki
准教授（兼）	Associate Professor*	西山大樹	Hiroki Nishiyama
助　教	Assistant Professor	髙嶋和毅	Kazuki Takashima
産学官連携研究員	Research Fellow	横山ひとみ	Hitomi Yokoyama

▪ 情報社会構造研究室（客員）　Information Social Structure (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	白鳥則郎	Norio Shiratori
客員准教授	Visiting Associate Professor	松下康之	Yasuyuki Matsushita
産学官連携研究員	Research Fellow	和泉　諭	Satoru Izumi

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	庭野道夫	Michio Niwano

▪ 共通部

研究基盤技術センター　技術職員	Technical Staff	岩見友里香	Yurika Iwami
研究基盤技術センター　技術職員	Technical Staff	森田伊織	Iori Morita
研究員	Research Fellow	西村容太郎	Yotaro Nishimura

▪ 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*	亀　山　充　隆	Michitaka Kameyama
教　授（兼）	Professor*	須　川　成　利	Shigetoshi Sugawa
准教授	Associate Professor	櫻　庭　政　夫	Masao Sakuraba
准教授（兼）	Associate Professor*	張　山　昌　論	Masanori Hariyama
助　教	Assistant Professor	秋　間　学　尚	Hisanao Akima

■ 半導体スピントロニクス研究室　Semiconductor Spintronics

教　授	Professor	大　野　英　男	Hideo Ohno
教　授（兼）	Professor*	佐　橋　政　司	Masashi Sahashi
教　授（兼）	Professor*	松　倉　文　礼	Fumihiro Matsukura
准教授（兼）	Associate Professor*	角　田　匡　清	Masakiyo Tsunoda
准教授（兼）	Associate Professor*	齊　藤　　伸	Shin Saito
助　教	Assistant Professor	山ノ内　路　彦	Michihiko Yamanouchi

■ ナノ分子デバイス研究室　Nano-Molecular Devices

教　授	Professor	庭　野　道　夫	Michio Niwano
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	Associate Professor	木　村　康　男	Yasuo Kimura
准教授（兼）	Associate Professor*	平　野　愛　弓	Ayumi Hirano
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
助　教	Assistant Professor	佐　藤　信　之	Nobuyuki Sato

■ ナノスピンメモリ研究室　Nano-Spin Memory

教　授（兼）	Professor*	田　中　　徹	Tetsu Tanaka
教　授（兼）	Professor*	安　藤　康　夫	Yasuo Ando
教　授（兼）	Professor*	遠　藤　哲　郎	Tetsuo Endoh
教　授（兼）	Professor*	島　津　武　仁	Takehito Shimatsu
准教授	Associate Professor	池　田　正　二	Shoji Ikeda
准教授（兼）	Associate Professor*	大　兼　幹　彦	Mikihiko Oogane

附属ブレインウェア実験施設　Laboratory for Brainware Systems

施設長（併）／教授	Director, Professor	羽　生　貴　弘	Takahiro Hanyu

■ 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
教　授（兼）	Professor*	松　木　英　敏	Hidetoshi Matsuki
准教授（兼）	Associate Professor*	佐　藤　文　博	Fumihiro Sato
助　教	Assistant Professor	坂　本　一　寛	Kazuhiro Sakamoto
助　教	Assistant Professor	大　脇　　大	Dai Owaki
助　教	Assistant Professor	加　納　剛　史	Takeshi Kano

■ 知的ナノ集積システム研究室　Intelligent Nano-Integration System

教　授	Professor	中　島　康　治	Koji Nakajima
教　授（兼）	Professor*	川　又　政　征	Masayuki Kawamata
准教授（兼）	Associate Professor*	阿　部　正　英	Masahide Abe
助　教	Assistant Professor	小野美　　武	Takeshi Onomi
研究員	Research Fellow	矢　野　雅　文	Masafumi Yano

■ 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*	一ノ倉　　理	Osamu Ichinokura
教　授（兼）	Professor*	青　木　孝　文	Takafumi Aoki
准教授（兼）	Associate Professor*	中　村　健　二	Kenji Nakamura
准教授（兼）	Associate Professor*	本　間　尚　文	Naofumi Homma
助　教	Assistant Professor	夏　井　雅　典	Masanori Natsui
産学官連携研究員	Research Fellow	白　濱　弘　勝	Hirokatsu Shirahama

職　員

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	村　岡　裕　明	Hiroaki Muraoka

▪ 企画開発部			Project Planning Division
客員教授	Visiting Professor	古　西　　真	Makoto Furunishi

▪ 研究開発部			Technology Development Division
モバイル分野			Mobile Wireless Technology Group
客員教授	Visiting Professor	坪　内　和　夫	Kazuo Tsubouchi
客員教授	Visiting Professor	高　木　　直	Tadashi Takagi
准教授	Associate Professor	平　　明　徳	Akinori Taira
ストレージ分野			Storage Technology Group
准教授	Associate Professor	中　村　隆　喜	Takaki Nakamura
産学官連携研究員	Research Fellow	原　田　正　親	Masachika Harada

安全衛生管理室			Management Office for Safety and Health
室　長（兼）／教授	Manager, Professor	庭　野　道　夫	Michio Niwano
副室長（兼）／教授	Deputy Manager, Professor	上　原　洋　一	Yoichi Uehara
助　教	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研究センター			Flexible Information System Research Center
センター長（兼）／教授	Director, Professor	木　下　哲　男	Tetsuo Kinoshita
教　授（兼）	Professor*	外　山　芳　人	Yoshihito Toyama
教　授（兼）	Professor*	菅　沼　拓　夫	Takuo Suganuma
研究員	Research Fellow	Johan Leif Arne Sveholm	Johan Leif Arne Svehorm

研究基盤技術センター			Fundamental Technology Center
センター長（兼）／教授	Director, Professor	上　原　洋　一	Yoichi Uehara
技術専門員（技術長）	Technical Staff	庄　子　康　一	Koichi Shoji

▪ 工作部			Machine Shop Division
技術専門職員（グループ長）	Technical Staff	末　永　　保	Tamotsu Suenaga
技術一般職員	Technical Staff	佐　藤　圭　祐	Keisuke Sato
技術一般職員	Technical Staff	阿　部　健　人	Kento Abe

▪ 評価部			Evaluation Division
技術一般職員（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
再雇用職員	Technical Staff	我　妻　成　人	Shigeto Agatsuma

▪ プロセス部			Process Division
技術専門職員（グループ長）（兼）	Technical Staff	末　永　　保	Tamotsu Suenaga
技術一般職員	Technical Staff	岩　見　友里香	Yurika Iwami
技術一般職員	Technical Staff	森　田　伊　織	Iori Morita
再雇用職員	Technical Staff	我　妻　康　夫	Yasuo Wagatuma
再雇用職員	Technical Staff	寒河江　克　巳	Katsumi Sagae

▪ 情報技術部			Information Technology Division
技術専門員（グループ長）（兼）	Technical Staff	庄　子　康　一	Koichi Shoji
技術一般職員	Technical Staff	佐　藤　正　彦	Masahiko Sato
技術一般職員	Technical Staff	丸　山　由　子	Yuko Maruyama
再雇用職員	Technical Staff	齋　藤　文　孝	Fumitaka Saito

国際化推進室			Office for the Promotion of International Relations
特任教授	Specially Appointed Professor	沼　田　尚　道	Naomichi Numata

産学官連携推進室			Cooperative Research and Development
特任教授	Specially Appointed Professor	荘　司　弘　樹	Hiroki Shoji

共通

特任教授	Specially Appointed Professor	室　田　淳　一	Junichi Murota

事務部　　Administration Office

事務長	General Manager	伊　藤　保　春	Yasuharu Ito
事務長補佐	Deputy-General Manager	田　口　睦　夫	Mutsuo Taguchi
総務係長	Chief of General Affairs Section	大　沼　　崇	Takashi Onuma
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	山　崎　宏　美	Hiromi Yamazaki
図書係長	Chief of Library Section	菊　地　良　直	Yoshinao Kikuchi
経理係長	Chief of Accounting Section	永　山　博　章	Hiroaki Nagayama
用度係長	Chief of Purchasing Section	松　谷　昭　広	Akihiro Matsuya
機構支援室長	General Manager of Support Division	小　林　正　行	Masayuki Kobayashi

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第20号

2014年８月発行

発　行　者　　大　野　英　男

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

wwwアドレス　　http://www.riec.tohoku.ac.jp/index-j.html

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