RIEC

Annual Report 2007

研究活動報告

第14号（2007年度）



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

目　　次

【本編】

第1章　緒言…… 1

第2章　組織・運営
1項　組織図…… 3
2項　運営協議会名簿…… 4
3項　共同研究組織…… 5
4項　教育組織…… 6

第3章　研究活動
1節　情報デバイス研究部門の目標と成果…… 7
1項　ナノフォトエレクトロニクス研究分野…… 8
2項　物性情報工学研究分野…… 10
3項　量子光情報工学研究分野…… 12
4項　誘電ナノデバイス研究分野…… 14
5項　プラズマ電子工学研究分野…… 16
2節　ブロードバンド工学研究分野の目標と成果…… 18
1項　超高速光通信研究分野…… 20
2項　応用量子光学研究分野…… 23
3項　先端ワイヤレス通信技術研究分野…… 25
4項　情報ストレージシステム研究分野…… 27
5項　超ブロードバンド信号処理研究分野…… 29
6項　ブロードバンド通信基盤技術研究分野…… 32
3節　人間情報システム研究部門の目標と成果…… 36
1項　生体電磁情報研究分野…… 38
2項　先端音情報システム研究分野…… 40
3項　高次視覚情報システム研究分野…… 42
4項　先端情報通信領域創成研究分野…… 44
4節　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果…… 46
1項　ソフトウェア構成研究分野…… 48
2項　コンピューティング情報理論研究分野…… 50
3項　コミュニケーションネットワーク研究分野…… 52
4項　情報コンテンツ研究分野…… 54
5項　情報社会構造研究分野…… 56
5節　ナノ・スピン実験施設の目標と成果…… 58
1項　ナノヘテロプロセス研究部…… 66
2項　半導体スピントロニクス部…… 68
3項　ナノ分子デバイス研究部…… 70
4項　ナノスピンメモリ研究部…… 72
6節　ブレインウェア実験施設の目標と成果…… 74
1項　実世界コンピューティング研究部…… 76
2項　ブレインアーキテクチャ研究部…… 78
3項　知的ナノ集積システム研究部…… 80
4項　マイクロアーキテクチャ研究部…… 82
7節　21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果…… 84

1項　企画開発部…… 86
2項　研究開発部 モバイル分野 …… 88
3項　研究開発部 ストレージ分野 …… 90
8節　安全衛生管理室…… 92
9節　やわらかい情報システム研究センター…… 94
10節　研究基盤技術センター…… 96

第4章　共同プロジェクト研究
1節　共同プロジェクト研究の理念と概要 …… 99
H17/A01　知的ナノ集積システムの実現に関する研究…… 102
H17/A02　高周波キャリア型磁界センサにおける不連続インピーダンス特性の原理考察と応用検討…… 105
H17/A04　フォトニック結晶の光産業技術への展開…… 107
H17/A05　プラズマナノ理工学基盤研究…… 110
H17/A06　Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究…… 115
H17/A08　視覚の統合処理過程の解明とその応用…… 118
H17/A09　Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究 …… 121
H17/A11　高機能有機薄膜センサーに関する研究…… 123
H17/A12　人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究…… 125
H17/A13　細胞バイオトロニクスに関する研究…… 128
H17/A14　ＲＦ帯パーミアブルマテリアルによる高集積度ＲＦデバイスの開発…… 131
H18/A01　半導体ヘテロ接合ナノ構造を利用したテラヘルツ帯プラズマ電子波デバイスの研究 …… 134
H18/A02　ノンクラシカルⅣ族ヘテロ構造デバイスの高性能・高信頼化の研究…… 137
H18/A03　センサーコンピューティングによるウェアラブル情報共有空間の構築に関する研究…… 140
H18/A04　非線形波動制御を基調とする全電気テラヘルツ光源の研究…… 143
H18/A06　音響情報によるセキュリティ向上技術に関する研究…… 146
H18/A07　超伝導計算機の基礎と応用に関する研究…… 149
H18/A10　聴覚を利用した拡張現実感システムの構築に向けた基礎的研究…… 152
H18/A12　新規非鉛系環境調和型圧電・光学単結晶の育成と超音波マイクロスペクトロスコピー …… 155
H18/A13　視覚情報の脳内表現に関する研究…… 158
H19/A01　超高周波対応磁性ナノ粒子分散型磁性誘電材料に関する研究…… 161
H19/A02　ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究…… 164
H19/A03　高次スピン機能材料の理論設計と創製…… 167
H19/A04　Ⅳ族半導体量子ドットの価電子制御とＭＯＳメモリへの応用…… 169
H19/A05　３Ｄサウンドによる視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究…… 171
H19/A06　頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究…… 174
H19/A07　脳内における色情報の基本表現（色覚アルファベット）に関する研究…… 177
H19/A08　ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用…… 180
H19/A09　自己組織化ナノ磁性体のＳＴＴマイクロ波発振と応用に関する研究…… 182
H19/A10　補聴器への周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究…… 185
H19/A11　ＳＮＤＭナノサイエンス＆テクノロジー創成に関する研究…… 188
H19/A12　電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究…… 190
H19/A13　利用者の状況に適応する分散型情報表示システムの構築と生理的指標による評価…… 193
H19/A14　次世代ホットスポットネットワークの研究…… 196
H19/A15　高度コミュニケーション支援のためのインターネットコンピューティングに関する研究…… 199
H19/A16　次世代ビームテクノロジーの基盤研究…… 202
H17/B01　ペタバイト級情報ストレージシステムの研究…… 205
H17/B02　電気・水素複合エネルギーシステム…… 207

H17/B04　ナノスケール半導体の物理とそのナノテクノロジーへの展開…… 210
H17/B05　ナノスピンマニピュレーションのための高性能交換磁気異方性材料の研究…… 213
H17/B07　ソフトウェア検証の理論と実践…… 216
H17/B08　スピンエレクトロニクスの新展開…… 219
H17/B09　マイクロ波帯磁気応用技術に関する研究…… 220
H17/B10　プログラム自動生成とその信頼性に関する研究…… 223
H17/B11　超高速光パルス制御技術に関する研究…… 226
H17/B12　高結合圧電材料とその応用に関する研究…… 229
H18/B01　ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究…… 232
H18/B04　マルチメディア情報ハイディングの研究…… 234
H18/B05　ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究…… 237
H18/B06　適応的な行動の発現と制御のメカニズム…… 240
H18/B08　新概念回路技術展開型超高速コンピューティングの創造開拓…… 243
H18/B09　新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックおよびシステムインテグレーション技術…… 246
H18/B10　生体電磁情報取得のための磁気利用技術…… 249
H19/B01　民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望…… 252
H19/B02　光を用いた地震等の計測とそのネットワーキングに関する研究…… 255
H19/B03　空間音響と次世代情報通信技術の接点と展望…… 258
H19/B04　微粒子プラズマ科学の展開…… 259
H19/B05　次世代通信・計測システムのデバイス開発と応用技術に関する研究…… 262
H19/B06　ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究…… 265
H19/B07　高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究…… 268
H19/B08　半導体ゲートスタック・ナノ構造形成過程のダイナミクスと応用に関する研究…… 271
H19/B09　証明論的アプローチによるプログラム構成原理…… 274
H19/B10　流れが深く関与するプラズマ物性の基礎と応用…… 277

第5章　国際会議・シンポジウム等

1節　通研国際シンポジウム…… 281
1項　日中音響学会議2007…… 281
(Japan-China Joint Conference on acoustics (JCA2007))
2項　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…… 282
(The 18th International Conference on Algorithmic Learning Theory & The 10th International Conference on Discovery Science)
3項　第3回スピントロニクス国際ワークショップ…… 283
(The 3rd RIEC International Workshop on Spintronics, Solid-State Quantum Information technology -Spin, Photon, and Superconductivity-)
4項　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…… 284
(3rd International Workshop on New Group ⅣSemiconductor Nanoelectronics)
5項　第1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…… 285
(International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics)
6項　第18回アルゴリズムと計算に関する国際会議…… 286
(The 18th International Symposium on Algorithms and Computation(ISAAC2007))
2節　国際会議等の開催状況…… 287
1項　第5回Siエピタキシー＆ヘテロ構造国際会議 …… 287
(5th Int.Conf.on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5))
2項　第2回移動知国際シンポジウム in 淡路…… 288
(2nd International Symposium on Mobiligence, July 18-20, 2007, Awaji, Japan)
3項　第5回ECS ULSIプロセスインテグレーション国際会議 …… 289
(5th ECS Int. Symp. on ULSI Process Integration)

4項　第8回垂直磁気記録国際会議…… 290
（The 8th Perpendicular Magnetic Recording Conference）
5項　第5回半導体界面制御国際会議…… 291
（5th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-V)）
6項　センシング•コンピューティング•コミュニケーションと応用に関する国際会合…… 292
（International Meeting on Emerging VLSI for Sensing/Computing/Communication and Its application）
3節　工学研究会…… 293
1項　伝送工学研究会…… 294
2項　音響工学研究会…… 295
3項　仙台"プラズマフォーラム"…… 295
4項　ＥＭＣ仙台ゼミナール…… 296
5項　コンピュータサイエンス研究会…… 296
6項　システム制御研究会…… 297
7項　情報バイオトロニクス研究会…… 297
8項　スピニクス研究会…… 298
9項　ニューパラダイムコンピューティング（NPC）研究会…… 299
10項　超音波エレクトロニクス研究会…… 300
11項　ブレイン機能集積工学研究会…… 302
12項　情報・数物研究会…… 302
13項　生体・生命工学研究会…… 303
14項　ナノ・スピン工学研究会…… 304
4節　通研講演会…… 305
1項　Adelbert Bronkhorst　Spatiotemporal interactions between audition and vision …… 305
2項　松本　和彦　カーボンナノチューブの量子伝導とバイオセンサー応用 …… 306
3項　薮上　信　室温で動作し10^{-13}T台の磁界検出分解能を有する薄膜磁界センサ …… 306
杉浦　行　電源線伝導妨害波とその抑圧について…… 306
4項　Emma Byrne　ロボットサイエンティストの一般知能と特殊知能…… 307
5項　大須賀美恵子　生理心理計測とバーチャルリアリティのウエルネス応用…… 307
6項　篠原　康雄　シトクロムｃはミトコンドリアからどのようにして放出されるのか…… 308
7項　夏井　雅典　進化的計算に基づくアナログ回路設計支援技術の実用化に向けて…… 308
8項　米田　友洋　非同期式回路設計技術の現状…… 309
9項　石川　眞澄　脳に学ぶロボットの学習と発達…… 309
10項　虫明　元　随意運動から認知行動への神経科学的アプローチ…… 310
11項　近藤　雅文　オンチップ伝達関数補正回路付ＰＬＬ…… 310
12項　樺島　祥介　More is different の話 …… 311
13項　長崎　浩　日常動作という運動技能…… 311

第6章　評価と分析
1節　運営協議会報告…… 313
2節　過去の運営協議会委員名簿…… 319

第7章　結言…… 321

【資料編】

第 1 章　予算の概要 …… 323
1 節　競争的資金の獲得状況 …… 324
2 節　非常勤研究員経費 …… 330
3 節　奨学寄附金の受け入れ …… 331

第 2 章　研究・学会活動状況 …… 332
1 節　国際活動 …… 332
2 節　発表論文数 …… 333
3 節　学会役員一覧 …… 334
4 節　外国の大学等との学術交流交換協定締結一覧 …… 336
5 節　学振特別研究員及び研究所研究員 …… 337
6 節　特別研究員・大学院生の受入状況 …… 338
7 節　広報活動と情報公開 …… 339

第 3 章　論文題目 …… 340
1 節　修士論文題目 …… 340
2 節　博士論文題目 …… 343

第 4 章　受章・受賞 …… 344
1 節　本年度の受章・受賞者 …… 344
2 節　学会フェロー等 …… 346

第 5 章　トピックス …… 347

付　録　教員の最終学歴一覧表 …… 403
教員の充足率 …… 404
構成員 …… 405

第 1 章　緒　言

緒言

電気通信研究所は情報通信に関する全国で唯一の国立大学法人の大学附置研究所であり、八木・宇田アンテナやマグネトロンなど本学で展開された情報通信における先駆的研究を受けて設立されました。それ以後一貫して日本の情報通信に関する COE として研鑽を積んで参りました。1994 年には「高密度及び高次の情報通信に関する学理並びにその応用の研究」を行う全国共同利用研究所へ転換致しました。それと共に超微細電子回路実験施設に代わって、「超高密度・高速知能システム実験施設」が設置され、2002 年には産学連携による新情報通信産業の創生を目指した「附属二十一世紀情報通信研究開発センター（IT21 センター)」が新設されました。さらに 2004 年には国立大学が法人化されるのと期を一にして、改組を行い、研究所の組織を 20 年のホライズンの研究を行う 4 大研究部門、10 年のホライズンで活動する 2 実験施設、そして 5 年のホライズンを特化して行う研究開発センターの 3 体制として現在に至っています。研究所としては高密度及び高次情報通信に関するこれまでの研究成果を基盤とし、人間性豊かなコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用を研究する中枢としての役割を果たすことを目指しております。

現在の組織は来るべき次世代のグローバル・ユビキタス情報通信時代を実現するための適切な研究体制であると思っております。研究部門は情報通信の基盤技術を研究・開発しており、情報通信の基盤技術であるハードを担当する、情報デバイス部門、通信方法を研究するブロードバンド工学部門、人間性豊かな情報を研究する人間情報システム部門と情報システムのアーキテクチャやソフトウェアを研究するシステム・ソフトウェア部門の 4 部門からなっています。次の実用化研究に繋がる中期の研究を行う実験施設のうち、ナノ・スピン実験施設は高速・大量の情報処理を支援する基盤技術の開発をおこなっていますし、もう一つのブレインウェア実験施設は、これは本研究所がこれまで培ってきたハードとソフトの研究を融合することで、今後の情報社会を先導することを目指しています。短期の実用化研究を行う IT２１センターでは産官学の密接な連携による実用化技術研究開発センターとして、新しい技術を創生することで、新産業を創生し、情報通信産業市場の拡大と言う直接的な社会貢献を行っています。

日本の研究教育再生が大きく取りあげられている昨今ですが、基本となるものは「学問の自由」と「大学の自治」であることには変わりはありません。研究所自らが定めた理念に向かって、自らが学問を展開していくことが「学問の自由」であり、その組織を自らが統治していくことが「大学の自治」であり、そこでの研究成果が結果としてイノベーションを引き起こすからです。歴史的にみても、一つのアイデアが実を結んで実用化に至るまでに 20～30 年掛かることも珍しくありません。本研究所は開所以来「イノベーションの拠点」としての役割を果たしてきましたし、これからも研究開発を精力的に展開することで、その機能が持続していくように努めていく所存です。

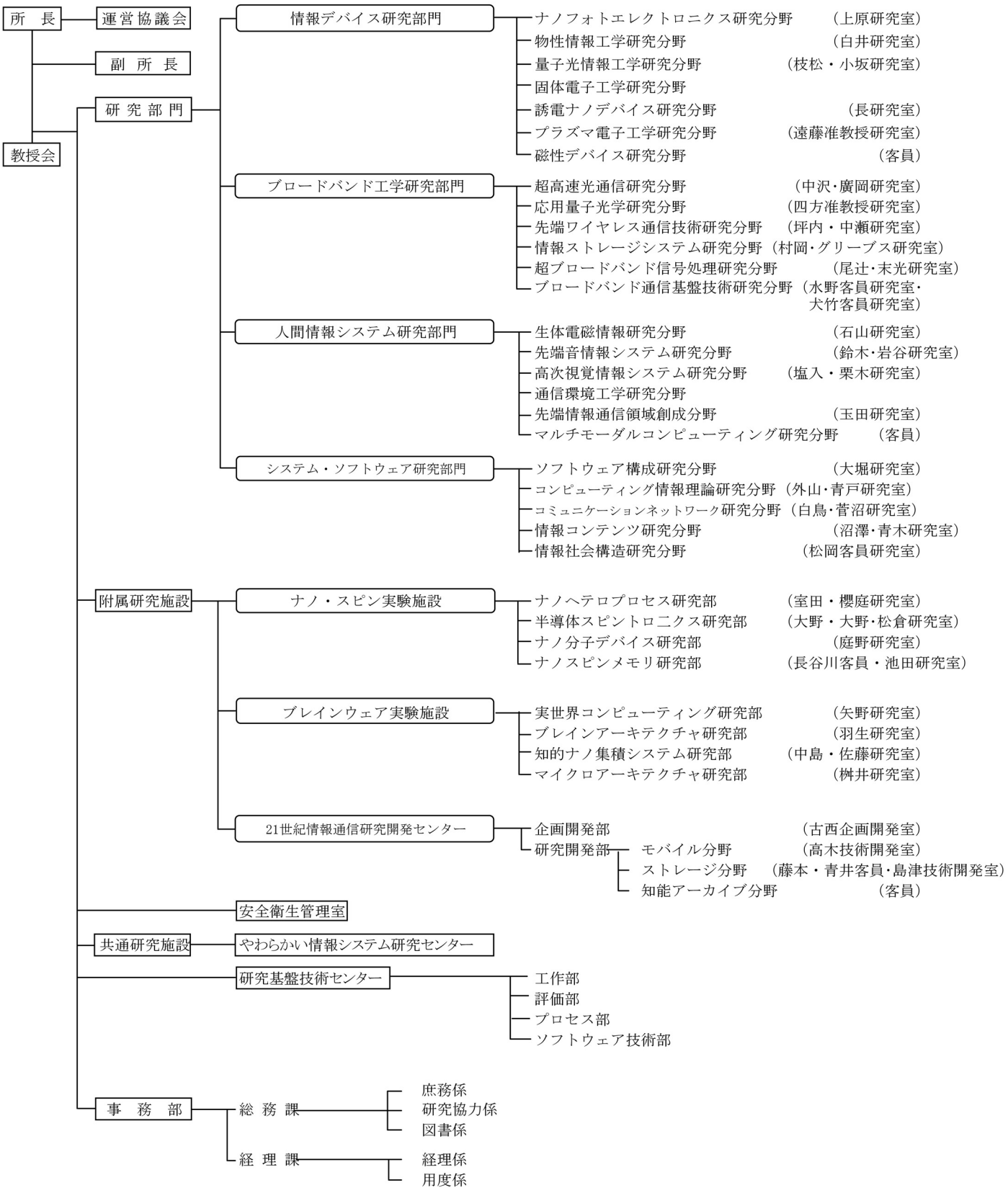
本研究活動報告は1994年に本研究所が全国共同利用研究所に改組して以来毎年発行しており、今回で14号となります。これは研究所の活動を広く皆様にご報告するとともに、研究所の自己点検・評価の資料として使用しているところです。なお、本研究所はこれまで通り、工学研究科と情報科学研究科の電気・情報系の諸専攻と一致協力して教育と研究に当たり、わが国の情報通信分野の進展に寄与していく所存です。これまで以上のご支援ご鞭撻及び本活動報告についての忌憚ないご意見をお願い申し上げ、巻頭のご挨拶といたします。

平成20年5月30日

電気通信研究所長　矢　野　雅　文

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分野　（上原研究室）
物性情報工学研究分野　（白井研究室）
量子光情報工学研究分野　（枝松・小坂研究室）
固体電子工学研究分野
誘電ナノデバイス研究分野　（長研究室）
プラズマ電子工学研究分野　（遠藤准教授研究室）
磁性デバイス研究分野　（客員）
ブロードバンド工学研究部門
超高速光通信研究分野　（中沢･廣岡研究室）
応用量子光学研究分野　（四方准教授研究室）
先端ワイヤレス通信技術研究分野　（坪内・中瀬研究室）
情報ストレージシステム研究分野　（村岡･グリーブス研究室）
超ブロードバンド信号処理研究分野　（尾辻･末光研究室）
ブロードバンド通信基盤技術研究分野　（水野客員研究室･犬竹客員研究室）
人間情報システム研究部門
生体電磁情報研究分野　（石山研究室）
先端音情報システム研究分野　（鈴木･岩谷研究室）
高次視覚情報システム研究分野　（塩入・栗木研究室）
通信環境工学研究分野
先端情報通信領域創成分野　（玉田研究室）
マルチモーダルコンピューティング研究分野　（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分野　（大堀研究室）
コンピューティング情報理論研究分野　（外山･青戸研究室）
コミュニケーションネットワーク研究分野　（白鳥･菅沼研究室）
情報コンテンツ研究分野　（沼澤･青木研究室）
情報社会構造研究分野　（松岡客員研究室）
附属研究施設
ナノ・スピン実験施設
ナノヘテロプロセス研究部　（室田・櫻庭研究室）
半導体スピントロニクス研究部　（大野・大野･松倉研究室）
ナノ分子デバイス研究部　（庭野研究室）
ナノスピンメモリ研究部　（長谷川客員・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部　（矢野研究室）
ブレインアーキテクチャ研究部　（羽生研究室）
知的ナノ集積システム研究部　（中島・佐藤研究室）
マイクロアーキテクチャ研究部　（桝井研究室）
21世紀情報通信研究開発センター
企画開発部　（古西企画開発室）
研究開発部
モバイル分野　（高木技術開発室）
ストレージ分野　（藤本・青井客員･島津技術開発室）
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
工作部
評価部
プロセス部
ソフトウェア技術部
事　務　部
総　務　課
庶務係
研究協力係
図書係
経　理　課
経理係
用度係

２．２　運営協議会名簿

運営協議会は、東北大学電気通信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、研究所の長の諮問に応じ、審議する組織である。

青木　利晴（委員長）株式会社 ＮＴＴデータ 取締役相談役
青野　正和（委　員）独立行政法人物質・材料研究機構フェロー
有信　睦弘（　〃　）株式会社 東芝 執行役常務 研究開発センター所長
大森　慎吾（　〃　）独立行政法人 情報通信研究機構 理事
片桐　　滋（　〃　）同志社大学工学部 教授
小林　直人（　〃　）独立行政法人 産業技術総合研究所 理事
坂内　正夫（　〃　）情報・システム研究機構理事、国立情報学研究所長
武市　正人（　〃　）東京大学大学院情報理工学系研究科長
谷岡　健吉（　〃　）ＮＨＫ放送技術研究所長
横山　直樹（　〃　）株式会社 富士通研究所
　　フェロー兼ナノテクノロジー研究センター長
吉田　　博（　〃　）大阪大学産業科学研究所教授
橋本　　治（　〃　）東北大学大学院理学研究科長
内田　龍男（　〃　）東北大学大学院工学研究科長
佐々木公明（　〃　）東北大学大学院情報科学研究科長
中嶋　一雄（　〃　）東北大学金属材料研究所長
齋藤　文良（　〃　）東北大学多元物質科学研究所長
川添　良幸（　〃　）東北大学情報シナジーセンター長
根元　義章（　〃　）東北大学大学院情報科学研究科教授

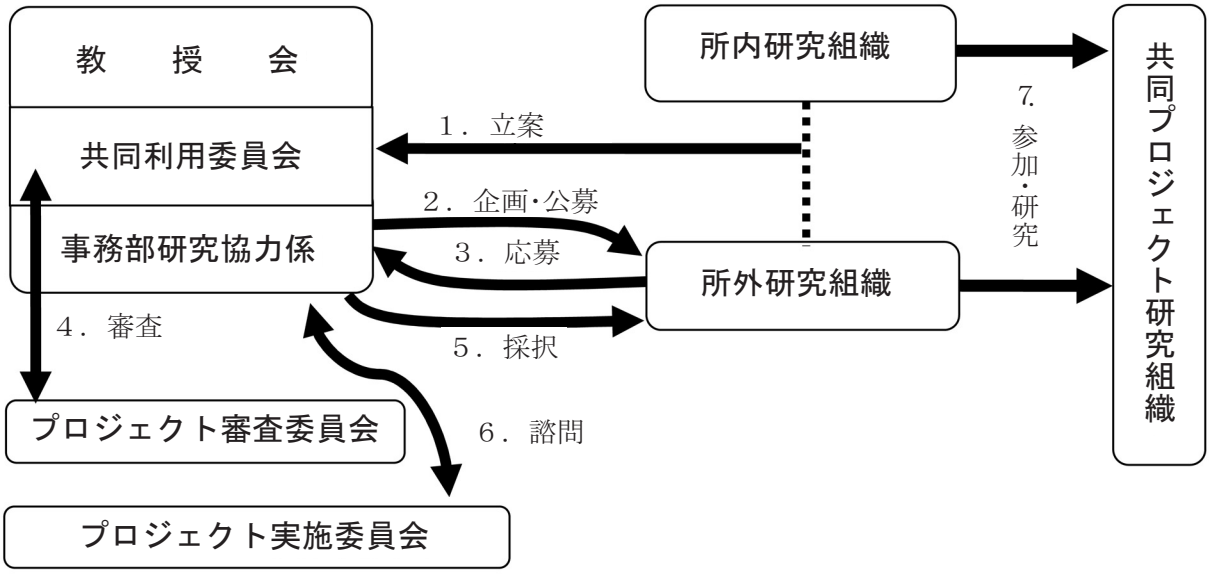
２．３　共同研究組織

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撮りながら、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戴き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同利用委員会」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「プロジェクト審査委員会」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「プロジェクト実施委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

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



２．４　教育組織

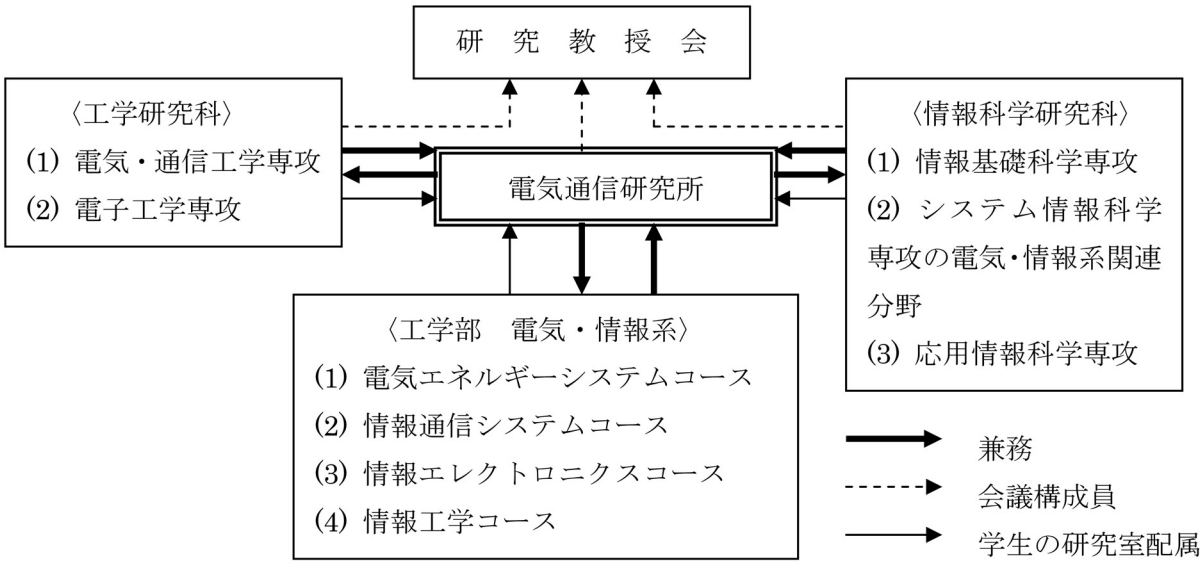
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学専攻が順次設立されるとともに、「一体運営」の協力関係が維持されている。

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ある。大学院重点化に伴い、通研教員と大学院の関係は兼担から兼務へ変わっている。その結果、2007 年度は、通研の 22 分野のうち 8 研究分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、12 研究分野が電子工学専攻に、2 研究分野が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 研究分野がシステム情報科学専攻に、1 研究分野が応用情報科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 194 名、一研究室当たり平均 7.2 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個々で審議される。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 4 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 としての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，室温強磁性半導体デバイス，分子情報デバイス，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 7 研究分野を設置し，さらにナノ・スピン実験施設の１分野であるナノヘテロプロセス研究部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分野
2. 物性情報工学研究分野
3. 量子光情報工学研究分野
4. 固体電子工学研究分野
5. 誘電ナノデバイス研究分野
6. プラズマ電子工学研究分野
7. 磁性デバイス研究分野（客員研究分野）

各分野ごとの，目標ならびに２００７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． なおナノヘテロプロセス研究部の目標・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分野

ナノ構造物性の探索とデバイス応用

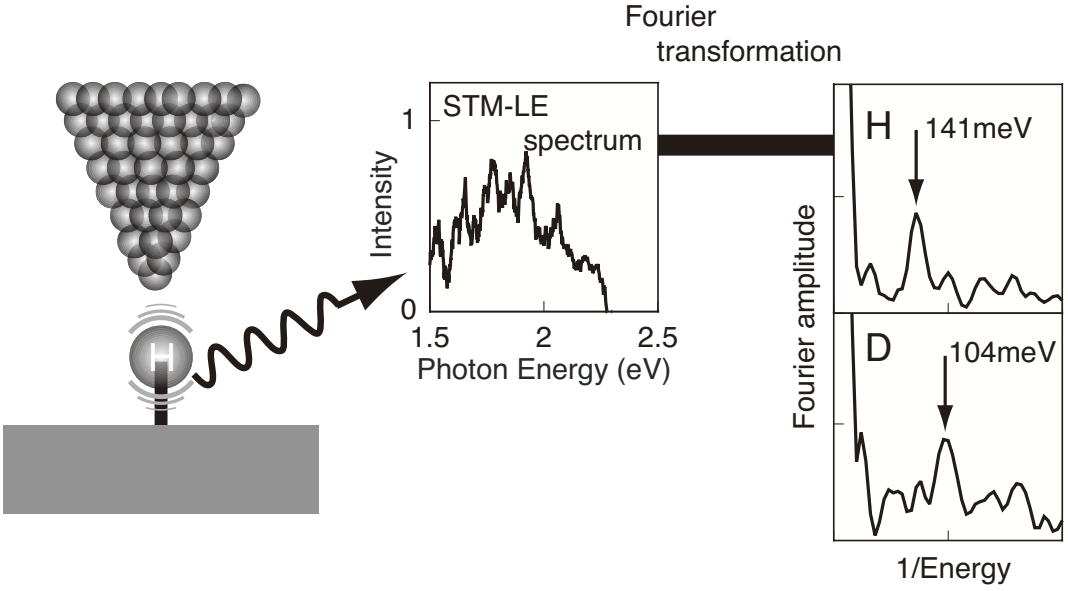


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

＜分野の目標＞

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。走査トンネル顕微鏡（STM）を用いた局所分光（STM発光分光、走査トンネル分光、探針増強ラマン分光など）、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。

＜2007 年度の主な成果＞

１．個々の表面吸着種の振動分光

表面吸着原子・分子種はその種に特有な振動数で振動していることが知られている。このことから、その値を原子位置分解で計測することにより、一つひとつの表面吸着原子・分子種の同定が可能になる。本研究分野では、STM発光による個々の表面吸着種の振動分光法の開発を行ってきた（STM発光振動分光法）。nAレンジのトンネル電流で励起される

STM発光は本質的に微弱であり、計測精度の向上には発光強度の増強が求められる。今年度は可視域から紫外域かけてにプラズモン共鳴を有する銀から作った探針やレーザーアブレーション法で作製した孤立銀微粒子（直径：5~10 nm）によるSTM発光の増強を試みた。その結果、数十倍から数百倍の発光強度の増強に成功し、吸着酸素の同位体シフト量とグラファイト基板のフォノン・エネルギーの観測に成功した。

２．新しい計測手法の開発

個々のナノ構造におけるフォノンの時間振る舞いの理解は、基礎科学の観点からだけではなくナノデバイスの動作予測の観点からも重要である。上述のSTM発光振動分光とピコ秒レーザーを組み合わせること（例えば、Y. Uehara et al., “Scanning tunneling microscope light emission spectroscopy with picosecond time-resolution”, Applied Phys. Lett. 76, 2487 (2000).）により、原子位置分解能とピコ秒の時間分解能を有する振動分光法が実現できると考えている。以前の研究から、ピコ秒の時間分解能を得るためのSTM探針-試料ギャップへのピコ秒レーザー（パルス幅＜2ps）照射により、数10ps以上の非常に長い持続時間を有する表面プラズモン（SPP）からの発光が励起されることが分かっていた。時間分解STM発光をナノ構造のフォノン物性の研究に応用するためには、この長い寿命時間発光の原因を解明しておくことが重要である。SPPが発光性となるクレッチマン配置に於いて、ピコ秒レーザーにより励起されたSPPからの発光の時間分解スペクトルを観測し、励起光パルス幅やSPPの寿命時間から期待される以上の長い持続時間を発光が有することを確認した。また、その物理的起源についてモデル提唱を行った。

＜職員名＞

教　授　上原　洋一（2005 年より）
助　教　片野　　諭（2006 年より）

＜教授のプロフィール＞

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）。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Uehara and S. Ushioda, “Vibration-induced structures in scanning tunneling microscope light emission spectra of Ni(110)-streaky (1 x 2)-H”, Surface Science **601**, 5643-5648 (2007).
[2] T. Sanbongi, S. Katano, Y. Uehara, and S. Ushioda, “Time-Resolved Spectroscopy of Laser-Induced Light Emission from an Evaporated Au Film in the Kretschmann Geometry”, Japanese Journal of Applied Physics (in press).
[3] 上原洋一、潮田資勝, “走査型トンネル顕微鏡（STM）発光の高感度計測技術”, 真空 (印刷中).

物性情報工学研究分野

次世代情報デバイス創製のための新機能材料の理論設計

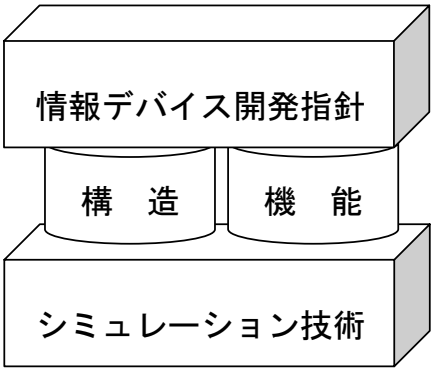


図１．研究目標の概念図

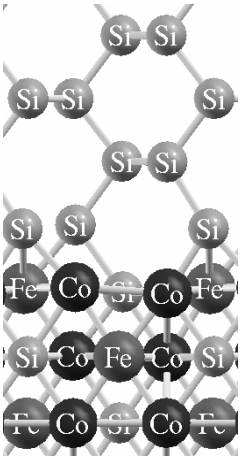


図２．高スピン偏極率が保持される
ホイスラー合金／シリコン(110)界面

＜分野の目標＞

本研究分野では、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・機能の設計手法を確立することを目指している。

現在は、スピンエレクトロニクス研究の一環として、高スピン偏極材料やそれを用いたデバイス構造において発現するスピン機能の理論設計を主たる研究テーマとしている。また、表面・界面におけるナノ構造形成プロセスのシミュレーションにも着手している。

＜2007 年度の主な成果＞

１．垂直磁気材料電極トンネル接合の理論設計

将来のスピンエレクトロニクス素子の高集積化を念頭に置くと、微細化に伴う磁化の熱ゆらぎに対する耐性の向上が重要な課題となることが予想される。この問題を解決する方策の一つとして、大きな結晶磁気異方性を有する強磁性材料の利用が有望であると考えられる。そこで、垂直磁気材料として知られている鉄・白金(FePt)規則合金のスピン源としての有用性を検討した。単結晶酸化マグネシウム(MgO)を障壁層とした FePt／MgO／FePt(001)磁気トンネル接合おけるスピン依存伝導を第一原理計算したところ、鉄原子で終端された接合界面に対して 400%を超える巨大なトンネル磁気抵抗比が得られた。この結果は、MgO 障壁層を優先的に透過する対称性をもつ電子が、少数スピンの場合にのみ鉄終端界面において顕著に散乱されることに起因している。以上の研究成果より、鉄終端 FePt／MgO(001)接合が非磁性半導体または金属への有望なスピン注入源であると期待できる。

２．シリコンへの高効率スピン注入源の理論設計

現在のエレクトロニクスの基幹を担うデバイス・プロセス技術の有効活用を考慮すると、シリコンをベースとしたスピンエレクトロニクス・デバイスの開発が急務である。特に、シリコンへの高効率なスピン注入を可能にする磁性材料の実現が非常に重要な課題となる。バルクにおいて高スピン偏極率を有する強磁性材料は、スピン注入源として有望な材料であるが、半導体とヘテロ接合を形成すると界面付近において著しいスピン偏極率の低下を示す場合が多い。そこで、ホイスラー合金とシリコンのヘテロ接合の電子構造を第一原理計算することにより、界面においても高スピン偏極率が保持されるヘテロ接合を探索した。その結果、ホイスラー合金 Co_2FeSi とシリコンの(110)界面において、高スピン偏極率が保持されることを初めて見出した。ホイスラー合金 Co_2FeSi は高い強磁性転移温度を有し、実際にシリコン基板表面の熱酸化膜上に規則合金として形成可能である。以上の研究成果より、高スピン偏極ホイスラー合金とシリコンの(110)接合が、高効率スピン注入の実現のために有望であると期待できる。

＜職員名＞

教　授　白井 正文（2002 年より）
助　教　阿部 和多加、三浦 良雄

＜教授のプロフィール＞

1984 年 3 月　大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業。1988 年 3 月　同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　同大基礎工学部技官（教育職）。1988 年 11 月　同助手。1996 年 4 月　同助教授。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。酸化物超伝導体の電子格子相互作用、遷移金属化合物の遍歴電子磁性、第一原理計算に基づく機能物質設計に関する理論研究に従事。第 8 回井上研究奨励賞受賞（1992 年）。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Miura, H. Uchida, Y. Oba, K. Nagao, and M. Shirai, “Coherent tunneling conductance in magnetic tunnel junctions of half-metallic full Heusler alloys with MgO barriers,” J. Phys.: Condensed Matter, Vol.19, No.36, Article no.365228, pp.1-7, 2007.

[2] T. Nakano, M. Shirai, Y. Miura, and K. Nagao, “The computational materials design of (Ga,Cr)N: Effects of co-doping on exchange interactions,” J. Phys.: Condensed Matter, Vol.19, No.36, Article no.365238, pp.1-6, 2007.

[3] Y. Miura, Y. Oba, K. Abe, and M. Shirai, “A first-principles study on transport properties in magnetic tunnel junctions of Co-based full-Heusler alloys with MgO barrier,” International Symposium on Frontiers in Computational Science of Nanoscale Transport, Tokyo, Japan, June 7-8, 2007.

[4] M. Shirai, “Half-metallic Heusler alloys for magnetic tunnel junctions of MRAM: A first-principles study (invited),” Materials Today Asia Symposium on the Functional Materials for Nonvolatile Memories, Beijing, China, September 3-5, 2007.

[5] M. Shirai, “The effect of defects and impurities in diluted magnetic semiconductors (invited),” Polish-Japanese Joint Seminar on Ferromagnetism and Magnetic Nanostructures in Semiconductors, Warsaw, Poland, September 27-28, 2007.

[6] Y. Taniguchi, Y. Oba, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “A first-principles study on electronic and transport properties of FePt/MgO/FePt(001) magnetic tunnel junctions,” IEEE 6th International Symposium on Metallic Multilayers, Perth, Australia, October 15-19, 2007.

[7] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “*Ab initio* study on interface oxidation of Co_2MnSi/MgO/Co_2MnSi magnetic tunnel junction,” 52nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Tampa, Florida, USA, November 5-9, 2007.

量子光情報工学研究分野

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

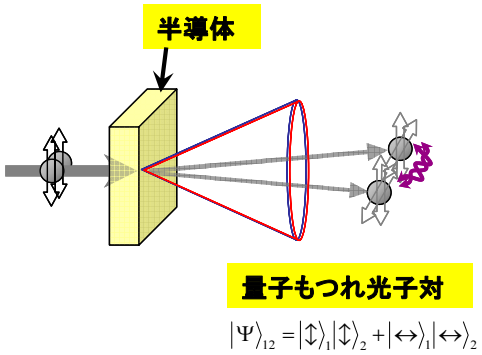


図１．半導体を用いた量子もつれ光子対発生

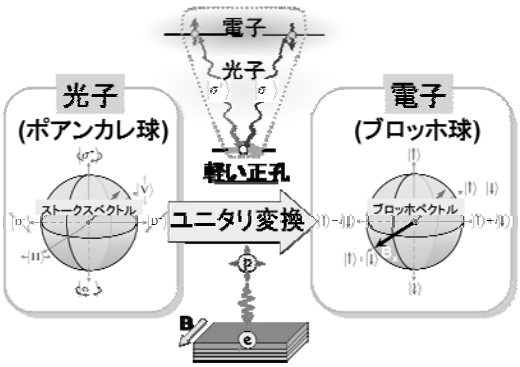


図２．光子の偏光→電子スピンへの量子メディア変換

＜分野の目標＞

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。

＜2007 年度の主な成果＞

(1) 新材料を用いた量子もつれ光子対の発生

量子相関をもった光子対の発生とその利用技術は，量子情報通信技術の根幹をなす重要な要素の一つである。本研究分野では，半導体や擬似位相整合非線形光学結晶を用いた量子もつれ光子の発生について研究している。本年度は，(1)半導体からの高純度な量子もつれ光子対生成に成功，(2)擬似位相整合素子を用いた量子もつれ光子対の新しい生成方法を開発，(3)空間相関光子対を用いた偏光量子もつれの生成に成功，等の成果を得た。

(2) 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子暗号通信（量子暗号鍵配布）は，量子情報通信技術の中で最も実用化が進んでいるものの一つであるが，その通信可能距離の延伸が目下の課題となっている。本分野では，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た基礎デバイスの開発を行っている。これまでに，単一光子→単一電子量子非破壊検出素子の開発に成功し，単一光子がもつ偏光の量子情報を電子スピンへと転写する量子

メディア変換素子の開発を行っている。本年度は，ｇ因子を制御した半導体量子井戸を用い，光の偏光状態のコヒーレンスを電子のスピン状態へと転写することに世界で初めて成功した。

＜職員名＞

教授　　枝松圭一（2003/1～）
助教授　小坂英男（2003/7～）
助手　　三森康義（2004/2～）

＜教授のプロフィール＞

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

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Photon polarization entanglement induced by biexciton: experimental evidence for violation of Bell's inequality [G. Oohata, R. Shimizu, and K. Edamatsu: Phys. Rev. Lett. **98**, 140503/1-4 (2007)]

[2] Polarization entanglement of photons from a biexciton. [K. Edamatsu, G. Oohata, and R. Shimizu: Proc. of the 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC-8), 1-4 (2007)

[3] Generation of polarization entangled photons using a spatial correlation in spontaneous parametric down-conversion. [R. Shimizu, T. Yamaguchi, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu: Proc. 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC-8), 43-46 (2007)]

[4] Quantum state transfer from a photon to an electron spin for building a quantum repeater. [H. Kosaka, T. Kutsuwa, K. Arai, Y. Rikitake, K. Ono, H. Imamura, T. Takagahara, Y. Mitsumori1, K. Edamatsu: Proc. 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC-8), 575-578 (2007)]

[5] A quantum device interfacing photons and spins for quantum repeaters. [H. Kosaka, T. Kutsuwa, K. Arai, Y. Rikitake, K. Ono, H. Imamura, T. Takagahara, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu: Proc. 28th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2006), 1099-1100 (2007).]

[6] Effect of the electron-hole exchange interaction on the photon-spin quantum state transfer. [Y. Rikitake, H. Imamura, and H. Kosaka: Proc. 28th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2006), 1103-1104 (2007)]

[7] Theoretical analysis of the optimal conditions for photon-spin quantum state transfer. [Y. Rikitake, H. Imamura, and H. Kosaka: J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 114004/1-6 (2007)]

[8] Pulsed high peak power millimeter wave generation via difference frequency generation using periodically poled lithium niobate. [K. Suizu, T. Shiibya, S. Nagano, T. Akiba, K. Edamatsu, H. Ito, and K. Kawase: Jpn. J. Appl. Phys. **46**, L982-L984 (2007)]

[9] Lossless all-optical phase gate using a polarization-division sagnac interferometer applicable to a waveguide-type Kerr medium. [N. Matsuda, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, and R. Shimizu: Appl. Phys. Lett. **91**, 171119/1-3 (2007)]

[10] 800-nm band cross-polarized photon pair source using type-II parametric down-conversion in periodically poled lithium niobate. [S. Nagano, R. Shimizu, Y. Sugiura, K. Suizu, K. Edamatsu, and H. Ito: Jpn. J. Appl. Phys. **44**, L1064-1067 (2007)]

[11] Entangled photons: generation, observation, and characterization (invited review). [K. Edamatsu: Jpn. J. Appl. Phys. **46**, 7175-7187 (2007)]

[12] Generation of cross-polarized photon pairs in a 800-nm band via type-II parametric down-conversion using a periodically poled Lithium Niobate. [S. Nagano, K. Suizu, Y. Sugiura, R. Shimizu, K. Edamatsu and H. Ito: Proc. 16th IEEE Int. Symp. on the Applications of Ferroelectrics (ISAF2007), 846-848 (2007)]

[13] Coherent transfer of light polarization to electron spins in a semiconductor. [H. Kosaka, H. Shigyou, Y. Mitsumori, Y. Rikitake, H. Imamura, T. Kutsuwa, K. Arai and K. Edamatsu: Phys. Rev. Lett. **100**, 096602/1-4 (2008)]

[14] Generation of polarization entanglement from spatially correlated photons in spontaneous parametric down-conversion. [R. Shimizu, T. Yamaguchi, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu: Phys. Rev. A **77**, 032338/1-4 (2008)]

誘電ナノデバイス研究分野

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

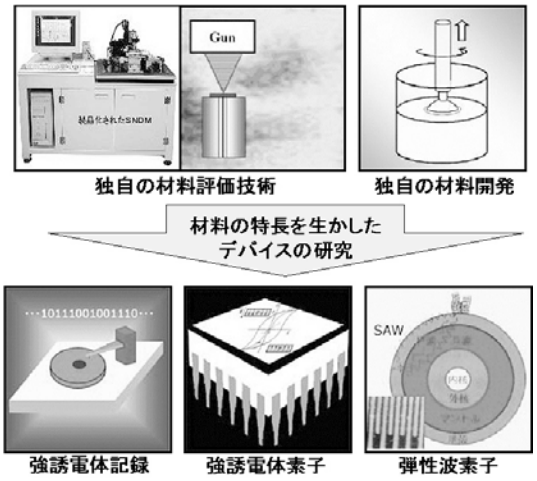


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

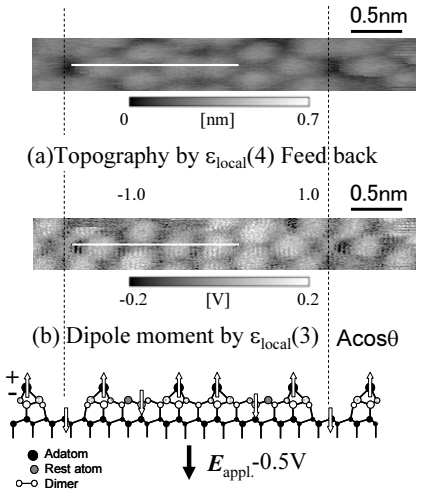


図 2. Si(111)7x7 構造の NC-SNDM 像
(a) 形状像 (b) 双極子モーメント像

＜分野の目標＞

本分野では，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。

＜2007 年度の主な成果＞

１． NC-SNDM による原子レベル極性判別 [4], [6], [9]

誘電計測を原理としたプローブ顕微法として世界で初めて原子分解能での表面観察に成功した非接触 SNDM (NC-SNDM) 法を用いて Si 表面やフラーレン分子の観察を行い，個々の原子・分子に対応する双極子モーメントの分布の詳細を明らかにした。

２． 回転ディスク型ＳＮＤＭプローブメモリの研究開発 [8]

回転ディスク型の SNDM プローブメモリ実用化を目指した試験装置を用い、ビットレート 1 Mbps の読み出しが可能であることを実証した。加えて、プローブ－媒体間の微小空隙

制御法に関する性能向上に成功し、最小 1.5 nm に空隙を制御しながら非接触で書き込みが行えることを実証した。

３． 強誘電ナノドメインの基礎物性評価に関する研究 [2], [10]

強誘電体単結晶記録媒体に 3 Tbit/inch^2 の記録密度でディジタル信号を記録することが可能であることを実証した。また。微小な強誘電ドメインの長期安定性に関して、ドメインサイズの変化速度の定式化などの重要な知見を明らかにした。

＜職員名＞

教　授　長　　康 雄（２００１年より）

助　教　平永　良臣　　助　教　金　暢大

技術職員　我妻　康夫　産学連携研究員　石川　健哉　産学連携研究員　小林 慎一郎

産学連携研究員　ブイヤン・モイヌル　産学連携研究員　小田川 望　技術補佐員　大竹　睦実

＜教授のプロフィール＞

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)。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Daimon and Y. Cho, “Cross-sectional observation of nanodomain dots formed in both congruent and stoichiometric $LiTaO_3$ crystals”, Appl. Phys. Lett., Vol. 90, pp.192906-1-192906-3, 2007.

[2] N. Odagawa and Y. Cho, “Study of Long-Term-Retention Characteristics and Wall Behavior of Nano-Inverted domains on Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$ Based on Wall Energy”, The 16th IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, Proceedings, 30A-TF7-O1, 2007.

[3] T. Sakamoto, K. Nakamura, K. Fujiura and Y. Cho, “Spatial distribution of phase transition temperature of $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ measured using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.90, pp.222908-1-222908-3, 2007.

[4] S. Kobayashi and Y. Cho, “Organic surface observation using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, International Conference on Nanoscience and Technology 2007, NS29-Or3, 2007.

[5] M. Endo, K. Ohara and Y. Cho, “Scanning nonlinear magnetic microscopy”, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 78, pp.073704-1-073704-5, 2007.

[6] Yasuo Cho, “ Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Super High Resolution”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.46, No.7B, pp.4428-4434, 2007.

[7] K. Ishikawa, K. Honda and Y. Cho, “Quantitative Measurement of Dopant Concentration Profiling by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2007 MRS Fall Meeting, B12.5, 2007.

[8] Y. Hiranaga, T. Uda, Y. Kurihashi, K. Tanaka and Y. Cho, “Novel HDD-type SNDM ferroelectric data storage system aimed at high-speed data transfer with single probe operation”, IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 54, No. 12, pp. 2523-2528, 2007.

[9] Y. Cho and R. Hirose, “Atomic Dipole Moment Distribution of Si Atoms on a Si(111)-(7×7) Surface Studied Using Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Physical Review Letters, Vol.99, No.18, pp.186101-1-186101-4, 2007.

[10] K. Tanaka and Y. Cho, “Nano Dot Manipulation with memory density of above 1Tbit/inch^2 in Ferroelectric Data Storage System”, 2008 MRS Spring Meeting, F4.3, 2008.

プラズマ電子工学研究分野

ナノスケール半導体デバイス・集積回路の研究

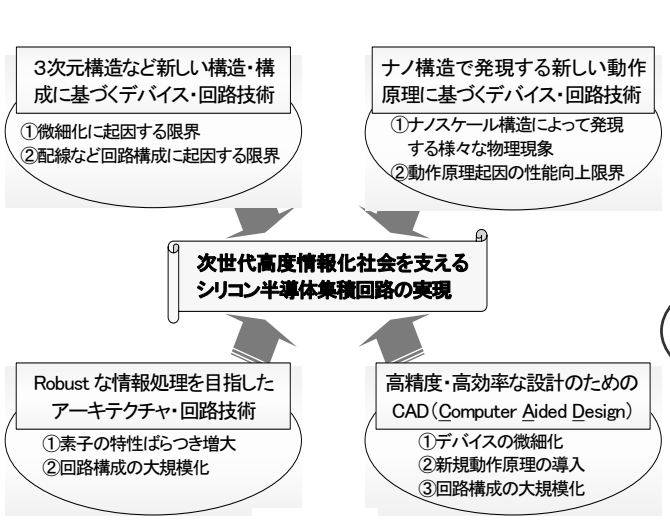


図１

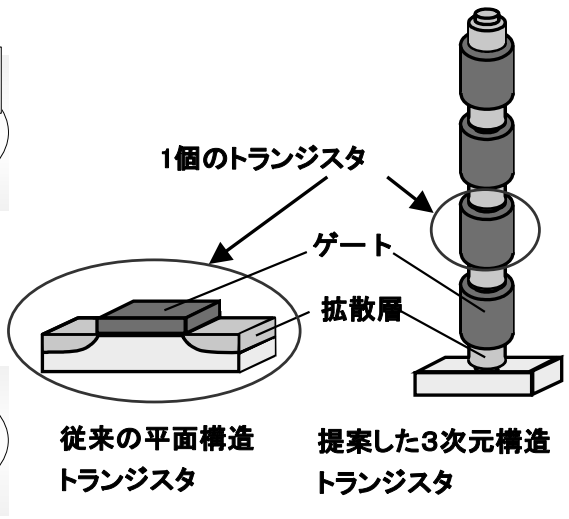


図２

＜分野の目標＞

本研究分野では、ユビキタスネットワーク社会の実現に必要不可欠である革新的なシリコン半導体集積回路の実現を目指して研究を行っている。具体的には、（１）ナノスケールまで微細化されることで増大する素子の特性ばらつき、及び、回路の大規模化に伴う問題を解決する Robust な情報処理を目指したアーキテクチャ・回路技術、（２）従来のプレーナ技術に起因する限界をブレイクスルーする３次元構造など新しい構造・構成に基づく新デバイス・回路技術、（３）ナノスケール構造によって発現する物理現象などを応用した新しい動作原理に基づく新デバイス・回路技術、（４）更なる微細化・新動作原理の導入によって要求される高精度なデバイス設計技術、及び、更なる回路の大規模化によって要求される高効率な設計手法・アルゴリズムなど次世代集積回路を高精度・高効率に設計するための CAD（Computer Aided Design）技術などに関する研究を一貫して行っている。（図１、図２）。

＜2007 年度の主な成果＞

［１］Robust な情報処理を目指したアーキテクチャ・回路技術

近年の微細化に伴う MOSFET の特性揺らぎの増大による回路特性の劣化が深刻な問題となっている。本年は、この問題の解決を目指して、集積回路における実際の動作速度を決定する、MOSFET のしきい値揺らぎや電源電圧揺らぎなどの様々な要因の揺らぎに対する集積回路の高速動作安定性を解析し[4]、新しい回路方式を提案した[7]。

［２］3 次元構造・構成に基づく新デバイス・回路技術

平面型構造に立脚している従来の半導体集積回路の諸課題を解決すべく、3 次元構造デバイス・回路の研究を推進し、30nm スケール DG-MOSFET のデバイス設計技術を構

築した[2][8]。さらに、10nm 世代での縦型構造 MOSFET の諸特性を解析[5]すると共に、微細化に伴い顕在化するデバイス内部での発熱現象によるデバイス温度上昇現象が、縦型構造 MOSFET で飛躍的に抑制できることを見出した[3]。

［３］ナノスケール構造によって発現する物理現象を応用した新デバイス・回路技術

ポスト CMOS デバイスである Si ナノワイヤーデバイスの基本特性を解析した[9]。また、新しいフラッシュメモリを提案し、世界最高速である 100Mbyte/s のデータ書き換え速度を実証した[6]。さらに、ナノスケール MOSFET の消費電力を増大させる極薄ゲート絶縁膜のリーク現象を、第一原理計算を活用して解析し、新しいメカニズムを提案した[1]。ナノ構造形成プロセスに関する研究も進めた[10]。

［４］高精度なデバイス設計技術、及び、高精度・高効率な CAD 技術

3 次元構造トランジスタの設計 CAD に加え、その回路設計 CAD の開発を推進した。

＜職員名＞

准　教　授　遠藤哲郎（２００７年より）

＜准教授のプロフィール＞

１９８７年３月　東京大学理学部物理学科卒業。１９８７年４月　㈱東芝に入社　ULSI 研究所にて，フラッシュメモリ，先端デバイス、及び、高信頼性シリコン酸化薄膜の研究開発に従事。１９９５年　退社。同年　東北大学電気通信研究所講師　工学博士取得。１９９７年　同助教授　２００７年　同准教授。以来、３次元構造デバイス・回路、及び、超高速低消費電力デバイス・回路の研究に従事。１９９６年～２００１年　通信・放送機構仙台リサーチセンター研究フェローを兼務。日経ＢＰ第３回ＬＳＩＩＰデザイン・アワード受賞（２００１年)。ＩＥＥＥ、電子情報通信学会、応用物理学会各会員

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Tetsuo Endoh, Kazuyuki Hirose, and Kenji Shiraishi “Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films”, IEICE Trans Electron., E90-C: 955-961, 2007

[2] Tetsuo Endoh and Yuto Monma “Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology using a Two-Dimensional Device Simulator” IEICE Trans Electron E90-C, pp.1000-1005, 2007

[3] Tetsuo Endoh and Kousuke Tanaka “Study of Self-Heating in Si Nano Structure for Floating Body-Surround Gate Transistor with High-k Dielectric Films”, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 5B, pp. 3189-3192, 2007

[4] Kazuhiro Suzuki, Hyoung-jun Na, Yuzuru Narita, Hideki, Nakazawa, Takashi Itoh, Kanji Yasui, Maki Suemitsu and Tetsuo Endoh “Effects of Threshold Voltage Fluctuations on Stability of MOS Current Mode Logic Inverter Circuit”, IEEE, IMFEDK2007 technical digest, pp.B-7, April 2007

[5] Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, ”Analysis of the Dependency of Body Thickness on the Performance of the Nano-Scale Vertical MOSFET”, IEEE, IMFEDK2007 technical digest, pp.A-3, April 2007

[6] S.Shukuri, N. Ajika, M. Mihara, Y. Kawajiri, T. Ogura, K. Kobayashi, T. Endoh and M. Nakashima , ”Floating Gate B4-Flash Memory Technology Utilizing Novel Programming Scheme - Highly Scalable, Efficient and Temperature Independent Programming”, IEEE, Non-Volatile Semiconductor Memory Workshop, pp30-31, Aug.26-30, 2007

[7] K.Suzuki and T.endoh “The exclusive OR using MOS Current Mode Logic Circuit”, 平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集, pp.15. 1A15, 2007

[8] Y.Norifusa and T.endoh, “Device Design Technology for 30nm FINFETs with Halo Structure”, 平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集, pp.14. 1A14, 2007

[9] K.Tanaka and T endoh,”Mechnism of Asymmetric Temperature Distribution of Si Nano Wire with Self-Heating”, 平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集, pp.13. 1A13, 2007

[10] Y. Fukada, K. Yasui, Y. Kuroki, M. Suemitsu, T. Ito, T. Endoh, H. Nakazawa, Y. Narita, M. Takata, T. Akahane, “Growth of GaN Films by Hot-Mesh Chemical Vapor Deposition Using Ruthenium Coated Tungsten Mesh”, Jpn. J. Appl. Phys. 47, No-1 pp.573-576,2008.

３．２　ブロードバンド工学研究分野の目標と成果

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、半導体スピントロニクス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分野

(目標)あらゆるデータへのアクセスが可能なユビキタスネットワーク社会のためのワイヤレス NGN の実現を目指して、先端ワイヤレス情報通信技術(Wireless IT)の研究を、ネットワーク・システムからデバイス・物性に至るまで一貫した研究・開発体制で行っている。

(成果)移動通信環境下でも高速 IP ネットワークアクセスを可能とする MBWA 方式のセル間・セクタ間干渉の実測評価を行った。伝搬路・デバイス特性補償技術である周波数領域等化を FPGA へ実装した。アンテナ一体型 5GHz 帯 RF CMOS 送信電力増幅器など無線通信端末の高速化・小型化・低消費電力化のための先端ハードウェアを試作した。5GHz 帯用 RF フロントエンドフィルタの高性能化を目指して FBAR フィルタの検討を行った。

(2)超ブロードバンド信号処理研究分野

(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)2次元プラズモン共鳴に立脚した新構造デバイスの室温下のテラヘルツ電磁波放射電力強度を一桁以上向上させ、2次元プラズモンの分散特性をドレイン・ゲートバイアスで制御することでテラヘルツ電磁波の超高速変調制御が可能であることを見出した。炭素原子単層シートによる新概念デバイスでコヒーレントな単一テラヘルツフォトン放射が実現できることを発見した。

(3)超高速光通信研究分野

(目標)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、光信号処理技術の研究により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)本分野で開発した OFT 法についてつくば－大手町往復 200 km の JGNII 伝送路において 160 Gbit/s の現場伝送実験に成功し、実環境下での波形歪み除去効果を実証してその有効性を示した。また、コヒーレント QAM 方式により光の帯域 1.4GHz で 14 Gbit/s の伝送速度と 160 km のエラーフリー伝送に成功し、10 bit/s/Hz の周波数利用効率を世界で初めて実現した。

(4)応用量子光学研究分野

(目標)光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに、その検出・制御までの一貫した研究を推進しており、その知見と成果に基づいた新たな科学技術分野であるテラフォトニクスの確立と体系化を目指している。

(成果)極微量バイオセンシングや超高解像度バイオイメージングを実現する新しいテラヘルツ帯バイオセンサーの研究を進めており、励起光の配置やダイナミック応答特性より表面プラズモン共

振器の最適構造に対する指針を得た。

(5)情報ストレージシステム研究分野

(目標)1Tbit/inch^2 を超える超高密度記録を実現する未来型垂直磁気記録による高速・大容量ストレージシステムの研究を行っている。

(成果)コンピュータシミュレーションと実験によって 2Tbit/inch^2 の高面密度記録理論とデバイスの高密度化設計指針を確立した。また、垂直記録ドライブを用いる並列型大容量ストレージシステムの制御アルゴリズムを検討し、並列小型 HDD を装備した実証実験用のシステムを試作した。

(6)ナノ・スピン実験施設　半導体スピントロニクス研究部

(目標)新しいデバイスとシステムの実現を目指して、半導体内の電子状態を制御し工学的に応用するため極微細波動基盤技術に関して、特に、スピンと電荷の自由度を使った半導体スピントロニクス、今後の情報通信に必要な THz コヒーレント光源の研究を精力的に行っている。

(成果)強磁性半導体(Ga,Mn)As の電流誘起クリープの観測に成功し、磁場誘起クリープとのユニバーサリティ・クラスの違いを明らかにした。狭ギャップ半導体(In,Ga)As 量子ドットの作製と人工原子電子状態の実証に成功し、その有効 g 値の大きさを評価した。バンド間とサブバンド間の両方の光学遷移で同時に発振する InAs/AlSb 量子カスケードレーザの作製に成功した。

(7)ブロードバンド通信基盤技術研究分野(水野客員研究室)

(目標)電磁波スペクトラムのうちミリ・テラヘルツ波領域をイメージング計測手段として用い、生体計測あるいはセキュリティ分野への応用を目的に研究開発を行っている。

(成果)35 GHz 帯パッシブ・イメージング用に新しいイメージング・アレイを開発した。新規画像構築ソフトにより画像処理時間を約 1/2 に減少させ、セキュリティの分野で問題になっている衣服の下に隠匿した液体物質の検知と弁別に成功した。

(8)ブロードバンド通信基盤技術研究分野(犬竹客員研究室)

(目標)　全天候型災害救助や防災監視に適した航空機搭載型の高分解能合成開口レーダ(SAR)システムを開発することを目標としている。

(成果)　15-40 GHz の Ku/Ka バンドのスポットライト SAR について災害救助や防災監視などに焦点を絞って概念設計を進め、高空間分解スポットライトモード SAR 要素技術開発の課題抽出と設計・試作を行った。又、共同プロジェクト研究会を開催し全国的産学連携ネットワークを構築した。

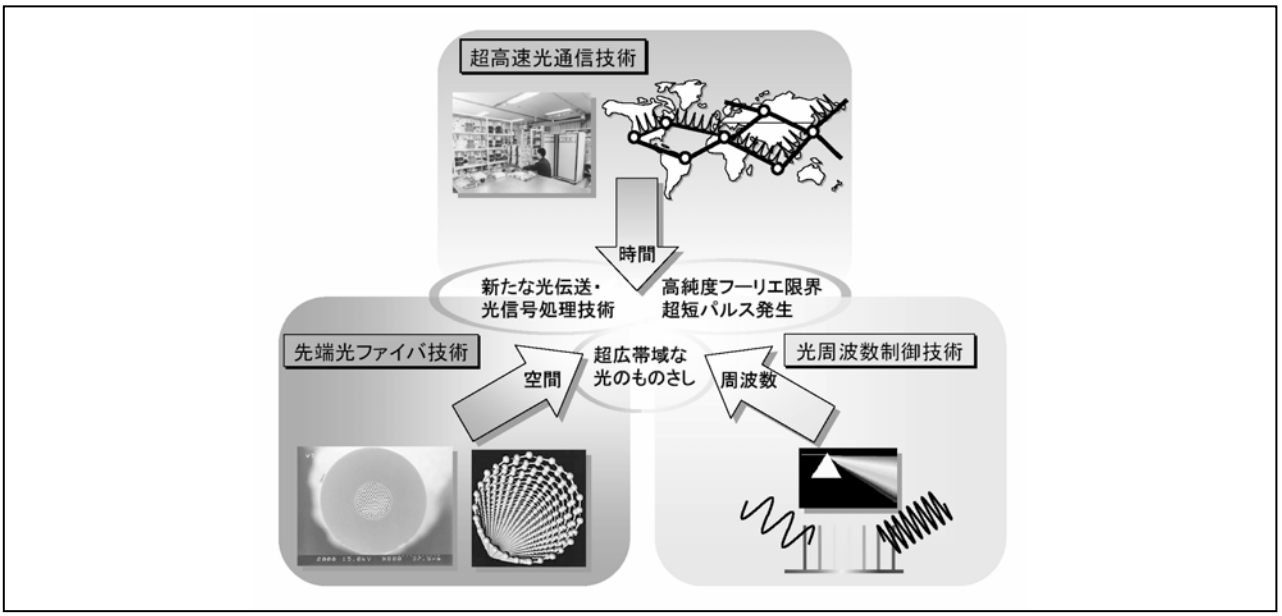
(9)ナノ・スピン実験施設　ナノスピンメモリ研究部

(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が目標である。

(成果)MgO 障壁磁気トンネル接合において室温で 500%(低温で 1010%)の世界最高のトンネル磁気抵抗(TMR)比を実現した。この高出力 TMR 素子技術を応用し、高集積スピンメモリ・ロジック実現に向けた要素技術として積層フェリ自由層 TMR 素子を開発し、ナノ秒領域でのスピン注入磁化反転書込みを観測した。

超高速光通信研究分野

次世代超高速光通信技術に関する研究



＜分野の目標＞

インターネットや携帯で扱われる情報が音声、静止画、動画と多彩になり、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、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。

＜2007 年度の主な成果＞

１． 超高速無歪み光伝送技術に関する研究

本研究分野では時間領域での光フーリエ変換(OFT: Optical Fourier Transformation)を利用した新たな超高速無歪み伝送の研究開発を行なっている。本年度は OFT 法による波形歪み除去効果を実環境下で実証するために、JGNII 光テストベッド（つくば－大手町、往復 200 km）を用いて 160 Gbit/s 現場伝送実験を行なった。このような敷設ファイバではファイバ周辺における環境変動の影響により大きな偏波モード分散(PMD: Polarization Mode Dispersion)が生じ、これが伝送特性の大きな劣化要因となることを明らかにした。OFT により高次 PMD およびその時間的な変動を補償することにより、1.5 dB の低いペナルティで 200 km のエラーフリー伝送に成功し、実環境における OFT 法の有効性を明らかにした。

２．コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究分野では周波数利用効率の向上を目指して、光の位相と振幅に同時に情報を乗せるコヒーレント QAM (Quadrature Amplitude Modulation)方式による光多値伝送技術に取り組んでいる。本年度は、IQ 変調器において LN 結晶内で生ずる音響波の共鳴を低減することにより、QAM の多値度をこれまでの 64 から 128 まで増大させることに成功した。さらに偏波多重方式ならびにナイキストフィルタによる帯域狭窄化を用いることにより、シンボルレート 1 Gsymbol/s で 14 Gbit/s の伝送速度を実現し、160 km のエラーフリー伝送に成功した。この 14 Gbit/s の信号を 1.4 GHz の帯域で復調することにより、単一チャネルにおいて 10 bit/s/Hz の周波数利用効率を世界で初めて実現している。

３．超高速光パルス発生・制御技術に関する研究

モード同期ファイバレーザの高純度かつ狭線幅な縦モードスペクトルは“光のものさし”として用いることができるため、光通信だけでなく光標準・計測分野への幅広い応用が期待されている。本研究分野では GHz 帯モード同期ファイバレーザをマイクロ波発振器とした新たな構成の Cs 原子発振器（Cs 原子光時計）の開発に取り組んでいる。本年度は、JGN Ⅱ光テストベッドを用いて、我々が作製した Cs 光時計の出力光パルス（高安定クロック信号）の 200 km 光配信現場実験を行なった。その結果、光ファイバ伝送路における偏波モード分散がジッタの増大および周波数安定度の劣化をもたらす大きな問題点であることを明らかにした。200 km 伝送後、ジッタは約 0.6 ps 増大し、その周波数安定度は 1×10^{-12} から 5×10^{-12} に劣化することが観測された。

４．フォトニック結晶ファイバとその応用に関する研究

フォトニック結晶ファイバ(PCF: Photonic Crystal Fiber)は断面内に空孔を周期的に配置した光ファイバである。空孔の大きさや配置を適切に設定することによって、従来のファイバでは得られない数々の興味深い光学特性を実現することができる。本研究分野では、PCF の開発やその光通信への応用に関しても精力的に研究を進めている。本年度は、低分散 PCF と VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)の直接変調を組み合わせることにより、850 nm 帯における小型かつ高安定な光マイクロ波発振器を実現した。遅延用光ファイバとして 200 m の PCF を用いることにより、850 nm 帯において繰り返し 10 GHz、パルス幅 17 ps の短光パルスならびに時間ジッタが 1.2 ps の 10 GHz 高純度マイクロ波を同時に発生させることに成功した。

＜職員名＞

教　授　中沢 正隆（2001 年より）
准教授　廣岡 俊彦（2007 年より）
助　教　吉田 真人
秘　書　篠崎 頼子

＜教授のプロフィール＞

1952 年山梨県生まれ。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。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。1984～1985 年 MIT 客員研究員。1989 年グループリーダ、1994～1998 年特別研究員、1999 年より NTT R&D フェロー、1999～2000 年東北大学電気通信研究所客員教授。2001 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。1989 年 11 月 OITDA 桜井健二郎記念賞、1990 年 10 月英国 IEE, Electronics Letters Premium Award、1997 年 4 月科学技術庁長官賞（研究功績者賞）、2002 年電子情報通信学会猪瀬賞、IEEE Daniel E. Noble Award、科学技術振興事業団井上賞、服部報公会報公賞、2005 年 OSA R. W. Wood Prize、2006 年 Thomson Scientific Laureate など受賞。IEEE、OSA および電子情報通信学会フェロー。2005 年度電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ会長。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Oikawa, H. Hasegawa, K. Suzuki, Y. Inoue, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “4x10 Gb/s WDM transmission over a 5-km-long photonic crystal fiber in the 800-nm region,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 19, no. 8, pp. 613-615, April (2007).

[2] J. Hongo, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “1-Gsymbol/s 64-QAM coherent optical transmission over 150 km,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 19, no. 9, pp. 638-640, May (2007).

[3] T. Hirayama, M. Yoshida, M. Nakazawa, K. Hagimoto, and T. Ikegami, “Mode-locked laser-type optical atomic clock with an optically pumped Cs gas cell,” Opt. Lett., vol. 32, no. 10, pp. 1241-1243, May (2007).

[4] H. Hasegawa, Y. Oikawa, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “40 Gbit/s-2 km photonic crystal fiber transmission with 850 nm singlemode VCSEL,” Electron. Lett., vol. 43, no. 11, pp. 642-644, May (2007).

[5] M. Yoshida, T. Hirayama, M. Nakazawa, K. Hagimoto, and T. Ikegami, “Regeneratively mode-locked fiber laser with a repetition rate stability of 4.9×10^{-15} using a hydrogen maser phase-locked loop,” Opt. Lett., vol. 32, no. 13, pp. 1827-1829, July (2007).

[6] M. Yoshida, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Mode-hop-free, optical frequency tunable 40 GHz mode-locked fiber laser,” IEEE J. Quantum Electron., vol. 43, no. 8, pp. 704-708, August (2007).

[7] A. Suzuki, Y. Takahashi, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “An ultralow noise and narrow linewidth λ/4-shifted DFB Er-doped fiber laser with a ring cavity configuration,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 19, no. 19, pp. 1463-1465, October (2007).

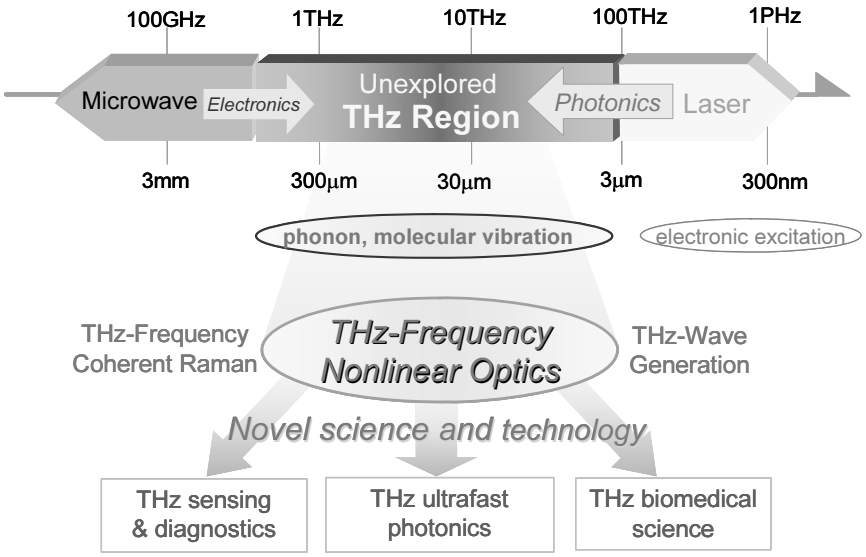
[8] 中沢正隆, 廣岡俊彦, 吉田真人, “光コムによる標準信号のファイバ伝送,” レーザー研究, vol. 35, no. 10, pp. 649-653, October (2007).

[9] M. Yoshida, A. Ono, and M. Nakazawa, “10 GHz regeneratively mode-locked semiconductor optical amplifier fiber ring laser and its linewidth characteristics,” Opt. Lett., vol. 32, no. 24, pp. 3513-3515, December (2007).

[10] M. Yoshida, H. Goto, K. Kasai, and M. Nakazawa, “64 and 128 coherent QAM optical transmission over 150 km using frequency-stabilized laser and heterodyne PLL detection,” Opt. Express, vol. 16, no. 2, pp. 829-840, January (2008).

応用量子光学研究分野

多次元高機能コヒーレント光源の創出と その応用に関する研究



レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

＜分野の目標＞

応用量子光学研究分野では、強誘電体、半導体、有機の各種非線形光学材料に対するミクロな構造制御や、レーザー発振動作に対する高度な時間的空間的制御により、光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに、その検出・制御までの一貫した研究を推進しており、その知見と成果に基づいた新たな科学技術分野であるテラフォトニクスの確立と体系化を目指している。

＜2007 年度の主な成果＞

１． 表面プラズモンを用いたテラヘルツ帯バイオセンサー

生体分子のテラヘルツ（THz）帯分子振動は巨大分子の骨格振動や分子間相互作用に関連しており、分子機能に関わる新しい指紋スペクトル領域として応用展開が期待されている。本分野では表面プラズモン共鳴を局所電場増強効果により、極微量バイオセンシングや超高解像度バイオイメージングを実現する新しい THz 帯バイオセンサーの研究を進めている。赤外活性モードを対象とするデバイス設計を行うため､FDTD 法を用いた電場シミュレーションを行い、垂直入射配置・全反射配置の双方で表面プラズモン共鳴による局所電場増強効果を確認し、励起光の配置やダイナミック応答特性より表面プラズモン共振器の最適構造に対する指針を得た。

２． テラヘルツ帯のコヒーレントラマン分光

物質中の THz 帯振動は赤外・ラマンの双方からアプローチできるものが多い。THz 波の

吸収が大きい生体物質や種々の材料における THz 帯振動を高感度に捉え、超高分解能の THz イメージングを実現するため、THz 帯コヒーレント反ストークスラマン（CARS）顕微分光システムの研究を進めている。結晶欠陥を反映した THz 帯フォノンに着目し、周期分極反転 $LiNbO_3$ 結晶の THz 帯 CARS スペクトル測定を行った結果、分極反転による E モードスペクトルの強度変化を初めて見出した。さらに、これを利用した THz 帯 CARS イメージングにより、結晶表面・内部の双方において分極反転構造の非破壊モニタリングを初めて実現した。

３．赤外・テラヘルツ帯のラマン分光

赤外・テラヘルツ帯のスペクトルを利用して、有機・生体関連分子の分子構造や分子間相互作用に関する新しい評価分析技術を開拓するため、脂肪族のラマン分光に関する研究を進めた。まず、パラフィン等の長い鎖状分子構造をもつ脂肪族の固相・液相の相転移現象を後方散乱型ラマン分光により観測し、減衰定数の急峻な変化を高感度に捉えることに成功した。また、食品関連油脂の不飽和度を中赤外域のラマンスペクトルを用いて定量的に評価できることを確認し、さらに種々の分子構造に起因したスペクトルが重畳した中赤外域のブロードなラマンスペクトルについて、偏光特性を利用した実験的な構造解析に成功した。

＜職員名＞

准教授　四方　潤一（2003 年より）

＜准教授のプロフィール＞

1998 年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。同年東北大学電気通信研究所助手、2003 年より現職。レーザーおよび非線形光学とその応用研究に従事。応用物理学会、日本光学会、日本分光学会、OSA 各会員。

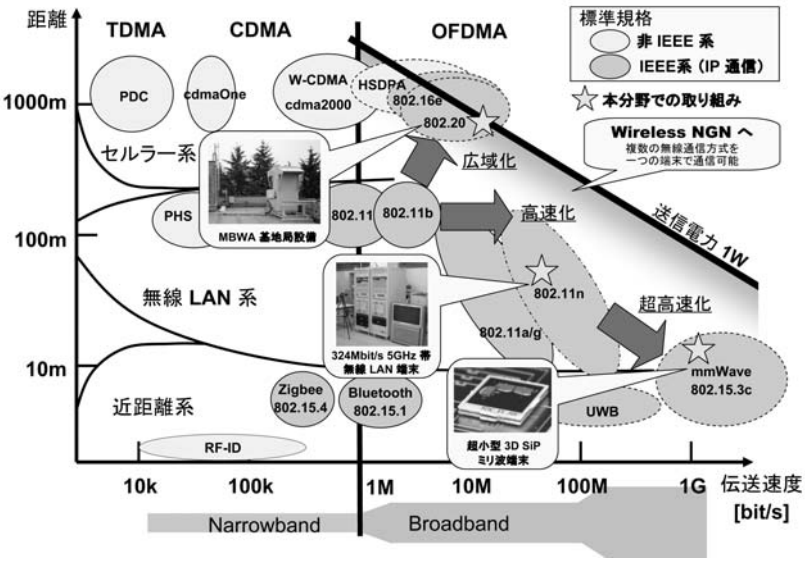
＜2007 度の主な発表論文等＞

[1] 四方潤一, “テラヘルツ技術総覧（テラヘルツテクノロジーフォーラム編 NTG コーポレーション）,” 第 2 章テラヘルツ波の基礎(2.3 テラヘルツ波発生), pp.34-63 (2007).
[2] H. Yokoyama, K. Takashima, M. Mure, H. C. Guo, J. Shikata, H. Ito, H. Tsubokawa, and N. Saito, “Multiwavelength kilowatt-peak-power light pulse source utilizing a picosecond diode laser for nonlinear bioimaging,” Tech. Digest of Nonlinear Optics 2007 (2007).
[3] H. Yokoyama, H. Tsubokawa, H. Guo, J. Shikata, K. Sato, K. Takashima, K. Kashiwagi, N. Saito, H. Taniguchi, and H. Ito, “Two-photon bioimaging utilizing supercontinuum light generated by a high-peak-power picosecond semiconductor laser source,” J. Biomed. Opt., Vol. 12, No.5, pp. 054019-1-5 (2007).
[4] J. Shikata, K. Endo, A. Nawahara, S. Nagano, and H. Ito, “CARS imaging of periodically poled lithium niobate using terahertz-frequency phonon modes,” Tech. Digest of 7th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2007) (2007).
[5] J. Shikata, H. Handa, A. Nawahara, H. Minamide, T. Ikari, Y. Ishikawa, and H. Ito, “Terahertz ATR spectroscopy of liquids using THz-wave parametric sources,” Tech. Digest of 7th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2007) (2007).
[6] K. M. Abedin, J. Shikata, K. Miyamoto, and H. Ito, “Change of molecular damping during solidification and melting in scattering samples studied by Raman spectroscopy,” Jpn. J. Appl. Phys., in press.

先端ワイヤレス通信技術研究分野

ワイヤレス NGN (Next Generation Network) の実現へ向けて

図面説明:
ワイヤレス NGN
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．



＜分野の目標＞

パソコンから家電製品に至るまで，遍在するすべてのディジタル機器が無線ネットワークで接続され，光ファイバなどによる超高速バックボーンによって接続された世界中のスーパーサーバから，音声・テキスト・動画像などのあらゆる種類のデータへのアクセスを可能となるユビキタスネットワーク社会の実現は目前である．当研究分野ではワイヤレス NGN の実現を目指して，先端ワイヤレス情報通信技術（Wireless IT）に関する研究を，ネットワーク・システムから，デバイス・物性に至るまで，一貫した研究・開発体制で行っている．

＜2007 年度の主な成果＞

１． 広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス (MBWA) 方式の研究

移動通信環境においても高速 IP ネットワークにアクセス可能とする MBWA 方式の検討を行った．今年度は特に MBWA のセル間・セクタ間干渉についての実測評価を行い，OFDMA 方式を用いた MBWA におけるセル設計手法の検討を行った．また，MBWA など広域系システムで重要となる周波数領域等化技術について検討を行い，FPGA への実装・評価を行った．

２． 高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF 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，アンテナ一体型 5GHz 帯 RF CMOS 送信電力増幅器，5GHz 帯 Si CMOS VCO，スケーラブル A/D 変換器などの試作・評価を行った．

３． シームレス 3 次元実装 SiP (System in a Package) 技術

異種材料デバイスを 3 次元実装することにより，高周波帯でもシームレスに実装可能であることを提案した．今年度は特に SBB (Stud Bump Bonding) や銅ボールを用いて 3 次元実装を行った 60GHz 帯無線通信モジュールの試作・評価を行った．さらに，60GHz 帯超小型アンテナをモジュールに実装し，実測評価を行った．

４． MOCVD 法による AlN 薄膜を用いた薄膜バルク波共振器 (FBAR) フィルタ

無線 LAN 帯域である 5GHz 帯用の RF フロントエンドフィルタの高性能化を目指し，FBAR フィルタの設計・試作を行った．特に今年度はスプリアス低減のための設計手法の提案，電極材料の検討，フィルタ設計方法の検討を行った．

＜職員名＞

教　授　坪内 和夫 (1993 年より)
准教授　中瀬 博之 (2005 年より)
助　教　亀田　　卓

＜坪内和夫教授のプロフィール＞

昭和 49 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．昭和 49 年 4 月東北大学電気通信研究所助手. 昭和 57 年 4 月～ 10 月米国パーデュ大学客員助教授. 昭和 58 年 3 月助教授. 平成 5 年 3 月教授. 昭和 58 年服部報公賞，平成 6 年第 26 回市村学術賞貢献賞，平成 8 年第 11 回電気通信普及財団賞 (テレコムシステム技術賞)，平成 9 年第 22 回井上春成賞，平成 15 年東北総合通信局長「電波の日」表彰，平成 17 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞，平成 17 年度電子情報通信学会業績賞，第 5 回産学官連携功労者表彰「文部科学大臣賞」受賞．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．

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] 坪内 和夫，中瀬 博之，高木 直，亀田 卓，”ミリ波超高速伝送通信における三次元 SiP 実装技術，” 信学誌，vol.90，no.4，pp.283-288, April 2007.

[2] S. Kameda, S. Fukuyo, A. Yamaguchi, H. Oguma, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Evaluation of high-speed and large-capacity RFID inventory method using 1-bit flag," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #220, Athens, Greece, Sept. 2007.

[3] S. Oshima, G. Mori, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi," The 60GHz band multi-carrier wireless system for 2Gbps transmission with constant envelope modulation," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #521, Athens, Greece, Sept. 2007.

[4] Y. Nagai, A. Fujimura, M. Akihara, Y. Shirokura, F. Ishizu, H. Nakase, S. Kameda, H. Oguma, and K. Tsubouchi "A closed-loop link adaptation scheme for 324Mbit/sec WLAN system," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #367, Athens, Greece, Sept. 2007.

[5] F. Kojima, C.-W. Pyo, Z. Lan, H. Harada, S. Kato, H. Nakase, "Necessary modifications on conventional IEEE802.15.3b MAC to achieve IEEE802.15.3c millimeter wave WPAN," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #813, Athens, Greece, Sept. 2007.

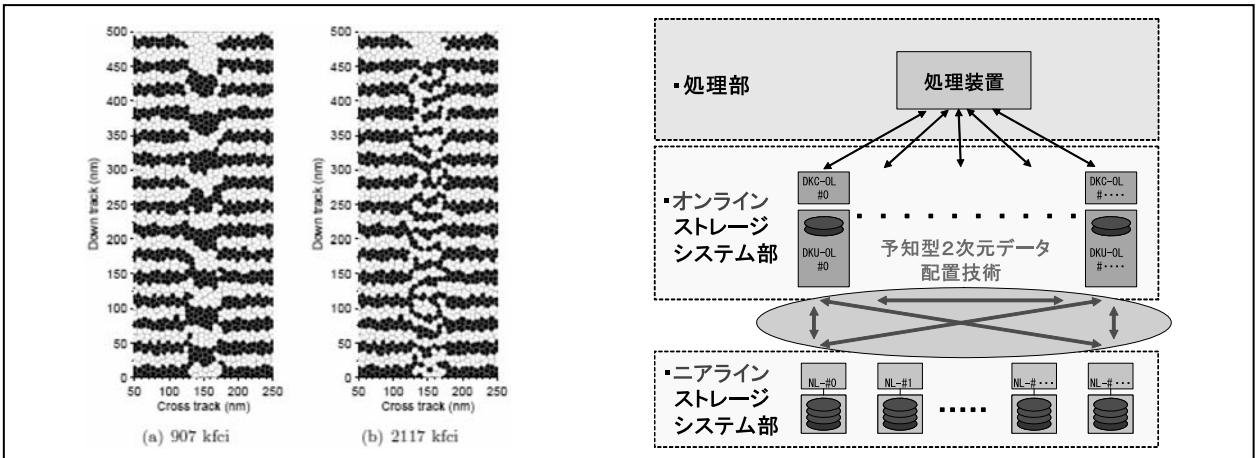
[6] Y. Aota, S. Tanifuji, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "FBAR characteristics with AlN film using MOCVD method and Ru/Ta electrode," IEEE Ultrason. Symp. Proc. P1H-4, Oct. 2007.

[7] 坪内 和夫，“IT デバイスの技術戦略: ワイヤレス NGN の実現に向けて,” 2007 Microwave Workshops & Exhibition (MWE2007) 特別講演, Nov. 2007. (招待講演)

[8] K. Shimoyama，S. Yoshida, Ta Tuan Thanh, K. Matsuzaki, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "5GHz Si-CMOS differential power amplifier module with directly connected dipole antenna," IEICE Electronics Express, vol.5, no.7, pp.229-234, April 10, 2008.

情報ストレージシステム研究分野

垂直磁気記録を用いた
次世代大容量磁気ストレージシステムの構築



（左）スーパーコンピュータを用いた LLG シミュレーションによる高密度記録過程の計算による記録状態。（右）階層型高速大容量のストレージシステムのシステム構成図。

＜分野の目標＞

IT 技術の進展とともに扱う情報量の飛躍的な増大が続いており、2010 年には百エクサバイト（10^{20} バイト）を超えると見られている。この膨大な情報を電子的に蓄積し即座にアクセスできることが必要であるが、それを担う中心的な技術がハードディスク装置を代表とする磁気ストレージである。現在の目標は磁気ディスク面の高密度記録化による記録容量の拡大で、当面 1 Tbits/inch^2、数年先には 5 Tbits/inch^2 を目指した研究が行なわれている。本分野では、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、及び実際の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、今後の超高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高効率システムの研究を加速させている。

＜2007 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

上記記録密度の目標を垂直磁気記録で実現する方策を探るために垂直磁気記録再生理論の検討を続けている。高密度化のために最も強く要求されるのは高密度再生信号における十分な SN 比を達成することであり、現在の高密度垂直磁気記録では記録媒体から生じるノイズが最も主要であるため、このナノ微細磁気構造に着目した研究を続けている。本年度は、次世代記録媒体として有望視される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て形成するパターン媒体について、その加工分解能とビット位置揺らぎがノイズに及ぼす影響を明らかにした。また、連続媒体の磁化転移についても新たに島状の反転様式を提案し、これまで説明が困難だった実験結果を定量的に正しく示す記録モデルを提示している。

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

今後の 10nm 以下の超高密度垂直記録のための研究では、現時点でのヘッドディスク等のデバイス試作は不可能な領域に踏み込んでおり、磁気スピンの歳差運動を取り込んで、動的な磁化過程と微細ビットの磁化挙動に大きな影響を与える熱擾乱をモデル化した LLG (Landau Lifshitz Gilbert)方程式によるコンピュータシミュレーションを用いる検討が効果的である。（左図）今年度はパターン媒体による 2Tbits/inch^2 以上の研究に注力した。記録過程のモデル化やそれを通じた記録特製のシミュレーションにより、重要な記録上の要請が記録ヘッドの磁界分布にあることを新たに明らかにしている。これらの結果の報告は磁気記録の主要な国際会議で多数採択されている。

３．高速大容量ストレージシステムのシステム化の研究

情報量の爆発的な拡大に伴い数十テラバイトからペタバイト級のデータストレージの要求が急速に高まっているが、ハードディスク装置を並列化する RAID 方式の提案に続く、高速性と高効率性を実現するシステム化方式が求められている。IT21 センターにおけるストレージプロジェクトと連携してこの研究を進めており、データセンターストレージのための大型システムとは別にハイビジョンやデジタル放送等に代表される最近の大容量映像応用を考慮して家庭や個人で用いることのできる小型ハードディスク装置による超並列化の研究を進めている。（右図）今年度は実験システムの試作を完了している段階である。

＜職員名＞

教　授　村岡 裕明（2000 年より）
助教授　サイモン・J・グリーブス（2003 年より）
助　手　三浦 健司（2003 年より）
秘　書　粕谷 祥子

＜教授のプロフィール＞

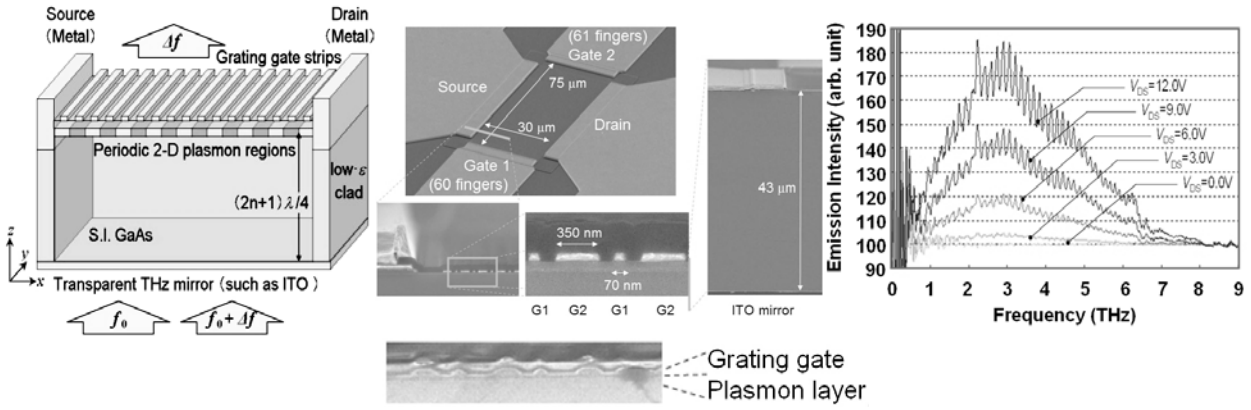
1981 年　東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株），1991 年電気通信研究所助手，1993 年同助教授，2000 年同教授。高密度磁気記録理論，磁気記録デバイス及び記録方式，情報ストレージ方式，等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞（2003 年）。IEEE Fellow (2008 年)。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Hashimoto, M. Salo, Y. Ikeda, A. Moser, R. Wood, H. Muraoka, “Analysis of Written Transition Curvature in Perpendicular Magnetic Recording From Spin-Stand Testing,” IEEE Trans. Magn., Vol.43, No.7, 3315-3319 (2007)
[2] S. J. Greaves and H. Muraoka, “Effect of the temperature dependence of Hk in thermally assisted recording,” J. Appl. Phys., Vol.101, 09H502 (2007)
[3] Simon Greaves, Yasushi Kanai, and Hiroaki Muraoka, “A Comparative Study of Perpendicular Media,” IEEE Trans. Magn., Vol.43, No.6, 2118-2120 (2007)
[4] K. Mitsuzuka, N. Kikuchi, T. Shimatsu, O. Kitakami, H. Aoi, H. Muraoka, and J. C. Lodder, “Switching Field and Thermal Stability of CoPt/Ru Dot Arrays With Various Thicknesses,” IEEE Trans. Magn., Vol.43, No.6, 2160-2162 (2007)
[5] H. Sato, T. Shimatsu, Y. Okazaki, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, muraoka, and Y. Nakamura, “Magnetic Anisotropy of Co-M-Pt (M= Cr, Mo, Ru, W, Re) Perpendicular Films Deposited on Various Seed Layer Materials,” IEEE Trans. Magn., Vol.43, No.6, 2106-2108 (2007)

超ブロードバンド信号処理研究分野

ミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と その応用に関する研究



2 次元プラズモン共鳴効果を利用した新しいテラヘルツ帯エミッター/フォトミキサー素子
（左：素子断面構造，中央：GaAs 系ヘテロ接合材料による試作素子の電子顕微鏡写真（最下図は半導体回折格子型ゲート構造の断面写真），右：フーリエ変換赤外分光計による室温テラヘルツ電磁波放射スペクトル）

＜分野の目標＞

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（サブミリ波）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低次元プラズモンの共鳴・分散特性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。

＜2007 年度の主な成果＞

１． 半導体二次元プラズモン共鳴効果を利用したテラヘルツ帯光源デバイス関する研究

テラヘルツ帯コヒーレントＣＷ電磁波の発生・制御機能を有する集積化が可能なデバイス技術の開拓を目的として、半導体二次元電子システムのプラズモン共鳴励振と電磁波結合モード輻射を動作原理とする新規な室温動作高効率テラヘルツ帯光源デバイスの開発を進めている。今年度はプラズモン共鳴とテラヘルツ電磁波の結合効率の向上を目的とした半導体回折格子型ゲート電極構造を特徴とする素子構造を導入し、GaAs 系ヘテロ接合材料・プロセスを用いて試作を行った結果、室温下でテラヘルツ電磁波放射電力強度を従来構造に比べて一桁以上と著しく向上させることに成功した。マイクロチップサイズの集積型テラヘルツ光源デバイス実用化へ向けて大きく前進した。（関連文献：[1] - [6]）

２． 低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路に関する研究

材料・構造敏感な低次元プラズモンの分散特性を電気的光学的に制御することによって、従来の電子回路では実現困難な超高周波領域での信号処理を可能とする新しい電磁波伝搬

モード型回路の研究を進めている。二重回折格子ゲート型 HEMT における二次元プラズモンの分散特性をドレイン・ゲートバイアス制御によってテラヘルツ電磁波の超高速変調制御が可能であることを見出した。（関連文献：[7], [8]）

３．新材料グラフェンによる新概念テラヘルツデバイスに関する研究

質量消失効果を有する炭素原子単層シート：グラフェンの導入による新概念テラヘルツ帯能動デバイスの創出をめざしている。グラフェン特有のディラック･フェルミオンとしての線形分散関係を利用すれば、光学的励起によって、熱平衡時の電子･正孔分布を非平衡定常反転分布に至らしめ、フォノンを介するバンド内遷移の果てに、コヒーレントな単一テラヘルツフォトンの放射が実現できることを発見した。グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーにつながる画期的な成果である。（関連文献：[9], [10]）

＜職員名＞

教　授　尾辻　泰一（2005 年より）
助教授　末光　哲也（2006 年より）
助　手　MEZIANI　Yahya Moubarak
客員教授(JSPS 海外招聘研究者)　KNAP　Wojciech　　秘　書　濱田　恵

＜教授のプロフィール＞

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。以来，超高速集積回路設計技術，光電子融合型デバイス・システムの研究開発に従事。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。ミリ波・テラヘルツ波帯半導体電子デバイス･システム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，OSA 各会員。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Otsuji, Y.M. Meziani, M. Hanabe, T. Nishimura, and E. Sano, "Emission of terahertz radiation from InGaP/InGaAs/GaAs grating-bicoupled plasmon-resonant emitter," Solid State Electronics, Vol. 51, Iss. 10, pp. 1319-1327, Oct. 2007.
[2] T. Suemitsu, Y.M. Meziani, Y. Hosono, M. Hanabe, T. Otsuji, E. Sano, "Novel plasmon-resonant terahertz-wave emitter using a double-decked HEMT structure," 65th Device Research Conference (DRC) Dig., pp. 157-158, Notre Dame, IN, USA, Jun. 18-20, 2007.
[3] T. Otsuji, Y.M. Meziani, T. Suemitsu, M. Hanabe, E. Sano, "Terahertz Emission from 2-dimensional plasmons in HEMT's stimulated by optical signals," Proc. Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS), TuBIII-6, p. 144, Kyoto, Oct. 15, 2007. (invited)
[4] Y. M. Meziani, M. Hanabe, A. Koizumi, T. Ishibashi, T. Uno, T. Otsuji and E. Sano, "Generation of terahertz radiation from a new InGaP/InGaAs/GaAs double grating gate HEMT device," Dig. Conference on Lasers and Elctro-Optics (CLEO) 2007, pp. CTh17-1-2, Baltimore MD, May 2007.
[5] Y. M. Meziani, T. Otsuji, M. Hanabe and E. Sano, "Threshold behavior of photoinduced plasmon-resonant self-oscillation in a new interdigitated grating gates device," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46, No. 4B, pp. 2409-2412, Apr 2007.
[6] Y.M. Meziani, M. Hanabe, T. Otsuji, and E. Sano, "Bolometric detection of terahertz radiation from new grating gates device," Physica Status. Solidi (c), Vol. 5, No. 1, pp. 282-285, Jan. 2008.
[7] T. Nishimura and T. Otsuji, "Terahertz polarization controller based on electronic dispersion control of 2D plasmons," International Journal of High Speed Electronics and Systems, Vol. 13, No. 3, pp. 547-555, Sept. 2007.
[8] K. Narahara, T. Nakamichi, T. Suemitsu, T. Otsuji, and E. Sano, " Development of solitons in composite right- and

left-handed transmission lines periodically loaded with Schottky varactors," Journal of Applied Physics, vol. 102, iss. 2, pp. 024501-1-024501-4, 2007.

[9] V. Ryzhii, M. Ryzhii, and T. Otsuji, "Negative dynamic conductivity of graphene with optical pumping," J. Appl. Phys., Vol. 101, No. 7, pp. 083114-1 - 083114-4, Apr 2007.

[10] V. Ryzhii, M. Ryzhii, and T. Otsuji, "Tunneling current–voltage characteristics of graphene field-effect transistor," Appl. Phys. Express, Vol. 1, No. 1, pp. 01301-1-01301-3, Jan. 2008.

ブロードバンド通信基盤技術研究分野（客員部門）

ミリ波ーテラヘルツ波を用いた計測技術の研究開発

ミリ波（35 GHz ）帯イメージング像。各センサからのデータ（左）に、ミリ波光学系で決まるサンプリング間隔を考慮して信号処理した結果（右）（中央電子株式会社の協力による）。

＜分野の目標＞

電磁波の応用は、通信、計測、エネルギーの 3 分野に大別できるが、電磁波スペクトラムのうちミリ・テラヘルツ波領域は、これまで通信をその主要な応用範囲として開発が行われてきている。一方、本研究分野では、この領域を計測の手段として用い、生体計測あるいはセキュリティ分野への応用を目的に各種技術の研究開発を行っている。ここで、ミリ波の特徴として一般的に次のような項目を挙げることができる；赤外線ーテラヘルツ波に比して、物質透過率が大きい（より深部の情報を得ることができる)、マイクロ波に比して空間分解能が良い、LNA（低雑音増幅器）など通信技術に対して開発された高性能のデバイスを使用できる、など。

＜2007 年の主な成果＞

本研究分野では、ミリ・テラヘルツ波計測のうち特にイメージング技術に重点をおき、研究開発を進めている。本年度の主な研究成果を以下に述べる。

1．　35 GHz 帯パッシブ・イメージング用に、素子を 3 行 X10 列に配置したイメージング・アレイを新たに開発した。本アレイの特徴は、1 行ごとに 35 GHz 帯光学系で決まるサンプリング間隔だけずらした配置になっているところにある。

2．　3X10 素子アレイを動作させ画像を構築するためのソフトを開発した。その結果、機械的なラスタースキャン方法を組み合わせることによって、1 枚の画像の取得時間を

従来の約 1/2 の 20 秒までに減少させることに成功した。

３．　開発したパッシブ・イメージング法を種々の物体に適用し、現在セキュリティの分野で問題になっている衣服の下に隠匿した液体物質の検知に成功し、水、アルコールなどの物質の違いを認識できることを示した。

４．　画像の質を向上させるために得られたデータに関してサンプリング処理を施し、その効果が大きいことを確認した（上図)。

５．　これまで開発した 10, 35, 及び 60 GHz 帯の高感度かつ小型パッシブ・ラジオメータを本学病院にて試用し、種々の病変部に対して異なる指示を与えることを確認した。この成果は、新しい診断機器の開発につながるものと考えている。

＜職員＞

客員　教授　　水野皓司（2004 年より）
事務補佐員　　宮永聖子（2004 年より）

＜水野皓司客員教授のプロフィール＞

昭 38 東北大・工・電子卒。昭 43 同大学大学院博士課程了。工博。東北大助手、助教授を経て、昭 59 教授（電気通信研究所)、平 16 定年退官、客員教授（東北大学名誉教授)。昭 47 ロンドン大客員研究員、平 2 カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。平 2 より平 10 まで理化学研究所チームリーダを兼務。この間、ミリ波、サブミリ波帯デバイス・計測装置の研究開発に従事。昭 59 第 17 回科学計測振興会賞受賞、平 5 IEEE フェロー，平 10　K.J. Button Medal 受賞、平 11 情報通信月間表彰（東北電気通信管理局)、平 15 文部科学大臣賞（研究功績者)、電子情報通信学会フェロー。平 16 2005 Distinguished Educator Award (IEEE Microwave Theory and Techniques Society)

＜2007 年度の主な研究発表＞

[1] 水野皓司　“ミリ波、テラヘルツ波の比較、そして各々の今後の展開”、セラッミクス、第 42 巻第 4 号、pp. 251 – 254、2007 年 4 月

[2] K. Mizuno, Y. Wagatsuma, H. Warashina. K. Sawaya, H. Sato, S. Miyanaga, and Y. Yamanaka, “Millimeter-Wave Imaging Technologies and Their Applications ,” IEEE IVEC (International Vacuum Electronics Conference), 北九州市, （2007 年 5 月 15 日)。（招待論文）

[3] M. Sato, T. Hirose, T. Ohki, H. Sato, K. Sawaya, and K. Mizuno, “94-GHz Band High-Gain and Low-Noise Amplifier Using InP-HEMTs for Passive Millimeter Wave Imager”, IEEE International Microwave Symposium（Honolulu）（2007 年 6 月 7 日）

[4] K. Sawaya, H. Sato, Y. Wagatsuma and K. Mizuno, “Broadband Fermi Antenna and Its Application to Mm-wave Imaging,” EuCAP (European Conference on Antenna and Propagation) 2007, Edinburgh, UK, （2007 年 11 月 13 日）.（招待論文）

[5] 水野　皓司、“炎の向こうをミリ波カメラで透視”、センシング技術応用セミナー（減災とセンシング)、（大阪市）（2007 年 11 月 16 日）（招待講演）

[6] 水野　皓司、“ミリ波を用いたイメージング技術（パッシブ・イメージングを中心に）”、MWE2007 (Microwave Workshops and Exhibition)、横浜、(2007 年 12 月 28 日)。（招待講演）

ブロードバンド通信基盤技術研究分野（客員部門）

高分解能合成開口レーダの開発と民生応用

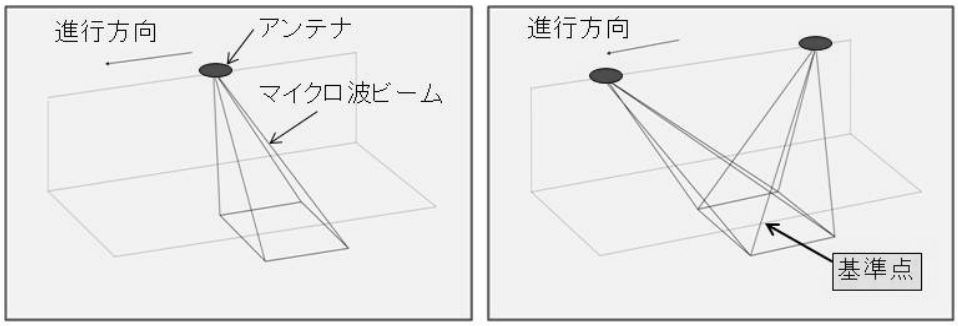


図1(a) ストリップマップモード　　図1(b) スポットライトモード

＜分野の目標＞

本研究は、全天候型災害救助や防災監視に適した航空機搭載型の高分解能合成開口レーダ（SAR : Synthetic Aperture Radar）システムを開発することを目標としている。

研究を開始した今年度は、1)現在までに開発された SAR リモートセンシングの現状と課題の調査、2)高性能 SAR システムの要素技術開発課題の抽出、3)（無人）航空機搭載 SAR の民生応用分野の新規開拓と絞込みが目標である。

これらの開発研究を、幾つかの大学および企業の研究者・技術者との共同研究として進める。

＜2007 年度の主な成果＞

１． SAR リモートセンシング技術の現状と課題の調査

平成 19 年 9 月 28 日、通研共同プロジェクト研究会を IEEE GRSS (Geo-science and Remote Sensing Society)との協賛で開催した。1）我国で開発された衛星搭載 SAR および航空機搭載 SAR システムの現状と課題、2）本研究目標である高分解能 SAR システムの紹介、3）SAR を搭載するプラットフォームとしての航空機等の開発現状などに関して、（独）宇宙航空研究開発機構(JAXA)、（独）情報通信研究機構(NICT)、（財）資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構(JAROS)、（財）無人宇宙実験システム開発機構(USEF)、および大学や関連企業の研究者による講演に引き続いて、参加者 52 名による活発な意見交換が行われた。今後の民生用 SAR 開発に関する全国的産学連携ネットワークを構築できた。

２．スポットライトモード SAR の概念設計と新規民生応用の開拓と絞り込み

我国で開発・運用された衛星搭載 L バンド SAR や航空機搭載 X バンド SAR は、図 1 (a)に示すストリップマップモードであり、広域観測に適しているが空間分解能は 0. 3 m～3 m である。一方、航空機搭載 SAR は即応性があり、図 1(b)）に示すスポットライトモードにより高分解能が期待できる。

本研究では、空間分解能 5-10 cm、全重量 30-50 kg の、小型軽量な SAR システムを開発目標とし、周波数 15-40 GHz の Ku/Ka バンドのスポットライト SAR の概念設計を進めた[1]。

本高分解能 SAR の民生応用分野としては、昼夜の別なく、雨・霧などの天候にかかわらず、しかも、煙や炎を通して人の大きさの移動体も識別できるため、災害救助や防災監視などに焦点を絞って開発していくことにした。

３．スポットライトモード SAR の要素技術の開発課題と設計・試作

今年度は、SAR システムに関連する様々なハードウエアとソフトウエアについて調査・検討すると共に、高空間分解スポットライトモード SAR 実現のための要素技術の開発課題の抽出と設計・試作を行った。

具体的な要素技術項目としては、ビーム偏向制御のためのフェーズドアレイアンテナ、スポットライトモード干渉計測に必須の高精度位相制御可能なマイクロ波信号発生器、MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 慣性センサと GPS (Global Positioning System) センサを連動させたアンテナ位置・方向検知装置、およびアンテナを搭載する軽量化ジンバル、さらに SAR シミュレーションや画像処理のソフトウエアの検討を行った。また、SAR テストプラットフォームとして、既存の国産航空機・ヘリコプタ・飛行船の性能および有人・無人機の現状を調査し、今後解決すべき技術課題について検討した。

＜職員名＞

客員教授　犬竹 正明（2007 年より）

＜教授のプロフィール＞

1966 年 3 月　東京大学工学部航空学科宇宙工学専修卒業。1968 年 3 月　同大学院工学系研究科修士課程修了。1972 年 3 月　同大学院工学系研究科博士課程修了。1972 年 4 月　日本学術振興会奨励研究員。1973 年 4 月東京大学宇宙航空研究所協同研究員。1974 年 4 月　名古屋大学プラズマ研究所助手。1980 年 5 月　筑波大学物理工学系助教授。1994 年 4 月　東北大学工学部電気工学科教授。1997 年 4 月　東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻教授に配置換。2007 年 3 月　同定年退職。2007 年 4 月　東北大学電気通信研究所客員教授、現在に至る。東北大学名誉教授。日本学術会議連携会員。

主たる研究分野：高密度プラズマ源の開発。アルヴェン波の物理機構解明と磁場核融合プラズマ加熱への応用。磁気ノズル中超音速プラズマ流の波動加熱・加速の物理機構解明と宇宙プラズマ推進機への応用 [2, 3]。ミリ波・レーザによるプラズマ診断法の開発[4, 5]。プラズマ・核融合学会論文賞（1993 年）。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] H. Ikezi, M. Inutake, and A. Mase, “Development of high resolution spotlight mode synthetic aperture radar (I)”, Engineering Science Reports, Kyushu University **29**, No.3, 269-277 (2007).

[2] M. Inutake, A. Ando, “Supersonic plasma flow and shock waves in various magnetic channels”, J. Plasma & Fusion Res. **83**, No.5, pp. 483~490, 2007.

[3] M. Inutake, A. Ando, H. Tobari, and K. Hattori, “Development and physics issues of an advanced space propulsion”, Advanced Plasma Technology, Wiley-VCH, Chap. 25, pp.435-448, 2008.

[4] K. Hattori, A. Ando and M. Inutake, “Multi-channel microwave reflectometer with Fermi antenna receivers”, J. Plasma & Fusion Res. **2**, S1039-1~4 (2007).

[5] K. Hattori, Y. Noguchi, A. Ando and M. Inutake, “A multi-reflection type visible-laser interferometer for high density plasma measurements”, J. Plasma & Fusion Res. **2**, S1048-1~4 (2007).

３．３　人間情報システム研究部門の目標と成果

情報通信システムにおいて，人間の情報処理過程の仕組みの解明と，良好な情報通信環境の実現は，情報通信システムの高度化，高次化ために不可欠である．

本部門では，このような視点から，人間と環境を調和させる情報システムの創成を目指し，生体情報の生成，情報通信環境の最適化，人間情報処理過程の解明と応用を有機的に行うことにより，次世代情報通信を実現するための要素技術の開発とシステム技術の開発を目標としている。

この目標を遂行するため，本部門は現在，以下の 4 研究分野から構成されている。(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することを研究する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) 分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う先端情報通信領域創成研究分野。

2007 年度の本研究部門における研究目標と成果は，以下と通り分野ごとに概要を記載する。

(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)開発中の磁界センサのより一層の高感度化に寄与する新しい磁性薄膜材料の異方性制御手法を提案し、それによる材料特性設計が可能であることを示した。さらに、生体内での活用が期待されている磁気微粒子のマニピュレーション技術に関する新たな提案を行い、凝集と分散を外部から制御する手法の可能性を示した。加えて磁気マーカーを利用した三次元位置検出システムに関する検討を行い、その検出精度を決定する要因を検討した。外部から磁界を与えて動作させる磁気アクチュエータに関しては、マイクロポンプ、微小カンチレバー等に関する検討を行い、また内視鏡手術を補助する機構に関する検討を医療現場と共同で進めている。

(2) 先端音情報システム研究分野

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

（成果）3次元音空間制御手法に研究を進め，その鍵となる頭部伝達関数(HRTF)と頭部形状の関係を明らかにするとともに，音場解析・測定結果に基づく高精度音場シミュレータの開発を行った．また，将来のマルチモーダル，マルチメディア通信システムの実現に重要な人間のマルチモーダル知覚情報処理過程を，特に，異なった感覚情報の時空間統合の

観点から明らかにする研究を強力に進めている．この他，VoIP音データに10kbpsを越える付加情報を埋めこむデータハイディング技術, 秘密分散共有やMultiple description符号化によるネットワーク音情報通信のセキュア化とロバスト化，次世代補聴システムへの適用を念頭に，環境雑音と音声信号とを効果的に分離する選択的両耳聴アルゴリズムの開発を進めた．また，高齢者の聞き取り改善のための話速変換が読唇音声知覚過程に及ぼす影響の解明や，構内放送などのアナログ音声信号にディジタル文字情報を付加する技術の開発など，聴覚障害者のバリアフリー実現を目指す研究を進めた.

(3) 高次視覚情報システム研究分野

（目標）人間の視覚に関連する脳の情報処理機構の解明することから，それに則した視環境，情報環境，情報機器の評価などの応用的展開を目的とした研究を行っている。

（成果）視覚的注意機構のモデル化の研究、視覚認識の初期，中期，高次特性の研究において、３つの成果があった。まず注意による運動対象の追跡時において、注意はその周囲に分布し異なる位置に分割できないことを明らかにし、それに基づき注意のモデル化を試みた。将来的には、画像コンテンツや交通環境など視環境の評価に利用できる。次に、我々の研究グループが発見した，運動視における２種類の運動検出器（遅い運動と速い運動の検出器）が処理機構において、遅い運動検出器は放射状の動きや回転の動きなどの大域的な運動に関与することを順応実験によって明らかにした。視覚認識においても画像処理においても注目されていない遅い運動信号の重要性を示す知見であり、運動情報の視覚認識への影響に新しいものを付け加えたことになる。３つめは、立体知覚の時間特性についての研究をまとめ、動画の観察と静止画の観察における処理メカニズムの違いを明らかにした。さらに、立体盲といわれる障害にも運動対象と静止対象に対するものがあることを示し、新しい問題点を明らかにした。

(4) 先端情報通信領域創成研究分野

（目標）ナノバイオテクノロジーと情報通信の境界領域研究として、分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う。ナノレベルでの局所的な相互作用や協同現象を、そのままの姿で取り込むための計測デバイスの開発が我々の研究の目標である。

（成果）大量の情報を並列的に短時間で処理し、高密度に集積できる新しいタイプの DNA マイクロアレイの開発に成功した。このデバイスには、表面プラズモン信号を増強する目的で金ナノ微粒子がマーカーとして使われ、信号検出は表面プラズモン顕微鏡で行っている。アレイの作製はマイクロコンタクトプリンテイングによるものである。一方で、カーボンナノチューブ FET デバイスにおける自己組織化単分子膜による表面仕事関数の制御や、バイオ応用では、ナノ相分離構造を示すブロック共重合体高分子単分子膜上での細胞の成長、アゾベンゼン修飾金ナノ微粒子によるうさぎの免疫感作、局所摩擦の定量的マッピング法によるシクロデキストリン環間に働く分子間相互作用の定量的評価など、自己組織化膜に関わる応用研究を広く展開した。

生体電磁情報研究分野

生体との良好なコミュニケーションを目指して

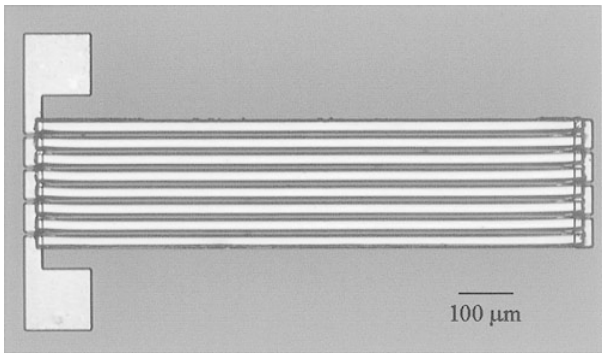


図１　高感度薄膜磁界センサ

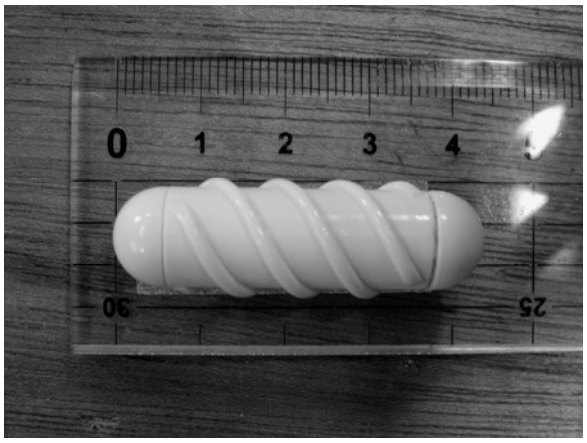


図２　カプセル内視鏡駆動用磁気アクチュエータ

＜分野の目標＞

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。

＜2007 年度の主な成果＞

１．磁性薄膜の異方性を制御する新たな手法の提案と磁界センサへの適用

磁性薄膜の異方性の方向制御により磁区構造を制御し、外部磁界に対して極めて急峻なインピーダンス変化を実現した[2][9]。また、磁性薄膜の異方性の新たな制御手法として、微細加工技術を活用し磁性材料の形状を精密に制御する手法を提案し、それによる材料特性設計が可能であることを示した[4][10]。開発した薄膜磁界センサは 10^{-13}T 台の極めて高い感度を実現した[7]。

２．磁気微粒子のマニピュレーションに関する研究

生体内での活用が期待されている磁気微粒子のマニピュレーション技術に関する新たな提案を行い、回転磁界を利用して凝集と分散を外部から制御する手法の可能性を示した。

３．三次元位置検出システムに関する研究

磁気マーカーを利用した三次元位置検出システムに関する検討を行い、その検出精度を決定する要因を定量的に明らかにした[11][12]。

４．磁気アクチュエータに関する研究

外部から磁界を与えて動作させる磁気アクチュエータに関して、磁気トルクを利用した

マイクロポンプ[5]、磁歪を利用した微小カンチレバー等に関する検討[1][3][8]を推進し、またカプセル内視鏡を体外から与える磁界により駆動・制御する技術の開発を医療機器メーカーと共同で進めている[6]。

＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）

＜教授のプロフィール＞

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)。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

国際会議招待講演

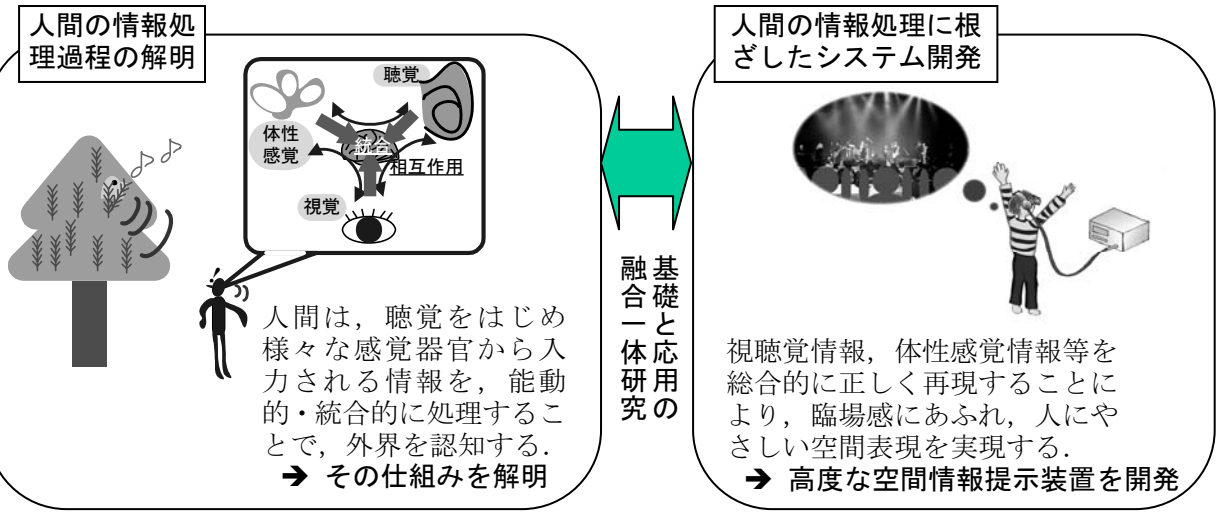
[1] K. Ishiyama and C. Yokota, “CANTILEVERED ACTUATOR USING MAGNETOSTRICTIVE THIN FILM,” Soft Magnetic Materials Conference 18, Wolfson Centre for Magnetics, Cardiff University, U.K., 2nd-5th September 2008.

査読付原著論文

[2] T. Nakai, K. Ishiyama, J. Yamasaki, “Analysis of steplike change of impedance for thin-film giant magnetoimpedance element with inclined stripe magnetic domain based on magnetic energy,” Journal of Applied Physics, Vol.101, No. 09N106, (2007).
[3] C. Yokota, K. Ishiyama, K. I. Arai, “Comparison with Film Substrate of Polyimide and Ni for Cantilevered Magnetic Actuators,” IEEJ Trans., Vol. 2, No. 4, pp.436-439, (2007).
[4] T. Kato, K. Ishiyamam, K. I. Arai, “Basic Study of High-Frequency Carrier-Type Magnetic Field Sensor Using Shape Anisotropy,” IEEJ Trans., Vol. 2, No. 4, pp.440-444, (2007).
[5] S. Hisatomi, A, Yamazaki, K. Ishiyama, M, Sendoh, S. Yabukami, S. Agatsuma, K. Morooka, K. I. Arai, “Basic Properties of Micropump with Magnetic Micromachine,” Journal of Magnetics, Korean Magnetic Society, Vol. 12, No. 2, pp. 84-88, (2007).
[6] A. Chiba, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, H. Kawano, A. Uchiyama, H. Takizawa, “Magnetic Actuator for a Capsule Endoscope Navigation System,” Journal of Magnetics, Korean Magnetic Society, Vol. 12, No. 2, pp. 89-92, (2007).
[7] 村山芳隆, 小澤哲也, 藪上信, 石山和志, 荒井賢一, “10^{-13}T 台の磁界検出分解能を有する高周波伝送線路型薄膜磁界センサ,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 1, pp.17-22, (2007).
[8] 横田周子, 山崎彩, 仙道雅彦, 我妻成人, 石山和志, 荒井賢一, “弱磁界中で動作可能な片持ち梁型磁気アクチュエータに関する検討,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 131-134, (2007).
[9] 中居倫夫, 高田健一, 阿部宏之, 星則光, 鈴木秀夫, 石山和志, 荒井賢一, “不連続的インピーダンス変化特性を有した薄膜 GMI センサと微分回路を組合せた磁界検出方法に関する検討,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 3, PP. 216-220, (2007).
[10] 加藤智紀, 石山和志, 荒井賢一, “形状磁気異方性による高周波キャリア型磁界センサの異方性制御,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 3, pp. 227-230, (2007).
[11] S. Hashi, M. Toyoda, S, Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Wireless magnetic motion capture system - compensatory tracking of positional error caused by mutual inductance -," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 43, No. 6, pp. 2364-2366, (2007).
[12] S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, M. Ohya, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Development of magnetic motion capture system for multi-position detection," Sensor Letters, Vol. 5, No. 1, pp. 300-303, (2007).

先端音情報システム研究分野

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

＜分野の目標＞

高次かつ高度な人間情報通信システムを実現するためには，人間の情報処理の仕組みを明らかにすることが不可欠である．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“聴覚モード”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．これらの基礎的な知見を応用し，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．

＜2007 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により外界をより安定・正確に認識している．本研究室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きた．本年度は主に視覚と聴覚，聴覚と体性感覚の相互作用に関する研究を行い，音の継時的群化が視聴覚刺激の同時性判断に与える影響や，聴覚随伴性運動残効といった内容でこれまでにない新しい知見が得られた．

２． 3 次元音空間認識と制御・再現手法の研究

音空間認識には，音源から聴取者両耳までの頭部伝達関数（HRTF）が大きく影響する．本年度は，HRTF の個人性について，身体形状と HRTF との関連を調べるため，3 次元形状モデルから境界要素法を用いて HRTF を求めるプログラムを開発し，計算機内で系統的に身体形状を変化させた場合の HRTF の変化を調査した. その結果, HRTF の極や零点は，耳介の大きさ，角度といった耳介部分の大局的な形状だけでなく，耳甲介腔や舟状窩など耳介内部の細かな凹凸にも影響を受け，周波数上で系統的に変化することが示された．

また，音響ホールの音を竣工前に実際に耳で聞いて性能評価を行う際に有効な手法として，1/10 スケールのダミーヘッドと模型を用いた実測と幾何音響解析手法とを併用する新しい室内音響可聴化手法を提案した．

３．高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発

音情報は，高品質マルチメディア情報の重要な要素の一つである．特にネットワーク通信における音情報の重要性は高まっており，その情報の秘匿性の維持も大きな課題となっている．本年度は，本研究室が考案した秘密共有分散による暗号化とマルチパス通信とを組み合わせた新しいネットワーク秘匿通信手法の提案を行い，実際の通信路を用いて手法の有効性の検証を行った．さらに，Multiple Description （MD）スカラー量子化を用いた音声圧縮手法についても検討を進めた．

４．聴覚障害者のバリアフリー実現に関する研究

聴覚障害者に音による情報を的確に伝達する手法の開発は，加速する高齢化社会において非常に重要な課題の一つである．そこで本年度は，次世代補聴システムへの適用を念頭に，補聴器の両耳装着によって環境雑音と音声信号とを効果的に分離する選択的両耳聴アルゴリズムに関する研究を行った．さらに，話速変換時における読唇音声知覚過程の解明や，駅の構内放送などのアナログ信号にディジタル文字情報を付加する電子透かし技術の開発など，聴覚障害者のバリアフリー実現を目指す研究を進めた．

＜職員名＞

教　授　鈴木 陽一（1999 年より）
准教授　岩谷 幸雄（2007 年より）
助　教　坂本 修一，宮内 良太
技術職員　齋藤 文孝　非常勤研究員　小林 まおり　科研費技術者　宮内 千夏
事務補佐員　小野寺 美紀

＜教授のプロフィール＞

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，ディジタル補聴器，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．

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Yukio Iwaya and Yôiti Suzuki: “Rendering Method of Moving Sound Source with the Doppler Effect in Sound Space,” *Applied Acoustics*, 68 (8), 916-922, 2007
[2] Shuichi Sakamoto, Yôiti Suzuki and Jiro Gyoba: “Effects of auditory and visual information on the perceived direction of self-motion (invited lecture),” Proc. 19th International Congress on Acoustics (ICA2007), PPA-03-002-IP, 2007
[3] 大内誠，岩谷幸雄，鈴木陽一: “視覚障害者のための 3 次元聴覚情報の提示,” バイオメカニズム学会誌，31 (2)，95-100，2007
[4] 魏浩石，西村竜一，伊藤彰則，小林まおり，鈴木陽一: “LogPCM および ADPCM への Multiple Description スカラー量子化の適用,” 電子情報通信学会誌，J90-A (12)，918-921，2007

高次視覚情報システム研究分野

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



条件により、ものの見え方は変化するが、視覚の特性を理解することで予測できる。また画像や環境のどこを見るかで視覚情報の効果は変わるが、視覚的注意のモデルを構築することで、どこを見るかの予測が可能となる。

＜分野の目標＞

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。

＜2007 年度の主な成果＞

１． 視覚的注意の空間特性の検討

人間は、視線と独立した位置に注意を向けることができる。しかし注意がどこに向けられているかを直接測定することはできない。今年度は、これまでの我々が開発してきた注意の空間位置、空間範囲の測定手法のひとつを用いて、運動対象を追跡中の感度の空間分を推定した[1]。その結果、注意は追跡対象の周囲にのみ分布し、分割して異なる位置にむけることはできないか、非常に困難であることを明らかにした。これは、注意は視野内のある一カ所に注意が向けられていると考えられることを意味し、ボトムアップの注意に関しては、画像の誘目性の高さで注意位置を一カ所に決める注意モデルの有効性を示唆する。将来的には、画像コンテンツや交通環境など視環境の評価に利用できる成果である

２． 低速運動情報の重要性

我々は、運動視には時空間周波数特性の異なる２種類の運動検出器（遅い運動と速い運動の検出器）が存在することを示した[2, 3]。その両者の差異について検討した結果、時空間特性に加えて、大域運動の処理に差があることを明らかにした[4, 5]。我々の実験は、刺激が局所的な運動から大域的な運動に変わるとき、遅い運動検出器の反応は大きくなるのに対して、速い運動検出器の反応は変化しないことを示した。視覚認識においても画像処理に

おいても注目されていない遅い運動信号の重要性を示す知見であり、運動情報の視覚認識への影響に新しいものを付け加えたことになる。

３．立体視の時間特性

立体知覚の時間特性についての研究をまとめ、動画の観察と静止画の観察における処理メカニズムの違いを明らかにした[6]。その結果は、静止から 5Hz 程度までの時間変化する視覚刺激に対しては、空間的には細かい処理が可能であり、それと同時に小さな奥行きへの感度が高く、10Hz を超えるような時間変化の大きい、あるいは高速で運動している視覚刺激では、大きな（低周波の）刺激の大きな奥行きに感度高いことを示す。この研究は、物理的に同じ奥行きであっても、運動時と静止時では見かけの奥行きが異なることを示したもので、３Ｄディスプレーの設計や３Ｄ映像コンテンツの評価にとって重要である[7]。

＜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）

＜教授のプロフィール＞

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。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Matubara, S. Shioiri , and H. Yaguchi, "Spatial spread of visual attention while tracking a moving object," Optical Review 14(1), 57-63 (2007).

[2] S. Shioiri and K. Matsumiya, "High spatial frequency superiority of MAE for global motion.," Journal of Vision 7(9), 726a (2007).

[3] K. Matsumiya and S. Shioiri, "Motion aftereffects of plaid stimuli for smooth pursuits.," Journal of Vision 7(9), 726a (2007).

[4] S. Shioiri and K. Matsumiya, "Interocular transfer of motion aftereffect with stimuli moving in different directions," presented at the International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2007, Sapporo, Japan, October, 10-12, 2007.

[5] K. Matsumiya and S. Shioiri, "Visual motion perception and smooth eye movements," presented at the International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2007, Sapporo, Japan, October, 10-12, 2007.

[6] S. Lee, S. Shioiri, and H. Yaguchi, "Stereo channels with different temporal frequency tunings," Vision Res 47(3), 289-297 (2007).

[7] S. Shioiri, "Temporal factors of human depth perception," presented at the 7th International Meeting on Information Display, Daegu, Korea, August, 27-31, 2007.

[8] I. Kuriki, Aftereffect of adaptation to chromatic notched-noise stimulus. Journal of the Optical Society of America A, 24, 1858-1872, 2007.

[9] I. Kuriki: Color representation in human visual cortex, invited talk at International Symposium on Vision and Image. Oct.26, 2007.

[10] I. Kuriki: Color representation at the 'mid-level' of human visual system. 1st meeting on Basic Color-Vision Science in Japan. Jan.26, 2008.

[11] I. Kuriki, P. Sun, K. Ueno, K. Tanaka, & K. Cheng, Hue selectivity of human visual cortices revealed by BOLD fMRI. Society for Neuroscience Annual Meeting, November 3-7 2007.

先端情報通信領域創成研究分野

プラズモニックデバイスのバイオセンシング応用

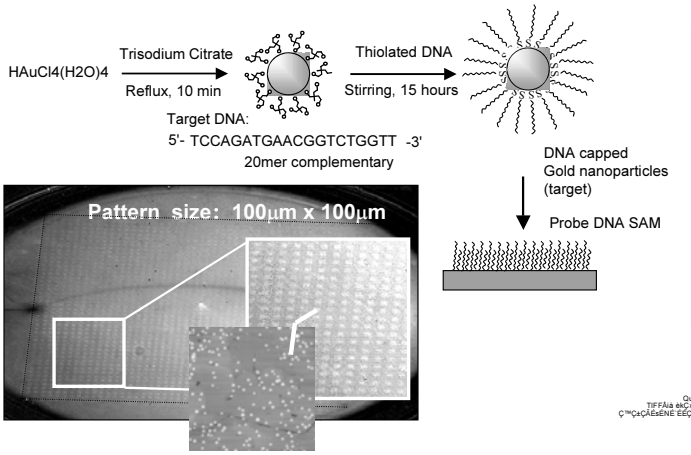


図１　高密度集積型 DNA マイクロアレイ

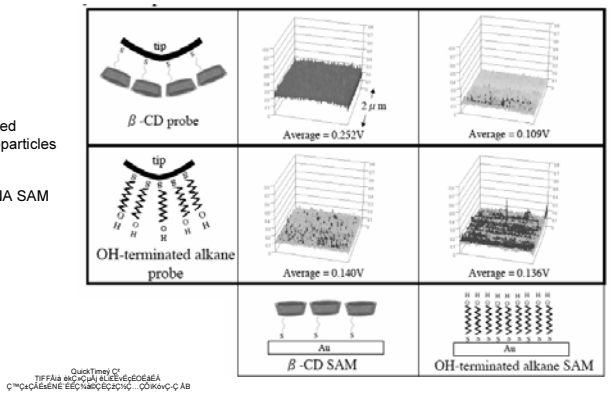


図 2 局所摩擦の定量的マッピング法

＜分野の目標＞

本研究分野では、ナノバイオテクノロジーと情報通信の境界領域研究として、分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う。中でも金属–有機物接合界面における伝搬型および局在プラズモン共鳴に関わる現象について広く研究を展開する。未来型バイオセンシングでは、時空間的広がりを持つ高度で複雑な分子情報をあるがままにリアルタイムで収集・蓄積し、それを網羅的に解析、柔軟に検索・再活用できるシステム構築が必要である。ナノレベルでの局所的な相互作用や協同現象を、そのままの姿で取り込むための計測デバイスの開発が我々の研究の目標である。

＜2007 年度の主な成果＞

１．金属ナノ微粒子による高密度集積型 DNA マイクロアレイの作製：[1][2][3][5][6]

国内外の研究機関との共同研究により、大量の情報を並列的に短時間で処理し、高密度に集積できる新しいタイプの DNA マイクロアレイの開発に成功した。このデバイスには、表面プラズモン信号を増強する目的で金ナノ微粒子がマーカーとして使われ、信号検出は表面プラズモン顕微鏡で行っている。アレイの作製はマイクロコンタクトプリンテイングによるものである。

２．機能性自己組織化単分子膜による表面物性制御およびバイオ応用：[4][7][10]

カーボンナノチューブ FET デバイスにおける表面仕事関数を自己組織化単分子膜の分子ダイポールにより制御することに成功した。バイオ応用では、ナノ相分離構造を示すブロック共重合体高分子単分子膜上での細胞の成長についての成果をまとめた。さらには、アゾベンゼン修飾金ナノ微粒子によりうさぎを免疫感作し、金ナノ微粒子をキャリアとする抗アゾベンゼン IgG 抗体を合成し、アゾベンゼン分子との特異的相互作用を表面プラズモ

ン法により評価することに成功した。

３． 表面高感度分析法の開発：[8][9]

摩擦力顕微鏡による局所摩擦の定量的マッピング法を開発し、シクロデキストリン環間に働く分子間相互作用について定量的に評価することに成功した。さらにシンガポール放射光施設ソフト X 線源を利用した国際共同研究において、イオン性分子表面におけるカウンターイオンの交換反応（Br+イオンの脱離）を世界ではじめて検出することに成功した。

＜職員名＞

教　授　玉田　薫（2007 年より）

＜教授のプロフィール＞

1984 年 3 月奈良女子大学理学部化学科卒業。1984 年 4 月日本合成ゴム（現 JSR）筑波研究所研究員。1991 年 12 月　米国ウィスコンシン大学化学科研究員。1993 年 7 月理学博士（奈良女子大学）。1993 年 9 月理化学研究所国際フロンテイア研究システム博士研究員。1995 年 4 月工業技術院物質工学工業技術研究所主任研究員。この間オーストラリア国立大学、ドイツマックスプランク高分子研究所、シンガポール国立大学客員研究員。1999 年 9 月通産省工業技術院総務部技術評価課。2003 年 4 月（独）産業技術総合研究所光技術研究部門バイオフォトニクスグループ長。2005 年 4 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准教授。2006 年 10 月シンガポール国立大学理学部物理学科連携（准）教授。2007 年 10 月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。日本表面科学会理事。応用物理学会有機分子バイオエレクトロニクス分科会副幹事長。アメリカ化学会会員。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] 玉田薫、“SPR イメージング”、「ナノバイ計測の実際」（講談社サイエンテイフック）、pp152-161、2007.
[2] 玉田薫、“表面プラズモン共鳴分広報および顕微鏡”–局所場による高感度光計測–、「高分子分析技術最前線」（共立出版）、pp27-38、2007.
[3] 玉田薫、Wolfgang Knoll、“SPR 法による最先端バイオセンシング”、未来材料、Vol. 8, No.1, pp22-31, 2008.
[4] H. L. Khor, Y. Kuan, H. Kukula, K. Tamada, W. Knoll, M. Moeller, D. W. Hutmacher, “Response of cells on surface-induced nanopatterns: Fibroblasts and mesenchymal progenitor cells”, Biomacromolecules, Vol. 8, No. 5, pp1530-1540, 2007.
[5] M. Ito, F. Nakamura, A. Baba, K. Tamada, H. Ushijima, K. H. A. Lau, A. Manna, W. Knoll, “Enhancement of surface plasmon resonance signals by gold nanoparticles on high-density DNA microarrays”, J. Phys. Chem. C, Vol. 111, No. 31, pp11653-11662, 2007.
[6] K. Tamada, F. Nakamura, M. Ito, X.H.Li, A. Baba, “SPR-based DNA detection with metal nanoparticles”, Plasmonics, Vol. 2, No. 4, pp185-191, 2007.
[7] C.W. Lee, K. Zhang, H. Tantang, A. Lohani, S.G.Mhaisalkar, L.J. Li, T. Nagahiro, K. Tamada, Y. Chen, “Tuning of electrical characteristics in networked carbon nanotube field-effect transistors using thiolated molecules”, Appl. Phys. Lett., Vol. 91, No. 10, pp103515 (1-3), 2007.
[8] M. Sadaie, N. Nishikawa, Y. Kumashiro, Y. Ikezawa, Y. Kumagai , K. Makino, S. Ohnishi, K. Tamada, M. Hara, “Quantitative friction map on surface composed of beta-cyclodextrin monolayer”, Jpn. J. Appl. Phys. PART 1, Vol. 46, No.12, pp7838-7845, 2007.
[9] L.F.N.A. Qune, K. Makino, K. Tamada, W. Chen , A.T.S. Wee ATS, “Selective adsorption of L-tartaric acid on gemini-type self-assembled monolayers”, J. Phys. Chem. C, Vol.112, No. 8, pp3049-3053, 2008.
[10] N. Ishii N, F. Fitrilawati, A. Manna, H. Akiyama, Y. Tamada, K. Tamada, “Gold nanoparticles used as a carrier enhance production of anti-hapten IgG in rabbit: A study with azobenzene-dye as a hapten presented on the entire surface of gold nanoparticles”, Vol. 72, No. 1, pp124-131, 2008.

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。そのため本研究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分野、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分野、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分野、ネットワーク指向のコンテンツ管理・利用技術の研究を行う情報コンテンツ研究分野、情報社会構造研究分野(客員)の５分野から構成されている。平成１９年度の研究活動成果は分野ごとに後述するが、その概要は以下のとおり。

（１）ソフトウェア構成研究分野

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研究を行ってきた.基礎理論の研究では,これまで継続してきた機械語コード及びコード生成の証明論的基礎を完成させ，プログラミング言語分野で最も権威のある国際論文誌ＡＣＭ ＴＯＰＬＡＳに発表した.また，表示的意味論に基づくパターンマッチングのコンパイル理論を完成させた．さらにそれら基礎研究成果を生かし，次世代高信頼プログラミング言語ＳＭＬ＃の開発を進め，２００７年７月に大幅に機能を向上させたコンパイラをリリースすると共に,次期リリースに向けてＪａｖａ及びリレーショナルデータベースとの連携モジュール､実際の機械語に近い仮想機械コードの生成モジュール等を新たに開発した.

（２）コンピューティング情報理論研究分野

定理自動証明手法に基づくプログラミング変換の検証を目的として，2 階変換パターンに基づくプログラム変換手法の研究を進めた.2 階一般化アルゴリズムを考案し，それを応用して，具体的なプログラム変換から変換パターンを抽出する方法について研究を進めた．また，近年，多くの停止性自動検証器が提案されているが，合流性についてはあまり知られていない．そこで，直和分解や可換分解といった分解手法を用いて,項書き換えシステムの合流性を判定する合流性検証器の構築を行なった.また，反証付き帰納的定理証明のための補題生成法や，SAT ソルバを用いた停止性証明法における新しい符号化法の提案を行なった.

（３）コミュニケーションネットワーク研究分野

次世代ユビキタスネットワークの新しい管理法(総務省・SCOPE プロジェクト(平成19～21 年度))について研究し、それに基づき IETF において標準化活動を推進した。その成果として 2008 年 2 月に「NEMO Management Information Base」のインターネット国際標準規格(RFC)の草案を提案し注目されている。また､「共生コンピューティング」について、モデル、アーキテクチャの詳細化を進め、高齢者見守り支援システム(uEyes)等のプロトタイプシステムを開発した。その成果に対して国際会議における基調講演 1 件、招待論文 3 件の依頼があり、また論文賞を受賞した。

（４）情報コンテンツ研究分野

インターネット･イントラネット上に分散配置された映像コンテンツ制作ツール及び映像制作者集団が協調して映像コンテンツ制作を行うことができる環境の構築をめざして，Wiki や SNS の概念と Flash の技術を導入したネットワーク協調型映像編集システムおよびネット上でフェース・ツー・フェースでの映像コンテンツ企画・編集会議を行うための視線･指点共有システムの検討と基本モデルの試作実験を行い，システムの有効性を映像情報メディア学会，情報処理学会で報告し，学会で大きな注目を集めた。また，超高速・高精細カメラ出力など超高速転送データを効率よく蓄積する映像処理システムとして，特定のショットをもれなく検出するための基礎検討を始めた。

（５）情報社会構造研究分野

人間社会における創造活動を支援する有力な手段として「超高速コンピューティングによる数値シミュレーション技術」に注目し、この技術が広く社会に普及・活用されるための基盤技術の研究を行っている。特に、応用分野の広い流体挙動シミュレーションを、超高速にしかも小型・低消費電力・低コストで実行できる“シミュレーション加速プロセッサ”の設計を進めた。この結果、微小整数型格子流体法アルゴリズムの採用により、繰り返し計算では、消費電力の大きい乗算回路等を一切使用せず、かつ、羽生貴弘教授らが提案しているトンネル磁気抵抗効果素子によるスピン演算回路を利用して、さらなる超低消費電力化ができる見通しを得た。

ソフトウエア構成研究分野

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装

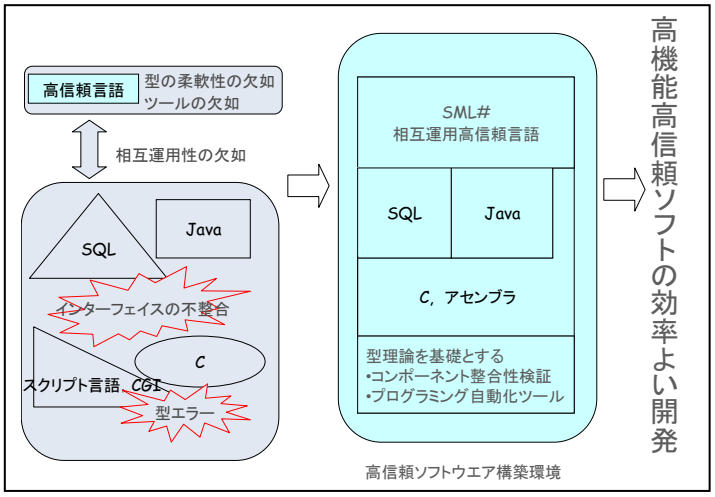


図１．次世代高信頼プログラミング言語ＳＭＬ＃とそのサポート環境の概要

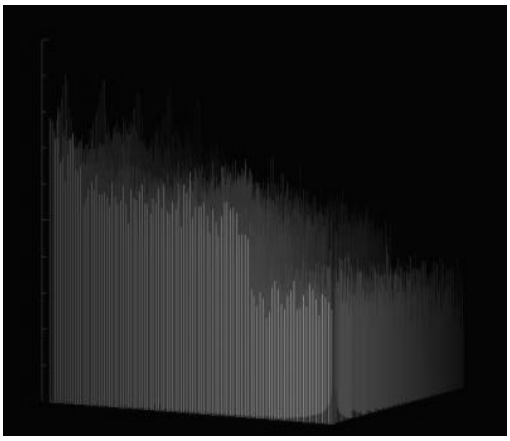


図２．ＳＭＬ＃の最先端相互運用機能を用いて実現したサウンド解析プログラムの出力例

＜分野の目標＞

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エ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。

＜2007 年度の主な成果＞

1．　SML＃バイトコードコンパイラの開発とそのリリース

SML＃は以下の機能の実現を目指す次世代高信頼プログラミング言語である。

（ア）　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

（イ）　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

（ウ）　Standard ML と上位互換性を持つ

本年度は(1)種々の最適化モジュールの開発、(2)Java 及びリレーショナルデータベースとの連携モジュール、(3)実際の機械語に近い仮想機械の設計とその仮想機械へのコード生成モジュール等を新たに開発し、2007 年 7 月に大幅に機能を向上させたコンパイラをリリースした。

2.　機械語コードの証明論的基礎理論の完成

機械語コードを直観主義的論理学の証明記述と見なせるとの洞察を基に，機械語コード言語に対する証明論の枠組みを完成させ，2007 年 10 月にプログラミング言語分野の最も影響力のある国際論文誌 ACM　TOPLAS に発表した．この枠組みは，機械語コードと論理学の証明システムとの同型関係を初めて確立するものであり，その関係を通じて，これまでの高水準プログラミング言語の型理論の研究成果を，機械語コードに展開することを可能にする．具体的には，この枠組みを基礎に，機械語コードの型や意味の分析，機械語コードへの系統的なコンパイルアルゴリズムの構築，それらの正当性の検証などを可能にし，高信頼言語の系統的な実現の基礎を与えるものである．本成果を基礎に開発された実用化技術は，上記の次世代言語ＳＭＬ＃の開発の基礎となっている．

3.　表示的意味論に基づくパターンマッチングコンパイラの理論と実装技術の構築

パターンマッチングとそのコンパイルを系統的に理解するための表示的意味論を提示し，それを基に，パターンマッチング構文を効率よいコードにコンパイルする系統的なアルゴリズムを構築した．導出されたアルゴリズムは，分岐の選択に関して正しいことが形式的に証明されているばかりでなく，実行時の値のテスト回数に関して最適であり，かつ，冗長なパターンや網羅的でないパターン集合を常に正確に検出することが保証されている．以上構築したアルゴリズムは，SML#コンパイラのパターンマッチングコンパイルモジュールの基礎として使用されている．

＜職員名＞

教　授　大堀　淳（２００５年より）
助　教　篠埜　功（２００５年より）
産学官連携研究員　松野　裕
産学官連携研究員　Huu-Duc Nguyen　(7 月まで)
産学官連携研究員　Liu Bochao
秘　書　大友　詳子

＜教授のプロフィール＞

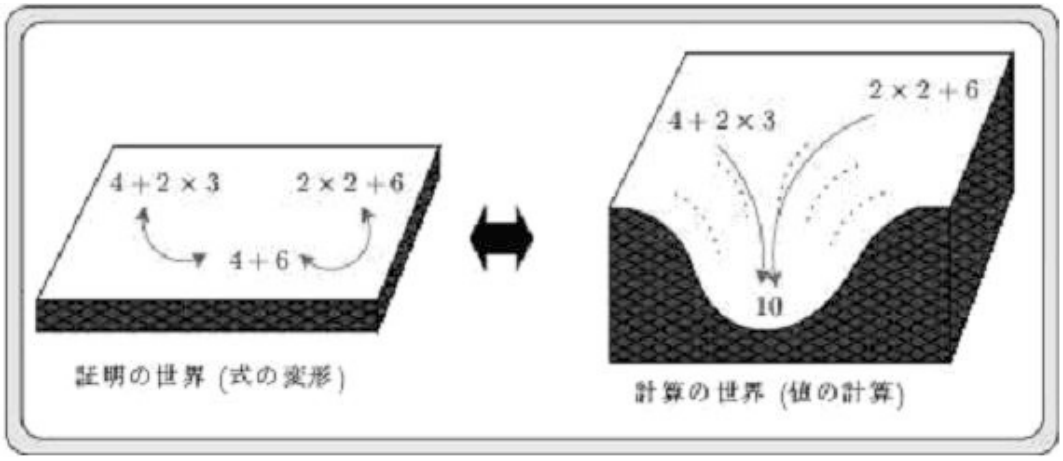
１９５７年生。１９８１年東京大学文学部哲学科卒業。同年沖電気工業（株）入社。１９８９年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了。Ｐｈ．Ｄ．その後、英国王立協会特別研究員（グラスゴー大学)、沖電気工業（株）関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、２００５年４月より東北大学電気通信研究所教授。プログラミング言語の基礎研究に従事。１９９６年第１０回日本ＩＢＭ科学賞受賞。

＜2007年度の主な発表論文等＞

[1] Atsushi Ohori, A proof theory for machine code, ACM Transactions on Programming Languages and Systems, vol 29(6), October, 2007
[2] 大堀 淳，纐坂 智，表示的意味論に基づくパターンマッチングコンパイル方式の構築と実装，コンピュータソフトウエア，vol 24, no. 2, 113-132, 2007 年 5 月

コンピューティング情報理論研究分野

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。

＜分野の目標＞

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

＜2007 年度の主な成果＞

1． 変換パターンに基づくプログラム変換

変換パターンに基づくプログラム変換はプログラム効率化のためのプログラム変換手法の 1 つである。有用な変換パターンを予め用意するために、具体的なプログラム変換から変換パターンを抽出する方法について研究を進めた。2 階の一般化アルゴリズムを考案し、それに基づき変換パターン抽出システムを実装した。変換パターンの候補を効率的に抽出するためのヒューリスティクスについて検討を行った。

２．合流性自動判定法の研究

近年多くの停止性自動検証器が提案されているが合流性についてはあまり知られていない。そこで、現在知られている複数の合流性判定方法を実装するとともに、これらの判定条件が直接適用できない複雑な項書き換えシステムに対しては、直和分解や可換分解といった分解手法を用いて合流性判定を行う合流性自動判定器の構築を行った。

３．明示的代入計算の書き換え理論

明示的代入計算はラムダ計算における代入を書き換えシステムによって実現する体系であり、関数型言語の実装モデルとしても使われる。論理学における証明変換に対応するいくつかの明示的代入計算に対して、型システムによる停止性の特徴づけと合流性の証明を行った。

＜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（2004 年 10 月より）

非常勤研究員：Ketema Jeroen（2006 年 4 月より）

＜教授のプロフィール＞

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。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Takahito Aoto, Soundness of Rewriting Induction based on an Abstract Principle, IPSJ Transactions on Programming, Vol.49, No.SIG 1(PRO35), pp.28-38, 2008.

[2] Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Automatic Construction of Program Transformation Templetes, IPSJ Transaction on Programming, Vol.49, No.SIG 1(PRO35), pp.14-27, 2008.

[3] 吉田順一, 外山芳人, 青戸等人, 項書き換えシステムの合流性自動判定, 第 6 回情報科学フォーラム講演論文集, 情報技術レター, Vol.6, pp.31-34, 2007.

[4] Ryo Ishigaki, Kentaro Kikuchi, Tree-Sequent Methods for Subintuitionistic Predicate Logics, In Proceedings of the 16th International Conference on Automated Reasoning with Analytic Tableau and Related Methods, LNAI 4548, pp.149-164, 2007.

[5] Kentaro Kikuchi, Simple Proofs of Characterizing Strong Normalization for Explicit Substitution Calculi, In Proceedings of the 18th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, LNCS 4533, pp.257-272, 2007.

[6] Joerg Endrullis, Jeroen Ketema, Root Stabilization Using Dependency Pairs, In Proceedings of the 9th International Workshop on Termination, pp.17-21, 2007.

[7] Kentaro Kikuchi, Confluence of Cut-Elimination Procedures for the Intuitionistic Sequent Calculus, In Proceedings of the 3rd Conference on Computability in Europe, LNCS 4497, pp.398-407, 2007.

コミュニケーションネットワーク分野

共生コンピューティングに基づく情報通信システムの構成論

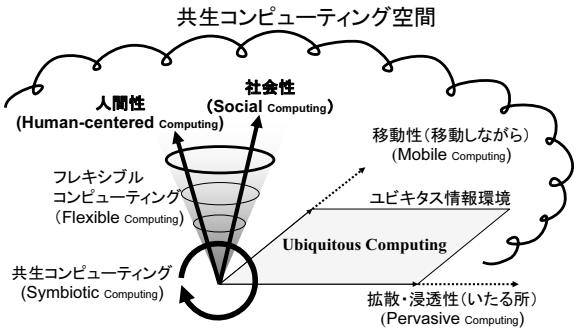
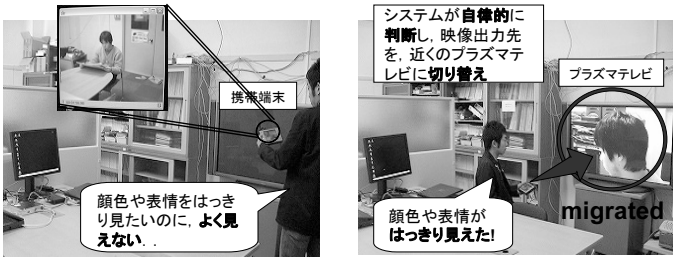


図1 共生コンピューティングの概念



(a)既存の見守り支援システム　　(b) uEyes(ユーアイズ)

図2 見る側・見られる側双方にやさしい見守り支援システム uEyes

＜分野の目標＞

「共生コンピューティング」に基づいた情報通信システムの研究

当研究室では，1992 年より，人間とコンピュータが「共生」する情報システムへ向けて，次世代の情報・通信の基本となる共生に基づいた概念「フレキシブル共生コンピューティング」を創生し，これに基づいて研究を推進している。これまでの情報・通信は，コンピュータに代表されるように合理性（効率，機能，経済性）を評価基準として進展してきた。これを合理性に基づくモダン情報システムと呼ぶ。本研究では，ポストモダンの基本的な考え方として，フレキシブル共生コンピューティングを提唱している。この概念は，モダンの長所を生かしつつ，失ったものを取り戻し，人と IT（情報技術）環境が調和しながら発展するための思想である。ここで，共生とは，人間と IT 環境（コンピュータ，ネットワーク，ソフトウェアロボット，機械ロボット，…）がそれぞれの長所を生かしつつ，緊張と対立を含みながら協調・調和することである。本研究の目的は，このような考え方に基づいて人間と共生する情報通信システムの構成論を確立することである。

<研究テーマ>

(1) 共生コンピューティング：理論と応用
(2) 共生社会と健康管理・見守り支援，共生 3 次元ディジタル空間
(3) 超高速広域ネットワークの計測・解析とモバイルネットワーク管理

＜2007 年度の主な成果＞

1. 共生コンピューティングの研究

現実空間(RS: Real Space)における人々が，ディジタル空間(DS: Digital Space)に存在するサービスを受けようとしても阻害され十分に受けられない。この阻害要因を u-Gap と呼ぶ。共生コンピューティングとは，共生社会へ向けて，u-Gap の解消，すなわち「u-Bridge」を構築するためのコンピューティングである。今年度は，共生コンピューティングのモデルとアーキテクチャの詳細について検討した。具体的には、パーセプチャルウェア，ソーシャルウェア，ネットワークウェアからなる共生コンピューティングアーキテクチャの概念設計を実施した。

2. ネットワーク管理の研究

ユビキタスネットワークの実用化に向けて，IPv6 ネットワークモビリティを管理するための Management Information Base (MIB)を世界に先駆けて構成した。また，本成果をもとに IETF の MEXT WG にて標準化活動を推進し，2008 年 2 月に「NEMO Management Information Base」のインターネット国際標準規格(RFC)の草案を提出した。

また，超高速大規模ネットワーク向きネットワーク計測・解析・管理のための基盤技術の確立を目指し，広域に分散するトラフィックの計測に基づいて検出されたイベントの分析，可視化を支援するツールとして「広域イベント情報共有分析システム」を完成させた。これにより，コンピュータウィルスの拡散等の広域で発生する異常トラフィックの検出・分析を支援可能であることを示した。

＜職員名＞

教　授：白鳥 則郎（1993 年より）　　准教授：菅沼 拓夫（2003 年より）
助　教：北形 元（2007 年 4 月まで），小出 和秀　　秘　書：三浦佳奈

＜教授のプロフィール＞

1946 年宮城県生れ。1977 年東北大学大学院博士課程修了。1984 年東北大学助教授（電気通信研究所)。1990 年東北大学教授（工学部情報工学科)。1993 年東北大学教授（電気通信研究所)。1998 年 IEEE Fellow，2000 年情報処理学会フェロー，2002 年電子情報通信学会フェロー。1985 年情報処理学会 25 周年記念論文賞，平成 8 年度情報処理学会論文賞，平成 19 年度情報処理学会功績賞，2001 年度電子情報通信学会業績賞，同学会論文賞，1997 年 IEEE ICOIN-11 Best Paper Award，1998 年 IEEE ICOIN-12 Best Paper Award，2000 年 IEEE ICPADS Best Paper Award，2001 年 IEEE 5-th WMSCI Best Paper Award，2007 年 UIC-07 Outstanding Paper Award，1991 年第 6 回電気通信普及財団賞，2002 年東北総合通信局長表彰など。2002 年情報処理学会・副会長，2002 年 IFIP 日本代表，2007 年日本学術会議・連携会員。現在，人と IT 環境が共生するための方法論と技術，およびコミュニケーションなどに関する研究に従事。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] H. Takahashi, Y. Tokairin, K. Yamanaka, T. Suganuma, T. Kinoshita, K. Sugawara, N. Shiratori, “A Ubiquitous Care-Support Service based on Agent-oriented Multiple-Context Coordination,” Journal of Networks, Vol.2, No.5, p.33-45, 2007

[2] N. Nakamura, D. Chakraborty, D. S.L. Wei, N. Shiratori, “Efficient Channel Utilization for IEEE 802.11 ad hoc Networks,”, Mobile Intelligence: Mobile Computing and Computational Intelligence Chapter 5, Wiley & Sons, Inc.

[3] N. Shiratori, “Year 2025: Towards Symbiosis Society -A New Computing Concept for Post Ubiquitous Environment-,“ International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2007), 2007 (**Keynote Speech**)

[4] T. Suganuma, K. Yamanaka, Y. Tokairin, H. Takahashi, K. Sugawara, N. Shiratori, “A Ubiquitous Watch-over System based on Environmental Information and Social Knowledge,” Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007), LNCS 4611, pp.1108-1120, 2007 (**Outstanding Paper Award**)

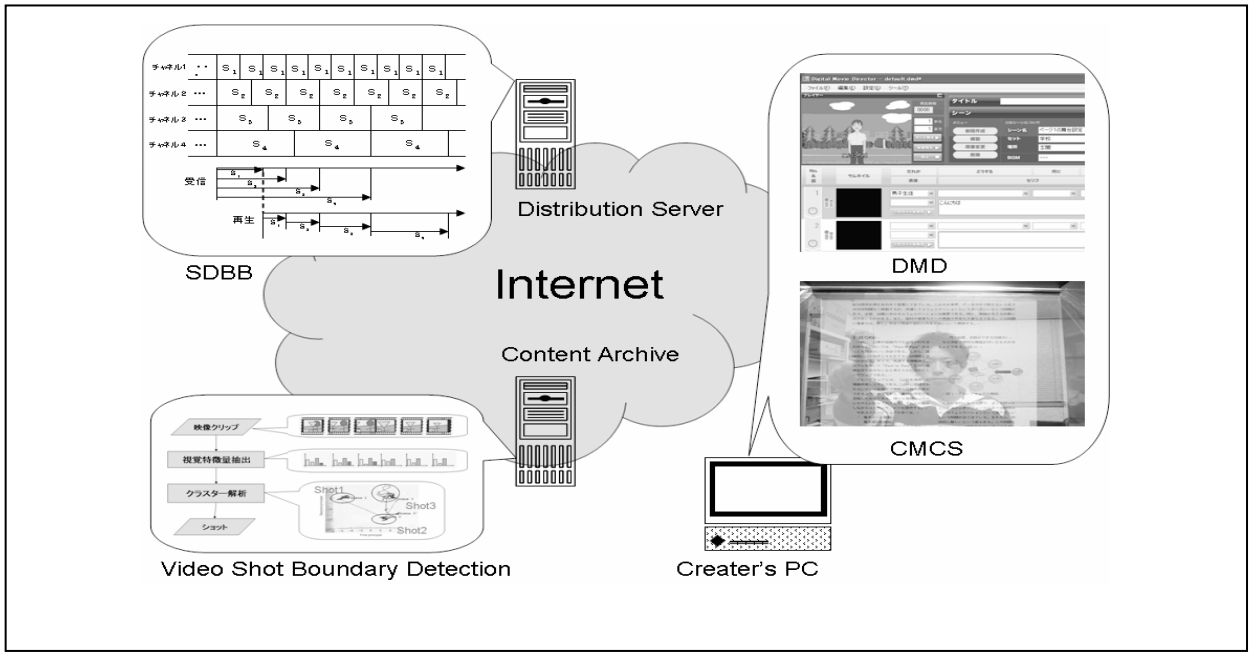
[5] T. Suganuma, K. Sugawara, N. Shiratori, “Symbiotic Computing: Concept, Architecture and its Applications,” Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007), LNCS 4611, pp.1034-1045, 2007 (**Invited Paper**)

[6] Y. Tokairin, K. Yamanaka, H. Takahashi, T. Suganuma, N. Shiratori,, “An Effective QoS Control Scheme for Ubiquitous Services based on Context Information Management,” Proc. of International Workshop on NGN and their Impact on E-Commerce and Enterprise Computing (NGN-EC2), pp.619-626, 2007 (**Invited Paper**)

[7] T. Suganuma, T. Miyamoto, J. Makishi, G. Kitagata, N. Shiratori, “Effective Knowledge Sharing based on Symbiotic Computing and its Application to Networked Cooperative Works,” Proc. of the 6th IEEE International Conference on Cognitive Informatics, pp.332-341, 2007 (**Invited Paper**)

情報コンテンツ研究分野

次世代デジタルコンテンツの創生・理解・流通・消費



＜分野の目標＞

産業資源に乏しいわが国において、情報コンテンツは 21 世紀における最重要産業のひとつとなることが期待されている。 実際、アニメやゲーム等日本が得意とする情報コンテンツは少なくないが、その反面、情報コンテンツを取り巻く世界は急速に変化している。当研究室では、このような背景を踏まえ、単なる流行に惑わされない長期的な視点で情報コンテンツのあり方を考えるとともに、特にその基盤となる以下の技術について研究開発を進めている。

- 誰もが簡単に映像コンテンツを制作し、安全に配信できるようにするための映像制作支援技術、
- コンピュータに画像内容を理解させ、映像コンテンツの検索や再利用を可能とするための画像理解技術
- 人間が日頃目にしている視覚情報（5 次元視覚情報）をそのまま縮退させることなく生成、保存、配信するための超臨場感映像コンテンツ流通技術

＜2007 年度の主な成果＞

1．シナリオ入力アニメ映像自動生成システム DMD におけるキャラクター立ち位置自動化技術

当研究室で研究開発している DMD(Digital Movie Director)において、従来困難であったキャラクター立ち位置の自動推定方式を開発した。評価実験の結果、被験者から非常に高い評価を得ている。[2][4][8]

２．企画会議向け映像コンテンツ協調制作システム CMCS の提案と試作
従来、特殊なスクリーンや装置を用いないと実現が難しかった指点一致技術について、特殊なデバイスやスクリーンを用いず、実現する手法を開発し、その試作を行った。[5]

３．高精度映像ショット検出技術
従来の映像ショット検出技術は、検出漏れをゼロにすることが極めて困難であった。そこで、本研究では、非常に多くの画像特徴量を用いた多変量解析に基づく手法について提案を行い、従来技術で正確な困難であった映像コンテンツに対しても提案方式が有効であることを実証した。[6]

４.誰でも放送局実現のための分割スケジューリング放送技術
個人所有のサーバやネットワーク環境でもインターネットを用いて誰もが簡単に映像コンテンツを配信できる技術ネットワークにエラーが生じても最適に放送型配信が行えるSDBB(Synchronized Double Buffering Broadcasting)法を提案した。[7]

＜職員名＞

教　授　沼澤　潤二（2004 年より）
准教授　青木　輝勝（2007 年より）
秘　書　武藤　伸子

＜教授のプロフィール＞

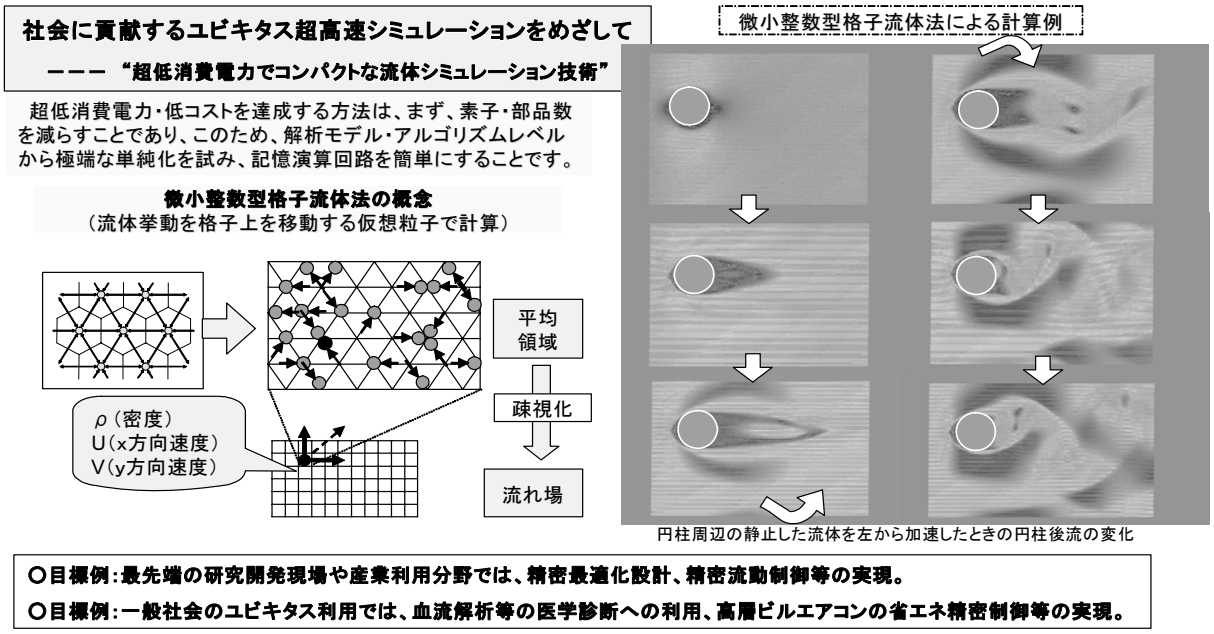
１９７１年３月　北海道大学大学院修士課程修了。同年４月　日本放送協会入局。１９９６年６月　日本放送協会放送技術研究所部長。１９９９年６月　日本放送協会技術局部長。２００２年６月　日本放送協会放送技術研究所研究主幹。２００４年４月　東北大学教授(電気通信研究所、情報科学研究科)、現在に至る。テレビジョン学会鈴木記念賞受賞（昭和５５年度)。IUMRS-ICAM-93　Distinguished invited paper 受賞（平成５年)。映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞（平成７年度)。東京都技術功労者表彰受賞（平成１５年度)。映像情報メディア学会フェロー。　博士(工学)。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1]青木輝勝、沼澤潤二、安田浩、”Web ページ真正性のための WebCoFIP 方式”、電子情報通信学会 MIH 研究会、　2007.10.
[2]青木輝勝、沼澤潤二、安田浩、"シナリオ入力映像制作システム DMD におけるキャラクター立ち位置自動推定方式”、 映像情報メディア学会 H19 冬季大会、2007.12.
[3]山口卓夫、山田 洋、青木輝勝、沼澤潤二、藤澤俊之、真島恵吾,"映像協調制作に向けたクリエイティブ・コミュニケーションシステム"、 映像情報メディア学会 H19 冬季大会、2007.12.
[4]青木輝勝、沼澤潤二、安田浩、"文章入力アニメ映像自動 生成システム DMD における伽タクター立ち位置自動推定方式の一検討”、 情報処理学会第 70 回全国大会、2008.3.
[5]清水大輔、青木輝勝、山田洋、沼澤潤二、"遠隔地間での利用を前提とした映像協調制作システムの試作"、情報処理学会第 70 回全国大会、2008.3.
[6]梅田直樹、青木輝勝、山田洋、沼澤潤二、"フレームベースベクトル空間を利用したショット検出手法の一検討"、情報処理学会第 70 回全国大会、2008.3.
[7]安里諒、青木輝勝、山田洋、沼澤潤二、"連続メディアデータの分割スケジューリング放送方式に関する一検討"、情報処理学会第 70 回全国大会、2008.3.
[8]青木輝勝、沼澤潤二、安田浩、"DMD(Digital Movie Director) によるアニメ映像コンテンツ自動生成技術"、電子情報通信学会総合大会（招待講演)、2008.3.

情報社会構造研究分野（客員）

超高速コンピューティングによる 数値シミュレーション技術の社会貢献



＜分野の目標＞

本分野は、広域情報通信環境に基づく情報システムのアーキテクチャとその実現技術を開発することによって、人間社会における創造的活動を系統的に支援するネットワーク社会の創造に寄与することを目指している。具体的には、近年めざましい発達を遂げた“超高速コンピューティング技術”と、“情報社会”の係わり合いに注目し、特に、人間社会における創造的活動を支援する有力な手段として「数値シミュレーション技術」をとりあげて、この技術が広く社会に普及・活用されるための基盤技術の研究に焦点を当てている。

＜2007 年度の主な成果＞

超高速コンピューティングによる“数値シミュレーション技術”が今後の情報社会において担う役割は極めて大きい。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、これらは全て人の命・生活基盤に直接かかわることであり、大規模な数値シミュレーションが威力を発揮すべき分野である。ここでは、気象予報や医療診断、産業界利用等を通じて一般社会に一番貢献できる“流体シミュレーション”のユビキタス利用を開拓するため、“小型化”・“低消費電力化”・“低コスト化”を極限まで押し進めたコンパクトなシミュレーションシステム技術を開発する。

１．超単純な流体解析アルゴリズムの開発

空間格子上を並進・衝突しながら移動する仮想粒子の平均運動によって流体挙動を模擬する“格子流体法”をシミュレーションモデルとして採用した。本モデルは、時間発展計算に実数を使用しないため、多数のトランジスタを用いる浮動小数点乗算回路等を省略でき、超低消費電力化に大きく貢献する。JAEA 等の協力も得て、2700CPU 並列での 50 億を超える格子点規模の計算実行を可能にした。また、仮想粒子の衝突規則を工夫することで揺動散逸挙動を模擬できそうなことが判り、高レイノルズ数を達成する新手法の研究を推進できた。

２．新概念回路技術によるシミュレーション加速プロセッサの設計

シミュレーション計算の主要繰返し部分に対して、次世代の電子回路技術を応用し、さらなる高速化と超低消費電力化をコンパクトに実現する“シミュレーション加速プロセッサ”の設計を進めた。本設計では、当研究所の羽生貴弘教授らが提案しているトンネル磁気抵抗効果素子によるロジックインメモリ回路(スピン演算回路)を基本にしたシステム設計を前提にしている。この基本回路は、電源を切っても情報が残る「不揮発性デバイス」を構成要素として内蔵しており、従来の集積回路上に重ねて当該デバイスを製作できるので、回路面積のコンパクト性を損なわずに超低消費電力を達成できると思われる。

３．シミュレーション加速プロセッサ応用システムの研究

計測情報のフィードバック機能を有する“シミュレーション加速プロセッサ”について、原子炉設計支援実験解析、水中航行ロボット等への応用を検討した。

なお、以上の研究は、平成 17 年 4 月 14 日に電気通信研究所、流体科学研究所及び日本原子力研究所(現在の日本原子力研究開発機構(JAEA))の間で締結した超高速コンピューティング分野における研究協力の推進に関する協定に基づき、通研の羽生教授ら及び流体研の早瀬敏幸教授らとの研究情報交換、並びに、JAEA 所有のスーパーコンピュータや「地球シミュレータ」を利用した菊池技術補佐員による多数のシミュレーション計算を基礎に推進できたものである。

＜職員名＞

客員教授　　松岡　浩　（2004 年 9 月より）
技術補佐員　菊池　範子

＜教授(客員)のプロフィール＞

1977 年 3 月東京大学工学部原子力工学科卒。1979 年 3 月同大学院工学系研究科原子力工学専門課程修士課程修了。1997 年 3 月茨城大学大学院工学研究科博士後期課程情報･システム科学専攻修了、博士(工学)。2002 年 6 月、技術士(情報工学部門)。1979 年 4 月科学技術庁入庁。その後、通商産業省資源エネルギー庁、日本原子力研究所、金属材料技術研究所、国際原子力機関、東北大学電気通信研究所等で、原子力開発・安全審査・保障措置システム構築・ファジィ･ニューラルネットを利用した直感的シミュレーション研究、地球シミュレータ開発、IT プログラム研究開発実施体制の構築等に従事。現在、独立行政法人日本原子力研究開発機構システム計算科学センター技術主席。同機構核不拡散科学技術センター政策調査室及び東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻国際保障学講座兼務。

＜2007 年度の主な発表等＞

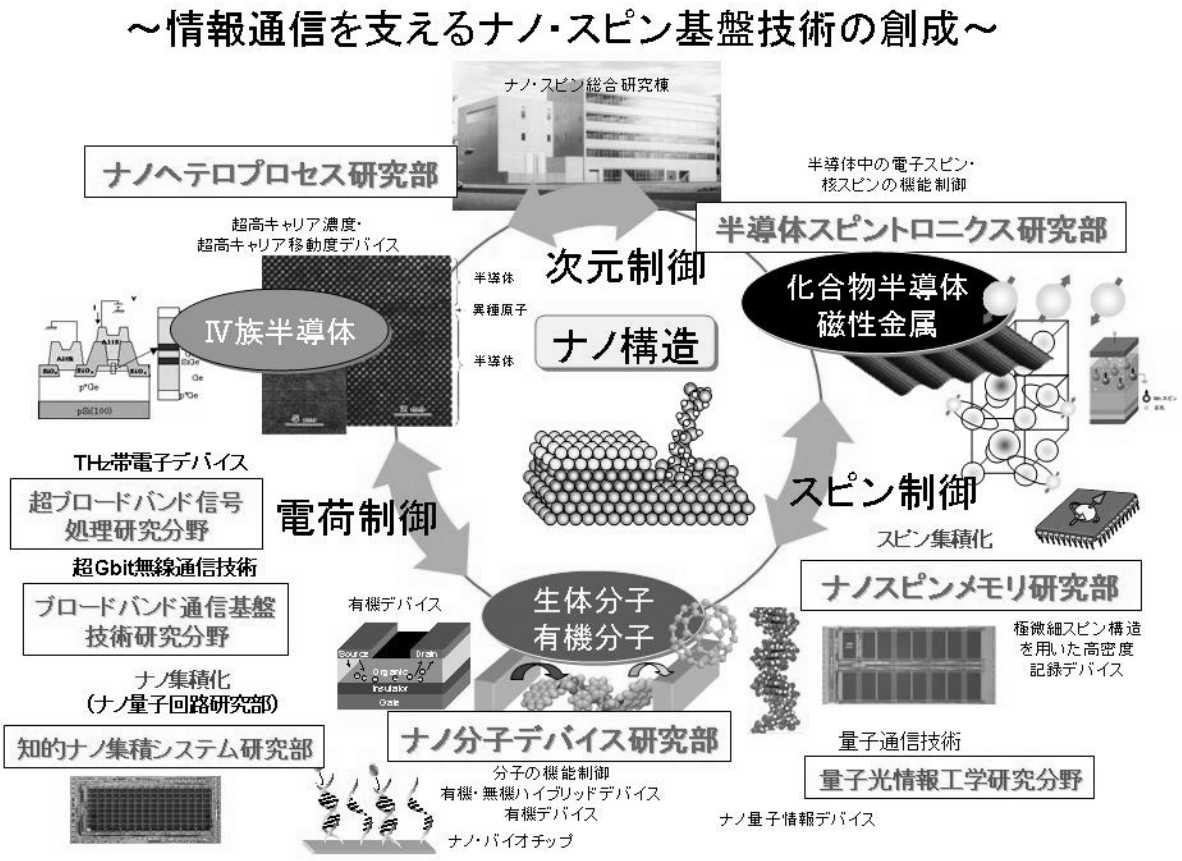
[1]松岡，菊池“超並列ビット演算による流体シミュレータの展開可能性”，東洋大学計算力学研究センター第３回計算力学シンポジウム，3.18，2008.

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」の４研究部、すなわちナノヘテロプロセス研究部、半導体スピントロニクス研究部、ナノ分子デバイス研究部、ナノスピンメモリ研究部と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究部、量子光情報工学研究分野、超ブロードバンド信号処理研究分野が入居し連携して研究を進めている。

今後施設にはナノ量子回路研究部が整備される予定である。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 19 年度の研究成果のハイライトを記す。

室田・櫻庭研究室（ナノヘテロプロセス研究部）

高清浄減圧 CVD 法による高濃度 B 原子層ドープ Si 薄膜形成における 180℃ での低温 B_2H_6 処理とその後の 180-300℃ での低温 SiH_4 処理が B クラスタ化の抑制と超高キャリア濃度化に有効であることを明らかにした。さらに、NH_3 原子層熱窒化 SiGe 表面においては、熱処理により Ge-N 結合が減少し、Si-N 結合が増加する傾向があり、窒化膜と基板界面での高 Ge 比率化を見いだした。また、$Si_{1-x}Ge_x$ 層表面の低温 SiH_4 処理の適用により、高 Ge 比率(58%)のヘテロ界面ラフネスを原子オーダでの抑制を可能とし、Ge 比率変調構造共鳴トンネルダイオード製作プロセスへの適用により、290K 付近まで負性抵抗特性を観測することに成功し同時に、Si 障壁を 1 nm 付近まで薄膜化することによっても負性抵抗特性の向上が可能であることを明らかにした。以上のように、新規物性発現に必要となる IV 族半導体原子層制御ヘテロ積層構造の実現に関して重要な成果を得た。

大野・大野・松倉研究室（半導体スピントロニクス研究部）

電子の電荷とスピンを使う半導体スピントロニクス基盤技術の確立とその展開を目指して研究を進め、以下の成果を得た。(1) 垂直磁化容易軸を持つ強磁性半導体(Ga,Mn)As 薄膜における電流誘起のクリープ運動の観測に成功し、そのクリープ運動がこれまでに知られていないユニバーサリティ・クラスに属することを明らかにした。(2) MIS 構造と中空配線構造を有する(In,Ga)As 共鳴トンネル・ダイオードをベースとする量子ドットを作製し、狭ギャップ半導体人工原子の電子状態の実証に成功した。また、その有効 g 値の大きさを評価した。(3) InAs/(Al,Ga)Sb 量子カスケードレーザの低閾電流密度(4 kA/cm^2)での室温発振に成功した。また、バンド間とサブバンド間の両方の光学遷移で同時に発振する InAs/AlSb 量子カスケードレーザの作製に成功した。

庭野研究室（ナノ分子デバイス研究部）

(1)過塩素酸とエタノールの混合溶液を用いた金属チタンの陽極酸化により高速に酸化チタンナノチューブを合成することに成功し、チューブ径を印加電圧により制御できることを示した。また、その酸化チタンナノチューブは色素増感太陽電池の材料として用いることができることを示した。(2)単結晶ルブレンを用いた有機電界効果トランジスタの出力特性に及ぼす電極/有機膜界面の影響を調べた。その結果、電極から有機膜へのキャリア注入特性が、その出力特性を決定づける主要な因子となりうることを示した。(3)赤外分光法を用いてタンパク質の抗原－抗体反応をバッファ溶液中で高感度に観察することに成功した。その結果、赤外分光法を用いることにより、二次構造の違いによる赤外吸収スペクトルの違いからターゲットとなる抗体または抗原を識別できる可能性を示した。(4)“生きている”細胞のその場赤外分光観察を可能にする赤外細胞観察装置の開発に成功し、実際に、本措置を用いて細胞の生死を観察した。

中島・佐藤研究室（知的ナノ集積システム研究部）

(1)逆関数遅延ニューロンモデルを最適値問題の解法に利用する際に問題であった、望ま

しくない恒常的な振動現象の発生メカニズムを解明し、あるパラメータを調節することで振動の発生を抑制できることを明らかにした。これらの知見により最適値問題において高い正解率を得ることに成功した。またバースト逆関数遅延モデルを搭載したプロトタイプチップの試作・測定を行い、N-Queen 問題を解くことに成功した。(2)高温超伝導体 Bi2212 固有ジョセフソン接合において、シングルフォトン励起による共鳴トンネル現象を確認した。さらに、接合列の集団ダイナミクスに影響を与える接合間結合の強さが加工プロセスの違いに依存することを実験から明らかにした。(3)磁束量子高速フーリエ変換用の 4 ビット並列乗算器ユニットの Nb 集積回路による動作実証に成功した。ストカスティック論理ニューロ演算用の高速アップダウンカウンタは Nb 集積回路によりその動作が確認され、100GHz を超える磁束量子パルス信号をカウント可能であることが示された。

枝松・小坂研究室（量子光情報工学研究分野）

(1)新材料を用いた量子もつれ光子対の発生　半導体や擬似位相整合非線形光学結晶を用いた量子もつれ光子の発生について研究している。本年度は、1.半導体からの高純度な量子もつれ光子対生成に成功、2.擬似位相整合素子を用いた量子もつれ光子対の新しい生成方法を開発、3.空間相関光子対を用いた偏光量子もつれの生成に成功、等の成果を得た。(2) 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発 科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業の支援を受け、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、単一光子がもつ偏光の量子情報を電子スピンへと転写する量子メディア変換素子の開発を進めている。本年度は、g 因子を制御した半導体量子井戸を用い、光の偏光状態のコヒーレンスを電子のスピン状態へと転写することに世界で初めて成功しその成果を Physical Review Letters 誌に発表した。

池田准教授研究室（ナノスピンメモリ研究部）

トンネル磁気抵抗（TMR）素子の高出力化、スピン注入磁化反転書込み技術、スピンメモリ・ロジックの開発を進めている。本年度は、高温熱処理による Ta 原子の拡散を抑制した CoFeB(001)/MgO(001)/CoFeB(001)高結晶配向 TMR 素子を作製することで、前年度の磁気抵抗比(500%)を更新し、室温 604%(低温 1144%)の世界最高の値が観測され、高出力 TMR 素子の開発指針が得られた。この高出力 TMR 素子技術を応用し、高集積スピンメモリ・ロジック試作に向けた要素技術として外部磁界を印加せずにスピン注入磁化反転が可能な積層フェリ自由層 TMR 素子を開発した。さらに、単層自由層 TMR 素子・2Mb スピンメモリにおいてサブナノ秒までのスピン注入磁化反転書込みを観測し、高速動作の評価手法を確立した。

尾辻･末光研究室（超ブロードバンド信号処理研究分野）

テラヘルツ帯コヒーレントＣW電磁波の発生・制御機能を有する集積化が可能なデバイス技術の開拓を目的として、半導体 2 次元電子システムのプラズモン共鳴励振と電磁波結合モード輻射を動作原理とする新規な室温動作高効率テラヘルツ帯フォトミキサーの開発を進めている。今年度はプラズモン共鳴とテラヘルツ電磁波の結合効率の向上を目的とした半導体回折格子型ゲート電極構造を特徴とする素子構造を導入し、GaAs 系ヘテロ接合材料・プロセスを用いて試作を行った。素子の試作・設計はナノ・スピン実験施設の CAD シ

ステムを利用した。試作チップを評価した結果、プラズモン共鳴による室温テラヘルツ電磁波放射が従来構造に比べ著しく向上していることを確認した。

水野研究室（ブロードバンド通信基盤技術研究分野）

本研究分野では、ミリ波を計測の手段として用い生体診断あるいはセキュリティ分野への応用を目的に各種技術の研究開発を行っている。本年度は、ミリ波診断機器用プローブ、またミリ波画像信号処理に関する研究を行い、当初の目的に適う成果を得た。

坪内・中瀬研究室（先端ワイヤレス通信技術研究分野）

5GHz 帯広帯域無線通信移動端末用 RF（radio frequency）フィルタの実現を目指し、BAW（bulk acoustic wave）デバイスの研究開発を行った。MO-CVD（metalorganic chemical vapor deposition）法で成膜した AlN 膜を用いて、FBAR（film bulk acoustic resonator）の試作・評価を行った。また、バンドパスフィルタの実現に向け、FBAR 単体の共振器特性解析をシミュレーションにより行った。

青井・島津技術開発室（21 世紀情報通信研究開発センターストレージ分野）

本分野では、IT プログラム（平成 14～18 年度文部科学省科学技術試験研究、「超小型大容量ハードディスクの開発」）の研究成果を発展させ、平成 19 年度から「超高速大容量ストレージシステム」の研究開発を行っている（文部科学省受託研究「高機能・超低消費電力コンピューティングのためのデバイス・システム基盤技術の研究開発」のサブテーマ）。その内、テラビット級次世代ナノパターン媒体の研究として、平成 19 年度は、昨年度に引き続き、ナノスピン研究棟の高分解能電子線描画装置を用いて微細なドットアレイを作製するためのレジストマスクを作製し、微細なドットアレイの作製とその基礎特性の解析を継続して行った。

石山准教授研究室（生体電磁情報研究分野）

生体情報を取得するために必要な超高感度磁界センサの開発において、用いる磁性材料の異方性制御はセンサの感度を決定づける極めて重要な要因である。平成 19 年度は微細構造技術を活用し磁性材料の形状を精密に制御することにより異方性を定量的に制御できることを明らかにした。これにより主として熱処理により制御されてきた磁性薄膜の磁気異方性が新たな手法でも制御可能であることが明らかとなり、材料選択の自由度が高まるとともに、より広い範囲での特性制御が可能となった。

高橋・角田研究室（電子工学専攻電子物理工学分野）

次世代ハードディスク装置(HDD)の面記録密度を 1Tbit/inch^2 以上にまで高めるためには、垂直通電型磁気ヘッド(CPP-GMR head)の実現が必要である。しかしながら、現在のところ、ヘッドの磁気抵抗変化率(MR ratio)が目標値より低いことが大きな問題となっている。今回の研究では、磁気抵抗変化率を向上させるため、強磁性層中へ非磁性元素を微量添加することに着目した。またスピン依存散乱効果増大のメカニズムを、XMCD から求まる非磁性元素のスピン分極の大きさを用いて検討した。その結果、非磁性元素の微量添加で磁気抵

抗変化率の増大を確認すると共に、スピン依存散乱効果の増大による磁気抵抗変化率の増分はスピン分極の大きさに対して概ね比例する事を明らかとした。

山口・遠藤研究室（電気･通信工学専攻電磁理論分野）

マイクロパターン化した導体／磁性体多層膜および Fe 系磁性微粒子膜の高周波数帯（GHz 帯）デバイスへの応用を検討し、以下の知見を得た。多層膜に関しては、コプレーナ伝送線路を試作し、その抵抗の周波数特性を測定した。抵抗が周波数に対して減少する高周波数帯域が存在し、その周波数帯域が外部磁界の増加にともない高周波数帯側へ移動した。これらの結果は、導体／磁性体多層膜において表皮効果が抑制できることを表している。また、多層膜による表皮効果の抑制を薄膜集積化スパイラルインダクタへ応用できることを理論計算より明らかにした。一方、Fe 系磁性微粒子膜に関しては、Si 多層配線上のコプレーナ線路上へ微粒子膜を集積化し、高周波帯域側において数 dB 程度の電磁界ノイズの抑制効果を観測した。この結果は、新たな電磁ノイズ抑制の要素技術として期待できる。

佐橋･土井研究室（電子工学専攻超微細電子工学講座）

スピントランスファートルク（STT）に起因する直流電流駆動によるマイクロ波域の発振の出力を増加させるために複数のチャネルでの発振の位相同期によるコヒーレントマイクロ波発振を調べる目的で研究を行っている。ボトムアッププロセスによる複数個のナノコンタクトからのマイクロ波発振の位相同期を調べるためには約 100nm 径の単一ピラーによる発振と比較する必要があり、100nm 径のピラー型の CPP-GMR 素子の作製について検討した。EB 露光装置を用いて作製した GMR 薄膜＋cap 層上のレジストのパターンを SEM および AFM によって評価した結果、約 100nm 径の良好なパターン形成を確認した。次に作製したレジストパターンを用いたミリング法を確立した。この CPP-GMR ピラー素子の作製方法を基に STT マイクロ波発振の計測に適した電極パターンのマスク作製と合わせて今後継続して検討を行う。

伊藤(隆)・小谷研究室（電子工学専攻固体電子工学分野）

1 次元状シリコン結晶グレインによる低温ポリシリコン薄膜トランジスタ（LTPS-TFT）の高性能化を実施した。シリコン再結晶化は DPSS-CW レーザを用い行い、20 μm×2μm の 1 次元状結晶グレインが得られた。試作 TFT の電子電界移動度は 391 cm^2/Vs であった。また TFT デバイスの素子間特性ばらつきが､チャネル幅 W に強く依存し､素子ばらつきは $W^{-1/2}$ で与えられることを示した。また強誘電体薄膜のレーザー再結晶化を行い、レーザーにより結晶グレインサイズと密度の制御可能であることを示した。

畠山・金子研究室（プラズマ基礎工学分野）

プラズマ CVD による単層カーボンナノチューブ（SWNTs）形成に関する研究を行い、顕微ラマンシステムによってその評価を行った。その結果、プラズマ CVD 中 SWNTs 成長に関する成長方程式の導出に成功した。 また、水中アーク放電プラズマを用いた新機能性カーボンナノチューブ形成に関する研究では、 電極材質の組み合わせにより形成物質の形状に大

きな変化をもたらすことが確認された。 一方、 アルカリ金属、磁性微粒子、生体高分子等を用いた SWNTs の機能化に関する研究においては、異種物質の内包を示すラマンスペクトルの変化が観測され、プラズマ中イオン照射時の電子ドナー、 アクセプタイオンの照射比を制御することにより、 SWNTs の電子輸送特性をｐ型、 pn 接合ダイオード、 及びｎ型と自在に制御可能であることを実証している。

山田研究室（光波物理学工学分野）

Si をコア SiO_2 をクラッドに用いた Si 細線光導波路は、光を 300 nm×300　nm の非常に微細な領域に閉じ込めることができ急峻な曲げを実現できることから、現行のシリカ系導波路デバイスと比べて大幅なサイズ、消費電力の低減が期待されている。しかしその強い光閉じ込めのために数 nm 程度の微細な構造の揺らぎが素子の特性に影響を与えることが知られており、正確な構造設計、作製技術が必要とされる。本年度はビーム伝搬法、有限差分時間領域法といった電磁界の数値計算手法を用いてスポットサイズコンバータ等の基本構造の設計を行った。また構造作製においては、電子ビーム露光におけるフィールド間のつなぎ精度が十分に得られているかどうかの確認を行った。

大見研究室（未来科学技術共同研究センター）

現状の CMOS 集積回路において、トランジスタに入る直列抵抗が、性能向上の阻害要因となっている。また、n 型 MOS トランジスタに対して 1/3 程度の電流駆動能力しか持たない p 型 MOS トランジスタの性能向上が望まれる。しかし、p 型 MOS トランジスタの作製プロセスにおいて、p^+領域のボロンは、プロセス中のプラズマダメージにより不活性化しやすい。この不活性化による高濃度層やコンタクト領域での直列抵抗増大が、トランジスタの性能向上の妨げとなる。本研究では、p^+領域に対してまったくダメージを与えずに、400℃以下の低温で、高温にて形成した絶縁膜と同等の電気的・物理的特性を持つ絶縁膜形成プロセスを 2 段ガス導入構造マイクロ波励起 PECVD により実現した。また、$10^{-9}\Omega cm^2$ 以下の低抵抗コンタクト形成プロセスを、p^+領域に対して適した金属を選択し、ダメージを与えないプロセスを提案する事により実現した。

安藤研究室（応用物理学専攻スピンエレクトロニクス分野）

スピンエレクトロニクス分野において、ハーフメタル材料として非常に大きな期待が持たれている Co_2MnSi ホイスラー合金薄膜を電極とし、高品位な MgO 薄膜を絶縁層とした強磁性トンネル接合の開発を行った。その結果、室温で 217%、低温で 753%の巨大なトンネル磁気抵抗(TMR)比を観測することに成功した。この TMR 比はホイスラー合金を用いたトンネル接合では世界最大である。観測した巨大な TMR 比は、ホイスラー合金のハーフメタル性と MgO 絶縁層を介した電子のコヒーレントなトンネリング現象の共存によるものと考えられる。さらに、Co_2MnSi ホイスラー合金は、磁気緩和定数が他の強磁性金属薄膜に比べて小さいことを見出し、スピンエレクトロニクスデバイス材料としても非常に有望であることが分かった。

川崎研究室（金属材料研究所超構造薄膜化学研究部門）

近年、様々な酸化物ヘテロ界面を舞台に、高移動度 2 次元電子ガス(2DEG)の磁気伝導評価やデバイス応用への開発研究が行われている。我々の研究グループでは、酸化物ヘテロ界面で初めての量子ホール効果を MgZnO/ZnO 界面で観測し、現在、伝導機構の特異性発現や 2DEG 濃度制御を目的とする研究を進めている。電界効果による制御を実現できれば、高性能透明トランジスタ実現に繋がるばかりでなく、今後の酸化物薄膜トランジスタにおける物性研究を一層加速させるものと期待される。また、スパッタリング法を用いた Co ドープ TiO_2 薄膜の磁気光学効果測定を行い、MCD シグナル強度が従来報告されているパルスレーザ堆積法の試料に比べて、倍近く大きいことを見出した。これは、スパッタ膜における磁化の増大を反映している。室温で異常ホール効果も観測された。即ち、スパッタリング法においても室温強磁性を示す Co ドープ TiO_2 薄膜の作製に成功した。

新田研究室（知能デバイス材料学専攻量子材料物性学分野）

半導体ヘテロ接合におけるスピン軌道相互作用(SOI)と微小強磁性体の磁化過程に関して以下の成果を得た。(1)表面エッチングにより基板表面から $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ / $In_{0.7}Ga_{0.3}As$ 2 次元電子ガス(2DEG)までの距離(d_{2DEG})を系統的に変化させ SOI 評価を行った。その結果、d_{2DEG} = 6.4 nm の最も浅い 2DEG 構造において Rashba SOI パラメータ α = 2.41×10^{-12} eVm が得られ、電気的スピン注入を組み合わせるスピン制御素子に向けたチャネル層の設計指針を得た。(2) $In_{0.63}Ga_{0.37}As$ 2DEG 局所ホール素子により、サブミクロンサイズ Fe / Au / Fe 3層単一リング構造における上下Fe層の磁化過程を独立に検出できることを示した。(3) Fe / Au / Fe 3 層リング型スピンバルブ構造において、リング内径減少により上下 Fe 層の静磁的相互作用が増大することを明らかにした。

板谷研究室（応用化学専攻電気化学分野）

ペンタセンに代表される有機電界効果トランジスタは、近年集中的に研究されている。さらなる有機電界効果トランジスタの進展には、有機半導体の品質を飛躍的に向上させる必要がある。このような要請から、我々は溶液からほぼ完全に近い有機半導体の結晶を成長させる方法の開発に成功した。また、この溶液から成長させたほぼ完全に近い有機半導体結晶を用いた電界効果トランジスタは、通常の蒸着法により成長させた有機電界効果トランジスタよりも非常に高い性能を有することが分かった。

北上研究室（多元物質科学研究所多元設計研究部門電磁機能設計研究分野）

本分野では、スピンデバイスも含め、磁性体を用いた超高密度不揮発性記録デバイスの実現を目的とし、それに必要な磁性材料開発、および磁性体ナノ構造に関する研究を中心に進めている。これまでに直径 50nm 程度の単一磁性ドットの異常 Hall 効果の検出手法を確立し、$L1_0$-FePt や Co/Pt 多層膜などの磁性材料を用いて、磁性体ナノ構造の静的磁場中での振る舞いについて研究をすすめてきた。現在は、応用上もより重要となるナノ秒程度のパルス磁場中での挙動を明らかにすることを目指して研究を進めている。

石原研究室（理学研究科物理学専攻光物性物理研究室）

当研究室では、可視・近赤外光にたいするメタマテリアルの研究を行っている。本年度

は、１軸性有機無機半導体における近接場の超解像を検証するために金属ナノスリットを作製し、超解像効果の実験準備を整えた。近接場顕微鏡によってスリット像を取得し、回折限界以下のサブ波長サイズの結像を検証する。また、これまで実現が困難であるとされてきた可視光域で負の屈折率をもつメタマテリアルの構造設計を重点的に行い、設計に基づいた試料の作製を行った。今後、負の屈折率の検証を行う。

ナノヘテロプロセス研究部

半導体立体ナノ構造の実現と応用のための基盤技術の研究

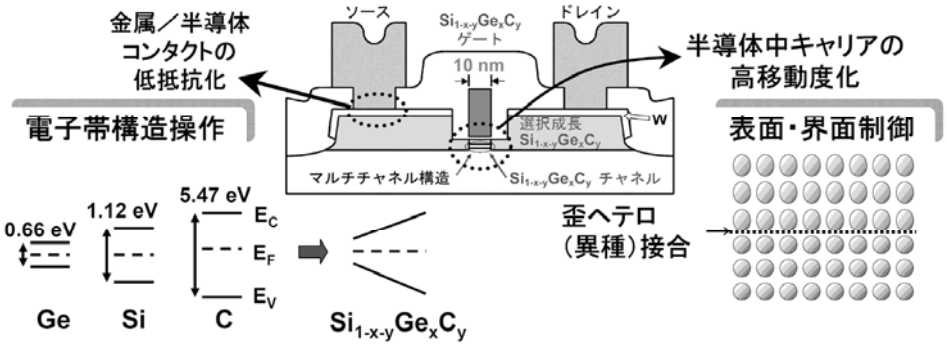


図１．ナノヘテロ人工 IV 族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用.

＜分野の目標＞

薄膜形成やエッチングを原子オーダの精度で制御するプロセス技術の開発は，将来の超大規模集積回路（ULSI）の大容量化・高速化や量子効果を積極的に利用した新機能デバイス製作，さらに，従来のバルク材料とは異なる未知の新物性を持つ材料の創生のために極めて重要である．本研究部は，Si の物性限界・微細化限界を超えて，電荷の究極制御を Si 集積回路にオンチップ化で達成するために，表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロ人工 IV 族半導体製作技術とナノ立体加工技術をモレキュラー制御により確立すると同時に，原子精度ナノヘテロデバイス製作プロセスを構築することを目標とする．（**図１**）

＜2007 年度の主な成果＞

表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロ人工 IV 族半導体とそれを適用したナノヘテロデバイスを製作するためには，積層構造とその界面構造の安定性や拡散･凝集といった観点からのナノヘテロ構造制御技術が重要となる．本年度は，ナノヘテロ人工 IV 族半導体製作技術とナノヘテロデバイス製作プロセスに関する研究を進め，以下の研究成果を得た.

１．ナノヘテロ人工 IV 族半導体製作技術

高清浄減圧 CVD 法による原子レベルで平坦な高濃度 B 原子層ドープ Si 薄膜形成を可能にすると同時に，180°C での低温 B_2H_6 処理とその後の 180-300°C での低温 SiH_4 処理が B クラスタ化の抑制と超高キャリア濃度化に有効であることを明らかにした．さらに，IV 族半導体表面の原子層窒化制御において，NH_3 熱窒化 Ge 表面の N 原子面密度は熱処理温度上昇とともに減少する傾向がある一方，熱窒化 SiGe 表面においては，熱処理により Ge-N 結合が減少し，Si-N 結合が増加する傾向があり，窒化膜と基板界面での高 Ge 比率化を見いだした.

２．ナノヘテロデバイス製作プロセス

高 Ge 組成の高度歪 IV 族半導体ヘテロエピタキシャル積層について研究を進めた結果，$Si_{1-x}Ge_x$ 層表面の低温 SiH_4 処理の適用により，高 Ge 比率（58%）のヘテロ界面ラフネスを原子オーダで効果的に抑制できることを見いだすと同時に，Ge 比率変調構造共鳴トンネルダイオード製作プロセスへの適用により，290K 付近まで負性抵抗特

性を観測することに成功した．また，$Si_{1-x}Ge_x$/Si 共鳴トンネルダイオードの Si 障壁を 1 nm 付近まで薄膜化することによっても負性抵抗特性の向上が可能であることを明らかにした．

＜職員＞

教　授　　室田　淳一　(1995 年より)
准教授　　櫻庭　政夫　(2002 年より)

＜室田淳一教授のプロフィール＞

1948 年生まれ．1970 年北大・工・電子卒．1972 年同大学院修士課程修了．同年日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所．1983 年同公社厚木電気通信研究所を経て，1985 年東北大学電気通信研究所助教授，1995 年同教授，現在に至る．Si ベース IV 族半導体原子制御プロセスの研究に従事．第 3 回（平成 15 年度）山崎貞一賞受賞．

＜研究テーマ＞

1．Si-Ge-C 系 IV 族半導体の原子精度極限ヘテロ積層に関する研究
2．IV 族半導体ナノヘテロ積層構造への不純物層挿入に関する研究
3．ヘテロ積層構造の３次元ナノ立体加工に関する研究
4．ヘテロ積層立体ナノ構造物性に関する研究
5．ナノヘテロ立体構造形成装置技術に関する研究
6．Si ベースナノヘテロデバイス製作プロセスに関する研究

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, “Atomically Controlled Technology for Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), 4th Int. Workshop on Nanoscale Semiconductor Devices, Jeju, Korea, Apr. 5-6, 2007, No.I-10.

[2] M. Sakuraba, D. Muto, M. Mori, K. Sugawara and J. Murota, “Very Low-Temperature Epitaxial Growth of Silicon and Germanium Using Plasma-Assisted CVD” (**Invited Paper**), 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, May 20-24, 2007, No.S1-I3.

[3] S. Takehiro, M. Sakuraba, T. Tsuchiya J. Murota, “High Ge Fraction Intrinsic SiGe-Heterochannel MOSFETs with Embedded SiGe Source/Drain Electrode Formed by In-Situ Doped Selective CVD Epitaxial Growth”, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, May 20-24, 2007, No.22P 4-03.

[4] J. Murota, J. Uhm and M. Sakuraba, “Strain Control of Si and $Si_{1-x}Ge_x$ Layers in the Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si Heterostructures by Stripe-Shape Patterning for Future Si-Based Devices” (**Invited Paper**), Symp. E9: ULSI Process Integration 5 (212th Meeting of the Electrochem. Soc.), Washington, DC, USA, Oct. 7-12, 2007, Abst.No.1280: ECS Trans., Vol.11 (Edited by C. Claeys, H. Iwai, M. Tao, J. Murota, J. J. Liou, S. Deleonibus, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2007), pp.91-99 (2007).

[5] M. Sakuraba, R. Ito, T. Seo and J. Murota, “Fabrication of Hole Resonant Tunneling Diodes with Nanometer Order Heterostructures of Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxially Grown on Si(100)” (**Invited Paper**), Symp. E9: ULSI Process Integration 5 (212th Meeting of the Electrochem. Soc.), Washington, DC, USA, Oct. 7-12, 2007, Abst.No.1283: *ibid*, pp.131-139 (2007).

[6] T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba and J. Murota, “Hot Carrier Degradation of SiGe/Si Heterointerface and Experimental Estimation of Density of Locally Generated Heterointerface Traps”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.8A, pp.5015-5020, (2007).

[7] N. Akiyama, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, “Behavior of N Atoms in Atomic-Order Nitrided $Si_{0.5}Ge_{0.5}$(100)”, Appl. Surf. Sci., Vol.254, (2008, *in press*).

[8] H. Tanno, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, “Heavy Atomic-Layer Doping of B in Low-Temperature Si Epitaxial Growth on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure Chemical Vapor Deposition”, *ibid*, Vol.254, (2008, *in press*).

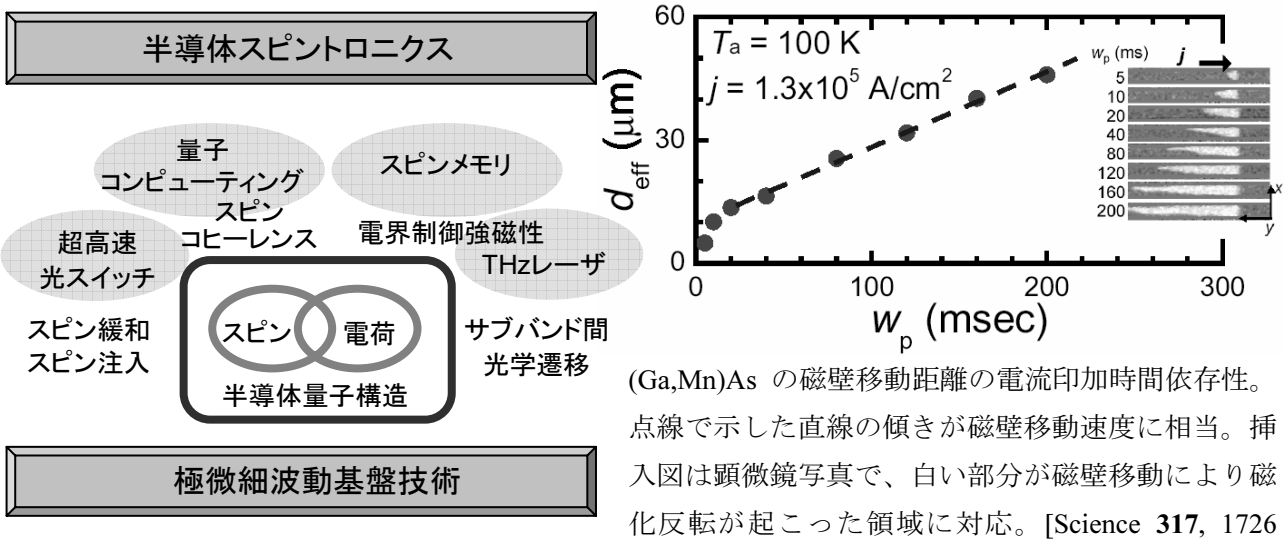
[9] T. Seo, M. Sakuraba and J. Murota, “Electrical Characteristics of Hole Resonant Tunneling Diodes with High Ge Fraction (x>0.4) Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure”, *ibid*, Vol.254, (2008, *in press*).

[10] T. Yokogawa, K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, “Self-Limited Growth of Si on B Atomic-Layer Formed Ge(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD System”, *ibid*, Vol.254, (2008, *in press*).

他　学術雑誌 7 件，国際会議発表論文 19 件

半導体スピントロニクス部

極微細波動基盤技術：
半導体スピントロニクスからテラヘルツ光の発生まで



(Ga,Mn)As の磁壁移動距離の電流印加時間依存性。点線で示した直線の傾きが磁壁移動速度に相当。挿入図は顕微鏡写真で、白い部分が磁壁移動により磁化反転が起こった領域に対応。[Science **317**, 1726 (2007). (文献 7))]

＜分野の目標＞

半導体内の量子状態を制御し工学的に応用するための研究を進めている。特に、スピンと電荷の自由度を使った半導体スピントロニクス、今後の情報通信に必要な THz コヒーレント光源の研究を精力的に行っている。

具体的には、分子線エピタキシ法で成長した GaAs/AlAs、InAs/(Al,Ga)Sb、GaN、ZnO などの非磁性半導体とそれらに磁性元素をドープした強磁性半導体の高品質な構造を研究対象としている。これらの半導体構造の電気・光・磁気的特性を調べ、応用に結びつける研究を行っている。特に、強磁性半導体/非磁性半導体量子構造におけるスピン物性の解明と新しい素子の動作原理、電子・核スピンコヒーレンスの光制御・光検出による固体量子情報技術、InAs 及び GaAs 量子井戸中のサブバンド間の光学遷移によるレーザ光源開発の研究に力を注いでいる。これらの研究によって、固体材料中のスピンを用いたメモリ・演算デバイスや量子コンピューティング・量子メモリ素子などの新しいデバイス・システムの実現を目指している。

＜2007 年度の主な成果＞

- 強磁性半導体(Ga,Mn)As における電流誘起クリープの観測に成功した。電流誘起と磁場誘起のクリープ運動についての比較を行い、電流誘起のクリープ運動はこれまで知られていないユニバーサリティ・クラスに属することを示した(文献 6)。
- 強磁性半導体ベースの(Ga,Mn)As/GaAs/(Ga,Mn)As 磁気トンネル接合の下部(Ga,Mn)As 電極の磁化方向を磁壁移動により反転することで、接合のトンネル磁気抵抗をスィッチング可能であることを示した(文献 4)。

・MIS 構造と中空配線構造を有する(In,Ga)As 共鳴トンネル・ダイオードをベースとする量子ドットを作製し、狭ギャップ半導体人工原子の電子状態の実証に成功した。また、その有効 g 値の大きさを評価した(文献 7)。
・振動子強度の大きい InAs/(Al,Ga)Sb 超格子構造を用いて最高動作温度 340 K の InAs 量子カスケードレーザの室温における閾値電流密度を 4 kA/cm^2 まで減少させることに成功した(文献 3)。
・InAs/AlSb 超格子構造の電流注入層のドーピング濃度を制御することにより、バンド間とサブバンド間の両方の光学遷移で同時に発振する量子カスケードレーザを作製することに成功した(文献 8)。

＜職員名＞

教　授　大野 英男（1994 年より）
准教授　大野 裕三（2001 年より）、松倉 文礼（2006 年より）
助　教　大谷 啓太

＜教授のプロフィール＞

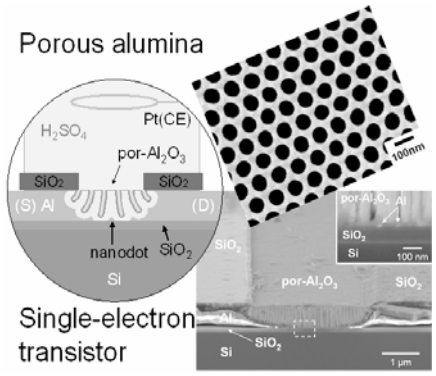
1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞、2003年度The IUPAP Magnetism Prize、平成17年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize 受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。中国科学院半導体研究所名誉教授号。応用物理学会フェロー。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、APS、IEEE、AVS会員。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

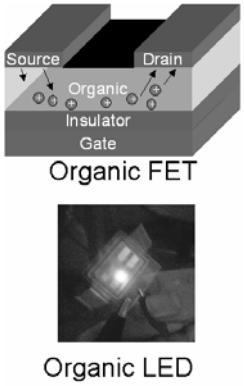
[1] K. Ohtani, K. Fujita, and H. Ohno, "Room-temperature InAs/AlSb quantum-cascade laser operating at 8.9 μm", Electronics Letters, Vol. 43, pp. 520-521, April 2007.
[2] Tomasz Dietl, Hideo Ohno, and Fumihiro Matsukura, "Ferromagnetic semiconductor heterostructures for spintronics", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 54, No. 5, pp. 945-954, May 2007.
[3] K. Ohtani, Y. Moriyasu, H. Ohnishi, and H. Ohno, "Above room-temperature operation of InAs/AlGaSb superlattice quantum cascade lasers operating at 12 μm", Applied Physics Letters, Vol. 90, pp. 261112 (1)-(3), Jun. 2007.
[4] M. Fukuda, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Switching of tunnel magnetoresistance by domain wall motion in (Ga,Mn)As-based magnetic tunnel junctions", Applied Physics Letters, Vol. 91, 052503, July 2007.
[5] F. Matsukura and H. Ohno, "Ferromagnetic Semiconductors," in Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials. Edited by H. Kronmuller and S. Parkin, vol 5: Spintronics and Magnetoelectronics (2007) John Wiley & Sons, Ltd., pp-2756-2773.
[6] M. Endo, D. Chiba, Y. Nishitani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Channel thickness dependence of the magnetic properties in (Ga,Mn)As FET structures", Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Vol. 20, pp. 409-411, August 2007.
[7] T. Jungwirth, Jairo Sinova, A. H. MacDonald, B. L. Gallagher, V. Novák, K. W. Edmonds, A. W. Rushforth, R. P. Champion, C. T. Foxton, L. Eaves, E. Olejnfk, J. Mašek, S. -R. Eric Yang, J. Wunderlich, C. Gould, L. W. Molenkamp, T. Dietl, and H. Ohno, "Character of states near the Fermi level in (Ga, Mn)As: Impurity to valence band crossover", Physical Review B 76, pp. 125206 (1)-(9), September 2007.
[8] M. Yamanouchi, J. Ieda, F. Matsukura, S. E. Barnes, S. Maekawa, and H. Ohno, "Universality classes for domain wall motion in the ferromagnetic semiconductor (Ga, Mn)As", Science, Vol. 317, pp. 1726-1729, September 2007.
[9] T. Kita, D. Chiba, Y. Ohno, and H. Ohno, "A few-electron vertical $In_{0.56}Ga_{0.44}As$ quantum dot with an insulating gate", Applied Physics Letters, Vol. 91, pp. 232101, December 2007.
[10] K. Ohtani, H. Ohnishi, and H. Ohno, "Simultaneous lasing of interband and intersubband transitions in InAs/AlSb quantum cascade laser structures", Applied Physics Letters, Vol. 92, pp. 041102 (1)-(3), Jan. 2008.

ナノ分子デバイス研究部

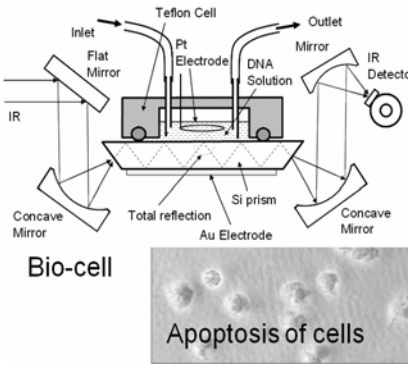
有機・生体分子やナノ構造を用いた新機能デバイスの創製



ナノ構造体を用いた新規電子デバイス（トランジスタ、太陽電池、発光素子）の開発研究



有機分子を用いた電子デバイス（有機トランジスタ、有機 EL）



生体機能解析のためのバイオセンシングデバイス（DNA,タンパク、細胞）

＜分野の目標＞

日進月歩の無機半導体技術は、今までの無機半導体を中心としたデバイスのみでの利用だけでなく、有機半導体さらには DNA、膜たんぱくなどの生体分子をも含めた、電子や光に多様に応答する分子・超分子との融合による新たなナノ分子デバイスのへの応用が期待されている。また、今後ますますその重要性が増すゲノム情報などを処理するためには、バイオテクノロジーと融合した生命情報処理デバイスの開発も不可欠である。このような時代の要請に応えるために、次世代の分子・情報デバイスの創製に必要な、新機能分子材料の探索とともに、20 世紀に培った Si 半導体技術を基盤にして、これら分子材料を Si 半導体と様々な形で融合した新しいデバイスの実現に向けた基盤研究を行うことを分野の目標としている。

＜2007 年度の主な成果＞

１． 陽極酸化による酸化チタンナノチューブの作製と色素増感太陽電池への応用

簡易なプロセスで、10 %程度の変換効率が得られることから、色素増感太陽電池に大きな注目が集まっている。この色素増感太陽電池の変換効率の更なる向上には、セルでの内部損失を低減する必要がある。そこで、酸化チタン電極に必要とされる、高い導電率と高い表面積の両立が可能な酸化チタン電極構造の自己組織的な作製法の開発を行った。その結果、金属チタンを過塩素酸電解液中で陽極酸化により、自己組織的に酸化チタンナノチューブを作製できることを発見し、長さ 10 μm を超える酸化チタンナノチューブが数分の反応時間で作製できることを示した。さらに、陽極酸化電圧を制御することにより 15-80 nm の範囲で任意に孔径を制御できることを示した。本研究で開発した短時間で、自己組織的に、制御したナノチューブを作製できる金属チタンの陽極酸化は色素増感太陽電池の電極加工法として有望である。(論文[1][3])

２．赤外分光を用いた生体分子間特異反応の非標識検出法の開発

高精度に生体分子の特異反応を検出するために、従来用いられてきた蛍光標識のような間接的な検出手法ではなく、反応それ自体を検出する手法が求められる。赤外吸収分光法を用いることにより、固体基板上に固定化した DNA のハイブリダイゼーション反応や、固体基板上に固定化したタンパク質の抗原・抗体反応を、標識化することなく、赤外吸収スペクトルの変化から識別することを明らかにした。（論文[2][4][5]）

３．赤外分光を用いた細胞活動のその場計測

多重内部反射型赤外分光法を用いて“生きている”細胞の活動をその場観察できる細胞機能解析装置の開発を行い、薬剤の投与による細胞への影響をリアルタイムで計測することに成功した。この成果は、細胞を用いた薬剤スクリーニングのハイスループット化に貢献する。（論文[6][7]）

＜職員名＞

教　授　庭野 道夫　(1998 年より)
助　教　木村 康男　(1999 年より)
助　教　平野 愛弓　(2006 年より)
秘　書　下柿元 稚子

＜教授のプロフィール＞

1980 年 3 月　東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。1980 年　宮城教育大助手。1987 年東北大学助手（電気通信研究所）。1989 年　同助教授。1998 年　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。最近は、赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスやバイオエレクトロニクスの研究に力を注いでいる。応用物理学会、表面科学会、日本物理学会、電子情報通信学会、電気学会などの会員。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Ken-ichi Ishibashi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano”An extensively valid and stable method for derivation of all parameters of a solar cell from a single current-voltage characteristic” J. Appl. Phys., 103, 094507 (2008).

[2] Ken-ichi Ishibashi, Kohki Tanaka, Ayumi Hirano-Iwata, Ko-ichiro Miyamoto, Yasuo Kimura, and Michio Niwano ”In situ study of DNA Attachment and Hybridization at Silicon Surfaces by IR Absorption Spectroscopy” Jpn. J. Appl. Phys., 47, 3204-3208 (2008).

[3] Ken-ichi Ishibashi, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Fabrication of titanium oxide nanotubes by rapid and homogeneous anodization in a mixture of perchloric acid and ethanol”, J. Electrochem. Soc., 155(1), K10-14 (2008).

[4] Ryo-taro Yamaguchi, Ko-ichiro Miyamoto, Ken-ichi Ishibashi, Ayumi Hirano, Suhana Mohd Said, Yasuo Kimura, and Michio Niwano “DNA hybridization detection by porous silicon-based DNA microarray in conjugation with infrared microspectroscopy” J. Appl. Phys., 102, 014303-1-7 (2007).

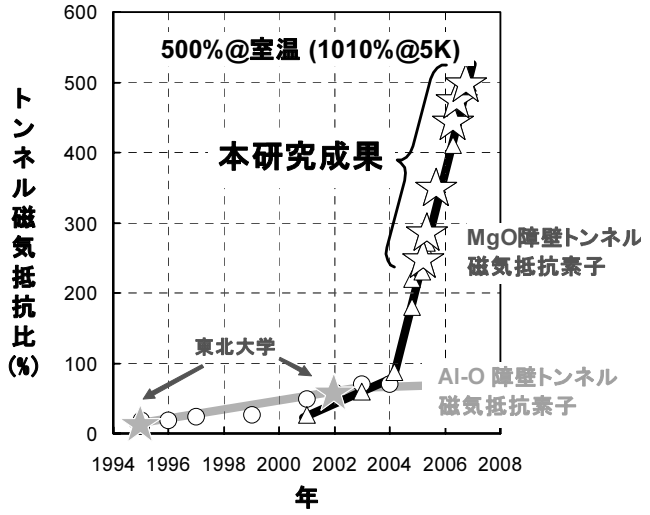
[5] Kota Onodera, Ayumi Hirano-Iwata, Ko-ichiro Miyamoto, Yasuo Kimura, Masahiro Kataoka, Yasuo Shinohara, and Michio Niwano “Label-Free Detection of Protein-Protein Interactions at the GaAs/Water Interface through Surface Infrared Spectroscopy: Discrimination between Specific and Non-specific Interactions by Using Secondary Structure Analysis” Langmuir, 23, 12287-12292 (2007).

[6] Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Ko-ichiro Miyamoto, Hiroko Isoda, Hitoshi Miyazaki, and Michio Niwano “Real time monitoring of cell death by surface infrared spectroscopy” Appl. Phys.Lett., 91, 203902-1- 203902-3 (2007).

[7] Ko-ichiro Miyamoto, Parida Yamada, Ryo-taro Yamaguchi, Takami Muto, Ayumi Hirano, Yasuo Kimura, Michio Niwano, and Hiroko Isoda “In situ observation of a cell adhesion and metabolism using surface infrared spectroscopy” Cyototechnology., 55, 143-149 (2007).

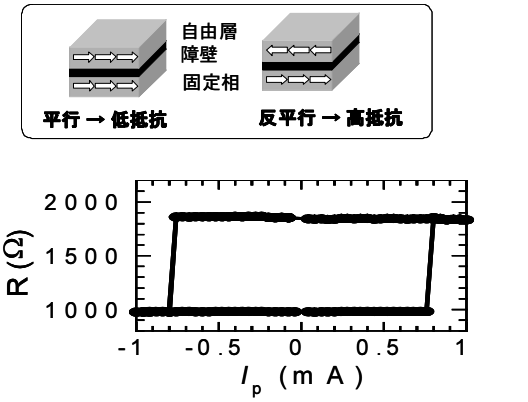
ナノスピンメモリ研究部

スピンを用いたナノサイズデバイス・メモリの研究



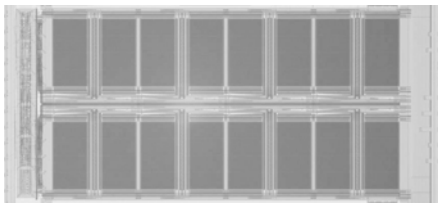
Appl. Phys. Lett., 90 (2007) 212507.

トンネル磁気抵抗比の進展．世界最高の TMR (tunnel magnetoresistance)比の更新.



IEEE Trans. Electron Devices, 54 (2007) 991.

スピン注入磁化反転の例.



IEEE J. Solid-State Circ., 43 (2008) 109.

2Mb スピン注入磁化反転型メモリ.

＜分野の目標＞

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。

＜2007 年度の主な成果＞

トンネル磁気抵抗(TMR)素子の高出力化、スピン注入磁化反転書込み技術、スピンメモリ・ロジックの開発に関連し成果を得ている。具体的には、高品質なMgO/CoFeB TMR素子において世界最大である室温500%(低温1010%)の磁気抵抗比を実現した。この高出力TMR素子技術を応用し、高集積スピンメモリ・ロジック実現に向けた要素技術として、積層フェリ自由層TMR素子を開発した。さらに、サブナノ秒までのスピン注入磁化反転書込みを観測した。これらの成果は、情報通信に大きなパラダイムシフトを引き起こす新たな要素技術として注目されている。以下、主な成果を述べる。

1. MnIr ピニング層のない保磁力差型 MgO 障壁 TMR 素子を作製・評価し、世界最高の TMR 比(室温で 500%、低温で 1010%)を実現した(文献 5,6)。
2. CoFeB/MgO/CoFeB TMR 素子の TMR 比は CoFeB 電極組成に依存し、MgO 障壁と CoFeB 電極の格子不整合に起因した CoFeB 電極の結晶化状態の違いと関連していることが明らかとなった。 (文献 5)。

3. スピンメモリ・スピンロジックの開発に向けた要素技術として外部磁界を印加せずにスピン注入磁化反転が可能な積層フェリ自由層 TMR 素子を開発した(文献 6)。
4. 低電力書込みと高出力読出しが可能な MgO 障壁 TMR 素子をメモリセルに用いた世界最大規模の 2 メガビットのスピン注入磁化反転型 RAM チップにおいて、1.8V の電源電圧で書込み時間 100 ナノ秒，読出し時間 40 ナノ秒でのメモリセル動作、10^9 回の書換え耐性を確認した(文献 2, 3, 4)。
5. メモリセルに用いる TMR 素子において高い熱安定性を確保し閾値電流密度を低減するためには、単層自由層よりも反平行結合の強い積層フェリ自由層を用いることが有効であることを示した(文献 4)。
6. CoFeB/MgO/CoFeB TMR 素子においてスピン注入磁化反転のダイナミクスを測定し、サブナノ秒(~400ps)での磁化反転を実測し、スピンデバイスの高速動作の評価手法を確立した(文献 1)。

＜職員名＞

准教授　池田 正二（2006 年より）
客員教授　長谷川晴弘　(2007 年 11 月より)
非常勤研究員　三浦勝哉

＜准教授のプロフィール＞

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。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Devolder, J. Hayakawa, K. Ito, H. Takahashi, S. Ikeda, P. Crozat, N. Zerounian, Joo-Von Kim, C. Chappert, and H. Ohno, "Single-shot time-resolved measurements of nanosecond-scale spin-transfer induced switching: stochastic versus deterministic aspects", Physical Review Letters, vol. 100, 057206, Feb. 2008.

[2] T. Kawahara, R. Takemura, K. Miura, J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. Lee, R. Sasaki, Y. Goto, K. Ito, T. Meguro, F. Matsukura, H. Takahashi, H. Matsuoka, and H. Ohno, "2 Mb SPRAM (spin-transfer torque RAM) with bit-by-bit bidirectional current write and parallelizing-direction current read", IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 43, pp. 109-120, Jan. 2008.

[3] T. Kawahara, R. Takemura, K. Miura, J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M. Lee, R. Sasaki, Y. Goto, K. Ito, T. Meguro, F. Matsukura, H. Takahashi, H. Matsuoka, and H. Ohno, "2-Mb SPRAM design: bi-directional current write and parallelizing-direction current read based on spin-transfer torque switching", physica status solidi (a), vol. 204, pp.3929–3933, Dec. 2007.

[4] K. Miura, T. Kawahara, R. Takemura, J. Hayakawa, S. Ikeda, R. Sasaki, H. Takahashi, H. Matsuoka and H. Ohno, "A novel SPRAM (SPin-transfer torque RAM) with a synthetic ferrimagnetic free layer that has higher immunity to read disturbance and reduces write-current dispersion", 2007 Symposium on VLSI Technology Digests, pp. 234-235, Jun. 2007.

[5] Y. M. Lee, J. Hayakawa, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Effect of electrode composition on the tunnel magnetoresistance of pseudo-spin-valve magnetic tunnel junction with a MgO tunnel barrier", Applied Physics Letters, vol. 90, pp. 212507, May 2007.

[6] S. Ikeda, J. Hayakawa, Y. M. Lee, F. Matsukura, Y. Ohno, T. Hanyu, and H. Ohno, "Magnetic tunnel junctions for spintronic memories and beyond", IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 54, pp. 991-1002, May 2007.

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，ブレインアーキテクチャ研究部，知的ナノ集積システム研究部，マイクロアーキテクチャ研究部の４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。



＜施設の目標＞

実世界コンピューティング研究部：生体システムの持つ柔軟な情報生成原理を明らかにし，実世界の複雑性に対応できる情報システムの構築を目指す。生体システムが複雑な実世界において目的や機能を達成するには逆問題を解かなければならない。逆問題は一般には不良設定問題になるので適切な拘束条件を自律的かつリアルタイムに生成し，リアルタイムに充足しなければならない。この拘束条件自律生成・自律充足の論理を明らかにし，この機構を実世界における認識システムや運動制御システムに応用・実装する。

ブレインアーキテクチャ研究部：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。

マイクロアーキテクチャ研究部：ブレインウエアへの応用を可能にするセンサー・ネットワーク・システムへの応用を念頭におき,RF/アナログ回路とディジタル回路を混載した,Mixed Signal SoC (System on a Chip)のアーキテクチャ・回路設計，および，その設計生産性の向上（Top Down設計手法の確立）を研究し，SoCの低価格化・低消費電力化の実現を行う。

＜2007 年度の主な成果＞

実世界コンピューティング研究部（矢野研究室）：モデルシミュレーションにより，感覚器官からリアルタイムに得られる身体の運動学的・動力学的情報に基づいて各関節の動き易さを評価し，各関節への制御情報を自律分散的機構により生成することで，予測不可能な環境変化に対しても柔軟に適応する腕到達運動が実現されることを明らかにした。環境との相互作用により制御に必要な拘束条件を生成・充足するこの手法は，実世界で機能するシステムに「自己言及的評価機構」と「自律分散的ネットワーク構造」が必要不可欠であることを意味する。制御メカニズムの環境適応性を実機により検討するため，冗長アクチュエータとリッチセンサーを特徴とする２関節６筋アームロボットの設計・開発を行った。また，拘束条件生成・充足による運動制御の生物学的機構を解明するために，様々な擾乱下で腕到達運動計測を可能とするマニピュランダムを設計・開発した。

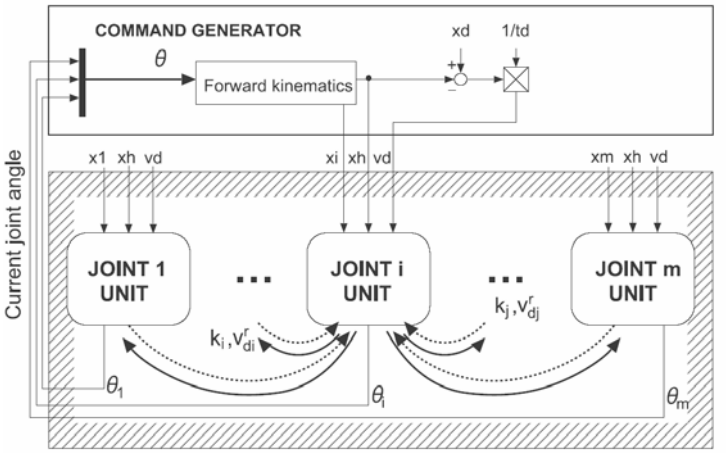
ブレインアーキテクチャ研究部（羽生研究室）：ロジックインメモリ回路技術として，TMR素子を不揮発記憶デバイスとして用いた演算器，FPGA，検索機能付メモリチップ等の設計・試作を行い，その基本動作を実証した。また，大局的配線によるデータ転送ボトルネックが顕著な通信LSI（LDPCデコーダLSI）において，複数周波数を用いた適応的データ転送方式を提案。提案方式は同等機能の単一周波数による実現と比較し，1.65倍の高性能化が達成できることを示した。また，これを90nmCMOSプロセスにて試作し，基本動作を実証した。

知的ナノ集積システム研究部（中島・佐藤研究室）：逆関数遅延ニューロンモデルを最適値問題の解法に利用する際に問題であった、望ましくない恒常的な振動現象の発生メカニズムを解明し、あるパラメータを調節することで振動の発生を抑制できることを明らかにした。これらの知見により最適値問題において高い正解率を得ることに成功した。またバースト逆関数遅延モデルを搭載したプロトタイプチップの試作・測定を行い、N-Queen問題を解くことに成功した。高温超伝導体Bi2212固有ジョセフソン接合において、シングルフォトン励起による共鳴トンネル現象を確認した。さらに、接合列の集団ダイナミクスに影響を与える接合間結合の強さが加工プロセスの違いに依存することを実験から明らかにした。磁束量子高速フーリエ変換用の4ビット並列乗算器ユニットのNb集積回路による動作実証に成功した。ストカスティック論理ニューロ演算用の高速アップダウンカウンタはNb集積回路によりその動作が確認され、100GHzを超える磁束量子パルス信号をカウント可能であることが示された。

マイクロアーキテクチャ研究部（桝井研究室）：ワイヤレス・センサーネットワークに応用可能な低コスト・低消費電力トランシーバICの研究に取り組んでいる。今年度は、Low-IFアーキテクチャを採用し，Complex Bandpass Filter（BPF）の最適化実現手法を探索した。g_m-C方式と比較して53%の面積で実現可能なActive RC方式を採用し，特性を決定するR，Cのプロセス変動が±20%あっても，特性変動を±3.5%以内に抑えることのできるDigital Tuning回路を開発した。Complex BPFの基本特性であるバンド幅と中心周波数が，いずれも、RC時定数の積のみに依存することを数学的に提示し，補正モード時にFilterが発信器となるように構成することによって，835ゲートの小規模ロジックとコンパレータ，バッファのみでTuning回路を実現した。0.18μm CMOSテクノロジで試作した回路を評価した結果，ばらつきは±2.5%以内で，40.3dBのImage Rejection Ratioを確認した。この手法は、Software-Definableなフィルタの構成の実現に展開できると考えている。

実世界コンピューティング研究部

実環境での自律的適応を可能とする随意運動制御モデル



予測不可能な環境変化に適応する随意運動制御モデルの概念図［1］

＜分野の目標＞

時々刻々変化し続ける無限定な実環境において、生物は周囲との調和的な関係を自律的に構築することができる。本研究分野では、この生物の脳の優れた情報処理原理を解明し、工学的に応用することを目的としている。主な研究課題は、(1)視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究、(2)記憶の生成とその時空間的発展のメカニズムの研究、(4)コンテキストに依存する神経回路の役割の研究、(5)音響定位と不特定話者の音声認識の研究、(6)無限定環境下における２足・６足歩行および腕到達運動制御の研究等である。

＜2007 年度の主な成果＞

1. 動き易さの規範に基づく自律分散的な腕到達運動制御モデルの提案

身体の特性（長さ、慣性・粘性等）は、実環境では予測不可能的に変化する。生物は、多数の冗長な関節を持つため、一つの目的を様々な関節軌道で実現できるが、この冗長性は適応のためには重要である。例えば、ある関節が動きにくくなっても残りの関節を使うことで目的を柔軟に達成できる。既存のモデルでは、身体特性が運動中大きく変化しないという前提の下で、望ましい関節軌道を運動前に事前に決定するため、高い環境適応性能を得ることが困難であった。

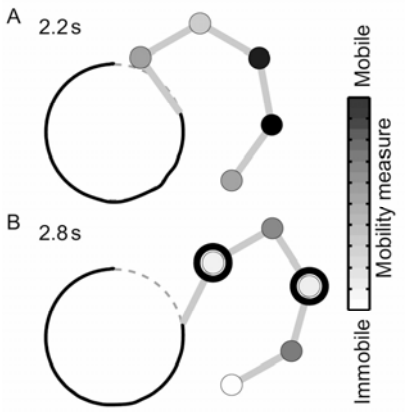
提案した制御モデル（上図）では、手先の目標速度（Desired Velocity : Vd）を与えると、個々の関節が角速度のセンサ情報から動き易さを評価しながら、この情報を関節間で相互作用を介して比較することで、より動き易い関節が優勢に働くように関節の瞬時の目標角速度を自律的に決定する点に特徴がある。このようなモデル化によって、身体特性が変化する状況でも柔軟に対応することが可能となった。

2. 計算機シミュレーションによる身体特性の変化に対する適応性の検証

制御モデルの有効性を検証する上で、二次元平面上の三関節腕による到達運動は、冗長性がただ一つであるため、最も基本的な運動である。このシミュレータを構築し、Vd を目的へ直線的に向かうように与えたところ、全ての関節が正常に動けるノーマルの条件において、正しく直線的な手先軌道が得られた。さらに、一つの関

節を突然動きにくくしたところ、動き易さの指標がこれを検知し、残りの二関節が優勢に働くように自律的に関節の動きが変化した。この働きにより、関節軌道はノーマルの条件と明らかに異なるが、手先は直線性を保つという適応的な運動生成が可能となった[1]。

この制御モデルでは、Vd を自由に与えることができ、また自律分散的な表現で記述しているため、関節数が増加しても基本的な構成を変化せず適用できる(右図)。基本的には、三次元空間内で行われる様々な随意運動にまで拡張可能な汎用性の高い技術であり、特に高い自由度を持つ移動体・マニピュレータの実環境における制御への応用が期待できる。



五関節腕の円運動への拡張。A：全関節が正常に動作する条件。B：黒丸の二関節が故障する条件。円運動が維持（[6]一部改訂）

＜職員名＞

教授　　矢野　雅文　（1992 年より）
助教　　牧野　悌也、　坂本　一寛、　三浦　治己
研究員　　冨田　　望、　伊藤　仁

＜教授のプロフィール＞

福岡県久留米市生まれ、九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学、東京大学助教授等を経て 1992 年より現職。脳の情報原理を解明することを目標に研究を進めている。特に脳の情報処理の柔軟性は情報生成能力によるものであると考え、これまでの自他分離の情報処理方式から自他非分離の情報処理、とりわけ脳の仮設生成論理の解明とその工学的応用に力点を置いている。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Yoshihara, N. Tomita, Y. Makino, and M. Yano, “Autonomous Control of Reaching Movement by `Mobility Measure',” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.19, No 4, pp. 448-458, 2007.
[2] Ito, M. and Yano, M., “Sinusoidal modeling for nonstationary voiced speech based on a local vector transform,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 121, No. 3, pp. 1731-1741, 2007.
[3] K. Sakamoto, S. Yoshida, H. Mushiake, N. Saito, K. Aihara and J. Tanji, “Transition of goal representation of putative pyramidal neurons and interneurons in the primate prefrontal cortex,” Neurosci. Res., Vol. 58, Suppl. 1, pp. 115, 2007.
[4] M. Yano, Y. Yoshihara, N. Tomita, and Y. Makino, “Voluntary Movements Controlled by "Mi-Nashi" Created in the Motor Cortices,” Proc. 2nd International Symposium on Mobiligence, pp. 22-25, 2007.
[5] Tomita, N., Asano, T., Makino, Y. and Yano, M., “Real-time and Distributed Autonomous Control of 2-joints Arm with Biarticular Muscles,” Proc. 3rd International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, pp. 39-46, 2007.
[6] Y. Yoshihara, N. Tomita, Y. Makino, and M. Yano, “Autonomous Decentralized Control of Redundant Arm in 3D Space by Mobility Measure,” Proc. 2nd International Symposium on Mobiligence, pp. 81-84, 2007.
[7] Ito, M. and Yano, M., “Articulatory feature estimation for nonstationary vowels based on a local vector coding,” Proc. 19th international congress on acoustics, CAS-03-005, 2007.
[8] Y. Yoshihara, N. Tomita, Y. Makino, and M. Yano, “Control of Voluntary Movement in Indefinite Environment - Real-time Optimization of Reaching Patterns by Constraints Emergence and Satisfaction -,” Proc. 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering, pp. 107-110, 2007.
[9] N. Tomita, and M. Yano, “Bipedal Robot Controlled by the Basal Ganglia and Brainstem Systems Adjusting to Indefinite Environment,” Proc. 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering, pp. 116-121, 2007.
[10] 萩原龍馬, 冨田望, 牧野悌也, 矢野雅文, “筋肉の自律性と冗長性を活用した環境適応的運動を可能とする二関節六筋アームロボットの開発,” 計測自動制御学会第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp. 319-324, 2007.

ブレインアーキテクチャ研究部

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

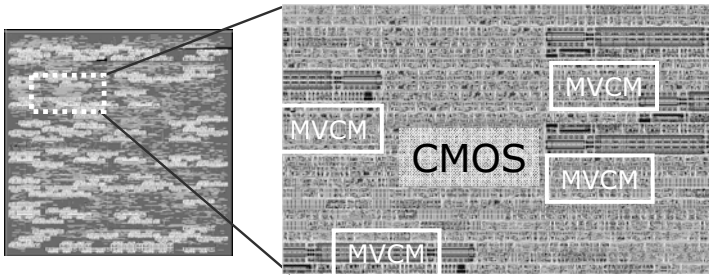


図１．256 ビット LDPC デコーダチップ

（90nmCMOS 技術多値電流モード基本ゲートセルに基づき，多値・2 値融合 LSI の自動配置配線に成功）

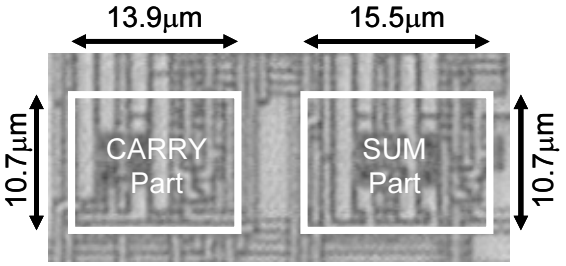


図２．不揮発性加算チップ

（0.18umCMOS/MTJ 技術．磁性素子の一つ TMR デバイスと MOS 回路を融合したロジック回路の試作に初めて成功）

＜分野の目標＞

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，すなわち次世代 VLSI コンピューティングにおける配線問題を解決する多値電流モード非同期回路技術（図１），記憶機能を演算回路に分散化させることにより膨大なメモリバンド幅を実現するロジックインメモリ VLSI アーキテクチャとそれを実現する新デバイス・多機能デバイスを活用した不揮発性ロジック技術（図２）など，マルチメディア応用高性能 VLSI プロセッサの設計法および実現法に関する研究を行っている．

＜2007 年度の主な成果＞

１． 非同期データ転送に基づく 256 ビット LDPC デコーダ・テストチップの試作：

誤り訂正符号 VLSI として重要な LDPC (Low-Density Parity-Check) デコーダは，配線数の増大およびそれに伴う配線長のばらつきが性能向上におけるボトルネックとなっている．本年度は，チップ内長距離配線に対するパイプラインデータ転送方式およびデータ転送部におけるフローディング型演算アルゴリズムを採用することによる，アーキテクチャ，アルゴリズム双方からの LDPC デコーダの高速化アプローチについて検討を行った．本方式に基づく 1024 ビット LDPC デコーダを実装することで従来と同程度の BER (Bit Error Rate) 特性を保ちつつ 4.3Gbps のスループットが実現可能であることをシミュレーションによって確認するとともに，本提案方式に基づいた 256 ビット LDPC デコーダを 90nmCMOS プ

ロセスにて設計・試作，および動作検証を行い，従来技術に対して 1.65 倍の速度改善が実現可能であるとの試算を得た.

２． 不揮発性記憶素子を用いたロジックインメモリ技術の提案：

近年の VLSI において問題となっている配線問題や静的消費電力問題の解決を目的として，記憶機能と演算機能を一体化したロジックインメモリ技術の研究を推進した．本年度は，特に TMR (Tunneling MagnetoResistance：トンネル磁気抵抗効果) 材料などの不揮発性材料とシリコンを組み合わせた不揮発性演算素子に基づく基本回路，具体的には再構成可能 LSI，算術演算回路，検索機能付メモリ等の構成法について検討を行い，提案する回路構成に対する回路シミュレーションの結果から従来技術に対する動作速度，素子数，消費電力に関する優位性を示した．また，本提案方式に基づいたチップの設計・試作を行い，その基本動作を実証した.

＜職員名＞

教　授：羽生貴弘（2002 年 4 月より）

助　教：松本　敦（2007 年 4 月より）

＜教授のプロフィール＞

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．同年同大学工学部助手，1993 年 2 月同助教授，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，多値 VLSI 技術とそのマルチメディア応用 VLSI コンピューティングに関する研究に従事．IEEE 多値論理国際シンポジウム優秀論文賞受賞(1986,1988)，丹羽記念賞受賞(1988)，坂井記念賞受賞(2000)，LSI デザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞受賞(2002)，ASP-DAC’07 大学設計コンテスト「Special Feature Award」受賞(2007).

＜2007 年度の主な発表論文等＞

(1) A. Mochizuki, H. Shirahama and T. Hanyu, "Design and Evaluation of a 54 × 54-bit Multiplier Based on Differential-Par Circuitry," IEICE Trans. Electron, Vol.E90-C, No.04, pp.683-691, Apr. 2007.

(2) T. Takahashi, K. Mizusawa, and T. Hanyu, "Asynchronous Peer-to-Peer Simplex/Duplex -Compatible Communication System Using a One-Phase Signaling Scheme," Proc. 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2007.

(3) H. Shirahama, A. Mochizuki, T. Hanyu, M. Nakajima, and K. Arimoto, "Design of a Processing Element Based on Quaternary Differential Logic for a Multi-Core SIMD Processor," Proc. 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2007.

(4) A. Mochizuki, M. Miura, and T. Hanyu, "Active-Load Differential Comparator for Crosstalk-Noise Reduction," Proc. 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2007.

(5) N. Onizawa, T. Ikeda, T. Hanyu, and V. C. Gaudet, "3.2-Gb/s 1024-b Rate-1/2 LDPC Decoder Chip Using a Flooding-Type Update-Schedule Algorithm," Proc. 50th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.217-220,　Aug. 2007.

(6) K. Kimura and T. Hanyu, "A Standby-Power-Free TCAM Based on TMR Logic," Proc. 50th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.855-858, Aug. 2007.

(7) 羽生貴弘，"トンネル磁気抵抗デバイスによる論理集積回路-不揮発性が拓く次世代ロジック LSI パラダイム-,"　応用物理，第 76 巻，第 12 号, pp.1399-1393, Dec. 2007.

知的ナノ集積システム研究部

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

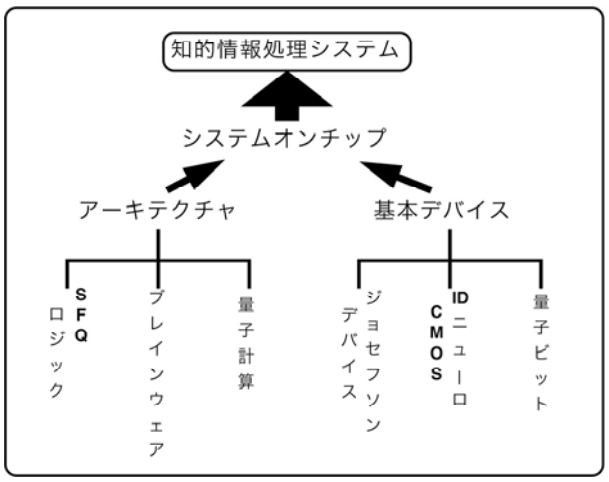


図１　知的ナノ集積システム研究部の研究目標

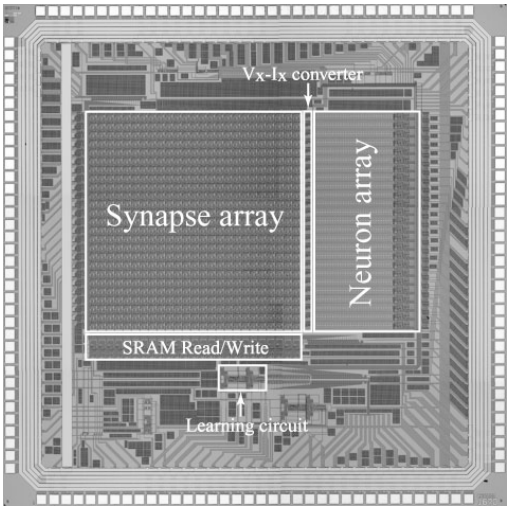


図２　逆関数遅延ニューロシステム
（３６ニューロン搭載）

＜分野の目標＞

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を開発、組み合わせ最適化問題に実用時間内で 100%の解答を与えるアクティブシリコンブレインシステムの提案を行い、プロトタイプをシリコンチップ上に作り出し、さらに高次のシステムへと展開している。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。

＜2007 年度の主な成果＞

[集積化ブレインコンピュータとダイナミック知的記憶システムの研究]逆関数遅延ニューロンモデルを最適値問題の解法に利用する際に問題であった、望ましくない恒常的な振動現象の発生メカニズムを解明し、あるパラメータを調節することで振動の発生を抑制できることを明らかにした。これらの知見により最適値問題において高い正解率を得ることに成功した[1]。またバースト逆関数遅延モデルを搭載したプロトタイプチップの試作・測定を行い、N-Queen問題を解くことに成功した[2]。

[量子計算デバイスとアルゴリズムの研究]高温超伝導体Bi2212固有ジョセフソン接合において、シングルフォトン励起による共鳴トンネル現象を確認した[5]。さらに、接合列の集

団ダイナミクスに影響を与える接合間結合の強さが加工プロセスの違いに依存することを実験から明らかにした。
[磁束量子データプロセッサの研究]磁束量子高速フーリエ変換用の4ビット並列乗算器ユニットのNb集積回路による動作実証に成功した。ストカスティック論理ニューロ演算用の高速アップダウンカウンタはNb集積回路によりその動作が確認され、100GHzを超える磁束量子パルス信号をカウント可能であることが示された[6]。

＜職員名＞

教　授　中島 康治（1995 年より）、准教授　佐藤 茂雄（2002 年より）、助　教　早川 吉弘、小野美 武
秘　書　久保市 亜由美

＜教授のプロフィール＞

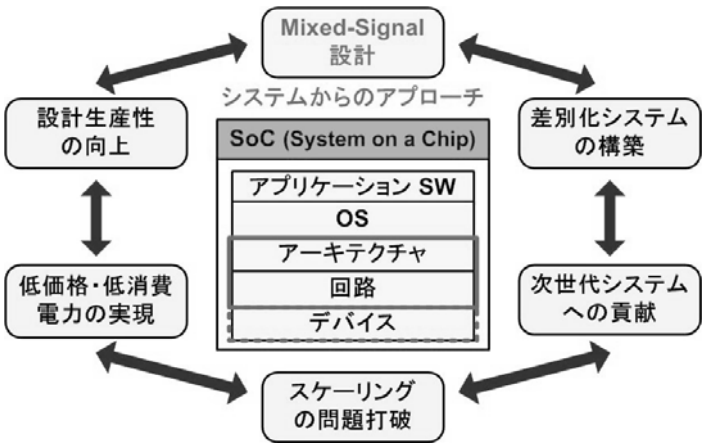
1949 年仙台市生まれ、東北大学工学部電気工学科、同大学院博士課程修了の後、東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て 1995 年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

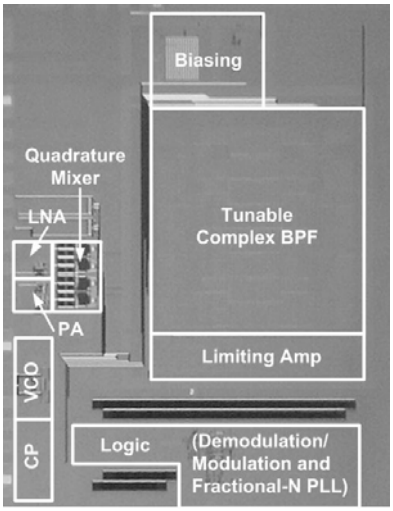
1. Design of a Neural Network Chip for the Burst ID Model with Ability of Burst Firing, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E90-A, no. 4, pp.715-723, April 2007, Shinya Suenaga, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima
2. Avoidance of the Permanent Oscillating State in the Inverse Function Delayed Neural Network, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E90-A, no. 10, pp.2101-2107, Oct. 2007, Akari Sato, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima
3. A Hardware Neural Network for External Inspection, Proceedings of the 22nd Commemorative International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, vol.1, pp. 183-184, Busan Korea, July 2007, S. Chun, Y. Hayakawa, and K. Nakajima
4. Recalling Complex Sequences of Patterns Using Neurons with Hysteretic Property, Proceedings of 2007 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 501-504, Vancouver, Canada, Sep. 2007, J. Sveholm, Y. Hayakawa and K. Nakajima
5. Resonant Activation and Multiple Switching Characteristics of Bi-2212 Intrinsic Josephson Junctions, Abstracts of 8th European Conference on Applied Superconductivity, Brussels, Belgium, S1-0117, Sep. 2007, N. Kitabatake, K. Inomata, M. Kinjo, S. Sato, K. Nakajima, H. B. Wang, T. Hatano
6. High-speed single flux-quantum up/down counter for neural computation using stochastic logic, Journal of Physics: Conference Series, vol.97, p.012187, March 2008, Takeshi Onomi, Taizo Kondo, and Koji Nakajima

マイクロアーキテクチャ研究部

Mixed-Signal SoC (System on a Chip)の研究



Mixed-Signal SoC をとりまく状況



センサー・ネットワーク用トランシーバ IC

＜分野の目標＞

ユビキタス社会の到来によって，通信用途等にむけた Mixed-Signal（アナログ・ディジタル混載）回路設計技術と，IC 上へのシステム搭載技術の向上が要求されている。マイクロアーキテクチャ研究部では，Mixed-Signal SoC (System on a Chip)のアーキテクチャ・回路設計，および，その設計生産性の向上を研究の対象とし，ブレインウエアに関連したセンサー・ネットワークへの応用や，将来の脳的コンピュータ実現への貢献をターゲットとしている。オープンシステムで使用される Mixed-Signal SoC では，スケーリングされた CMOS テクノロジを利用し，目標性能を低価格・低消費電力で実現することが要求されているが，スケーリングによって顕著化した RF/アナログ回路のばらつきを抑制するため，SoC 上のディジタル回路を利用し，ばらつきを補正する技術が重要となる。さらに，この技術を展開し，ソフトウエアによって RF/アナログ回路を制御する Software-Definable な Mixed-Signal SoC の実現を研究する。

＜2007 年度の主な成果＞

１． Low-IF トランシーバにおける Complex BPF の自動特性 Tuning 回路の研究

ワイヤレス・センサーネットワークに応用可能な低コスト・低消費電力トランシーバ IC の研究に取り組んでいる。今年度は，Low-IF アーキテクチャに着目し，Complex Bandpass Filter（BPF）の最適化実現手法を探索した。g_m-C 方式と比較して 53%以下の面積で実現可能な Active RC 方式を採用し,特性を決定する抵抗と容量のプロセス変動が±20%あっても，特性変動を±3.5%以内に抑えることのできる Digital Tuning 回路を開発した。Complex BPF

の基本特性であるバンド幅と中心周波数が，いずれも，RC 時定数の積のみに依存することを数学的に提示し，Tuning 時に Filter が発信器となるように構成し，835 ゲートの小規模ロジックとコンパレータ，バッファのみで自動特性 Tuning 回路を実現した。0.18μm CMOS テクノロジで試作した回路を評価した結果，ばらつきは±2.5%以内で， Image Rejection Ratio は 40.3dB であった。この手法は，Software-Definable なフィルタの構成の実現に展開できると考えている。

本研究の詳細は、富士通マイクロソリューション社と共同で、2007 IEEE International Workshop on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT-2007)にて、発表を行った。

２． 不揮発メモリ混載 Mixed-Signal SoC、Software-Definable Mixed-Signal SoC の研究

強誘電体メモリを搭載し、システム・レベルでの高速化・低消費電力化を実現する Mixed-Signal SoC、および、Software によって仕様を可変できる Mixed-Signal SoC について、基礎検討を実施した。本件については、次年度より詳細回路設計フェーズに入り、順次成果を公開していく予定である。

＜職員名＞

教　授　桝井　昇一（2007 年より）

＜教授のプロフィール＞

1984 年 3 月　名古屋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電子コース博士前記課程修了。1984 年 4 月　新日本製鐵　第一技術研究所　入社。1990 年 4 月　同主任研究員、ならびに、スタンフォード大学客員研究員。1992 年 4 月　新日本製鐵　エレクトロニクス研究所　主任研究員。1996 年 4 月　新日本製鐵　LSI 事業部　部長代理。1999 年 4 月　富士通　プロジェクト課長。2000 年 9 月　富士通研究所 主任研究員。2001 年 9 月～11 月　トロント大学客員研究員。2003 年 4 月　富士通研究所　主管研究員。2006 年 5 月　東京工業大学　博士（工学）。2007 年 4 月　東北大学　電気通信研究所　教授、現在に至る。不揮発メモリの設計と応用、ならびに、Mixed-Signal SoC の研究開発に従事。第 10 回 FPGA/PLD Design Conference ユーザ・プレゼンテーション審査員特別賞（2003 年）、文部科学大臣表彰（研究功績者）（2004 年）。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] Shoichi Masui and Tsuzumi Ninomiya, “Passive UHF RFID CMOS Tag IC Using Ferroelectric RAM Technology,” 2007 IEEE RFIC Symposium, Workshop on RFID Technology, WSJ.

[2] Hideaki Kondo, Masaru Sawada, Norio Murakami, Shoichi Masui, Masaki Fujioka, Kazuyoshi Maruyama, Masayuki Naganuma, and Hiroyuki Fujiyama, “Complex BPF for Low-IF Receivers with an Automatic Digital Tuning Circuit,” IEEE International Workshop on Radio-Frequency Integration Technology, pp. 75-78, 2007.

３．７　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・育成などにより，日本全国並びに東北大学地区の産業振興に貢献し，日本の IT バレーとしての地位を確立する．

＜2007 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，今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「超高速大容量ストレージシステムの開発」を開始した．各プロジェクトの概要と平成 19 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

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 Wireless NGN（wireless next generation network）の実現を目指し，通信速度（1Mbit/s～10Gbit/s），通信距離（10m～1km），電力（1μW～1W），QoS の最適制御により，移動速度（静止～250km/h）において「いつでも」「どこでも」つながるオール IP ディペンダブルワイヤレスネットワークの構築と，ネットワーク実現に必要な周波数帯（500MHz～70GHz）をカバーするオールシリコン CMOS アナログ RF・ディジタル混在デバイス，デバイス・伝搬路特性補償のための周波数等化技術及び高速低消費電力スケーラブル AD コンバータの開発を目指す．今年度はそれぞれの基礎検討を行い，特に周波数領域等化技術の FPGA への実装などを中心に行った．

２．超高速大容量ストレージシステムの開発

「超高速大容量ストレージシステム」の研究開発を，本研究所（村岡研究室）ならびに学内の研究室と，国内ハードディスクドライブメーカー等を結集した産学連携により開始した．ここでは，超テラビッ

ト毎平方インチ級の次世代垂直磁気記録の要素技術開発と，超高速ストレージサブシステムのための予知型 2 次元データ配置技術方式により，記録密度と消費電力の限界を打破し，2011 年に現状の 1/20 以下の消費電力/記憶容量比を達成すること等を目標としている. 今年度は新しいプロジェクトの初年度にあたり，テラビット級次世代垂直記録デバイスの設計および作製のための基礎研究，基盤整備，シミュレーションを中心とした記録再生機構設計，および，超高速並列階層型サブシステムの基本方式の検討に着手した.

＜職員名＞

センター長・教授　坪内　和夫

企画開発部

教　授	古西　　真

研究開発部

モバイル分野

教　授	高木　　直
客員教授	岩田　　誠

ストレージ分野

教　授	藤本　和久
客員教授	青井　　基
准教授	島津　武仁
客員准教授	山川　清志

技術職員　寒河江克己

運営委員

本研究所教授	坪内　和夫	大学院工学研究科教授	安達　文幸
	高木　　直		伊藤　隆司
	古西　　真	大学院情報科学研究科教授	亀山　充隆
	長　　康雄	日本電気（株）	嶋脇　秀徳
	村岡　裕明	情報ストレージ研究推進機構	押木　満雄
	鈴木　陽一	本研究所事務部長	西田　　均
	白鳥　則郎		
	大野　英男		
	羽生　貴弘		
本研究所客員教授	中村　慶久		
	青木　　基		

IT-21センター企画開発部

研究開発の課題の提示と実施の支援

＜分野の目標＞

産学連携による研究開発プロジェクトを実施に移すことを目標として、科学技術政策の動向の分析等により適切な課題を提示のための企画開発とともに、提示された課題が研究開発部において円滑に実施できるよう、その支援のための企画開発を行う。

＜2007 年度の主な成果＞

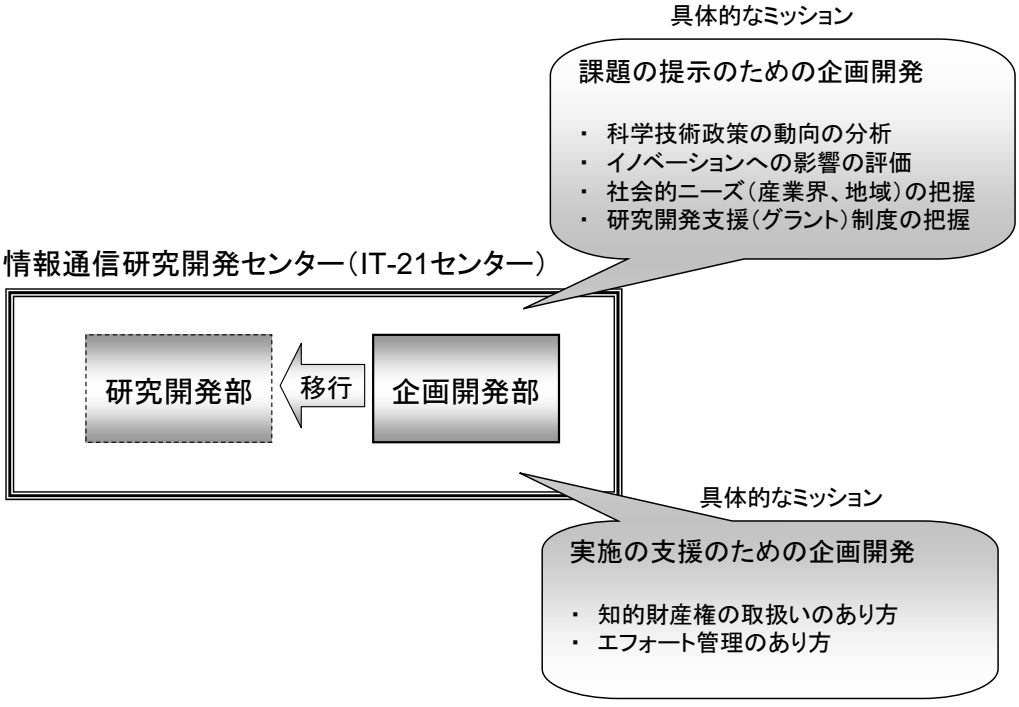
2007 年度より、「超高速大容量ストレージシステムの開発」（プロジェクトリーダー：村岡教授）、「三次元 SiP によるオール CMOS ユニバーサル無線端末の開発」（プロジェクトリーダー：坪内教授）に着手した。

2002 年度から 5 ヵ年間で実施してきた文部科学省からの委託による IT プロジェクトについては、成功裏に終了し成果報告書を刊行。

電気通信研究所としての知的財産権の取組みについて提言するとともに、イコールパートナーシップにより産業界と協働しての研究開発を円滑に行っていくために、知的財産部と協議の上、事業化前の段階の通常実施を無償とする枠組みの構築を行った。

IT プロジェクトの成果を国際標準化し、その活用を図ることを目指して、プロジェクト化を構想している。

また、電気通信研究所が包括的な研究協力を締結している機関との共同研究の実現に向けて、技術交流の調整を行っている。



＜職員名＞

教授　古西　真

秘書　鏡谷　真知子

＜教授のプロフィール＞

1984 年 3 月　東京大学工学部産業機械工学科卒業。1986 年 3 月　東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻修士課程修了。1986 年 4 月　科学技術庁（現　文部科学省）入庁。1991 年 11 月から 1994 年 4 月　青森県総括主幹（1992 年 4 月　副参事）。2000 年 7 月　通商産業省資源エネルギー庁公益事業部　統括安全審査官（2001 年 1 月　経済産業省原子力安全・保安院　統括安全審査官）。2002 年 5 月　文部科学省　情報科学技術研究企画官。2004 年 1 月　内閣官房内閣情報調査室　調査官。2005 年 1 月　経済産業省原子力安全・保安院　核燃料サイクル規制課長。2006 年 8 月　東北大学電気通信研究所附属二十一世紀情報通信研究開発センター教授（2006 年 11 月～2008 年３月総長特任補佐に併任）、現在に至る。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

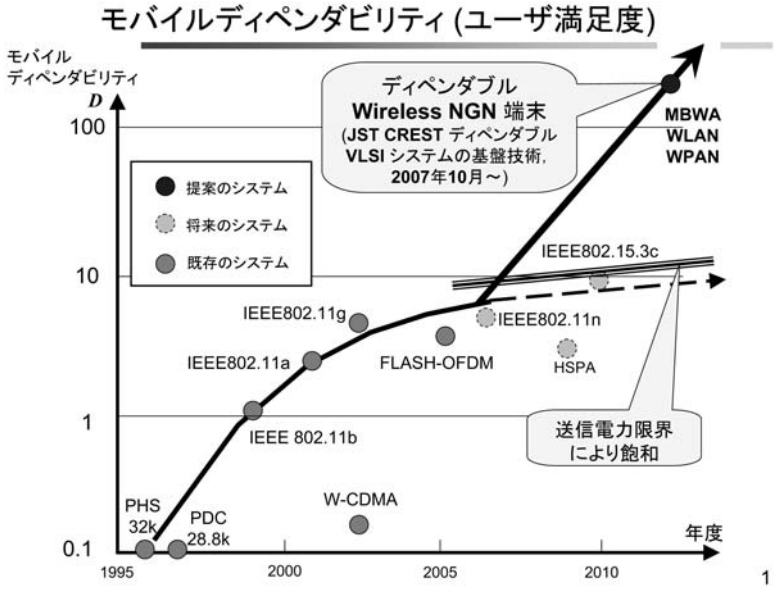
知的財産権の取扱に電気通信研究所が寄与する役割についての考察、平成 19 年 7 月、東北大学電通談話会記録、第 76 巻第 1 号

大学発の国際標準―東北大学電気通信研究所の試み―、2007、産学官連携ジャーナル　Vol.3No.12

研究開発部モバイル分野

Wireless-NGN のモバイルディペンダビリィティ

図面説明:
モバイルワイヤレス通信の新しい評価パラメータとしてモバイルディペンダビリィティを提案した。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」により，一桁以上大きいモバイルディペンダビリィティの実現をめざす。



＜分野の目標＞

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」により，(1) Wireless-NGN のためのブロードバンド無線通信技術，および (2) Universal Radio のための高速・高周波 Si システムチップ構築技術を開発する。

＜2007 年度の主な成果＞

１．　新規プロジェクトの提案および採択

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 Wireless NGN（Wireless Next Generation Network）をめざし，通信速度（10Mbps～2Gbps），通信距離（10m～1km），電力（1μW～1W），QoS の最適制御により，移動速度（静止～250km/h）において「いつでも」「どこでも」つながるオール IP ディペンダブルワイヤレスネットワークの構築と，ネットワーク実現に必要な周波数帯（500MHz～70GHz）をカバーするオールシリコン CMOS アナログ RF/ディジタル混在デバイス，特性補正のための周波数等化技術及び高速低消費電力スケーラブル AD コンバータの開発を目指す。2007 年 10 月から 5.5 年間継続する。

２．　Wireless-NGN のためのブロードバンド無線通信技術

- FLASH-OFDM のフィールド試験データに基づき MBWA（Mobile Broadband Wireless Access）に対するシステム検討を行い，効率よいシステム構成実現のための構成案を立案した。今後，これに基づき，さらに詳細検討を実施していく。
- 周波数等化を用いた無線送受信機の理論および実験による検討を行った。その結果，通

信誤り特性が改善され，周波数等化技術の実現可能性と有効性を世界に先駆けて実証した。

・ 超高速無線通信用マルチキャリア MSK システムについて理論および実験による検討を行い，高効率な電力増幅器を用いることができる MSK 変調信号を用いて，500Mbps の高速伝送を実現した。

３． Universal Radio のための高速・高周波 Si システムチップ構築技術

・ 5GHz 帯高効率シリコン CMOS 差動送信電力増幅器の開発をおこない，整合回路の素子数を可能な限り削減した B 級動作増幅器の設計により，電力付加効率 49.1%（出力電力 16.6dBm） の性能を得た。この増幅器とダイポールアンテナとをバランを用いずに直結する小型能動集積アンテナを提案し，試作によりその実現可能性を明らかにした。

・ ５GHz 帯シリコン CMOS VCO（Voltage Control Oscillator）を開発し，IEEE802.11n の周波数帯域をカバーする発振チューニングレンジを実現した。位相雑音についてはさらなる性能改善が必要なことがわかり，現在，低位相雑音化の開発に取り組んでいる。

＜職員＞

教授　　高木　直（2005 年より）
客員教授　岩田　誠（2003 年より）

＜高木　直教授のプロフィール＞

昭和 49 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㈱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。広帯域無線通信システムの研究に従事。IEICE，IEEE 会員。

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] 坪内 和夫，中瀬 博之，高木 直，亀田 卓，“ミリ波超高速伝送通信における三次元 SiP 実装技術，” 信学誌，vol.90，no.4，pp.283-288, April 2007.

[2] S. Kameda, S. Fukuyo, A. Yamaguchi, H. Oguma, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Evaluation of high-speed and large-capacity RFID inventory method using 1-bit flag," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #220, Athens, Greece, Sept. 2007.

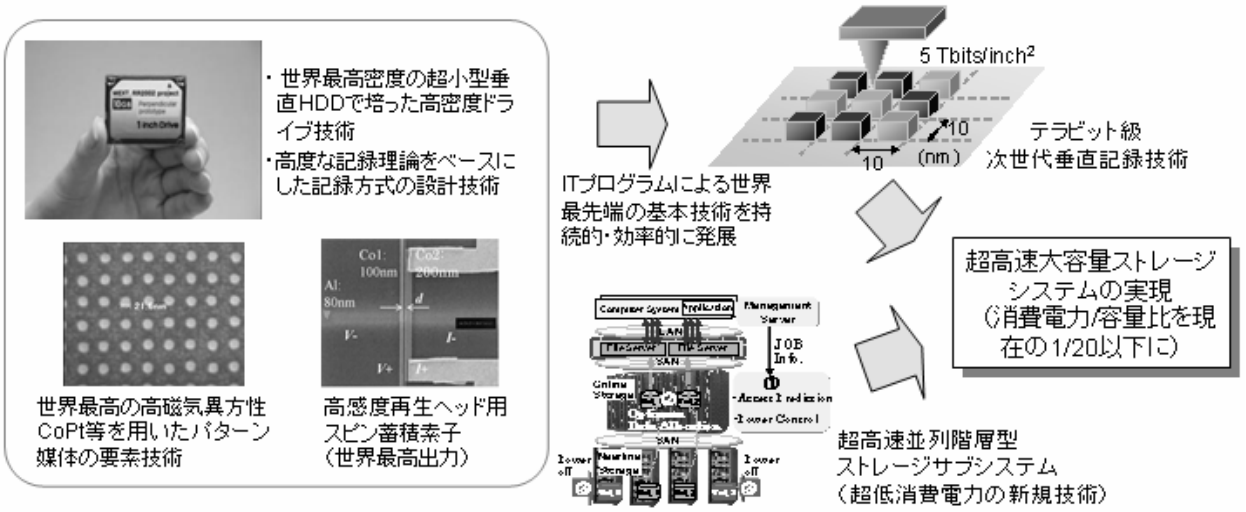
[3] S. Oshima, G. Mori, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "The 60GHz band multi-carrier wireless system for 2Gbps transmission with constant envelope modulation," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #521, Athens, Greece, Sept. 2007.

[4] Y. Aota, S. Tanifuji, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "FBAR characteristics with AlN film using MOCVD method and Ru/Ta electrode," IEEE Ultrason. Symp. Proc. P1H-4, Oct. 2007.

[5] H. Ueda, K. Nakajima, G. Kanazawa, M. Shimozawa, J. Koide, M. Uesugi, R. Takeuchi, N. Suematsu, Y. Isota,S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi and K.Tsubouchi, "A 5GHz-band SiGe-MMIC Transceiver for 324Mbps Transmission," in Proc. IEEE RWS 2008, Jan. 2008.

研究開発部ストレージ分野

Tb/in^{2}級超高速大容量ストレージシステムの開発



＜分野の目標＞

情報爆発の時代を迎え，情報ストレージデバイスとしてのハードディスクドライブの大容量化，高速化の実現が強く求められている．本分野では，平成 18 年度までの 5 年間，IT プログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」を文部科学省から受託し，世界最高密度の超小型垂直磁気ハードディスクの実現等の産学連携研究の成果を通じて垂直磁気 HDD の実用化，高密度化に貢献してきている．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「超高速大容量ストレージシステム」の研究開発を，本研究所（村岡研究室）ならびに学内の研究室と，国内ハードディスクドライブメーカー等を結集した産学連携により開始した．ここでは，超テラビット毎平方インチ級の次世代垂直磁気記録の要素技術開発と，超高速ストレージサブシステムのための予知型 2 次元データ配置技術方式により，記録密度と消費電力の限界を打破し，2011 年に現状の 1/20 以下の消費電力/記憶容量比を達成すること等を目標としている．

＜2007 年度の主な成果＞

新しいプロジェクトの初年度にあたり，テラビット級次世代垂直記録デバイスの設計および作製のための基礎研究，基盤整備，シミュレーションを中心とした記録再生機構設計，および，超高速並列階層型サブシステムの基本方式の検討に着手し，下記の成果を得た．

1) 次世代垂直記録媒体の開発：　3.5×10^7 erg/cm^3 を超える大きな一軸磁気異方性を有する $L1_1$ 型 Co-Pt 規則化合金垂直膜の形成にスパッタ法により世界で初めて成功し，同薄膜が次世代ナノパターン媒体材料として有望であることを明らかにした．また，富士電機デバイステクノロジーと共同で，ハードソフトスタック型グラニュラ系垂直媒体が，熱安定性を劣化させることなく記録時のスイッチング磁界を 1/2 以下に低減できることを実証し，高い高密度化ポテンシャルを有することを明らかにした．
2) 超高感度リーダ技術の開発：　日立製作所と共同で，素子サイズを微細化したときのス

ピン蓄積現象の検証と課題の摘出を行った．その結果，微細化に伴い磁気的な挙動に課題があることが確認され，新しい構造の素子作製に着手した．

3) 高分解能単磁極ライタ： シミュレーションにより基本ヘッド構造の設計に着手し，特に，多段テーパ型主磁極が高記録分解能化に有効であることを新たに見出した．
4) 超テラビット記録方式： シミュレーションを用いて２Tbits/inch^2 の記録密度をビットパターン媒体記録で達成するための技術課題の抽出に着手した．特に，隣接ドットからの漏洩磁界が記録誤りに与える影響が大きく，その抑制が重要であることを明らかにした．また，次世代記録方式の実証のための基盤整備のため，準静的に記録再生特性を評価するスタティックテスタの改良に着手し，記録マージンの正確な評価を可能とする機能を強化した．
5) 超高速並列階層型サブシステム： 超高速並列階層型サブシステムの基本方式の検討に，日立製作所，日本原子力研究開発機構と連携して着手した．本基本方式のコアになる予知型２次元データ配置方式の基本アルゴリズムの提示のためのコンピュータシミュレーションの開発，超高速並列階層型サブシステムを模擬する計算モデルの構築，シミュレーションの計算モデルの精度向上に必要な物理パラメータを収集するためのハードディスクドライブ実験装置の構築に，それぞれ着手した．

＜職員名＞

教　　授　藤本　和久（2007 年より）
客 員 教 授　青井　　基（2002 年より）
准　教　授　島津　武仁（2002 年より）
客 員 准 教 授　山川　清志（2002 年より）

＜藤本和久教授のプロフィール＞

昭和 60 年九州大・工・電気卒．昭和 62 年同大学院修士課程修了．工学博士．昭和 62 年(株)日立製作所入社，中央研究所．平成 12 年同主任研究員．平成 14 年同システム開発研究所主任研究員．平成 19 年同主管研究員．平成 19 年東北大学電気通信研究所 21 世紀情報通信研究開発センター教授．情報ストレージサブシステムのシステムアーキテクチャの研究開発に従事．

＜2007 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Shimatsu, Y. Inaba, S. Watanabe, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, and Y. Nakamura, “Recording Resolution and Writability for (Co-Pt)-SiO_2/Co-SiO_2 Hard/Soft-Stacked Granular Perpendicular Media,” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 43, pp. 2103-2105 (2007).

[2] H. Sato, T. Shimatsu, Y. Okazaki, H. Muraoka, H. Aoi, S. Okamoto, and O. Kitakami, “Fabrication of $L1_1$ type Co-Pt ordered alloy films by sputter deposition,” *J. Appl. Phys*, vol. 103, pp. 07E114(1-3) (2008).

[3] T. Shimatsu, Y. Okazaki, H. Sato, H. Muraoka, H. Aoi, T. Sakurai, S. Okamoto, O. Kitakami, S. Tanii, and A. Sakuma, “Uniaxial magnetic anisotropy in Co and Co-Pt based perpendicular films in relation to lattice deformation,” *J. Appl. Phys*, vol. 103, pp. 07F524(1-3) (2008).

[4] K. Mitsuzuka, T. Shimatsu, H. Muraoka, H. Aoi, N. Kikuchi, and O. Kitakami, “Magnetic properties of Co-Pt/Co hard/soft stacked dot arrays,” *J. Appl. Phys*, vol. 103, pp. 07C504(1-3) (2008).

[5] T. Shimatsu, N. Asakura, Y. Inaba, K. Kudo, A. Sato, H. Muraoka, H. Aoi, S. Okamoto and O. Kitakami, “Thermal stability and switching field of hard/soft stacked perpendicular media,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, in press (2008).

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行い、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。
○ 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	山下　毅
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　本センターで管理する各種ネットワーク機器



図２　エージェント型ネットワーク管理支援システム

＜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

＜2007 年度の主な成果＞

(1) 安全・安心なオーバーレイネットワークに関する研究（研究テーマ1に関連）

オーバーレイネットワークは，現状のインターネットではサポートされていない様々なネットワーク機能を簡易に実現し，迅速に展開する手段として極めて有用である．しかしながら，信頼できないホストとのP2P接続によるセキュリティ上のリスクの増大など，運用やセキュリティ面での問題をもたらしている．そこで我々は，大規模オーバーレイネットワークのためのスケーラブルな分散型認証法の確立を目指し，ピア・ツー・ピア(P2P)型の分散認証手法の開発を行っている．本年度は文献1, 2に示す成果が得られた．

(2) 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可能とする，エージェント型のネット

ワーク管理支援システムを開発している．図2に，開発中のエージェント型ネットワーク管理支援システムを示す．本年度は文献3, 4, 5に示す成果が得られた.

(3) 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，マルチメディア情報からのオブジェクト抽出や高次臨場感通信に関連する研究を行っている．本年度は文献6, 7, 8に示す成果が得られた.

＜職員名＞

(1) 運営委員会

教授　鈴木　陽一（2000 年より）　白鳥　則郎（1997 年より）　外山　芳人（2000 年より）
　　木下　哲男（2000 年より）　白井　正文（2003 年より）　大堀　淳（2007 年より）

(2) 実施委員会

教授　　外山　芳人（2007 年より）木下　哲男（1997 年より，情報ｼﾅｼﾞｰｾﾝﾀｰ所属）
准教授　青戸　等人（2003 年より）北形　元（2007 年より）
助教　　早川　吉弘　吉田　真人　篠埜　功　矢入　聡
研究支援推進員　大學　紀子　鈴木　みどり　駒形　順子／新妻　祥子

(3) 常勤職員

准教授　北形　元（2007 年より）
助教　　矢入　聡
研究支援推進員　大學　紀子，鈴木　みどり，駒形　順子／新妻　祥子

＜教授のプロフィール＞

センター長・鈴木陽一教授のプロフィールは，先端音情報システム研究分野を参照.
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.

＜2007 年度の主な発表論文等＞

1. 武田 敦志，北形 元，松島 悠，木下 哲男，白鳥 則郎，″P2P ネットワークのための分散ハッシュ型認証手法″，情報科学技術レターズ，6 巻，pp.433-436, 2007.（FIT2007 論文賞受賞）
2. Atushi Takeda, Kazuo Hashimoto, Gen Kitagata, Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Tetsuo Kinoshita and Norio Shiratori, "A New Authentication Method with Distributed Hash Table for P2P Network", Proc. of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications - Workshops (AINAW2008), pp.483-488, 2008.
3. Naoki Nakamura, Debasish Chakraborty, Apichet Chayabejara, Gen Kitagata, Takuo Suganuma, Goutam Chakraborty, Norio Shiratori, "Efficient Channel Utilization Schemes for IEEE 802.11 DCF over MANET", IPSJ Journal, Vol.48, No.2, pp. pp. 448-458, 2007.
4. 長尾 真宏，北形 元，菅沼 拓夫，白鳥 則郎，″ネットワーク管理におけるイベントのリアルタイム識別の実現へ向けたログ要約手法の提案と評価″，情報処理学会論文誌，48 巻，4 号，pp.1606-pp.1615, 2007.
5. 中村 直毅，渡部 修平，北形 元，白鳥 則郎，″モバイルアドホックネットワークにおける Interference を考慮したフレーム結合型ペーシング方式の提案″，情報科学技術レターズ，6 巻，pp.415-418, 2007.
6. Satoshi Yairi, Yukio Iwaya, Yo-iti Suzuki, "Estimation of Detection Threshold of System Latency of Virtual Auditory Display", Applied Acoustics Vol.68, No.8, pp.851-863, 2007.
7. 矢入 聡，岩谷 幸雄，鈴木 陽一，″頭部運動感応型ソフトウェア聴覚ディスプレイの開発 ～DSP を用いない高臨場感音空間合成システム～″，画像ラボ，日本工業出版，Vol.18, No.2, pp.35-39, 2007.
8. 矢入 聡，岩谷 幸雄，鈴木 陽一，″聴覚ディスプレイ″，映像情報メディア学会誌，Vol.61, No.10, pp.22-25，2007.

３．１０　高度な専門知識と技術に基づいた研究支援

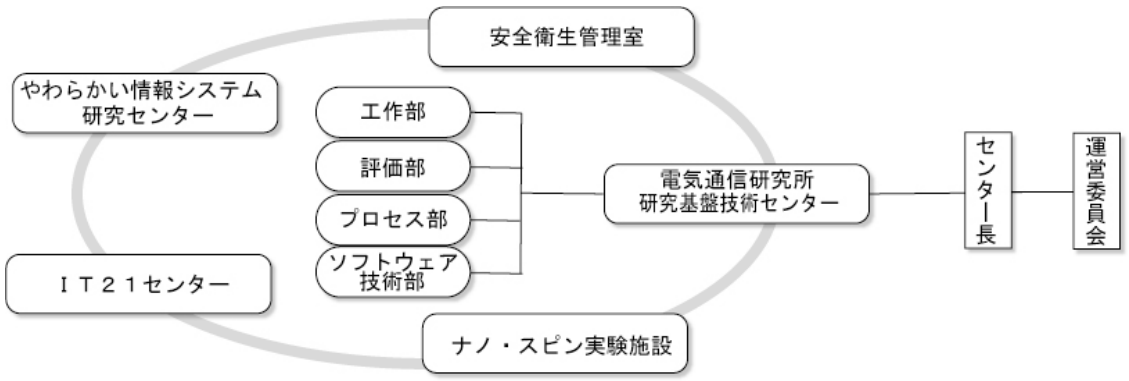
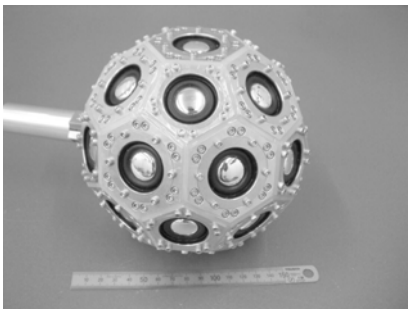
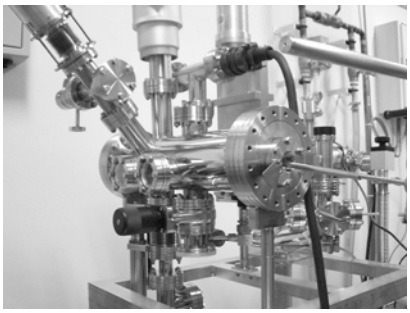


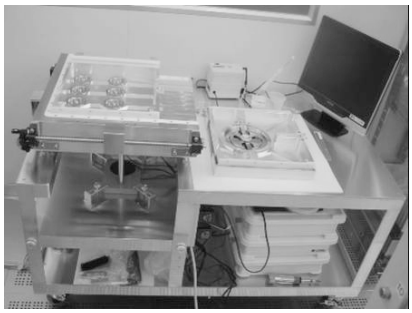
図　研究基盤技術センター概略図



32 面体スピーカー筐体



赤外線加熱炉

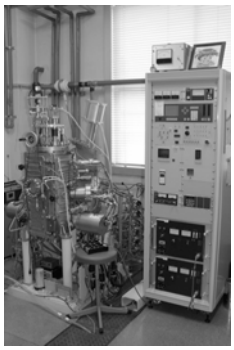


Al 製 XY ステージ

写真　工作部の主な製作品



小型蒸着装置



電子ビーム蒸着装置



収束イオンビーム加工装置



薄膜用Ｘ線回折装置

写真　プロセス部保有の加工装置および分析装置

＜分野の目標＞

研究基盤技術センターは高度な専門知識・技術に基づいて、所内の研究に密着した研究支援を行うセンターである。最先端の研究や技術を創製し、社会に還元することは大学の大きな役割の一つであり、その役割を果たすために高度な知識と技術を育成・継承できる体制の維持・充実が求められている。本センターではこの理念の下、工作部・評価部・プロセス部・ソフトウェア技術部の４部を設置し研究支援を行っている。

＜2007 年度の主な成果＞

１．工作部

工作部では、これまでに数々の新しい工作方法を開拓し、特殊な機器や各種超高真空容器などの精密工作を行い、半導体表面・界面の微細構造の解析、高密度磁気記録の研究をはじめ、数々の高度情報通信に関わる研究に貢献してきた。本年度、各研究室からの制作依頼は 123 件（所内 119 件、所外 4 件）であった。各研究室の制作数は以下の通りである。

庭野件：32 件、枝松研：22 件、中島研：12 件、鈴木研：19 件、大野研：7 件、上原研：6 件、青井研：6 件、ナノ・スピン実験施設：5 件、横山研：4 件、尾辻研：3 件、坪内研：3 件、評価部：3 件、矢野研：2 件、室田研：2 件、末光研：2 件、中沢研：1 件、村岡研：1 件、石山研：1 件、用度係：1 件

２．評価部

評価部では、所内および工学研究科電気情報系の研究分野内研究、施設の部内研究、共同プロジェクト研究を対象とした、電気電子材料・電子デバイス・システムの計測・評価・分析、共通計測機器・設備の維持・管理および液体窒素・液体ヘリウムの供給等に関する業務を行っている。評価部では共通利用の測定装置として次の装置を提供している。

ヘリウム後方散乱装置、原子間力顕微鏡、走査型電子顕微鏡、汎用Ｘ線回折装置、電子スピン共鳴装置、赤外分光光度計、赤外可視分光器、液体クロマトグラフ、光学特性測定装置、大気下光電子測定装置、ダイシングソー

３．プロセス部

プロセス部では、金属薄膜の蒸着、誘電体多層膜反射鏡の製作、各種電子材料・電子デバイスの創製および加工と、これに必要な実験装置の開発、製作に関する業務を行っている。また、各研究分野への研究支援として共通プロセス装置・クリーンルーム施設の維持・管理等に関する業務を担っている。プロセス部では共通利用の測定装置として次の装置を提供している。

収束イオンビーム加工装置、マスクアライナー、薄膜用Ｘ線回折装置、電子ビーム露光装置、走査型電子顕微鏡、光学顕微鏡、分光光度計、デジタルマイクロスコープ、ダイシングソー、UV&OZONE ドライストリッパー

４．ソフトウェア技術部

ソフトウェア技術部では、所内および付属研究施設の情報システムの管理・運用・開発業務を行っている。また、各研究分野に対する研究支援として、スペースコラボレーションシステムや通研研究者データベース等、学術情報の収集・組織化・利用のためのサービス提供および研究成果の情報発信等を行っている。

＜職員名＞

センター長（教授）	庭野　道夫
助　　教	佐藤　信之
技術職員	渡邉　博志、菅原　宗朋、今野　勇治、米澤　隆二、田久　長一、我妻　成人 庄子　康一、末永　保、山下　毅

第 4 章　共同プロジェクト研究

４．１　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は，情報通信分野における COE（Center of Excellence）として，その成果をより広く社会に公開し，また研究所自体がさらに発展するために全国共通利用型研究所としての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た共同利用型研究所であ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，大規模な装置・施設の共同使用に重点がある従来の共同利用型研究とは異なり，研究内容主導型の共同研究である。

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

○共同利用委員会

共同プロジェクト研究の運営のために，共同利用委員会及びプロジェクト実施委員会、プロジェクト審査委員会が設置されている。共同利用委員会は，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設置されており，その構成は，本研究所教授並びに本学工学研究科及び情報科学研究科の教授９名の委員よりなっている。共同利用委員会の使命は，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，平成８年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申し合わせ」を作成し，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、平成１９年度に外部委員を含めたプロジェクト審査委員会を設置した。また、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本所専任の教員により組織されているプロジェクト実施委員会が設置されている。

今年度のテーマは，平成１９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１９年度共同プロジェクト研究

平成１９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６３件（A：３６件，B：２７件）が採択された。なお，A タイプは各々の研究課題について本研究所の施設・設備などを使って行う研究であり，３６件のうち２３件が外部よりの提案，B タイプは短期開催の研究会形式の研究で，２７件のうち１７件が外部よりの提案のものである。また，A タイプの研究のうち１１件に，B タイプの研究のうち１４件には，民間の研究者が参加している。

平成１９年度共同プロジェクト研究採択一覧

Ｈ１７／Ａ０１　　知的ナノ集積システムの実現に関する研究

共同プロジェクト研究

Ｈ１７／Ａ０２	高周波キャリア型磁界センサにおける不連続インピーダンス特性の原理考察と応用検討
Ｈ１７／Ａ０４	フォトニック結晶の光産業技術への展開
Ｈ１７／Ａ０５	プラズマナノ理工学基盤研究
Ｈ１７／Ａ０６	Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究
Ｈ１７／Ａ０８	視覚の統合処理過程の解明とその応用
Ｈ１７／Ａ０９	Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究
Ｈ１７／Ａ１１	高機能有機薄膜センサーに関する研究
Ｈ１７／Ａ１２	人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究
Ｈ１７／Ａ１３	細胞バイオトロニクスに関する研究
Ｈ１７／Ａ１４	ＲＦ帯パーミアブルマテリアルによる高集積度ＲＦデバイスの開発
Ｈ１８／Ａ０１	半導体ヘテロ接合ナノ構造を利用したテラヘルツ帯プラズマ電子波デバイスの研究
Ｈ１８／Ａ０２	ノンクラシカルⅣ族ヘテロ構造デバイスの高性能・高信頼化の研究
Ｈ１８／Ａ０３	センサーコンピューティングによるウェアラブル情報共有空間の構築に関する研究
Ｈ１８／Ａ０４	非線形波動制御を基調とする全電気テラヘルツ光源の研究
Ｈ１８／Ａ０６	音響情報によるセキュリティ向上技術に関する研究
Ｈ１８／Ａ０７	超伝導計算機の基礎と応用に関する研究
Ｈ１８／Ａ１０	聴覚を利用した拡張現実感システムの構築に向けた基礎的研究
Ｈ１８／Ａ１２	新規非鉛系環境調和型圧電・光学単結晶の育成と超音波マイクロスペクトロスコピー
Ｈ１８／Ａ１３	視覚情報の脳内表現に関する研究
Ｈ１９／Ａ０１	超高周波対応磁性ナノ粒子分散型磁性誘電材料に関する研究
Ｈ１９／Ａ０２	ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究
Ｈ１９／Ａ０３	高次スピン機能材料の理論設計と創製
Ｈ１９／Ａ０４	Ⅳ族半導体量子ドットの価電子制御とＭＯＳメモリへの応用
Ｈ１９／Ａ０５	３Ｄサウンドによる視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究
Ｈ１９／Ａ０６	頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究
Ｈ１９／Ａ０７	脳内における色情報の基本表現（色覚アルファベット）に関する研究
Ｈ１９／Ａ０８	ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用
Ｈ１９／Ａ０９	自己組織化ナノ磁性体のＳＴＴマイクロ波発振と応用に関する研究
Ｈ１９／Ａ１０	補聴器への周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究
Ｈ１９／Ａ１１	ＳＮＤＭナノサイエンス＆テクノロジー創成に関する研究
Ｈ１９／Ａ１２	電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究
Ｈ１９／Ａ１３	利用者の状況に適応する分散型情報表示システムの構築と生理的指標による評価
Ｈ１９／Ａ１４	次世代ホットスポットネットワークの研究
Ｈ１９／Ａ１５	高度コミュニケーション支援のためのインターネットコンピューティングに関する研究
Ｈ１９／Ａ１６	次世代ビームテクノロジーの基盤研究
Ｈ１７／Ｂ０１	ペタバイト級情報ストレージシステムの研究
Ｈ１７／Ｂ０２	電気・水素複合エネルギーシステム
Ｈ１７／Ｂ０４	ナノスケール半導体の物理とそのナノテクノロジーへの展開
Ｈ１７／Ｂ０５	ナノスピンマニピュレーションのための高性能交換磁気異方性材料の研究
Ｈ１７／Ｂ０７	ソフトウェア検証の理論と実践
Ｈ１７／Ｂ０８	スピンエレクトロニクスの新展開

Ｈ１７／Ｂ０９	マイクロ波帯磁気応用技術に関する研究
Ｈ１７／Ｂ１０	プログラム自動生成とその信頼性に関する研究
Ｈ１７／Ｂ１１	超高速光パルス制御技術に関する研究
Ｈ１７／Ｂ１２	高結合圧電材料とその応用に関する研究
Ｈ１８／Ｂ０１	ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究
Ｈ１８／Ｂ０４	マルチメディア情報ハイディングの研究
Ｈ１８／Ｂ０５	ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究
Ｈ１８／Ｂ０６	適応的な行動の発現と制御のメカニズム
Ｈ１８／Ｂ０８	新概念回路技術展開型超高速コンピューティングの創造開拓
Ｈ１８／Ｂ０９	新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックおよびシステムインテグレーション技術
Ｈ１８／Ｂ１０	生体電磁情報取得のための磁気利用技術
Ｈ１９／Ｂ０１	民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望
Ｈ１９／Ｂ０２	光を用いた地震等の計測とそのネットワーキングに関する研究
Ｈ１９／Ｂ０３	空間音響と次世代情報通信技術の接点と展望
Ｈ１９／Ｂ０４	微粒子プラズマ科学の展開
Ｈ１９／Ｂ０５	次世代通信・計測システムのデバイス開発と応用技術に関する研究
Ｈ１９／Ｂ０６	ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究
Ｈ１９／Ｂ０７	高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究
Ｈ１９／Ｂ０８	半導体ゲートスタック・ナノ構造形成過程のダイナミクスと応用に関する研究
Ｈ１９／Ｂ０９	証明論的アプローチによるプログラム構成原理
Ｈ１９／Ｂ１０	流れが深く関与するプラズマ物性の基礎と応用

○　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 20 日前後に来年度の研究応募要項の公開，2 月 25 日前後が申請書の提出締切となっており、採否の結果は 3 月下旬頃に申請者の所属機関の長を通して通知される。研究期間は，4 月 1 日より 3 月 15 日までであり，研究終了後 4 月 25 日前後までに共同プロジェクト研究報告書を提出していただく事になっている。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 web page にて広報している：

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

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

課題番号　H17／A01

採択回数	1	2	(3)

知的ナノ集積システムの実現に関する研究

［1］組織

代表者: 中島　康治(東北大学電気通信研究所)
責任者: 中島　康治(東北大学電気通信研究所)
分担者: 矢野　雅文(東北大学電気通信研究所)
二見　亮弘(福島大学共生システム理工学類)
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)
雨宮　好仁(北海道大学工学部)
浅井　哲也(北海道大学工学部)
北嶋　龍雄(山形大学工学部)
原田　知親(山形大学工学部)
田中　敦(山形大学総合情報処理センター)
矢内　浩文(茨城大学工学部)
佐野　雅巳(東京大学大学院理学系研究科)
廣瀬　明(東京大学大学院工学研究科)
石田　文彦(電気通信大学大学院情報システム学研究科)
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(大阪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)

研究費: 校費 26 万 5 千円, 旅費 25 万 1 千円

［2］研究経過

知的な情報処理に関する研究開発の重要性は高まる一方であり、本プロジェクトでは生物神経系の実験的研究、脳の情報処理原理を活用したシステム(ニューラルネットワーク)の可能性の論理的検討を行い、そこで得られた知見をハードウェア試作により実践的に検証する。そして自然な人間機械相互作用方式(例:ヒューマンインターフェイス)実現のための基礎研究を行う。これまでの実践的および論理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たが、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得られていない。それは、ひとつには超並列なデータを処理するアーキテクチャーが明確になっていないこと、その他にはそもそも膨大な並列データの取捨選択方式が未知であることが理由である。実験、理論、実践をとおして現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人間と機械の自然な対話環境実現のための基礎を築くことを目的とする。そこで広くプロジェクト構成メンバー間の相互理解を深めるため平成19年12月17、18日に、東北大学電気通信研究所にてプロジェクト研究会を実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである(発表順)。

「嗅内皮質－海馬システムにおける雑音にロバストな時系列学習：STDP ルールの LTD ウインドウの役割」
林初男（九州工業大学）

「脳視覚野をモデルにした両眼ロボットビジョンシステム」
下ノ村和弘（大阪大学）

「二者間相互追跡運動の振る舞いと先行性との関係」
石田文彦（電気通信大学）

「人間が仮名を認識あるいは生成する際の諸特性」
矢内浩文（茨城大学）

「エントロピー力に基づく新しいレーザートラップとマニピュレーション法」
佐野雅己（東京大学）

「Inverse Function Delayed モデルの集積化とその情報処理」
早川吉弘（東北大学）

「仮想的な磁場パラメータを導入した組み合わせ最

適化問題の解探索法」

和久屋寛（佐賀大学）

「知的レーダシステム　―ラテライト土質でのプラスチック地雷可視化実験―　」

廣瀬明（東京大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

実際の脳内情報処理の忠実な理解に立脚したモデル関連としては、嗅内皮質において生成される時系列パターンに対応する時系列発火のパターン生成は、STDP ルールに基づく LTD ウィンドウの役割が重要であり、特に非対称型 STDP が必要であり、ノイズに対するロバスト性の発現など、生理学的に詳細なモデルネットワークの構成的手法により、その重要な性質を明らかにできた。また、視覚野の忠実なモデルによる両眼ロボットビジョンシステムについての応用研究は、シリコン網膜チップによりリアルタイムで取り込まれた画像から注視すべき領域の切り出し等の処理をより感覚器に近いレベルで行うための研究が進められており、チップレベルでの実装研究がされている。本年度はその中でも入力信号を環境に適応可能な信号として取り込むのに必要な log 変換を時間軸方向へのオペレーションとして実装し、その有効性が確認されるに至っている。

ヒューマンインターフェイス関連として、無意識と思いながら我々が生成するランダムな文字列・数列には、実は個人ごとに異なる特徴が現れるばかりでなく、脳に障害を持つ場合などの症状に依存した特徴や加齢により発現する特徴なども、その分布に違いとして現れてくる。このような、人間が仮名を認識あるいは生成する際の諸特性の解明の研究が進められており、その重要性が明らかになってきた。

生理学実験関連としては、細胞のマニピュレート技術として、レーザー光を照射することで生じるエントロピー力に基づく新しいレーザートラップとマニピュレーション法の提案がなされ、今後の応用が期待される。

ニューラルネットワークモデルによる応用の関連として、組み合わせ最適値問題の解法に関しては、異なるアプローチとして、逆関数遅延ニューロンモデルを用いた、いわゆる力学的な運動からみた積極的な極小値からの脱出ダイナミクスの効果的な利用法と、システムをスピングラス系としてとらえ、仮想的な磁場パラメータを導入することによる最小解の探索性能の向上を目指した手法が提案された。さらに、ニューロンモデルの自由度をさらに高めた複素ニューロンモデルを用いることで、有用で高い能力を持つ SOM の構築が可能であり、このシステムの応用として、知的レーダシステムの研究が進められている。しかも、この研究は地雷撤去にむけて必要な、ラテライト土質でのプラスチック地雷可視化を目指した研究へと進展しており、工学のみならず平和活動という意味でも重要な研究となっている。

（3－2）波及効果と発展性など

今年度も本プロジェクトにおいて学外研究者との交流が更に進展したことにより、昨年同様に「International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications」をはじめとする国際会議において発表、活発な議論を行うことができた。また、その他国内の研究者との活発な交流により新たな研究論文誌の発刊が検討され始めており、今後実現に向けた積極的検討がなされる予定である。

以上本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、知的集積回路を開発し応用するための基礎概念や構成法の理解に進展が見られ、その成果は、学術的あるいは技術的な大規模問題の情報処理に活用する方向と同時に、携帯性や人間との親和性が重視される環境でのヒューマンインターフェイスを開発する上での基礎となると予想される。

［4］成果資料

(1)M. Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Tetsuo Furukawa, “Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM: A New Approach To Training Expert Modules”, Neural Computing and Applications, Vol.16, Issue 6, pp.571-580, 2007.9

(2)Frederik Linaker, Masumi Ishikawa “Robot Localization Using Vision”, Trends in Neural Computation, pp.483-512, Springer, 2007.10

(3)T.Furukawa, K.Tokunaga, S.Yasui, H.Tamukoh, K.Ishii, M.Ishikawa, K.Horio and K.Natsume, “Modular network self-organizing map: Can it be an artificial cortex?”, Brain-Inspired IT III, Volume 1301, July 2007, Pages 43-47

(4)M.Ishikawa, K.Ishii, T.Yamakawa, M.Nagamatsu, H.Nakagawa, H.Zhang and T.Furukawa, “Brain-inspired emergence of behaviors in mobile robots”, Brain-Inspired IT III,Volume 1301, July 2007, Pages 48-51

(5)M.A.Muslim, M.Ishikawa and T.Furukawa, “Training expert modules for a mobile robot using mnSOM”, Brain-Inspired IT III,Volume 1301, July 2007, Pages 172-175

(6)小山内 実, 榮原 晴子, 澤井 元, 宋 文杰, 八木 哲也, 網膜電気刺激に対する網膜および視覚野応答の光学計測, 電気学会論文誌 C, Vol.127, pp.1595-1602, 2007.
(7)小山内 実, 北川 豊啓, 八木 哲也, 人工視覚システム実現に向けた網膜電気刺激に対する神経節細胞応答の検証, 生体医工学, Vol.45, No.1, pp.63-69, 2007.
(8)Kazuhiro Shimonomura, Takayuki Kushima, and Tetsuya Yagi, "Binocular robot vision emulating disparity computation in the primary visual cortex", Neural Networks, Vol.21, No.2-3, pp.331-340, 2008.
(9) Jun Igarashi, Hatsuo Hayashi, and Katsumi Tateno, "Theta phase coding in a network model of the entorhinal cortex layer II with entorhinal-hippocampal loop connections", Cognitive Neurodynamics 1 (2) (2007) 169-184.
平成19年6月出版
(10)H. Wakuya, K. Yamashita and K. Shida, "Signal processing for brain temperature change detection by non-invasive measurement: An independent component analysis approach" Systems and Computers in Japan, Vol.38, No.6, pp.80-90, John Wiley & Sons, 2007.06
(11)H. Wakuya and M. Miyazaki, "A study on scheduling function of a magnetic parameter in a virtual magnetic diminuendo method" Abstracts, The 14th International Conference on Neural Information Processing FAD-1, p.281, 2007.11
(12)R. Yamaki and A. Hirose, "Singularity-spreading phase unwrapping", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 45, 10 (2007) 3240-3251
(13) S.Masuyama and A.Hirose, "Walled LTSA array for rapid, high spatial resolution, and phase sensitive imaging to visualize plastic landmines", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 45, 8 (2007) 2536-2543
(14) K.Tanizawa and A.Hirose, "Performance Analysis of Steepest-Descent-Based Feedback Control of Tunable Dispersion Compensator for Adaptive Dispersion Compensation in All-Optical Dynamic Routing Networks", IEEE J. Lightwave Technol. 25, 4 (2007) 1086-1094
(15) T.Akimitsu, Y.Okabe and A.Hirose, "Self-organization through spike-timing dependent plasticity using localized synfire-chain patterns", Neural Processing Lett. 25, 1 (2007) 79-89
(16) Shigeo Sato, Kunihiko Inomata, Mitsunaga Kinjo, Nobuhiro Kitabatake, Koji Nakajima, Huabing Wang, and Takeshi Hatano, "Macroscopic Quantum Tunneling and Resonant Activation of Current Biased Intrinsic Josephson Junctions in Bi-2212", IEICE Trans. Electron., E90-C, 3, pp.599-604(2007) Invited paper
(17)Shinya Suenaga, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, "Design of Neural Network Chip for the Burst ID Model with Ability of Burst Firing", IEICE Trans. Fundamentals, E90-A, 4, pp.715-723(2007)
(18) K. Inomata, S. Sato, M. Kinjo, N. Kitabatake, and Koji Nakajima, "Study of macroscopic quantum tunnelling in Bi2Sr2CaCu208+d intrinsic Josephson junctions", Superconductor Science and Technology, 20, 1, pp. S105-S109(2007)
(19)Akari Sato, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, "Avoidance of the Permanent Oscillating State in the Inverse Function Delayed Neural Network", IEICE Trans. Fundamentals, E90-A, 10, pp.2101-2107(2007)
(20) akachi,Y., Ishida, F. & Sawada, Y., "Enhancement of proactivity in hand tracking by the discretization of visual information", Proc. of Third International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions (ISHF2007), pp.219-225, 2007.6, Lisbon.
(21) Seungwoo CHUN, Yoshihiro HAYAKAWA and Koji NAKAJIMA, "A Hardware Neural Network for External Inspection", Proceedings of the 22nd Commemorative International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, vol.1, pp. 183—184, Jul. 8-11, Busan, Korea, 2007
(22) Johan Sveholm, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, "Recalling Complex Sequences of Patterns Using Neurons with Hysteretic Property", Proceedings of 2007 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 501—504, Sep. Vancouver, Canada. 2007
(23) Takeshi Onomi, Taizo Kondo, and Koji Nakajima, "High-speed single flux-quantum up/down counter for neural computation using stochastic logic," Journal of Physics: Conference Series, vol.97, p.012187 (2008)

課題番号　H17／A02

採択回数	1　2　③

高周波キャリア型磁界センサにおける不連続インピーダンス特性の原理考察と応用検討

［1］組織
代表者：中居　倫夫
（宮城県産業技術総合センター）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
荒井　賢一（東北大学名誉教授）
脇若　弘之（信州大学工学部）
山崎　二郎（九州工業大学工学研究科）
菊池　弘昭（岩手大学金属材料保全工学研究センター）
杤　修一郎（岐阜大学工学部）
藪上　　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）
高田　健一（宮城県産業技術総合ｾﾝﾀｰ）

研究費：物件費25万9千円，旅費11万6千円

［2］研究経過

近年の情報通信機器，特に携帯電話に代表されるような携帯情報端末は，データ通信速度の飛躍的な向上とデータ記憶装置の小型大容量化，さらにはネットワークへの接続とソフトウエア技術の進歩に伴い，従来の電話器と全く異なる，高度な機能を有するようになった。今後，更なる新機能を提案し実現していくためには，今までに無い，小型高機能かつ省電力なセンサデバイスが求められることになると予想される。

本プロジェクト研究は、本年度が第３年度であり，情報通信機器のさらなる高機能化に貢献することを目的に，小型高感度かつ低消費電力な新しい動作原理に基づく磁気センサの実現を目標として研究を行った。研究シーズとして， 外部磁場の変化で磁区構造と素子インピーダンスが不連続的に転移する特性を持った高周波キャリア型磁界センサを有し，これを適用する検討を行った。

高周波キャリア型磁界センサの不連続インピーダンス変化特性は，微細加工された短冊状の薄膜磁性体において発現するものであり，軸方向から傾斜したストライプ磁区構造を形成することで，外部磁界に対し素子の高周波インピーダンスが不連続的に変化する現象である。また，この現象は磁区構造の急激な変化と同時に発生する。本プロジェクト研究では，この不連続インピーダンス現象を磁気センサへ応用することを目指し，本現象が発生する条件の探索，発生機構と原理の解明，さらに，この現象を磁気センサに適用した場合のメリットを明らかにすることを目的として研究を行った。

平成19年度の研究活動として実施した検討課題と会合の開催状況を以下に示す。

検討課題１：平成18年度に検討した磁区構造エネルギー解析に基づいた，磁区構造転移のヒステリシス発生原理の解明
検討課題２：検討課題１で解明したヒステリシス現象を利用した磁気センサの提案
第１回会合　2008年３月４日および６日
テーマ：研究結果の報告と討論，および，アプリケーションの提案

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクト研究の実験検討，および，共同研究メンバーによる討論の結果，以下のような成果が得られた。

a. 磁区構造のエネルギー解析に基づいた磁区構造転移のヒステリシスに関する原理検討

矩形状に成形した薄膜磁性体において，磁気異方性を薄膜面内で角度制御した素子における磁区構造転移，すなわち，傾斜したストライプ状磁区構造と素子の長軸方向（順方向あるいは逆方向）に磁気モーメントが配位した単磁区構造の３状態を転移する磁区構造変化を示す。この磁区構造転移は，素子に印加する外部磁場の増減に対してヒステリシス特性を示す。そして，素子インピーダンスは，これに対応したヒステリシス特性を示す。本検討では，素子の磁気エネルギー解析に基づき，磁区構造転移が発生する方向に応じて異なる値の閾値エネルギーを有するという転移モデルを提案することで，このヒステリシス特性を説明した。

図1に，実験的に測定したインピーダンス不連続点のヒステリシス特性を示す。図1(a)は，外部磁場を-4200 mOeから+4200 mOeで往復変化させた場合の素子インピーダンスの変化で，図1(b)は，外部磁場を-4200 mOeから+700 mOeで往復変化させた場合の素子インピーダンスの変化である。ここで，インピーダンス不連続点を介して低インピーダンス側の状態は，ストライプ状磁区であり，高インピーダンス側の状態は，単磁区の磁区構造である。これらの図の比較から，ストライプ状磁区から単磁区へ転移する転移点磁場（本図では-550 mOe付近の不連続点）は，磁場変動の経路にかかわらず一定であることがわかる。これは，本研究で提案する磁区転移モデルから説明できる現象であり，外部磁場変動の経路に影響されず，一定磁場でスイッチするセンサデバイスへの応用が期待される現象である。

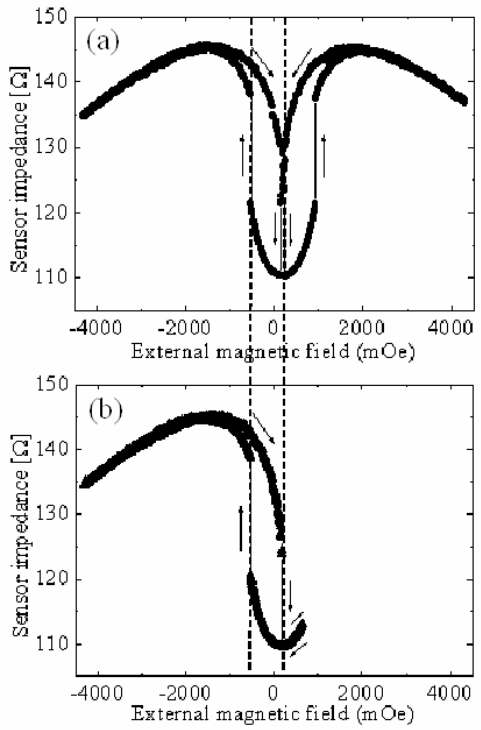
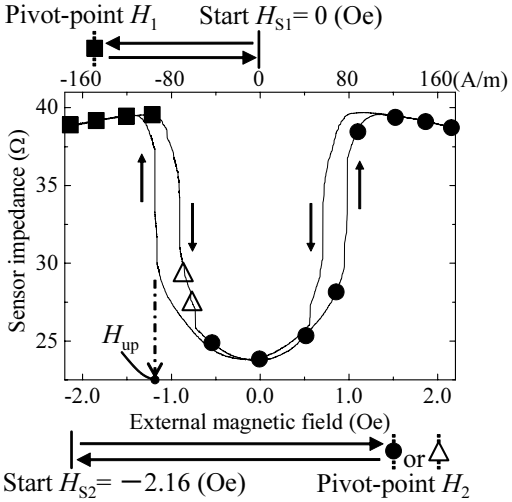


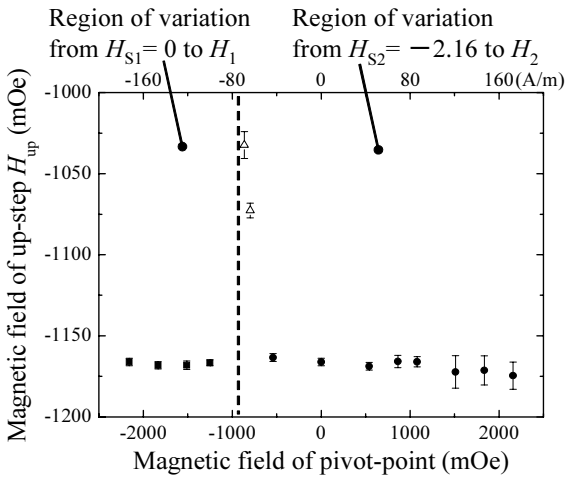
図1. インピーダンス不連続点のヒステリシス特性

b. 磁区構造転移を利用したアプリケーションの検討

本現象を利用したアプリケーションとして，外部磁場の変動に対応してON-OFFする磁気スイッチが挙げられる。これは，携帯電話やデジタルカメラのふたの開閉検出や，自動車のトランスミッションの位置検出などに使われる。この用途に対して，本研究の素子を適用した場合のメリットとして，スイッチON-OFFに対応する素子インピーダンス不連続点の発生磁場が一定であることが挙げられる。図2に外部磁場変動のパターンを変化させた場合のインピーダンス不連続点発生磁場の変化を示す。結果として，本素子では，ストライプ状磁区から単磁区に転移する転移点が，外部磁場の変動履歴に影響されず安定であることがわかった。



(a)素子インピーダンスと磁場変動経路を示す説明図



(b)ストライプ状磁区から単磁区に転移する磁場
(誤差棒は標準偏差を示す)

図2. 不連続点発生磁場の磁場変動に対する安定性

平成19年度は，以上の結果に基づき，国際学会発表(Soft Magnetic Materials Conference 18 発表番号 I021, 論文は Journal of Magnetism and Magnetic Materials に採録決定)，国内発表（日本磁気学会学術講演会 発表番号 13pB6, 論文は日本磁気学会誌に採録決定)，特許出願1件を行った。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究で，高周波キャリア型磁界センサの不連続的インピーダンス現象の原理考察を実施する機会が得られた。今後，この検討で明らかになった現象と新たなアプリケーション提案に基づき，更なる研究と，成果の産業界への普及を推進していく所存である。

課題番号　H17／A04

採択回数	1　2　③

フォトニック結晶の光産業技術への展開

［1］組織

代表者：川上　彰二郎
（財団法人　仙台応用情報学研究振興財団）
対応者：中沢　正隆
（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）
青木　孝文（東北大学　大学院情報科学研究科）
佐藤　俊一（東北大学　多元物質科学研究所）
大寺　康夫（東北大学　先進医工学研究機構）
青山　勉　（株式会社フォトニックラティス）
玉村　敏明（有限会社ナノエフコンサルタント）
永井　健治（北海道大学　電子科学研究所）
小形　哲也（株式会社リコー　中央研究所）
大沼　一彦（千葉大学 大学院工学研究科）

研究費：校費 25.9 万円，旅費 12.9 万円

［2］研究経過

フォトニック結晶は新しい機能を創出する人工光学材料であり、光の半波長程度の周期で屈折率の異なる材料を周期的に配置した構造をもつ。構成材料や周期などによって実効的な光学定数を設計し、それらを任意の場所に集積化できることがフォトニック結晶の有用性のポイントである。

これまで申請者のグループでは、独自に開発した積層構造のフォトニック結晶（自己クローニング型）を基盤として、表示デバイス、光計測など多方面の光産業分野への応用を開拓してきた。本研究プロジェクトでは更に多くの分野として光計測、映像、バイオ・メディカル、通信，また要素技術として電磁波解析、作製技術、デバイス化技術にわたる幅広い経験を有する研究者で組織し、議論を進めてきた。またプロジェクト・クリーン・ルーム（ＰＣＲ）にてフォトニック結晶用のパターニング技術および多層膜積層プロセスを開発し、様々な応用デバイスに適用した。

今年度の研究会では、フォトニック結晶ファイバ、レーザ応用、バイオサイエンス、光計測、半導体デバイスなど様々な応用分野に関する発表があり、応用展開が具体的に進んでいることを感じていただくことが出来た。研究討論会の内容を以下に記載する。

日時：2008 年 2 月 13 日(水)　　13:00-17:30
場所：東北大学　電気通信研究所ナノスピン総合研究棟（片平キャンパス）４Ｆカンファレンスルーム

13:00　開会あいさつ
13:10　長谷川英明、及川洋介、中沢正隆（東北大学電気通信研究所）「VCSEL とフォトニック結晶ファイバを用いた GHz 帯光ーマイクロ波発振器」
13:50　佐藤俊一（東北大学　多元物質科学研究所）「フォトニック結晶偏光素子を用いた軸対称偏光レーザービームの発生」
14:30　永井健治(北海道大学　電子科学研究所)「天然ナノ発光粒子 GFP を用いた生理機能センサーの開発とバイオイメージング」
15:10　休憩
15:30　大沼一彦（千葉大学 大学院工学研究科）「偏光カメラを用いた視神経線維の厚み計測」
16:10　川嶋貴之（フォトニックラティス）「フォトニック結晶を用いた偏光イメージングカメラ」
16:30　庭野道夫（東北大学　電気通信研究所）「ポーラスアルミナを用いた単電子トランジスタ」
17:10　井上喜彦[1]、川嶋貴之[1]、佐々木昌宣[1]、ガレア・アントニー[2]、川上彰二郎[1,2]（[1]フォトニックラティス,[2]仙台応用情報学研究振興財団）「DUV 用高耐久性フォトニック結晶偏光子」
17:30　閉会

［3］成果

（3－1）研究成果

(a)偏光イメージングカメラ

偏光イメージングカメラ(図 1)はリアルタイムで２次元偏光画像を取得することのデバイスであり、様々な応用が考えられる。今年度は低ノイズの高品質画像を得るためのデバイスおよびソフト開発を行った。まず S/N が高いＣＣＤを用いたカメラをベースにした偏光カメラを製作した。即ち受光感度が高く、飽和電荷量が高いＣＣＤセンサーを選定した。このＣＣＤの画素ピッチに合わせた偏光子アレイを作製し、従来の貼り付け工程により実装した。これより S/N が高い偏光画像を得ることができた。

即ち隣接する画素からのクロストークの影響を低減するための方法を検討した。具体的にはクロストークを実測から推定し、それを補償するアルゴリズムを開発した。これにより偏光精度が向上することを実証した。図１は透明な位相差フィルムを２枚重ねたときの位相差分布を測定したものであるが、偏光計測精度の向上により、位相差の測定精度も向上することを実証した。

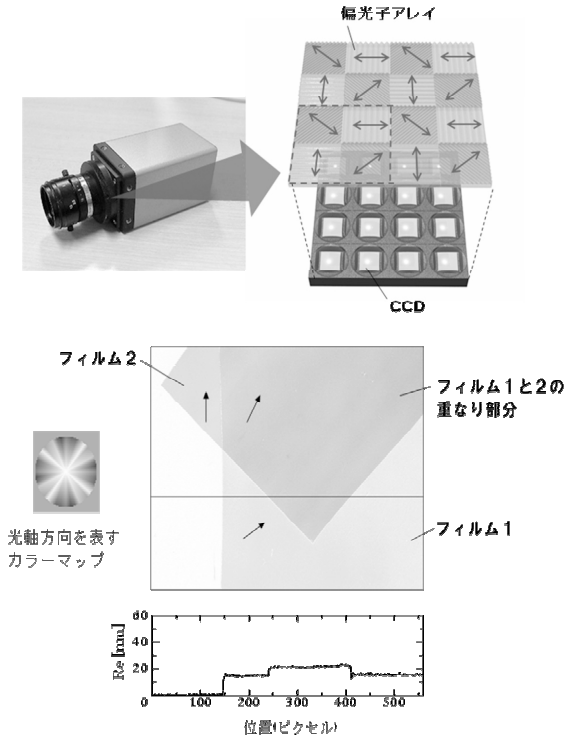


図１. 偏光カメラの外観（上）と位相差の２次元分布計測の例（下）

(b)微分干渉顕微鏡への応用

偏光イメージングカメラの応用として、微分干渉顕微鏡への適用をおこなった。微分干渉顕微鏡は、偏光を使って対象物体のわずかな屈折率差や段差を可視化する顕微鏡であり、生体観察や工業製品の検査によく用いられる。しかしながら従来の微分干渉顕微鏡では定量測定を行うことができなかった。それは物体からの反射光（もしくは透過光）を偏光干渉させた像では、振幅の変化と位相の変化とを区別することができないことに起因している。今回提案した偏光カメラと通常の微分干渉顕微鏡とを組み合わせの構成では、極めて簡単な構成にも関わらず上記の課題を解決することができ、例えば実時間性がありながら観察対象の立体形状を推定するなど定量測定が可能になる。

反射タイプの微分干渉顕微鏡に偏光カメラとの組み合わせて撮影した。さらに画像解析を行うことで高さプロファイルを推定するアルゴリズムを開発した。図２は凸状と凹状に形成した“F”の文字を観察した例を示す。凸状と凹状の表面形状の高さプロファイルを推定できることを初めて実証した。今後の課題は、解析アルゴリズムの改良と定量化の実証を行なうことである。

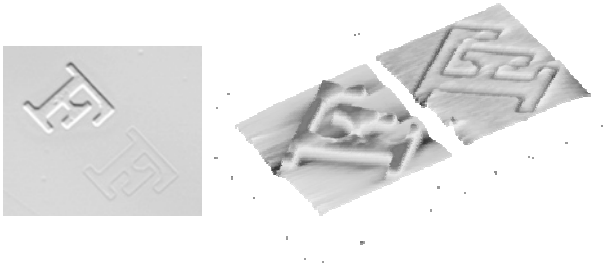


図２. 位相微分画像(左)と再現した３次元画像(右)

(c)軸対称偏光子

近年、軸対称の偏光をもつ特殊な光ビームは、集光する際の焦点近傍で新しい現象（光軸方向の電界成分だけが生成できるなど）が生じ、レーザ加工をはじめ、様々応用が検討されている。フォトニック結晶偏光子の溝パタンを同心円状にすることで高性能な軸対称素子を簡便に実現でき、産業上の展開が期待される。

今年度は同心円パタンの基板上に作製するフォトニック結晶において、高い光強度への耐性を高めるプロセスを確立し、軸対称レーザビームの特性改善を進めた。作製した偏光子の表面および断面のＳＥＭ写真を図３に示す。波長は1064nm用とし、凹凸のピッチは500nmとした。電子ビーム露光とエッチングにより、直径１μｍ以下から5mmの同心円パタンを形成し、その上にフォトニック結晶の積層を行った。数値シミュレーションにより膜厚を設計することで、同じパタンの基板から、透過軸が放射状の偏光子と、同心円状の偏光子を作製することに成功した。

この素子をレーザ発振器の出力ミラーとして用いて、軸対称偏光ビームの直接発振を行った。図３はレーザの構成と、得られたビームの偏光特性を示す。一般的な偏光子を通して赤外カメラで観察した画像である。偏光子の透過軸（矢印で図示）を回転すると強度分布が回転していることが分かり、軸対称の偏光ビームであることがわかる。

今後の課題は偏光ビームの特性を向上することと、レーザ加工や顕微鏡への応用し、有用性を実証することである。

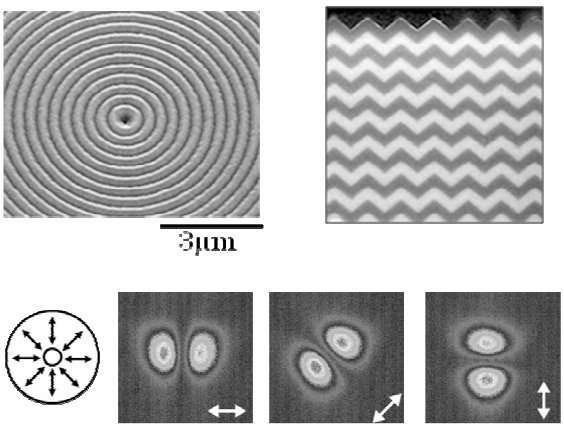


図3. 軸対称偏光子のＳＥＭ写真. 表面(左)と断面(右)
出力ビームの偏光特性(下)

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトの期間中、フォトニック結晶の様々な分野への応用開発が進んだ。特に、画像応用や偏光計測技術、レーザ応用では分担者との共著論文の発表や特許の共同出願を多数おこなった。更に顕微鏡応用分野ではH18年度からＮＥＤＯプロジェクトが採択され、大型プロジェクトに発展している。H20年度以降、中心技術をナノ構造であるナノフォトニクスに範囲を広げた共同プロジェクト研究会をスタートさせ、さらに多くの研究者との輪を広げ、新しい技術への展開を進めたい。

［４］成果資料

(1) T. Sato, T. Araki, Y. Sasaki, T. Tsuru,T. Tadokoro, and S. Kawakami, "Compact ellipsometer employing a static polarimeter module with arrayed polarizer and wave-plate elements", Applied Optics, vol. 46, no. 22, pp.4963-4967, 2007.

(2) Y. Ohtera, T. Onuki, Y. Inoue and S. Kawakami, "Multi-channel photonic crystal wavelength filter array for near-infrared wavelengths", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 25, 2007.

(3) S. Kawakami and Y. Inoue, "Novel Functions in Microscopy Realized by Patterned Photonic Crystals", J. Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, vol.E90-C, no.5, pp.1046-1054, 2007.

(4) 佐藤尚、荒木武、本間洋, 川上彰二郎, "微細偏光子アレイを用いた偏光計測モジュールとその応用",日本光学会　第 34 回光学シンポジウム, pp.25-26, 2007年7月.

(5) 川嶋貴之,佐々木昌宣,本間洋、井上喜彦、佐藤尚、太田晋一、川上彰二郎, "フォトニック結晶を用いた偏光イメージングカメラの作製と応用",日本光学会　第 34 回光学シンポジウム, pp.7-8, 2007年7月.

(6) 小形哲也、大内田茂、横井研哉、川嶋貴之、川上彰二郎,"分割偏光素子による光ピックアップ", 第 54 回応用物理学会関係連合講演会, 5p-R-3, 2007年9月

(7) 佐藤俊一、小澤祐市、佐藤尚、井上喜彦、川上彰二郎、"円周状偏光子と軸対称偏光レーザー", 第54回応用物理学会関係連合講演会, 5p-R-4, 2007年9月

(8) 荒木武、佐藤尚、川上彰二郎、"フォトニック結晶アレイ並列処理方式による高速マッピングエリプソメータの開発", 第 54 回応用物理学会関係連合講演会, 4p-R-1, 2007年9月

(9) 大寺康夫、井上喜彦、川嶋貴之、川上彰二郎、"多層膜型フォトニック結晶によるシャープカット波長フィルター", 第 54 回応用物理学会関係連合講演会, 8a-ZS-2, 2007年9月

(10) 川上彰二郎, 井上喜彦, ローラン・ファーブル, 千葉貴史, "フォトニック結晶を利用した顕微光学系とその応用", Optics & Photonics Japan 2007, 28aES4, 2007年11月.

(11) 井上喜彦, 川嶋貴之, 佐々木昌宣, ガレアアントニー, 川上彰二郎, "DUV 用高耐久性フォトニック結晶偏光子", 第 55 回応用物理学会関係連合講演会, 30a-ZG-3, 2008年3月.

(12) 川内光, 小澤祐市, 佐藤俊一, 佐藤尚, 川上彰二郎, 分割波長板を用いた軸対称偏光螺旋状ビームの発生, 第 55 回応用物理学会関係連合講演会, 28p-P8-8, 2008年3月.

(13) ファーブルローラン,井上喜彦,青木孝文,川上彰二郎, 偏光イメージセンサーつき微分干渉顕微鏡による 3 次元形状の復元, 第 55 回応用物理学会関係連合講演会, 28p-ZW-6,2008年3月.

(14) Y. Kozawa, S. Sato, T. Sato, Y. Inoue, Y. Ohtera, and S. Kawakami, "Cylindrical Vector Laser Beam Generated by the Use of a Photonic Crystal Mirror ", Applied Physics Express,vol.1, no.2, pp.022008-022010, 2008.

(15) H. Kawauchi, Y. Kozawa, S. Sato, T. Sato, and S. Kawakami, "Simultaneous generation of helical beams with linear and radial polarization by use of a segmented half-wave plate", Opt. Lett., Vol. 33, Issue 4, pp. 399-401, 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A05

採択回数	1　2　③

プラズマナノ理工学基盤研究

［1］組織

代表者：畠山 力三
（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）
川添 良幸　（東北大学金属材料研究所）
寒川 誠二　（東北大学流体科学研究所）
金子 俊郎　（東北大学大学院工学研究科）
大原 渡　（東北大学大学院工学研究科）
藤原 民也　（岩手大学工学部）
佐々木 悠彦（宮城工業高等専門学校）
笠間 泰彦　（(株)イデアルスター）
表 研次　（(株)イデアルスター）
岡田 洋史　（(株) イデアルスター）
酒井 健　（(株) イデアルスター）
吉木 宏之　（鶴岡工業高等専門学校）
末松 久幸　（長岡技術化学大学）
佐藤 直幸　（茨城大学大学院理工学研究科）
金山 敏彦　（産業技術総合研究所）
小松 正二郎（物質・材料研究機構）
斉藤 直昭　（産業技術総合研究所）
平田 孝道　（武蔵工業大学）
阿知波 洋次（東京都立大学理学研究科）
岡崎 健　（東京工業大学大学院理工学研究科）
和田 節子　（電気通信大学量子・物質工学科）
寺嶋 和夫　（東京大学新領域創成科学研究科）
佐伯 紘一　（静岡大学理学部）
三重野 哲　（静岡大学理学部）
永津 雅章　（静岡大学工学部）
石黒 静児　（核融合科学研究所）
田中 基彦　（核融合科学研究所）
菅井 秀郎　（中部大学大学院工学研究科）
篠原 久典　（名古屋大学大学院理学研究科）
大澤 幸治　（名古屋大学大学院理学研究科）
庄司 多津男（名古屋大学大学院工学研究科）
堀 勝　（名古屋大学大学院工学研究科）
斎藤 弥八　（名古屋大学大学院工学研究科）
際本 泰士　（京都大学総合人間学部）
前川 孝　（京都大学大学院理学研究科）
橘 邦英　（京都大学大学院工学研究科）
林 康明　（京都工芸繊維大学工芸学部）
節原 裕一　（大阪大学溶接科学研究所）
奥 健夫　（大阪大学産業科学研究所）
西原 功修　（大阪大学レーザーエネルギー学研究センター）
中山 喜萬　（大阪府立大学大学院工学研究科）
佐野 紀彰　（兵庫県立大学大学院機械系工学専攻）
久保園 芳博（岡山大学理学部）
福政 修　（山口大学工学部）
伊藤 早苗　（九州大学応用力学研究所）
田中 雅慶　（九州大学総合理工学府）
白谷 正治　（九州大学システム情報科学研究院）
藤山 寛　（長崎大学工学部）
藤田 寛治　（佐賀大学理工学部）
秋山 秀典　（熊本大学自然科学研究科）
佐藤 正之　（群馬大学大学院工学研究科）
白藤 立　（京都大学産官学連携センター）
寺嶋 和夫　（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
神田 晶申　（筑波大学大学院数理物質科学研究科）
岡崎 俊也（産総研ナノカーボン研究センター・JST さきがけ）
二瓶 史行　（NEC ナノエレクトロニクス研究所）
鈴木 哲　（ＮＴＴ物性科学基礎研究所）
松本 和彦　（大阪大学産業科学研究所）
白井 肇　（埼玉大学大学院理工学研究科）

研究費：物件費 37 万 3 千円，旅費 55 万 8 千円

［2］研究経過

本プロジェクトにおいては，学際的新領域プラズマに関する開拓的及び応用的研究を行いその体系化を図る．これらの成果を基に，プラズマ科学とナノ科学が融合する領域に特化して，次世代科学技術創成に資すべくプラズマナノ理工学の基盤を確立する．多岐に亘る分野の知識，技術の融合が必須となるので，実施に当たっては長期的観点から３年強単位で研究目標を設定し，全国のプラズマ理工学者を中心としてナノ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，生命科学者の英知を結集して実行する．

本プロジェクトでは上記の目的を遂行するべく，非線形科学の最前線である不安定性・波動現象から，フラーレン・ナノチューブ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 20 年 2 月 21 日，22 日
場所：東北大学大学院工学研究科
　　電気情報システム・応物系
1 号館　451・453 会議室

1. 「水中プラズマの特性と環境応用」佐藤 正之（群馬大学 大学院工学研究科）
2. 「液体が関与する放電とその応用について」白藤　立，（京都大学 産官学連携センター）酒井　道，橘　邦英，（京都大学 工学研究科）
3. 「マイクロプラズマ・ナノプラズマ科学技術が切り開くプラズマフロンテイアー 超臨界流体プラズマ、クライオプラズマを例にして　－」寺嶋 和夫（東京大学 大学院新領域創成科学研究科）
4. 「グラフェンおよびグラファイト超薄膜の電気伝導」神田 晶申（筑波大学 大学院数理物質科学研究科）
5. 「フラーレン内包によるカーボンナノチューブの光学的バンドギャップ変調」 岡崎 俊也（産総研 ナノカーボン研究センター・JST さきがけ）
6. 「CNT 薄膜トランジスタの特性」二瓶 史行（NEC ナノエレクトロニクス研究所）
7. 「低エネルギー照射によるＣＮＴの損傷と特性制御」鈴木 哲，小林 慶裕（ＮＴＴ 物性科学基礎研究所）
8. 「プラズマCVD成長単層カーボンナノチューブの成長機構と光学特性」加藤 俊顕，畠山 力三（東北大学 大学院工学研究科）
9. 「カーボンナノチューブの量子伝導とバイオセンサー応用」 松本 和彦（大阪大学 産業科学研究所）（兼：通研特別講演）
10. 「プラズマ - 電解質溶液界面反応とその応用」白井 肇（埼玉大学 大学院理工学研究科）
11. 「液相プラズマ利用新規ナノ物質創製」金子 俊郎，馬場 和彦，内田 圭亮，廣津 佑，畠山 力三（東北大学 大学院工学研究科）

本研究会では学内外を含め延べ６１名以上の参加者があり，講演はプラズマ基礎物理分野から応用分野まで広範囲にわたっており，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

本研究プロジェクトにおいては，一つにはプラズマを用いたカーボンナノチューブの基礎と応用研究に注目している．特定の原子及び分子を内包した新機能を有する超分子構造（新機能性進化）ナノチューブを創製することを本研究の目的としており，以下に示す研究成果を得た．

I. プラズマ CVD 中成長単層カーボンナノチューブに関する成長方程式の導出

優れた電気特性を有する単層カーボンナノチューブ (SWNTs) をナノ電子デバイス分野に応用する上で，成長方向，直径，グラファイトシートの螺旋度等詳細な構造制御は，必要不可欠として世界中で克服に向けた取り組みがなされている．このような課題を克服する上では，SWNTs の成長機構を詳細に理解することが必要であり，特に定量的な評価を行うためには，成長機構を数式表現することは極めて重要な手段と言える．しかしながら通常の成長場には様々な要素が混在しており，数式により成長を記述することは困難であった．このような背景の元，プラズマ CVD 中の SWNT 成長機構を数式表現するため，電子密度，電子温度，空間電位等の種々のプラズマパラメータを精密に制御し，この条件下でのSWNT成長方程式の導出を試みた．その結果，プラズマ CVD 特有の成長とエッチングが混在した成長モードが存在することが明らかとなった．さらに，エッチング反応を単純化し，成長項 ($G(t_g)$) とエッチング項 ($E(t_g)$) のバランス方程式の観点から SWNTs 成長方程式を導出することに成功した．実験結果と我々が導出した成長方程式を比較すると，本研究により導出した成長方程式が実験結果を極めてよく再現していることが明らかとなった (図 1).

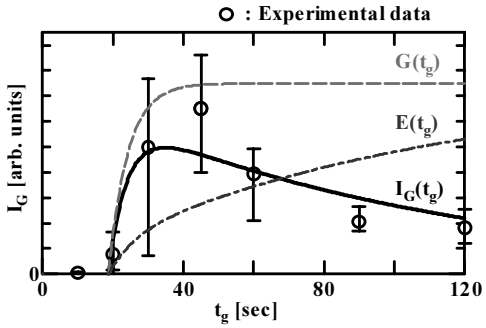


図 1. プラズマ CVD 中 SWNTs の存在量 (I_G) の成長時間 (t_g) 依存性．○は実験結果を，実線は成長方程式のフィッティング曲線をそれぞれ表す．

II. イオン液体を用いたナノチューブの機能化

イオン液体は，室温下で正・負イオンのみで構成される高極性の液体であり，イオン液体自体を SWNTs に内包・表面修飾することで，SWNTs の電気特性制御が期待できる．イオン液体中の電極に直流電場を印加し，予め開端処理を施した SWNTs を塗布した正負両電極に対し，正負イオンを照射した場合の電界効果トランジスタ (FET) 配位下の電気特性結果を図 2 に示す．イオン液体照射前の SWNTs

（図中灰色線）と比較して，負イオン照射では p 型が強化され (図 2(a))，正イオン照射の SWNTs は n 型の特性を示すことが観測された (図 2(b))．これはイオン液体の強い電子アクセプタ性を持つ負イオン，電子ドナー性を持つ正イオンが，SWNTs との間で強い電子的相互作用を引き起こしたためと考えられる．

他方で，Au 含有化合物を融解させたイオン液体に低気圧プラズマを接触させ，還元作用により Au ナノ粒子を合成したところ，電子照射作用よりイオン照射作用の方がより小さな Au ナノ粒子が得られ，気相から液相へのイオン照射を起点とした反応過程導入による新しい粒径制御ナノ粒子創製法の確立が期待できる．

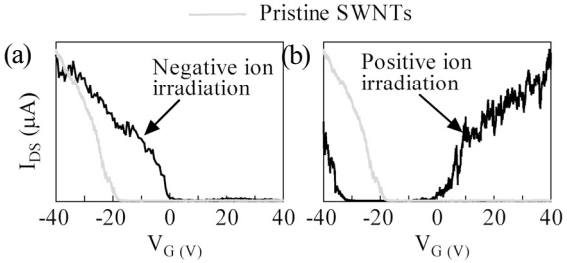


図 2：(a) 負イオン照射 SWNT，(b) 正イオン照射 SWNT の電気特性．V_{DC} = 5 V，t = 3 min..

III. アルカリーハロゲンプラズマによる pn 接合内包カーボンナノチューブ形成機構の解明

アルカリーハロゲンプラズマ中イオンを SWNTs 内部に内包させることにより，一次元ナノ pn 接合素子の構築に関する研究を行い，これまで，透過型電子顕微鏡によるナノチューブへの内包の確認，電気特性評価による整流特性，及びゲート電圧（V_G）ーソースドレイン電流（I_{DS}）特性において特異な山状依存性が発現することを明らかにしてきた．

しかしながら，アルカリ金属のセシウム（Cs）とハロゲン原素のヨウ素（I）の内包量の pn 接合に関する具体的な寄与は不明のままであった．そこで，あらかじめ I を一定量内包した試料に対して，Cs の照射を行い，照射量の違いと共にどのような電気特性の変化が現れるかを確認する実験を行った．I のみを照射した試料に対しては，通常の p 型半導体特性が更に強まった特性が得られることはこれまでの研究から明らかとなっている．そこに電子ドナー性，つまりナノチューブを n 型として動作させる特徴を有する Cs を照射すると，I と Cs の照射量が同程度の条件下においては，I 内包時には見られなかった整流特性が現れることが確認された．さらに Cs の照射量を増加していくと，整流特性が崩れ，今度は n 型としてナノチューブが動作することが明らかとなった(図 3)．この結果は，ナノチューブ内部に電子ドナー性とアクセプタ性の原子が同程度内包されることでナノチューブ内部で pn 接合が形成される機構を示している．

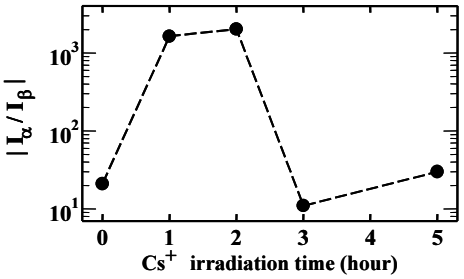


図 3. Cs 照射時間に伴う，(Cs/I) 内包 SWNTs 電気特性における整流特性比率（$|I_\alpha/I_\beta|$）の変化．

IV. 窒素付加フラーレン内包カーボンナノチューブ形成とその電気伝導特性

C_{60} の内部中空空間に窒素原子を内包した窒素内包フラーレン（N@C_{60}）や C_{60} の炭素一個を窒素原子で置換した窒素ヘテロフラーレン（$C_{59}N$）等の窒素付加フラーレンは，量子コンピュータ素子や有機半導体への応用が期待されている新機能性物質である．本研究では，C_{60} 負イオン，$C_{59}N$ 正イオンからなるイオン性フラーレンプラズマを生成し，SWNTs を塗布した基板へ正・負イオンを選択的に照射することによって窒素付加フラーレン内包 SWNTs を形成し，それらの SWNTs を用いた FET の電気伝導特性を調べた（図 4）．

イオン照射前の SWNTs（pristine）の電気伝導特性と比較すると，C_{60} を内包することによって p 型半導体特性が顕著になる傾向を示すことが分かった．一方，$C_{59}N$ を内包した場合には，C_{60} の場合とは全く反対の n 型半導体特性に変化することが明らかになった．このことから，$C_{59}N$ が非常に強い電子ドナー性を有していることが判明し，電子アクセプタ性を有している C_{60} と交互に SWNTs に内包させることにより，高性能のナノ pn 接合を形成できる可能性が示された．

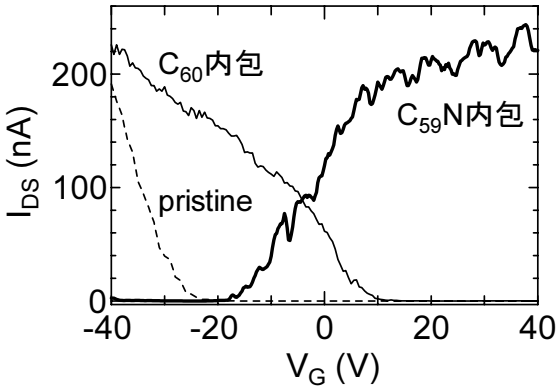


図 4：フラーレン及び窒素ヘテロフラーレン内包 SWNTs の電気伝導特性．

［4］成果資料

1. “Air-Stable p-n Junction Diodes Based on Single-Walled Carbon Nanotubes Encapsulating Fe Nanoparticles”, Y. F. Li, R. Hatakeyama, J. Shishido, T. Kato, and T. Kaneko: Applied Physics Letters, vol. 90, No. 17, pp. 173127-1-3, 2007.
2. “Drift-Wave Instability Modified by Superimposed Parallel and Perpendicular Plasma Flow Velocity Shears”, T. Kaneko, K. Hayashi, R. Ichiki, and R. Hatakeyama: Transactions of Fusion Science and Technology, vol. 51, No. 2T, pp. 103-105, 2007.
3. “Nonlinear Effects of High Power Plug/Barrier ECRH on Propagation and Radiation of Cyclotron Waves”, T. Kaneko, K. Takahashi, R. Hatakeyama, T. Saito, Y. Tatematsu, K. Nozaki, N. Machida, T. Kaitsuka, A. Itakura, M. Yoshikawa, and T. Cho: Transactions of Fusion Science and Technology, vol. 51, No. 2T, pp. 154-159, 2007.
4. “One-Dimmensional Analysis of Polarization Reversal Relating to Electron Cyclotron Resonance”, K. Takahashi, A. Fukuyama, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Transactions of Fusion Science and Technology, vol. 51, No. 2T, pp. 313-315, 2007.
5. “Enhancement and Suppression of Velocity-Shear-Driven Drift Instability Due to Negative Ions”, R. Ichiki, K. Hayashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Transactions of Fusion Science and Technology, vol. 51, No. 2T, pp. 241-243, 2007.
6. “Formation of C_{60}-Encapsulated Double-Walled Carbon Nanotubes with Novel Electrical Transport Properties Based on Plasma Technology”, Y.F. Li, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Kato, and T. Okada: Plasma and Fusion Research, vol. 2, pp. 017-1-2, 2007.
7. “Ion Irradiation Effects on Ionic Liquids Interfaced with RF Discharge Plasmas”, K. Baba, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 90, No. 20, pp. 201501-1-3, 2007.
8. “Basic Studies of the Generation and Collective Motion of Pair-Ion Plasmas”, W. Oohara and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, vol. 14, pp. 055704-1-7, 2007.
9. “N-Type and P-Type Double-Walled Carbon Nanotube Field-Effect Transistors Based on Charge-Transfer Modulation”, Y.F. Li, R. Hatakeyama, and T. Kaneko: Applied Physics A, vol. 88, No. 4, pp. 745-749, 2007.
10. “Verification of Polarization Reversal of Electromagnetic Waves with Electron Cyclotron Frequency Controlling Plasma-Structure Formation”, T. Kaneko, K. Takahashi, and R. Hatakeyama: Plasma and Fusion Research, vol. 2, pp. 038-1-9, 2007.
11. “Collective Mode Properties in a Paired Fullerene-Ion Plasma”, W. Oohara, Y. Kuwabara, and R. Hatakeyama: Physical Review E, vol. 75, No. 5, pp. 056403-1-9, 2007.
12. “ナノスコピックプラズマプロセスによるバイオデバイス構築 (Construction of Bio-Devices Based on Nanoscopic Plasma Processes)”, 平田 孝道, 畠山 力三, 金子 俊郎, 岡田 健, 秋谷 昌宏, 島谷 祐一, 一木 隆範, 赤木 貴則, (T. Hirata, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Okada, M. Akiya, Y. Shimatani, T. Ichiki, and T. Akagi): Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 83, No. 8, pp. 647-657, 2007.
13. “Measurement of the Energy Distribution of Trapped and Free Electrons in a Current-Free Double Layer”, K. Takahashi, C. Charles, R. W. Boswell, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, vol. 14, No. 11, pp. 114503-1-4, 2007.
14. “Experimental Characterization of a Density Peak at Low Magnetic Fields in a Helicon Plasma Source”, G. Sato, W. Oohara, and R. Hatakeyama: Plasma Sources Society Technology, vol. 16, pp. 734-741,2007.
15. “An Electron Cyclotron Resonance Plasma Configuration for Increasing the Efficiency in the Yield of Nitrogen Endohedral Fullerenes”, T. Kaneko, S. Abe, H. Ishida, and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, vol. 14, No. 11, pp. 110705-1-3, 2007.
16. “Synthesis and Electronic-property Control of Cs-Encapsulated Single- and Double-Walled Carbon Nanotubes”, R. Hatakeyama and Y.F. Li: Journal of Applied Physics, vol. 102, No.3, pp. 034309-1-7, 2007.
17. “Cesium-Filled SingleWall Carbon Nanotubes as Conducting Nanowire Scanning Tunneling Spectroscopy Study”, S.H. Kim, W.I. Choi, G. Kim, Y.J. Song, G.-H. Jeong, R. Hatakeyama, J. Ihm, and Y. Kuk: Physical Review Letters, vol. 99, No. 25, pp. 256407-1-4, 2007.
18. “Creation of Functional Carbon Nanotubes by Plasma Processing”, 畠山力三: 応用電子物性分科会会誌, vol. 13, No. 1, pp. 4-7, 2007.
19. “Development of a vitamin-protein sensor based on carbon nanotube hybrid materials”, T. Hirata, O. Takei, T. Sakai, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 90, No. 23, pp. 233106-1-3, 2007.
20. “Field-Aligned and Transverse Plasma-Potential Structures Induced by Electron Cyclotron Waves”,

K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 91, No. 26, pp. 261502-1-3, 2007.

21. “Kinetics of reactive ion etching upon single-walled carbon nanotubes”, T. Kato and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 92, No. 3, pp. 031502-1-3, 2008.
22. “Azafullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes with n-Type Electrical Transport Property”, T. Kaneko, Y.F. Li, S. Nishigaki, and R. Hatakeyama: Journal of the American Chemical Society, vol. 130, No. 9, pp. 2714-2715, 2008.
23. “Formation of Gas Atom Encapsulated Silicon Clusters Using Electron-Beam-Generated Silicon Plasmas”, T. Kaneko, H. Takaya, and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, in press.
24. “Novel-structured carbon nanotubes creation by nanoscopic plasma control,” R. Hatakeyama, T. Kaneko, W. Oohara, Y.F. Li, T. Kato, K. Baba, and J. Shishido: Plasma Source Science and Technology, in press.
25. “Novel properties of magnetic-atoms encapsulated single-walled carbon nanotubes,” Y.F. Li, T. Kaneko. T. Ogawa, M. Takahashi, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, in press.
26. “Synthesis and electrical transport properties of $C_{59}N$ encapsulated single-walled carbon nanotubes,” Y.F. Li, T. Kaneko, S. Nishigaki, and R. Hatakeyama: Transactions of the Materials Research Society of Japan, in press.
27. “Modification of electrical transport properties of single-walled carbon nanotubes realized by negative-ion irradiation with electron-free pure alkali-halogen plasma”, J. Shishido, T. Kato, W. Oohara, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Japanese Journal of Applied Physics, in press.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A06

採択回数	1　2　(3)

IV 族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究

［1］ 組織

代表者：室田淳一（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）
上原洋一（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）
小柳光正（東北大学大学院工学研究科）
末光眞希（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（武蔵工業大学総合研究所）
安田幸夫（高知工科大学総合研究所）
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）
酒井　朗（大阪大学大学院基礎工学研究科）
高木信一（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（高知工科大学総合研究所）
伊藤利道（大阪大学大学院工学研究科）
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）
小野俊郎（弘前大学大学院理工学研究科）
松本　智（慶應義塾大学理工学部）
佐々木公洋（金沢大学大学院自然科学研究科）
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（広島大学大学院先端物質科学研究科）
中川清和（山梨大学医学工学総合研究部）
石谷明彦（ベルギー・IMEC）
阿部孝夫（信越半導体株式会社）
鷲尾勝由（日立製作所株式会社）
国井泰夫（日立国際電気株式会社）
宮本光雄（森田化学工業株式会社）
佐藤政明（新日本無線株式会社）
竹廣　忍（株式会社沖電気工業）
坂本謙二（物質・材料研究機構）
杉山直治（半導体 MIRAI-ASET）
小野昭一（株式会社イデアルスター）
横尾邦義（株式会社イデアルスター）
笠間泰彦（株式会社イデアルスター）
表　研次（株式会社イデアルスター）
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）
Erich Kasper（ドイツ・スツットガルト大学）
Vinh Le Thanh（フランス・マルセイユ大学）

配分研究費　物件費 33 万 7 千円，
旅費 61 万 8 千円

［2］研究経過

［目的］ IV 族半導体極限ヘテロ構造及びその形成プロセスの開発は Si 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．本研究では，原子層制御 CVD・エッチング・不純物ドーピング・MBE 等における表面・界面反応制御プロセス技術を駆使して，原子オーダで制御された IV 族半導体極限ヘテロデバイスを高性能化することを目的とする．さらに，形成したヘテロ構造体から発現する新機能デバイスの探索を行う．材料としては，Si-Ge-C 系多層ヘテロエピタキシャル薄膜をはじめとして，P や B 等のドーパント原子, Si 窒化膜等の IV 族半導体を基とする絶縁膜，さらに W 等の金属薄膜まで幅広く扱う．

［概要］本プロジェクトは，Si-Ge-C の多層エピタキシャル膜及び P や B 等の原子層ドーピングを適用したヘテロナノデバイスの高性能化に関する研究を重点的に行うものである．また，N や W を原子層ドープした IV 族半導体の形成とその電気特性や光学特性に関する研究を進め，キャリアの輸送や生成・再結合に関わる新規物性探索を行い，ヘテロナノデバイスへの応用を目指す．原子レベルでの表面・界面構造の評価には STM/AFM・RHEED・XRD，表面の吸着物質・原子結合の同定には XPS・FTIR・ラマン散乱分光等を用いる．また，共鳴トンネルダイオード・量子箱・量子細線等の量子構造における電気特性，Si ベース発光ダ

イオード・受光ダイオード特性の評価を行い，IV族半導体ヘテロ構造の適用によるデバイスの高性能化と新機能デバイス創生のための指針を得る．

［３］研究成果

本年度は，高 Ge 組成の高度歪 IV 族半導体ヘテロエピタキシャル積層について研究を進めた結果，$Si_{1-x}Ge_x$ 層表面の低温 SiH_4 処理の適用により，高 Ge 比率（58%）のヘテロ界面ラフネスを原子オーダで効果的に抑制できることを見いだすと同時に，Ge 比率変調構造共鳴トンネルダイオード製作プロセスへの適用により，290K 付近まで負性抵抗特性を観測することに成功した．また，$Si_{1-x}Ge_x$/Si 共鳴トンネルダイオードの Si 障壁を 1 nm 付近まで薄膜化することによっても負性抵抗特性の向上が可能であることを明らかにした．また，高清浄減圧 CVD 法による原子レベルで平坦な高濃度 B 原子層ドープ Si 薄膜形成を可能にすると同時に，180°C での低温 B_2H_6 処理とその後の 180-300°C での低温 SiH_4 処理が B クラスタ化の抑制と超高キャリア濃度化に有効であることを明らかにした．さらに，IV 族半導体表面の原子層窒化制御において，NH_3 熱窒化 Ge 表面の N 原子面密度は熱処理温度上昇とともに減少する傾向がある一方，熱窒化 SiGe 表面においては，熱処理により Ge-N 結合が減少し，Si-N 結合が増加する傾向があり，窒化膜と基板界面での高 Ge 比率化を見いだした．

以上のように，原子オーダで制御された IV 族半導体極限ヘテロデバイスの高性能化の実現に関して重要な成果を得た．

［４］情報交換活動

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及び学術論文（海外機関 5 件，国内機関 6 件）として発表した．また，M.Caymax 氏（IMEC，ベルギー）を本研究所客員教授として招聘し（2007 年 10 月 15 日～11 月 19 日），高性能 Si ベースデバイスの原子制御プロセスの研究について共同研究を進めた．さらに，本研究プロジェクトが中心となり，IV 族系ヘテロ構造・材料とデバイス応用，それを用いた回路やシステムの研究開発動向の調査のため，電気学会「IV 族系ヘテロ超微細デバイス材料技術調査専門委員会」（平成 18 年 2 月～平成 20 年 1 月）が設置され活動を行った．また，原子オーダで制御された新 IV 族原子制御ヘテロ構造・材料技術とそれを適用した次世代超微細デバイスの実現，並びに，それを用いた回路やシステムについての研究開発動向の調査のため，電気学会「新 IV 族原子制御デバイス材料技術調査専門委員会」（平成 20 年 2 月発足）を設け，活動を開始している．さらに，以下の３つの国際会議も開催した．

- **第 5 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議** (5th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures, Marseille, France, 2007 年 5 月 20-25 日, 発表 235 件, 参加者 220 名, プロシーディング特集号：Thin Solid Films 誌で出版予定）
- **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** （3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics，東北大通研ナノ・スピン実験施設，2007 年 11 月 8-9 日，発表 37 件，参加者 64 名）
- **第 5 回半導体界面制御国際会議** (5th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces － for Next Generation ULSI Process Integrations -, 首都大学東京, 2007 年 11 月 12-14 日, 発表 127 件, 参加者 180 名, プロシーディング特集号：Appl. Surf. Sci.誌で平成 20 年 6 月に出版済）

これらの活動により，IV 族半導体極限ヘテロ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．

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だけでなく，次世代 Si 系極限ヘテロデバイス開発も実現することになるものと期待できる．

［５］主な研究発表

1. “Atomically Controlled Technology for Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 4th Int. Workshop on Nanoscale Semiconductor Devices, Jeju, Korea, Apr. 5-6, 2007, No.I-10.
2. “Very Low-Temperature Epitaxial Growth of Silicon and Germanium Using Plasma-Assisted CVD” (**Invited Paper**), M. Sakuraba, D. Muto, M. Mori, K. Sugawara and J. Murota, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.S1-I3.
3. “Reliability and Instability of a SiGe/Si-Hetero-Interface In Hetero-Channel MOSFETs” (**Invited Paper**), T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.S4-I22.
4. “Impact of Ge Fraction Modulation upon Electrical Characteristics of Hole Resonant Tunneling Diodes with Si/Strained

$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure", T. Seo, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.S4-O41.

5. "Structural Change of Atomic-Order Nitride Formed on $Si_{1-x}Ge_x$(100) and Ge(100) by Heat Treatment", N. Akiyama, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.21P 1-8.
6. "Si Epitaxial Growth on Self-Limitedly B Adsorbed $Si_{1-x}Ge_x$(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD System", K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.21P 1-12.
7. "Local Strain in Si/$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100) Heterostructures by Stripe-Shape Patterning", J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.22P 2-13.
8. "High Ge Fraction Intrinsic SiGe-Heterochannel MOSFETs with Embedded SiGe Source/Drain Electrode Formed by In-Situ Doped Selective CVD Epitaxial Growth", S. Takehiro, M. Sakuraba, T. Tsuchiya J. Murota, 5th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, May 20-24, 2007, No.22P 4-03.
9. "Strain Control of Si and $Si_{1-x}Ge_x$ Layers in the Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si Heterostructures by Stripe-Shape Patterning for Future Si-Based Devices" (**Invited Paper**), J. Murota, J. Uhm and M. Sakuraba, Symp. E9: ULSI Process Integration 5 (212th Meeting of the Electrochem. Soc.), Washington, DC, USA, Oct. 7-12, 2007, Abst.No.1280: ECS Trans., Vol.11 (Edited by C. Claeys, H. Iwai, M. Tao, J. Murota, J. J. Liou, S. Deleonibus, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2007), pp.91-99 (2007).
10. "Fabrication of Hole Resonant Tunneling Diodes with Nanometer Order Heterostructures of Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxially Grown on Si(100)" (**Invited Paper**), M. Sakuraba, R. Ito, T. Seo and J. Murota, Symp. E9: ULSI Process Integration 5 (212th Meeting of the Electrochem. Soc.), Washington, DC, USA, Oct. 7-12, 2007, Abst.No.1283: ECS Trans., Vol.11 (Edited by C. Claeys, H. Iwai, M. Tao, J. Murota, J. J. Liou, S. Deleonibus, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2007), pp.131-139 (2007).
11. "Instability of a SiGe/Si-hetereo-interface in hetero-channel MOSFETs due to Joule heating" (**Invited Paper**), T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, 3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 8-9, 2007, No.I-08, pp.17-18.
12. "Characterization of B Incorporation in B Atomic Layer Doping at Si/Ge(100) Heterointerface", T. Yokogawa, K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, 3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 8-9, 2007, No.P-17, pp.53-54.
13. "Heat-Treatment Effect on Structure of Atomic-Order Nitrided $Si_{0.5}Ge_{0.5}$(100) Using Low Pressure CVD", N. Akiyama, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 8-9, 2007, No.P-18, pp.55-56.
14. "Effect of Low-Temperature SiH_4 Exposure on Heavily Atomic-Layer Doping of B in Si Epitaxial Growth on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD", H. Tanno, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 8-9, 2007, No.P-19, pp.57-58.
15. "Characterization of Temperature-Dependent Hole Resonant Tunneling Properties with High Ge Fraction (x>0.4) Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure", T. Seo, M. Sakuraba and J. Murota, 3rd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov. 8-9, 2007, No.P-20, pp.59-60.
16. "Hot Carrier Degradation of SiGe/Si Heterointerface and Experimental Estimation of Density of Locally Generated Heterointerface Traps", T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba and J. Murota, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.8A, pp.5015-5020, (2007).
17. "Behavior of N Atoms in Atomic-Order Nitrided $Si_{0.5}Ge_{0.5}$(100)", N. Akiyama, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Appl. Surf. Sci., Vol.254, No.19, pp.6021-6024, (2008).
18. "Heavy Atomic-Layer Doping of B in Low-Temperature Si Epitaxial Growth on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure Chemical Vapor Deposition", H. Tanno, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Appl. Surf. Sci., Vol.254, No.19, pp.6086-6089, (2008).
19. "Electrical Characteristics of Hole Resonant Tunneling Diodes with High Ge Fraction (x>0.4) Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure", T. Seo, M. Sakuraba and J. Murota, Appl. Surf. Sci., Vol.254, No.19, pp.6265-6267, (2008).
20. "Self-Limited Growth of Si on B Atomic-Layer Formed Ge(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD System", T. Yokogawa, K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, Appl. Surf. Sci., Vol.254, No.19, pp.6090-6093, (2008).

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A08

採択回数	1　2　③

視覚の統合処理過程の解明とその応用

［1］組織

代表者：矢口博久
（千葉大学）
対応者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤雅之（北九州市立大学国際環境工学部）
古賀一男（名古屋大学エコトピア科学研究所）
北岡明佳（立命館大学）
仲泊　聡（東京慈恵会医科大学）
石井雅博（富山大学）
本田仁視（新潟大学）
辻村誠一（鹿児島大学）

研究費：物件費25万6千円，旅費25万7千円

［2］研究経過

我々は、網膜に映る莫大な量の視覚情報の中から、必要な情報を選択，統合して視覚認識をしている。そこには，奥行き知覚に関連する３次元認識過程と注意によって選択的な情報処理過程が大きく関わっている。人間の立体視機能については，異なる処理の結果をいかに統合するかについての前注意的処理を調べることが，また注意による選択過程についてはその動的な変化が注目されている。それらを定量的にモデル化に向けた基礎研究が本研究の目的であり、その知見に基づき視覚処理のモデルが構築できれば、視環境の適切な評価，設計，画像表示装置の設計などに広く応用できる。

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった。本年度は、立体視機能の時空間特性の詳細な検討および視野安定機構の解明の将来的な展望について検討した。以下，研究活動状況の概要を記す。

平成１９年７月２３～７月２５日

2007年日本視覚学会夏季大会にて研究打ち合わせ
研究代表者，矢口と通研対応者塩入および分担者佐藤、古賀、石井が，研究テーマとその進め方について意見交換，議論した。また、矢口と塩入が両眼間速度差による奥行き運動知覚に関する研究について議論した。

平成１９年１１月１６日～１７日

研究打ち合わせ
古賀、本田、佐藤、石井が来所し，視覚情報の統合に関わる眼球運動の影響について、視野安定の側面から、これまでの研究、将来的発展について議論した。

平成２０年１月２３日～１月２５日

日本視覚学会2008年冬季大会にて研究打ち合わせ

矢口と塩入が，奥行き運動の時間特性の実験について議論した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，立体視の時間特性を中心に、視覚統合過程に関する共同研究の遂行と視野安定機構の研究についての検討をして、以下に示す研究成果を得た。

まず、両眼網膜像に基づく、奥行き運動知覚にかかわる２つの処理過程についての研究をまとめることができた。２つの処理過程とは、両眼間の視差（いわゆる両眼立体視の手掛かり）が時間的に変化をとらえることによって生じる奥行き運動知覚の基礎となる神経機構と両眼間の速度違い（両眼間速度差）をとら

えることによって生じる奥行き運動知覚の基礎となる神経機構である。この２つの奥行き運動処理機構が存在することは、近年明らかにされてきているが、両者の特性の違いは不明であった。我々の研究では、時間特性に注目して、両眼間速度差は比較的速い運度速度に、両眼間視差は遅い速度に感度を持つことを明らかにした。このような違いは、実際の奥行き運動刺激を検出する際にこれらが相補的に働くことを示唆している。それぞれのメカニズムは運動検出と視差検出の結果を利用することになるので、運動検出と視差検出の段階での時間特性の影響を受ける。我々の結果は、運動検出は視差検出よりも速い処理が可能であるという一般的な考えと一致する。

また、このような2種類の奥行き運動検出器は、両眼立体視に感度を持たない、いわゆる立体盲患者についても新しい知見をもたらした。視覚刺激として、両眼間速度差による奥行き運動と両眼間視差の時間的変化を用いて、それぞれで感度が異なることを示した。特に、ある人は速度差刺激でははっきりした奥行き運動がわかるのに視差刺激ではわからない、別の人は逆に視差刺激でははっきりした奥行き運動がわかるのに速度差刺激ではわからないということがあることを明らかにした。これは、立体盲が単一の要因で調べるべきでないことを意味する。立体テレビの鑑賞についても、立体盲といわれている人が全く立体的な知覚をできないわけではなく、奥行きの動きならば楽しめる人や、静止していれば楽しめる人がいることを意味する。さらに、我々は、実験結果に基づきこれらの異なる能力の評価方法も提案している。

視野安定に関しては、眼球が頻繁に動いているにもかかわらず世界は何故止まって見えるかという古くからの疑問が、いまだに解決していない点を認識することができた。問題は、止まっているとの認識がどこからくるのか、何に基づいているのかについての、明確な根拠がないことにある。この問題に関連して、サッカード眼球運動にともなう知覚の変化（刺激位置の誤知覚、空間のゆがみなど）は、視野の静止に関連するのか否かの議論、眼球運動に付随する網膜像の変化をいかに知覚しないか議論を通して、研究の方向性を見いだした。

（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有益な交流ができ，その結果は、奥行き運動知覚に関わる２つの処理系の特性の違いを明らかにし、また立体盲患者に対する、それぞれの機能の評価方法も提案した。立体映像ディスプレイが実用化しつつある現状において、人間にとってどのように知覚されるかは重要な問題である。そのためには視覚系の特性を知る必要があるが、特に時間変化を含む映像については、知見が少なく十分検討する必要がある。我々の研究は、奥行き方法の運動について、2種類のメカニズムが関与していることを示し、その特性の違いも明らかにした。これらの結果は、3次元表示ディスプレイの設計およびコンテンツの作成において有効な知見となることが期待される。

また、視野安定機構の研究については、議論の過程で問題点を明確化することができ、今後共同研究を進める予定である。眼球運動にともなう網膜像変化は、特に新しいディスプレイでは問題となることが多く、視覚処理と関連した理解急務となっている。たとえば、3色を時間的切り替えてカラー画像とする時分割方式のプロジェクターにおいては、眼球運動時にそれぞれの色が見えるカラーブレーキングの問題がある。また、時間特性の悪い液晶ディスプレイにおいては、観察者が運動対象を追いかけた場合にぼけを感じるmotion blurの問題が指摘されている。このような眼球運動に関連する網膜像の変化を視覚系がどのように処理するかは、視野安定の問題の本質であり、視野安定の問題を解くことから、これらのディスプレイ設計などへの貢献が期待できる。

［4］成果資料

(1) Tsujimura, S., Shioiri, S. Nuruki, A. Two distinct cone-opponent processes in the L+M luminance pathway. Vision Research 47(14) 1839-1854(2007)

(2) Watanabe, Y., Kezuka, T. , Harasawa, K., Usui, M., Shioiri, S. and Yaguchi, H. A new method for assessing motion-in-depth perception in strabismic patients. British Journal of Ophthalmology (in press)

(3) Matubara, K. , Shioiri , S., Yaguchi, H. Spatial spread of visual attention while tracking a moving object, Optical Review 14(1) 57-63(2007)

(4) Shioiri, S., Iwaita, Y., Tamai, N., Matsumiya, K., & YAGUCHI, H. (2007). The effect of attention on perception of facial expression. 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji (Awaji, Japan).

課題番号　H17／A09

採択回数	1　2　(3)

Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究

［1］組織
代表者：古賀　貴亮
（北海道大学大学院情報科学研究科）
対応者：大野　裕三（東北大学電気電信研究所）
分担者：大谷　啓太（東北大学電気通信研究所）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
研究費：物件費 238,000 円，旅費 118,000 円

［2］研究経過

これまでの半導体電子デバイスにおいては、電子の電荷自由度を利用しつつ、微細加工技術の発展と共に、高集積化、高速化、低消費電力化が図られてきた。本研究では電子の持つもう一つの自由度 ―スピン自由度― を利用したデバイスの開発を目指す（半導体スピントロニクス）。

本研究で特に注目したのは、2002 年に代表者らが提案した 3 重障壁非磁性共鳴トンネルスピンフィルターである（図 1） [Koga *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 126601 (2002)]。このデバイスの動作原理は、量子井戸内の静電ポテンシャルの歪み（電場）が起源となる Rashba のスピン分離効果を利用したものである。まず、デバイス内のドーピング・プロファイルをコントロールすることによって、図 1 (b)のようなポテンシャル・プロファイルを実現する。そうすると、この場合の左の量子井戸内では右向きの電場が発生し、右の量子井戸内では左向きの電場が発生する。それに伴い、それぞれの量子井戸内の電子は、Rashba 効果に基づいた有効磁場を感じるが、その向きも逆となる。そのため、それぞれの量子井戸におけるスピン状態に関して量子井戸間でのレベルマッチングを行うことが可能となり、スピンフィルターが実現する。

本研究で使用した実際のデバイス構造を図 2 に、実際の試料の顕微鏡写真を図 3 に示す。本研究においては、デバイス内のドーピング・コントロールは行わなかったので、チャージング効果を無視した単純なモデルでは、図 2 (b)(c)のような平坦なポテンシャル・プロファイルが得られる。また、この場合、左右の量子井戸内での電場の向きが同じになってしまうので、零次近似的には、スピンフィルター効果は期待できないが、チャージング効果を考慮すれば、高次の効果としてスピンフィルター効果が得られる可能性がある。

以下に、本デバイスの電流－電圧特性の測定結果を、シミュレーション結果を交えながら報告する。

研究打ち合わせ
平成 19 年 12 月 10 日（月）13:00-17:00

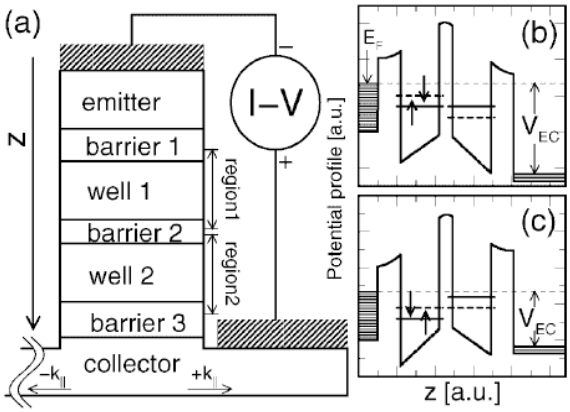


図 1 ：2002 年に代表者らが提案した 3 重障壁非磁性共鳴トンネルスピンフィルターの概念図［Koga *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 126601 (2002)］。

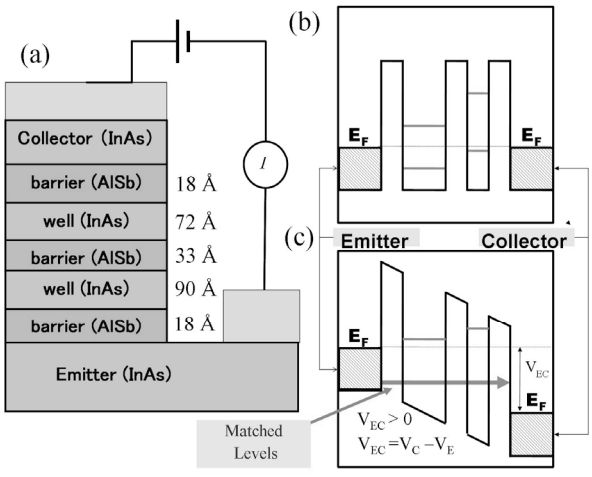


図 2 ：本研究で用いた InAs/AlSb 3 重障壁共鳴トンネルデバイスの模式図。

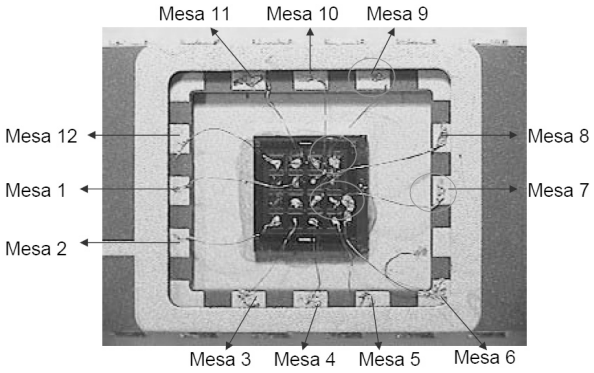


図３：本研究で実際に使用した試料の顕微鏡写真。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究での３重障壁共鳴トンネルデバイスの電流－電圧特性測定結果を図４に示す。電圧バイアスが正・負両方の場合において共鳴的に電流が流れるバイアス電圧が存在し、その電圧の絶対値は、負バイアスの側での値（2.2V 程度）の方が正バイアスの側での値（0.6V 程度）より大きくなっている点、それぞれのバイアス電圧での電流値の絶対値が負バイアス側で 40mA 程度、正バイアス側で 0.4mA 程度と負バイアス側で値が大きくなっている点など、スピン分離効果を考慮しない理論シミュレーション結果（図５）と定性的に一致した結果が得られた。

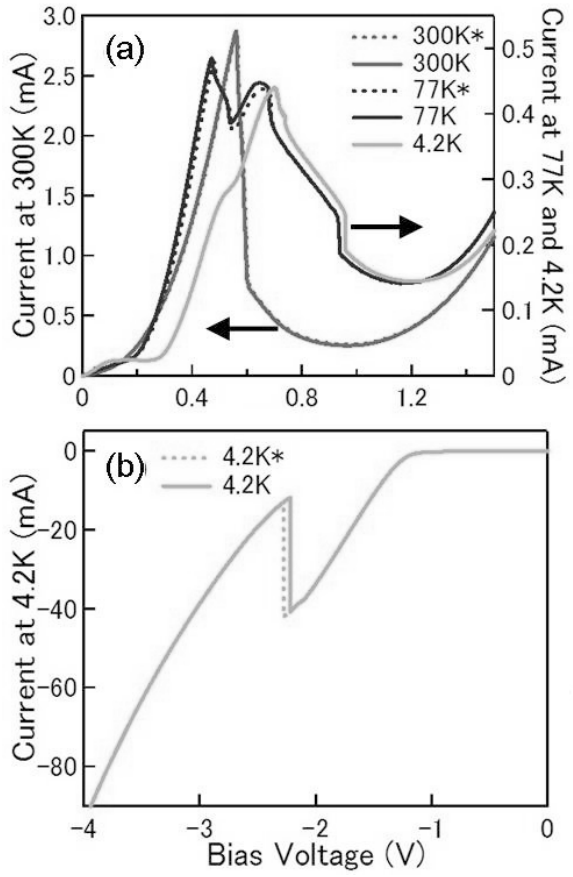


図４：図２，３に示した３重障壁共鳴トンネルデバイスの電流－電圧特性。

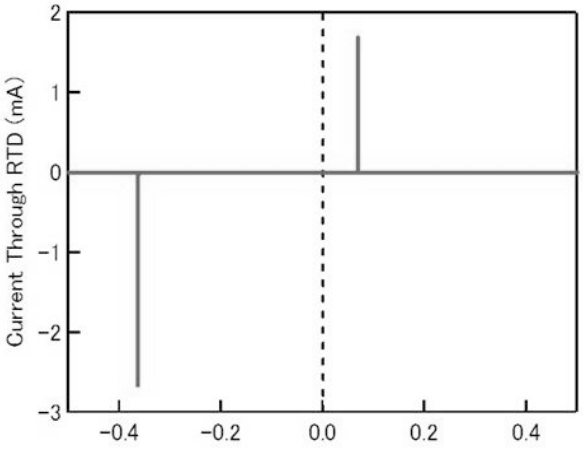


図５：図３の構造を仮定し、チャージング効果、スピン分離効果を無視した、最も単純なモデルを用いた計算機シミュレーション結果。モデルの大胆な単純化にも関わらず、図４の実験結果と定性的な一致が見られる。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究で評価した試料では、零次近似的には意図したスピンフィルター効果は得られないはずだが、低温（77K、4.2K）における、正バイアスでの共鳴電流ピークが分離している［図４(a)］ことは興味深い。現在のところ、この電流ピークの分離がスピンフィルター効果の証であるかは定かではないが、チャージングによる高次のスピンフィルター効果である可能性が高い。今後は、スピン分離効果を加えた計算機シミュレーションを行うことにより、この電流ピーク分裂効果の原因を解明していきたい。

［4］成果資料

1. J. Russom, K. Stone, **T. Koga**, "Measurement and simulation of AlSb/InAs triple barrier resonant tunneling diodes. NanoJapan program summer 2007", APS March Meeting 2008 (New Orleans) ポスター発表。

課題番号　H17／A11

採択回数	1　2　③

高機能有機薄膜センサーに関する研究

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

分担者：
原田　知親　（山形大学工学部）
劉　　士丕　（日本嘉晶電子）
遠田　義晴　（弘前大学理工学部）
嶋脇　秀隆　（八戸工業大学工学部）
石井　久夫　（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）

研究費：材料費 25.2 万円，旅費 27.4 万円

［2］研究経過

本研究では、高機能有機薄膜センサーに焦点を絞り、その実現のために、フレキシブル基板上に低温で高品質な酸化物半導体（TiO_2）を形成し、TiO_2 とオリゴマー有機半導体のヘテロ接合を形成し、光センサとしての動作の確認を試みた。

本プロジェクトは本年度が 3 年目である。前年度で代表的なオリゴマー系有機半導体であるα6T と TiO_2 の接合で良好な整流特性と光応答を確認するに至った。本年度では分光感度を取得し、可視光に対して著しい高感度特性を見出すに至った。我々は、電気通信研究所において、打合せおよび実験を、H19 年 6 月から約 10 回実施し、以下に示す成果を得た。また H20 年 3 月に関連研究会を電気通信研究所ナノスピン実験施設で開催した。

［3］成果

（3－1）研究成果

前年度の飛行時間計測法（Time-of-flight：TOF 法）を用いた有機半導体の移動度評価による高移動度材料の探索によって抽出されたα6T を用いて、有機無機ヘテロ接合ダイオードの試作と評価を行った。以下にその内容を記述する。

①有機無機ヘテロ光センサの試作

TOF 計測より高特性が期待されるα6T を用い、図 1 に示される有機無機ヘテロダイオードを試作した。その結果、J-V 特性及び光照射特性において、前年度試作した P3HT のダイオードに比べて、著しい改善を見出した。図 2 にその J-V 特性を示す。典型的なダイオード特有の整流特性が得られているが、順バイアス特性から得られる直列抵抗は 40 Ωcm² と昨年度の P3HT を使った場合の数 k Ωcm² に比べ大幅に改善され、ダイオードとしても、Si ダイオードに迫る低抵抗性を確認することができた。これは有機半導体層での移動度改善が寄与したものと考えられる。このダイオードに光照射したときの特性を合わせて図 2 に示す。ここでは光源として自動車用ハロゲンランプ（3500K-80W）をもちい、サンプル上距離 5 cm の位置で照射して測定したもので、表面での光強度は 50 μW/cm² である。

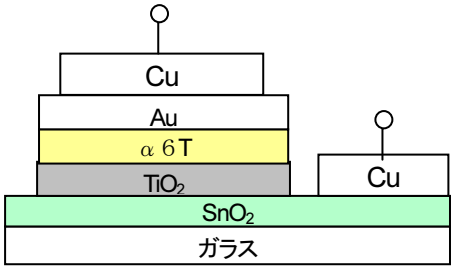


図 1　有機無機ヘテロダイオード

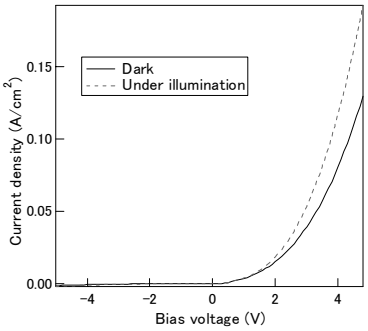


図 2　α6T/TiO_2 ヘテロ接合ダイオードの J-V 特性

TiO_2 を負、α6T 側を正としたときに順バイアスとして評価した。

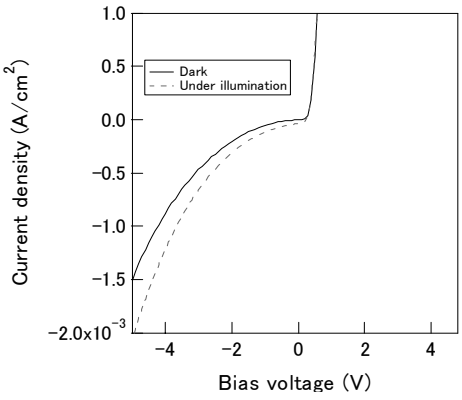


図３　α６T/TiO_2ヘテロ接合ダイオードのJ-V特性

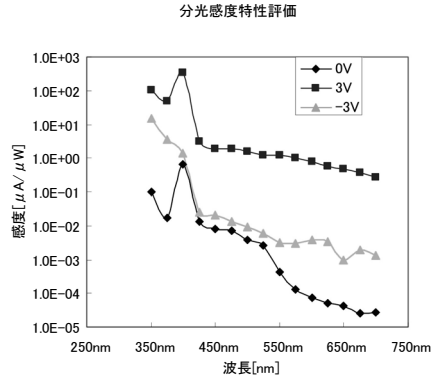


図４　α６T/TiO_2ヘテロ接合ダイオードの分光感度特性

図の特性線の変化から、順バイアス時での著しい導電率変調が確認できる。またさらに、図２の縦軸を拡大して表示したのが図３であるが、わずかではあるが 0V 時に短絡電流が見られ、発電動作をしていることがわかった。さらに、逆バイアス時でもバイアスが深くなるにしたがって、導電率の変化が大きくなっていることがわかった。

我々はこの光センサーの分光感度特性を取得した。その結果を図４に示す。順バイアスを加えると０バイアス、逆バイアス時に比べて２桁以上高い感度特性をもつことがわかった。この分光感度特性を見る限り、いずれのバイアスでも可視光領域にわたって、広く感度を持ち、人間の目にとって代わるカラーセンサーとして実用の可能性があることが示唆される。また 400nm 近辺で著しい感度上昇がみられるが、この領域はα6T の光吸収によるものではないことが、膜単独の透過分光測定からあきらかになっており、これはTiO_2とα6T の界面での寄与によると考えている。

順バイアス時の著しい高感度特性であるが、量子効率を計算すると１を超えていることが明らかとなった。この高感度性は、応用展開の上で非常に魅力のある特徴であるが、メカニズムについては明らかになってはいない。同様の現象として、Cu フタロシアニンなどの有機半導体を金属に接触させたときに、キャリア注入特性が光によって変調され量子効率が１を超える光感度がでることが報告されている。我々も同様のメカニズムを想定しているが、今後、分光感度の精密測定や C-V 測定で明らかにする予定である。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトでα６T と TiO_2 のヘテロ接合ダイオードにおいて、Si 太陽電池と比較して遜色のない高感度特性を得るに至った。本試作ダイオードはほぼ室温に近い環境で製作可能であり、フレキシブルイメージセンサとしての実用化が期待される。今後、有機ならではのフレキシブル性を生かした応用展開で実用化が期待される。今後、光センサとしての有用性を実証するほか、アレイ形成によるイメージングの実証にも、今後の研究で見極めていく予定である。なお本成果については、国際会議で討論を行い、さらなる大きな研究プロジェクトとして発展させる予定である。

［４］成果資料

1.“6T/TiO2 ヘテロ接合ダイオードの光応答測定”, 廣瀬文彦、テイヘンシン、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, 第 54 回応用物理学会 2008 年春季 28a-ZE-5

2.“Low temperature chemical vapor deposition of anatase TiO2 with titanium tetraisopropooxide and H_2O_2 vapor”, 廣瀬文彦, 伊藤正志, Japanese Journal of Applied Physics 掲載予定

課題番号　H17／A12

採択回数	1　2　(3)

人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究

［1］組織
代表者：田中　章浩
（東京大学大学院人文社会系研究科）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
坂本　修一（東北大学電気通信研究所）
今井　久登（東京女子大学文理学部）

研究費：物件費 234,000 円，旅費 281,660 円

［2］研究経過

コミュニケーションに関わる通信システムでは，情報の発信と受容の担い手は人間であり，人間の知覚特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる．しかし，テレビ番組のように音声を伝達する通信システムは，とりわけ高齢者にとって，情報の受容（聴き取り）が困難であることが多い．このような状況に対応して，発話速度を下げることによって，聴き取りやすい音声を提示する話速変換技術の開発が進められている．

また，話し言葉の理解は一般に聴覚の働きであると考えられがちであるが，話し手の顔が見える状況では，音声情報に加えて，口の動きなどの視覚情報も非常に重要である．しかし，従来の話速変換システムは視覚情報の併用についてほとんど考慮してこなかった．

そこで本プロジェクトでは，話速を下げて，かつ視覚情報も利用可能なマルチモーダル情報処理システムについての基礎的検討をおこなうことを目的として研究をおこなった．

本プロジェクトは，本年度が 3 年目であった．第 1 年度は若齢者を対象とした実験をおこなった．第 2 年度は，第 1 年度に明らかとなった人間の情報処理特性についての知見をもとに，高齢者に特有の問題をも考慮して，高齢者を対象とした実験をおこなった．その結果，高齢者を対象とした話速変換効果の測定方法を確立するとともに，高齢者の音声聴取特性の一端が明らかとなった．そこで本年度は，これらの成果を踏まえながら，

(1) 音声の全体時間長と統合の時間特性の関係
(2) 若年者と高齢者の視聴覚統合特性の違い
(3) 視聴覚同時性の再調整過程

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（7 月）　音声の全体時間長と統合の時間特性の関係について得られた実験結果について討論した．また，その結果を踏まえて，若年者と高齢者の視聴覚統合特性の違いを明らかにするための実験計画について議論した．

第 2 回研究打ち合わせ（10 月）　若年者と高齢者の視聴覚統合特性の違いに関する実験結果について討論した．また，視聴覚時間差への順応過程に関する予備的な実験結果についても議論し，今後の実験計画について議論した．

第 3 回研究打ち合わせ（3 月）　視聴覚時間差への順応過程に関する一連の実験結果について議論した．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下の(1)から(3)に示す研究成果を得た．

(1) 音声の全体時間長と統合の時間特性の関係

これまでの研究では，主に短い音声を用いて検討をおこなってきた．しかし，統合の時間特性は，音声の時間長によって変化する可能性もある．そこで，音声の全体時間長と統合の時間特性の関係について検討した．

実験では，短い音声（4 モーラ単語）と長い音声（7, 8 モーラ単語）を用い，時間伸長音声と話者映像を同時提示した伸長条件と，通常速度の音声と映像を単純に時間的に非同期にした非同期条件につい

て，音声と映像のずれの検知限を測定した．

実験の結果，短い音声では非同期条件と伸長条件の検知限にはあまり違いが見られなかったが，長い音声では，伸長条件の検知限は非同期条件に比べて大きくなり，7, 8 モーラ単語においては 400 ms まで伸長しても，ずれはほとんど知覚されず，単語了解度に対してずれの影響がほとんどないことがわかった．

また，音声の全体時間長と伸長率の関連について分析したところ，短い音声でも長い音声でも，伸長率が音声の全体時間長の 1.4 倍程度になると，ずれが検知されることがわかった．

従来は「検知限は何 ms か？」という問題設定であったのに対し，本研究によって，検知限は音声の全体時間長によって変化し，かつ，音声の全体時間長と伸長率の比率によって表現できることを見出すことができた点が，大きな研究成果である．

⑵ 若年者と高齢者の視聴覚統合特性の違い

上記⑴の実験を高齢者を対象として実施した．実験の結果，高齢者は視聴覚のずれの検知限，許容限ともに大きく，ずれに対する感度が低いことが確認できた．また，非同期条件と比べて伸長条件における検知限（763 ms）がとりわけ大きくなっており，本プロジェクトで提案する「話速を下げて，かつ視覚情報も利用可能なマルチモーダル情報処理システム」を高齢者に適用する際に伸長量を当初の予測よりも大きくする（＝話速変換による効果を十分に利用できる）ことが可能なことがわかった．

⑶ 視聴覚同時性の再調整過程

視聴覚の時間差の検知限は，「慣れ」によって変化する可能性がある．この変化は視聴覚情報の同時性の再調整過程として捉えることができる．この再調整過程について，音声刺激を用いて検討をおこなった．

参加者は，視覚刺激と聴覚刺激の呈示タイミングに一定の時間差のある視聴覚刺激を観察し続けた後，様々な時間差で呈示される視聴覚刺激に対して，「同時」または「同時でない」の判断をおこなった．再調整を示す指標には，視聴覚情報がもっとも同期して感じられる時間差である主観的同時点と，時間窓の幅の 2 種類を用いた．

実験の結果，音声が画像に先行するタイミングに順応すると，主観的同時点が音声先行方向へシフトし，時間窓は狭まった．一方音声遅延に順応すると時間窓は拡大したが，主観的同時点は変化しなかった．

実際のマルチモーダル情報処理システムでは，視聴覚に非同期が生じることが避けがたい状況も多々あるが，こういった状況においても，非同期が常に一定に保たれていれば，情報コンテンツが音声である場合においても，人間の持つ柔軟な再調整能力によって，視聴覚のタイミングが脳内で適切に処理されることを示した点が，大きな研究成果である．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトがきっかけとなって，東北大学，東京大学，東京女子大学の 3 大学による共同研究体制が発足した．その結果，これらの大学の研究者同士で相互交流する機会や流動性が増加した．また，本プロジェクトに従事した大学院生が学会で発表賞を受賞するなど，若手研究者の育成にも貢献している．

本プロジェクトからは先に挙げたように，マルチモーダル情報システムの構築に必要な，人間の知覚特性に関する基礎的知見が数多く得られた．このような観点からの基礎研究を対外的に発表することで，近年，情報科学のみならず，心理学や神経科学の研究者の注目をも集めている，人間のマルチモーダル情報処理の研究に新たな視点を投げかけることができたといえる．今後は，本プロジェクトの通研対応者がリーダーを務める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」のサブプロジェクトの一つとして本プロジェクトをさらに発展させて，音声の視覚情報と聴覚情報の時空間統合過程の解明を進めていく予定である．

また，研究代表者は本プロジェクトをきっかけに，新たなプロジェクトとして，マルチモーダル情報処理の国際比較に関するプロジェクトを提案し，日本学術振興会からの助成を得て，2008 年 4 月よりオランダのティルブルグ大学で研究を進めている．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，マルチモーダル情報処理に言語や文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される．

［4］成果資料

(1) Shun Numahata, Shuichi Sakamoto, Akihiro Tanaka, Atsushi Imai, Toru Takagi and Yo-iti Suzuki. (2008). "Effect of time-expanded speech on detection/tolerance thresholds of audio-visual asynchrony." Proc. of 3rd International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics in Sendai, P-33, 175-176, (2008年3月5-6日, 仙台).

(2) Tanaka, A., Sakamoto, S., Suzuki, Y. & Tsumura, K. "Auditory-visual speech perception and intermodal asynchrony." 19th International Congress on Acoustics, (September 2-7, 2007, Madrid, Spain). (招待講演).

(3) 沼畑俊, 坂本修一, 田中章浩, 今井篤, 都木徹, 鈴木陽一. (2008). "話者映像と時間伸長単語音声のずれの検知限および許容限における加齢変化." 日本音響学会講演論文集, 2-P-26 (2008年春) , 595-598 (2008年3月17-19日, 千葉工業大学).

(4) 沼畑俊, 坂本修一, 田中章浩, 今井篤, 都木徹, 鈴木陽一. (2007). "単語知覚における話者映像と時間伸長音声のずれの検知限および許容限." 電子情報通信学会技術研究報告, HIP-2007-157, 159-164, 東北大学, (2007年12月6-7日, 東北大学).

(5) 浅川香, 田中章浩, 今井久登. (2007). “McGurk 効果を用いた視聴覚統合の時間窓の補正.” 日本音響学会聴覚研究会資料, 37(8), H-2007-111, 639-642, (2007年10月19-20日, 岩手). (研究奨励賞受賞).

(6) 沼畑俊, 坂本修一, 田中章浩, 鈴木陽一. (2007). ”7, 8モーラ単語了解度に対する音声伸長量と話者映像の影響,” 日本音響学会2007年秋季研究発表会講演論文集, 1-2-11, 505-506, (2007年9月19-21日, 山梨大学).

(7) 浅川香・田中章浩・今井久登, (2007). "音声における視聴覚統合の時間窓の補正に関する検討." 日本心理学会第71回大会, 東洋大学, 2007年9月18日.

(8) 浅川香, 田中章浩, 今井久登. (2007). "音声における視聴覚統合の時間窓の補正－McGurk 効果と同時性判断課題を用いた検討－" 日本音響学会 2007 年秋季研究発表会, (2007 年 9 月 19-21 日, 山梨大学).

(9) Sakamoto, S., Tanaka, A., Tsumura, K., & Suzuki, Y. (2007). ”Effect of speed difference between time-expanded speech and talker’s moving image on word or sentence intelligibility,” Proc. International Conference on Auditory-Visual Speech Processing 2007 (AVSP2007), 238-242, (August 31 - September 3, 2007, Kasteel Groenendael, Hilvarenbeek, The Netherlands).

(10) Tanaka, A., Sakamoto, S., Tsumura, K. & Suzuki, Y. "Effects of intermodal timing difference and speed difference on intelligibility of auditory-visual speech in younger and older adults." International Conference on Auditory-Visual Speech Processing 2007, (August 31 - September 3, 2007, Kasteel Groenendael, Hilvarenbeek, The Netherlands).

(11) 田中章浩・浅川香・今井久登, (2007). "視聴覚間の呈示タイミング差を補正するメカニズム―McGurk 効果を用いた検討―", 日本認知心理学会第5回大会, o2A-6, 京都大学, 2007年5月26日.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A13

採択回数	1　2　③

細胞バイオトロニクスに関する研究

[１]　組織
代表者：篠原康雄
（徳島大学ゲノム機能研究センター）
責任者：庭野道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
片岡正俊（産業技術総合研究所四国センター）
長宗秀明（徳島大学・工学部）
馬場嘉信（名古屋大学大学院工学研究科）
宮崎　均（筑波大学・生命環境科学研究科）
礒田博子（筑波大学・生命環境科学研究科）
岩田博夫（京都大学再生医学研究所）
菅原正雄（日本大学文理学部）
溝口　剛（筑波大学・生命環境科学研究科）
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：校費 267,000 円、旅費　357,000 円

[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とみなされているが、その技術革新のためには, 20 世紀に高度に発達した半導体集積回路技術と，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．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系にフィードバックする高度なバイオ・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。

本研究では、多重内部反射型赤外分光法を利用し、主に細胞の動的過程を、リアルタイムかつ網羅的に解析できる高度な生体計測手法の開発を目的としてスタートした。研究課題は、①生体高分子（タンパク質や DNA）間の相互作用をリアルタイムで検出、②細胞レベルの基本的変化（細胞成長、アポトーシス等）を非破壊かつリアルタイムで検出、③細胞機能に関与する低分子化合物（ATP や GTP）の濃度変化をリアルタイムで検出することとし、そのための具体的な技術開発項目としては、①検出感度を従来技術に比べ少なくとも２桁の増大、②多重計測（多サンプル計測）技術の確立、③温度や細胞培養環境などの測定環境制御法の確立，④最適な応用法の探索と実証であり、これら一連の技術を統合・集積化することにより、将来の高感度細胞チップの実現の基礎を築くことを目標とした。

当初の研究内容及び計画は以下の通りである。

赤外計測・微細加工・表面処理で十分な経験を有する東北大研究グループ、生体高分子の機能解析で先端的研究を行っている徳島大学と筑波大学研究グループが有機的に連携して、以下の研究項目について共同研究を遂行する。

(1) 細胞計測の高感度化（担当：庭野、木村、片岡、長宗、宮崎、礒田）(2) 測定環境の制御技術の確立　（担当：庭野、木村）(3) 多サンプル測定（多重測定）技術の確立（担当：庭野、木村）(4) 細胞のＳｉ基板表面上局所吸着技術の確立（担当：篠原、片岡、宮崎、礒田、木村、平野）(5) 生体物質の赤外吸収スペクトルのデータベース構築（担当：木村、片岡、宮崎、礒田、平野）(6) 生体物質と細胞・膜タンパクとの相互作用の解明　（担当：全員）(7) 細胞変化のリアルタイム観察　（担当：全員）

本年度は、特に、(2)と(7)に関して集中的に研究を行った。

[３]　成果

（３－１）研究成果

(1) 細胞培養環境制御システムの構築

細胞培養は、通常、専用の細胞培養器の中で行われる。一般的な細胞培養の条件は、37℃、高湿度、5%CO_2を含む雰囲気である。37℃の温度は哺乳

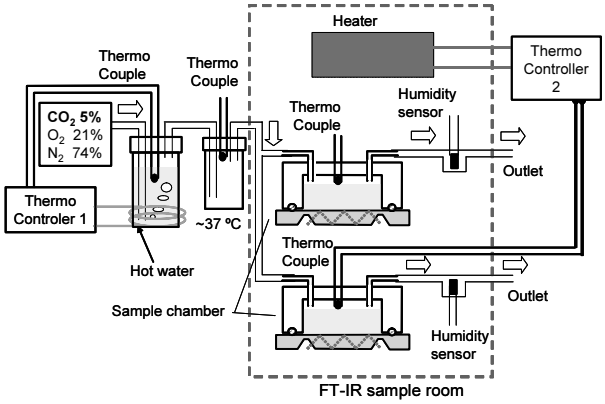


図 1　赤外分光用細胞培養環境制御システム。

類の一般的な体温であり、高湿度は培地(培養液)の蒸発防止のためである。培地にはｐＨを一定に保持するために炭酸水素ナトリウム($NaHCO_3$)を添加しているが、時間とともにCO_2 が脱気してしまうため、CO_2 5 %の条件で培養を行う必要がある。これらの条件から外れると、培養細胞は生存できない。その一方で、赤外領域に大きな吸収をもつ水蒸気とCO_2は、赤外分光測定においては妨害物質であり、測定用試料室は水蒸気とCO_2を除去した空気で満たすのが通常である。したがって、多重内部反射型赤外分光によって細胞活動をモニタリングするためには、まず、細胞培養の条件に合わせて計測装置の環境を制御するシステムを構築することから始める必要がある。図１に構築した制御システムの概念図を示す。

CO_2と酸素を含む混合ガスを加湿して温め、シリコンチューブを介して細胞用測定セルに導入した。さらにヒータと温度制御装置により測定室内を37℃に保つことにより、赤外分光器の測定室内にインキュベータと同等の細胞培養環境を構築した。

(2) 環境制御システムの動作試験結果

前述の環境制御システムの動作を確認した結果、試料室内の温度は 37±0.5◦C、湿度は 80%以上であり、インキュベータと同等の温度管理条件を満たしていることを確認した。次に、付着細胞の MCF-7 細胞を用いて、構築した装置の中での細胞生育状況について検討した。

図 2 に、赤外吸収スペクトルの時間変化を示した。放置時間の増加と、主に 1640, 1545 cm^{-1} において吸収強度の増加が見られた。これら 2 つの吸収帯は、タンパク質の吸収帯であり、1640 cm^{-1} に位置する吸収は Amide-I、1545 cm^{-1} に位置する吸収は Amide-II”と呼ばれる。一般的に、Amide-I 吸収帯は C=O 伸縮振動と NH_2 変角振動に由来し、Amide-II 吸収帯は C-N 伸縮振動によるとされている。顕微鏡観察から MCF-7 細胞は測定中に成長したことを確認しており、図 2 に示された吸収スペクトルの変化は、細胞の成長に付随して Si プリズム表面近傍におけるタンパク質の量が増大したことによると考えられる。

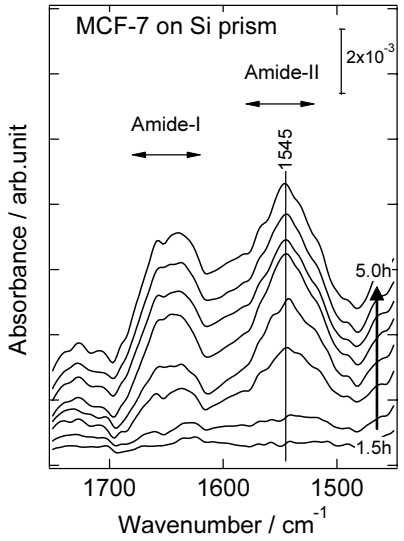


図 2　多重内部反射赤外分光用溶液セル内細胞の赤外吸収スペクトルの時間変化。

以上の測定結果は、環境制御装置によって試料室内(溶液セル内) が、細胞の成長に必要な環境に保たれていたことを示している。

(3) 細胞死のリアルタイムモニタリング

(2)で構築した環境制御システムを用いて、浮遊細胞の HL-60 に対して、界面活性剤 Tween20 を投与して細胞死を誘導した際の細胞死の進行過程

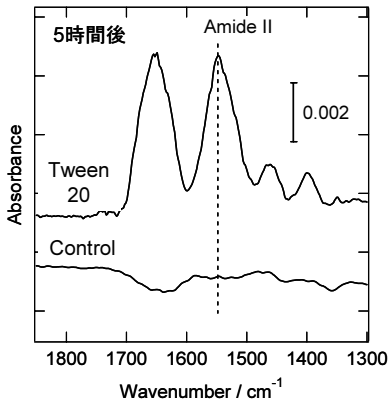


図 3　Tween20 を投与して 5 時間後の HL-60 細胞（上）とコントロール（下）細胞の赤外吸収スペクトル。

のリアルタイムモニタリングを行った。その結果、図 3 に示すように、細胞死を誘導したサンプルでは、タンパク質の Amide-I、Amide-II バンドに相当する 1655, 1548 cm^{-1} に強い吸収が見られた。Tween20 は細胞膜を破壊することが知られているため、観測されたピークは、細胞膜が壊れた結果、細胞内タンパク質が細胞外溶液に漏れ出してきたためと考えられる。一方、何も投与しなかった場合（コントロール）は、そのような吸収ピークは示さず、我々の多重内部反射赤外分光法によって、生きた細胞と死細胞とを、標識を用いることなく明瞭に識別できることを示した。

図 4 は、Amide-II のピーク強度の時間変化をプロットしたものである。Tween20 を投与した場合は、ピーク強度は急激に増加し、投与後約 1 時間で飽和に達する。トリパンブルーによる生細胞数計測でも、Tween20 投与後 1 時間で細胞が死滅することが観測され、赤外分光法の結果とよく一致した。この結果は、Amide-II のピーク強度を指標とすることで、細胞死の過程をリアルタイムモニタリングできることを示しており、多重内部反射赤外分光法を用いる本手法が、細胞応答を利用した細胞アッセイの検出法として有用であることを示唆した。

（３－２）波及効果と発展性など

本研究でその実現を目指す、細胞の機能や、細胞に生じる変化を非破壊かつリアルタイムで捉える技術は、個々の分子を標的とした解析とは異なり、細胞の全体像を把握するものとして今までにない斬新なものである。また、本研究の手法は食品の安全性や環境毒性評価への応用も期待できる。本研究の成果は、細胞レベル、分子レベルでの迅速、簡便、安価な解析手法開発に間違いなく貢献すると考える。

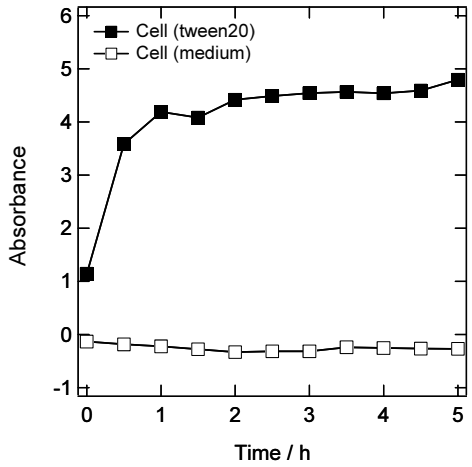


図 4　Tween20 を投与後の Amide-II のピーク強度の時間変化。

［４］ 成果資料

(1) Ko-ichiro Miyamoto, Parida Yamada, Ryo-taro Yamaguchi Takami Muto, Ayumi Hirano, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Hiroko Isoda,
“In situ observation of a cell adhesion and metabolism using surface infrared spectroscopy” Cytotechnology 55,143-149 (2007)

(2) Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Ko-ichiro Miyamoto, Hiroko Isoda, Hitoshi Miyazaki, and Michio Niwano
“Real-time monitoring of cell death by surface infrared spectroscopy” Applied Physics Letters 91,203902(2007)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

課題番号　H17／A14

RF 帯パーミアブルマテリアルによる高集積度 RF デバイスの開発

［1］組織

代表者：山口　正洋
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
遠藤　恭（東北大学大学院工学研究科）
島田　寛（東北大学大学院工学研究科）
Karin Garcia（東北大学大学院工学研究科）
藪上　信（東北学院大学工学部）
益　一哉（東京工業大学精密工学研究所）
川人 祥二（静岡大学電子工学研究所）
竹澤 昌晃（九州工業大学工学部）
宗像　誠（崇城大学エネルギーエレクトロニクス研究所）
池田 愼治（富山工業高等専門学校）
佐藤 敏郎（信州大学工学部）
松下 伸広（東京工業大学大学院応用セラミックス研究所）
和田 修己（京都大学大学院工学研究科）
吉田 栄吉（NEC トーキン(株)）
原田 高志（NEC(株)生産技術研究所）
増田 則夫（NEC(株)生産技術研究所）
中村　篤（ルネサステクノロジー(株)）
村田雄一郎（三菱電機(株) 先端総合技術研究所）
金　基炫（韓国 嶺南大学）

研究費：物件費 252,000 円，旅費 255,300 円

［2］研究経過

RF 帯パーミアブルマテリアルの研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトは，前年度までに本研究の参加者が個別に開発した材料・素子などを集積化インダクタ，インピーダンス変換器，EMI 対策素子などに適用し，これを用いた RF 帯マイクロ磁界プローブ，超低損失・SI 制御 LSI 配線，VCO や LNA などのシリコン集積回路へ適用する.すなわち磁性薄膜研究者，磁性デバイスプロセス研究者，および回路技術者が共同でこれらのデバイスの開発と評価を行い，これを通して新規な高集積度RFデバイスを創出する.ための研究を展開した。

研究打ち合わせ・研究討論のための来学者は以下の通りである。基本的に電子メール・遠隔会議（Web カメラ併用）で行い、所要時間と経費を最小化した。

8 月 27～29 日には遠藤氏（大阪大学）が代表者を訪問し、LSI チップにおける幅 1μm 以下の配線 RF 電流を観測するための新手法について議論した。

1 月 30 日～2 月 2 日には金氏（嶺南大学）が来学し、東北大学内の分担者と薄膜パーミアブルマテリアルのデバイスプロセスについて打合せた。

3 月 9～11 日に池田氏（富山高専）が、薄膜パーミアブルマテリアルの微細加工と、加工後の透磁率シミュレーション実施のため代表者を訪問した。

3 月 25～27 日には宗像氏（崇城大学）が代表者を訪れ、ナノグラニュラー薄膜の微細構造と高周波特性・応用との関係について議論した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，パッケージ・チップレベルＥＭＩ対策へのパーミアブルマテリアルの応用について成果が集中した。

磁性薄膜によるチップレベル（第１レベル）集積化ノイズ抑制体：まず第１に，電子機器における次世代の高密度実装（パッケージング）技術には新しい材料技術が有用であり、とくに電磁ノイズ吸収・抑制分野でパーミアブルマテリアルが期待されている。既存のノイズ抑制シートには貼付面積の狭小化と更なる薄手化が望まれており、伝導ノイズ抑制を目的として、強磁性薄膜をコプレーナ伝送線路に集積化し、最大で 54 dB のノイズ減衰が可能であることを見出した。

ここで、線路の損失を最大化させるような薄膜のシート抵抗が存在し、これは、渦電流知の二乗と抵抗値の積を最大にするようなシート抵抗値が存在することを意味している。電磁界シミュレーションによ

って、大きさ3x3mm²の場合、金属系グラニュラー磁性薄膜を用いることによって、導電膜に比べて損失を最大化できるとの見通しを得た。

次にWLP (Wafer Level Packaging)技術の進展とともに最近利用が拡大している再配線層基板（ワンチップマイクロプロセッサ、クロック周波数 40 MHz）の最上層に膜厚1.0 μm の $Co_{85}Nb_{12}Zr_3$ 磁性薄膜を集積化した。磁性薄膜の飽和磁化は 1.1 T、異方性磁界は845 A/m、比初透磁率は1,000、強磁性共鳴周波数は1.1 GHz である。チップ寸法は10.8 x 10.4 mm² で、ベアチップ実装用として直径 250 μm の半田バンプ用ランドが約300 個ある。近傍磁界測定装置を用い、芯線径が 2.2 mm の電界/磁界プローブで10 MHz ~ 1.44GHz で測定した結果、最大で16.1 dB の抑制効果が確認され、Cu 薄膜より良好であった。第2 レベル（パッケージレベル）への適用は今後の課題である。

磁性材料によるプリント回路基板実装（第３レベル）・筐体実装（第４レベル）電磁干渉抑制：このレベルで磁性体の機能を十分に発揮させるためには、材料の電気定数、とりわけ透磁率特性と電子機器内部の電磁界分布の関係をよく理解し、効率的な実装構造を確立していく必要がある。

電源供給系には、IC や LSI のスイッチング動作時に高周波電流が流れ、大きな電磁妨害波放射を発生する。そこで、低周波帯で損失が小さく、電磁妨害波の発生しやすいVHF 帯、UHF 帯で損失の大きな磁性材料を電源系配線部の媒質として適用することは電源の品質の向上と、電磁妨害波の抑制に有効である。実際、NiZn フェライトを複合した材料を電源供給系に適用したプリント回路基板では、フェライト材料の損失によって電磁妨害波の要因となる高周波信号の伝搬を抑制することができる。その効果は特にスパイラル構造において顕著となることが明らかになった。

一方、電磁シールド材では、波動インピーダンス Z_w（電界 E と磁界 H の比）と材料固有のインピーダンス Z_m の差が大きいほど反射損は大きく、有用であることが明らかになった。

フェライトめっき膜（第３レベルへの応用）：スピンスプレー法によるフェライトめっき膜は、従来のノイズ抑制シートより一桁以上薄い数 μm で、ノイズ抑制シートと同等のノイズ抑制効果を発揮することが明らかにされている。これは生産性に優れ、多層プリント配線板や SiO_2 の表面や内部で生じる電磁障害を抑制しうる新しいノイズ対策、信号品質対策材料として実用化が期待されている。

20MHz のクロック周波数で動作するマイコンチップを搭載した片面プリント配線板の表面に、厚さが３μmのNi-Zn フェライト膜を直接成膜した。プリント配線板のほぼ全面にフェライトめっき膜を設けたことで、基板に伝播するマイコンチップの高調波電流をフェライト膜の磁気損失によって効率良く吸収できた。動作の不具合など回路機能に影響を及ぼすような問題は認められなかった。

次に、４層プリント配線板の第２層と第３層を構成するコア材の両面に厚さ約３μmのフェライトめっき膜を密着生形した。得られたフェライトめっき膜付コア材の両面に、エポキシプリプレグ（厚さ：0.2mm）と銅箔（厚さ：0.012mm）を熱圧着して第１層と第４層を儲け、ヴィアホール用の穴を形成した後、厚さ0.01mmの銅めっきを施してヴィアホール導体を設け、配線パターンを形成して評価用の４層プリント配線板を得た。クロック 75MHz の PLD(Programmable logic Device)と４個のドライバIC、およびこれらの動作に必要な抗体、キャパシタを実装し、評価回路を構成したところ、周波数 １～８GHz では、フェライト膜を内装した配線板において、1～3GHz で２～５dB の放射抑制がみられた。この効果は、フェライト膜の磁気損失特性を反映した結果と考えられ、磁気損失によってグラウンド層や電源層に流れる高周波電流が吸収、抑圧された結果と判断された。

EMC 設計のための LSI モデル：半導体集積回路の更なる多機能・高速・高性能化のためには信号伝送はもとより、その動作の基本となるパワー・インテグリティの問題や、さらには高速動作デバイスの高周波ノイズ閉じ込め・EMI 低減の問題をいかに解決するかが問われる。高周波ノイズを内部にうまく閉じ込めると同時に、外部の高周波電磁ノイズからの悪影響も受けないようなEMC 設計（電磁的両立設計）が重要となる。

このため、IC/LSI の内部構造を簡略にモデル化しつつ EMC シミュレーションに必要な電源供給系などの情報を残した電源系マクロモデル（LECCS Model: Linear Equivalent Circuit and Current Source Model）を提案してきた。デバイスの内部インピーダンスは、ベクトルネットワークアナライザにより散乱行列（S parameters）を測定してこれを変換する事によりインピーダンスを周波数として求めることができる。

CMOS 発振回路を載せた 25mm角の 4 層 PCB（モジュール）と、このインピーダンスおよび電源系の高周波電流を測定するためのモジュール各部のインダクタンスおよび容量を測定と解析により詳細に求め、結果として、モジュール内部 GND(G2)と外部 GND(G1)の間に存在する小さな容量（C_{G1G2}）により、高周波のデカップリング特性が大きく変化

していることが判明した。不要な結合の根源となる寄生容量や相互インダクタンスによる結合をいかに小さく制御してゆくか、その設計と実装が、今後の大きな課題である。

車載電子機器における EMC 問題：車載電子機器（ECU）は、搭載車輌が弱電界地域でも放送受信に支障をきたさないよう、FM 放送帯において特に低い電磁輻射特性が要求されている。多くの場合、輻射は ECU に接続されたワイヤ・ハーネスからと考えられる。ノーマルモード電流による電磁輻射を低減させるには、プロセッサチップへのノイズ対策と、プリント配線板自体へシールド層を追加することが有用である。

これに加えてコモンモード電流を低減する必要がある。基板の電源端子（Vcc と Vss）・電源配線がリファレンスグラウンドに対して持つ寄生容量と配線インダクタンスは、単純化するとブリッジ回路とみなすことが出来る。このバランス条件は、Vcc 側の寄生容量とインダクタンス積が Vss 側の寄生容量とインダクタンス積に等しい場合であり、等面積レイアウトでは、Vcc 側、Vss 側のインダクタンスが等しい場合に成立する。Vcc より Vss が広い一般的レイアウトでも、Vcc 側のインダクタンスを Vss 側より高めることでバランスが成立する。
ワイヤーハーネスを接続した ECU からの電磁輻射を低減するには、ノーマルモード電流を電源デカップリング手法で抑えることに加え、給電系パターンがリファレンスグラウンドに対してもつ寄生容量、インダクタンス積をバランスさせ、コモンモード電流を抑制することが有効であることを議論した。

携帯電話の送信回路における方向性結合器への応用：方向性結合器のパワーアンプ（ＰＡ）モジュールへの集積化を最終目標とした磁性薄膜方向性結合器の開発を進めた。スペーシング 36μm、長さ 0.5 ｍｍを有する主線路―副線路の下部にポリイミド膜を介して幅 200μm のアモルファス CoFeB 磁性薄膜が置かれ、線路間の結合は磁性膜によってエンハンスされた磁界結合が主となる。この場合の磁気結合係数κは約 0.3 であった。携帯電話の利用周波数帯（0.8～2GHz）でＰＡとしての基本的な目標特性を全て満足した。少なくとも２W 程度までは、信号伝送特性は透過電力にほとんど依存しない。さらなる低損失化のために、ナノグラニュラー系高電気抵抗磁性膜の採用が有効であると考えている。

集積化マイクロ磁気デバイスの RF-IC への導入は、IC チップサイズ縮小によるコスト低減だけでなく、磁性薄膜のシールド効果による隣接配線へのクロストークの抑制により、配線や他のデバイスに近接してレイアウトすることが可能となり、集積度の向上にも寄与するものと考えられる。

（３－２）波及効果と発展性など

磁気・ＥＭＣ・半導体・実装の分野を横断する産学の有機的な協同体制が構築され，一部は総務省戦略的情報通信技術開発制度よる「EMC 協調統合設計における LSI パッケージ・チップレベル集積化ノイズ抑制技術の研究開発」に発展した。これに沿って研究開発体制を再構築すべく、本プロジェクト研究は本年をもって発展的に解消することとした。

［４］成果資料

（１）山口正洋：磁性材料のエレクトロニクス実装への応用、日本応用磁気学会第 157 回研究会資料, pp. 1-4 (2007.12).
（２）原田高志、岩波瑞樹：エレクトロニクス実装における磁性材料の役割、同上、pp. 5-8 (2007.12).
（３）佐藤敏郎：集積化高周波マイクロ磁気デバイスと RF-IC への応用可能性、同上、pp. 9-16 (2007.12).
（４）和田修己、ウンベルト パラレッティ、五百旗頭健吾、古賀隆治：集積回路とパッケージの電源系モデル化技術、同上、pp. 17-22 (2007.12).
（５）吉田栄吉、近藤幸一、小野裕司：フェライトめっき膜を用いた高周波ノイズ対策、同上, pp. 23-30 (2007.12).
（６）中村 篤、馬淵雄一、大前 彩：コモンモード電圧低減実装技術、同上, pp. 31-36 (2007.12).
（7）K.Takizawa, M.Nakazawa, K. Sugiura, S. Mizuta, A.Hashimoto, T.Sato, K.Yamasaza, Y.Miura, Y. Miyake, M. Akie, Y. Uehara, M. Munakata, M. Yagi; Fabrication of magnetic thin film directional coupler for mobile phones, 5th International Workshop on high frequency Micromagnetic Devices and Materials, Johns Hopkins University, USA, 12p-9(2007)
（８）高橋篤弘、五百旗頭健吾、U.Paoletti、和田修己、豊田啓孝、古賀隆治：LECCS モデルの広帯域化を目的とした寄生容量表現法の検討、電子通信学会 環境電磁工学研究会 EMCJ2007-33、 pp. 5-10 (2007.7).
（9）K.Iokibe、A.Takahashi, U.Paoletti、O. Wada: Determination of effective parasitic capacitors around IC package for EMC modeling、EMC Compo2007, Torino, Italy (2007.11).
（１０）和田修己、U.Paoletti、：半導体 EMC 設計の GHz 対応信号/ノイズ制御技術、STARC シンポジウム 2007 ポスターセッション (2007.9).

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A01

採択回数	1	②	3

半導体ヘテロ接合ナノ構造を利用したテラヘルツ帯プラズマ電子波デバイスの研究

［1］組織
代表者：RYZHII Victor
（会津大学コンピュータ理工学部）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
KHMYROVA　Irina
（会津大学コンピュータ理工学部）
RYZHII Maxim
（会津大学コンピュータ理工学部）
佐藤　昭
（会津大学コンピュータ理工学部）

研究費：物件費２１万９千円，旅費１６万１千円

［2］研究経過

光波と電波の融合するテラヘルツ帯は，最後の未開拓領域であり，超高速無線ＬＡＮや，光通信と無線通信のシームレスなリンクなど，ＩＣＴ技術の飛躍的な向上につながる大きな可能性を秘めている。そのような背景の下で，テラヘルツ帯デバイスの研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトは，未開拓テラヘルツ帯の電気通信への応用を目的として，半導体ヘテロ接合ナノ構造を利用した集積型の新原理テラヘルツ帯電子デバイスの創出を目的として研究を行なう。具体的には，半導体量子井戸構造に局在する２次元プラズマの共鳴効果やプラズマ不安定性を電気的・光学的に外部制御することによって、所望のテラヘルツ周波数域において誘導放射ならびに利得増大を果たしうる素子の開拓をめざしている。デバイス構造の提案，理論解析，数値解析，デバイスモデリングを中心課題とし，新型素子の設計試作へと発展させる。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，二次元プラズマの高効率な励起が可能なデバイス構造の検討、テラヘルツ利得を得るためにキーとなる電子輸送特性の優れた材料システムの検討、を行なった。具体的には、以下のことを行なった。第１に、高電子移動度トランジスタ（HEMT）のドレイン端に横型ショットキー接合を導入したプラズマ共鳴型テラヘルツ検出素子構造を提案し、理論的解析によってテラヘルツ帯での検出感度特性の優位性を示した。第２に、量子井戸型赤外線検出素子（QWIP）を HEMT と一体集積化した構造の提案し、QWIP 単体でのフォトミキシングと比較して、２桁近い高効率化が得られることを数値解析によって明らかにした。第３に、グラフェンでのプラズマ共鳴効果を解析的に検討し、プラズマ波の分散関係を導出した。

本年度は、昨年度の理論解析をさらに発展させるとともに、共同研究者である尾辻教授によって成功したプラズモン共鳴型エミッターによるテラヘルツ波の発生の原理を理論的に解析した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

平成１９年１０月４日～６日
第１回研究打ち合せ
RYZHII Victor，KHMYROVA Irina，RYZHII Maxim，佐藤昭 が通研に来所し，研究進捗状況の報告，結果についての議論，対外発表戦略についての議論を行なった。

平成１９年１１月２６日～２７日
第２回研究打ち合せ
RYZHII Victor，KHMYROVA Irina，RYZHII Maxim，佐藤昭 が通研に来所し，研究進捗状況の報告，結果についての議論，対外発表戦略についての議論を行なった。

［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、HEMT 構造に３つのゲート電極（スプリットゲート）を配置したプラズマ共鳴型のテラヘルツ検出素子を考案し、低温での動作を仮定したときの検出原理を理論的に解析した。図１に示すように、この構造において、両端のゲート電極はチャネル中に二次元電子ガス（２ＤＥＧ）を誘起するため、中央のゲートは２ＤＥＧの中央部分を空乏させポテンシャル障壁を作るために用いられる。後者により、二つに分割された２ＤＥＧ間では電子は熱放射により移動することになる。したがって、入力ソース・ドレインＡＣ電圧によって２ＤＥＧ内にプラズマ波が励起されたとき、中央の障壁の非線形特性のために整流された出力電流を得る。理論解析により、低温においては、プラズマ波励起によって生じた障壁におけるＡＣ電圧の整流（動的検出原理）のみならず、プラズマ波が引き起こす系の加熱作用とそれにともなう障壁電流の変動（熱型検出原理）が重要になってくることを示した。図２は低温での検出応答度を、動的原理、熱型原理に分けてプロットしたものであり、35－40 K 以下においては熱型原理が一桁以上大きく寄与することが明らかにされた。

第２に、共同研究者である尾辻教授が開発し、室温でのテラヘルツ波発生に成功したプラズモン共鳴型エミッターの理論解析モデルを構築、それを用いたテラヘルツ波発生の原理を解析した。この素子は図３に示すように２種類の周期的ゲートを有したＨＥＭＴであり、前述の検出素子と同様、２ＤＥＧとポテンシャル障壁を形成する。この場合、２ＤＥＧ，障壁ともに周期的になる。実験では、ソース・ドレイン間に十分大きい電流を流したときテラヘルツ波発生が確認されたが、理論解析により、ソース・ドレイン直流電流による障壁領域内の電子走行時間効果が 2ＤＥＧ内のプラズマ波自励に大きく寄与し、テラヘルツ波発生を引き起こしている可能性があることを示した。図４にあるように、走行時間がある範囲にあるときプラズマ波インクリメントは正となって自励しうること、電流が大きいほどインクリメントが大きくなることを明らかにした。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、熱型検出原理を主とした新たなプラズモン型素子の開発、プラズモン共鳴型エミッターの性能の改善が期待される。次年度以降の共同研究プロジェクトへの継続により、高効率なテラヘルツ波発生・検出素子の実現に向けた研究の進展が見込まれる。

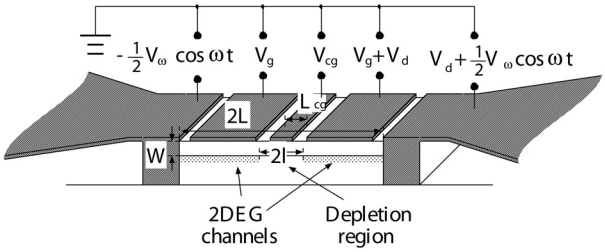


図 1. スプリットゲート型テラヘルツ検出素子構造.

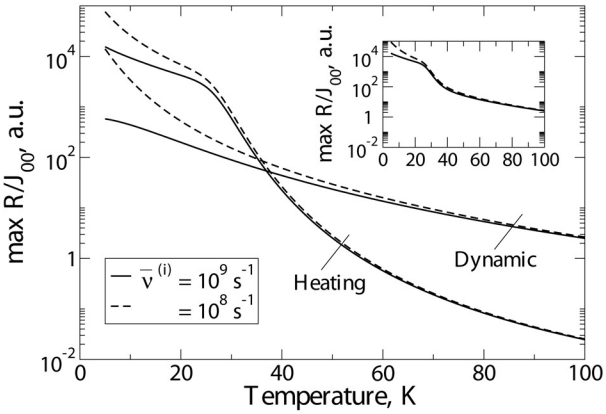


図 2. スプリットゲート型テラヘルツ検出素子における検出応答度の、動的および熱型検出原理の寄与の比較.

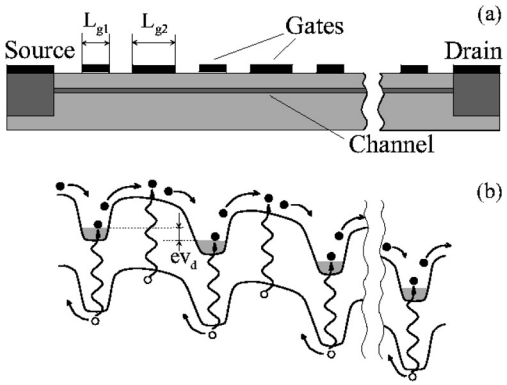


図 3. プラズモン共鳴型エミッターの（a）素子構造および（b）バンド図.

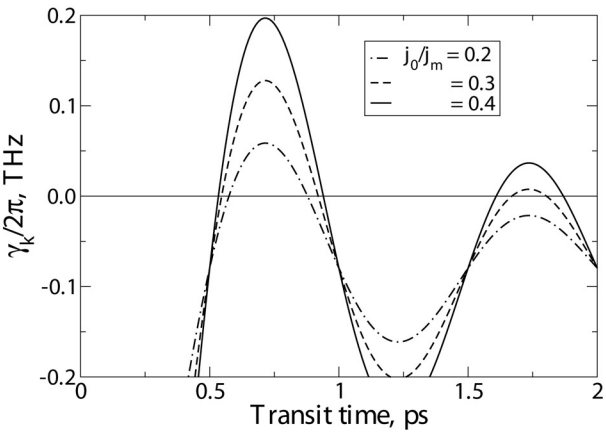


図 4. プラズモン共鳴型エミッターにおけるプラズマ波インクリメントの走行時間依存性。

［4］成果資料

Papers in refereed journals

(1) V. Ryzhii, I. Khmyrova, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin, and M. S. Shur, "Plasma waves in two-dimensional electron systems and their applications," Int. J. High Speed Electron. Syst., Vol. 17, No. 3, pp. 521-538, September 2007.
(2) A. Satou, V. Ryzhii, T. Otsuji, and M. S. Shur, "Resonant terahertz detection antenna utilizing plasma oscillations in lateral Schottky diode," Int. J. High Speed Electron. Syst., Vol. 17, No. 3, pp. 539-546, September 2007.
(3) V. Ryzhii, M. Ryzhii, and T. Otsuji, "Negative dynamic conductivity of graphene with optical pumping," J. Appl. Phys. Vol. 101, No. 8, pp. 083114-1-4, August 2007.
(4) V. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, and M. S. Shur, "Plasma mechanisms of resonant terahertz detection in two-dimensional electron channel with split gates," J. Appl. Phys., Vol. 103, No. 1, pp. 014504-1-6, January 2008.
(5) V. Ryzhii, A. Satou, M. Ryzhii, T. Otsuji, and M. S. Shur, "Mechanism of self-excitation of terahertz plasma oscillations in periodically double-gated electron channels," J. Phys.: Cond. Matt. (submitted).

Presentations at conferences

(1) V. Ryzhii, A. Satou, M. Ryzhii, F. T. Vasko, and T. Otsuji, "Plasma waves in graphene heterostructures and their terahertz device applications," International Semiconductor Device Research Symposium, Maryland, USA, 12-14 Dec. 2007.
(2) A. Satou, N. Vagidov, V. Mitin, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Effect of contacts on the terahertz plasma resonances in two-dimensional electron systems," International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (submitted).

課題番号　H18／A02

採択回数	1	②	3

ノンクラシカルⅣ族ヘテロ構造デバイスの高性能・高信頼化の研究

［1］組織
代表者：土屋　敏章
（島根大学総合理工学部）

対応者：室田　淳一
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 24 万 9 千円，旅費 29 万 1 千円

［2］研究経過

近年，超大規模集積システム用のデバイス研究において，ヘテロ構造を導入して従来デバイスとは異なる（ノンクラシカル）構造で高性能化しようとする研究が活発化している．導入したヘテロ構造の真価を十分発現させるためには，デバイス特性に及ぼすヘテロ界面の影響，そして，ヘテロ構造の高品質化・高信頼化という観点が極めて重要である．したがって，半導体ヘテロ界面，特に，ナノ薄膜ヘテロ界面に関する広範かつ詳細な研究が新たな局面として極めて重要になる．本プロジェクトでは，このようなノンクラシカル・ナノヘテロデバイスの真価を十分発揮させるために必須となる，ヘテロ界面に関する基本的事項を明らかにすることを目的としている． 具体的には，ナノ薄膜 SiGe/Si ヘテロ構造において，そのヘテロ界面準位密度の評価技術を提案・確立し，ヘテロ界面の電気的品質とその安定性を明らかにしてナノ薄膜ヘテロ界面の電気的物性を明らかにすると共に，デバイス特性に及ぼすヘテロ界面物性の影響を明らかにする．

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった．前年度は，ヘテロ界面準位密度の評価技術を確立することを基本とした．これまでの調査では，半導体ヘテロ構造を構成したときの構成半導体のバルク内に存在する欠陥についての研究成果はあるものの，半導体ヘテロ界面そのものは清浄なものであると信じられており，ヘテロ界面には界面準位が存在するのか，存在するとすればどの程度の密度なのか，と言った極めて基本的なことが調べられておらず，それ以前に，そのようなヘテロ界面の基本情報の有効な評価技術も見あたらなかった．そこで，これまで我々が独自に考案したヘテロ界面準位密度の評価法である低温チャージポンピング法を進展させ，局所的に発生したヘテロ界面準位の密度を評価できるようにした．

本年度は，前年度の成果を踏まえながら，ヘテロ界面の電気的品質とその安定性について検討を行った．

以下，研究活動状況の概要を記す．

［3］成果

（3－1）研究成果

ヘテロ界面の安定性を調べるため，SiGe/Si ヘテロ MOSFET の通電状態でのドレイン電流によるジュール熱が及ぼす SiGe/Si ヘテロ界面への影響について検討した．デバイスに一定のドレイン電圧とゲート電圧を印加するストレスを加え，ストレス時間経過に伴うデバイス特性の変化を測定した．その結果，バイアス印加で見られるホットキャリア劣化とは異なる急激な特性変化が観測された．図 1 に 90 K での低温チャージポンピング特性における急激かつ顕著な変化の一例を示す．約 2,000 分のストレス時間まではほとんど変化が見られないが，2,660 分後の測定で急激な変化が見られた．SiGe/Si ヘテロ界面準位に起因する 2 V<V_{BASE}<3 V におけるチャージポンピング電流の平坦部分が，2,660 分のストレス後には無くなっており，あたかも SiGe/Si ヘテロ界面が消失してしまったかのように見受けられる．また，図 2 に示すように，ドレイン電流の低周波雑音レベルも急激な増加を示した．

これらの急激な変化が生じるまでのストレス時間

（τ）に対するゲート電圧やドレイン電圧の影響を調べた．図３にその結果を示す．図中で太い矢印は示された時間までストレスを印加したが急激な変化は現れなかったことを意味している．図から，ドレイン電圧が一定（-8 V）の場合，ゲート電圧を負方向に大きくしてドレイン電流を増大させるとτが減少していることがわかる．また，ゲート電圧を一定（-4 V）にした場合，ドレイン電圧を-8 Vから-7 Vにしてドレイン電流を減少させるとτが増大している．これらの結果から，この急激な劣化はドレイン電流によるジュール熱によって生じているものであると考えられる．

これらの結果は，ヘテロ界面の安定性・信頼性の検討が重要であることを示していると共に，低温チャージポンピング法によるヘテロ界面特性の評価が極めて有効であることを示している．

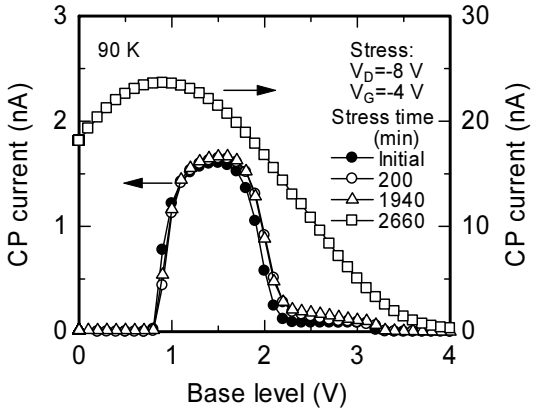


図１　ジュール熱ストレスによる低温チャージポンピング特性の変化

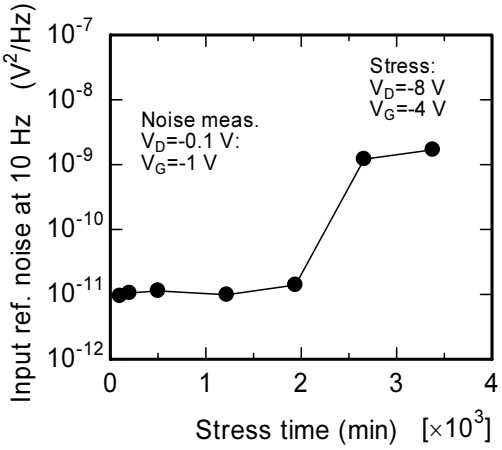


図２　ジュール熱ストレスによるドレイン電流の低周波雑音レベル変化

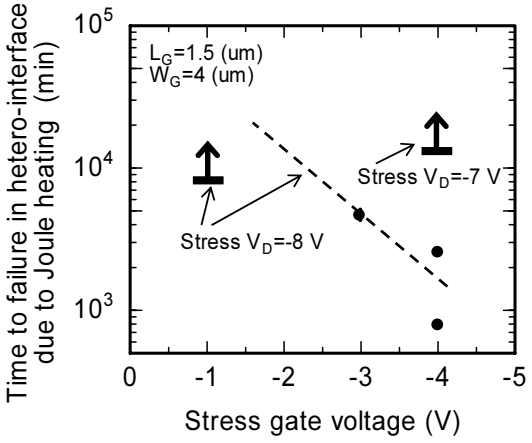


図３　ヘテロ界面特性の急激な変化が出現するまでの時間に対するストレスゲート電圧依存性．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトで得られたナノ薄膜ヘテロ界面準位の評価手法を用いることによって，ヘテロ界面物性およびデバイス特性・信頼性とヘテロ界面物性との関係を明らかにすることが可能となるため，将来型ノンクラシカルナノデバイスの高性能・高信頼性化のために極めて有効な基本技術となる．本年度の研究成果はその具体例を示したことにもなっており，デバイス通電によるドレイン電流のジュール熱によって，SiGe/Si ヘテロ界面特性が劣化することを明らかにした．

［４］成果資料

(1) T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba, and J. Murota, “Hot carrier degradation of a SiGe/Si hetero-interface and experimental estimation of the density of locally-generated hetero-interface traps,” Jpn. J. Appl. Phys., vol. 46, no. 8A, pp. 5015-5020, Aug. 2007.

(2) T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, “Reliability and instability of a SiGe/Si-hetero-interface in hetero-channel MOSFETs,” 5th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, pp. 125-126, May 20-25, 2007.

(3) S. Takehiro, M. Sakuraba, T. Tsuchiya, and J. Murota, “High Ge fraction intrinsic SiGe-heterochannel MOSFETs with embedded SiGe source/drain electrode

formed by in-situ doped selective CVD epitaxial growth," 5th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-5), Marseille, France, pp. 365-366, May 20-25, 2007.

(4) T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, "Instability of a SiGe/Si-hetero-interface in hetero-channel MOSFETs due to Joule heating," 3rd International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, pp. 17-18, Nov. 8-9, 2007.

(5) 吉田啓一，櫻庭政夫，室田淳一，土屋敏章, "SiGe/Si ヘテロ MOSFET におけるヘテロ界面準位でのキャリア捕獲過程の時定数, "応用物理学会中国四国支部 2007 年度学術講演会，Dp-8，p. 84, 2007 年 8 月 4 日（岡山大学）.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A03

採択回数	1	(2)	3

センサーコンピューティングによる ウェアラブル情報共有空間の構築に関する研究

［1］組織

代表者：東野輝夫
（大阪大学大学院情報科学研究科）
対応者：白鳥則郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石原 進（静岡大学大学院創造科学技術研究部）
岡田 謙一（慶應義塾大学理工学部）
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）
鈴木 健二（電気通信大学電気通信学部）
柴田 義孝（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
高橋 修（はこだて未来大学システム情報科学部）
滝沢 誠（東京電機大学理工学部）
塚本 昌彦（神戸大学工学部）
富樫 敦（宮城大学事業構想学部）
檜垣 博章（東京電機大学理工学部）
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（静岡大学大学院創造科学技術研究部）
宮西 洋太郎：宮城大学事業構想学部
宗森 純（和歌山大学システム工学部）
村山 優子（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
渡辺 尚（静岡大学大学院創造科学技術研究部）

研究費：物件費 15 万円，旅費 38 万 2 千円

［2］研究経過

マイクロプロセッサが遍在するユビキタス社会も徐々に定着し，ユビキタスコンピューティングのための機器として人がそのまま着用できるウェアラブル機器が数多く開発されている．このようにウェアラブル機器に関する研究・開発は，近年ますますその重要性を増している．ウェアラブル機器は無線ネットワークを介してデータのやりとりをすることが基本となり，ウェアラブル機器を着用した人と人との間の情報共有空間の構築に関する概念形成が重要となり，以下それらの情報共有空間をウェアラブル情報共有空間と名付ける．

本プロジェクトではウェアラブル情報共有空間を構築するための通信プロトコル，有線と無線の複合ネットワーク，通信システムの基盤技術，Ｗｅｂ技術，ヒューマンインタフェース，センサーシステム，エージェントシステム，セキュリティシステム，トレーサビリティ，ディペンダビリティ，楽しさの評価法（プレジャビリティ）に関する技術の確立を目的として研究を実施している．

本プロジェクトは，本年度が第 2 年度である．前年度は，ウェアラブル情報共有空間のもととなる情報共有空間の概念について議論を深めた．その結果，ウェアラブル情報共有空間の実現のため，センサ入力をもつユビキタス機器やウェアラブル機器を使用するアプリケーションシステムを開発し，実際に適用実験を行いその効果を実証する必要性が明らかになった．本年度は，これら前年度の成果を踏まえながら，システムを本格的に研究・開発し，情報をいかに円滑に伝えるかについて，実証実験を行う展開をはかった．さらに，有線と無線の複合ネットワークからなる大規模分散型ネットワーク環境において，相手や環境に応じて扱う情報やその送受信形態，および，セキュリティレベルを動的に制御するコミュニケーション機構，Web2.0 時代への対応，などについて検討した．

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 19 年 12 月 14 日～12 月 15 日
場所：東北大学電気通信研究所
A．講演と報告
(1)　「アンテナの指向性を有効利用するユビキタスインフラストラクチャについて」渡辺 尚（静岡大学）
(2)　「アドホックネットワークにおけるロバストな位置依存情報共有」石原 進（静岡大学）
(3)　「香りのパルス呈示」岡田 謙一（慶応義塾大学）
(4)　「Web2.0 度が及ぼすレポート作成への影響」片岡 信弘（東海大学）
(5)　「都市空間における人や車の行動モデルとリアルタイム予測・可視化技術」東野 輝夫（大阪大学）
(6)　「ホームネットワーク」水野 忠則（静岡大学）

(7) 「Web2.0 時代の情報システムを考える」宮西 洋太郎（宮城大学）
(8) 「絵文字チャットコミュニケータの適用」宗森 純（和歌山大学）
(9) 「安心の構造についての研究経過報告」村山 優子（岩手県立大学）
(10) 「共生コンピューティングに基づく利用者にやさしい見守り支援システムの設計」菅沼 拓夫（東北大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た.

（1）ウェアラブル機器を用いた歯科医療コミュニケーション支援システムの設計と実装

歯科医療中はしゃべることができないため，意思の疎通が難しく，マウスやキーボードも使い難い状況である．このように，歯科医療はウェアラブル機器を用いた情報共有の実験に最適な対象の一つである．本研究では，歯科医療を妨げることなく円滑にコミュニケーションを行うことを支援するためにウェアラブルコンピューティング技術を用いたコミュニケーション支援システムを提案し，その有効性を評価した．提案システムでは口腔内カメラ，固定型カメラの各種カメラや，音声再生システム，HMD(Head Mount Display)を組み合わせ，映像と音声を媒体としたマルチメディアコミュニケーションを実現した．これらのシステムの導入により，治療中の医師と患者とのコミュニケーションを活性化し，患者の不安を和らげることや口腔内健康への関心を高められることを確認した.

（2）UDSS：ホームネットワークのためのコンテキストアウェアネス用センサ装置

部屋の中にいるユーザーの状況を確認するために，様々なセンシング情報をホームネットワークで使用する機器に提供するセンサ装置を開発した。このセンサ装置を UDSS(Ubiquitous Data Source Server)と呼ぶ．このセンサ装置は，5 種類のセンサ（温度、湿気、音、光と焦電型赤外線センサ）からなる．UDSS は，各々のセンサが計測した値を提供する．そのうえ、UDSS は焦電型赤外線のセンサ値の変化を他の機器に通知することができる．これらの機能はホームネットワークの機器に簡単にこのセンサ装置を使わせるため UPnP を使用して実装した.

（3）大規模な災害情報ネットワークの効率評価

MANET(Mobile Ad-hoc Network)とオーバレイ・ネットワークに基づく大規模な分散災害情報ネットワーク・システムを提案し，その性能評価を行った．MANET は災害現場と避難所の住人とボランティアを結ぶアクセス網に使用する．避難した住人やボランティアは MANET を通して IP 端末，無線 IP 電話，モバイル PC などを使って柔軟にコミュニケーションをとることができる．一方，オーバーレイ・ネットワークは，国や地方自治体などが，堅固で冗長な大規模災害情報ネットワークを提供するために使用する．MANET とオーバーレイ・ネットワークを組み合わせると，ネットワークに何らかの障害が起っても柔軟で災害に強いネットワークが構築できる.

（4）スマートアンテナを用いた指向性 MAC プロトコルのテストベッドの構築と実験による評価

無線アドホックネットワークはその場の端末だけで構成できるので，災害時などに有効とされている．現在，無線を使用する機器には無指向性のアンテナが多く使われているが，指向性アンテナを使えばさらに空間利用効率を上がることが推察される．そこで本研究では，指向性 MAC プロトコルの実環境での性能を評価するために MAC プロトコルテストベッドを開発した．本テストベッドは，実際のスマートアンテナとして ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator)アンテナ，無線装置として IEEE802.15.4 規格の ZigBee チップをベースとして使い，位置情報取得装置として GPS 及びジャイロを搭載している．指向性ビームを用いた MAC プロトコルとして SWAMP(Smart antenna based Wider range Access MAC Protocol)方式を実装して実験を行い，実環境において評価した．その結果，SWAMP では実際のスマートアンテナを利用することによって空間分割多重効果が約 4 倍に，また，指向性ビームの高利得により，無指向性ビームとの利得差から通信距離が 2 倍以上に伸びる効果があることがわかった.

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した結果，情報処理学会誌「情報処理」第 48 巻 2 号（2007 年 2 月号）に，「社会の未来を拓くネットワーク情報共有空間」を白鳥，東野，宗森を編集委員として企画し，共同プロジェクトメンバーを中心に執筆した．さらに，本プロジェクトを中核とする新しい国際学会設立を目ざし，その第一段階として，白鳥，東野，岡田，水野，宗森を中心に国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics)2007 を 2007 年 9 月にナポリで開催するに到った.

本プロジェクトで明らかになった高度なコンピュータネットワークの利用形態（ウェアラブル情報共有空間）に関する成果は，ウェアラブル機器を使う社会における人々の日常生活や社会活動を支える共通基盤として欠かせないものになると考えられ，情報家電，教育システム，エンターテイメント（ゲームを含む），ホームコンピューティング，キッチンコ

ンピューティング，情報コンテンツという新しい研究領域の開拓に結びつき，日本における新たな情報通信技術の今後の発展が期待されている．

［4］成果資料

(1) Masashi Saito, Jun Tsukamoto, Takaaki Umedu and Teruo Higashino : “Design and Evaluation of Inter-Vehicle Dissemination Protocol for Propagation of Preceding Traffic Information”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.8, No.3, pp.379-390 (Sept. 2007).

(2) Takuo Suganuma, Kazuhiro Yamanaka, Yoshikazu Tokairin, Hideyuki Takahashi, Kenji Sugawara, Norio Shiratori : “A Ubiquitous Watch-over System based on Environmental Information and Social Knowledge”, *Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007)*, Springer-Verlag, LNCS 4611, pp.1108-1120 (July 2007) (Outstanding Paper Award)

(3) Gen Tsuchida and Susumu Ishihara : “Replica Redistribution Method of Location Dependent Data in Consideration of Connectivity and Network Partition in Wireless Ad Hoc Networks”, *Proc. of the 6th International Conference on Global Research and Education (Inter Academia 2007)*, pp.743-752 (Sept. 2007).

(4) Fumiaki Sato : “Estimation of Trustworthiness for P2P Systems in Collusive Attack”, *Prof. of DEXA the 1st International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS2007)*, pp.171-176, (April 2007).

(5) Yoshitaka Shibata, Hiroaki Yuze, Tsuyoshi Hoshikawa, Kazuo Takahata, Nobuhiro Sawano : “Large Scale Distributed Disaster Information System based on MANET and Overlay Network”, *Proc. of IEEE 27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW 2007)*, (June 2007).

(6) Akihiro Miyakawa, Kaoru Sugita and Yoshitaka Shibata : “Sensibility Retrieval Method that Uses Amount of Physical Feature of Traditional Craft Object”, *Proc. of the 2007 International Conference of Parallel Processing Workshops (ICPPW 2007)*, (Sept. 2007).

(7) Kyosuke Osaka, Tsuyoshi Takagi, Kenichi Yamazaki, Osamu Takahashi : “An Efficient and Secure RFID Security Method with Ownership Transfer”, *Proc. of the International Conference on Computational Intelligence and Security*, Springer-Verlag, LNCS 4456, pp.778-787 (Sept. 2007).

(8) 松村 邦彦，塚本 昌彦 : “ウェアラブル機器を用いた歯科医療コミュニケーション支援システムの設計と実装”，情報処理学会論文誌 Vol.49, No.1, pp.11-18 (Jan. 2008).

(9) Tomoki Yoshihisa, Masahiko Tukamoto, and Shojiro Nishio : “A Broadcasting Scheme Considering Units to Play Continuous Media Data”, *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.53, No.3, pp.628-636 (Sept. 2007).

(10) Tomoki Yoshihisa, Masahiko Tukamoto, and Shojiro Nishio : “A Scheduling Protocol for Continuous Media Data Broadcasting With Large-scale Data Segmentation”, *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.53, No.4, pp.780-788 (Dec.2007).

(11) Tomoko Matsuura, Kenji Hisazumi, Teruaki Kitasuka, Tsuneo Nakanishi, and Akira Fukuda : “UDSS: Sensor Device for Context Awareness in Home Network”, *Proc. of the 4th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS07)*, pp.196-200 (June 2007).

(12) 日景 奈津子，カール・ハウザー，村山 優子 : “情報セキュリティ技術に対する安心感の構造に関する統計的検討”，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.9, pp.3193-3203 (Sept. 2007).

(13) Masanori Takata, Masaki Bandai Takashi Watanabe : “A MAC Protocol with Directional Antennas for Deafness Avoidance in Ad Hoc Networks”, Proc. of the 2007 *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2007)*, CD-ROM (Nov. 2007).

(14) 渡辺 正浩，萬代 雅希，小花 貞夫，渡辺 尚 : “スマートアンテナを用いた指向性ＭＡＣプロトコルのテストベッドの構築と実験による効果の考察”，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.7, pp. 2187-2198 (July 2007).

(15) Yuichi Yuasa, Masaki Bandai and Takashi Watanabe : “A Routing Protocol with High Node Exchangeability for Sustainable Sensor Networks”, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.E90-A, No.7, PP. 1353-1361 (July 2007)

(16) 大橋 誠，伊藤 淳子，宗森 純，松下 光範，松田 昌史 : “テーブルトップインタフェースを用いた発想支援システムの開発と適用”，情報処理学会論文誌，Vol.49, No.1, pp.105-115 (Jan. 2008).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

課題番号　H18／A04

非線形波動制御を基調とする全電気テラヘルツ光源の研究

［1］組織
代表者：楢原　浩一
（山形大学大学院理工学研究科）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費24万9千円，旅費15万6千円

［2］研究経過

本プロジェクト研究は非線形波動制御を基調とする独自の手法によって、極短電気パルスを全電気的に生成する基本技術を確立することを目的とする。極短電気パルス生成は、(1)超高時間分解計測、(2) 高解像度電磁波イメージング、(3)高ビットレートパルス無線、(4)超高速コンピューティングを実現するための要素技術であり、貴研究所の公募要項にある「超広帯域通信のための次世代システムの創成」に将来的に資するものである。極短電気パルス生成手法として、光短パルスの超広帯域光電気変換が近年の主流である。光技術の有用性に疑う余地はないが、これを介さず電気信号制御に閉じて極短パルス生成が実現されれば、システムの利便性、将来的な低コスト化が約束される。テラ帯イメージングを代表として極短電気パルスの技術的重要性には確固たるものがある。これを踏まえるとき、広く超高周波信号の利用を普及させることが本プロジェクト研究の究極的目的であると考えている。
本プロジェクト研究は本年度が第二年度である。平成18年度には、共鳴トンネルダイオード（RTD）を提案回路の具現化素子として定量化を進めた。そして(1)素子および回路シミュレータの研究開発、(2)回路試作に向けた要素技術の立ち上げ、(3)CRLH 線路を基調としたパルス制御手法の検討とを平行して行った。案件(1)については、解析的手法を用いた検討の精密化ならびに設計指針策定を完了した。案件(2)については、貴研究所末光准教授との打ち合わせなど、次年度以降の研究活性化のための施策を実行した。案件(3)は昨年度の研究実施によって新規に重要性を確認したものである。平行して、設計試作評価の準備をすすめ、RF プローバ、信号入力用のフォトダイオードなど計測用備品の購入、人員確保を実行した。電磁界解析による試作設計ツールの拡充、CRLH 線路の可能性の探索、試作スケジュールの策定が課題として残った。以降、平成19年度の研究経過に言及する。
第一および第二四半期には、電磁界解析を用いた試作設計ツールの構築を中心に活動した。非線形線路の応用はパルス制御にあり、また非線形性を積極的に扱うものであるため、時間領域での解析が望ましい。そこで有限差分法によってMaxwell 方程式を解く FDTD 法を基調としたツールの作成を急いだ。FDTD ツールの鋳型は昨年度において構築しており、本年度には非線形素子を簡易にモデル化する手法の構築・運用が課題であった。このための手法構築を当初すすめ、第二四半期までにツールへの実装を完了した。この間、貴研究所末光准教授により RTD エピ基板が用意され、また、提案線路の試作に際してのウェハプロセスに関する初期検討が進められた。それを踏まえての試作設計が走り出す状況にある。回路試作は次年度第二四半期開始を目途として末光准教授の指揮のもと進めることで結着した。次年度第三四半期以降、尾辻研究室において電気光学サンプリングを用いた評価を進めることをあわせ確認するに至っている。一方、CRLH 線路を用いたパルス制御については、1 次元から 2 次元に議論を展開し、二次元的な空間的孤立波の生成と制御に力点をおいた研究が進展した。この後、その実践性に議論を昇華させ、回路試作への道筋を明らかにしていくことが課題である。
この間、貴研究所において定期的会合の場を設けコンセンサスを得つつ進める形態をとった。殊に期末には学生を交えた研究交流を行い、次年度の回路試作のスケジュール策定など、中長期的検討項目について議論を深めた。

【研究交流実績】
8.9/10 参加者：5 名【研究進捗報告/研究方針策定】
11.27 参加者:1 名【研究進捗報告】
2.4/5 参加者:13 名【19 年度研究総括】

［3］成果

（3－1）研究成果

【1】　FDTD 法を用いた実践設計ツールの構築

設計手法として電磁界解析は不可欠である。FDTD 法において従来、非線形素子の電流電圧特性は陰解的手法による場合、ニュートン法をはじめとする零点問題を扱う必要があった。これは収束性に問題を起こし、また多大な計算時間を要求し現実的設計にはそぐわない。そこで電流電圧特性を線形区分関数で近似する手法を考案し、ツールへの実装を完了した。InP 系 RTD の実モデルを用いた FDTD 解析を進め、パルス圧縮ならびに往復伝播の原理確認を行うに至った。成果を具体的に示すために図 1、2 を用意した。図 1 には FDTD 解析を行った RTD 線路構造を、図 2 には解析の一例としてパルス往復伝播の様子を示す。些少の簡単化は行ったものの、試作可能な構造と実 RTD モデルを採用した。図 2 では線路途上で消失したパルスエッジが逆進を開始する様が確認できる。なお、本項目については山形大学大学院生 1 名を加えて進めた。そして得られた成果は、電子情報通信学会ソサエティ大会などで報告するとともに、論文として提出し採録となっている。

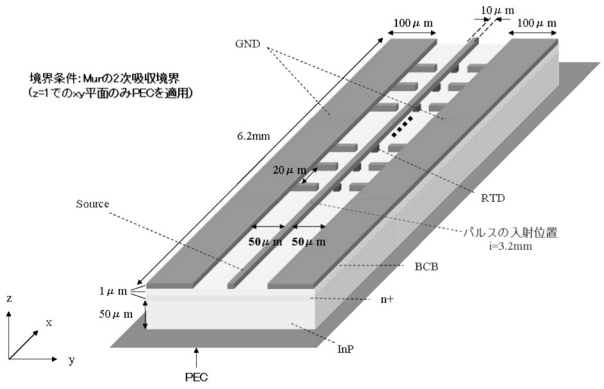


図 1　FDTD 解析を進めた RTD 線路構造。

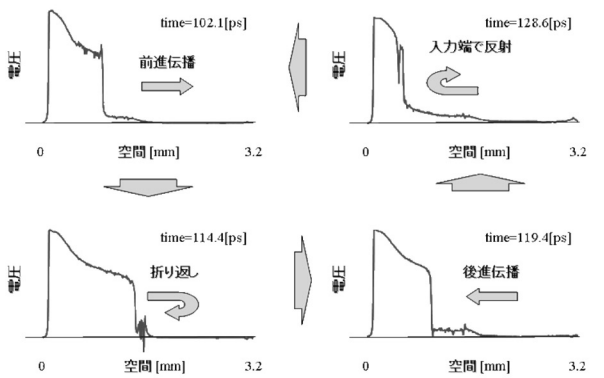


図 2　FDTD 法によるパルス往復伝播の様子。

【2】　非線形 CRLH 線路を用いたパルス制御

本年度には、1 次元系から 2 次元系に議論を展開し、2 次元的な空間的孤立波の生成と制御に力点をおいた研究が進展した。2 次元 CRLH 線路の右手系容量をショットキー・バラクタに置換した非線形線路において、波動伝播は 2 次元非線形シュレディンガー方程式によってよく表現されることを見出した。非線形性と分散性の釣合いが図られないために、厳密なソリトン解は与えられないことが示されている。ショットキー・バラクタは逆バイアス時においてのみ非線形性を与えるため、その程度は制限されたものになる。図 3 に非線形 2 次元 CRLH 線路上のパルス波形推移の様子を示した。時間とともに、パルスは図面の左から右に伝播するが、空間的局在のまま推移している様子がわかる。

（3－2）波及効果と発展性など

FDTD 法を用いた設計ツールの構築・運用によって回路試作の準備が整ったことの意義は大きい。次年度計画の回路試作に大変良好な材料といえる。また、2 次元 CRLH 線路における空間的孤立波の生成・制御は、新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき，今後の発展が期待される。また本プロジェクトの遂行に当たっては山形大学の M1 学生 2 名に加わってもらった。各々は自らの指針に従って回路設計技術を体得し学会発表における他に遜色ないプレゼンテーションを行うまでに至った。若手研究者の育成の側面からも一定の価値を生んだものと理解している。

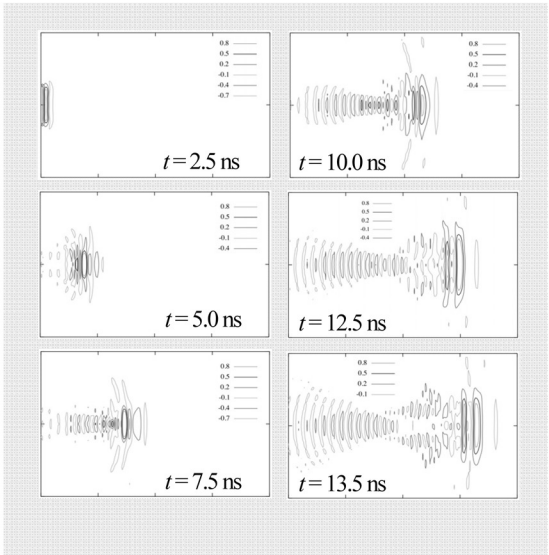


図 3　2 次元非線形 CRLH 線路上のパルス伝播

［4］成果資料

【1】 Koichi Narahara, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano,” Generation of electrical short pulse using Schottky line periodically loaded with electronic switches,” J. Appl. Phys. **100**, 6, p. 024511, 2006.

【2】 Koichi Narahara, “Electromagnetic continuous-wave generation using switch lines,” J. Appl. Phys. **100**, 6, p. 064908, 2006.

【3】 Koichi Narahara, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano, “Pulse compression by quasi-steady propagation along switch lines,” Jpn. J. Appl. Phys. **45**, p.5692, 2006.

【4】 Tatsunori Takahashi, Takuo Yamaki, and Koichi Narahara ,”Voltage-controlled oscillator using RTD transmission lines,” Tech. dig. International workshop tera- and nono-devices: physics and modeling. p.20, 2006.

【5】 Koichi Narahara, Tatsunori Takahashi, Takuo Yamaki, and Toru Nakamichi, “Characterization of voltage-controlled oscillator using RTD transmission lines,” Int’l J. High Speed Electron. Systems, in Physics and Modeling of Tera- and Nano-Devices (World Scientific Publishing Company).

【6】 高橋辰典、八巻卓夫、楢原浩一、「RTD 線路を用いた電圧制御発振器」電子情報通信学会総合大会予稿集、2006.

【7】 八巻卓夫、高橋辰典、楢原浩一、「RTD 線路による極短電気パルス生成」電子情報通信学会総合大会予稿集、2006.

【8】 中道徹、楢原浩一、「非線形 CRLH 線路におけるソリトン生成」電子情報通信学会総合大会予稿集、2006.

【9】 Koichi Narahara, Toru Nakamichi, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano, "Development of solitons in composite right- and left-handed transmission lines periodically loaded with varactors with symmetrical capacitance-voltage characteristics," Jpn. J. Appl. Phys. **46**, pp. 3123-3125, 2007.

【10】 Koichi Narahara, "Quasi-solitons in two-dimensional composite right- and left-handed transmission lines, " Jpn. J. Appl. Phys. **46**, pp. 5353-5357, 2007.

【11】 Koichi Narahara, Toru Nakamichi, Tetsuya Suemitsu, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano, "Development of solitons in composite right- and left-handed transmission lines periodically loaded with Schottky varactors, " J. Appl. Phys. **102**, pp. 024501-024504, 2007.

【12】 楢原浩一, "非線形波動を用いたテラヘルツ帯信号生成制御に関する検討," 信学技報 ED2007-193, pp. 33-38, 2007.

【13】 楢原浩一, "非線形 CRLH 線路のソリトン応用," メタマテリアル～最新技術と応用～ 第9章 （CMC 出版）2007.

【14】 Koichi Narahara, and Yuta Suzuki, "Characterization of plasma waves in gated two-dimensional electron systems," J. Appl. Phys. **103**, pp. 023301 1-4, 2008.

【15】 Koichi Narahara, and Akihiro Yokota, "Full-wave analysis of quasi-steady propagation along transmission lines periodically loaded with resonant tunneling diodes," Jpn. J. Appl. Phys**. 47**, pp. 1126-1129, 2008.

【16】 Shun Nakagawa, and Koichi Narahara, "Characterization of two-stage composite right- and left-handed transmission lines," to appear in IEICE Trans on Electron**.**

【17】 横田聡裕, 楢原浩一, ”RTD 線路を用いた高周波光源の検討,” 電子情報通信学会ソサエティ大会予稿集, 2007.

【18】 中道徹, 楢原浩一, ”非線形二次元 CRLH 線路における空間的孤立波生成,” 電子情報通信学会ソサエティ大会予稿集, 2007.

【19】 鈴木佑太, 楢原浩一, ”2 次元半導体プラズマ中の非線形波動伝播,” 応用物理学会春季連合講演会予稿集, 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A06

採択回数	1	②	3

音響情報によるセキュリティ向上技術に関する研究

[1]　組織

代表者：薗田　光太郎（独立行政法人　情報通信研究機構　情報通信セキュリティ研究センター）
対応者：鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
分担者：なし
研究費：物件費1万円，旅費12万6千円

[2]　研究経過

目的：近年，マルチメディア情報の流通や，人間の感覚に訴える情報コンテンツの増大に伴い，その制御に必要な情報通信技術・セキュリティの確保技術が重要となっている．本プロジェクトでは，音響工学の視点から，情報セキュリティ技術へ積極的な接点を開拓することを大きな目的としている．2 年度目の平成19年度は，音響信号へのインフォメーションハイディング・音響信号による本人認証などを検討内容とする研究を展開した．

研究活動状況の概要：研究打合せ，および電気通信研究所施設を利用した実験を4回　(7/4，11/9―10，12/10-12，2/12―14)行った．

[3]　成果

(3-1)　研究成果

☺　音響信号への情報ハイディング

H18年度にWavelet-QIM法を考案した．本手法ではカバー信号のウェーブレット変換後のスケール-時間平面上にパワー最大となる係数を探索し，その上位に隣接するスケールにおいてQIMに基づく再量子化操作を施し一定のパワー比を持たせた係数ペアを作ることでメッセージ情報を埋め込む手法である．
スケール-時間平面上でパワー最大となる係数の位置は，一般的な攻撃手法では変化しないことが期待できるため，検出時に解析ブロック長の情報を知らずとも透かし情報埋め込み位置の同定が可能である．耐性評価に広く用いられているSTEP2000の攻撃項目に対して耐性を評価したところ，心理聴覚特性を利用した圧縮符号化処理，および時間・ピッチの伸縮処理以外の攻撃に対し9割以上のビット耐性を得た．

H19年度は前年に脆弱性が明らかとなったピッチ伸縮処理に対する耐性の問題を解決するために，ウェーブレットパケット法を本手法に導入し，従来ほぼ1オクターブ単位のピッチ伸縮のみにしか耐性をもたなかったものを，さらに細かい単位の伸縮に耐えうるよう改善した．

また，H19年度には情報ハイディング技術を非常時の緊急通信手段として利用することを考案し，電子警報音へメッセージを重畳するPAIH（Public Address Information Hiding）を提案した．緊急車両が走行しながらPAIH警報音を発し，歩行者や道路上に固定設置された受信端末に局所的なメッセージを伝えることを想定している．したがって，音源の移動に伴うピッチの大幅な変化や，雑音等のもとでも正常にメッセージを残存させることが必要である．そこで，本年度に開発したPAIHでは電子サイレン(0.65秒ごとに770Hz，980Hzの純音を交互に発信)を対象とし，それらサイレン原音と一定の周波数比率をもった高調波信号を重畳して発信することにした．ピッチの動的な変化があっても，サイレン原音との周波数比率に変化はないため，メッセージ情報を正常に検出することができる．(Fig.1)

☺　音響信号による本人認証

本人にのみ浮き上がって聴こえる刺激音（A）を複数の妨害刺激音(D1,D2,…)に混入させた音響刺激音を，認証サーバが証明ユーザに提示し，刺激音Aに関する正しい情報の回答をもって，本人と認証する聴音型記憶認証の可能性を検討した．現在，特徴刺激音（A）として，本人が話すと同時に本人が聴取している自分自身の音声（自声聴取音）の利用可能性を検討している．有用性を確かめるため，「自声聴取音の精密な収録と再現」と「自声聴取音に対する了解度の本人と他人との差異の確認」が必要である．

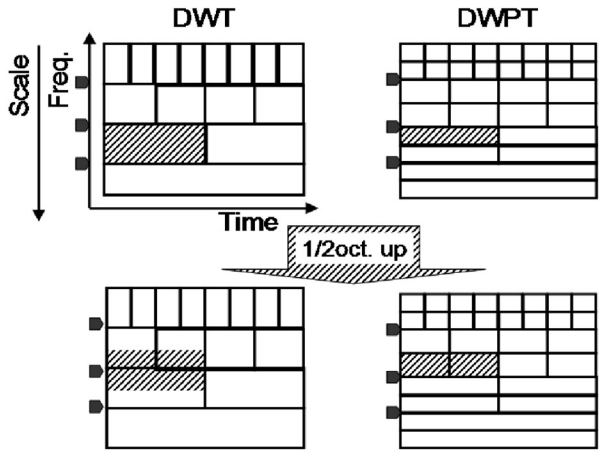


Figure 1:透かし埋め込み処理のされた DWT 係数(斜線部)は 1/2oct.のピッチ伸張攻撃により分解され破壊されるが，DWPT の導入により維持される．

H18 年度は自声聴取音として，頭外で収録した気導音声に模擬化フィルタを適用したものを使用し，通常の気導音，ダミーとして用意した低域強調高域抑圧音声と親密度を比較した．その結果，他人が本人になりすまして評価する場合，自声聴取音とダミー音声に対する評価値に差異が無い一方，本人が評価する場合には自声聴取音に対して最も高い評価値を与えていることが観察された．

H19 年度は，自声聴取音をより忠実に収録するため，耳の裏の乳状突起に貼り付けた肉伝導マイクロホンと，口に近接させたマイクロホンの 2 系統の音声を同時収録し，それらを発声者本人に調節させた重み付けで加算処理した音声を自声聴取音として用いた．認証システムのプロトタイプとして，この自声聴取音を通常の気導音声，ダミー音声とともに水平面 90 度ごとの 3 方向に仮想配置した音声刺激を提示し，自声聴取音の書き取りをさせる聴取実験を行った．実験の結果，本人が聴取した場合には本人の自声聴取音を回答する割合が他のダミー音声を回答する割合より多く，他人が本人になりすまして聴取した場合には頭外で収録した気導音声を回答する割合が多い傾向が顕著ではないが見られた．現時点では認証システムとして実用に耐えうる本人拒否率・他人受入率を満たすものではないため，さらに本人と他人との回答に差の現れる提示方法，自声聴取音の精密採取・再現方法，自声聴取音以外の刺激の利用について検討をすすめる．

(3-2)　波及効果と発展性など

本プロジェクトは，音響工学と情報セキュリティの

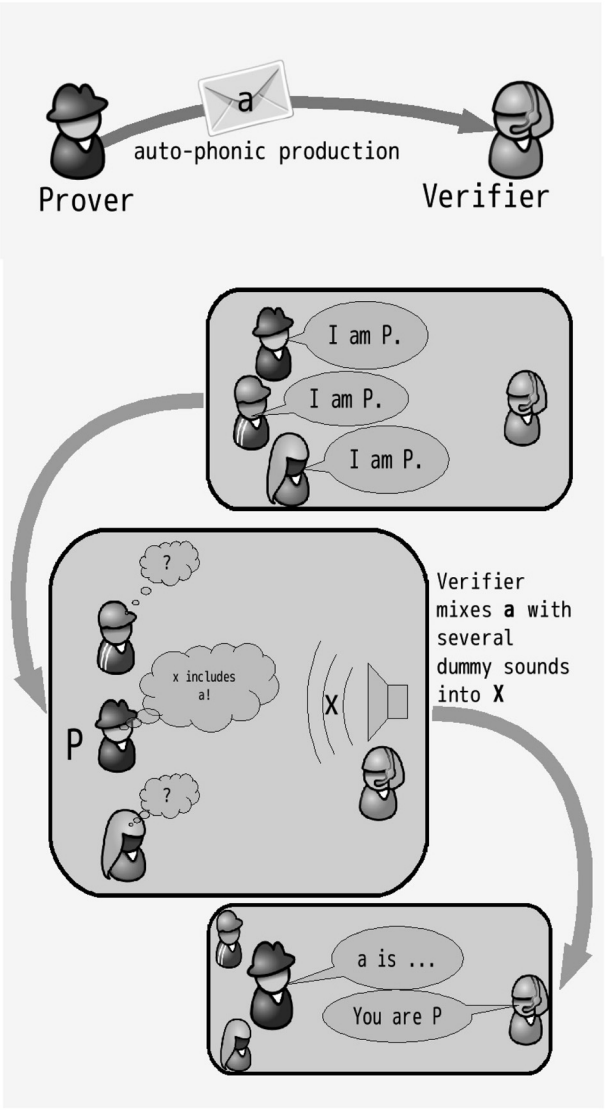


Figure 2 : 聴音型記憶認証の流れ（事前の登録処理および認証処理；真の Prover 以外は混合音 X 中に紛れている特徴刺激 a に対する感度が低い）

両分野にまたがった萌芽的研究としてすすめられた．本プロジェクトのうち，音響信号への情報ハイディングの話題については電子情報通信学会で発足したマルチメディア情報ハイディング研究会でも議論され，今後ますます重要性が増してゆく当該分野での研究者ネットワークの拡大につながった．
また，音響信号による本人認証の研究については，科学研究費補助金の若手研究 B 課題として H19 年度から採択されている．

[4]　成果資料

(4-1)　国外口頭発表

[1] Kotaro Sonoda, Katsunari Yoshioka, Osamu Takizawa, ``Information Hiding for Public Address Audio

Signal Using FH/FSK spread-spectrum scheme," (IEEE) International Conference on Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP2007), IIHMSP-2007-IS19-008, Nov., 2007, Kaohsiung, Taiwan.

[2] Kotaro Sonoda, Noriaki Asemi, Junji Nakazato, Katsunari Yoshioka, Daisuke Inoue, and Osamu Takizawa, ``User Authentication Scheme Using the Personal Auditory Characteristics," (ICA) International Cogress on Acoustics (ICA2007), CAS-01-005, 2nd Sep. 2007, Madrid, Spain

(4-2) **国内口頭発表**

[3] **薗田光太郎**, 滝澤修, 「自声聴取音による本人認証方式の検討」, (信学会)暗号と情報セキュリティシンポジウム 2008 (SCIS2008), pp. , 3B-2-3, Miyazaki, Japan, Jan. 22-25, 2008

[4] **薗田光太郎**, 西村竜一, 鈴木誠史,「DWPT-QIM 電子透かし」,(日本音響学会)2006 年春季研究発表会, pp.621, 3 月, 2007, 芝浦工業大学.

[5] **薗田光太郎**, 阿瀬見典昭, 中里純二, 吉岡克成, 井上大介, 滝澤修, 「聴覚の個人差に基づく認証方式の検討」, (信学会)暗号と情報セキュリティシンポジウム 2007 (SCIS2007), pp. , 2F-4-2, Sasebo, Japan, Jan. 23-26, 2007

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

課題番号　H18／A07

超伝導計算機の基礎と応用に関する研究

［1］組織
代表者：水柿　義直
（電気通信大学電気通信学部）
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）
小野美　武　（東北大学電気通信研究所）
海老澤丕道　（東北大学大学院工学研究科）
林　正彦　（秋田大学教育文化学部）
小山　富男　（東北大学金属材料研究所）
羽多野　毅　（物質・材料研究機構
ナノシステム機能センター）
王　華兵　（物質・材料研究機構
ナノシステム機能センター）
東海林　彰　（産業総合研究所
エレクトロニクス研究部門）
前澤　正明　（産業総合研究所
エレクトロニクス研究部門）
萬　伸一　（NEC 基礎・環境研究所）
猪股　邦宏　（理化学研究所
フロンティア研究システム）
明連　広昭　（埼玉大学工学部）
町田　昌彦　（原子力研究開発機構
システム計算科学センター）
吉川　信行　（横浜国立大学工学研究院）
藤巻　朗　（名古屋大学大学院工学研究科）
宮原　一紀　（東京電機大学情報環境学部）
北野　晴久　（青山学院大学理工学部）
金城　光永　（琉球大学工学部）
研究費：物件費３１万円，旅費３５万７千円

［2］研究経過

Si-LSI で培われた微細加工技術を利用することにより、超伝導デバイスにおいても高集積化や極微細回路の製作が可能となってきている。また超低消費電力という高集積化における優位性や量子重ね合わせに基づく超並列性などを巧妙に応用することにより、スーパーコンピュータや量子コンピュータといった応用分野で Si-LSI を凌駕できる可能性が指摘されている。こうした背景のもと、本研究プロジェクトでは金属超伝導体を利用した磁束量子計算機と、酸化物超伝導体を利用した量子計算機の開発を行っている。

具体的に、金属超伝導体では、単一磁束量子を情報担体とする超高速・超低消費電力超伝導計算機の実用化に向けて、デバイス物理の解析、製作技術、回路設計技術、測定技術など各要素技術の熟成化を図り、かつそれらを統合的に理解することで高密度化への具体的な指針を提案する。高集積化への具体的な指針が示されると予想される。これにより、高速性や低消費電力といった単一磁束量子計算機の優位性をより明確にし、実用化を促進することが可能と考えられる。

酸化物超伝導体では、固有ジョセフソン接合を用いたマルチ量子ビット実現に向けて、理論解析及び数値解析により量子ダイナミクスの解明を図り、その結果に基づき、実験において量子ビット動作のための基本特性であるラビ振動の観測を行う予定である。本研究の遂行によりマルチ量子ビットの基本動作を確認できると予想され、また Bi2212 という材料を用いることで、超伝導量子ビットとして最も高温での動作が期待される。超伝導デバイスが有する計算能力はまだまだ未知数であり、本研究を遂行することによりこれを明らかにすることは、将来の計算機工学にとって非常に重要である。

第二年度にあたる本年度は、12 月 20,21 日に研究会を開催し、それぞれの研究進捗状況の報告及び研究討論を行い、本プロジェクトの研究成果を確認した。なお今回はより活発な研究集会とするため、科研費特定領域研究「単一磁束量子局在電磁波集積回路」全体会議との共催とした。以下に研究会のプログラムを示す。

1)「固有ジョセフソン接合の第一原理的シミュレーションと量子同期現象」、町田昌彦（原子力研究開発機構）
2)「固有ジョセフソン接合におけるMQT—素子構造の比較と物質探索」、北野晴久（青学大）
3)「固有ジョセフソン接合を使った量子計算について」、佐藤茂雄（東北大）
4)「量子ニューラルネットワークとそのハミルトニアンの学習について」、金城光永（琉球大）
5)「微小な系における超伝導ゆらぎのシミュレーシ

ョン」、林　正彦（秋田大）
6)「固有ジョセフソン接合からのテラヘルツ波発振の機構」、小山富男（東北大）
7)「量子ビット非破壊読み出しのための超伝導非線形共振器」、猪股邦宏（理研）
8)「超伝導量子細線を用いた量子電流標準の可能性」、前澤正明（産総研）
9)「平成１８年度発足特定領域研究「局在電磁波集積回路」の概要」、吉川信行（横国大）
（科研費特定領域「単一磁束量子局在電磁波集積回路」全体会議）
10)「局在電磁波による高速信号伝送を利用した単一磁束量子高速フーリエ変換回路の研究」、東北大学中島グループ
11)「局在電磁波配線を利用した単一磁束量子論理ゲートの研究と高速信号処理回路への応用」、横浜国立大学吉川グループ
12)「局在電磁波配線を用いた単一磁束量論理回路の設計および設計支援に関する研究」、名古屋大学高木グループ
13)「超伝導多層導波路の高密度三次元設計と評価」、電気通信大学水柿グループ
14)「単一磁束量子局在電磁波集積回路プロセスに関する研究」、名古屋大学藤巻グループ
15)「二硼化マグネシウム超伝導接合技術の確立」、東京農工大学内藤グループ
16)「単一磁束量子による高スループット微細超伝導配線」、埼玉大学明連グループ

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度はまず第１に、これまでにマイクロプロセッサ動作が実証されている単一磁束量子(SFQ)回路の性能の更なる向上、およびその応用分野の検討がなされた。具体的には、ニオブ集積回路用の高機能・高性能化として、より小型かつ動作マージンの広い論理セルの開発、非同期システム設計アルゴリズムとツールの開発、新規誘電体材料と微細加工技術の開発、および多層構造における超伝導インダクタンスの抽出に関する進展があった。また、応用分野としては、マルチメディア情報処理回路に必須のフーリエ変換回路において、SFQ 回路の高速・低消費電力性が発揮されるとの見積もりを得た。さらに、ニオブ集積回路を上回る性能が期待される超伝導材料である窒化ニオブと二硼化マグネシウムに関して、それぞれの薄膜堆積技術やジョセフソン接合作製技術の開発が行われた。

第２に、Bi-2211 固有ジョセフソン接合において、マイクロ波照射による単一フォトン共鳴励起を観測し、多重フォトンによる励起に比べ励起に必要なマイクロ波パワーを十分低減できることを確認した。単一フォトンによる共鳴励起は高温超伝導体として世界で初めての成果である。また Q 値の測定結果から量子ビット動作確認のためにはフィルタ回路の改善が必要不可欠であるとの知見を得た。さらに加工プロセスの違いによりスイッチング頻度が変化することを確認した。これは加工方法により接合間結合が変化することを意味しており、接合列ダイナミクスの解明のために重要な知見である。

第３に、超伝導素子を利用した新規電気量標準として、超伝導量子細線の電流標準応用に関する検討が行われた。これは、超伝導量子細線における量子位相スリップを利用するものであり、単一電子素子を利用した電流標準と比較して、3 桁以上の大きな標準電流が生成できる可能性がある。本共同プロジェクト研究内での実験はまだ行っていないが、新たな量子効果の物理の探求、およびジョセフソン電圧標準と組み合わせることでの電気量標準間の比較検証が期待される。

（３－２）波及効果と発展性など

高速性と低消費電力性、さらに量子並列性をあわせ持つ超伝導素子を用いた計算機の実現により、次世代スーパーコンピュータの実用化が期待される。本年度の成果はまだ基礎的な部分があるものの、金属超伝導体の SFQ マイクロプロセッサの実用化、酸化物超伝導体の量子ビットの実現、それぞれにおいて重要な寄与を与えるものである。本プロジェクトを継続することにより、超伝導計算機のより早い実用化が期待される。

［４］成果資料

(1) Y. Namatame, M. Maezawa, M. Moriya, K. Usami, T. Kobayashi, and Y. Mizugaki, "Voltage Doubler Cell for Rapid Single Flux Quantum Digital-to-Analog Converter," Japanese Jounral of Applied Physics, part 2, vol.46, no.18, pp.L430-L432, 2007.
(2) Y. Mizugaki, R. Kashiwa, M. Moriya, K. Usami, and T. Kobayashi, "Grounding positions of superconducting layer for effective magnetic isolation in Josephson integrated circuits," Journal of Applied Physics, vol.101, no.11, pp.114509-1-4, 2007.
(3) Y. Mizugaki, Y. Namatame, and M. Maezawa, "Design and operation of series array of voltage doubler cells for rapid-single-flux-quantum digital-to-analog converters," Superconductor Science and Technology, vol.20, no.11, pp.S315-S317, 2007.
(4) S. X. Li, W. Qiu, S.Y. Han, Y. F. Wei, X. B. Zhu, C. Z. Gu, S. P. Zhao, and H. B. Wang, “Observation of macroscopic quantum tunneling in a single Bi2Sr2CaCu2O8+δ surface intrinsic Josephson junctions”, Phys. Rev. Lett. vol.99, 037002, 2007.

(5) K. Inomata, S. Sato, M. Kinjo, N. Kitabatake, H. B. Wang, T. Hatano and Koji Nakajima, “Study of macroscopic quantum tunnelling in Bi2Sr2CaCu2O8+δ intrinsic Josephson junctions”, Superconductor Science and Technology, vol.20, S105, 2007.
(6) S. Sato, K. Inomata, M. Kinjo, N. Kitabatake, K. Nakajima, H. B. Wang, and T. Hatano, "Macroscopic quantum tunneling and resonant activation of current biased intrinsic Josephson junctions in Bi-2212," IEICE Trans. Electron., vol.E90-C, p. 599, 2007.
(7) T. Koyama, M. Machida, M. Kato and T. Ishida, " Macroscopic Quantum Effect in Intrinsic Josephson Junctions Containing Magnetic Flux", Physica C, vol.463-465, pp.985-988, 2007.
(8) T. Koyama and M.Machida "Quantum Correction to the Discrete Breather in Capacitively-coupled Intrinsic Josephson Junctions", Physica C, vol.460-462, pp.1321-1322, 2007.
(9) T. Koyama, M. Machida, M. Kato and T. Ishida, "Quantum Dynamics of the Phase-difference in an assembly of closed 0-π Josephson Junctions made by d- and s-wave Superconductors", Physica C, vol.460-462, pp.1305-1306, 2007.
(10) Q. Liu, K. Fujiwara, X. Meng, S. R. Whiteley, T. Van Duzer, N. Yoshikawa, Y. Thakahashi, T. Hikida, N. Kawai, “Latency and Power Measurements on a 64-kb Hybrid Josephson-CMOS Memory,” IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.17, pp.526-529, 2007.
(11) Y. Yamanashi, M. Tanaka, A. Akimoto, H. Park, Y. Kamiya, N. Irie, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai, Y. Hashimoto, “Design and Implementation of a Pipelined Bit-Serial SFQ Microprocessor, CORE 1b,” IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.17, pp. 474-477, 2007.
(12) Y. Nobumori, T. Nishigai, K. Nakamiya, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai, S. Yorozu, “Design and Implementation of a Fully Asynchronous SFQ Microprocessor: SCRAM2, ” IEEE Trans. Applied Superconductivity. vol.17, pp.478-481, 2007.
(13) M. Hayashi, M. Suzuki, J. Onuki and H. Ebisawa, "Nonlinear dynamics of intrinsic Josephson junctions under an applied current" Physica C: Superconductivity, vol 463-465, pp.993-996, 2007.
(14) M. Hayashi, H. Ebisawa, and K. Kuboki, "Mixed state of charge-density waves in ring-shaped single crystals", Phys. Rev. B 76, 014303, 2007.
(15) I. Iguchi, S. Arisawa, K.-S. Yun, and T. Hatano, “Direct observation of quantized interlayer vortex flow in a high-Tc La1.87Sr0.13CuO4 single crystal”, Applied Physics Letters, vol.91, 202511 2007.
(16) H. Myoren, N. Kishita, T. Taino, S. Takada, "Minimization of Parasitic Inductances in SFQ Circuits Using Over- and Under-Ground Planes," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.17, pp.462-465, 2007.
(17) M. Maezawa, M. Ochiai, H. Kimura, F. Hirayama and M. Suzuki, "Design and operation of RSFQ cell library fabricated by using a 10-kA/cm2 Nb technology," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.17, pp. 500-504, 2007.
(18) M. Maezawa, C. Urano, N. Kaneko and S. Kiryu, "Fabrication of Nb/AlOx/Al/AlOx/Nb junctions for voltage standard applications," Physica C, vol. 463-465, pp. 969-974, 2007.
(19) O. Astafiev, K. Inomata, A. O. Niskanen, T. Yamamoto, Yu. A. Pashkin, Y. Nakamura and J. S. Tsai, "Single artificial-atom lasing", Nature, vol.449, 588, 2007.
(20) T. Sakurai, N. Miyaho, K.. Miyahara,"Design of superconductor frame compression circuits", Physica C, vol.463-465, pp.1080-1083, 2007.
(21) T. Nakagawa, Y. Hashimoto, Y. Kameda, S. Yorozu, K. Miyahara, "Design and demonstration of high-functionality logic cells for miniaturization of SFQ switches", Physica C, vol.463-465, pp.1076-1079, 2007.
(22) H. Kitano, K. Ota, A. Maeda, “Switching current distribution in large Bi2Sr2CaCu2Oy intrinsic Josephson junctions,” Physica C, vol460-462, pp.1483-1484, 2007.
(23) H. Kitano, T. Ohashi, A. Maeda, I. Tsukada, “Kosterlitz-Touless type of superconducting phase fluctuations investigated by frequency-dependent microwave conductivity of underdoped La2-xSrxCuO4 thin films,” Physica C, vol.460-462, pp.904-905, 2007.
(24) A. Maeda, H. Kitano, K. Kinoshita, T. Nishizaki, K. Shibata, N. Kobayashi, “Effect of Nonmagnetic Impurities on the Electronic State of Quasiparticles Confined in the Naturally Prepared Nanostructure under Magnetic Field in YBa2Cu3Oy,” J. Phys. Soc. Jpn. vol.76, pp.094708-1 - 094708-11, 2007.
(25) M. Machida, T. Koyama, "Collective macroscopic tunneling in intrinsic Josephson junctions", Physica C, vol.460-462, pp.289-292, 2007.
(26) M. Machida, M. Okumura, and S. Yamada, "Stripe formation in fermionic atoms on a two-dimensional optical lattice inside a box trap: Density-matrix renormalization-group studies for the repulsive Hubbard model with open boundary conditions ", Phys. Rev. A, vol.77, 033619, 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A10

採択回数	1	②	3

聴覚を利用した拡張現実感システムの構築に向けた基礎的研究

［1］組織

代表者：小澤　賢司
（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：
佐藤　宗純（秋田県立大学システム科学技術学部）
高根　昭一（秋田県立大学システム科学技術学部）
安倍　幸治（秋田県立大学システム科学技術学部）
渡邉　貫治（秋田県立大学システム科学技術学部）
本多　昭生（いわき明星大学　人文学部）
浅川　　香（東京女子大学大学院文学研究科）
大谷　　真（富山県立大学　工学部）
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 26 万 7 千円，旅費 44 万 7 千円

［2］研究経過

人間と環境の調和を高めるために，例えば視覚で得た実環境の情報に，聴覚を通じて与えた人工環境の情報を重ねることで「情報に満ちた環境」を創成することが有益である．例えば，博物館で展示物に目を向けたとき，その展示物に関する情報が自分にだけ聞こえるようなシステムが考えられる．本プロジェクトは，このような聴覚を通じた拡張現実感システムの構築を念頭に置いて，その要素技術である音情報伝達技術の高精度化を目的とした．具体的には，所望の方向から音が聞こえるような技術を個人差までを考慮して実現することを目指している．

本プロジェクトは，本年が第２年度であった．以下に研究活動状況の概要を記す．研究進捗については，基本的に電子メールを用いてメンバー全員で協議検討を行った．その検討結果を受けて，平成 19 年 10 月 23 日～24 日に東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）を訪れ，打ち合わせを行うとともに音響無響室において頭部伝達関数の測定をはじめとする音響実験を実施した．また，本プロジェクトの内容を精査することを目的として，関係分野の研究者との意見交換の機会を設けることとし，通研対応者である鈴木をリエゾンとして意見交換を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す２テーマについて研究を行った．

(A) 頭部伝達関数の個人性の制御
(B) 音場の音響特性も考慮した個人性の補正

これらのテーマのうち，以下では特に(A)について詳述し，(B)については概要を述べる．

(A) 頭部伝達関数の個人性の制御

高臨場感音響システムの構築にあたって，本プロジェクトでは，聴取者の耳に入力される音信号を原音場におけるものに近似するというアプローチによって，高い臨場感のある音空間を再現する．そのため，原音場における音源から聴取者の鼓膜までの音響伝達関数である頭部伝達関数を精密に再現することが重要である．頭部伝達関数は，音源位置依存性を持つ．すなわち，音源位置知覚の手がかりが含まれていると考えられ，音源信号に適切な頭部伝達関数を畳み込むことで，任意の位置の仮想音源を制御できる．しかしながら，頭部伝達関数の周波数特性は聴取者の身体形状に影響を受けるため，個人性が極めて大きい．そのため，他人の頭部伝達関数をそのまま用いて再現された仮想音源は，あたかも他人の耳に入力される音信号を聴取することにあたり，方向や前後を誤って知覚されることが一般に知られている．そこで，頭部伝達関数に含まれる音空間情報の手がかりを，聴取者個人に合わせて推定する方法に関して検討を行った．以下に，その詳細を述べる．［成果資料(1)］

(1) 両耳間レベル差の推定

本プロジェクトでは，音源方向の手がかりとして重要な両耳間レベル差を対象として検討を行った．両耳間レベル差は，左右耳の頭部伝達関数の差として算出される．したがって，その周波数特性は聴取者の身体形状の影響を反映するため，頭部伝達関数と同様に個人性を持つ．そこで，聴取者ごとに頭部の大きさや耳介の位置などの身体特徴量を抽出し，それらを基に重回帰分析を適用し，両耳間レベル差

を推定した.

(2) 推定した両耳間レベル差の方向知覚への影響

両耳間レベル差を聴取者に合わせることで，方向知覚にどのような影響が生じるかを確認するため，主観評価実験を行った．実験では，まず，被験者ごとに両耳間レベル差をあらかじめ推定した．次に，被験者のものではない，他人の頭部伝達関数（other）とその両耳間レベル差のみを推定したものと置換した頭部伝達関数（ILD_fit）をそれぞれ用いて，様々な方向の仮想音源を作成した．被験者には，それらの仮想音源をランダムに提示し，知覚した方向を回答させた.

一般に，他人の頭部伝達関数を用いた仮想音源は，前後を誤って知覚される場合があることが知られている．そこで，提示した仮想音源の方向に対して，被験者が前後を誤った割合を前後誤り率と定義し，両耳間レベル差を合わせこむことの影響を評価した．図1に，ある被験者の前後誤り率を示す．ここでは，音源が真正面，あるいは真後ろにある場合を含む正中面付近と，それ以外の方向とに分けて示してある．結果から，正中面付近ではotherとILD_fitの条件間で大差ないが，正中面から離れた方向では，ILD_fit条件の前後誤り率が非常に小さくなっていることがわかる．正中面では，両耳間レベル差が個人によらずほぼ0となることから，個人に合わせこんだことによる効果として，この結果は妥当であると言える．したがって，両耳間レベル差を個人に合わせこむことで，定位精度が向上することが示された.

(3) 両耳間レベル差と聴取者の身体形状の関連

本実験では，頭部伝達関数は他人のものを使用し，両耳間レベル差を被験者に合わせたことから，その周波数特性が音像定位の手がかりになったと考えられる．図2に，両耳間レベル差の周波数特性の例を示す．横軸は周波数，縦軸は音源方向（0度を正面として，時計回りに増加）であり，両耳間レベル差を色の濃淡で示した．図の1000〜5000 Hzの帯域において，音源方向の変化に伴い単調に変化するピークあるいはディップが見られる．また，真横（90度，および270度）に対し，前後非対称である．これらの特徴が，前後知覚の手がかりであると考えられる.

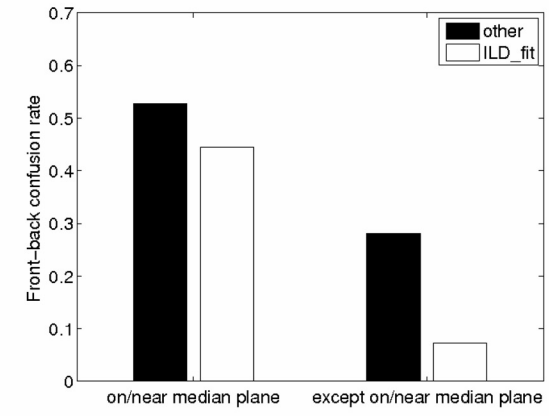


図 1: ある被験者の前後誤り率（正中面に近い方向と正中面から離れた方向に分けて評価）

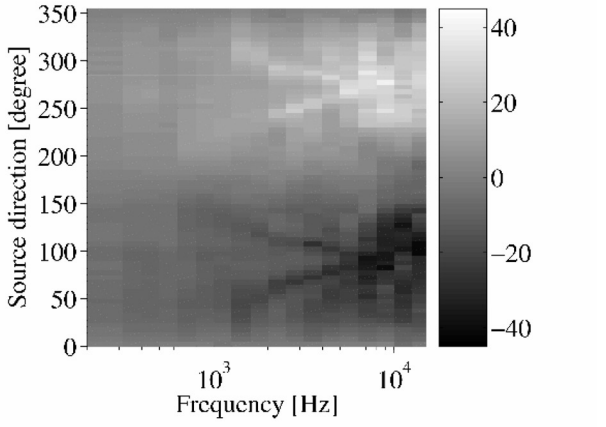


図 2: 両耳間レベル差の周波数特性および音源方向依存性

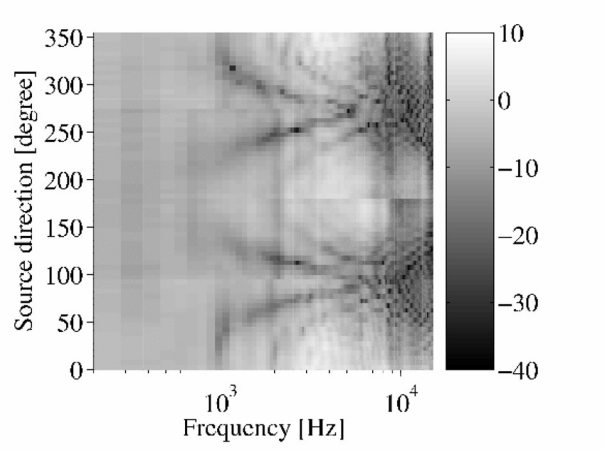


図 3: 影領域の頭部伝達関数の周波数特性および音源方向依存性

図3は，音源と反対側の耳（影領域）における頭部伝達関数の周波数特性であり，図2と同様のディップが見て取れることから，両耳間レベル差の特徴が，影領域の頭部伝達関数に起因するものであると考えられる．このことについて，簡単なモデルによる検証を試みた．音源からの音信号の伝搬を考えると，影領域では，頭部の前方および後方から回折によって回り込んだ音波が，重ね合わされて耳への入力信号となる．したがって，同位相，および逆位相のときに，それぞれピーク，ディップになると考えられる．そこで，頭部を球，耳の位置を真横よりやや後方としたモデルで，影領域における前方および後方からの音波の位相差を，各周波数，音源方向ご

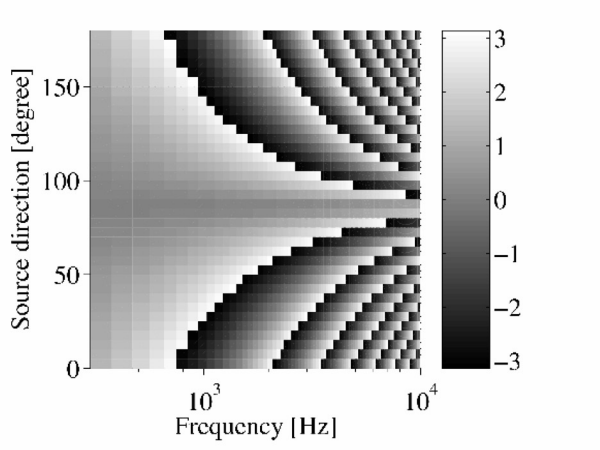


図 4: 頭部モデルから算出した影領域における位相差の周波数特性および音源方向依存性

とに算出した. 音源方向が 0〜180 度の場合について, 結果を図 4 に示す. この図においても, 図 2, 3 で見られたものと同様のディップが見られ, このモデルで, 両耳間レベル差の特徴が説明できると言える. また, 以上のことから, 両耳間レベル差は, 聴取者の身体特徴量として頭部の大きさおよび耳の位置との関連が強いことも示唆された.

(B) 音場の音響特性も考慮した個人性の補正

上記(A)のテーマは, 音響無響室において測定した頭部伝達関数に関するものであり, 純粋にヒトの音像知覚の特性に着目したものであった. ただし, 音響伝達関数は部屋の形状や壁の材質によっても影響を受けるものであるため, 実用的な高臨場感音響システムの実現するためには, 頭部伝達関数の個人性に加えて原音場の響きといった音響特性を考慮することも重要である. 一般に, 高臨場感音響通信のためには, 送信側の音場において音の空間情報を含む録音が行われる. その録音には, ヒトの音響特性を近似したダミーヘッドと呼ばれる等身大の人形の両耳に設置したマイクロホンを用いる. ところが, 受信側にいる聴取者の音響特性は, ダミーヘッドの特性と異なる. そこで, 再生に先立って, その個人差を補正する必要がある. 本プロジェクトでは, 反射音の少ない音場で測定された伝達関数に反射音成分を付加することで, 響きの豊かな原音場において測定された伝達関数を模擬し, 個人性を補正する方法を提案した. 原音場におけるダミーヘッドを用いた録音については, 従来は補正特性算出のために鼓膜面および外耳道入口の 2 ヶ所で測定する必要があった. そこで, 外耳道伝達関数を導入し, 鼓膜面で測定された伝達関数から外耳道入口での伝達関数を近似する方法を提案した. 主観評価実験によって, 聴感上問題ない精度で原音場を模擬できることが示された. [成果資料(2), (3)]

ところで, 上記の個人性補正を実現するためには音源の方向ごとに異なる補正特性を用意する必要がある. しかし, 例えばオーケストラ演奏のように複数の音源が同時に存在する場合には, 音源方向ごとに異なった補正を行うことは現実的ではない. そこで, 音源が正面方向にある場合の補正特性が, 他の方向の補正に有効であるか主観評価実験を通じて検討を行った. 音像定位の前後誤り率の改善に着目して実験データを分析したところ, 少なくとも正面方向で開き角 30 度の範囲では正面方向の補正が有効であることが示された. 例えばサントリーホールでは, 最も良い聴取位置といわれている 2 階最前列中央の席からステージを見込む角度が約 30 度であることから, 正面方向の補正をオーケストラ演奏の補正に利用できる可能性を示した. (この成果は, 日本音響学会 2008 年秋季研究発表会にて発表する予定である.)

（３－２）波及効果と発展性など

本研究プロジェクトの実施により, プロジェクトメンバー間の交流が継続的に発展した. そして, 2 年間のプロジェクトの成果により, 頭部伝達関数の個人差までを考慮することで所望の位置から音が聞こえるようにするため基礎検討が終了した. その成果は, 世界最大規模の音響学会である米国音響学会が刊行する学術雑誌において公表したので, 世界に向けての周知がなされたと考えている. 成果をさらに発展させ, 拡張現実感システム構築を構築するために, 科学技術振興機構によるシーズ発掘試験研究に申請中である.

［4］成果資料

(1) K. Watanabe, K. Ozawa, Y. Iwaya, Y. Suzuki, and K. Aso, “Estimation of interaural level difference based on anthropometry and its effect on sound localizatoin,” J. Acoustical Society of America, Vol. 122(5), pp. 2832-2841 (2007).

(2) K. Watanabe, M. Itokazu, and K. Ozawa, “Individual equalization in binaural reproduction for a reverberant sound field,” Proceedings of the Japan-China Joint Conference on Acoustics, #P-1-3 (6 pages on CD-ROM) (2007).

(3) 渡邉貫治, 糸数真, 小澤賢司, “補正項の周波数特性に関する一考察 ― バイノーラル個人性補正のための原音場における補正特性の模擬 (第 3 報),” 音響学会講演集 2007 年 9 月, pp. 803-804 (2007).

課題番号　H18／A12

採択回数　1　(2)　3

新規非鉛系環境調和型圧電・光学単結晶の育成と超音波マイクロスペクトロスコピー

［1］組織
代表者：櫛引　淳一
（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：安達　正利（富山県立大学工学部）
研究費：物件費 21 万 6 千円、旅費 32 万円

［2］研究経過

本代表研究者らは、物質・材料表面の音響特性を非接触的・非破壊的に定量計測できる直線集束ビーム（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」に関する基礎研究および応用開発研究を進めている。現在、電子部品として有用で、広く実用化されている圧電セラミクスは Pb 系ペロフスカイト型強誘電体 $Pb(Zr, Ti)O_3$ である。しかし、有害性が指摘されている酸化鉛を主成分として多量に含んでいる。鉛は健康や環境に悪影響を与える恐れがあるため欧州を中心に規制の対象になりつつある。このような状況から、現在の Pb 系圧電セラミクスの性能に匹敵し、代替可能な非鉛系圧電材料の研究開発が急務かつ必要不可欠となっている。

本研究の目的は、環境に優しい非鉛系高結合圧電・光学単結晶材料の探索と新規 $(K, Na, Li)(Nb, Ta)O_3$ 系等の非鉛酸化物圧電単結晶の創製・実用化研究であり、東北大学と富山県立大学の共同研究である。

本プロジェクトは、本年度が第２年度であった。前年度は、$(K, Na, Li)NbO_3$ 単結晶を Top-Seeded Solution Growth (TSSG) 法を用い、良質な単結晶の育成を行い、育成した単結晶の評価を行った。また、新しい２段階焼結法による大誘電率・高圧電定数をもつ $BaTiO_3$ セラミクスの作成を行った。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、$(K, Na, Li)(Nb, Ta)O_3$ 系圧電単結晶の K、Li、Na の適当な組成により、高結合でかつ、分域制御が容易な新規圧電単結晶の創製が実現できる可能性があるのでこの結晶に関する研究を展開した。更に、$BaTiO_3$ セラミクスはポアソン比 0.38 と大きい値を示す。この異常な弾性的・圧電的性質を共振法、グレンサイズ、ドメイン構造等で解明する。また、SAW 用の新規圧電単結晶基板についても研究を展開した。

打合せ、実験及び討論：

(1) 平成 20 年 1 月 23 日～25 日：教授　安達　正利(富山県立大学)
(2) 平成 20 年 1 月 23 日～26 日：准教授　唐木　智明（富山県立大学）
(3) 平成 20 年 2 月 4 日～7 日：教授　安達　正利（富山県立大学）
(4) 平成 20 年 3 月 12 日～15 日：教授　安達　正利（富山県立大学）

研究発表：

(1) 平成 19 年 5 月 10 日：安達　正利教授（富山県立大学）、「強誘電体 $Bi_4Ti_3O_{12}$ ナノ粉末と厚膜の作製」、日本学術振興会弾性波素子技術第 150 委員会 101 回研究会資料、H19 年 5 月 10 日、弘済会館、東京。
(2) 平成 19 年 5 月 23-26 日：安達　正利教授（富山県大）、「インクジェット法による $(1-x)(Ba, Sr)TiO_3$-$xMgTiO_3$ 厚膜の作製」、第 24 回強誘電体応用会議講演予稿集 pp. 1-2、5. 23-26、2007、京都
(3) 平成 19 年 5 月 23-26 日：唐木　智明准教授、安達　正利教授(富山県大)、「2 段階焼結したチタン酸バリウム圧電セラミクス」、第 24 回強誘電体応用会議講演予稿集 pp. 35-36、5. 23-26、2007、京都
(4) 平成 19 年 5 月 23–26 日：唐木　智明准教授、安達　正利教授（富山県大）、「$Ca_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$-$Li_{0.5}Nd_{0.5}TiO_3$ セラミックスのマイクロ波誘電特性」、第 24 回強誘電体応用会議講演予稿集 pp. 135-136、5. 23-26、2007、京都
(5) 平成 19 年 5 月 27–31 日：安達　正利教授、

唐木　智明准教授（富山県大）、“Growth of Potassium Sodium Lithiun Niobate-Tantalate Single crystals for piezoelectric applications”、2007 IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics、 May 27-31、2007、 Nara

(6) 平成19年7月31日-8月3日：安達　正利教授、唐木　智明准教授（富山県大）、(Invited)、“Lead-Free Piezoeletric $BaTiO_3$ ceramics with Large Dielectric and Piezoelectric Constants Manufactured from Nano-Powders”、 ABS-045、p. 33、International Conference on Electroceramics (ICE 2007)、 July 31-Aug. 3、 2007、 Ngurdoto Mountain Lodge Arusha、 Tanzania

(7) 平成19年11月4-7日：安達　正利教授、唐木　智明准教授（富山県大）、“Growth of Potassium Sodium Lithium Niobate-Tantalate Single Crystals for Piezoelectric Applications”、 The 13th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics、6a-M-C13、 Nov. 4-7、 2007、 Awaji Island、Hyogo、 Japan.

(8) 平成20年1月24-25日：安達　正利教授、唐木　智明准教授（富山県大）「高性能チタン酸バリウム圧電セラミクス」圧電材料・デバイスシンポジウム2008、A-4、 1.24-25、仙台

［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、$(K_{0.96-x}Na_xLi_{0.04})(Nb_{0.90}Ta_{0.10})O_3$ を作製した。そして、その試料を熱分析装置を用いて融点、凝固点を測定した。作製した相図を下記に示す。この相図より、$(K_{0.46}Na_{0.50}Li_{0.04})(Nb_{0.90}Ta_{0.10})O_3$ 付近の組成の単結晶を得るためには、$(K_{0.89}Na_{0.07}Li_{0.04})(Nb_{0.90}Ta_{0.10})O_3$ 付近の組成の出発原料を用意し、引き上げ法で育成すればよい。

次にTaを加えると、その量に応じて2つの相転移温度（立方-正方、正方-斜方晶系が下がるので、室温でも正方晶になり、相転移によるひび割れの心配はなく

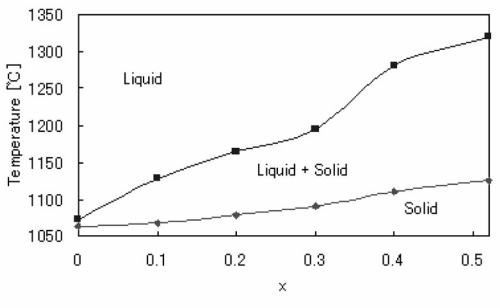


図1　$(K_{0.96-x}Na_xLi_{0.04})(Nb_{0.90}Ta_{0.10})O_3$ の相図

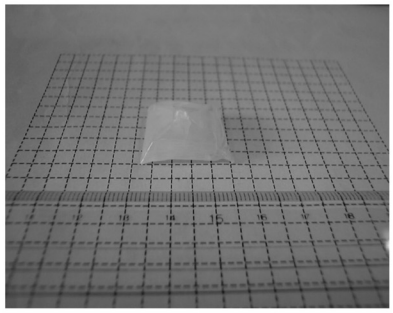


図2　$K(Nb_{0.8}Ta_{0.2})O_3$ 単結晶

なり、単分域化処理も容易に行える上、誘電率も大きくなる。そのため、$KNbO_3$ にTaを加えた、$K(Nb,Ta)O_3$ 溶液からTSSG（Top-Seeded Solution Growth）法により、KTN単結晶を育成し、その特性を評価した。育成条件は、結晶回転速度を20 rpm、冷却時間を84 hourとした。育成したKTN単結晶を図2に示す。完全にクラックがなく、透明な部分が見られるような結晶を作ることが容易でなかったが、形もよく大きな結晶を作ることができた。酸素雰囲気中でKTN結晶の黒い部分（酸素欠陥）が消えた。育成された結晶は、ペロブスカイト構造であることがわかった。組成分析を行った結果、ほぼ $K(Nb_{0.8}Ta_{0.2})O_3$ である。

第2に、抵抗加熱二段階焼結法を用いて、水熱合成で作製された100 nmのBT粉末（堺化学工業製BT-01）から高性能な非鉛系チタン酸バリウム圧電セラミックスを作製した。最も性能的に良いのは、T1=1320℃、T2=1150℃、t2=15 hの試料である。その性能は ε_{33}^{T}=5000、k_p=42%、k_{31}=25%、d_{31}=−185 pC/N、d_{33}=460 pC/N、Q_m=100 である。この焼結法は低コストで量産性があり、室温での非鉛系圧電セラミックスの実用が可能となった。材料のポアソン比を求めるために、異なる厚径比の試料を使用し、そのコンダクタンス周波数特性を測った（図3に示す）。試料1はϕ=9.78、t=1.04mm、t/ϕ=0.1063、f_1=248.75、f_2=628.15、f_3=957.25kHz であり、試料2はϕ=9.76、t=0.33mm、t/ϕ=0.0338、f_1=254.65、f_2=654.60、f_3=1036.75kHz である。径方向振動の共振周波数と厚みの関係に関する式を用いて、コンダクタンスがピークになる共振周波数の比 f_2/f_1 と f_3/f_1 と厚径比 t/ϕ から数値計算によりポアソン比＝0.385を求めた。大きなポアソン比は材料の軟らかさを示し、圧電特性に関係している。しかし、BTの抗電界が115V/mmと低いことは、振動子として使用する場合に脱分極の恐れがあり、また大きな周波数温度係数も実用の支障になりかねない。それらの原因は室温付近に斜方晶系から正方晶系への相転移が存在することによると考えられる。

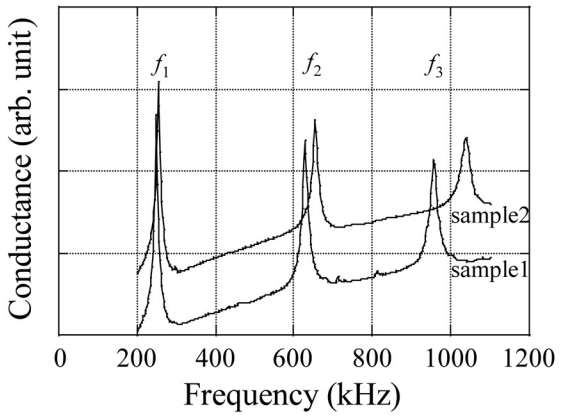


図３．コンダクタンス周波数特性

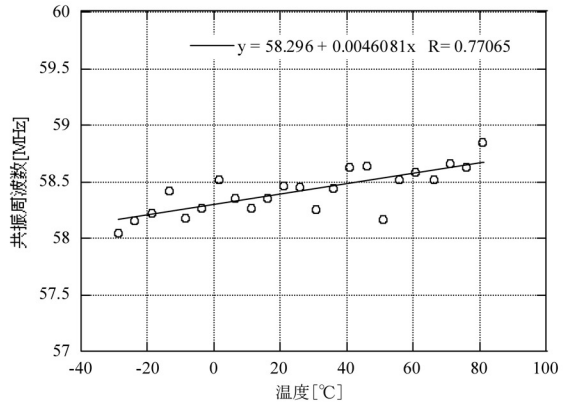


図４　XカットCNGS単結晶の周波数温度係数

第３に、$Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$（CNGS）の表面弾性波特性を測定した。用いたIDT電極は、電極幅13μm、間隔13μmである。試験器の温度を-30℃～80℃に徐々に上げていき約5℃ごとに温度計の温度とインピーダンスアナライザで得られた周波数特性を記録する。得られた波形を処理して共振周波数を読み取り、縦軸に共振周波数を、横軸に温度をとりグラフを作成(図4)した。得られたグラフの近似直線の傾きから*TCF*を求める。この図より周波数温度係数は79.0ppm/℃と求められた。

（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」と圧電共振・反共振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、正確な材料定数測定法の融合など、今後の発展が期待される。

［４］成果資料

(1) Tomoaki Karaki, Kang Yan, Toshiyuki Miyamoto and Masatoshi Adachi, "Lead-Free Piezoelectric Ceramics with Large Dielectric and Piezoelectric Constants Manufactured from $BaTiO_3$ Nano-Powder", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 4, 2007, pp. L97-L98.

(2) Tomoaki Karaki, Kang Yan and Masatoshi Adachi, "$BaTiO_3$ Piezoelectric Ceramics Manufactured using Two-Step Sintering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 10B, 2007, pp. 7035-7038.

(3) M. Furuhata, A. Yajima, K. Goto, H. Sato, T. Funasaka, S. Kawano, S. Fujii, T. Higuchi, M. Ueno, T. Karaki and M. Adachi, "Development of Monolithic CMOS-SAW Oscillator", 3rd International Symposium on Acoustic Wave Devices for Future Mobil Communication Systems, March 6-8, 2007, Keyaki Hall, Chiba University, Japan.

(4) Masatoshi Adachi, Yoshiki Norimatsu, Masashi Fujioka and Tomoaki Karaki, "Growth of Potassium Sodium Lithiun Niobate-Tantalate Single Crystals for Piezoelectric Applications", Proceedings of the 2007 16th IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, pp. 589-591, Nara-Ken New Public Hall, Nara city, Japan May 27-31, 2007

(5) M. Adachi, Y. Norimatsu, M. Fujioka, T. Takeuchi and T. Karaki, "Growth of Potassium Sodium Lithium Niobate-Tantalate Single Crystals for Piezoelectric Applications", Extended Abstracts of the 13th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, 6a-M-C13, pp. 216-219, Nov. 4-7, 2007, Awaji Island, Hyogo, Japan.

(6) Tadashi Fujii, Hiroaki Matsunaga, and Masatoshi Adachi, "Micropatterning of Ferroelectric Thin Films by Electron-Beam-Induced Reaction Process", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 1, 2008, pp. 647-648.

(7) Masatoshi Adachi, Takenori Takeuchi and Tomoaki Karaki, "Growth of Potassium Lithium Niobate-Tantalate Single Crystal for Piezoelectric Applications", Extended Abstracts and Proceedings of 17th International Symposium on the Applications of Ferroelectrics. PI024, pp. 42-43, Feb. 25-27, 2008, Santa Fe, New Mexico, USA.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A13

採択回数	1	(2)	3

視覚情報の脳内表現に関する研究

［1］組織

代表者：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）
酒井　宏（筑波大学）
小川　正：（京都大学）
川上　進：（東北大学）
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）
西田眞也：（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
一川　誠：（千葉大学）

研究費：物件費24万1千円，旅費33万2千円

［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。これまで多くの研究によりその脳機能に関する生理学的なメカニズムの理解やモデル化が進んでいるが，全体の理解にはほど遠い。現在，生理学，心理学，工学を始め様々な取り組みがあるが，将来的な方向性を示す指標が必要であると考える。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，その脳における表現様式について，問題点の整理，研究手法の検討，応用的展開についての議論および予備的研究を行うことを目的とする。

本プロジェクトは，2年目であり、18年度で検討した比較的長期的課題を基礎におき、具体的テーマとして運動視知覚の統合過程についてと、視覚的注意の諸特性について議論し、それぞれの将来的発展について検討することを目標とした。以下，研究活動状況の概要を記す。

平成１９年７月２３～７月２５日
　2007年日本視覚学会夏季大会にて研究打ち合わせ
　研究代表者，塩入および分担者内川が，研究テーマとその進め方について意見交換，議論した。

平成１９年１０月２６日～２７日
　研究打ち合わせ
研究分担者酒井、川上、村上、西田、宇賀が来所し，運動視の統合過程に関する諸問題について将来の方向性を含めて、検討、議論した。

平成１９年１２月４日～１２月６日
研究分担者内川、小川、河原、一川が来所し，視覚的注意の特性に関する諸問題について将来の方向性を含めて、検討、議論した。

平成２０年１月２３日～１月２５日
　研究打ち合わせ
日本視覚学会2008年冬季大会にて研究打ち合わせ
塩入と内川が，次年度の活動について議論した

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，運動視と視覚的注意の問題を検討し、以下に示す研究成果を得た。

運動視について関しては以下の点について検討した。

運動視への色と輝度の影響の違いについては、多くの研究があるが、眼球運動にともなう不正確な運動知覚に対しても、その色と輝度の違いは網膜像の運動刺激で説明できる。眼球運動の運動知覚の影響の大きな要因として、網膜像の変化をあげることができる。

運動視に特化した視覚野のニューロン活動は、その受容野の特性で表現されるが、受容野が条件によって変化する可能性がある。この受容野の変化をどのように理解するかは、従来の静的な受容野で考えられない特性を表現することになるため、運動視に限らず視覚処理において重要な意味を持つ。

両眼に時間差をあたえて刺激を呈示した場合には、視差の持つ奥行き情報と時間差の持つ運動情報が混在する刺激となる。視覚処理過程において、時間差の検出過程である運動検出器と視差の検出過程である視差検出器を共通なメカニズムで考える必要性を意味し、情報統合過程の一つの形態としてとらえることができる。

運動情報の統合過程としては様々なものが考えられるが、異なる方位や空間周波数については、物体の部分的な動き情報から全体の動きを推定する意味で重要である。その統合過程を理解するための実験的事実が蓄積されつつあるが、それらを統合できる理論がない。特にフィードバック過程の役割について明らかにすることは運動情報の統合メカニズムの理解にとって不可欠な問題である。

運動検出器として一般には重要視されていない、遅い運動の検出過程の重要性が示されている。相対運動の検出、大域運動の検出など運動情報の統合にはむしろ遅い運動の処理過程が関連している可能性が指摘され、環境から得る運動信号の特性との対応から調査の重要性が認識された。

視覚的注意に関しては以下の点について検討した。

後頭頂連合野のニューロン活動に関する生理学的知見から部位によって注意の効果がことなり、その注意の制御メカニズムの漠然とした全体像が得られつつあることをふまえ、モデル化も見据えた今後の方向性を検討した。

運動対象に対する注意の効果が、静止対象に対する場合とことなる新しい知見の報告を元に、運動対象への注意という研究の重要性を認識をした。

自分自身の注意に対する主観的な判断と実際の注意能力の差異を検討することの重要性を確認した。

注意を誘導する視覚刺激として色と明暗要因について比較すると、異なる結果が得られることを考慮し、視覚的注意の分析的研究として初期視覚過程の特性を十分理解することの重要性を確認した。

注意の広がりについての研究の重要性を確認して、その研究手法について検討した。

明らかになった問題点に関して、どのように検討するかについての議論も行った。生理学、心理学、計算機モデル、脳計測、障害者の知見を組み合わせた研究で質の高い成果が上げられている。そのような研究は必ずしも多くなく、積極的な連携が必要であるが、そのためには問題意識を共有する必要がある。さらに将来的には、遺伝子分析や脳について薬理的研究との対応も視野に入れることの必要性も議論された。

さらに注意過程を理解する上での重要点として、注意の効果が処理の促進にあるのか選択にあるのかを明確化、空間的な注意と画像特徴や意味特徴の注意の分離、注意の分布の機能的意味などの考慮があげられ今後の研究方向、研究方法について認識の共通化がなされた。

１８年度の共同研究の議論をもとに、研究テーマとしては、運動視と視覚的注意に絞った検討を行ったが、それぞれのテーマについては、１８年度で得た以下の結論の有効性も確認した。

重大ではあるが取り組み方の不明なテーマにチャレンジするために、多くの情報交換の場をもうける必要がある。

複雑な現象に対しては、モデルを通して検討すること

が有効であるため、共有できるモデルの研究が必要である。
基礎的な実験から未知の分野に展開できる研究方法として、単純な実験刺激に対する結果を新規な次元で検討するという方法を確立することが有効である。
感性工学などとの連携を進めることも重要である。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより学内外研究者と学際的交流をすることができ、複数の視点から視覚研究について議論することができた点が特に有益であった。その結果は、２０年度のプロジェクトにつながり、さらに広い範囲の研究者との交流を実現する予定である。また感性工学的発展についての議論から、国際感性工学会における視覚のセッションを実現することができた。これによって、視覚研究の学際性を高めより広い範囲からみた研究の重要性や汎用性などについての検討ができることを期待できる。

それらの活動を通して、脳研究の中での視覚研究の位置づけを明らかにして、新しい脳のモデルやそれに基づく情報表現装置などへの展開も今後の方向性としてあげられる。

［４］成果資料

本プロジェクトは、短期間でなんらかの研究成果をあげることを目標としていないため、ここにあげる成果はとくになし。

課題番号　H19／A01

採択回数	①　2　3

超高周波対応磁性ナノ粒子分散型磁性誘電材料に関する研究

［1］組織

代表者：高橋　研
（東北大学未来科学技術共同研究センター）
対応者：長 康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
小川 智之（東北大学特定領域研究推進支援センター）
河野 健二（太陽誘電株式会社）

研究費：物件費２３万９千円，旅費８万１千円

［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。）

大容量の情報が瞬時にやりとりされるユビキタスネットワーク社会において、ブロードバンドに対応した低消費電力の小型通信機器・メモリデバイスは必要不可欠である。特に、無線 LAN 規格の 5GHz、W-CDMA の 2GHz、ウルトラワイドバンド規格 3.1GHz～10.6GHz などの超高周波帯域に対応した、超低消費電力型内部回路や小型アンテナなどの高周波駆動電子デバイスの開発が急務とされている。これら電子デバイスでは、従来、デバイスを構成している材料の誘電率やデバイス形状のみに着目してデバイス特性の制御を行ってきたが、材料の誘電率やデバイス形状の制御のみでは特性向上に限界が指摘されている。本申請研究では、化学合成技術を基盤として高周波計測技術ならびに電子デバイス技術との融合により、従来にない新たな磁性体／誘電体複合材料と高周波デバイスの実現を目的としている。

上記で述べた高周波デバイスを実現するために必要な透磁率を達成するため、磁性ナノ粒子の粒径は Fe および FeCo 合金の場合 10 nm 以下と得られている。また、低損失かつ高透磁率を得るため、平均粒径に対する粒径分散値（粒径のばらつき）は少なくとも 20%以下が必要である。本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。初年度では、Fe ナノ粒子を中心に平均粒径 10 nm 以下および粒径分散 20%以下を目標値とした均一粒径合成手法の確立を目指した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

磁性ナノ粒子複合材料を用いたデバイス応用例として磁性光学結晶などの磁気光学デバイスが挙げられる。本年度、磁性ナノ粒子の合成方法ならびにその薄膜化を中心とした複合化技術の意見交換の場として、磁気物理ならびに磁気工学分野において第一線で活躍されている慶應義塾大学佐藤徹哉教授を招き、以下の要領で研究打ち合わせを行った。

日　　時: 平成 20 年 2 月 25 日(月)　13:30～15:00
場　　所: 東北大学工学部電子情報システム・応物系 2 号館 2 階 204 室
講演者 : 佐藤徹哉 教授（慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科）
講演題目：磁性光学結晶の磁気光学効果とその周辺の話題

教職員、研究員および学生を中心として 15 名程度が本研究打ち合わせに参加し、水溶系溶媒における磁性ナノ粒子の合成方法ならびにその薄膜化を中心とした複合化プロセスを適用し、ナノ粒子分散型 1 次元磁気光学結晶の作製方法の詳細について意見交換を行った。また、磁性ナノ粒子光学波長領域における磁性ナノ粒子の電磁場応答ならびに応答特性の複合化の影響に関して意見交換を行なった。

［3］成果

（3－1）研究成果

① 超常磁性ナノ粒子の動的磁気特性の理論的検討

磁性ナノ粒子を用いたＧHz 帯域対応高周波デバイスを念頭とした場合、高透磁率化を実現するための高飽和磁化材料を用い、動作周波数限界となる磁気共鳴周波数をＧHz 帯域まで高めることが重要となる。これに対し、高飽和磁化材料として Fe を選択し、高共鳴周波数化実現のために超常磁性状態を

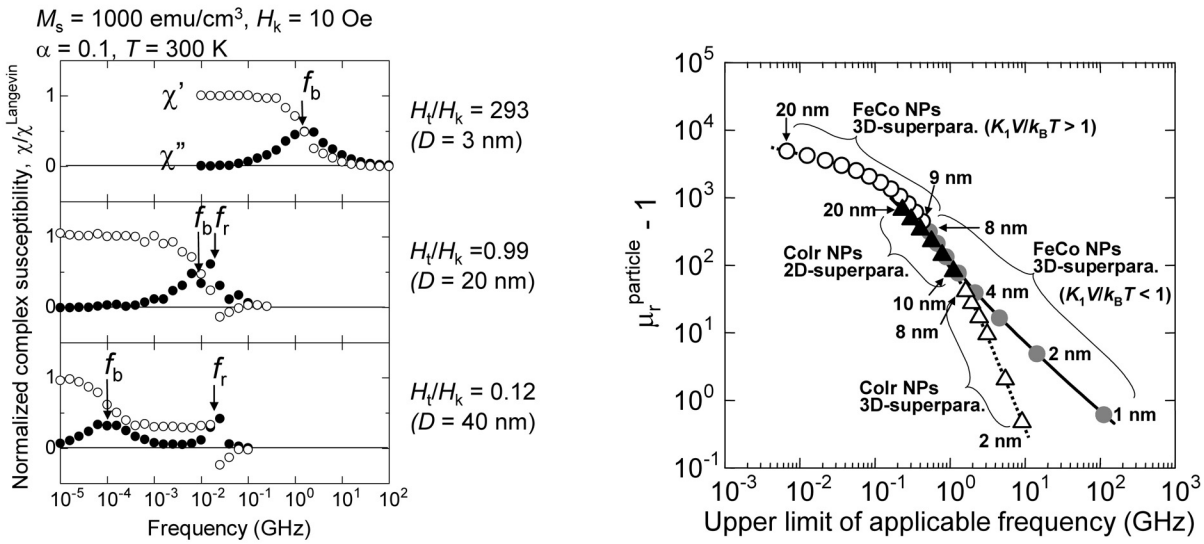


図.1 様々な粒径を有する超常磁性ナノ粒子集合体における複素磁化率スペクトルの計算結果（左図）および超常磁性ナノ粒子の透磁率と共鳴周波数との関係（右図）.

適用することを提案してきた。特に、高共鳴周波数化に関して数値計算手法（Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式 : LLG 方程式）を用いて詳細に検討した。その結果、共鳴周波数はナノ粒子の粒径に強く依存し、粒径の減少とともにナノ粒子の透磁率は減少するものの高周波化することが分かった（図.1 参照）。例えば、$Fe_{70}Co_{30}$ ナノ粒子集合体では、3～4 nm の粒径で適用限界周波数を 2.2 ～ 4.6 GHz で維持しつつ $\mu_r^{particle}$ = 17～40 程度の透磁率を示す。さらに、1 nm まで粒径を小さくすると、透磁率は $\mu_r^{particle}$ = 1.6 と小さいもののその適用限界周波数は 114 GHz まで高めることが可能となることを見出した。また、ナノ粒子の粒径分散値（粒径ばらつき）が大きい場合には共鳴周波数の分散が大きくなるため、高周波帯域までの動作が望めなくなる。つまり、Fe ナノ粒子の均一粒径化が必須となることも見出した。以上の理論的検討から、高周波デバイスに対応したナノ粒子では、粒径 10nm 以下で精密制御することが必要不可欠であることが分かる。

②Fe ナノ粒子の粒径制御技術

Fe ナノ粒子は、i) Fe イオンを還元する還元法と ii)Fe カルボニルを熱分解する熱分解法の二通りを用いて合成することで得た。i)では、フラスコ中に塩化鉄などの Fe 原材料、種々の界面活性剤および還元剤を溶媒中で混合し、マントルヒーターを用いて 200℃～290℃まで加熱し、60 分～120 分間保持した後、徐冷する。ii)では、フラスコ中に Fe ペンタカルボニル、種々の界面活性剤および種々の還元剤を溶媒中で混合し、マントルヒーターを用いて 150℃～225℃まで加熱し、1 分～120 分間保持した後、徐冷する。また、Fe ナノ粒子の合成は水分および酸素濃度 1~10 ppm 程度以下のグローブボックス内で行った。

Fe ナノ粒子の粒径制御は合成手法によって異なる。還元法では、200 ℃の反応温度において Fe 原材料と界面活性剤のモル比および反応時間を精密制御することにより、Fe ナノ粒子粒径を図 2 に示すように 3nm～15nm まで制御することに成功した。一方、熱分解法では、反応温度 180℃および反応時間 60 分において Fe カルボニル／界面活性剤のモル比率よりもむしろ Fe カルボニル／溶媒量の比率が粒径制御に強く影響し、その比率を精密制御することにより 3.5nm～11.3nm 程度まで粒径を制御することに成功した。溶液中のナノ粒子の生成過程は、一般に、反応初期の核生成過程と核の周囲に原子が付着する粒子成長過程の二つの過程で構成されていることが知られている。特に、界面活性剤の増大は粒子成長過程を抑制する効果があることが指摘されている。よって、還元法と熱分解法で粒径制御の合成パラメータが異なることは、二つの合成法で粒子成長過程が異なることを意味している。また、図 2 に示す電子顕微鏡（TEM）像の結果から、粒径分散値は還元法では粒径によらず 15～20%程度であり、一方、熱分解法では 5%～11%以下となることが分かり、熱分解法で合成した方が粒径の均一性に優れていることが分かる。熱分解法では Fe 原子の析出および粒子生成までの反応が非常に速く、均一粒径のナノ粒子が形成されることが知られている。この結果は、還元法と熱分解法のそれぞれの合成法において、核生成過程と粒子成長過程の反応ダイナミクスの時間ス

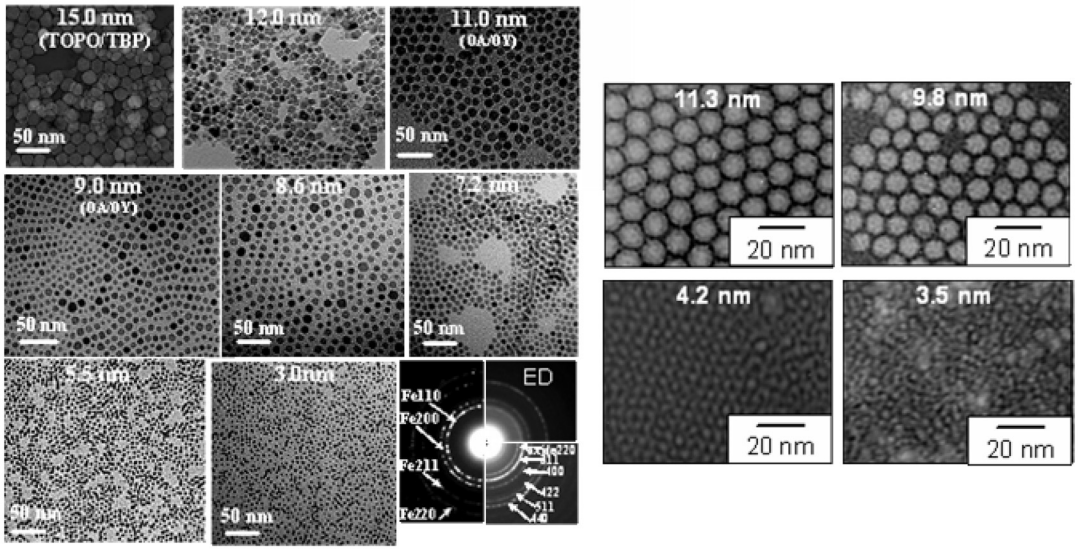


図.2 還元法（左図）および熱分解法（右図）で合成したFeナノ粒子のTEM像.

ケールが大きく異なることを意味している。よって、精密な粒径および粒径分散制御を行うためには各合成法において核生成過程と粒子成長過程の反応ダイナミクスの把握が重要となる。

（３－２）波及効果と発展性など

本年度、本プロジェクトで得られた3d遷移金属ナノ粒子の粒径制御技術は、磁性体における表面磁性やサイズ効果などスピンナノ構造体に本質的な磁気物性を解明する上で重要な要素技術である。本要素技術とナノ計測技術との融合により、ナノ粒子磁性という新たな学術研究領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待される。また、本プロジェクトは、有機金属錯体やポリマーを中心とした有機化学、合成技術や複合化技術を担う化学工学、磁気物理や材料物性を中心とした磁気物性工学、および電子デイバスを担う電子・電気工学などで構成される異分野融合型・領域横断型の新しい研究領域・学術領域となり得る可能性を秘めている。本プロジェクトの将来に渡る積極的かつ継続的な取り組みにより、ナノ粒子ハイブリッド材料や超低消費電力かつ超高周波帯域対応デバイスなど従来にない新たな材料産業・電子デバイス産業の創出が期待される。

［４］成果資料

(1) “Magnetic Fe nanoparticles inserted into single-walled carbon nanotubes”, Y. Li, T. Kaneko, T. Ogawa, M. Takahashi and R. Hatakeyama, *Chemical Communications*, 254-256 (2007).

(2) “Facile large-scale synthesis of monodisperse Fe nanoparticles by modest-temperature decomposition of $Fe(CO)_5$” , H. Yang, F. Ito, D. Hasegawa, T. Ogawa, and M. Takahashi, *Journal of Applied Physics* **101**, 09J112-1-09J112-3 (2007).

(3) “Synthesis and Magnetic Properties of Size Controlled Soft Magnetic $Co_{1-x}Ir_x$ Alloy Nanoparticles for High Frequency Applications”, C. N. Chinnasamy, T. Ogawa, D. Hasegawa, H. T. Yang, S. D. Yoon, V. G. Harris, and M. Takahashi, *IEEE Trans. Magn.* **43**(6), 3112-3114 (2007).

(4) “Shape-controlled synthesis of Fe nanoparticles with high-Ms via modest-temperature reduction methods”, H. Yang, T. Ogawa, D. Hasegawa, and M. Takahashi, *physica status solidi A* **204** No. 12, 4013-4016 (2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A02

採択回数	① 2 3

ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究

［1］組織

代表者：上田　浩
(群馬大学総合情報メディアセンター)
対応者：岩谷　幸雄
(東北大学電気通信研究所)
分担者：
木下　哲男(東北大学情報シナジー機構)
久米原 栄(群馬大学総合情報メディアセンター)
奈須野　裕(苫小牧工業高等専門学校)
玉本 英夫 (秋田大学工学資源学部)
五十嵐　隆治 (秋田大学工学資源学部)
横山 洋之 (秋田大学工学資源学部)
高橋　秋典 (秋田大学工学資源学部)
藤原 克哉 (秋田大学工学資源学部)
今野 将（東北大学大学院情報科学研究科)
打矢 隆弘 (名古屋工業大学情報基盤センター)

研究費：物件費 30 万 0 千円，旅費 48 万 2 千円

［2］研究経過

近年著しく発展し，またそのアプリケーションも多様化したインターネットの運用においてセキュリティの確保や帯域資源の有効活用はますます重要な課題となっている. VoIP, ストリーミング, ゲーム, Web 閲覧や DoS･DDoS 等の悪意あるトラフィックを含め多様なトラフィックが疎通し，また可用帯域が随時変化するインターネットにおいて，適切なネットワーク診断法を提供することは，管理者支援ないしは QoS 確保の観点から重要である.

1994 年以来，パケットトラフィックには自己相似性がある，より詳細には長期依存過程に従っているとの様々な報告がなされている． 自己相似性とは，”対象の持つ特徴が長さや時間などのスケール変換に対して不変である性質”と定義できる． これまで研究代表者らは東北大学電気通信研究所の基幹スイッチのトラフィックを観測し，そのパケットトラフィックに自己相似性が認められることに加え，ネットワーク状態の変化とトラフィックの自己相似パラメータの変化に相関が見られる場合があることを報告した．さらにネットワーク起因の自己相似性が見られることも報告した. この知見をさらに進め，自己相似パラメータによりネットワーク状態を同定できれば，冒頭に伸べた「適切なネットワーク診断法」の確立に寄与できるものと考える.

そこで本プロジェクトでは，得られた知見をさらに明確に示し，トラフィックの自己相似性の変化に着目したネットワーク状態の同定手法を確立することを目的として研究を行った．ただし，使用者のインターネット使用傾向とトラフィック特性との関連の把握には各機関におけるトラフィックデータの収集と解析が必要であり，データ収集に関する制約をクリアする，という問題が関わってくるため，今年度は各機関でのトラフィックデータ収集およびシミュレーションによる疑似トラフィック，公開されているトラフィックデータの解析結果に関し研究を展開した．エージェントによるネットワーク管理システム(AIR-NMS)への応用に関する検討も行った.

以下，研究活動状況の概要を記す．まず，今年度の方向性を確認するための打ち合わせを行った.

ネットワークトラフィック分析ツールのデモンストレーション：平成 19 年 9 月 21 日　10:30 〜，木下研究室実験室(参加者：木下，五十嵐，高橋，上田，奈須野，今野)

共同研究プロジェクトキックオフミーティング：平成 19 年 9 月 22 日　11:30 〜，電気通信研究所　2 号館 4F　中会議室(参加者：上田，打矢，奈須野，岩谷)

次いで，ディスカッションのために研究集会を開催した.

トラフィック工学研究会：平成 20 年 2 月 8 日(金)，　9 (土)，群馬大学 伊香保研修所(参加者:木下，久米原，岩谷，五十嵐，上田，奈須野)

さらに，今年度の成果をまとめるため研究発表会を開催した.

東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト「ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究」研究発表会:平成 20 年 3 月 7 日(金) 13:00--17:20，:東北大学電気通信研究所　2 号館 4F 大会議室 (参加者：上田，岩谷，木下，久米原，奈須野，五十嵐，高橋，今野，打矢，学生多数)

［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，実測トラフィックの収集と解析に関する成果であり，パケットトラフィックは従来のポアソンモデルではなく，自己相似過程，特に長期依存過程に従っている，と言われている．自己相似過程の程度を表すパラメータはハーストパラメータHで，Hの推定には複数の方法が提案されている．現在，我々はR/S解析によるH推定法を採用しているが，Hを用いたリアルタイムなトラフィック評価を意図する場合には，高速なR/S解析実行法の提案が必要である．関連発表のうちの1と2がこの検討結果を含んでいる．これらの検討の基盤となるのが相違するLAN間でのトラフィック特性の比較，User Patternによる特性の相違，観測タイムスケールによる特性の相違の把握である．規模の異なる期間におけるLANトラフィックデータ解析の結果，トラフィック量と観測タイムスケールとの関連での議論の必要性が改めて認識された．これらの成果を踏まえ，今年度は東北大学電気通信研究所に加え，苫小牧工業高等専門学校，群馬大学においても実測トラフィックデータの収集に関する体制整備を推進した([4] (1), (2), (3), (4)).

第2に，シミュレーションによるトラフィックのモデリングに関する成果を挙げる．実トラフィックの生成過程は単純ではない．まず理論的な2次の自己相似過程に従うランダム系列であるFGN（Fractional Gaussian Noise）系列にLS，Trend，Cycleを重畳させたシミュレーション系列を作り，R/S解析を適用してみた．加えてVoIPトラフィック，HTTPトラフィック，これらの重畳したものについて考察した([4] (2), (3), (10)). ネットワークにおけるTCP機構を考慮した場合，上のような数値シミュレーションのみでは実トラフィックの性質の模擬は不十分である．そこで我々はネットワークシミュレータNS-2を用いた同様のシミュレーションを行った．この結果，LANにおける結果と同様の現象を確認できた([4] (6), (8), (9), (11)). さらに，R/S解析で用いられるPox Diagramの形状に着目した解析を行った．実際，この観点からの我々の研究の結果，Pox Diagramの形状変化，特にその散布状況（Dispersion）の観測がLSやCycle重畳時のトラフィック特性同定には有用である，という結論が得られた([4] (10)). 次に，ネットワーク上に疎通するVoIPやゲーム，グリッドコンピューティング等のアプリケーションのサービス品質を確保することを念頭に置き，TCPとUDP，また，TCPとDCCP (Datagram Congestion Control Protocol)のフロー混在下におけるトラフィック疎通状況を，ネットワークシミュレータNS-2を用いて検討した．DCCPは，輻輳崩壊を防止しつつ種々のアプリケーションが疎通する環境を整えるために提案されたプロトコルで，TCP-likeまたはTCP-friendlyな動作をする．シミュレーションの結果，スループットのみからはUDPトラフィック流入時の変化点検出が困難なモードがあった．この場合であっても，自己相似パラメータであるハーストパラメータH，ならびにHの推定に用いるPox Diagramの散布傾向の経時変化からは，UDP流入タイミングの検知は可能であり，自己相似過程を考慮したトラフィック検討法の有用性を確認した([4] (8), (9), (10),).

第3に，能動的情報資源のアーキテクチャを取り入れたエージェントによるネットワーク管理システム(AIR-NMS)への応用に関する検討に関する成果を挙げる．AIR-NMSは，既にネットワークの運用管理に必要な経験的知識や情報資源が様々なツールやWebなどを用いて蓄積されていることに着目した運用管理支援システムである．今年度は，能動化された経験的知識や情報資源がネットワーク状況に適した運用管理知識を生成し提示することが可能となった([4] (11), (12), (13)).

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，複数の研究機関が連携しネットワークトラフィックデータ収集ならびに解析を進めている特色あるプロジェクトであり，今年度は5機関でシミュレーションと実測データの両面から共同で研究を進める体制が整い，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した．加えて国立情報学研究所の学術情報ネットワーク(SINET)研究グループとの交流へと発展することが期待されている．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([4])，若手研究者の育成への足掛りとなった．

本プロジェクトで明らかになったネットワーク状態検出の成果は，研究機関における基幹システムなど大規模分散システムのボトルネック検出手法やQoS制御手法への発展，とりわけ，AIR-NMSへの組込みによる，ネットワーク運用管理支援技術への応用が期待されている．さらに本応用は不均一な環境におけるエージェントの相互接続システムのモデルケースとなりうることから，多数のエージェントからなる大規模ソーシャルウェアに関する研究への発展が考えられる([4] (14), (15), (16)) .

［4］成果資料

(1) Hioshi Ueda, Yutaka Nasuno, Yukio Iwaya, Ryuji Igarashi and Tetsuo Kinoshita, "Modeling on LAN Traffic by Stochastic Process and Self-similarity", Proc. ITMPM2007, pp. 142--151 Kiryu, JAPAN September 22,23 (2007)

(2) R. Igarashi, A. Takahashi, H. Ueda, Y. Nasuno, Y. Iwaya, M. Sakata, and T. Kinoshita "A Proposal for Real Time Hurst Parameter Derivation",IEEJ Trans. EIS, Vol.127, No.6, pp.968-969, 2007.

(3) 高橋　秋典, 五十嵐　隆治, 上田　浩, 奈須野　裕, 岩谷　幸雄, 木下　哲男 : "オンラインネットワーク監視によるトラフィック異常検知", 電子情報通信学会技術研究報告 NS2007-65, Vol.107, No.221, pp.57-62, Sep. 2007.

(4) 長谷川 浩章, 高橋　秋典, 五十嵐　隆治 : R/S Pox-Diagram の特徴とトラフィックパラメータに関する研究, 平成 19 年度第回情報処理学会東北支部研究会, 資料番号 17, 2007.

(5) 斉藤　楽, 寺尾修二, 高橋　秋典, 五十嵐　隆治, 玉本英夫: ネットワークシミュレータ NS-2 を用いたスループット特性の研究, 平成 19 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2C-15, p112, (弘前, 8 月), 2007.

(6) 合田　徹, 五十嵐　隆治, 高橋　秋典, 岩谷　幸雄, 木下　哲男, 上田　浩, 奈須野　裕: ネットワークシミュレータを用いた VoIP トラフィック特性の検討, 平成 19 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2C-21, p118, (弘前, 8 月), 2007.

(7) 相河　浩之, 高橋　秋典, 五十嵐　隆治 : 疎通プロトコルとネットワーク規模に依存するトラフィック特性に関する研究, 平成 19 年度 情報処理学会東北支部研究会, 資料番号 14, 2007.

(8) 合田 徹, 高橋　秋典, 五十嵐　隆治, 岩谷　幸雄, 木下　哲男, 上田 浩, 奈須野　裕 : ネットワークシミュレータを用いた VoIP トラフィック特性の検討, 平成 19 年度第回情報処理学会東北支部研究会, 資料番号 15, 2007.

(9) 入江　若菜, 五十嵐　隆治, 高橋　秋典, 岩谷　幸雄, 木下　哲男, 上田　浩: 非定常性を付加したシミュレーショントラフィックにおけるハーストパラメータの変化, 平成 19 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2C-16, p113, (弘前, 8 月), 2007.

(10) 高橋　秋典, 五十嵐　隆治, 岩谷　幸雄, 木下　哲男 : R/S Pox Diagram におけるプロット形状に着目したトラフィック特性の解析, 平成 19 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2007 8/23-8/24, 於, 弘前大学], 2C-17, p114, (弘前, 8 月), 2007.

(11) Susumu Konno, Abar Sameera, Yukio Iwaya, Tetsuo Kinoshita, "Effectiveness of Autonomous Network Monitoring Based on Intelligent-Agent-Mediated Status Information", Proc. 20th Int. Conf. Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2007), LNAI4570, AAAI/ACM, pp.1078-1087, 2007.6.

(12) Susumu Konno, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, "Design of Agent-based Middleware for Extranet Management", Int. J. Computer Science and Network Security, Vol.7, No.6, pp.17-26, 2007.6.

(13) Sameera Abar, Susumu Konno, Tetsuo Kinoshita, "Autonomous Network Monitoring System based on Agent-mediated Network Information", Int. J. Computer Science and Network Security, Vol.8, No.2, pp.326-333, 2008.2.

(14) Takahiro Uchiya, Takahide Maemura, Hideki Hara and Tetsuo Kinoshita: Interactive Design Method of Agent System for Symbiotic Computing, Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Cognitive Informatics, pp312-320, 2007.

(15) Takahiro Uchiya, Takahide Maemura, Xiaolu Li and Tetsuo Kinoshita: Design and Implementation of Interactive Design Environment of Agent System, Proceedings of 20th International Conference on Industrial, Engineering, and Other Applications of Applied Intelligent Systems, pp.1088-1097, 2007.

(16) Takahiro Uchiya, Xiaolu Li, Takahide Maemura, Tetsuo Kinoshita: Design and Implementation of Agent Interoperability Mechanism among Heterogeneous Agent Platforms, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム JAWS2007 講演論文集, 2007.

課題番号　H19／A03

採択回数	① 2 3

高次スピン機能材料の理論設計と創製

［1］組織

代表者：木村　昭夫
（広島大学 理学研究科）
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）
山本　眞史（北海道大学情報科学研究科）
高橋有紀子（物質・材料研究機構）
小田　竜樹（金沢大学 自然科学研究科）
辻川　雅人（金沢大学 自然科学研究科）
崔　　芸涛
（広島大学 放射光科学研究センター）
叶　　茂（広島大学 理学研究科）
宮本　幸治（広島大学 理学研究科）

研究費：物件費２８万２千円，旅費３５万２千円

［2］研究経過

近年盛んに研究されているスピントロニクス分野において，高いスピン偏極率を有する強磁性材料はトンネル磁気抵抗素子の高性能化などに不可欠な材料である。ホイスラー合金は，構成元素の組合せにより高スピン偏極強磁性材料の他，高効率熱電変換材料や巨大磁歪材料としての機能を発現することが知られている。本プロジェクトでは，複数の有用な機能が備わった新しいホイスラー合金を理論設計すると共に，実際に材料を試作し，その物性や電子構造を実験的に検証することによって，新規な高次スピン機能を発現する磁性材料の創製を目指した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度は，兼ねてから申請準備を重ねてきた文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「スピン流の創出と制御」が発足し，その計画研究として，「ハーフメタル系材料を用いた高効率スピン源の探索と創出」（研究代表者：山本眞史），「高スピン偏極材料のナノ構造解析とスピン偏極率測定」（研究代表者：高橋有紀子），「高効率スピン源の理論設計」（研究代表者：白井正文）が採択された。そこで，上記３研究グループ間の共同研究は特定領域研究により推進することとし，本年度の共同プロジェクト研究では，広島大学，東北学院大学，金沢大学，東北大学の研究グループを主体として共同研究を実施した。

東北大学と金沢大学において第一原理計算に基づいた高次スピン機能を発現するホイスラー合金と表面ナノ構造の理論設計を行った。東北学院大学では新規ホイスラー合金のバルク試料の作製ならびに結晶構造・磁性・電気伝導・熱電特性などの基礎物性の測定を実施した。また，広島大学放射光科学研究センターおよび大型放射光施設において，軟Ｘ線から硬Ｘ線領域の放射光で励起した高分解能光電子分光法により試料の電子構造を評価すると共に，内殻吸収磁気円二色性分光を用いて材料中の元素ごとの磁気モーメントの評価を実施した。

平成１９年１２月１３日に東北大学電気通信研究所において，各研究グループで得られた研究成果を持ち寄り，研究の現状報告ならびに今後の共同研究の推進方法に関して意見交換を行った。個々の研究成果については次節で詳述するが，高スピン偏極ホイスラー合金と形状記憶ホイスラー合金の混晶系に対しては，当初企図した両機能を兼備した新規材料の創製は困難であることが判明したものの，理論計算で予測された磁化の組成依存性は，実験結果と非常によい対応を示した。次年度には，このホイスラー合金混晶系の電子状態を光電子分光により観測し，理論計算結果との詳細な比較を行う予定である。

［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。

新規充填ホイスラー型合金 Ru_2CrZ （Z=Ge, Sn）の単相試料の合成に成功した。Ru_2CrGe では 13K で帯磁率にキンク構造が存在し，低温で反強磁性構造を示すことがわかった。さらに電気抵抗率が低温において Z=Ge が半導体的，Z=Sn では金属的な振る舞いを示した。一方，これらの物質について，軟・硬Ｘ線放射光を用いて光電子分光測定を行ったところ，Z=Ge ではフェルミレベルにおける強度が小さく，半導体的な電子構造を示したが，Z=Sn には明確なフェルミエッジが観測された。この結果は電気抵抗の実験と矛盾しない。

（崔　芸涛，宮本幸治，木村昭夫，鹿又　武）

高スピン偏極ホイスラー合金 Co_2MnGa と形状記憶ホイスラー合金 Ni_2MnGa の混晶系を対象として，

両材料が示す機能を兼備した新規材料の創製を目指した。残念ながら Ni_2MnGa に Co を添加すると，マルテンサイト変態温度は著しく低下し，Co 組成が 10%程度になるとマルテンサイト相は消失することが実験的に確かめられた。一方，理論計算の結果，Co 組成が 90%以上の混晶に対しては比較的高いスピン偏極率が保持されるものの，それより Co 組成が少なくなると急速にスピン偏極率が低下することが明らかになった。したがって，この混晶系では高スピン偏極率と形状記憶効果を兼備した材料は実現不可能であることが判明した。しかしながら理論計算で予測された磁化は Co 組成 60%付近で最大値を取り，磁化の絶対値ならびに組成依存性ともに実験結果と非常によい対応を示しており，第一原理計算に基づく物性予測の確からしさを裏づけている。次年度以降は他のホイスラー合金系に高次スピン機能材料の探索対象を広げる必要がある。

（白井正文，鹿又　武）

スピン軌道相互作用を考慮した相対論的擬ポテンシャル法を用いた第一原理計算により，白金表面上に形成された鉄単原子層および鉄単原子鎖などナノ構造における磁気構造と磁気異方性を明らかにした。白金表面の鉄単原子層は面内に磁化容易軸をもつが，白金(001)表面上の鉄単原子層にさらに白金層を積層させると，強い垂直磁気異方性が得られることを理論計算により確認した。キャップ層の白金原子の 5d 軌道との混成効果により，鉄原子の 3d 軌道の電子占有率が変化することが垂直磁気異方性をもたらすものと考えられる。一方，白金(111)表面上に形成された鉄単原子鎖の磁化容易軸は原子鎖方向となり，平坦な白金(111)表面と鉄単原子鎖の相互作用が比較的弱いことが示唆される。これに対して白金(664)微傾斜面のステップ端に形成された鉄単原子鎖の場合は，原子鎖と垂直な方向に磁化容易軸があることが確かめられ，実験結果とよく対応している。以上の成果は，表面ナノ構造において垂直磁化を実現するための重要な指針を与える。

（辻川雅人，小田竜樹）

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，研究代表者ならびに研究分担者間の研究交流が飛躍的に活性化した。第一原理計算に基づく材料設計，試料作製，物性評価という新材料探索プロセスが着実に始動したことは，次年度以降の新材料創製へ向けての大きな収穫であると期待している。

［４］成果資料

(1) T. Hirahara, K. Miyamoto, I. Matsuda, T. Kadono, A. Kimura, T. Nagao, G. Bihlmayer, E.V. Chulkov, S. Qiao, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, and S. Hasegawa, “Direct observation of spin splitting in bismuth surface states,” Phys. Rev. B **76**, 153305/1-4 (2007).

(2) K. Yaji, M. Sawada, H. Namatame, T. Moko, M. Nagira, T. Ueno, A. Kimura, and M. Taniguchi, “Modification of structural and magnetic properties for Fe/Cu(001) by Cr adsorbates,” Phys. Rev. B **76**, 214403/1-5 (2007).

(3) Y. T. Cui, A. Kimura, K. Miyamoto, M. Tanigushi, T. Xie, S. Qiao, K. Shimada, H. Namatame, E. Ikenaga, K. Kobayashi, A. Bansil, O. Nashima, and T. Kanomata, “Chemical potential shift of $Fe_{3-x}V_xSi$ studied by hard x-ray photoemission,” (to be published).

(4) H. Okada, K. Koyama, K. Watanabe, Y. Kusakari, T. Kanomata, and H. Nishihara, “Magnetic properties of Heusler compounds Ru_2CrGe and Ru_2CrSn,” Appl. Phys. Lett. **92**, 062502/1-3 (2008).

(5) M. Tsujikawa, A. Hosokawa, and T. Oda, “Magnetic anisotropies of iron on the Pt (111) surface,” J. Phys.: Condens. Matter **19**, 365208/1-8 (2007).

(6) M. Tsujikawa, A. Hosokawa, and T. Oda, “Magnetic anisotropy of Fe/Pt(001) and Pt/Fe/Pt(001) using a first-principles approach,” Phys. Rev. B **77**, 054413/1-10 (2008).

(7) Y. Miura, H. Uchida, Y. Oba, K. Nagao, and M. Shirai, “Coherent tunneling conductance in magnetic tunnel junctions of half-metallic full Heusler alloys with MgO barriers,” J. Phys.: Condens. Matter **19**, 365228/1-7 (2007).

課題番号　H19／A04

採択回数	①	2	3

IV 族半導体量子ドットの価電子制御と MOS メモリへの応用

［1］組織
代表者：宮崎　誠一
（広島大学大学院先端物質科学研究科）

対応者：室田　淳一
（東北大学電気通信研究所）

分担者：村上　秀樹
（広島大学大学院先端物質科学研究科）
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）

研究費：物件費 27 万 5 千円，旅費 29 万 6 千円

［2］研究経過

「だれもが安全に安心して使える先進的なグローバル・ユビキタス情報通信」の実現、すなわち情報通信技術の高度化には、情報処理デバイスのメインストリームであるシリコン系 MOS デバイスの高性能化・高機能化が必須課題となっている。

本共同プロジェクト研究では、シリコン系 MOS デバイスの機能レベルでの進化を目的として、シリコン系量子ドットで発現する特異性・機能性を活用した MOS デバイスの開発に向け、量子ドットの電子帯構造および帯電特性を制御するための基礎研究を推進した。

共同研究初年度である本年度は、半導体量子ドットで発現する特異性・機能性を活用した MOS デバイスの開発を目指し、IV 族半導体量子ドットのサイズおよび形状制御とデルタドーピング手法による量子ドットの価電子制御に取り組んだ。具体的には、極薄絶縁膜上に Ge コアに持つ Si 量子ドットあるいは Si コアを持つ Ge 量子ドットの成長と、コアへのデルタドーピングを行った。コア／クラッドヘテロ接合界面の歪が量子ドットの構造･電子状態に及ぼす影響を明らかにすると共に、コアへの局所ドーピングにより量子ドットの荷電特性が変調される様子を定量評価した。

本共同プロジェクト研究の推進するために、実験打ち合わせを東北大学にて２回実施し、第一段階として共同研究分担体制を築くと共に、本プロジェクト対応者の室田　淳一教授が中心的に組織・運営した国際会議 5th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures（5 月 20－25 日, Marseille, France）および 3rd Int. Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics（11 月 8－9 日, 東北大学）での招待講演や意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

［3］成果

（3－1）研究成果

SiH_4 と GeH_4 の LPCVD において、反応初期過程を交互に精密制御することによって、熱酸化膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成し、単電子注入・放出に伴う表面電位変化を AFM/ケルビンプローブによって検知できることが明らかになっている[1]。本研究では、P 及び B をデルタドーピングした Ge コアを有する Si 量子ドットを形成し、Ge コア内へのイオン化不純物添加が電子放出に及ぼす影響を AFM/ケルビンプローブを用いて評価した。

p-Si(100)基板上に 1000℃で膜厚~4nm の SiO_2 膜を形成後、pure SiH_4 ガスの LPCVD と 5%He 希釈 GeH_4 の LPCVD により、Ge コア Si 量子ドット($1x10^8 cm^{-2}$)を自己組織化形成した。GeH_4 の CVD 中に He 希釈 1%B_2H_6 および PH_3 をパルス的に導入し、B および P のデルタドーピングを行った。不純物添加 Ge コア Si 量子ドット形成後、リモート He 希釈 1%O_2 プラズマにより~1nm のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。不純物添加 Ge コア Si 量子ドットへ電荷注入するために、Rh コート Si_3N_4 探針に電圧を印加し、タッピング(コンタクト)モードで走査した後、ノンコンタクトのケルビンプローブモードで表面形状像と表面電位像を同時測定することで電子注入・放出による帯電状態を評価した[2]。

電圧印加後の Ge コア Si 量子ドットの表面電位変化を印加電圧の関数としてまとめた結果を図 1 に示

す。図中には、B ドープ Ge コア Si 量子ドットの場合の表面形状像(a)及び電圧印加前後(b, c : -0.5V 印加後)の表面電位像も示している。いずれの場合も離散的なエネルギ準位を反映した多段階的な電位変化が観測され、真性 Ge コア Si 量子ドットからの 1 個の電子放出・保持による正帯電及び負帯電はそれぞれプローブ電圧 2.0V 及び-1.5V で起こるのに対して、P をデルタドーピングした場合電子放出による正帯電は 0.5V、B をデルタドーピングした場合、電子保持による負帯電は-0.5V で観測される。Ge コアのない B ドープ Si 量子ドットと比べると[3]、単電子注入による負帯電は 0.3V 増大する。これらの結果は、Tip のポテンシャルと Ge コア Si ドット/SiO_2/Si(100)スタック構造のエネルギーバンド構造の関係から理解できる。すなわち、P デルタドーピングでは P ドナーから生じた伝導電子が引き抜かれ、P ドナーの正電荷が顕在化し、B デルタドーピングにおいては正孔への電子注入によって B アクセプターの負電荷が顕在化すると考えられる。

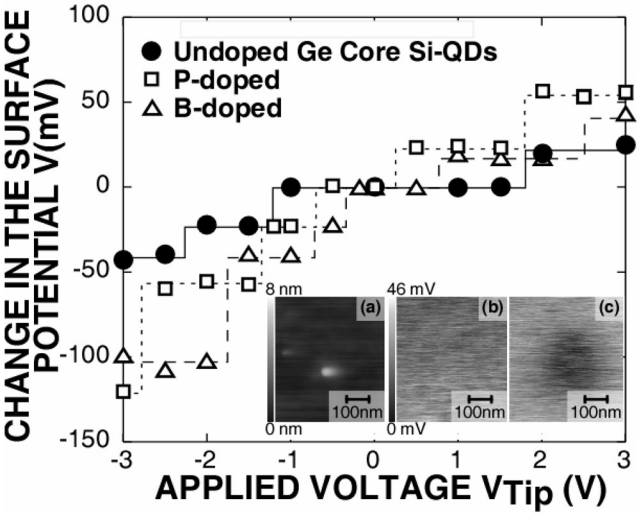


図 1　表面電位像から見積もった真性および不純物添加 Ge コア Si 量子ドットの表面電位変化の印加電圧依存性。いずれの場合も~8nm のドット高さにおいて測定。図中は、B ドープ Ge コア Si 量子ドットの表面形状像(a)及び表面電位像(b, c)。

参考文献

[1] Y. Darma and S. Miyazaki, “Characterization of Electronic Transport Through Si Dot with Ge Core Using AFM Conducting Probe”, Dig. of Papers 2003 Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf. (Tokyo, 2003) pp. 22-23.

[2] K. Makihara, M. Ikeda, S. Higashi and S. Miyazaki, “Study of Charged states of Si Quantum Dots with Ge Core”, Electrochemical Society Transaction, Vol.3, No.7 (2006) pp. 257-262.

[3] K. Makihara, Y. Kawaguchi, H. Murakami, S. Higashi and S. Miyazaki, “Characterization of Electronic Charged States of Impurity Doped Si Quantum Dots Using AFM/Kelvin Probe Technique”, International Union Material Research Society (IUMRS) - International Conference in Asia (Jeju, 2006) p. 82.

（３－２）波及効果と発展性

上述した Ge コアへの局所ドーピングが荷電特性に及ぼす影響を定量した結果に基づいて、Ge コア Si 量子ドットのサイズ・形状制御のためのプロセス条件や価電子制御のための不純物添加条件の最適化の指針が得られた。さらに、作成した量子ドット内のポテンシャル構造（電子帯構造）や、コアあるいはクラッドへのデルタドーピング効率に関する知見も得られつつある。今後の研究展開として、コア／クラッドへの局所ドーピングが量子ドットの荷電特性に及ぼす影響の定量化することで、室温・多値動作する量子ドットフローティング MOS メモリの具体的な設計指針が得られると期待できる。

本共同プロジェクト研究をベースとした国際連携ネットワークについては、2008 年度に開催予定の 2 つの国際会議、4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (May 11－14, HsinChu, Taiwan）および 3rd Int. SiGe, Ge and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (Oct. 12-17, Honolulu)を通して(いずれの国際会議にも、研究代表者がプログラム委員として参画)、 さらなる連携強化を進めるので、関連分野の発展にも貢献できると期待される。

課題番号　H19／A05

採択回数	① 2 3

３Ｄサウンドによる
視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究

［1］組織
代表者：関　喜一
（産業技術総合研究所）
対応者：岩谷幸雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤　洋（産業技術総合研究所）
棟方哲弥（産業技術総合研究所）
蘆原　郁（産業技術総合研究所）
倉片憲治（産業技術総合研究所）
鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）
大内　誠（東北福祉大学）
佐藤哲司（海上保安庁）

研究費：物件費２９万３千円，旅費２２万２千円

［2］研究経過

視覚障害者の仮想空間における歩行訓練の研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは，視覚障害者が安全な音響仮想環境内で実際に歩き回りながら歩行訓練を受けることができるような仮想環境歩行訓練技術を開発する。そのための基礎研究として、頭部伝達関数をシミュレートした３次元音響再生技術（３Ｄサウンド）と、GPS や位置計測カメラなどの広範囲位置計測技術を用いて、実際に歩き回れるくらいに面積の広い音響仮想環境内を実現することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。本年度は，視覚障害に関連した GPS 等の広範囲測位技術、および３次元音響に関する先行研究を調査し、広範囲測位３次元音響の技術的指針を定める研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究打合せ：

平成 19 年　9 月　13 日　　第１回　東北大通研
- 本研究に参加する研究者のスケジュール確認。
- 使用する GPS、ジャイロ、地磁気センサの機種調査開始。
- 他の外部資金の検討

平成 19 年 10 月 25 日　　第２回　東北大通研
- ソフトウェアの確認
- 仮想空間の仕様の検討
- 他の外部資金応募状況確認
- 学会発表準備

平成 19 年 12 月 27 日　　第３回　産総研（つくば）
- GPS の機種再検討
- 産総研＆国リハで開発した訓練システムの説明

平成 20 年　1 月 24 日　　第４回　東北大通研
平成 20 年　1 月 25 日　　第５回　東北大通研
- 学会発表の日程確認
- ソフトウェア開発環境の確認
- 年度残りのスケジュールの確認

平成 20 年　2 月　4 日　　第６回　東北大通研
- GPS 制御ソフトウェアの開発打合

平成 20 年　2 月 25 日　　第７回　東北大通研
- 最終的なシステムの完成像の確認
- 他の共同研究者への呼びかけ検討
- H20 東北大通研プロ申請の準備

平成 20 年　3 月　6 日　　第８回　東北大通研
- H20 東北大通研プロ申請
- 学会発表の予定再検討
- H20 年度の到達目標検討

平成 20 年　3 月 17 日　　第９回　千葉工大
- GPS 制御ソフトウェアの開発打合

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

第1に、本研究に関連する先行研究（但し視覚障害に関係のあるもの）を、以下の3つのテーマに分けて調査した。

・3次元音響技術
・広範囲測位技術
・両方を合わせた技術

3次元音響技術の先行研究は大きく聴覚空間認知訓練目的と対象物提示目的の研究に分けられた。聴覚空間認知訓練目的の技術には、3次元音響の実現において頭部や操作対称の測位技術を伴うものが含まれていたが、いずれも計測距離範囲に制限があり、使用者の行動範囲が制限されていた。またスピーカを用いるものはスピーカで囲まれた限定された領域にやはり使用者の行動範囲が制限されていた。また、対象物提示目的の技術は測位機能があるわけではなく、訓練用の仮想音環境を生成することを目的としたものではなかった。

広範囲測位技術の先行研究は主にナビゲーションを目的としていた。広範囲の電子的測位技術の代表例はGPS（Global Positioning System）である。GPS を利用した視覚障害者のナビゲーション技術の研究は国内でも幾つかの研究グループがあった。その後、公的な実用化プロジェクト研究としてナビゲーションの標準的技術の研究が行われた。しかし、それらの技術は、主にモノラルの（音像による3次元提示を伴わない）音声で視覚障害者を誘導するものであった。

3次元音響と広範囲測位を合わせた技術の研究はまだ少なかった。概してこれらのシステムはやはりナビゲーションを目的としており、訓練用の仮想音環境を生成するものではなかった。

第2に、広範囲 3 次元音響訓練の実現の可能性について調査した。

従来の技術による訓練システムでは、被訓練者の身体の長距離移動を伴わない訓練であるため、自身の長距離身体移動に伴う周囲の音環境の変化との対応関係を学習するには不十分であった。また、被訓練者がほぼ同じ場所にいなければならないため、場所による音以外の情報の変化（例えば地面の段差など）が存在する環境における音の変化とその他の情報の変化を総合的に利用する訓練を行うには不十分であった。本研究で実現しようとしている広範囲3次元音響訓練では、上記の2点が改善される。具体的には以下のことが可能となる：

・ 仮想音環境内で長距離の身体運動を伴う聴覚空間認知訓練が可能となる。これにより、例えば長距離を歩行して移動することによる周囲の音環境の変化を学習する仮想音環境内訓練が可能となる。
・ 実環境中に音以外の情報が存在する場所で、音とその他の情報を総合的に利用する訓練が可能となる。これにより、例えば地面の段差情報等（実空間に存在）と音情報（仮想的に生成）の両方を利用した訓練が可能となる。

第3に、実現のための技術的要求について調査した。

HRTF シミュレーションによる3次元音響技術には聴取者の頭部等の位置・方向を計測する技術が必要である。広範囲3次元音響訓練を実現するためには、広範囲にわたって位置を計測できるGPS、及び広範囲にわたって方向を計測できる地磁気センサやジャイロを利用することが現実的である。その際、これらの計測技術が以下の要求事項を満足するかを検討しなければならない：

・ 「精度（絶対座標の正確さ）」ではなく「分解能（相対座標の正確さ）」が高いこと。
  参考：従来の（広範囲ではない）測位技術は数cm・数 deg 以下の分解能。
・ サンプリング回数が十分多く確保できること。
  参考：従来は、数回ー数十回/s の頻度。
・ 「動的条件（運動状態）」で利用できること。
  参考:従来は全て頭部の動きの速さに追随できるような動的計測に対応。ちなみに地磁気センサやジャイロの中には「静的条件」でしか使用できないものもある。

広範囲測位技術が以上の3つの要求事項を満足すれば、広範囲3次元音響訓練は実現可能と考える。

第4に、上記の要求を満足するGPS、地磁気センサ、ジャイロを選定・導入して、広範囲3次元音響訓練システムの開発を開始した。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究の技術の実現により、聴取者が広範囲に移動できるようになるため、例えば聴取者が実際に町並みの音環境の中を実際に歩きながら「体験」することができるようになる。これにより、視覚障害者の安全な仮想環境歩行訓練の実現が可能となる。

本プロジェクトでは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、H20 年度は秋田大学の研究グループとの共同研究に発展した。また，本プロジェクトで明らかになった広範囲3次元音響の成果は，視覚障害者の仮想音響訓練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

【論文発表】

（1）関喜一、佐藤哲司、「3次元サウンドを用いた視覚障害者用聴覚空間認知訓練システム」、国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要第 26 号、pp.9-13 (2007).

（2）関喜一、岩谷幸雄、大内誠、「広範囲電子的測位による 3 次元音響を用いた視覚 障害者の聴覚空間認知訓練の可能性」、第 33 回感覚代行シンポジウム講演論文集、pp. 63-66 (2007).

（3）関喜一、「視覚障害者の音情報利用について"、日本音響学会 2008 年春季研究発表会」、ASJ0094、1-2-8、講演論文集 2　(2008) .

（4）Yukio IWAYA, Yôiti Suzuki, “Rendering moving sound with the doppler effect in sound space,” Applied Acoustics,68(8), (2007),pp. 916-922

（5）矢入聡, 岩谷幸雄, 鈴木陽一、頭部運動感応型ソフトウェア聴覚ディスプレイの開発 ～DSP を用いない高臨場感音空間合成システム～. 日本工業出版　画像ラボ,18(2),(2007),35-39

（6）RESNA 2008（発表準備中）(2008)

（7）関喜一、「広範囲測位 3 次元音響を用いた視覚障害者の聴覚空間認知訓練技術」、第１７回視覚障害リハビリテーション研究発表大会、(発表準備中) (2008)

【展示会】

（1）展示会名：AES 東京コンベンション 2007
期間：2007.7.19-21
会場：科学技術館（東京都, 北の丸公園）
備考：産学展示（アカデミックブース）への出展

（2）展示会名：CEATEC JAPAN 2007
期間：2007.10.2-6
会場：幕張メッセ（千葉県）
備考：超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF) のメンバーとしての出展

（3）展示会名：TechLicensing Fair 2008
期間：2008.3.27
会場：Matrix Building, Biopolis, Singapore
備考：東北大学から 10 枚のポスター展示, うち１枚が聴覚ディスプレイ

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A06

採択回数　(1)　2　3

頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究

［1］組織

代表者：平原　達也
（富山県立大学工学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
大谷　真　（富山県立大学工学部）
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）
矢入　聡　（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費２７万２千円，旅費２１万２千円

［2］研究経過

ヒトの頭部伝達関数（HRTF: Head Related Transfer Function）は、任意の３次元位置にある仮想的な音像を呈示する聴覚ディスプレイシステムに不可欠である。このHRTFは方向と距離の関数で個人毎に異なるために、長時間をかけた精密な音響計測が必要になる。本プロジェクトでは、現有のHRTF 計測システムの問題点を改善し、ヒトのHRTF をより高精度に安定して計測できる測定系を構築することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

4 月、5 月は詳細な研究実施計画を立案した。6 月に東北大学で開催された日中音響学会議に合わせて、第１回目の打ち合わせを行った。7 月は実験準備を行い、8 月 22 日～25 日にRIECの無響室において、いくつかの条件で実頭および擬似頭の頭部伝達関数の計測を実施した。9 月、10 月は計測したデータの解析を行うとともに計測系の問題点を検討した。11 月 1 日～3 日に再びRIECの無響室において擬似頭の頭部伝達関数の計測を実施した。そして、11 月は 2 回目の計測データを解析し、12 月には 2 回の計測で明らかになったRIECが現有する頭部伝達関数計測システムの問題点を取りまとめた。1 月 23 日には京都大学で開催された日本音響学会聴覚・建築音響研究会において、頭部伝達関数計測にかかわる問題点に関する発表を行った。2 月と 3 月はその一部をまとめた英文論文を執筆した。2 月 2 日と 3 月 1 日にはその論文原稿についての討論をRIECで実施した。また、3 月 17 日には習志野市で開催された日本音響学会春期研究発表会で本年度に得られた結果の一部を発表した。

［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、鈴木研究室が現有する、球状スピーカアレイを用いた頭部伝達関数測定システムの音響特性と電気特性の検証を行った。具体的には、従来の方法で頭部伝達関数を測定し、計測システムの基本特性を把握した。その結果、① 計測システムにおけるTSP信号のS/Nが40 dB 程度で、信号レベルに余裕があること、② マイクアンプ出力ラインに、ノイズフロアレベルより約20 dB高い50Hzの奇数次高調波成分が2.5 kHzまで混入していること、③ マイクアンプ出力ラインに、15 kHz および 20 kHz の雑音が混入していること、④ 球状スピーカアレイ自身からの反射波レベルが大きいこと、⑤ 頭部中心音圧を計測するマイクロフォンの設置方法に注意を要すること、などが判明した。

① については、計測系のレベルダイヤグラムを再検討し、ラウドスピーカの歪発生がなければ TSP 信号のレベルを約10 dB上げてS/Nを向上できることが分った。② については、Fig.2 に示すように、現有の小型高感度マイク（Knowles, FG-3329）とマイクアンプ（PAVEC, MA-2016C）に代えて、小型 ECM（Panasonic, WM62AT）と低雑音マイクアンプ（Earthworks, 1021）を用いれば低域の雑音は低減することがわかった。③ については、15 kHz 近傍の雑音成分はディスプレイ等の水平発振に因ると考えられるが、20 kHz 近傍の雑音成分の成因は不明である。④ については、Fig.2 に示すように球形スピーカアレイのフレームおよびスピーカコーンから反射が生じており、構造を変えない限り反射波は無くせないことがわかった。⑤ については、頭部中心マイクの専用スタンドを作成することによって、反射の影響を最小限に抑えることができた。

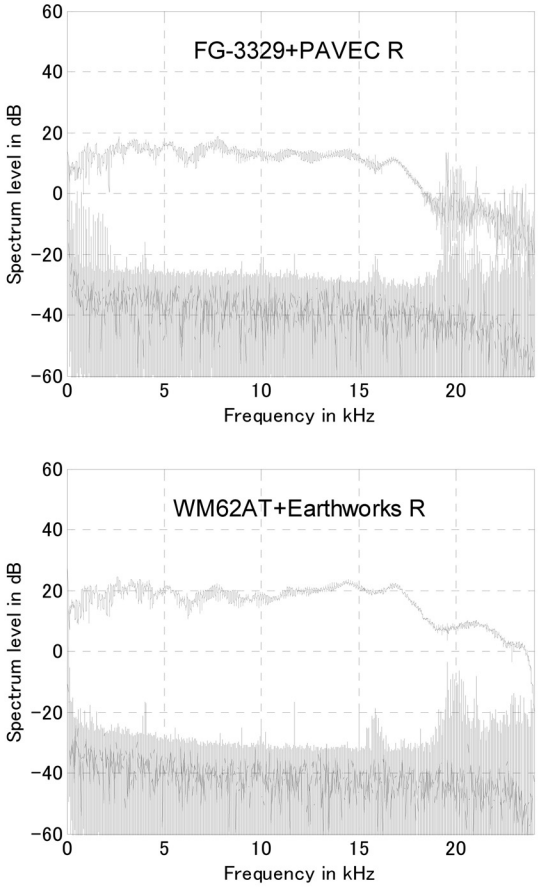


Fig.1 ２種類のフロントエンドにおける、無信号時のノイズフロアースペクトル（青色）と TSP 信号スペクトル(赤色)

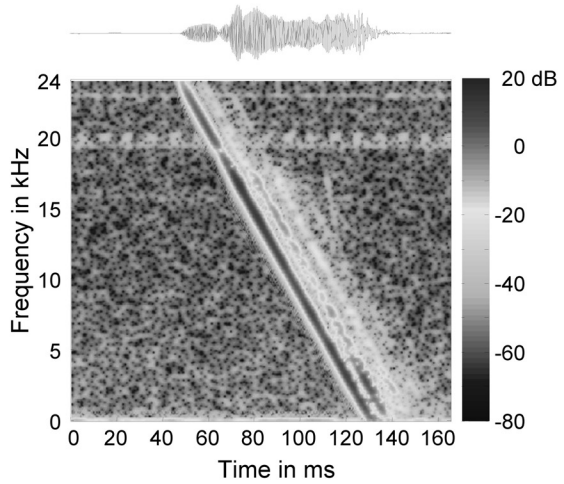


Fig.2 頭部伝達関数計測系のインパルス応答の一例

第２に、球形スピーカアレイからの反射波がある状況下で計測した頭部伝達インパルス応答の精度を検証した。具体的には、実頭および擬似頭を対象にして頭部伝達関数を測定し、他所で計測した同じ実頭および擬似頭の頭部伝達関数データと比較した。

その結果、① 被測定頭部の位置決め精度に問題があること、② 球形スピーカアレイおよび椅子からの反射波の影響で、頭部中心マイクのインパルス応答と頭部伝達インパルス応答の振幅スペクトルはカラーレーションを生じること、③ RIEC と他所で計測した頭部伝達関数とは、平均振幅スペクトル距離で約５～６dB 異なること、が分った。

① については、従来の床面から両耳のまでの高さだけを調整する方法に代えて、3 方向からレーザーポインタを用いて左右の耳珠と鼻尖の位置を合わせる方法を採用した。ただし、被験者を用いた場合、頭部固定器具を用いないと約 90 分間に渡る計測の間に、頭部が初期位置から動いてしまうことは避けられない。音響的に影響を与えない頭部固定法、もしくは計測時間自身の短縮法は、今後の課題である。

② については、計測した頭部中心インパルス応答波形の 5 ms 以降の反射波成分を $\cos^2$ で減衰する時間窓関数で除去するとともに、それを用いて算出した頭部伝達インパルス応答波形の約 3 ms 以降の成分を $\cos^2$ で減衰する時間窓関数で除去することによりカラーレーションの無い頭部伝達関数スペクトルを得ることができた。これらのインパルス応答の一部を除去することに伴う影響の評価は、今後の課題である。

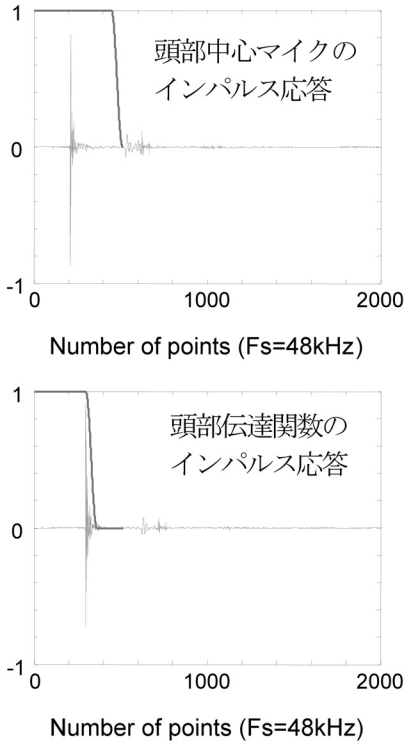


Fig.3 頭部中心マイクインパルス応答（上図）と頭部伝達関数のインパルス応答（下図）の窓関数

③ については 3 名の実頭と 3 つの擬似頭についてRIECとNTT-CS研の無響室で計測した頭部伝達関数を比較した。Fig. 4 は両サイトで計測した実頭

の右耳の水平面頭部伝達関数のコンター図である。2 つの頭部伝達関数の概形は似ているが、ピークとディップの位置と深さの詳細が異なっている。

2 つの計測サイト間の、3 名の実頭の SD の平均値は 5.3 dB (σ = 0.8 dB)、3 種類のダミーヘッドの SD の平均値は 5.8 dB (σ = 0.9 dB)であった。一方、3 名の実頭の間の SD の平均値は NTT-CS 研で計測したものは 7.1 dB (σ = 0.5 dB)、RIEC で計測したものは 6.6 dB (σ = 0.3 dB)であった。3 種類のダミーヘッドについては、NTT-CS 研で計測したものは 8.4 dB (σ = 1.1 dB)、RIEC で計測したものは 6.9 dB (σ = 1.3 dB)であった。

このように、異なるサイトで計測した同一の頭部の頭部伝達関数の差は、同一サイトで計測した異なる頭部の頭部伝達関数との差よりも 1〜2 dB 小さいだけである。あるダミーヘッドを設置したまま複数回測定した頭部伝達関数の SD は 0.45 dB、再設置した場合の SD は 2.6 dB であった。したがって、同じ頭部であるにもかかわらず、計測サイトの違いで生じた 5〜6 dB の SD 値の半分は、頭部の位置決め精度の不足と計測中の実頭の動きに起因すると考えられる。残り半分は、計測系の差異に起因すると考えられる。

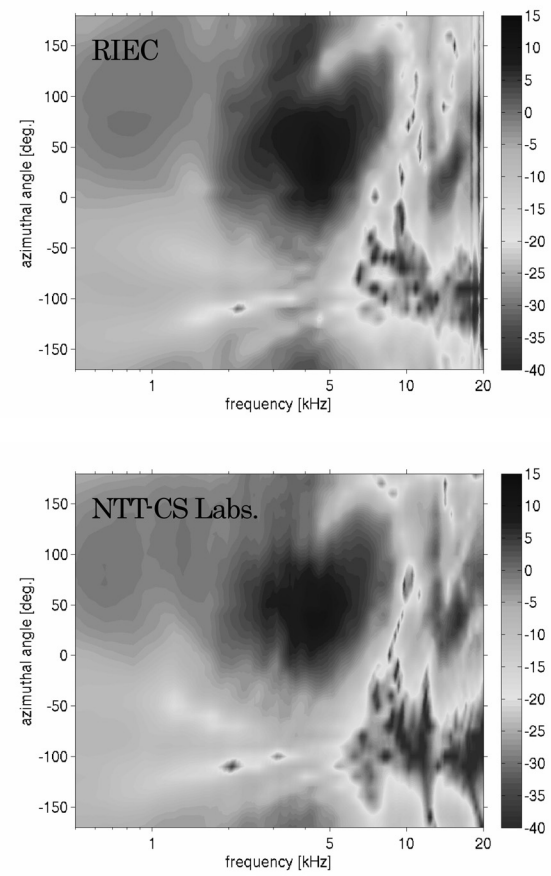


Fig.4　RIEC と NTT-CS 研の無響室で計測した実頭の右耳の水平面頭部伝達関数のコンター図

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは、ヒトの頭部伝達関数をより高精度に安定して計測する RIEC の測定システムの改善に繋がっただけでなく、頭部伝達関数という音響計測に際する諸問題を学外の研究機関にも喚起することに繋がった。また，本プロジェクトで明らかになった頭部伝達関数計測法に関する成果は，現在進めつつある超臨場感コミュニケーション技術の音響デバイス・システムの研究開発にも結びつき、今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

（1）大谷真, 平原達也, 伊勢史郎, 矢入聡, 岩谷幸雄, 戸嶋巌樹, “ 数値計算による擬似頭の頭部伝達関数と実測値の比較,” 日本音響学会 聴覚研究会資料, vol.38(1), H-2008-3, 13-18 (2008.01)

（2）平原達也, 大谷真, 矢入聡, 岩谷幸雄, 戸嶋巌樹, “ 頭部伝達関数論考,” 日本音響学会 聴覚研究会資料, vol.38(1), H-2008-4, 19-24 (2008.01)

（3）平原達也, 大谷真, 矢入聡, 岩谷幸雄, 戸嶋巌樹, “ 頭部伝達関数の陥穽,” 日本音響学会 2008 年春期研究発表会講演論文集, 513-514 (2008.03)

（4）大谷真, 平原達也, 伊勢史郎, 矢入聡, 岩谷幸雄, 戸嶋巌樹, “ 擬似頭の頭部伝達関数の境界要素解析と実測の比較,” 日本音響学会 2008 年春期研究発表会講演論文集, 515-516 (2008.03)

課題番号　H19／A07

脳内における色情報の基本表現（色覚アルファベット）に関する研究

［1］組織（以下１０.５ポイント）

代表者：栗木　一郎
（東北大学電気通信研究所）

対応者：栗木　一郎
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
内川　惠二（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
矢口　博久（千葉大学大学院融合科学研究科）
小松　英彦（自然科学研究機構生理学研究所）
北岡　明佳（立命館大学文学部心理学専攻）
岡嶋　克典（横浜国立大学）
篠森　敬三（高知工科大学工学部）
中内　茂樹（豊橋科学技術大学）
仲泊　聡　（国立障害者リハビリテーションセンター）
辻村　誠一（鹿児島大学工学部）
鯉田　孝和（自然科学研究機構生理学研究所）
溝上　陽子（千葉大学大学院融合科学研究科）

研究費：物件費26万7千円，旅費31万3千円

［2］研究経過

色情報表示メディアの普及により，色覚メカニズムが十分に考慮されない色表示が増えている．例えば，色覚異常者にとって読みにくい配色のハザードマップが作成され，色覚異常者が被災するリスクが増大する等の問題を生み出している．色感覚は脳内で作り出されているため，脳内の色覚メカニズムの理解と正しい応用は重要な課題であるが，脳内の色情報処理についてはその基本特性すら明らかにされていない．ヒトの視覚には約６万色を見分ける能力があると言われるが，色の見え方を表現するために個別の色に選択的に応答する６万種類の細胞を備えているとは考えにくく，むしろ少数の基本要素（色覚アルファベット(仮称)）を組み合わせていると考えるのが適切であると考えられている．色覚アルファベットに関する間接的な証拠（例：なぜ「中間」色と呼ぶ？）は多いが，実験手法の困難さから，その成立機序を直接示す科学的な知見が存在しないのが現状である．そこで本研究プロジェクトでは，国内において様々な分野で色覚研究に携わる研究者のノウハウを結集し，色覚アルファベットへの研究アプローチ手法を開発することを主な目的としている．

以下に研究活動状況を記す．

研究を進める上で，それぞれの分担者の研究成果の中から本共同プロジェクト研究のテーマに関連するものを報告し，色覚アルファベットの研究に対して有益な示唆をもたらす要因を模索するための研究推進会議を行った．会議の開催にあたり，報告される研究テーマの発散を防ぐ目的でキーワードを２つ（「色覚の適応性」「色覚の多様性」）設定し，そのいずれかに沿う内容で報告を行ってもらった．

【第一回研究推進会議】

日時：平成19年９月20日，21日

場所：東北大学電気通信研究所１号館講堂(N401)

1. 溝上陽子（千葉大学）
「視環境の空間的構成のナチュラルネスと色の恒常性」
2. 岡嶋克典（横浜国立大学）
「反対色と基本色の色覚メカニズムとその加齢変化」
3. 小松英彦（生理学研究所）
「サル大脳皮質における色情報処理」
4. 辻村誠一（鹿児島大学）
「メラノプシンを含む神経節細胞の視覚系への寄与」
5. 鯉田孝和（生理学研究所）
「色カテゴリー判断に関わるサル下側頭皮質の神経細胞」

6. 北岡明佳（立命館大学）
「『引き算』で現れる色の錯視」
7. 中内茂樹（豊橋技術科学大学）
「色覚異常者の色弁別と色名構造」
8. 栗木一郎（東北大学）
「色コントラスト順応と脳内色情報表現」
第一回研究推進会議に出席できなかった分担者については，以下の日程で個別に討論を行った．
a）平成19年12月20日，電気通信研究所 中会議室
篠森敬三（高知工科大学）
「インパルス応答関数でみるS錐体の時間特性」
b）平成20年3月17日，電気通信研究所 W308
内川惠二（東京工業大学）
「一般型（３色型）色覚者に類似した色覚特性を示す２色型色覚者のカテゴリカル色知覚について」

［3］成果
（３－１）研究成果
前述の研究報告を総合した本年度の研究成果は以下の通りである．
1）色の見え方と色情報表現の関連
視覚特性は環境に適応する中で進化していると考えられており，果樹の生育を視覚的に弁別する必要性という淘汰圧により霊長類は赤と緑を弁別する能力を得た，という説がある．溝上の研究報告によると自然風景のもつ色度の季節変動には緑から黄（赤と緑の中間）やオレンジの方向に色度のシフトが見られ，この方位が人間の持つ赤－緑反対色型のチャネルと整合しているという説を示した．しかしながら岡嶋の報告によれば，知覚的な赤－緑の反対色性は視細胞の出力によって生成される反対色性とは必ずしも一致しておらず，何らかの信号変換の存在が必須であることを示唆した．同様の報告は生理学研究者の視点からも得られた．小松からは脳内の色情報処理に関する知見の現状として，第一次視覚野と第四次視覚野の神経細胞の色選択性，鯉田からは下側頭皮質の神経細胞の機能の多重性が報告された．篠森は黄色の情報表現に対応する低次レベルのチャネルについての生理学的な報告が少ないことに着目した研究成果を報告した．生理学的には存在が明確に確認されていないが，心理物理学的には黄色の刺激に対応した視覚応答特性が測定できる事を示した．栗木は脳の初期レベルにおける色情報表現に関する心理物理的な研究方法と脳機能計測による研究方法の成果について報告した．

これらの研究報告を総合すると，視覚系の低次レベルの色情報表現が色の見え方と乖離していることが明らかであることが確認された．また，色の見え方と整合性がとれた脳内の色情報表現に関する報告が未だに無く，本研究プロジェクトの色覚アルファベットに関する研究は世界的にも例を見ない先端的な研究である事が確認できた．一方で，生理学的な計測方法だけでは色の見えと対応した脳内の情報表現を特定する事が難しく，心理物理学的な研究との併用，さらには計算モデルによるシミュレーション研究の必要性があることが明らかにされた．
2）色覚の多様性について
色情報の脳内表現を考える一つのアプローチとして，一般型色覚者とは異なる視覚入力を持つ２色型色覚者のカテゴリカル色知覚を調べる手法の試みが報告された．内川は２色型色覚者でも一般型と同じ色覚特性を示す被験者が何を手がかりにしているかを調べた．また，中内は２色型色覚者の色弁別を模擬するゴーグルを着用して環境に順応した一般色覚者の色覚特性を測定したが，先天性の２色型色覚者の色覚特性とは本質的に異なる色覚特性を示す事が明らかになった．これらの報告から，脳内の色情報表現は短時間で柔軟に適応する色恒常性タイプのものではなく，器質由来の要因によって長期的に形成されるものである可能性が示唆された．
3）その他
北岡は色の見え方が空間的な配置によって強く影響を受ける事を錯視図形を用いて効果的に示した．この報告は，脳内の色情報表現が視野の１点の情報だけではなく空間的な情報の広がりを考慮に入れた情報処理の結果である事を示唆しており，今後の色覚研究におけるテーマ発掘の可能性を示した．辻村は，独自の実験装置を用いた光感受性を持つ網膜の神経節細胞の特性を調べる研究について報告した．この光感受性細胞はこれまで視覚情報処理の研究の

中で考慮されていなかったため，この細胞の特性如何によっては色覚に対する寄与が将来の要調査項目になると考えられることが明らかになった.

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究をきっかけとして，色覚基礎研究をテーマにした国際講演会が平成 20 年１月 26 日に東京で行われた（主催：日本光学会（応用物理学会），後援：日本視覚学会，幹事：東北大・栗木一郎）．この講演会では，本共同研究プロジェクトの代表者と分担者を中心とし，脳内の色情報表現や色覚バリアフリーを中心とした色覚の諸問題に関するディスカッションを行った．また，色覚の基礎メカニズムに関する様々な先端的研究成果を報告しているMarburg大学（Germany）の若手研究者Dr. Thomas Wachtlerを招待講演者に招いて，色覚研究の将来展開を見すえて日欧の色覚研究者間で交流を深めた.

講演会のプログラムは以下の通りである.

1st. Meeting on Basic Color Vision Science

(January 26th, 2008; Tokyo Institute of Technology, O-okayama Campus, Tokyo)

1. Keiji Uchikawa (Tokyo Institute of Technology) "Trichromat-like categorical color naming of dichromats"
2. Keizo Shinomori (Kochi University of Technology) "Temporal feature of S-cone pathway described by Impulse Response Function"
3. Tatsuya Yoshizawa (Kanazawa Institute of Technology) "Color and luminance interactions in the visual perception of motion and depth"
4. Thomas Wachtler (Uni. Marburg, Germany: **invited speaker**) "Coding Mechanisms and Contextual Influences in Color Vision"
5. Hidehiko Komatsu (National Institute for Physiological Sciences) "Representation of Hue and Saturation of Color in the Visual Cortex of the Monkey"
6. Kowa Koida (National Institute for Physiological Sciences) "Neuronal basis of color categorization in monkey inferior temporal cortex."
7. Yoko Mizokami (Chiba University) "Color perception tied to natural environment"
8. Ichiro Kuriki (Tohoku University) "Color representation at the 'mid-level' of human visual system"

本講演会の詳細は以下の URL に記載されている.
http://www.vision.riec.tohoku.ac.jp/ikuriki/bcvs-j.html
また，本講演会の抄録集は，講演会の開催を後援して頂いた日本視覚学会の機関紙 *VISION*(Vol.20, No.2)に掲載された.

［４］成果資料

1) Kuriki I., Aftereffect of adaptation to chromatic notched-noise stimulus. *Journal of the Optical Society of America A* **24**(7),1858-1872,2007.
2) Kuriki I., Sun P., Ueno K., Tanaka K. and Cheng K., Hue selectivity of human visual cortices revealed by BOLD fMRI. *Society for Neuroscience Annual Meeting*, 2007 (San Diego, CA, U.S.A.).
3) Uchikawa K. et al., Proceedings of the 1st meeting on Basic Color-Vision Science in Japan. VISION, vol.10, no.2, pp.61-96, 2008

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A08

採択回数	①	2	3

ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用

［1］組織

代表者：上原　洋一
（東北大学電気通信研究所）

対応者：同上

分担者：

稲岡　毅（岩手大学）

桑原正史（産業技術総合研究所）

坂本謙二（物質・材料研究機構）

研究費：物件費23万8千円，旅費14万6千円

［2］研究経過

近年のナノメートル物性研究の急速な進展により、微細領域に特有な現象が数多く見いだされ、すでに工学的な応用研究の段階に達しているものも少なくない。しかし、このような段階に達しながらその一方で現象の本質が十分理解されていない場合も多く見受けられる。このアンバランスの原因の一つはマクロな領域では極めて有効であった物性計測手法の多くがナノメートル領域には適用できないことによる。

本共同研究プロジェクトの目的はナノ領域物性計測に有効な計測手段を開発するとともに、それを新奇な物性の探索や解明に応用することにある。具体的には、（1）電気通信研究所で開発された走査型トンネル顕微鏡（STM）発光振動分光法の機構解明、（2）超高真空探針増強ラマン分光法の開発、（3）STM発光分光法の新奇ナノ材料開発への適応、を目標とした。（1）の手法は原子位置分解能を有する新しい振動分光法である。一方、（2）の手法の位置分解能は（1）の手法に劣るが、ラマン散乱特性の試料が有する幾何学的対称性に対する依存は良く理解されているので、構造解析手法としての側面を有する。このような意味で（1）と（2）は相補的な関係にある計測手法であるといえる。

以上の目的を達成するために、（1）の研究課題に関しては、事前の電子メイル等での打合せを経て、稲岡　毅氏との共同研究を3月4日ー5日の期間に電気通信研究所にて実施した。STM発光スペクトル中に探針直下の吸着種の振動エネルギーが反映される機構について集中的に議論し、研究の方向性を得ることができた。

（2）の研究課題に関しては、Ni(110)-(2x1) Oナノドメインの超高真空探針増強ラマン散乱分光を坂本謙二氏と共同で実施した。11月2ー3日の期間に電気通信研究所で実験結果の詳細な解析を行った。その結果に基づき論文作成作業に入り、3月13日ー15日の期間の電気通信研究所での集中討論を経て完成させた。

（3）の研究課題に関しては、4月上旬に桑原正史氏より次世代光記録や相変化メモリーの開発に用いられているGe-Sb-Te合金膜（$Ge_2Sb_2Te_5$スパッター膜）の試料提供を受け、STM発光分光によるナノ物性評価を開始した。STM発光の観測には成功したが、試料表面の汚染が極めて深刻であり、「目的とする試料」の物性情報を得るためにはこの汚染の除去（表面清浄化）が必要であることが判明した。このため、類似の材料であるSb_2Te_3結晶を試料として、3月5日ー7日の期間に表面清浄化に関する研究を桑原氏と電気通信研究所にて実施した。

［3］成果

（3－1）研究成果

項目［2］に記した（1）ー（3）の研究課題に関して平成19年度に得られた成果を以下に記す。

（1）に関して：従来より、STM 発光スペクトル中に現れる振動構造はSTMの試料-探針ギャップ間に形成される局在表面プラズモンと吸着種との相互作用に基づくと予想していた。この予想の妥当性を表面プラズモンの専門家である稲岡氏と議論し、ラマン散乱と同様の機構で説明できるのではないかとの結論に至った。すなわち、強い電界強度を有する局在プラズモンが探針直下の吸着種にラマン分極を誘起し、そのラマン分極からの放射が発光スペクトル中の構造となっている、と考えるモデルである。このモデルは定性的には妥当であると考えられるが、現象を説明できる程度の強いラマン分極が形成され得るかどうかは検討される必要がり、次年度への課題として残った。

（2）に関して：Ni(110)-(2x1) O 表面の STM 像は白くイメージされるナノ領域と黒くイメージされるナノ領域がモザイク状に組み合わさっている。STM の探針を各々の領域に固定して探針増強ラマン散乱の計測を行った。その結果、白くイメージされるナノ領域からのみ原子酸素のラマン信号が得られることを発見した。この結果は白くイメージされる領域にのみ酸素原子が吸着していることを示す。以上の成果は論文としめ纏められ、現在投稿中である。単層の吸着種のラマン散乱光がナノメートルの位置分解能で得られたことは大変意義深いものである。

（3）に関して：予備的な実験から、表面科学的な手法で Ge-Sb-Te 系カルコゲン材料の物性を研究するためには、試料表面清浄化手法の確立が重要であることが明らかになっていた。Sb_2Te_3 結晶の表面清浄化法をエックス線光電子分光法と紫外線光電子分光法を用いて研究した。エックス線光電子分光から、超高真空環境に導入直後の試料表面には大量の酸素が存在することがわかった。しかし、試料表面を原子状水素に曝すことにより酸素に対応するエックス線光電子信号は著しく減少し、同時に紫外線光電子分光スペクトルも劇的に変化した。以上の結果は原子状水素の照射により試料表面の汚染がかなり除去されることを強く示唆している。

（3－2）波及効果と発展性

平成 19 年度に実施した（1）ー（3）の共同研究に関し、以下のような波及効果と発展性を期待している。

（1）と（2）に関して：STM 発光振動分光法と探針増強ラマン散乱は共に振動分光法であるが、位置分解能と構造解析能力に於いて相補的な関係にある。これらの手法が同一試料に対して実施可能になれば、高い位置分解能と構造解析能力を併せ持つナノ物性解析が可能になり、新奇な特性を有するナノ構造や材料開発に繋がることが強く期待される。

（3）に関して：カルコゲン材料の粒界や微結晶が記録特性や寿命に大きく影響を与えるということは古くから主張されているが、具体的にどのような影響を与えるのかについては分かっていない。また、超解像作用はその発現機構すら解明されていない。このような事実を念頭に置きながらカルコゲン材料のナノ物性探索を行うことにより、問題になっている材料物性に対する理解が深まることを期待している。また、試料対象はこれまで STM による探索がほとんどなされていない系であり、新奇な物性の発見も期待している。研究成果の明確な出口として、超高密度光ディスクや相変化メモリー、または熱電変換素子があげられ、研究成果の社会への還元が予想される。

［4］成果

(1) Y. Uehara, K. Sakamoto, et al., “Tip enhanced Raman spectroscopy of nanometer scale domains in Ni(110)-(2x1) O surface” (submitted).

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A09

採択回数	(1)	2	3

自己組織化ナノ磁性体のSTTマイクロ波発振と応用に関する研究

［1］組織
代表者：土井　正晶
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐橋　政司（東北大学大学院工学研究科）
三宅　耕作（東北大学大学院工学研究科）
宝野　和博（物質・材料研究機構）
有田　正志（北海道大学大学院工学研究科）
小野　輝男（京都大学化学研究所）
遠藤　哲郎（東北大学電気通信研究所）
鈴木　義茂（大阪大学大学院工学研究科）

研究費：物件費２５万２千円，旅費１６万７千円

［2］研究経過

本研究の目的は、ナノ磁性体におけるスピンダイナミクス（R）を利用したGHz帯のLCR発信に関する研究を行い、簡便で高効率(高Q)、超小型・超低消費電力のマイクロ波発信デバイスを開発することである。このようなナノ磁性体を用いた新規なマイクロ波の発信機構は、従来の半導体集積化デバイスの一部に、自己組織化により集積化されたナノ磁性体から成る発信回路を組み込むだけで実現されるものであり、従来の半導体デバイス発信機と比較して簡便、超小型・超低消費電力のGHz帯マイクロ波デバイスへの道を切り拓くものである。また、その原理からナノ磁性体中の磁化の方向、バイアス磁界、電流などにより発信周波数を調律可能(Tunable)なデバイスとすることも可能であり、近年特に研究が活発化しているユビキタス電子タグ、ゴマ粒チップのような至近短距離を対象とした情報通信用の新デバイスの進展に大きく寄与するものであり、コミニュケーション用通信技術等にも展開が期待できる。

申請者らが研究している自己組織化された導電チャネルを含む1ナノメータ厚の絶縁体層を用いるナノ狭窄電子系構造体薄膜では、導電チャネル径をホトリソグラフィーでは不可能な1～10nmにすることができる。このような微小な導電チャネルでのスピントランスファートルクの研究例は無く、マイクロ波発振にとどまらずナノスコピック領域での電子/スピン輸送物理の観点からも興味深く、大きな学術分野へと発展する可能性がある研究である。これまでのマイクロ波の発生においては、100pWmA^{-2}程度の微弱な出力しか確認されていないものを、発生機構を司る物理寸法を一桁以上微細化することと、これらの微細素子の並列回路化を、独自の手法を用いた自己組織化されたスピンナノ構造体を用いて試みる。このような独自のナノ磁性体では、数nm立方の超微細なナノ磁性体に容易に高密度スピン偏極電流を投入することが出来、複数のナノ磁性体への並列、直列通電も可能なことから、高密度な電流注入とマルチソースによる高出力発信が可能となり、マイクロ波の発生を至近距離での通信に適したμWの実用検討が可能な領域まで高出力化することを目標とする。具体的に、本共同プロジェクトでは、石山研究室及びスピン伝導領域ならびにナノ計測の分野において第一線で活躍中の国内の優れた研究者の協力のもとに、可能な範囲でのサンプルの作製・評価を通して、新規なマイクロ波発振デバイスについての企画と新たな枠組みでの研究手法のコーディネートを模索する。研究代表者らはすでにマイクロ波計測系を整備し、スピンナノ構造体から成る薄膜素子においてスピントランスファーマイクロ波の発信を確認し、ナノ磁壁特有の発振特性の足がかりを得ている。

以下，研究会活動状況の概要を記す。

新規なスピンナノデバイスについての企画と新たな枠組みでの研究手法のコーディネートを模索することを考え、下記研究会を開催した。

「通研共同プロジェクト」（「自己組織化ナノ磁性体のSTTマイクロ波発振と応用に関する研究」と「電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究」の合同開催）ならびに大学院教育改革支援プログラム「メディカルバイオエレクトロニクス教育拠点」の研究会として、超微細電子工学講座（佐橋研究室）・第９回「金属スピントロニクスセミナー」を下記日時にて開催した。今回は、特に新進気鋭の若手の先生方に、スピンナノ構造体の物理とデバイス応用についての最新の話題を講演いただいた。

テーマ：「微小磁性体の物理とデバイスへの応用」

日時:200８年2月25日（月）13:00～17:15
場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系２号館４階中央ゼミ室（413ゼミ室）
共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座

研究会講演の内容:
1. 挨拶（ナノ狭窄電子系の最近の話題）
東北大学電子工学専攻 佐橋政司
2.「微小磁性体を使ったデバイスの検討」大阪大学工学研究科　中谷亮一､遠藤 恭(現東北大)､白土 優
3.「磁気渦の電流誘起ダイナミクス」京都大学化学研究所　葛西伸哉
4.「ナノ狭窄磁壁系の STT マイクロ波発振」 東北大学工学研究科　土井正晶
5.「ハーフメタルにおける機能探索」名古屋大学工学研究科　浅野秀文
6.「ナノ構造磁性酸化物層を含むスピンバルブ薄膜の磁気結合について」 東北大学工学研究科　佐橋政司

［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。

Ⅰ．ナノ狭窄電子系スピントランスファー型マイクロ波発信に関する研究

本研究課題では、ナノ狭窄電子系と言った独自でユニークなナノコンストリクション構造を考案し、ナノ狭窄電子系構造体において STT マイクロ波の発信を検討した。熱酸化シリコン基板/Ｃｕ電極上に自己組織化ピラーの形成を含む所定の薄膜積層体を現有装置（EB 蒸着、IBS(Ion Beam Sputtering)）にて成膜、適宜イオンビームにて先端を加工した STM/AFM 探針を用いて In-Situ 観察もしながら、薄膜積層体を完成させた後、ナノ狭窄電子系マイクロ波計測用の垂直通電型のスピンバルブ素子試料を作製した。ナノ狭窄電子系の要となる複数の導電チャネルを含有した絶縁物構造体を磁性薄膜中に形成するための自己組織化手法（自己組織化ナノパターニングプロセス）を開発し、通常のホトリソグラフィー（トップダウンプロセス）では不可能な 1nm 級のパターンニングが可能となった。また、スペクトルアナライザと磁場印加機構を組み込んで試作したマイクロ波の発振特性評価系を用いてマイクロ波の計測を行った。開発したプロセスを用い、特異な磁気抵抗効果を確認するとともに、強磁性接点型ナノ狭窄構造薄膜について､世界ではじめてマイクロ波の発振を確認し､GMR や TMR とは異なる特徴があることを､明らかにし､印加電流による磁壁の圧縮・膨張に起因する電気抵抗の変化を確認している（図 1）。この特徴は､ナノ狭窄領域に閉じ込められた磁壁特有のものであると考えられる｡また､通常は 50nm ほどの微細な素子でしか確認されていない STT マイクロ波発振を､1μm 程度とより安価に作製可能な素子で確認することに成功した(特許出願)。

この発振の周波数は外部磁場および印加電流によって変化し、出力レベルは約 20nV/Hz$^{1/2}$、Q 値は約 300 である（図 2)。この結果から発振周波数は印加磁場および印加直流電流で制御できることが明らかになり、この出力レベルと Q 値は GMR や TMR 系のマイクロ波発振と比較して優位な値を示すことが明らかになった。しかし、すべての導電チャネルがフェーズロックしているかについては未だ不明であり、発振強度のチャネル数依存性およびフェーズロックの条件を明らかにする必要がある。

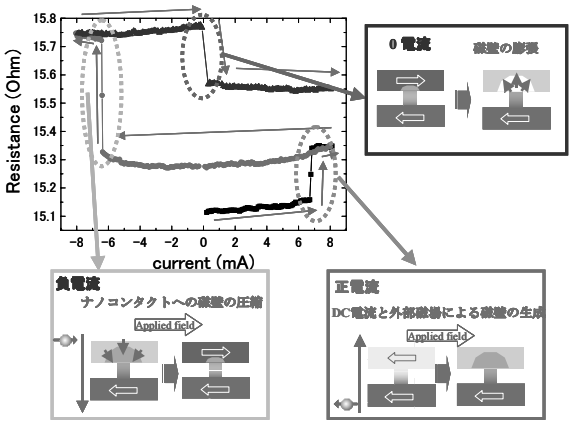


図１　直流電流による磁壁の圧縮・膨張に起因した電気抵抗の変化

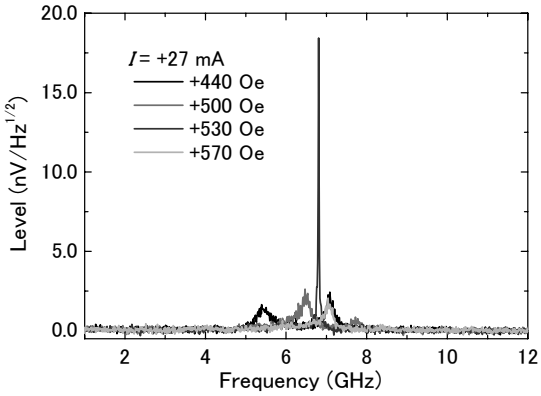


図２　強磁性接点型ナノ狭窄構造薄膜の電流駆動マイクロ波発振スペクトル

（3－2）波及効果と発展性など

本課題である「自己組織化ナノ磁性体を用いたスピントランスファーマイクロ波発振に関する基礎検討」は、多岐の分野への発展が期待されている電子タグ、近距離通信の機能ならびに性能の向上に大いに寄与するものと考えられる。ここで取り組む「超低消費電力・超小型無線送信デバイス」は、従来の集積化送信デバイスの一部に、自己発振型の新磁性体（自己組織化された）を組み込むだけで実現されるものであり、高効率（高Q）、超小型・超低消費電力の送信デバイスを廉価に実現し、いまだ実現されていないゴマ粒大のアクティブ電子タグ（セサミチップ）への道を切り拓くものである。

高密度電流注入とマルチチャネルによるアレイ化は、高出力発信ならびに、そのTunable化がミクロンサイズで可能となり、CTC(Chip−to−Chip)通信、チップ間通信などの回路内での無線信号伝送、ユビキタス電子タグ(Sesameタグ)のような至近距離通信に与えるインパクトは大であると考える。電子タグ、ゴマ粒チップなど２１世紀の新たなユビキタスを生み出す短距離応用デバイスに画期的な革新をもたらすとともに、スピントランスファー駆動による夢の電子デバイス分野で、国際的な主導権を発揮できることが期待される。

［4］成果資料

1. “Structural properties of alternate monatomic layered $[Fe/Co]_n$ epitaxial films on MgO substrate”, In Chang Chu, Yoshinobu Saki, Shohei Kawasaki, Masaaki Doi, and Masashi Sahashi: J. J. Appl. Phys.（2008）accepted.
2. “Study on the formation mechanism of a nano-conductive channel in Cu-AlO_x CCP-NOL for CPP-GMR spin valves by magnetization process, Shohei Kawasaki, Shigeru Noh, Yohei Shiokawa, Tomonori Mano, Masaaki Doi, and Masashi Sahashi: IEEE Trans. Magn., (2008) accepted.
3. “$Co_{0.9}Fe_{0.1}$-AlO_x NOL 中への強磁性メタルナノコンタクトの形成に関する研究”, 塩川陽平, 河崎昇平, 真野知典, 志尾崎涼, 土井正晶, 佐橋政司：日本磁気学会誌, **32** 205-210（2008）.
4. “ナノ構造磁性酸化物層を含むスピンバルブ薄膜の磁気結合”, 澤田和也, 遠藤広明, 土井正晶, 長谷川直也, 佐橋政司：日本磁気学会誌（2008）採択
5. “DWMR素子のR-H曲線へのセンス電流の影響とマイクロ波の発振”, 白藤和茂, 遠藤広明, 鈴木裕章, 土井正晶, 佐橋政司：日本磁気学会誌（2008）採択
6. “Magnetoresistance of FeCo nanocontacts with CPP-SV”, Hiromi Fuke, Susumu Hashimoto, Masayuki Takagishi, Hitoshi Iwasaki, Shohei Kawasaki, Kousaku Miyake, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn., **43** 2848. (2007).
7. “Influence of NOL magnetism on Exchange-Bias Characteristics in Specular Spin Valve Systems with (Co-Fe)/Cr pin-NOL”, M. Sahashi, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and N. Hasegawa, IEEE Trans. Magn., in press (2007).
8. “Atom Pumping-up Mechanism” in Fe/Ta Film for the Fabrication of Ferromagnetic Nano-bridge”, M. Doi, Y. Abe, K. Miyake, H. N. Fuke, M. Takagishi, H. Iwasaki, M. Sahashi, “Confirmation of IEEE Trans. Magn., **43** 2851 (2007).
9. “Influence of NOL magnetism on Exchange-Bias Characteristics in Specular Spin Valve Systems with (Co-Fe)/Cr pin-NOL”, M. Sahashi, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and N. Hasegawa, IEEE Trans. Magn., in press (2007).
10. “Self aligned periodic Ni nano dots embedded in nano-oxide-layer”, M. Doi, M. Izumi, S. Kawasaki, K. Miyake, and M. Sahashi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310, e836-e837, (2006).
11. “Study on B2 structure epitaxial Fe/Co superlattice”, In Chang Chu, Masaaki Doi, Masashi Sahashi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 304, e121-e123 (2006).
12. “Experimental and Simulation Study to Identify Current-Confined Path in Cu-Al Space Layer for CPP-GMR Spin-Valve Applications”, J. Y. Sho, S. P. Kim, Y. K. Kim, K. R. Lee, Y. C. Chung, S. Kawasaki, K. Miyake, M. Doi, and M. Sahashi, IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS , 42,No.10, 2633-2635 (2006).
13. “ STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF $Co_{100-x}Fe_x$ NANO OXIDE LAYER “, Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 99,08R703 (2006).
14. “ $Co_{100-x}Fe_x$-NOL のピンアシスト効果について”、遠藤広明、土井正晶、長谷川直也、佐橋政司、日本応用磁気学会誌、30, 127 (2006).
15. “ Cu-AlOxNOL(Nano-Oxide-Layer)形成課程の考察”、河崎昇平、蘇暁永、三宅耕作、土井正晶、佐橋政司、日本応用磁気学会誌、30 No.3,(2006) 357.

採択回数 ① 2 3

課題番号　H19／A10

補聴器への周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究

［1］組織
代表者：宇佐川　毅
（熊本大学大学院自然科学研究科）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
苣木　禎史
（熊本大学大学院自然科学研究科）
江端　正直（熊本電波高専）
中島　栄俊（熊本電波高専）

研究費：物件費 27 万 9 千円，旅費 24 万 1 千円

［2］研究経過

周波数領域両耳聴モデル(FDBM: Frequency Domain Binaural Model)は，人間の聴覚機能のうち，特に両耳聴条件での音源の定位能力と，それに依拠した特定音源信号への注意集中による検出能力の向上を模擬した計算機モデルである。このモデルは，現在開発途上ではあるが，その基礎的な特性の向上により，補聴器をはじめとする広い応用分野が想定される。

本プロジェクトは，本年度が第 1 年目であった。これまでに，この FDBM の性能向上と，医療福祉分野を中心とした応用システムの開発を目的として，FDBM の応用の一例である両耳補聴システムへの適用の可能性を探った。また，両耳補聴システムで必要となるハウリングキャンセル機能の検討を行った。シミュレーションの結果，左右 30° 以上の範囲では，5 dB 以上の抑圧ができることが確認できている。また，両耳から得られた信号からハウリングを抑圧するアルゴリズムの開発も行った。結果，複数の周波数で発生したハウリングを同時に抑圧できた。さらに，両耳間通信の基礎検討として，差分パルス符号変調(DPCM)を用いて両耳補聴システムを想定した場合の指向特性への影響を検討した。

本年度は，これまでの成果を踏まえながら，両耳補聴システムに必要な両耳間通信における高圧縮手法による影響の検討を行った。

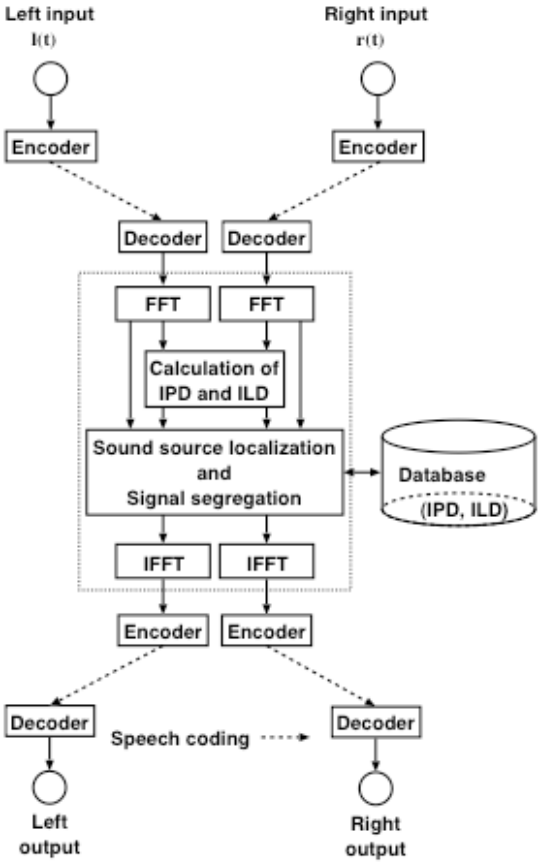


図 1：両耳間通信に圧縮コーデックを用いた周波数領域両耳聴モデルのブロック図

［3］成果

（3－1）研究成果

図 1 に，圧縮コーデックを用いた両耳間通信による FDBM のブロック図を示す。両耳で受音した信号 l(t), r(t) を音声符号化アルゴリズムで圧縮して伝送を行う。復号化した受音信号を高速フーリエ変換し，事前に準備された両耳間位相差・レベル差と方向角・仰角の関係を保持するデータベースと復号化された信号から得られた両耳間位相差・レベル差を周波数毎に比較して，音源方向の推定を行う。推定した音源方向に基づき，分離フィルタを生成し，特定方向の音源信号成分以外を抑圧する。強調された信号を圧縮伝送し，復号化を施して出力する。

データベースは，圧縮率の高いコーデックを用い

ることによりそのコーデックに最適化したデータベースが必要となる可能性がある。しかし，コーデックに最適化していないデータベースを利用できる場合，データベースの汎用性により伝送環境毎に圧縮率を可変する選択的伝送が期待できる。

先行研究では，圧縮コーデックにDPCMを用い，ヘッドセットと信号処理部の間の伝送ビットレートの削減を行った。結果として，PCM によるデータベースを用いても空間選択性の劣化は余りみられないことがわかった。本年度は，さらに圧縮効率の良い手法として対数量子化と適応差分パルス符号変調(ADPCM)を併用し，空間選択性能の評価を行う。

図２は，利用者の正面方向 0° に指向性を向けた場合の指向特性である。(a), (b) は，圧縮コーデックに対数量子化と ADPCM を用い，PCM 信号で生成したデータベースを用いた場合の結果である。(c), (d) は，圧縮信号でデータベースを構築した場合である。(a), (c) では男声を，(b), (d) は女声を用いた場合の結果である。図中の＋は伝送を PCM で行った場合である。また，○，△，▽は，対数量子化および ADPCM を併用し，8, 6, 4 bits で圧縮した場合の結果である。(a), (b)の結果より，伝送信号を圧縮し，PCM 信号で作成したデータベースを用いた場合でも，伝送を PCM で行った場合とほぼ同等の指向特性が得られていることがわかる。(c), (d)では，PCM 伝送に比べ指向特性が改善しているように見えるが，圧縮処理による信号成分の欠落が一因と考えられる。これに関しては，さらなる検討が必要である。また，分離信号を聴取した結果，圧縮による音質劣化が確認できたが，分離処理におけるデータベースとの不一致による大幅な音質劣化はなかった。

図３は，指向性を－40° に設定した場合の指向特性であり，(a)ー(d)の条件は図２の場合と同じである。図３と比較することにより，データベースの不一致による大幅な性能劣化は，この方向でも無いことがわかる。

以上より，圧縮コーデックによる音質劣化はあるものの，指向特性は PCM の結果より悪くなることがないことが示され，データベースを汎化できる可能性が示唆された。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて，周波数領域両耳聴モデルの応用を進めているが，今回の両耳間の通信量の圧縮は製品の高度な処理を多密に実装する際に大きな貢献が期待できる。特に，本年の成果はデータベースの汎用化が期待できることを示す重要な結果といえる。

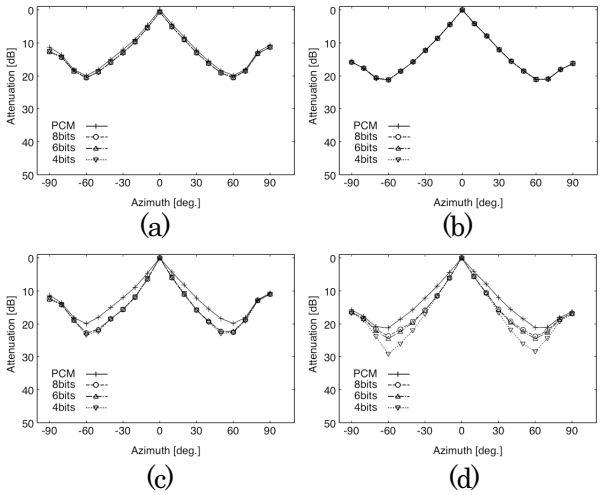


図２：指向特性（ターゲットを 0° に設定）

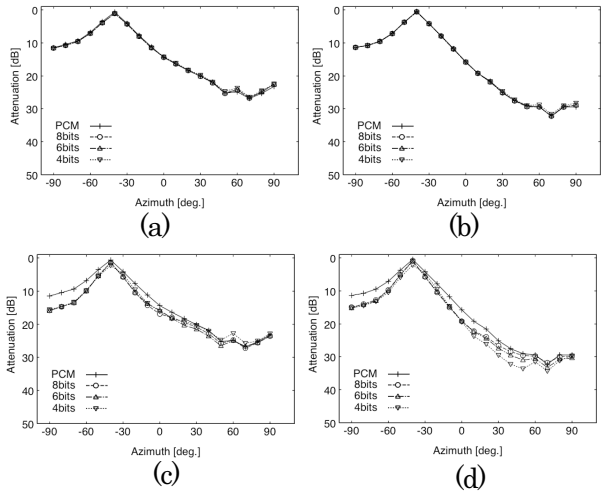


図3：指向特性（ターゲットを－40° に設定）

［４］成果資料

(1) 永田京子，河野翔，中島栄俊，苣木 禎史，宇佐川毅，周波数領域両耳聴モデルを用いた反射音の存在する環境下での音源方向推定，日本音響学会 2007 年春季研究発表会講演論文集, pp.601-602, 2007

(2) 苣木禎史，長西将弘，高田俊亨，神澤 龍市，宇佐川毅，小型物体のための object related transfer function 自動測定装置，電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.120, EA2007-27, pp.1-6, 2007

(3) Masahiro Naganishi, Toshimichi Takada, Ryuichi Kohzawa, Yoshifumi Chisaki, and Tsuyoshi Usagawa, Development of an Automatic Measurement System of Object Related Transfer Function for Small Object, Proc. 2007' Japan-China Joint Conference on Acoustics, P-1-8, pp.1-6 (CD-ROM), 2007

(4) Ryouji Kawano, Yoshifumi Chisaki, and Tsuyoshi Usagawa, On Bit Rate Reduction of Inter-channel Communication for Binaural Hearing Assistant System, Proc. 2007' Japan-China Joint Conference on Acoustics, P-1-10, pp.1-6 (CD-ROM), 2007

(5) 荒木潤一，長西将弘，苣木禎史，宇佐川毅，視聴

覚情報を用いた画角外音源に対応可能なカメラシステム，音響学会九州支部学生のための研究発表会，pp.29-32, 2007
(6) 長西将弘, 荒木潤一, 苣木禎史, 宇佐川毅, 音響情報により捕捉した画角外音源の追跡機能を備えた監視カメラシステムの構築に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.316, EA2007-73, pp.1-5, 2007
(7) 永田京子, 今村浩二郎, 中島栄俊, 苣木禎史, 宇佐川毅, 周波数領域両耳聴モデルを用いた音源方向推定の精度に関する検討 -正面ならびに側方における精度推定-, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.316, EA2007-74, pp.7-12, 2007
(8) 苣木禎史, 長西将弘, 宇佐川毅, 周波数領域両耳聴モデルを利用した視聴覚連携による空間情報抽出システム，第 22 回信号処理シンポジウム，B2-1 (CDROM), pp.1-6 2007
(9) Yoshifumi Chisaki, Sho Kawano, Kyoko Nagata, Kotaro Matsuo, Hidetoshi Nakashima and Tsuyoshi Usagawa, Azimuthal and elevation localization of two sound sources using interaural phase and level differences, Acoustical Science & Technology, Vol.29, No.2, pp.139-148, 2008

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A11

採択回数	① 2 3

SNDMナノサイエンス&テクノロジー創成に関する研究

［1］組織

代表者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）

対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
尾上　篤（パイオニア㈱総合研究所）
本田耕一郎（㈱富士通研究所）
安武 正敏（ＳＩＩナノテクノロジー㈱））
中村孝一郎（NTT フォトニクス研究所）
小田川裕之（東北大学大学院工学研究科）
平永　良臣(東北大学電気通信研究所)
金　暢大(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費２５万２千円，旅費１５万円

［2］研究経過

走査型非線形誘電率顕微鏡（ＳＮＤＭ）は，電子素子用機能性材料として広く用いられている強誘電体の残留分極分布や結晶性の評価が純電気的に行える世界で初めての装置である．この顕微鏡は既に実用化されており，誘電材料（含む，強誘電材料，圧電材料）のみならず半導体素子材料（ドーパントプロファイルやHigh-K 誘電体ゲート材料）等の評価に欠かせない装置として広く利用されている．また本顕微鏡法は材料評価のみならずナノドメインエンジニアリングを用いた次世代超高密度メモリ技術等の電子素子に応用可能である．そこで本共同研究プロジェクトではＳＮＤＭ関連技術に造詣の深い研究者を一同に会し新しいＳＮＤＭナノサイエンスを創成しそれらを応用したナノテクノロジーを創造することを目的としている．

本年度は，
１．ＵＨＶ－ＳＮＤＭの研究開発に関する研究
２．ＳＮＤＭプローブメモリーに関する研究
３．ＳＮＤＭによる半導体素子の評価に関する研究
に関して，個々の研究者との数回に渡る研究打ち合わせ及びその結果に基づいた研究を行い，更にその結果得られた成果の発表するための研究会を平成１９年１２月１４日，１５日にかけて行い，情報の共有を行った．

［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「ＵＨＶ－ＳＮＤＭの研究開発に関する研究」においては，前年度開発に成功した超高真空（ＵＨＶ）ＳＮＤＭを用いてシリコン（1,1,1）面７Ｘ７構造上での原子双極子モーメントの詳細な観測を行いバイアス電圧によって Si 表面の双極子モーメントが変化する様子を明らかにした．

第２に「ＳＮＤＭプローブメモリに関する研究」においては，高速読み込み実験を行いＨＤＤ型ＳＮＤＭ強誘電体プローブメモリを開発しこれ用いてまだスケールアップ実験の段階を出ていないが，１Ｍｂｐｓの高速データ読み込みに成功した．また非接触ＳＮＤＭ法を応用した非接触型のＳＮＤＭプローブメモリの書込読み取り実験に成功した．

第３に「ＳＮＤＭによる半導体素子の評価に関する研究」ではドーパントプロファイル分析の研究を更に進め再現性や信頼性・精度にまだ改良の余地があるもののトランジスタ断面のドーパントプロファイルを画像化した．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，２つの大型プロジェクトに発展している．一つは科(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)ナノテクノロジープログラム／ナノテク・先端部材実用化研究開発における「超高密度強誘電体記録の実用化研究」(参加企業・パイオニア及び村田製作所）に，もう一件は先端計測分析技術・機器開発事業における「複合型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発」(参加企業・ＳＩＩナノテクノロジー及び富士通）である．

またＳＮＤＭプローブメモリに関しては諸外国の企業からの問い合わせも多数なされるようになって来ている．

［４］成果資料

１)Ryusuke Hirose, Koya Ohara and Yasuo Cho: “Observation of the Si(111)7×7 atomic structure using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, Nanotechnology Vol. 18, No.8, (2007), pp.084014-1-084014-5

２)Kenya Ishikawa, Koichiro Honda and Yasuo Cho: “Resolution enhancement in contact-type scanning nonlinear dielectric microscopy using a conductive carbon nanotube probe tip”, Nanotechnology Vol. 18, No.8, (2007), pp.084015-1-084015-6

３)K. TANAKA, Y. HIRANAGA AND Y. CHO: “Real Information Storage using Ferroelectrics with a Density of 1 TBIT/INCH^{2}”, Ferroelectrics, 340, (2007) , pp.99-105

４)Yasuhiro Daimon and Yasuo Cho: “Cross-sectional observation of nanodomain dots formed in both congruent and stoichiometric $LiTaO_3$ crystals”, Appl. Phys. Lett., Vol.90, (2007), pp.192906-1-192906-3

５) 本田　耕一郎, 長　康雄 : “走査型非線形誘電率顕微鏡によるフラッシュメモリ中の蓄積電荷の可視化”, 表面科学, Vol.28, No.2, (February, 2007), pp.78-83

６)Takashi Sakamoto, Koichiro Nakamura, Kazuo Fujiura and Yasuo Cho: “Spatial distribution of phase transition temperature of $KTa_{1-x}Nb_XO_3$ measured using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.90, (2007), pp.222908-1-222908-3

７) Makoto Endo, Koya Ohara, and Yasuo Cho: “Scanning nonlinear magnetic microscopy”, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 78, (2007), pp.073704-1-073704- 5

８)Yasuo Cho: “Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Super High Resolution”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.46, No.7B, (2007), pp.4428-4434

９Yasuo Cho and Ryusuke Hirose: “Atomic Dipole Moment Distribution of Si Atoms on a Si(111)-(7×7) Surface Studied Using Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Physical Review Letters, Vol.99, No.18, (2007), pp.186101-1-186101-4

１０)Yoshiomi Hiranaga, Tomoya Uda, Yuichi Kurihashi, Kenkou Tanaka, and Yasuo Cho: “Novel HDD-type SNDM Ferroelectric Data Storage System Aimed at High-Speed Data Transfer with Single Probe Operation”, IEEE TRANSACTION ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, Vol.54, No.12, (2007), PP.2523-2528

１１)Nozomi Odagawa and Yasuo Cho: “Basic Study On The Long Term Stability Of Small Inverted Domains Formed On Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$”, 19th International Symposium of Integrated Ferroelectrics, Abstract, (May 8-11, 2007, Bordeaux, France), 10B-153-C

１２)Y. Hiranaga, T. Uda, Y. Kurihashi, K. Tanaka, N. Odagawa and Y. Cho: “Non-Contact Probe Control and High-Speed Writing for Rotated-Disk-Type Ferroelectric Data Storage Devices”, The 16th IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, Proceedings, (May 27-31, 2007, Nara, Japan), 30A-TF7-I2

１３)Nozomi Odagawa, Yasuo Cho: “Study of Long-Term-Retention Characteristics and Wall Behavior of Nano-Inverted domains on Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$ Based on Wall Energy”, The 16th IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, Proceedings, (May 27-31, 2007, Nara, Japan), 30A-TF7-O1

１４)Yasuo Cho, Yasuhiro Daimon: “Cross-sectional observation of nano-domain dots formed in lithium tantalite single crystal”, International Conference on Nanoscience and Technology 2007, Abstract, (July 2-6, 2007, Stockholm, Sweden), EMP04-Or3

１５)Yasuo Cho, Ryusuke Hirose: “Electric dipole moment observation of single si atom on Si(111)7×7 surface using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, International Conference on Nanoscience and Technology 2007, Abstract, (July 2-6, 2007, Stockholm, Sweden), NS09-Or4

１６)Shin-ichiro Kobayashi, Yasuo Cho: “Organic surface observation using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, International Conference on Nanoscience and Technology 2007, Abstract, (July 2-6, 2007, Stockholm, Sweden), NS29-Or3

１７)Yasuo Cho, Ryusuke Hirose: “Atomic dipole moment observation of Si(111)7x7 surface using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, The 10th International Conference on Non-Contact Atomic Force Microscopy, Abstract, (September 16-20, 2007, Antalya, Turkey), pp.53-54

１８)Ryusuke Hirose, Yasuo Cho: “Observation of atomic structure of SrTiO3 insulating surface using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy” The 10th International Conference on Non-Contact Atomic Force Microscopy, Abstract, (September 16-20, 2007, Antalya, Turkey), p.93

１９)Shin-ichiro Kobayashi: “Single organic molecule observation using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, The 10th International Conference on Non-Contact Atomic Force Microscopy, Abstract, (September 16-20, 2007, Antalya, Turkey), p.123

２０)Yasuo Cho: “Scanning nonlinear dielectric microscopy with atomic resolution”, 13th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, ABSTRACTS, (November 4-7, 2007, Awaji Island, Hyogo, Japan), pp.8-13

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A12

採択回数	(1)	2	3

電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究

［1］組織

代表者：佐橋　政司
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
土井　正晶（東北大学大学院工学研究科）
三宅　耕作（東北大学大学院工学研究科）
浅野　秀文（名古屋大学大学院工学研究科）
中谷　亮一（大阪大学大学院工学研究科）
今村　裕志（産業技術総合研究所）
家田　淳一（東北大学金属材料研究所）

研究費：物件費２４万９千円，旅費１５万５千円

［2］研究経過

近年、Multiferroic Material など、強誘電性と強磁性が共存する物質系が新たな工学応用の対象として注目されはじめている。さらに、進展が著しいスピンナノ構造体の分野では、スピン電流注入磁化反転(磁界ではなく、電流で磁化状態を制御)、スピン電流注入マイクロ波発振に加えて、電気磁気効果（M(I=αE、P=tαH)、ピエゾ磁気効果(I=QT)が注目されはじめている。これらはいずれも、磁気工学関係者の夢であったコイル磁界を用いることなく、電流または電界で磁性体の磁化状態を制御する試みである。本研究の目的は、研究代表者が中心となって研究を推進している、CIPGMR(面内通電巨大磁気抵抗効果)、CPPGMR(垂直通電巨大磁気抵抗効果)の研究で培われた NOL(Nano-Oxide-Layer)の誘電性、磁性(特に、結晶構造、磁化容易軸と深く係わった Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用に起因した弱強磁性)に着目し、応用展開が可能な CPPGMR 素子構造における電気磁気効果(ME 効果)、ピエゾ磁気効果(PE 効果)を明らかにし、スピントロニクス分野に新領域を開拓することにある。今年の 1 月に開催された Joint MMM/Intermag 国際会議でも MECr_2O_3 反強磁性体を用いた FM/AFM ヘテロ構造において、±500kV/m の電界による交換バイアス磁界の制御が報告されている。研究代表者らも界面にCr_2O_3が形成される CoFe/CrNOL(界面Cr_2O_3の厚みは 1nm 以下)の特異な交換バイアス特性を報告した(IEEE Trans. Magn., Vol. 43, NO.6, 3668-3670, 2007.)。

以下，研究会活動状況の概要を記す。

超極薄ME酸化物においては低電圧制御が期待出来る。しかし ME 効果は古くバルク単結晶体での実験、理論研究がなされているもので、長く研究が途絶えた分野でもある。本共同プロジェクトでは、石山研究室及び広く薄膜酸化物の実験研究者、スピンナノ 構造体の実験研究者、スピン伝導、スピン Manipulation の理論研究者の協力のもとに、可能な範囲でのサンプルの作製・評価を通して、新規なスピンナノデバイスについての企画と新たな枠組みでの研究手法のコーディネートを模索することを考え、下記研究会を開催した。

「通研共同プロジェクト」（「自己組織化ナノ磁性体の STT マイクロ波発振と応用に関する研究」と「電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究」の合同開催）ならびに大学院教育改革支援プログラム「メディカルバイオエレクトロニクス教育拠点」の研究会として、超微細電子工学講座（佐橋研究室）・第 9 回「金属スピントロニクスセミナー」を下記日時にて開催した。今回は、特に新進気鋭の若手の先生方に、スピンナノ構造体の物理とデバイス応用についての最新の話題を講演いただいた。

テーマ:「微小磁性体の物理とデバイスへの応用」

日時: 2008 年 2 月 25 日（月）13:00～17:15
場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系 2 号館 4 階中央ゼミ室（413 ゼミ室）
共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座

研究会講演の内容:
1. 挨拶（ナノ狭窄電子系の最近の話題）
東北大学電子工学専攻 佐橋政司
2.「微小磁性体を使ったデバイスの検討」大阪大学工学研究科　中谷亮一、遠藤 恭(現東北大)、白土 優
3.「磁気渦の電流誘起ダイナミクス」京都大学化学研究所　葛西伸哉

4.「ナノ狭窄磁壁系の STT マイクロ波発振」 東北大学工学研究科　土井正晶
5.「ハーフメタルにおける機能探索」名古屋大学工学研究科　浅野秀文
5.「ナノ構造磁性酸化物層を含むスピンバルブ薄膜の磁気結合について」 東北大学工学研究科　佐橋政司

［3］成果

（3－1）研究成果

1．極薄酸化物(Nano-Oxide-Layer(NOL))の磁性の解明

本年度は，CoFe-NOL 及び CoFe/Cr-NOL を反強磁性層／ピン層／スペーサー層／フリー層から成る SV 膜のピン層中に挿入した素子を作製し，磁界中冷却後の交換結合磁界 H_{ex}（反強磁性層からの交換結合によるピン層磁化の固着度）の温度依存性を丹念に調べ，NOL の磁性を考察した．ここで，CoFe/Cr-NOL は単原子層厚以下の Cr を CoFe 上に成膜してから自然酸化を施すことで作製した．両方の素子において，ある温度以下で反強磁性層(IrMn) からの H_{ex} に加えて NOL からの H_{ex}（図中の⊿H_{ex}）が重畳する傾向が認められたことから，各 NOL には反強磁性成分が含まれていることが分かった（図1(a)）．さらに，Cr を成膜することで，低温において NOL からの H_{ex} が約 3 倍に増加すること（50 Oe ⇒ 160 Oe），NOL 中の反強磁性体のブロッキング温度（交換結合が働き出す温度: T_B）が上昇すること（140 K ⇒ 220 K）を明らかにした．これは，CoFe-NOL では NaCl 型の反強磁性体である CoO-FeO が形成されるのに対して，CoFe/Cr-NOL 表面には，よりネール点の高いコランダム型反強磁性体の Cr_2O_3-Fe_2O_3 が形成されることを示唆するものである．しかしながら，NOL の膜厚は約 1 nm と非常に薄く，このように薄い反強磁性酸化物ではネール点が極端に低くなる（30 K 以下）との報告もあることから，大変興味深い結果が得られたものと考えている．その原因を探るべく，反強磁性層を除いた，強磁性層／CoFe/Cr-NOL／強磁性層なる三層膜を作製し，同様の検討を行ったところ，CoFe/Cr-NOL からの H_{ex}，及びその T_B は共に大幅に減少する（H_{ex}: 160 Oe ⇒ 20 Oe，T_B: 220 K ⇒ 100 K 以下）ことを確認した（図1(b)）．このことから，反強磁性 IrMn からの交換結合が働くことによって，超極薄（約 1 nm）の反強磁性酸化物であっても大きな H_{ex}，高い T_B を維持できることを世界で初めて明らかにした．

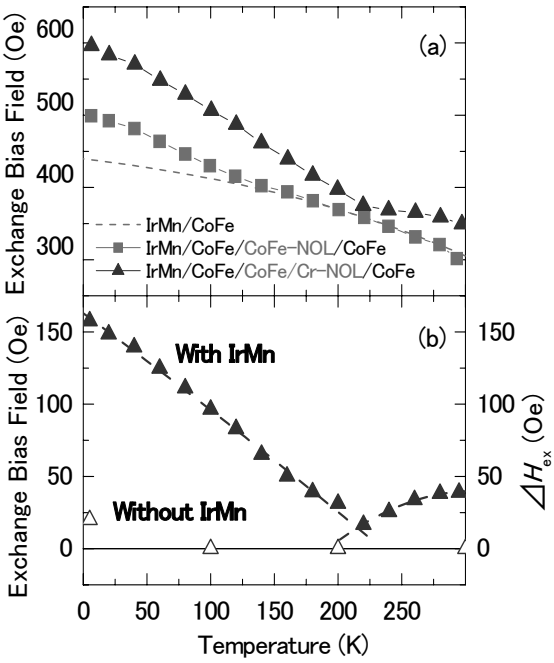


図1　各 NOL を含む SV と三層膜における H_{ex} 及び⊿H_{ex} の温度依存性

2．Nano-Oxide-Layer の挿入による磁気結合への影響の検討

2.1 トレーニング効果の発現

NOL を挿入することで，H_{ex} と MR 比におけるトレーニング効果の発現が確認された．トレーニング効果とは，強磁性層／反強磁性層界面で交換結合が働いている場合，強磁性層の磁化を反転させると反強磁性層表面の磁区に変化が起こり，H_{ex} が減少するという現象である．強磁性層の磁化を反転させる回数を n とすると，$H_{ex}(n)$，MR(n)との関係は，$n>1$ で，

$$\mu_0 H_{ex}(n) - \mu_0 H_{ex}(\infty) = \frac{\kappa_{Hex}}{\sqrt{n}} \quad ,$$

$$\mathrm{MR}(n) - \mathrm{MR}(\infty) = \frac{\kappa_{MR}}{\sqrt{n}}$$

と表される．ここで，κ_{Hex} 及び κ_{MR} は素子のシステムに依存した定数である．各素子における κ_{Hex} 及び κ_{MR} の温度依存性を調べた（図2）．2 つの素子で明確な違いが確認されたことから，各 NOL 中の酸化物が異なるものであることが明確になった．また，CoFe/Cr-NOL を含む素子で非常に特徴的な結果が得られたが，この傾向は Cr_2O_3 が持つ電気磁気(ME) 効果の温度依存性に酷似しており，その影響が現れているものと考えられる．

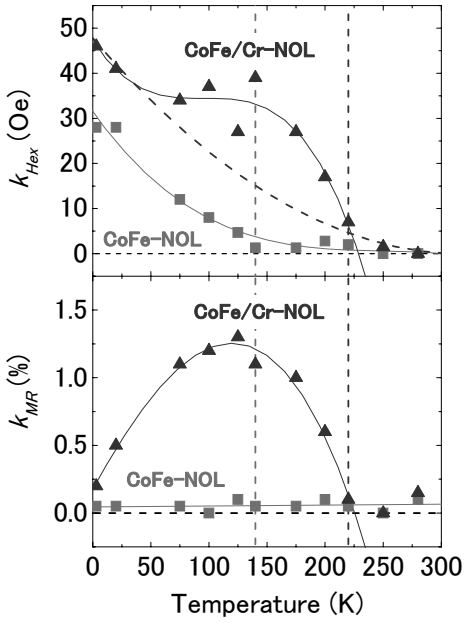


図２　各素子における κ_{Hex} 及び κ_{MR} の温度依存性

2.2 非磁性層を介した層間交換結合への影響

Full metal SV と上記の２つの素子について，ピン層-フリー層間の層間交換結合磁界 H_{in} の温度依存性を調べた（図３）．室温における H_{in} に大きな違いは認められないにも関わらず，NOL の挿入により温度依存性の傾きの符号が逆転することを確認した．これは，NOL 表面で電子が鏡面反射することで非磁性層内の自由電子のフェルミエネルギーが変化し，RKKY 相互作用のような振動型層間交換結合の位相が変化していることを示唆する興味深い結果である．

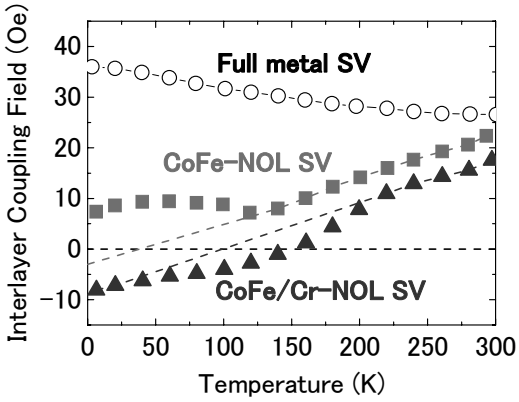


図３　各素子における H_{in} の温度依存性

（３－２）波及効果と発展性など

超極薄ME酸化物において電界による磁化の制御、磁界による分極率の制御が可能となれば、これまで光、半導体、超音波分野での応用に限られていた強誘電体、磁気の分野に限られていた強磁性体の融合が現実のものとなり、その応用展開は、電界制御永久磁石、磁界による光、超音波、半導体素子制御などまだ、未知ではあるが広範囲に及ぶ。

また、未踏領域の開拓でもあり、国際的に主導的な立場となる。

［４］成果資料

1.“ナノ構造磁性酸化物層を含むスピンバルブ薄膜の磁気結合”，澤田和也，遠藤広明，土井正晶，長谷川直也，佐橋政司：日本磁気学会誌（2008）採択

2.“$Co_{0.9}Fe_{0.1}$-AlO_x NOL 中への強磁性メタルナノコンタクトの形成に関する研究”，塩川陽平，河崎昇平，真野知典，志尾崎涼，土井正晶，佐橋政司：日本磁気学会誌，**32** 205-210（2008）．

3. “Exchange Bias Characteristics in Specular Spin Valve System With Embedded (Co-Fe)Cr Nano-Oxide-Layer in Pinned Ferromagnetic Layer”, M. Sahashi, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and N. Hasegawa, IEEE Trans. Magn., Vol. 43, NO.6, pp.3668-3670, (2007).

4.“Magnetoresistance of FeCo nanocontacts with CPP-SV”, Hiromi Fuke, Susumu Hashimoto, Masayuki Takagishi, Hitoshi Iwasaki, Shohei Kawasaki, Kousaku Miyake, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn., **43** 2848. (2007).

5. “Self aligned periodic Ni nano dots embedded in nano-oxide-layer”, M. Doi, M. Izumi, S. Kawasaki, K. Miyake, and M. Sahashi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310, e836-e837, (2006).

6. “Experimental and Simulation Study to Identify Current-Confined Path in Cu-Al Space Layer for CPP-GMR Spin-Valve Applications”, J. Y. Sho, S. P. Kim, Y. K. Kim, K. R. Lee, Y. C. Chung, S. Kawasaki, K. Miyake, M. Doi, and M. Sahashi, IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS , 42,No.10, 2633-2635 (2006).

7.“STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF $Co_{100-x}Fe_x$ NANO OXIDE LAYER “, Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 99,08R703 (2006).

8.“ $Co_{100-x}Fe_x$-NOL のピンアシスト効果について”、遠藤広明、土井正晶、長谷川直也、佐橋政司、日本応用磁気学会誌、30, 127 (2006).

9.“ Cu-AlOxNOL(Nano-Oxide-Layer)形成課程の考察”、河崎昇平、蘇暁永、三宅耕作、土井正晶、佐橋政司、日本応用磁気学会誌、30 No.3,(2006) 357.

課題番号　H19／A13

採択回数	① 2 3

利用者の状況に適応する分散型情報表示システムの構築と生理的指標による評価

［1］組織
代表者：今宮　淳美
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
対応者：菅沼　拓夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
白鳥 則郎（東北大学電気通信研究所）
北形　元（東北大学電気通信研究所）
郷 健太郎（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
小俣 昌樹（山梨大学大学院医学工学総合研究部）

研究費：物件費２８万２千円，旅費１９万９千円

［2］研究経過

人間とコンピュータとの対話システムの設計・開発に関するユーザビリティ（有効さ，効率，満足度）評価では，設計ガイドラインや人間工学の視点から多くの研究がおこなわれている。このようなユーザビリティ評価では，タスク遂行時間，操作エラー率，質問紙調査など，比較対象とする対話システム間での総括的なデータによって，その優劣を決めることが多い。しかしながら，異なる対話システム間でなぜ総括的な差が生じるのか，主観的評価の結果と客観的評価の結果とが相反する場合があるのはなぜか，また，ユーザの感性要因（面白さ，好み，疲労，集中度など）にどう影響するのかなど，システムを改善するために必要な情報を解明する手法は十分に確立されていない。

本プロジェクトの目的は，分散デバイス環境やギガビット・ネットワーク環境における対話型システムを評価対象として，操作形態や利用状況の変化に伴う人間の心的･身体的負荷を考慮した新たなユーザビリティ評価方法を確立することである。このために，ユーザの注意（集中度）と生理指標との関係およびユーザの主観的満足度と心的・身体的負荷との関係を解明する。

平成 19 年度は，本プロジェクトでの初年度である。初年度では，本プロジェクトの基礎として，Web ユーザビリティにおける視線と生体情報との関係，生体情報のコミュニケーションへの利用，およびマルチディスプレイ用ポインティングデバイスについて研究した。また，見守る側と見守られる側双方の状況や要求に応じて利用者にやさしく映像を配信する見守り支援システムについて研究した。

なお，本プロジェクトは，平成１８年度まで実施してきた共同プロジェクト研究「情報システムの遠隔評価環境に関する研究」の発展的な位置付けである。具体的には，研究組織を以下の２グループに分けて実施した。

（1）　生体情報に基づいたユーザビリティ評価指標の解明（山梨大学）

視線データと生理データとの統合による「視覚的注意」モデルを解明して，この注意モデルに基づいたユーザビリティ評価方法を構築する。具体的には，外部情報の意味や注意などの心理的変数によって変化する事象関連電位（脳波）と視覚的注意（視線情報）との関係を明らかにする。また，心的・身体的負荷において，事象関連電位と生理データ（皮膚伝導率，血液脈波など）との関係を明らかにする。

（2）　分散デバイス操作のユーザビリティ評価（東北大学電気通信研究所＋山梨大学）

分散デバイスの操作のために，コンピュータの性能やユーザの利用状況の変化に柔軟に対応して，限られた計算処理能力でなるべく高いサービス品質を提供する QoS 制御機構を構築する。特に，人間の視覚･聴覚などの知覚特性に基づいた機構，さらには，アプリケーション，ネットワーク，および操作の優先度や重要度に基づいた機構を構築する。具体的なアプリケーションとしては，１ つの部屋にサイズや処理能力の異なる複数の表示デバイスが配置されているという環境での情報の閲覧操作を考えている。そして，この環境において，前述した「視覚的注意」モデルに基づくユーザビリティ評価を実施する。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

- 研究打ち合わせ
・ 日　時：平成19年 7月 5日～ 7月 6日
・ 場　所：東北大学電気通信研究所
・ 参加者：
　菅沼拓夫（東北大学），
　今宮淳美（山梨大学），
　小俣昌樹（山梨大学），
・ 打ち合わせ内容：
① マルチディスプレイのためのポインティングデバイスの開発に関する研究報告
　小俣昌樹（山梨大学）
② JGN2+の接続状況に関する報告
　小俣昌樹（山梨大学）
③ 「見守りシステム」に関する研究報告
　菅沼拓夫（東北大学）
④ 今後の研究計画について
　今宮淳美（山梨大学）

- 研究会
・ 日　時：平成19年 11月 5日～ 11月 6日
・ 場　所：東北大学電気通信研究所
・ 参加者：
　菅沼拓夫（東北大学），
　今宮淳美（山梨大学），
　小俣昌樹（山梨大学），
　林涛　　（早稲田大学）
・ 研究発表内容：
① 生体信号チャネルを含めたマルチモーダルコミュニケーションに関する研究報告
　小俣昌樹（山梨大学）
② 「フューチャーキャストシステム」における没入感と生体情報との関係に関する研究
　林涛　　（早稲田大学）
③ 「見守りシステム」における実験結果に関する報告
　菅沼拓夫（東北大学）
④ 今後の研究活動について
　今宮淳美（山梨大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，マルチディスプレイ環境において，タブレットの回転による向き情報を使ってディスプレイを指定し，そのディスプレイの範囲をペンで操作するポインティングシステムを開発した。このシステムは，マルチディスプレイ環境における，ユーザの視野に対する表示面積が増えたためにカーソルを見失ってしまう問題や，全体の画素数が増えたために画面の端までのポインティングに多くの時間がかかってしまうという問題を解決する。

第2に，ユーザの生体信号に連動して吹き出しの形状と色が変化するオンラインチャットシステムを開発した。これは，マンガの吹き出しによる視覚的効果を利用して，チャットテキストを吹き出しとして提示するシステムである。この吹き出しの形状と色をユーザの顔の筋電位から得られる感情価と足の皮膚伝導から得られる覚せい度に連動させて変化させるため，ユーザは，チャットテキストを入力しているときの感情を反映させることができる。

また，第3に，Webページ上の興味箇所における視線停留時間，瞳孔径および脈波データの変化の特徴に着目し，これらの生体情報を利用して興味箇所を特定する分析手法を構築した。この手法は，従来の視線停留時間のみの手法よりも興味箇所検出精度が高い。さらに，瞳孔径と脈波データとの組み合わせが有効であり，この2つのデータが同時にしきい値を超える場合，その箇所での興味度合いが高い可能性を示唆した。

そして，第4に，共生コンピューティングの概念に基づき，見守る側と見守られる側双方の状況や要求に応じて利用者にやさしく映像を配信する見守り支援システム“uEyes”を開発した。共生コンピューティングとは，ディジタル空間が現実空間の人間の振舞いや社会性を理解することにより，人間の活動を自律的に支援するコンピューティングである。この概念をuEyesに適用することにより，双方の利用者の位置情報，周囲の状況，人間関係などを反映した映像配信サービスを能動的に提供することが可能となる。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究の成果として，生体情報に基づくユーザビリティ評価法が解明されることが期待される。これによって，従来型の評価法よりも詳細かつ定量的に人間の感性要因を取り入れられる新たなユーザビリティ評価法が得られる。特に，ユビキタス・コンピューティング環境では，ユーザが道具やシステムを常に携帯したり様々な状況で使用したりするので，ユーザの主観や感情を重視するデザインが重要であり，その評価のために，生体情報が有用であると考える。また，本評価法は，従来型の総括的な評価だけでは難しかった，コンピュータの性能の変化およびユーザの操作形態や利用状況の変化に伴う操作中の心的・身体的負荷の変化を形成的に評価するための機構としても発展性が高いと考えられる。

［4］成果資料

（1） 小俣昌樹, 小坂真裕, 今宮淳美: “マルチディスプレイ環境のためのタブレットの向きに連動するポインティング法,” 第 6 回情報科学技術フォーラム（FIT2007）情報科学技術レターズ, pp.209-302, 2007.

（2） Masaki Omata, Kenji Matsumura, Atsumi Imamiya: “A Pressure-Sensing Mouse Button for Multilevel Click and Drag,” Lecture Notes in Computer Science, Human-Computer Interaction (INTERACT 2007), PP. 434-446, 2007.

（3） 小俣昌樹, 内藤雄也, 石川芙美, 今宮淳美: “生体信号に連動する吹き出し変化オンラインチャット,” 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回抄録集（CD-ROM） ,2007.

（4） 深澤綾, 小俣昌樹, 今宮淳美: “Web ページ閲覧時の視線停留時間と脈波波高に基づくユーザの興味箇所の特定,” 教育工学研究会（ET）技術研究報告,pp.1-6, 2007.

（5） 深澤綾, 小俣昌樹, 今宮淳美 : “Web ページにおける視線停留時間と脈波波高に基づく興味箇所と興味度合の特定,” 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集, 2008 .

（6） 松浦 吉祐, 郷 健太郎: “小型タッチ画面における片手親指の操作特性,” 電子情報通信学会研究報告, ITS, pp. 61-66, 2007.

（7） 郷 健太郎: “HCD シナリオのデザインヒューリスティックス, ヒューマンインタフェース学会研究報告集,” Vol.9, No.4, pp. 1-6, 2007.

（8） Kentaro Go: “A scenario-based design method with photo diaries and photoessays,” in J. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part I, HCII 2007,LNCS 4550, pp. 88-97, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

（9） Masaaki Kurosu, Kentaro Go, Naotake Hirasawa, and Hideaki Kasai: “Micro-Scenario Database for Substantializing the Collaboration between Human Science and Engineering,” in J. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part I, HCII 2007, LNCS 4550, pp. 140-145, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

（１0） 郷 健太郎: “時間尺度を用いた人間中心設計手法の分類, 人間中心設計,” 特定非営利活動法人 人間中心設計機構, 東京, Vol. 3, No. 1, pp. 54-56, 2007.

（１1） Hideyuki Takahashi, Yoshikazu Tokairin, Kazuhiro Yamanaka, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Kenji Sugawara, and Norio Shiratori, ``A Ubiquitous Care-Support Service based on Agent-oriented Multiple-Context Coordination," Journal of Networks, Vol.2, No.4, p.33-45, 2007.09.

（１2） Takayuki Kuroda, Takuo Suganuma, Norio Shiratori, ``QuViE/P: An Effective QoS Control Scheme for 3-D Virtual Environments Based on User's Perception", Proc. of the 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2007), pp.297-304, 2007.05. **<財団法人 NEC C&C 財団・2007 年度 C&C 若手優秀論文賞>**

（１3） Takuo Suganuma, Kazuhiro Yamanaka, Yoshikazu Tokairin, Hideyuki Takahashi, Kenji Sugawara, Norio Shiratori, ``A Ubiquitous Watch-over System based on Environmental Information and Social Knowledge", Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007), pp.1108-1120, 2007.07. **<Outstanding Paper Award>**

（１4） Yoshikazu Tokairin, Kazuhiro Yamanaka, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Norio Shiratori,``An Effective QoS Control Scheme for Ubiquitous Services based on Context Information Management", Proc. of International Workshop on NGN and their Impact on E-Commerce and Enterprise Computing (NGN-EC2), pp.619-626, 2007.07. **<Invited paper>**

（１5） Shintaro Imai, Atsushi Takeda, Takuo Suganuma and Norio Shiratori, ``A New Deployment Scheme of Expert Knowledge on Ubiquitous Service Provision for Non-expert Users", 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2007, No. 9, pp. 273-278, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2007.11. **<優秀論文賞>**

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A14

採択回数　(1)　2　3

次世代ホットスポットネットワークの研究

[1] 組織
代表者：坪内 和夫
（東北大学電気通信研究所）
対応者：坪内 和夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
小野寺 隆（宮城県産業技術総合センター）
堀　豊（宮城県産業技術総合センター）
笠松　博（宮城県産業技術総合センター）
小熊　博（宮城県産業技術総合センター）
飯塚　昇（ソフトバンクテレコム研究所)
高木　直（東北大学電気通信研究所）
中瀬 博之（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）

研究費:物件費 25 万 2 千円，旅費:17 万 6 千円

[2] 研究経過

近年，次世代の高速大容量通信の実現を目指して，回線交換技術をベースに発展してきたセルラ系携帯電話において，3.9G 及び IMT-Advanced として標準化及び開発検討が進められている．また，データ通信用の無線技術として標準化されてきた IEEE802 系ワイヤレスブロードバンド通信においては，セル径が約 100m の準静止状態下でスループット 100Mbit/s 以上を実現する IEEE802.11n やセル径が約 10m 級でミリ波帯を用いて 2Gbit/s 以上を目指す IEEE802.15.3c，セル径が 1km 級で，高速移動しながらの 10Mbit/s 級のブロードバンド通信を目指して，IEEE802.16 や IEEE802.20 標準化が推進されている．

本研究プロジェクトは，IP (Internet Protocol) ベースで発展するホットスポットネットワークを，サービス・ネットワークシシステム・無線通信方式・端末技術・標準化活動の観点から検討を行い，次世代のネットワークアーキテクチャを確立することを目的とする．本プロジェクトは，本年度が第 1 年目である．

これまで，次世代広域モバイルブロードバンド無線通信システムのアクセス方式として非常に注目されている OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 方式を実装した方式の一つである FLASH-OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Hand-off) 方式によるモバイルブロードバンド実証実験を，100 万人都市の仙台市中心街をフィールドとして行い，孤立セルにおける特性，Reuse=1 におけるマルチセルにおける特性評価を実施した．その結果，孤立セル条件下と比較し，最大スループットが 2.7Mbit/s のシステムに対し，平均スループットが 2Mbit/s から 1Mbit/s へ劣化した．劣化要因として，基地局から近い場所で発生するセクタ間干渉及び一定距離離れた場所で発生するセル間干渉が重畳したことに起因する．

本年度は，干渉劣化の支配的な因子であるセクタ間干渉を抑制するため，セクタ間を周波数に直交関係をもたせるため Reuse=3 におけるセル展開を行い，スループット分布，SINR (Signal to Interference and Noise Ratio) 分布の評価を行った．また，前年度までの Reuse=1 との比較を統計的手法により行った．さらに，実験結果について考察し，次世代移動体通信システムのあるべき姿について議論を行った．

以下，研究活動状況の概要を記す．

広域移動体通信実験結果及び次世代移動体通信技術に関する研究議論を，東北大学電気通信研究所 IT-21 センターの 2F セミナールームを会場に，平均月 2 回程度，開催した．以

下に開催日を列挙する.

2007 年: 5/2, 5/10, 6/13, 6/25, 7/4, 7/12, 8/9, 8/21, 9/26, 10/16, 11/5, 12/13, 12/19,

2008 年: 1/10, 1/17, 2/1, 2/13, 2/26, 3/5

なお, 本プロジェクト研究の取り組みのうちモバイルブロードバンド実証実験について, 宮城県産業技術総合センターの一般公開（7 月 6 日～7 日）, 東北大学片平まつり (7 月 28 日～29 日), 東北大学 100 周年記念祭（8 月 25 日～26 日）において, 市民に向け紹介し, 次世代移動体通信技術に関する啓蒙活動を行った.

[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.

Reuse=3 で運用する場合には, 仙台市街地の 90%以上で, 1Mbit/s 以上のスループットが得られている（図１）. Reuse=1 で運用した場合と比較し, セクタ干渉及びセル間干渉が抑制されるため, 累積確率が 50%において, SINR (Signal to Interference and Noise Ratio)で約 7dB, スループットで約 1Mbit/s から約 2Mbit/s と向上した. さらに, Reuse=3 で運用する場合には, 90%以上のエリアで 1Mbit/s 以上のスループットが得られた. 以上から, OFDMA システムをセル･セクタ展開する際に, 3 周波以上の周波数繰り返しが非常に有効であることがわかった（図２）.

また, 下り回線については, 256QAM, 上り回線については, 16QAM の高度多値変調の動作をそれぞれ確認した.

さらに, 異周波数間のハンドオーバーに関しても評価を行い, 著しい劣化なくハードハンドオーバーすることを確認した.

（３－２）波及効果

モバイルブロードバンド技術は, ノート PC 用のデータ通信用途だけでなく, 次世代 ITS の根幹を支えるテクノロジーである. 3GPP 系の LTE (Long Term Evolution), 3GPP2 系の UMB (Ultra Mobile Broadband), IEEE 系標準化により規格化されつつある Mobile WiMAX や IEEE802.20 Wideband-Mode 等では, 下り回線には本プロジェクトで取り組む OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) が採用されており, ニュートラルな組織が主導により生データを基にした研究議論を活発に実施し, その成果を公開している本プロジェクトの意義は非常に大きい. 本プロジェクトは世界に先駆けてモバイルブロードバンドシステムの有用性, 課題を明らかにするものであり, 本プロジェクトから得られた成果は, 将来の移動体通信システム設計に大きく寄与するものである. 特に国際標準化の観点では, 現在標準化の最終段階にある IEEE802.20WG ではドラフト最新版であるバージョン 4.0 に, Membership の一人として掲載されるなど, 影響力を行使している. 本プロジェジュトにより, 国内外の通信機器企業, 半導体関連企業関係者がモバイルブロードバンド実験の視察のため多数来仙し, 本学外研究者との交流が飛躍的に活性化し, 国内外の企業, オペレータとの関係が非常に強化されている. さらに, 宮城県と密接な協力関係にあることにより, 通信業界の生きた最新テクノロジートレンドを, 地域企業に対して提供できる.

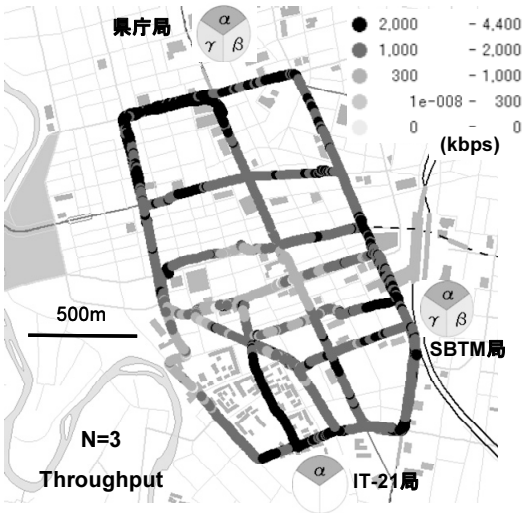


図１　Reuse=3 におけるスループット分布

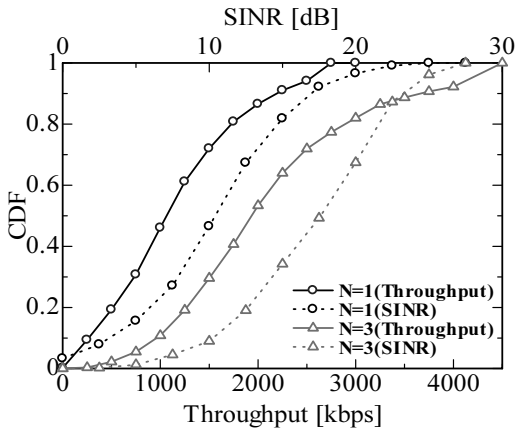


図２　SINR 及びスループットの累積分布

[4] 成果資料

（４－１）学会及び研究会発表

(1) 坪内 和夫, “IT デバイスの技術戦略: ワイヤレス NGN の実現に向けて,” 2007 Microwave Workshops & Exhibition (MWE2007) 特別講演, Nov. 2007. (招待講演)

(2) 小熊 博 他, “仙台市街地における 2GHz 帯の電波伝搬特性,” 信学技報, vol.107, no.97, AP2007-32, pp.7-12, June 2007.

(3) 小熊 博 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(6),” 信学ソ大, B-5-117, Sept. 2007.

(4) 亀田 卓 他, “無線 LAN・広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス間ローミング技術,” 信学技報, vol.107, no.452, SR2007-65, pp.1-8, Jan. 2008.

(5) 小熊 博 他, “MBWA システムにおける主要課題 (1) ～ OFDMA システムのフィールド実験 ～,” 信学技報, WBS2007-105, March 2008.

(6) 飯塚 昇 他, “MBWA システムにおける主要課題 (2) ～ セクタ間干渉によるスループット特性劣化の原因と考察 ～,” 信学技報, WBS2007-106, March 2008.

(7) 亀田 卓 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験 (8)－OFDMA システムのセル化－”, 信学総大, B-5-97, March 2008.

(8) 小熊 博 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験 (9)－OFDMA システムのセクタ間干渉－, ”信学総大, B-5-98, March 2008.

（４－２）特許出願

本プロジェクト研究の成果として, 下記 2 件の特許出願を行った.

(1) 名称:無線通信端末装置,及び通信ネットワークプログラム,出願者 東北大･ソフトバンクテレコム・宮城県, 特願 2007-202094, 出願日 2007-08-02.

(2) 名称: 移動体向けの IP データ無線通信システム干渉低減装置,並びにこれを用いた無線通信基地局装置及び移動体端末装置, 出願者 東北大・ソフトバンクテレコム・宮城県, 特願 2007-280730, 出願日 2007-10-29.

課題番号　H19／A15

採択回数　①　2　3

高度コミュニケーション支援のための インターネットコンピューティングに関する研究

［1］組　織

代表者：高橋　薫
（仙台電波工業高等専門学校）

対応者：白鳥　則郎
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
加藤　　靖（仙台電波工業高等専門学校）
藤木なほみ（仙台電波工業高等専門学校）
安藤　敏彦（仙台電波工業高等専門学校）
武田　敦志（東北文化学園大学 科学技術学部）
板橋　吾一（株式会社サイエンティア）
菅沼　拓夫（東北大学電気通信研究所）
北形　　元（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 29 万円，旅費 0 円

［2］研究経過

インターネットを介した人々の間のコミュニケーション，氾濫する Web 情報群からの有益な情報の取得と活用，インターネット上の安全性確保など，インターネットを前提とした人間の情報活動の支援を様々な角度から行う必要性がますます高まってきている。エージェント，知識ベース，ニューラルネットワークなどはその土台となる重要な技術である。

本プロジェクトでは，インターネットコンピューティングに関する以下の研究を行った。

第１に，Web を通してユーザに健康情報提供を行うための健康支援システムの開発を行った。これはユーザの身体情報や介護記録，および健康に関する一般知識・医学知識から，ユーザに最適な健康アドバイスを与えるものであり，データマイニング手法，知識ベース（オントロジーと推論規則），エージェントを用いてアドバイスの導出をしている。

第２に，インターネットコンピューティングにおける快適な対面コミュニケーションの実現に向け，行動レベルと認知レベルで人の相互行動を分析・モデル化し，擬人化エージェントとして実現した。そのため，非言語コミュニケーションを行う人のモーションデータから，行動の時間的・空間的な相互関係を分析し，それをもとに非言語コミュニケーションにおける行動の数学的モデルを提案した。

第３に，インターネット上のセキュリティ対策に関し，スケーラビリティに優れたニューラルネットワークを不正アクセスや故障の検知に活用するための基礎として，高い認識能力を持つパターン学習・認識システムを構築した。また，インターネット上で安全な認証を行うため，Peer-to-Peer ネットワークを主な対象としたスケーラビリティに優れた分散型認証手法の確立を行った。

本研究に関連し，以下の研究発表と討論を行った。

「第一回研究推進会議」
- 期日：　平成19年7月19日
- 場所：　東北大学電気通信研究所
- 講演と報告：

(1)「共生リサーチセンターの進捗と今後」（東北大）
----- 共有仮想空間を利用した効率的で安全・安心な協調作業環境の実現について報告した。

(2)「高齢者見守り支援システムuEyesの現状と今後」(東北大)
----- 高齢者を家族・親類など関係する複数の人が見守る際の支援システムについて報告した。

(3)「シアターゲームにおける非言語コミュニケーション」（仙台電波高専）
----- 人と人の間の身振りの協調メカニズムの理解について報告した。

(4)「従業員の健康維持のための管理システム」（サイエンティア）
----- 企業の従業員の健康を維持・管理するソフトウェアシステムの開発について報告した。

「第二回研究推進会議」
- 期日：　平成20年2月7日
- 場所：　東北大学電気通信研究所
- 講演と報告：

(1)「手書き文字認識によるニューラルネットワーク能力の検討」（仙台電波高専）
----- 学習時間を短くし，高い認識率が獲得できるニューラルネットワークの構成について示した。

(2)「介護アドバイス提供システム―介護記録を用いたデータマイニングとアドバイス導出―」（仙台電波高専）
----- 介護記録から役立つ知識を抽出し，アドバイスとして提供するシステムについて報告した。

⑶「ユビキタス情報環境における知的健康支援システムの開発に向けて」（東北大）

----- 既存研究を整理し，マルチエージェントに基づいた知的な健康支援システムの提案を行った。

［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。

⑴ ユーザの身体情報を考慮し，健康維持においてユーザに適した運動アドバイスを与えるシステムの構築，および，要介護者の介護記録の解析から生体データの異常等を判定し，介護福祉士に介護支援アドバイスを与えるシステムの構築

人の健康状態と運動との関わりを表現し記述したオントロジーに基づいて，人に運動に関するアドバイスを提供するためのWebベースのシステムを設計・実装した。システムのユーザは予め名前や年齢，身長等の個人データを入力しておく。また，ユーザはセンサデバイスを装着し，それにより脈拍，消費カロリー等，日々変化する動的な生体データを取得する。取得されたデータはモバイル端末を経由するか，もしくは手動でデータベースへ送られ管理される。これらのデータは運動アドバイス導出のために利用される。ユーザが運動アドバイスの要求や運動についての何らかの質問をした場合，システム中の推論エージェントでは，データベース中の利用者の年齢や身長等のデータ，センサデバイスで取得した脈拍や消費カロリー等のデータを取得し，推論エンジンに送信する。要求を受け取った推論エンジンは，予め与えられていたオントロジー，運動アドバイスや質問応答のための推論ルール，さらに受け取ったユーザデータをもとにして，推論を行い，利用者の健康状態に適した情報や，質問に対する最適な回答を導き出す。導出された情報や回答は，Web ページ経由で利用者に提示する。

また，要介護者の介護記録に対して，統計的手法やデータマイニング手法を適用し解析を行うことで，介護支援アドバイスを導出するWebベースのシステムを設計・実装した．生体データに対して統計的な分析を行うことで，画一的な値の判定ではなく，個々の要介護者の過去の傾向を考慮して異常値の検出を行うことができる．また介護記録にデータマイニング手法を適用することで，通常閲覧しただけでは発見することが困難な項目間の相関関係を抽出することができる．具体的には，要介護者の体温，脈拍という項目に対して，過去の平均的状態履歴から最近の状態の変化を検出（異常検知）したり，また，脈拍と体温の相関関係の割出しを行い，介護支援のアドバイスとして提供している。

⑵ インターネットコンピューティングにおける対面コミュニケーションに向けたコミュニケーション支援のための非言語コミュニケーションの基礎研究

非言語コミュニケーションを行う人のモーションデータを対象に，個人内および個人間の全身各部の時間的・空間的相互関係を時系列解析・グラフィカルモデリングにより分析することで，運動固有の身体の使い方のパターンや，非言語コミュニケーションを行う人々の間の相互関係を抽出した。この手法を演劇の即興練習に興じる２人の演技者の動作に適用し，動作に特有な運動パターンや，両者の相手への注意のパターンを抽出できることを確かめた。

また，この分析法で得られた個人内・個人間の相関および遅延関係をもとに，相手の動作に適宜に反応するための行動モデルを考案した。これは，自律的に動くモジュールの集合からなる並行分散モデルで，それぞれのモジュールは身体の各部の動きを表す。各モジュールの運動は，そのモジュール固有な随意動作とその他のモジュールとの協調動作との合成で決定される。協調動作については，上記の分析で得られた部位間の相関と遅延時間をモジュール間の結合強度に適用することで，遅延時間を考慮して，相関の強い部位同士では強く反応し，相関の低い部位同士では小さく反応するよう実現している。今年度は協調動作のみ考慮して実験での動作の再現を試みた。相互作用の強い部位同士（実験の例では上半身同士）では，比較的よく再現できることが分かった。一方，相互作用の弱い部位では随意動作を適正に与えなければならないことが分かり，その解決は次年度への課題とする。

⑶ 日々刻々と変化を遂げる不正アクセスの形態や故障・損傷などの不測の事態に高セキュリティで柔軟に対応できるシステムの構成，および，大規模な peer-to-peer ネットワークにおいて運用可能なスケーラビリティの高い分散型認証システムの開発と評価

柔軟な情報処理が可能であるニューラルネットワークは，情報理論的測度（カルバック測度）を用いることで，ネットワークの最適サイズに惑わされることなく常に安定し学習を示すスケールフリーに優れた利点を持つ。これを活かし，複数のネットワークを並列に用いたパターン学習・認識システムを構築した。手書き文字を用いた性能の検討では，習熟度の低いネットワークでも，複数のネットワークを用い高い平均認識率が得られたことから，常に変化しながら流通するコンピュータネットワーク内の情報形態にリアルタイムスケールで迅速かつ汎用的に対応する不正アクセスへ対応可能なネットワーク構築の基礎が確立できた。

また，100 万のユーザが参加する大規模 peer-to-peer ネットワークにおいて運用可能なスケーラビリティの高い分散型認証手法を開発し，コンピュータシミュレーションによりこの手法の評価を行った。peer-to-peer ネットワークはサーバを必要としないために容易に構築可能なコンピュータネットワークであるが，認証局などの永続的なサーバを含まないため，PKI のような集中型認証手法を運用できないという問題がある。また，PGP などの既存の分散型認証手法はスケーラビリティに問題があるため，100 万のユーザが参加する大規模ネットワークには適用できない。そこで，Web of Trust と Distributed Hash Table を活用した新しい分散型認証手法 HDAM を開発した。HDAM では，Web of Trust を用いることにより永続的なサーバを必要としない分散認証を実現し，Distributed Hash Table を用いることにより高いスケーラビリティを実現している。また，コンピュータシミュレーションを用いて HDAM のスケーラビリティを評価した。この結果より，HDAM が必要とするメモリなどの計算機資源の量は PGP などの従来手法よりも大幅に少ないことが確認された。これは，HDAM のスケーラビリティが従来手法よりも大幅に高いことを示している。以上をもって，大規模な peer-to-peer ネットワークで運用可能な分散型認証手法の基礎を確立した。

（３－２）波及効果と発展性など

インターネット上でのコンピューティングに関わる Web ベースの各種支援システムの設計・実装，人ー人・人ー機械間の円滑で快適なコミュニケーション法の基礎的検討，不正アクセス検知・相互認証手法の基礎的検討を行うことができた。これら基盤を今後発展させることで，現在の技術よりも高度で知的なコンピューティング環境の整備を行い，インターネット利用の最適環境の構築を目指せると考えられる。このため，今後，同じ方向を目指す新たな研究者も加え，研究プロジェクトをより拡大・発展させる計画をしている。

［４］ 成果資料

(1) 和泉諭，加藤靖，高橋薫，菅沼拓夫，白鳥則郎，“オントロジを利用した健康支援システムの提案とその評価”，情報処理学会論文誌，Vol.49，No.2，pp.822-837（2008）.

(2) S.Izumi，N.Yasuda，G.Itabashi，Y.Kato，K.Takahashi，T.Suganuma and N.Shiratori，“A Health Advice Derivation System based on an Ontology”，ISWC2007+ASWC2007 Poster+Demo Proceedings，pp.35-36（2007）.

(3) D.Noheji，G.Itabashi，T.Yoshida and A.Togashi，“Human Resource Management System introducing Healthcare of Employee”，ISWC2007+ASWC2007 Poster+Demo Proceedings，pp.79-80（2007）.

(4) D.Kuriyama，S.Izumi，G.Itabashi，S.Kimura，Y.Ebihara，K.Takahashi and Y.Kato，“Design and Implementation of a Health Management Support System Using Ontology”，Proc. the International Conference on Engineering，Applied Sciences and Technology（ICEAST 2007），pp.746-749（2007）.

(5) 和泉諭，栗山大，三浦祐太朗，安田尚史，四倉涼，加藤靖，高橋薫，“オントロジを利用した健康支援システムの設計と実装”，電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会，信学技報 SS2006-82（2007）.

(6) 小林有佑，四倉涼，加藤匠，高橋薫，加藤靖，“介護記録解析支援システム”，平成 19 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会，07-A3-1（2008）.

(7) 櫻井良伸，安藤敏彦，“非言語コミュニケーションの分散協調モデル”，FIT2007 第 6 回情報科学技術フォーラム，J-037（2007）.

(8) 安藤敏彦，鈴木渉，松元啓介，“シアターゲームにおける非言語コミュニケーション”，電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会，信学技報 HCS2007-1，pp.1-6（2007）.

(9) 秋山育志，藤木なほみ，藤木澄義，“階層型確率ニューラルネットワークにおける相関の強いパターンの学習能力の検討”，平成 19 年度電子情報通信学会総合大会，pp.14（2007）.

(10) 藤木澄義，小島佑介，藤木なほみ，秋山育志，“相関の強い問題に対する確率的層状ニューラルネットワークの学習能力”，日本物理学会第 62 回年次大会 23pTL-11（2007）.

(11) 武田敦志，北形元，松島悠，木下哲男，白鳥則郎，“P2P ネットワークのための分散ハッシュ型認証手法”，情報科学技術レターズ，Vol.6，pp.433-436（2007）.（FIT 論文賞受賞）

(12) A.Takeda，K.Hashimoto，G.Kitagata，S.Muhammad，S.Zabir，T.Kinoshita and N.Shiratori，“A New Authentication Method with Distributed Hash Table for P2P Network”，The Fourth International Symposium on Frontiers in Networking with Applications（FINA2008）（2008）.

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／A16

採択回数	① 2 3

次世代ビームテクノロジーの基盤研究

［1］組織

代表者：嶋脇　秀隆
（八戸工業大学工学部）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
三村　秀典（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）
松本　貴裕（スタンレー電気（株））
新井　学　（新日本無線（株））
佐藤　信之（東北大学電気通信研究所）
山本　恵彦（(独）産業総合研究所）
横尾　邦義（東北大学名誉教授）

研究費：物件費 29 万円，旅費 27 万 3 千円

［2］研究経過

真空電子デバイスは、動作環境が真空であるため、電子の飽和速度が半導体より約1000倍大きく、散乱による損失がない、印加電圧が高い等、本質的に、高周波数、高出力、高効率、耐環境性に優れた特性を有し、現在でもなおマイクロ波からミリ波帯で重要な電子デバイスとなっている。また、電子ビームは、ナノオーダ以下に収束可能、物質との相互作用が大きい等の理由から、電子顕微鏡をはじめとする各種分析装置、描画装置に広く用いられている。その一方で、現在の真空デバイスや装置・機器に電子源として用いられてる熱陰極の性能上、高周波数化と高出力・高効率化に付随して巨大化が否めず、新しい電子源の開発が要望されている。近年、ナノテクノロジーを用いて電界電子放射陰極に代表される種々微小電子源が盛んに研究開発されているが、電流駆動能力、エネルギー分散等の点で課題を有しており、指向性に優れ、高電流、低エネルギー分散の微小電子源の開発及びビーム制御技術の確立は、電子ビームデバイスの小型化、高性能化及び真空ナノエレクトロニクスデバイスの実現のために急務な課題となっている。本プロジェクトでは、指向性・面内均一性、電流駆動能力に優れた微小電子源を開発すると共に、小型THz帯BWO等新規小型超高周波デバイス応用や低コストビーム露光技術などに向けたビーム制御技術の基盤を確立することを目的としている。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、平成 19 年 8 月 27～30 日、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設にて面放射型冷陰極の製作および研究打ち合わせを行った。また、平成 19 年 12 月 20 日、東北大学電気通信研究所にて研究会を開催した。

研究会

日時：平成 19 年 12 月 20 日（木）13：00－18：00
場所：東北大学電気通信研究所 2 号館 W214

1．「nc-Si MOS カソードの高性能化と応用」
嶋脇秀隆（八戸工業大学）
2．「マグネトロン応用の現状と固体デバイスの開発状況」　新井　学（新日本無線）
3．「電界電子放射陰極の電流変動機構」
松本貴裕（スタンレー電気）
4．「π共有結合を有する有機材料からの電子放出機構の基礎物性解明と応用」
根尾陽一郎（静岡大学）
5．「金属と半導体界面における電子の Energy Level Alignment」
山本恵彦（産業技術総合研究所）

[3]成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す成果を得た。

まず第 1 に、nc-Si MOS 平面型冷陰極の製作と電子放射特性の評価を行った。MOS 構造平面型冷陰極は、製作工程が容易、面放射型であるため放射電子ビームの指向性がよい、エミッションが得られるしきい値電圧が数V程度と低い、低真空動作可能など優れた特長を有し、電子放射効率が低いこととエネルギー分散が大きいことを除けば、ほぼ理想的な真空ナノエレクトロニクスデバイス用電子源といえる。近年、酸化膜層を SiOx 層や多孔質シリコンなどのシリコン微結晶層で置きかえた平面型冷陰極において、1%を大幅に超える電子放射が報告されているが、その電子放射機構については十分に解明されているとは言いがたい。また、微結晶系平面型冷陰極は、内部に粒子構造を持つことから、放射電子

のエネルギー分散が大きく、指向性も低下する傾向にある。本研究では、PLA 法と酸素ラジカルを用いて極薄酸化膜で表面被覆されたシリコン微結晶層からなる平面型冷陰極（図１）を製作し、電子放射効率および指向性の改善について検討すると共に、ナノ結晶層を用いた平面型冷陰極の電子放射機構について検討を行っている。図２に電子放射特性を示す。上部Au薄膜電極の膜厚を5nm程度に薄膜化することで、電子放射効率 4%を達成した。また、放射電子のエネルギー分布の計測を行い（図３）、放射電子にはtunnel emissionとfield emissionの両者の混在を示唆する結果が得られているが、いまだ不明な点も多い。

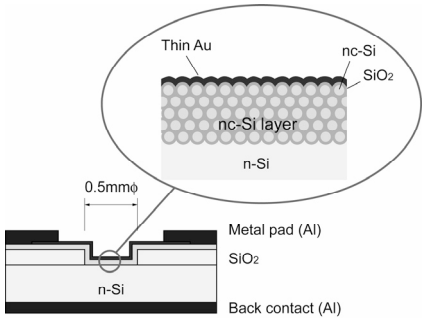


図１　nc-Si MOS 平面型冷陰極

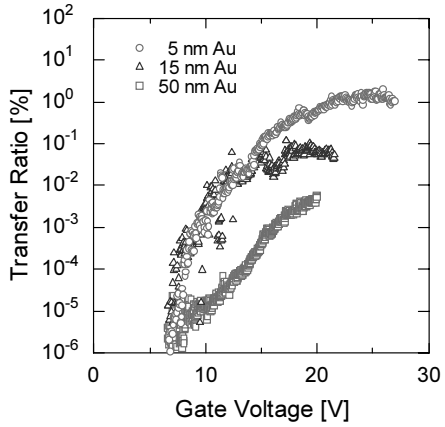


図２　電子放射効率の電極膜圧依存

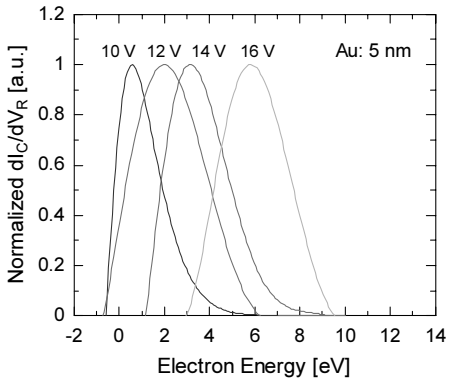


図３　放射電子のエネルギー分布

次に、π共有結合を有する有機材料からの電子放出機構の基礎物性について検討を行った。近年、カーボンナノチューブやグラフェンなどの有機材料が高電流密度、高安定な電子源材料として、注目されている。しかしながら、有機材料からの電子放射機構については、十分解明されておらず、これを解明することは、新しい電子源を開発する上で極めて重要である。物性を評価するにあたり、電界電子放射パターン(FEM)による観察は、有効な手段である。本研究において、グラフェン構造からの電流放射の詳細を調べた結果、放射パターンが CuPc からの FEM と類似していることが明かとなった。有機材料からの電子放射は、1958 年に Müller らによりタングステンチップ表面に銅フタロシアニン(CuPc)を吸着させた FEM が初めて報告され、分子が吸着したサイトから分子構造と類似した Four Lobe の特徴的なパターンが観察された。その後、Lippel らにより、scanning tunnel microscope (STM)を駆使し CuPc が詳細に測定され、分子軌道が Four Lobe であることが確認され、カーボンナノチューブやグラフェンなどの有機材料がまた森川らにより、Ni, Fe チップを試料に用いた Field ion Microscope が行われ、同様の Four Lobe パターンが観測されている。これらの結果を受け、塚田らにより FIM 測定時に、分子軌道を考慮した影像ガスのイオン化確率が計算され、四葉パターンは CuPc の分子構造，分子軌道を反映した影像と認識され現在に至っている。

本研究では、更に様々な有機低分子からの FEM パターンを測定した結果、図１に示すように、炭素間の結合がπ軌道を持つ分子においては共通な FEM パターンになる事が明らかとなった。更に、π軌道を有する分子の特徴として、タングステンチップ上でグレインを形成可能なものの中に、放射電流特性を著しく向上させる性質があることが確認された（図２）。

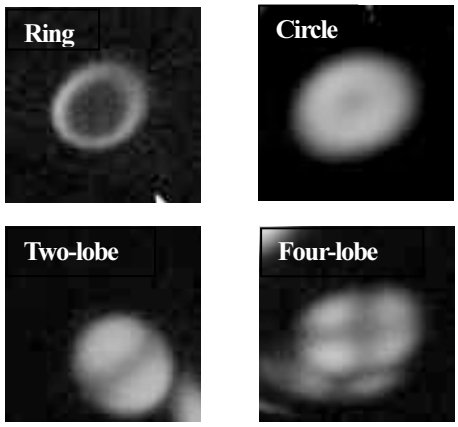


図4　π軌道を有する有機材料からの特徴的なFEMパターン

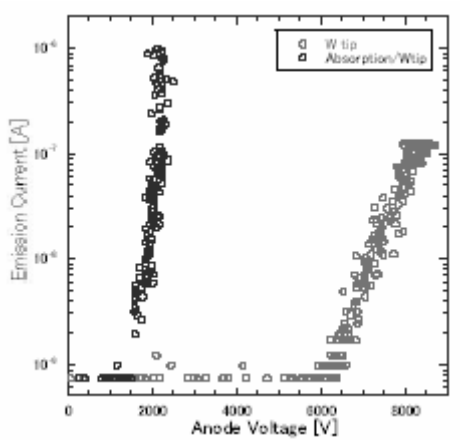


図５　有機低分子グレイン形成後の放射電流変化

（３－２）波及効果と発展性など

本研究により、ナノ構造を有する平面型冷陰極からの電子放射機構について理解が深まった。また、nc-Si 層の膜厚、粒径、表面酸化膜界面、ゲート電極膜厚等を制御することで平面型冷陰極の高性能化が期待される。さらに、π共有結合を有する有機材料からの電子放出機構に対する理解は、電流駆動能力に優れた微小電子源を開発する上で重要であり、次世代の電子ビームデバイスおよびビーム制御技術にむけて今後の発展が期待される。

［４］成果資料

(1) H. Shimawaki, Y. Neo, and H. Mimura, “Improvement of emission efficiency of nanocrystalline planar cathodes”, Tech. Digest of the 20th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Chicago, USA, 2007, pp. 106-107.
(2) Y. Neo, T. Matsumoto, H. Shimawaki, H. Mimura, and K. Yokoo, “The detailed Analysis of field emission under Stabilized Operation using field effect transistor”, Tech. Digest of the 20th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Chicago, USA, 2007, pp. 125-126.
(3) T. Matsumoto, Y. Neo, H. Mimura, and M. Tomita, “Correlation between field emission current fluctuation and physisorption of gasesnin grafite-nanoneedle cold cathode”, Tech. Digest of the 20th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Chicago, USA, 2007, pp. 121-122.
(4) 嶋脇秀隆, 根尾陽一郎, 三村秀典, “シリコン微結晶構造を用いた平面型冷陰極の電子放射特性（Ⅲ）”, 第 68 回応用物理学会学術講演会予稿集, No.2, 766, 2007.
(5) 惣田崇志, 安室千晃, 長尾昌善, 金丸正剛, 堺俊克, 斉藤信雄, 根尾陽一郎, 三村秀典, ”エッチバック法を用いたダブルゲート FEA の作製, 第 68 回応用物理学会学術講演会予稿集, No.2, 767, 2007.
(6) H. Shimawaki, Y. Neo, and H. Mimura, “Emission Properties of Naonocrystalline Silicon Planar Cathodes ", Proc. of 14th Int. Display Workshops, 2007, pp. 2217-2218.
(7) H. Shimawaki, Y. Neo, H. Mimura, K. Murakami, F. Wakaya, and M. Takai, ”Improvement of emission efficiency of nanocrystalline silicon planar cathodes”, J. Vac. Sci. Technol. B26, 2008 (*in press*).
(8) Y. Neo, T. Matsumoto, H. Shimawaki, H. Mimura, and K. Yokoo, ”The detailed analysis of field emission under stabilized operation using field effect transistor”, J. Vac. Sci. Technol. B26, 2008 (*in press)*.
(9) 根尾陽一郎, 武田匡史, 惣田崇志, 長尾昌善, 松本貴裕, 嶋脇秀隆, 吉田知也, 金丸正剛, 萩原啓, 堺俊克, 斉藤信雄, 青木徹, 三村秀典, 横尾邦義, ”Field Emitter Array の要素技術開発”, 第 5 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム予稿集, 25-28, 2008.
(10) 嶋脇秀隆, 根尾陽一郎, 三村秀典, “nc-SiMOS カソードの高効率化に向けて”, 第 5 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム予稿集, 29-36, 2008.
(11) 橋本歩, 惣田崇志, 根尾陽一郎, 松本貴裕, 嶋脇秀隆, 青木徹, 三村秀典, 横尾邦義, ”電界集係数緩和を用いた放射電流安定化の提案”, 第 55 回応用物理学関係連合講演会予稿集, No.2, 758, 2008.
(12) 武田匡史, 惣田崇志, 長尾昌善, 吉田知也, 金丸正剛, 堺俊克, 斉藤信雄, 根尾陽一郎, 青木徹, 三村秀典, ”エッチバック法を用いたダブルゲート FEA の作製―(2)”, 第 55 回応用物理学関係連合講演会予稿集, No.2, 760, 2008.

課題番号　H17／B01

採択回数	1　2　③

ペタバイト級情報ストレージシステムの研究

［1］ 組織

代表者：　村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
対応者：　村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
青井基：東北大学電気通信研究所：教授
藤本和久：東北大学電気通信研究所：教授
三浦健司：東北大学電気通信研究所：助手
中村慶久：東北大学電気通信研究所：客員教授
谷啓二：東京工業大学：客員教授：
松岡浩：東北大学電気通信研究所・客員教授：
松並直人：日立製作所システム開発研究所：部長：
小河卓二：日立製作所 RAID システム事業部開発本部：主管技師
浜田憲男：日立製作所 RAID システム事業部開発本部：部長

研究費：　旅費 351 千円

［2］ 研究経過

本共同プロジェクトは、超大容量情報ストレージ技術に関する研究を行うことを目的にしている。人類が取り扱うデジタル情報は飛躍的な拡大を続けており、すでに 10 エクサバイト（10^{19} バイト）を超えているとの推定もある。通常の個人のパソコンにおけるストレージ容量が 100 GB (10^{11} バイト)程度であることを考えると極めて大きな情報量であることが理解されるが、この膨大な情報を電子的に蓄積してコンピュータで容易かつ効率的な利用を提供することが情報ストレージ技術の大きな目標である。インターネットなど最近のネットワークでは動画情報を含めて大量の情報が頻繁に伝送されているが、これらは主としてハードディスク装置（HDD)、さらには磁気テープ装置などの主として磁気を用いた情報ストレージからアクセスされていることが多い。

この際に、同時に、大容量情報のアクセスには高速のデータ転送能力がなければ、巨大な情報量を現実的な時間で処理できないので高速性も極めて重要である。現在の大規模情報ストレージサイトではテラバイトから数十テラバイト級のストレージシステムが主流であるが、急速な情報量の拡大を背景に近い将来にはペタバイト（10^{15} バイト）級の容量が必要である。しかし、ストレージ容量を大きくするために、単に HDD のユニット数を比例的に増加させることはその大きさや消費電力などの観点から現実的ではなく、将来の具体的なシステム構成指針は必ずしも定まってはいない。

このような背景から、ストレージ装置の高密度化とともにその高密度性を生かす用途を含めた総合的なストレージ研究を展開し、次世代ペタバイトストレージのシステム的な課題を抽出しその解決のアプローチを明らかにする研究を行うものである。

［3］ 成果

（3－1）技術的検討内容

昨年より検討してきた階層型大容量ストレージシステムについて具体的な開発要素を想定して検討を開始した。特に、ペタバイト級の大規模ストレージシステムにおいて、その大容量性と高速性、省電力性や経済性等

を適切に満たすための最適化システムの実現を目的としている。システムの基本は階層化した並列処理系なので、主として、HDD ユニットの並列化マネージメント設計についてストレージシステムとしての最適化を図った。

今年度は、

1）平成 20 年 2 月 15 日

に研究会を行って成果を集約した。

今年度の成果は今後の開発対象となる今後のストレージシステム構成をまとめた点と、機能シミュレーションモデルと PC サーバを用いた試験システムの試作の第一段階を完了した点である。すなわち、

1） 前者のストレージシステム構成コンセプトについては、①高速 HDD を並列に構成したオンライン層と安価な高密度汎用 HDD を用いてオンライン階層の直下に配置されたニアライン階層の 2 レベルからなる高速階層ストレージシステムを提案・想定した。磁気テープや光ディスクなどによるオフラインアーカイブは低速のために補助装置として位置付け、ストレージの基本システム検討からは除外した。②この階層化ストレージは高速性を現実的なコストで実現するためには有効な方法であること、③ただし、安価な低速 HDD をシステムとして有機的に活用できなければ階層化の意味がないので、スループットを向上させるためには個々の HDD の運転方法について工夫を加えておくことが必要であることを明らかにした。これは並列化された多数のノードのうち、あるノードにプロセッサからのアクセスがあった場合に要求データを常にそのノードに用意できる場合と、ノードに存在せずデータ検索を要するのではその実効的な速度は大きく異なることによる。

2） 後者の基本ストレージコンセプトの最適化に関しては、大容量化・高速化のために単に HDD の並列数を増やすだけでは急激な消費電力の増加を招くので、個々の HDD 単体での消費電力低減、並びにその運転方法に工夫を加える必要がある。このために、まず HDD の動作をモデル化したシミュレーションを行って HDD 制御アルゴリズムを確立し、同時に、その検証のため制御アルゴリズムをフレキシブルにインプリメント可能な試験ストレージシステムの準備を完了した。これらを用いた具体的な成果は来年度以降の課題である。

（３－２）波及効果と発展性など

大規模の並列 HDD により構成されるストレージ技術は、現時点ではインターネットや業務用データベースの大型情報ストレージサイトやスーパーコンピュータのストレージなど用途が限定されており、必ずしも幅広い需要を背景にしているわけではない。しかし、今後の爆発的なネットワークの大規模化・高速化に加えて、スーパーハイビジョンなどの次世代高細精度の広帯域動画情報やそのアーカイブに代表される大規模情報の急速な展開を考えると、将来のストレージシステムに関して先導的な開発が必要である。

［４］　成果資料

論文としての成果はまだであるが、新たなストレージシステムの新規構成を具体化したので、これを踏まえた具体的なシステム研究を展開する。

課題番号　H17／B02

採択回数	1	2	③

電気・水素エネルギーシステム

［1］組織

代表者：濱島　高太郎
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
一ノ倉　理（東北大学大学院工学研究科）
渡辺　和雄（東北大学金属材料研究所）
大平　勝秀（東北大学流体科学研究所）
船木　一夫（九州大学超電導システム科学研究センター）
柁川　一弘（九州大学　大学院システム情報科学研究院）
住吉　文夫（鹿児島大学工学部）
熊倉　浩明（物質材料研究機構超電導材料研究センター）
白井　康之（京都大学大学院エネルギー技術研究部門）
中村　武恒（京都大学大学院工学研究科）
中込　秀樹（千葉大学工学部）
新富　孝和（日本大学大学院総合科学研究科）
平林　洋美（高エネルギー加速器研究機）
槙田　康博（高エネルギー加速器研究機）
武田　実（神戸大学　海事科学部）
坂本　正典（東京理科大学　総合科学技術経営研究科）
野村　新一（東京工業大学　原子炉工学研究所）
山田　修一（核融合科学研究所）
津田　理（東北大学大学院工学研究科）
谷貝　剛（東北大学大学院工学研究科）

研究費：校費 48825 円，旅費 172,840 円

［2］研究経過

世界人口や IT 産業の急速な発展により，エネルギーは急激な増加の一途を辿っている。そのために，地球環境に優しい電気エネルギーシステムを早急に構築する必要がある。液体水素は超電導電力機器を冷却すると同時に，燃料電池の燃料としての役割を果たすことができる。よって，このようなシナジー効果を活かすことにより，液体水素と超電導と燃料電池をキーテクノロジーとした付加価値の高い電気・水素複合エネルギーシステムが可能となる。以上より，本プロジェクトでは，電気・水素複合エネルギーシステムの構築を目的とした研究開発を行っている。本プロジェクトは，本年度が 3 年目であり，本年度の研究活動状況の概要は，以下の通りである。

電気エネルギーの省エネ化で必須となる超電導技術と水素技術を融合・複合した新しいエネルギーシステムを構築するには，様々な応用システムの考え方や，水素関連技術、エネルギーシステム技術などの要素技術開発状況を把握し，理解する必要がある。そこで，本年度は，(1)液体水素冷却超電導応用機器（SMES，モータなど），(2)液体水素利用超電導システム（分散電源，自動車など），(3)水素燃料の製造・輸送技術等に着目し，電気・水素複合エネルギーシステムを実現するための技術的課題を明確にするとともに，課題解決のための具体的な施策について検討することにした。そして，これらの要素技術に対する理解を深めるために，基礎研究や応用研究に携わる各分野の研究者を集め，「第 3 回電気・水素複合エネルギーシステム研究会」を開催し，要素技術に関する検討を行った。

（研究発表会の開催状況）

第 3 回電気・水素複合エネルギーシステム研究会

日時：平成 20 年 1 月 11 日（金） 13:00 ～ 17:30

会場：東北大学 工学部 電気・情報系 1 号館 103 室

(1) 「ICEV(Dual Fuel)・FCHV・EV の比較検討」
平林洋美（高エネルギー加速器研究機）

(2) 「液体水素冷却 SMES の検討」
新富孝和（日本大学大学院総合科学研究科）

(3) 「離島におけるエネルギーベストミックス・・・宮古島をモチーフにした自然エネルギー導入プラン」
坂本正典（東京理科大学総合科学技術経営研究科）

(4) 「核融合による発電と水素燃料の製造・輸送」
山田修一（核融合科学研究所）
(5) 「液体水素用液位センサおよび循環移送ポンプへのMgB2超電導線材応用」
柁川一弘（九州大学大学院システム情報科学研究院）
船木一夫（九州大学超電導システム科学研究センター）
中村武恒（京都大学大学院工学研究科）
(6) 「液体水素循環移送ポンプを指向したMgB2超電導誘導/同期モータの基礎検討」
中村武恒（京都大学大学院工学研究科）
柁川一弘（九州大学大学院システム情報科学研究院）
(7) 「スラッシュ窒素の熱・流動特性について―スラッシュ水素実用化に向けて―」
大平勝秀（東北大学流体科学研究所）
(8) 「液体水素ピンホール漏えいジェットの微粒化過程に関する融合CFD予測」
石本淳（東北大学流体科学研究所）
(9) 「超電導ケーブルとスラッシュ窒素を利用した冷熱供給システム」
山本惠一（前川製作所）
(10)「超電導マイクログリッドの基礎研究」
中山知紀（東北大学大学院工学研究科）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，電気・水素複合エネルギーシステムを実現するための技術的課題を明確にするために，電気・水素複合エネルギーシステムの構築に必要となる以下の要素技術を取り上げ，現状を把握するとともに，今後の課題等について検討を行った。その主な研究成果を以下に示す。

(1) 液体水素の自動車応用技術

地球温暖化防止や化石エネルギーからの脱却に備え現在開発中の各種自動車（ICEV，FCHV，EV）において，それぞれの特長や課題を把握するとともに，水素利用の観点から，各種自動車の有効性について比較検討を行った。その結果，ICEVについては，液体水素の供給インフラが整備されれば，90%以上の二酸化炭素排出削減が可能であり，その実現には，移動体における水素貯蔵技術（高性能断熱技術）の構築が重要であることがわかった。また，FCHVにおいては，省エネ化には有効であるものの，燃料電池における新たな触媒の探査が不可欠となることがわかった。

(2) 電力貯蔵技術

総合病院やハイテク工場などへの利用を想定した，液体水素冷却HTS・SMESとFC（水素エネルギー）の複合非常用電源装置について検討を行った。その結果，SMESの高速応答性と大きな入出力特性，液体水素の高エネルギー密度を活かすことによって，相乗効果を期待でき，閉空間や隔離された地域に対しても有効であることがわかった。また，システム構成，実規模SMESコイルの構成方法，冷却特性，交流損失特性などの詳細検討を行い，本システム実現に向けた課題を明らかにした。

(3) 水素燃料の製造・輸送技術

核融合による発電と水素燃料の製造および電力と水素燃料の同時輸送について検討を行った。特に，水素燃料の製造については，ヘリカル型核融合炉を例に挙げ，全出力を高圧水素ガスや液体水素製造に使用する場合や，出力の一部を液体水素製造に使用する場合について，製造量の比較検討を行った。また，1GW級の電力と100トン/日の水素燃料を同時輸送するシステムの概念設計を行い，その適合性や有用性について検討を行った。その結果，液体水素の圧力を高くすることによって，超電導ケーブルの温度マージンの上昇が可能となること，1000ｋｍ程度のエネルギー輸送では，275ｋＶの送電路に比べ，省エネ化が可能であることを明らかにした。

(4) 液体水素の液面検地技術

液体水素を用いた応用システムでは，液体水素の量を正確に把握しておく必要があることから，高精度，高信頼で大型化が可能な液面計の技術開発が必要となる。そこで，MgB_2線材を用いて，液体ヘリウムおよび液体水素中において，常電導伝播現象の観測および液面計動作の模擬試験を実施した。その結果，MgB_2線材を用いた試作センサが，液体水素用液面計に有効であることを確認した。また，実用化には，動作に必要となる入力電力の低減化が不可欠であることを明らかにした。

(5) 液体水素冷却超電導応用機器技術

超電導技術と水素技術のシナジー効果を活かしたシステムを構築するには，液体水素の製造・供給システムの確立が重要となる。このうち，液体水素の製造・貯蔵先から需要地までの移送には，取り扱いが簡便で小型・高性能なポンプが不可欠となる。そこで，液体水素循環移送ポンプを指向した，1.5ｋW級かご型超電導誘導/同期モータの概念設計を行った。その結果，20KでMgB2線材を使用した場合に，最大同期トルク27Nm，最大同期出力9.8kWが得ることができ，MgB2線材を用いた超電導誘導/同期モータが，ポンプ用モータとして有効であることを明らかにした。

(6) スラッシュ流体の輸送・貯蔵技術

超電導と水素の複合エネルギーシステムにスラッ

シュ水素を使用すると，ボイルオフガスやタンク容量を低減でき，輸送･貯蔵効率の向上を期待できる。しかし，スラッシュ流体を輸送・貯蔵面で実用化するには，配管内の熱・流動特性を明確にする必要がある。そこで，実験が容易なスラッシュ窒素を用いて管内の流動特性および強制対流熱伝達特性について検討を行った。その結果，レイノルズ数 10^5 以上（流速 3.5m/s 以上）において，圧力損失係数が液体時よりも減少すること，圧力損失低減量が，固相率・レイノルズ数などに依存することがわかった。また，固化率 0～20%時において，圧力損失低減効果が原因と考えられる熱伝達係数の低下が生じることを明らかにした。

(7) マイクログリッドシステム技術

地球への環境負荷低減には，再生可能エネルギーの活用が有効であり，中でも，水素を利用した燃料電池に期待が寄せられている。そこで，再生可能エネルギー源（風力発電，太陽光発電），超電導ケーブル・SMES，燃料電池を組み合わせた，液体水素冷却の超電導マイクログリッドの運転制御方法について検討した。その結果，不安定な気候変動に伴う再生可能エネルギーの急激な出力変動に対しても，マイクログリッド内で電力不足が生じることなく，安定供給が可能になること，変動出力への対応や SMES 用超電導線材使用量低減の観点では，燃料電池の台数制御を行う方法が有効であること等を明らかにした。

（３－２）波及効果と発展性など

本年度の研究により，将来の革新的な脱地球温暖化技術として期待される，電気・水素複合エネルギーシステムの構築に必要となる関連要素技術に対する理解を深め，それらの研究開発状況や技術課題を把握することができた。これにより，関連要素技術開発や応用システム技術開発の方向性を明確にし，今後の電気・水素複合エネルギーシステム技術研究開発を効率的に進めることが可能になったと考える。今後は，同様の研究会や技術検討会を継続的に行い，更に詳細なる要素技術課題の抽出や，電気・水素複合エネルギーシステム構築に向けた具体的な施策の提案を行っていく予定である。

また，本プロジェクトは，学外研究者との交流，研究者ネットワークの拡大，若手研究者の育成の点でも大きく貢献している。今後も継続して，研究会や技術検討会を開催し，更なる研究者ネットワークの拡大ならびに活発な技術討論環境の整備に努めていく予定である。

［4］成果資料

(1) 濱島高太郎，谷貝剛，一ノ倉理，斎藤浩海，渡辺和雄，大平勝秀，平林洋美，新富孝和，槙田康博，熊倉浩明：「液体水素と超電導電力機器のシナジー効果」平成 17 年電気学会全国大会，5-025，p27, 2005

(2) 濱島高太郎，津田理，谷貝剛，一ノ倉理，渡辺和雄，大平勝秀，熊倉浩明，平林洋美，新富孝和，槙田康博：「液体水素冷却超電導電力機器の検討」第 72 回春季低温工学・超電導学会講演概要集，p28，2005

(3) 平林洋美：「液体水素と超電導応用」低温工学，vol.40，pp.276-283，(2005)

(4) 中山知紀，谷貝剛，津田理，濱島高太郎：「液体水素冷却超電導コイルの安定性」超電導応用電力機器研究会，pp.67-71，2006

(5) T. Nakayama, T. Yagai, M. Tsuda, T. Hamajima: “Stability Analysis Of High Temperature Superconducting Coil In Liquid Hydrogen” 19th Internation Symposium On Superconductibity, Abstract p.360,(2006)

(6) 濱島高太郎，中山　知紀，谷貝剛，津田理：「液体水素冷却超電導電力機器」平成１８年秋季低温工学・超電導学会 講演概要集 p.57,2006

(7) 大平勝秀，石本淳，野澤正和：「スラッシュ水素実用化のための熱・流動現象の研究」第 77 回秋季低温工学・超電導学会講演概要集，p.287，2007

(8) 槙田康博，平林洋美，野村新一，新冨孝和：「液体水素冷却 SMES 用高温超電導コイル―高温超電導コイルの検討―」第 77 回秋季低温工学・超電導学会講演概要集，p.55，2007

(9) 柁川一弘，中村武恒：「液体水素循環ポンプを指向した MgB2 超電導誘導/同期モータの提案―その１（基礎概念と MgB2 線材に要求される特性）」第 77 回秋季低温工学・超電導学会講演概要集，p.59，2007

(10) 中村武恒，柁川一弘：「液体水素循環ポンプを指向した MgB2 超電導誘導/同期モータの提案―その２（モータの設計例と基礎特性）」第 77 回秋季低温工学・超電導学会講演概要集，p.60，2007

(11) 山田修一，菱沼良光，上出俊夫，K. シップル：「１GW 級の電力と水素燃料の同時輸送システムの研究」第 77 回秋季低温工学・超電導学会講演概要集，p.232，2007

(12) 佐藤工，中山知紀，谷貝剛，津田理，濱島高太郎：「水素と超電導の複合エネルギーシステムの検討」第 77 回秋季低温工学・超電導学会講演概要集，p.142，2007

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B04

採択回数	1　2　(3)

ナノスケール半導体の物理とそのナノテクノロジーへの展開

[1] 組織

代表者：白石　賢二
（筑波大院・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：
押山　淳（東大院・工学系研究科）
中山　弘（大阪市立大学・工学部）
纐纈　明伯（東京農工大・工学部）
一宮　彪彦（日本女子大学・理学部）
大野　隆央（物質材料研究機構）
伊藤　智徳（三重大学・工学部）
長谷川修司（東大院・理学系研究科）
中山　隆史（千葉大・理学部）
山口　浩司（ＮＴＴ物性基礎研）
野村晋太郎（筑波大院・数理物質科学研究科）
上田　一之（豊田工大・工学部）
成塚　重弥（名城大学・理工学部）
平山　博之（東工大院・総合理工学研究科）
三木　一司（物質材料研究機構）
阿久津典子（大阪電通大・工学部）
名西やすし（立命館大・理工学部）

研究費：物件費：50,000 円、旅費：310,000 円

[2] 研究経過

今日の半導体ナノデバイス技術の進展は目覚しく、ゲート絶縁膜、半導体チャネル等、ナノデバイスの各々の構成要素がナノスケールで構成されるようになってきている。実際、商用化されているパソコンに搭載されている MOSFET のゲート絶縁膜厚ですら２０Å未満になっており、ゲート絶縁膜を量子力学的にトンネルするリーク電流が大問題になっている。これらから容易に推測されるように、次世代のナノデバイスの発展には、従来のスケーリングだけではなく、新しいサイエンスに立脚したデバイス機能の向上が必要不可欠となっている。

従来のスケーリングによらずにデバイス機能を向上させるには、「ナノスケールの材料そのものに新しい機能を持たせる」こと等が極めて有効である。これらのことを実現するにはナノスケール領域において顕著となる物理現象を明らかにし、こうした現象を踏まえて「ナノスケールの半導体物理」を構築し、それを２１世紀のナノテクノロジーに応用することが重要である。

また一方、次世代のナノ半導体デバイス実現においては、基礎研究と応用研究の同時進行が求められている。２０世紀式の基礎研究を行ってから応用研究を行うというスタイルでは、実用化までの期間が極めて長くなってしまい、新しい技術のブレークスルーが生まれにくくなっているからである。

このような状況の下、平成１７年に「ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓」という研究課題名で共同プロジェクト研究会が採択された。本共同プロジェクト研究会の最大の目的は、将来の半導体デバイスの実現に不可欠な「ナノ半導体物理」の構築と「ナノ半導体の作成・計測技術」の開拓を同時進行するための研究体制作りを行うために、当該分野の第一線の研究者を一同に集め、本音の討論を行うことである。

第１回当該共同プロジェクト研究会は平成１７年１０月１４日（金）～１５日（土）にかけて、宮城県岩沼市の「岩沼・モンタナリゾート」で開催され、２２名の参加者による１９件の成果発表と活発な討論が行われた。第２回共同プロジェクト研究会は平成１８年１１月１７日（金）～１８日（土）にかけて宮城県仙台市の「ホールサムインばんじ」で開催され、２２名の参加者による１８件の成果発表と討論が行われた。第３回共同プロジェクト研究会においては、内容をナノスケール半導体物理の構築とその応用展開にテーマを絞り、プロジェクト研究会の研究課題名も「ナノスケール半導体の物理とそのナノテクノロジーへの展開」と一新した。第３回共同プロジェクト研究会は平成１９年１０月２６日(金)～２７日（土）にかけて宮城県松島町の「パレス松洲」で開催された。

[3] 成果

（３－１）研究成果

平成１９年度の共同プロジェクト研究会は研究分担者に「ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓」に関する研究発表を募集して、平成１９年１０月２６日（金）～２７日（土）にかけて、宮城県松島町の「パレス松州」で開催した。平成１９年度の第３回研究会は、１８名の参加者によって熱のこもった討論が展開され、「２１世紀のナノテクノロジー」を日本発で切り拓こうという各研究者の気迫が伝わってきた。以下に今回の研究会プログラムを記載する。

１０月２６日

１）13:04-13:05
はじめに
白石賢二（筑波大）

2）13:05-13:30
Si(111)表面上のＦ原子拡散
奈良純、大野隆央（ＮＩＭＳ）

3）13:30-13:55
Si 表面の酸化初期過程：Si(111)、Si(001)、Si(110)表面の場合
坂本一之（千葉大）

4）13:55-14:20
Si(111)－Ag 吸着表面へのシリコン蒸着
一宮彪彦　（日本女子大）

5）14:20-14:45
シリコン中多元素重畳 δ ドーピング技術
三木一司（ＮＩＭＳ）

6）14:45-15:10
Ag 超薄膜のＥｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Growth における歪と電子系エネルギーの競合
平山　博之　（東工大・総理工）

7）15:25-15:50
真のナノメートル・スケールでの電気伝導計測
長谷川修司（東大）

8）15:50-16:15
低密度二次元電子系の電子間相互作用と局在効果
野村晋太郎　（筑波大）

9）16:15-16:40
光を用いたキャリア励起によるカンチレバーのＱ値制御
岡本　創、山口　浩司　（NTT 物性基礎研）

10）16:40-17:05
Rf プラズマ源を用いた(001)GaAs 表面窒化に関する研究
成塚重弥（名城大）

11）17:05-17:30
有機 EL 用薄膜封止およびガスバリヤフィルムの開発　-低温成膜のサイエンスから見た問題点-
中山弘（（有）マテリアルデザインファクトリー＆大阪市大院・工）

12）20:00-20:25
InN の欠陥と余剰電荷
中山隆史（千葉大）

13）20:25-20:50
HVPE 法による InN 成長と表面反応メカニズム
熊谷義直、纐纈明伯（東京農工大）

１０月２７日

14）9:00-9:25
低速電子励起によるＸ線分析とＸ線顕微鏡の開発
上田一之　（豊田工大）

15）9:25-9:50
シリコンナノワイヤの構造と電子状態
秋山亨、伊藤智徳（三重大）

16）9:50-10:15
メソスコピック物理が語る2020年以降のSiロジックデバイスの未来像
白石賢二（筑波大）

17）10:15-10:40
シトクロム酸化酵素におけるプロトンポンプ機構の電子レベルでの解明
押山淳（筑波大）

18）10:40-11:05
強磁性半導体における電流誘起磁壁クリープ
大野英男（東北大）

19）11:05-11:15
おわりに
大野英男（東北大）

平成１９年度研究会では、（1）「新しいナノスケール半導体物理」につながる基礎物理の研究結果、（2）「２１世紀のナノテクノロジー」にブレークスルーを与える可能性のある研究結果、という本研究会の２つの大きなターゲットに関連する成果発表が数多く行われた。例えば、「光を用いたキャリア励起によるカンチレバーのQ値制御（ＮＴＴ物性基礎研・岡本、山口）」や「真のナノメートル・スケールでの電気伝導計測（東大・長谷川）」等は「新しいナノスケール半導体物理」につながる重要な結果であり、「強磁性半導体における電流誘起磁壁クリープ（東北大・大野）」や「メソスコピック物理が語る 2020 年以降の Si ロジックデバイスの未来像（筑波大・白石）」等は、「２１世紀のナノテクノロジーへの展開」が期待される研究成果である。

（３－２）波及効果と発展性など

３年間の本共同プロジェクト研究会を通して、基礎と応用の研究者がナノサイエンスおよびナノテクノロジーという一つのテーマに対して集中的に討論できたことは非常に意義が大きかったと考えられる。

現実に本共同プロジェクト研究会をきっかけに、いくつかの研究協力、共同研究がはじまり、大きな研究成果も得られた。例えば「金属／高誘電率絶縁膜のナノ界面制御の実用化」というＬＳＩ開発に直

結したテーマに対して、元来はナノ界面の基礎物理の研究を行っていた研究者が本研究会での討論をきっかけにＬＳＩ応用分野に参入し、実用化に近い研究者と共同し、デバイス分野での論文発表、さらにはデバイス分野での国際会議で多くの招待講演を行うまでになった。このような展開が可能となったのは本プロジェクト研究会で分野の垣根を越えた討論が行えたことが極めて大きい。

以上のべてきたように、３年間行った本共同プロジェクト研究会が分野を超えた研究者間の真の意味の連携の機会を与える場となり、基礎研究と応用研究が同時進行すると２１世紀のナノデバイスの研究開発に必要不可欠な研究体制が構築できたと考えている。将来的には、本プロジェクト研究会の討論をきっかけに、さらに多くの研究者間の有機的連携が生まれ、「ナノ半導体物理の新概念の構築」を皮切りに「２１世紀のナノテクノロジーのブレークスルーへと」つながってゆくことが十分予想される。このような一連の研究こそが、２１世紀のナノテクノロジーを支えるべきものであり、３年間の本共同プロジェクト研究会はこれに一定の役割を果たすことができたと確信している。

課題番号　H17／B05

採択回数	1	2	3

ナノスピンマニピュレーションのための高性能交換磁気異方性材料の研究

［1］組織

代表者：角田　匡清
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐久間昭正（東北大学工学研究科）
土井　正晶（東北大学工学研究科）
齊藤　伸　（東北大学工学研究科）
岩田　聡　（名古屋大学エコトピア科学研究機構）
加藤　剛志（名古屋大学工学研究科）
壬生　攻　（名古屋工業大学大学院工学研究科）
細糸　信好（北陸先端科学技術大学）
塚本　新　（日本大学理工学部）
武田　全康（日本原子力研究所）
中村　哲也（高輝度光科学研究センター）
鈴木　基寛（高輝度光科学研究センター）
福本　恵紀（高輝度光科学研究センター）
三俣　千春（日立金属(株)先端エレクトロニクス研究所）

研究費：校費　0　円，旅費 343,540 円

［2］研究経過

強磁性／反強磁性積層膜で観測される交換磁気異方性は、通常印加磁界方向に追随する強磁性体のスピンが一方向に固着される現象であり、スピン相対角の人工制御性を生み出すため、磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）を始めとするスピントロニクスデバイスや超高密度磁気記録用スピンバルブヘッド等に既に実用化されている。近年では、超高密度垂直磁気記録媒体の裏打ち軟磁性膜の磁区制御、マイクロ波帯用薄膜磁気デバイスの共鳴周波数制御などへの応用、さらには、レーザー誘起超高速（数ピコ秒オーダー）磁化反転への応用など、これまでにない広い応用分野での検討がなされており、ナノスピンマニピュレーションに不可欠の要素技術となって来ている。一方で、およそ半世紀前の交換磁気異方性の発見以来、その物理の理解と特性開発が多くの研究者によって行なわれてきたものの、現在に至るまで、本事象の統一的解釈と特性導出のための材料設計指針を欠いているのが世界的に見た研究の実状である。

そこで本プロジェクト研究では、産業応用のための高性能交換磁気異方性の材料・プロセス設計指針の確立を最終目標とし、理論研究、材料開発、分析・評価、応用開拓の各分野の研究者を一堂に会して討論を行い、これまでの研究知見・手法などの研究資源の整理と共有化を図る。また従来、各応用デバイス毎に個別に検討されてきた、交換結合膜への要求特性、ならびに積層膜構成・形成プロセス等の産業応用上の問題点・課題の整理を行い、最終目標に向けた研究要件の明確化を行う。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。上記の目的を踏まえて、本年度は、下記２回の研究会を開催し、ナノスピンマニピュレーションのための高性能反強磁性材料に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

○第１回研究会
日時：平成 19 年 12 月 21 日（金）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系 2 号館 204 会議室
主題:『放射光を利用した磁性材料研究の新たな展開』
参加者数：20 名
プログラム：
『時間分解 XMCD-PEEM によるミクロンサイズ磁気円盤中のスピンダイナミクス』
（高輝度光科学研究センター　福本 恵紀）
『コヒーレンスを利用した軟X線フーリエ変換ホログラフィの試行』
（高輝度光科学研究センター　中村 哲也）
『放射光核共鳴散乱法を用いた Fe 薄膜・ナノ構造体の磁性研究』

（名古屋工業大学　壬生 攻）

○第２回研究会
日時：平成 20 年２月７日（木）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系 351・353 会議室
参加者数：25 名
主題:『金属ナノ構造体のプラズモニクスとスピンダイナミクス』
プログラム：
『金属ナノ粒子材料の光学非線形性　―非線形誘電関数の波長分散特性―』
（(独) 物質・材料研究機構 量子ビームセンター 武田 良彦）
『金属ナノ構造の光学デバイス、高密度記録への応用』
（(株)リコー　研究開発本部先端技術研究所　福田 浩章）
『超短パルスファイバレーザを用いた GdFeCo 膜の磁化ダイナミクス計測』
（名古屋大学大学院工学研究科　加藤 剛志）

[3] 成果

（3―1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第１回研究会では、ナノスピン磁性体の磁気構造解析に関する新しい解析手法についての理解を深めるために『放射光を利用した磁性材料研究の新たな展開』と題した研究会を開催し、当該分野の第一線で活躍されている福本氏、中村氏ならびに壬生氏の講演に基づいて議論を行った。福本氏は、磁気記録素子への応用が期待されているミクロンサイズ磁気円盤中の磁気渦構造の直径約 10nm の面直磁化成分を持つコアのスピンダイナミクスについて最新の研究成果を交えて講演を行った。磁気円二色性(XMCD)と光電子顕微鏡(PEEM)を組み合わせた手法で磁区構造観察が可能であるが、さらに、円偏光放射光パルスをプローブ光、フェムト秒レーザーパルスにより励起された磁場パルスをポンプとしたポンププローブ法も組み合わせることで、ミクロンサイズ磁気円盤中のパルス磁場印加によるダイナミクス特性の観察を行った。SPring-8 特有の複雑な蓄積リングバンチモード(複数シングルバンチ＋単バンチトレイン)中の複数シングルバンチのみを利用した時間分解測定装置の解説、磁気円盤中のコアの移動速度が 4km/s で飽和する観測結果、1 次元型の磁壁で理論的・実験的に観測されている飽和速度(2km/s)と比較した結果について議論し、ボルテックスコアスピンのマニピュレーションの可能性を検討した。

中村氏は、軟X線フーリエ変換ホログラフィ法について最新の実験結果を報告した。磁気イメージングの手法として既に利用されているFZPによる方法ではWorking Distance (WD)が小さく、また、光電子顕微鏡による方法では電子集光レンズを使用するために連続的な外部磁場印加ができない問題があるのに対して、S. Eisebitt らによって提案された軟X線フーリエ変換ホログラフィ法は、試料空間が十分に広くとれるので磁場をはじめとした外場印加に対する自由度が大きく、磁気イメージング法の一つとして今後行う実験の重要な選択肢の一つになり得ると期待されることを示した。

壬生氏は、放射光核共鳴散乱法を用いた Fe 薄膜・ナノ構造体の磁性研究について講演を行った。メスバウアー分光法など原子核をプローブとした「局所磁性」の測定手段は，磁性体ナノテクロノジーやスピントロニクスの発展のため，きわめて有効な実験手段である．なかでも，最近発展中の放射光核共鳴散乱法（放射光メスバウアー分光法）は，単結晶基板上に作製された低プローブ濃度の薄膜・ナノ構造体の，低温環境下や磁場・電場中における局所磁性の測定手段として有望であることを解説し、ナノ構造体研究における放射光利用研究の重要性について議論を深めた。

第２回研究会では、金属ナノ磁性体におけるスピンダイナミクスについての理解を深めるために『金属ナノ構造体のプラズモニクスとスピンダイナミクス』と題した研究会を開催し、当該分野の第一線で活躍されている武田氏、福田氏、ならびに加藤氏の講演に基づいて議論を行った。武田氏は、金属ナノ粒子材料の光学非線形性に関する理論と物性定数計測に関する講演を行った。ナノスケールの構造を有した金属材料は、光の電場によって励起される自由電子の集団運動である表面プラズモンによって、様々な特異な光学的性質を示す。近年、表面プラズモン共鳴におけるナノ構造近傍の局所電場増強の利用、表面プラズモン伝搬、共振器構造による負の屈折率（メタマテリアル材料）、ピコ秒レベルの超高速非線形光学応答等の性質が注目されており、1980 年代より、その時間応答や、過渡的光吸収スペクトルの測定、光学非線形感受率（誘電関数の非線形部の比例定数）の評価が行われてきた。表面プラズモン共鳴の波長は、材料種（媒質、ナノ金属）・構造によって、大きく変わり、非線形定数自体も共鳴の前後で大きく変化するため、単一波長での絶対値や符号についての議論では不十分で、波長分散特性を評価することが非常に重要である。武田氏は、イオン注入法で作製されたいくつかの金属ナノ粒子材料についてフェムト秒レーザーシステムによるポンププローブ法によって測定した過渡反射率・透過率スペク

トルの解析から、表面プラズモン共鳴における非線形複素誘電関数の波長分散特性の実験的評価を行い、ナノ粒子の局所電場やバンド間遷移及びその重畳の影響について紹介した。

福田氏は、金属ナノ構造の光学デバイス、高密度記録への応用に関する講演を行った。光学分野におけるナノテクノロジーの強力なツールとして、従来の光学的な回折限界を超えナノサイズに局在する光を生成することを可能にする近接場光技術が注目されている。また、近年の微細加工技術の進展により、３次元的な微少領域に局在させた表面プラズモンの利用が可能になり、従来の材料では実現することが難しい光学特性を有する新機能デバイスの研究・開発がさかんに進められている。表面プラズモンとは、金や銀などの貴金属表面に沿って伝わる波であり、電磁波と相互作用を起こし共鳴状態を形成することができ、この共鳴が起きている表面近傍領域では、数桁倍に及ぶ電場増強が生じ、各種光学効果に顕著な効果があることが知られている。このようなナノ領域に局在する光の新規光機能デバイス、超高密度光記録などへの応用に関する福田氏らのグループが進めている研究の現状を紹介して頂き、議論を行った。

加藤氏は、超短パルスファイバレーザを用いたGdFeCo膜の磁化ダイナミクス計測についての最新の実験結果を紹介した。近年利用できるようになってきた，高パワーで安定性の高い超短パルスファイバレーザ光源を利用したポンププローブ計測を行い，GdFeCo 薄膜のジャイロ磁気定数，Gilbert ダンピング定数の組成依存性を検討した．GdFeCo 等の重希土類遷移金属（HRE-TM）膜は希土類と遷移金属の磁気モーメントが反平行に結合し，RE と TM の g 係数が一般に異なることから有限磁化での角運動量補償が実現でき，超高速磁化反転，低電流密度でのスピン注入磁化反転などが期待される．ポンププローブ測定により，角運動量補償点近傍での g 係数，ダンピング定数が増大する傾向が見られ，角運動量補償による高速磁化反転の可能性が示唆された．これまで磁化ダイナミクスの計測では主に強磁性共鳴（FMR）法が用いられてきたが，本研究会においては、ポンププローブ法と FMR 法による測定結果を比較し，両者の利点欠点について深く議論した．

これらの研究会活動を通じて、今後の高性能交換磁気異方性材料の開発研究の方向性に関する研究方針が明らかとなってきたことが本年度の主たる成果である。

（3―2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会は、材料開発、理論研究、応用研究ならびに解析技術研究の各分野から、交換磁気異方性材料に関する国内の第一線の研究者を集めたものであり、新たな研究コミュニティを確立することも目的の一つである。本年の活動によりその目的は達成され、共著での学会発表や論文執筆、さらには、共同での科学研究費補助金申請や、大型研究施設における研究プロジェクト申請など精力的な活動が行われると共に、多くの実りある提案がコミュニティの中から生まれつつある。本研究プロジェクトの継続的推進によって、新たな共同研究や、協力体制のより一層の強化が図られる。その結果として、独創的な高性能新材料の開発など、産業利用価値の高い大きな成果が生まれてくることが大いに期待される。

［4］成果資料

(1) M. Tsunoda, S. Yoshitaki, Y. Ashizawa, C. Mitsumata, T. Nakamura, H. Osawa, T. Hirono, D. Y. Kim, and M. Takahashi, “Uncompensated antiferromagnetic spins at the interface in Mn-Ir based exchange biased bilayers”, *J. Appl. Phys.,* **101** (9), 09E510-1-09E510-3 (2007).

(2) D. Y. Kim, C. O. Kim, M. Tsunoda, M. Yamaguchi, S. Yabugami, and M. Takahashi, “Magnetic viscosity phenomena in exchange coupled CoFe/MnIr bilayers”, *J. Appl. Phys.,* **101** (9), 09E511-1-09E511-3 (2007).

(3) K. Komagaki, K. Yamada, K. Noma, H. Kanai, K. Kobayashi, Y. Uehara, M. Tsunoda, and M. Takahashi, “Large Exchange Bias and High Blocking Temperature of MgO-Barrier-MTJs with $L1_2$-Ordered Mn_3Ir”, *IEEE Transaction on Magnetics*, **43**(8), 3535-3537 (2007) .

(4) M.Tsunoda, S. Yoshitaki, Y. Ashizawa, D. Y. Kim, C. Mitsumata, and M. Takahashi, “Enhancement of exchange bias by ultra-thin Mn layer insertion at the interface of Mn-Ir/Co-Fe bilayers”, *phys. stat. sol. (b),* **244** (12), 4470-4473 (2007).

(5) D. Y. Kim, B. Parvatheeswara Rao, C.-O. Kim, M.Tsunoda, and M. Takahashi, “Annealing temperature dependence of microwave permeability in CoFe/MnIr bilayers”, *phys. stat. sol. (c),* **4** (12), 4388-4391 (2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B07

採択回数	1　2　③

ソフトウェア検証の理論と実践

［1］組織

代表者：小林　直樹
（東北大学大学院情報科学研究科）
対応者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
青木　利晃（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
五十嵐　淳（京都大学大学院情報学研究科）
大崎　人志（産業技術総合研究所システム検証研究センター）
武山　誠（産業技術総合研究所システム検証研究センター）
萩谷　昌己（東京大学大学院情報理工学系研究科）
二木　厚吉（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
南出　靖彦（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

研究費：物件費３万５千円，旅費２７万２千円

［2］研究経過

近年の情報化社会では、社会的基盤の多くがコンピュータに依存しており、ソフトウェアの信頼性への要求が高まっている。本共同プロジェクトでは、ソフトウェアの信頼性を保障する上で最も重要なソフトウェアの形式的な検証技術の発展・応用を目的として研究を行った。

本年度は、以下の１回の研究集会を開催した。

日程：2007 年 11 月 20 日（火）～11 月 21 日（水）
発表 9 件

発表者と内容は以下のとおり。

Reynald Affeldt(AIST)
「On Game-based Security Proofs in Coq」
中島　震(NII)
「C 言語プログラム・モデル検査と DbC」
青木 利晃(JAIST)
「マルチタスクソフトウェアにおけるタスク間状態不一致問題の検出と解析」
高井利憲(AIST)
「モデル検査のフィールドワーク」
寺内 多智弘(東北大)
「線形計画法によるレース解析」
海野 広志(東大)
「On-demand Inference of Dependent Types」
南出靖彦(筑波大)
「Checking the Balancedness of a Context-Free Language in Polynomial Time」
五十嵐 淳(京大)
「Variant Path Types for Scalable Extensibility」
小林 直樹 (東北大)
「From Deadlock-Freedom and Termination to Lock-Freedom」

［3］成果

（3－1）研究成果

プログラム検証に関する会合を１回開き、当初の目標どおり、プログラム検証のための、モデル検査、型システム、定理証明、項書き換え等さまざまなアプローチからの研究者同士の情報交換が行えた。関連する成果をまとめた論文のリストは別紙に記載のとおり。

具体的研究成果の一つとして、「並行プログラムの検証のための型システムの改良」があげられる．小林らは，特定の通信がいずれ必ず成功することを表すロックフリーダムという性質を検証するための型システムを改良し，モデル検査など他の手法によるデッドロックや停止性の解析結果を組み合わせることにより，従来よりもロックフリーダムの検証精度を向上させた．また，停止性についても従来からの型による手法と，他の手法とを融合して改良した．
以上の成果の一部は論文(3)で発表するとともに，並行プログラムの検証器 TyPiCal に実装し，http://www.kb.ecei.tohoku.ac.jp/~koba/typical/においてソースを公開している．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、異なるアプローチからの研究者同士の情報交換が促進できた。また、本プロジェクトの会合に参加した学生の論文が国際会議に採択されるなど若手研究者の育成にもつながっている。

［4］成果資料

（１）Naoki Kobayashi and Takashi Suto, “Undecidability of 2-Label BPP Equivalences and Behavioral Type Systems for the Pi-Calculus, ” Proceedings of the 34th International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP'07), Springer LNCS, Vol. 4596, pp.740-751, July 2007.

（２）Daisuke Kikuchi and Naoki Kobayashi, “ Type-Based Verification of Correspondence Assertions for Communication Protocols, ” Proceedings of the 5th Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS'07), Springer LNCS, Vol. 4807, pp.191-205, November 2007.

（３）Romain Demangeon, Daniel Hirschkoff, Naoki Kobayashi and Davide Sagiorgi, “On the Complexity of Termination Inference for Processes,” Proceedings of Trustworthy Global Computing 2007 (TGC'07), Springer LNCS, Vol.4912, pp.140-155, March 2008.

（４）Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, “Automatic Construction of Program Transformation Templates,” IPSJ Transactions on Programming, Vol.49, No.SIG 1 (PRO 35), pp.14-27, 2008.

（５）吉田順一, 青戸等人, 外山芳人, “項書き換えシステムの合流性自動判定,”第6回情報科学技術フォーラム(FIT'07)講演論文集, 情報技術レターズ, Vol.6, pp.31-34, 2007.

（６）Yasuhiko Minamide, “Verified Decision Procedures on Context-Free Grammars,” Proc. of the 20th International Conference on Theorem Proving in Higher Order Logics, LNCS 4732, pp. 173-188, 2007.

（７）松本宗太郎, 南出靖彦, “多相レコード型に基づくRubyプログラムの型推論,” 情報処理学会論文誌:プログラミング, Vol.49, No. SIG 3, PRO 36, pp.39-54, 2008.

（８）Atsushi Igarashi and Mirko Viroli, “Variant Path Types for Scalable Extensibility”, Proceedings of the ACM Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA'07), pp.113-132, October 2007.

（９）T. Aoki and T. Katayama, “Statechart-Based Verification of Object-Oriented Design Models,” 14th Asia-Pacific Software Engineering Conference, pp.278-285, 2007.

（１０）青木利晃, 関口正, 平山雅之, 岸知二, “マルチタスクソフトウェアにおけるタスク間状態不一致問題の検出と解析,” 情報処理学会組込みシステム研究会組込みシステムシンポジウム2007, pp.102-110, 2007.

（１１）Hitoshi Ohsaki and Hiroyuki Seki, “Languages Modulo Normalization,” Proceedings of 6th FroCoS, LNAI 4720, pp.221-236, Springer, 2007.

（１２）小池憲史, 吉田聡, 大崎人士, “LTLモデル検査の為の図示記法,” 第14回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2007), 日本ソフトウェア科学会, 2007年11月.

（１３）高井憲利, 古橋隆宏, 尾崎弘幸, 大崎人士, “環境ドライバを用いたモデル検査による検証事例,” 第4回システム検証の科学技術シンポジウム, 日本ソフトウェア科学会, 2007年11月.

（１４）Weiqiang Kong, Kazuhiro Ogata and Kokichi Futatsugi, “Specification and Verification of Workflows with RBAC Mechanism and SoD Constraints,” International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 17(1): 3-32, World Scientific, 2007.

（１５）Kazuhiro Ogata and Kokichi Futatsugi, “Modeling and verification of real-time systems based on equations,” Science of Computer Programming, 66(2): pp.162-180, Elsevier, 2007.

（１６）Kazuhiro Ogata and Kokichi Futatsugi, “Comparison of Maude and SAL by Conducting Case Studies Model Checking a Distributed Algorithm,” IEICE TRANSACTIONS on Fundamental of Electronics, Communications and Computer Science, E90-A(8): pp.1690-1703, 2007.

課題番号　H17／B08

採択回数	1　2　(3)

スピンエレクトロニクスの新展開

［1］組織

代表者：小野 輝男
（京都大学化学研究所）
対応者：大野 英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
秋永　広幸（産総研）
安藤　功兒（産総研）
安藤　康夫（東北大工）
井上　順一郎（名大工）
伊藤　公平（慶大理工）
猪俣　浩一郎（物材機構）
大谷　義近（東大物性研）
勝本　信吾（東大物性研）
黒田　眞司（筑波大数理物質科学）
白井　正文（東北大通研）
清水　大雅（農工大工）
鈴木　義茂（阪大基礎工）
齋藤　英治（慶大理工）
高梨　弘毅（東北大金研）
高橋　有紀子（物材機構）
多々良　源（首都大）
田中　雅明（東大工）
永長　直人（東大工）
仲谷　栄伸（電通大）
新田　淳作（東北大工）
藤森　淳（東大新領域）
前川　禎通（東北大金研）
宗片　比呂夫（東工大理工）
山本　眞史（北大情報科学）
湯浅　新治（産総研）
吉田　博（阪大産研）

研究費：物件費5万円，旅費32万7千円

［2］研究経過

電子の二つの自由度である電荷とスピンを利用するスピンエレクトロニクスは電荷のみを利用するエレクトロニクスの限界を打ち破る可能性を秘めた２１世紀の重要な科学技術である。金属スピンエレクトロニクス分野では、巨大磁気抵抗効果がHDDの高密度化を実現し、トンネル磁気抵抗効果を利用したMRAMが市場に出ようとしている。一方、強磁性半導体の発見を契機として発展した半導体スピンエレクトロニクス分野では、強磁性の電界制御など半導体特有のスピン操作が実現されている。本プロジェクトでは、これまでほぼ独立に発展してきた上記二つの分野の研究者が分野横断的に議論することで、分野の枠組みを超えたスピンエレクトロニクスの新たな展開を生み出すことを目的として研究会を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

平成19年10月4日～5日に東北大学電気通信研究所にて「スピンエレクトロニクスの新展開」に関するプロジェクト研究会を、特定領域研究「スピン流の創出と制御」のキックオフミーティングとの共催として開催した。金属スピンエレクトロニクス分野と半導体スピンエレクトロニクス分野の研究者が多数集まり、25件の講演とともに今後のスピンエレクトロニクス研究の課題や目標について熱心な議論が行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトは平成17年から19年まで3年継続で採択していただいた。平成17年度と平成18年度の研究会における金属スピンエレクトロニクス分野と半導体スピンエレクトロニクス分野の研究者による最新の情報交換と議論によって、スピンエレクトロニクス研究の課題や目標が明確となった。これを受け、平成19年度に特定領域研究「スピン流の創出と制御」を本プロジェクトの分担者が中心となって提案し、採択に至った。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトから生まれた特定領域研究「スピン流の創出と制御」によって、新たなスピンエレクトロニクスの発展が期待される。

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B09

採択回数	1　2　③

マイクロ波帯磁気応用技術に関する研究

代表者：佐藤　敏郎
（信州大学工学部）
対応者：村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石井　　修（山形大学工学部）
池田　慎治（富山工業高等専門学校）
岡田　健一（東京工業大学精密工学研究所）
長田　　洋（岩手大学工学部）
川人　祥二（静岡大学電子工学研究所）
杉山　　進（立命館大学理工学部）
竹澤　昌晃（九州工業大学工学部）
丹　　健二（秋田県高度技術研究所）
辻本　浩章（大阪市立大学工学部）
中野　正基（長崎大学工学部）
中山　英俊（長野工業高等専門学校）
本田　　崇（九州工業大学工学部）
松下　伸広（東京工業大学応用ｾﾗﾐｯｸｽ研究所）
宗像　　誠（崇城大学ｴﾈﾙｷﾞｰｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ研究所）
山本　節夫（山口大学工学部）
山口　正洋（東北大学工学研究科）

研究費：校費 47,975 円，旅費 489,500 円

［2］研究経過

本研究会は，携帯電話や無線 LAN などの RF 回路における集積化磁性薄膜デバイスと材料技術，電子回路の高速化に伴って顕在化しているマイクロ波帯 EMI の広帯域抑制技術，ならびに，磁性材料を利用した新しいマイクロ波帯磁気応用技術を探索することを目的に発足した。平成 19 年度は，携帯電話 RF 回路への適用を目的とした磁性薄膜応用デバイスの現状，10GHz を越える磁性薄膜高周波透磁率計測技術，強磁性共鳴周波数以上の周波数領域で現れる負の透磁率の応用可能性などの検討を行った。

また，平成 19 年 12 月 20 日，21 日の両日，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を会場として電気学会マグネティックス研究会との合同研究会を開催した。以下に，電気学会合同研究会プログラムを示す。

12 月 20 日（木）14:00～17:15

(1)マイクロ DC-DC コンバータの高効率化に関する考察，菅原聡（富士電機ﾃﾞﾊﾞｲｽﾃｸﾉﾛｼﾞｰ・信州大），江戸雅晴，山田耕平，川島鉄也（富士電機ﾃﾞﾊﾞｲｽﾃｸﾉﾛｼﾞｰ），佐藤敏郎，山沢清人（信州大）

(2)負の透磁率による高周波導体抵抗の低減に関する研究，塩澤誠一，山口正洋，島田寛（東北大），Ki Hyeon Kim（Yeungnam Univ.），Y. Zhuang，M. Vroubel, B. Rajaei（Delft Univ. Tech.）

(3)B を添加した CoFe 膜の異方性磁界における Ru 下地層の効果，宗像誠，牛水紘貴（崇城大），槙孝一郎（住友金属鉱山），大越正敏（九州工大）

(4)下地膜による Co-Sm アモルファス薄膜の熱処理挙動改善，池田賢司（太陽誘電）

(5)FeCo スパッタ薄膜の酸素微量含有及びその磁気特性への影響，劉小晰，神田英和，杉山淳一郎，森迫昭光（信州大）

(5)磁気光学空間光変調器のための反射型磁性フォトニック結晶の形成と特性，金周映，川西史晃，高橋一義，水戸慎一郎，高木宏幸，林攀梅，内田裕久，井上光輝（豊橋技科大）

12 月 21 日（金）9:00～11:45

(6)携帯電話用 CoFeB 磁性薄膜方向性結合器の大振幅信号伝送特性の評価，水田創，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正（信州大），三宅裕子，秋江正則，上原裕二（富士通），宗像誠、八木正昭（崇城大）

(7)チップサービスを用いた伝送線路の特性と集積化磁性流体の伝送特性に与える影響，小林翔一，鳥塚英樹，小屋祥太，山口正洋（東北大）

(8)磁性金属／ポリイミド複合材料厚膜を用いたプレーナパワーインダクタの試作と DC-DC コンバータへの適用実験，清水勇人，柏木友喜，吉池政史，直江正幸，佐藤敏郎，三浦義正，山沢清人（信州大）

(9)磁性薄膜乗算素子の高感度化に関する研究，辻本浩章，虎谷浩史（大阪市大）

(10)高周波キャリア型薄膜磁界センサを用いた心磁界測定，薮上信，加藤和夫（東北学院大），小澤哲也（宮城高専），荒井賢一（電磁研、情報通信研究機構）

［3］成果

（3－1）研究成果

平成 19 年度に実施した共同プロジェクト研究会

を通して得られた主要な研究成果を以下に示す。

(1) **携帯電話用磁性薄膜方向性結合器の現状**

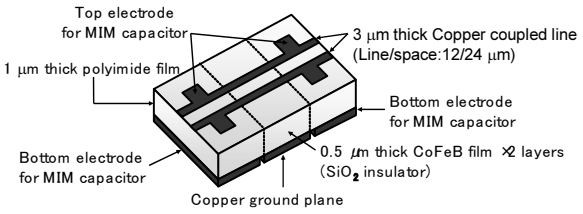
携帯電話 RF 回路用受動部品の大半を占める LTCC（Low Temperature Co-fired Ceramics）チップ部品の代替を目的として，パワーアンプの送信電力制御のための方向性結合器をターゲットとした集積化磁性薄膜方向性結合器の開発が進められている。これまで，4 ポートネットワークアナライザを利用した小信号伝送特性の評価にとどまっていたが，パワーアンプの送信電力を想定した大信号伝送特性が評価された。

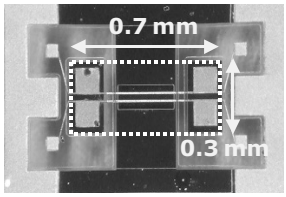
図 1(a)は試作デバイスの模式図と外観写真を示すものである。本デバイスでは，主線路－副線路間の磁気結合を CoFeB 磁性薄膜の採用によってエンハンスすることで線路長を 0.4mm 程度に短縮するとともに，4 つのポートに薄膜キャパシタを設置することで線路間の電界結合を発生させている。図 1(b)は，mW オーダーの小電力から 2W までの通過電力をパラメータにした信号伝送特性の測定結果を示すものである。図中のハッチングした領域は目標特性の範囲を示すものである。図から明らかなように，挿入損失（S_{21}），結合度（S_{31}），アイソレーション（S_{41}），方向性（D）のいずれも目標特性を満足し，通過電力にほとんど依存しない。また，試作したデバイスは非共振モードで動作するため，広い周波数範囲で目標を満足する広帯域特性を有していることが分かる。以上のように，試作された磁性薄膜方向性結合器はほぼ実用レベルにあるものと考えられる。

(2) **磁性材料の新しいマイクロ波帯磁気応用技術**

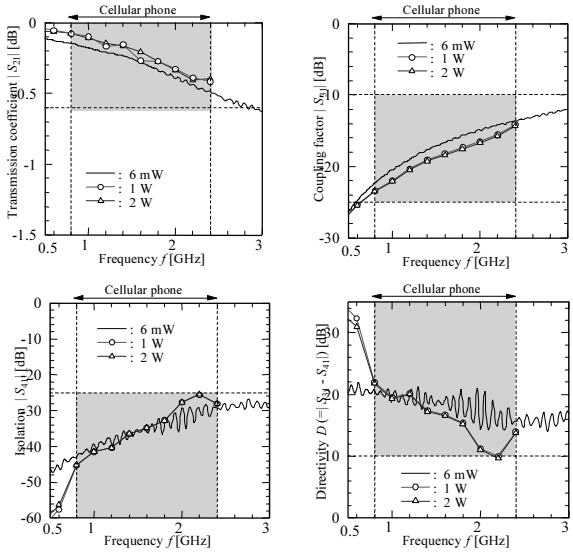
最近，磁性材料の磁気共鳴周波数以上の周波数で現れる負の透磁率を利用する新しいマイクロ波帯磁気応用技術が報告されている。東北大学の山口正洋教授のグループは，オランダ・デルフト工科大学と共同で，金属磁性薄膜と導体膜からなるマイクロ波回路用低損失積層配線技術を発表した。高周波における配線抵抗は導体の表皮効果による表面抵抗が支配的になり，周波数の 1/2 乗で抵抗増加するために配線損失が無視できなくなる。新たに提案された金属磁性膜／導体膜積層配線構造では，磁性膜の負の透磁率によって決定された磁性膜／導体膜－膜厚比を採用することで，磁気共鳴周波数を越える特定の周波数範囲で積層配線の実効透磁率を導体のみの場合よりも小さくすることができ，表皮効果を抑制できる。実際に CoZrNb／Al 積層配線を作製して評価した結果，10GHz 以上の周波数で Al 単独の場合よりも配線抵抗を小さくできることを実証した。

負の透磁率を利用する具体的応用はこれまでに例がなく，応用範囲の拡大など，今後の進展が大いに期待される。





(a) 模式図と外観写真



(b) 信号伝送特性

図 1 CoFeB 磁性薄膜方向性結合器

(3) **磁性薄膜透磁率計測の高周波化**

(2)項で述べたように，磁気共鳴点を越える周波数で磁性材料を利用する事例が出てきており，磁性材料の透磁率計測の高周波化が望まれるようになっている。これまでに，シールデッドループコイルを用いた広帯域磁性薄膜透磁率計測が実用化されているものの，測定上限が 9GHz にとどまっており，前述した負の透磁率を利用するような場合は 10GHz を大幅に越える周波数まで透磁率を精度良く評価したい。

このような背景のもと，コプレーナ線路の信号配線上に磁性薄膜試料を配置して透磁率を計測する新しい手法が考案された。信号配線幅に対する磁性薄膜の幅寸法の検討などにより，10GHz を超える周波数で高精度に透磁率を計測できる可能性が示されており，新しいマイクロ波帯磁気応用技術を支える基盤技術として，今後の進展が期待される。

（３－２）波及効果と発展性など

マイクロ波 IC への適用を目指した集積化磁気デ

バイスについては，磁性薄膜方向性結合が実用レベルに達しているものと考えられ，今後は他のデバイスへの展開が期待される。

磁性材料の新しいマイクロ波帯磁気応用技術としては，これまでに例のない，負の透磁率を利用する具体的応用が示され，実用化とともに応用範囲の拡大が望まれる。また，超高周波透磁率計測技術など，マイクロ波帯磁気応用技術の進展を支える基盤技術も着々と進んでいる。

なお，マイクロ波帯磁気応用技術分野の国際交流の場として，IEEE Magnetics Society 主催の MMDM6（6th International Workshop on High Frequency Micro-magnetic Devices and Materials）が 2008 年 5 月にマドリッドで開催の予定になっている。

［4］成果資料

(1) M. Sonehara, T. Ishikawa, K. Inagaki, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, H. Fujiwara, Ferromagnetic Resonance Simulation of Mn-Ir/Fe-Si Exchange-Coupled Film on Basis of LLG Equation Taking Exchange-Stiffness Dispersion Model into Account, *J. Magn. Soc.Jpn.*, Vol.31, No.3, pp.153-158, 2007.

(2) M. Yamaguchi, S. Koya, H. Torizuka, S. Aoyama, S. Kawahito, Shielded-Loop-Type Onchip Magnetic-Field Probe to Evaluate Radiated Emission From Thin-Film Noise Suppressor, *IEEE Trans. Magn.,* Vol.43, No.6, pp.2370-2372, 2007.

(3) S. G. Cho, J. Kim, I. Kim, K. H. Kim, M. Yamaguchi, Effect of measurement geometry on permeability extracted by a broadband method, *Physica Sta. Solid. Appl. and Mater. Sci.*, Vol.204, No.12, pp.4133-4136, 2007.

(4) K. H. Kim, M. Yamaguchi, J. Kim, Ferromagnetic resonance behaviors of integrated CoPdAlO magnetic film on coplanar waveguide, *J. Korean Phys. Soc.*, Vol.51, No.6, pp.2026-2030, 2007.

(5) Y. Shimada, M. Yamaguchi, G. W. Qin, S. Okamoto, O. Kitakami, Permeability of submicron and nanometer ferromagnetic particle composites, *J. Appl. Phys*., Vol.101, No.9, 09M505, 2007.

(6) O. Acher, M. Ledieu, M. Abe, M. Tada, N. Matsushita, M. Yoshimura, K. Kondo, GHz permeability of sprayed NiZn ferrite films, *J. Mag. and Mag. Mater.*, Vol.310, No. 2, pp.2532-2533, 2007.

(7) A. K. Subramani, N. Matsushita, T. Watanabe, M. Tada, M. Abe, M. Yoshimura, A simple process for ferrite film preparation from one solution without using hazardous oxidizing agent, *J. Appl. Phys*., Vol.101, No.9, 09M504, 2007.

(8) M. Takezawa, T. Wada, Y. Morimoto, J. Yamasaki, Domain observation of amorphous wire with large diameter for micro-sensor and micro-motor application, Internat. *J. Appl. Electromag. and Mech*., Vol.25, No.1-4, pp.189-192, 2007.

(9) S. Li, Z.G. Huang, J.-G. Duh, M. Yamaguchi M, Ultrahigh-frequency ferromagnetic properties of FeCoHf films deposited by gradient sputtering, *Appl. Phys. Lett*., Vol.92, No.9, 092501, 2008.

(10) M. Naoe, T. Omura, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Synthesis and Characterization of Temperature Sensitive Li-Zn-Cu Ferrite, *Jpn. J. Appl. Phys*., Vol.47, No.1, pp.550-553, 2008.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

課題番号　H17／B10

プログラム自動生成とその信頼性に関する研究

［1］ 組織

代表者：亀山　幸義
（筑波大学システム情報工学研究科）
対応者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
浅井　健一
（お茶の水女子大学理学部）
小川　瑞史
（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
筧　一彦
（東京大学産学連携本部）
胡　振江
（東京大学情報理工学系研究科）
高野　明彦
（国立情報学研究所ソフトウェア研究系）
中野　圭介
（東京大学情報理工学系研究科）
西村　進
（京都大学理学研究科）
長谷川　立
（東京大学数理科学研究科）
細谷　晴夫
（東京大学情報理工学系研究科）
協力者：
青戸　等人
（東北大学電気通信研究所）
千葉　勇輝
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 20,000 円，旅費 290,000 円.

［2］研究経過

目的と概要：プログラム変換やプログラム特化など，プログラムを自動的に生成する方法に焦点を当てて，効率よく信頼性の高いソフトウェアを作成する手法を探求することを第一の目的とした．また，構造化文書や木構造などのデータを対象としたソフトウェアの自動生成法について探求することを第二の目的とした．本研究の特色は，ソフトウェア生成法自体の信頼性も保証することと，近年重要度を増している半構造化データ処理へ応用して実例を得ることの２点である．

今年度の活動：　本共同プロジェクト研究は本年が最終年度となり，これまで得られたアイディアを、プログラム生成や半構造化データ処理などに関連する各領域にて適用し成果を得るための活動を行った．

今年度の研究集会：　平成 19 年 9 月 25～26 日に東北大学電気通信研究所においてメンバーのほぼ全員と研究協力者の参加を得て開催した．研究集会における主な発表テーマは次の通りである。

- 浅井　健一，「部分継続の型システムと double negation について」
- 筧　一彦，「Random Tree Generation and its Application to Evaluating a Parallelization Algorithm」
- 亀山　幸義，「dynamic control operator について」
- 胡　振江，「Automatic Derivation of Generic Divide-and-Conquer Parallel Algorithms」
- 高野　明彦，「情報を発想力に変換する連想計算」
- 中野　圭介，「強制消費型と並行 Haskell による XML ストリーム処理」
- 西村　進，「ゴミ集めを考慮したプログラムの詳細化について」
- 外山　芳人，「帰納的経路関係に基づくＳ式書き換えシステムの停止性証明」

［3］成果

（3－1）研究成果

1. コントロールオペレータに対する型システム

プログラム変換の一種であるＣＰＳ変換により与えられるコントロールオペレータについて以下の成果を得た。I)「限定継続」を扱うコントロールオペレータである shift と reset に対する型システムにおいて、継続をあらわす型が Curry-Howard 対応のもとで一種の否定演算子に対応することを示した。II）上記型システムに、ＭＬなどの強く型付けされたプログラム言語でコントロールオペレータを利用するために不可欠な多相性を導入し、ＣＰＳ変換と整合的であること等を示した。III)control と prompt と呼ばれるコントロールオペレータに対する多相的型システムを構築し、任意の計算可能関数を表現できることを示した。

2. プログラム変換によるプログラム並列化・効率化

プログラムの並列化に関する第三準同型定理は、並列化プログラムの存在定理であり、並列化を自動的に行う方法は知られていなかった．本研究では，右逆関数を自動的に導出する手法を提案し，その上で第三準同型定理を用いた並列化が自動的に行えることを示し，右逆関数の導出を用いた自動並列化システムの実装を与え，その有効性を示した．

Google の MapReduce など、配列に対する分散メモリ環境下のデータ並列計算手法はよく知られるようになった。これまで、木構造に対するデータ並列化手法を提案してきたが、本年度は、Catalan 数の変形を基にした効率良い木の生成器を導き、木構造に対するデータ並列化手法の性能（平均計算量）を解析し、概ね木の節点数の平方根に比例する計算量(木の平均的な深さと同等）という結果を得た。

プログラムの効率化のためのプログラム変換の手法の１つとして，パターンを用いたプログラム変換が知られている．パターンを用いたプログラム変換のためには，有用な変換パターンを予め用意する必要がある．そこで，2 階一般化アルゴリズムを考案し，具体的な複数のプログラム変換から変換パターンを抽出する方法についての研究を行なった．

3. プログラム変換の正当性、ソフトウェア検証

ポインタを持つプログラムに対するプログラム変換の枠組みとその正当性検証法を研究した。具体的には、『ゴミ集め』(garbage collection) を考慮したポインタ・プログラム詳細化手法を提案した。さらに、詳細化の各段階を形式的に記述し、その正当性の主要部分を、定理証明システムを用いて形式的に証明した。

モデル検査を用いて、I）重み付プッシュダウンモデル検査系を用いた Java プログラムの points-to 解析の実装、II）Maude を用いたセキュリティプロトコルの否認不可能性・公平性検証の二点について研究を行い、成果を得た。

4. XMLデータ処理および連想計算

昨年度までの研究成果により，消費メモリを節約できる XML ストリーム処理が 遅延評価でも先行評価でもない評価順序で実行されることが確認されたが， 本年度においては，この評価戦略が、並行処理を利用して実装できることを示した．本研究では，生成時に強制的に消費されるデータ構造を表現する Push 型という 新しい概念を導入し，この型が並行 Haskell により実装できることを確認した．

キーワード検索に代わる情報技術として「連想の情報学」を提唱している．文書集合に対する連想計算を提供して相互運用性を付加する仕組みとして GETA が開発され，そのような複数の情報源を内容的に相互作用させるシステムとして「想・IMAGINE」が構築された．すなわち，GETA はコンテンツの相互運用コンパイラであり，IMAGINE は相互運用リンカーと考えられる．

5. プログラムの意味論

二階線形論理のセマンティクスの構築を行っている。我々が twiner と呼んでいる構造に基づくセマンティクスの構築がその目的である。特に、二階の量化子の解釈はパラメトリシティ原理と関係しており、主要な骨格部分となっている。本年度は、二階の量化子の解釈の詳細な分析を行った。その構造を複雑にしているのはカット規則に由来する部分である。カット規則の解釈を分析して、その性質がホモトピー的な観点から解析できることを示した。この分析は、セマンティクスの健全性証明の主要なステップとなる。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同研究プロジェクトは,「プログラムや構造をもつデータの操作と生成に関する科学的アプローチ」という共通命題のもとに、プログラム変換，プログラム生成，XML データ処理，構造化文書処理などの分野における第一線の研究者を網羅して構成したものである。（3－1）項で述べたように、本研究は、様々な方面にわたる成果を挙げることに成功した。ここで得られたアイディア、情報交換したテクニックを、今後さらに、コンピュータサイエンスの多くの局面で活用することが期待される。

（３－３）成果資料

1. Yukiyoshi Kameyama, Axioms for Control Operators in the CPS Hierarchy, Higher-Order and Symbolic Computation, Vol. 20, pp. 339-369, 2007.

2. Yukiyoshi Kameyama, Takuo Yonezawa, Typed Dynamic Control Operators for Delimited Continuations, Proc. Ninth International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2008), to appear.

3. Takuo Yonezawa, Yukiyoshi Kameyama, A Type System for Dynamic Delimited Continuations, IPSJ Transactions on Programming, Vol. 49, No. SIG 3 (PRO 36), pp. 28-38, (also in IPSJ Digital Courier), 2007.

4. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Automatic construction of program transformation templates, IPSJ Transactions on Programming, Vol.49, No.SIG 1 (PRO 35), pp.14-27, 2008.

5. 吉田順一, 青戸等人, 外山芳人, 項書き換えシステムの合流性自動判定、第６回情報科学技術フォーラム(FIT2007) 講演論文集, 情報技術レターズ, Vol.6, pp.31-34, 2007.

6. Kenichi Asai, Yukiyoshi Kameyama, Polymorphic Delimited Continuations, Proc. Fifth Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2007), Singapore, Lecture Notes in Computer Science 4807, pp. 239-254, 2007.

7. 阪上紗里, 浅井健一, “対称 λ 計算の基礎理論”、第10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 (PPL2008), pp. 111-125, 2008.

8. Guoqiang Li, Mizuhito Ogawa, On-the-fly Model Checking of Fair Non-repudiation Protocols, Proc. the 5th International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA07), Springer LNCS 4762, pp.511-522, 2007.

9. Kazuhiko Kakehi, Kiminori Matsuzaki, Kento Emoto, Efficient Parallel Tree Reductions on Distributed Memory Environments, Proc. International Conference on Computational Science (ICCS2007), Part II, Beijing, LNCS 4488, pp. 601-608, 2007.

10. Kento Emoto, Zhenjiang Hu, Kazuhiko Kakehi, Masato Takeichi: A Compositional Framework for Developing Parallel Programs on Two Dimensional Arrays, International Journal of Parallel Programming, Vo. 35, No. 6, pp. 615-658, Springer, 2007.

11. Kazutaka Morita, Akimasa Morihata, Kiminori Matsuzaki, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi, Automatic Inversion Generates Divide-and-Conquer Parallel Programs, Proc. ACM SIGPLAN Conf. on Programming Language Design and Implementation (PLDI 2007), San Diego, pp.146-155, 2007.

12. 高野明彦, “検索から連想へ―情報を発想力に変換する連想エンジン”, 科学, 岩波書店, Vol.77 No.4, pp. 356-361, 2007.

13. Sebastian Maneth and Keisuke Nakano, XML Type Checking for Macro Tree Transducers with Holes, Proc. Programming Language Technologies for XML (PLAN-X 2008), to appear.

14. Shin-Cheng Mu, Ta-Chung Tsai and Keisuke Nakano. XML Stream Processing Using a Lazy Concurrent Language, Proc. Programming Language Technologies for XML (PLAN-X 2008), to appear.

15. 西村進, “ポインタを扱うプログラムのための Refinement Calculus”, 日本ソフトウェア科学会第２４回大会論文集, 2007.

16. Susumu Nishimura, Safe Modification of Pointer Programs in Refinement Calculus", Proc. Ninth International Conference on Mathematics of Program Construction (MPC '08), to appear.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B11

採択回数	1　2　③

超高速光パルス制御技術に関する研究

［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）
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）
鳥塚 健二	（産業技術総合研究所）
小林 洋平	（産業技術総合研究所）
吉富 大	（産業技術総合研究所）
秋本 良一	（産業技術総合研究所）
大苗 敦	（産業技術総合研究所）
美濃島 薫	（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）
中嶋 善晶	（産業技術総合研究所）
植之原 裕行	（東京工業大学）
五十嵐 浩司	（東京大学）
森田 逸郎	（ＫＤＤＩ研究所）
Abedin Kazi Sarwar	（情報通信研究機構）

研究費：消耗品費４万９千円，旅費31万３千円

［2］研究経過

持続時間がピコ～フェムト秒領域の超高速光パルスを高度に制御する技術の開発は、時分割多重方式の光通信システム、極限時間域の光計測、光周波数標準・計測等の応用において極めて重要な課題である。超高速光パルス制御技術に関する研究では、次世代の超高速光制御技術の確立を目指すことを目的として、東北大学・電気通信研究所、産業技術総合研究所等の研究者の間で、超高速光パルス制御技術とその応用に関する研究討論を行い、研究活動の紹介と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１９年１１月７ー８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、東京工業大学、東京大学、ＫＤＤＩ研究所、情報通信研究機構の研究者が参加して研究会を開催し、１２件の発表を行った。光パケットスイッチ、超高速光信号処理、超高速光伝送、超高速光デバイス、光多値変調伝送、超短パルスレーザ制御、光周波数計測、光ファイバレーザ、スローライト等の発表に対して、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）。

１１月７日（水）

１．開会挨拶　　中沢正隆（東北大学）

２．光信号処理技術の光パケットスイッチへの応用に関する研究：○植之原裕行（東京工業大学）

３．時間領域光フーリエ変換を用いた 160 Gbit/s-1,000 km DPSK 伝送：○岡崎勝伝、廣岡俊彦、中沢正隆（東北大学）

４．位相変調と光フィルタリングを用いる超高速信号処理と 160Gbit/s システムへの応用：○五十嵐浩司、加藤一弘、菊池和朗（東京大学）

５．サブバンド間遷移を利用した超高速全光スイッチ:最近の進展:○秋本良一、土田英実、Lim Chen Guan、永瀬成範、物集照夫、Cong Guangwei、秋田一路、挾間寿文、石川浩（産業技術総合研究所）

６.高速光通信への OFDM の応用:○森田逸郎、Sander Jansen、田中英明（KDDI 研究所）

７．1Gsymbol/s, 128 QAM コヒーレント光伝送：○後藤広樹、葛西恵介、吉田真人（東北大学）

８．狭線幅・高 SMSR を有するλ/4 シフト DFB 半導体ファイバリングレーザ：○Ho Thi Quynhanh、鈴木聡人、吉田真人、中沢正隆（東北大学）

１１月８日（木）

１．複数のフェムト秒レーザーパルスの高精度タイミング同期:○吉富大、小林洋平、鳥塚健二（産業技術総合研究所）

２．２台のファイバコムを用いた周波数安定度評価および、整数次数決定：○稲場肇、中嶋善晶、洪鋒雷、大苗敦、美濃島薫、松本弘一（産業技術総合研究所）、Nick Brown、Michael Wouter、Bruce Warrington（豪州国立計測研究所）

３．モード同期ファイバレーザによる広帯域光コム発生のための最適増幅方法：○中嶋善晶、稲場

肇、洪鋒雷、大苗敦、美濃島薫、松本弘（産業技術総合研究所）
4．水素メーザ PLL を利用した 4.9×10^{-15} の短期安定度を有する GHz 帯モード同期ファイバレーザ：○吉田真人、平山徹、中沢正隆（東北大学）、萩本憲、池上健（産業技術総合研究所）
5．高非線形ファイバーを用いたスローライトデバイス：○Abedin Kazi Sarwar（情報通信研究機構）
6．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 光パケットスイッチの実現に必要な光信号処理技術として、位相シフトプリアンブルを用いたゲートパルス発生技術、および光ＤＡ変換を用いたラベル処理技術を開発した。
② 時間領域フーリエ変換を用いた 160Gb/s-DPSK 伝送システム実験を行った。ジッターや分散による波形歪み除去することにより、1000km 伝送を実現し、光増幅器の雑音により制限される理論限界と同等の伝送特性を得た。
③ 光周波数コム発生と光フィルタを用いて 10GHz ピコ秒パルスを発生し、時間多重化により 160Gb/s データ信号を生成した。位相変調と光フィルタを利用した光クロック抽出と OTDM 多重分離を実現した。
④ InGaAs/AlAs/AlAsSb 量子井戸サブバンド間遷移の相互位相変調効果を利用した光ゲートスイッチを開発し、160Gb/s OTDM 信号から 10Gb/s への多重分離を行い、ペナルティ 5.5dB を得た。CdS/ZnSe/BeTe 量子井戸サブバンド間遷移光スイッチの導波路構造を改良し、ポンプエネルギー 2pJ で吸収飽和 10dB を実現した。
⑤ OFDM 方式を用いた光送受信器を開発し、分散補償を用いない 20Gb/s-4160km 伝送、および偏波多重を併用した 40Gb/s 波長多重伝送を実現した。
⑥ 周波数安定化光ファイバレーザと光 PLL 回路を用いた QAM 伝送実験を行い、1Gsymbol/s-128QAM 信号の 150km の伝送に成功した。偏波多重とナイキストフィルタを利用することにより、光周波数利用効率 10bit/s/Hz を実現した。
⑦ λ/4 シフト DFB 半導体レーザと線幅 1.9GHz の FBG を用いた光ファイバリングレーザを開発し、スペクトル線幅 7kHz、相対強度雑音-140dB/Hz を得た。
⑧ 能動･受動ハイブリッド方式による複数フェムト秒レーザの同期システムを開発し、123as のジッターを実現した。光注入を利用して Er ファイバレーザのタイミング安定化を行い、ジッターを 3.7fs に低減した。
⑨ 光ファイバをベースとした光周波数コム発生装置を開発し、1 週間以上に渡る安定な周波数測定を実現し、国際比較により周波数確度 10^{-16} を確認した。
⑩ モード同期ファイバレーザと光ファイバ増幅器を用いた光周波数コム発生装置を開発し、分散量を最適化することにより、広帯域化と高効率化を実現した。
⑪ 水素メーザを基準とする PLL 回路を用いた再生モード同期ファイバレーザを開発し、積分時間 1000 秒において周波数安定度 $4.9\text{x}10^{-15}$ を得た。
⑫ カルコゲナイド、およびテルライト系光ファイバのブリルアン散乱特性の評価と、スローライトデバイスへの適用を行った。カルコゲナイド、テルライトにおいて遅延時間 37ns、67ns を得た。

（3－2）波及効果と発展性など

超高速光通信技術に関して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、超高速光デバイス技術、超短パルスレーザ技術、標準・計測技術に実績を有する産業技術総合研究所の研究者、および国内の関連する研究者が研究発表、討論を行うことにより、当該分野の研究開発が加速されるとともに、当該分野における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できる。

３年間に渡る研究会での議論を通して、次世代の超広帯域光通信システム、超高精度計測・標準システムを確立するためには、光波の超高速性を利用するだけでは不十分であり、マイクロ波領域で培われた高度な位相制御技術を光波に適用するための研究開発が重要であることが認識された。光波は高いキャリア周波数を有するため、技術的な障壁は大きいが、実現できれば、従来の光通信、計測・標準技術の性能を遙かに凌駕する可能性を有している。今後は、光波の超高速性とコヒーレンスを活用して、光通信、計測・標準システムを一層高度化するための研究開発が必要である。

［4］成果資料

(1) S. Shimizu, K. Kobayashi, and H. Uenohara, "Start-bit detection and gate-pulse generation using phase-modulated preamble for asynchronous packet processing", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.19, no.4, pp.236-238 (2007).

(2) K. Sawada, and H. Uenohara, “First demonstration of 40-Gbit/s operation of a semiconductor integrated optical digital-to-analog converter”, 33th European Conference on Optical Communication (ECOC2007), P037, Berlin, Germany, Sep.16-20, 2007.

(3) K. Igarashi and K. Kikuchi, "Optical signal processing by phase modulation and subsequent spectral filtering aiming at applications to ultrafast optical communication systems," (to be publiched in IEEE J. of Sel. Topics Quantum Electron.).

(4) H. Tsuchida, T. Simoyama, H. Ishikawa, T. Mozume, M. Nagase, and J. Kasai, “Cross-phase-modulation-based wavelength conversion using intersubband transition in InGaAs/AlAs/AlAsSb coupled quantum wells”, Opt. Lett., vol.32, no.7, pp.751-753 (2007).

(5) R. Akimoto, T. Simoyama, H. Tsuchida, S. Namiki, C. G. Lim, M. Nagase, T. Mozume, T. Hasama, and H. Ishikawa, “All-optical demultiplexing of 160–10 Gbit/s signals with Mach-Zehnder interferometric switch utilizing intersubband transition in InGaAs/AlAs/AlAsSb quantum well”, Appl. Phys. Lett., vol.91, 221115 (2007).

(6) S. Jansen, I. Morita, T. C. W. Schenk, N. Takeda, and H. Tanaka, "Coherent optical 25.8-Gb/s OFDM transmission over 4160-km SSMF," J. Lightwave Technol., vol.26, no.1, pp.6-15 (2008).

(7) S. Jansen, I. Morita, T. C. W. Schenk, and H. Tanaka, "Long-haul transmission of 16x52.5 Gbits/s polarization-division multiplexed OFDM enabled by MIMO processing," J. Opt. Networking, vol.7, no.2, pp.173-182 (2008).

(8) J. Hongo, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “1-Gsymbol/s 64-QAM coherent optical transmission over 150 km,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 19, no. 9, pp. 638-640 (2007).

(9) K. Kasai, J. Hongo, H. Goto, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “The use of a Nyquist filter for reducing an optical signal bandwidth in a coherent QAM optical transmission,” IEICE Electron. Express, vol.5, no.1, pp.6-10 (2008).

(10) M. Yoshida, H. Goto, K. Kasai, and M. Nakazawa, “64 and 128 coherent QAM optical transmission over 150 km using frequency-stabilized laser and heterodyne PLL detection,” Opt. Express, vol.16, no.2, pp.829-840 (2008).

(11) A. Suzuki, Y. Takahashi, M.Yoshida, and M. Nakazawa, “A CW polarization-maintaining λ/4 shifted DFB Er-doped fiber laser at 1.54 μm,” IEICE Electron. Express, vol.4, no.8, pp.251-257 (2007).

(12) A. Suzuki, Y. Takahashi, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “An ultralow noise and narrow linewidth λ/4-shifted DFB Er-doped fiber laser with a ring cavity configuration,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol.19, no.19, pp.1463-1465 (2007).

(13) T. Hirayama, M. Yoshida, M. Nakazawa, K. Hagimoto, and T. Ikegami, “Mode-locked laser-type optical atomic clock with an optically pumped Cs gas cell,” Opt. Lett., vol.32, no.10, pp.1241-1243 (2007).

(14) M. Yoshida, T. Hirayama, M. Nakazawa, K. Hagimoto, and T. Ikegami, “Regeneratively mode-locked fiber laser with a repetition rate stability of 4.9×10^{-15} using a hydrogen maser phase-locked loop,” Opt. Lett., vol. 32, no. 13, pp. 1827-1829, July (2007).

(15) M. Yoshida, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Mode-hop-free, optical frequency tunable 40 GHz mode-locked fiber laser,” IEEE J. Quantum Electron., vol. 43, no. 8, pp. 704-708, August (2007).

(16) 中沢正隆, 廣岡俊彦, 吉田真人, “光コムによる標準信号のファイバ伝送,” レーザー研究, vol.35, no.10, pp.649-653 (2007).

(17) 平山徹, 矢加部正嗣, 吉田真人, 中沢正隆, 古賀保喜, 萩本憲, “9.1926-GHz 再生モード同期ファイバレーザを用いた高安定 Cs 光原子時計,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J90-C, no.12, pp.977-987 (2007).

(18) M. Yoshida, A. Ono, and M. Nakazawa, “10 GHz regeneratively mode-locked semiconductor optical amplifier fiber ring laser and its linewidth characteristics,” Opt. Lett., vol.32, no.24, pp.3513-3515 (2007).

(19) K. S. Abedin, G.W. Lu, and T. Miyazaki, “Stimulated Brillouin scattering assisted slow light generation in single mode Tellurite fiber”, Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science (CLEO/QELS2007), CThH6 (May,2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B12

採択回数	1	2	3

高結合圧電材料とその応用に関する研究

［1］組織

代表者：櫛引淳一
（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：
中村僖良（PDT ラボラトリー）
金井　浩（東北大学大学院工学研究科）
安達正利（富山県立大学工学部）
宇野武彦（神奈川工科大学工学部）
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）
関本　仁（首都大学東京理工学研究科）
高野剛浩（東北工業大学工学部）
竹中　正（東京理科大学理工学部）
中川恭彦（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
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）
深海龍夫（信州大学工学部）
宝川幸司（神奈川工科大学工学部）
山田　顕（東北学院大学工学部）
若月　昇（石巻専修大学大学院理工学研究科）
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）
江口　治（京セラキンセキ）
門田道雄（村田製作所）
木村悟利（日本電波工業）
佐藤良夫（富士通研究所）
芝　隆司（日立メディアエレクトロニクス）
舩坂　司（セイコーエプソン）
谷津田博美（日本無線）
山下洋八（東芝リサーチコンサルティング）

研究費：物件費 5 万円，旅費 50 万 6 千円

［2］研究経過

本研究会は、高結合圧電材料の開発およびその信号処理デバイスへの応用、更には新しい弾性波機能デバイスの研究・開発を目的に行われている。

本年度は平成 20 年 1 月 24、25 日の両日、東北大学工学部青葉記念会館を会場に、「圧電材料・デバイスシンポジウム 2008」と題する公開シンポジウム形式で行われた。プロジェクト研究メンバーの他、一般からも講演を募り、神奈川工科大の宇野武彦氏による「LN 薄膜における方位制御の検討」と東北大学 NICHe の山中一司氏による「ボール SAW センサの高度化」の招待講演 2 件を含む計 33 件の研究発表が行われた。また、参加者は昨年を上回る 129 名を得て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) 圧電体・強誘電体・薄膜

LN 薄膜の方位制御に関する招待講演に引き続き、高分子膜等への適用が期待される SAW ストリーミング現象の実験的考察、(001)MgO 基板にエピタキシャル成長させた鉛系 3 成分ペロブスカイト薄膜の強誘電特性 、高性能チタン酸バリウム圧電セラミックス、広い圧電動作温度と高い圧電定数を有するチタン酸ビスマスナトリウム系強誘電体セラミックス、圧電薄膜を用いた電界インプリントによる圧電歪みのメモリ効果について発表があった。

(B) 単結晶育成・評価

μ-PD 法による $KNbO_3$ 結晶ファイバーの育成と評価、垂直ブリッジマン法による LBO 単結晶の結晶成長技術、人工水晶の紫外域における光学的評価、超音波マイクロスペクトロスコピー技術を用いた SiC 単結晶の基礎音響特性評価、および ZnO 単結晶の音響関連物理定数決定法に関して発表があった。

(C) アクチュエータ

弾性接触モデルを用いた SAW モータの動作シミュレーション、単相駆動 $LiNbO_3$ 矩形板超音波モータの動作特性、気接点開離動作時の接触力や接点変位と電気特性について発表があった。

(D) 計測・評価技術

圧電デバイス面内振動変位分布と変位絶対量の同時高速測定法、Brillouin 散乱法を用いた六方晶系圧電薄膜の評価、超高周波平面超音波材料解析システムによる UHF 帯における固体材料の音響特性の測定、マイクロ LFB レンズを用いた単結晶試料の微小領域計測について発表があった。

(E) バルク波・弾性表面波 I

平行電界励振厚み振動波の分散特性、側面を傾け

た水晶ストリップ AT 共振子の副振動の抑制、エアギャップ型 FBAR フィルタ、ラム波型弾性波素子基板の伝搬特性、LN 基板上シリカ超構造薄膜による SAW 制御光デバイスの検討について発表があった。

(F) センサ・表面計測

ボール SAW センサの高度化に関する招待講演に続き、ボール SAW ガスクロにおける感応膜の作製と評価、$LiTaO_3$ 基板を用いた 50MHz 帯 SH-SAW 溶液センサ、原子間力顕微鏡による圧電単結晶表面性状の評価、長辺振動水晶振動子を用いた原子間力顕微鏡による原子分解能観察の発表があった。

(G) 弾性表面波 II

結晶粒界による薄膜 SAW 速度の変化、SiO_2 と高密度電極を用いた温度特性の良好な SAW デバイス、SHF 帯 AlN/ダイヤモンド構造 SAW デバイスの作製、$SiO_2/LiNbO_3$ 構造への微細電極埋め込みとその SAW デバイスへの応用、SAW 素子のウエハレベルパッケージング技術に関する基礎検討について発表があった。

［3］成果

（3－1）研究成果

材料作製とその評価では、コンタクトエピタキシー法によりシリカガラス基板上に面方位が制御された LN 薄膜が得られるという見込みを得た。蒸着ソースとして検討されている弾性表面波による液体霧化について、霧化の原因の検討を行った。抵抗加熱二段階焼結法により高い圧電性を有するチタン酸バリウムセラミックスを作製した。$x(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$-$y(Bi_{1/2}Li_{1/2})TiO_3$-$z(Bi_{1/2}K_{1/2})TiO_3(x+y+z=1)$に少量の Li 置換を行うと脱分極温度（$T_d$)の高温化が可能であり、正方晶組成では電界冷却法が T_d と圧電定数 d_{33} の向上に有効であることがわかった。マイクロ引き下げ法を用いて、不一致溶融化合物である $KNbO_3$ のファイバーを化学量論組成から再現性よく直接育成可能になった。LFB/PW-UMC システムにより、SiC 単結晶の基礎的な音響特性の評価と音響関連物理定数の決定を行った。LFB/PW-UMC システムを用いて ZnO 単結晶のバルク波及び LSAW の速度測定を行い導電性との関係を検討した。

アクチュエータ関連では、SAW モータの駆動面の弾性接触解析を採用することにより、スライダ突起形状の違いによるモータ特製の差異を実験とよく一致させることが可能となった。非鉛圧電材料への関心が高まる中、$LiNbO_3$ 単結晶を用いた回転超音波モータの検討を進めモータを試作し諸特性を評価した。開閉電気接点の開離動作時の接触力、接点変位および電気特性を調べ、圧電アクチュエータの適用の可能性について検討した。

計測・評価技術関連では、波長の異なる 2 つのレーザを用いたスペックル干渉象を信号処理して圧電デバイスの面内振動変位分布とその絶対値測定を行う方法を提案し、実験により有用性を確認した。LFB レンズの非収束方向の空間分解能を向上させたマイクロ FLB レンズの動作特性について検証し、測定領域を 30%以下に狭めることが可能となった。

バルク波・弾性表面波関連では、表面が電気的に自由の圧電板の中を伝搬する平行電界励振型厚み振動板の分散特製が特異な特性を有する現象について詳しく検討を行った。エアギャップ型 FBAR の膜応力とメンブレン形状の関係を算出した。また、2GHz の共振器を試作し良好な特性を得た。ラム波型基板の高安定な温度特性を示すカットの探索を行い、理論解析により温度特性が-20℃～80℃において約 1ppm のカットを見出した。SH-SAW の特性を利用したディップ式 SAW 溶液センサを開発して種々のインクを測定・比較し、誘電率―導電率チャートを用いることでインクの特性評価・管理が可能であることを示した。圧電基板に SiO_2 膜と高密度電極を組み合わせることで、温度特性が良好で大きな反射特性と電気機械結合係数実現し、小型の SAW デュプレクサおよび RF フィルタを実現した。ダイヤモンド基板上への AlN 薄膜の作製と、それを用いた 4GHz 帯の SAW フィルタおよび共振器の試作を行い良好な特性を得た。$SiO_2/LiNbO_3$ 構造の微細電極埋め込み SAW デバイスを検討した。また実際にその作製プロセスを検討しデバイスを試作して良好な特性を得た。SAW 素子のウェハレベルのパッケージングの構成法とプロセスを検討し、ウェハレベルでパッケージングされたデバイスを実現した。

（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、それぞれ第一線で活躍する研究が集まり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た。

材料開発からデバイスへの応用まで、関連分野で活発に研究を進めている研究者がそれぞれ最先端の研究成果を持ち寄って発表と討論を行うことで、密接な情報交換と連携した研究協力がなされており、次世代の圧電デバイスの研究・開発を効果的に進展させ、我が国が引き続きこの分野で世界をリードするうえで本プロジェクト研究会は大きく貢献したと考えている。今までの成果を元に、通信・デバイス分野への一層の発展が期待されている。

［4］成果資料

(1) Y. Nakagawa, M. Momose and S. Kakio, "Resonators Using Lamb Wave on AT-Cut Quartz", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.7B (2007) pp.4665- 4668.
(2) K. Hashimoto, T. Omori and M. Yamaguchi, "Extended FEM/SDA Software for Characterising Surface Acoustic Wave Propagation in Multi-Layered Structures", Proc. IEEE Ultrason. Symp. (2007) pp.711-714.
(3) Y. Sakai, T. Futakuchi and M. Adachi, "Preparation of (1-x)(Ba,Sr)TiO_3 Based Thick Films by Inkjet Printing", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 10B (2007) pp.6920-6924.
(4) T. Karaki, K. Yan and M. Adachi, "$BaTiO_3$ Piezoelectric Ceramics Manufactured using Two-Step Sintering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 10B (2007) pp.7035-7038.
(5) N. Murochi, M. Sugimoto, Y. Matsui and J. Kondoh, "Deposition of Thin Film Using a Surface Acoustic Wave Device", Jpn. J. Appl. Phys., vol.46, No.7B (2007) pp.4754-4759.
(6) S. Ito, M. Sugimoto, Y. Matsui and J. Kondoh, "A Study on SAW Streaming Phenomenon Based on Temperature Measurement and Observation of Streaming in Liquids", Jpn. J. Appl. Phys., vol.46, No.7B (2007) pp.4718-4722.
(7) H. Tamura, K. Kawai, T. Takano, Y. Tomikawa, S. Hirose and M. Aoyagi, "Diagonally Symmetric Form Ultrasonic Motor Using $LiNbO_3$ Plate", Jpn. J. Appl. Phys., No.7B, Vol.46 (2007) pp. 4698-4703.
(8) M. Hara, T. Yokoyama, M. Ueda and Y. Satoh, "X-band filters utilizing AlN thin film bulk acoustic resonators", Proc. IEEE Ultrason. Symp. (2007) pp.1152-1155.
(9) M. K. Kurosawa, Y. Miyazaki and T. Shigematsu, "Study of Scattering by Surface Acoustic Wave Motor Slider Using Finite Element Method Simulation", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.7B (2007) pp.4915-4920.
(10))黒澤、鈴木、浅井, "不感帯を考慮した環流型弾性表面波モータの速度制御", 日本ＡＥＭ学会誌, vol.15, no.2 (2007) pp.125-131.
(11) S. Shikata and S. Fujii, " Possibility of Diamond Films for RF SAW/BAW Devices", Int. workshop on piezo-devices based on latest MEMS tech., Nov.26 (2007).
(12) M. Kadota, "High Performance and Miniature Surface Acoustic Wave Devices with Excellent Temperature Stability Using High Density Metal Electrodes", Proc. IEEE ultrason. sypm. [invited] (2007) pp.496-506.
(13) T. Shiba, "Effect of Distrotion in SAW Duplexer for WCDMA System", Proc. IEEE Ultrason. Symp. (2007) pp.62-67.
(14) K. Nakamura, "Shear-Horizontal Piezoelectric Surface Acoustic Waves", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.7B (2007) pp.4421-4427.
(15) K. Yamada, "Equivalent Network Representation for Length-Extensional Vibration Modes in Side-Plated Piezoelectric Bar with Varying Parameter Operating through Transverse Piezoelectric Effect", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.7B (2007) pp.4675-4678.
(16) S. Kaga and M. Onoe, "Reduction of spurious responses of a strip resonator with tilted edges", 2007 IEEE Freq. Contr. Symp. Proc. (2007) pp.1136-1142.
(17) T. Matsumoto, N. Sugaya, T. Kagami and J. Takahashi, “Optical characterization of alpha quartz crystals”, Proc. Symp. on Ultrason. Electronics, Vol.28 (2007) pp.31-32.
(18) H. Sekimoto, J. Tamura, S. Goka and Y. Watanabe, "Influence of Viscosity Loss on Three-Dimensional Vibrations of Rectangular AT-Cut Quartz Plates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.7B (2007) pp. 4656-4659.
(19) 田中, 大橋, 荒川, 櫛引, 坂上, "超音波マイクロスペクトロスコピー技術による ZnO 単結晶の評価", 信学技報, Vol.US2007-51 (2007) pp. 49-54.
(20) 宇野, 野毛, 藤塚, “分極処理した４価金属ドープシリカ薄膜における圧電性と可視発光”, 電気学会論文誌 C, Vol.127, No.8 (2007) pp.1147-1154.
(21) T. Yamazaki, Y. Terao, K. Koh and K. Hohkawa, "Packaging of SAW Devices Using Low Temperature Sacrifice Process" Proc. of Symp. on Ultrasonic Electronics, vol.28 (2007) pp. 91-92.
(22) Y. Hosono, Y. J. Yamashita, "Effects of Fine Metal Oxide Particle Dopant on the Acoustic Properties of Silicone Rubber Lens for Medical Array Probe", IEEE Trans. UFFC, Vol.54, No.8 (2007) pp. 1589-1595.
(23) Y. J. Yamashita, Y. Hosono and K.Itumi, "Sub-10nm Ytterbium Oxide Nanopowder-doped Silicone Rubber Acoustic Lens Materialfor Medical Echo Array Probe", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 35 (2007) pp. L851?L853.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B01

採択回数	1	②	3

ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究

［1］ 組織

代表者：荻野　俊郎（横浜国立大学大学院）

責任者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
岩澤　康裕（東京大学理学研究科）
大泊　　巌（早稲田大学・理工学部）
岡畑　恵雄（東京工業大学）
馬場　嘉信（名古屋大学大学院工学研究科）
岩崎　裕（大阪大学産業科学研究所）
田畑　仁（東京大学大学院工学系研究科）
宇理須恒雄（分子科学研究所）
長棟　輝行（東京大学大学院工学系研究科）
斎藤　峯雄（金沢大学・自然科学研究科）
辻本　豪三（京都大学大学院薬学研究科）
岩田　博夫（京都大学再生医学研究所）
竹中　繁織（九州工業大学工学部）
谷井　孝至（早稲田大学・理工学部）
星野　忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
篠原　康雄（徳島大ゲノム機能研究センター）
宮崎　　均（筑波大学生命環境科学研究科）
礒田　博子（筑波大学生命環境科学研究科）
水野　　彰（豊橋技術科学大学）
佐藤　裕子（国立国際医療センター）
玉田　　薫（東京工業大学・総合理工）
梶川浩太郎（東京工業大学・総合理工）
手老　龍吾（分子科学研究所）
成瀬　恵治（岡山大学医歯薬学総合研究科）
毛利　　聡（岡山大学医歯薬学総合研究科）
渡慶次　学（名古屋大学・工学系研究科）
原　　正彦（東京工業大学総合理工）
吉信　達夫（東北大学大学院工学研究科）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）
畠山　力三（東北大学大学院工学研究科）
金子　俊郎（東北大学大学院工学研究科）
四方　潤一（東北大学大学院工学研究科）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 50 千円、旅費　432,000 円

［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とみなされているが、その技術革新のためには，20 世紀に高度に発達した半導体集積回路技術と，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．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系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェイスシステムが構築でき，DNA チップやプロテインチップの高度化など、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。しかしながら，国内外を見渡しても，この種の研究は緒についたばかりで，ほとんど進展していないのが現状である．そこで本研究は、半導体工学や表面科学の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して，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た。

ナノ・バイオデバイス構築のためには，新規な製造プロセスの開発，製造プロセスの反応制御，構築したナノ構造体の物性評価，また，ナノ構造をベースとした新しいデバイス設計等の研究が必要である。具体的には，タンパク質、ペプチド、DNA などの生体物質をその本来の機能を失うことなく半導体材料表面に固定化し，さらに生体物質と無機材料とのインターフェイス技術を確立することが研究課題となる．そこで、薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた材料・電子工学の研究分野ばかりでなく、生体物質を自在に操作する技術を有する生化学・分子生物学分野の研究者の英知も結集して、新しいバイ

オ・半導体融合ナノ構造の構築法とその機能評価、また高感度生体計測技術について、討論することを目的としている。本年度は第2年度であり、前年度の成果をさらに発展させるため、ナノデバイスとバイオ素子や細胞界面に関する研究や、実際の生体機能観測の現場、特に脳計測の現場において、何を計測する必要があり、また何が問題なのかについて知見を深めるため、下記の通り研究会を開催した。以下に、研究会のプログラムを付記する。

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成20年1月11日（金）13:30〜15:30
場所：東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム
「2光子顕微鏡によるバイオイメージングの展開と細胞機能」
根本　知己　（生理学研究所・脳機能計測センター）
「小脳プルキンエ細胞樹状突起におけるPKCトランスロケーション伝播の数理モデル」
片山　統裕　（東北大学大学院情報科学研究科）
「脳波を用いたBrain-Computer Interface（BCI）の開発」
加納慎一郎　東北大学大学院工学研究科）

電気通信研究所共同プロジェクト研究会
情報バイオトロニクス研究会共催
日時：　平成20年2月21日（木）　13:30−17:10
場所：東北大学電気通信研究所
　　2号館　2階　セミナー室Ｗ２１４
研究代表者挨拶　荻野　俊郎（横浜国大）
「半導体化学イメージセンサの高速化と応用」
宮本　浩一郎　（東北大学大学院工学研究科）
「固体基板上でのタンパク質分子吸着の選別」
荻野　俊郎　（横浜国立大学大学院）
「表面赤外分光法を用いた生体分子反応の水溶液中その場観察」
平野　愛弓　（東北大学電気通信研究所）
「銀ナノ微粒子によるプラズモニックナノシートの作製と応用」
玉田　　薫　（東北大学電気通信研究所）
「膜表面の水分保持効果算出の試み」
星野　忠次　（千葉大学大学院薬学研究院）
「原子ステップTiO_2(100)表面上の平面リン脂質二重膜」
手老　龍吾　（分子科学研究所）
情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時：　平成20年3月10日（月）14:00〜15:00
場所：東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設　４階401号室
「シトクロムｃはミトコンドリアからどのようにして放出されるのか」
篠原　康雄　（徳島大学・ゲノム機能研究センター）

［３］ 成果

（３−１）研究成果

本プロジェクト研究では，半導体や生体高分子のナノ構造をベースとした新しいバイオ電子デバイスを実現するための基盤技術の開発を目標にしている。この技術が開発されれば，生体物質の微視的相互作用（生体反応）の高精度分析や、血液中、体液中の成分の"その場"分析などの応用が可能である。また、この機能は、DNA チップやプロテインチップ、細胞チップの高度化など、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。本研究会において、このテーマに対するさまざまな観点から研究の成果が報告され、特に生体分子によるナノ構造構築法、新規な生体計測デバイス、またバイオチップの現状についての興味深い発表と講演があった。

（３−２）波及効果と発展性など

本研究会は、ナノ構造デバイスの構築を目標に，固体表面をベースとした新しいナノ構造製造プロセスの開発や、ナノ構造体の物性評価などについて，今後の戦略目標について討論することを目的とした。その結果，今後の重点研究は固体表面を利用したバイオエレクトロニクス技術の確立であるとの結論に至り，本プロジェクト研究を立案した.

現在、この技術の開発には自己組織化機能などの化学反応制御法が極めて有効である。生物の細胞はまさに自然の自己組織化機能を利用してさまざまな機能を実現している。自己組織化を利用した高分子のナノ構造の構築や、それを新しいバイオエレクトロニクスに活用することは、今大きな発展を向かえる時期にあり、この分野の今後の研究の進展が大いに期待される。

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B04

採択回数	1　②　3

マルチメディア情報ハイディングの研究

［1］組織

代表者：野田　秀樹
（九州工業大学情報工学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
越前　　功（国立情報学研究所コンテンツ科学研究系）
河口　英二（九州工業大学名誉教授）
貴家　仁志（首都大学東京システムデザイン学部）
近藤　和弘（山形大学大学院理工学研究科）
薗田　光太郎（情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター）
田中　　清（信州大学工学部）
新見　道治（九州工業大学情報工学部）
西村　　明（東京情報大学総合情報学部）
野崎　剛一（長崎大学情報メディア基盤センター）
馬場口　登（大阪大学大学院工学研究科）
日置　尋久（京都大学高等教育研究開発推進センター）
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）

研究費：物件費５万円，旅費６３万７千円

［2］研究経過

ディジタル化されたマルチメディア情報（テキスト，音楽，画像，ビデオなど）がインターネット上を飛び交う今日，マルチメディア情報の安全確保は極めて重要な課題である．そのような中，暗号とは異なる情報保護技術として情報秘匿（ハイディング）が注目を集めている．情報ハイディングは暗号と併用可能な技術であり，ディジタル情報の著作権保護や安全確保のための中核技術として期待されている．これまで，情報ハイディングの研究は，例えば，音響信号処理や画像処理分野の一部として行われており，音響や画像などのメディア毎に殆ど独立に行われてきた．本プロジェクト研究会では，メディア毎の垣根を掃って，情報ハイディングに関する総合的研究を行うとともに，研究者間のネットワークを構築して本分野の格段の発展を目指す．

本プロジェクトは，本年度が第２年度である．本プロジェクトを核として，電子情報通信学会の２種研究会「マルチメディア情報ハイディング（ＭＩＨ）研究会」を発足させることができた．平成１９年度は，以下の３回の研究会を開催した．

第１回研究会
日時：2007 年 5 月 29 日，場所：（独）情報通信研究機構 小金井本部
基調講演 1：映像コンテンツ流通と情報ハイディング（安田浩(東大)）
基調講演 2：音楽コンテンツ流通と情報ハイディング（菅原瑞夫(JASRAC)）
招待講演 1：画像コンテンツへの情報ハイディング（高嶋洋一(NTT)）
招待講演 2：音楽コンテンツへの情報ハイディング（西村竜一(NICT)）
パネル討論：マルチメディア情報ハイディングの将来あるべき姿とは(モデレータ：河口英二(九工大名誉教授)）
他に，デモやパネル展示も行った．

第２回研究会
日時：2007 年 11 月 9 日～10 日，場所：宮城蔵王ロイヤルホテル
セッション 1：アルゴリズム公開型改竄位置検出用電子透かし（岩村恵市(東京理科大)）他４件
セッション 2:AVI ファイルの音声データ部分へのステガノグラフィの試み（脇山正博(北九州高専) 他）他４件
ナイトセッション特別講演：青木輝勝(東北大学)，河口英二(九工大名誉教授)
セッション 3：ファイルの属性値を利用したステガノグラフィ（日置尋久(京大)）他２件

第３回研究会
（電子情報通信学会 2008 年総合大会シンポジウムセッション）
日時：2008 年 3 月 21 日，場所：北九州学術研究都市
セッション 1:DCT を用いた音声メディアへのステガノグラフィ（脇山正博(北九州高専) 他）他４件
セッション 2:QIM を用いた JPEG2000 ステガノグラフィの改良（石田貴之(九工大)他）他４件

［３］成果
（３－１）研究成果
本年度は，以下に述べる研究成果を得た．

東北大学電気通信研究所では，空気伝播時においても検出率の高い電子透かし手法についての開発を行った．空気伝播は，アナログ伝送の中でも，街頭宣伝のように空気伝搬音に音響電子透かしを埋め込み，その情報を利用することが，電子透かしの将来的な応用のなかでも実用化が強く期待されているためである．今年度は，エコー拡散法を用いた空気伝播による透かしの検出実験を行った．エコーの時間勾配や拡散長を適切に設定した結果，ビットレート 16bps までは 100%，32bps でも約 90%の検出率を実現した．また，IP 電話の広帯域化やサイドデータ送達などの高付加価値化を目指し，現在 IP 電話で最も広く用いられている logPCM 符号を対象にしたデータハイディング法の検討を行った．従来の最下位ビット置換法に対し，聴覚特性の考慮が音質の保持には重要であるとの観点から，ADPCM 符号を規範として用い，ADPCM 符号が同じ値になる範囲内で下位ビットを置換することした．その結果，5.5kbps の情報付加を行った場合，従来の最も音質がよいとされている方法よりも優れた音質を実現することに成功した．

首都大学東京システムデザイン学部では，画像への可逆データハイディング法と画像の改ざん検出法に関する研究を実施した．原信号を全く傷つけない，すなわち原信号の完全復元を保証する可逆データハイディング法が，信号とそれに付随する情報を一体として取り合う手法として期待されている．埋め込み情報の抽出に原信号を必要とせず，一つのパラメータのみで高画質なステゴ画像を生成可能な手法を開発した．また集合論理演算の一つであるモロフォロジ演算のべき等性という性質に着目して，べき等性の成立の有無によって信号の改ざん検出が可能性であることを提案して，その有効性を評価した．

国立情報学研究所では，ランダム歪み耐性を持つ動画向け電子透かしに関する研究を実施した．動画を構成する静止画像フレームの小ブロック領域を単位とした不規則なランダム歪みを微小に加えることで，動画の品質を劣化させずに埋め込み情報の正常な検出を困難にするツールが普及している．従来の動画向け電子透かし方式では，上記のランダム歪みを加えた動画から埋め込み情報を検出するために指数オーダーの計算量が必要なため，ランダム歪みからの情報検出は実用上不可能であった．上記問題を解決するために，本研究では埋め込み情報の探索を行わずにランダム歪み画像から情報を検出する動画向け電子透かし方式を提案した．提案方式は，静止画像フレームを構成する Y，U，V 平面や R，G，B 平面などの要素平面に不規則変形を加えても，各平面が同じ不規則変形を受けるという性質に着目し，埋め込み時には，各要素平面に同一の透かしパターンを重畳し，検出時には要素平面間相互相関により埋め込み情報を抽出する．本方式は，ランダム歪みなどの不規則歪みに対して，埋め込み情報の探索を行わずに直接情報を検出可能であり，実用上有効な方式である．

京都大学では，ファイルの属性値を利用することで，ファイルの内容を一切変更することなく，秘密情報を埋め込む手法を開発した．これまで一般には埋め込みを行う場合には，コンテンツに改変を加えることがほとんどであり，そのため必然的にコンテンツの品質が低下するという問題があった．そこでここで開発した手法では，ファイルの本体ではなく，ファイルの属性値にデータを埋め込みを行う．具体的にはファイルの最終修正時刻(mtime)データを利用する．ただし一つのファイルの属性値に埋め込めるデータ量はわずかであるため，指定したディレクトリツリー内のすべてのファイルの mtime を利用する．mtime で埋め込みビット列を表現するアルゴリズムとして，mtime の下位ビットを利用するものと各ディレクトリでの mtime の並び方を利用するものの２通りを実装した．この手法により，コンテンツを劣化させることなく埋め込みを行うことができる．

九州工業大学では，秘密情報や秘密通信の存在自体を隠す技術であるステガノグラフィに関して，埋め込み検出が困難な安全性の高いステガノグラフィの開発研究を行っている．本年度は，静止画像の符号化規格として今後の普及が予想される JPEG2000 画像をダミーデータ（情報を埋め込むための容器）とするステガノグラフィ（JPEG2000 ステガノグラフィと呼ぶ）を対象とした．JPEG2000 ステガノグラフィに対する埋め込み検出は，埋め込み前後での DWT 係数のヒストグラム形状の変化を捉えて行われる可能性が高いため，埋め込みによってヒストグラム形状が変化しない方法を開発した．

（３－２）波及効果と発展性など

前述のように，本プロジェクトを核として，電子情報通信学会２種研究会「マルチメディア情報ハイディング（ＭＩＨ）研究会」が発足し，３回の研究会を開催した．また，平成１９年１１月に台湾（高雄）で開催された国際会議ＩＩＨＭＳＰ２００７（International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing）では，本プロジェクトの複数のメンバーが会議開催に貢献するとともに，ＭＩＨ研究会として２件の Invited Session を企画した．

本プロジェクトやＭＩＨ研究会の今後の継続的活動によって，マルチメディア情報ハイディング分野の国内の研究活動が一段と活性化され，新たな研究成果創出に繋がるとともに，国際的な情報発信源の役割を果たすことができるものと確信している．

［４］成果資料

（１）半田浩規，西村竜一，棟方哲弥，鈴木陽一，“音データハイディングによるユニバーサル情報提示システム実現の試み”,第２回マルチメディア情報ハイディング研究会資料，pp.33-38（蔵王）(2007年11月10日)

（２）阿部俊一郎，伊藤彰則，鈴木陽一，“ADPCM を規範に用いた logPCM への下位ビット置換法の提案”,電子情報通信学会総合大会マルチメディア情報ハイディングシンポジウムセッション（北九州）(2008年３月21日)

（３）Hong Lin JIN, Masaaki FUJIYOSHI and Hitoshi KIYA ″Lossless Data Hiding in the Spatial Domain for High Quality Images″, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E90-A, No.4, pp.771-777(2007-4)

（４）Masaaki FUJIYOSHI, Shuji SATO, Hong Lin JIN and Hitoshi KIYA ″A Location-Map Free Reversible Data Hiding Method Using Block-Based Single Parameter″, IEEE International Conference on Image Processing(ICIP2007), Vol.III, pp.257-260, No.TA-P2.5(2007-9)

（５）Mirei KIHARA, Masaaki FUJIYOSHI, Qing Tao WAN and Hitoshi KIYA ″Image Tamper Detection Using Mathematical Morphology″, IEEE International Conference on Image Processing(ICIP2007), Vol.VI, pp.101-104, No.WP-L4.2(2007-9)

（６）大中 雅憲, 中山 心太, 後守 祐介, 越前 功, 吉浦 裕 : カラー画像の二つの色成分の関係に基づいて多様な幾何変形に対応する画像電子透かし方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 3, pp. 1387-1401, (2008年3月).

（７）I. Echizen, Y. Atomori, S. Nakayama, H. Yoshiura: Use of Human Visual System to Improve Video Watermarking for Immunity to Rotation, Scale, Translation, and Random Distortion, To appear in Circuits, Systems and Signal Processing, vol.27, no.2, (April 2008).

（８）Y. Atomori, I. Echizen, M. Dainaka, S. Nakayama, H. Yoshiura: Robust Video Watermarking based on Dual-plane Correlation for Immunity to Rotation, Scale, Translation, and Random Distortion, To appear in Journal of Digital Information Management, vol.6, no.2, (April 2008).

（９）I. Echizen, Y. Atomori, S. Nakayama, H. Yoshiura: HVS-Based Robust Video Watermarking with Dual-plane Correlation, Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2007), pp. 20-24, (November 2007).

（１０）後守裕介，越前功，吉浦裕：カラー画像の二つの色成分の関係に基づいてランダムゆがみとアフィン変形に対応する画像電子透かし方式，電子情報通信学会 2008 年総合大会 シンポジウムセッションマルチメディア情報ハイディング，DS-4-9，(2008年３月)

（１１）HIOKI Hirohisa, ″A Steganographic Method Based on a File Attribute″, Proceedings of Intelligent Information Hiding and Multimedia Processing (IIHMSP) 2007, vol.2, pp.441-444, 28 Nov. 2007

（１２）H.Noda, Y.Tsukamizu and M.Niimi: ″JPEG2000 steganography which preserves histograms of DWT coefficients″, IEICE Trans. Information and Systems, Vol.E90-D, No.4, pp.783-786(2007).

（１３）S.Tanaka, M.Niimi and H.Noda: ″A study on reversible information hiding using complexity measure for binary images″, Proceedings of 2007 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol.2, pp.29-32(2007-11).

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B05

採択回数	1	(2)	3

ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究

［1］組織

代表者：安達　信泰
（名古屋工業大学セラミックス基盤工学研究センター）

対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）

分担者：

中村　隆（岐阜大学）

井上　浩（秋田大学）

丹　健二（秋田県産業技術総合研究センター）

川又　憲（八戸工業大学）

太田博康（仙台高感度電磁波測定技術リサーチセンター）

［2］研究経過

ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは，電磁波セキュリティーを確保するために、60GHz 帯におよぶ広帯域で雑音レベル同程度の微弱な電界および磁界双方の強度分布を高感度に観測し、視覚的にイメージ化するプローブならびに計測システムの確立することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。

以下，研究活動状況の概要を記す。

月に１回程度のペースで研究討論，打ち合わせ会を開催し，プローブ技術，計測技術に関して，研究の現状把握と今後の方針について討議した。

研究費：旅費１６万１千円

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度に引き続き本年度は，磁性ガーネット薄膜結晶を用いた磁界検出に関して強磁性共鳴を利用した磁界検出が，実際にどの高周波領域まで可能かを$(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$系において検証した。また，高周波特性を表わす複素透磁率を3GHzまで測定した。

試料は液相エピタキシー法で作製したものを用いている。周波数が高くなるほど，強磁性共鳴に必要な磁界強度も大きくなる。X，Qバンドは一般的なＥＳＲ装置を用いて行ったが，それ以上の高周波領域はパルス磁界発生装置とガンダイオードを組み合わせた装置を用いて行った。標準的な膜厚は4～5ミクロンで磁界変調方式の市販の ESR 測定装置で用いるときは，感度が大きいために 1mm 各程度の大きさにして用いた。パルス磁界で測定する装置はマイクロ波の透過を直接検出器で測定する。そのため，試料はφ6mm の金属管内部に収まるサイズにカットして用いた。

$(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$系はPr置換系と異なり，共鳴スペクトルが急峻で大きなピークが現れる。パルス磁界での測定は，吸収強度の絶対値を見積もることが難しいため，DPPH をいっしょに測定し，その常磁性共鳴のピーク高さと比較することで，吸収強度の変化を考察した。

$(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$(111)膜の面内方向に磁界をかけた実験では，300GHz までのマイクロ波による共鳴実験を行ったところ，周波数と共鳴磁界の関係は直線的となった。60 GHz のマイクロ波では，2T，315 GHz では 11T の磁界が必要であった。共鳴スペクトルには，DPPH のシャープなピークのほかに基板のＧＧＧの常磁性共鳴によるブロードなピークも重なって現れた。ピーク強度は，100 GHz までは，DPPH の鋭い共鳴ピークを大きく超えるピーク高さを示した。磁気共鳴は，鉄の磁気モーメントを誘起し，その結果，磁気光学効果を増大させる。これまでの実験から，磁気光学効果によって高周波磁界を検出するには，磁気共鳴スペクトルの半値幅が狭いこと，ピーク強度が大きいことが必要であった。

一方，100 GHz を越えると膜による共鳴ピークの高さが，DPPH の共鳴ピークの高さに対して小さくなっていくことが観測された。315 GHz においてもピーク位置は特定できるが，吸収強度は小さくなった。共鳴ピークの高さが小さくなる原因については，フェライトのスネークの限界における複素透磁率のμ"の低下と関わりがあるかもしれないが，100 GHz が何を意味しているかは磁性ガーネット系の磁気異方性の大きさも視野に入れて，現在検討中である。

この試料について，複素透磁率μ'，μ"を測定したところ，300 MHz 付近に共鳴と思われるピークがμ'，μ"ともに観測され，ともに30近い数値を示した。面内方向に100, 200, 300 Oe と磁界をかけて測定すると，このピーク周波数は1.2 GHz, 1.8 GHz, 2.2 GHz へと高周波側にシフトした。磁界印加によるピークシフトは，強磁性共鳴の影響と考えられる。また，ゼロ磁界では，ピークを超えた周波数帯では，μ'，μ"の値はほぼゼロとなり，スネークの法則を裏付けている。

高周波電磁界の可視化に関しては，60 GHz までを目標周波数帯としているので，今回の実験では，100 GHz までの強磁性共鳴スペクトルは鋭く大きなピーク強度を持つことから，現在の磁性ガーネット膜を用いた磁気光学測定系による高周波磁界検出には，100 GHz までは原理的に検出が可能であると推察できた。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにおける成果は，情報通信研究機構の拠点研究プロジェクトの一つである「電磁波セキュリティを確保するための高感度電磁波測定技術の研究開発」とリンクさせて，研究から実用化への具体性をも考慮しながらすすめており，また，2008年度総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度（**SCOPE**）の採択課題研究へと発展し，電磁環境への安全性を確立すべく，ますますの発展が期待されている。

［４］成果資料（以下１０.５ポイント）

（１）Kono, T.; Machi, T.; Chikumoto, N.; Nakao, K.; Koshizuka, N.; Adachi, N.; Okuda, T. "**LPE growth of bismuth substituted iron garnet films with in-plane magnetization."** Nippon Oyo Jiki Gakkaishi Vol.30(6-2), pp.600-603 (2006).

（２）M. Takahashi, E. Suzuki, S. Arakawa, H. Ota, K. I. Arai, R. Sato, **"High Speed System for Electromagnetic Field Distribution,"** IEICE Trans. on Commun. VolE89-B, pp.2905-2912 (2006)

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B06

採択回数	1	(2)	3

適応的な行動の発現と制御のメカニズム

［1］組織

代表者：

高草木　薫	旭川医科大学

分担者：

柳原　大	東京大学
小林　康	大阪大学
南部　篤	生理研
伊藤　悦朗	徳島文理大学
近藤　滋	名古屋大学
伊藤　宏司	東京工業大学
石黒　章夫	名古屋大学
浅間　一	東京大学
伊藤　聡	岐阜大学
細田　耕	大阪大学
土屋　和雄	京都大学
大須賀公一	京都大学
野村　泰伸	大阪大学
木村　浩	電気通信大学
青沼　仁志	北海道大学
神崎　亮平	東京大学
川端　邦明	理化学研究所
倉林　大輔	東京工業大学
藤井　輝夫	東京大学
辻田　勝吉	大阪工業大学
近藤　敏之	東京工業大学
稲瀬　正彦	近畿大学
北澤　茂	順天堂大学
柳原　大	東京大学
中溝　克己	近畿大学
森　大志	山口大学
中西　泰三	順天堂大学
青井　信也	京都大学
杉本　靖	京都大学
松山　清治	札幌医科大学
花川　隆	国立精神神経センター
福島　菊朗	北海道大学
川上　進	電気通信研究所
太田　順	東京大学

研究費：物件費 50,000 円，旅費 432,000 円

［2］研究経過

行動発現のメカニズムには生物学的観点から３つのレベルがあると想定される．第一のレベルは生存を可能にする身体恒常性のメカニズムである．これは，運動・感覚などの体性神経機能や循環・呼吸などの自律神経機能に相当する．第二のレベルは，自己内外の環境認知のメカニズムである．内臓感覚や外界環境情報に対しての認知や記憶，そしてその情報への価値の評価という高次脳機能がこれに相当する．そして第三のレベルは，社会やコミュニティーの中から自己のアイデンティティーを確立するメカニズムである．これは，対人関係や社会適応の仕組みであり，さらに社会を創造する仕組みを包含する．

環境はリアルタイムに変化するため，我々は常に時間と空間の持つパラメータ変化に対して適応的な行動を発現しなければならず，そのためには，“脳”と“身体”，そして“環境”の相互作用が重要な役割を担う．しかし，脳神経系の疾患（パーキンソン病や認知症など）や筋・骨格系の障害（運動器疾患など）では，上記の何れかのレベルにおける適応障害が出現する．また，脳や身体に機能異常がない場合であっても，社会環境の変化に対して適応障害（うつ症状・心身症など）を起こすことがある．

本研究の目的は，生物の持つ適応的な行動発現のメカニズムを参考にしながら，これを実現する工学システムの構築を目指すことにある．この研究は，生物およびロボットに共通する適応行動発現の数理的・生物的原理の解明と，上記の適応障害を克服のための工学的手法の考案，につながる．

適応的な行動には，行動主体が，生存しているという生存感を持つこと，自己と周囲の環境や他者を区別していること，そして，次の行動の文脈性を創発すること，の３者が必須となる．上記観点に基づき，本年度は以下の三つの課題についての研究を展開した．

１） 生存を可能にする身体恒常性のメカニズム：
環境変化に伴う体性神経機能（運動や感覚）と自律神経機能（循環・呼吸，代謝）の統合的な制御の仕組みの解析とその工学的設計．

２） 自己内外の環境認知のメカニズム：
内臓感覚や外界環境情報に対しての認知や記憶

の仕組みと，これを評価・判断する仕組み（環境と行動文脈の生成）の解析とその工学的設計.

3） 社会適応と自己を確立するメカニズム：
生物が自己と他者とを区別しながら自己の行動を選択・決定する仕組みの解析とその工学的設計.

プログラム:

11月28日（水）

13:00-16:15

1. 昆虫のコミュニケーション:ミツバチの8の字ダンス
伊藤悦朗(徳島文理大学)
2. 発生における自律的位置情報形成のメカニズム
近藤 滋(名古屋大学)

16:30-18:00

3. 大脳基底核による運動制御メカニズム
南部 篤(生理研)

11月29日(木)

9:00-12:15

4. アセチルコリン、ドーパミン、やる気と報酬予測誤差について
小林 康(大阪大学)
5. 歩行と心拍条件付け学習における下オリーブ核-登上線維系入力の役割
柳原 大(東京大学)

[3]成果

本年度の研究成果は，上記研究報告会において詳しく述べられた.

伊藤悦朗先生による「昆虫のコミュニケーション:ミツバチの8の字ダンス」の研究では，ミツバチ８の字ダンスのコロニーへの効果を行動観察の結果を盛り込んだ数理モデルによるコンピュータシミュレーションを用いて調べた．行動観察から，８の字ダンスは巣板上の特定の場所で数回踊った後，別の場所に移動して再び踊ることを繰り返す傾向があり，また，伝達する餌場情報にはかなり誤差が含まれていることがわかった．このような雑多な情報伝達システムでミツバチの社会全体が維持されることは驚くべきことである．本研究結果は，個体の行動による社会性維持と社会適応のための「情報の伝搬と共有」のモデルとして捉えることができる.

近藤滋先生の「発生における自律的位置情報形成のメカニズム」では，発生における反応拡散機構の働きや関与する分子に関して理論だけでなく実際の実験により解析を進めている研究を紹介し，この分野の現状について議論した．チューリングの反応拡散機構による位置情報生成システムは複雑なパターン形成現象を説明できるし，実際に魚に皮膚でそのような波が模様を作っていることが確認されている．この仕組みにより，サラブレッドの均一な模様やシマウマの縞など全く違った表皮パターンを一つの統一したパターン形成現象として理解できることがわかった．これら研究を元に「自発的」に位置情報を作り出すメカニズムの実現が期待される.

南部篤先生による「大脳基底核による運動制御メカニズム」の研究では，大脳基底核に見られる3つの下行性経路の役割について神経生理学的観点から考察を行った．大脳基底核は大脳皮質とループ回路を作っている．大脳基底核のおもな入力部は線条体であり，一方，出力部は淡蒼球内節と黒質網様部である．大脳基底核の入力部から出力部へは，直接路と間接路を介して情報が伝達されるが，ハイパー直接路（大脳皮質-視床下核-淡蒼球内節路）という経路もあると考えられる．実際ニューロン活動を記録すると短潜時の興奮とそれに続く抑制，さらに長潜時の興奮という 3 相性の応答を示す．これらの応答はそれぞれハイパー直接路，直接路，間接路に由来する．随意運動の際にもこれらの経路が同様に時間差をもって働き，視床・大脳皮質の活動を動的に制御している可能性がある.

これら神経機構は生存に不可欠な随意運動の開始と停止に深く関わっており，従来の神経解剖学的な理解のみならず，随意運動系のダイナミクスを理解する上で非常に興味深い研究であるといえる.

柳原大先生の研究では，姿勢と歩行の制御における小脳下オリーブ核-登上線維が果たす役割について遺伝子欠損マウスを用いた研究を行った．四肢の受容器から得られる求心性情報は小脳を介して片側性のみならず，両側性で位相パターンに影響を及ぼすことがわかった．本研究の結果は，環境適応的なロコモーション発現のための脳神経基盤の解明に貢献するものである.

適応的な行動は常に未知の環境に遭遇する場合を想定している．これまでの認知科学は，適応的な行動における運動機能や外界認知の仕組みを明らかにした．しかし，これらは必要条件であっても十分条件を満たさない．十分条件として最も重要なのは，行動主体が，どの様に未知の環境に一定の評価を下し，どの様な行動のシナリオを生成するのか，という側面であろう．このプロセスを確立するためには，行動主体が状況に依存した行動目標と拘束条件を自ら生成し，独自の行動文脈を創発することが必須となる.

実環境に実時間で対応できるシステムが存在しない現在では，真の意味で情報を創発する本研究の推進は，新たな科学技術を創成すること，そして，情報処理システムのブレイクスルーにも繋がる．加えて，本研究の成果は，運動障害患者の病態解明や新規治療法の考案，そしてリハビリテーションなど医療分野への応用が期待できる.

［4］成果資料

1. Yano M. Purposive Locomotion of Insect in Indefinite Environment, In H Kimura et al. Eds., ***"Adaptive motion of animals and machines"***, Springer-Verlag, Tokyo, 31-40, 2006.
2. Makino Y, Yano M. Pictorial cues constrain depth in da Vinci stereopsis., ***Vision Res.*** 46(1-2):91-105, 2006.
3. Kawabata K, Saitoh K, Takahashi M, Sugahara M, Asama H, Mishima T, Miyano M, Integrated state evaluation for the images of crystallization droplets utilizing linear and nonlinear classifiers, ***Biological Crystallography***, ***Acta Crystallographica Section D***, vol. 62, pp. 1066-1072, 2006.
4. Kiencke U, Nielsen L, Sutton R, Schilling K, Papageorgiou M, Asama H. The Impact of Automatic Control on Recent Developments in Transportation and Vehicle System, ***Annual Reviews in Control***, No.30, pp. 81-89, 2006.
5. Aoi S, Tsuchiya K. Stability Analysis of a Simple Walking Model Driven by an Oscillator With a Phase Reset Using Sensory Feedback. ***IEEE Transactions on Robotics,*** 22(2):391-397, 2006.
6. Aoi S, Tsuchiya K. Bifurcation and Chaos of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal. ***International Journal of Non-Linear Mechanics***, 41(3):438-446, 2006.
7. Kurabayashi D, Okita K, Funato T. Obstacle avoidance of a mobile robot group using a nonlinear oscillator network. ***IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems***, 186-191, Beijing, China, October 9-15, 2006.
8. Funato T, Kurabayashi D. Functional Structure of Autonomically Emerged Network in an Environment. ***IEEE International Conference on Computational Cybernetics,*** 315-320, Tallinn, Estonia, August 20-22, 2006.
9. Iida S, Kondo T, Ito K. Environmental Adaptation Mechanism for a Biped Walking Robot Control Based on Elicitation of Sensorimotor Constraints**,** ***From Animals to Animats 9, Lecture Notes in Computer Science*** 4095, pp.174-184, 2006.
10. Kondo T. Evolutionary design and behavior analysis of neuromodulatory neural networks for mobile robots control**.** ***Applied Soft Computing,*** 7, 189-202,
11. Takakusaki K. Forebrain control of locomotor behaviors. ***Brain Res. Rev.*** (in press)
12. Takakusaki K, Saitoh K and Kashiwayanagi M. The pedunculopontine nucleus and the basal ganglia in locomotion. In: ***Recent Breakthroughs in Basal Ganglia Research***, (ed by E. Bezard), 133-149,2006.
13. Kurkin SA, Akao T, Fukushima J, Fukushima K. Activity of pursuit neurons in the caudal part of the frontal eye fields during static roll-tilt. ***Exp Brain Res.*** 176(4):658-664., 2007.
14. Yamamoto K, Kawato M, Kotosaka S, Kitazawa S. Encoding of movement dynamics by purkinje cell simple spike activity during fast arm movements under resistive and assistive force fields. ***J Neurophysiol.*** 97(2):1588-99, 2007.
15. Miyazaki M, Yamamoto S, Uchida S, Kitazawa S. Bayesian calibration of simultaneity in tactile temporal order judgment. ***Nat Neurosci.***, 9(7): 875-877, 2006.
16. Crinion J, Turner R, Grogan A, Hanakawa T, Noppeney U, Devlin JT, Aso T, Urayama S, Fukuyama H, Stockton K, Usui K, Green D, Price CJ. Language control in the bilingual brain. ***Science***, 312 (5779); 1537-1540, 2006.
17. Le Bihan D, Urayama S, Aso T, Hanakawa T, Fukuyama H. Direct and fast detection of neuronal activation in the human brain with diffusion MRI. ***Proc. Nat. Acad. Sci.*** 103(21), 8263-8268, 2006.
18. Oshio K, Chiba A, , Inase M. Delay Period Activity of Monkey Prefrontal Neurons during Duration-Discrimination Task. ***Eur. J. Neurosci***. 23(10), 2779-2790, 2006.
19. Mori F, Nakajima K, Tachibana A, Mori S. Obstacle clearance and prevention from falling in the bipedally walking Japanese monkey, Macaca fuscata. ***Age and Aging,*** 35(S2), 19-23, 2006.
20. Matsuyama K, Kobayashi S, Aoki M. Projection patterns of lamina VIII commissural neurons in the lumbar spinal cord of the adult cat: an anterograde neural tracing study. ***Neuroscience.*** 19;140, 203-18, 2006.
21. Ott SR, Aonuma H, Newland PL, Elphick MR. Nitric oxide synthase in crayfish walking leg ganglia: Segmental differences in chemo-tactile centers argue against a generic role in sensory integration. ***J Comp Neurol***. 501(3):381-99, 2007.
22. Iwasaki M, Delago A, Nishino H, Aonuma H. Effects of previous experience on the agonistic behaviour of male crickets, Gryllus bimaculatus. ***Zoolog Sci.*** 23(10):863-72, 2006.

課題番号　H18／B08

採択回数　1　(2)　3

新概念回路技術展開型
超高速コンピューティングの創造開拓

［1］組織

代表者：松岡　浩
（日本原子力研究開発機構(JAEA)
システム計算科学センター）
対応者：羽生　貴弘
（東北大学電気通信研究所）
分担者：　以下、50 音順
青井　基(東北大学電気通信研究所)
青柳　哲雄(日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター)
板倉　憲一(海洋研究開発機構(JAMSTEC)
計算システム計画・運用部)
井戸村　泰宏(日本原子力研究開発機構核
融合研究開発部門)
大野　英男(東北大学電気通信研究所)
小原　拓(東北大学流体科学研究所)
折田　義彦(海洋研究開発機構地球シミュ
レータセンター、異動後、宇宙
航空研究開発機構宇宙利用推
進本部アジア協力推進室)
樫本　浩二(日本電気株式会社(NEC))
角田　晋也(海洋研究開発機構海洋工学セ
ンター)
佐久間　弘文(海洋研究開発機構地球環境
フロンティア研究センター)
鈴木　陽一(東北大学電気通信研究所)
高木　敏行(東北大学流体科学研究所)
高瀬　和之(日本原子力研究開発機構原子
力基礎工学部門)
谷　啓二(東京工業大学学術国際情報セン
ター、日本原子力研究開発機構核
融合研究開発部門)
寺坂　晴夫(東京大学生産技術研究所、異
動後、会津大学情報センター)
徳田　伸二(日本原子力研究開発機構シス
テム計算科学センター及び核融
合研究開発部門)
中島　憲宏(日本原子力研究開発機構シス
テム計算科学センター)
早瀬　敏幸(東北大学流体科学研究所)
福井　義成(宇宙航空研究開発機構(JAXA)
情報・計算工学センター)
福田　正大(宇宙航空研究開発機構情報・
計算工学センター)
藤代　一成(東北大学流体科学研究所)
藤縄　幸雄(リアルタイム地震情報利用協
議会)
松尾　裕一(宇宙航空研究開発機構情報・
計算工学センター)
村岡　裕明(東北大学電気通信研究所)
村松　壽晴(日本原子力研究開発機構次世
代原子力システム研究開発部門)
森本　浩一(海洋研究開発機構経営企画室、
異動後、内閣府政策統括官付)
矢野　雅文(東北大学電気通信研究所)
横川　三津夫(理化学研究所次世代スーパ
ーコンピュータ開発実施本部)
渡辺　正(日本原子力研究開発機構安全研
究センター)

———

研究費：物件費　0 円、旅費 35 万 3 千円

［2］研究経過

超高速コンピューティングによる数値シミュレーションは、原子力、航空・宇宙、地球環境、医療など未来社会を構築するキーテクノロジーであり、その“超高速”に対するニーズは留まるところを知らない。今後、“さらなる超高速”を技術的に実現し、社会に広く普及させるためには、“超低消費電力でコンパクトな設計”を極限まで推し進める必要がある。これには、リーク電流の低減など従来の延長線上の対応のみでは不十分である。むしろ、低消費電力を達成する強力な方法(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)をデバイス・回路レベルで採用し、この“新概念回路技術”のシンプルな組み合わせで実現できる“基本プロセッサ回路”をベース

に、そこから各種アプリケーションへ展開していく道を探るべきであろう。本研究会は、基本プロセッサ回路からアプリケーション実現までの道をできるだけシンプルに直結させるべく、各分野のアプリケーションの方々と十分な意見交換をしながら、多数の分野において“超低消費電力でコンパクトな超高速コンピューティング”が実現されることを目指して、将来に向けた可能性を創造開拓していくことを目的として各種意見交換を通じ研究を行った。

本プロジェクト研究会は、本年度が２年度目であった。前年度は、研究会における意見交換を通じて以下の方向性が明らかになった。

① 原子力、海洋、宇宙などの流体数値シミュレーション活用分野で、今後とも大規模な計算を低消費電力低コストで実行できる計算システムの実現要請が強い。

② 流体専用シミュレータにおいて“超低消費電力でコンパクトな設計”を極限まで推し進めるには、デバイス・回路のハードウェアレベルからアプリケーションのソフトウェアレベルまでの各階層を個別に最適化するのではなく、全階層を縦に貫く最適設計思想が必要である。

③ 今後の実用的なシミュレーションに真に役立つシステムとするには、「不揮発性記憶、超並列演算、動的再構成可能制御等の機能を VLSI 化するほか、計測データのフィードバックによって計算方法をリアルタイムで外的条件に適合させる機能を導入する」ことが有益である。

そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、後述の小グループ会合及び中グループ会合における意見交換を通じて、上記の方向性に沿った個別具体的な案を検討した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本研究会は、多分野にわたる多数のメンバーから構成されているので、集中的な意見交換を行うため、その都度、検討事項を限定して、当該事項に関する**小グループ会合**(数人程度以下)を開催した。(42 回)

①新概念プロセッサシステムの検討については、本プロジェクト研究会の代表者である松岡が、電気通信研究所側対応者である羽生貴弘教授と片平にて意見交換を行うとともに、東京三田にて NEC 研究協力グループと平均２回／月程度のシステム検討を行った。また、5/9、11/14、11/15(左記３回は全て片平通研)にて小グループ会合を開催した。②新概念プロセッサストレージの検討については、5/10、5/11、5/24、6/7、6/15、7/12、7/19、8/10、11/2、1/23(左記 10 回は全て片平通研)に小グループ会合を開催した。③原子炉流体シミュレーションへの応用開拓については、核融合炉のプラズマ安定性制御や高速増殖炉(FBR)の流動実験計測のための専用プロセッサ応用について 5/12(東京早稲田)、6/8(東京上野)、6/15(東京早稲田)、8/10(東京早稲田)、2/8(青葉山情報シナジーセンター)、3/18(東京白山)に小グループ会合を開催した。④海洋流体シミュレーションへの応用開拓については、当プロジェクト研究会のメンバーである海洋研究開発機構の折田氏(7 月から人事異動により宇宙航空研究開発機構)がこの小グループの調整推進役となり、5/14(神奈川杉田)、6/28(東京上野)、7/27(片平流体研)、10/9(東京新宿)、12/11(東京上野)、1/10(片平流体研)、1/29(東京上野)、3/6(仙台)に小グループ会合を開催し、精力的に検討を進めた。⑤新分野シミュレーションへの応用開拓については、宇宙推進や音響解析の分野における専用シミュレーションチップの応用可能性について、5/7(東京上野)、5/25 昼(片平通研)、5/25 夕(東京上野)、6/20(片平通研)、9/7(東京溜池山王)、11/16(東京池袋)、1/18(東京四谷)、3/14(東京上野)に小グループ会合を開催して議論した。さらに、⑥今後の全般的な研究連携の進め方については、5/8(東京恵比寿)、6/12(東京東京)、7/20(東京東京)、7/30(東京上野等)、8/13(茨城東海)、11/6(東京多磨)、11/23(東京多磨)に検討を行った。

また、専門分野の異なるメンバーの相互コミュニケーションや異分野融合研究の促進を図るため、３月 7 日に 7 人程度の**中グループ会合**を２回開催し、異分野を超えて横断的に活用できそうな２つの技術について、以下のとおり、勉強会を行った。

○第１会合：3 月 7 日 10 時～12 時半　片平

「流体解析のための計測融合シミュレーション技術」について流体科学研究所の早瀬敏幸教授から研究の現状等について解説いただき、意見交換を行った。また、流体科学研究所の流体実験設備等の見学も実施した。

○第２会合：3 月 7 日 13 時半～15 時　片平

「合成開口レーダーの小型軽量化技術」について電気通信研究所の犬竹正明教授から、同教授が組織している共同プロジェクト研究会における検討状況の要点について解説いただき、意見交換を行った。

［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に明らかになった論点は、「ソフトウェアアルゴリズムからハードウェア演算回路に至るまでの全ての階層で単純化設計を極限的に追及する」という設計方針が、現状では、超高速コンピューテ

ィングシステムの試作コストの最小化に直結しない点である。「むしろ、単純化設計を追求し過ぎずに、その手前で止めておいて、やや複雑ではあるかもしれないが、すでに実用化されている汎用で低コストの外国技術を用いた方が手軽である」という状況が数回生じた。具体的には、FPGA や可視化ソフトなどの利用であるが、検討の末、「もう一段下層のレベルにまでシステム機能を分解してみて、このレベルのシステム設計を独自に考案するとともに、当該レベルで機能する個々の要素ブロックについて、それらを①日本発の新概念回路技術によるものと②外国発の現状低コスト技術によるもので分担する」という方針にした。これは、単純化設計の追求をあきらめずに、低コストを達成し、しかも、将来の発想展開の妨げにならない程度にブラックボックス化をおさえるという意味がある。

第２に、今後２～３年間で集中的に研究開発を行う価値がある開発対象技術として、「不揮発性演算回路を利用した微小整数型格子流体法による計測融合シミュレーション実現技術」というものを抽出することができた。特に、原子力や海洋開発分野への応用の検討を通じて、本技術の成功の可否が、それらの分野における将来の応用展開の幅を大きく左右することがわかった。

なお、具体的な検討内容は、①超単純な流体解析アルゴリズムの開発、②新概念回路技術によるシミュレーション加速プロセッサの設計、及び、③シミュレーション加速プロセッサ応用システムの設計、の３事項に整理できる。以下、この点を記載する。

“超単純な流体解析アルゴリズムの開発”では、流体が存在する空間中に張られた格子上を、仮想粒子が並進・衝突を繰り返しながら、その集団としての運動を自己組織化していく格子流体法を想定している。特に、計算モデルは、単純性追及の観点から、昨年度に引き続き、とりあえず２次元格子ガス法 FHP-I モデルを用いた。基本的な時間発展計算において実数を使用しないため、トランジスタを数多く必要とする演算回路（例：浮動小数点表示された数の乗算回路）を省略でき、超低消費電力化に大きく貢献する。また、本モデルは、任意の複雑形状の境界条件に適用できるという実用性も備えている。本件は、日本原子力研究開発機構(JAEA)のシステム計算科学センターや NEC 等の協力も得て、300 ノード(8CPU 並列／ノード)の計算機規模で 50 億を超える格子点数の計算実行を可能にした。また、多数のシミュレーションケーススタディを通じて、衝突規則の工夫による高レイノルズ数達成手法について、いくつかの新しい知見を得た。

また、シミュレーション計算の主要繰返し部分に対して、次世代の電子回路技術を応用し、さらなる高速化と超低消費電力化をコンパクトに実現するため、**“新概念回路技術によるシミュレーション加速プロセッサの設計”**を進めた。本件は、東北大学電気通信研究所と研究協力を行い、本共同プロジェクト研究会の対応をお願いしている羽生貴弘教授らのグループが提案しているトンネル磁気抵抗効果素子によるロジックインメモリ回路（スピン演算回路）を基本にしたシステム設計を行うことにしている。この基本回路は、電源を切っても情報が残る「不揮発性デバイス」を構成要素として内蔵しており、当該回路の中核部分の小規模な試作は、同研究所の大野英男教授らのグループにより実行可能であると思われる。特に、この不揮発性デバイスは、大規模集積回路上で、従来の演算回路部分に重ねてその上に製作できるので、回路面積のコンパクト性を損なわずに超低消費電力を達成できる技術として将来性がある。

さらに、**“シミュレーション加速プロセッサ応用システムの研究”**として、原子炉冷却系設計の支援実験解析や自律航行型水中ロボットの位置制御への応用などについて、流体科学研究所, JAXA, JAMSTEC, リアルタイム地震情報利用協議会 JAEA 等の関係者と検討を行い、競争的資金の共同応募申請等の準備を進めた。本件のとりまとめ調整は、当プロジェクト研究会の JAXA の折田義彦氏が担当された。

（３－２）波及効果と発展性など

原子力、航空・宇宙、地球環境など未来社会を構築するのに極めて重要な分野における流体挙動数値シミュレーションについて、新概念回路技術を駆使することにより、汎用計算機の性能向上トレンドを凌ぐ大規模計算または低コスト計算を達成できるであろう。「非平衡系統計力学の実用シミュレーションツールの実現」という学術的な貢献も期待できる。

さらに、本プロジェクト研究会の活動は、アプリケーション側の研究者が、デバイス・回路側の研究者の最新の研究成果を知ってその意味をよく理解し、自らのアプリケーションモデルやアルゴリズムをその方向に積極的に適合させていくなど、将来の可能性をともに追求していく意欲的なグループ形成へと発展しつつある。このような機会の創出を可能にした電気通信研究所の「共同プロジェクト研究会制度」に心から感謝申し上げ、本制度の発展を期待する。

［４］成果資料

公表資料なし。

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B09

採択回数	1	(2)	3

新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックおよびシステムインテグレーション技術

［1］組織

代表者：羽生　貴弘
（東北大学電気通信研究所）

対応者：羽生　貴弘
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
松岡　浩（日本原子力研究開発機構）
徳田伸二（日本原子力研究開発機構）
渡辺　正（日本原子力研究開発機構）
川上　進（東北大学電気通信研究所 客員教授）
中島雅美（ルネサステクノロジ（株））
望月　明（ルネサステクノロジ（株））
中村　孝（ローム（株））
木村啓明（ローム（株））
Vincent Gaudet（カナダ・アルバータ大）
Chris Winstead（米国・ユタ州立大）
Glenn Gulak（カナダ・トロント大）
Wai-Tung Ng（カナダ・トロント大）
Ali Sheikholeslami（カナダ・トロント大）
松本　敦（東北大学電気通信研究所 助教）

研究費：校費５万円，旅費１６.８万円

［2］研究経過

本格的なユビキタスネットワーク社会の到来が叫ばれている昨今において，情報処理の分野における研究開発の重要性は以前にも増して高まっている．従来の情報処理技術においては処理速度，すなわちチップのスループットにもっともウエイトが置かれており，この点においては現在においても引き続き重要なものである．その一方で，ノート PC，携帯電話，携帯オーディオ端末等のモビリティを重視する電子機器の爆発的な普及に伴い，処理速度以外のシステム指標，すなわちチップ占有面積や消費電力を小さく，低く抑えることが，環境保護の側面とも相まって重要な課題であるといえる．これらの特性，すなわち処理速度，占有面積，消費電力に優位性を持つチップを将来に渡り継続的に作り続けていくことは，従来技術の延長，すなわちチップ設計ルールの微細化だけでは困難であるといわざるを得ない．現実に，設計ルールが 100nm を切るようなルールで設計されたチップにおいては，トランジスタのスイッチング速度に起因する遅延に対して，配線の複雑さが主たる要因であるモジュール間転送にかかる遅延時間の占める相対的割合が増加してきている．

このような配線遅延にまつわる問題の根本的な解決手段としてはデザインルールのシュリンクのみに依拠した性能向上思想からの脱却，すなわちソフトウェア技術，システムアーキテクチャ技術，回路デバイス技術といった VLSI 設計技術の各レイヤー技術を多角的に進展させ，それらの技術を統合したシステムインテグレーションを推進していくことが重要であることは言うまでもない．

2 年目を迎える本プロジェクトにおいては，以下に挙げる研究活動を通じた，次世代 VLSI コンピューティングの実現を目指すためのシステムインテグレーション技術の進展，実施を目的とした．

- 平成 19 年 7 月 9 日　Wai-Tung Ng 氏（カナダ・トロント大学）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，不揮発性素子を用いた回路や，DC-DC 変換に関する研究打合せを行った．
- 平成 19 年 7 月 30 日　Vincent Gaudet 氏（カナダ・アルバータ大学），Nirmal Sohi 氏（エッジウォーター社）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，多値技術に基づく LDPC デコーダ LSI の実現とその周辺技術に関する研究打合せを行った．
- 平成 19 年 9 月 29 日 米田友洋氏（国立情報学研究所），今井雅氏（東京大学）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，非同期式転送方式に基づく回路実現に関する研究打合せを行った．
- 平成 19 年 12 月 18 日　桝井昇一先生，米田友洋氏（国立情報学研究所）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，PLL(Phase Lock Loop)や，非同期式転送方式に関しての研究打合せを行った．

- 平成 19 年 12 月 19 日　森分政人氏，渕上貴昭氏，藤森敬和氏，木村啓氏（ローム株式会社）と新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，強誘電体を用いた回路構成とその応用に関する研究打合せを行った．
- その他，松岡浩氏(日本原子力研究開発機構)と材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，不揮発性ロジック回路の応用に関して日常的に適宜研究打合せを行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

新材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関連する本年度の具体的研究成果として，主な事項３点について以下に報告する：

（1）強誘電体デバイス，TMR 素子を用いたロジックインメモリ VLSI の構成

本研究代表者らの研究グループがこれまでに考案してきた，強誘電体キャパシタ，TMR 素子等の不揮発性記憶素子を CMOS 回路に組み込むことによって記憶機能と演算機能の一体化を実現することによる，高速，低消費電力かつコンパクトな回路構成であるロジックインメモリ技術に関する研究を行っている．記憶機能と演算機能を回路レベルでコンパクトに一体化する新しい演算デバイスを開発することで，メモリ・演算器間データ転送ボトルネックのない「超高速処理」回路・システムを実現する．また，不揮発性記憶機能が分散されたため，電源をオンすれば瞬時にシステムが起動する「クイックオン」機能と，使うときだけ回路に電流が流れる「ノーマリーオフ」機能が合わせて実現できる VLSI システムを実現する．さらに，ハードウェア構成を変えずロジック機能を自由に変更できる「動的再構成可能」回路を実現し，しきい値電圧ばらつきなどの製造プロセス変動を調整できる新しい集積回路技術の有用性を実証することが可能となる．

強誘電体キャパシタを用いたロジックインメモリ技術に関しては，木村啓氏（ローム株式会社）らとの研究打合せを通じて，強誘電体ロジックの実アプリケーションへの実現を推進している．

TMR 素子を用いたロジックインメモリ技術に関しては，不揮発性ロジック回路の特徴である再構成可能な性質を利用し，加算器，FPGA(Field Programmable Gate Array)，TCAM（Ternary CAM）等の回路を実際に試作し，評価を行った．これらの TMR ロジックに関しては，国際学会での発表（研究成果(9)）を行い，また解説論文（研究成果(10)），招待講演（研究成果(11,12)）により，学外への発信を積極的に行った．

（2）電流モード双方向非同期データ転送を用いた非同期式 LDPC デコーダの構成と実現

LDPC デコーダは Check ノードと Variable ノードを相互配線網で接続した構成となっており，ノード間のデータ転送を繰り返すことからデータ転送の遅延が性能向上のボトルネックとなっている．そこで Check ノードと Variable ノードの間のデータ転送に，本研究代表者らが考案した高速双方向非同期データ転送技術を活用することにより LDPC デコーダ全体の高性能化を図ることを目的に研究を推進している．

本年度は昨年度提案した，LDPC 復号アルゴリズムの改良に基づいて，VDEC 提供の 90nmCMOS 技術により試作したテストチップの評価を行った．その内容に関しては国際学会（成果資料(8)）にて発表した．この内容に関しては，共同研究を実施しているカナダ・アルバータ大学の V. Gaudet 氏と連絡を取り合いながら実施したことを付記する．

また，電流モード双方向転送そのものに関しての検討と評価を行い，高速かつ低消費電力での転送動作実現が可能であることを示した．この内容に関しては，論文誌（成果資料(4)），並びに国際学会（成果資料(5)）にて発表した．

（3）電流モード多値回路技術に基づくマルチコアプロセッサと演算器，並びに多値回路の信頼性に関する研究の実施

本研究代表者らは，電流モード多値回路技術に関する研究に長く取り組んでおり，差動形回路を基本ゲートとした，高速性・低消費電力性を同時に有する電流モード多値回路に関する基本回路を提案してきた．本年度は昨年度から引き続き，中島雅美氏（ルネサス･テクノロジ(株)）らが取り組んでいる SIMD 形 VLSI プロセッサを，電流モード多値回路技術の活用でさらに高性能化する共同研究に取り組んだ．まず，SIMD 形 VLSI プロセッサの PE（Processing Element）が２ビット ALU やレジスタ等で構成されている点に着目し，これを４値化して４値１桁の ALU や４値レジスタ等の構成を行った．その結果，２値 CMOS 回路による実現と比較し，演算速度・消費電力･チップ面積（トランジスタ数）等の点で，多値回路技術に基づく構成の方が優れていることを明らかにした．この共同研究における研究成果は，2007 年 5 月開催の IEEE ISMVL にて発表した（成果資料(6)）

また，結線のみにより加算が実現できる電流モード多値回路の特質を利用した多ビット乗算器の試作

を行い，この評価に関して論文誌にて発表した(成果資料(1)).

さらに，多値技術で問題とされるノイズ混入に対する耐性を高めるための技術，特にクロストークノイズ対策について研究を進め，論文誌(研究成果(3))，並びにISMVL（研究成果(7)）にて発表を行った.

（３－２）波及効果と発展性など

情報通信用の次世代高性能ＶＬＳＩチップ実現技術に関する研究討論会を開催し，これに関する先端的技術の集積を行うことで，電気通信研究所が日本の情報通信関連技術の発信地となり，これは，共同研究プロジェクトの趣旨に合致するものである．また，研究討論会にて議論するシステムインテグレーション技術は，次世代システムＬＳＩ技術の発展に直結するものであり，我が国半導体産業の活性化に大きく寄与するものである．特にTMR素子に基づく不揮発性ロジック技術は，現在電気通信研究所で推進中のプロジェクトであるITプログラムにおいて中核を占める研究内容であり，極めて革新性の高い研究である.

［４］成果資料

(1) Akira Mochizuki, Hirokatsu Shirahama and Takahiro Hanyu, "Design and Evaluation of a 54x54-bit Multiplier Based on Differential-Pair Circuitry," IEICE Trans. on Electronics, E90-C, No.4, pp.683-691, April 2007.

(2) Shoji Ikeda, Jun Hayakawa, Young Min Lee, Fumihiro Matsukura, Yuzo Ohno, Takahiro Hanyu, and Hideo Ohno, "Magnetic Tunnel Junctions for Spintronic Memories and Beyond," IEEE Transactions on Electron Devices, 54, 5, pp. 991-1002, May 2007.

(3) Masatomo Miura and Takahiro Hanyu, "Highly Reliable Multiple-Valued Current-Mode Comparator Based on Active-Load Dual-Rail Operation," IEICE Trans. Electron., 2008 (to be published).

(4) Kazuyasu Mizusawa, Naoya Onizawa, and Takahiro Hanyu, "Power-Aware Asynchronous Peer-to-Peer Duplex Communication System Based on Multiple-Valued One-Phase Signaling," IEICE Trans. Electron., 2008 (to be published).

(5) T. Takahashi, K. Mizusawa, and T. Hanyu, "Asynchronous Peer-to-Peer Simplex /Duplex -Compatible Communication System Using a One-Phase Signaling Scheme," Proc. 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2007.

(6) H. Shirahama, A. Mochizuki, T. Hanyu, M. Nakajima, and K. Arimoto, "Design of a Processing Element Based on Quaternary Differential Logic for a Multi-Core SIMD Processor," Proc. 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2007.

(7) A. Mochizuki, M. Miura, and T. Hanyu, "Active-Load Differential Comparator for Crosstalk-Noise Reduction," Proc. 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2007.

(8) Naoya Onizawa, Tomokazu Ikeda, Takahiro Hanyu, and Vincent C. Gaudet, "3.2-Gb/s 1024-b Rate-1/2 LDPC Decoder Chip Using a Flooding-Type Update-Schedule Algorithm," Proc. 50th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.217-220, Aug. 2007.

(9) Kei Kimura and Takahiro Hanyu, "A Standby-Power-Free TCAM Based on TMR Logic," Proc. 50th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.855-858, Aug. 2007.

(10) 羽生貴弘, "トンネル磁気抵抗デバイスによる論理集積回路-不揮発性が拓く次世代ロジックLSIパラダイム-," 応用物理, 第76巻, 第12号, pp.1399-1393, Dec. 2007.

(11) 羽生貴弘, "TMR ロジックとその応用,"日本磁気学会第159回研究会資料, pp39-46, March 2008.

(12) 羽生貴弘, 松本敦, 松永翔雲, "TMR ロジックとその可能性," 第 55 回応用物理関係連合講演会講演予稿集, 27p-A-10, March 2008.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

課題番号　H18／B10

生体電磁情報取得のための磁気利用技術

［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：
藪上　信　(東北学院大学工学部)
福永　博俊(長崎大学工学部)
中野　正基(長崎大学工学部)
山城　康正(琉球大学工学部)
山本　健一(琉球大学工学部)
井上　光輝(豊橋技術科学大学)
申　光鎬　(豊橋技術科学大学)
山崎　二郎(九州工業大学)
本田　崇　(九州工業大学)
竹澤　昌晃(九州工業大学)
杤　修一郎(岐阜大学工学部)
菊池　弘昭(岩手大学工学部)
長田　洋　(岩手大学工学部)
早乙女英夫(千葉大学工学部)
竹村　泰司(横浜国立大学工学部)
松下伸広(東京工業大学応用ｾﾗﾐｯｸ研究所)
大森　賢次(住友金属鉱山㈱市川研究所)

研究費：物件費 5 万円，旅費 51 万 7 千円

［2］研究経過

マイクロマシン技術において検討されている磁気を用いた手法は、動力源としてのみならず電力や信号伝送など様々な機能性を実現することが可能であることから、その重要性は益々高まってきている。さらにワイヤレスで動作する特徴を活かすことで生体情報取得機能への積極的な応用が期待される。そこで本共同プロジェクト研究会では、磁性材料、マイクロマシン、センサ、高周波磁界計測、などに関する研究者が一堂に会し、研究の初期段階にある磁気を利用した生体情報取得技術の発展のために必要な基礎的事項ならびに新たな応用例に関する検討を行い、この分野を一層発展させるために必要な調査検討を総合的に行うことを目的として遂行した。

本研究会の開催にあたっては、事前にメール等を用いての持ち回り討論を数多く開催し、それらをもとにして遂行された各研究機関における成果を持ちより、平成 20 年 3 月 5 日ならびに 3 月 24 日に電気通信研究所で最終的な全体討論を行った。

［3］

（3－1）研究成果

本研究会により従来の研究の発展ならびに新たな研究シーズが生まれている。いかにそれらの中から代表的なものを示す。

○厚膜磁石の作製と応用

マイクロマシン研究において磁石材料はキーマテリアルである。しかしながら生体情報取得のためのセンサ・アクチュエータに関しては、従来の製膜技術に立脚した手法での磁石膜合成法の適用が困難であることが知られていた。本プロジェクトでは、昨年に引き続いSmCo、NdFeB、SmFeN など種々の永久磁石材料に対して、スパッタ法やレーザーアブレーション法など種々の作製手法を用いた試作に関する検討結果を報告するとともに、それらの薄膜磁石材料の特性について討論し、それらの高機能化に関する指針について議論をおこない、新たな材料開発に関する指針を明確化することができた。

○　磁歪を利用したアクチュエータに関する検討

磁歪は、磁化変化に伴う寸法変化であり、ワイヤレスでの力の発生と検出を行うための重要な手法である。本プロジェクトでは、カンチレバー型のアクチュエータに着目し、大きな変位量を実現するために必要な材料選択ならびに構造設計に関する討論を行った。本研究会では特に、磁歪材料として飽和磁歪値は小さいものの、弱磁界中での特性に優れることが予想された FeSiB を用いることとし、アクチュエータの構造と変位量の関係について集中的に検討を行なった。理論式の妥当性を実験結果との比較により検証するとともに、理論式から推定される最適構造のアクチュエータの試作を行った。その結果、Cu を基板として試作したアクチュエータが設計通りの大きな変位量と発生力を実現し、本検討の正当

性を裏づけることができた。これらの検討結果は国際的に高い評価を受けており、2007 年 9 月に英国カーディフで開催された SMM18(第 18 回軟磁性材料国際会議)において、研究代表者である石山が招待講演を行った。

○非破壊モニタリングシステム

ワイヤレスでの情報取得は、生体情報を取得するためばかりでなく原子炉等の非破壊検査用途においても重要である。そこで本年は磁性材料の含有ひずみ量と磁気特性の関連について集中的に議論を行い、材料内部での異相の析出と保磁力の関係について新たな提案が行われ今後検討を進めることとなった。

○腹足による移動機構

カタツムリ等の生物は腹足と呼ばれる機構で推進動作を行う。その動作原理について検討するとともに、生体内での移動機構、あるいは微小物体の搬送機構として人工的に腹足を実現する試みについて討論がなされた。現在のところ生物が実現している移動機構を完全に模倣することはできていないが、壁面・天井面等での移動が可能であることから種々の分野での応用が期待される。

○　位置検出機構に関する検討

磁気マーカーと磁気センサの組み合わせにより、マーカー位置を三次元でリアルタイムで検出することができる。これを生体情報取得に利用するために、ワイヤレス・バッテリーレスのマーカーを利用し、その検出位置精度を決定付ける要因について、ならびにマーカーの小型化に関して討論を行った。特にコイルの作り出す磁界の分布を正確に把握し、その結果を取り込んだ演算を行うことで検出位置誤差をさらに低下させ、より広い範囲で正確な位置検出が可能であることを明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの検討結果をもとにした研究成果は世界的にも注目されており、前述のように国際会議での招待講演に発展している。それと同時に、新たな萌芽的研究も生まれ、本プロジェクトの中にサブグループが形成され、新たな研究グループが作られつつある。そのグループのひとつは、平成 20 年度の科学研究費新学術領域研究「磁気アクティブ機能に基づく実用医療技術の確立(仮題)」に応募することを決めており、本プロジェクトの成果が大きく広がりつつあることを示している。

このように本プロジェクトで生まれた研究者ネットワークは、従来の学問をさらに発展させると同時に新たな学問領域の形成に大きく寄与しており、今後の科学技術を大きく発展させてゆくことが期待されている。

［4］成果資料

国際会議招待講演

[1] K. Ishiyama and C. Yokota, “CANTILEVERED ACTUATOR USING MAGNETOSTRICTIVE THIN FILM,” Soft Magnetic Materials Conference 18, Wolfson Centre for Magnetics, Cardiff University, U.K., 2nd-5th September 2008.

査読付原著論文

[1] T. Nakai, K. Ishiyama, J. Yamasaki, “Analysis of steplike change of impedance for thin-film giant magnetoimpedance element with inclined stripe magnetic domain based on magnetic energy,” Journal of Applied Physics, Vol.101, No. 09N106, (2007).
[2] C. Yokota, K. Ishiyama, K. I. Arai, “Comparison with Film Substrate of Polyimide and Ni for Cantilevered Magnetic Actuators,” IEEJ Trans., Vol. 2, No. 4, pp.436-439, (2007).
[3] T. Kato, K. Ishiyamam, K. I. Arai, “Basic Study of High-Frequency Carrier-Type Magnetic Field Sensor Using Shape Anisotropy,” IEEJ Trans., Vol. 2, No. 4, pp.440-444, (2007).
[4] S. Hisatomi, A, Yamazaki, K. Ishiyama, M, Sendoh, S. Yabukami, S. Agatsuma, K. Morooka, K. I. Arai, “Basic Properties of Micropump with Magnetic Micromachine,”

Journal of Magnetics, Korean Magnetic Society, Vol. 12, No. 2, pp. 84-88, (2007).

[5] A. Chiba, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, H. Kawano, A. Uchiyama, H. Takizawa, “Magnetic Actuator for a Capsule Endoscope Navigation System,” Journal of Magnetics, Korean Magnetic Society, Vol. 12, No. 2, pp. 89-92, (2007).

[6] 村山芳隆, 小澤哲也, 藪上信, 石山和志, 荒井賢一, “10-13Ｔ台の磁界検出分解能を有する高周波伝送線路型薄膜磁界センサ,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 1, pp.17-22, (2007).

[7] 横田周子, 山崎彩, 仙道雅彦, 我妻成人, 石山和志, 荒井賢一, “弱磁界中で動作可能な片持ち梁型磁気アクチュエータに関する検討,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 131-134, (2007).

[8] 中居倫夫, 高田健一, 阿部宏之, 星則光, 鈴木秀夫, 石山和志, 荒井賢一, “不連続的インピーダンス変化特性を有した薄膜 GMI センサと微分回路を組合せた磁界検出方法に関する検討,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 3, PP. 216-220, (2007).

[9] 加藤智紀, 石山和志, 荒井賢一, “形状磁気異方性による高周波キャリア型磁界センサの異方性制御,” 日本応用磁気学会誌, Vol. 31, No. 3, pp. 227-230, (2007).

[10] S. Hashi, M. Toyoda, S, Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Wireless magnetic motion capture system -compensatory tracking of positional error caused by mutual inductance -," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 43, No. 6, pp. 2364-2366, (2007).

[11] S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, M. Ohya, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Development of magnetic motion capture system for multi-position detection," Sensor Letters, Vol. 5, No. 1, pp. 300-303, (2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B01

採択回数	①	2	3

民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望

［1］組織

代表者：間瀬　　淳
（九州大学産学連携センター）
対応者：坪内　和夫
（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）
近木祐一郎（九州大学産学連携センター）
北條　仁士（筑波大学数理物質科学研究科）
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）
大森　慎吾（情報通信研究機構: NICT）
浦塚　清峰（NICT）
加藤　吉彦（資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構: JAROS）
降旗　正忠（JAROS）
金井　　宏（無人宇宙実験システム研究開発機構: USEF）
國井　喜則（新エネルギー産業技術総合開発機構: NEDO）
奥野　善則（宇宙航空研究開発機構: JAXA）
冨尾　　武（JAXA）
加茂　圭介（富士重工業(株) 宇都宮製作所）
村上　道篤（三菱電機(株) 開発本部）
牧野　　滋（三菱電機(株) 開発本部）
原　　芳久（三菱電機(株) 鎌倉製作所）
村田　　稔（日本電気(株) 誘導光電事業部）
辻　　信行（ツジ電子(株)）
米澤　千夏（宮城大学食産業学部）
齋藤　元也（東北大学農学研究科）
川村　　宏（東北大学理学研究科）
中島　一郎（東北大学工学研究科）
澤谷　邦男（東北大学工学研究科）
古西　　真（東北大学電気通信研究所）
多田　順次（東北大学電気通信研究所、(株) 国際電気通信基礎技術研究所）

研究費：物件費５万円，旅費３２万円

［2］研究経過

本プロジェクト研究は、安心安全な社会の構築のため、世界最高性能の航空機等搭載型合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムを開発することを目標とし、現在まで様々な異なる分野で開発されてきたマイクロ波基盤技術の現状を把握し、それらのシステム統合により民生用合成開口レーダシステムを開発する際の課題を抽出することを目的としている。具体的には、SAR システム技術に関する研究会、およびSAR システムの民生応用に関する検討会を開催し、①現在までに開発された SAR リモートセンシング装置の現状把握と課題抽出、②高性能の航空機等搭載型SAR システム開発要件のまとめ、③安心安全社会の構築のための（無人）航空機等搭載型 SAR リモートセンシングデータの利用システムを検討するとともに、新しい民生応用分野の開拓などを行っていくことである。

以下，研究活動状況の概要を記す。

（1）第１回SAR 検討会の実施：
平成 19 年 5 月 30 日午前、USEF 訪問（出席者 13 名）。同午後、JAXA 調布飛行場分室訪問（訪問者３名）。5 月 31 日午前、東北大共同研究メンバー（７名）と個別意見交換。同午後、通研 IT-21 センターにて、SAR 開発構想紹介と意見交換（出席者６名）。東北アジア研究センターにて SAR 構想紹介と研究討論および実験設備見学（訪問者３名）。

（2）レーダ関連企業訪問と意見交換：
平成 19 年 9 月 27 日、(株)光電製作所およびアンテナ技研(株)を訪問（訪問者３名）。

（3）電気通信研究所共同プロジェクト研究会の実施（IEEE GRSS (Geoscience and Remote Sensing Society)協賛）：平成 19 年 9 月 28 日 13：00－17：50、東北大学電気通信研究所ナノスピン総合研究棟５階大会議室（参加者 52 名）。

（4）第２回SAR 検討会の実施：
平成 20 年 1 月 10 日 13：00－17：30、東北大学電気通信研究所 1 号館 N 棟 308 講義室（参加者 16 名）

［3］成果

（3－1）研究成果

各研究活動に対して得られた成果を記述する。

（1）第１回SAR 検討会:：

ⅰ）USEF 訪問では、我が国における衛星搭載 SAR 開発の現状について調査するとともに、本研究プロジェクトの計画および目標について説明を行い、意見交換を進めた。
ⅱ）JAXA 調布飛行場分室訪問では、無人航空機・ヘリ・飛行船開発の現状調査を行った。また、本研究プロジェクトについて詳細説明を行い、航空機等搭載の可能性について意見交換を行った。
ⅲ）東北大学では、本プロジェクトメンバーに対してプロジェクトの目的および計画について説明するとともに、SAR 要素技術についての紹介を行い、意見交換を進めた。

（2）レーダ関連企業訪問と意見交換：
㈱光電製作所およびアンテナ技研㈱において、開発予定の SAR システムを中心としたプロジェクト申請について検討を進めるとともに、船舶搭載レーダおよびアンテナ開発に関する討論を行った。

（3）電気通信研究所共同プロジェクト研究会: :
研究会の内容は、ⅰ）我が国において現在稼動中の SAR システム（衛星搭載システム、航空機搭載システム）の報告、ⅱ）本プロジェクト研究の主目的である高分解 SAR システムの開発と応用について、ⅲ）大学研究者の立場から、SAR データ利用者としての意見、ⅳ）その他（SAR プラットフォームとしての航空機等の紹介、海外の SAR 衛星の動向紹介）に大別することができる。それぞれの主要な成果を概述する。
ⅰ）衛星搭載システムでは、2006 年 1 月 24 日に打ち上げられた陸域観測技術衛星 ALOS（だいち）に搭載されている、フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ PALSAR について、伊藤（JAXA）が報告した。同システムは世界初となるフルポラリメトリモードを有するなど、多機能かつ高性能で、現在、地殻変動や水害等の災害状況把握、森林や海氷のモニタ等に利用されていることが紹介された。島田（JAXA）は、L バンド合成開口レーダが森林に対する透過性が高いことから干渉性に優れており、地殻変動解析に利点を有すること、また、衛星搭載 SAR は軌道が安定しており、広範囲のデータが取得できることから地殻変動検出の手段として適切であることを強調した。一方、航空機搭載システムでは、衛星搭載システムの弱点である、分解能、即応性の二点において秀でており、即時災害対応に適していること、航空機 SAR の運用において重要となる、繰り返し干渉フライトの実現と、繰り返し干渉処理についての現状を紹介した。
梅原（NICT）は、1993 年から開発が進められてきた航空機搭載 X バンド SAR の開発について報告した。同システムは、分解能 1.5 m、観測幅 10 km 以上、ポラリメトリおよびインタフェロメトリ機能を有するシステムで、同システムを用いて、2000 年発生の有珠山、三宅島の火山活動における時系列の映像取得、2005 年の新潟中越地震における異なる方位からの災害地域の映像取得が行われ、災害監視に有効であることが示された。
ⅱ）高分解 SAR の開発に関しては、降旗（JAROS）および原（三菱電機(株)）による、Ku バンド合成開口レーダの報告があった。我が国初の分解能 30 cm の 2 次元画像と高精度 50 cm の Digital Surface Map が生成評価された。生成画像の視認性は格段に向上し、事物の判読・識別は容易になったこと、今後はポラリメトリ、インタフェロメトリを活用し、情報を安価かつ迅速に提供する SAR システムの実現を図りたいとの報告があった。
池地（九州大学）は、世界最高性能の空間分解 10 cm を有するスポットライト方式 SAR のハードウエアおよびソフトウエアの開発の現状、基盤となる要素技術の詳細、および、同方式 SAR で得られた画像データの例について報告した。
ⅲ）佐藤（東北大学）は、SAR データの利用と応用の課題で、Pi-SAR や ALOS/PALSAR など我が国の新しい SAR システムによって、フルポーラリメトリの SAR データが入手できること、Orientation angle shift など、インターフェロメトリとは異なる視点で物質の定量推定、形状推定などへの展開の可能性が実証できること、またレーダポーラリメトリでは、電波散乱特性から対象物体の識別、特徴抽出を行うことができるため、帯域によって決まる分解能の限界を超えた理解が可能となることを紹介した。
ⅳ）奥野／富尾（JAXA）は、SAR テストプラットフォームとしての実験用航空機・ヘリコプタの機能および無人機システム（軽量固定翼無人機、10 m 級 LTA 無人機）開発の現状と解決すべき技術課題について報告した。金井（USEF）は、海外動向として、イスラエルにおける衛星搭載 SAR: TECSAR の現状について報告した。同国は、安全保障への応用という明確な目標をもって通信、観測、偵察衛星を開発し打ち上げているが、地理的制約もあり、小型で性能の良い衛星を開発することに特化している。TECSAR は衛星本体が質量 270kg という小型ながら、X バンドの合成開口レーダを搭載し、最高で 1 m という高い分解能を持っていることを紹介した。

（4）第 2 回 SAR 検討会の実施：
本検討会では、本プロジェクトが目標としている、スポットライト方式 SAR 実現のための要素技術の開発、設計および製作について、各担当者が現状報告を行い、意見交換を行うことを目的とした。報告の内容は以下のようである。
池地（九州大学）は、航空機搭載用高空間分解 SAR

システムの構成と開発指針について報告した。間瀬（九州大学）は、周波数 20-40 GHz で動作する、フェーズドアレイアンテナを用いたビーム偏向およびビーム制御について報告し、実機適用の可能性について議論した。近木（九州大学）は、SAR 干渉計測で高空間分解に必要な位相精度を実現するマイクロ波信号発生器（ウエーブフォームシンセイサイザ）の設計について報告した。中村（(株)トキメック）は同社が開発している MEMS 慣性センサ／GPS-INU センサの仕様と SAR システムへの適用の可能性について検討した。佐藤（東北大学）は合成開口処理の応用の一環である地中レーダにおける画像処理について報告した。また、富尾（JAXA）は消防防災安全における全天候センサの重要性について報告した。

その後、参加者全員により、①SAR ハードウエア（アンテナ、マイクロ波信号発生器、ディジタル電子回路、ジンバル・慣性センサ）の開発、ソフトウエア（シミュレーション、アンテナ制御、画像処理）の開発と新規性について、②SAR 適用分野と需要予測、③産学連携およびプロジェクト申請、について討論を行った。

（３－２）波及効果と発展性など

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、要素技術の開発、民生用を中心とした応用分野、さらに、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）本プロジェクトを次の段階に発展させるための申請を積極的に推進している。本研究の主要課題である、スポットライト方式 SAR システムの開発に関連して、平成 20 年度、科学技術振興機構（JST）シーズ発掘、試験およびシーズ顕在化事業への申請を行っている。

３）民生用合成開口レーダシステムの応用分野の広がりや種々の要素技術の開発に基づいて、横断形プロジェクトの形成や産官学連携の発展に努力している。

［４］成果資料

(1) H. Ikezi, M. Inutake, and A. Mase, “Development of High Resolution Spotlight Mode Synthetic Aperture Radar (1)”, Engineering Science Reports, Kyushu University **29**, 2 pp. 269-277 (2007).

(2) Z. Shen, N. Ito, E. Sakata, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. A. Mase, “20 GHz to 40 GHz Beam Shaping/Steering Phased Antenna Array System using Fermi Tapered Slot Antenna”, Proc. 2007 MTT-S Int. Symp. (2007) pp.1887-1890.

(3) T. Takayama and M. Sato, “A Novel Direction-Finding Algorithm for Directional Borehole Radar”, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, **45**, 8, 2520-2528 (2007).

(4) M. Sato and T. Takayama, “A Novel Directional Borehole Radar System using Optical Electric Field Sensors”,IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, **45**, 8, 2529-2535 (2007).

(5) K.Iribe and M. Sato, “Analysis of Polarization Orientation Angle Shifts by Artificial Structures”, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, **45**, 11, 3417-3425 (2007).

(6) A. Mase, Y. Kogi, N. Ito, Y. Yokota, T. Sakoda, N. Tateishi, K. Ogawa, K. Miyazaki, S. Takaichi, H. Hojo, S. Yamaguchi, T. Tokuzawa, Y. Nagayama, K. Kawahata, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. H. K. Park, and A. J. H. Donne, “Microwave Imaging for Plasma Diagnostics and Its Applications”, Proc. 13th Int. Symp on Laser-Aided Plasma Diagnostics (2007) pp.15-19.

(7) Z. Shen , L. Yang, N. C. Luhmann, Jr., C.W. Domier, N. Ito, Y. Kogi, Y. Liang, A. Mase, H. Park, E. Sakata, W. Tsai, Z. G. Xia, P. Zhang, “Advanced Microwave/ Millimeter-Wave Imaging Technology”, Plasma Fusion Res. **2**, S1019-1-9 (2007).

(8) H. Hojo, A. Mase, and K. Kawahata, “Simulation Studies on Advanced Microwave Diagnostics and Related Technology”, Plasma Fusion Res. **2**, S1022-1~4 (2007).

(9) Z. Shen, N. Ito, Y. Liang, L. Lin, C. W. Domier, M. Johnsaon, N. C. Luhmann, Jr., A. Mase, E. Sakata, “Protection Filters in ECEI Systems for Plasma Diagnostics”, Plasma Fusion Res. **2**, S1030-1~5 (2007).

(10) K. Hattori, A. Ando and M. Inutake, “Multi-Channel Microwave Reflectometer with Fermi Antenna Receivers”, J. Plasma Fusion Res.**2**, S1039-1~4 (2007).

(11) K. Hattori, Y. Noguchi, A. Ando and M. Inutake, “A Multi-Reflection Type Visible-Laser Interferometer for High Density Plasma Measurements”, J. Plasma Fusion Res. **2**, S1048-1~4 (2007).

(12) N. Tateishi, A. Mase, L. Bruskin, Y. Kogi, N. Ito, T. Shirakata, and S. Yoshida, “Microwave Measurement of Heart Beat and Analysis Using Wavelet Transform”, Proc. 2007 Asia Pacific Microwave Conf. (2007) pp.2151-2153

(13) Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi, H. Hojo, L. Bruskin, T. Tokuzawa, and K. Kawahata, “Simulation Study of Ultrashort-Pulse Reflectometry with Signal Record

(14) Lu Yang, N. Ito, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. A. Mase, “18- to 40 GHz Beam Shaping/Steering Phased Antenna Array System using Fermi Antenna”, Trans. IEEE-MTT (to be published).

(15) N. Ito, A. Mase, Y. Kogi, N. Seko, M. Tama Tamada, and E. Sakata, “Development of Millimeter-Wave Planar Components on Fluororesin Substrates Using Graft Polymerization and Advanced Fabrication”, Japan. J. Appl. Phys. (to be published).

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B02

採択回数	1　2　3

光を用いた地震等の計測とそのネットワーキングに関する研究

［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）
国松　直
（産業技術総合研究所
活断層研究センター）
村上　裕
（産業技術総合研究所地質情報研究部門）
浅沼　宏
（東北大学大学院環境科学研究科）
坂田　正治
（元防災科学技術研究所）
本多　克也
（三菱総合研究所）

研究費：物件費5万円，旅費21万4千円

［2］研究経過

我が国は地震大国であり、地震、津波あるいは地殻変動といった地球科学に関する研究開発は学術的な観点からも、また防災や地震予知などの観点からも非常に重要である。当該分野の研究をさらに促進するためには、より小型で高感度・高精度な計測装置が望まれており、さらには計測機器を面的に配置することが可能となれば、より有意義な情報を得ることが期待される。

高精度な地震あるいは津波計測技術を考えた場合、レーザー光利用は大きな可能性を秘めている。とくに波長1.55 μm帯の光ファイバー通信用レーザー光であれば、光ファイバー網を利用したデータ送受信や光源の一元管理などが可能となる。本研究では東北大学電気通信研究所と東京大学地震研究所をはじめとした地震関連研究者の間で、高精度レーザー光の地震および津波計測応用に関する研究討論を行い、それぞれの研究活動を紹介して、将来の方向性を議論することを目的としている。本年度の研究会の概要は以下のとおりである。

プロジェクト研究会は平成19年11月21日（水）に電気通信研究所で開催され、東京大学、京都大学、海洋研究開発機構、理化学研究所など国内の地球科学観測・光計測に関する大学・研究機関から多数の参加があった。研究会では、観測センサ関係としてはレーザー技術の地震・地殻変動観測への応用として、ボアホール傾斜計や絶対重力計およびそれに用いる光源の開発について紹介された。海洋においては、ケーブル式観測システムや海底掘削船「ちきゅう」による長期孔内計測システムの構想、海外における津波観測の現状などについての講演があった。レーザー光源の開発については、電通研ですすめられているλ/4シフトDFB半導体ファイバリングレーザーの特性について紹介された。

このように、地震や津波観測の国内外の研究状況のレビューと関連技術の紹介などにより、当該分野の研究状況を共有できた。また、レーザー計測の優位性やネットワーキングの方向性について意見交換をおこない、具体的な要素技術の開発等も含めた共同研究を実施する準備をすすめた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、当プロジェクトに関する研究として以下の成果が得られた。

まず、光源に関してはλ/4 シフト DFB 半導体レーザーにリング共振器構造を導入することにより、線幅 4 kHz、RIN -140 dBc/Hz 以下の狭線幅かつ低雑音な 1.5 μm 帯単一周波数レーザーを世界で初めて実現した。さらに、複合共振器効果を利用して 2.6 GHz にわたる発振周波数の連続掃引を実現し、さらにその発振周波数をアセチレン分子吸収線に安定化することに成功した。このときの周波数安定度は、積分時間が 1 秒のとき 7.9×10^{-10}、積分時間が 100 秒のとき 9.4×10^{-11} であった。

地球計測用絶対波長安定化光源として、852nm 帯でセシウムのスペクトルに DBR-LD を安定化させる研究では積分時間が 10 秒以上で 1×10^{-10} 以下の安定度が得られ、野外観測で使用できるように通常の計測用ラックに納まるサイズのもの(452mm × 401mm×132mm)がほぼ完成している。

一方、観測機器の開発については光ファイバー式孔井設置型傾斜計、ＬＤ光源広帯域地震計、長基線レーザー干渉計による地震・地殻変動観測が実施された。光ファイバー式孔井設置型傾斜計では、簡易な温度安定化半導体レーザーを光源として用いたが、以前の波長安定化 He-Ne レーザーを光源としたデータにくらべて遜色のない結果が得られ、半導体レーザーを用いた干渉計測による地殻変動観測の可能性を実証できた。

ＬＤ光源広帯域地震計では、レーザー波長を基準とした自己校正法の精度評価を実施した。これは振動試験台を用いずに地震計の出力を校正できる方法で、現場に地震計を設置した後にも定期的に実施できるメリットがある。従来の地震計と比較観測した結果、少なくとも３％程度の誤差で一致していることがわかり、このレーザー波長による校正の信頼性が示された。

長基線レーザー干渉計は岐阜県飛騨市にある神岡鉱山の地下1000メートルのサイトに設置してある。10^{-13} 程度に波長安定化された SHG Nd:YAG レーザー（λ=532nm）を用いており、基線は 100m である。地震に伴うひずみステップやひずみの季節変動がみとめられた。季節変動については波長安定度を考えると装置に起因するものではなく、地盤の実際の変化であることが明らかであり、地下水圧との相関が認められた。地震の準備過程としてのひずみ蓄積を検知するためには季節変動が大きなノイズとなる。今後データを詳しく解析し、季節変動の定量化やそれらのノイズを低減させる方法を研究していく。

（3－2）波及効果と発展性など

高精度レーザーは、地震・津波・地球科学関連計測技術の高精度化、ネットワーク化などに大きな可能性を秘めている。しかしレーザー関連技術と地震等地球科学では属する学術分野が異なるため、従来は研究者間の交流機会があまりなかった。

本プロジェクト研究では、地震等地球科学関連計測のニーズおよび実施に関する知見を有する地震・津波・地球科学等の研究者と、計測機器に関する知見を有する研究者、そしてレーザー光およびネットワーキングの知見を有する研究者を一堂に会し、地震・津波・地球科学関連の最先端計測とネットワークの有効性をテーマとして討論ならびに今後の展開について議論した。

本研究において電通研で開発したリング共振器型λ/4 シフト DFB 半導体レーザーは、低強度雑音という従来の DFB レーザーの特徴、ならびに狭線幅というファイバリングレーザーの特徴を兼ね備えた高性能な光源である。本レーザーは 1.5 μm 帯において、小型でかつ簡便な構成で高い周波数安定度を得ることが出来るため、光通信用光源としてだけではなく、地震・津波等の高精度計測応用ならびに光ファイバー網を利用した観測システムの面的なネットワーキングへの展開において重要な役割を果たすものと期待される。

たとえば、地震研や防災研で開発されている光ファイバー式広帯域地震計・孔井設置型傾斜計・海底津波計には、現状とほとんど同一の仕様で光源として利用可能で、従来のガスレーザーあるいは半導体レーザー励起固体レーザーを利用したシステムに比べて、省電力・耐振性・寿命などの点で性能向上が見込まれる。さらにレーザー光源の絶対波長をアセチレン等の分子吸収線に安定化すれば、絶対波長の定まった光源として、絶対重力計に使用可能である。絶対重力計は 9 ケタ程度の確度で地上の重力加速度を検知する装置であり、半導体レーザー光源を使用することで野外での観測がきわめて容易になる。海底観測に対しては光ファイバーを用いた温度センサーの光源としての応用について検討をはじめた。

このように、プロジェクト研究の初年度の段階ですでに複数の波長安定化光源の応用についてアイデアや現実的な見込みが得られた。今後はそれらの具体化を視野に入れてプロジェクト研究を推進していく。

［4］成果資料

(1) A. Suzuki, Y. Takahashi, M.Yoshida, and M. Nakazawa, “A CW polarization-maintaining λ/4 shifted DFB Er-doped fiber laser at 1.54 μm,” IEICE Electron. Express, vol. 4, no. 8, pp. 251-257, April (2007).

(2) A. Suzuki, Y. Takahashi, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “An ultralow noise and narrow linewidth λ/4-shifted DFB Er-doped fiber laser with a ring cavity configuration,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 19, no. 19, pp. 1463-1465, October (2007).

(3) Q. A. Ho Thi, A. Suzuki, and M. Nakazawa, “A ring-type polarization-maintaining λ/4-shifted distributed feedback fiber laser pumped by 0.98 μm laser diode,” Optoelectronics and Communications Conference (OECC2007), 12C2-2, July (2007).

(4) A. Suzuki, H. T. Quynhanh, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “A λ/4-shifted distributed feedback semiconductor fiber ring laser with an OSNR of 85 dB and a linewidth of 7 kHz,” European Conference on Optical Communication (ECOC2007), 1.4.2, September (2007).

(5) Araya, A., K. Sekiya, and Y. Shindo, Laser-Interferometric Broadband Seismometer for Ocean Borehole Observations, in Proc. of International Symposium on Underwater Technology 2007, 2007, IEEE, 245-248, 2007.

(6) Hori, T., A. Araya, S. Moriwaki and N. Mio, Development of a wavelength-stabilized distributed Bragg reflector laser diode to the Cs-D2 line for field use in accurate geophysical measurements, Rev. Sci. Instrum., 78, 2, 026105, 2007.

(7) Araya, A., W. Morii, H. Hayakawa, A. Takamori, T. Uchiyama, M. Ohashi, I. Yamada, S. Telada, and S. Takemoto, Broadband observation with laser strainmeters and a strategy for high resolution long-term strain observation based on quantum standard, J. Geod. Soc. Japan, 53, 2, 81-97, 2007.

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B03

採択回数	(1)	2	3

空間音響と次世代情報通信技術の接点と展望

［1］組織
代表者：大鶴　徹
（大分大学工学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
橘　秀樹（千葉工業大学）
宇佐川　毅（熊本大学）
尾本　章（九州大学）
赤木　正人（北陸先端科学技術大学院大学）
蜂屋　弘之（千葉大学）
TIAN　Jing（中国科学院声学研究所）
CHENG　Xiaobin（中国科学院声学研究所）
ZHANG　Dong（南京大学）
TAO　Jianhua（中国科学院自動化研究所）
FU　Qiang（中国科学院声学研究所）
LI　Fenghua（中国科学院声学研究所）
岩谷　幸雄（東北大学）
坂本　修一（東北大学）

研究費：物件費 50,000 円，旅費 555,680 円

［2］研究経過

近年のネットワーク技術と情報処理技術の進歩に伴い，画像，音，文字情報などが複合したマルチメディア通信の役割がますます重要になっている。その中で，コミュニケーションシステムにおいて高い臨場感を実現することを考えたとき，音源情報のみならず，音空間情報の役割は重要である。しかし，画像に比べ比較的伝送情報量が少なくてすむとされていることもあり，マルチメディア通信の中で軽視されている感も否めない。その結果として，たとえば，テレビ会議システムの音響系サブシステムが貧弱で，結果的にシステムの総合臨場感が高まらない等は，その典型的な例である。

そこで，本研究では，高臨場感通信の実現に向け，音空間情報通信の役割を改めて考え，今後の研究の課題や目標を設定することを目的とした。

平成 19 年度は，6 月に東北大学で日中音響学会議 2007 が開催され本プロジェクトに所属する研究者の多くがこの会議に参加することもあったため，この会議の機会をとらえて全体研究会を行い，空間音響に関する最新の研究動向を調査すると共に，マルチメディア時代における音空間情報通信の役割を考え，今後の研究の課題や目標について討議した。さらに，その結果に基づき，将来の共同研究の発展形はいかにあるべきか模索した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，3 次元音空間を再現する際に重要となる，頭部伝達関数（Head Related Transfer Function : HRTF）の個人性への対応について議論を進めた。音空間を再現する手法として多く用いられている聴覚ディスプレイ（Virtual Auditory Display : VAD）システムで，高精度に音空間を再現する際には，聴取者自身の HRTF が必要となる。しかし，聴取者自身の HRTF を正確に測定するためには，無響室などに長時間静止して測定する必要があり，現実的ではない。一方で過去の研究により，聴取者自身の HRTF を使用せず他人の HRTF を用いて VAD システムを構築すると音像の前後判断を誤るといったことや，仰角方向の音像の位置が判断出来ないといったことが指摘されてきた。

本プロジェクトの議論の中で，複数ある HRTF 候補の中から，各聴取者自身で主観的にあっている HRTF を効率的に選択する手法の有効性が指摘された。また，反射音の存在するような環境で測定した HRTF から，反射音の影響を数値計算により削除する手法についても議論がなされた。

以上のように，より聴取者に適した HRTF をいかに効率よく測定することができるかが，VAD を始めとする高臨場感通信システムに重要であるという結論となった。

（3－2）波及効果と発展性など

マルチメディア通信に基づく高臨場感通信システムは，今後の高度情報化社会の発展を支える上で，ますます重要性を増すと考えられる。本研究の結果，人間の言語情報処理や音楽文化的な営みと密接に関連した音情報通信サブシステムの高度化が可能となる。特に HRTF に関する議論は，VAD システム構築にも密接，かつ，直接関連する内容である。今後は，頭部の形状から HRTF を数値的に算出する手法などの検討が必要となると思われる。

課題番号　H19／B04

採択回数　(1)　2　3

微粒子プラズマ科学の展開

［1］組織
代表者：林　康明
（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤徳芳　（東北大学）
飯塚哲　（東北大学工学研究科）
石原修　（横浜国立大学工学研究院）
三重野哲　（静岡大学理学部）
冨田幸博　（核融合科学研究所）
上村鉄雄　（名城大学理工学研究科）
濱口智　（大阪大学工学研究科）
高橋和生　（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
渡辺征夫　（九州大学）
白谷正治　（九州大学ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
足立聡　（宇宙航空研究開発機構）
依田真一　（宇宙航空研究開発機構）
高柳昌弘　（宇宙航空研究開発機構）
芦川直子　（核融合科学研究所）
真銅雅子　（横浜国立大学工学研究院）
小島力　（横浜国立大学工学研究院）
久保田潤平　（横浜国立大学工学研究院）
山野内敬　（宮城工業高等専門学校）

研究費：物件費　５万円，旅費６３万４千円

［2］研究経過

低温プラズマを利用した化学反応による、薄膜作製、超微細加工技術は、現在の先端産業を支える重要な技術となっている。今後もナノテクノロジーと関連して、超薄膜作製、ナノ粒子製造、極超微細加工など、その発展が大いに期待されているところである。ここで使われる反応性プラズマ中は一般には、中性粒子、電子、正イオンからなるが、作製の条件によって、大きな質量を持つクラスター、フラーレン、ナノ結晶、あるいはミクロン微粒子が存在する。これらの微粒子には表面に大量の電子が付着し、プラズマ中であたかも巨大な負イオンのように振舞う。こうした微粒子を含むプラズマは、微粒子プラズマあるいはダストプラズマと呼ばれ、近年ますますその基礎的・応用的展開の重要性が叫ばれている。そこで本プロジェクトでは、ナノメータからミクロンサイズまでの特徴的構造を持つ微粒子プラズマの基礎的性質を系統的に解明することを目的として研究を行った。また、炭素系薄膜やシリコン系薄膜等のナノ微細構造制御や高機能化や、次世代極超微細電子デバイスの開拓に不可欠な微粒子プラズマの精密制御法を目指した研究を行うことも目的とした。さらには、相転移・臨界現象など物理基礎に関る諸課題を解明する手段として利用する可能性について検討することも目的とした。

具体的には、本プロジェクトでは、低温プラズマ中におけるナノ・ミクロン微粒子の生成、凝集、クラスター形成の基礎過程を解明する。その成果を、微粒子新材料や新しい合成技術の開発研究、およびプラズマ中での微粒子輸送制御技術の開発に生かす。また、ナノ微粒子やミクロン微粒子の発生が炭素系・シリコン系薄膜の膜質に与える影響を明らかにする。さらに、外部からプラズマ中に一定の形状・サイズを有する微粒子を投入し、内・外部電磁界による挙動を調べる。微粒子は分子に比べてきわめて大きな質量をもつため、プラズマ中での挙動における重力効果は無視できない。そこで、微小重力環境下での実験を実施し、微粒子やクラスター形成、および微粒子群の構造形成における重力効果を明らかにする。以上のように、共同研究者の討論を通じて

微粒子プラズマの基礎物理を明らかにし、低温プラズマ利用による新しい反応性プラズマプロセス技術の開発と、微粒子プラズマの新規応用展開を目指した。

以下，２度の研究会を中心とした研究活動状況の概要を記す。

第１回目の研究会は、平成２０年２月２日（土）東北大学工学部電気・情報系103会議室で行われた。はじめに、宇宙航空研究開発機構の支援の下で進めている「国際宇宙ステーション（ＩＳＳ）を利用したドイツ、ロシアとの国際共同研究を、今後どのように展開していくべきか」について話し合われた。現在、PK-3 Plus プラズマ実験装置がＩＳＳのロシア側モジュール内に設置されているが、ドイツ・マックスプランク研究所の協力により同型機が京都工芸繊維大学にも設備されている。実験装置の概要について説明があり、実験パラメータをどのように設定すべきかについて、装置構造上の問題も含めて検討が行われた。また、PK-4 の地上実験装置についても簡単な説明があり、PK-3 Plus の後継機として、どのような実験の可能性があるかについて話し合われた。さらに、PK-4 とは別に進められている Plasma Lab 計画についても紹介があり、日本のグループとしてどのように対応していくかについて検討が行われた。

次の議題は、「微粒子プラズマ研究の今後の展開」についてで、研究拠点を形成し大型予算を獲得して、日本における微粒子プラズマ研究を今後大きく発展していく計画について検討が行われた。予算の申請先として、科学研究補助金で来年度より新規に発足する新学術領域が候補として挙げられ、今後、募集案内を注意しながら準備を行っていくこととになった。

最後の議題は、「微粒子プラズマの材料プロセスへの応用」についてで、講演の後、今後の計画について話し合われた。講演では、九州大学の白谷教授から、“ミー散乱によるシリコン微粒子の測定”と題して、ミー散乱法によるプラズマ中の微粒子計測に関するレビューと、新しく微小重力実験の提案がなされた。提案は、プラズマ中でナノサイズ微粒子の時間平均電荷が１素電荷以下となり互いのクーロン反発力により、ファンデルワールス力によるナノサイズ微粒子の凝集を防ぐことができるという内容であった。また、応用物理学会における新領域として提案予定の、月面を利用した“宇宙材料プロセシング”について、静岡大学の三重野教授から簡単な説明があった。

第２回目は、平成２０年３月８日（土）東北大学工学部電気・情報系 103 会議室で行われた。

はじめに、「微小重力環境下プラズマによる臨界現象観測実験」についての発表があった。発表では、京都工芸繊維大学の林教授からこれまでの経過と今後の目標について説明があった後、同じく京都工芸繊維大学の高橋准教授より、PK-3 Plus 同型装置を航空機に搭載して放物線飛行による微小重力実験を行った結果について発表があった。微小重力実験では、2.25 μm と 3.38 μm の微粒子を用いて放電パワーと圧力を変化させて実験が行われ、低パワー、低圧力で粒径の小さい微粒子を用いると広い領域に微粒子が配列するが、課題となっているボイドの消去は困難であることが報告された。

次に、プラズマ中での微粒子の挙動に関する二つの講演があった。一つは、東北大学の飯塚准教授からの「時間平均駆動力を使った微粒子制御法」と題する発表であった。プラズマ中に捕捉されている微粒子に、探針を対向しておき、100Hz ほどの周波数で交互にパルス電圧を印加することで微粒子が平均的な電場の影響を受けた結果、対向した二探針の中間に微粒子が移動し、ボイドのない微粒子群が形成されるという内容であった。二つ目は、横浜国立大学の学生である久保田氏からの発表で、題目は「シース中の微粒子挙動実験」であった。プラズマ中に単一の微粒子を投入すると、静電気力、重力、イオン粘性力の釣り合いにより、シース中で微粒子が振動しながら垂直方向の平衡位置に留まるが、その過程における振動数を求めて微粒子の帯電量を見積ったという内容であった。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第１に、我国の微粒子プラズマ科学の研究に関わる研究者が集合して、今後どのように国際協力を進めていくかについて、次のとおり具体的な討論を行うことができた。現在、ドイツとロシアにおいて進められている国際宇宙ステーション内の PK-3 Plus を利用した微粒子プラズマの微小重力実験に関して、日本側から提案する臨界現象実験の目標とすべき方向性をより明確にすることができた。また、後継機となる PK-4 や計画中の Plasma Lab の利用に関して、提案実験、装置設計・製作、実施計画などについての議論を行うことができた。

第２に、次に挙げる微粒子プラズマの研究成果、実験提案について、突っ込んだ議論を行うことができた。プラズマ中の微粒子挙動に関する実験結果に関して、多くの時間を割いて詳しく議論することに

より、問題点や解決策が明らかになった。特に、ボイドのできない微粒子プラズマを形成するヒントを得られたことは意義がある。また、微粒子プラズマの新しい利用方法として、ファンデルワールス力による凝集の生じないナノ微粒子の作製方法の提案があったことは、意義深い。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果は、すでに進めているドイツやロシアと国際共同研究をさらに促進していくことが期待される。また、本プロジェクトでの議論に基づき、来年度より新規発足が予定されている科学研究補助金の新学術領域に応募することが決まり、現在その準備中である。

［４］成果資料

（１）林康明、高橋和生、東辻浩夫、石原修、濱口智、佐藤徳芳、渡辺征夫、足立聡、高柳昌弘：微小重力環境下微粒子プラズマ研究の展開、宇宙利用シンポジウム〔第２４回〕日本学術会議、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部、２００８年１月１７～１８日、Space Utilization Research, Vol. 24 (2008) 印刷中.

（２）Y. Hayashi, K. Takahashi, H. Totsuji, O. Ishihara, S. Hamaguchi, N. Sato, Y. Watanabe, S. Adachi, and M. Takayanagi: Experiments of fine particle plasmas toward observation of critical phenomena, Proc. Third International Symposium on Physical Sciences in Space (3rd ISPS 2007), in press.

（３）O. Ishihara: Configuration of coulomb clusters in plasma 2, Phys. Plasmas 14(2007) 123706.

（４）O. Ishihara: Complex Plasma：Dusts in Plasma, Journal of Physics D: Appl. Phys. 40, R121-R147 (2007).

（５）Tetsuo Kamimura, Yuta Suga and O. Ishihara: Configurations of Coulomb Clusters in Plasma, Physics of Plasmas 14, 123706-1 - 123706-11(2007).

（６）Y. Nakamura and O. Ishihara: A Complex plasma device of large surface area, submitted to Review of Scientific Instruments 79, 033504-1-033504-4 (2008).

（７）C. Kojima, J. Kubota, Y. Tashima, and O. Ishihara: Dust Dynamics in Wake Channel, JASMA (The Japan Society of Microgravity Application) Vol. 24, No. 3 (2008).

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B05

採択回数	① 2 3

次世代通信・計測システムのデバイス開発と応用技術に関する研究

[1] 組織

代表者：二川佳央
（国士舘大学工学部）
対応者：高木 直
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石川容平（村田製作所）
伊山義忠（熊本電波工業高等専門学校）
伊東健治（三菱電機）
大平　孝（国際電気通信基礎技術研究所）
末松憲治（三菱電機）
徳満恒雄（ユーディナデバイス）
橋本　修（青山学院大理工学部理工学部）
松永　誠（三菱電機）
水野皓司（東北大学電気通信研究所）

研究費：旅費 11 万 8 千円

[2] 研究経過

UWB 等の次世代通信システム、マイクロ波からミリ波帯に至る周波数を利用した計測・診断システムでは、超広帯域、超高速伝送かつ小型化のために、各種マイクロ波デバイスの超高速・高機能化が望まれている。またこれらの超広帯域化システムの無線伝搬特性の検討、計測に加え不要波の吸収および関連技術の開発が必要である。

本プロジェクトでは、マイクロ波・ミリ波を用いた次世代通信・計測デバイスの開発に必要な技術に関し、マイクロ波・ミリ波デバイスを含む能動素子技術、伝送路等を含む受動素子技術、アンテナ技術および通信・計測システムに関する近未来技術分野を系統的に検討し、総合的に評価する。さらに、関連分野の次世代を担う技術者育成のための教育まで含んだ、次世代通信・計測システム技術の確立を目指している。

平成19年度は、本プロジェクト研究の第2年度で、昨年度の行った検討を基に、デバイス、無線システム、計測、応用の分野から、さらなる検討と内容の紹介・討議を行い、ミリ波からテラヘルツ波に至るアプリケーションに関し、実用化を目指した研究成果についての報告を行い、将来に向けた検討事項を抽出した。研究会の開催日程および概要は以下の通りである。

＜研究会＞
平成19年12月26日（水）
東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン棟5階506室
（発表内容）
(1) 徳満 恒雄 77GHz受信用MMICについて
(2) 石川 容平 市販シミュレータを用いた誘電体テーパー導波管の解析
(3) 二川 佳央 マイクロ波とMRIを用いた生体計測
(4) 高木　直　サンプリングに関する一考察
(5) 末松 憲治 差動集積回路の高周波化
(6) 大平　孝 インダクタのQと共振回路のQについて

[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。

(3-1-1) マイクロ波・ミリ波デバイス

ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)ロードマップから見た半導体デバイス動向について検討を行った、これによるとCMOS が SiGe を 2014 年に凌駕し、CMOS が InP を 2009 年に凌駕する可能性が示された。環境に対して軽負荷である SiGe および CMOS デバイスの超高速処理性能についての検討がなされ、高集積 MMIC の開発動向について調査検討がなされた。UWB 等の次世代通信システムにおいては、SiGe あるいは CMOS デバイス等のシリコンベース技術で超高速性能が得られることのメリットは極めて大きく、高性能な大容量・低消費電力チップの提供と、より高機能 MMIC の開発が技術基盤確立に必要であることが確認された。

(3-1-2)　伝送路等を含む受動素子技術

光領域まで含めた超広帯域通信システムにおいて、光ファイバー内のテーパーについて、シミュレータによる数値界を、性質が既知な均一導波管の解析界（固有モード）の重ね合わせとして表現できる手法が提案された。これによりテーパ界面におけるモード変換が導かれた。また、インダクタの Q と共振回

路のQについて理論的な検討がなされ、さらにディジタル回路内を伝搬する信号について、アナログ、ディジタルミックスドシグナルのサンプリングに関して、δ関数によりサンプリングすることに一石が投じられた。

(3-1-3) 将来の通信・計測システム

将来、人のためになる家庭用ロボットなどのロボット開発においてはマイクロ波・ミリ波レーダをはじめとするデバイス・システム技術を駆使して、多くの課題を複数分野の合力で解決していく必要があることが述べられた。また、マイクロ波とMRIを併用した生体計測等により新しい医療福祉分野の展開の可能性が示された。

（3-2）波及効果と発展性など

UWBを含めた次世代通信・計測システムについて各種技術分野について検討･評価を行い更なる大容量で高速かつ利便性の高い通信システムの実現に向けた指針を得た。また、現在開発されつつある通信システムの特性評価と新しい機能を追加した応用システムの実現に向けた基礎データが得られ、将来的に、人と環境を調和させた情報システムに関してその中核技術の先進的な成果が得られると考えられる。更に本プロジェクトでは、関連分野の次世代を担う技術者育成まで含め、通信・計測システム技術の確立を目的としており技術者育成の観点からの波及効果も期待できる。

今後はデバイス、無線システム、計測、応用分野を統合したさらなる高周波化、高速化、広帯域化に向けての技術開発の紹介と討議を深め、将来の情報システムの姿、それに必要な中核技術に関する検討を進めてゆく。

[4] 成果資料

1. T. Ohira and K. Araki, "Active Q factor and equilibrium stability formulation for sinusoidal oscillators", IEEE Trans. Circuits and Systems Part II, CASII-54, 9, pp.810-814, Sept. 2007.
2. M. Ohira, A. Miura, M. Ueba, M. Taromaru, and T. Ohira, "Varactor- loaded inverted-F multiport parasitic array radiator antenna," IEEE AP-S International Symposium Antennas Propagation, pp.5211-5214, Honolulu, June 2007.
3. Q. Han, N. Tenno, A. Miura, M. Ueba, and T. Ohira, "Radial fed SP8T varactor-mounted waveguide switch for millimeter-wave beam steerable antenna", IEEE AP-S International Symposium Antennas Propagation, pp. 3477-4380, Honolulu, June 2007.
4. R. Hettiarachchi, M. Yokoyama, H. Uehara, and T. Ohira, "Interference Cancellation Technique Based on Maximum Correlation Detection for Single User DS-CDMA Receiver in Rayleigh Fading Channels", International Symposium on Signals, Systems, and Electronics, ISSSE2007, pp.583-586, Montreal, Canada, July-Aug. 2007.
5. E. Kataoka, M. Morishita, H. Yamada, M. Taromaru, T. Ohira, and Y. Yamaguchi, "Interference rejection performance of adaptive array with array of ESPAR antennas", ISAP2007, pp.760-763, Niigata, Aug. 2007.
6. M. Morishita, C. Sun, M. Taromaru, H. Yamada, T. Ohira, and Y. Yamaguchi, "Performance of adaptive beamforming with multiport parasitic array radiator antenna", ISAP2007, pp.764-767, Niigata, Aug. 2007.
7. M. Ueba, A. Miura, S. Kitazawa, S. Saito, and T. Ohira, "Feasibility study on millimeter wave multi-gigabit wireless LAN system", European Microwave Conference, EuMC2008, pp.688-690, Munich, Sept. 2007.
8. J. Cheng, E. Taillefer, and T. Ohira, "Signal processing algorithm and their experimental results for a compact smart antenna", International Symp. Radio Systems and Space Plasma, ISRSSP2007, pp. 27-30, Sofia, Bulgaria, Sept. 2007.
9. 野田常照, 福留卓哉, 伊山義忠, “プラスチック素材と可塑性素材とを用いた LPF の試作結果”, 2007 信学ソ大, NO.C-2-45, Sept. 2007.
10. 伊山義忠, 野田常照, “発振回路のＬＣ帰還部における位相周波数特性についての一検討”, 2008 信学総大, NO.CS-2-3, Mar. 2008.
11. 伊山義忠, “高専で試作する手作り高周波回路”, 2008 信学総大, NO.CS-2-5, Mar. 2008.
12. K.Shimoyama, S.Yoshida, Ta Tuan Thanh, K.Matsuzaki, S.Kameda, H.Nakase, T.Takagi, and K.Tsubouchi,”5GHz Si-CMOS differential power amplifier module with directly connected dipole antenna,”IEICE Electronics Express,2007 (accepted)
13. Shoichi Oshima, Goro Mori, Hiroshi Oguma, Suguru Kameda, Hiroyuki Nakase, Tadashi Takagi, and Kazuo Tsubouchi, "The 60GHz band multi-carrier wireless system for 2Gbps transmission with constant envelope modulation," 18th Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2007), #521, Athens, Greece, Sept. 2007.
14. H. Ueda, K. Nakajima, G. Kanazawa, M. Shimozawa, J. Koide, M. Uesugi, R. Takeuchi, N. Suematsu, Y. Isota,S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi and K.Tsubouchi, "A 5GHz-band SiGe-MMIC Transceiver for 324Mbps Transmission" in Proc. IEEE RWS 2008, Jan. 2008.
15. 吉田 賢史, 戸崎 篤, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, “バラン一体型 3 ス

タックドメアンダラインアンテナ," 信学技報, vol.~107, no.~35, AP2007-29, pp.~91-96, 5-2007.
16. 上田 博民, 中島 健介, 金沢 学志, 下沢 充弘, 小出 純, 上杉 美喜夫, 武内 良祐, 末松 憲治, 礒田 陽次, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫,"324Mbps 伝送用 5GHz 帯送受信 SiGe MMIC," 信学技報, vol.~107, no.~49, MW2007-23, pp.~61-65, 5-2007.
17. 竹内 太志, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫,"多層 LCP 基板を用いたマイクロ波帯サスペンディッド結合バラン,"信学技報, vol.~107, no.~49, MW2007-24, pp.~67-72, 5-2007.
18. 大嶋 尚一, 森 悟朗, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫,"60GHz 帯を用いた 2GbpsMSK マルチキャリア通信方式,"信学技報, vol.~107, no.~82, WBS2007-6, pp.~1-5, 6-2007.
19. 大嶋 尚一, 森 悟朗, 野沢 尭志, タ トァン タン, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫,"マルチキャリア MSK 変調を用いた高速無線通信システムの FPGA 実装,"信学技報, vol.~107, no.~452, SR2007-80, pp.~89-93, 1-2008.
20. 大嶋 尚一, 森 悟朗, 野沢 尭志, タ トァン タン, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫,"マルチキャリア MSK 変調を用いた高速無線通信システムの試作," 信学技報 3-2008.
21. 吉田賢史, 戸崎 篤, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "超小型 60GHz 帯 WPAN モジュール用アンテナの基礎的検討, " 2007 年度信学ソ大, BS-1-1, 9-2007.
22. 上田博民, 中島健介, 下沢充弘, 小出 純, 末松憲治, 礒田陽次, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木直, 坪内和夫, "324Mbps 伝送用 5GHz 帯送受信 SiGe-MMIC, " 2007 年度信学ソ大, C-2-26, 9-2007.
23. 竹内太志, 松崎圭佑, 増田耕平, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "60GHz 帯三次元 SiP 無線通信モジュールの設計と評価（1）: 送信モジュール, " 2007 年度信学ソ大, C-2-27, 9-2007.
24. 松崎圭佑, 竹内太志, 増田耕平, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "60GHz 帯三次元 SiP 無線通信モジュールの設計と評価(2):受信モジュール, " 2007 年度信学ソ大, C-2-28, 9-2007.
26. 吉田賢史, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "ALIVH 基板を用いた 60GHz 帯超小型モジュール用アンテナ, "2008 年信学総大, B-1-69, 3-2008.
26. 野沢尭志, 森 悟朗, 大嶋尚一, 亀田 卓, 小熊 博, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "5GHz 帯 WLAN 用 Si-CMOS VCO の設計, " 2008 年信学総大, C-2-18, 3-2008.
27. 竹内太志, 松崎圭佑, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "Cu ボールによる基板間接続の反射特性改善(1): シングルエンド接続, " 2008 年信学総大, C-2-56, 3-2008.
28. 松崎圭佑, 竹内太志, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬博之, 高木 直, 坪内和夫, "Cu ボールによる基板間接続の反射特性改善(2): 差動接続, " 2008 年信学総大, C-2-57, 3-2008.
29. Yoshio Nikawa and Yong Guan, "Dynamic Measurement of Temperature Dependent Complex Permittivity of Material by Microwave Heating Using Cylindrical Cavity Resonator", 2007 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings , Vol. I, pp. 379-382, Dec. 2007.
30. Yoshio Nikawa and Tetsuyuki Michiyama, "Blood-Sugar Monitoring by Reflection of Millimeter Wave", 2007 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings , Vol. III, pp. 1581-1584, Dec. 2007.
32. Yoshio Nikawa, "Microwave Heating to Artificial Dielectric Materials and Metamaterials", International Microwave Power Institute's 41st Symposium Proceedings, pp. 66-68, 2007.
33. 二川佳央, 道山哲幸, "RF およびマイクロ波の生体内エネルギー吸収に関する検討", 2007 年電子情報通信学会 2007 年総合大会講演抄録集, pp. S-81-82, 2007.
34. 二川佳央, "マイクロ波プロセッシングにおけるメタマテリアル構造", 第 1 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム講演要旨集, pp. 2-3, 2007.
35. 西岡将志, 二川佳央, "マイクロ波加熱用薄型アプリケータの設計",第 1 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム講演要旨集, pp. 80-81, 2007.
36. 道山哲幸, 二川佳央, "黒鉛材料を用いたドライファントムモデル作成に関する検討",第 1 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム講演要旨集, pp. 100-101, 2007.
37. 高瀬崇行, 二川佳央, "2.45 GHz 帯におけるメタマテリアルを用いた加熱応用", 第 1 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム講演要旨集, pp. 158-159, 2007.
39. 二川佳央, 高瀬崇行, "マイクロ波磁界の空間成分を考慮した電磁界可視化に関する検討",第1回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム講演要旨集, pp. 160-161, 2007.

課題番号　H19／B06

採択回数	1　2　(3)

ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究

［1］組織　代表者　山部 紀久夫
（筑波大学）
対応者　遠藤 哲郎
（東北大学　電気通信研究所）
分担者　蓮沼　隆
（筑波大学）
山田　啓作
（早稲田大学）
知京　豊裕
（(独)物質・材料研究機構）
品田賢宏
（早稲田大学）
猪川　洋
（静岡大学）
植松真司
（日本電信電話㈱）
遠藤　哲郎
（東北大学）

研究費：物件費５万円，旅費２６７，０８０円

［2］研究経過

シリコン集積回路に代表される情報デバイスは、次世代情報化社会を実現するために、さらなる高性能化が広く世の中から望まれている。そのため、ナノスケール構造のシリコン半導体デバイスを実現することは急務である。しかし、半導体表面におけるナノ構造形成のためのプロセス技術は未だ確立されていない。さらに、単なる微細化による半導体デバイスの高性能化には限界が見え始めている。以上の知見により、本共同プロジェクト研究会では、半導体におけるナノ構造形成プロセス技術に関する研究を行うと共に、当該ナノ構造によって発現する物理現象を応用した新機能シリコン半導体デバイスに関する研究を行うことを目的とする。

このような状況の下、平成 17 年度に、「ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は３年目である。そして、今年度は平成２０年３月４日、１１日の日程で研究会を開催し、当該研究分野における技術的方向性、及び、具体的な研究手法に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

具体的には、以下の観点から議論が行われ、有益な知見が得られた。

① シリコン半導体表面における反応過程に関する研究
② ナノスケール構造の形成プロセスに関する研究
③ ナノスケール構造によって発現する物理現象を応用した新機能シリコン半導体デバイスに関する研究

第５回　ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究会
日時：２００８年　3月４日
１４：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階ゼミ室

第６回　ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究会
日時：２００８年　3月１１日
１４：００～１６：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階ゼミ室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

［3］成果

（3－1）研究成果

ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、第５回～第６回ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究会を開催し、本年は以下に示す研究成果を得た。

まず、本研究の基盤となるシリコン半導体表面における反応過程及びナノスケール構造の形成プロセスに関する議論を行った。具体的には、シリコン半導体表面に形成する高誘電率極薄膜等に関して議論を行い、当該学問分野の現状と今後の課題を系統的に分類し、今後の研究に対する方向性を得た。

さらに、シリコン半導体表面における初期酸化のメカニズム関して議論を行った。特に、本討論においては、評価分析的手法からのアプローチだけでなく、半導体表面の物理的形状並びに酸化物表面の物理的形状の相関関係をベースに、その電気的特性と絶縁膜の物理的形状の関係を議論した。その結果、半導体表面の初期酸化条件が、その絶縁膜の電気的特性に大きな影響を与えることを見出した。

（３－２）波及効果と発展性など

今までの本通研共同プロジェクトにて見出されてきた知見から、本年度より科学研究補助金　基盤研究（A）の採択に発展した。これにより、本プロジェクトの学術的発展が進展することが期待される。また、当該研究分野における大学間の交流も盛んになり、本通研共同プロジェクトが、研究者ネットワークの拡大に大きく寄与している。

特に、本プロジェクトで明らかになった極薄シリコン酸化膜のリーク電流に関する成果は、ナノ構造形成の一環であり、今後の発展が期待されている。表面のラフネス抑制がしきい値変動を抑える要因の一つなることを示しており、微細デバイスにおける特性バラツキ抑制に大きく貢献するものと考えられる。

［４］成果資料

１） Tetsuo Endoh, Kazuyuki Hirose, and Kenji Shiraishi “Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films”, IEICE Trans Electron., E90-C: 955-961, 2007

２） Tetsuo Endoh and Yuto Monma, ”Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology using a Two-Dimensional Device Simulator”, IEICE Trans Electron E90-C, pp.1000-1005, 2007

３） Tetsuo Endoh and Kousuke Tanaka, ”Study of Self-Heating in Si Nano Structure for Floating Body-Surround Gate Transistor with High-k Dielectric Films”, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 5B, pp. 3189-3192, 2007

４） Kazuhiro Suzuki, Hyoung-jun Na, Yuzuru Narita, Hideki, Nakazawa, Takashi Itoh, Kanji Yasui, Maki Suemitsu and Tetsuo Endoh ,“Effects of Threshold Voltage Fluctuations on Stability of MOS Current Mode Logic Inverter Circuit”, IEEE, IMFEDK2007 technical digest, pp.B-7, April 2007

５） Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, “Analysis of the Dependency of Body Thickness on the Performance of the Nano-Scale Vertical MOSFET”, IEEE, IMFEDK2007 technical digest, pp.A-3, April 2007

６） S.Shukuri, N. Ajika, M. Mihara, Y. Kawajiri, T. Ogura, K. Kobayashi, T. Endoh and M. Nakashima, “Floating Gate B4-Flash Memory Technology Utilizing Novel Programming Scheme - Highly Scalable, Efficient and Temperature Independent Programming”, IEEE, Non-Volatile Semiconductor Memory Workshop, pp30-31, Aug.26-30, 2007

７） K.Suzuki and T.endoh, “The exclusive OR using MOS Current Mode Logic Circuit”, **平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集**, pp.15. 1A15, 2007

８） Y.Norifusa and T.endoh “Device Design Technology for 30nm FINFETs with Halo Structure”, **平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集**, pp.14. 1A14, 2007

９） K.Tanaka and T endoh, ”Mechnism of Asymmetric Temperature Distribution of Si Nano Wire with Self-Heating”, **平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集**, pp.13. 1A13, 2007

１０） Tatsuya Naito, Chihiro Tamura, Seiji Inumiya, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe “The conduction via oxygen-related defects in the high-k dielectric films”, First International Symposium on Atomic Technology [ISAT-2007]

１１） Ryota Ozaki, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe “Atomic step-SiO2 hybrid nano structure on Si(111)”, First International Symposium on Atomic Technology [ISAT-2007]

１２） Mitsuru Sometani , Sotaro Sugimura , Akira Uedono , Ryu Hasunuma , Kikuo Yamabe “Investigation of oxide degradation induced by metal deposition”, First International Symposium on Atomic Technology [ISAT-2007]・

１３） S.Okamoto, Y. Tokukawa, R. Hasunuma, M. Ogino, H. Kuribayashi, Y. Sugahara and K. Yamabe “Evaluation of Two-Dimensional

Distribution of Dielectric Degradation Using Difference in Etching Rate of Stressed SiO2”, Second International Symposium on Atomic Technology [ISAT-2]

１４） Keichiro Ohsawa, Ryu Hasunuma, and Kikuo Yamabe “Native oxidation from atomic steps on Si(111) surface”, Second International Symposium on Atomic Technology [ISAT-2]

１５） M. Sato, K. Yamabe, K. Shiraishi, S. Miyazaki, K. Yamada, C. Tamura, R. Hasunuma, S. Inumiya, T. Aoyama, Y. Nara, Y. Ohji, “Comprehensive Understanding of PBTI and NBTI reliability of High-k / Metal Gate Stacks with EOT Scaling to sub-1nm”, 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2007)

１６） R. Hasunuma, T. Naito, C. Tamura, A. Uedono, K. Shiraishi, N. Umezawa, T. Chikyow, S. Inumiya, M. Sato, Y. Tamura, H. Watanabe, Y. Nara, Y. Ohji, S. Miyazaki, K. Yamada and K. Yamabe “Tight Distribution of Dielectric Charasteristics of HfSiON”, 212th ECS Meeting

１７） M. Sato, K. Yamabe, K. Shiraishi, S. Miyazaki, K. Yamada, C. Tamura, R. Hasunuma, S. Inumiya, T. Aoyama, Y. Nara and Y. Ohji “Microscopic Understanding of PBTI and NBTI Mechanisms in High-k / Metal Gate Stacks”, 212th ECS Meeting

１８） Ryu Hasunuma，Ryota Ozaki，Kikuo Yamabe” Rate of Kink Generation at Steps on Si(111) Surfaces During Wet Etching”, The 9th international Conference on Atomically Controlled Surfaces,Interfaces and Nanostructures

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B07

採択回数	1	2	(3)

高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究

［1］組織（以下１０.５ポイント）
代表者：遠藤　哲郎
（東北大学　電気通信研究所）
対応者：遠藤　哲郎
（東北大学　電気通信研究所）
分担者：
平本　俊郎
（東京大学）
渡部　平司
（大阪大学）
佐竹　郁夫
（大阪大学）
白石　賢二
（筑波大学）
堀口　文男
（東洋大学）
仁田山　晃寛
（㈱東芝）
有門　経敏
（東京エレクトロン㈱）
影島　博之
（日本電信電話㈱）

研究費：物件費５万円，旅費１８４,９５０円

［2］研究経過

シリコン集積回路は、次世代電子システムには必要不可欠であり、そのため高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つである。また、同時にシリコン集積回路は、日本の基幹産業となっている。従って、シリコン集積回路の高性能化は近年その重要性がますます増加している。例えば、インターネット通信、マルチメディア通信を初めとする基幹情報通信システムにおいては、さらなる高速動作性、高機能化が要求されている。一方、情報通信機器の小型化・携帯化が進んでおり、末端情報通信システムにおいては、さらなる低消費電力動作化、及び、低価格化が要求されている。

特に、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージする半導体不揮発性メモリの高性能化、特にその大容量化・高速動作化が強く要望されている。また、産業の観点から見ると、半導体不揮発性メモリは、シリコン集積回路の中核製品であり、次世代半導体不揮発性メモリの基盤技術を構築することは急務である。

上記の状況を踏まえて、半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する研究は、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のシリコン集積回路に広く用いられている基本素子である平面型ＭＯＳトランジスタ構造に基づくメモリセルは、最も重要な素子と考えられ、現在でも実用化のための研究が進められている。また、新しい回路技術、設計技術に関しても、多くの新規技術、実用化技術などが研究されている。

従来の半導体不揮発性メモリの研究の多くは、その基本的メモリセル構造や動作原理における革新的変革はなく、メモリセルの寸法を微細化することなどにより、半導体不揮発性メモリの高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、フラッシュメモリに代表される従来のデータストレージ用半導体不揮発性メモリは、①データ書き換え回数が約十万回に制限されている、②データ書き換え時の消費電力が大きい、③ゲート絶縁膜の信頼性に起因してその膜厚を７㎚ 以下に薄膜化できないため、ナノ領域までのデバイスの微細化（高集積化）が困難である等々の問題点に直面している。

従ってこの問題の打開には，微細加工技術の改善やゲート絶縁膜の高品質化や回路性能の向上といった個別の要素研究を進めてゆくだけでは不十分であり、所望の性能を達成し得る新しいデバイス構造・動作原理を提案すると共に，そのデバイスを実現するためのナノ材料プロセス研究からデバイス・回路設計研究までの幅広い研究を学際的に行っていく必要がある。

このような状況の下、平成16年度に、「高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は４年目である。そして、今年度は昨年度の第８回研究会に引き続き、平成１９年３月９日、１３日、14日の日

程で以下に示す３回の研究会を開催し、ナノ領域でのスケーラビリティーに優れた高速大容量半導体不揮発性メモリに対する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

第９回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　３月９日
１３：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階ゼミ室

第１０回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　３月１３日
１４：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階ゼミ室

第１１回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　３月１４日
１３：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階ゼミ室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

［３］成果

（３－１）研究成果

半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、第９回～第１１回高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会を開催し、本年は以下に示す研究成果を得た。

まず、本共同プロジェクト研究会での研究状況も踏まえて、今後半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題を、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計、⑤CAD 技術の各５項目に対して、幅広く議論した。

特に、その今年は、半導体不揮発性メモリの微細化及びその大容量化に関して集中的に議論した。その結果、30nm 世代以降に大きな技術的壁があるとの認識で一致した。

さらに、本年度は、昨年までの知見に基づき、次世代半導体不揮発性メモリに求められる材料・プロセスに関する議論も行い、本研究会のスコープを拡大した。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、①基本記憶素子としての半導体不揮発性メモリセルの微細化に関する技術、②基本記憶素子としての半導体不揮発性メモリセルの高速動作化に関する技術、③半導体不揮発性メモリの高密度化・高速動作化を実現する回路技術に関する技術の研究を通して、半導体不揮発性メモリの高速動作化・大容量化を実現することにある。

これは、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージするキーデバイスを実現させるものである。さらには、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急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

また、本共同プロジェクト研究会により、学外研究者との交流が活性化した。この結果、本プロジェクトで明らかになりつつある大容量化・高速動作化半導体不揮発性メモリ技術は、新しい高性能メモリの発展に結びつき，今後の発展が期待されている。今後、初年度に得た知見を元に、次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し、さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。・・・

［４］成果資料

１）　Tetsuo Endoh, Kazuyuki Hirose, and Kenji Shiraishi “Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films”, IEICE Trans Electron., E90-C: 955-961, 2007

２）　Tetsuo Endoh and Yuto Monma, ”Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology using a Two-Dimensional Device Simulator”, IEICE Trans Electron E90-C, pp.1000-1005, 2007

３）　Tetsuo Endoh and Kousuke Tanaka, ”Study of Self-Heating in Si Nano Structure for Floating Body-Surround Gate Transistor with High-k Dielectric Films”, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 5B, pp. 3189-3192, 2007

４）　Kazuhiro Suzuki, Hyoung-jun Na, Yuzuru Narita, Hideki, Nakazawa, Takashi Itoh, Kanji Yasui, Maki Suemitsu and Tetsuo Endoh ,“Effects of Threshold Voltage Fluctuations on Stability of MOS Current Mode

Logic Inverter Circuit", IEEE, IMFEDK2007 technical digest, pp.B-7, April 2007

５） Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, "Analysis of the Dependency of Body Thickness on the Performance of the Nano-Scale Vertical MOSFET", IEEE, IMFEDK2007 technical digest, pp.A-3, April 2007

６） S.Shukuri, N. Ajika, M. Mihara, Y. Kawajiri, T. Ogura, K. Kobayashi, T. Endoh and M. Nakashima, "Floating Gate B4-Flash Memory Technology Utilizing Novel Programming Scheme - Highly Scalable, Efficient and Temperature Independent Programming", IEEE, Non-Volatile Semiconductor Memory Workshop, pp30-31, Aug.26-30, 2007

７） K.Suzuki and T.endoh, "The exclusive OR using MOS Current Mode Logic Circuit", **平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集**, pp.15. 1A15, 2007

８） Y.Norifusa and T.endoh "Device Design Technology for 30nm FINFETs with Halo Structure", **平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集**, pp.14. 1A14, 2007

９） K.Tanaka and T endoh, "Mechnism of Asymmetric Temperature Distribution of Si Nano Wire with Self-Heating", **平成18年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集**, pp.13. 1A13, 2007

１０） Isotopic labeling study of the oxygen diffusion in HfO2/SiO2/Si M. Zhao, K. Nakajima, M. Suzuki K. Kimura, M. Uematsu, H. Watanabe, K. Shiraishi, T. Chikyow, and K. Yamada Appl.Phys. Lett.90 (2007) 133510-1-3.

１１） Ikuo Satake "Frobenius manifolds for elliptic root systems"、 math.AG Algebraic Geometry

１２） Ikuo Satake "Frobenius manifolds for elliptic root systems" math.AG Algebraic Geometry Apr 2007

課題番号　H19／B08

採択回数	①	2	3

半導体ゲートスタック・ナノ構造形成過程のダイナミクスと応用に関する研究

［1］組織

代表者：末光　眞希
（東北大学学際科学国際高等研究センター）
対応者：末光　眞希
（東北大学学際科学国際高等研究センター）
分担者：
白石　賢二（筑波大学物理学系）
植松　真司（慶應義塾大学理工学研究科）
影島　博之（NTT 物性科学基礎研究所）
遠田　義晴（弘前大学理工学部）
福山　敦彦（宮崎大学工学部・
材料物理工学科）
遠藤　哲郎（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費５万円、旅費２６万６千円

［2］研究経過

シリコン集積回路に代表される情報デバイスは、次世代情報化社会を実現するために、更なる高性能化・高集積化が広く世の中から望まれている。そのため、シリコン半導体上にナノスケールの構造を形成する技術を確立することが急務となっている。とくに今日の半導体産業の中心を担うCMOSデバイスのゲート絶縁膜と電極を構成するゲートスタック構造は、今やその最も薄い層が0.8 nmという、原子層数層分の極薄構造に至ろうとしている。従って、このようなナノ領域における半導体極薄構造の形成プロセスのダイナミクスを解明し、さらにその知見を応用してナノスケール構造を再現性よく形成する機構を解明することは半導体工学的にきわめて重要である。以上の認識に立ち本共同プロジェクト研究会では、半導体ゲートスタック・ナノ構造形成過程のダイナミクスに関する最先端の研究交流を行うと共に、議論を通して得られた知見を各々のナノ構造形成技術研究にフィードバックし、更には共同研究展開の場を提供することを目的としている。初年度である平成１９年度は、平成２０年２月２１日に第一回研究会を開催し、半導体のゲートスタック構造形成に関する最先端の知見を紹介し合い、活発な議論がなされた。

第１回　半導体ゲートスタック・ナノ構造形成過程のダイナミクスと応用に関する研究会
日時：２００８年　２月２１日
１３：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所２号館セミナー室

［3］成果

（３－１）研究成果

研究会ではまず、CMOSFET テクノロジーの現状と課題について討論し、ユビキタスネットワーク社会の創造に向けたエレクトロニクス分野の基幹技術は、その生産性から、今後ともシリコンデバイスが基盤になること、その中にあって、ゲートスタックプロセスとナノスケール構造プロセス技術が極めて重要であることについて共通理解を得た。第二に、high-k ゲートスタック閾値制御の指針について理論的な提案が出され、これについて議論を深めた。第三に、第一原理計算に基づくシリコン半導体表面・界面における酸化反応過程に関して最新の研究報告が発表され、酸化誘起歪みによるシリコン酸化膜界面での酸素分子輸送過程の変化、シリコン熱酸化におけるシリコン放出とそのシリコンの拡散等についてより詳細に議論を深め、次年度以降、当プロジェクトにおいて引き続き議論していくことで共通認識を持った。第四に、酸窒化ダイナミクスに関する最新の研究報告について研究紹介があり、討論を行った。第五に、ナノスケール構造の評価法として非常に有用と考えられる非発光電子遷移検出による結晶評価法について最先端の報告があり、今後の発展に認識を深めた。最後には、次世代半導体デバイスで重要な役割を果たすと目される Si(110)面の酸化機構に関して最新の知見が紹介され、議論を行った。

このように発表内容は、①第一原理計算に基づくシリコン半導体表面・界面における酸化反応過程に関する研究、②第一原理計算に基づく high-k ゲートスタックに関する研究、③シリコン半導体表面・界面における酸化、酸窒化ダイナミクスに関する研究、④ナノスケール構造の評価技術に関する研究――と、

半導体ゲートスタック・ナノ構造の形成から評価にいたる広範囲なものであった。この成果を踏まえ、次年度以降も引き続き研究交流を行うことを確認すると共に、Si 酸化過程の一層の解明に向け、共同研究の検討を開始した。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、第一原理計算および実験を付き合わせることにより、シリコン半導体／金属界面、あるいはシリコン／酸化物界面における界面反応、原子拡散過程による界面層形成ダイナミクスを解明し、その知見を通し、次世代高性能・高集積シリコン半導体デバイスに必要不可欠なナノスケールゲートスタック構造の形成プロセス技術の実現に向けての指針を得ることである。本年度は、研究会での研究交流と議論を通して、ナノスケール領域の微細構造形成技術に関する問題点を抽出し、これを解決するための指針を明らかにすることができた。本研究会の結果、ナノスケール領域での微細構造形成・制御技術を実現するための指針が得られるところとなり、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果はきわめて大きいと言える。

［４］成果資料

(1) Hydrogen-Controlled Crystallinity of 3C-SiC Film on Si(001) Grown with Monomethylsilane, Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007) No.2 pp.L40-L42. Yuzuru Narita, Atsushi Konno, Hideki Nakazawa, Takashi Itoh, Kanji Yasui, Tetsuo Endoh, Maki Suemitsu

(2) Real-Time Observation of Initial Thermal Oxidation on Si(110)-16´2 Surfaces by O 1s Photoemission Spectroscopy Using Synchrotron Radiation, Jpn. J. Appl. Phys. 46(2007) No.4B pp.1888-1890. Maki SUEMITSU, Atsushi KATO, Hideaki TOGASHI, Atsushi KONNO, Yoshihisa YAMAMOTO, Yuden TERAOKA, Akitaka YOSHIGOE, Yuzuru NARITA, and Yoshiharu ENTA

(3) Observation of Initial Oxidation Process on Si(110)-16×2 by Scanning Tunneling Microscopy, Jpn. J. Appl. Phys. 46(2007) No.5B, pp. 3239–3243. Hideaki Togashi, Yuya Takahashi, Atsushi Kato, Atsushi Konno, Hidehito Asaoka, Maki Suemitsu

(4) MoO2 方形断面ナノチューブ, 応用物理学会応用電子物性分科会誌 13 （2007） No1.pp20-24, 末光眞希、及川大治、半田浩之、阿部俊三

(5) XPS and STM Studies on Initial Oxidation of Si(110)-16x2, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 996 (2007) 0996-H01-04. Maki Suemitsu, Hideaki Togashi, Atsushi Kato, Yuya Takahashi, Atsushi Konno, Yoshihisa Yamamoto, Yuden Teraoka, Akitaka Yoshigoe, and Hidehito Asaoka

(6) 常圧プラズマ CVD による Si 系薄膜堆積, Sputtering and Plasma Processes, 22(2007). Maki Suemitsu, Mitsutaka Matsumoto, Yasutake Toyoshima

(7) ヘテロエピタキシャル成長におけるストレスその場測定, Journal of The Surface Science Society of Japan (in Japanese) 28(2007) pp.500-503. Hidehito Asaoka, Tatsuya Yamazaki, Shin-ichi Shamoto, Alguno Arnold, Seiichi Goto, and Maki Suemitsu

(8) ホットメッシュ CVD 法による GaN 成長―ルテニウムコーティッドタングステンメッシュの効果―信学技報 IEICE Technical Report CPM2007-115 (2007-11), 深田祐介, 安部和貴, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤　隆, 成田　克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志

(9) Oxynitridation of Si(100) surface with thermally excited N_2O gas, Thin Solid Films 500 (2006) pp.129-132. Y. Enta, K. Suto, S. Tanaka, H. Kato, Y. Sakisaka

(10) Oxygen-vacancy-induced threshold voltage shifts in Hf-related high-*k* gate stacks, Thin Solid Films 508 (2006) pp.305-310. Kenji Shiraishi, Keisaku Yamada, Kazuyoshi Torii, Yasushi Akasaka, Kiyomi Nakajima, Mitsuru Konno, Toyohiro Chikyow, Hiroshi Kitajima, Tsunetoshi Arikado, Yasuo Nara

(11) Generation of excess Si species at Si/SiO_2 interface and their diffusion into SiO_2 during Si thermal oxidation, J. Appl. Phys. 103 (2008) 026101. Kenzo Ibano, Kohei M. Itoh, and Masashi Uematsu

(12) First-Principles Study of Oxide Growth on Si(100) Surfaces and at SiO_2/Si(100) Interfaces, Phys. Rev. Lett. 81 (1998) No. 26, pp.5936-5939. Hiroyuki Kageshima, Kenji Shiraishi

(13) Oxygen Vacancy Induced Substantial Threshold Voltage Shifts in the Hf-based High-*K* MISFET with p+poly-Si Gates -A Theoretical Approach, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) No. 11A, L1413

-L1415. Kenji SHIRAISHI, Keisaku YAMADA, Kazuyoshi TORII, Yasushi AKASAKA, Kiyomi NAKAJIMA, Mitsuru KONNO, Toyohiro CHIKYOW, Hiroshi KITAJIMA and Tsunetoshi ARIKADO

(14) Oxygen Trap Hypothesis in Silicon Oxide, Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) No. 10A, pp.7672-7674. Hiroyuki KAGESHIMA, Masahi UEMATSU, Toru AKIYAMA and Tomonori ITO

(15) Universal Theory of Si Oxidation Rate and Importance of Interfacial Si Emision, Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) No. 9A/B pp.L971-L974. Hiroyuki KAGESHIMA, Kenji SHIRAISHI, Masashi UEMATSU

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B09

採択回数	① 2 3

証明論的アプローチによるプログラム構成原理

［1］組織

代表者：佐藤 雅彦
（京都大学大学院情報学研究科）
対応者：外山 芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
五十嵐 淳
（京都大学大学院情報学研究科）
中澤 巧爾
（京都大学大学院情報学研究科）
亀山 幸義
（筑波大学システム情報工学研究科）
桜井 貴文（千葉大学理学部）

研究費：校費 35,000 円，旅費 212,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトの目的

証明の構文的性質を議論する証明論は，論理学における主要な分野の一つとして古くから活発に研究されているが，構文的対象を操作するその手法は，計算機科学，とくにプログラムとその計算過程を構成的な立場から構文論的に表現する操作的意味論と密接に関連する．本研究では，証明論的手法をプログラム意味論，とくに操作的意味論の研究に応用し，構成的な立場からより性質のよいプログラミング言語を設計する指針を与えることを目的とする．

研究会の開催状況

本プロジェクトは本年度が第一年度であった．上記目的達成のため，一回のプロジェクト研究会を開催し，活発な議論を通して，論理学の立場，計算論の立場，さらにこれらを統合した型理論の立場からプログラミング言語の本質を追及した．

プロジェクト研究会は，平成 19 年 9 月 26 日から 27 日に東北大学電気通信研究所において開催され，プロジェクトの成果報告が行なわれた．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

1. 数学の証明およびプログラムが与えられた仕様に従い正しく動作することを計算機上で検証する枠組について意味論的考察を行った．目標とする枠組を記述する言語は必然的に形式的な言語になるが，その形式的言語（対象言語）を人間が理解するためには，最終的には自然言語をメタ言語として用いる必要がある．通常は，この対象言語とメタ言語は異る言語であるとされている．しかし，この見方とは対照的な，対象言語をメタ言語の部分言語とみなす見方が可能であることを提案し，その有用性を指摘した．
2. 停止性検証器を利用した書き換え帰納法手続きを提案した．既存の書き換え帰納法に基づく証明器では，利用する簡約順序を手続き開始時にユーザーが与える必要がある．しかしながら，証明手続

きの開始時点で適切な簡約順序を決定することは困難なことも多い．そこで，停止性検証器を利用して，適切な簡約順序の存在を途中で検証しながら証明を行なう書き換え帰納法手続きを提案した．

3. メタプログラミングのための型付き計算体系について研究を行い，その実用的なフラグメントから，通常の型付きラムダ計算への翻訳を与えた．この翻訳は，関数クロージャーと de Bruijn インデックスを利用して，メタプログラミング機構を表現するものである．本年度の研究では，この翻訳がプログラムの型付けを保存すること，型変換のためのダミーコードを除いてプログラムの実行順序を保存することの 2 点を証明し，メタプログラミング計算機構が通常のラムダ計算で解釈できることを示した．
4. 引用機構によるプログラム断片の合成を使った実行時特化を行うためのプログラミング言語のための仮想機械とコンパイラの研究を行った．ここでは，特に，二種類の仮想機械のアーキテクチャを提唱する．ひとつは，コード生成のための特殊命令を持つもの，もうひとつは，特殊命令を持たずないものである．そして，後者の方が，実行時コンパイルのオーバーヘッドを削減する低レベルコード生成の実現が容易であることを示した．仮想機械とコンパイラは，自然意味論流の操作的意味論を実装したインタプリタから，CPS 変換などのプログラム変換によって得られるが，変換中に仮想機械アーキテクチャの選択肢が自然に現れることがわかった．
5. Curien-Herbelin は、2000 年に LK の→-fragment に基づく計算系$\bar{\lambda}\mu\bar{\mu}$，および，それに制限を加えた計算系である$\bar{\lambda}\mu$，$\bar{\lambda}\mu\bar{\mu}$-CBN/CBV を導入した．まず、$\bar{\lambda}\mu$や$\bar{\lambda}\mu\bar{\mu}$-CBN/CBV から単純型付$\lambda\mu$への，簡約を保存する翻訳，つまり 1 ステップの簡約が 1 ステップ以上の簡約に対応する翻訳を与えた．この翻訳の形自体はほぼ知られているが，簡約を保存する翻訳という視点からは扱われていなかったり，簡約を保存する翻訳にするには若干の修正も必要であるので，Curien-Herbelin の結果の精密化になっている．また，この翻訳が簡約を保つことを使って$\lambda\mu$の強正規化可能性の簡単な別証明を与えることもできた．この研究の新しい結果は，$\bar{\lambda}\mu\bar{\mu}$から単純型付$\lambda^{\times}$を型不動点演算子と選択演算子で拡張した体系への，簡約を保存する翻訳を与えたことである．この翻訳は二重否定の代わりに型不動点 $\mathrm{fix}\,X.\neg\neg X \cup A$ を使うという新しい方法により定義され，この翻訳により$\bar{\lambda}\mu\bar{\mu}$の強正規化性の別証明を与えることができた．
6. 一般除去規則と明示的代入を含むラムダ計算の強正規化性について以下の結果を得た．Herbelin のシーケント計算から得られる項計算に対して，インターセクション型システムを定義し，その型付け可能性によって強正規化性を特徴づけることができることを示した．そこで用いられる手法は，従来知られていた明示的代入計算とインターセクション型に関する手法を大幅に簡略化したものである．また，直観主義論理に対する通常のシーケント計算において，型付きラムダ計算のベータ簡約を模倣する能力をもつカット除去手続きの合流性を証明した．
7. 直観主義シーケント計算のカット除去手続に対応する計算体系として，一般除去規則を含む直観主義自然演繹の証明正規化と同型であるものを与えた．さらに， Urban や van Bakel らによって既に提案されている古典シーケント計算のカット除去に対応する計算体系の直観主義部分体系と，我々の体系を比較し，我々の体系が既存の体系の部分体系ではないことを示した．すなわち，Urban らの体系では，我々の体系のカット除去を模倣できないことを示した．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では，より性質の良いプログラミング言語の実現を目標に，主に構成的な立場からプログラム意味論の基礎的な研究を行ない，関連の成果が蓄積されつつある．構文的対象を直接扱う構成的な手法に基くアプローチは，計算機上での実現が比較的容易であると考えられる．このため本研究の成果は純粋な理論的成果に留まらず，プログラム検証や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる．また，本プロジェクトの活発な交流を通して形成された，複数の大学の多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは，今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成する基盤となることが期待される．

［４］成果資料

1. 佐藤雅彦，フレーゲの計算機科学への影響，日本科学哲学会編「分析哲学の誕生」中の一編，勁草書房.
2. Masahiko Sato, Takafumi Sakurai, Yukiyoshi Kameyama and Atsushi Igarashi, Calculi of

Meta-variables, Frontiers of Computer Science in China 2(1):12-21, 2008.
3. Takahito Aoto, Soundness of rewriting induction based on an abstract principle, IPSJ Transactions on Programming, Vol.49, No.SIG 1 (PRO 35), pp.28-38, 2008.
4. 桜井貴文, 2 重否定の構造, 2007 年度 MLG 数理論理学研究集会, http://matu.cc.kyushu-u.ac.jp/mlg/.
5. Yukiyoshi Kameyama, Oleg Kiselyov and Chung-chieh Shan, Closing the Stage: From Staged Code to Typed Closures, Proc. ACM SIGPLAN Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'08), pp. 147-157, Jan. 2008.
6. Jefferson O. Andrade and Yukiyoshi Kameyama, An Algorithm for Bounded Multi-Valued Model Checking, 第 4 回システム検証の科学技術シンポジウム講演論文集 pp. 22-31, 2007.
7. Atsushi Igarashi and Masashi Iwaki. Deriving compilers and virtual machines for a multi-level language. In Zhong Shao, editor, Proceedings of the 5th Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2007), volume 4807 of Lecture Notes in Computer Science, pages 206-221, Singapore, November/December 2007. Springer-Verlag.
8. Atsushi Igarashi and Mirko Viroli. Variant path types for scalable extensibility. In Proceedings of the ACM Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA 2007), pages 113-132, Montreal, QC, October 2007.
9. Chieri Saito and Atsushi Igarashi. The essence of lightweight family polymorphism. In Proceedings of the 9th Workshop on Formal Techniques for Java-like Programs (FTfJP 2007), pages 27-41, Berlin, Germany, July 2007.
10. Kentaro Kikuchi. Simple Proofs of Characterizing Strong Normalization for Explicit Substitution Calculi, in Proceedings of the 18th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2007), LNCS 4533, pp.257-272, 2007.
11. Kentaro Kikuchi. Confluence of Cut-Elimination Procedures for the Intuitionistic Sequent Calculus, in Proceedings of the 3rd Conference on Computability in Europe (CiE 2007), LNCS 4497, pp.398-407, 2007.
12. Ryo Ishigaki and Kentaro Kikuchi. Tree-Sequent Methods for Subintuitionistic Predicate Logics, in Proceedings of the 16th International Conference on Automated Reasoning with Analytic Tableaux and Related Methods (TABLEAUX 2007), LNAI 4548, pp.149-164, 2007.
13. Ryo Ishigaki and Kentaro Kikuchi. A Tree-Sequent Calculus for a Natural Predicate Extension of Visser's Propositional Logic, Logic Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics, Vol.15, No.2, pp.149-164, 2007.
14. K. Nakazawa, An isomorphism between cut-elimination procedure and proof reduction. In S. Ronchi Della Rocca, ed., Typed Lambda Calculi and Applications (TLCA2007), Volume 4538 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 336-350, Springer-Verlag, 2007.
15. K. Nakazawa and M. Tatstuta, Strong normalization of classical natural deduction with disjunctions, Annals of Pure and Applied Logic, 153:21-37, 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　H19／B10

採択回数	1	(2)	3

流れが深く関与するプラズマ物性の基礎と応用

［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　（東北大学学際高等センター）
分担者：飯塚　哲　（東北大学工学研究科）
服部邦彦　（日本工業大学共通教育系）
犬竹正明　（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）
佐藤信之　（東北大学電気通信研究所）
西山秀哉　（東北大学流体科学研究所）
佐藤岳彦　（東北大学流体科学研究所）
藤原民也　（岩手大学工学研究科）
高木浩一　（岩手大学工学研究科）
高山正和　（秋田県立大学システム科学）
斉藤和史　（宇都宮大学工学研究科）
市村　真　（筑波大学プラズマ研）
北條仁士　（筑波大学プラズマ研）
池畑　隆　（茨城大学理工学研究科）
秋津哲也　（山梨大学工学部）
豊島安健　（産業技術総合研究所）
浦島邦子　（科学技術政策研究所）
荒川義博　（東京大学工学研究科）
小田哲治　（東京大学工学研究科）
渡辺隆行　（東京工業大学原子炉研）
小駒益弘　（上智大学理工学部）
都木恭一郎（東京農工大学工学教育部）
津島　晴　（横浜国立大学工学研究院）
水野　彰　（豊橋技術科学大学）
神藤正士　（静岡大学工学部）
永津雅章　（静岡大学工学部）
河野明廣　（名古屋大学工学研究科）
佐々木浩一（名古屋大学工学研究科）
佐宗章弘　（名古屋大学工学研究科）
上村鉄雄　（名城大学理工学部）
金子　修　（核融合科学研究所）
竹入康彦　（核融合科学研究所）
長山好夫　（核融合科学研究所）
吉村信次　（核融合科学研究所）
吉沼幹朗　（核融合科学研究所）
藤村紀文　（大阪府立大学工学部）
阪上雅昭　（京都大学人間・環境学研究科）
際本泰士　（京都大学人間・環境学研究科）
橘　邦英　（京都大学工学研究科）
斧　高一　（京都大学工学研究科）
田原弘一　（大阪大学基礎工学研究科）
永田正義　（兵庫県立大学工学研究科）
福政　修　（山口大学工学部）
内藤裕志　（山口大学工学部）
田中雅慶　（九州大学総合理工学研究院）
中島秀紀　（九州大学総合理工学研究院）
篠原俊二郎（九州大学総合理工学研究院）
佐藤浩之助（九州大学応用力学研究所）
藤山　寛　（長崎大学工学部）
秋山秀典　（熊本大学工学研究科）
山部長兵衛（佐賀大学工学部）
竹田　篤　（(有) アイエスアイ）
藤井修逸　（(株) アドテックプラズマテクノロジー）
中谷達行　（(株) トーヨーテック）

研究費：　物件費　5万円、旅費　52万3千円

［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、表面改質などに積極的に使用され、プラズマは近年のナノテクノロジーの基盤技術となっている。

特に、最近は大気圧領域で動作する高気圧・高密度プラズマがその反応性の強さや効率の高さなどで強く興味を持たれている。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。プラズマの流れが関与する研究には著しい進展があり、ナノ分野をはじめ宇宙推進技術や種々の産業応用にとっても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、流れが深く関与するプラズマ物性についての基礎研究や応用研究に関する研究会を開催する。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・制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進め、特性の評価、理論的検討などを進め、今後の応用研究へ展開を図っていく。

以下に、本年度開催した研究討論会の概要を記す。

第１回

日　時：平成 19 年 9 月 28 日（金）

東北大学工学部電気情報館北研究棟にて、服部邦彦（日本工大）、北條仁士（筑波大）を交えて高密度プラズマ流中の電磁波計測手法に関して意見交換を行った。

第２回

日　時：平成 20 年 2 月 26 日（火）

東北大学工学部電気情報館 451/453 会議室にて、「プラズマ流の基礎と応用」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。

(1) 田中雅慶（九大総理工）
“プラズマと共存する中性粒子の流れを測る”

(2) 津島　晴（横浜国大・工）
“振動障壁による電子の統計加速実験”

(3) 谷塚英一（東大・新領域）　“内部導体装置 Mini-RT での電子バーンスタイン波検出実験”

(4) 上杉喜彦　（金沢大・自然科学）
“高気圧誘導プラズマの高効率生成と核融合材料研究への応用”

(5) 船木一幸（宇宙航空研究開発機構）、上野一磨（東海大・工）　“磁気プラズマセイルの実験室シミュレーション”

(6) 窪田健一　（東工大・総理工）
“磁場印加型 MPD スラスタ内プラズマの電磁流体シミュレーション”

(7) 北野勝久　（大阪大・工）　“低周波大気圧プラズマジェットと液中プラズマプロセス”

(8) 林　信哉　（佐賀大・理工）
“大気圧プラズマ滅菌プロセス”

［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、日本工大の服部邦彦氏と筑波大学プラズマ研究センターの北條仁士氏との研究討論により、Magneto-Plasma- Dynamic(MPD)アークジェットによって生成された高密度プラズマ流内での電磁波を用いた密度計測手法に関し討論を行い、問題点を明らかにするとともに、実験・理論解析両者において今後の研究に関する方向性を示した。

第２に、「プラズマ流の基礎と応用」に関する研究会において、以下のような報告と討論を行った。

まず九大・総理工の田中雅慶氏より、プラズマと共存する中性粒子の流れ測るために、半導体レーザーを用いた誘起蛍光ドップラー分光システムの開発を行ったとの報告があった。波長基準としてヨウ素の吸収線を用いた場合、約 10m/s の分解能が実現でき、さらに精度を上げるために、飽和吸収分光法を採用しラムディップを絶対波長基準として用いると 2m/s の流れまで測定可能となった。これにより、従来難しかった中性粒子の流れ場の直接的な可視化を行うことが可能になったという報告がなされた。

次に、横浜国大・工の津島　晴氏より、統計加速の基本的な性質を調べるために、振動するポテンシャル障壁と定常なポテンシャル障壁の間を磁場に沿って往復運動する電子のエネルギーを観測した結果について報告がなされた。電子の加速効率は周波数に依存し、電子のバウンス運動の周波数ごとに加速効率の高い周波数が現れることが分かったことや、広範な範囲の周波数の振動で加速が確認されるが、加速の生じない振動を重畳すると加速効率が大きくなることが明らかとなった。今後、この実験を乱流の粒子加速と関連付けて発展させていくための手法などについて議論が行われた。

東京大学新領域研究科の谷塚英一氏からは、内部導体装置 Mini-RT における実験報告があった。この装置では、流れのあるプラズマの自己組織化による高ベータプラズマ閉じ込めが研究されている。非中性プラズマの高密度化への応用を目的として、遮断のない静電波モードである、電子バーンスタイン波（ＥＢＷ）へのモード変換に着目している。これを直接的な方法で評価するために、プラズマ中に微小なアンテナを挿入し、電子サイクロトロン波（ＥＣＷ）電場の空間構造を計測している。後進波、短波長というＥＢＷの２つの特徴を持った信号が得られているという実験結果について報告された。この研究においても非平衡プラズマを内包した高速プラズマ流の存在が重要であるとの報告があった。

金沢大学自然科学研究科の上杉喜彦氏からは、SIT インバータを用いた高周波電源を利用して、高気圧条件下での誘導プラズマ生成に関する実験報告がなされた。従来のプラズマ生成法では得られなかった高粒子束の水素プラズマ流と、それに伴って生成された水素原子流の生成が実現可能となり、核融合炉ダイバータにおける非接触プラズマと炭素材料損耗過程解明に応用している例が紹介された。今後は生成されたプラズマ流の温度や密度などのパラメータ計測を進め、粒子流制御手法を確立するとともに炭素材への照射によって発生した炭素ダスト生成機構の解明も行っていくとの報告があった。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）の船木一幸氏と

東海大・工の上野一磨氏からは、次世代の宇宙推進方式である磁気プラズマセイルの実証に向け、磁気セイルおよび磁気プラズマセイルの実験室スケールモデル実験を行った結果について紹介がなされた。磁気セイル実験では、磁場計測と推力測定によりコイル中心から磁気圏境界までの距離が 11cm のときに 0.9N の推力が得られた。また、磁気プラズマセイル実験では磁場計測によって磁気インフレーションによる磁気圏の拡大が確認された。今後、系統的な計測を重ねることで磁気プラズマセイルの特性を明らかにしていく予定との報告がなされた。

また、東工大総理工の窪田健一氏からは、宇宙航行用エンジンとして有望視される磁場印加型 MPD スラスタ性能評価のための計算コードを作成し、放電電流経路や誘導電流、推力の構成について調べた結果について報告がなされた。印加磁場により周方向運動が誘起され、中心軸上での密度の低下によりホール係数が上昇すること、また、誘導電流はホール電流が支配的であることが示された。推力については空力的加速が支配的であるが、入口付近において誘導電流によって減速方向に力を受けており、コイル位置が重要であることが提示され議論が行われた。

さらに、本研究会では大気圧条件下でのプラズマ生成と医療応用に関する報告も行われた。大阪大工学研究科の北野勝久氏からは大気圧下にて簡単に生成可能な LF(Low Frequency)マイクロプラズマジェットの生成と応用に関する研究について紹介がなされた。熱負荷を与える事無くプラズマ活性種を供給でき、ソフトマテリアルをも処理する事が可能であること、特に、“液中プラズマプロセシング”においては、液体そのものや液中溶解物に対する先進的な反応場を提供可能であり、先駆的な応用研究を進めている。

佐賀大工の林　信哉氏からは高周波を用いた酸素プラズマによる滅菌手法について報告があった。環境に対して無害であり、細菌やウイルスに対しては高い殺滅効果のある手法として、酸素プラズマと水蒸気プラズマによる滅菌装置の開発を行っている。酸素ラジカルやOHラジカルの生成を確認し、市販の滅菌器に勝る性能を確認したとの報告がなされた。

これらプラズマ流の基礎と応用に関する多彩な研究について、相互の類似点や相違点などをふまえた議論と、新しい研究テーマの提案に関し、活発な意見交換がなされた。

上記の講演・研究会の参加者は、学内外を含め 50 名以上であった。各講演内容に対して参加者による活発な討論が行われ、理論的、実験的側面ならびに応用についての理解に大きく寄与した。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、プラズマ流に及ぼす中性粒子の効果や核融合プラズマ中における自発的な流れ場の形成と閉じ込めの改善、また同軸放電管によるアークジェットの形成といった自然界や産業応用研究など様々な場で観測されている流れが深く関与するプラズマ物性を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進めることができた。さらに大気圧下でのプラズマジェット形成と液中プラズマ生成や医療応用への展開についても検討を行い共通の認識を深めることが出来たことは、今後の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、流れが深く関与するプラズマ物性の研究は、様々な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] M. Inutake, A. Ando, K. Hattori, et al., " Generation of supersonic plasma flows using an applied-field MPD arcjet and ICRF heating", Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol.49, pp.A121-A134, (2007).

[2] M. Inutake, A. Ando, K. Hattori,et al., "Transonic plasma flow passing through a magnetic mirror", Transactions of Fusion Science and Technology, Vol.51, pp.141-146, (2007).

[3] A.Ando, M.Inutake, K.Hattori, et al., "ICRF heating and plasma acceleration with an open magnetic field for the advanced space thruster", Transactions of Fusion Science and Technology, Vol.51, pp.72-74, (2007).

[4] A.Ando, H.Tobari, M.Shibata, et al., "Plasma flow measurement by Mach probes in GAMMA10", Transactions of Fusion Science and Technology, Vol.51, pp.217-219, (2007).

[5] K. Hattori, Y. Noguchi, A. Ando and M. Inutake, "A Multi-Reflection Type Visible-Laser Interferometer for High Density Plasma Measurements", Plasma and Fusion Research, Vol.2, S1048 pp.1-4,(2007).

[6] K. Hattori, A. Ando and M. Inutake, "Multi-Channel Mmicrowave Reflectometer with Fermi Antenna Receivers", Plasma and Fusion Research, Vol.2, S1039 pp1-4, (2007).

[7] H. Tobari, A. Ando, M. Inutake, K. Hattori, "Characteristics of electromagnetically accelerated plasma flow in an externally-applied magnetic field", Physics of Plasmas, Vol14, 093507 pp.1-10, (2007).

[8] A Ando, T. Hagiwara, Y. Kasashima, et al, "Development of Advanced Plasma Propulsion with ICRF Heating and Magnetic Nozzle", Advances in Applied Plasma Science, Vol.6, pp.97-100, (2007).

第 5 章　　国際会議・シンポジウム等

５．１　通研国際シンポジウム

日中音響学会議 2007

Japan-China Joint Conference on Acoustics（JCA2007）

開催日：平成 19 年 6 月 4 日（月）～ 6 日（水）（3 日間）
開催場所：東北大学青葉記念会館

本会議は，ディジタル時代における「音響学」の今後を 21 世紀の音響学の担い手として重要な地位を占めることが期待されている日中の研究者同士で討議し，今後の方向を探ることを目的として開催されるものであり，これまで，1985 年，2002 年に行われてきた．今回は，2007 年 6 月 4 日～6 日に東北大学青葉記念会館で行われ，日本からは，一般 64 名，学生 23 名，中国側からは，最終的に，一般 20 名，学生 1 名が参加した．

キーノート講演は，日中両国から各 2 件（Prof. Kazushi Yamanaka, Dr. Honglang Li, Prof. Akira Omoto, Prof. Yonghong Yan），スペシャルセッション（招待講演件数）は，(1) 3-D Reproduction/Audio Reality（座長：Prof. Yukio Iwaya, Prof. Xiaodong Li；4 件），(2) Speech Signal Processing/Coding/Enhancement（同：Prof. Masato Akagi, Dr. Jianhua Tao；5 件），(3) Bio Acoustics（同：Prof. Hiroyuki Hachiya, Prof. Zhangcai Long；4 件），(4) Acoustics for Future IT（同：Dr. Shoji Makino, Prof. Jun Yang；4 件）の 4 セッション（計 17 件）を設けた．各講演ではこれまでの研究成果に加え，将来の IT 社会で音響学に期待される役割等まで含めた発表と活発な議論が交わされた．また，両日ともに一般講演のためのポスターセッションを 1 スロットルずつ設けた．初日 30 件，二日目 36 件，合計 66 件（うち中国 14 件）の盛り沢山なセッションとなり，概要講演を含め大変盛況の中に終了した．

また本会議中には，東北大学内の音響学に関連する研究室のラボツアーも行われた．見学は青葉山地区と片平地区と 2 回に分けて行い，青葉山地区は 6 月 4 日にバイオロボティクス専攻和田研究室，材料システム工学専攻山中研究室，電気・通信工学専攻牧野研究室・櫛引研究室，電子工学専攻金井研究室を，片平地区は 6 月 6 日に流体研究所の裘研究室，スーパーコンピュータ室，衝撃波研究センター，電気通信研究所の矢野研究室・鈴木研究室を見学した．参加者は，約 30 名（日本人含む）であった．活発な質疑応答が行われ，参加者も興味を持って見学をしていたようであった．片平地区では，魯迅の階段教室も見学し，特に中国からの参加者にとっては感慨深そうな様子が印象的であった．





国際シンポジウム

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
The 18th International Conference on Algorithmic Learning Theory & The 10th International Conference on Discovery Science

開 催 日：平成 19 年 10 月 1 日（月曜日）～4 日（木曜日）（4 日間）
開催場所：仙台国際センター

電気通信研究所国際シンポジウム，The 18th International Conference on Algorithmic Learning Theory (以下，ALT) & The 10th International Conference on Discovery Science (以下，DS)が上記の日時・場所で開催された．本シンポジウムは，知識発見やデータマイニングの研究を行う発見科学，および，発見科学の基礎として位置づけられるアルゴリズム論的学習理論の両分野の連携と発展を意図して，それぞれの分野で極めて重要な国際会議と考えられている DS と ALT を同時に開催するツインカンファレンスである．過去３年間の開催地は，イタリア・パドバ，シンガポール，スペイン・バルセロナであり，特に ALT にとっては 1997 年以来，10 年ぶりの仙台での開催となる．招待講演 5 件とチュートリアル講演 2 件，一般講演 ALT:25 件，DS：17 件，ポスター講演 DS:10 件が行われ，海外 18 ヶ国からの 51 名を含めて 140 名を越える過去最大規模の参加者の間で活発な議論が繰り広げられた．

なお，本国際会議の論文集は，Springer-Verlag 社の Lecture Notes in Artificial Intelligence シリーズ 第 4754 号(ALT)および第 4755 号(DS)として出版されている．





合同国際会議の会場風景

第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ
The 3rd RIEC International Workshop on Spintronics, Solid-State Quantum Information technology -Spin, Photon, and Superconductivity-

開 催 日：平成 19 年 10 月 31 日（水曜日）～11 月 1 日（木曜日）(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

第 23 回通研国際シンポジウム，The 3rd RIEC International Workshop on Spintronics, Solid-State Quantum Information technology -Spin, Photon, and Superconductivity-（第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ，固体を用いた量子情報技術−スピン，光子，超伝導−，組織委員長：枝松圭一教授，組織委員：中島康治教授，大野英男教授，小坂英男准教授，佐藤茂雄准教授，大野裕三准教授）が，平成 19 年 10 月 31 日，11 月 1 日の二日間にわたり，東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設で開催されました．本ワークショップは，近年目覚ましい進展を遂げている固体を用いた量子情報通信技術に関する分野で活躍する内外の一流研究者をお招きし，その現況と今後の方向性について議論するために企画されました．日本，米国，ドイツ，オランダ，スイス，イスラエルからの 14 名の招待講演者により，各々の分野における最新の研究成果が紹介され，内外からの 68 名の参加者との間で極めて活発な討論と情報交換が行われました．スピン，光，超伝導を用いた量子情報通信技術の分野においては本学の研究グループが世界最先端の研究成果を挙げており，それらのグループと世界の一流研究者との間で分野横断的かつ活発な交流が行われたことも大変有意義な成果でした．本国際シンポジウムの開催にあたり，ご支援を賜った各位に心より感謝申し上げます.

国際シンポジウム

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
3rd International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開催日：平成 19 年 11 月 8 日（木）～9 日（金）（2 日間）
開催場所・主催：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
共催：文部科学省グローバル COE プログラム：「情報エレクトロニクスシステム教育研究拠点」（東北大学電気情報系）

本国際ワークショップは，SiGeC 系IV族半導体材料とその極限ヘテロナノ構造のプロセス技術やデバイス高性能化技術に関する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 H-17/A06「IV 族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究」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活動の一環として開催され，プログラム委員長兼組織委員長として室田淳一教授が，組織委員として庭野道夫教授，櫻庭政夫准教授が参加した．総数 64 名の参加者を迎え，米国，ドイツ，フランス，ベルギーなどの各国拠点代表者（7 ヶ国）による招待講演 17 件とショート＆ポスター講演 20 件の総数 37 件の講演が行われ，活発な討論が行われた．世界の半導体産業の活性化のためにも，本国際ワークショップの開催は重要であり，継続開催（2008 年秋）も決定された．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であろう．本会議の詳細は http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/SiGeC2007/ において公開されている．

招待講演タイトルと講演者のリスト：

1. “Current Topics of SiGe Heterodevices”, E. Kasper (Univ. Stuttgart)
2. “Base Doping and Dopant Profile Control of SiGe NPN and PNP HBTs”, B. Tillack (IHP)
3. “N type dopant control in PNP HBT base layers”, R. Loo (IMEC)
4. “ArF-Excimer Laser Assisted Processing of Group IV Thin Film Semiconductors: From Amorphous Hydrogenated Films to Heteroepitaxial Alloys”, S. Chiussi (Univ. Vigo)
5. “Influence of SGOI Crystal Quality on Device Characteristics in Strained Si MOSFETs”, N. Sugiyama (MIRAI –ASET)
6. “Si Bicrystal Structures for Multijunction Single-Electron Devices”, M. Tabe (Shizuoka Univ.)
7. “Novel-Functional Single-Electron Device Using Nanodot Array and Multiple Input Gates”, Y. Takahashi (Hokkaido Univ,)
8. “Instability of a SiGe/Si-Hetero-Interface in Hetero-Channel MOSFETs Due to Joule Heating”, T. Tsuchiya (Shimane Univ.)
9. “On the control of GeO_2/Ge and metal/Ge interfaces”, A. Toriumi (Univ. Tokyo)
10. “Structure and Growth of Tensile Strained Ge by Lattice Mismatch Engineering”, E.A. Fitzgerald (MIT)
11. “Substrate Parasitic Coupling in SOI Devices: Engineering Solutions”, J.-P. Raskin (Univ. Catholique de Louvain)
12. “Si(Ge):Mn based materials for Spintronic Applications”, V. Le Thanh (CRMCN-CNRS)
13. “MBE Growth of SiGe with High Ge Content for Optical Applications”, M. Oehme (Univ. Stuttgart)
14. “Reduced Self-Heating by Strained Silicon Substrate Engineering”, A. O'Neill (Newcastle Univ.)
15. “Group-IV Semiconductor Heterostructures for Strained Nanoscale Transistors”, Y.-C. Yeo (National Univ. Singapore)
16. “Electron Charging and Discharging Characteristics of Si-Based Quantum Dots and Their Application of Floating Gate MOS Memories”, S. Miyazaki (Hiroshima Univ.)
17. “Growth and Characterization of Tensile-Strained Ge Layers on Strain Relaxed $Ge_{1-x}Sn_x$ Buffer Layers”, O. Nakatsuka (Nagoya Univ.)

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
International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

開 催 日：平成 19 年 11 月 21 日（水曜日）～22 日（木曜日）（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

本ワークショップは、ナノ構造作製技術やそのナノ構造体の特性評価、ならびに、そのナノ構造を用いたデバイス応用へのアプローチ・課題に関する最近の進展・動向についての議論・討論を目的として企画され、平成 19 年 11 月 21、22 日の 2 日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設にて開催された。海外(ドイツ、アメリカ、中国)から 5 名、日本から 4 名の招待講演者及び、7 名の一般講演者によって、実験や結果など、ナノ構造体やその応用についての最新の研究成果が紹介された。特に、海外からの招待講演者については、40 分もの長時間の講演時間が割かれ、通常では得られない詳細な研究成果についての議論がなされた。また、その内容は、酸化チタンナノチューブや、ポーラスシリコン、カーボンナノチューブというように多岐にわたっており、様々なナノ構造体やその応用の可能性について議論された。参加人数は、57 名を数え、活発で有意義な討論及び情報交換が行われた。





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での討論の風景

国際シンポジウム

第 18 回アルゴリズムと計算に関する国際会議
The 18th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC '07)

開 催 日：平成 19 年 12 月 17 日（月）～19 日（水）（3 日間）
開催場所：仙台エクセルホテル東急

国際会議 ISAAC '07 は 2007 年 12 月 17 日から 19 日までの 3 日間，仙台市のエクセルホテル東急で開催され，190 人の参加登録者（うち 58 人が学生登録者）による活発な研究交流が行われた．

本会議は高い評価を得ている国際会議シリーズであり，今回の 77 件の一般講演（40 カ国 220 件の投稿から査読により採録）と 2 件の特別講演は，いずれもアルゴリズムと計算理論の最先端に関する優れたものであった．

招待講演では，Pankaj Aggarwal 氏（Duke 大学）が，計算幾何学を用いた地球規模での地理データベース構築，更に地球環境問題への取り組みのための知識抽出に関する研究を紹介し，計算幾何学を中心とした計算理論の社会へのインパクトを示した．また，Robin Thomas 氏（Georgia 工科大学）は，4 色問題を拡張した彩色問題の最前線を非常に明快に紹介した． この 2 件の招待講演はスケールの上でも，講演の明瞭さにおいても非常に秀でたものであった．

一般講演では，ビットプローブモデルを用いたデータ符号化理論に関する Rhaman 氏と Ian Munro 氏の論文が最優秀論文賞を受け，また，行列式とパフ式の組み合わせ的高速計算に関する Urbanska 氏，ネットワークでの情報伝達とランダムウォークの収束時間との関係を示した Sauerwald 氏の論文が優秀学生論文賞を受けた．論文集は Springer 社の Lecture Notes in Computer Science の Volume 4835 として出版されている．

日本の研究者も多数参加し，主に若手の研究者による登壇発表で，優れた成果報告が行われた．また，会議に参加した若手研究者たちは，会議場のみでは足らず，夜を徹して国際的な友好を深めていたようであり，海外の研究者たちは，日本の若手研究者の活発かつ積極的な交流態度に非常に感銘を受けていた．

第 18 回 ISAAC を仙台で開催し，論文集を Springer-Verlag 社の Lecture Notes in Computer Science の 1 冊として発行したことにより，アルゴリズムに関する研究成果を公表するとともに，研究者の交流をはかった．ISAAC '07 の開催により，ネットワーク，グラフ，幾何データなどに関するアルゴリズムばかりではなく，Web での情報検索，移動通信の周波数帯域割当などに応用されるアルゴリズムの発展が期待できる．東北大学電気通信研究所が共催することにより，研究所の存在を世界にアピールすることができた．

５．２　国際会議等の開催状況

第５回　Si エピタキシー＆ヘテロ構造国際会議
5th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures（ICSI-5）

開催日：平成 19 年 5 月 20 日～25 日（6 日間）
開催場所：マルセイユ（フランス）

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。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは室田淳一教授（組織委員）と櫻庭准教授（招待講演者）が参加し、全参加者は約 220 名であった。基調講演 1 件及び招待講演 38 件の他、一般口頭発表 59 件とポスター発表 137 件が行われ、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 の特集号として出版予定である。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、すでに次回の継続開催（2009 年春、UCLA）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。本会議の詳細は http://www.crmcn.univ-mrs.fr/icsi-5/ において公開されている。

国際会議等

第２回移動知国際シンポジウム in 淡路

(2nd International Symposium on Mobiligence, July 18-20, 2007, Awaji, Japan)

開催日：平成 19 年７月 18～20 日（3 日間）
開催場所：兵庫県立淡路夢舞台国際会議場

文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究「移動知」に関する第２回国際シンポジウムを、兵庫県淡路市夢舞台国際会議場において、平成 19 年 7 月 18 日～20 日に開催した。われわれ人間は、未知の環境においても適応的に行動することができる。全ての動物は、さまざまな形態の移動行動、リーチング、捕獲などの腕・手の動作行動、他の個体に対する社会行動などを、複雑多様な環境において適応的に行うことができる。これらの機能は、動物が生存する上で最も基本的で必須な知的機能（生存脳機能）であり、我々はこれを「移動知」“Mobiligence”と呼ぶ。

このような適応的行動発現機能は、脳疾患によって損なわれることが知られている。パーキンソン病は、典型的な適応的運動機能障害の例であり、うつ病や自閉症も社会的な適応機能障害であると考えることができる。近年、高齢化や社会的環境変化によって、適応的行動発現機能に障害を持つ人の割合が急激に増加しており、これらに対する取り組みが急務となっている。しかしながら、このような適応的行動がどのようなメカニズムで発現するかについてはほとんど明らかになっていない。移動知研究は、まさにこのような生物の適応的行動がどのようなメカニズムで発現するのかを解明することを目的としている。

本シンポジウムでは、移動知における「環境適応」「身体適応」「社会適応」「共通原理」に関する最新の研究成果を発表するとともに、国内外の研究者との活発な議論を行った。シンポジウムでは、招待講演４件、口頭発表１２件、ポスター発表５８件が行われた。

国際会議等

第５回　ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議
5th ECS Int. Symp. on ULSI Process Integration

開催日：平成 19 年 10 月 7 日～12 日（6 日間）
開催場所：ワシントン DC（米国）

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。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは室田淳一教授（組織委員、招待講演者）と櫻庭准教授（招待講演者）が参加し，全参加者は約 90 名であった。基調講演 3 件及び招待講演 28 件の他，一般講演・ポスター発表 20 件が行われ，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，上記発表のうち 45 件が学術論文としてまとめられ、その論文集は 2007 年 10 月に学術論文誌 ECS Transaction (Vol.11, No.6, 2007) 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。

国際会議等

第 8 回垂直磁気記録国際会議

The 8_{th} Perpendicular Magnetic Recording Conference

開催日：平成 19 年 10 月 15 日（月）～17 日（水）（３日間）
開催場所：東京国際フォーラム

第 8 回垂直磁気記録国際会議 (PMRC2007)が平成 19 年 10 月 15 日（月）～17 日（水）の日程で東京都有楽町東京国際フォーラムホール B7 を会場に開催された。村岡裕明教授が事務局長を務め、情報ストレージシステム研究部門が事務局を構成して本国際会議を主体的に運営した。

本垂直磁気記録国際会議は第 1 回を 1989 年東京で開催して以来ほぼ 3 年ごとに開催されており、2004 年の仙台に引き続いて昨年度で第 8 回目を迎えている。主催は日本学術振興会磁気記録第 144 委員会と日本応用磁気学会、協賛は東北工業大学、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、情報ストレージ研究推進機構(SRC)、IEEE Magnetics Society である。参加者数は 321 名であり、うち海外から 10 カ国 90 名（アメリカから 53 名）が参加した。

今回の PMRC は垂直磁気記録が実用化された後に始めて開催される会議であり、これを記念して垂直磁気記録の量産製品の展示が企画され、8 社を数える内外のメーカーから積極的な協力が得られ、垂直 HDD、垂直ヘッド、垂直ディスク等が実際に出展された。

発表件数は 161 件でうち 35 件は招待講演である。16 のテクニカルセッションで、垂直磁気記録の次世代を拓く記録方式の研究や社会への統合を行う展開研究の発表など、多数の重要な報告がなされた。これらの発表は会議終了後に原稿を集めた上学術論文としての査読を経て Journal of Magnetism and Magnetic Materials の特集号として発刊される予定である。

国際会議等

第５回　半導体界面制御国際会議
5th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces（ISCSI-V）

開催日：平成 19 年 11 月 12 日～14 日（3 日間）
開催場所：首都大学東京

本国際会議は、次世代 ULSI プロセスに関連する半導体界面制御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。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは室田淳一教授（プログラム委員長兼組織委員）と櫻庭准教授（実行委員）が参加し、全参加者は約 180 名であった。基調講演 2 件及び招待講演 24 件の他、一般講演・ポスター発表 101 件が行われ、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 2008 年に学術論文誌 Applied Surface Science（Vol.254, No.19, 2008）の特集号として出版済である。今後、この分野の研究が推進されることにより、最先端半導体デバイス材料や次世代 ULSI プロセスの学問分野が大きく展開するであろう。本会議の詳細は http://www.comp.metro-u.ac.jp/iscsi-5/ において公開されている。

国際会議等

センシング・コンピューティング・コミュニケーションと応用に関する国際会合

International Meeting on Emerging VLSI for Sensing/Computing/Communication and Its application

開催日：平成 20 年 2 月 21 日～22 日
開催場所：アメリカ合衆国ハワイ州マウイ島

本国際会合は、VLSI 技術に関連するカナダ・トロント大学等と東北大学グローバル COE の研究者らが集い、それぞれの専門の立場から、情報通信分野用 VLSI 技術およびその応用について研究を紹介し合い、今後の VLSI 技術動向について議論することを目的して開催。会合では VLSI デバイス・回路技術から応用システムに至る分野横断的な海外・国内研究者と会合し、VLSI の各設計階層での最新研究動向とその今後の展望について議論した。具体的には、センサ信号処理応用として「医療モニタリング用集積回路：MedMonIC」研究が K.C.Smith 先生（カナダ・トロント大学・名誉教授）により紹介。生体のインピーダンスを複数箇所で計測して、それらの情報を統合かつ信号処理することで、癌などの遺失物の存在有無や存在場所等を特定する手法であり、従来まではレントゲン撮影に依存していた生体の内部状況を人体へのストレスなし（切開などが不要）で、かつ早期に・簡便に推定できることを示した。応用症例として乳癌の検出事例が示され、手法の精度と人体への低ダメージ（安全性）が強調された。その他、信号処理技術、アナログ回路技術、電力低減化技術、不揮発性ロジック技術などの研究発表が行われ、前述のバイオセンサ応用などを見据えた VLSI 技術の益々の発展が重要であることを改めて認識した。

５．３　工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研　究　会　名	主　　査	幹　　事
1	伝送工学研究会	澤谷邦男　教授	工藤栄亮　准教授
2	音響工学研究会	牧野正三　教授	鈴木基之　助教 宮内良太　助教
3	仙台“プラズマフォーラム”	畠山力三　教授	飯塚　哲　准教授
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	小林直樹　教授	青戸等人　准教授
6	システム制御研究会	吉澤　　誠　教授	渡邉高志　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	松木英敏　教授	島津武仁　准教授 小川智之　助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	川又政征　教授	本間尚文　助教
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　助教
11	ブレイン機能集積工学研究会	中島康治　教授	佐藤茂雄　准教授 早川吉弘　助教
12	情報・数物研究会	田中和之　教授	田中和之　教授
13	生体・生命工学研究会	中尾光之　教授	三浦治己　助教
14	ナノ・スピン工学研究会	大野英男　教授	大野裕三　准教授

伝送工学研究会

主査　澤谷　邦男,　幹事　工藤　栄亮

伝送工学研究会は，電波から光波に亘る電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており，最も長い歴史をもつ研究会である．平成 19 年５月には第５００回を迎え，これを記念して 3 名の講師を招き，光通信，無線通信に関する下記の特別講演会を開催した．

日時：平成 19 年 5 月 22 日(火)　13:00～
場所：東北大学電気・情報系 103 会議室
演題：
1.　室内 MIMO 伝搬路の測定と E-SDM 特性評価への応用
　小川恭孝，大鐘武雄，西村寿彦（北海道大学大学院情報科学研究科）
2.　次世代ブロードバンド移動通信における無線アクセス
　佐和橋衛（武蔵工業大学工学部/NTT ドコモ）
3.　光ファイバ通信技術の研究開発
　鹿田　實（日本電気(株)中央研究所）

また，本年度は９回の定例研究会が開催され，電磁波の放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などに関する最新の研究動向と成果が 31 件報告され，活発な議論が行われた．

音響工学研究会

主査　牧野正三，　幹事　鈴木基之，宮内良太

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。 2007 年度は，主査牧野正三教授，幹事鈴木基之助教，宮内良太助教のもとで，研究会 4 回（第 348 回～第 351 回）と通研講演会 1 回が開催された。会場は，第 349 回が東北大学工学部電子情報システム・応物系 1 号館 451 ・ 453 会議室，その他は全て電気通信研究所 2 号館大会議室で行われた。なお，第 349 回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で，第 350 回は電子情報通信学会HIP研究会との共催で，第 351 回は生体・生命工学研究会と合同で開催された。第 348 回は， 2007 年 7 月 26 日（木）に開催され，研究発表 2 件，参加者は 28 名であった。第 349 回は， 10 月 18 日（木）に開催され，研究発表 3 件，参加者は 48 名であった。第 350 回は， 12 月 6 日（木）， 7 日（金）に開催され，研究発表 30 件，参加者は延べ 106 名であった。第 351 回は， 2008 年 2 月 21 日（木）に開催され，研究発表 6 件，参加者は 41 名であった。通研講演会は， 2007 年 11 月 26 日（月）に Adelbert Bronkhorst 氏 (TNO Human Factors, Soesterberg, Vrije Universiteit Amsterdam) による「Spatiotemporal interactions between audition and vision」という題の講演が開催され，参加者は 35 名であった。

仙台“プラズマフォーラム”

主査　畠山力三，　幹事　飯塚哲

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１９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３回開催。大学院生によるマイクロプラズマ生成，液中プラズマ生成，高速プラズマ流制御，プラズマ推進機の開発，カーボンナノチューブ成長機構解明，新機能性カーボンナノチューブ・フラーレン形成，細管内薄膜形成などの研究発表会を２回開催。国内，国外研究者による大気圧・液中プラズマ生成と応用，バイオ・ナノシステム，イオン液体電解質プラズマ，フラーレン・グラフェン・カーボンナノチューブ，プラズマ閉じ込めと核融合，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２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。

工学研究会

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る。今日では，電気工学分野の研究者と技術者は，なんらかの形でＥＭＣ問題に関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もなく， 1977 年２月に，ＥＭＣ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ると言え，世界にＥＭＣ研究の方向を示し実践してきた。また，ここで討論された先進的な研究は，我が国や世界のＥＭＣ研究において，牽引力の役割を果たしており，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。 2001 年に IEEE のEMC Societyで仙台Chapterが設立され，連携して活動している。

平成 19 年度は，第179回（７月２４日）の研究会を IEEE EMC-S Sendai Chapter Colloquium と共催で開催し，電源線伝導妨害波と薄膜磁界センサに関する講演２件と，IEEE EMC シンポジウム 2007 関する報告１件が行われた。また，本研究会の 30 周年にあたり記念祝賀会を 10 月 25 日に工学部の会場にて電子情報通信学会環境電磁工学研究会と共催で開催し， 77 名の参加者が学内外から集い，この機会に「ＥＭＣ仙台ゼミナール 30 年間の開催記録」をとりまとめて配布した。

コンピュータサイエンス研究会

主査　　小林　直樹，幹事　　青戸　等人

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。２００７年度は第１３３回講演会から第１３７回講演会まで５回の講演会を開催した。

M.M.Syslo 教授（University of Wroclaw）は２頁あるいは３頁の本埋め込みを持つ平面半順序集合の特徴付けを与えるとともに本埋め込みを求める効率的なアルゴリズムについて紹介した。西澤弘毅氏（産総研システム検証センター）は命題様相μ計算の多値クリプキモデルとその相互模倣性について講演を行った。Marco Pistoia 氏（IBM Research）はセキュリティモデルIBACとその一般化について紹介した。Emma Byrne 博士(University of Wales Aberystwyth) は酵母ゲノムから自律的に新たな知識を発見するロボットにおける知能について講演を行った。Andrzej Proskurowski 教授（University of Oregon）はグラフから線への極小歪み埋め込みについて講演を行った。

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　渡邉　高志

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。本年度の活動は下記のとおりである。

１）（通研講演会）大阪工業大学 大学院工学研究科生体医工学専攻教授　大須賀　美恵子　氏（演題：生理心理計測とバーチャルリアリティのウエルネス応用）

２）（講演会）インドネシア セプルーノペンバー工科大学講師　アハマド・アリフィン　氏（演題：Application of Knowledge Engineering Approach and Fuzzy Logic System for Realizing Cycle-to-Cycle Control of Swing Phase of FES Gait）

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

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，その技術革新のためには，20 世紀に高度に発達した電子工学技術と，多様な機能が次々と解明されつつある生化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．このような背景を考慮して，本研究会では，電子工学分野の研究者と，生命科学，バイオテクノロジー分野の研究者が協力して，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た．本年度は，共同プロジェクト研究会を１回開催し，篠原康雄氏の通研講演会，根本知己氏の情報バイオトロニクス研究会を開催した．

[第 1 回]「2 光子顕微鏡によるバイオイメージングの展開と細胞機能の解析への応用」講師：根本知己（生理学研究所・脳機能計測センター),「小脳プルキンエ細胞樹状突起における PKC トランスロケーション伝播の数理モデル」講師：片山統裕（東北大学大学院情報科学研究科),「脳波を用いた Brain-Computer Interface（BCI）の開発」講師：加納慎一郎（東北大学大学院工学研究科),「表面赤外分光法を用いた細胞死のその場観察」山口僚太郎（東北大学大学院工学研究科）

[第 2 回] 共同プロジェクト研究会『ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究』：「半導体化学イメージセンサの高速化と応用」宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科),「固体基板上でのタンパク質分子吸着の選別」荻野俊郎（横浜国立大学大学院),「表面赤外分光法を用いた生体分子反応の水溶液中その場観察」平野愛弓（東北大学電気通信研究所),「銀ナノ微粒子によるプラズモニックナノシートの作製と応用」玉田　薫（東北大学電気通信研究所),「膜表面の水分保持効果算出の試み」星野忠次（千葉大学大学院薬学研究院),「原子ステップ TiO_2(100)表面上の平面リン脂質二重膜」手老龍吾（分子科学研究所）

[第 3 回]【通研講演会】「シトクロムｃはミトコンドリアからどのようにして放出されるのか」講師：篠原康雄（徳島大学・ゲノム機能研究センター）

工学研究会

スピニクス研究会

主査　松木　英敏,　幹事　島津　武仁，小川　智之

スピニクス研究会は、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を創成するために、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野(スピニクス)に携わる研究者間の情報交換と討論の場として 1990 年に発足した。本研究会は、最新の話題に関する招待講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした一般公募による特別研究会を行っている。本年度は他の研究会との協賛も含め、計 8 回の研究会を開催した。第 1 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section と共催し、3 件の講演が行われた。第 2 回、第 3 回、および、第 4 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section に協賛し、第 2 回では F. Faupel 氏 および IEEE 特任講 V. G.. Harris 氏、第 3 回では M. Vazquez 氏、および、第 4 回では M. Bode 氏による講演会を開催した。第５回は一般公募による特別研究会を開催し、秋田大学で 2 日間にわたり 30 件の講演が行われ、88 人の参加を得て盛大に開催された。第 6 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section に協賛し、IEEE 特任講鈴木氏による講演会を開催した。第 7 回、および第 8 回は東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会に協賛し、第 7 回では『放射光を利用した磁性材料研究の新たな展開』と題して SPring-8 中村哲也先生はじめ 3 件の講演が行われ、第 8 回では、『金属ナノ構造体のプラズモニクスとスピンダイナミクス』と題して物材機構武田 良彦先生はじめ 3 件の講演が行われた。本年度の運営は、主査：松木英敏教授（電気・通信）、幹事：島津武仁准教授（通研）、小川智之（特定領域）、企画幹事：山口正洋教授（電気・通信）土井正晶准教授（電子）中村健二助教（電気・通信）菊池伸明助教（多元研）山田洋助教（通研）で行った。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査　川又　政征，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 19 年度は以下の 4 回を開催した。

第 55 回　平成 19 年 9 月 18 日（火）～19 日（水）蔵王ハイツ
　研究発表 6 件

第 58 回　平成 19 年 10 月 22 日（月）青葉記念会館 401（大研修室）
　平成 19 年度情報処理工学セミナーと共催．ポスターセッション 33 件

第 56 回　平成 19 年 11 月 15 日（木）東北大学電気情報館　通研講演会
　演題：「進化的計算に基づくアナログ回路設計支援技術の実用化に向けて」
　講演者：夏井雅典（豊橋技術科学大学）

第 57 回　平成 20 年 3 月 1 日（土）如水会館　カンファレンスルーム
　研究発表 2 件

工学研究会

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

第 51 回

日程：平成 19 年 6 月 21 日（木） 13:00 ～ 14:20

会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系 1 号館 4 階 大会議室

演題：

1.「六方晶系圧電単結晶の高精度音響関連物理定数決定に関する理論的検討」

◎大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一 （東北大学大学院工学研究科）

2.「内皮依存性弛緩反応による橈骨動脈壁応力－ひずみ特性変化の超音波計測」

◎池下和樹，長谷川英之，金井　浩 （東北大学大学院工学研究科）

第 52 回

日時 ： 平成 19 年 7 月 26 日（木） 13:00 ～ 14:20

会場 ： 東北大学工学部電子情報システム・応物系 1 号館 4 階 大会議室

演題：

1.「超音波マイクロスペクトロスコピー技術による ZnO 単結晶の評価法」

◎田中智也，大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一 （東北大学大学院工学研究科）

2.「マイクロバブルの体積振動による発熱効果の数値解析」

◎吉澤晋[1]，梅村晋一郎[1]，松本洋一郎[2]

（1 東北大学大学院工学研究科，2 東京大学大学院工学系研究科）

第 53 回（音響工学研究会共催）

日時 ： 平成 19 年 10 月 18 日（木） 13:00 ～ 15:00

会場 ： 東北大学工学部電子情報システム・応物系 1 号館 4 階 大会議室

演題：

1.「MDCT に基づくオーディオ符号化でのパケットコピーはなぜダメなのか？」

◎伊藤彰則　（東北大学大学院工学研究科）

2.「脈波伝搬に伴う血管壁面せん断応力の変化 －流体－固体連成計算解析－」

◎福井智宏，Kim H. Parker，山口隆美　（東北大学大学院工学研究科）

3.「直線集束ビーム／平面波超音波材料解析システムによる AlN 単結晶の音響関連物理定数決定に関する検討」

◎大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一 （東北大学大学院工学研究科）

Boris M. Epelbaum、Albrecht Winnacker (Univ. Erlangen-Nuremberg)

第 54 回

日時 ： 平成 19 年 11 月 22 日（木） 13:00 ～ 14:20

会場 ： 東北大学工学部電子情報システム・応物系 1 号館 4 階 大会議室

演題：

1.「Bond 法を用いた超精密 X 線回折装置の安定性とその校正関数の検討」
　◎獅子谷卓，荒川元孝，櫛引淳一　（東北大学大学院工学研究科）
2.「超音波 RF 信号のコヒーレンスへの最適閾値設定による心臓壁領域の自動同定」
　◎衣川尚臣，長谷川英之，金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）

第 55 回
日時 ： 平成 19 年 12 月 20 日（木） 13:00 ～ 16:30
会場 ： 東北大学工学部電子情報システム・応物系 1 号館 4 階 大会議室
演題：
1.「超音波により計測された弾性率分布を用いた動脈壁組織分類の最適化の検討」
　◎都築健太郎，長谷川英之，金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）
　　市来正隆　（JR 仙台病院）　手塚文明　（仙台医療センター）
2.「双方向からの超音波加振によるひずみの空間分布計測」
　◎小田切善孝，長谷川英之，金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）
3.「心筋線維の超音波散乱の角度依存性計測」
　◎小野寺鉄平，長谷川英之，金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）
4.「Bond 法を用いた合成ダイヤモンド単結晶の精密格子定数測定」
　◎獅子谷卓，荒川元孝，櫛引淳一　（東北大学大学院工学研究科）
5.「超音波マイクロスペクトロスコピー技術を用いた SiC 単結晶の基礎音響特性評価」
　◎大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一　（東北大学大学院工学研究科）
　　B. M. Epelbaum, A. Winnacker　(University of Erlangen-Nuremberg)

以上

工学研究会

ブレイン機能集積工学研究会

主査　中島　康治，幹事　佐藤　茂雄、早川　吉弘

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 19 年 7 月 6 日、第二回を平成 19 年 12 月 18 日、第三回を平成 20 年 2 月 29 日にそれぞれ開催した。各公演のタイトルと講演者は以下の通りである。第一回：「強誘電体メモリの応用」桝井昇一（東北大）、「電流モード多値集積回路技術　～ポストバイナリCMOS回路とその応用～」松本　敦（東北大）、「 Inverse Function Delayed モデルの情報処理能力」早川吉弘（東北大）。「ブレインウェア、ブレインウェア　～プロセティックデバイスの必要性と方向性～」坂本一寛（東北大）、第二回：「非同期式回路設計技術の現状」米田友洋（国立情報学研究所）、「脳に学ぶロボットの学習と発達」石川眞澄（九工大）、「随意運動から認知行動への神経科学的アプローチ」虫明元（東北大）。第三回：「オンチップ伝達関数補正回路付ＰＬＬ」近藤雅文（富士通研究所）。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・幹事　田中　和之

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５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：井上純一（北海道大学大学院情報科学研究科）“確率的画像修復アルゴリズムの情報処理過程とその統計的性質”、林正人（東北大学大学院情報科学研究科）“量子誤り訂正符号の情報理論的性能評価”、安田宗樹（東北大学大学院情報科学研究科）“複雑な相関をもつ確率モデルに対する統計的近似アルゴリズムの数理とその応用”、森田悟史（東京工業大学大学院理工学研究科）“断熱定理による量子アニーリングの解析”、Valery Van Kerrebroeck (Dipartimento di Fisica, Universita di Roma ‘La Sapienza’) “Cycles in Random graphs”。

生体・生命工学研究会

主査　中尾 光之，　幹事　三浦 治己

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。平成１９年度から主査は矢野雅文から中尾光之に交替した。以下に平成１８年度の活動概要を示す。

第１７回は平成１９年１２月３日(月) に１３時半から１６時半まで工学部電子情報システム・応物系 1-103 会議室にて開催され、東北大学電気通信研究所の塩入諭教授の「運動視、立体視処理の並列性と多様性」と題する特別講演が行われた。ついで独立行政法人科学技術振興機構 ERATO 合原複雑数理モデルプロジェクトの保坂亮介研究員の「スパイク間隔統計と LFP 因果性解析」と題する教育講演が行われた。引き続いて３件の一般発表があった。参加者は３４名であった。第１８回は第３５１回音響工学研究会と共催で平成２０年２月２１日(木)に１３時から１６時半まで電気通信研究所大会議室にて開催され、６件の一般発表があった。参加者は４１名であった。通研講演会は平成２０年２月２７日（水）に１４時から１５時まで電気通信研究所大会議室にて開催され、東北文化学園大学医療福祉学部の長崎浩教授の「日常動作という運動技能」と題する講演が行われた。参加者は１２名であった。いずれの会も広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。

ナノ・スピン工学研究会

主査　大野　英男,　幹事　大野　裕三

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論議することを目的としている。平成 19 年度は以下の講演会を実施した。

第 24 回　平成 19 年 8 月 23 日
「Quantum phase transitions in MnSi, (Sr,Ca)RuO_3, HTSC and frustrated spin systems」
Professor Y. J. Uemura (Physics Department, Columbia University)

第 25 回　平成 19 年 11 月 5 日
「シリコンの結晶異方性エッチング：多様に変化する異方性の評価とエッチングモデル」
佐藤一雄教授（名古屋大学大学院工学研究科）

第 26 回　平成 19 年 11 月 28 日
「Ferromagnetism in insulating GaMnAs」
Professor M. Flatte’ (University of Iowa, USA)
「Spin-caloritronics」
Professor G. E. W. Bauer (TU Delft, The Netherlands)

第 27 回　平成 20 年 1 月 31 日
「半導体ダイヤモンドの高品質化及びデバイス化の研究開発動向」
伊藤利道教授（大阪大学大学院工学研究科）

第 28 回　平成 20 年 1 月 15 日
「Terahertz research at the University of Leeds -from quantum cascade lasers to pulsed broadband spectroscopy」
Professor Edmund Linfield (Institute of Microwaves and Photonics, School of Electronic and Electrical Engineering, University of Leeds, UK)

第 29 回　平成 20 年 2 月 22 日
「アルカンチオール自己組織化単分子膜上における単一 Lu 内包フラーレンの走査トンネル分光マッピング」
安武 裕輔 博士研究員（東京工業大学　理工学研究科　電子物理工学専攻）
「ナノメカニカル特性を利用したナノ粒子・分子デバイス」
真島豊准教授　（東京工業大学　理工学研究科　電子物理工学専攻）

第 30 回　平成 20 年 3 月 14 日
「Pump-probe studies of electron dynamics in quantum wells and superlattices」
Professor Manfred Helm (Research Center Dresden,-Rossendorf, Dresden, Germany)

５．４　通研講演会

Spatiotemporal interactions between audition and vision

アムステルダム自由大学（Vrije Universiteit Amsterdam）
教授　Adelbert Bronkhorst

開 催 日：平成 19 年 11 月 26 日
開催場所：電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室

人間は，複数の感覚器官に同時並列的に入力されたマルチモーダル情報の時空間情報を一つのイベントに起因する情報として統合，もしくは異なるイベントの情報として分離することによって，周囲の環境の時空間様相を効率的かつ効果的に把握している。このような現状を背景として，アムステルダム自由大学の Adelbert Bronkhorst 教授を招聘し，マルチモーダル情報の中核を担う視覚と聴覚における時空間情報の統合過程に関してこれまでの研究経過を概観していただくとともに，視覚の空間認識にクロスモーダル刺激の時間的手がかりが与える影響について，ご講演をいただいた。

講演では，視覚探索の探索時間に聴覚刺激が与える影響についての実験を紹介いただいた。これまでの研究では，視聴覚の空間情報の統合に個々の感覚における空間的な特性が大きく影響することは明らかとなっている。しかし，氏の実験では，ターゲットとなる視覚刺激と時間的に同期した聴覚刺激を提示することで，視覚刺激を用いた空間探索課題の難易度が，空間的な情報を持たない聴覚刺激によっても影響を受けることが明らかとなった。これによって，マルチモーダル情報を統合する際には，個々のイベントの空間的な情報のみでなく空間情報と時間情報とを総合的に解釈することで複数感覚に入力された時空間情報の統合がなされるという興味深い知見が得られた。

通研講演会

カーボンナノチューブの量子伝導とバイオセンサー応用

大阪大学　産業科学研究所　教授　松本 和彦

開 催 日：平成２０年２月２２日（金曜日）１０：３０～１１：３０
開催場所：東北大学大学院工学研究科　電子情報システム・応物系
　　１号館４階　４５１・４５３会議室

カーボンナノチューブは，従来の半導体では得られないような様々な量子伝導特性を示すことが報告されている．本講演では，そのカーボンナノチューブにおいて，コヒーレント伝導とクーロンブロッケード伝導が共存し，かつゲート電圧により特性を制御できることが紹介された．また微細な特長を利用することにより，高感度なバイオセンサーとして応用が可能であることが示され，カーボンナノチューブをFET のチャネルとして用いるタイプと，電気化学反応の電極として用いるタイプの高感度バイオセンサー応用等が紹介された．以上のような最新の研究成果についての講演後に活発な議論が展開された．

室温で動作し10^{-13}Ｔ台の磁界検出分解能を有する薄膜磁界センサ

東北学院大学・工学部・電気情報工学科　准教授　薮上　信

電源線伝導妨害波とその抑圧について

(独)情報通信研究機構・特別招聘研究員（EMC プログラムディレクタ）　杉浦　行

開 催 日：平成１９年７月２４日（火曜日）１３：３０～１６：３０
開催場所：東北大学「片平さくらホール」

薄膜磁界センサは磁界印加に伴う磁性薄膜の透磁率変化を高周波インピーダンス変化として取り出すものである。センサのノイズを抑制しつつ、大きなインピーダンス変化を得るために、共振型の伝送線路構造のセンサデバイスを開発し、室温で動作する薄膜磁界センサとして世界最高の 7.4×10^{-13}Ｔの磁界検出分解能を得た。

電源線伝導妨害波のモード理論に妨害波解析に適した表現を導入し、コモンモード電源線伝導電流の測定系を提案した。電子機器の電源線に装着される EMI 対策用フェライトコアの抑圧効果を推定できる特性評価法を理論的及び実験的に検討した結果、提案した測定系を用い、コアの特性をＳパラメータで表示すべきことを示した。また電子機器の EMI 対策における実装時コアの効果の評価法と，短波帯利用の高速電力線通信における電源線の特性測定と技術基準の作成についても解説した。

学内外から２４名の聴講者があり，講演後に活発な議論が展開された。

通研講演会

ロボットサイエンティストの一般知能と特殊知能

University of Wales Aberystwyth, Emma Byrne

開 催 日：平成 19 年 10 月 17 日（水）15：00～16：00
開催場所：東北大学大学院工学研究科・電子情報システム・応物系 1 号館 451・453 会議室

科学実験と推論・検証のサイクルを通して酵母ゲノムから自律的に新たな知識を発見するロボットを物理的に実現する，ロボットサイエンティストプロジェクトについて概説する．ロボットサイエンティストのこなすべき仕事は，人工知能の機能を要するが，本講演では，汎用知能についての説明と同時に，どの試行を組み合わせるのが実験の効率を向上させるかについての最適化手法を，これまでに得られた成果と併せて紹介する．

生理心理計測とバーチャルリアリティのウエルネス応用

大阪工業大学大学院工学研究科
生体医工学専攻　教授　大須賀　美恵子

開 催 日：平成 19 年 5 月 18 日（金）17：00～18：30
開催場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 103 会議室

生理的計測量に基づいてメンタルワークロードを定量化する技術，仮想環境が生体に与える影響の評価，あるいはバーチャルリアリティを用いた認知症患者のリハビリテーション・システムに関する研究など，生理心理学の感性工学や医療への応用に関する最新の研究成果についての解説が講演され，活発な議論が展開された。

通研講演会

シトクロムｃはミトコンドリアから どのようにして放出されるのか

徳島大学・ゲノム機能研究センター・教授　篠原康雄

開 催 日：平成２０年３月１０日（月）１４：００～１５：００
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設４階４０１号室

ミトコンドリアに Ca^{2+}が蓄積されると、ミトコンドリア内膜の透過性が亢進するとともに、膜間に存在するシトクロムｃが放出される。本講演では篠原グループが取り組んできた、①ミトコンドリア内膜の透過性の亢進とシトクロムｃ放出がどのように関係しているのか、②シトクロムｃが放出される際にどのようなタンパク質がミトコンドリアから漏出しているのか、また③膜にどのような変化が起きているのかという研究に関する成果について紹介が行われた。これらの結果に基づいて、ミトコンドリア研究の現状や、研究手法に関するニーズについて様々な質問がなされ、活発な議論が展開された。

進化的計算に基づくアナログ回路設計支援技術の 実用化に向けて

豊橋技術科学大学　夏井　雅典

開 催 日：平成 19 年 11 月 15 日（木曜日）16:00～17:00
開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系 103 会議室

進化的計算手法とは，自然に学ぶ問題解決を目指す最適化アプローチの一つであり，生物の進化戦略に発想を得た計算手法の総称である．技術の進歩にともなう計算処理能力の飛躍的向上が，本手法の実用的応用を可能にしており，系統的な技術が確立していないような様々な問題におけるブレークスルーとなる可能性を秘めているとして，盛んに研究がなされている．本講演では，講演者が東北大在籍時から継続して研究を進めている進化的計算手法に基づいたアナログ回路設計支援技術に関する基本概念と研究動向を，講演者自身の応用事例を交えて紹介した．

通研講演会

非同期式回路設計技術の現状

国立情報学研究所　教授　米田　友洋

開 催 日：平成 19 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 5 階大会議室

非同期式回路設計は、グローバルなクロックを用いずに回路を設計する技術で、1950年代にはILLIACなどの設計に用いられ1990年代にはいくつかの非同期式プロセッサが設計・試作された。現在主流の同期式回路においては、クロックが高速化するにつれてクロック分配、高消費電力、電磁妨害等のグローバルクロックに起因する問題が大きくなりつつあるが、非同期式回路は、根本的にこのような問題を解決できる可能性を持つ。本講演では、非同期式回路設計の歴史を簡単に振り返るとともに、非同期式回路設計技術が現在どのような形で用いられているかを解説して頂いた。

脳に学ぶロボットの学習と発達

九州工業大学大学院生命体工学研究科　教授　石川　眞澄

開 催 日：平成 19 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 5 階大会議室

真に自律的なロボットの構築には学習や発達を取り入れることが必要であり、とりわけ脳に学ぶ学習や発達が有効であると考えている。本講演では、脳に学ぶロボットの学習例として、小脳の多重内部モデル仮説からヒントを得たモジュールネットワーク型自己組織化マップ（mnSOM）を用いた、センサー信号と制御信号系列に基づくロボットと環境の相互作用の学習について紹介があった。また発達ロボットの例として、外部報酬だけでなく、好奇心・新奇性・生存価値などの内部報酬をも用いた強化学習に基づく発達ロボットについてもご説明頂いた。

通研講演会

随意運動から認知行動への神経科学的アプローチ

東北大学大学院医学系研究科　教授　虫明　元

開 催 日：平成 19 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 5 階大会議室

本講演では、前頭葉の神経生理学的研究を、随意運動と認知行動の観点から紹介頂いた。随意運動に関しては、連続的な動作を視覚情報に基づいた運動と、記憶情報を基づいた運動に分けることで、前頭葉内側の補足運動野、前頭葉外側の運動前野を機能的に分けられこと、さらに随意運動によって様々な認知行動を可能にするような融通性のある行動制御が可能であり、其の機能に前頭前野が深く関わることが解説された。しかし、そのメカニズムを知るにはまだ不明な点も多く、今後の神経科学研究へどのようにアプローチするかの可能性についても議論がなされた。

オンチップ伝達関数補正回路付ＰＬＬ

富士通研究所　近藤　雅文

開 催 日：平成20年2月29日
開催場所：東北大学電気通信研究所２号館セミナールーム（W214）

デジタル家電用システムLSIや、通信機器用システムLSIなどに組み込まれる汎用PLL（位相同期ループ）は、広い入出力周波数範囲で周波数ロックできることが望まれる。これは、それぞれの用途によってカスタムにPLLを設計すると、設計・検証・テストのコストが甚大になってしまうためである。しかしながら、近年の微細CMOSテクノロジでは素子のプロセス・電源電圧・温度（PVT）ばらつきの問題が深刻になり、全PVT条件下でPLLの安定性を保証することが困難なため、PLLの入出力周波数範囲仕様を狭めざるを得なくなっている。そこで本講演では、２つのオンチップデジタル回路によりループ伝達関数をキャリブレーションすることで、全PVT条件下でも安定性が不変となるPLLについて紹介がなされた。

More is different の話

東京工業大学大学院総合理工学研究科　教授 樺島 祥介

開 催 日：平成１９年１０月２４日（水）午後　3:00-4:30
開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系 103 会議室

平成１９年１０月２４日に、標記講演会を開催した。ご講演では、情報統計力学に関する入門的なレヴューから始めて、樺島氏らが最近開発に成功された、確率的情報処理理論に基づく移動体通信における CDMA 復調方式のメカニズムとそこでの情報統計力学的アプローチをわかりやすく説明していただいた。さらに確率的情報処理手法の具体的な個々の問題の解決において物理的視点が大変有効であったことなどを具体的な例を示しながらお話しいただいた。樺島氏は、これまで誤り訂正符号、移動体通信における確率的情報処理手法にスピングラス理論を応用する先駆的研究をされ、世界的に注目を集め、日本 IBM 科学賞(2000 年). 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞(2006 年).久保亮五記念賞(2007 年)を受賞されるなどの高い評価を受けている。現在は、科研費特定領域研究「情報統計力学の深化と展開」(2006 年度～2009 年度)の領域代表をつとめている。講演後には、移動体通信におけるアルゴリズム構築の詳細などについて活発な質疑応答がなされた。

日常動作という運動技能

東北文化学園大学医療福祉学部・教授・長崎浩

開 催 日：平成２０年2月２７日（水）１４時から１５時
開催場所：東北大学電気通信研究所　２号館４階大会議室

人間の動作は同一の運動課題を多様な運動パターンで遂行できるという点で柔軟性を有しているが、日常の作業空間では特定の運動パターンを使用しているという点で定型性をも有していると言える。この両面に日常動作の運動技能としての卓越性がある。こうした観点を踏まえ、講演では、日常基本動作の定型的パターンを運動軌道と関節運動のレベルで例示して頂いた。また可能な運動パターンからこれら特定のパターンが選択される理由を、各レベルで最適化原理が働く結果として説明して頂いた。広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、生物、特に人の運動制御の原理について活発な議論がなされた。

第 6 章　　評価と分析

６．１　運　営　協　議　会　報　告

第２３回東北大学電気通信研究所運営協議会

日　時：２００７年１２月　６　日（水）午後１時３０分～午後５時００分
場　所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟５階大会議室
出　席　者：青　木　利　晴（株式会社　ＮＴＴデータ　取締役相談役）
青　野　正　和（独立行政法人　物質・材料研究機構　フェロー）
有　信　睦　弘（株式会社　東芝　執行役常務　研究開発センター所長）
片　桐　　滋（同志社大学　工学部　教授）
小　林　直　人（独立行政法人　産業技術総合研究所　理事）
谷　岡　健　吉（ＮＨＫ　放送技術研究所長）
横　山　直　樹（株式会社　富士通研究所　フェロー兼ナノテクノロジー研究センター長）
吉　田　　博（大阪大学　産業科学研究所　教授）
澤　谷　邦　男（東北大学　工学研究科　教授　（内田研究科長　代理））
佐々木　公　明（東北大学　大学院情報科学研究科長）
中　嶋　一　雄（東北大学　金属材料研究所長）
齋　藤　文　良（東北大学　多元物質科学研究所長）
木　下　哲　男（東北大学　情報シナジーセンター　教授　（川添センター長　代理））
根　元　義　章（東北大学　大学院情報科学研究科　教授）
通研出席者：矢　野　雅　文（教授）所長
庭　野　道　夫（教授）副研究所長
鈴　木　陽　一（教授）副研究所長
大　野　英　男（教授）ナノ・スピン実験施設長
中　島　康　治（教授）ブレインウェア実験施設長
坪　内　和　夫（教授）２１世紀情報通信研究開発センター長

外山芳人、村岡裕明、羽生貴弘、白井正文、枝松圭一、沼澤潤二、塩入諭、
大堀　淳、上原洋一、高木　直、古西　真、桝井昇一、玉田　薫の各教授

議　　事
１．　当面する研究所の課題について
（１）研究所の活動全般について
①　沿革について
②　理念・目的・目標について
③　研究体制・組織について
④　研究員、支援職員数等について
⑤　教員の充足率、年齢構成について
⑥　学生数・学生の進路について

⑦　予算、外部資金受入状況について
⑧　共同プロジェクト研究の予算等について
⑨　特許・知財について
⑩　青葉山新キャンパスへの移転計画について

２．　トピックス

（１）『高信頼プログラミング言語ＳＭＬ＃の開発』について

大堀教授から、『高信頼プログラミング言語ＳＭＬ＃の開発』について説明があった。

（２）『量子もつれ光子と量子情報通信技術』について

枝松教授から、『量子もつれ光子と量子情報通信技術』について説明があった。

３．　前回運営協議会における主な意見について

４．　自己評価について

５．　共同利用研究所のあり方について

６．　リエゾンプログラムについて

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●大学院生の推移が平成１９年度、特に博士課程後期の学生数が減っているが、景気がよくなったという理由かもしれない。留学生も余り増えていないようだが、むしろ留学生に対していろいろな手を打ち、優秀な学生が外国から来ることも有効なのではないか。

●企業の立場から考えると、博士課程修了者の受け入れを増やすというのもいいが、やはり全体での議論になっているような気がする。全体の議論と個別の議論が一緒になっているのではないか。例えば通研にだけ優秀な研究者を集めるような施策をとり、優秀な研究者が育てば、彼らが就職口に困るということは基本的にはないのではないだろうか。

●アメリカのPh.Dの学生が、使い方に困るという話をアメリカの企業がしている例はほとんどなく、なぜ日本のPh.Dだけがそういうことを言われてしまうかということについて、ぜひ、検討いただきたい。

●新しい教員制度が今年度からスタートして、助教でも法的には独立したような形をとり得るようになったが、その辺をどうお考えか。

●研究独法として考えているのは、任期付き研究員について、今年度からの１つの試みだが、大学等に出ていくだけではなくて、産業界に出ていくように、我々が教育をするということをやろうと思っている。大学から直に産業界に行くのではなくて、研究独法を経て、そこでさらに研さんして産業に行くというトータルキャリアパスを考えている。そうすることによって、より研究者の方も将来的な展望が見えるようにできればいいのではないか。

●産業界の方では最近結構流動性というか、昔のように新入社員で入ってきた人たちをそのまま育てる以外に、中途採用というような形で入ってくる人たちの比率が非常に高くなっていると思う。通年の社員採用が原則で、新卒社員の採用はある意味ではプラスアルファという方向に動こうという、原理的にはそういう方向に動いている。

けれども、現実に通年採用をやってみると、なかなかいい人が来ない。この「いい人」というのは、会社にとって都合のいい人と、レベル的に優秀な人と、両方の意味があるの

だが、そういう意味でなかなか適性が合わないというケースがあり、通年採用の数が現実には進んでいないというのが、今の現状だ。

●実際に競争そのものはかなり厳しくなってきているので、自分のところだけで新しい分野や次の境界領域など、自分のところに無い部分を育てている時間がない。しかもどんどん展開をしなければいけない。次々に新しいものが出てくる。結局、状況・経済環境が随分変わってきている。そういう意味では流動性はこれからどんどん高くなっていくと思う。したがって、もう少し育成の教育を強める必要があると思う。

●例えば極端なことを言うと、二、三年前までは今のような状況になるとは誰も想像していない。日本じゅう想像していないから人材の手当てが何もできていない。ところが、こういう状況になると、すぐ技術者が足りないという話になってくる。そういう意味では流動性はこれからどんどん高くなっていくと思う。したがって、優秀な人を育てるというか、研究の中で人をきちんと育成していくプロセスというのが、単純に自分の手足として使うような研究者の使い方ではなくて、もう少し育成をする意味の視点、あるいは教育をするという意味の視点を強める、そういう方向で人を育てていく必要があるのではないだろうか。

●研究第一主義というと、たまに非常に狭い分野の専門家になってしまう可能性もあるのではないか。企業に入ると、仮に博士課程を出ても、同じ分野で１０年間やれることがあまりないような気がする。そうすると、研究基礎力が本当にあるかどうか、そこが問題ではなのではないか。

●ある分野で非常に短い期間に、例えば論文の数をある程度出さないと博士号が取れませんというようなことを行った場合、研究の入り口にいる若い人たちはどうしても結果が出やすいところで短期的に走り回らなければいけなくなってしまう。

　それが果たして１０年後、２０年後にその人が本当に研究者として産業界で活躍できるかというと、必ずしもそれは良いことではないのではないかというような感じを若干持っている。

●マスター卒といっても、最近それほど高いレベルでない方が多くなっていて、企業としては課題を見つけてそれを解決する能力を持った人が欲しい。ドクターコースでしっかりと仕込まれた人がこれから必要になってくるのではないか。

　そういった意味では、やはり単に学位を取るだけの、あるいは近視眼的なテーマではなく、その人の能力を向上させるようなテーマを選んだ方が、これから企業からも求められるのではないか。

●博士課程の人に望むことは、２つあると思う。１つはやはり専門家として、研究者として非常に優れていること。もう１つ重要なことは、リーダーになって欲しいこと。企業には大きなプロジェクトがたくさんあるので、研究のいろいろなプロジェクトをつくって新しいテーマを生み出し、指導したり、あるいは推進していく、そういうリーダーになって欲しい。

●経団連と文科省で、各大学の研究室と企業とで共同で人材を育成する長期インターンシップが行われ、いい結果が得られている。意外だったのは人文社会系でもかなり効果があった。

●インターンシップについて、企業サイドは、短期だと実は、手間がかかるばかりで、企業としては何も良いことがない。できるだけ大学と企業でお互いに協力して、長期のインターンシップを検討いただきたい。

●私が研究所にいた頃は、外部の技術の先生や研究員を受け入れる制度をつくり、結構外国からたくさん来られた。日本から１人も来られない。企業から先生になられる方は結構おられるが、大学を卒業してそのまま先生になられた方も、１年ぐらいは企業で経験をされてもいいのではないか。

●サイテーションについて、国内の大学との比較が行われているが、やはりベンチマークをやる時は世界のトップのところとベンチマークをやらないと意味がないのではないか。

●国際的な評価の手法に、ネットワークアナリシスというのがあり、例えば論文を著者がどういう期間に、どういうネットワークで作っているかというのを調べる。特にＥＵなどではフレームワークプログラム６とか７とか、それが評価の対象になっている。
今後、ネットワークアナリシスを行われると良いのではないか。

●最先端の研究を非常に高レベルで行っていると、現場の方々、特に若い方々は大変なストレス、競争の環境に置かれているのではないかと思う。そのような時に、例えば人的な摩擦とか、あるいは病気とか、そういった負の側面対しての対応はどのようにお考えか。

●人材育成について、諸外国と比べ、日本の若い人は何かちょっと物足りないなということ、基本的には人間力の差だと私は思っている。これは大きく文化によるものだが、私の経験では、比較的高い確率で成功する例は、外国に１、２年送るということだ。

●若い人の研究者の育成という視点では、私はどうしても国際教育を見てしまうが、３カ月送れるなら、ぜひ１年間、４シーズンを経験させるぐらいの期間を行かせてあげないと国際経験にならないのではないか。

●企業の研究者で社会人ドクターコースを受ける場合は、首都圏の企業人は、東京の大学ならドクターコースの論文以外に必要な単位を取りやすいが、地方だとなかなかそれを取りに行くのが難しいのは事実です。もちろん会社を休職して行ければ一番いいが。企業の方も研究者にドクターをもし取れるなら、レベルの高い大学で取らせたいと思っているところはたくさんあります。今後は受け皿を工夫し、受け入れに積極的になっていただきたい。

●全国の共同利用研や附置研の改組というか、存在そのものを疑う議論が始まって、これはまさに別の意味ではある意味でチャンスだと思う。例えば関西と関東と東北の大学で全国共同利用研みたいなところが中心になってネットワーク型の共同研究拠点をつくる方法もあるのではないか。

●国際化というのは文科省から奨励されているが、基礎研究の分野では良いが、その研究が進んで、実用化に来た場合には、少し矛盾が出てくるところがある。
　文科省と違って、経産省とかＮＥＤＯといったところは、国の金で研究した技術はなるべく国で使ってほしいというような意見もあり、例えば、我々が開発した実用に近い技術を企業に移転する場合、企業の考え方と異なることがある。技術を移転する場合に、国際的な展開に対してどう考えるかというのは問題となってくると思う。

●さきほど、文部科学省の側を見ているというご発言があったが、東北大学はどちらかというと、文部科学省のメッセージを余りうまく読み取ってないのではないか。もう少しうまい

読み方をすべきだと思う。

国としては、文部科学省や、経済産業省、ほかの省庁もそうだが、ビジョンを出す。そのビジョンの受け皿がすべて大学であるということは無いと思う。

大学としては、大学の方針というものがそもそもあって、国のビジョンの中である部分を自分のモチベーションでやるという意思を法人としてきっちり持つべきだと思っている。そこまでは大学の役割だ、ということはキチンと議論されるべきだと思う。

●今、標準化提案、国際的な標準化提案を行っているが、国際標準を取ろうと思うと、かなりのお金を使う。そこでボーティングのライトをとるために、学会に年間数回は少なくとも海外に行かなければいけない。そうしないとボーティングライトが無いという現実になれば、電気通信研究所のアウトプットをうまく生かして、それで我が国の産業界に使っていただこうと思っても、そのための投資が足りなければならない。

そうすると、それが我々に求められているのだったら、文部科学省なり経済産業省なり、総務省かもしれませんが、それに対してそういう支援制度を作ってくださいというメッセージを出していかないと、多分、国としてもそこが足りないのだということに気づかないと思う。まず大学として、どこまでのことをしていくのかという議論をきっちりしないといけなくて、常に大学というのは、国全体のすべての大学を支えるわけではない。そこをキチンと議論した上で、大学はここまでしますと、これに対して、あるものは国、あるものは産業界、それに対してこういう投資をしてくれたら、その見返りを返しますということが議論されていかなければいけないとの感じを持っている。

●ソフト系について、今日ご説明いただいたＳＭＬ＃のような、本当に理論から実際に物をつくろうというところまで非常に踏み込んだ研究をされている。この辺をぜひ上手にアピールしていただければと思った。先ほどの国際化とも関係するが、世界に広めるということが、必ずしも日本は得意ではない。

どうも今の世の中に使われているソフトウェアは、必ずしも専門家、ある仕掛けをやって、それがうまく成就して広まったのではないなと、もう少し何か別のものがあったような気もしていて、その辺をうまく工夫すると本当に世界じゅうに広がるのではないかなと思う。

第７期委員長のまとめ

本日の意見を集約すると、最初にドクターの教育と、産業界との関係のあり方について、議論があり、特に大学院の教育について、産業界のニーズをよく調べながら行っていただきたい旨意見があった。また、外部資金について、特に若い研究者が応募したり、受かるようにするためのインセンティブが必要ではないかという意見があった。

次に、前回の我々の運営協議会のサジェスチョンに対してその後どう進めたかということについて報告があり、我々が指摘した事項についてはそれぞれ着々と手を打っていることが理解できた。

それから、自己評価について、各研究プロジェクト、人材育成、表彰及びサイテーションにおける研究のレベルがいかに高いか、共同プロジェクトの展開、新しい人事制度、産学コミュニティーの整備等々、それぞれについてすばらしい進展がなされ、自己評価として

も正当である、適切であると全体としては言えると思う。

その他の各項目についても、いろいろ意見交換を行った。まず人材育成、先ほどのドクターコースのことに関連して、大学から産業界への交流、キャリアアップの手段として今後大いに交流すべきであるとの意見があった。それから、ドクターの教育が研究第一主義に偏っているのではないかとの疑問。企業と共同で人材育成をしていくということが望ましく、例えばインターンシップなど、企業のテーマと大学での研究のテーマをどうやって合わせるかなどについて、意見交換を行った。

さて、自己評価についての意見として、まずマネジメント上の工夫と、具体的に工夫したためにどれだけ成果が上がったことの関係がはっきりしてない、定性的な言い方が多くて、もう少しいろいろ定量的なことも言えるかもしれない。そして、定量的な評価に関連してのいろいろ具体的な意見があった。特にサイテーションだけでなくて、論文を分析して、その研究がいかに他のネットワークのハブになっているか、中心になっているかということが重要である、そのような方面からの評価もできるのではないかという意見があった。

それから、人材育成に関連し、精神的（メンタル）ないろいろな問題などが起きることについて支援が必要であること。

また、一般的に外国との共同研究を進めていくことは良いのだけれど、人材育成から見ると、特に若手研究者に対して、外国に研究に出るとか、あるいは外国に行って発表を行うことは非常にプラスであるというような意見があった。

共同研究プロジェクトとしての、研究のあり方について、関東・関西・東北など、他の地域の研究拠点とのネットワーク的な連携によって新しいもっと大きな研究の推進ができるのではないかとの意見もあった。

それから、青葉山への研究所移転について、外部研究者等が宿泊して議論できる環境づくりの提案や、学生に対して教育特区的な考え方の提案等、さまざまな施策が今後可能ではないかとの意見があった。

共同研究の拠点について、全国的・国際的な視点の外、地域への貢献、特に東北地方でのさまざまな産業との連携・援助も、もっと促進していいのではないか。また、実施していることをもっと宣伝してもいいのではないか。

また、共同研究を行うに当たり、基礎からだんだん実用化の方向に進展していくと、特に外国との共同を行っている場合、権利関係や進め方について検討する必要が生じてくる。しかしながら、一方では外国人の研究者の在籍が、世界的レベルの研究所にしては少ないのではないかという意見もあった。

最後に、ソフトウェアの研究は先端的なすばらしい研究だが、デファクト化というか、使用されるための戦略的について、いろいろ検討する必要があるものと思われます。

我々も勉強になったと思う。通研の今後のご発展をお祈りし、終わりにしたい。

６．２　過去の運営協議会委員名簿（外部者のみ）

委　員　名	任期（年度）
相　磯　秀　夫	1998～1999
青　木　利　晴	2004～現在
青　野　正　和	2007～現在
浅　井　彰二郎	2000～2003
浅　見　　徹	2004～2005
甘　利　俊　一	1996～2001
有　信　睦　弘	2004～現在
飯　島　澄　男	2002～2003
飯　田　尚　志	2000
伊　賀　健　一	2004～現在
池　上　徹　彦	1996～1999
池　上　英　雄	1996～1999
池　田　克　夫	2000
石　井　健一郎	2002
伊　藤　龍　男	2000～2001
今　井　秀　孝	2001
植之原　道　行	1994～1999
宇理須　恆　雄	1994～1995
榎　並　和　雅	2004～2005
大須賀　節　雄	1996～1999
大　槻　幹　雄	1994～1995
大　星　公　二	2000
大　森　慎　吾	2006～現在
岡　部　洋　一	2002～2003
笠　見　昭　信	2000～2001
梶　村　皓　二	1998～1999
片　桐　　滋	2005～現在
児　玉　皓　雄	2000
後　藤　俊　夫	2002～2003
古　濱　洋　治	1995～1997
小　林　直　人	2004～現在
坂　内　正　夫	2000～2001 2006～現在
榊　　裕　之	2004～現在
塩　見　　正	2001～2005
下　澤　楯　夫	2002～2003
進　藤　秀　一	2000～2001
管　村　　昇	2003～2004
武　市　正　人	2004～現在
田　中　英　彦	1994～1995

委　員　名	任期(年度)
谷　岡　健　吉	2006～現在
谷　口　健　一	2001～2003
田　村　浩一郎	1995～1997
東海林　惠二郎	1994～1997
中　村　道　治	1996～1999
長　尾　　眞	1994～1997
平　石　次　郎	1994
廣　田　榮　治	1996～1999
三　宅　　誠	2002～2003
山　崎　　攻	2000～2001
山　田　　宰	2000～2001
山　田　敏　之	1998～1999
横　山　直　樹	2002～現在
吉　田　　博	2007～現在
吉　村　和　幸	1994
渡　辺　久　恒	2000～2003

第 7 章　結　言

結語

最近アジアで立て続けに大災害が襲った。一つはミャンマーのサイクロンによる被災ですし、もう一つは中国四川省で起こった大地震です。二つの災害とも信じられないほどの被害者を出してしまいました。前者はエネルギーや工業生産物を無制限に使ったことが地球温暖化を引き起こしてしまい、地球温暖化の影響によって巨大サイクロンが発生するようになって被害が大きくなったと言われている。後者は家屋やビルディングに対して適切な耐震対策が施されて無かったために、多くの倒壊により莫大な被害者が生じてしまったと報じられている。現在の科学技術ではこれらの災害を未然に防ぐことは出来ませんが、被害を減少させることは出来ます。残念なことに、近代の科学技術は必ずしも被害を最小化するようには用いられていません。これを機会に科学技術はどのように用いられるべきかをもう一度問い直す必要があるでしょう。

情報科学や情報通信技術に対しても同じことがおきています。情報科学や情報通信技術が世界のグローバル化もたらし、それが結果的に人間の行動様式や社会構造までを変化させてしまっています。進歩した情報通信技術は確かに便利かもしれませんが、デジタルデバイドと呼ばれる情報機器を使える人と使えない人のいる格差社会が出現したり、コミュニケーションがうまく出来ない自閉的な人間を作ったり、また新たな犯罪を生んだりしているという負の側面も見逃すことが出来ません。しばしば科学技術は善悪からは中立で、善悪自体は使う側の人間の問題であると言われます。しかし、科学技術が負の側面を生じさせることが分かったら、使い方を変えるか又は問題に打ち勝つような科学技術を発達させることで解決することが求められています。科学技術は常に人間生活を適切に支援するために発展するものでなくてはならないのですから。

私たちは「東北大学電気通信研究所がどのようにあるべきか」と言う理念を平成１３年に定め直しました。理念として「人類社会の持続的な発展は人と人との自在なコミュニケーションが保証されて初めて達成される。私たち電気通信研究所のスタッフは情報科学と情報通信技術の研究を強力に推進することによって、我が国の繁栄と発展に寄与し，さらに広く人類の文化と福祉に貢献する」こととしました。研究所のすべてのスタッフは日本の情報システムと情報通信システムに責任があり、私たち一人一人の研究活動は社会的に認められなければなりません。もちろん学問の自由は各研究者の権利で、どのように研究するかは研究者に任されています。したがって、各研究者はこの権利の見返りに自分の研究に対する説明責任があります。この責任を果たすために、私たちは今何を研究しており、将来の情報科学と情報通信はどのようになるだろうと言うことを皆様に示して理解して頂く必要があります。この年報は私たちの日々の研究活動を著していますので、皆様方の率直なご批判を頂ければと思います。

資　料　編

第１章　予算の概要

本研究所の予算の概要

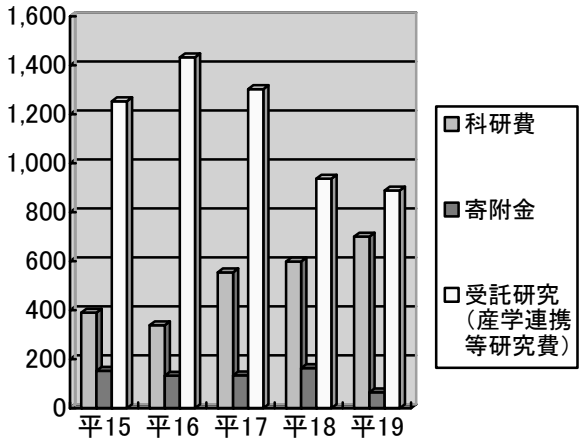
単位：千円

	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度
人　件　費	1,108,605	902,978	984,113	971,482	970,961
物　件　費	942,357	1,233,357	1,050,647	927,090	813,724
寄　附　金	152,682	132,530	134,002	163,591	64,818
共同利用研究施設運営費	37,435	37,138	37,309	35,893	35,833
施設整備費	0	235,000	0	0	0
その他物件費	752,240	828,689	879,336	727,606	713,073
産学連携等研究費	1,253,283	1,432,607	1,303,028	937,441	888,833
計	3,304,245	3,568,942	3,337,788	2,836,013	2,673,518
科学研究費補助金	390,190	338,459	554,680	599,040	700,615
合　計	(1,796,155) 3,694,435	(1,903,596) 3,907,401	(1,991,710) 3,892,468	(1,700,072) 3,435,053	(1,654,266) 3,374,133

※その他物件費は、経常的な物件費及び各種旅費を計上。

※合計欄の上段（　）書きは競争的研究資金の合計で内数。

本研究所の過去 5 年間の予算は上の表に示したとおりである。この内容を平成 19 年度について大まかに分析すると、その他物件費約 7.1 億円の中の 1.9 億円がナノ・スピン実験施設の維持運営費、0.9 億円が IT２１センターの維持運営費、1.5 億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、1.5 億円が営繕費・その他の経費であり、この外、各研究分野で研究費として使用した経費としては、大学運営資金として 1.3 億円であった。各研究分野に配分された研究費（1.3 億円）に、科学研究費補助金 7.0 億円、寄附金 0.6 億円、及び産学連携等研究費 8.9 億円を加えた総額 17.8 億円が直接の研究経費として各研究分野で使用された。直接研究経費に占める大学運営資金の割合は 7.3%である。平成 18 年度の直接研究費総額は 18.4 億円で、平成 19 年度は対前年度比約 3.3%の減少となっている。これは、寄附金が減少したことと、平成 14 年度より平成 18 年度まで 5 ヶ年計画で実施されてきた文科省 IT プログラムが終了したことによるものである。受託研究、科学研究費補助金、寄附金等による外部資金の導入は、本研究所の研究活動を一層充実させるために不可欠であるとともに、研究所の活性度を反映する指標でもあると考えられる。右に示した過去 5 年間のグラフに見るように、これら 3 種の予算は年度により若干の増減があるものの高い水準を維持している。特に受託研究については、提案型受託研究及びプロジェクト型研究の増加によるところが大きく、本研究所の全国共同利用型研究所としての活性度、また、その役割の重要性が更に増していることの証であると考えられる。



１．１　競争的資金の獲得状況

１．科学研究費補助金及び助成金

（１）科学研究費補助金

・文部科学省（日本学術振興会含む）

研究代表者　　単位：千円

研究種目	氏　　名	2007年度交付金額	補助金総額	研　　究　　課　　題	採択年度
学術創成研究	枝松　圭一	89,440	382,100	超高効率量子もつれ光源および検出器の創成と量子もつれ回復プロトコルの研究	2005
特別推進研究	中沢　正隆	89,310	340,900	光フーリエ変換を用いた新しい超高速無歪み光伝送技術の確立	2004
	長　　康雄	127,010	204,200	非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録	2006
	鈴木　陽一	52,390	344,500	マルチモーダル感覚情報の時空間統合	2007
特定領域研究	阿部和多加	7,600	28,100	スピン機能材料のデザイン及びスピン偏極電流解析手法の開発・応用	2005
	矢野　雅文	17,400	8,300	大脳皮質運動関連領野が創る「見なし情報」による随意運動制御	2005
	塩入　　諭	4,700	8,600	視覚の意識的処理と無意識的処理の役割	2006
	櫻庭　政夫	8,000	41,200	Ⅳ族系量子デバイス製作のための原子層制御プラズマプロセスの構築	2006
	中島　康治	23,200	42,600	局在電磁波による高速信号伝送を利用した単一磁束量子フーリーエ変換回路の研究	2006
	白井　正文	3,500	15,800	高効率スピン源の理論設計	2007
	大野　裕三	8,700	43,500	半導体量子構造における核スピンの光制御・検出	2007
	大野　裕三	1,900	12,600	スピン流と光物性調整班	2007
基盤研究（S）	尾辻　泰一	23,530	101,300	低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路の研究	2006
基盤研究（A）	庭野　道夫	10,010	38,500	半導体表面赤外分光を用いた細胞の動的過程の解明と細胞チップへの応用	2005
	白鳥　則郎	18,200	37,500	人・社会・環境と情報システムが共生するためのネットワークコンピューティング技術	2007
	室田　淳一	16,120	36,600	CVD原子層積層による高キャリア濃度・高異動度Ⅳ族半導体人工結晶の創成	2007
	大野　英男	22,100	26,200	InAs量子カスケードレーザの次元生の制御とその効果	2007
	遠藤　哲郎	21,580	63,700	極微債構造シリコン結果の電子物性に基づくナノスケール半導体デバイスに関する研究	2007
基盤研究（B）	上原　洋一	4,420	15,600	個々の個体表面吸着種の振動分光	2005
	羽生　貴弘	6,110	14,600	多値双方向同時データ転送技術に基づく高速ＬＤＰＣデコーダＶＬＳＩの解明	2006
	佐藤　茂雄	4,160	15,100	固有ジョセフソン接合を利用した高温超伝導量子計算機に関する研究	2006
	塩入　　諭	3,510	15,400	視覚認識経路と視覚行動経路の運動情報処理機構の解明	2006
	中島　康治	4,030	14,600	大規模結合高次アクティブシリコンニューロンの試作による人工ブレインの構成的研究	2006
	櫻庭　政夫	6,110	14,200	室温動作を可能にするⅣ族半導体量子デバイスの製作	2007
	四方　潤一	11,960	14,700	局所電場制御によるテラヘルツ帯バイオフォトニクスの研究	2007

研究種目	氏　　名	2007年度交付金額	補助金総額	研　　究　　課　　題	採択年度
基盤研究（C）	菅沼　拓夫	1,300	3,600	ポスト･ユビキタス環境を実現する共生コンピューティング向けプラットフォームの研究	2005
	外山　芳人	1,040	17,600	定理自動証明に基づくプログラム変換システムの研究	2007
	大堀　　淳	780	3,200	コード言語の最適化技術と検証技術を統合する証明システムの研究	2007
萌芽研究	羽生　貴弘	1,600	3,300	不揮発性デバイスに基づくクイックオンＶＬＳＩシステムの構築	2006
	遠藤　哲朗	500	3,700	デバイス設計の自由度を向上させる構造を有する縦型トランジスタに関する研究	2006
	白鳥　則郎	1,800	3200	ネバー・ダイ・ネットワーク・環境の悪化に耐えて稼働するネットワークを目指して	2007
	上原　洋一	1,600	3,300	ピコ秒の時間分解能を有する原子位置分解能表面振動分光法の開発	2007
	庭野　道夫	2,200	3,300	神経シナプス内グルタミン酸計測のためのin situナノセンサーの開発	2007
	中島　康治	1,000	3,000	ジョセフソン逆関数遅延ニュートラルネットワーク	2007
若手研究（A）	大野　裕三	7,280	22,600	半導体量子ナノ構造におけるスピン依存伝導とスピン制御	2005
	青木　輝勝	10,140	7,800	立体映像配信技術に関する研究	2005
	大谷　啓太	3,770	12,500	偏光制御可能な多重波長量子カスケードレーザー	2006
	廣岡　俊彦	11,050	14,100	320 Gbit/s - 500km OTDM伝送技術に関する研究	2007
若手研究（B）	青戸　等人	500	1,700	高階関数を用いたプログラム検証および変換技術の高度化に関する研究	2005
	岩谷　幸雄	900	3,500	個人化頂角ディスプレイのための頭部伝達関数の選択・合成手法	2005
	小林慎一郎	600	3,700	有機薄膜電界効果トランジスタ界面への自己組織化単分子膜による変調と静電特性	2005
	小野美　武	1,100	3,200	新しい集積化法による高速・高密度磁束量子回路のニューロ演算への応用	2005
	松宮　一道	500	3,700	手作業の熟練課程における運動認知の異種感覚協調性のダイナミクス	2006
	阿部和多加	1,800	3,500	トンネル磁気抵抗の第一原理計算	2006
	三森　康義	1,800	3,500	半導体量子ドットにおける双極子ー双極子相互作用コヒーレント効果	2006
	三浦　良雄	1,700	3,600	スピン機能材料の結晶成長プロセスに関する第一原理シミュレーション	2006
	篠埜　　功	900	2,700	プログラム変換に基づく対話的プログラム開発システム	2007
	北形　　元	2,500	3,300	仮想空間と実空間を親和的に融合するユニバーサルワークスペースの構成法	2007
	矢入　　聡	1,500	2,000	頭部運動感応型聴覚ディスプレイの高性能化に関する研究	2007
	伊藤　　仁	1,100	2,100	フォルマンと理論を凌駕する音声知覚モデルの構築	2007
	木村　康男	2,000	3,300	バリアメタルの陽極酸化過程を用いた位置制御室温動作単電子トランジシタの作製	2007
	片野　　諭	2,400	3,300	光結合型走査トンネル発光による単一分子の高速分光	2007
	平野　愛弓	2,400	3,300	シリコン微細加工技術を用いたレセプターイオンチャンネルアレイの開発	2007
若手（スタート）	メジアニヤーヤ	1,360	2,600	2次元プラズモン共鳴を利用した超高感度テラヘルツ検出デバイスの研究	2007

２．受託研究費

研究分担者

単位：千円

機　関　名	氏　　名	研　　究　　課　　題	2007年度 研　究　費
文部科学省	大野　英男	高機能・超低消費電力スピンデバイス・ストレージ基盤技術の開発	373,700
文部科学省　LP（新産業基盤）	水野　皓司	医療用テラヘルツ光診断システムの開発	24,000
文部科学省　LP（e-Society）	大堀　　淳	プログラム自動解析に基づく高信頼ソフトウェアシステムの構築技術	28,239
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	尾辻　泰一	２次元プラズモン共鳴効果を利用した室温動作高効率テラヘルツ帯フォトミキサーの研究開発	13,105
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	水野　皓司	ミリ波帯パッシブイメージセンサに関する研究	21,220
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	鈴木　陽一	音情報の高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発	22,790
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	小野美　武	単一磁束量子デバイスによるニューロチップの開発	3,549
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	中沢　正隆	光で時を刻む新Cs原子“光時計”の研究開発	31,416
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	小坂　英男	量子中継のための光子ー電子スピン量子メディア変換技術に関する研究	18,105
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	白鳥　則郎	ネットワークモビリティをサポートする新世代ユビキタスネットワーク監視フレームワークに関する研究開発	5,441
（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構	長　　康雄	ナノテクノロジープログラム/ ナノテク・先端部材実用化研究開発/ 「超高密度強誘電体記録の実用化研究」	15,000
（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構	長　　康雄	ナノテクノロジープログラム/ ナノテク・先端部材実用化研究開発/ 「超高密度強誘電体記録の実用化研究」	8,329
(独)科学技術振興機構	小坂　英男	量子状態転写の実証実験	11,388
(独)科学技術振興機構	小坂　英男	量子状態転写の実証実験	390
(独)科学技術振興機構	枝松　圭一	広域コヒーレント状態と単一光子の非線形相互作用を用いた量子位相ゲートの開発	10,400
(独)科学技術振興機構	枝松　圭一	広域コヒーレント状態と単一光子の非線形相互作用を用いた量子位相ゲートの開発	3,250
(独)科学技術振興機構	庭野　道夫	新規ナノデバイスの構築	18,980

機　関　名	氏　　名	研　　究　　課　　題	2007年度 研　究　費
(独)科学技術振興機構	長　　康雄	複合型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発	96,975
(独)科学技術振興機構	遠藤　哲郎	デバイス特性揺らぎにRobustな２０ＧＨｚ動作超高速ロジック回路の開発	2,000
(独)科学技術振興機構	坪内　和夫	「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」の中の「オール Si CMOS RF デバイス・回路の開発」	42,094
(独)科学技術振興機構	尾辻　泰一	「グラフェン・オン・シリコン革新材料プロセスデバイス技術の開拓」の中の「グラフェン・オン・シリコン（GOS）デバイスならびにプラズモン共鳴型GOS（PRGOS）テラヘルツデバイス技術の開発」	22,100
㈱富士通研究所	長　　康雄	走査型非線形誘電率顕微鏡技術	1,500

３．民間との共同研究

〈研究経費あり〉

単位：千円

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2007年度 研究費
㈱日立国際電気電子機械事業部 半導体装置システム研究所	室田　淳一	次世代Epi成膜技術開発	15,000
東京エレクトロン㈱ 先端プロセス開発センター	遠藤　哲郎	微細縦型トランジスタに関する研究	4,897
東京エレクトロン㈱	遠藤　哲郎	高密度フラッシュメモリデバイスに関する研究	3,000
日立製作所中央研究所	村岡　裕明	次世代垂直磁気記録要素技術の研究	5,630
日立製作所基礎研究所	大野　英男	強磁性体を応用したスピンデバイスの研究	10,522
(独)科学技術振興機構	大野　英男	非磁性半導体中の電子スピンに関する研究	20,000
アジレント・テクノロジー・インターナショナル株式会社	遠藤　哲郎	高周波回路の高効率・高精度測定に関する研究	2,345
日本電気株式会社	坪内　和夫	ミリ波見通外通信用伝搬環境に関する研究	3,150
エルピーダメモリ株式会社	遠藤　哲郎	３次元構造のトランジスタに基づく回路・デバイス・ＣＡＤ技術の研究	7,010
㈱半導体先端テクノロジーズ	遠藤　哲郎	縦型トランジスタに関する研究	700
㈱富士通研究所	中沢　正隆	超高速光信号処理技術	3,000
㈱富士通研究所	桝井　昇一 羽生　貴弘	先端RFトランシーバ技術の研究	10,000
松下電器産業株式会社 半導体社半導体デバイス研究センター	尾辻　泰一 末光　哲也	テラヘルツ帯センサデバイスに関する研究	990
(独)科学技術振興機構	枝松　圭一	多光子波束による物質の非線形光学応答	2,630
松下電器産業株式会社 AVコア技術開発センター	鈴木　陽一	次世代補聴処理方式に関する研究	1,200
㈱パスファインダー	青木　輝勝	アニメ制作を取り入れた企業CSR活動に関する研究	1,000

〈研究経費なし〉

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2007年度 研究費
Stanford University	遠藤　哲郎	Vertical field effect device and its process	－
日本放送協会放送技術研究所	鈴木　陽一	話速変換音声が情報受容に与える影響に関する研究	－
国立特別支援教育総合研究所	鈴木　陽一	電子透かし技術を応用した音響バリアフリーシステムの開発と形成的評価－「パーソナル音響キャプションデコーダ」の実用化に向けて－	－
日本電信電話（株）コミュニケーション科学研究所	塩入　論	運動視・形態視情報と色情報の統合過程に関する共同研究	－
早稲田大学ナノ理工学研究機構	遠藤　哲郎	ナノ構造デバイス材料技術に関する研究	－
(独)情報通信研究機構	鈴木　陽一	音空間オブジェクト合成に関する基礎研究	－

（民間等共同研究員）

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2007年度 研究料
東京エレクトロン㈱	庭野　道夫	異種材料界面の物性評価	420

１．２　非常勤研究員経費

単位：千円

事　　項	実　績　額	備　　考
非常勤研究員経費	２８，２１７	受入人数　　６名

１．３　奨学寄附金の受け入れ

（有）エクセリードテクノロジー		
Ａｇｉｌｅｎｔ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ　Ｆｏｕｎｄａｔｉｏｎ		
ＴＤＫ（株）ヘッドビジネスグループ		
アルプス電気（株）事業開発本部		
オムロン（株）インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー		
（株）Ｗａｖｅ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ		
（株）アドバンテスト		
（株）九州日栄		
（株）タキオン		
（株）東芝セミコンダクター社		
（株）半導体先端テクノロジーズ		
（株）日立製作所基礎研究所		
（株）日立製作所システム開発研究所		
（株）日立製作所中央研究所		
（株）ビッグタウンズ		
（株）富士通研究所		
（株）山形富士通		
（財）石田（實）記念財団		
（財）国際コミュニケーション基金		
（財）武田科学振興財団		
（財）電気通信工学振興会		
（財）村田学術振興財団		
シャープ（株）		
情報ストレージ研究推進機構		
信越化学工業（株）新機能材料技術研究所		
ソニー（株）マテリアル研究所材料解析センター		
大陽日酸（株）電子機材事業本部		
タカノ（株）エレクトロニクス部門		
東日本電信電話（株）		
日立コンピュータ機器（株）		
日立電線（株）技術本部		
日立電線（株）理事・技術本部		
横河電機（株）通信・測定器事業部		
リオン（株）		
計	５５件	６４，８１８，０００円

第２章　研究・学会活動状況

２．１　国際活動

区　　分		2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	合　計
海外派遣状況（人数）		９０	１００	１３１	２３６	１５７	７１４
国際的研究集会・学会等での招待講演者数　（人数）		５９	５５	６６	５４	７４	３０８
国際共同研究の実施状況（件数）		１０	６	１５	２２	３３	８６
外国人研究者の来訪状況（人数）	１か月以上滞在	１０	９	３	８	３	３３
	１週間以上１か月未満	３	０	７	１３	５	２８
外国人研究員の受入状況（人数）		６	１０	５	２	５	２８

２．２　発表論文数

区　　分	2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	合　計
掲載された論文数						
学　　会　　誌	１８８	２０９	１９６	２０８	１６３	９６４
国際会議議事録等	１８７	１６２	１８０	２３３	２６６	１,０２８

２．３ 学会役員一覧（2003～2007年度）

国内学会

学　会　名	役　職　名	任　　期	氏　名
映像情報メディア学会	名誉会員	－	中村　慶久
日本応用磁気学会	名誉会員	2006.5～現在	中村　慶久
映像情報メディア学会	会長	2003～2004	中村　慶久
日本応用磁気学会	会長	2003.6～2004	荒井　賢一
日本物理学会	会長	2003.9～2004.9	潮田　資勝
電子情報通信学会エレクトロソサイエティ	会長	2005.4～2006.3	中沢　正隆
日本音響学会	会長	2005.5～2007.5	鈴木　陽一
情報処理学会	副会長	2004.5～2006.3	白鳥　則郎
日本物理学会	副会長	2002.9～2003.9	潮田　資勝
アメリカ物理学会	理事	2004.1～2005.12	潮田　資勝
エレクトロニクス実装学会	理事	1998～2004	坪内　和夫
日本応用物理学会	理事	2001～現在	庭野　道夫
日本騒音制御工学会	理事	2000.5～2004	鈴木　陽一
日本表面科学会	理事	2006～現在	玉田　　薫
日本神経回路学会	理事	2007～現在	中島　康治
日本騒音制御工学会	評議員	2004.5～2008.5	鈴木　陽一
レーザー学会	評議員	2003.6～現在	伊藤　弘昌
応用物理学会	評議員	1999～現在	伊藤　弘昌
日本応用磁気学会	評議員	1999.5～2003.5	青井　　基
日本応用磁気学会	評議員	2001.6～2005	村岡　裕明
人工知能学会	評議員	2004.4～2006.3	白鳥　則郎
日本表面科学会	評議員	2001～現在	庭野　道夫
映像情報メディア学会	評議員	2003.4～2005	村岡　裕明
映像情報メディア学会	評議員	2005.4～2007.6	沼澤　潤二
日本音響学会	評議員	2002.4～2003.3	長　　康雄
日本磁気学会	評議員	2007～現在	石山　和志
日本騒音制御工学会	評議員	2004.5～2008.5	鈴木　陽一
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2006.4～現在	鈴木　陽一
日本ソフトウェア科学会	評議員	2004～現在	大堀　　淳
プラズマ核融合学会	評議員	2006～2008	犬竹　正明
映像情報メディア学会	諮問評議委員	2007～現在	青木　輝勝
応用物理学会	代議員	2001.4～2004.3	上原　洋一
応用物理学会	代議員	2006～現在	大野　裕三
日本騒音制御工学会	研究部会長	2002.5～2004.5	鈴木　陽一
光物性研究会	組織委員	2001.4～現在	枝松　圭一
電子情報通信学会	量子情報技術専門委員	2004.4～現在	枝松　圭一
日本表面科学学会	将来計画委員会委員	2002～現在	庭野　道夫

国際学会

学　会　名	役　職　名	任　　期	氏　名
IEEE Computer Society	Vice Chair, Technical Committee on Multiple-Valued	1999.6～現在	羽生　貴弘
IEEE Magnetic Society	Administration Committee	2005～2007	村岡　裕明
IEEE Sendai Section	Chair	2006～2007	水野　皓司
IEEE Sendai Section	Secretary	2006～現在	中沢　正隆
IFIP (International Federation for Inofrmation Processing)	日本代表	2004～現在	白鳥　則郎
IRMMW-THz (International Conference on Infrared and Millimeterwaves-THz Electronics)	Chair，IOC	2006～2008	水野　皓司
Optical Society of America	Board of Director at large	2007～	中沢　正隆

２．４　外国の大学等との学術交流部局間協定締結一覧

代表者	協定校		協定締結年月日	研究課題	協定の主な内容				
	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 物理学研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究		○	○	○	○
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		○		○	○
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		○		○	○
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		○		○	○
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		○		○	○
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		○		○	○
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		○		○	○
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	○	○		○	○
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	○	○		○	○
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	○	○		○	○
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	○	○		○	○
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		○		○	○
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 固体材料ナノサイエンス研究センター	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		○		○	○
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		○		○	○

２．５　学振特別研究員及び研究所研究員

日本学術振興会特別研究員

氏名	任用期間	研究内容
今井信太郎	H18.4.1～H20.3.31	次世代ユビキタスサービスのための知識流通フレームワークに関する研究
鬼沢　直哉	H18.4.1～H21.3.31	多値非同期データ転送に基づくLDPCデコーダの構成に関する研究
加藤　未来	H19.4.1～H21.3.31	非接触走査型線形誘電率顕微鏡による有機･生体分子の高分解能測定
田中　健巧	H19.4.1～H22.3.31	強誘電体プローブメモリに関する研究
岡本　拓磨	H19.4.1～H21.3.31	方位型マイクロホンアレイを用いた音情報の解析と抽出

教育研究支援者

氏名	任用期間	研究内容
Jeroen KETEMA	H19.4.1～H20.3.31	書き換え技術に基づくソフトウェア検証
東海林　篤	H19.4.1～H20.3.31	量子もつれ光源および検出器の開発

外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
Caymax Mathieu R. J.	H19.10.15～H19.11.19	高性能Siベースデバイスの原子層制御プロセスの研究

２．６　特別研究員・大学院生の受入状況

区　　分	2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	合　計
特 別 研 究 員	7	5	6	7	5	３０
大　学　院　生	２１５	２３０	２３４	２２５	１９４	1,０９８

２．７　広報状況と情報公開

開催行事

1. 電気通信研究所国際シンポジウム 「日中音響学会議２００７」 Japan-China Joint Conference on acoustics (JCA2007)	2007年6月4日(月)～6日(水)
2. 電気通信研究所国際シンポジウム 「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」 The 18th International Conference on Algorithmic Learning Theory & The 10th International Conference on Discovery Science	2007年10月1日(月)～4日(木)
3.電気通信研究所国際シンポジウム 「第3回スピントロニクス国際ワークショップ」 The 3rd RIEC International Workshop on Spintronics, Solid-State Quantum Information technology -Spin, Photon, and Superconductivity-	2007年10月31日(水)～11月1日(木)
4. 電気通信研究所国際シンポジウム 「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」 3rd International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics	2007年11月8日(木)～9日(金)
5.　電気通信研究所国際シンポジウム 「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」 International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	2007年11月21日(水)～22日(木)
6.　電気通信研究所国際シンポジウム 「第18回アルゴリズムと計算に関する国際会議」 The 18th International Symposium on Algorithms and Computation （ISAAC '07)	2007年12月17日(月)～19日(水)
7. 電気通信研究所工学研究会	随時
8. 電気通信研究所産学官フォーラム	2007年11月14日（水）

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

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

第３章　論文題目

３．１　修士論文

電気・通信工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
FBARを用いたRFフィルタの研究	谷藤　正一	坪内　和夫
スペクトル全体形状に基く不特定話者の連続母音認識	望月　史生	矢野　雅文
パイプラインデータ転送に基づくLDPCデコーダLSIの高性能化に関する研究	池田　智和	羽生　貴弘
Co基合金垂直磁化膜の一軸磁気異方性と結晶格子歪み	岡﨑　祐子	村岡　裕明
狭トラック垂直磁気記録におけるトラック端記録分解能の研究	小川　俊行	村岡　裕明
垂直磁気記録における記録分解能に関する研究	加藤　壮司	村岡　裕明
高周波キャリア型磁界センサの異方性制御に関する研究	加藤　智紀	石山　和志
2次元プラズモンの光学励起によるテラヘルツ電磁波放射に関する研究	金子　真也	尾辻　泰一
TMRロジックに基づく待機電力フリーTCAMの構成に関する研究	木村　　圭	羽生　貴弘
Design and Implementation of Baseband LSI for Broadband Single Carrier Mobile Radio (広帯域シングルキャリア無線通信用ベースバンドLSIの研究)	VALENTIN GHEORGHIU ALEXANDRU	坪内　和夫
第1次視覚野における短距離水平結合の計算論	佐々木博昭	矢野　雅文
カーボンナノチューブを用いた超短パルスレーザーに関する研究	白土　剛史	中沢　正隆
ミリ波無線端末用三次元実装SiPの研究	竹内　太志	坪内　和夫
刺激の意味評価システムを導入した自律的学習モデル	田中　康博	矢野　雅文
環境適応的な剛性獲得機構による冗長腕ロボットのリアルタイム制御	萩原　龍馬	矢野　雅文
2次元プラズモン共鳴型エミッターのテラヘルツ帯電磁波放射機構に関する研究	半田　大幸	尾辻　泰一
無線通信アクセス制御方式の研究	福與　賢	坪内　和夫
λ/4シフトDFBリングレーザーに関する研究	ホーティ・キンアン	中沢　正隆
高電子移動度トランジスタによる高効率テラヘルツ電磁波放射に関する研究	細野　洋平	尾辻　泰一
海馬における機能的認知地図の生成モデル	松本　惇平	矢野　雅文
高信頼電流モード多値集積回路の構成に関する研究	三浦　成友	羽生　貴弘
通信状態モニタリングに基づく低電力非同期並列データ転送方式とその実現に関する研究	水澤　一泰	羽生　貴弘
垂直磁気記録パターン媒体の記録再生特性に関する研究	村上　祐介	村岡　裕明
無線端末用高安定発振回路の研究	森　　悟朗	坪内　和夫

電子工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
強磁性半導体電界効果トランジスタの特性に関する研究	西谷　雄	大野　英男
IV族半導体表面改質に関する研究	秋山　直緒	室田　淳一
有機単結晶電界効果トランジスタの動作機構に関する研究	大場　朋央	庭野　道夫
MgOベース磁気トンネル接合におけるCr層挿入の効果に関する理論研究	大場　義浩	白井　正文
赤外吸収分光法を用いた蛋白質の機能解析に関する研究	小野寺恒太	庭野　道夫
変位電流評価法を用いた低分子有機電界効果トランジスタの動作機構に関する研究	勝間田　尭	庭野　道夫
半導体微小共振器ポラリトンの非線形光学応答の研究	加藤　範泰	枝松　圭一
有機薄膜へのドーピングとその電気的特性に関する研究	亀井　和浩	庭野　道夫
Si基板上Geアイランドの形態制御に関する研究	後藤　成一	末光　眞希
量子メディア変換のための半導体量子構造の光伝導特性の研究	今野　貴支	枝松　圭一
非接触SNDM法を用いた絶縁体及び半導体計測に関する研究	齋藤　晃央	長　康雄
ガスソースMBEによるSi基板上SiC薄膜形成に関する研究	齋藤　英司	末光　眞希
強磁性共鳴を用いたスピン流の生成とその電気的検出	坂本　琢磨	大野　英男
高スピン偏極合金／IV族半導体ヘテロ接合の電子状態に関する理論研究	塩澤　保法	白井　正文
擬似位相整合を用いた量子もつれ光子生成素子の作製と評価	杉浦　洋平	枝松　圭一
IV族半導体量子トンネルデバイス製作に関する研究	瀬尾　高広	室田　淳一
Si(110)表面の16×2再配列構造転移と初期酸化に関する研究	高橋　裕也	末光　眞希
表面赤外分光法を用いたDNAチップの開発に関する研究	田中　公貴	庭野　道夫
超低消費電力3次元構造MOSデバイスに関する研究	田中　幸介	庭野　道夫
FePt電極磁気トンネル接合の界面構造と電気伝導に関する理論研究	谷口裕次郎	白井　正文
IV族半導体へのB原子層ドーピングに関する研究	丹野　洋樹	室田　淳一
高スピン偏極合金／非磁性金属多層膜における磁気抵抗に関する理論研究	中島　翔平	白井　正文
Si(110)表面清浄化に関する研究	中野　卓哉	末光　眞希
方形断面を有する金属酸化物ナノチューブ作製に関する研究	半田　浩之	末光　眞希
A Study on Subbands in Zinc Oxide Quantum Well Structures（酸化亜鉛量子井戸構造のサブバンドに関する研究）	BELMOUBARIK MOHAMED	大野　英男
空間相関光子対を利用した量子もつれ状態の生成	山口　貴司	枝松　圭一

論文題目

情報基礎科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
プロトコル自動検証のための近似オートマトン自動生成法	徳橋三知夫	外山　芳人
社会的関係を活用した第三者に対する情報資源アクセス制御方式	小川　悟史	白鳥　則郎
部分空間結合による開放型三次元共生空間構成法	酒徳　哲	白鳥　則郎
ネットワークトラフィックの異常検出過程における分析の効率化に関する研究	佐藤　彰洋	白鳥　則郎
書き換え帰納法のための補題自動生成機構	嶌津　聡志	外山　芳人
A Study on the Effect of Transmission Schemes in IEEE802.11 (IEEE802.11 における通信方式の効果に関する研究)	ムジディ　モスタファ	白鳥　則郎

システム情報科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
IPネットワークにおける音声通信方式の高度化に関する基礎的研究	阿部俊一郎	鈴木　陽一
補聴器のための選択的両耳聴能補償型音声強調アルゴリズムの研究	佐々木　愛	鈴木　陽一
頭部伝達関数の個人性とその物理的要因に関する研究	関本　彩保	鈴木　陽一
周期性加速度刺激と音刺激の相互作用による自己運動知覚の変化	瀬戸　幹生	鈴木　陽一
視覚行動関連学習における意識過程と無意識課程	永田　啓矩	塩入　　諭
話速変換が視聴覚音声知覚に与える影響に関する研究	沼畑　俊	鈴木　陽一
数値解析と音響模型を併用した室内音響可聴化技法の開発	吉村美智子	鈴木　陽一

応用情報科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
エージェントプラットフォーム動的連携支援機構に関する研究	李　小鹿	木下　哲男
マルチエージェントシステムにおける発展的再構成の制御手法に関する研究	石井　貴光	木下　哲男
複数の入力画像を修正に用いる三次元形状復元手法の研究	川上　耕平	木下　哲男
走査型トンネル顕微鏡単原子リソグラフィーに関する基礎的研究	北野　武	中島　康治
固有ジョセフソン接合における量子状態制御に関する研究	北畠　伸紘	中島　康治
適合性フィードバックを導入した画像検索手法に関する研究	竹田　信洋	木下　哲男
能動的情報資源に基づくネットワーク障害管理手法に関する研究	丹野　智幸	木下　哲男
ソーシャルウェアにおけるエージェントマッチメイクに関する研究	杜　　賑華	木下　哲男

3．2　博士論文

電気・通信工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
陽極酸化を用いた酸化チタンナノチューブの作製とその応用に関する研究	石橋　健一	庭野　道夫
アセチレン周波数安定化ファイバーレーザーとコヒーレント光通信への応用に関する研究	葛西　恵介	中沢　正隆
動き易さの規範による腕到達運動の自律的な制御	吉原　佑器	矢野　雅文
ミリ波無線用デバイスとモジュール化に関する研究	丸橋　建一	坪内　和夫

電子工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
NORフラッシュメモリの高性能化に関する研究	門脇　卓也	庭野　道夫
有機シランを用いたSi基板上3C-SiC薄膜形成に関する研究	今野　篤史	末光　眞希
スパッタ法による高磁気異方性CoPt規則化合金膜の作製と構造および磁気特性	佐藤　英夫	村岡　裕明
GHz帯シリコンCMOS増幅回路の研究	下山　和也	坪内　和夫
シリコン清浄表面の初期酸化カイネティクスに関する研究	富樫　秀晃	末光　眞希
半導体量子構造におけるスピンダイナミクスに関する研究	松坂　俊一郎	大野　英男

情報基礎科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
A Study on Advanced Communication Systems for Ubiquitous Information Environments (ユビキタス情報環境における高度な情報通信システムに関する研究)	高橋　秀幸	白鳥　則郎
A Term Rewriting Approach to Program Transformation by Templates (項書き換え手法によるパターンを用いたプログラム変換)	千葉　勇輝	外山　芳人
無線アドホックネットワークにおけるメディアアクセス制御法に関する研究	中村　直毅	白鳥　則郎

応用情報科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
大規模ハードウェアニューラルネットワークの官能外観検査用等実用化システムに関する研究	千　承佑	中島　康治

第４章　受章・受賞

４．１　本年度の受章・受賞者

賞　　名	氏　　名	所属分野・部・センター	研究課題・功績名等
日本放送協会放送文化賞	中村　慶久	IT21センター	垂直磁気記録ヘッドの開発、記録再生理論構築の面からハードディスク装置の小型大容量化の実現等、放送技術の発展における多大な貢献
電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞	白土　剛史	超高速光通信研究分野	カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いたソリトンファイバレーザ
2007年度　「創造性研究奨励賞」	坂本　一寛	実世界コンピューティング研究部	「行動計画の創発の神経基盤の解明」～前頭前野興奮性及び抑制性神経細胞の同期発火～
平成19年度 日本磁気学会学生講演賞	加藤　智紀	生体電磁情報研究部	形状磁気異方性を用いた高周波キャリア型磁界センサに関する検討
平成19年度 日本磁気学会学生講演賞	佐藤　英夫	情報ストレージシステム研究分野	スパッタリング法による高磁気異方性Ｃｏ－Ｐｔ規則化合金膜の作成
財団法人 NEC C&C財団・2007年度C&C若手優秀論文賞	黒田　貴之	コミュニケーションネットワーク研究分野	QuViE/P: An Effective QoS Control Scheme for 3-D Virtual Environments Based on User's Perception
情報処理学会コンピュータサイエンス領域奨励賞	千葉　勇輝	コンピューティング情報理論研究分野	Program Transformation by Templates:A Rewriting Framework
南校栄誉賞	中沢　正隆	超高速光通信研究分野	「エルビウム光ファイバー増幅器の研究開発とその一連の業績について」
第11回（平成19年度）「丸文学術賞」	大野　裕三	半導体スピントロニクス研究部	「半導体量子構造における電子・核スピンダイナミクスの研究」
石田（實）記念財団研究奨励賞	栗木　一郎	高次視覚情報システム研究分野	「脳内における視覚情報表現の基礎的研究-色覚の場合-」
IEEE Sendai Section Student Award 2007 “The Best Paper Prize”	葛西　恵介	超高速光通信研究分野	1.5μm13C2H2 frequency-stabilized fiber laser and its application to QAM coherent transmission with high spectral efficiency
IEEE Sendai Section Student Award 2007 “The Best Paper Prize”	岡崎　勝伝	超高速光通信研究分野	160 Gbit/s-900 km Straight-line DPSK Transmission with Time-domain Optical Fourier Transformation
IEEE Sendai Section Student Award 2007 " The Best Paper Prize"	則房　勇人	プラズマ電子工学研究分野	Device Design Technology for 30nm FINFETs with Halo Structure
社団法人発明協会・発明奨励賞	高木　　直	IT21センター　モバイル分野	「マイクロ波制御回路技術」
IEEE Sendai Section, Student Award "The Best Paper Prize"	Loke Cho Mun	情報ストレージシステム研究分野	Simulation of Magnetic Nanodots

賞　　名	氏　　名	所属分野・部・センター	研究課題・功績名等
IEEE Sendai Section, Student Award "The Encouragement Prize"	出川　直通	情報ストレージシステム研究分野	Computer Simulation of Bit Patterned Media
IEEE Fellow	村岡　裕明	情報ストレージシステム研究分野	for contributions to perpendicular magnetic recording and to recording heads and media
情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会・第15回DPSワークショップ優秀論文賞	今井信太郎 菅沼　拓夫 白鳥　則郎	コミュニケーションネットワーク研究分野	A New Deployment Scheme of Expert Knowledge on Ubiquitous Service Provision for Non-expert Users
財団法人石田（實）記念財団・平成19年度研究奨励賞	菅沼　拓夫	コミュニケーションネットワーク研究分野	共生コンピューティングの基盤技術とその応用に関する研究
IEICE Electronics Express (ELEX) Best Paper Award in the year 2006	末光　哲也	超ブロードバンド信号処理研究分野	An optically clocked transistor array (OCTA) for 40-Gb/s, bidirectional serial-to-parallel conversion of asynchronous burst optical packets
第6回情報科学技術フォーラム FIT2007 論文賞	北形　　元 白鳥　則郎	コミュニケーションネットワーク研究分野	P2Pネットワークのための分散ハッシュ型認証手法
電子情報通信学会フェロー	中島　康治	知的ナノ集積システム研究部	ソリトン、ニューラルネットワーク等、非線形問題の研究
International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007) Outstanding Paper Award	菅沼　拓夫 白鳥　則郎 他３名	コミュニケーションネットワーク研究分野	A Ubiquitous Watch-over System based on Environmental Information and Social Knowledge
第1回応用物理学会フェロー表彰	大野　英男	半導体スピントロニクス研究部	「半導体を中心としたスピントロニクスに関する研究」
文部科学大臣賞（産学官連携功労者表彰）	坪内　和夫	先端ワイヤレス通信技術	産学連携による次世代モバイルインターネット端末の開発
東北総合通信局　電波の日・情報通信月間	鈴木　陽一	先端音情報システム研究分野	「デジタル・ディバイドを解消する情報通信技術に関する調査研究会」においての活躍、「音情報の高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発」の研究における情報通信技術の高度化への多大な貢献
春秋褒賞　紫綬褒章	舛岡富士雄	名誉教授	半導体電子工学功績 「フラッシュメモリー」の発明に対しての功労が対象
2007 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (AP-MWP) "Best Student Paper Award"	葛西　恵介	超高速光通信研究分野	Highly Spectral-Efficient QAM CoherentTransmission Using an Optical Phase-Locked Loop over Long Distances
第19回　回路とシステム軽井沢ワークショップ奨励賞	末永　晋也	知的ナノ集積システム研究部	「IDモデルのバースト発火への拡張とその集積回路化」

４．２　学会フェロー一覧

国際学会

学　会　名	氏　名
IEEE	水野　皓司
IEEE	中村　慶久
IEEE	舛岡富士雄
IEEE	白鳥　則郎
IEEE	中沢　正隆
IEEE	村岡　裕明
OSA	伊藤　弘昌
OSA	中沢　正隆
アメリカ物理学会	潮田　資勝
アメリカ音響学会	鈴木　陽一
イギリス物理学会評議会	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	水野　皓司
電子情報通信学会	中村　慶久
電子情報通信学会	伊藤　弘昌
電子情報通信学会	白鳥　則郎
電子情報通信学会	中沢　正隆
電子情報通信学会	杉浦　　行
情報処理学会	白鳥　則郎
映像情報メディア学会	沼澤　潤二
応用物理学会	大野　英男
電子情報通信学会	中島　康治

第5章　トピックス

日本経済新聞　2007年4月6日　掲載

次世代の量子暗号通信
半導体で基幹部品
東北大教授ら試作

東北大学の枝松圭一教授らは五日、次世代の量子暗号通信の基幹部品を、半導体を用いて試作したと発表した。既存の通信網に組み込みやすく、盗聴不可能な量子インターネットなどの実現に道を開くとみられる。

開発した素子は、「量子もつれ」と呼ばれる、連携した二個の光子（光子対）を確実に作り出す。複数の場所を結び絶対に盗聴できない未来のインターネットや、量子衛星電話などを可能にする次世代量子暗号の発信器となる。

発生素子はこれまで心臓部に特殊な結晶を使っていたが、半導体を用いて作成。既存の通信網と相性が良く、電流を流せば光子対が出てくる簡便な装置の開発にもつながる。ただ発生できる光子対は一秒に十個程度と少なく、実用化には効率を上げる必要がある。量子暗号通信は、欧州の金融機関などが試験運用を開始している。

日本経済新聞　2007年4月6日　掲載



次世代の量子暗号通信
半導体で基幹部品
東北大教授ら試作

東北大学の枝松圭一教授らは五日、次世代の量子暗号通信の基幹部品を、半導体を用いて試作したと発表した。既存の通信網に組み込みやすく、盗聴不可能な量子インターネットなどの実現に道を開くとみられる。

開発した素子は、「量子もつれ」と呼ばれる、連携した二個の光子（光子対）を確実に作り出す。複数の場所を結び絶対に盗聴できない未来のインターネットや、量子衛星電話などを可能にする次世代量子暗号の発信器となる。

発生素子はこれまで心臓部に特殊な結晶を使っていたが、半導体を用いて作成。既存の通信網と相性が良く、電流を流せば光子対が出てくる簡便な装置の開発にもつながる。ただ発生できる光子対は一秒に十個程度と少なく、実用化には効率を上げる必要がある。量子暗号通信は、欧州の金融機関などが試験運用を開始している。

化学工業新聞　2008年2月26日　掲載

光の状態を半導体中の電子に転写

東北大ー産総研

東北大学電気通信研究所の小坂英男准教授らは26日、産業技術総合研究所（産総研）の今村裕志主任研究員らの理論的協力を得、半導体の構成を工夫することによって、光の状態を半導体中の電子に転写することに世界で初めて成功したと発表した。量子情報通信の基本原理である電子テレポーテーションに道を開く成果。科学技術振興機構（JST）の基礎研究事業の一環として行った。

電子テレポーテーションは、未来の通信手段として脚光を浴びている量子情報通信の基本原理。遠隔地への量子状態の転写については、現在、光を主体とした原理の実証段階にあり、メモリーや集積化に適した半導体中の電子への転写が望まれていた。同研究チームは、半導体の構造を工夫することによって電磁場である光の偏波状態と電荷の回転で生じる電子のスピン状態を一対一に対応させることに成功した。信号を伝送する波である光と粒子の電子との間で状態転写に成功したことは画期的な成果であり、今後、長距離の量子通信を行うために必要な量子中継器の実用化につながるものと期待される。

科学新聞　2008年3月7日　掲載

光の量子状態を半導体中の電子に転写成功

"量子中継器"実現へ道

東北大グループ

東北大学電気通信研究所の小坂英男・准教授、産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門の今村裕志・主任研究員らの研究グループは、光の量子状態を半導体中の電子に転写することに世界で初めて成功した。長距離の量子情報通信に必須な〝量子中継器〟の実現へ道を開くと期待される。『Physical Review Letters（電子版）』に掲載予定。

情報化社会の発展には、情報のセキュリティーを高めることが鍵になる。光の持つ量子性を利用することで盗聴を検知できることから、絶対的な安全性が保証される〝量子情報通信〟は、未来の通信システムとして注目されている。従来の技術では量子通信は約200㌔㍍が通信限界だった。そのため、伝送距離を伸ばす中継器が必要になるが、量子は再生増幅できないため既存の光ファイバー通信で用いられる中継器は使えない。

量子通信用の中継器では、光子の量子状態を遠隔地に転送する『量子テレポーテーション』が実現されなければならない。この要素機能として、複数（ここでは2つ）の量子がどのような相関を持っているか特定する『量子もつれ検出』の必要性がある。もつれ検出には、光子の量子性（通信メディア）を電子の量子性（演算メディア）に転写して保存しなければならない。また、光子の量子性を電子の量子性に変換して保存できれば、伝送する情報量を大幅に増やすことができる。

研究グループでは、ガリウムヒ素とアルミニウムヒ素で構成された半導体の中の11㌨㍍幅の量子井戸（薄膜）に、電子スピンを制御する工夫を施して光子の偏光の位相情報を電子のスピンの位相情報に転写することに成功した。

光子は、物質に吸収されると、電子と正孔の各一対の粒子になる。この際、光子の偏光状態は電子と正孔の各スピン状態に転写される。しかし、正孔スピンの位相情報は急速に失われるため、もつれ合う電子の位相情報も失われてしまう。そこで量子井戸に磁場をかけることで電子と軽い正孔でゼーマン分裂が起こり、軽い正孔では1つを選択的に励起、電子ではスピン状態を1つに重なるよう工夫した。これにより、電子と光子のもつれが解消され、光子の位相情報を電子スピンの位相情報だけに転写することが可能になった。

今回、光の量子性を情報処理に適した電子スピンに転写できたことから、量子情報通信に不可欠な量子中継器の実現が期待される。今後、転写の忠実度の評価や量子性の証明、単一光子から単一電子への転写確認、また量子もつれの転写と検出などを進めていくという。

日経産業新聞　2008年2月26日　掲載

「量子暗号」の通信距離 伸長

東北大など 新技術開発

東北大学などの研究チームは二十六日、未来の暗号技術「量子暗号」の通信距離を伸ばす新技術を開発したと発表した。光の粒がもつ状態を半導体中の電子の状態へと受け渡す技術で、遠隔地との通信に不可欠な中継器の実現につながる。近く米科学誌フィジカル・レビュー・レターズ（電子版）で発表する。

二種類の半導体で作った試料に磁場をかけ、光を当てた。すると、マイナスの電気をもつ電子とプラスの電気をもつ正孔のペアができる。「偏光」と呼ぶ光の振動方向の状態を、発生した電子の「スピン」と呼ぶ状態に移すことに成功したという。

絶対に盗聴できない量子暗号技術で通信できる距離は現在、約百キロメートルが限界。光の状態を電子機器に使われる半導体の電子に移す技術は、通信距離を伸ばす中継器の開発に重要という。

フジサンケイビジネスアイ　2008年2月26日　掲載

光子を半導体電子へ転写

東北大　量子暗号通信の長距離化に道

東北大学電気通信研究所の小坂英男准教授らは26日、科学技術振興機構（JST）のプロジェクトの一環で、光子の量子状態を半導体中の電子に転写することに世界で初めて成功したと発表した。

非常に安全性が高い量子暗号通信は、現在200キロ㍍程度の距離まで成功例があるが、都市間や国際間で利用するには距離を伸ばす「量子中継器」の登場が待たれている。今回の技術は、量子中継に道を開くもので、量子暗号通信の可能性が大きく高まることになる。中継器の実用化は「10年から20年後」（小坂准教授）としている。

光通信から電子デバイスに〝量子状態を中継するときに、光子の偏光状態は、対になって生じる電子と正孔（ホール）のスピン状態に転写される。通常利用する正孔は重いために位相情報が急速に失われ、これと同時に電子の位相情報も失われる。

研究チームは、化合物半導体で作成した量子井戸（電子を閉じこめる空間）に電子スピンを制御する工夫を施すことで、磁場で電子との関係を切れる軽い正孔に選択的に転写できるようにした。これにより、光の量子状態を半導体の電子スピンだけへ転写することに初めて成功した。

〝量子状態を中継する〟には、量子状態をそのまま写し取る技術が必要になる。

これまで光子の量子状態を電子の量子状態に転写することは、真空中の電子や原子では実現していたが、数多くの電子で構成される半導体などの固体では実現不可能と考えられていた。

光子が物質に吸収されるときに、光子の偏光状態は、対になって生じる電子と正孔（ホール）のスピン状態に転写される。通常利用する正孔は重いために位相情報が急速に失われ、これと同時

量子暗号通信　物を分解していった最小単位である量子が持つ物理的性質を使った、高度に安全とされる情報通信技術。

一般的には1984年に提案された「ＢＢ―84」方式を指す。量子の一つである光子を通信に使えば途中で盗聴されていないかどうかが確認できる。送信側と受信側が絶対に誰にも盗聴されていないカギを共有できるため、それを用いてメッセージを暗号化して安全に送信する。

実用化は数十年後とされるが、組み合わせ計算が得意な量子コンピューターが登場すると、現在の暗号通信技術は簡単に破れてしまうため、量子暗号は、量子コンピュータ―完成後の、金融や国家安全保障などの情報通信システムを維持するための不可欠な技術とされる。

日刊工業　2008年2月28日　掲載

量子暗号通信技術

光から電子への変換に成功

東北大

東北大学電気通信研究所の小坂英男准教授らは26日、絶対的な安全が保証される次世代の量子暗号通信で、通信距離を拡張する「量子中継器」の実現に向けた基礎技術を開発したと発表した。通信に使う量子状態の光子を、演算に必要な量子状態の電子に1対1で転写する変換技術で、情報を欲しい時に引き出すことが可能になる。

10―20年後に量子中継器が実現すれば現在比10倍以上の1000キロ㍍程度まで通信距離が延長できる。科学技術振興機構（JST）研究プロジェクトの成果。米学術誌ＰＲＬ電子版に公開される。

研究は産業技術総合研究所の今村裕志主任研究員らの理論協力を得た。

日刊工業　2007年7月5日　掲載

科学技術・大学

半導体中の電子の状態

電荷分布を高精度可視化

富士通など 誘電率の変化 細かく観察

次世代フラッシュメモリー適用

富士通と富士通研究所（川崎市中原区、村野和雄社長、044・754・2613）は東北大学と共同で、半導体素子中に蓄積した電荷の分布を高精度で可視化する技術を開発した。配線幅65ナノメートル（ナノは10億分の1）の次世代フラッシュメモリーにも適用できる微細領域の評価手法で、半導体素子全般の開発に役立つ。スウェーデンで開幕中のナノサイエンス&テクノロジーに関する国際会議「ICN+T」で5日（現地）に発表する。

長康雄東北大学教授が発明した走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）を用いた。

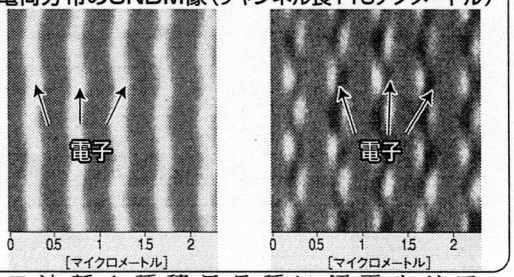
実験では現行フラッシュメモリー（チャンネル長80ナノメートル）の電荷が蓄積する領域を、より高い次元の非線形誘電率で検知する手法を開発。これで電子の蓄積により変わる誘電率を細かく観察できるようになり、従来比2倍の分解能で電荷分布を可視化できた。

蓄積した電子は黒く、電荷が蓄積していない部分は明るいコントラストで表され、電子の有無が明瞭（めいりょう）に示せた。さらに非線形誘電率の次元を上げれば分解能は1ケタ近く上げられる見込みで、次世代フラッシュメモリー（チャンネル長40ナノメートル以下）領域の電荷分布も検知できるという。

半導体素子の高性能化に伴い、電荷を蓄積する領域も微細化が進んでいる。素子の信頼性を向上するには電荷の位置や動きを明らかにする必要があるが、これまで計算機によるシミュレーションが一般的だった。

この研究は、科学技術振興機構（JST）のプロジェクトにより行われた。

電荷分布のSNDM像（チャンネル長110ナノメートル）



新方法㊨は従来法に比べ電子のコントラストが明瞭

河北新報　2007年６月19日　掲載

東日本放送と来月２日から共同番組

東北大魅力を発信

超高速光ファイバー、脳トレ…

「世界的な研究紹介」

東日本放送（本社仙台市）は、今年六月に創立百周年を迎えた東北大との共同プロジェクトで同大の先進的な研究を紹介するシリーズ番組「東北大学の新世紀」を制作、七月二日から毎週月曜日の午後十一時十分から五分間放送する。

番組は東北大の魅力を広く知ってもらうのが目的。高品質なデジタル映像で取材し、地上波と衛星波、ウェブサイトで同時発信する。

初回は東北大電気通信研究所の中沢正隆教授を取り上げ、「超高速光ファイバーで通信ネット革命」と題して放映。九日は〝脳トレ〟ブームの火付け役ともいえる加齢医学研究所の川島隆太教授の業績を伝える。以降、来年六月末まで五十人の研究成果を紹介していく。

ウェブサイトは英語と、中国語の字幕付きで動画を配信。衛星波はCNNジャパン、BS朝日で放送する。東日本放送は「大学間の競争が激しさを増す中、大学と放送局が連携して世界的な研究をアピールしていく画期的な番組」と話している。

衛星波の放映時間などの問い合わせ先は、東日本放送コンテンツセンター編成部022（276）8413。

朝日新聞　2007年６月29日　掲載

東北大学と連携新企画

KHBが来月から

KHBは東北大学と連携し、放送とITを連動させた映像紹介プロジェクト「東北大学の新世紀」を7月2日からスタートさせる。創立百周年を迎えた同大の最新の研究成果を、高品位のデジタル映像で取材し、地上波や衛星波テレビ、ウェブサイトから同時発信し、より多くの視聴者に楽しんでもらおうというものだ。

1年間で50人の研究者の紹介を予定しており、1回目は電気通信研究所の中沢正隆教授、2回目は加齢医学研究所の川島隆太教授。

放送時間は次の通り。【KHB】月曜午後11時10分～15分【衛星波】CNNジャパン　水曜午後7時～10時「アメリカン・モーニング」と土曜午後8時～9時30分「サタディ・モーニング」の番組内▽BS朝日　土曜午前0時55分～1時【ウェブサイト】http://www.tohoku100-tv.jp



番組には「脳トレ」で知られる川島隆太教授も登場する（KHB提供）

河北新報　2007年8月25日掲載（百周年記念特集）

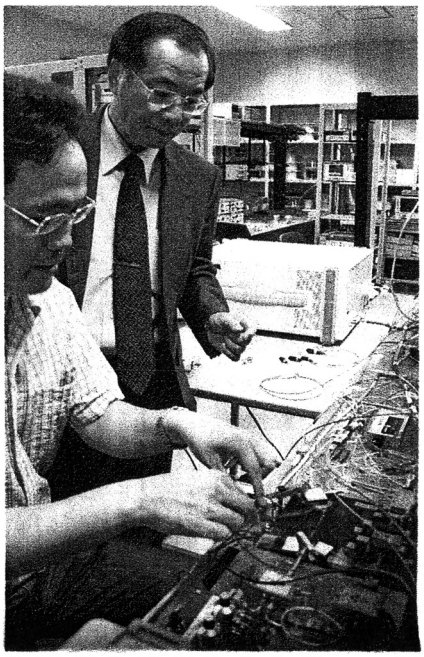
河北新報で一月から連載した「学び究めて」は、実学を重視する東北大の遺伝子を受け継ぎ、人類社会に大きく貢献してきた研究者たちにスポットを当てた。東北大の研究分野は実に幅広く、連載で取り上げられなかった注目すべき現役研究者はまだまだ多い。そんな〝知の継承者〟の中から、電気通信研究所の中沢正隆教授、国際高等融合領域研究所の矢野恵美助教、大学院工学研究科出身の清水浩慶大教授の三人の活躍ぶりを紹介する。

電気通信研究所　中沢正隆　教授

光増幅　ネット社会支える

今や全世界に普及した光通信。文字や音声、映像など膨大な情報を瞬時に伝える光信号を増幅する「光増幅器」開発をはじめ、さまざまな技術研究の第一人者としてインターネット社会を支える。

光通信の実用化が進みつつあった一九八〇年代、日本電電公社（現NTT）の電気通信研究所で研究者生活が始まった。当時の上司が書いてくれたメモを今も保存している。「研究は芸術と同じ。どの分野でもプロであるためには創造性が必要だ、と教えられた」



研究室のスタッフが実験する様子を見守る中沢教授（奥）。若手の育成にも力を注ぐ＝仙台市青葉区の電気通信研究所

そのころの光通信では、光ファイバーの中をまる光信号の増幅が課題だった。弱まった光を電気信号に変換後、強い光に戻す手法が主流だったが、増幅度、高速化には限界があった。

光を増幅する性質を持つ希少金属エルビウムに着目。エルビウムを加えた光ファイバーにレーザー光を通し、直接増幅する装置を考案した。冷蔵庫サイズだった従来の増幅器を弁当箱程度に小型化し、増幅度も速度も抜群。九〇年代に太平洋横断光ケーブルに採用された。

昨年、米国の学術雑誌に「ノーベル賞候補」として紹介された。周囲はにわかに慌ただしくなり、戸惑った。「賞をもらえるに越したことはないけれど、そのための研究ではないからなあ」

進むにつれて、徐々に弱まる光信号の増幅が課題だった。弱まった光を電気信号に変換後、強い光に戻す手法が主流だったが、増幅度、高速化には限界があった。

光を増幅する性質を持つ希少金属エルビウムに着目。エルビウムを加えた光ファイバーにレーザー光を通し、直接増幅する装置を考案した。冷蔵庫サイズだった従来の増幅器を弁当箱程度に小型化し、増幅度も速度も抜群。九〇年代に太平洋横断光ケーブルに採用された。

関心は次の研究に向いている。今探っているのは、無線と光通信の融合の可能性。「専門を掘り下げると同時に、関連して隣にある分野を耕すことが大事。その過程でアイデアも生まれる」。学生にはこう伝えている。

なかざわ・まさたか　山梨県出身。東工大大学院総合理工学研究科修了。日本電信電話公社（現NTT）電気通信研究所、米マサチューセッツ工科大客員研究員などを経て、2001年から現職。専門は超高速光通信。54歳。

日刊工業新聞　2007年9月12日　掲載

今年のノーベル賞有力候補

飯島・戸塚両氏の名

米トムソンがリスト



飯島教授



戸塚教授

米トムソンサイエンティフィックは10日、07年ノーベル賞の有力候補者リストを発表した。物理学賞には飯島澄男名城大教授と戸塚洋二東大特別栄誉教授の名前が挙がった。飯島教授はカーボンナノチューブ研究で、戸塚特別栄誉教授は高エネルギー加速器研究機構の前機構長としてニュートリノ研究に指導的役割を果たした。候補者リストは物理学、化学、医学・生理学、経済学の4分野合わせて17人。論文引用数などをもとに、世界的に影響力の高い研究者を候補として毎年リストアップしている。

飯島教授と戸塚特別栄誉教授がトムソンのリストに載ったのは初めて。昨年は中沢正隆東北大教授が初めてリストアップされ話題になった。05年までは新海征治九大教授、中村修二カリフォルニア大サンタバーバラ校教授、十倉好紀東大教授らの名前が毎年リストアップされていた。

河北新報　2007年11月2日　掲載

光通信進化 超大容量へ

レーザーで周波数効率10倍に

東北大電気通信研究所の中沢正隆教授（光通信工学）の研究グループは、光通信の周波数利用効率を従来の十倍に引き上げる超高密度通信を開発した。独自の技術で安定させた光の波形（位相）に、大量の情報を組み込むことに初めて成功。既存設備への応用が進めば、「高速大容量」と言われる光通信が「超大容量」へと進化する。

東北大グループ

光通信はレーザー光の点滅信号でデータを伝送している。情報量を増やすには、光の色調を変えることで周波数帯域を拡張していた。

グループは、光の電磁波としての位相にデータを盛り込む手法に着目した。中沢教授らが開発した周波数安定化レーザーで、位相を安定させる技術を確立。集積型光変調器を使い、位相に盛り込んだ情報を縦軸と横軸で二次元的に把握することにも成功した。

周波数の利用効率を比べると、従来は一ヘルツ当たり毎秒一ビット程度だったが、十ビットまで向上。位相の安定精度を高めたことで、実験では一秒当たり十四テラビット（ギガは十億）の伝送を確認でき、理論的にはさらに拡張可能だという。

周波数を利用した情報伝送は、位相が安定している無線通信では既に実用化されている。周波数がぶれやすい光通信は位相も不安定なため、応用が難しかった。

研究成果は来年、米国で開かれる光通信国際会議で発表する予定。

中沢教授は「周波数の利用効率が十倍になれば、コストは十分の一になる。帯域の拡張と組み合わせれば、けた違いの情報を伝送できる。光通信開発の新分野として急成長する可能性が大きい」と話している。

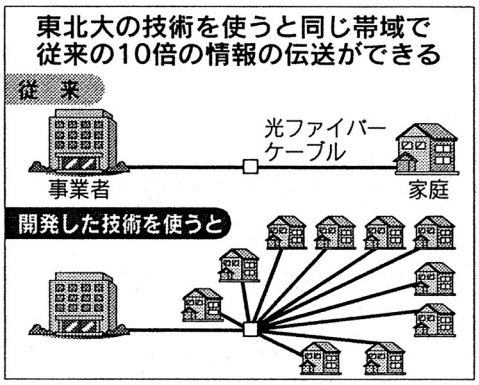
日本経済新聞　2007年11月16日　掲載

光通信、容量10倍に

超高画質番組 高速配信に道

東北大、携帯電話の伝送技術を応用

東北大学の中沢正隆教授らの研究チームは、光通信の高速化の限界を突破できる新技術を開発した。通信容量を十倍程度に増やすことが可能。原理的には毎秒数百テラ（テラは一兆）ビットの情報伝送が可能になるとみられる。これはフル規格のハイビジョン番組より四倍高画質のデジタルシネマ（二時間番組）でも、瞬時に数百世帯に伝送できる速度に相当する。今後、通信事業者やメーカーなどと連携して実用化を目指す。



テクノロジー

現在の光通信は光のオンオフでデジタル信号化するのが基本。一方、無線は電波の周波数を効率よく使い、より複雑な信号処理をして高速化している。中沢教授らは今回、携帯電話などで使われている情報伝送技術を光通信に応用した。

「ＱＡＭ」と呼ばれる伝送方式で、一つの信号に複数の情報を乗せる。通信の大容量化を効率よくできるが、周波数が安定していることが必要になる。光は電波よりも周波数が高くて不安定なため、この方式は光通信では使えなかった。

研究チームは周波数を安定させる特殊なレーザー装置を使い、光通信でもＱＡＭを利用できるようにした。実験で、百六十キロメートルの距離を従来の十倍に相当する一ヘルツ当たり毎秒十テラビットの伝送容量でデータを送れることを確認した。改良を加えれば、さらに長距離の都市間通信が可能という。

現在の光通信は高速化のため、周波数の異なる光（色の違う光）を重ね合わせて送る方式だが、毎秒十テラ（テラは一兆）―二十テラビット程度の伝送が限界とされている。今回の新技術を適用すれば、毎秒数百テラビットの超大容量伝送ができる可能性がある、と通信分野の研究者はみている。

また、コスト削減にもつながる。新技術は一種類の光で送れる通信容量そのものが向上する。現在の光通信方式は微妙に異なる色の光を多種類利用するため、光の種類を増やして高速化を進めると、混信を防ぐなどコストがさらにかかる。

朝日新聞　2007年12月14日　掲載

速度10倍の光通信技術

東北大チーム開発

インターネットなどの光通信で通信速度を10倍にする技術を、東北大の中沢正隆教授のチームが開発した。ネットを行き交う情報量の急増に対応するために役立ちそうだ。

従来の光通信は、情報を100億分の1秒という短時間での光の点滅の繰り返しに置き換え、光ファイバーで送信している。研究では、光が持つ波としての性質に注目。波の振幅のタイミングである「位相」の特性を活用した。

波長が同じ二つの波で、振幅のタイミングが4分の1だけずれている時、二つの波を合成して一つの波にしても、後から元の二つの波に分離できる。

そこで中沢さんは、こうした二つの光波のそれぞれに光の点滅で表現した情報を乗せた上で、一つの光波に合成することを考えた。実質上、二つの光波があることになるため、送れる情報量も2倍になる。

さらに、それぞれの光についても、点滅だけではなく強度を数段階に変えて光らせることで、送信できる情報量を10倍に増やした。

位相の応用は携帯電話などの無線通信では実用化されていたが、光は制御が難しく実現できなかった。今回、光源を新たに開発し、成功した。

総務省によると、日本国内のインターネットを流れる情報量は毎年数十%ずつ増えている。中沢さんは「多額の回線整備費がかかっているとみられるが、この技術が導入されれば大幅な節約になる」と話す。

山梨日日新聞　2007年12月15日　掲載

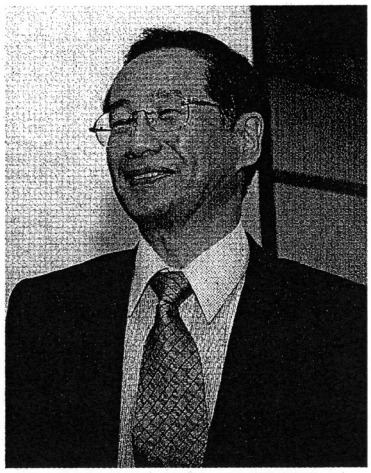
SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE SCIENCE

「ノーベル賞に最も近い研究者」
東北大教授　中沢正隆さん（中央市出身）

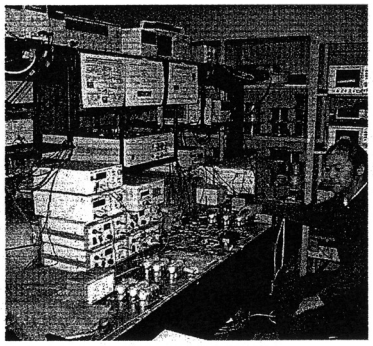
「光通信」の新時代切り開く

パソコン、電話、テレビ…。私たちの家庭の端末にもつながり、高速で大容量の情報を届ける光ファイバー通信。東北大電気通信研究所教授の中沢正隆さん（中央市出身）は、その技術の立役者だ。「エルビウム添加光ファイバー増幅器」の開発で世界中の高速光ファイバー通信に革新をもたらしたという功績から、昨年、米国のトムソンサイエンティフィック栄誉賞を受賞。今、最もノーベル物理学賞に近い研究者のひとりともいわれる。最近では、これまでの10倍も効率的な新通信方式の開発に成功したばかり。〝光〟の研究で次代を切り開いている。

〈桑原　久美子〉



「光ネットワークは、次代の社会を支えるインフラです」と語る中沢正隆さん　＝甲府南高



新たな光通信方式を開発する中沢正隆さんの研究室　＝東北大電気通信研究所

10倍効率的な方式開発
社会支えるインフラに

光ファイバーは、銅線などの金属ケーブルと比較して、より大容量の情報を、より速く、より遠くまで送ることができる。海底八千㌔にも通り、光の通信ネットワークは世界中に張り巡らされている。「次代の社会を支えるインフラとして重要な役割を果たしています」と、中沢さんは力を込める。

例えば、一秒を争う救急医療の現場でも、光が力を発揮する。「山梨で重要な手術がある場合でも、東京や米国にも瞬時に中継し、鮮明な動画によって専門医がその場にいるように、適切な指示を直接出す…。こんなことが可能な時代が来ているんです」

増幅器で革新

中沢さんの名を一躍高めたのは、通信に利用する光が途中で減衰しないように再び増幅させる、エルビウム添加光ファイバー増幅器の開発。今日の光産業の発展に大きく貢献した。

しかし、増幅器を発明したのは約二十年前。中沢さんの目はすでにその先をみている。次に目指すのは、「光の波を、携帯電話にも使われているマイクロ波の無線のように使いこなす技術」だ。

現状の光通信は、光パルスを「オン」「オフ」、二つの状態の切り替えでデジタル信号化して送る方式が主流。しかし、それでは周波数の利用効率は一㌶当たり毎秒一ビットと低く、「光の本来の性質を生かしきれていない」と中沢さんは言う。

そこで中沢さんの研究グループが開発したのが、周波数利用効率を従来の十倍に引き上げる、「QAM（直交振幅変調）光伝送」という通信方式だ。

科学技術の発達で電力などのエネルギーが過剰に消費され、地球はいま限界にきているといわれる。より効率的なシステムの構築が求められる中で、中沢さんが提示した新方式は、光通信の目指す新たな方向として注目されている。

「波」である光が持つ「位相」と「振幅」。その性質を生かして、いくつもの位相と振幅とに異なる情報を乗せ、利用効率を上げた。百六十㌔㍍の光ファイバーを使った実験では、一㌶当たり毎秒十ビットと、従来の十倍のデータ容量を送ることに成功した。「これまで一つの情報しか乗せられなかった一本の回線に、これからは十もの情報を詰め込むことができるということです」

このQAM伝送方式は、マイクロ波の分野ではすでに取り入れられ、携帯電話やFM放送などに利用されているが、周波数が不安定な光波では導入が難しいと考えられてきた。それを可能にするため、周波数を安定化するレーザー光源を開発。世界で初めて光通信への応用を実現させた。

自分を磨いて

山梨で過ごした少年時代、ラジオやプラモデルづくりに夢中になった。それが今の研究姿勢の原点だという。「紙と鉛筆で組み立てた理論を、実験で実証する楽しさ。今でも学生たちと一緒に実験をしている時間が一番好きです」と笑う。

母校の甲府南高で行われた講演では、後輩たちに「社会に出たとき、自分なら何ができるか。自分を磨いて人生を切り開いてください」と、メッセージを送った。

なかざわ・まさたかさん　1952年、中央市（旧豊富村）生まれ。笛南中―甲府南高―金沢大卒。東京工業大大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）。日本電信電話公社でソリトン通信、光ファイバー増幅器の研究に従事。マサチューセッツ工科大学特別研究員などを経て、現在、東北大電気通信研究所教授。

日刊工業新聞　2007年12月28日　掲載

周波数帯域10倍の情報量送信

東北大が新光通信方式

東北大学の中沢正隆教授らの研究チームは、周波数帯域に対して10倍の情報が送れる新しい光通信方式を開発した。例えば1ギガヘルツ（ギガは10億）の帯域で従来毎秒1ギガビットだった伝送容量を同10ギガビットまで増やせる。大容量の情報を狭い帯域で送れるため、次世代の家庭用光ファイバー通信回線（FTTH）を低コストで構築できる。約10年先のポスト次世代ネットワーク（NGN）の基盤技術となりそうだ。

中沢教授らは現在のマイクロ波通信で一般的な直交振幅変調（QAM）と呼ぶ高効率の変調技術を利用。初めてコヒーレント（位相がそろった状態）QAMを光通信に適用することに成功した。これで周波数の利用効率を1ヘルツ当たり毎秒10ビットと従来より1ケタ高めた。

開発したコヒーレントQAMは、光通信で使う1・5マイクロメートル（マイクロは100万分の1）波長帯（周波数200テラヘルツ）で振動する光の位相と振幅にそれぞれ情報を載せる。今回、128通りの情報を送受信できる「128値QAM」信号を160キロメートル伝送する実験でその有効性を確かめた。

光パルスのオンオフを利用する光通信で主流のOOK変調方式は、二つの状態にある情報しか送れないため、周波数の利用効率は1ヘルツ当たり毎秒1ビット以下。一方、振幅と位相に分けて情報を載せる2のN乗値QAM方式にすると、従来のN倍の情報が送れるようになる。

ただ、光源の周波数を安定にする必要性から、これまで光の位相そのものに情報を載せるのは難しいといわれていた。中沢教授は「無線通信で使うコヒーレントな位相の伝送技術を光の領域まで拡大したことで、無線技術と光技術の融合が進むだろう」とみている。

日刊工業新聞　2007年6月9日　掲載

科学技術・大学

第5回産学官連携功労者

内閣総理大臣賞に荒川東大教授ら

「フォトニクスネットワーク技術の研究開発および大学発・カーブアウト型ベンチャーの設立」

京都で16日に表彰

内閣府は8日、第5回の産学官連携功労者を決めた。内閣総理大臣賞は荒川泰彦東大教授と菅原充QDレーザー社長らによる「フォトニクスネットワーク技術の研究開発および大学発・カーブアウト型ベンチャーの設立」を選んだ。同賞を含め受賞は11件。16日から京都で開く第6回産学官連携推進会議の会場で初日に表彰する。

内閣総理大臣賞以外の受賞案件は次の通り。

〈科学技術政策担当大臣賞〉▽ナノレベル電子セラミックス低温成形・集積化技術の開発＝明渡純産総研グループ長、TOTO総合研究所部長ら▽米ぬかを原料とする高機能・多機能炭素材料RBセラミックスの開発と応用＝堀切川一男東北大教授、松田莞爾三和油脂社長ら

〈総務大臣賞〉▽少水量型消化剤の開発と新たな消化戦術の構築＝高橋道夫シャボン玉石けん専務、上江洲一也北九州市立大教授ら

〈文部科学大臣賞〉▽産学連携による次世代モバイルインターネット端末の開発＝坪内和夫東北大教授、NECなど▽「九州広域クラスター」の推進＝麻生渡福岡県知事、安浦寛人九州大学システムLSI研究センター長ら▽次世代高性能レーザー技術の開発＝和田智之理化学研究所ユニットリーダー、内田保雄メガオプト社長

〈経済産業大臣賞〉▽「身体機能を拡張するロボットスーツHAL」の開発＝山海嘉之筑波大教授、CYBERDYNEなど▽TAMAプロジェクト＝古川勇二首都圏産業活性化協会会長、山﨑正芳西武信用金庫理事長ら

〈日本経済団体連合会会長賞〉▽「Cat-CVD装置」の開発＝松村英樹北陸先端科学技術大学院大学教授、中村久三アルバック会長ら

〈日本学術会議会長賞〉▽「高速原子間力顕微鏡」の開発＝安藤敏夫金沢大教授、オリンパスなど

日刊工業新聞　2007年11月22日　掲載

東北大に60ギガヘルツ帯ミリ波利用で免許
東北通信局

【仙台】東北総合通信局は21日、東北大学電気通信研究所が開設した60ギガヘルツ帯のミリ波を利用する実験局に免許を与えたと発表した。60ギガヘルツ帯のミリ波は数ギガビットの超高速無線伝送を可能とする帯域として注目されており、免許の付与は東北管内で初めて。大学では全国初。

同研究所では付属機関の「21世紀情報通信研究開発センター」が超高速無線技術や小型無線端末の開発を進めている。今回免許を取得したことで、通信技術や開発した端末を屋内外で実証実験することが可能になった。

河北新報　2007年11月22日　掲載

30倍の大容量送受信

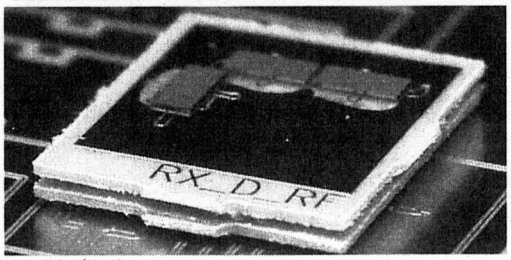
次世代無線通信システム開発

東北大通研

実用化へ実証実験

モジュール超小型化成功

東北大電気通信研究所の坪内和夫教授のグループは、大容量の情報を高速で送受信する次世代無線通信システムを開発した。二十一日、東北総合通信局から無線実験局の許可を受け、実証実験を始めた。本年度末までに実用化のめどを立て、通信機器メーカーや通信事業者とモバイル端末の開発を本格化させる。



東北大電気通信研究所のグループが開発した1センチ四方の無線送受信モジュール

既存の無線LANは二・四ギガヘルツ（ギガは十億）帯の周波数を使っているが、新システムはこれまで実用化されていなかった六十ギガヘルツ帯を使用できるようにした。これにより既存の無線LAN（構内情報通信網）の三十倍に当たる毎秒一・五ギガビットの大容量通信が可能になる。

従来、ハイビジョン映像など大容量伝送の場合、データを圧縮して送信したが、新システムでは、圧縮せずに送れるため、データの劣化や遅れが防げる。ただ、波長が五ミリメートルと短いため、伝送距離は約十メートル以内に制限される。

坪内教授らは、六十ギガヘルツ帯向けの一センチ四方のチップ状の超小型の無線送受信モジュールも開発した。

これまでは小型冷蔵庫並みの大きさだったが、小型化に成功し、モバイル端末への搭載が可能になった。

実証実験は、文部科学省の補助金を活用する。

坪内教授は「家庭内でハイビジョンのホームシアターなどに活用できる。将来は街中で映画ソフトを短時間にダウンロードすることもできる。東北発の技術で次世代無線システムの国際標準を実現したい」と話している。

研究グループは、ソフトバンクテレコムやNEC、松下電器産業、三菱電機と共同で研究開発を行ってきた。数年後をめどに商品化したい考えだ。

屋内のほか、街中で徒歩や車で移動しながら送受信をチェックする。

日経産業新聞　2007年９月11日　掲載

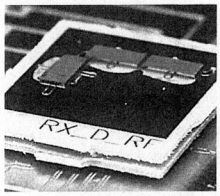
産学連携 広告特集

広がる連携、各地で成果

大学が擁する「知の力」と企業の応用力とを融合させ、新たな価値創出に取り組む事例が増えてきた。国や自治体の支援なども活発で、共同研究の分野や仕組みも多様性を増している。先進的な産学連携やユニークな事例などを5・7・9ページで紹介する。

東北大学 電気通信研究所 IT―21センター

無線ＬＡＮの超高速化実現 国際標準化が国の競争力に



ハイビジョン動画を非圧縮で伝送する、超小型3D SiP（システム・イン・パッケージ）ミリ波無線端末

超高速無線通信の世界標準規格を目指し、そしてあらゆるワイヤレスシステムが融合するユビキタス社会実現への研究開発に取り組んでいるのが、東北大学電気通信研究所・21世紀情報通信研究開発（IT―21）センターだ。

同センターの「次世代モバイルインターネット端末の開発」プロジェクトは、二〇〇三年に文部科学省が公募した「ITプログラム」の一環として始動。三菱電機、NEC、松下電器産業、ソフトバンクテレコムが参画し、産学が連携した世界でも先進な実用化を進めている。

このプロジェクトの大きな特色が、無線LAN（構内情報通信網）では、既存方式の六倍にあたる三百二十四メガビット／秒の通信速度を持つ次世代装置を開発。この開発成果の一部は、米電気電子学会（IEEE）の「802・11n」方式の国際標準化に提案され、採用されている。

「広域化」についても、仙台市街地の広域をカバーする基地局を複数設置した実験を実施。車で移動しながらでも、基地局間や無線LAN施設への接続切り替えをシームレスに行える3技術開発に成功した。さらに「超高速化」については、フルハイビジョン動画を非圧縮で産業の中では三年が〝長期〟といわれる。この技術が普及すれば、広域から近距離まで複数の無線通信方式を、一つの端末で通信することが可能となる。

「超高速化」という、従来の〝異分野〟への展開をターゲットにしていることだ。すでに無線LAN（構内情報通信網）では、既存方式の六倍にあたる三百二十四メガビット／秒の通信速度を持つ次世代装置を開発。この開発成果の一部は、米電気電子学会（IEEE）の「802・11n」方式の国際標準化に提案され、採用されている。

「広域化」については、仙台市街地の広域をカバーする基地局を複数設置した実験を実施。車で移動しながらでも、基地局間や無線LAN施設への接続切り替えをシームレスに行える3技術開発に成功した。さらに「超高速化」については、フルハイビジョン動画を非圧縮で産業の中では三年が〝長期〟といわれる。この技術が普及すれば、広域から近距離まで複数の無線通信方式を、一つの端末で通信することが可能となる。

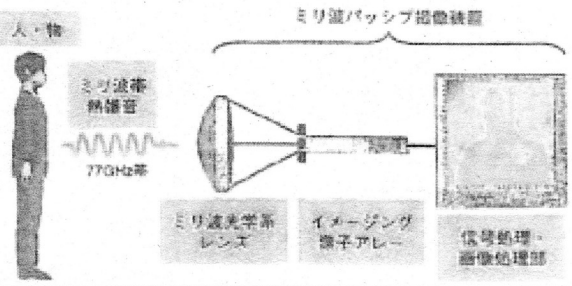
「広域

電波新聞　2008年３月19日　掲載

ミリ波パッシブ撮像装置
マスプロが開発
東北大、中央電子と協力

新たなセキュリティ機器

ミリ波パッシブ撮像装置イメージ図



3年後実用化

マスプロ電工は18日、文部科学省が注力する平成19年度「安全・安心科学技術プロジェクト」の一つ「ミリ波パッシブ撮像装置」を東北大学、中央電子と共同で開発を開始した。

今回の共同研究は、高周波機器の開発・製造に高度なノウハウを持つマスプロ電工と、画像処理技術を得意とする中央電子（東京都八王子市）が、東北大学の協力により取り組むもの。

「ミリ波パッシブ撮像装置」は、人や物から放出されるミリ波帯の信号を画像化する装置。主に海外で軍事用途で研究されてきたが、空港などで使われている金属探知機や X 線検査装置に次ぐ新たなセキュリティ機器として、３年後の製品化をめざす。

セキュリティゲートの金属探知機は、ナイフなど金属製は検知できるが、液体や陶器、化粧品などは検知不可能で、液体爆弾などの危険物を未然に発見できるセキュリティ機器の開発が期待されていた。同社は、衣服の下に隠した不審物でも非接触で検知でき、リアルタイムで画面に表示する「ミリ波パッシブ撮像装置」の開発に着手した。

ミリ波帯の熱雑音は、人や物体など熱のあるものから常時放射されている。本装置は、鏡筒を持つ人体から放射されている熱雑音の強弱により人や物などの外形を画像化する。

ミリ波は布や紙などを透過しやすいため、表面温度だけを画像化する赤外線カメラとは違って、衣類に隠し持った不審物を検知できる。

日刊工業新聞　2008年３月20日　掲載

ミリ波パッシブ撮像装置の開発に着手
マスプロ電工など
【名古屋】マスプロ電工は東北大学、中央電子（東京都八王子市）と共同で「ミリ波パッシブ撮像装置」の開発に着手した。人体や物体から放射されるミリ波を感知し、カメラと同じ原理で信号化し画像に表示するもの。２０１０年度の製品化を目指す。製品化すれば国内初となる。

ミリ波は布や紙などを透過しやすいため、衣類に隠れた物体を非接触で検知できる。空港や港湾などセキュリティーを重視する場所での使用が見込まれる。

日刊工業新聞　2007年6月8日　掲載

科学技術

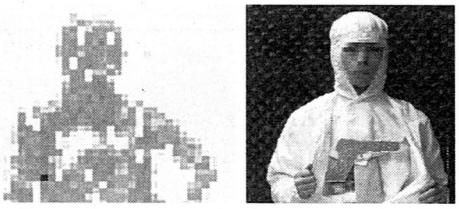
「ミリ波」を画像化

富士通と東北大が新技術

車の走行支援や医療に用途

水野研

富士通と東北大学は共同で、人や物体が自然に放射する熱雑音に含まれる微弱な電磁波「ミリ波」信号を受信し、画像化する技術を開発した。電波が減衰しにくい94ギガヘルツ帯（ギガは10億）のミリ波を検知するため、遠方にいる人や車などの形を画像でとらえられる。雑音を抑えて効率化した新開発の増幅器でミリ波のセンサーを試作し、軍事用途で唯一実用化されている米国製のセンサーに比べて画像化に要する時間を約10分の1に短縮した。自動車の走行支援や医療用途などに幅広い応用を見込み、2010年をめどに製品化する。



富士通は高性能なミリ波センサーを開発するため、組み込む増幅器の回路を工夫した。インジウムリンを使った同社開発の高電子移動度トランジスタ（HEMT）を用い、複数のトランジスタ間を接続する配線の距離を最適化して雑音を低減。さらに基板に不要な電波を吸収する層を設けて、回路を安定的に動作できるようにした。

試作した増幅器のチップ（1・25ミリ×2・2ミリメートル）は性能の指標となる増幅率が33デシベルと従来より3デシベル向上でき、画像を取得するまでの時間に対応する雑音指数は同0・8デシベル減の3・2デシベルまで減らせた。ミリ波センサーの研究で主流の94ギガヘルツ帯の増幅器で比較しても世界最高性能になるという。

ミリ波は、物体を透過するという光や赤外線にはない特徴を持つ。自然に放射されるミリ波信号を検知し、画像化するミリ波センサーは特に高度道路交通システム（ITS）として自動車への搭載が見込まれ、車用途だけでも2010年に1000億円超の市場規模が予測されている。

この研究は総務省の助成で行われ、成果は米国で開催中のマイクロ波の国際学会「IMS」で7日（現地）に発表する。

右服の内部に拳銃を模した金属体を隠す左ミリ波画像で明らかに

日刊工業新聞　2007年8月7日　掲載

「安全・安心科学技術プロ」

日立など5件採択

文科省が今年度研究開発課題

文部科学省は07年度「安全・安心科学技術プロジェクト」の研究開発課題として日立製作所の「ウォークスルー型爆発物探知システム」など5件を採択したと発表した。テロ・犯罪対策に対する科学技術をテーマにしたもので、第3期科学技術基本計画の「社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術」の政策目標に沿ったプロジェクト。5件の内訳は研究開発3件、フィージビリティースタディー2件。69件の提案から選出した。

その他の採択テーマは次の通り。（カッコ内は代表機関）

▽「ミリ波パッシブ撮像装置の開発」（東北大学）▽「有害危険物質の拡散被害予測と減災対策研究」（東京大学）▽フィージビリティースタディー「化学・生物剤マルチ検出バイオセンサーの開発」（大阪大学）▽同「設置型生物剤検知デバイス実用化にかかわる研究」（佐賀大学）

日本経済新聞　2007年9月30日　掲載

サイエンス

『電波の目』車の衝突防ぐ

ミリ波応用拡大 高速無線通信も

電波であるとともに光のような性質も持つ「ミリ波」の利用が広がろうとしている。自動車の衝突防止システム向けに車間距離を測定するレーダーが使われ始め、ハイビジョン映像を無線送信する技術として国際規格の策定も進んでいる。服や煙などを透過するため、セキュリティーや災害救助への用途も考えられている。

歩行者が横断歩道を渡ろうとしているが、運転手は気付かない。すかさず車が自動でブレーキ――。

こんなシステムを世界で初めて搭載して販売しているトヨタ自動車の高級車ブランド「レクサス」の「LS460」。従来の車載レーダーは車両や建造物が対象で、歩行者の検知は困難だったが、「ミリ波レーダーの改良とステレオカメラによる立体物認識情報を組み合わせる方式の採用で課題を解決した」（同社）という。

ミリ波はその名の通り波長が一ミリメートルから十ミリメートルとミリ単位の電波。この波長はリモコンや光通信に利用される赤外線より長く、テレビや携帯電話の電波より短い。

これを使ったレーダーがミリ波レーダーで、「電波の目」とも呼ばれる。従来のレーダーに比べ遠くまで届きにくいが、小さいものをとらえやすいので、人の検知が可能。光のように直進性が高く、しかも赤外線に比べて雨や霧の影響を受けにくいため、車なら百―百五十メートル先ぐらいまでは発見できる。車間距離を自動で一定に保ったり、衝突しそうな状況を察知してブレーキやシートベルトの安全装置を早めに作動させたりする。

高級乗用車やトラック・バスなど商用車を中心に搭載が進んでおり、矢野経済研究所の調査によると、二〇〇六年には約三十万台まで拡大。今後も高い伸びを維持し「一〇年ごろには約百万台に達する」と同研究所は予測している。

レーダーに続く用途として有望なのが高速無線通信の分野だ。電波とはいっても国の免許なしで手軽に利用できる。通信の場合は距離が十メートル程度に限られるが、大量のデータを乗せられる。室内でテレビやビデオカメラ、パソコンなどの間でハイビジョン映像のような大容量を送受信する応用が期待されている。消費者にとっては面倒な配線をしないでデジタル家電ネットワークを作れる。

「まるで映像が空中に浮いているように見せることができる」。シャープが八月に公開した開発中の壁掛け型の超薄型液晶テレビ。透明樹脂などの支え台に取り付け、映像コードがつながっていないため、一見すると浮いているよう。コードがないのは映像データを無線で受け取るインターフェースにミリ波を使っているからだ。

公開では実際にハイビジョン映像を送ってみせた。通信速度は毎秒五ギガ（ギガは十億）ビット以上で、地上デジタル放送の数番組分を一度に送れる。

ミリ波を利用した超高速無線通信規格はIEEE（米国電気電子学会）の無線技術の国際標準をまとめる作業部会で検討されている。最有力候補は情報通信研究機構やソニー、松下電器産業など日本を中心とする二十社・団体が開発、提案した規格案。十一月に米アトランタで開催される作業部会で国際標準規格としてまとまる見通しだ。

セキュリティーや災害救助向けに〝透視〟カメラとしても期待されている。東北大学の水野皓司客員教授らは服のポケットなどに隠したCDを見つけ出すカメラを開発中。企業などの機密データをCDやDVDに写してこっそり持ち出す犯罪の対策に利用できるとみている。

実は人体やプラスチックからは常時、ミリ波が放出されている。服に隠れて可視光では見えない物でも、電波のミリ波は透過して外に出てくるので、それをカメラでとらえる。ミリ波の強度や波長は放出元の物質によって違うため、受信波を解析すれば、あたかも透視したように、服の内側のプラスチック製のCDがわかる仕組みだ。

NHK放送技術研究所は事故や火災現場などでの報道や救助支援システム向けに、煙やカーテンの向こうの人物を撮影するカメラを開発中。四―五年後の実用化を目指すという。

現在ミリ波の送受信機は高価だが、東芝などが安価なシリコン半導体を使った素子を開発している。水野客員教授は「四―五年以内に低価格化が進み、普及が加速する」とみる。

（合田義孝）



いろいろ使えるミリ波の世界

電波の目で安全運転

危険を察知してブレーキ作動

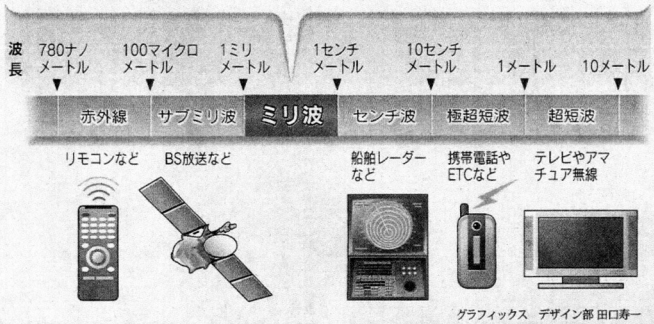
ハイビジョン映像を配線なしで高速伝送



電波カメラでCDの持ち出し監視



東北大学が開発したミリ波カメラ。服の下に隠し持ったCDを検出



グラフィックス　デザイン部 田口寿一

キーワード

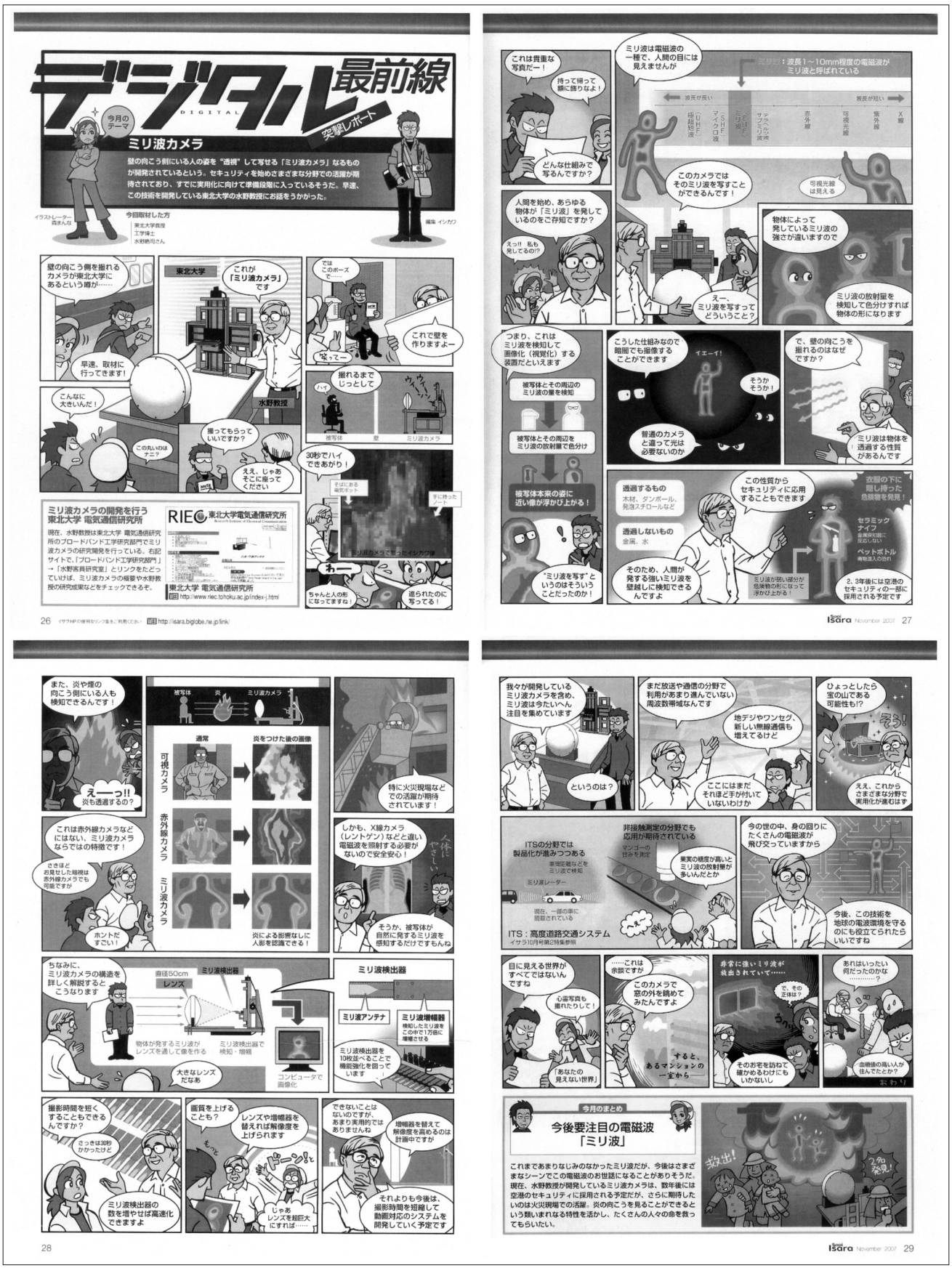
ミリ波通信

ミリ波は周波数が三十ギガ（ギガは十億）―三百ギガヘルツの電波。車載レーダーでは主に七十六ギガ―七十七ギガヘルツ、ミリ波通信では六十ギガヘルツ帯を使う。免許なしで利用できる帯域が日本や米国で七ギガヘルツ幅、欧州で九ギガヘルツ幅と非常に広く、高速大容量通信が可能。

減衰しやすく障害物を回り込みにくいため、屋内など短距離の通信での利用が想定されている。通信速度は最大で毎秒六ギガビットで、ハイビジョン映像を数チャンネル一度に送れるのが強み。デジタル家電の接続規格「HDMI」の無線化で利用が想定されている。

免許なしで利用可能

「デジタル最前線」（ミリ波カメラ）
サーイ・イーサラ（NECビッグローブ社）2007年11月　掲載



河北新報　2007年6月5日　掲載

電波通信に功績
4人6団体表彰
東北総合通信局

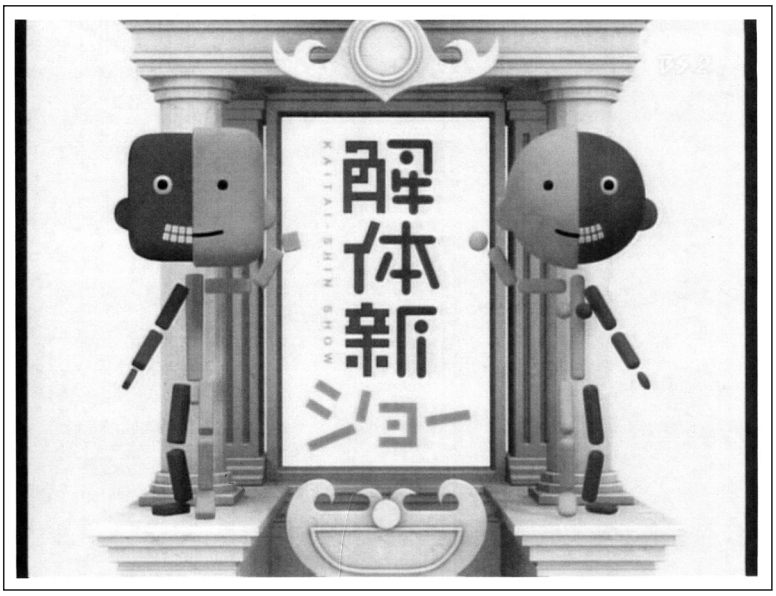
東北総合通信局は、電波の利用や情報通信の発展に功績があったとして、気仙沼向洋高の高橋春義教諭(四五)ら四人、六団体を表彰した。

電波の日（一日）と情報通信月間（五月十五日―六月十五日）に合わせた顕彰。高橋教諭は長年、無線従事者養成の指導に当たったことが評価された。

ほかの被表彰者、団体は次の通り。

高橋貞夫電波適正利用推進員(七六)＝仙台市＝、鈴木陽一東北大電気通信研究所教授(五三)、富樫敦宮城大教授(五〇)、東北漁業無線協会、エルネット仙台、奥州市、東北大未来科学技術共同研究センター、福島県、秋田県藤里町

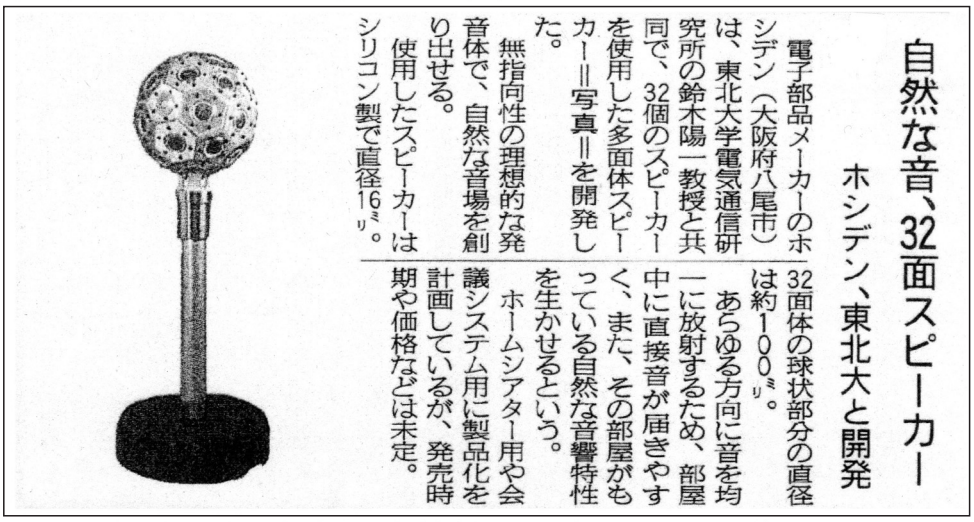
ＮＨＫ「解体新ショー」2007年９月15日放映







フジサンケイ
ビジネスアイ　2007年10月4日　掲載



自然な音、32面スピーカー

ホシデン、東北大と開発

電子部品メーカーのホシデン（大阪府八尾市）は、東北大学電気通信研究所の鈴木陽一教授と共同で、32個のスピーカーを使用した多面体スピーカー＝写真＝を開発した。

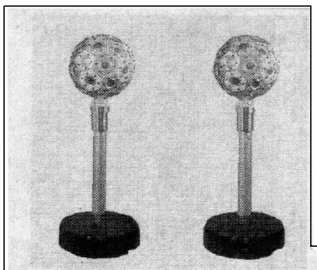
無指向性の理想的な発音体で、自然な音場を創り出せる。

使用したスピーカーはシリコン製で直径16ミリ。32面体の球状部分の直径は約100ミリ。

あらゆる方向に音を均一に放射するため、部屋中に直接音が届きやすく、また、その部屋がもっている自然な音響特性を生かせるという。

ホームシアター用や会議システム用に製品化を計画しているが、発売時期や価格などは未定。

電波新聞　2007年10月5日　掲載



ホシデンと東北大の無指向性多面体スピーカ

聴く場所選ばず良好な音の広がり

ホシデン　東北大と　無指向性　多面体スピーカ開発

ホシデンはこのほど、東北大学電気通信研究所先端音情報システム研究分野（鈴木研究室）と共同で、無指向性多面体スピーカ「HVE041-2」を開発した。

同製品は32個のスピーカで構成され、無指向性の理想的な発音体（呼吸球）に近く、自然な音場を再現する。

使用するスピーカはシリコン製のソフトエッジタイプで、豊かな低音域再生を実現している。あらゆる方向へ均一に音を放射させることで、部屋中に直接波が届きやすい。また、その部屋の自然な音響特性を生かせるため、聴く場所を選ばず良好な音の広がりが体感できる。

外形寸法は直径約100ミリ。インピーダンスは4Ω。使用スピーカはφ16ミリ。主な用途はホームシアター用スピーカ、会議システム用スピーカなど。同製品は、幕張メッセで6日まで開催の「CETAEC JAPAN2007」で展示・実演を行っている。

電波新聞　2007年10月4日　掲載

『シーテック ジャパン07』部品ブースから

～上～

接続／変換部品

0.1ミリピッチFPCコネクタやMEMS技術採用センサーなど

次世代見据えた新製品・新技術公開

ユビキタス社会を進化させる機器の「小型・高性能化」「大容量高速通信」「モバイル／ワイヤレス化」の進展を背景に、接続／変換部品分野でも技術革新が急速に進んでいる。今年のシーテックでも、次世代携帯電話やデジタル家電、ワイヤレスネットワーク、カーエレクトロニクスなどの高度化に対応する新製品・新技術が参考出品も含め幅広く紹介された。



アルプス電気は各種センサーバラエティを紹介

アルプス電気は、戦略製品に位置付ける各種センサーのバラエティとして、高精度磁気センサー・スイッチング出力タイプ、圧力センサー・ピエゾ抵抗タイプなどを紹介するとともに、静電容量のセンサー技術として「aFオーダー容量検出回路技術」を参考出品した。ノイズレベルを微細化する回路形成により100aFレベルまでの検出可能距離を実現する。

ミツミ電機も各種センサー製品を紹介。MEMS技術により小型・低背化を図ったピエゾ抵抗式加速度センサーやピエゾ抵抗式圧力センサーを参考出品したのをはじめ、物体の温度を非接触で測定する非接触型赤外線センサーモジュール、ソリッド光学式指紋センサーなどを紹介。このほか、燃料電池向け小型エアポンプ、振動・共振を大幅に低減したアウターローター型ステッピングモーターなどを参考出品した。

村田製作所は、08年1月から量産開始するRFIDタグ用ストラップ「マジックストライプ」（ストラップ寸法3・2×1・6×0・5ミリメートル、物流用アンテナ長10センチメートル）を実演展示で初公開した。

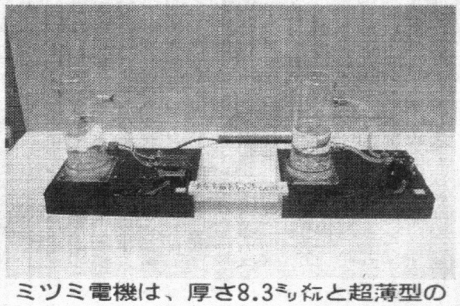
ロームは、ATR波動工学研究所の波動工学技術を参考出品したのをはじめ、ベースに日本航空電子工業、古河電気工業と共同研究している半導体レーザーを媒質とするリンクレーザージャイロが可能であることを、世界で初めて実証したことを紹介した。

タイコ エレクトロニクス アンプは、グループ各社の最新技術を紹介。コネクタ関連では、インフィニバンド準拠の高速・高スループットを実現するロングリーチ対応のインターコネクション「アクティブオプティカルケーブルアセンブリ」の実演や、産業機器用イーサネットを紹介。タッチパネル・システムズの世界初の三角形タッチパネルのデモも実施した。



タイコ エレクトロニクス アンプは高速・高スループットのアクティブオプティカルケーブルアセンブリをデモ

SMKは、独自の防水構造を施した「太陽電池モジュールコネクタ」を初出品、デモを実施したほか、ホシデンは、多極FPCリモコン用RFモジュールコネクタ、micro-USBコネクタや、車載用MOSTコネクタ、静電容量タッチセンサーを参考出品。インフィニオンテクノロジー社と技術提携し、08年から量産するMEMSマイクロホンの実演や、東北大学と共同開発の無指向性32面体スピーカ、ブルートゥースヘッドセット、2・4ギガヘルツRFヘッドホンの参考展示も行った。



ミツミ電機は、厚さ8.3ミリメートルと超薄型の液冷システム用ポンプモーターをデモ

日経トレンディネット（Web） 掲載

近未来のデジタル機器の姿を予感させる新デバイスを電子部品ホールで発見【CEATEC2007】

nikkei TRENDY net 日経トレンディネット

CEATEC会場レポート

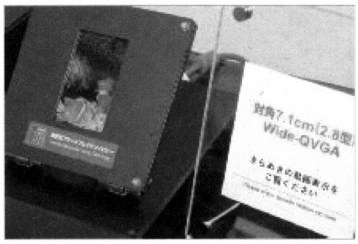
CEATEC JAPAN 2007 TOP　CEATEC会場レポート

近未来のデジタル機器の姿を予感させる新デバイスを電子部品ホールで発見【CEATEC2007】

2007年10月4日 ［ 磯 修＝デジタルARENA ］

幕張メッセ内の5つのホールを利用して行われている電子部品・デバイス＆装置の展示は、一見すると一般ユーザーには縁遠い存在と思いがちだ。しかし、近未来のデジタル機器の姿を予感させてくれる興味深い展示も随所に見受けられるなど、エンジニアならずともチェックしておいて損はない。

そこで、電子部品・デバイス＆装置関連ブースで目を引いたアイテムをいくつか紹介したい。気になるものがあれば、ぜひブース内の担当者に質問してみるとよいだろう。たとえエンジニアではなくても、丁寧に解説してくれるはずだ。



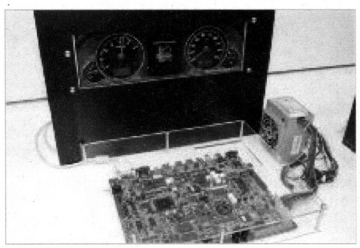
東芝松下ディスプレイテクノロジーのブースでは、WQVGAの解像度を持つ2.8型ワイドタイプの有機ELパネルを展示。スペック的に携帯電話に向いており、近い将来メインディスプレイに有機ELを採用した携帯電話が登場しそうだ

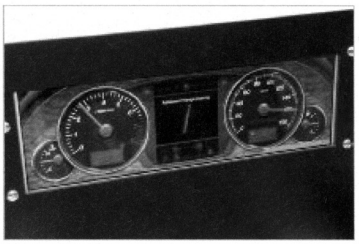
【拡大表示は画像をクリック】



こちらも同じく東芝松下ディスプレイテクノロジーのブースで展示していた液晶パネル。液晶の画素の間に光センサーを配置し、指が画面に触れたことを外光の影とバックライトの反射で検知する機能を持っている。今後は、タッチ操作が可能な携帯電話が主流になるかもしれない

【拡大表示は画像をクリック】





これも、東芝松下ディスプレイテクノロジーのブースで発見した自動車向けデバイスの参考展示。メーターの間に小さめの液晶パネルを搭載するクルマは多いが、これはメーターを含めたすべてがカラー液晶で描写されている。ユーザーの好みで表示方法を変更で

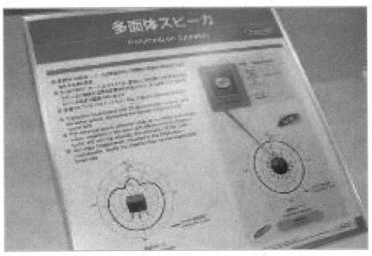
http://trendy.nikkeibp.co.jp/article/ceatec/20071004/1003239/　2007/10/04

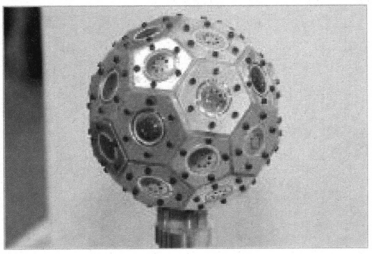
近未来のデジタル機器の姿を予感させる新デバイスを電子部品ホールで発見【CEATEC2007】

きるなど、メリットは多そうだ。
【拡大表示は画像をクリック】

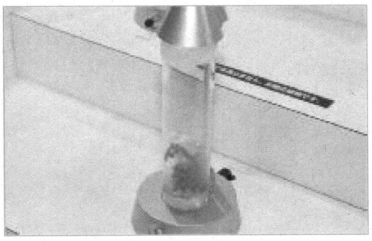



日立金属ブースでは、3軸加速度センサーを利用したデバイスを参考出品していた。箱形のヘッドマウントディスプレイを覗くと、内部にグラフィックスで描かれた景色が見える。このデバイスを上下左右に振ると、装着している加速度センサーが動きを認識し、その動きの通りに景色も動く仕組みだ。デジカメで採用されれば、画像の再生が楽しくなりそうだ
【拡大表示は画像をクリック】





ホシデンブースでは、360度の方向に32個の小型スピーカーを内蔵した球状の「多面体スピーカー」を展示。音があらゆる方向に均等に伝わるため、部屋のどこにいても偏りのないサウンドが楽しめるというメリットがある。狭い部屋でスピーカーの置き場に困っている人には朗報だ
【拡大表示は画像をクリック】

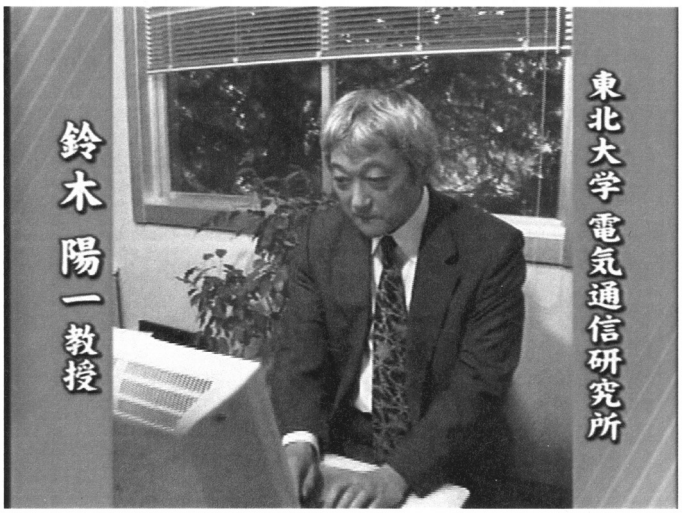



LED関連のデバイスを扱っているブースでは、LEDの光により植物の成長を促進させる「インビトロフラワー」の展示を行っていた。植物の種類により、成長に適したLEDの色が異なるそうだ。すでに実用化している農家もあるとのこと
【拡大表示は画像をクリック】

http://trendy.nikkeibp.co.jp/article/ceatec/20071004/1003239/　2007/10/04

東日本放送
「東北大学の新世紀」
2007年12月10日　放送







北国新聞　2008年１月３日　掲載

補聴器に新たな雑音処理法

音の方向はっきり

北陸先端大 李助教ら開発

北陸先端科技大学院大情報科学研究科の李軍鋒助教は二日までに、補聴器の新たな雑音処理方法を開発した。二段階の雑音抑制法で、音がどこから聞こえるかという「方向性」は残したまま、雑音を聞こえにくくすることに成功した。既に企業から問い合わせが寄せられており、世界中のメーカーが開発を競う次世代補聴器の技術に応用が期待される。



補聴器の新しい雑音処理方法を開発した李助教（左）と赤木教授＝北陸先端科技大学院大

研究は、東北大電気通信研究所人間情報システム研究部門の鈴木陽一教授と坂本修一助教、宮城高専の本郷哲准教授、北陸先端科技大学院大音情報処理学講座の赤木正人教授と共同で進められた。

従来の補聴器は耳に入る音を大きくする機能を持つが、周囲の雑音も画一的に増幅されて聞きづらかった。聞きたい音だけを大きくするために、信号処理技術で雑音を抑える方法を各メーカーが開発しているが、目的の音がどこから発せられているか分からなくなるという欠点は克服されていないという。

李助教らは、超小型のマイクを複数組み合わせた指向性マイクを補聴器に使い、高い音ほど直進性が強いという性質から生まれる音圧差や、音が左右のマイクに到達する時間差を利用して、補聴器でも耳が持つ働きと同じように音の空間情報を知覚させた。

さらに、雑音はほとんどが突発的な音であることに着目した。目的音の方向以外から聞こえる音を雑音と予測し、それを取り去るという二段階の処理方法を可能にした。

実際に音を与えた方向と知覚した方向を比べる実験では、精度はプラスマイナス一五度の範囲内に落ち着いた。雑音処理による音のひずみを評価する実験でも、従来の補聴器に比べてもっとも違和感がないと評価された。

李助教らは「補聴器に搭載する処理装置の性能が向上すれば、今回開発した雑音処理方法を使ってより自然な補聴器をつくることができるだろう」と話している。この研究は昨年六月に仙台市で開かれた「日中音響学会議2007」で発表され、最優秀論文賞を獲得した。

日経ビジネス　2007年6月18日号　掲載

動画の新風

ネットのあした

ブログが「テレビ番組」に

文章を動画に変換するソフト広がり、個人放送局も

**台詞を書いただけで、「テレビドラマ」が出来上がる――。
そんなソフトが、ブログの動画化を進める可能性を秘める。
「個人放送局」が広がる日もそう遠くないかもしれない。**

マダム：ねえ、いつになったら奥さんと別れてくれるの？

社長　：いやいや、もう少し待ってくれ。

マダム：あなた、いつもそうね…

文章から動画を作成するソフトウエアを使うと、例えばこんな台詞を入力しただけで、キャラクターが身ぶりをしながら合成音声で話すドラマが自動的に出来上がってしまう。このソフトウエアを開発し、普及活動をしているのが、東北大学電気通信研究所の青木輝勝准教授だ。

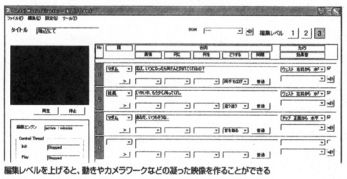
世代・国境超えた交流に

誰でも簡単にアニメーションを作れないものか――。青木氏が5月まで在籍した東京大学先端科学技術センター時代から主宰する「ムービー塾」では毎回20人程度の参加者を募集。1日がかりで動画コンテンツを作る仕組みの解説から、実際に自分でアニメを製作する作業までを体験する。同センターのある東大駒場キャンパスだけでなく、学校やサークル向けに大阪や名古屋などで"出張授業"も開催。参加者も小学校2年生から89歳のお年寄りまでと幅広い。これまでに51回開催した同塾の生徒数は延べ1000人に上った。



台詞を入力するだけで動画ができる

青木氏のムービー塾で使うソフトウエアの入力画面



編集レベルを上げると、動きやカメラワークなどの凝った映像を作ることができる

インターネットを活用した高齢者の交流サークル「メロウ倶楽部」で幹事を務める若宮正子さん（72歳）も同塾の参加者の1人だ。友人に誘われて何気なく参加してみたところ、動画作りの面白さに引き込まれた。

「だって自分が書いたものがそのまま台詞となって話すんですよ」。これこそが動画作りの魅力。さらに「動画によるコミュニケーションは世代の壁を越える」ことも特徴だ。たまたま同じ回にムービー塾に参加した小学生に、若宮さんが作った動画を見せたところ、すごく笑ってくれた。「お年寄りと孫の世代でも、動画を使えば一緒に楽しめる」。

若宮さんが所属するメロウ倶楽部では日本と韓国の高齢者との交流も進めており、そこでも動画を活用している。アニメの動画を介することで、世代だけでなく国境を超えたコミュニケーションにも使えるわけだ。韓国語はカタカナで入力すれば、キャラクターが発音してくれる。

コンテンツ立国への道

そもそも青木氏はなぜ、こんなソフトウエアを開発しようと思ったのだろうか。「ブログがこんなに普及してきたのに、動画コンテンツを一般の人が作るのは難しい。何とか簡単に動画を作ることはできないものか」。こう考えたのがきっかけだという。

映像というと、従来はテレビなど技術や設備が整ったマスメディアの一部の製作者が作って発信してきた。ただ、米グーグルが買収した動画共有サイト「ユーチューブ」が爆発的な人気を呼んだり、動画にコメントを入れられる「ニコニコ動画」が急成長するなど、個人の動画への関心が強まっている。

ところが、現在のブログはほとんどが文章や写真などによって構成されており、動画を使っても文章の間に挟み込む程度にとどまっている。青木氏は「ドラマ仕立てのような動画にすれば、ブログなどの視聴率がもっと上がるのではないか」と予想している。

さらに青木氏は、この普及活動が「コンテンツ立国につながる」とも見ている。従来はほとんどの人が、テレビなどを通じて提供された動画コンテンツをただ受け身で見るだけだったが、実際に自ら動画作成を体験することで映像を見る目が肥え、「日本人の動画コンテンツレベルの底上げにつながる」からだ。

青木氏が開発したデジタル・ムービー・ディレクター（DMD）というソフトウエアの仕組みを見てみよう。

動画を作成するステップは、大きく3段階に分かれている。まずは自由にシナリオを書いてみるだけの「レベル1」。最初に設定されている演出をベースに、主語と述語と台詞を入力してキャラクターにしゃべらせてみる。

次の「レベル2」ではカメラワークやキャラクターの顔の表情、BGMなどをつけることができる。これで少しは実際のドラマの雰囲気が出てくる。そして「レベル3」では、あらかじめ設定されているいくつかの舞台から自分で好きなものを1つ選ぶほか、キャラクターの立ち位置や向きを決める。

冒頭の不倫ドラマでは、まずタイトルを「海辺にて」と設定。次にマダムと社長という登場人物に加え、それぞれの台詞、動きを選択する。さらにカメラの位置を最初は右前から、次は左前から、最後は正面からに設置。ウエスト（腰から上のカット）かアップ（顔のアップ）を決めると、左のような動画が出来上がる。

DMDのソフトウエアはムービー塾に参加した生徒だけではなく、ムービー塾のホームページで申し込み手続きをすれば無料で手に入れることができる。（http://www.movie-school.org）

ただ台本を書くだけで、なぜこんなことができるのか。この魔法の裏側には、文書を動画へと変換するTVML

動画生む魔法の言語「TVML」
ディレクター気分で番組制作

TV program Making Languageの略。文書を動画に変換するためのコンピューター言語。1996年から97年にかけてNHK放送技術研究所が、日立国際電気、日立製作所中央研究所、慶応義塾大学と共同で開発した。2001年9月に研究開発チームは解散し、個別の活動に移行した。ソフトウエアのメンテナンスなどはNHK放送技術研究所が引き継いだ。実際にNHKの英語トークバラエティー番組「英語でしゃべらナイト」でも使われた。

実際にテレビ番組作りに必要な要素となる、character（キャラクター）、set（スタジオセット）、prop（小道具）、camera（カメラワーク）、narration（ナレーション）などをTVMLで定義する。

例えば、character：talk（name=ナカハラ, text="こんにちは、ナカハラです"）と書くと、ナカハラというキャラクターが、「こんにちは、ナカハラです」と話す。キャラクターの動きだけでなく、正面のカメラから左斜め前のカメラに切り替えたり、ナレーションを間に挿入したりすることを可能にした。まるでテレビ局のディレクターになった気分で、番組作りが体験できる。

TVMLで動画を作成したり、再生したりするためのプレーヤーは、以下のNHK放送技術研究所のホームページから無償でダウンロードできる。（http://www.nhk.or.jp/strl/tvml/japanese/player2/index.html）

このソフトウエアは、個人がホームページに掲載したり、教育機関、学会などで活用するような場合には無料。ただ営利目的で利用する場合には、1番組につき1万500円のライセンス料が必要となる。

動画の新風

と呼ばれるコンピューター言語があるのだ。

TVML考案者も動く

このTVMLを使って動画を作成する活動を推進するもう1人の人物がいる。TVMLをNHK放送技術研究所で考案した林正樹氏だ。セガサミーホールディングスの子会社、セガサミーメディア（東京都港区）でTVMLを使った動画製作技術の開発を続けている。TVMLの技術を使った動画コンテンツ配信に興味を持ったセガサミーの誘いを受け、23年勤めたNHKを昨年6月に退社した。

セガサミーメディアが「個人で放送局を運営してみよう」というコンセプトで現在進めているのが、Zi－Bang！（仮称）と呼ぶ動画コンテンツ配信サイトの立ち上げ。現在はまだ試験運用中であるため一般の人の利用はできないが、同社の社員や関係者らが、TVMLを使った動画を作成して掲載している。

基本的な仕組みは青木氏のDMDと同じだが、Zi－Bang！ははよりシンプルな設計になっており、ほとんど台本通りに記述していく。記者も仮のIDをもらい、実際に動画を作成してみた。タイトルは「ネットのあした」だ。

タイトル：**ネットのあした**

（Aのフルショット）

（Aのカメラ目線）

どうも、こんにちは、こちら日経ビジネス編集部です。

（Aのアップショット）

今回はブログをTV番組にしてしまおうという活動に取り組んでいる方を紹介します。この仕組みを使うと

（待つ）

（喜）

キャラクターが喜んだり

（アクション直る）

（待つ）

（哀）

悲しんだり

（アクション直る）

（待つ）

（Aのアップショット）

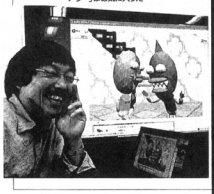
このように動かして楽しむことができます。さようなら。

（ロングカメラ）

（バイバイ）

こんな具合に台本の文章を書き込んでいく。登場人物と台詞を入力する部分は、青木氏のDMDと同じだが、台詞の間に、（待つ）と書き込んだり、（喜）（哀）といった表情や行動パターンは実際のテレビ番組の台本さながらだ。最後にあらかじめ準備された複数の演出の中からベテランのアナウンサーがスタジオで解説するセットを選択すると、すぐに左のような動画が出来上がった。





NHK時代に「TVML」を考案した林正樹セガサミーメディア取締役。「英語でしゃべらナイト」で登場したキャラクター「ボブ＆メアリー」はお気に入りだ

舞台セットに企業広告も

セガサミーメディアでは、こうした動画の配信サイトを秋にオープンする予定だ。当面はできるだけ多くの人に簡単に動画コンテンツを作ってもらうことが狙い。自分が作った動画を他の人に見てもらうだけでなく、他の人が作った動画を見て評価することで、「新たなコミュニケーションの輪が広がる」という。動画の舞台セットの背景などに、企業の広告を載せることも可能で将来は広告ビジネスに発展する可能性もある。

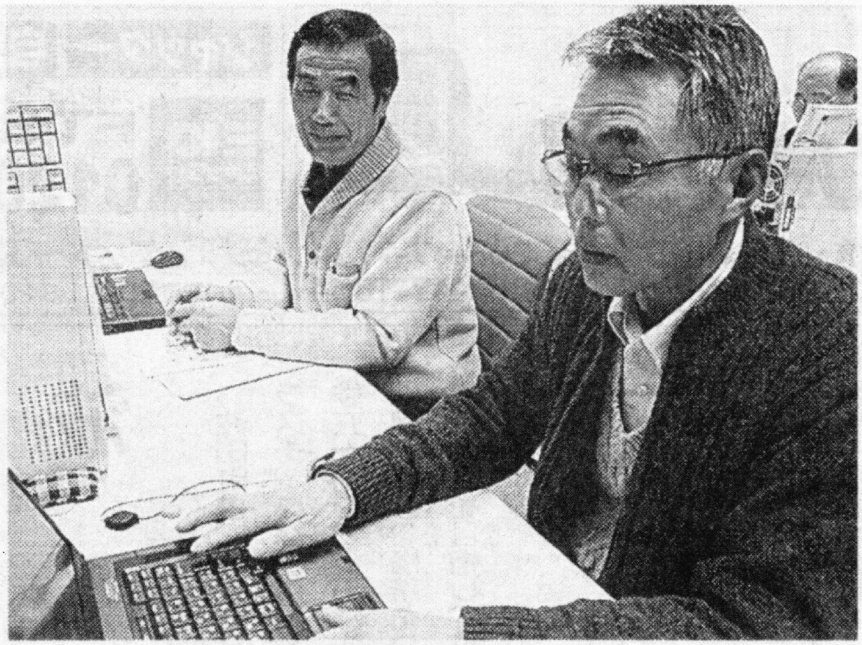
当初はテレビ番組をコンピューターで作ることができないかという発想でNHKの研究所から誕生したTVMLだが、今ではハードルが高かった動画コンテンツ作りの裾野が広がり始めている。ムービー塾やセガサミーメディアの活動を通じソフトウエアが普及すれば、日本中のあちこちで「個人放送局」が誕生する日も遠くなさそうだ。

（中原 敬太）

市民タイムス　2008年2月1日　掲載

アニメ制作に挑戦

シニアネットが講習



オリジナルのアニメ作りに取り組む参加者

松本市内の六十歳以上のパソコン愛好者でつくる「松本シニアネットクラブ」（井口庸生会長）の「ブログ同好会」（塚田巧会長）は三十一日、和田のまつもと情報創造館で、アニメ製作ソフト「DMD（デジタルムービーディレクター）」の講習会を開いた。十六人が参加し、監督になった気分でオリジナル作品づくりに取り組んだ。

東京大学と東京電機大学、東北大学でつくる「ムービー塾」から、東北大学電気通信研究所准教授の青木輝勝さんを講師に招いた。最初にストーリーに合わせたキャラクターを選び、自分で考えた脚本に従ってせりふをつけていった。青春時代の思い出を基にストーリーを構成したりアップを多用したりと、それぞれに工夫が見られ、互いに教え合いながら作業を進めた。新部三三さん（六七）＝新村＝は「自分で撮った写真や描いた絵も使えたらいいね」と提案していた。

講習会の最後には、それぞれの作品を鑑賞しあった。ブログ同好会事務局の宮本鉄雄さん（六六）＝今井＝は「できることを増やして、これからもみんなで楽しんでいきたい」と話していた。

（浅川寛子）

小売経済新聞　2007年12月15日　掲載

映画のワークショップ ムービー塾とタイアップ

キーコーヒー

キーコーヒーは、誰でも簡単に映画（アニメーション）制作ができるソフト「DMD」の開発と普及に努めているムービー塾とタイアップし、「第2回コーヒー・ムービー・ワークショップ」を12月8日、東京・西新橋の同社で開催した。若い男女やシルバー世代の男性など22人が出席。

簡単に映画（アニメーション）制作ができるソフト「DMD（デジタル・ムービー・ディレクター）」は、東北大学電気通信研究所准教授の青木輝勝氏などが開発したもので、シナリオをパソコンで入力するだけで、ソフト内のキャラクターが動画でセリフを話す。

キャラクターは、男子生徒、女子生徒、校長先生など47種類。セットは、学校、教室、街（昼／夜）など43種類。動作は、歩いて移動する、イスに座る、うなずく――など64種類。BGMも多様に用意。キャラクターと動作、セット、BGMを選択することで多様な映画（アニメーション）を制作できる。



写真＝は、「アニメーションの制作にはお金がかかり、テレビのアニメ1分間分を制作するのに300万円かかる。制作時間は、放送時間の1000倍かかる。簡単にアニメが作れるようにDMDを開発した。今日は2時間で2―3分のアニメを作っていただく」とあいさつした。

東北大学電気通信研究所准教授の青木輝勝氏＝

当日のテーマは「コーヒーに関する物語」。優秀な作品に、キーコーヒー賞、ムービー塾賞、みんなで選んだ賞が贈呈された。

◇シルバースキンの再利用

キーコーヒーは、玩具メーカーのバンダイとシルバースキン（コーヒー豆を包んでいる薄皮）を再利用したバイオマスチップを共同開発した。来春には、バイオマスチップを使用した初の玩具「アースカプセル　昆虫採集第2弾（仮）」（昆虫のフィギュア）がバンダイから発売される。

バイオマスチップは、シルバースキンを利用した植物バイオマス素材（約70％）にポリプロピレン（約30％）を混ぜることで、フィギュアのような精巧な商品の成形が可能になる。

主成分が天然素材のため、焼却しても有毒ガスやダイオキシンが発生しないので、自治体によっては燃えるゴミとして処分できる。シルバースキンの排出量は焙煎豆重量の1―2％。

日本経済新聞　2007年4月15日　掲載

サイエンス

電子の自転 応用進む

大容量や省電力 実現の決め手に

家電やパソコン、携帯電話など電気で動く製品は身の回りにあふれている。これらを動作させる電流のもとが電子。電気を帯びているという性質のおかげだが、実は電子はほかに、地球のように自転するスピンという性質を持つ。このもう一つの姿を利用する技術が注目されている。エレクトロニクスならぬ「スピントロニクス」。超高速で消費電力が大幅に少ないコンピューターなどが期待される。

「現在の半導体で限界が迫っている消費電力とデータ伝送の遅延、素子の微細化の三つの課題を突破できる可能性がある」。東北大学の大野英男教授は日立製作所と共同で、スピントロニクス素子としてMRAM（磁気記録式随時書き込み読み出しメモリー）の新しいタイプを開発中だ。

実現すれば、待機時の消費電力は一千分の一、遅延は半分に減らせる。メモリーの回路を構成する基本素子のトランジスタの数も四割減で、それだけ微細化できる。

研究グループは今年二月、記憶容量二ガ（ガは百万）ビットのチップを試作し、「実用化に向けた基本技術を確立した」（大野教授）。今年度中にメモリーとCPU（中央演算処理装置）の演算回路を一体化したチップを作る計画だ。

電子は原子の中で原子核の周囲を回っているマイナスの電気を持った微小な粒子。そして電子が配線の中を移動することによって電流が生まれる。電子と言えば電気のイメージだ。

一方、スピンはその回転の向きによって電子に磁石のようなN極とS極ができる。電気だけでなく、この磁石の性質も利用するのがスピントロニクスで、新たな電子回路や記憶素子などを作れる。

実用化はすでにハードディスクの磁気ヘッドで先行、大容量化が年率六〇%で進む原動力になった。

これに続くのがMRAM。現行のフラッシュメモリーやDRAM（記憶保持動作が必要な随時書き込み読み出しメモリー）の長所を併せ持つ。米フリースケール・セミコンダクタが商用化、国内でも東芝やソニーなどが開発中だ。

ハードディスクやMRAMは情報記録への応用だが、CPUなど論理回路に使う動きも出てきた。「スピントランジスタ」と呼ばれ、記録と演算の一人二役をこなせる。

東京大学の田中雅明教授は「現在の半導体に比べトランジスタ数を七割削減できる」と期待、微細化が進むと電流のわずかな漏れでもうまく動かなくなる「動作限界も突破できる」と話す。業界団体が意見集約する世界半導体技術ロードマップでも次世代トランジスタとして本格的に議論が始まった。

また、処理したい計算に応じて論理回路を随時再構成できるので、人間の脳のように柔軟な思考をするコンピューターが実現できるといわれる。

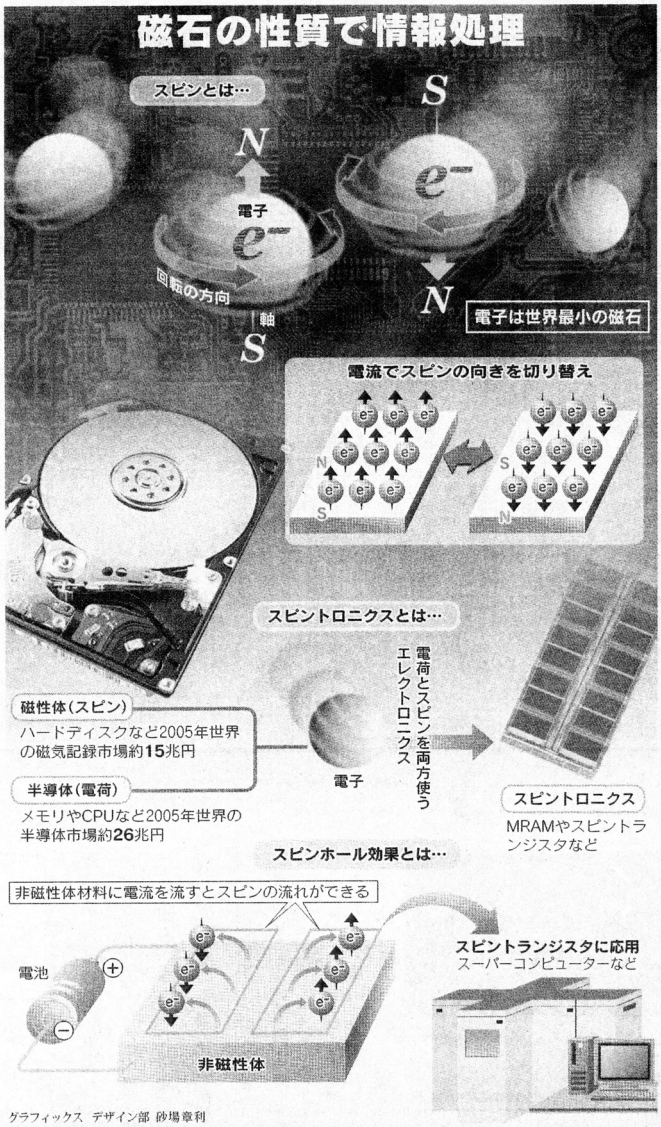
産業技術総合研究所の斎藤秀和研究員らは、スピントランジスタ実現の第一歩となる基本素子を開発した。この素子に電極を付ければトランジスタになり「今年度中に実現を目指す」（斎藤研究員）という。七氏マイナス百度以下に冷却するのが難点だが、室温で動く材料の開発にも取り組む。

米国ではカリフォルニア大学とスタンフォード大学がインテルやIBMなど半導体企業六社と共同で研究に乗り出した。現在のシリコン半導体で微細化が壁にぶつかる二〇二〇年ごろの実用化を目指している。

実現に向けて最近期待されているのが「スピンホール効果」という現象。従来のスピントロニクス素子は特殊な磁性材料で作る必要があったが、この現象を応用すると、使い慣れたシリコン半導体材料など非磁性体を利用できる可能性があり、実用化に適しているとみられる。

同効果は一九七一年にロシアのジャコノフ博士らが提唱。「材料中の不純物が原因で偶然起こる（外因説）」とされたが、〇三年に東大の村上修一助教と米スタンフォード大学のグループが「不純物にかかわらずあらゆる材料で起こる（内因説）」という理論を発表し、注目され始めた。

〇五年には日立ケンブリッジ研究所と米国、チェコの共同研究グループが初めて実証、研究に火が付いた。さらに、冷却しなくても室温で相次ぎ効果が確認され、期待が高まっている。将来、スピントロニクス機器が身の回りにあふれているかもしれない。（合田義孝）



グラフィックス　デザイン部　砂場章利

キーワード

スピントロニクス

スピントロニクスは電子の電荷と持つ性質とスピンの磁石としての性質を活用する技術。従来のエレクトロニクスは電荷のみを利用する。

鉄やコバルトなどから作る磁性材料では、中のスピンの向きをきれいにそろえ、材料全体を磁石にできる。これに電気を流すことでスピンの向きを変え、磁石のN極とS極を逆方向に切り替えることもできる。例えば素子一個の上側がN極の場合は「1」、S極の場合は「0」などとデジタル情報を表現し、記録・処理するのに活用する。

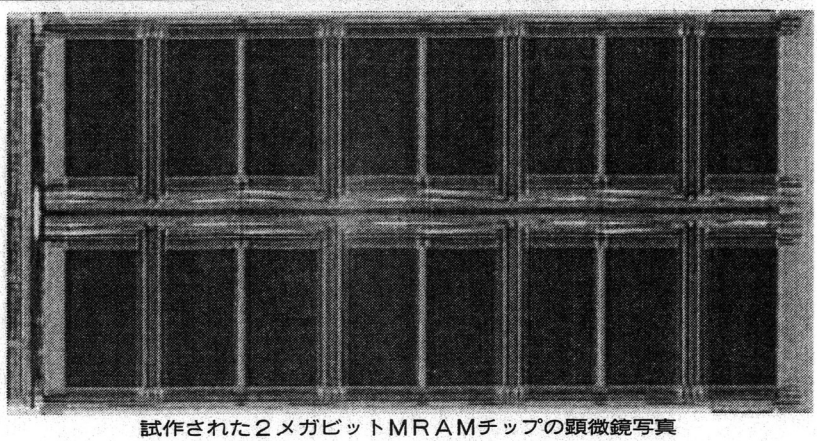
電子の磁性を活用

東北大学生新聞　2007年4月20日　掲載

2メガビット

MRAMチップ試作

微細化・低電力化の加速へ



試作された2メガビットMRAMチップの顕微鏡写真

本学電気通信研究所の大野英男教授（半導体エレクトロニクス）の研究チームは、日立製作所と共同で、スピン注入磁化反転方式を用いた2メガビットの磁気メモリー（MRAM）チップを試作した。メガビットクラスのMRAMの成功は世界初で、成果は2月12日から米国サンフランシスコで開催された国際固体素子回路会議で発表された。

MRAMは記憶素子に磁性体（磁石）を用いたメモリの一種。磁石の向きがどちらを向いているかによって、デジタル信号の0と1を表現する。一般的に利用されている電荷でデータを記憶するメモリ（DRAM）に比べ、情報の書き換えが高速化するほか、書き換えによる劣化がなく、電源を切っても情報を保持し続ける（不揮発性）などの利点を持つ。

またスピン注入磁化反転方式は、電流を素子に流すことにより磁石の反転を起こす方式で、電気的磁化反転方式とも呼ばれる。微細化や低電力化に優位である一方で、書き込み・読み出し時の両方で電流を流す必要があるため、読み出し電流によって情報が誤って書き換えられ易いという欠点を持っていた。

大野教授

研究チームは、これまで独自に開発を進めてきた酸化マグネシウムを絶縁膜の材料にすることで、誤って情報が書き換えられるという課題を克服した。これにより、1・8ボルトの低電力で書き込み時間100ナノ秒（ナノは10億分の1）、読み出し時間40ナノ秒の高速動作をするMRAMチップの開発に成功した。

スピン注入磁化反転RAMの基本回路技術を確立したことにより、微細化・低電力化が進むと見られている。今回開発したメモリセル単体は、サイズが縦横が共に1・6マイクロメートル（マイクロは100万分の1）で、素子サイズや線幅については更に低減することが可能であり、ギガビットクラスのMRAMの実現も期待されている。

研究成果は、文部科学省研究振興局の研究開発委託事業「ITプログラム：世界最先端IT国家実現重点研究開発プロジェクト」の課題の一つである「高機能・超低消費電力メモリの開発」プロジェクトとして実施された。

日経産業新聞　2007年6月4日　掲載

先端技術

採訪 イノベーション拠点

東北大学電気通信研 ナノ・スピン実験施設

半導体、開発から評価まで

次世代の演算回路やメモリーを実現するための両輪となる半導体研究の新分野「ナノエレクトロニクス」と「スピントロニクス」。仙台市内にある東北大学電気通信研究所の「ナノ・スピン実験施設」では、まだ企業が手を出さないこの新分野で、材料や素子の開発に挑戦している。大手企業並みのクリーンルームと製造装置を備え、開発から評価まで一貫して研究できるのが強みだ。

極めて少ない消費電力で動作する「単電子トランジスタ」。世界一速く動作する高速トランジスタ。知的な処理を実行する「ブレインコンピューター」。夢のデバイスを実現するために、研究者がナノ・スピン実験施設に集まるのは理由がある。

同施設は「超高密度・高速知能システム実験施設」を前身に二〇〇四年に設立された。延べ床面積七千三百平方㍍。銀色に輝く外観の内側には、国内の大学ではトップクラスの千六百平方㍍の広大なクリーンルームを設置するなど、企業研究者もうらやむ最新鋭の製造設備がそろう。

化合物半導体や磁性材料など一層ずつ積み上げる成膜装置から、素子や回路を形作る露光装置を備える。最大の武器は線幅二十㌨（㌨は十億分の一）㍍で極小の素子構造を作り込める最先端の「ナノパターン電子ビーム露光システム」だ。超微細な素子を基板から作り上げられる。

「実験施設で作った素子を、半導体加工などに使う酸化処理するだけで、『量子ドット』を作製できた」と胸を張るのは、木村康男助教だ。量子ドットは消費電力が極めて少ない回路の基本素子となる「単電子トランジスタ」に不可欠な構造だ。こうした研究は、高性能なメモリーや演算回路を実現する「ナノエレクトロニクス」分野の成果だ。

半導体製造技術で作った酸化膜の内側を酸化処理すると、アルミの電極間に大きさ一㌨―二㌨㍍の量子ドットを再現性高く作製できた。室温で電極から電子が一個ずつ移動することも確かめた。ゲート電極を付ければスイッチング機能を持つ単電子トランジスタになる。「二―三年以内に実際に動作する単電子トランジスタを作製する」（木村助教）という。

NTTの研究所から移ってきた末光哲也准教授は、磁性材料を組み合わせた研究には企業では手を出しにくい。半導体に磁性を持たせた強磁性半導体の開発に取り組む松倉文礼准教授は「材料ごとにいくつもの成膜装置を備えるこの施設でなければ研究はできない」と訴える。

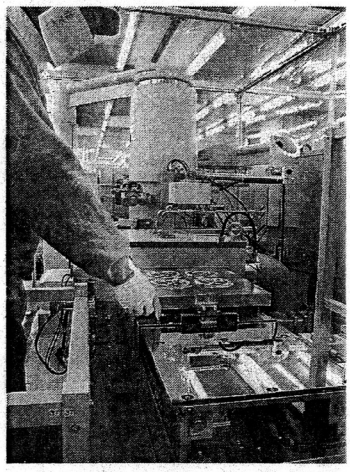
「半導体や磁性材料の基礎的な物性を研究する一方で、先駆的な回路やデバイスを作り上げ、機能を評価することもできる。企業ではできない研究ができることが、ここの競争力の源泉だ」と施設長の大野英男教授は強調する。

今後、課題になってくるのは、研究成果を実用化するために、成果を企業に移転する取り組みだ。代表的なスピントロニクスデバイスであるMRAM（磁気記録式随時書き込み読み出しメモリー）では、日立製作所と連携するなど一部では実を結び始めた。今後はどのような段階で橋渡しするのか、実効的な戦略が求められている。

（合田義孝）

《研究拠点概要》

▽所在地　仙台市青葉区片平2－1－1
▽施設長　大野英男氏
▽予算規模　約4億円
▽研究者数　120人
▽設立年月　2004年4月



線幅20㌨㍍の微細加工ができる装置を使い新しい回路や素子の開発に取り組む

MRAMの開発動向と将来

高速で無制限に書き換え可能

ユニバーサルメモリーに期待

独立行政法人 物質・材料研究機構 フェロー
磁性材料センター スピントロニクス グループリーダー
猪俣 浩一郎

MRAM（磁気抵抗効果型ランダムアクセスメモリー）は強磁性トンネル接合（MTJ）素子の磁化状態をメモリーとし、電源の書損をメモリーとする従来の半導体メモリーとは原理が本質的に異なる。MRAMの書き込みは、電流磁場を用いてMTJの二方の強磁性層（フリー層）の磁化を反転することで行い、読み出しはトンネル磁気抵抗（TMR）効果を利用して行う。MRAMは不揮発性であり、書き換え速度がSRAM並みに速く、動作時および待機時の消費電力が小さく、無制限の書き換え耐性をもち、かつ大容量化が可能などから、ユビキタス社会における「ユニバーサルメモリー」として期待されている。

大容量の不揮発メモリーは省エネルギーや省スペースなどの観点から重要であり、最近、FeRAMに加えてMRAM（相変化型）やPRAM（抵抗変化型）などいろいろな不揮発性メモリーが研究開発されている。これらは勝るMRAMの特徴は、高速で無制限に書き換え可能なことであり、ユニバーサルメモリーと言われるゆえんである。表に各種MRAMと他メモリーとの性能を比較して示す。MRAMは一つの強磁性層とそれに挟まれたバリアーからなるMTJ素子をメモリー素子とし、それをビット線とワード線の交点に2次元的に配置したもので、基本的にはDRAMのキャパシターをMTJで置き換えた構造をしている。このような構造のMRAMは、99年、IBMが「相変化型」やPRAM（抵抗変化型）などいろいろな不揮発性メモリーが研究開発されている。これらは勝るMRAMの特徴は、高速で無制限に書き換え可能なことであり、ユニバーサルメモリーと言われるゆえんである。表に各種MRAMと他メモリーとの性能を比較して示す。MRAMは一つの強磁性層とそれに挟まれたバリアーからなるMTJ素子をメモリー素子とし、それをビット線とワード線の交点に2次元的に配置したもので、平行結合した3層構造を

日刊工業新聞　2007年9月21日　掲載

電流の磁壁移動を検証

大容量磁気記憶素子開発へ

JSTと東北大

科学技術振興機構（JST）と東北大学は共同で、微弱な電流と微弱な磁界が磁石に及ぼす作用に本質的な違いがあることを発見した。磁石は磁気の向きが異なる二つのエリアで構成され、その境界には「ごく薄い「磁壁」と呼ばれる部分がある。磁壁は外から磁界を加えることによって動かすことができるが、近年は電流を流すことにより同様の作用を起こせることもわかっていた。JSTなどは両者の違いを実験で検証することに成功した。電流による磁壁移動現象を利用した大容量磁気記憶素子の開発が始まっているが、今回の発見は信頼性を検証する基礎になるという。研究成果は21日発行の米科学誌「サイエンス」に掲載される。

JSTなどは磁石の性質を示す強磁性半導体を使って磁壁の移動現象を調べた。微弱な電流を流した場合、磁壁はゆっくりと移動する「クリープ運動」と呼ばれる動き方をするが、この現象が磁界によるクリープ運動とは異なっていた。運動速度を表す指数自体が違っていたことから、両作用は「本質的に異なる」と判断した。

研究グループは、電流による磁壁のクリープ運動はこれまで知られていた各種クリープ運動に分類できない新タイプの物理現象であるとしている。磁壁にとどまらず、超電導や結晶成長分野のクリープ運動の研究に影響を与えるほか、大容量・低電力消費磁気記憶素子開発に役立つという。

この研究はJST戦略的創造研究推進事業ERATO型研究「大野半導体スピントロニクスプロジェクト」の一環として取り組まれた。

化学工業新聞　2007年9月21日　掲載

強磁性半導体のクリープ運動

磁界と電流の違い発見

JST 東北大　MRAM開発に寄与

科学技術振興機構（JST）と東北大学の共同研究グループは20日、強磁性半導体のヒ化ガリウムマンガンを用いて、磁壁が非常にゆっくり移動する現象であるクリープ運動を詳細に調べた結果、磁石に微弱な電流を流した時と微弱な磁界を加えた時とでは、磁壁のクリープ運動が本質的に異なっていることを発見したと発表した。磁壁を使った次世代メモリー素子である不揮発性磁気記憶素子（MRAM）の安定性を定量的に議論する基礎となるとともに、この発見によって素子開発を加速させることが見込まれるという。米科学誌サイエンスに掲載された。

同研究グループは、強磁性半導体のヒ化ガリウムマンガンに電流を流すことにより、鉄ニッケルなどの強磁性金属に比べて2ケタ小さい電流密度で磁壁を移動できること、一定の電流密度以上では磁壁が移動する速度は電流に比例して増加すること、一定の電流以下の微弱な電流を流した時、クリープ運動が生じることなどを見いだした。

今回、ヒ化ガリウムマンガンのクリープ運動を詳細に検討し、電流と磁界ではクリープ運動速度を表す指数であるスケーリング指数が異なっていることを明らかにした。電流に対するスケーリング指数はこれまで知られていなかったが、理論的解析によって今回の実験値に近い理論値を得られることがわかった。

日経産業新聞　2007年9月21日　掲載

磁気記憶素子の高性能化へ一歩

電流と磁気 働き区別

大で北内石東磁

東北大学の大野英男教授らは、磁気記憶素子の高性能化につながる現象を解明した。磁石に微弱な電流を流した場合と微弱な磁気を加えた場合とで、磁石内部の磁気に与える効果が明確に異なることを明らかにした。従来は磁石内部での電流と磁気の働きを区別できなかった。磁気記憶素子を電流で制御する技術などに応用できるという。

磁石の性質をもつ特殊な半導体を使い、内部にある「磁壁」と呼ぶ領域の様子を実験で調べた。磁壁は磁石の中で磁気の方向がそろった部分の境界に当たる場所で、外から微弱な電流や磁気を加えるとゆっくりと移動することが知られている。

セ氏零下百七十度程度まで磁石を冷やし、電流や磁気の強さを変えながら磁壁の移動する速度を測った。測定結果を分析したところ、二つの物理現象が同じものかどうかを判断する基準となる「スケーリング指数」と呼ぶ数値が、電流の場合と磁気の場合で異なることがわかったという。

磁気記憶素子では磁気の向きを変えてデータを記録するが、時間がたつと磁気が自然に変化して記憶性能が劣化する。磁石に電流を加えて磁壁を移動させ、磁気を外から制御できれば、劣化を抑えられる。ただ電流と磁壁との間の作用は詳しく分かっておらず、実用化の壁になっていた。

成果は二十一日付の米科学誌サイエンスに掲載される。

河北新報　2007年10月1日　掲載

磁区境界移動する「クリープ運動」

電流と磁界の差 解明

東北大グループ 記憶素子開発に弾み

東北大の大野英男・電気通信研究所教授（半導体スピントロニクス）と前川禎通・金属材料研究所教授（物性理論）らの研究グループは、微弱な電流や磁界が作用するこ とで磁性体の磁区境界（磁壁）がゆっくり移動する現象「クリープ運動」の性質を持つ強磁性半導体のヒ化ガリウムマンガンに、〇・一三ミリアンペア前後のメカニズムが、電流と磁界では異なることを突き止めた。

研究グループは、磁石の電流と、四・二ミリテスラ前後の磁界をそれぞれ作用させ、零下一七五―同一六九度の状態で磁壁の移動速度を測定した。

測定結果を解析したところ、微弱電流によるクリープ運動は物理的な特徴を表す数値「スケーリング指数」が磁界の数値とは異なり、これまで確認されていない物理現象であることが分かった。

電源を切ってもデータが消えない不揮発性と大容量性を兼ね備えたメモリーとして期待を集める磁気記憶素子は、データの安定性を妨げるクリープ運動の制御が課題となっている。

電通研の松倉文礼・准教授（電子デバイス）は「磁性物理学の新たな発展を促す発見。微弱電流によるクリープ運動のメカニズムが解明できたことで、大容量で消費電力の少ない磁気記憶素子の開発にも弾みがつく」と話している。

研究は、独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の一環として進められた。成果は九月二十一日に米科学誌「サイエンス」で発表された。

科学 science

朝日新聞　2007年10月12日　掲載

科学

kagaku@asahi.com

ノーベル賞「実用性」に光

自然科学系3分野で発表

自然科学系3分野のノーベル賞が今年も発表された。対象となったのは、ノックアウトマウスを利用した病気の解明（医学生理学）、ハードディスクの大容量化（物理学）、燃料電池などに使われる金属触媒の発展（化学）にそれぞれ貢献した業績で、実用的な研究に光を当てた形となった。

医学生理学

病気の解明に道筋

カペッキ氏・スミシーズ氏・エバンス氏

ある遺伝子の働きを知るには、その働きを止めて個体で何が起きるのかみればいい。それを可能にしたのが、医学生理学賞を受けるマリオ・カペッキ米ユタ大教授(70)、オリバー・スミシーズ米ノースカロライナ大教授(82)、マーチン・エバンス英カーディフ大教授(66)の業績だ。

遺伝子の機能を調べるのに、従来はマウスの受精卵に人工の遺伝子を直接注入するのが主流だった。この方法は、遺伝子が組み込まれる場所がばらばらなため、自然に起きた変異と同じ特徴が、生まれたマウスで必ず表れるとは限らない、という弱点があった。

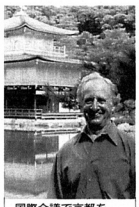
カペッキ氏とスミシーズ氏は、操作したい場所と同じ配列のDNAを人工遺伝子の前後に挟むことで、狙った場所で遺伝子を組み換えることに成功した。自然界で起きている「相同組み換え」という現象を利用した手法だ。

こうして操作した遺伝子変異を生殖細胞にも起こすことができれば、特定の遺伝子機能だけを失わせた「ノックアウトマウス」を誕生させることができる。そのために使われたのがエバンス氏が見いだした胚性幹（ES）細胞だ。あらゆる細胞に育つ特徴があるので、変異させた細胞を別の受精卵に混ぜれば、一部が生殖細胞にも分化する。

「ノックアウトマウスの登場以来、特定の遺伝子だけを計画的に変えられるので、研究がものすごく進んだ」と勝木元也・自然科学研究機構理事。世界中の研究室で「人間のさまざまな病気のモデル動物を作ることができた」（中辻憲夫・京都大教授）おかげで、がんや糖尿病など多くの病気と遺伝子の関係が、どんどん明らかになっていった。

たとえば、特定の遺伝子を壊して、呼吸器に感染症を起こしやすい糞胞性線維症という人の病気と同じような症状を示したノックアウトマウスは、発病の仕組みの解明に役立った。がん抑制遺伝子p53のノックアウトマウスでは、がん発病の仕組みが研究された。

カペッキ氏は早くからこの研究の予算を政府に求めていたが、審査する人から「そんなものはできない」と拒否されていた時期もあった。山村研一・熊本大教授は「ノックアウトマウスの開発は、ヒトゲノム解読と同じくらいのインパクトがあった。粘り強さが研究を生んだのですね」と話している。



国際会議で京都を訪れたカペッキ氏＝04年、千坂修・京大准教授提供





▶スミシーズ氏＝ロイター▼エバンス氏＝AP

物理学

IT化に大きな影響

フェール氏　グリュンベルク氏

物理学賞を受けるアルベール・フェール仏パリ南大教授(69)とペーター・グリュンベルク独ユーリヒ固体物理研究所教授(68)の業績は、磁気をかけると物質の電気抵抗が大きく変わる巨大磁気抵抗効果（GMR）の発見だ。超低温時だけでなく常温でも効果が得られることを突き止めたことで、この研究分野を表舞台に押し上げた。

物質に磁気をかけると電気抵抗が変化する磁気抵抗効果（MR）は、150年前から知られていた。だが70年代までは「産業化に向けた素子の開発が難しく、効果が得られるとしても絶対零度に近い低温でないとだめだった」と前川禎通・東北大教授は振り返る。

転機は88年。鉄やクロムを重ねて磁気をかけると、電気抵抗が大きく変わることを2人が見つけ、世界的な関心が一気に高まった。

10年後には、東芝がGMRを応用して、わずかな信号の変化もとらえる磁気ヘッドを搭載したハードディスクドライブを製品化。記録密度は毎年2倍のペースで向上した。同社研究開発センターの岩崎仁志主幹は「最近は携帯音楽プレーヤーやDVDレコーダーにも使われ、社会のIT化に大きなインパクトを与えた」と説明する。

金属で多層膜を作る研究には、日本でも新庄輝也・京都大名誉教授らが取り組んでいた。87年に京大を訪ねたフェール氏は後に、新庄さんへ「あのときGMRの発見につながるヒントを得た」と話したという。

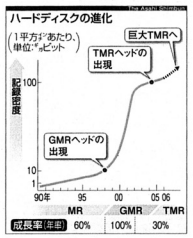
GMRの特徴は、電子の電荷だけでなく磁石の性質（スピン）も利用していることだ。大野英男・東北大教授は「2人は、磁気と電荷を組み合わせることで革新的な性能をもった方式を開発し、スピントロニクスと呼ばれる分野を切り開いた」と評価する。

GMRに触発され、東北大の宮崎照宣教授は94年、金属の代わりに絶縁体をはさみ込むトンネル磁気抵抗効果（TMR）が、常温でGMRより大きな電気抵抗の変化を起こすことを発見した。

さらにマンガン酸化物を使って100万倍以上の電気抵抗の変化（CMR）も発見されるなど、MRをめぐる研究は発展を続けている。十倉好紀・東京大教授は、2人の研究について「電子のスピンなど、いろんな自由度がからみあうことで新しい現象が見えてくる。物理学の研究に新しい流れを作った」と話す。



日本国際賞受賞会見で並んだグリュンベルク（左）、フェール両夫妻＝4月、東京都内で



磁気抵抗を表舞台に

化学

アンモニア合成　排ガス浄化

触媒原理を明かす

エルトゥル氏

化学賞は、化学肥料の合成や排ガスの浄化など幅広い分野で欠かせない触媒の原理を解明した、独マックス・プランク研究協会フリッツ・ハーバー研究所のゲルハルト・エルトゥル名誉教授(71)に贈られる。

エルトゥル氏の代表的な業績の一つは、化学肥料の原料となるアンモニアを合成する際、触媒となる鉄の表面で起きている窒素と水素のふるまいを明らかにしたことだ。

アンモニア合成は、20世紀初頭にドイツの物理化学者ハーバー（18年にノーベル化学賞受賞）らが「ハーバー・ボッシュ法」を開発し、画期的な合成法として広く利用されていた。だが、なぜ鉄を入れることで反応が進むのか、その原理はわかっていなかった。

エルトゥル氏は、電子分光法という表面解析法を応用。窒素分子が鉄の表面で原子に分かれ、そこに水素原子が1個ずつ計3個くっついてアンモニア分子に変わることなどを確かめた。

また、自動車の排ガスの浄化などに使われる白金触媒の作用に関しては、一酸化炭素が二酸化炭素に酸化される仕組みを解明した。

白金に紫外線をあてた時、表面から飛び出してくる電子の様子を画像化する光電子顕微鏡（PEEM）を用いる手法を開発。表面で起きている反応を、渦巻きなどの模様として、リアルタイムで見られるようにした＝図。

エルトゥル氏の業績を基礎として、金属表面で起きる化学反応の研究が飛躍的に進み、新たな触媒の開発などにつながった。

岩澤康裕・東京大教授は「彼を筆頭とする表面化学の研究が、工業の発展にも大きな影響を与えた」と話す。



白金触媒の表面で化学反応が起きていることを表す渦巻き模様＝ノーベル財団提供



講演のため来日したエルトゥル氏（左）と岩澤康裕・東大教授＝03年、岩澤さん提供

表面化学は、オゾン層の破壊過程や焼却場のダイオキシン分解など、環境科学とも密接に関係している。

エルトゥル氏のもとで学んだ朝倉清高・北海道大触媒化学研究センター教授は、同氏の業績を次のように表現する。「かつて固体触媒は、ほんの少しのさじ加減でつくられ、『職人芸』と呼ばれた。エルトゥル氏はそれを『科学』で解明する先鞭をつけた」

科学面のトップ記事は、朝日新聞の無料会員サービス「アスパラクラブ」（http://aspara.asahi.com）の「aサロン・科学面にようこそ」でも読めます。

日経産業新聞　2007年11月19日　掲載

半導体材料 幅広く

量子ドット製作 東北大が新手法 量子計算に応用

東北大学は人工的な原子のように振る舞う「量子ドット」素子を半導体材料で作る新手法を開発した。従来は電子の状態を制御するため電圧をかけると素子が動かなくなる問題があり、利用可能な半導体材料が限られていた。新手法を使えば様々な種類の材料が使用でき、量子コンピューターなど応用の幅が広がるとみている。

米科学誌アプライド・フィジックス・レターズに掲載される。

量子ドットは、外からの電圧で素子中の電子の数を一個ずつ操作したり、電子状態を細かく制御したりできる。素子の機能には、電極に使う金属と半導体との接合部に、電気の流れない構造ができることが重要。ただ、多くの半導体材料では電圧をかけると絶縁構造が壊れてしまう問題があった。

研究チームは金属と半導体の間に酸化アルミニウムの層をはさみ、人工的に絶縁した。電極の作製方法にも改良を加え、これまで利用できなかったインジウム・ガリウム・ヒ素という半導体材料で量子ドットを作ることに成功した。

作製した量子ドットは磁気をかけたときの電子の反応度合いが従来の素子とは異なることがわかった。今後、新手法で様々な種類の材料が利用できるようになれば、目的に合った量子ドットを作ることが期待できるという。

日刊工業新聞　2007年11月29日　掲載

インジウムガリウムヒ素で
東北大が新人工原子

東北大学の大野英男教授らの研究チームは28日、インジウムガリウムヒ素を用いた新しいたて型量子ドット（人工原子）を開発したと発表した。従来のガリウムヒ素系の量子ドットに比べ、約10倍の効率を表すことを確かめた。さまざまな半導体材料を使える可能性を示したことで、素子を特性に応じて作り込むことが可能になる。

開発したたて型量子ドットは微細な3次元の金属酸化膜半導体（MOS）ゲート構造を持つ。量子ドット中の電子の数を1個ずつ正確に制御できるため、電子スピンを量子ビットに使う量子情報処理技術を担う素子として期待されている。

だが、従来のたて型量子ドット構造の母体にはガリウムヒ素系の半導体しか使えず、材料が限られていた。これに対して今回、原子層堆積法を使って量子ドットに均一で高耐圧なゲート絶縁膜を形成。新しい電極の構造を採用し、効率の高いインジウムガリウムヒ素のたて型量子ドットを試作、電子スピンの状態を正確に制御できることを確認した。

科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業ERATOの成果。3日（現地）発行の米物理学会誌APLに発表、試作した素子の顕微鏡写真が表紙を飾る。

化学工業新聞　2007年11月29日　掲載

縦型量子ドット新製法

JST
東北大

幅広い材料選択可能

科学技術振興機構（JST）と東北大学は28日、多様な半導体材料が適用できる縦型量子ドットの新製法を開発したと発表した。狭バンドギャップのインジウムガリウムヒ素化合物半導体を用いて、原子層堆積法（ALD法）と呼ぶ手法で金属酸化膜半導体（MOS）ゲート構造を持つ縦型量子ドットを試作、量子ドット中の電子スピンを正確に制御できることを確認した。同手法を応用することによって、バンドキャップや有効質量など材料に強く依存するパラメーターを任意に制御できるようになる。ガリウムヒ素に限られていた量子デバイスの材料選択の幅を広げることが可能なことから、ショットキー耐圧の低い多様な半導体材料のデバイス化が見込まれる。

縦型量子ドットは「人工原子」とも呼ばれ、ゲート電圧によってドット中の電子数をゼロから1個ずつ正確に制御することができる。この構造は、単一電子のスピンを調べるのに理想的なデバイスの一つであるとともに、将来の電子スピンを量子ビットに用いた革新的な量子情報処理技術を担うデバイスとして期待される。

JSTと東北大のグループは、ALD法を用いることによって縦型量子ドットに高均一で高耐圧な酸化アルミゲート絶縁膜を形成し、さらに中空配線によるドレイン電極を用いた新規な作製方法でMOSゲート構造を持つ狭バンドギャップインジウムガリウムヒ素縦型量子ドットを試作した。

そして、従来のショットキーゲート構造を持つ縦型量子ドットと同様に、量子ドット中の電子スピンの状態を正確に制御できることを確認したもの。さらに、強い磁場を印加した実験でドット中の電子スピンが従来のガリウムヒ素系デバイスに比べて、アップスピンとダウンスピンの間のエネルギー差が影響を与える有効g値が10倍となることを確かめた。

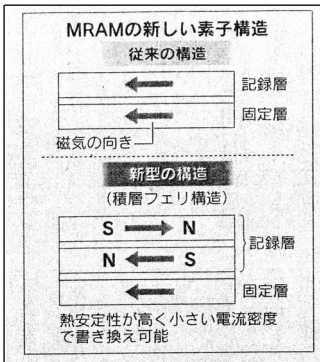
この研究は、JSTと東北大学の大野英男教授らの成果で、米科学雑の「アップライド・フィジックス・レター」オンライン版に掲載される。

MRAM、ギガビット級

日立と東北大が新素子技術

記録層、2層に

日立製作所と東北大学は、次世代メモリーの一つ「MRAM（磁気記録式メモリー）」で、DRAM並みのギガ（ギガは十億）ビット級を実現する新型素子構造を開発した。記録層を二層に増やすのが特徴で、メモリー素子を小さくしてもデータを長期間保持できることを確かめた。数年以内に要素技術を統合して大容量のMRAMの実用化を目指す。



MRAMは磁性材料の磁気の向きで情報を記録するメモリーの一種。電源を切ってもデータが消えない。日立が開発するMRAMは、ハードディスクの磁気ヘッド技術を応用した「スピン注入方式」で、素子周辺の構造を簡素化しやすい。素子を小さくすることで大容量化できれば、DRAMやフラッシュメモリーの代替が狙える。

新技術は日立と東北大電気通信研究所の大野英男教授らのグループが開発した。米フリースケール・セミコンダクタが磁界を操作して書き込む「トグル方式」を商品化しているが、記憶容量は四メガビットにとどまる。「スピン注入方式」は大容量化に向き、日立製作所やソニー、東芝、米IBMなどが開発に取り組んでいる。

▼MRAM　半導体ではなく、磁性材料の磁気の向きで情報を記録するメモリー。高速で何度でも書き換えられる。米フリースケール・セミコンダクタが商品化しているMRAMにも採用されている「積層フェリ構造」をメモリー素子に応用。コバルト鉄ボロンとルテニウムで構成する積層膜を記録層に使い、この記録層を二層にした。構造が簡素なスピン注入方式と併用することで、小さい電流密度での書き換えを可能にし、トランジスタを小さくできる。

素子の基本構造を試作して性能を調べたところ、データの書き換えに必要な電流密度が一平方センチ当たり百万アンペアで、さらに十年以上のデータ保持に必要な高い熱安定性を持つことを確かめた。開発した技術を応用すれば、メモリー素子の大きさを回路線幅四十五ナノ（ナノは十億分の一）メートルまで微細化でき、DRAM並みのギガビット級の記憶容量を実現できる。

これまでは小さい電流密度と熱安定性を両立するのが難しく、微細化が進まなかった。

日立と東北大のグループは今年二月に、二メガ（メガは百万）トランジスタのチップを試作済み。新技術を組み合わせることで、大容量化を狙う。

日経産業新聞　2007年12月20日　掲載

大野東北大准教授らに賞金など贈呈

丸文研究交流財団

丸文研究交流財団（東京都中央区、島津久厚理事長、03・3661・1881）は4日、第11回丸文研究奨励表彰金、研究交流助成金贈呈式を開いた。07年度の丸文学術賞は東北大学電気通信研究所大野裕三准教授の「半導体量子構造における電子・核スピンダイナミクスの研究」が受賞、賞金400万円が贈呈された。また国内外の若手研究者19人に計2700万円の助成金が贈られた。

賞金200万円の研究奨励賞受賞者は以下の3人。▽石榑崇明慶應義塾大学大学院理工学研究科専任講師▽田中拓男理化学研究所河田ナノフォト研究室先任研究員▽中川誠司産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門主任研究員

日刊工業新聞　2008年3月5日　掲載

毎日 jp（web） 2007年 掲載

[PR]第2回ニュース検定（12月2日）は、10月31日まで申込受付中。

ノーベル物理学賞：仏独の2氏に HDの大容量化に貢献



ノーベル物理学賞の受賞が決まったペーター・グリュンベルク博士（左）とアルベール・フェール教授＝ロイター

スウェーデン王立科学アカデミーは9日、07年のノーベル物理学賞を、仏パリ南大のアルベール・フェール教授（69）と独ユーリヒ固体物理研究所のペーター・グリュンベルク教授（68）に授与すると発表した。授賞理由は「巨大磁気抵抗現象（GMR）の発見」。わずかな磁気の変化によって電気抵抗が大きく変化する現象で、この発見によりパソコンや携帯音楽プレーヤーに搭載されるハードディスクの小型化、大容量化が可能になり、新しいエレクトロニクス分野を開拓した。授賞式は12月10日にストックホルムで開かれ、賞金1000万クローナ（約1億8000万円）が贈られる。

ハードディスクには磁気的に情報が書き込まれており、読み取る際には、磁気ヘッドが電流に変換する。狭い領域に多くの情報を詰め込めば、ハードディスクを小型化できるが、その情報を読み取るには感度の高い磁気ヘッドが必要だ。小さな磁気の変化でも、大きな電気抵抗に変換できる巨大磁気抵抗現象を磁気ヘッドに利用することで、小型化、大容量化が可能になった。

今回受賞した2人は、1988年にそれぞれ独立に、この現象を発

見した。グリュンベルク氏は、鉄、クロム、鉄の薄い膜の3層構造が室温で巨大抵抗を示すことを見つけた。フェール氏は鉄とクロムの薄膜を約60層重ねた構造が絶対温度4・2度で約50%も抵抗が変化する現象を発見した。

2人が見つけたこの現象を示す素材はいずれも、原子数個分の薄さで、ナノテクノロジーが最初に実用化された事例。97年には早くも、この現象を利用した磁気ヘッドが実用化され、急速に普及した。2人は今年の日本国際賞を「基礎研究が発信する革新的デバイス」として受賞した。

また、十倉好紀・東京大教授はマンガン酸化物が100万倍もの巨大磁気抵抗を示すことを90年代に発見し、この分野を大きく進展させた。

◇日本、2人の前後の研究では大きくリード

今年のノーベル物理学賞の授賞理由には、多くの日本人研究者の論文が並んだ。その一人、東北大電気通信研究所の大野英男教授（スピンエレクトロニクス）は「日本は磁性や多層膜の研究が盛んで得意分野。2人の業績の前後に当たる研究では大きくリードしていた。日本の貢献なくしては、巨大磁気抵抗現象の発見はなかったと思う。ただ、彼らの独創的な研究は、残念ながら日本では生まれなかった」と悔しそうに語る。

毎日新聞　2007年10月9日　19時27分　（最終更新時間　10月9日　22時03分）

まなびの杜　2007・夏号 No.40　掲載

特集

スピントロニクス

―スピンを使う新しいエレクトロニクス―

大野 英男＝文
Hideo Ohno

情報技術を支える電荷とスピン

球技で言うバックスピン、アイススケートのピルエットやスピン、さらには車のスピンなどからおわかりのように、スピンとは回転のことです。二十世紀の初頭、電子は回転しているので小さな磁石になると考えられました。そのため、電子がもつ磁石としての性質をスピンと呼ぶようになりました。その後、回転とは無関係に電子は小さな磁石であることがわかりましたが、スピンという呼称は残ったのです。電子のスピンは、通常バラバラの方向を向いていて打ち消しあっています。スピンを一つの方向に並べる性質がある物質は、私たちの知っている磁石となります。

今日のエレクトロニクスは、電子の電荷（電気を帯びている性質）とスピンで支えられています。パソコンでは、情報が半導体の集積回路で処理されます。そこでは電子の電荷の流れを利用しています。処理した情報は、ハードディスクに蓄えられます。そこでは磁石を利用して、すなわちスピンを使って、情報を失わないように蓄えています。パソコンでは、電子の電荷とスピンを上手に、しかし別々に使っているのです。

これに対し、私たちは、電荷とスピンを同時に使うことに取り組んでいます。さらに必要に応じて光（フォトン）も使います（図1参照）。この分野は、スピンエレクトロニクス、またはスピントロニクスと呼ばれています。

さて、半導体のメモリは二種類に分けられます。論理回路と一緒に使う電気を切ると情報が失われてしまう揮発性メモリと、デジカメや携帯、メモリスティックに使われるフラッシュメモリを中心とした不揮発性メモリです。集積回路はトランジスタを小さくすることで性能を上げ、価格を下げてきましたが、消費電力の壁見たことがある人はもうだいぶお年です。その後、より高性能、高信頼性、そして安価な半導体メモリが開発され、磁石を使ったメモリは使われなくなりました。日本の半導体メモリは一時世界を席巻しましたが、今は復活を狙う立場になっています。

磁石を使ったメモリと半導体集積回路

ごくごく初期のコンピュータに使われていたメモリは磁石でできていました。

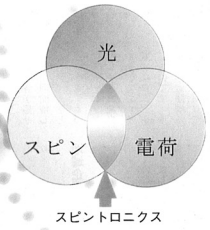


図1 スピンと電荷と光（フォトン）を使うことにより、新しいエレクトロニクス（スピントロニクス）を拓く

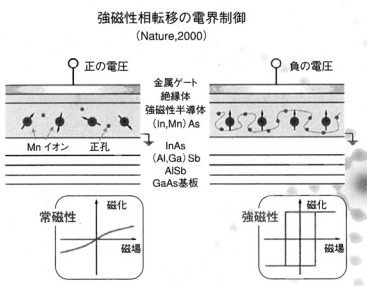


図2 電圧（電界）を加えてキャリアである正孔を増減させることにより、等温・可逆的に強磁性相転移をオン・オフした。

半導体を磁石にする

将来を見ると、電荷とスピンを一つの材料で取り扱うことが望まれます。そこで、磁石であり半導体である物質とその応用の研究を進めています。レーザや高速トランジスタ用半導体であるひ化ガリウムと磁性元素であるマンガンとの混晶を育成することで、半導体であり磁石である強磁性半導体を創製することに成功しました。半導体が磁石となる理由を追究したところ、半導体中のホール（電子の抜けた孔）の数が多いほど磁石になりやすいということが理論的にわかりました。室温で磁石になるための条件も理論的に明らかにしました。これはまだ実現されていない重要なテーマです。

さらに、強磁性（物質が磁石である性質）の電界制御に取り組みました（図2参照）。ホールが強磁性相を安定化していること がわかりましたので、キャリア数を増減させて、物質が強磁性を示すようになる温度（キュリー温度）を変化させる実験に取り組みました。必要な技術を理解・開発するのに数年かかりましたが、最後には、キュリー温度を可逆的に電界で制御することに成功しました。低温での結果ですので、すぐに実用にはなりません。しかし、磁石がギリシャの文献に現れた紀元前五世紀から今まで人類は磁石とつきあってきましたが、このように物質が磁石となるかどうかを、温度一定の条件で可逆的に変化させることは、これまで実現されたことはありませんでした。

これらの研究は、スピンのエレクトロニクス応用に新しい次元を付け加えるものです。

半導体でスピンの量子力学的性質を使う

最後に、もっと先の研究についてご紹介しましょう。電子のスピンは量子力学的な二準位系であり、スピンの向きは上向きと下向きしか存在しません。スピンが横向きの状態は、上向きと下向きの重ね合わせになります。この日常の世界にはない量子力学的性質を上手に使うと量子計算が可能になります。量子計算機は、今の計算機が不得意とするいくつかの問題を解くに適していることが示されていますが、量子状態の制御という人類にとって未踏の領域を開拓する必要があり、その実現には何十年とかかると予想されています。特に問題なのは、スピンの量子力学的状態が乱されやすい点です。半導体を構成する原子には例えばリンのように核スピンを持つものがありますが、この核スピンは状態が安定していて量子計算をさせるのに都合が良いことがわかってきました。

私たちは、光のパルスを使って半導体の中の電子スピンを制御し、その電子スピンと核スピンの相互作用を使って核スピンを制御するという二段構えの方法で、核スピンの量子制御を可能にしつつあります。百億分の一秒という光のパルスを使って、原子の小さな核スピンを操作することにより、最初の小さな一歩となる量子計算の基本的なステップの実証が間もなくできそうです。



おおの ひでお
1954年生まれ
東北大学電気通信研究所教授
専門：半導体工学、スピントロニクス
http://www.ohno.riec.tohoku.ac.jp

にぶつかりつつあります。待機電力が増加の一途をたどっているのが一因です。これに対処するには、揮発性メモリと同等の性能、すなわち高速で動作し、書き換え可能回数が無限大の不揮発性メモリを開発する必要があります。不揮発性メモリには待機電力が不要だからです。

私たちが、開発しているスピントンネル素子は、薄い絶縁体を挟んだ二枚の磁石で構成されています。磁石の向きが同じときに低抵抗、反平行のとき高抵抗となり、これで、〇と記憶します。性能指標として抵抗の変化率を表す磁気抵抗比がありますが、世界最大の五百％を実現しています。この素子をメモリ記憶部に使うことにより、高速かつ書き換え回数が無限大の不揮発性メモリが実現できます。また、集積回路の配線の中に埋め込むことができるため、半導体集積回路の上層に不揮発性の記憶層をつくることができます。これは現在の揮発性メモリでも実現できません。従って、スピントンネル素子は、トランジスタと密に組み合わせて新しい集積回路形式を実現できる、現在知られている限り唯一のものです。これにより、現在集積回路の一つのボトルネックである配線による遅延や電力消費、コストを大きく減らすことができるばかりでなく、新しい集積回路形

日経産業新聞　2007年5月31日　掲載

単電子トランジスタ 基本構造 簡単に作製

東北大、酸化処理を活用

東北大学の庭野道夫教授と木村康男助教らは、消費電力が極めて少ない未来の素子「単電子トランジスタ」の基本構造を、単純な工程で作る技術を開発した。既存の半導体プロセスと「酸化処理」という工程を組み合わせる。基本構造を試作して単電子トランジスタに必要な基本特性も確認した。二―三年以内に実際に回路上で動作する単電子トランジスタを作製することを目指す。

必要な特性も確認

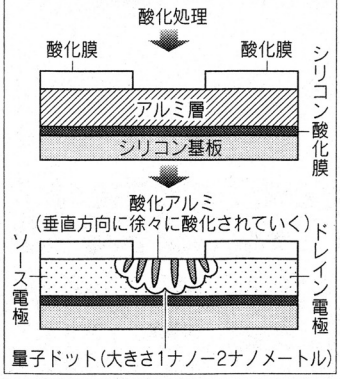
室温でも動作する単電子トランジスタを実現するには、大きさが五ナノ（ナノは十億分の一）メートル以下の素子構造である「量子ドット」を作る必要がある。

東北大チームは、シリコン酸化膜の上にアルミを作ってから処理する。酸化膜で囲まれた内側のアルミ層は、垂直方法に多数の穴が開いていきながら徐々に酸化される。最終的には、アルミ層は酸化アルミ層になり、層の底に大きさが一ナノ―二ナノメートルのアルミ層が島状の粒子のようになって残る。これが量子ドットとなる。実験で、ソース電極から電子が一個ずつ移動することを室温で確かめた。

ゲート電極を付ければスイッチング機能を持った単電子トランジスタになる。二―三年以内に実際に動作する単電子トランジスタを製造する計画だ。

従来は微細加工技術の精度を極限まで高めても、狙った大きさの量子ドットを効率よく作るのは難しかった。分子が自然に構造を形作る「自己組織化」という現象を利用して作ったり、カーボンナノチューブを使ったりする研究もあったが、狙った位置に作りにくかった。

新技術は特殊な技術を必要としないため、既存の微細回路や製造設備と組み合わせやすい。



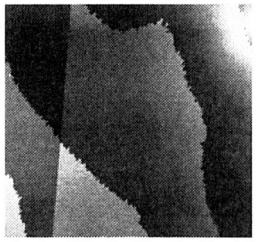
電極を成膜後、露光装置で素子構造を作製した。この時点で、素子の線幅は三百ナノ（ナノは百万分の一）メートル。そこに酸化処理で「量子ドット」を作り込む。

まず周囲に余分な部分の酸化を防ぐため酸化膜

▼単電子トランジスタ　電子一個レベルで制御が可能になる素子。実現すれば、消費電力が百分の一以下の超省エネルギーメモリーや演算回路などが開発できる。微細化も可能で、メモリーの場合、構造を簡素化して大きさは十分の一程度になるという。

日刊工業新聞　2007年7月3日　掲載

有機半導体ペンタセンの単結晶
固液界面で完全結晶化
東北大が製造技術



【仙台】東北大学大学院工学研究科の板谷謹悟教授と同大学電気通信研究所の庭野道夫教授らのグループは、有機半導体のペンタセンの単結晶をほぼ完全結晶で製造することに成功した。

固液界面の性質を利用して製造した薄膜ペンタセン結晶の表面画像

固体と液体の界面（固液界面）での化学反応を利用した方法で製造。原子間力顕微鏡で結晶表面を観察したところ、凹凸のない平らな面（テラス）が5ナノ―10ナノメートル（マイクロは100万分の1）と非常に広く、半導体としての特性が高いことを確認した。

結晶はトリクロロベンゼン溶液に溶かしたペンタセンを固液界面で再結晶させて製造。固液界面でペンタセン分子が素早く移動、規則正しく配列したことからテラス幅の広い結晶表面となった。

ペンタセンは有機電界効果トランジスタ（有機FET）の材料。有機FETは軽量で大面積、折り曲げや印刷が可能などの特徴から電子ペーパーや液晶ディスプレーなどで実用化が検討されている。現在、ペンタセン薄膜の製造には真空中でペンタセンを気化させて基板に吹き付ける「真空蒸着法」が主流となっている。しかし、蒸着法では結晶の分子配列が粗くなり、半導体としての特性は低くなる。

今回製造したペンタセンを用いて有機FETを作製。従来の有機FETと電荷の移動速度を比較したところ、従来の100倍の速さで行われることを確認した。板谷教授は「（液晶ディスプレーなどで利用されている）ポリシリコンの特性にも匹敵する」と話す。

また、固液界面で再結晶させる製造法を用いてルブレンの単結晶の製造にも成功。従来の蒸着法では製造できなかった有機半導体の薄膜結晶の製造が期待される。

同研究は科学技術振興機構の助成で行った。成果は『米国化学会誌』への掲載が決まっている。

河北新報　2007年6月18日　掲載

ペンタセン単結晶化に成功
東北大グループ
固液界面反応を応用
電子移動度 無機に匹敵

東北大の板谷謹悟・大学院工学研究科教授（表面科学）と庭野道夫・電気通信研究所教授（分子デバイス）の研究グループは、有機電界効果トランジスタ（OFET）＝?＝の材料となる有機半導体のペンタセンで、ほぼ完全な単結晶を製造することに成功した。

電子材料分野では、液晶ディスプレーなどに広く使われるシリコンなどの無機半導体に代わり、有機半導体の開発が進む。有機半導体で最も代表的なペンタセンは、真空中で気化させて基板に付ける「真空蒸着法」で容易に薄膜化できるが、結晶の形がふぞろいで、性能向上が課題だった。

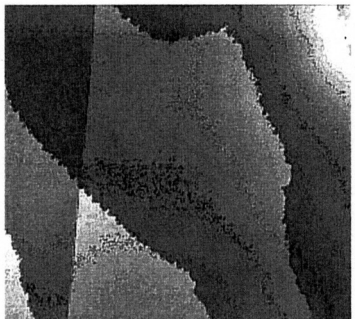
板谷教授は、固体と液体が接する「固液界面」で起こる吸着、還元などさまざまな化学反応を制御する研究を応用し、ペンタセンの再結晶化を試みた。酸素を完全に除去したトリクロロベンゼン溶液にペンタセンを溶かして約二百度に加熱、時間をかけて冷却したところ、完全結晶に近いペンタセンの単結晶ができた。

国内でも希少な非接触型原子間力顕微鏡を用いて結晶の表面構造をとらえると、長さが十マイクロメートル（マイクロは百万分の一）程度の平面で、全体が厚さ三百ナノメートル（ナノは十億分の一）の均一な薄膜状となっていた。

同じ顕微鏡で、真空蒸着法で生成した薄膜が、多結晶の集合体であることも初めて確認。ペンタセン単結晶は、電子などの電極間の動きやすさを示す移動度が真空蒸着膜の百倍以上で、無機半導体に匹敵する性能が得られることも分かった。

今回の技術ではペンタセンのほか、同じ有機半導体のルブレン、テトラセンでも完全性の高い単結晶化を実現。板谷教授は「真空蒸着法に適さない物質も結晶化できるため、さらに移動度の優れた物質の発見にもつながる」と話している。

研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）のプロジェクトとして行われた。



固液界面反応を用いて製造したペンタセンの単結晶。広く平らな面が特徴

有機電界効果トランジスタ（OFET）　有機半導体を使った薄膜トランジスタ。無機トランジスタに比べ、軽量で自由に折り曲げられ、大面積化や印刷も可能。電子ペーパーなどを実現させる材料として注目され、トランジスタの性能を満たす特性の高い電子材料の研究が進む。

日本経済産業新聞　2007年６月22日　掲載

大日本印刷

半導体進化論

イノベーター列伝

第4部　はるかなるMPU覇権 1

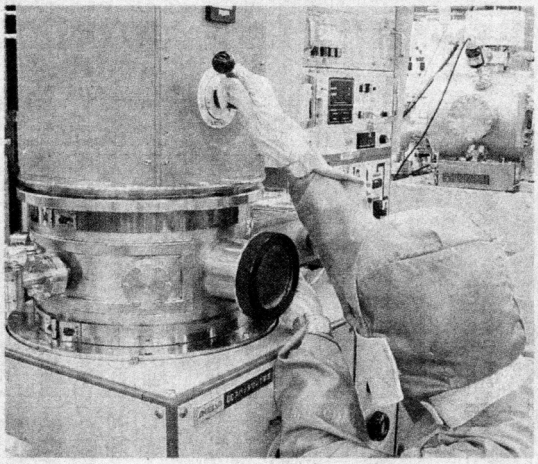
東北大、超電導で挑む

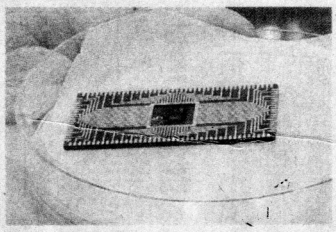
「ポストCMOS」10年で

日本の半導体技術はコンピューターの心臓部となる論理素子では一度として世界をリードしたことはない。この状況に一矢報いる試みが東北大学を中心に進む。超電導現象を利用する新しい論理素子が試作段階になっている。原理的には既存のMPU（超小型演算処理装置）に比べ計算速度は千倍、消費エネルギーが百分の一で済む秘密兵器だ。（関連記事10面に）

東北大電気通信研究所の中島康治教授が提唱・開発するのは単一磁束量子（SFQ）素子。極低温下で生ずる極小の磁石（単一磁束量子）を使い、計算する。SFQの存在は古くから知られるが、中島教授はこの現象を使ってコンピューターに必要な論理回路をすべて組み上げられることを世界で初めて証明し、実用化を提唱した。

東北大以外にもNECや超電導工学研究所、名古屋大学、横浜国立大学など産学のグループが研究を進める。既存のMPUに用いられるCMOS（相補性金属酸化膜半導体）構造は「物理的に速度の限界が近づきつつある。（速度を示す）クロック周波数がこのところ、一テラ（テラは一兆）ヘルツ級が可能になる。電気抵抗がないため動作そのものが速度の限界に近づくとされる十年後にはMPUなど実用的な素子をつくる意気込みだ。





テラヘルツMPUの実現を目指すSFQ素子の試作装置（写真上）。東北大が製作したSFQ素子（同右）

米インテルのMPUは周波数一ギガ―三ギガ（ギガは十億）ヘルツだが、SFQなら、一テラ（テラは一兆）ヘルツ級が可能になる。電気抵抗はトランジスタに相当するのに必要な電力は極めて少なく、超電導状態を保つために必要な冷却に消費するだけだ。

すでに数千セル（セル）の素子を試作。四年後にはMPUの前段階に相当する演算専用回路を完成させるという。CMOSの有力候補ともてはやされた。しかし、超電導状態と、そうでない状態（常電導）への移り変わりを利用して計算をするジョセフソンは予想以上に動作時間がかかることが分かり、まさに夢に終わった。

中島教授は二十年近く前から、ジョセフソン素子がもてはやされるのを横目に地道にSFQの基礎固めをし、ここへきてポストCMOSの本命に浮上、米国家安全保障局（NSA）が超電導コンピューターの開発動向をまとめた報告書で言及するなど世界が注目し始めた。

◇

半導体進化論第四部は情報を加工し周辺機器を制御する「電子の頭脳」であるMPUなどの論理回路素子に焦点を当てる。MPUで日本企業はインテルなどの米国勢に終始優位を許してきた。家電製品や自動車エンジンなどを制御する汎用マイコン（マイクロコンピューター）では優勢な時代もあったが、これも近年陰りが広がる。何がMPUを育てる障害になったのか。

（敬称略）

▼超電導と磁束量子　ニオブなどある種の物質を極低温に冷やすと電気抵抗が消え、電流が流れ続ける「超電導」状態になる。この状態の物質には「単一磁束量子」（SFQ）と呼ぶ非常に小さな電磁石ができる。磁石に砂鉄を振りかけた時に現れるN、S極を結ぶ線が磁力線で、磁束量子はこれが極限まで細くなったものだ。半導体素子は電子を使って計算するが、SFQ素子は磁束量子を扱って計算する。

河北新報　2008年3月7日　掲載

NHK放送文化賞

東北大名誉教授 中村氏ら6人に

NHKは六日、放送文化の向上に功績のあった人に贈る第五十九回NHK放送文化賞の受賞者六人を発表した。

受賞者は、青山学院大名誉教授の清水英夫さん(八五)、日本点字図書館理事長の田中徹二さん(七三)、東北大名誉教授の中村慶久さん(六七)、ノンフィクション作家の半藤一利さん(七七)、俳優の藤村志保さん、俳優の渡哲也さん(六六)。

二十一日に東京・渋谷のNHKホールで開く放送記念日記念式典で副賞五十万円などを贈る。

読売新聞　2008年3月7日　掲載

◆NHK放送文化賞　放送事業の発展、放送文化の向上に功績のあった人に贈られるNHKの「第59回日本放送協会放送文化賞」の受賞者が6日、次の通りに決まった。（敬称略）

▽青山学院大名誉教授、弁護士・清水英夫▽日本点字図書館理事長・田中徹二▽東北大学名誉教授・中村慶久▽ノンフィクション作家・半藤一利▽俳優・藤村志保▽俳優・渡哲也

NHK 放送博物館（Web）
http://www.nhk.or.jp/museum/　掲載

日本放送協会 放送文化賞

NHKでは、放送開始25周年にあたる昭和24年度に「日本放送協会放送文化賞」を設け、放送事業の発展に寄与し、放送文化の向上に貢献があった方々に、毎年この賞をお贈りしています。これまでの受賞者は今回の受賞者も含め377名です。
第59回(平成19年度) の放送文化賞は次の方々が受賞されました。
※第1回～第50回までの受賞者一覧ページはPDFです。表示するにはAcrobat Readerが必要です。

＜五十音順・敬称略＞



しみず　ひでお
清水　英夫

Hideo Shimizu

青山学院大学名誉教授、
弁護士



たなか　てつじ
田中　徹二

Tetsuji Tanaka

日本点字図書館
理事長



なかむら　よしひさ
中村　慶久

Yoshihisa Nakamura

東北大学名誉教授



はんどう　かずとし
半藤　一利

Kazutoshi Hando

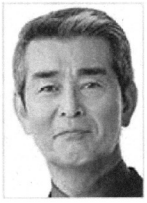
ノンフィクション
作家



ふじむら　しほ
藤村　志保

Shiho Fujimura

俳優



わたり　てつや
渡　哲也

Tetsuya Watari

俳優

［博物館TOP］



なかむら　よしひさ
中村　慶久

Yoshihisa Nakamura

東北大学名誉教授

NHKをはじめ、世界の各放送局で、放送サービスを向上させるために急速に進んでいるテープレス化の中核となる映像サーバーに不可欠なハードディスクの重要性を長年にわたり主張。垂直磁気記録ヘッドの開発と記録再生理論構築の面からハードディスク装置の小型大容量化を実現し、放送技術の発展に貢献されました。

日刊工業新聞　2007年11月15日　掲載

新構造の磁気センサー試作
出力電圧50倍以上
日立と東北大 次々世代HDD用

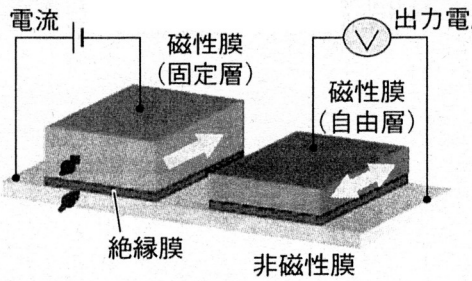
日立製作所と東北大学電気通信研究所は共同で、次々世代の大容量ハードディスク駆動装置（HDD）の読み取り部に使う新構造の磁気センサーを試作、実用の可能性を実証した。素子の微細化に適した「スピン蓄積効果」と呼ばれる原理を応用し、従来比50倍以上の高い出力電圧を得た。記録密度が現行製品の5倍以上となる1平方インチ当たり1テラビット（テラは1兆）を超える2010年以降のHDD製品に適用を目指す。

スピン蓄積効果は磁石の性質を持つ磁性体と、持たない非磁性体を重ねて電流を流すと、一部の電子（スピン電子）が非磁性体に蓄積する現象。磁性体に加わる磁界の向きと非磁性体を流れるスピン電子の向きが一致すると電流が流れ、逆だと流れなくなる。外部からかけるこうした磁界で大きな電圧変化が生じ、センサーとして機能する。

共同チームは、HDD記録媒体の情報を読み取る磁気ヘッドの主要部である磁気センサーにこの効果を応用した。非磁性体にアルミニウム、磁性体にコバルト鉄の薄膜を使用。アルミの薄膜に二つのコバルト鉄薄膜を平行に載せ、それぞれスピン電子を注入する固定層と磁界の反転を検出する自由層とした。また接触面には酸化アルミニウムの絶縁膜を挿入し、スピンを選別しやすくした。

新構造で試作した素子幅50ナノメートル（ナノは10億分の1）の磁気センサーに100マイクロアンペアの電流をかけたところ、最大で42マイクロボルトの大きな電圧変化を確認。素子寸法を微細化するにつれ電圧が増大する理論特性も実証。磁気センサーの小型化や検出感度の向上を見込めるため、将来のHDD磁気ヘッドに有効としている。

試作した磁気センサー（スピン蓄積効果素子）の構造



河北新報　2007年４月28日　掲載

半導体研究をリード

紫綬

東北大名誉教授　舛岡　富士雄さん（63）



パソコン、デジタルカメラ、携帯電話、家電など幅広い製品に使われている「フラッシュメモリー」の生みの親。「これほどまでに世の中に広まったことは、リサーチエンジニア冥利（みょうり）に尽きる」と語る。

東北大大学院で、「ミスター半導体」の西澤潤一氏（現首都大学東京学長）に師事し、独創的技術と実学尊重の精神をたたき込まれた。博士課程修了後、東芝に入社、一九八四年に再書き込みが可能で、電源を切っても記憶が失われないフラッシュメモリーを開発した。

九四年に教授として母校に戻り、半導体研究で世界をリードする傍ら、若い才能を育てた。今回の受章は「大学での研究、教育も認められたと受け止めている」と素直に喜ぶ。

今年三月に東北大を定年退職し、現在は民間の研究所で円柱構造の次世代トランジスタ開発に携わり、小型化、省電力化、高速化を目指す。

日経産業新聞　2007年7月23日　掲載

先端技術

半導体進化論
イノベーター列伝

第5部 光は日本から ③

西沢氏、半導体レーザー考案

実験の成功 先越される

半導体レーザーの源流をさかのぼると、米国の物理学者、チャールズ・タウンズによる「メーザー」の発明（一九五四年）にたどり着く。

メーザーは「誘導放出によるマイクロ波増幅」の意味。電子が高いエネルギー状態から低い状態に移る時に電磁波を放出する現象で、タウンズはアンモニアガスを使ってマイクロ波の発振・増幅に成功した。誘導放出で生ずる電磁波は周波数や波の位相がきれいにそろっているのが特徴だ。

メーザーの出現に強い衝撃を受けたのが、当時三十歳前後の少壮研究者だった西沢潤一（現・首都大学東京学長）だ。

西沢が研究拠点としていた東北大学電気通信研究所は八木式アンテナの発明者の八木秀次以来、伝送手段として「短い波長」の電波に挑戦する伝統がある。マイクロ波の増幅が電子管によらず、物質にもともと備わっている物理メカニズムで可能になることに西沢の研究心はうずいた。

タウンズの手法は、真空ポンプなど大掛かりな装置が必要になるうえ、連続発振や増幅ができないという問題があった。

西沢はより短い電磁波（光）の発振に半導体を使えないかと考えた。基本原理は、半導体中の電子と正孔（電子の抜けた穴）が結合するときに光を出す発光ダイオードと同じ。放出された光を二つの鏡面で作った共振器で増幅させれば連続光が得られるはずだ。

誘導放出と吸収の関係などについて若干の計算をした上で、西沢は矢も盾もたまらず特許を出願した。五七年四月のことだ。中身は今日の半導体レーザーと違わないが、「半導体メーザー」と冠したのは、レーザーという言葉がまだ存在しなかったからだ。

出願によって西沢は世界で最初の半導体レーザーの考案者になったが、研究者の中には論文が出ていないことを問題にする声が当時も今もある。実際には出願に先がけて日本応用物理学会誌に短い論文を投稿しているわけがない」と熱が入らいたが、採択されなかった。発想が斬新過ぎたのか、若手の論文を受け入れる度量に欠けていたのか。

また、具体的に素子を作っていなかった。西沢は実験に着手したが、担当した助手が「こんなものができるかどうか分からんものにカネは出せない」と引きとなった。

あきらめきれない西沢は予算の獲得に奔走。日本電信電話公社（現NTT）武蔵野電気通信研究所にも足を運んだが、「できるかどうか分からんものにカネは出せない」とつれない返事。仙台へ戻ってふと米国物理学会誌を見ると、ゼネラル・エレクトリック（GE）のロバート・ホールが「半導体レーザーのパルス発振に成功した」との論文が載っていた。

「してやられた」と西沢は悔しがった。特許出願から五年後の六二年のこと。西沢の研究室で半導体レーザー素子を完成したのはその翌年のことだ。

（敬称略）



光素子の研究成果について講演する西沢潤一



「西沢メダル」米学会が賞創設

西沢は発光ダイオードや半導体レーザーの開発に貢献しただけでなく、光ファイバーも発明するなど今日の光通信の基礎を一人で築いた。しかし、当時の日本の学界人とは違い、特許を重視し、実用化が大切という姿勢を前面に出した。

その結果、一九七〇年代にはその業績に反し、学界の異端者と見る空気が日本国内で強いときもあった。

その後は、光通信の本格普及期を迎え、文化勲章を受章するなど評価は定まった。

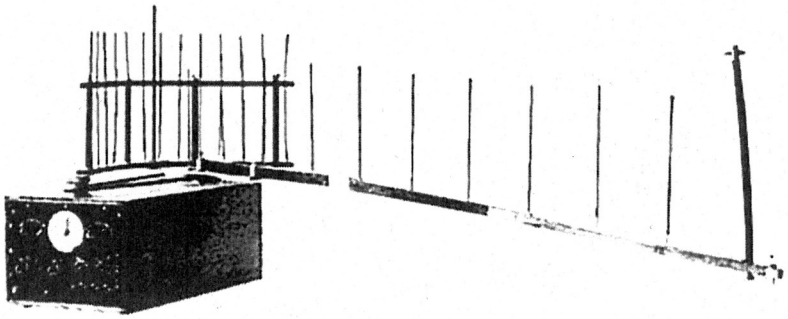
一方、実用を重視する米国では以前から西沢の評価は高い。米電気電子学会（IEEE）は二〇〇二年に半導体材料・素子研究による光通信や大電力システムへの貢献をたたえて、「西沢潤一メダル」＝写真＝を創設した。材料・素子関係の研究者・技術者に贈る賞だ。

IEEEにはエジソン、グラハム・ベル、ロバート・ノイスなどの著名人の名を冠したメダルが制定されており、西沢メダルはそれらと並んでいる。

読売新聞　2007年9月27日　掲載

「独創」生む風土の象徴

東北大100年の至宝



1930年にベルギーの万国博覧会に出品された八木・宇田アンテナの模型

八木・宇田アンテナ

民家の屋根に林立するテレビ受信用アンテナ。日本だけでなく、世界中で見られる風景だ。日本の10大発明の一つにも数えられるこの「八木・宇田アンテナ」は〝東北大発〟の技術だ。八木・宇田アンテナは1926年、東北帝国大の八木秀次教授と宇田新太郎講師によって開発された。金属棒を平行に配置することで、電波を特定の方向に導く形で送受信できる。当初、国内ではあまり評価されず、まず海外で注目された。旧日本軍は、捕虜にした英国兵が持っていたレーダー関係の文書から「YAGI」の文字が出てきたことに驚いたという皮肉な逸話もある。

東北大卒業生で、2002年にノーベル化学賞を受賞した田中耕一・島津製作所フェローも、受賞が決まるまで国内では全くの無名で、まず海外で評価された。その田中氏は東北大在学時、卒業研究としてテレビ電波のノイズに関する研究を行っていたというのも、八木教授との「共通点」を感じさせる。

「ほかにも東北大は、光ファイバーの西沢潤一氏や、電子レンジに使われるマグネトロンを開発した岡部金治郎氏など電気通信研究分野で独創的な研究者を輩出してきた」と、永広昌之・同大総合学術博物館教授。「独創」を生み出す同大の風土こそが、守るべき〝宝〟と言えるだろう。

日本経済新聞　2007年10月12日　掲載



河北新報　2008年１月10日　掲載



顔　かお

電力の安定供給下支え

通研電気工業社長　小林　邦英さん（61）

東北電力のグループ会社で、ダムの自動制御システム、配電線の遠隔監視、電気設備の工事と保守を手掛ける。「当社の役割は、電力を安定供給する下支えをすること」と力を込める。

戦後間もなく、東北大電気通信研究所の研究成果を製品化する目的で設立された。業務は電力関係にとどまらず、防災、福祉、環境分野のソフトウエア開発にも広がっている。

「社員は技術者集団。設備の設計から製造、納入まですべてできる。社の強みを生かせるよう、しっかりと品質管理したい」と抱負を語る。

東北大で原子核工学を学んだ。東北電力に入社し、キャリアのほとんどを女川原発（宮城県女川町、石巻市）と本店原子力部で過ごした。

トラブル隠しなどで原発の信頼が揺らいでいることに心を痛める。「（電力会社に）反省すべき問題はあった。だが、技術そのものを否定するのはどうか。原子力は間違いなく、地球温暖化防止に貢献できるエネルギーの一つだ」と強調する。

七年ぶりに趣味のゴルフを再開した。電力時代は激務でクラブを握る気になれなかったという。「知的なゲームですよ」と穏やかに笑った。

こばやし・くにひで　長野県上田市出身。東北大卒。1969年東北電力入社。理事・女川原発所長、常務などを経て、2007年6月から現職。

付録　教員の最終学歴（大学または大学院）

最　終　学　歴	教　授	准教授	講　師	助　教	計
東北大学	１３	7		１３	３３
東京大学	3	2		4	9
九州大学	3				3
北海道大学	2	1			3
名古屋大学	2				2
東京工業大学	2	1		4	7
大阪大学	1	1		2	4
大阪府立大	1				1
米国ペンシルバニア大学	1				1
九州工業大学	1				1
奈良女子大学	1				1
京都大学		1		1	2
千葉工業大学		1			1
先端北陸科学技術大学院大学		1		1	2
サルフォード大学		1			1
室蘭工業大学		1			1
早稲田大学		1			1
福井大学				1	1
九州芸術工科大学				1	1
モンペリエⅡ大学				1	1
合　　計	３０	１８	0	２８	７６

教員の充足率

		教　　授	准教授及び講師	助　　教	計
2004.3.1 現在	定　員	27	25	34	86
	現　員	27	19	37	83
	充足率	**100%**	**76.0%**	**108.8%**	**96.5%**
2005.3.1 現在	定　員	27	24	34	85
	現　員	24	17	34	75
	充足率	**88.9%**	**70.8%**	**100%**	**88.2%**
2006.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	27	17	29	73
	充足率	**103.8%**	**73.9%**	**90.6%**	**90.1%**
2007.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	24	16	29	69
	充足率	**92.3%**	**69.6%**	**90.6%**	**85.2%**
2008.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	30	18	28	76
	充足率	**115.4%**	**78.3%**	**87.5%**	**93.8%**

構　　成　　員

（平成２０年２月１日現在）

所長（併）・教授　　矢野　雅文

研究部門

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分野

教　授	上　原　洋　一
教　授（兼）	内　田　龍　男
准教授（兼）	宮　下　哲　哉
助　教	片　野　　諭

■物性情報工学研究分野

教　授	白　井　正　文
教　授（兼）	田　中　和　之
助　教	三　浦　良　雄
〃	阿　部　和多加

■量子光情報工学研究分野

教　授	枝　松　圭　一
教　授（兼）	中　尾　光　之
〃　（〃）	坪　川　　宏
准教授	小　坂　英　男
准教授（兼）	片　山　統　裕
講　師（〃）	今　野　　将
助　教	三　森　康　義
非常勤研究員	東海林　　篤
非常勤研究員	長　能　重　博
事務補佐員	阿　部　真奈美

■固体電子工学研究分野

教　授（兼）	伊　藤　隆　司
〃　（〃）	末　光　眞　希
准教授（兼）	小　谷　光　司

■誘電ナノデバイス研究分野

教　授	長　　康　雄
教　授（兼）	梅　村　晋一郎
助　教	平　永　良　臣
〃	金　　暢　大
技術職員（技術部）	我　妻　康　夫
非常勤研究員	石　川　健　哉
〃	小　林　慎一郎
〃	小田川　　望
〃	ブイヤン　モイヌル
技術補佐員	大　竹　睦　実

■プラズマ電子工学研究分野

准教授	遠　藤　哲　郎
准教授（兼）	飯　塚　　哲
〃　（〃）	安　藤　　晃

■磁性デバイス研究分野

客員教授	鷲　尾　勝　由
〃	本　田　耕一郎

ブロードバンド工学研究部門

■超高速光通信研究分野

教　授	中　沢　正　隆
准教授	廣　岡　俊　彦
教　授（兼）	山　田　博　仁
准教授（兼）	松　浦　祐　司
助　教	吉　田　真　人
事務補佐員	篠　崎　頼　子

■応用量子光学研究分野

教　授（兼）	横　山　弘　之
准教授	四　方　潤　一
准教授（兼）	渡　邉　高　志
技術職員（技術部）	田　久　長　一

■先端ワイヤレス通信技術研究分野

教　授	坪　内　和　夫
教　授（兼）	櫛　引　淳　一
准教授	中　瀬　博　之
准教授（兼）	小田川　裕　之
助　教	亀　田　　卓
事務補佐員	橋　浦　尚　子

■情報ストレージシステム研究分野

教　授	村　岡　裕　明
教　授（兼）	西　関　隆　夫
准教授	Simon GREAVES
准教授（兼）	周　　暁
助　教	三　浦　健　司
事務補佐員	粕　谷　祥　子

■超ブロードバンド信号処理研究分野

教　授	尾　辻　泰　一
教　授（兼）	安　達　文　幸
准教授	末　光　哲　也
准教授（兼）	工　藤　栄　亮
助　教	ﾒｼﾞｱｰﾆ ﾔｰﾔ ﾑﾊﾞﾗｸ
事務補佐員	濱　田　　恵

■ブロードバンド通信基盤技術研究分野（客員）

客員教授	水　野　皓　司
〃	安　田　　晃
〃	加　藤　修　三
〃	犬　竹　正　明
〃	クナップ　ポジュシェク
事務補佐員	宮　永　聖　子

人間情報システム研究部門

■生体電磁情報研究分野

教　授	石　山　和　志
教　授（兼）	山　口　正　洋
〃　（〃）	濱　島　高太郎
准教授（兼）	津　田　　理
准教授（兼）	遠　藤　　恭

■先端音情報システム研究分野

教　授	鈴　木　陽　一
教　授（兼）	牧　野　正　三
〃　（〃）	金　井　　浩
准教授	岩　谷　幸　雄
准教授（兼）	伊　藤　彰　則
准教授（兼）	長谷川　英　之
助　教	坂　本　修　一
助　教	宮　内　良　太
技術職員（技術部）	齋　藤　文　孝
非常勤研究員	小　林　まおり
〃	宮　内　千　夏
事務補佐員	小野寺　美　紀

■高次視覚情報システム研究分野

教　授	塩　入　　諭
教　授（兼）	吉　澤　　誠
准教授	栗　木　一　郎
助　教	松　宮　一　道
事務補佐員	今　野　亜　未

■通信環境工学研究分野

教　授（兼）	澤　谷　邦　男
〃　（〃）	堀　口　　進
准教授（兼）	陳　　強
〃　（〃）	姜　　暁　鴻

■先端情報通信領域創成分野

教　授	玉　田　　薫

■マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員）

客員教授	川　上　　進
客員准教授	西　村　竜　一

システム・ソフトウェア研究部門

■ソフトウェア構成研究分野

教　授	大　堀　　淳
教　授（兼）	小　林　直　樹

准教授（兼）	瀧　本　英　二
〃　（〃）	住　井　英二郎
助　教	篠　埜　　功
非常勤研究員	松　野　　裕
〃	リュボーチャオ
〃	上　野　雄　大
事務補佐員	大　友　詳　子

■コンピューティング情報理論研究分野

教　授	外　山　芳　人
教　授（兼）	静　谷　啓　樹
〃　（〃）	篠　原　　歩
〃　（〃）	阿　曽　弘　具
准教授	青　戸　等　人
〃　（兼）	大　町　真一郎
講　師（〃）	酒　井　正　夫
助　教	菊　池　健太郎
非常勤研究員	ケテマ　イエロン
事務補佐員	寒河江　香　子

■コミュニケーションネットワーク研究分野

教　授	白　鳥　則　郎
教　授（兼）	根　元　義　章
〃　（〃）	斎　藤　浩　海
〃　（〃）	曽　根　秀　昭
准教授	菅　沼　拓　夫
准教授（兼）	水　木　敬　明
講　師（兼）	和　泉　勇　治
助　教	小　出　和　秀
技術補佐員	和　泉　　諭
技術補佐員	佐　藤　由　久
技術補佐員	伊　藤　大　視
事務補佐員	三　浦　佳　奈

■情報コンテンツ研究分野

教　授	沼　澤　潤　二
教　授（兼）	加　藤　　寧
〃　（〃）	木　下　哲　男
准教授	青　木　輝　勝
准教授（兼）	阿　部　　亨
助　教	山　田　　洋
非常勤研究員	伊　藤　　学
事務補佐員	武　藤　伸　子

■情報社会構造研究分野（客員）

客員教授	松　岡　　浩
技術補佐員	菊　池　範　子

附属研究施設

附属ナノ・スピン実験施設

施設長（併）	大　野　英　男
教　授	
技術職員（技術部）	土　田　貞　夫
〃　（〃）	佐々木　龍太郎
非常勤研究員	大　友　嘉　郎
〃	目　黒　敏　靖
技術補佐員	小田切　節　子
〃	須　藤　惠久美
事務補佐員	大　場　正　美

■ナノヘテロプロセス研究部

教　授	室　田　淳　一
教　授（兼）	亀　山　充　隆
〃　（〃）	須　川　成　利
准教授	櫻　庭　政　夫
准教授（兼）	張　山　昌　論
事務補佐員	村　中　裕　美

■半導体スピントロニクス研究部

教　授	大　野　英　男
客員教授	田　中　雅　明
教　授（兼）	高　橋　　研
〃　（〃）	佐　橋　政　司
准教授	大　野　裕　三
〃	松　倉　文　礼
准教授（兼）	角　田　匡　清
〃　（〃）	土　井　正　晶
〃　（〃）	斉　藤　　伸

助　教　　大　谷　啓　太

■ナノ分子デバイス研究部

教　授　　庭　野　道　夫
教　授（兼）　　畠　山　力　三
〃　（〃）　　吉　信　達　夫
准教授（兼）　　金　子　俊　郎
助　教　　木　村　康　男
〃　　平　野　愛　弓
〃　　佐　藤　信　之

■ナノスピンメモリ研究部

客員教授　　長谷川　晴　弘
准教授　　池　田　正　二

附属ブレインウェア実験施設

施設長（併）　　中　島　康　治
教　授

■実世界コンピューティング研究部

教　授　　矢　野　雅　文
特任教授　　多　田　順　次
教　授（兼）　　松　木　英　敏
〃　（兼）　　石　黒　章　夫
准教授（兼）　　佐　藤　文　博
助　教　　牧　野　悌　也
〃　　坂　本　一　寛
〃　　三　浦　治　己
非常勤研究員　　冨　田　　望
〃　　伊　藤　　仁

■ブレインアーキテクチャ研究部

教　授　　羽　生　貴　弘
教　授（兼）　　一ノ倉　　理
〃　（〃）　　青　木　孝　文
准教　（兼）　　中　村　健　二
助　教　　松　本　　敦
事務補佐員　　村　岡　響　子

■知的ナノ集積システム研究部

教　授　　中　島　康　治
教　授（兼）　　川　又　政　征
准教授　　佐　藤　茂　雄
准教授（兼）　　阿　部　正　英
助　教　　早　川　吉　弘
〃　　小野美　　武
事務補佐員　　久保市　亜由美

■マイクロアーキテクチャ研究部

教　授　　桝　井　昇　一

２１世紀情報通信研究開発センター

センター長（併）　　坪　内　和　夫
教　授
技術職員　　寒河江　克　巳

■企画開発部

所長補佐　　古　西　　真
事務補佐員　　鏡　谷　真知子

■研究開発部

▲モバイル分野

教　授　　高　木　　直
客員教授　　岩　田　　誠
技術補佐員　　中　山　英　太

▲ストレージ分野

教　授　　藤　本　和　久
客員教授　　青　井　　基
客員教授　　中　村　慶　久
准教授　　島　津　武　仁
客員准教授　　山　川　清　志
技術補佐員　　渡　辺　　功
事務補佐員　　佐　藤　安由美
事務補佐員　　袖　澤　知　美

安全衛生管理室

室　長（兼） 教　授	庭　野　道　夫
副室長（兼） 教　授	上　原　洋　一
助　教	佐　藤　信　之
技術職員	山　下　　毅
事務補佐員	千　葉　綾　子

共通研究施設

■やわらかい情報システムセンター

センター長 教　授	鈴　木　陽　一
准教授	北　形　　元
助　教	矢　入　　聡
技術補佐員	大　學　紀　子
〃	鈴　木　みどり
〃	新　妻　祥　子

研究基盤技術センター

センター長（兼） 教　授	庭　野　道　夫
技術専門員（兼） （技術長）	渡　邉　博　志

■工作部

技術専門員 （グループ長）	菅　原　宗　朋
技術専門職員	米　澤　隆　二
〃	庄　子　康　一
〃	末　永　　保

■評価部

技術専門職員 （グループ長）	今　野　勇　治
技術専門職員	土　田　貞　夫
〃	我　妻　成　人
技術一般職員	山　下　　毅

■プロセス部

技術専門職員 （グループ長）	田　久　長　一
技術専門職員	我　妻　康　夫
〃	寒河江　克　己
技術一般職員	佐々木　龍太郎
非常勤研究員	目　黒　敏　靖
〃	大　友　嘉　郎
技術補佐員	小田切　節　子
〃	須　藤　惠久美

■ソフトウェア技術部

技術専門職員 （グループ長）	齋　藤　文　孝
技術補佐員	大　學　紀　子
〃	鈴　木　みどり
〃	駒　形　順　子

事　　務　　部

事務部長	西　田　　均
総務課長	阿　部　竹　廣
庶務係長	喜　田　　清
主　　任	相　澤　拓　也
技術専門職員	師　岡　ケイ子
事務補佐員	青　山　美弥子
〃	寺　島　弘　美
〃	伊　藤　智　恵
〃	小　熊　絵　美
研究協力係長	松　浦　幸　夫
主　任	菅　原　公美子
事務補佐員	白　鳥　千亜紀
〃	樋　渡　理　枝
〃	地　代　優　子
図書係長	村　上　康　子
事務補佐員	早　坂　幸　子
ＩＴ２１センター事務室	
事務室長	新　田　正　人
事務補佐員	佐　藤　貞　志

経理課長	佐　藤　　巖
経理係長	清　野　　彰
主　　任	鈴　木　智　子
事務職員	白　幡　　陵
事務補佐員	小　島　紫津子
〃	沓　澤　倫　子
〃	佐　藤　智　子
用度係長	早　坂　　毅
主　　任	今　野　　透
事務職員	藤　原　幸　吾
技術職員	阿　部　良　勝
事務補佐員	川　北　久美子
〃	角　田　郁　子
〃	菅　澤　　修
技術補佐員	三　島　　妙
（研究支援推進員）	
事務補佐員	村　田　利　江

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第14号

2008年 8 月発行

発　行　者　　矢　野　雅　文

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　　北日本印刷株式会社
〒984-0064 仙台市若林区石垣町35番 6
TEL 022－224－7781　FAX 022－224－7783

研究活動報告　Vol.14　（二〇〇七年度）

東北大学電気通信研究所