RIEC

Annual Report 2008

研究活動報告

第15号（2008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　量子光情報工学研究分野…… 10
３項　個体電子工学研究分野…… 12
４項　誘電ナノデバイス研究分野…… 14
５項　物性機能設計研究分野…… 16
２節　ブロードバンド工学研究部門の目標と成果…… 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…… 31
３節　人間情報システム研究部門の目標と成果…… 35
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…… 42
４項　先端情報通信領域創成分野…… 44
５項　ユビキタス通信システム研究分野…… 46
４節　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果…… 48
１項　ソフトウェア構成…… 50
２項　コンピューティング情報理論研究分野…… 52
３項　コミュニケーションネットワーク研究分野…… 54
４項　情報コンテンツ研究分野…… 56
５項　情報社会構造研究分野…… 58
５節　ナノ・スピン実験施設の目標と成果…… 60
１項　ナノヘテロプロセス研究部…… 69
２項　半導体スピントロニクス研究部…… 71
３項　ナノ分子デバイス研究部…… 73
４項　ナノスピンメモリ研究部…… 75
６節　ブレインウェア実験施設の目標と成果…… 77
１項　実世界コンピューティング研究部…… 79
２項　知的ナノ集積システム研究部…… 81
３項　マイクロアーキテクチャ研究部…… 83
４項　新概念ＶＬＳＩシステム研究部…… 85

7節　21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果 …… 87
1項　企画開発部 …… 89
2項　研究開発部 モバイル分野 …… 91
3項　研究開発部 ストレージ分野 …… 93
8節　安全衛生管理室 …… 95
9節　やわらかい情報システム研究センター …… 97
10節　研究基盤技術センター …… 99

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 …… 101
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 …… 104
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 …… 106
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 …… 109
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 …… 112
H18／A07　超伝導計算機の基礎と応用に関する研究 …… 115
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 …… 118
H18／A13　視覚情報の脳内表現に関する研究 …… 121
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 …… 124
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 …… 127
H19／A03　高次スピン機能材料の理論設計と創製 …… 130
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 …… 132
H19／A05　３Ｄサラ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 …… 134
H19／A06　頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究 …… 137
H19／A07　脳内における色情報基本表現（色覚アルファベット）に関する研究 …… 140
H19／A08　ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用 …… 143
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 …… 145
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 …… 149
H19／A14　次世代ホットスポットネットワークの研究 …… 152
H20／A01　プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究 …… 155
H20／A02　ナノフォトニクス・フォトニック結晶の応用のフロンティア …… 159
H20／A03　ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御 …… 162
H20／A04　Ⅳ族半導体高度歪制ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究 …… 165
H20／A05　高移動度２次元ホールガスの作製 …… 168
H20／A06　知的ナノ集積システムとその応用に関する研究 …… 170
H20／A07　有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究 …… 173
H20／A08　イオンチャネルチップに関する研究 …… 175
H20／A09　人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究 …… 177
H20／A10　バイノーラル技術における音像定位の学習効果 …… 179
H20／A11　赤外光を用いた細胞チップに関する研究 …… 182
H20／A12　インターネット最適利用のためのコンピューティング環境の構築に関する研究 …… 184
H20／A13　傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究 …… 187
H20／A14　高度映像コンテンツ検索技術に関する研究 …… 190
H20／A15　再生像浮遊型立体映像技術に関する研究 …… 193
H18／B01　ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究 …… 196
H18／B04　マルチメディア情報ハイディングの研究 …… 198
H18／B06　生物における環境調和型適応システムの解明と工学応用 …… 201
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 …… 204
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 …… 207

H19／B01　民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望…… 211
H19／B02　光を用いた地震等の計測とそのネットーワーキングに関する研究…… 214
H19／B04　微粒子プラズマ科学の展開…… 217
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…… 220
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…… 223
H19／B09　証明論的アプローチによるプログラム構成原理…… 226
H19／B10　流れが深く関与するプラズマ物性の基礎と応用…… 229
H20／B01　金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究…… 232
H20／B02　高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用…… 234
H20／B03　新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究…… 237
H20／B04　ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究…… 240
H20／B05　半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合－技術を先導する半導体サイエンスを目指して－…… 243
H20／B06　量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究…… 246
H20／B07　高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究…… 248
H20／B08　光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究…… 251
H20／B09　次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究…… 254
H20／B10　高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフトウェアの開発…… 257
H20／B11　推論エンジンを用いたプログラム自動検証法の研究…… 260
H20／B12　定理証明系とその応用に関する研究…… 263
H20／S01　スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発…… 266
H20／S02　スピントロニクス連携ネットワーク…… 269

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…… 273
１項　気相－液相プラズマに関する学際的交際シンポジウム…… 273
(International Interdisciplinary-Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas ＜ISGLP2008＞)
２項　第４回新Ⅳ族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ…… 274
(4th International Workshop on New Group ⅣSemiconductor Nanoelectronics)
３項　第１回CNSI-RIECナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する国際ワークショップ…… 275
(The 1st CNSI-RIEC Workshop on Nanoelectronics,Spintronics and Photonics)
２節　国際会議等の開催状況…… 276
１項　第４回SiGeテクノロジー＆デバイス国際会議 …… 276
(4th Int. SiGe Technol.& Device Meeting)
２項　新世代ネットワークに向けた高密度光通信ワークショップ…… 277
(Workshop on High Spectral Density Optical Communication for New Generation Network)
３項　2008年国際固体素子・材料コンファレンス…… 278
(SSDM2008)
４項　第３回ECS SiGe & Ge : 材料・プロセス・デバイス国際会議 …… 279
(3rd ECS SiGe & Ge : Materials, Processing, and Devices Symp.)
５項　光通信インフラの飛躍的な高度化技術に関する国際シンポジウム…… 280
(International Symposium on Global Optical Infrastructure Technologies toward the Next Decades)
６項　グラフェンディバイスのテクノロジー、物理、モデリングに関する国際シンポジウム…… 281
(International Symposium on Graphene Devices : Technology, Physics, and Modeling)

7項　先端ナノエレクトロニクスデバイスの材料科学・プロセス技術に関する国際会議（IUMRS-ICA2008）…… 282
3節　工学研究会…… 283
1項　伝送工学研究会…… 284
2項　音響工学研究会…… 288
3項　仙台“プラズマフォーラム”…… 289
4項　ＥＭＣ仙台ゼミナール…… 290
5項　コンピュータサイエンス研究会…… 291
6項　システム制御研究会…… 292
7項　情報バイオトロニクス研究会…… 293
8項　スピニクス研究会…… 294
9項　ニューパラダイムコンピューティング研究会…… 295
10項　超音波エレクトロニクス研究会…… 296
11項　ブレインウェア工学研究会…… 298
12項　情報・数物研究会…… 299
13項　生体・生命工学研究会…… 300
14項　ナノ・スピン工学研究会…… 301
4節　通研講演会…… 302
1項　川嶋　貴之　フォトニック結晶の光計測機器への応用と産業展開…… 302
2項　浅野　太　音源定位・分離技術とその応用…… 303
3項　福政　修　重水素プラズマ中での負イオンの生成と応用…… 304
4項　Jun Fan　Effects of Visas on High-Speed Signals …… 304
5項　Shinya Umeno　実時間システム検証のためのイベント順序の抽象化 …… 305
6項　本村　禎　Multi-disciplinary R＆D and Clinical Research : BCM Center for Artificial Organ Development Initiative …… 305
7項　溝口　明　シナプスと脳の情報処理…… 306
8項　真鍋　俊也　シナプス可塑性と高次脳機能の分子機構…… 306
9項　山本　健一　電磁鋼板の磁気損失に及ぼす外部応力の効果…… 307
10項　石井　和男　機構からのロボット知能化へのアプローチ…… 307
11項　八木　哲也　脳型集積エミュレータによる生体視覚情報処理の解析…… 308
12項　中村　祐一　ネットワークオンチップの概念と構造…… 308
13項　小川　淳二　高速 CMOS I/O 技術の動向 …… 309
14項　和田山　正　相関のある雑音に適した復号法：LDPC 符号、マルコフ確率場、分散情報源符号化 …… 309
15項　村田　勉　脳の認識の柔軟性とトップダウン処理の起源…… 310
16項　渋谷　徹　画像圧縮技術とIP伝送 …… 310

第6章　評価と分析
1節　運営協議会報告…… 311
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 …… 332
3 節　奨学寄附金の受け入れ …… 333

第 2 章　研究・学会活動状況 …… 334
1 節　国際活動 …… 334
2 節　発表論文数 …… 335
3 節　学会役員一覧 …… 336
4 節　外国の大学等との学術交流交換協定締結一覧 …… 338
5 節　学振特別研究員及び研究所研究員 …… 339
6 節　特別研究員・大学院生の受入状況 …… 340
7 節　広報活動と情報公開 …… 341

第 3 章　論文題目 …… 342
1 節　修士論文題目 …… 342
2 節　博士論文題目 …… 346

第 4 章　受章・受賞 …… 347
1 節　本年度の受章・受賞者 …… 347
2 節　学会フェロー等 …… 350

第 5 章　トピックス …… 351

付　録　教員の最終学歴一覧表 …… 354
教員の充足率 …… 355
構成員 …… 356

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、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」が設置されました。また 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、研究所の組織を 20 年のホライズンの研究を行う４大研究部門に属する 20 余の研究分野、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体制に改組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。

大学の附置研究所・センターは本年度を境に大きく制度が変わります。これまでの全国共同利用研究所が廃止され、共同利用・共同研究拠点制度になります。全国共同利用研究所は主として資料や大型設備や施設の共同利用を目的と

して設置されてきましたが、今回の制度の変更は研究者コミュニティの強い要望があることが求められています。１９９４年に電気通信研究者が全国共同利用研究所へ転換するに際して目指したものは、従来の共同利用研究所と異なり、情報通信の分野で重点的に推進すべき研究に対して、広く国内外から研究者を集め、プロジェクト研究を推進する、研究内容主導型の共同利用型研究所となることでした。これは今回の制度の変換主旨を実質的に先取りしたものであったと言えます。したがって、今回の変換に当たっても、研究の進め方は組織を含めて変える必要はないものと考えております。　もちろん、本研究所は１０年をめどに改組を行っており、それは外部評価や自己評価などを通じて自己点検をして、自らを改革していく努力はこれからも続ける所存です。

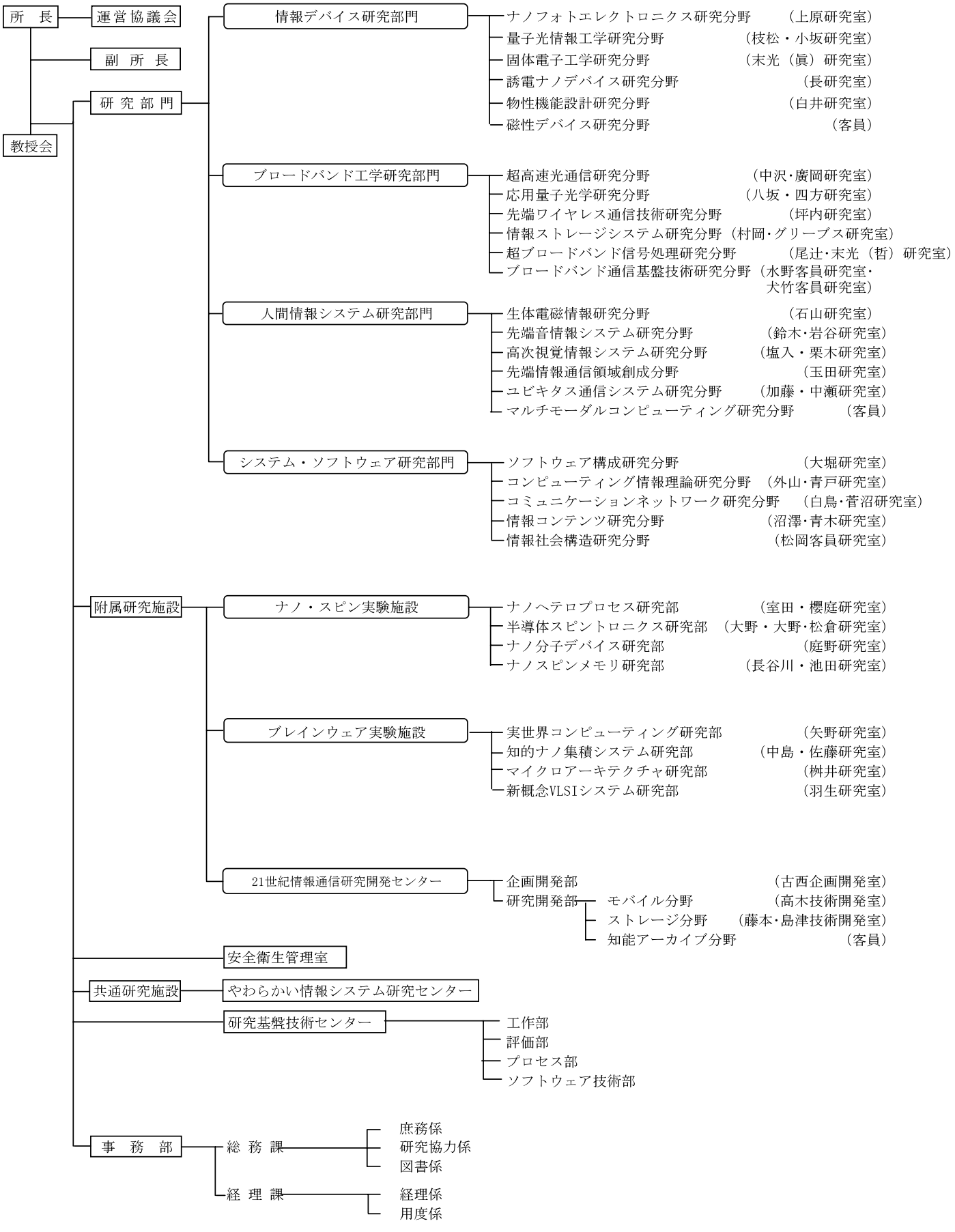
本研究活動報告は今回で 15 号となります。これは研究所の活動を広く皆様にご報告するとともに、研究所の自己点検・評価の資料としても用いているところです。なお、本研究所はこれまで通り、工学研究科と情報科学研究科の電気・情報系の諸専攻と一致協力して教育と研究に当たり、わが国の情報通信分野の進展に寄与していく所存です。これまで以上のご支援ご鞭撻及び本活動報告についての忌憚ないご意見をお願い申し上げ、巻頭のご挨拶といたします。

平成 21 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）
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　（末光（眞）研究室）
誘電ナノデバイス研究分野　（長研究室）
物性機能設計研究分野　（白井研究室）
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　（八坂・四方研究室）
先端ワイヤレス通信技術研究分野　（坪内研究室）
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（哲）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）
先端情報通信領域創成分野　（玉田研究室）
ユビキタス通信システム研究分野　（加藤・中瀬研究室）
マルチモーダルコンピューティング研究分野　（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・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）
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）
新概念VLSIシステム研究部　（羽生研究室）
21世紀情報通信研究開発センター
企画開発部　（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･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。

青野　正和（委　員）独立行政法人物質・材料研究機構フェロー
荒川　泰彦（　〃　）東京大学　先端科学技術研究センター　教授
久保田啓一（　〃　）ＮＨＫ　放送技術研究所長
國尾　武光（　〃　）ＮＥＣ　執行役員　中央研究所長
久間　和生（　〃　）三菱電機　上席常務執行役　開発担当
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
外村　佳伸（　〃　）ＮＴＴ　コミュニケーション科学基礎研究所長
丹羽　邦彦（　〃　）科学技術振興機構　研究開発戦略センター　上席フェロー
富田　眞治（　〃　）京都大学　情報科学研究科長
富永　昌彦（　〃　）独立行政法人　情報通信研究機構　理事
西尾章治郎（　〃　）大阪大学　理事・副学長
吉田　　博（　〃　）大阪大学　大学院基礎工学研究科　教授
花輪　公雄（　〃　）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
西関　隆夫（　〃　）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
小林　広明（　〃　）東北大学　サイバーサイエンスセンター長
牧野　正三（　〃　）東北大学　大学院工学研究科 教授

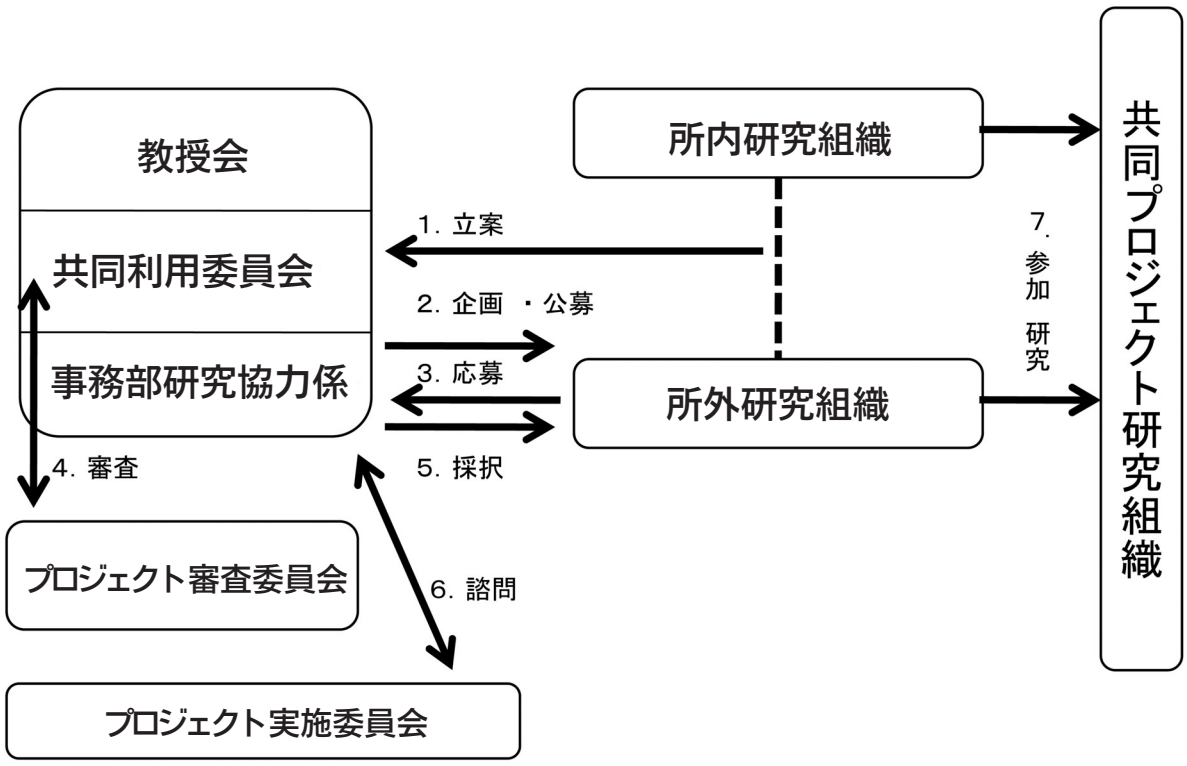
２．３　共同研究組織

本研究所は平成６年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設」の 2 施設として設備を充実し発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共にそれぞれの先導的研究開発を目指すことになった。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により、情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として、本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて、全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携を撮りながら、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

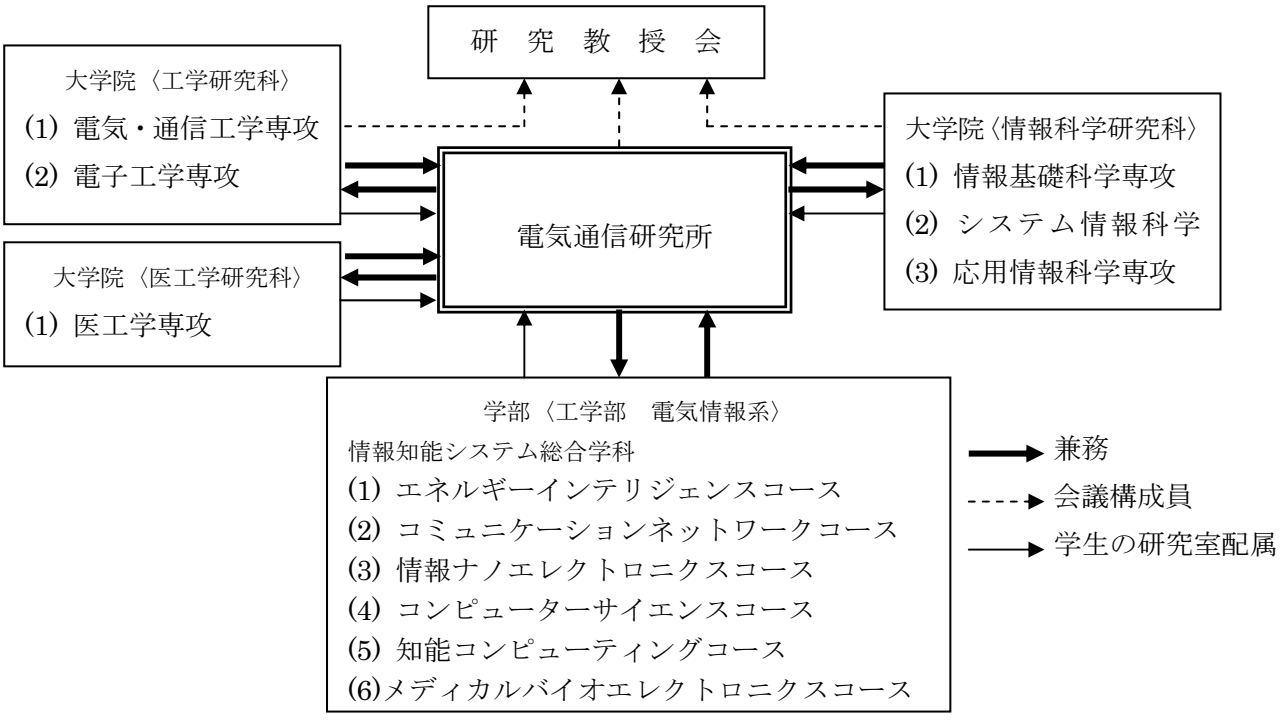
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学科が順次設立されるとともに、これらの電気・情報系 4 学科との「一体運営」の協力関係が構築された。

現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。また，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。2008 年度は、通研の 29 研究部・分野のうち 9 研究部・分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、11 研究部・分野が電子工学専攻に、3 研究部・分野が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 研究部・分野がシステム情報科学専攻に、1 研究部・分野が応用情報科学専攻に、3 研究部・分野が医工学研究科医工学専攻に、それぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は 193 名、一研究室当たり平均 6.7 名に達している。

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

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項は個々で審議される。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、医工学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり、研究のみならず教育でも COE 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パ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・光相関効果電子デパイス，量子効果デバイスなどを実現することを目標とする．

目標に到達するために，下記の６研究分野を設置し，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. 量子光情報工学研究分野
3. 固体電子工学研究分野
4. 誘電ナノデバイス研究分野
5. 物性機能設計研究分野
6. 磁性デバイス研究分野(客員研究分野)

各分野の目標ならびに2008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

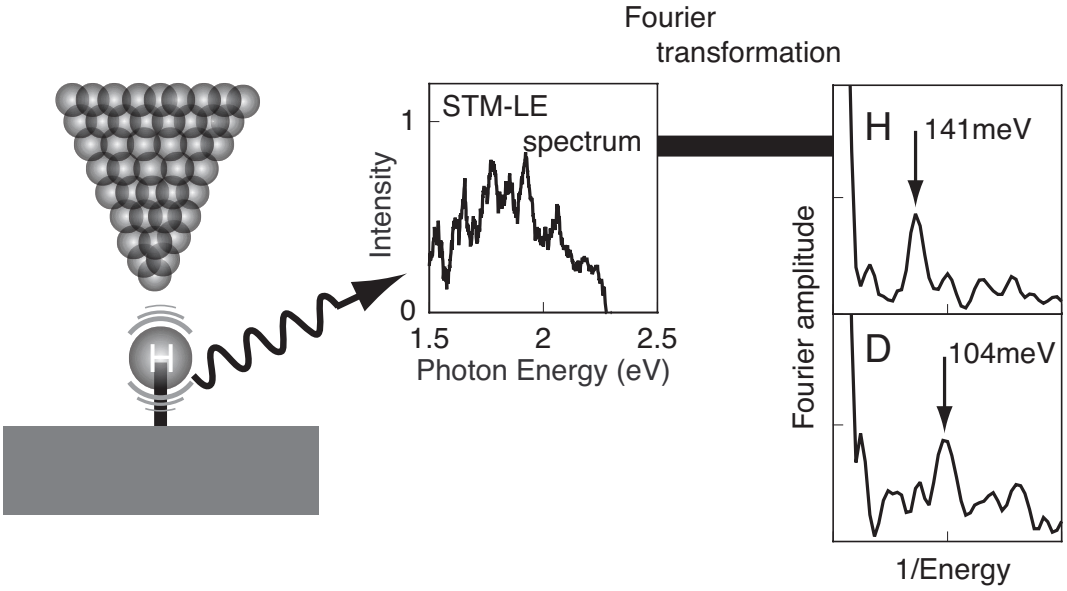


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

１．カルコゲン合金の物性探索

$Ge_2Sb_2Te_5$やSb_2Te_3を含むカルコゲン合金は次世代の超高密度光記録や不揮発性ランダムアクセスメモリーのための材料候補として注目され、個々の素子サイズに相当するナノ領域での光、熱、電子物性の解明は重要である。STM発光分光はこれらのナノ物性探索・決定のための手法として有効であることはよく認識されているが、該当材料のバンド・ギ

ャップが0.5eV以下と高感度光検出器が利用可能な波長領域から外れているため、STM発光計測は行われていない。我々は$Ge_2Sb_2Te_5$とSb_2Te_3結晶のSTM発光計測に取り組み、両方の材料で光子エネルギー1.5eV近辺に鋭いスペクトル幅を有する発光の観測に成功した。関連する波長域での誘電関数や報告されているバンド計算と比較した結果、この発光はバンド・ギャップとは異なる**k**空間位置でのバンド間電子遷移により励起されていることが分かった。今後、レーザーアブレーション法等で作成したカルコゲン合金のナノ粒子の物性探索・決定を行ってゆく。

２．　時間分解STM発光振動分光法の開発

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ナノデバイス開発の観点からも重要である。STM発光とピコ秒パルスレーザーを組み合わせることにより、STM発光分光にピコ秒の時間分解能を付与しうることが分かっている（Y. Uehara et al., “Scanning tunneling microscope light emission spectroscopy with picosecond time-resolution”, Applied Phys. Lett. 76, 2487 (2000).)。また、STM発光分光により個々の固体表面吸着種の分子振動が計測できることもわかっている（図１）。今年度は、これらの手法を組み合わせることにより、原子レベルの位置分解能とピコ秒の時間分解能を有する新しい計測手法（時間分解STM発光振動分光法）の開発に取り組んだ。その結果、Cu(110)表面上の孤立ベンゼン分子のC-HストレッチングモードとSb_2Te_3のTOフォノン・モードがピコ秒の時間分解能で検出できることを見いだした。今後、時間分解STM発光振動分光システムへの光遅延回路の組み込みを行い、孤立原子分子種の寿命時間決定や半導体ナノ構造のフォノンダイナミクスの解明を行う。

＜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)。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] 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 **47**, 6114 (2008).
[2] 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”, Journal of the Vacuum Society of Japan 51, 796-800 (2008).
[3] 上原洋一，潮田資勝, “走査型トンネル顕微鏡（STM）発光分光“, 走査プローブ顕微鏡（重川秀美・吉村雅満・河津璋　編集, 共立出版）中 370-378 (2009).

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．単一光子による光学非線形性

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。

＜2008 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･検出方法の開発

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最も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・検出方法について研究している。本年度は，(1)擬似位相整合素子を用いた量子もつれ光子対の高効率な生成および検出方法を開発，(2)キャビティ量子電磁力学効果を用いた量子もつれ光子の新しい生成スキームの提案，等の成果を得た。

(2) 光ファイバにおける単一光子レベルでの光学非線形性の測定

光子間の量子状態制御は，量子情報通信において本質的に重要な要素である。本研究分野では，フォトニック結晶ファイバを用いて，単一光子レベルの光によって誘起される光カー効果の測定に世界で初めて成功した（Nature Photonics 誌に発表）。

(3) 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，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，光によって書き込んだ電子スピンのコヒーレンス状態を再度光によって読み出すことに世界で初めて成功した（Nature 誌に発表）。

(4) 半導体量子ドット，量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し，半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究している。本年度は，半導体微小共振器における巨大な光誘起カー回転の観測，時間分解ポンププローブ分光法による単一量子ドットの Rabi 振動の観測，等の成果を得た。

＜職員名＞

教授　　枝松圭一（2003 年より）
准教授　小坂英男（2003 年より）
助教　　三森康義（2004 年より）
研究員　清水亮介，久津輪武史，長能重博，東海林篤，桑原真人
秘書　　阿部真奈美

＜教授のプロフィール＞

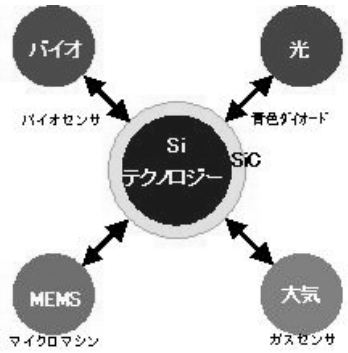
1987 年東北大学大学院理学研究科博士課程修了，東北大学工学部助手，California Institute of Technology 客員研究員，東北大学大学院工学研究科助教授，大阪大学大学院基礎工学研究科助教授，2003 年 1 月より現職

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] 単一光子・相関光子発生技術の進展 [枝松圭一: 光学 **37**, 440-446 (2008)]
[2] 半導体単一光子源および量子もつれ光子源 [枝松圭一: レーザー研究 **36**, 464-469 (2008)]
[3] Entangled photons via biexciton-resonant hyperparametric scattering [K. Edamatsu: Semiconductor Quantum Bits, ed. F. Henneberger and O. Benson, Pan Stanford Publishing, 355-368 (2008)]
[4] 光から電子スピンへの量子コヒーレンス転写 [小坂英男: 固体物理 **43**, 489-497]
[5] 量子中継と量子転写－長距離量子通信と量子ネットワークを実現するキー技術－ [小坂英男: 電気通信情報学会誌 **91**, 946-951]
[6] Swift control of a single spin [K. Edamatsu: Nature **456**, 182-183 (News and Views) (2008)]
[7] Observation of optical-fibre Kerr nonlinearity at the single-photon level [N. Matsuda, R. Shimizu, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu: Nature Photonics **3**, 95-98 (2009)]
[8] Spin state tomography of optically injected electrons in a semiconductor [H. Kosaka, T. Inagaki, Y. Rikitake, H. Imamura, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu: Nature **457**, 702-705 (2009)]
[9] Time-resolved photoinduced Kerr rotation in semiconductor microcavity [Y. Mitsumori, N. Kato, H. Kosaka, K. Edamatsu, N. Yamamoto, K. Akahane: Phys. Stat. Sol. (c) **6**, 292-295 (2009)]
[10] Cavity-assisted generation of entangled photons from a V-type three-level system [H. Ajiki, H. Ishihara, and K. Edamatsu: New J. Phys. **11**, 033033/1-9 (2009)]

固体電子工学研究分野

シリコンユビキタステクノロジー



Si 基板の上に炭化ケイ素（SiC）薄膜を形成することで、Si テクノロジーと人間を取り巻く「環境」とのよい橋渡しが可能となります。

＜分野の目標＞

これからの電子デバイスは人々に直接顔を見せるのではなく、人を取り巻く環境の中に埋没することで、より人間的、かつ有機的な高度情報処理を行うようになる。こうしたユビキタスデバイスを実現するため、本研究分野では、諸環境との対話能力に富んだ非 Si 系物質を Si 基板上に整合形成する技術の開発に取り組んでいる。とくに Si 基板上に SiC 極薄膜をガスソース MBE 法で形成することにより、バイオ、光、大気、力学という四大環境に対応可能なデバイスの作製を試みている。また Si 基板上の SiC 薄膜表面を改質することで、次世代超高速デバイス材料の有力候補と目されるグラフェンを Si 基板上に形成することにも世界で初めて成功している。

＜2008 年度の主な成果＞

１． グラフェン・オン・シリコン技術を世界で初めて実現

Si デバイスの性能向上は 2020 年頃に終焉を迎えると予測されており、超高速次世代材料としてグラフェンに対する注目が世界中で急速に高まっている。本研究分野では、このグラフェンを Si 基板上に作製することに世界で初めて成功した。現在、グラフェン膜の高品質化、及びデバイス応用に関する研究を進めている[9,10]。

２． Si(110)表面酸化機構の解明

SiCMOS デバイスの新しい活性面として注目される Si(110)面の初期酸化過程を、放射光を用いたリアルタイム光電子分光法により観察した[3]。その結果、Si(110)表面にも、Si(111)面や Si(001)面と同様、準安定な酸素吸着状態が存在することを初めて見出した[3,6]。

３． SiC/Si 構造を用いた Si 基板上 GaN 薄膜の形成

Si 基板上に SiC 薄膜を形成し、かつその上に AlN バッファ層を形成することで、Si 基板

上に高品質の GaN 薄膜を形成することに成功した[1,2]

４．有機シラン・ガスソース MBE 法による Si 基板上 SiC ヘテロエピタキシ機構

Si 基板上に SiC 薄膜を成長させると、赤外干渉により単色温度計の温度表示が振動する現象を用い、Si 基板上の SiC 薄膜成長のリアルタイムモニタ法を開発した[4]。

５．大気圧プラズマ法による Si 系多結晶薄膜の低温形成

大気圧プラズマを用いることで、アンモニアを用いずに Si-N 薄膜[5]、PET 基板上への多結晶 Si 薄膜[7]、の形成に成功した。

＜職員名＞

教　授　末光 眞希（2008 年より）
助　教　吹留 博一（2008 年より）
非常勤研究員　Alugno Arnold Café

＜教授のプロフィール＞

1975 年 3 月　東北大学工学部電子工学科卒業。1980 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。1980 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1990 年 4 月　同大電気通信研究所助教授。2003 年 4 月　同大学際科学国際高等研究センター教授、2008 年 4 月同大電気通信研究所教授、現在に至る。半導体薄膜表面工学の研究開発に従事。第 30 回熊谷記念真空科学論文賞受賞（2005 年 11 月）

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Tamura, Y. Kuroki, K. Yasui, M. Suemitsu, T. Ito, T. Endou, H. Nakazawa, Y. Narita, M. Takata, T. Akahane, “Growth of GaN on SiC/Si substrates using AlN buffer layer by hot-mesh CVD”, Thin Solid Films, 516 (2008) pp.659-662.

[2] Y. Fukada, K. Yasui, Y. Kuroki, M. Suemitsu, T. Ito, T. Endou, H. Nakazawa, Y. Narita, M. Takata, and T. Akahane, “Growth of GaN Films by Hot-Mesh Chemical Vapor Deposition Using Ruthenium-Coated Tunsten Mesh”, Jpn. J. Appl. Phys., 47 (1) (2008) pp.573-576,

[3] Y. Yamamoto, H. Togashi, A. Kato, Y. Takahashi, A. Konno, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, H. Asaoka, M. Suemitsu, “Observation of Metastable Chemisorption State of Oxygen on Si(110)-16×2 Surface”, Appl. Surf. Sci., 254 (19) (2008) pp 6232-6234.

[4] E. Sato, A. Konno, T. Ito, K. Yasui, H. Nakazawa, T. Endoh, Y. Narita, M. Suemitsu, “Temperature oscillation” as a real-time monitoring of the growth of 3C-SiC on Si substrate”, Appl. Surf. Sci., 254 (19) (2008) pp 6235-6237.

[5] M. Matsumoto, Y. Inayoshi, M. Suemitsu, E. Miyamoto, T. Yara, S. Nakajima, T. Uehara, Y. Toyoshima, “Low-temperature formation of silicon nitride films using pulsed-plasma CVD under near atmospheric pressure”, Appl. Surf. Sci., 254 (19) (2008) pp 6208-6210.

[6] Y. Yamamoto, H. Togashi, A. Kato, M. Suemitsu, Y. Narita, Y. Teraoka, and A. Yoshigoe, “Bonding Structure of Ultrathin Oxides on Si(110) Surface”, MRS Proceedings 1074 (2008) pp.I0350-I0358,

[7] M.Matsumoto, Y. Inayoshi, M. Suemitsu, T. Yara, S. Nakajima, T. Uehara, Y. Toyoshima, “Low temperature growth of polycrystalline Si on polyethylene terephthalate (PET) films using pulsed-plasma CVD under near atmospheric pressure”, Thin Solid Films, 516(2008) pp 6673-6676.

[8] T. Ito, T. Kanno, T. Akiyama, K. Nakamura, A. Konno, M. Suemitsu, “Empirical Potential Approach to the Formation of 3C-SiC/Si(110)”, Appl. Phys. Express (2008), 11201.

[9] M. Suemitsu, Y. Miyamoto, H. Hanada, and A. Konno, “Graphene formation on a 3C-SiC(111) thin film grown on Si(110) substrate”, e-J. Surf. Sci. Nanotech. 7 (2008), pp.311-313.

[10] Y. Miyamoto, H. Handa, H. Fukidome, T. Ito, M. Suemitsu, “Raman Scattering of Epitaxial Graphene Formed on Silicon Substrates”, e-J. Surf. Sci. Nanostruct., 7, (2009) pp.107-109.

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

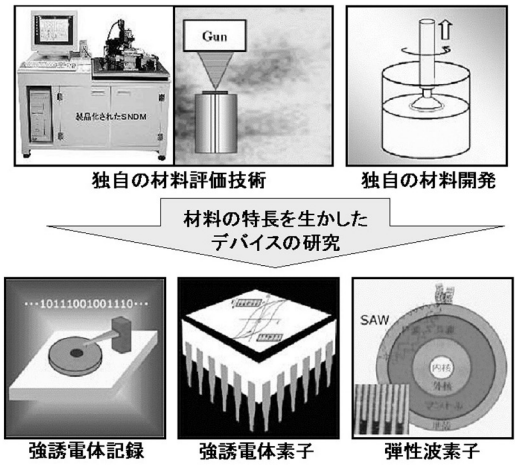


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

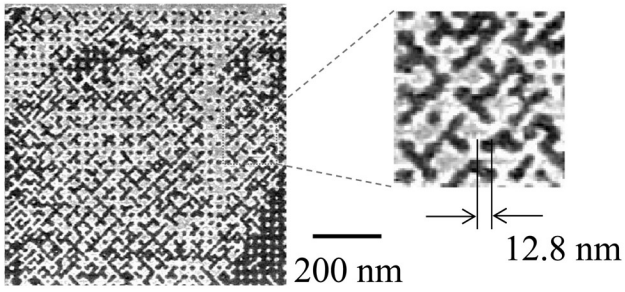


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

１． NC-SNDM による原子レベル極性判別 [9],[10]

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 表面や酸化物およびフラーレン分子、HOPG 等の観察を行い、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 [2],[4],[5],[6],[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 2 Mbps の読み出しおよび 20Mbps の書き込みが可能であることを実証した。

３． 強誘電ナノドメインの基礎物性評価に関する研究 [1],[3],[4],[8]

強誘電体単結晶記録媒体に 4 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、薄膜強誘電体記録媒体に対しても 1.6 Tbit/inch^2 の記録密度のドメインパターンの書き込みが可能であることを明らかにした。

＜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

＜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）。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Kenkou TANAKA, Yuichi KURIHASHI, Tomoya UDA, Yasuhiro DAIMON, Nozomi ODAGAWA, Ryusuke HIROSE, Yoshiomi HIRANAGA, and Yasuo CHO, “Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy Nano-Science and Technology for Next Generation High Density Ferroelectric Data Storage”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.47, No.5, pp.3311-3325, 2008.

[2] Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho, “Fast Data Read/Write Using Novel HDD-Type Ferroelectrics Data Storage System”, 20th International Symposium on Integrated Ferroelectrics, 11C-217-C, 2008.

[3] Kenkou Tanaka and Yasuo Cho, “Actual Information Storage with a Recording Density of Above 1 Tbpsi”, 20th International Symposium on Integrated Ferroelectrics, 11B-164-C, 2008.

[4] Yasuo Cho, Kenkou Tanaka, Yuichi Kurihashi, Tomoya Uda, Yasuhiro Daimon, Nozomi Odagawa, Ryusuke Hirose and Yoshiomi Hiranaga, “Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy Nano Science and Technology for Next Generation High Density Ferroelectric Data Storage”, 20th International Symposium on Integrated Ferroelectrics, 5C-580-I, 2008.

[5] Yuichi Kurihashi, Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho, “High Speed Read/Write Using HDD-type SNDM Ferroelectric Data Storage System with Single Probe”, The 7th Korea-Japan Conference on Ferroelectricity, P-07-39, 2008.

[6] Tomoya Uda, Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho, “Noncontact probe control of ferroelectric data storage system based on SNDM”, The 7th Korea-Japan Conference on Ferroelectricity, P-07-12, 2008.

[7] Takashi Sakamoto, Masahiro Sasaura, Shogo Yagi, Kazuo Fujiura and Yasuo Cho, “In-Plane Distribution of Phase Transition Temperature of $KTa_{1-X}Nb_XO_3$ Measured with Single Temperature Sweep”, Applied Physics Express, Vol.1, No.10, pp101601-1-101601-3, 2008.

[8] Yasuo Cho, Yoshiomi Hiranaga, Kenkou Tanaka, Yuichi Kurihashi, and Tomoya Uda, “Next Generation Ferroelectric high Density Data Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, The 2nd IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference, TuB II-1, 2008.

[9] Nobuhiro Kin, Yuhei Osa and Yasuo Cho, “Observation of a local dipole moment of Si atoms on Si(100) surfaces using non-contact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2008 MRS Fall Meeting, C9.18, 2008.

[10] 小林慎一郎, 広瀬龍介, 長康雄, “非接触型非線形誘電率顕微鏡による Si(111)-7×7 表面およびフラーレン分子の観察”, Journal of the Vacuum Society of Japan, Vol.51, No.12, pp.771-778, 2008.

物性機能設計研究分野

次世代スピンデバイス創製のための構造・機能の理論設計

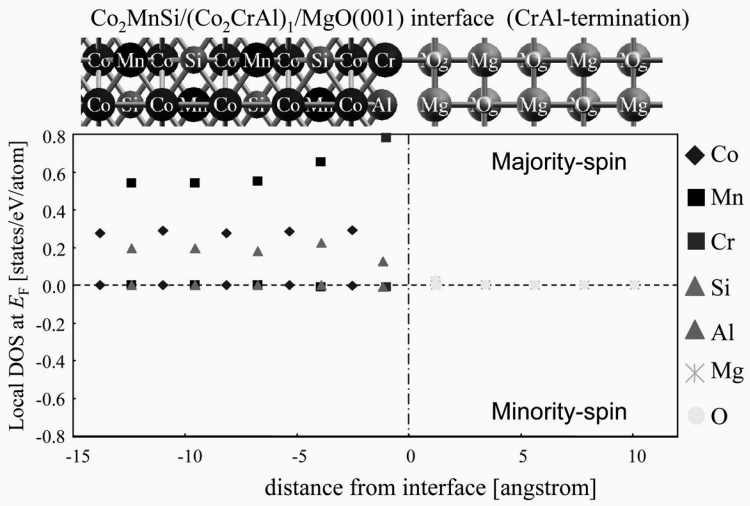


図１．高スピン偏極ホイスラー合金／MgO (001)接合界面（文献[1]）

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

１． 垂直磁気トンネル接合の高出力化の理論設計

磁気トンネル接合の微細化に伴う磁化の熱ゆらぎ耐性の向上のため、垂直磁気異方性を示す強磁性材料を電極に用いた磁気トンネル接合の研究が活発に行われている。そこで、FePt／MgO／FePt (001)接合界面への Fe 原子層挿入によるトンネル磁気抵抗(TMR)比向上の可能性について、第一原理計算に基づいて理論的に検討した。膜厚の異なる Fe 原子層を MgO 障壁の両側界面に挿入した場合のスピン依存伝導を計算したところ，3〜4 原子層（約 0.5 nm）の Fe 原子層挿入により Fe／MgO／Fe (001)接合と同程度の 1000%を超える巨大な TMR 比が得られた。一方、MgO 障壁の片側界面にのみ Fe 原子層を挿入した場合には TMR 比の向上は見られなかった。以上の成果により、垂直磁気トンネル接合の高出力化を実現するための方策として、MgO 障壁の両側界面への極薄 Fe 原子層の挿入が有効であると、理論的に確認できた。

２． 高スピン偏極磁気トンネル接合の理論設計

高スピン偏極ホイスラー合金を電極に用いたトンネル磁気抵抗(TMR)素子の研究開発が活発に行われ、低温で 800%を越える大きな TMR 比が観測されている。しかし、温度上昇に伴う TMR 比の急激な低下が問題であり、その原因の解明と室温での TMR 比改善が急務である。合金電極と酸化物障壁の接合界面に形成される局在電子状態を介したスピン反転トンネル過程が温度上昇に伴う TMR 特性劣化の要因と考え、高スピン偏極磁気トンネル接合界面を第一原理計算に基づいて理論的に探索した。その結果、CrAl 終端 Co_2CrAl／MgO (100)接合ではフェルミ準位近傍には界面電子状態は形成されないことを初めて見出した。界面の Cr 磁気モーメントは Co_2CrAl のバルク値より約 70%も増大しており、これが界面における高スピン偏極率の保持と密接に関係している。残念なことに Co_2CrAl の Δ_1 バンドはフェルミ準位近傍に存在しないので、数原子層の Co_2CrAl を Co_2MnSi／MgO (100)接合界面に挿入することで、室温における TMR 比の向上が期待できることを提案した。

＜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）。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Miura, H. Uchida, Y. Oba, K. Abe, and M. Shirai, “Half-metallic interface and coherent tunneling in Co_2YZ/MgO/Co_2YZ (YZ = MnSi, CrAl) magnetic tunnel junctions: A first-principles study,” Phys. Rev. B, Vol.78, No.6, Article no.064416, pp.1-9, 2008.

[2] Y. Miura, R. Mazzarello, A. Dal Corso, A. Smogunov, and E. Tosatti, “Monatomic Au wire with a magnetic Ni impurity: Electronic structure and ballistic conductance,” Phys. Rev. B, Vol.78, No.20, Article no.205412, pp.1-8, 2008.

[3] Y. Taniguchi, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “Theoretical studies on spin-dependent conductance in FePt/MgO/FePt(001) magnetic tunnel junctions,” IEEE Trans. Magn., Vol.44, No.11, pp.2585-2588, 2008.

[4] K. Abe, Y. Miura, Y. Shiozawa, and M. Shirai, “Half-metallic interface between a Heusler alloy and Si,” J. Phys.: Condensed Matter, Vol.21, No.6, Article no.064244, pp.1-5, 2009.

[5] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “The effect of the interface oxidation on tunneling conductance of Co_2MnSi/MgO/Co_2MnSi magnetic tunnel junction,” J. Phys.: Condensed Matter, Vol.21, No.6, Article no.064245, pp.1-6, 2009.

[6] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “Computational design of highly spin-polarized heterojunction between Heusler alloys and MgO,” J. Magn. Soc. Japan, Vol.33, No.2, pp.105-109, 2009.

[7] S. Mizukami, D. Watanabe, M. Oogane, Y. Ando, Y. Miura, M. Shirai, and T. Miyazaki, “Low damping constant for Co_2FeAl Heusler alloy films and its correlation with density of states,” J. Appl. Phys., Vol.105, No.7, Article no.07D306, pp.1-3, 2009.

[8] K. Miyamoto, A. Kimura, Y. Miura, M. Shirai, M. Ye, Y. Cui, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Y. Takeda, Y. Saitoh, E. Ikenaga, S. Ueda, K. Kobayashi, and T. Kanomata, “Absence of temperature dependence of the valence-band spectrum of Co_2MnSi,” Phys. Rev. B, Vol.79, No.10, Article no.100405 (R), pp.1-4, 2009.

3．2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

将来の大容量情報通信に柔軟に対応する電子デバイスと高速通信技術の未来システムの構築を目的に、マイクロ波、ミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、光波の広範な領域での各種情報信号の発生、伝送、処理、情報ストレージ、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)複数の無線通信システムを統合し，あらゆるデータへのアクセスが可能なディペンダブルワイヤレス 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の ASIC への実装を検討した。ミリ波帯 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 フロントエンドデバイスの高性能化を目指して FBAR フィルタ・発振器の検討を行った。

(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)独自の二重回折格子ゲート構造による二次元プラズモン共鳴型エミッターデバイスのテラヘルツ帯自励発振機構を解明するとともに、本素子を用いて水蒸気や糖類のテラヘルツ帯分光計測に初めて成功した。また、シリコン基板にエピタキシャル成長した新材料グラフェン(末光眞希教授提供)を用いて FET を試作し、トランジスタ動作の観測に初めて成功した。

(3)超高速光通信研究分野

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

(成果)320 Gbit/s DPSK 伝送に時間領域光フーリエ変換法(OFT 法)を適用し、2 次の偏波分散ならびにその時間変動を補償することにより、525 km の長距離超高速光伝送に初めて成功した。さらに、超多値コヒーレント光伝送において、64 QAM 信号の 6 チャネル周波数分割多重伝送により、72 Gbit/s の伝送容量を 8.4 GHz の光周波数帯域で 160 km 伝送することに成功した。これにより 8.6 bit/s/Hz という極めて高い周波数利用効率を達成した。

(4)応用量子光学研究分野

(目標)新世代光情報通信ネットワークの実現を目指した革新的な新機能半導体光デバイスの実現と、レーザ発振や線形・非線形光学応答の新しい制御・活用に基づく超小型・超広帯域コヒーレント光源の創出及び新領域への展開を目指している

(成果)新機能半導体光デバイスの実現へ向け、光制御型半導体光機能デバイスの研究を開始した。また、テラヘルツ帯バイオセンサーの研究において、表面プラズモン共振器による局所電場増

強効果を確認するとともに、最適構造の指針を得た。

(5)情報ストレージシステム研究分野

(目標)次世代型垂直磁気記録によるハードディスク装置の高記録密度化の実現と、高速・大容量のストレージサブシステムの研究を行っている。

(成果)大規模コンピュータシミュレーションと記録再生実験によって2Tbit/inch^{2}の高面密度記録を実現する記録方式を検討しその設計指針を確立した。また、ペタバイト級の大容量並列型ストレージシステムの喫緊の課題である省電力化について新規階層化ストレージアーキテクチャを開発し、その効果とシステム性能を明らかにした。

(6)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波・テラヘルツ波領域をイメージング計測の手段として用い、生体計測、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 帯用2次元イメージングアレイを開発した。イメージング素子間隔の決定、画像信号処理などはサンプリング定理に則って行っている。現在画像表示速度は、0.8 秒/ フレームである。

(7)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 : Synthetic Aperture Radar)システムを開発することを目標としている。

(成果)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システムの概念設計と要素技術開発、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を進めた。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た。

(8)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推進している。

(成果) 強磁性体薄膜において電界印加による磁気異方性の変調とそれに伴う磁化回転の観測に世界で初めて成功した。GaAs/AlGaAs量子井戸構造に多重NMRパルス列の印加とNMRスペクトルの光検出を行い、多準位核スピン系の位相制御を検証した。GaAs THz量子カスケードレーザの発振に成功した。ZnO 量子井戸構造において世界に先駆けてサブバンド間光学遷移を観測した。

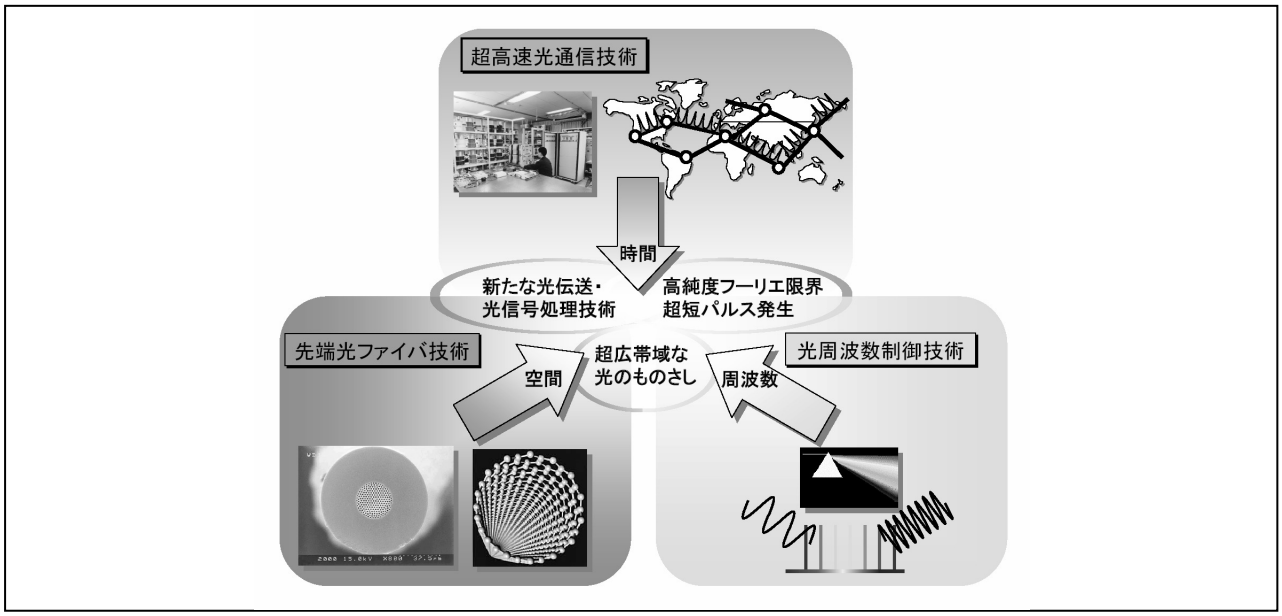
(9)ナノ・スピン実験施設　ナノスピンメモリ研究部

(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) CoFeB(001)/MgO(001)高結晶配向TMR素子において室温604 %(低温1144%)の世界最高TMR 比を観測した。積層フェリ自由層高出力 TMR 素子の書込み電流を低減した。0.14μm-CMOS回路上へのTMR素子形成プロセスを開発した。スピン注入磁化反転書込みTMR素子を用いたロジックインメモリ・リコンフィギャラブルロジック等基本回路の世界初の動作実証を行った。

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。

＜2008 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 法を 320 Gbit/s DPSK 伝送に適用し、単一偏波で 525 km の直線路伝送に世界で初めて成功した。このような超高速伝送においては、光パルスが 1 ps 以下と大変狭くなるため、ファイバ中の偏波分散(PMD: Polarization Mode Dispersion)ならびにその時間変動による波形歪みが伝送特性を劣化させる。そのため OFT 法を用いない場合は、伝送後の符号誤り率特性に時間的なばらつきが生じ、伝送システムとしての性能を著しく低下させる。一方、OFT を用いた場合には、その原理により歪みの時間変動を大幅に抑えることができるため、安定な超高速伝送が可能となる。今回の実験では全てのチャネルの誤り率を測定した結果、10^{-9} の誤り率を 4~5.5 dB のパワーペナルティで実現することに成功した。

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、64 QAM 信号の周波数分割多重(FDM: Frequency Division Multiplexing)伝送を行い、8.6 bit/s/Hz という高い周波数利用効率を世界で初めて実現した。FDM-QAM 信号は、2 台の周波数安定化レーザ出力から多キャリア生成器により生成している。偏波多重 1 Gsymbol/s, 64 QAM 信号を 1.4 GHz 間隔で 6 波多重させることにより、72 Gbit/s の伝送容量を 8.4 GHz の光周波数帯域で実現しており、周波数利用効率は 8.6 bit/s/Hz に達する。この FDM-QAM 信号を 160 km 伝送させ、全てのチャネルに対しエラーフリー伝送に成功した。

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。このため、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の繰り返しおよび光周波数の制御技術の開発に取り組んでいる。本年度は、再生モード同期技術を用いたレーザの繰り返しおよび光周波数の独立制御法を提案し、繰り返し周波数を外部シンセサイザに PLL 安定化すると同時に、光周波数をアセチレン(C_2H_2)分子吸収線に安定化した 40 GHz モード同期ファイバレーザを初めて実現した。繰り返し周波数の安定度は 10^{-10}~10^{-11} とシンセサイザと同一の安定度を有しており、光周波数の安定度は平均時間 10~100 秒で 2×10^{-11} に達している。

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、波長 1.1 μm で低分散となる PCF を設計し、InGaAs VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)の直接変調と組み合わせた簡便な構成により、波長 1.1 μm 帯において 10 Gbit/s-5 km の伝送に成功した。さらにイッテルビウム添加光ファイバ増幅器(YDFA: Ytterbium-Doped Fiber Amplifier)を用いて伝送距離を 14 km に拡大し、パワーペナルティのない伝送特性を実現した。

＜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
COE フェロー　葛西　恵介
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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Nakazawa and M. Yoshida, “Scheme for independently stabilizing the repetition rate and optical frequency of a laser using a regenerative mode-locking technique,” Opt. Lett., vol. 33. no. 10, pp. 1059-1061, May (2008).

[2] T. Hirooka, M. Nakazawa, and K. Okamoto, “Bright and dark 40 GHz parabolic pulse generation using a picosecond optical pulse train and an arrayed waveguide grating ,” Opt. Lett., vol. 33, no. 10, pp. 1102-1104, May (2008).

[3] H. T. Quynhanh, A. Suzuki, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “A λ/4-shifted distributed-feedback laser diode with a fiber ring cavity configuration having an OSNR of 85 dB and a linewidth of 7 kHz,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 18, pp. 1578-1580, September (2008).

[4] H. Goto, M. Yoshida, T. Omiya, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Polarization and frequency division multiplexed 1 Gsymbol/s, 64 QAM coherent optical transmission with 8.6 bit/s/Hz spectral efficiency over 160 km,” IEICE Electron. Express, vol. 5, no. 18, pp. 776-781, September (2008).

[5] T. Hirooka and M. Nakazawa, “All-optical 40-GHz time-domain Fourier transformation using XPM with a dark parabolic pulse,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 22, pp. 1869-1871, November (2008).

[6] T. Hirooka, M. Okazaki, P. Guan, and M. Nakazawa, “320-Gb/s single-polarization DPSK transmission over 525 km using time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 22, pp. 1872-1874, November (2008).

[7] M. Nakazawa, K. Kasai, and M. Yoshida, “C_2H_2 absolutely optical frequency-stabilized and 40 GHz repetition-rate-stabilized, regeneratively mode-locked picosecond erbium fiber laser at 1.53 μm,” Opt. Lett., vol. 33, no. 22, pp. 2641-2643, November (2008).

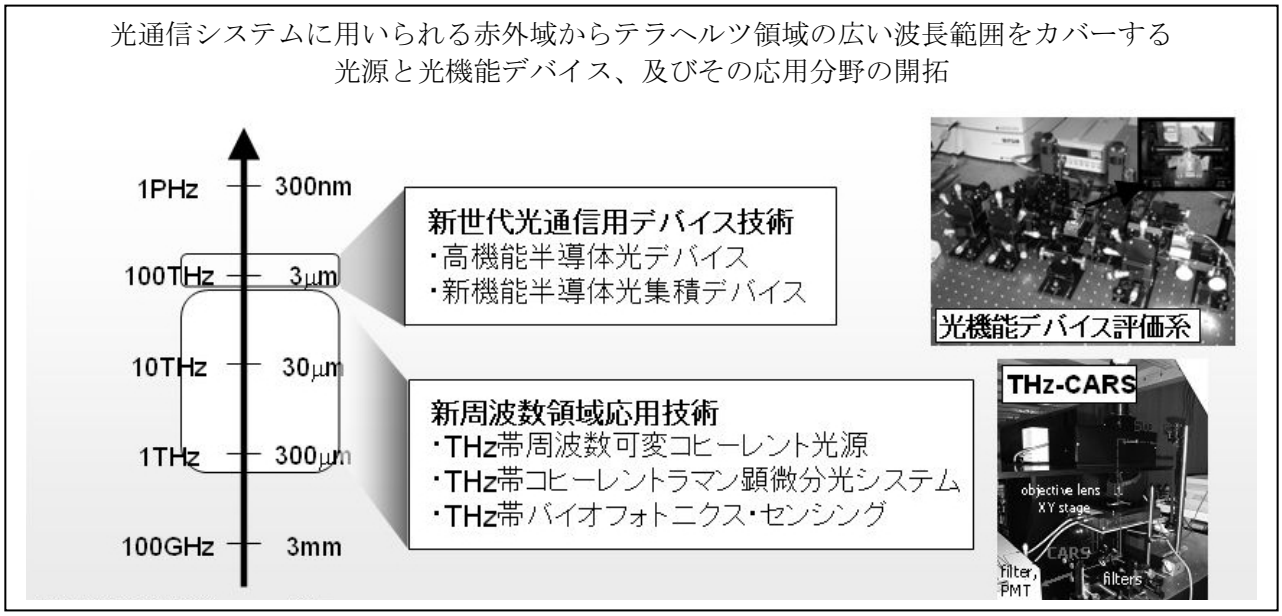
[8] M. Okazaki, P. Guan, T. Hirooka, M. Nakazawa, and T. Miyazaki, “160-Gb/s 200-km field transmission experiment with large PMD using a time-domain optical Fourier transformation technique,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 24, pp. 2192-2194, December (2008).

[9] F. Shohda, T. Shirato, M. Nakazawa, K. Komatsu, and T. Kaino, “A passively mode-locked femtosecond soliton fiber laser at 1.5 μm with a CNT-doped polycarbonate saturable absorber,” Opt. Express, vol. 16, no. 26, pp. 21191-21198, December (2008).

[10] 中沢正隆, “超多値コヒーレント QAM 光伝送技術,” レーザー研究, vol. 37, no. 3, pp. 101-106, March (2009).

応用量子光学研究分野

革新的光通信用高機能半導体光デバイスの創出と超広帯域コヒーレント光源の創出・応用に関する研究



＜分野の目標＞

新原理に基づく高機能半導体光デバイス創出のため、高機能半導体光デバイス、及び新機能半導体光集積回路の研究を行い、光の強度、位相、周波数、偏波を自由に操ることのできる半導体光デバイス・光集積回路を実現することで、超大容量、超長距離光通信ネットワークの実現を目指している。また、超広帯域周波数可変コヒーレントテラヘルツ波光源システム、テラヘルツ帯コヒーレントラマン（THz-CARS, terahertz-coherent anti-stokes Raman spectroscopy）顕微分光システムを用いたテラヘルツ帯バイオフォトニクスの研究を進め、局所電場増強効果等を用いた新しいバイオ機能センシング手法の開発や、超高解像度のテラヘルツイメージング等への展開を目指している。

＜2008 年度の主な成果＞

１． 高機能半導体光デバイス

超高速・大容量光通信システムを構築する上で、光信号で高速制御可能な高機能半導体光デバイスの実現が必須である。この高機能半導体光デバイス実現のため、外部共振器構造半導体レーザを用いた外部制御光による光デバイス高速制御の研究を開始した。また、光の位相情報を駆使した変調信号を発生可能な小型・低駆動電圧の特徴を有する高機能半導体マッハツェンダ変調器[1-3]を用いて、10Gbit/s 光デュオバイナリ信号発生及び 200km SMF 伝送[4-5]、40Gbit/s DPSK 及び DQPSK 光信号発生を実現した[6-7]。

２． 表面プラズモン共鳴を用いた THz バイオセンシング

表面プラズモン共鳴による局所電場増強効果を用いた新しいテラヘルツ（THz）帯バイ

オセンサーにおいてデバイス作製の高速化と再利用性を考慮し、THz 領域での複素誘電特性に優れた有機高分子材料（SU-8）を用いた新しいプロセス技術を検討した。そこでは，周期が mm～サブ mm に至る様々な円筒形表面プラズモン共振器（Bull's パターン）の試作を行い、フォトリソグラフィ条件の最適化を行った。その結果、本デバイスで要求される線幅が 300～150μm で同心円状のパターンが十分な精度で製作できる条件を見出し、さらに FDTD 計算環境を用いて、本リソグラフィ技術に則した FDTD シミュレーションを行うことにより、デバイス構造の最適化を進めた。

＜職員名＞

教　授　八坂 洋　（2008 年より）
准教授　四方 潤一（2003 年より）

＜教授のプロフィール＞

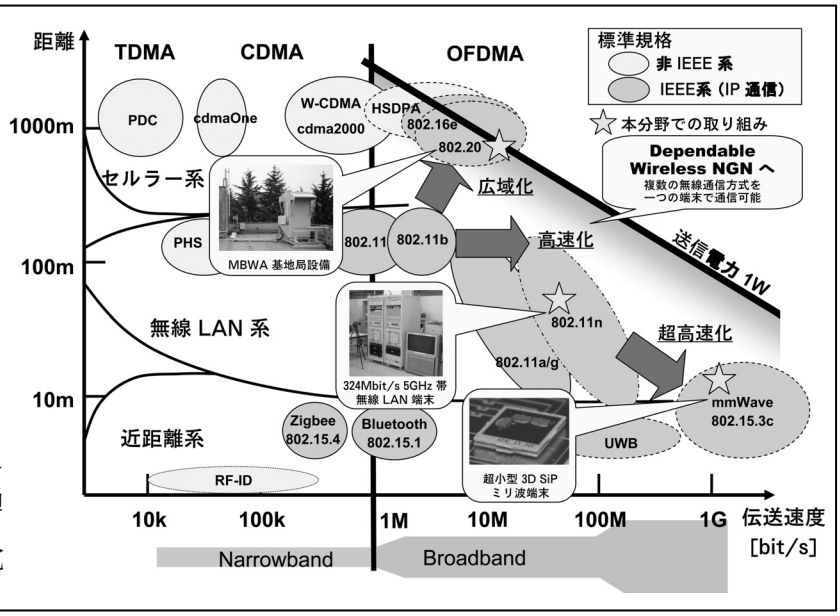
1983 年 3 月　九州大学理学部物理学科卒業。1985 年 3 月　同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。1985 年 4 月　日本電信電話（株）入社、NTT 厚木電気通信研究所、NTT 光エレクトロニクス研究所、NTT 光ネットワークシステム研究所、NTT フォトニクス研究所勤務。1993 年 12 月　工学博士（北海道大学)。2008 年 4 月　東北大電気通信研究所教授、現在に至る。光通信用高機能半導体光デバイスの研究開発に従事。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Kikuchi, K. Tsuzuki, T. Kurosaki, Y. Shibata, and H. Yasaka, "High-Speed, Low-Driving-Voltage Dual-Drive InP-Based Mach-Zehnder Modulator (Invited)," IEICE Transactions on Electronics, vol. E92-C, No. 2, pp. 205-211, Feb. 2009.
[2] N. Kikuchi, K. Tsuzuki, M. Ishikawa, T. Yasui, Y. Shibata, and H. Yasaka, "InP Mach-Zehnder Modulators for Advanced Modulation Formats (Invited)," Proc. Topical Meeting on Integrated Photonics and nanophotonics Research and Applications (IPNRA2008), Boston, MA, IMA4, 2008.
[3] H. Yasaka, N. Kikuchi, K. Tsuzuki, N. Ishikawa, T. Yasui, and Y. Shibata, "Advances in InP Mach-Zehnder modulators for large capacity photonic network systems (Invited)," Proc. 20th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2008), Versalles, France, ThA1.1, 2008.
[4] T. Yasui, Y. Shibata, N. Kikuchi, K. Tsuzuki, Y. Kawaguchi, M. Arai, and H. Yasaka, "10-Gbit/s optical duobinary transmission using lossless InP n-p-i-n Mach-Zehnder modulator with semiconductor optical amplifier," Proc. 20th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2008), Versalles, France, ThA1.2, 2008.
[5] K. Tsuzuki, Y. Shibata, N. Kikuchi, M. Ishikawa, T. Yasui, H. Ishii, and H. Yasaka, "10-Gbit/s, 200 km duobinary SMF transmission using a full C-band tunable DFB laser array co-packaged with InP Mach-Zehnder modulator," Proc. 21th International Semiconductor Laser Conference (ISLC2008), Sorrento, Italy, MB6, 2008.
[6] Y. Shibata, N. Kikuchi, K. Tsuzuki, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "40 Gbit/s DPSK modulation using an InGaAs-InAlAs MQW n-i-n Mach-Zehnder modulator," IET Electronics Letters, Vol. 44, No. 21, pp. 1269-1270, 2008.
[7] N. Kikuchi, K. Tsuzuki, Y. Shibata, M. Ishikawa, T. Yasui, H. Ishii, H. Oohashi, T. Ishibashi, T. Akeyoshi, H. Yasaka, and F. Kano, "Full L-band 40-Gbit/s Operation of Compact InP-DQPSK Modulator Module with Low Constant Driving Voltage of 3.5 Vpp," Proc. 34th European Conference on Optical Communications (ECOC2008), Brussels, Belgium, Mo.3.C.4, Sept., 2008.
[8] 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., Vol. 47, No. 10, pp. 7936-7940, 2008.
[9] J. Shikata, K. Endo, S. Nagano, Y.-Y. Zhu, H. Ito, "Terahertz-frequency coherent anti-Stokes Raman spectroscopy of periodically poled lithium niobate," IEICE Tech. Report, Vol. 108, No. 191, pp. 33-38, 2008.

先端ワイヤレス通信技術研究分野

ディペンダブルワイヤレス NGN (DWN) の実現へ向けて



図面説明:
ディペンダブルワイヤレス 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 帯では図中の赤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．

＜2008 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 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，ASIC へ実装するための検討を行った．

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，60GHz 帯 Si CMOS VCO・送信増幅器やスケーラブル A/D 変換器などの検討を行った．特に，本年度は，90nm Si CMOS プロセスを用い，それぞれの要素回路の試作・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 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・発振器

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・発振器の検討を行った．今年度は主に FBAR を用いた発振器の試作・評価，及び FBAR の高周波化の検討を行った.

＜職員名＞

教　授　坪内 和夫 (1993 年より)
准教授　中瀬 博之 (2005 年より 2007 年 6 月まで)
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.

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Shimoyama, S. Yoshida, T. T. Thanh, K. Matsuzaki, H. Oguma, 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.

[2] S. Yoshida, K. Tsubouchi, A. Tosaki, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, and T. Takagi, "Radiation characteristics of ultra-small wireless communication modules for 60GHz band WPAN," 2008 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 108.11, July 2008.

[3] V. Gheorghiu, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, and F. Adachi, "Implementation of single carrier packet transmission with frequency domain equalization," 68th IEEE Vehicular Tech. Conf., 4H-3, Sept. 2008.

[4] N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "First-ever report on MBWA system field trial: Interference issue in sectored cell layout," 68th IEEE Vehicular Tech. Conf., 7E-4, Sept. 2008.

[5] V. Gheorghiu, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, and F. Adachi, "Implementation of frequency domain equalizer for single carrier transmission," 4th Int. Conf. on Wireless Commun., Networking and Mobile Computing (WiCOM 2008), Oct. 2008.

[6] T. N. Hao, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Measurement of indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz with high delay time resolution," Int. Conf. on Advanced Tech. for Commun., 4C, Oct. 2008.

[7] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, T. Takagi, K. Tsubouchi, Y. Asano, and Y. Yamazaki, "Measured downlink throughput performance of MBWA system in urban area," IEEE Int. Symp. on Wireless Commun. Systems (ISWCS2008), Oct. 2008.

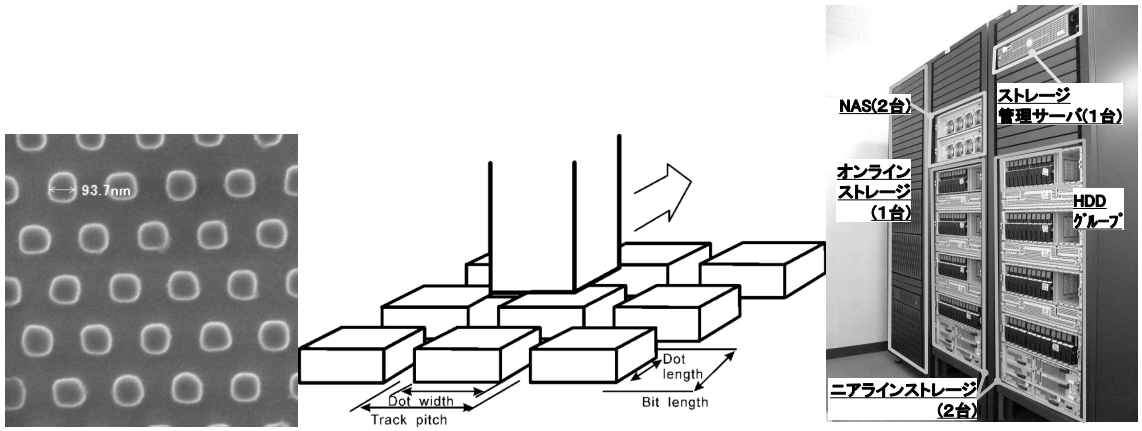
[8] Y. Aota, S. Tanifuji, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "AlN film using low temperature MOCVD process for FBAR," 2008 IEEE Int. Ultrason. Symp., P3J095-05, Nov. 2008.

[9] S. Tanifuji, Y. Aota, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Spurious vibration sppression by film thickness control for FBAR," 2008 IEEE Int. Ultrason. Symp., P3J094-04, Nov. 2008.

[10] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Comparison of downlink throughput distributions between frequency reuse factors of one and three in MBWA system field trial," Int. Symp. on Wireless and Pervasive Computing (ISWPC2009), Feb. 2009.

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）試作したパターン媒体の SEM 像。（中）パターン媒体に対する垂直ヘッドでの記録の概念図。（右）実験用に試作した階層型高速大容量ストレージシステム。

＜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 100 エクサバイト（10^{20} バイト）を超えると見られている。この膨大な情報は電子的に蓄積され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省電力アーキテキチャとそのシステム制御技術の研究を加速させている。

＜2008 年度の主な成果＞

１．垂直磁気記録ハードディスクの記録再生理論の研究

上記の 1Tbit/inch^2 ではビットサイズは 1 辺が 25.4nm 相当である。このような超微細ビットでは、熱エネルギーによる磁化擾乱の影響が大きく微細粒子構造を持つ記録媒体を使うことができなくなる。本研究室では、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（図）による高密度化に注力している。今年度は、記録時の誤り率に着目して、磁気的・幾何学的な揺らぎが記録特性に与える影響についてモデル化を行い、具体的な諸磁気特性について定量的に研究した。特に、統計理論を導入して、これまでのグラニュラ媒体との理論的な連続性を示すことのできる結果を得た。

２．コンピュータシミュレーションによる超高密度記録の研究

超高密度垂直記録研究においては、そのヘッドディスク等のデバイスが非常に微細なものとなってその試作は困難になる一方であり、適切なモデル化によるシミュレーション技術が求められている。本研究室では、磁気スピンの歳差運動を表現してナノ領域の磁化挙動を動的に解析でき、熱擾乱現象もモデル化可能な 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た検討を進めている。今年度はパターン媒体による 2 Tbits/inch^2 以上の記録密度を実現するための記録デバイスの条件を明らかにする研究に注力した。その結果、記録媒体の磁気特性の均一さと記録ヘッド磁界分布が重要なことを新たに明らかにしている。

３．高速大容量ストレージシステムのシステム化の研究

高速ネットワークの普及によって情報量の急速な拡大が続いており、これを蓄えるペタバイト級を超える大規模データストレージの要求が高まっており、大量のハードディスク装置を並列化して用いているが、急激なデータ量の拡大によって消費電力の低減が大きな社会的な課題になってきている。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ストレージシステムの消費電力を低減する研究を進めており、高速のオンライン階層と大容量データを蓄積するニアライン階層から成る階層化ストレージの省電力アクセス制御方式を開発している。(図)

＜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＞

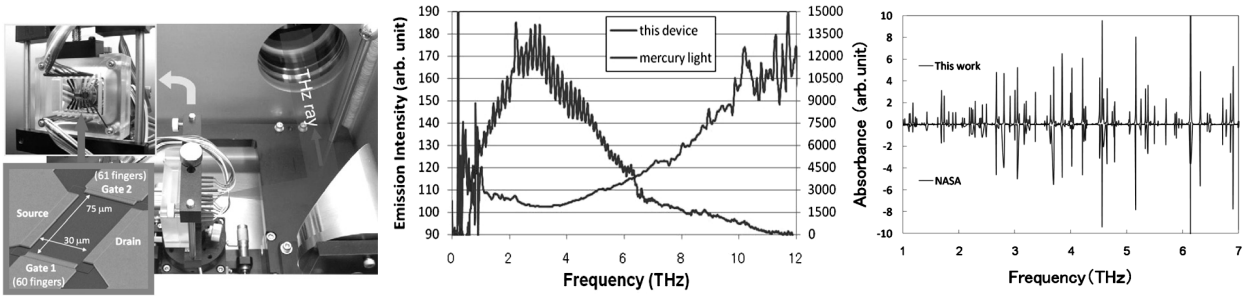
1981 年　東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株），1991 年電気通信研究所助手，1993 年同助教授，2000 年同教授。高密度磁気記録理論，磁気記録デバイス及び記録方式，情報ストレージ方式，等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞（2003 年）。IEEE Fellow (2008 年)。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Mitsuhiro Hashimoto, Kenji Miura, Hiroaki Muraoka, Hajime Aoi, Roger Wood, Michael Salo, Yoshihiro Ikeda, “Influence of patterning fluctuation on read/write characteristics in discrete track and bit patterned media,” J. Magn. Magn. Mater., 320, 22, pp. 2935-2943, 2008.
[2] Naomichi Degawa, Simon John Greaves, Hiroaki Muraoka, Yasushi Kanai, “Characterization of a 2 Tbit/in2 Patterned Media Recording System,” IEEE Trans. Magn, 44, 11, pp. 3434-3437, Nov, 2008.
[3] Hiroaki Muraoka, Simon J. Greaves, Yasushi Kanai, “Modeling and Simulation of the Writing Process on Bit-Patterned Perpendicular Media,” IEEE Trans. Magn, 44, 11, pp. 3423-3429, Nov 2008.
[4] Simon John Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, “Magnetic Recording in Patterned Media at 5-10 Tb/in^2,” IEEE Trans. Magn, 44, 11, pp. 3430-3433, Nov 2008.
[5] Y. Ohsawa, K. Yamakawa, H. Muraoka, “Writing Performance of a Planar Single-Pole Head With a Main Pole Fabricated by Ion-Beam Milling,” IEEE Trans. Magn., Volume 44, Issue 11, Part 2, Page(s):3613 – 3616. Nov. 2008.

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



二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とその分光計測への応用

（左：GaAs 系ヘテロ接合材料による試作素子の電子顕微鏡写真（左下）とそのパッケージング状態（左上）、およびフーリエ赤外分光計内への実装状態を示す写真，中：本素子からの室温テラヘルツ電磁波放射スペクトルおよび高圧水銀ランプ（右肩上がりの特性）との比較，右：本素子を光源として分光測定した大気中水蒸気のテラヘルツ帯吸収スペクトル（下部はNASA が公開する標準データ）

＜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二次元電子系の分散特性や緩和応答を利用した新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と，それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

＜2008 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、独自の二重回折格子ゲート構造によるテラヘルツ帯エミッターの自励発振原理を解明するとともに、本素子を用いて水蒸気や糖類のテラヘルツ帯分光計測を初めて実現した。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] - [4]）

２．新材料グラフェンによる極限高速トランジスタに関する研究

質量消失効果を有する炭素原子単層シート：グラフェンをチャネル材料とするポスト Si-CMOS テクノロジーの開拓を推進している。シリコン基板にエピタキシャル成長したグラフェン（末光眞希教授提供）を用いてバックゲート型 FET をナノ・スピン実験施設で試

作し、トランジスタ動作の観測に初めて成功した。特異なキャリア輸送を考慮したグラフェンチャネル FET のデバイスモデリングも他に先駆けて実現した。（関連文献：[5]- [8]）

３．新材料グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーに関する研究

新材料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。昨年度、グラフェン特有のキャリア緩和過程が光学励起によってテラヘルツフォトンに反転分布をもたらすことを理論予測したが、フェムト秒レーザー励起に対する緩和応答としてテラヘルツ誘導放射の観測に初めて成功した。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]）

＜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（2008 年 9 月まで）
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＞

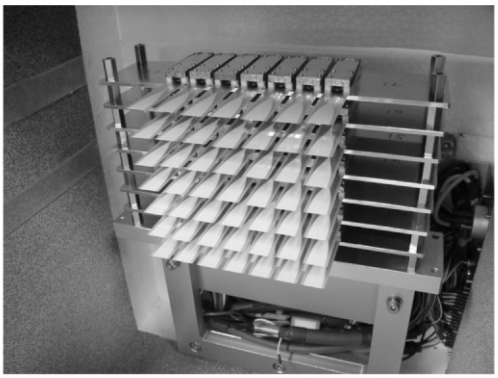
1982 年 3 月　九州工業大学工学部電子工学科卒業。1984 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1984 年 4 月　電電公社厚木電気通信研究所入所。1999 年 4 月　九州工業大学情報工学部助教授。2001 年 9 月　同教授。2005 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。極限超高速電子デバイス・システムとその超ブロードバンド信号処理への応用に関する研究開発に従事。IEEE GaAs IC Symposium 最優秀論文賞受賞（1998 年）。電子情報通信学会，応用物理学会，IEEE，OSA 各会員。

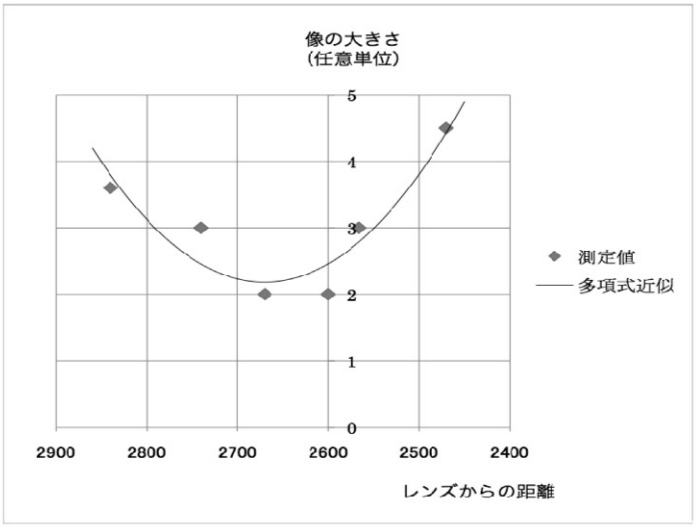
＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] 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.: Condens. Matters, Vol. 20, Iss. 384207, pp. 1-6, 2008.
[2] T. Otsuji, Y. M. Meziani, T. Nishimura, T. Suemitsu, W. Knap, E. Sano, T. Asano, V.V. Popov, "Emission of terahertz radiation from dual-grating-gates plasmon-resonant emitters fabricated with InGaP/InGaAs/GaAs material systems," J. Phys.: Condens. Matters, Vol. 20, Iss. 384206, pp. 1-11, 2008.
[3] Y. M. Meziani,　H. Handa, W. Knap, T. Otsuji, E. Sano, V. V. Popov, G. M. Tsymbalov, D. Coquillat, and F. Teppe, "Room temperature terahertz emission from grating coupled two-dimensional plasmons," Applied Physics Letters, Vol. 92, Iss. 20, pp. 201108-1-201108-3, 2008.
[4] Y. Tsuda, T. Komori, H. Chen, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Application of plasmonic microchip emitters to broadband terahertz spectroscopic measurement," OTST 2009: International Workshop on Terahertz Science and Technology, Santa Barbara, CA, USA, Mar. 7-11, 2009.
[5] V. Ryzhii, M. Ryzhii, and T. Otsuji, "Thermionic and tunneling transport mechanisms in graphene field-effect transistors," Physica. Status Solidi (a), Vol. 205, No. 7, pp. 1527-1533, 2008.
[6] V. Ryzhii, V. Mitin, M. Ryzhii, N. Ryzbova, and T. Otsuji, "Device model for graphene nanoribbon phototoransistor," Appl. Phys. Express, Vol. 1, Iss. 6, pp. 063002-1-063002-3, 2008.
[7] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, and T. Otsuji, "Current-Voltage Characteristics of a Graphene Nanoribbon Field-Effect Transistor," J. Appl. Phys., Vol. 103, pp. 094510-1-094510-8, May. 2008.
[8] T.Suemitsu, H.-C.Kang, H.Karasawa, Y.Miyamoto, H.Handa, M.Suemitsu, T.Otsuji, “Graphene/SiC/Si Group-IV Heterostructure Transistors,” HETECH 2008 (17th European Heterostructure Technology Workshop), Venice, Italy, Nov. 3-5, 2008.
[9] A. Satou, M. Ryzhii, F. T. Vasko, T. Otsuji, and V. Ryzhii, “Graphene under optical pumping: nonequilibrium distributions, population inversion, and terahertz lasing,” SPIE Photonics West, San Jose, USA, Jan. 24-29, 2009.

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





左図: ミリ波（35 GHz ）帯 7 X 7 ・２次元イメージングアレイ。右図: 被写界深度の実測値（F# = 1、口径：500 ㎜ Φ、肉厚：180 ㎜ の高密度ポリエチレンレンズ．横軸の単位は ㎜)。

＜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、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、ことなど。

＜2008 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・イメージング用の 7 x 7 素子２次元イメージングアレイを開発した（左図)。各素子の配置間隔は、サンプリング定理に則っている。

２．　7 X 7 素子アレイを動作させ動画像を構築するためのソフトを開発した。動画の速度は、最速で個々の素子の時定数（最終段の帯域）で決まる 1 ms (1 KHz)であるが、

実際には各素子からの雑音を低減するために 400 サンプルを平均化して画像構築を行っており、１フレームを 0.8 s で取得している。

３．　また、各素子からのデータを用いて画像構築する際、各素子の間はサンプリング定理を用いて sinc 関数により補間している。

４．　開発したイメージング装置（カメラ）を実際に使用する際、特にセキュリティ分野への応用を考慮すると、被写界深度を広くとれることが重要である。これについて、実験と理論とにより考察し、設計論を確立した。35 GHz イメージング装置についての被写界深度の実測値を右図に示す。

＜職員＞

客員　教授　　水野皓司（2004 年より）

＜水野皓司客員教授のプロフィール＞

1963 年 3 月 東北大・工・電子卒。1968 年 3 月 同大学大学院博士課程了。工博。東北大助手、助教授を経て、1984 年 4 月 教授（電気通信研究所）、2004 年 3 月 定年退官、客員教授（東北大学名誉教授）。1972 年 ロンドン大客員研究員、1990 年 カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。1990 年より 1998 年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。1984 年 第 17 回科学計測振興会賞受賞、1993 年 IEEE フェロー，1998 年 K. J. Button Medal 受賞、1999 年 情報通信月間表彰（東北電気通信管理局）、2003 年 文部科学大臣賞（研究功績者）、電子情報通信学会フェロー、2005 年 Distinguished Educator Award（IEEE Microwave Theory and Techniques Society）。

＜2008 年度の主な研究発表＞

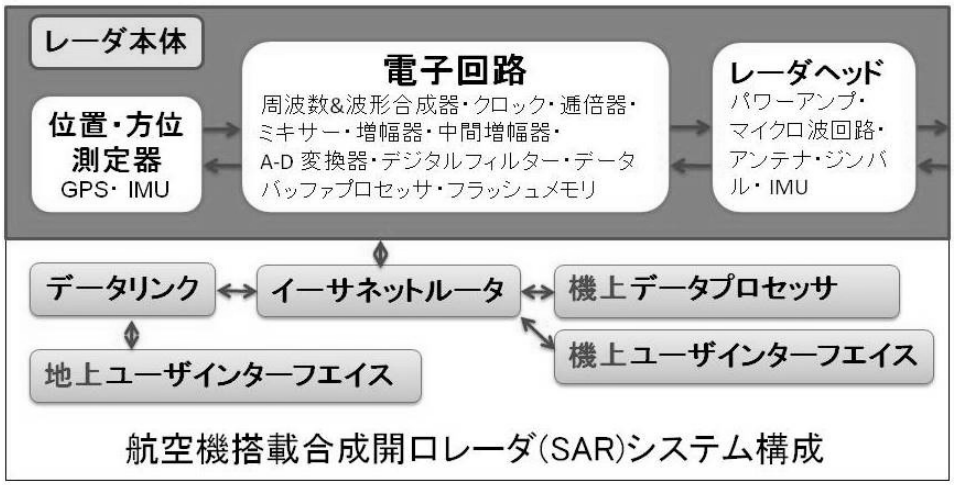
[1] M. Sato, T. Hirose, T. Ohki, T. Takahashi, K. Makiyama, H. Sato, K. Sawaya, and K. Mizuno, “InP-HEMT MMICs FOR PASSIVE MILLIMETER-WAVE IMAGING SENSORS,” 20th Indium Phosphide and Related Materials Conference, (Versailles, France). (2008 年 5 月 26 日). （招待講演）

[2] 水野皓司、”ミリ波を用いたイメージング”、電子情報通信学会誌、Vol. 91, No. 12, pp. 1047-1053, (2008 年 12 月). （招待論文）.

[3] 水野皓司、”安全・安心のためのミリ波パッシブセンシング”、東京大学グローバル COE「セキュアライフ・エレクトロニクス」シンポジウム、(2009 年 1 月 20 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



＜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。

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 システムの概念設計と要素技術開発、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。

＜2008 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 20 年 10 月 16 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）民生応用を対象とした衛星搭載 SAR システムの現状および実例調査、2）航空機搭載高分解 SAR の概念設計、3）応用分野の提案や、SAR 搭載に必要な有人・無人航空機やアンテナジンバル機構などのハードウエアの報告がなされた。大学や関連企業からの参加者 40 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 の概念設計と民生応用の開拓

現在までに開発された我国の衛星・航空機搭載 SAR はストリップマップモードである。高い空間分解能が得られるスポットライトモード SAR を開発目標としている。

航空機搭載 SAR の特長は局所性、任意性、緊急性、高頻度などである。この特長を発揮させるため高分解能、小型軽量の航空機搭載 SAR システムの概念設計をすすめた。具体的な開発目標は空間分解能 5-10 cm、全重量 20-30 kg の小型軽量の SAR システムである。

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、さらに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 の要素技術の設計とマイクロ波反射特性試験

先年度行った 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・検討結果を基に、今年度は高空間分解スポットライトモード SAR の要素技術の設計、およびヴェクトル・ネットワークアナライザを用いて、誘電体や金属小物体からのマイクロ波反射特性試験を行った。

具体的な要素技術項目を上図に示す。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 SAR に必須の高精度遅延時間制御が可能なチャープマイクロ波波形合成器、小型 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･方向測定器およびアンテナを搭載する軽量化ジンバルの調査・検討、さらに、SAR シミュレーションのソフトウエアの開発を行った。また、SAR 搭載プラットフォームとして、既存の国産航空機・ヘリコプタの性能および有人・無人機の現状を調査し、本開発目的に適合するプラットフォームがあることを確認できた。

＜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。ミリ波・レーザによるプラズマ診断法の開発。プラズマ・核融合学会論文賞（1993 年）。平成 20 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門) (2008 年).

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] 犬竹正明、安藤　晃、市村　眞、天岸祥光、津嶋　晴、平成 20 年度科学技術分野の文部大臣表彰科学技術賞(研究部門)受賞、“アルヴェン波動現象の物理的解明と工学的応用の研究” (April , 2008).
[2] A. Ando, T. Hagiwara S. Jo, T. Taguchi, K. Hattori and M. Inutake, “Experimental Study of Ion Heating and Acceleration in a Fast-Flowing Plasma for the Advanced Plasma Propulsion”, Proc. of Int. Conf. on Plasma Physics 2008, Fukuoka (Sept, 2008), EPR.P3-198.
[3] Y. Kogi, T. Sakoda, A. Mase, et al., “Development of Multi-Channel IF System for ECE Radiometer on KSTAR Tokamak”, Rev. Sci. Instrum. **79**, 10, 10F115/1-3 (2008).
[4] A. Mase *et al*., “Advancement of Microwave Diagnostics and their Industrial Application”, 11th IEEE Int. Conf. on Communication Technology, Hangzhou (Nov. 2008).

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。(5) いつでも何処でもユビキタスに通信手法を意識することなく通信できる環境の実現ユビキタス通信システム研究分野。

2008 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）磁気を利用した磁界センサならびに歪みセンサに関して引き続き検討を行い、使用する薄膜材料の特性最適化により極めて高い感度を実現した。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明確化した。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）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．また，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，音場シミュレーションと1/10モデルによる測定に基づくホール音場のハイブリッド可聴化技術，包囲型マイクロホンアレイによる高精細音場解析技術等を開発した．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．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．

(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を解明することから，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，さらにそれが注意の追跡による運動知覚と異なることも明確にした．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。また，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。

(5) ユビキタス通信システム研究分野
（目標）一つの無線携帯端末でユニバーサルにかつ利用者のポリシーにより指定されたモードで通信できる通信機器、電波伝播環境や電磁的干渉について，その特性や対策に関する基礎的研究を行い，いつでも何処でもユビキタスに通信手法を意識することなく通信できる環境の実現を図る。また日本発技術の国際標準化に貢献または国際標準化のリードに貢献する。
（成果）ミリ波（60GHz）を用いた屋内 WPAN（Wireless Personal Area Networks）システムによるギガビット伝送を実現するために、屋内ミリ波信号伝搬特性を種々測定し、アンテナの指向性と遅延スプレッドの関係、壁や意図的に設置した金属などによる反射波を二

つ以上常時追尾し、現在使用している経路の品質が低下した場合に瞬時に切り替えることで通信切断確率を低減する方法等を考案した。また、フエーデング回線でも高信頼で通信が可能な物理層、高効率な超高速伝送用 MAC（Medium Access Control）の研究開発を進めた。

日本発のミリ波実用化コンソーシアム（CoMPA、Chair：加藤修三）（22 機関）を組織化し、海外の賛同機関（17 機関）をパートナーズ（Partners）として受け入れ、合計 39 機関を指導し、隔月で開催される IEE802 標準化会議（802.15.3c）への出席・個別の会議・国際電話会議等を通じ、IEEE802 での標準化・規格文書案の作成・修正などを自ら行い、日本発技術の初の IEEE 国際標準化に大きく貢献した。

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

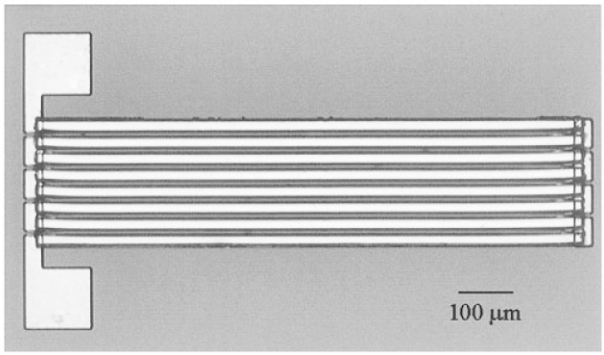


図 1　高感度薄膜磁界センサ

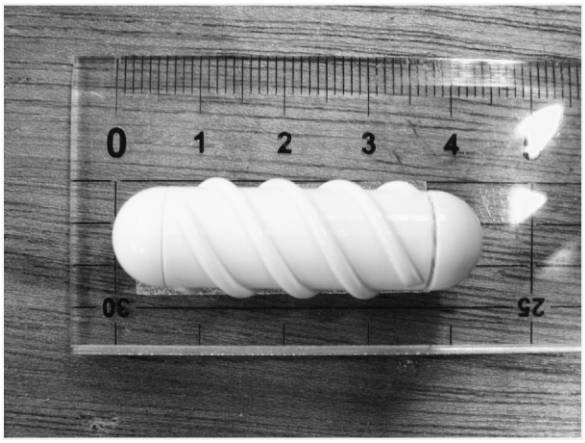


図 2　カプセル内視鏡駆動用磁気アクチュエータ

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

１．異方性を制御した磁性薄膜を利用した新たな磁気デバイスの提案とセンサ応用

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にインピーダンスが変化する素子を実現した[2][3][4]。この素子は超高感度磁界センサあるいは外部磁界履歴を記憶する素子としての応用が期待される。

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できることを実験的に確認した。

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するとともに、その小型化への指針を示した。

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とその医療応用、磁歪を利用した微小カンチレバー型アクチュエータに関

する検討[1]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。

＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）
助　教　栃　修一郎（2008 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)。

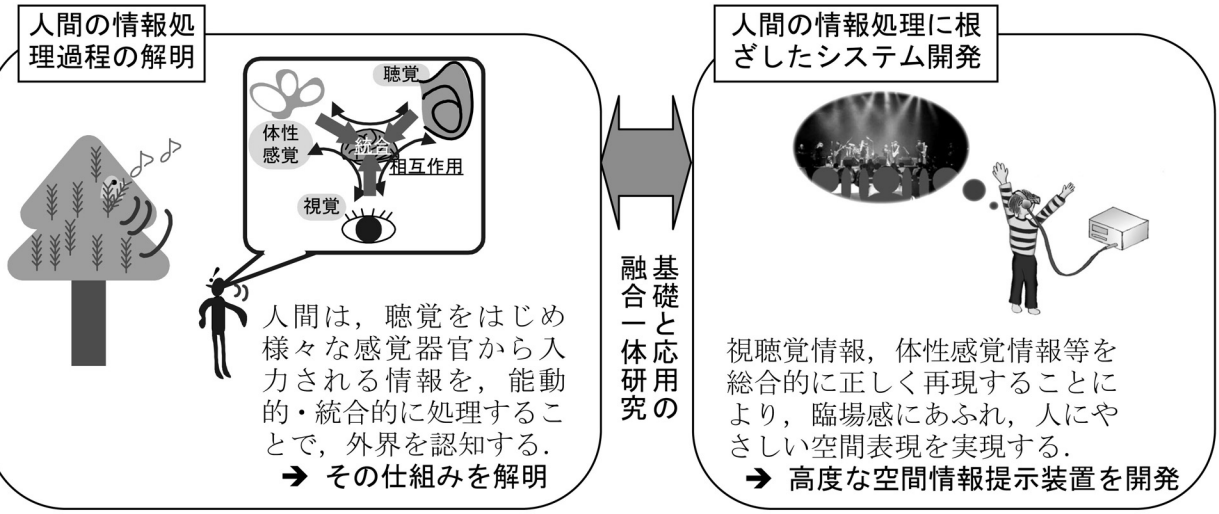
＜2008 年度の主な発表論文等＞

査読付原著論文

[1] Kazushi Ishiyama, Chikako Yokota, "Cantilevered actuator using magnetostrictive thin film," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 320(2008), pp.2481-2484.
[2] T. Nakai, K. Ishiyama, J. Yamasaki, "Study of hysteresis for steplike giant magnetoimpedance sensor based on magnetic energy," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.320(2008), pp.e958-e962.
[3] 中居 倫夫, 高田 健一, 小松 迅人, 石山 和志,「不連続的 GMI 素子におけるインピーダンス不連続点の外部磁界変動に対する安定性」Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 32(2008), No. 3, pp.366-370.
[4] 加藤 智紀, 石山 和志、「形状磁気異方性を用いた高周波キャリア型 磁界センサの磁性薄膜構造に関する検討」Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 32 (2008), No. 3, pp.371-375.
[5] S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, H. Kanetaka, "Wireless magnetic motion capture system using multiple LC resonant magnetic markers with high accuracy," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 142, No. 2, pp. 520-527 (2008).
[6] Y. Okazaki, H. Ohashi, Y. Ohya, S. Yanase, S. Hashi, "Columnar Co-ferrite films with high coercivity on glass and silica substrate by sol-gel method," Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 10, No. 5, pp. 1089-1092 (2008).

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．

＜2008 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上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．2008 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，中心視野・周辺視野における視聴覚情報の位置検出メカニズムや，周期前後運動中の音空間知覚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

音空間認識時には，音像定位の対象となる音源の位置からの音だけでなく，反射音といった周囲の音の存在も大きな役割を果たす．2008 年度は，音像定位の対象となるターゲット音の知覚が，その周囲に存在する音の有無によりどのように変化するかを知覚心理実験により明らかにした．その結果，特に聴取時に頭部が運動するような通常の聴取環境下では，周囲の音の存在がターゲットとなる音のリアリティを高めることが明らかとなった．この知見は，バーチャルリアリティシステムの構築に有用な知見となる．

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，実際の音響測定によりその精度を検証した．

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．2008 年度は，Multiple Description （MD）スカラー量子化を用いた音声圧縮手法を発展させ，MP3 圧縮された音楽信号への MD 符号化の適用可能性の検討を進めた．

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 2008 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い，健聴者を対象とした聴取実験により処理音声の音質評価を行った．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，寺本 渉，大谷 真
研究支援者　宮内 千夏
事務補佐員　小野寺 美紀，本間　理恵

＜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．

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Satoshi Yairi, Yukio Iwaya and Yôiti Suzuki: “Influence of large system latency of virtual auditory display on behavior of head movement in sound localization task,” *Acta Acusitca united with Acustica*, 94 (6), 1016-1023, 2008
[2] Akihiro Tanaka, Shuichi Sakamoto, Komi Tsumura and Yôiti Suzuki: “Visual speech improves the intelligibility of time-expanded auditory speech,” *Neuroreport*, 20 (5) 473-477, 2009
[3] Junfeng Li, Shuichi Sakamoto, Satoshi Hongo, Masato Akagi and Yôiti Suzuki: “Adaptive ß-order generalized spectral subtraction for speech enhancement,” *Signal Processing*, 88 (11), 2764-2777, 2008
[4] H. Wang, R. Nishimura, Y. Suzuki and L. Mao: “Fuzzy self-adaptive digital audio watermarking based on time-spread echo hiding,” *Applied Acoustics*, 69 (10), 868-874, 2008

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



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

＜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．

＜2008 年度の主な成果＞

１． 運動情報処理の並列性

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）の差異について検討した結果，時空間特性に加えて，方位選択性，大域的運動に差があること，しかし速度の選択性，注意の影響には本質的な差がないことを明らかにした[1,2]．特に新規に開発した手法に基づく時間周波数特性の測定結果は，従来単一あるいは同一の時間周波数特性のみが考えられていた運動検出過程に明らかに異なる特性を持つものが存在することを示した．さらに運動処理過程が手の動きと関連することを示唆する知見を得た[3]．これは運動視が行動と密接に関連していることを意味し，今後の視覚研究に大きな影響を与える可能性のあ

る知見である．

２．運動情報と色の両眼統合

奥行き運動に関わる2つの奥行き手掛かり（両眼視差の時間変化と両眼間速度差）について，それぞれの時間特性を評価した研究をまとめ，両手掛かりの差異から，両者が相補的に機能することを明らかにした[4]．両眼間速度差が，1Hz 付近の変調に感度の最大を持つのに対して，両眼視差の時間変化は時間的に低周波に感度を持つ．この研究は、奥行き運動に関わる 2 つの手掛かりが，異なる視環境に対応するために発達したことを示唆する重要な発見であるとともに，立体視機能に関連する広い応用的展開も期待できる．実際に，我々はこの 2 つの手掛かりが，斜視患者の立体視機能の評価に利用できることも示した[5]．また，色知覚に対する両眼信号の統合過程についての研究では，両眼に類似した色信号が入力する場合に選択的に反応する色処理過程，両眼性 AND 過程が存在することを示す心理物理的知見を得た[6]．

＜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．

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Shioiri, K. Matsumiya, and H. Tamura, “Static and flicker MAE for global motion.” *Journal of Vision,* vol. 8, no. 6, pp. 1031a, 2008.

[2] S. Shioiri, and K. Matsumiya, “Motion mechanisms with different spatiotemporal characteristics identified by an MAE technique with superimposed gratings” *Journal of Vision*, vol. 9, no. 5, article 30, pp. 1-15, 2009.

[3] K. Matsumiya, and S. Shioiri, “Haptic movements enhance visual motion aftereffect,” *Journal of Vision,* vol. 8, no. 6, pp. 172a, 2008.

[4] S. Shioiri, T. Nakajima, D. Kakehi *et al.*, “Differences in temporal frequency tuning between the two binocular mechanisms for seeing motion in depth,” *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis,* vol. 25, no. 7, pp. 1574-85, Jul, 2008.

[5] Y. Watanabe, T. Kezuka, K. Harasawa *et al.*, “A new method for assessing motion-in-depth perception in strabismic patients,” *Br J Ophthalmol,* vol. 92, no. 1, pp. 47-50, Jan, 2008.

[6] K. Shimono, S. Shioiri, and H. Yaguchi, “Psychophysical evidence for a purely binocular color system,” *Vision Res,* vol. 49, no. 2, pp. 202-10, Jan, 2009.

先端情報通信領域創成研究分野

銀ナノ微粒子二次元結晶シートの作製とデバイス応用

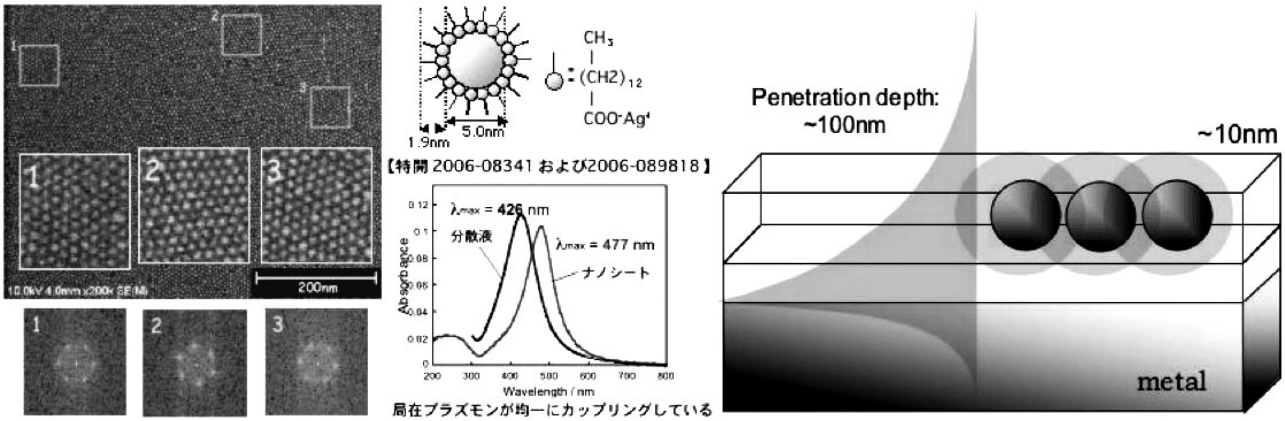


図１　粒径の揃った銀ナノ微粒子（直径 5nm）を自己組織化させ作製した銀微粒子二次元結晶シート.
特定の波長の光（可視光）を選択的にナノ領域に閉じ込め、伝搬することができる.

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

１．金属ナノ微粒子の合成と基礎物性評価：[5][6]

粒径の揃った金および銀ナノ微粒子を合成し、両者の物性の違いについて明らかにした。合成時キャッピング剤として用いるカルボン酸誘導体分子は、銀ナノ微粒子表面にはイオン結合するのに対し、金ナノ微粒子表面には共有結合的に吸着することを赤外分光法および分子軌道法計算により明らかにした。

２．銀微粒子二次元結晶シートの作製と光学特性の評価：[1][2][9]

銀ナノ微粒子を溶液から水面上に展開することにより二次元結晶シートを作製し、その局在プラズモン特性について評価した。銀ナノ微粒子の局在プラズモンは二次元結晶シート内で均一にカップリングし、急峻なプラズモン吸収バンドを示す。この転写自在のナノシートは、キャッピング剤分子の鎖長により粒子間距離を制御することによって、プラズモン共鳴波長（可視ー近赤外）を自在に制御することが可能である。バイオセンサー、太陽電池など光学デバイスの高感度化／高効率化への応用が期待できる。

３． 機能性自己組織化単分子膜による表面物性制御およびデバイス応用：[4][8]

金電極の表面仕事関数をアゾベンゼン自己組織化単分子膜（SAM)の光異性化により可逆的に制御することに成功した。またフェロセンを分子末端に持つ SAM が、熱による回転運動をする様子を、室温／大気中 STM で可視化することに成功した。

４．蛋白質工学によるバイオインターフェイスの作製：[3][7]

蛋白質工学によりフェリチン分子の表面化学構造を変えることで、蛋白質ー蛋白質間、蛋白質ー基板間の相互作用を自在に制御できる。今回蛋白質に働く引力および斥力のバランスをとることによりフェリチン巨大二次元結晶の成長に成功した。

＜職員名＞

教　授　玉田　薫（2007 年より）

＜教授のプロフィール＞

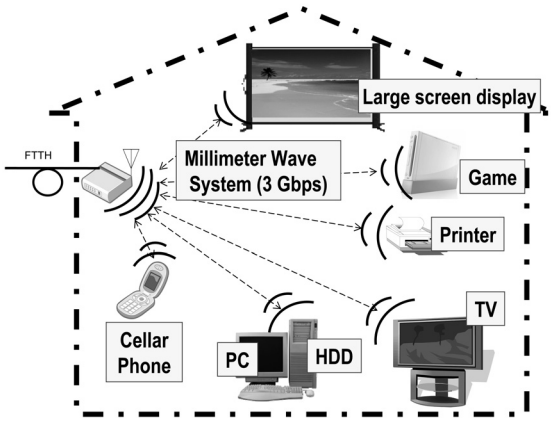
1984 年 3 月奈良女子大学理学部化学科卒業。1984 年 4 月日本合成ゴム（現 JSR）筑波研究所研究員。1991 年 12 月　米国ウィスコンシン大学化学科研究員。1993 年 7 月理学博士（奈良女子大学)。1993 年 9 月理化学研究所国際フロンテイア研究システム博士研究員。1995 年 4 月工業技術院物質工学工業技術研究所主任研究員。この間オーストラリア国立大学、ドイツマックスプランク高分子研究所、シンガポール国立大学客員研究員。1999 年 9 月通産省工業技術院総務部技術評価課。2003 年 4 月（独）産業技術総合研究所光技術研究部門バイオフォトニクスグループ長。2005 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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

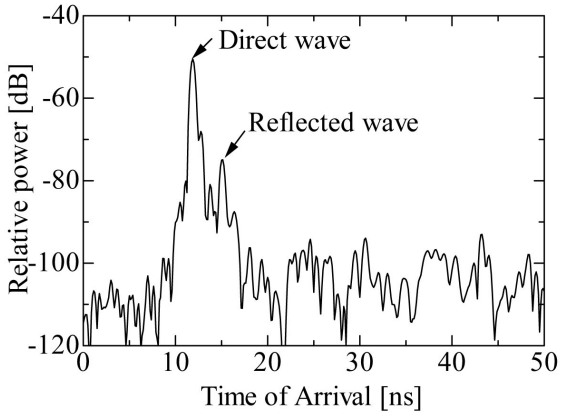
[1] Bioapplication of plasmonic nanosheet (invited paper), K. Tamada, M. Michioka, X. Li, Y. Ikezoe, M. Saito, K. Otsuka, Proc. of SPIE, 7213, 72130E (2009).
[2] pH controlled two dimensional gold nanoparticle aggregates for systematic study of local surface plasmon coupling, X. Li, K. Tamada, A. Baba, M. Hara, J. Nanosci. and Nanotechnol., 9, 408-416 (2009).
[3] Growth of giant two-dimensional crystals of protein molecules from a three-phase contact line, Y. Ikezoe, Y. Kumashiro, K. Tamada, T. Matui, I. Yamashita, K. SHiba, M.Hara, Langmuir, 24, 12836-12841 (2009).
[4] Reversible work function changes induced by photoisomerization of asymmetric azobenzene dithiol self-assembled monolayers on gold, L.F.N.A.Qune, H. Akiyama, T. Nagahiro, K. Tamada, A.T. S. Wee, *Apply. Phys. Lett.,*93, 083109-1-083109-3 (2008).
[5] A Gram Scale Synthesis of Monodispersed Silver Nanoparticles Capped by Carboxylate and Their Ligand Exchange, C.-D. Keum, N. Ishii, K. Michioka, K. Tamada, M. Hara, M. Furusawa, H. Fukushima, *J. Nonlinear Optical Physics & Materials*,17, 131-142 (2008).
[6] Coordination of Carboxylate on Metal Nanoparticles Characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, P. Wulandari, T. Nagahiro, K. Michioka, K. Tamada, K. Ishibashi, Y. Kimura, M. Niwano, *Chem. Lett.,*37(8), 888-889 (2008).
[7] Dynamic Interfacial Properties of Poly(ethylene glycol)-Modified Ferritin at the Solid/Liquid, Y. Kumashiro, Y. Ikezoe, K. Tamada, and M. Hara, *J. Phys. Chem. B*,112, 8291-8297 (2008).
[8] Self-Assembling Properties of 11-Ferrocenyl-1-Undecanethiol on Highly Oriented, L.F.N.A. Qune, K. Tamada, M. Hara, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology,* 6, 119-123 (2008).
[9]国内特許「非接触酸化能力に優れた酸化チタンナノチューブ」特願2009-081544.

ユビキタス通信システム研究分野

超高速ギガビット
ミリ波(60GHz)ワイヤレスシステムの実現



超高速(ギガビット/秒)屋内無線通信方式のイメージ図



60GHz伝搬特性測定結果の例

＜分野の目標＞

ワイヤレス通信技術は、テレビ・ラジオから携帯電話・無線 LAN まで、現代の生活に欠かせないコミュニケーション手段となっている。しかし、これらのワイヤレス機器を利用するためには、それなりの知識が必要であり老若男女全ての人々が自由に使いこなせる領域には未だ至っていない。また、ホーム RF など生活に密着した利用、更に災害時や過疎地の遠隔医療など緊急通信・健康維持などへの応用は、まだまだ不十分であると言える。

当研究グループでは、一つの無線携帯端末でユニバーサルにかつ利用者のポリシーにより指定されたモードで通信できる通信機器、電波伝播環境や電磁的干渉について，その特性や対策に関する基礎的研究を行い，いつでも何処でもユビキタスに通信手法を意識することなく通信できる環境の実現を図る。

具体的には、変復調・誤り訂正技術・RF 技術等の高機能化、各種電波伝搬メカニズムの明確化・不要電磁波干渉等の低減方法、無線通信制御（MAC レイヤ）方式の高速高効率化、などの要素技術を確立し、無線回線の高品質化を図ると同時に周波数の有効利用を図り、スペクトルを最大限に利用した実用的な無線システム・端末の実現方法を確立し、更に日本発技術の国際標準化に貢献または国際標準化のリードに貢献する。

主として現在進めている 60GHz 帯超高速ミリ波無線通信技術の国際標準化の主導と、それらを応用した様々なワイヤレスシステム構築の研究開発を行っていく。

＜2008 年度の主な成果＞

1．ミリ波(60GHz)を用いた屋内 WPAN(Wireless Personal Area Networks)システムによるギガビット伝送を実現するために、屋内ミリ波信号伝搬特性を種々測定し、アンテナ

の指向性と遅延スプレッドの関係、壁や意図的に設置した金属などによる反射波を二つ以上常時追尾し、現在使用している経路の品質が低下した場合に瞬時に切り替えることで通信切断確率を低減する方法等を考案した。また、フエーデング回線でも高信頼で通信が可能な物理層、高効率な超高速伝送用 MAC (Medium Access Control)の研究開発を進めた。

２．日本発のミリ波実用化コンソーシアム（CoMPA、Chair：加藤修三）(22 機関)を組織化し、海外の賛同機関(17 機関)をパートナーズ(Partners)として受け入れ、合計 39 機関を指導し、隔月で開催される IEE802 標準化会議（802.15.3c）への出席・個別の会議・国際電話会議等を通じ、IEEE802 での標準化・規格文書案の作成・修正などを自ら行い、日本発技術の初の IEEE 国際標準化に大きく貢献した。

＜職員名＞

教　授　加藤 修三（2008 年より）
准教授　中瀬 博之（2008 年より）

＜教授のプロフィール＞

1977 年 3 月　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。1977 年 4 月　日本電信電話公社電気通信研究所　入社、1985 年 4 月　日本電信電話公社電気通信研究所　研究グループ・リーダ、1995 年 4 月　パシフィック･コミュニケーションズ･リサーチ KK, 社長、1996 年 6 月 ユニデン KK, 専務取締役、代表取締役社長 (1997 年 6～)、1998 年 6 月　Mitsubishi Wireless Tech. Center, 社長、1998 年 8 月　ハワイ大学 Affiliate Faculty Member（現在）、1999 年 6 月　Mitsubishi Wireless, Inc(米国), 上級副社長、2001 年 6 月　Omni Wireless, Inc (米国). 社長、2002 年 6 月　テラダイン KK, 代表取締役副社長、2006 年 4 月　NICT、プログラム・コーオデネーター（現在）、2008 年 4 月　同教授、現在に至る。1977 年以降、パーソナル、衛星通信コアー技術の研究開発、TDMA 装置、変復調、誤り訂正方式およびそれらの ASIC 化で世界をリード。1998 年から米国にて IS-136（第２世代携帯電話）用ベースバンドチップ・携帯電話の研究開発・製造。2005 年からミリ波通信方式の研究開発及びミリ波国際標準化活動のリード。発表論分 200 件以上、取得特許 75 件以上。IEEE および電子情報通信学会フエロー。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Shuzo Kato,“A Dream Comes True: Multi-Gbps Millimeter Wave PAN Getting into Commercialization” Proc. 2008 Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM2008) April, 2008
[2] R. Funada, S-C. Sean, T. Baykas, J. Wang, M A. Rahman, H. Harada, S. Kato、"Modulation and coding performances in IEEE802.15.3cSingle carrier PHY "、IEICE Technical Report、RCS、Aug. 2008.
[3] Tuncer Baykas, Ryuhei Funada, Azizur Rahman, Chin-Sean Sum, Junyi Wang, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, "A modified preamble design for IEEE802.15.3c", IEICE Technical Report、RCS、Aug. 2008,
[4] Chin-Sean Sum, Ryuhei Funada, Junyi Wang, Tuncer Baykas, Mohammad Azizur Rahman, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, "Performance and Throughput Evaluation of a Multi-Gbps Millimeter-wave WPAN System in the Presence of Adjacent and Co-Channel Interference", IEICE Technical Report、RCS、Aug. 2008.
[5] M Azizur Rahman, Tuncer Baykas, Chin Sean Sum・Junyi Wang, Ryuhei Funada, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, "A New Theoretical Approach to ISI Modeling in 60 GHz Channel", IEICE Technical Report、RCS、Aug. 2008.
[6] Z. Lan, C-W Pyo, F. Kojima, H. Nakase, H., S. Kato, "System Throughput Optimization by Link Adaptation on Millimeter Wave WPAN", IEICE Technical Report、RCS、Aug. 2008.Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada “A study of millimeter-wave communication using reflected waves at 60GHz” Technical Report on RCS SG, IEICE Aug., 2008
[7] H. Nakase, F. Kojima, C-W Pyo, Z. Lan, H. Harada, S. Kato, "A consideration on Cross Layer Architecture in 60 GHz WPAN ", IEICE Technical Report、RCS、Aug. 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、昨年度に完成させた機械語コードの証明論及び以前の研究成果であるA正規系変換の論理学的基礎を､コード生成システムに応用する研究を行い､制御フローの合流を取り扱うための計算系と､その計算系から導出される中間表現を構築した｡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､本年度は､実際の機械語に近い仮想機械の自動生成ツールやより効率のよいA正規形変換モジュールなどを開発した。

（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 ACP 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、再帰経路関係に基づく高階書き換えシステムの停止性証明法の提案を行った。

（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 2009 年 1 月に「NEMO Management Information Base」のインターネット国際標準規格(RFC)の最終草案を提案した。本草案は 1､2 ヵ月後に正式な国際標準として認定される見込みである。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。これらの成果に対して国際会議における基調講演 4

件、招待論文 1 件の依頼があり、また国内のワークショップで最優秀論文賞を受賞した。さらに、現実空間と仮想空間の結合実験を行い、その成果についてプレス発表(2008 年 7 月)を実施し、電波新聞、読売新聞などの各種新聞で報道されるなど社会的にも注目されている。

（４）情報コンテンツ研究分野

情報コンテンツの創生技術、検索技術、配信技術等について検討を進めた。コンテンツ創生技術として、文章情報（シナリオ）を入力するだけで 3D アニメ映像を出力する DMD(Digital Movie Director)、AR(Augmented Reality)技術に基づく仮想試着システム等の開発を進めている。また、検索技術として、映像情報に対する高精度ショット検出技術、PCA-SIFT を基礎とした類似画像検索技術等の検討を進めている。さらに配信技術に関しては、ビデオストリーミング配信を低コスト高性能で実現する分割放送スケジューリング方式やオーバレイマルチキャスト方式について基本アルゴリズムの確立を行った。

（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”の基本設計を行った。格子流体法アルゴリズムとシストリックアレイの採用により、隣接回路間のみのデータ転送と並列的なパイプライン処理で低消費電力の論理演算を高速に実行できる。さらに、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すれば、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いう特徴がある。

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

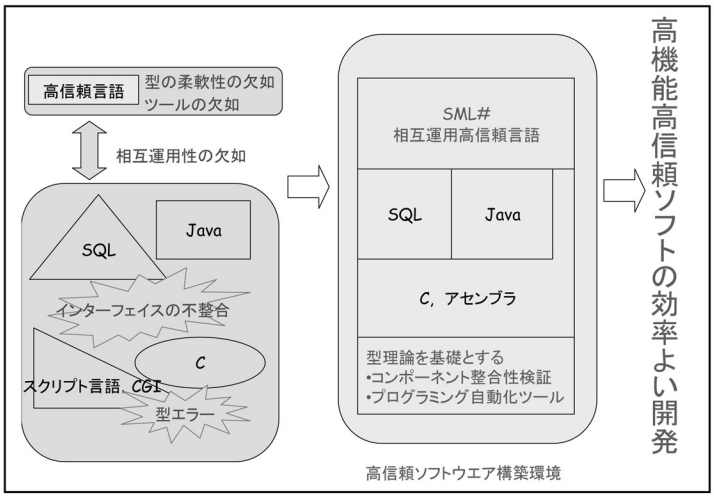


図１．次世代高信頼プログラミング言語ＳＭＬ＃とそサポート環境の概要

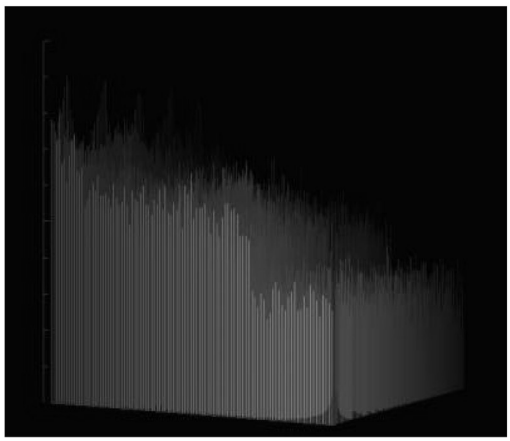


図２．ＳＭＬ＃の最先端相互運用機能を用いて実現したサウンド解析プログラムの出力例

＜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．

＜2008 年度の主な成果＞

1．　SML＃コンパイラの開発

SML＃は，本研究分野で設計・開発を目指している高信頼言語であり，以下の特徴を持つ．

（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)実際の機械語に近い仮想機械の自動生成ツール，(2)以下の項目2で得られた制御フローの合流のための計算系の理論を基礎としたより効率のよいA正規形変換モジュール，(3)オブジェクトファイルの形式とリンク方式の設計およびそれに基づくSML#オブジェクトファイル

のリンカーのプロトタイプ等を新たに開発した.

2. 制御フローの合流のための計算系

昨年度に完成させた機械語コードの証明論及び以前の研究成果であるA正規系変換の論理学的基礎を, コード生成システムに応用する研究を行い, 制御フローの合流を取り扱うための計算系と, その計算系から導出される中間表現を構築した. 従来の関数型言語の中間表現として使用される継続渡し形式や A-正規形などでは, 条件分岐後に制御フローを合流する機構が含まれていないため, 条件式などを機械的に翻訳すると, 分岐の後に続く計算が各分岐に複製されてしまう. この問題は, それら中間表現に対応する計算系に, 分岐後の制御フローの合流に相当する規則を追加することで解決できるはずである. 本研究では, この洞察に基づき, 論理和に関する規則を左規則が唯一の上式を持つように変更したシーケント計算を構築し, その結果から, 制御フローの合流を取り扱うことができるコンパイラの中間表現とその型システム, およびラムダ計算からこの中間表現への効率の良いコンパイルアルゴリズムを導いた. この成果は関数型言語の実用的なコンパイラのより系統的な実現を可能にするものである.

3. コンパイルのための証明論的基礎

昨年度に完成させた機械語コードの証明論及び以前の研究成果であるA正規形変換の論理学的基礎を拡張・一般化し, A正規形変換からコード生成, レジスタ割り付けにいたるコンパイルの全過程を証明変換として定義しそこから系統的なアルゴリズムを抽出することを可能にする枠組みの構築の研究を開始した. 本年度は, その第一歩として, 自然演繹システムとA正規形の表現であるシーケント計算系のそれぞれの証明正規化を, プログラムの実行に対応するカット除去手続きの形に定義しなおし, A正規形変換の意味の保存に関する性質を示すための基礎を確立した.

＜職員名＞

教　授　大堀　淳（２００５年より）
助　手　篠埜　功（２００５年-２００８年）
秘　書　大友　詳子

＜教授のプロフィール＞

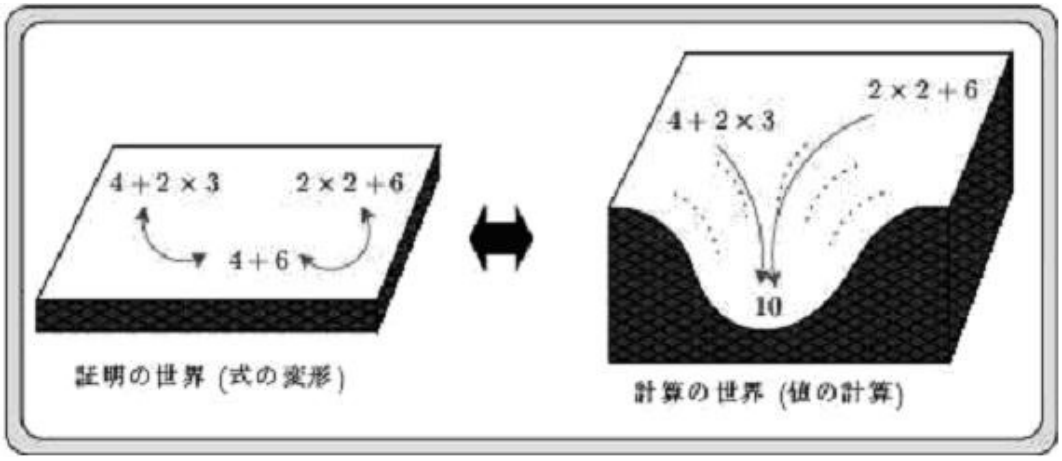
１９５７年生. １９８１年東京大学文学部哲学科卒業. 同年沖電気工業（株）入社. １９８９年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了. Ph. D. その後, 英国王立協会特別研究員（グラスゴー大学), 沖電気工業（株）関西総合研究所特別研究室長, 京都大学数理解析研究所助教授, 北陸先端科学技術大学院大学教授を経て, ２００５年４月より東北大学電気通信研究所教授. プログラミング言語の基礎研究に従事. １９９６年第１０回日本ＩＢM科学賞受賞.

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] 上野雄大, 大堀淳, 型代入を遅延する最適化型推論アルゴリズム, コンピュータソフトウェア, Vol. 25, No. 2, pp. 101-113, 2008 年 5 月.
[2] 上野雄大, 大堀淳, 制御フローの合流のための計算系, 情報処理学会 論文誌（トランザクション） プログラミング(PRO), Vol. 1, No. 3, pp. 19-33, 2008 年 10 月.
[3] 山本 雅洋, 大堀 淳, 変数の生存区間解析のための SAT ソルバを用いた型推論アルゴリズム, 第 11 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL), 2009 年 3 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

＜2008 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 2008 年 8 月まで）

＜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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

〔1〕Takahito Aoto,　Sound lemma generation for proving inductive validity of equations,In Proceedings of the 28th International Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2008), Bangalore, India, Dagstuhl Seminar Proceedings, Vol.08004, pp.13-24, 2008.

〔2〕Jean-Pierre Jouannaud and Yoshihito Toyama,　Modular Church-Rosser Modulo: The Complete Picture, International Journal of Software and Informatics, Vol.2, No.1, pp.61-75, 2008.

〔3〕Yoshihito Toyama,　Termination proof of S-expression rewriting systems with recursive path relations,　In Proceedings of the 19th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2008), Hagenberg, Austria, LNCS 5117, pp.381-391, 2008.

〔4〕Jeroen Ketema,　On normalisation of infinitary combinatory reduction systems,In Proceedings of the 19th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2008), Hagenberg, Austria, LNCS 5117, pp.172-186, 2008.

〔5〕Takahito Aoto,　Designing a rewriting induction prover with an increased capability of non-orientable theorems, In Proceedings of Austrian-Japanese Workshop on Symbolic Computation in Software Science (SCSS 2008), Hagenberg, Austria, pp.1-15, 2008.

〔6〕Kentaro Kikuchi,　Call-by-name reduction and cut-elimination in classical logic,Annals of Pure and Applied Logic, Vol.153, No.1-3, pp.38-65, 2008.

〔7〕Kentaro Kikuchi and Stéphane Lengrand,　Strong normalisation of cut-elimination that simulates β-reduction, In Proceedings of the 11th International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures (FoSSaCS 2008), LNCS 4962, pp.380-394, 2008.

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

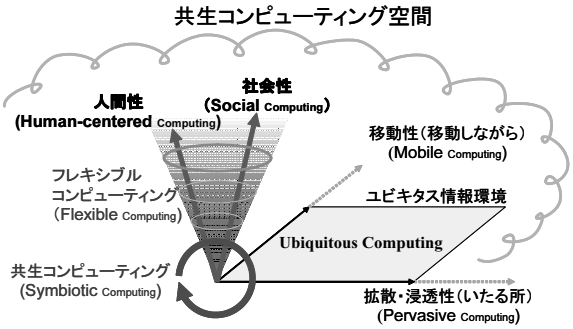
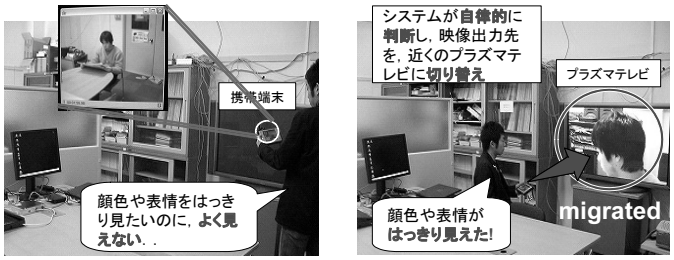


図1 共生コンピューティングの概念



(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，現実空間／仮想空間の統合・融合
(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

＜2008 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精緻化について検討した。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詳細設計を実施した。また，共生コンピューティング

の応用として，高齢者見守り支援システム，健康支援システムなどのプロトタイプの開発を進めた。さらに，現実空間と仮想空間の結合実験を行い，その成果について**プレス発表**(2008 年 7 月)を実施し，電波新聞，読売新聞などの各種新聞で報道されるなど社会的にも注目されている。

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，2009 年 1 月に「NEMO Management Information Base」のインターネット国際標準規格(RFC)の最終草案を提出した。本草案は 1，2 ヵ月後に正式な国際標準として認定される見込みである。

＜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：小出 和秀
客員准教授：Debasish Chakraborty　産学官連携研究員：高橋秀幸　秘書：三浦佳奈，守屋佳織

＜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，2009 年文部科学大臣表彰（研究部門）など。2002 年 IFIP 日本代表，2007 年日本学術会議・連携会員，2009 年情報処理学会会長。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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Norio Shiratori, Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, “Looking beyond Ubiquitous Information Society －A new step towards Human-Computer Symbiosis,” Fourth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS), 2009 <**基調講演**>

[2] Norio Shiratori, Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma and Atsushi Takeda, “Beyond Ubiquitous Information Society －A Step Towards Human－Computer Symbiosis,” Proc. of NTC International Conference 2009, pp. 2-9, 2009. <**基調講演**>

[3] Norio Shiratori, “Towards Symbiosis Information Society,” 2008 International Computer Symposium, 2008. <**基調講演**>

[4] Norio Shiratori, “Post Modern Ubiquitous Information Society －Bridging the gap between human and computer－“, Proc. of 2008 WSEAS International Conference on Computers, 2008. <**招待講演**>

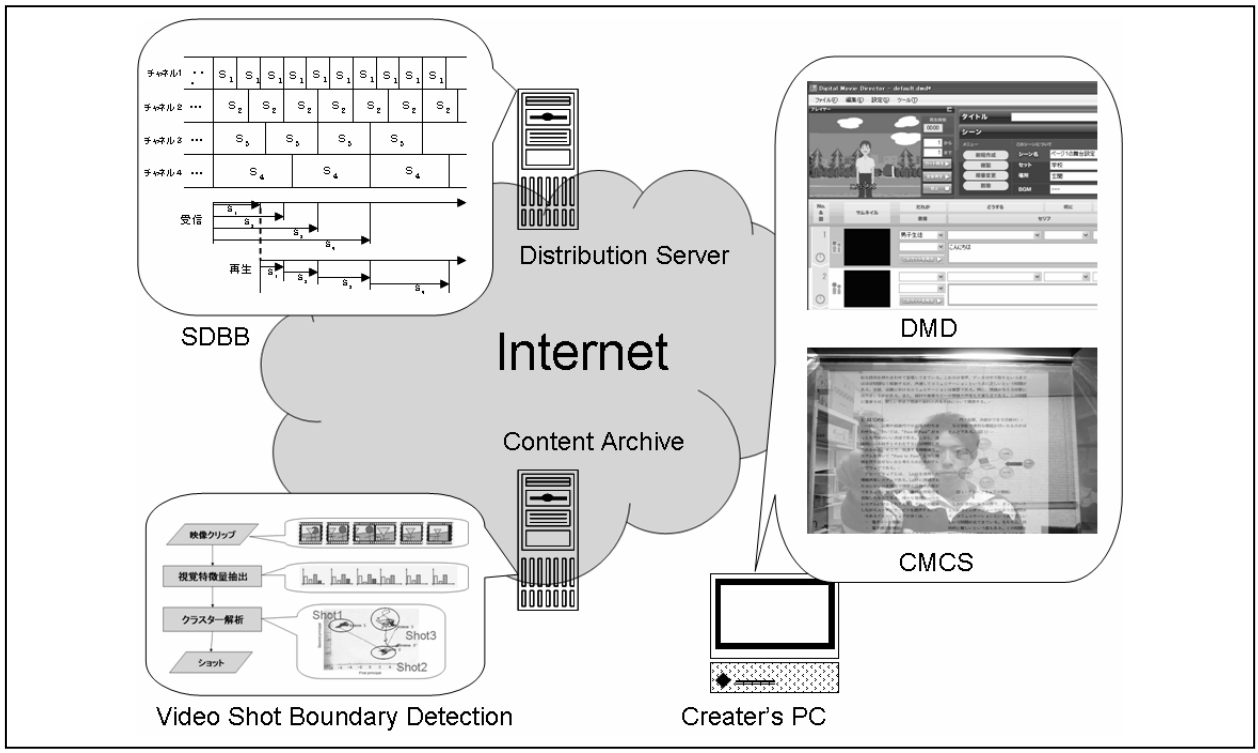
[5] Norio Shiratori, Toshimitsu Miyamoto, Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Shigeru Fujita, Takuo Suganuma, Atsushi Takeda, “Post Ubiquitous Society: Problems, Proposals and its Applications,” International Journal of Informatics Society, Vol.1, No.1, pp.2-15, 2009. <**招待論文**>

[6] Takuo Suganuma, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, Fumio Hattori and Norio Shiratori, “Concept of Symbiotic Computing and its Agent-based Application to a Ubiquitous Care-Support Service,” International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, Vol.3, No.1, pp.34-56, 2009.

[7] Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Atsushi Takeda, Gen Kitagata, Kazuo Hashimoto, ``Context-aware Remote Healthcare Support System based on Overlay Network," WSEAS Transactions on Computers, No.9, Vol.7, pp.1505-1514, 2008.

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

＜2008 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の開発

２．IPTV 時代に適した高能率かつ実ネットワークに適した分割放送スケジューリング方式の開発

３.複雑系モデルに基づく新たな CG 布シミュレーション技法の開発
４.直感的ユーザインターフェースを備えた CG キャラクター動作自動生成手法の開発
５.検出もれゼロを実現する高精度映像ショット検出技術の開発

＜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＞

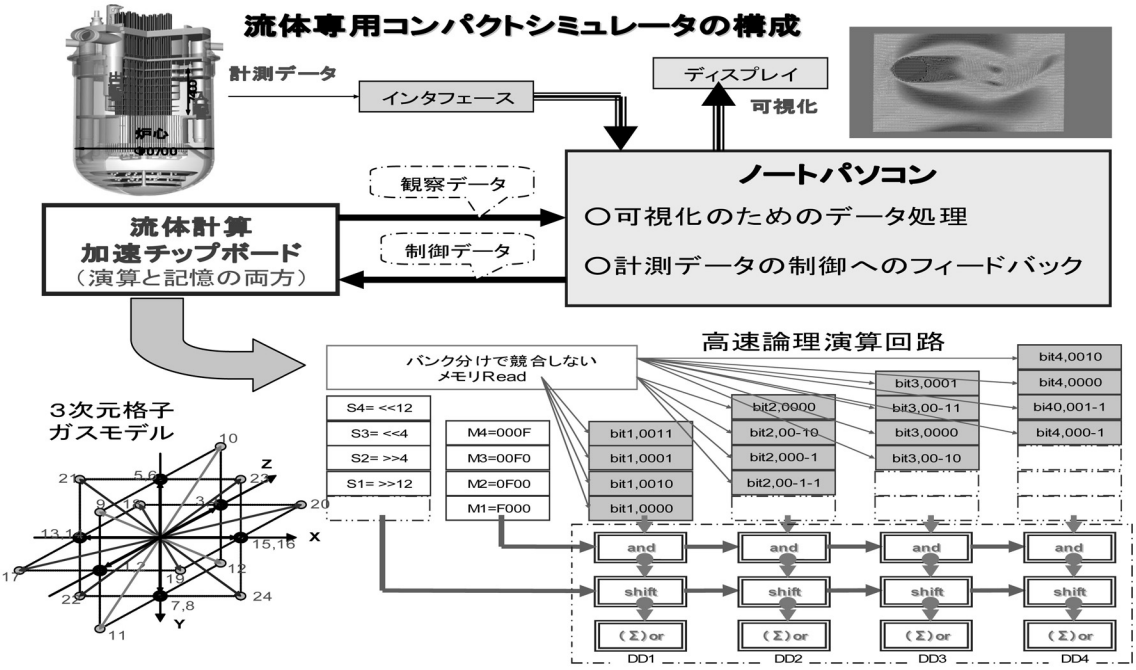
１９７１年３月　北海道大学大学院修士課程修了。同年４月　日本放送協会入局。１９９６年６月　日本放送協会放送技術研究所部長。１９９９年６月　日本放送協会技術局部長。２００２年６月　日本放送協会放送技術研究所研究主幹。２００４年４月　東北大学教授(電気通信研究所、情報科学研究科)、現在に至る。テレビジョン学会鈴木記念賞受賞（昭和５５年度)。IUMRS-ICAM-93　Distinguished invited paper 受賞（平成５年)。映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞（平成７年度)。東京都技術功労者表彰受賞（平成１５年度)。映像情報メディア学会フェロー。　博士(工学)。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1]青木輝勝、安田浩、"シナリオ入力映像制作システムとその制作工程の考察"、情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, 2008.
[2]青木輝勝、"映像 CGM 時代に向けた Scenario to Anime 技術の最新動向"、電子情報通信学会誌、Vol.92, no.1, pp67-69, Jan. 2009.
[3]沼澤潤二、"記録メディア概要"、映像情報メディア学会 2008 年次大会（招待講演)、2008.8.
[4]青木輝勝、沼澤潤二、"セキュアコンテンツ配信システム CoFIP の結託攻撃耐性に関する一検討"、映像情報メディア学会 2008 年次大会、2008.8.
[5]安里諒、青木輝勝、沼澤潤二、"放送型コンテンツ配信における連続メディアデータの分割スケジューリング 手法に関する一検討"、映像情報メディア学会 2008 年次大会、2008.8.
[6]梅田直樹、青木輝勝、沼澤潤二、"フレームベースベクトル空間を利用した映像ショット検出の一検討"、映像情報メディア学会 2008 年次大会、2008.8.
[7]清水大輔、青木輝勝、沼澤潤二、"映像情報ネットワーク型映像協調制作のための視線・指点共有手法の研究"、映像情報メディア学会 2008 年次大会、2008.8.
[8]青木輝勝，加藤大志，沼澤潤二，安田　浩，國枝和雄，山田敬嗣、"複数ユーザによる共創型アニメ制作システムの試作とその評価"、情報処理学会第 71 回全国大会、5F-3、 2009.3.
[9]安里　諒，青木輝勝，沼澤潤二、"分割スケジューリング方式を用いた放送型配信に関する一検討"、情報処理学会第 71 回全国大会、4F-7、 2009.3.
[10]壹岐勇太郎，青木輝勝，沼澤潤二、"ザッピング視聴を考慮したオーバーレイ型映像配信プロトコルの一検討" 情報処理学会第 71 回全国大会、1W-3、 2009.3.
[11]梅田直樹，青木輝勝，沼澤潤二、"フレームベースクラスタリングを利用したショット検出手法の一検討" 情報処理学会第 71 回全国大会、3T-6、 2009.3.
[12]森　由有，青木輝勝，沼澤潤二、"仮想試着実現のための布シミュレーション演算軽量化に関する一検討" 情報処理学会第 71 回全国大会、6Z-4、 2009.3.
[13]伊藤雄亮，青木輝勝，沼澤潤二、"同時コミュニケーションを前提とした放送型配信システムの実現" 情報処理学会第 71 回全国大会、4V-4、 2009.3.
[14]今野　瞳，青木輝勝，沼澤潤二、"直感的 3D キャラクター動作生成手法の一検討" 情報処理学会第 71 回全国大会、1Z-4、 2009.3.
[15]鈴木貴志，青木輝勝，沼澤潤二、"Web ページ向けフィンガープリント方式の一提案" 情報処理学会第 71 回全国大会、6W-1、 2009.3.

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。

＜2008 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。既に２次元モデルで 50 億格子点を超える規模の試計算を実行している。平成 20 年度には、３次元格子ガス法(４次元面心立方モデル)によるシミュレーション計算手順を完成させ、当該アルゴリズムの妥当性を確認した。

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

上記の計算アルゴリズムを実行するプロセッサ回路については、長期間にわたる試行錯誤の末、「隣接セル間のみのデータ転送」と「並列的なパイプライン処理」を両立して実現できるシストリックアレイに基づく基本設計を完了した。本回路の構成要素には、本研究所の羽生貴弘教授らのグループが提案しているスピン演算回路を直接利用することが可能であるため、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。

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

上記のシミュレーション加速プロセッサを自律航行型水中ロボットに搭載し航行性能を格段に向上させる応用について、宇宙航空研究開発機構、東北大学流体科学研究所，海洋研究開発機構,リアルタイム地震情報利用協議会の関係者との間で数年間検討を進めてきたが､平成 20 年度に､当該企画書を完成させた。

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)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く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、東北大学サイバーサイエンスセンターの SX-９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。

＜2008 年度の主な発表等＞

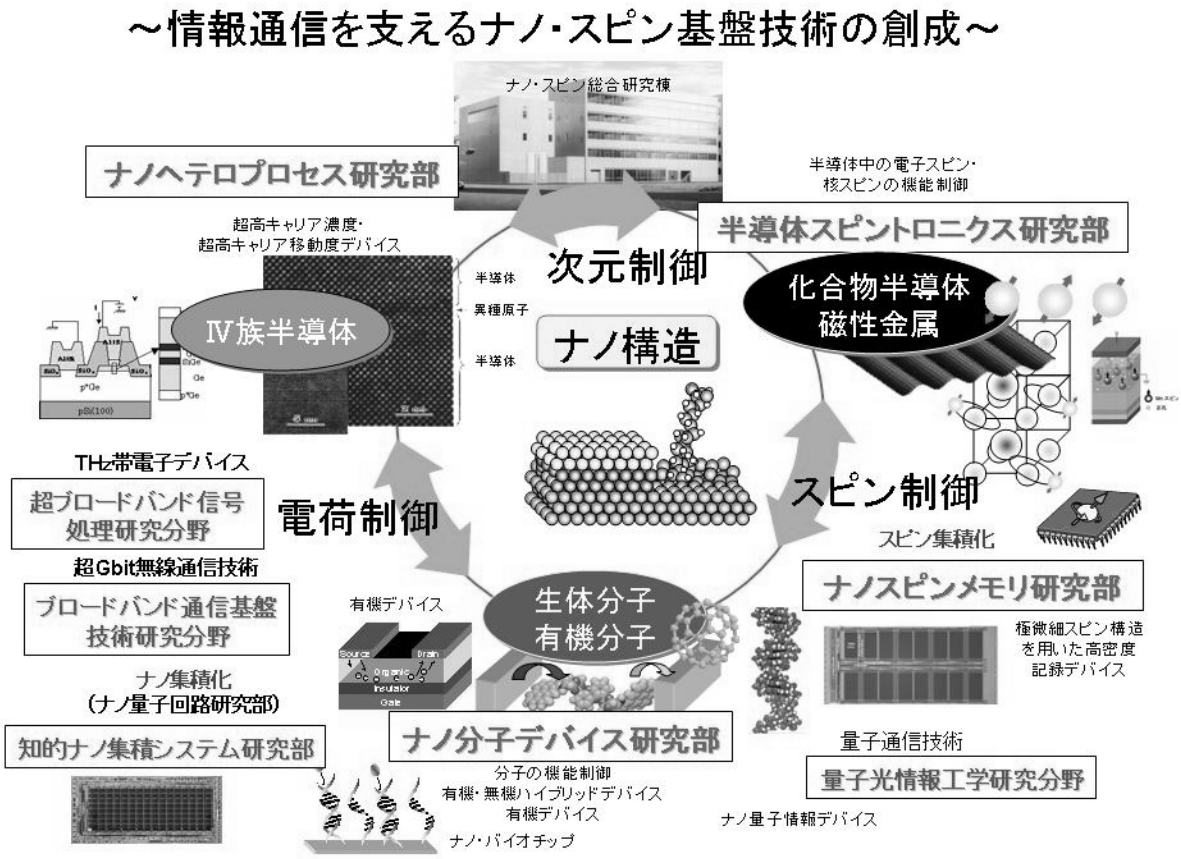
本年度は公開資料の作成なし.

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 20 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）

IV族半導体ヘテロ構造の歪制御と高キャリア濃度化のための基盤技術構築を目標として研究を進め、以下の成果を得た。（１）高キャリア濃度原子層ドーピングの研究において、熱 CVD における B クラスタ形成抑制のための低温 SiH_4 処理が、B の電気的活性化率の向上と Si 格子歪の抑制に有効であることを明らかにした。（２）基板非加熱プラズマ CVD による表面反応プロセス低温化の追求により、Si エピタキシャル薄膜への B 原子層ドーピングに成功した。（３）局所歪導入 $Si_{1-x}Ge_x$/Si ナノヘテロ構造形成の研究において、低温熱 CVD による表面熱窒化制御とその上への $Si_{1-x}Ge_x$ 薄膜形成制御を行い、$Si_{1-x}Ge_x$ エピタキシャル薄膜への N 原子層ドーピングを可能とした。（４）プラズマイオンエネルギー制御によって歪緩和促進を図った Ge 薄膜基板を用いることにより、高度歪 Si エピタキシャルナノ薄膜形成が可能であることを示した。

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) 強磁性半導体(Ga,Mn)As 薄膜において電界印加による純粋的に電気的手法での磁気異方性の変調とそれに伴う磁化回転の観測に世界で初めて成功した。(2) GaAs/AlGaAs 量子井戸構造中のスピン 3/2 の ^{75}As を対象に、量子ゲート操作に用いられる多重 NMR パルス列を印加し、NMR スペクトルの光検出を行って多準位核スピン系の位相制御を検証した。(3) GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザの発振に成功した。また、温度特性などの面で高性能化が期待できる ZnO 量子井戸構造において世界に先駆けてサブバンド間光学遷移を観測した。

庭野研究室（ナノ分子デバイス研究部）

①アルミニウム細線の陽極酸化過程に及ぼす細線の断面構造の影響を調べた。その結果、アルミニウム細線のアスペクト比が陽極酸化過程に大きな影響を与えており、そのアスペクト比によって陽極酸化過程を制御することが可能であることがわかった。また、その制御された陽極酸化過程を利用して単電子トランジスタを作製し、それが室温で動作することを確かめた。②半導体微細加工技術を用いて作製した微細孔を用いることにより、機械的耐久性に優れた人工細胞膜を作製することに成功した。また、その膜中にチャネルペプチドを埋め込み、シングルイオンチャネル電流を観測することに成功した。③赤外吸収分光法を用いてミトコンドリアでの ATP の生成や分解を非標識かつリアルタイムにて観察することに成功した。

中島・佐藤研究室（知的ナノ集積システム研究部）

(1)高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルにより、N-Queen 問題と同様に巡回セールスマン問題の正解を静止状態にできることを明らかにした。またポテンシャルとアクティブ領域の新概念を用いた非線形ダイナミクスの解析法も提案した。(2)高温超伝導体 Bi2212 固有ジョセフソン接合において、共鳴励起特性における Q 値を評価しラビ振動

観測に必要な条件を見出した。ニューロ的手法を用いた量子計算アルゴリズムでは、デコヒーレンスと計算能力の関係について数値シミュレーションで評価した。デコヒーレンスに比例して計算能力は劣化するものの、他の量子アルゴリズムに比べ劣化が顕著でないことを確認し、本手法の新たな優位性を示した。(3) 磁束量子高速フーリエ変換用の演算回路高速化を目的とした、桁上げ先見加算器を利用した 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では、4 ビットの高速アップダウンカウンタの集積化とその動作実証に成功した。

枝松・小坂研究室（量子光情報工学研究分野）

1. 光ファイバにおける単一光子レベルでの光学非線形性の測定

光子間の量子状態制御は、量子情報通信において本質的に重要な要素である。本研究分野では、フォトニック結晶ファイバを用いて、単一光子レベルの光によって誘起される光カー効果の測定に世界で初めて成功した（Nature Photonics 誌に発表)。

2. 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指し、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、光によって書き込んだ電子スピンのコヒーレンス状態を再度光によってトモグラフィ的に読み出すことに世界で初めて成功した（Nature 誌に発表)。

長谷川客員教授・池田研究室（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、以下の成果を得た。(1)CoFeB(001)/MgO(001)/CoFeB(001)高結晶配向 TMR 素子において室温 604%(低温 1144%)の世界最高の TMR 比が観測された。(2)この高出力 TMR 素子技術を応用した積層フェリ自由層 TMR 素子の CoFeB 組成を Fe-rich にすることで書込み電流が低減できた。(3)0.14 ・ m-CMOS 回路上への TMR 素子の形成プロセスを開発した。(4)これによりスピン注入磁化反転書込み TMR 素子を用いたロジックインメモリ・リコンフィギャラブルロジック等の基本回路の世界初の動作実証がなされた。

尾辻･末光研究室（超ブロードバンド信号処理研究分野）

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、第一に、質量消失効果等の特異なキャリア輸送特性を有する新材料グラフェンを研究対象とし、シリコン基板にエピタキシャル成長したグラフェン（末光眞希教授提供）を用いてバックゲート型 FET をナノ・スピン実験施設で試作し、トランジスタ動作の観測に初めて成功した。第二に、半導体 2 次元プラズモン共鳴を利用した独自構造によるテラヘルツ帯エミッターの自励発振原理を解明するとともに、本素子を用いて水蒸気や糖類のテラヘルツ帯分光計測を初めて実現した。

水野客員研究室（ブロードバンド通信基盤技術研究分野）

本研究室では、ミリ波帯パッシブイメージングシステムの開発を行っている。当該年度には、35 GHz 帯のシステムについて、先ずミリ波光学系に関して考察を加え、システム実用化に必要な被写界深度に対して必要な知見を得 た。また、7 X 7 のイメージングアレイを組み上げ、ミリ波像の動画取得に成功した。

坪内研究室（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）フィルタと、低位相雑音発振器の実現を目指し、BAW（bulk acoustic wave）デバイスの研究開発を行った。 MO-CVD (metalorganic chemical vapor deposition)法で成膜した高品質 AlN 膜を用いて、FBAR (film bulk acousticresonator）の試作・評価を行った。また，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。

石山研究室（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歪みセンサの開発を遂行している。平成 20 年度はこのセンサの高感度化のために必要な磁歪薄膜の内部残留応力制御に関する検討を行い、その結果、感度が高いことで知られている半導体ひずみゲージに比べて一桁以上高い感度が得られることを実験的に確認した。このセンサに対してこれまで磁界センサ開発研究においてすでに明らかにした異方性制御技術を適用することによりさらなる高感度化が期待できる。

高橋・角田・斎藤研究室（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磁気抵抗薄膜へ要求される技術要素は、強磁性トンネル接合の更なる低抵抗化と高出力化、ならびに磁化固定層安定化である。前者に関して、MgO トンネルバリア層の結晶化促進プロセスを新しく導入することで RA ： 2.1Ω μm^2, TMR 変化率 ： 210 %という世界最高の特性を確認した。さらに(001)面配向制御下地層材料の工夫により、インバース TMR 変化率の向上（絶対値増大）を確認した。後者に関しては交換磁気異方性エネルギーの増大指針を見出すための初期検討として、反強磁性薄膜と交換結合した強磁性薄膜の強磁性成分を、光電子顕微鏡(PEEM)を用いて観察し、強磁性薄膜の磁区構造と交換磁気結合との相関を明らかとした。

山口・遠藤研究室（電気･通信工学専攻電磁理論分野）

複合構造を有する Fe 微粒子と、Ni-Fe 薄膜の高周波数帯（GHz 帯）デバイスへの応用を検討し、以下の知見を得た。複合構造を有する Fe 微粒子に関しては、複合構造では初透磁率の領域において反磁界が著しく低減され、微粒子本来の初透磁率を実現できることを Fe の微粒子で検証した。この複合効果をより高い初透磁率を有する $Ni_{50}Fe_{50}$ とアモルファス Fe-Si-B-Cr で確認した。これらの結果と球体の渦電流の計算から、GHz 帯で利用する微粒子材料には、サブμm サイズの微粒子が必要であることを明らかにした。一方、Ni-Fe 薄膜に関して、コプレーナ線路を利用した強磁性共鳴測定により Ni-Fe のダンピング定数を検討した。その結果、ダンピング定数が膜厚に依存せず一定であり、その値がバルクに比べ

て高くなることを示した。

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）に起因するマイクロ波域の発振に関する研究を行った。われわれの研究室で得られているナノ狭窄磁壁構造において直流電流を印加することで面内磁化膜における磁化反転が容易になることを足がかりに、スピン偏極電流によるスピントルクによって生じるマイクロ波により垂直磁化膜の磁化反転が容易になることを検証するために、まずはコプレナー線路を用いた微小磁性体へのマイクロ波の投入による磁化反転について解析し、マイクロ波投入によるスピンダイナミクスのモードと磁化反転について考察することを目的としている。本年度はコプレナー線路のマスクパターンの設計と試作を行い、ネットワークアナライザを用いて S11 パラメータの測定を行った。垂直磁化膜の STT マイクロ波発振およびネットワークアナライザを用いた FMR の計測に適した電極パターンのマスク作製とその計測を合わせて今後継続して研究を行う。

伊藤(隆)・小谷研究室（電子工学専攻固体電子工学分野）

擬似単結晶 Si 薄膜を用いた低温 Poly-Si 薄膜トランジスタの高性能化の研究を行っている。レーザ結晶化時のキャップ SiO_2 膜の効果を調べ、キャップ膜により Si 薄膜中のボイド発生を抑制し,またラテラル結晶化条件範囲を拡大することを示した。またキャップ膜導入後結晶化では Si 薄膜は比較的平坦な面をもっている。レーザ結晶化 Si 薄膜は表面に大きな凹凸をもつため、これを平坦化するための化学的機械的平坦化法(CMP)の研究を進めた。通常のコロイダルスラリーでは、結晶粒界への炭素偏析のため、CMP により凹凸は増加した。エタノールをスラリーに加えることで平坦化が可能となった。高い電流駆動能力をもつ新構造デバイスとしてナノグレーティング MOSFET を提案している。nMOSFET と pMOSFET の移動度差が小さくなることから、CMOS 回路での面積バランスを高くできることなどを示した。

畠山・金子研究室（プラズマ基礎工学分野）

プラズマ CVD により成長した孤立垂直配向単層カーボンナノチューブ(SWNTs)に関する光学特性を測定した結果、 完全孤立状態から小規模束状構造へと変化するに従い、 蛍光強度が増大することを明らかとした。 またフラーレン(C_{60})及び窒素置換フラーレン($C_{59}N$)を SWNTs に内包した際の電気特性の光学応答を測定した結果、光照射により SWNTs デバイスが動作する際のゲートバイアスの閾値がシフトすることが明らかとなった。 一方, アルカリ金属、 フラーレン、 ハロゲン等の電子ドナーとアクセプターを接合内包した SWNTs に関しては、 接合構造の組み合わせにより p-n 接合特性が大きく異なることを見出した。SWNTs の軸方向に対して対称的な空乏層構造が形成された場合にのみ、 山状ゲート電圧特性が得られることが明らかとなった。

山田・大寺研究室（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、光を非常に微細な領域に閉じ込めることができため、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。本年度の研究では、EB 露光用ネガ型レジストによりパターニングした SOI 基板に ICP-Dry エッチングを施すことで微細な Si 細線光導波路デバイスの作製を試みた。300 nm × 300 nm の断面構造を持つ Si 細線導波路をベースとして格子周期 400 nm、空気ギャップ 75 nm のインラインブラッグフィルター構造、導波路間ギャップ 120 nm の方向性結合器などの作製に成功した。

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} ・ 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 2K 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。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/MgO 界面に極薄の CoFeB 層を挿入することで、TMR 比の温度および印加電圧依存性を抑えることができた。

川崎研究室（金属材料研究所超構造薄膜化学研究部門）

我々の研究グループでは、酸化物界面における 2 次元電子ガス(2DEG)濃度の電界制御を目的とする研究を進めている。ポリチオフェン系導電性高分子を用いて MgZnO/ZnO ヘテロ接合にショットキー接合を作製することで、ゲート電界による 2DEG の伝導性制御を実現した。さらに、高誘電率材料の一つとして知られる Al_2O_3 を絶縁層としたトランジスタ構造においても良好な伝導性制御に成功した。以上の成果は、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てガラスなどの安価な基板上に室温強磁性半導体 Co ドープ TiO_2 薄膜を堆積し、磁気光学効果測定を行った。ルチル構造(100)面に弱く配向したガラス上 $Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$ 薄膜は従来のエピタキシャル薄膜と同様に強磁性の MCD と異常ホール効果を示した。さらに、$Ti_{1-x}Co_xO_{2-\delta}$層を磁性層とする 1 次元磁気光学フォトニック結晶構造をガラス上に作製することで、磁気光学効果の大幅な増大を達成した。

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)に関して以下の成果を得た。(1)Al_2O_3 ゲート絶縁膜を用いた InGaAs リング干渉素子において、電気的スピン回転制御を実現した。ゲート電圧の変化に伴いゼロ磁場における Al'tshuler-Aronov-Spivak 振動ピークが周期的な変化を示したことから、有効磁場による電気的スピン回転制御を実現した。(2)半導体量子細線構造の磁気輸送測定から、フィッティングを用いることなく Rashba SOI と Dresselhaus SOI の比を求める手法を提案した。SOI が存在しかつ弱局在が観測される量子細線構造では、面内外部磁場を印加した場合弱局在が抑制される。この弱局在抑制効果の面内磁場角度依存性を測定することで、磁気輸送測定から Rashba SOI と Dresselhaus SOI の比が求められることが理論的に明らかとなった。

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、磁性体を用いた超高密度不揮発記録デバイスの実現を目的とし、磁性材料開発および磁性体ナノ構造の磁気的挙動に関する研究を中心に進めている。今年度は、超短パルス磁場下におけるナノスケール高保磁力磁性体の非可逆磁化反転過程について重点的に研究を行った。最大磁場 3k0e のナノ秒大振幅パルス磁場発生器を開発し、単一 Co/Pt ナノドットのナノ秒領域における非可逆磁化反転過程に関する知見を得た。

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人工周期構造体（メタマテリアル、フォトニック結晶）の研究を行っている。本年度は、マイクロ波領域の伝送線メタマテアリルからのアナロジーによって設計した可視光域のメタマテリアルを作製し、その光学特性と負の群速度モードに起因する集光効果について研究を行った。また、多様な単位胞のプラズモニック結晶やプラズモニックレンズの作製を行い、可視光域での光学測定を行った。その結果、固有モードの対消滅とみなせる新奇な振る舞いや極端な透過光増強、第二高調波の共鳴的発生を見出した。

田中研究室（医工学研究科医用ナノシステム工学研究分野）

超高速データ書き込み動作と無限回データ書き換えが可能なスピン注入磁気メモリ(SPRAM)を搭載した、３次元積層型リコンフィギュラブルスピンプロセッサを提案し、実現に向けた研究を進めている。今年度は．SPRAM ロジックブロックを含む 3D リコンフィギュラブルスピンプロセッサ用基本リコンフィギュラブル回路を設計した。この回路は SRAM 型 LUT とコンフィギュレーションデータ格納用メモリである SPRAM を同一チップ上に混載している、電源電圧 1.5V でのコンフィギュレーションデータの読み出し動作を評価した結果、SPRAM から SRAM へのデータ転送(クロック周波数 25MHz)と基本回路でのリコンフィギュレーション動作の実現に成功した。

羽生研究室（新概念 VLSI システム研究部）

磁気トンネル接合デバイスと MOS トランジスタを組み合わせ、不揮発性記憶機能と演算機能を一体化させた不揮発性ロジックインメモリ集積回路を試作した。本集積回路は、

日立製作所において MOS トランジスタ部分の作製を行い、MTJ デバイス部分を東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設で作製し、世界で初めて集積回路による実証に成功したものである。なお、本研究は大野研究室、池田准教授研究室との共同研究の成果である。

岩佐研究室（金属材料研究所低温電子物性学研究部門）

機械的な劈開により作製された薄い単結晶は、そのユニークな電子的性質によりマイクロエレクトロニクスの有望な候補として近年注目されている。我々の研究は低いゲート電圧で電子密度を変化させる事が出来る利点を持つ電気化学的なトランジスタと層状物質に基づく。そして層状物質電気二重層トランジスタをSiO_2/Si基板上に作製する事に成功した。層状物質の厚さは、ラマン散乱および原子間力顕微鏡によって判別される。デバイスの作製は、標準的なフォトリソグラフィとナノ・スピン実験施設の電子ビームリソグラフィを用いた。ゲート媒質にイオン液体を用いる事により、グラフェンの両極性特性を1V以下の低電圧で実現した。これは一般的な手法として、広範囲の物質に適用する事が出来る。

藤本研究室（IT21 センター 研究開発部ストレージ分野）

本分野では、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ならびに超高感度リーダ技術の研究として、平成20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やスピン蓄積素子を作製するためのレジストマスクを作製し、これらの作製とその基礎特性の解析を継続して行った。

末光研究室（固体電子工学研究分野）

グラフェンは次世代半導体デバイスの鍵を握る材料として期待されている。しかし大面積・安価なグラフェン製造法が無いことが、その実用化をこれまで阻んできた。この困難を解決すべく、本年度、我々はシリコン基板上SiC薄膜ヘテロ成長を用いてシリコン基板上へのグラフェン成長を試み、世界で初めてこれに成功した。この研究成果は大面積・安価なSi基板上へのグラフェン製造を可能とするもので、将来のグラフェンエレクトロニクスの実現に道を拓くものである。

遠藤研究室（学際科学国際高等研究センターナノ知能システム研究分野）

スピンメモリ素子である Magnetic Tunneling Junction (MTJ)素子とシリコンＣＭＯＳ回路を融合した新しいスピンデバイス技術の確立を目指し、そのデバイス研究、およびその集積化プロセス研究から試作・測定までを一貫して行った。その中で、超高速で動作するＴＭＲ素子を駆動するためのシリコン集積回路技術の構築を目指し、低消費電力でかつ高速動作可能である新方式 MOS Current Mode Logic (MCML)回路技術として、Dynamic Feedback MCML、および Current Controlled MCML を提案し、180nm のデザインルールで、世界で初め

て試作に成功した。この回路方式は、構成する基本素子であるMOSFETの特性がばらついても、その情報を回路自身にフィードバックさせることで、回路が自律的に安定動作点で超高速に動作することを可能にする新しい回路方式である。

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

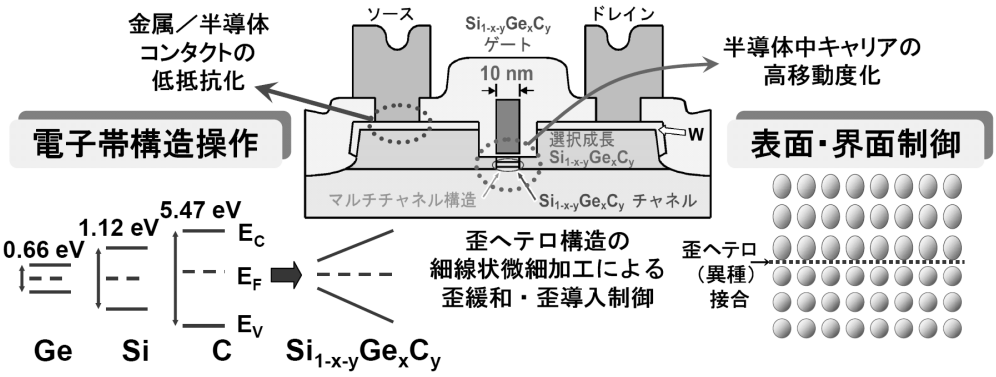


図１．ナノヘテロ人工 IV 族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用.

＜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）

＜2008 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，IV 族半導体ヘテロ構造の歪制御と高キャリア濃度化のための基盤技術構築を目標として研究を進め，以下の研究成果を得た.

(1) 熱 CVD プロセスによる高キャリア濃度原子層ドーピングの研究において，180 °C の低温下での B_2H_6 表面反応により，Si(100)上の B 原子面密度は約 $1.4x10^{15}$ cm^{-2}（2 原子層）で自己制限的に飽和し，その B 原子は大気中でも酸化されにくいことを見いだした．さらに，B クラスタ形成抑制のための低温 SiH_4 処理が，B の電気的活性化率の向上と Si 格子歪の抑制に有効であることを明らかにした.

(2) 基板非加熱プラズマ CVD による表面反応プロセス低温化の追求により，Si(100)上への B 原子層形成とその上への原子オーダ平坦性を有するナノメートルオーダ厚さ Si キャップ層のエピタキシャル成長を基板非加熱下で実現し，B 原子層を Si キャップ層中の厚さ約 1 nm の極薄領域に閉じ込めることに成功した.

(3) 局所歪導入 $Si_{1-x}Ge_x$/Si ナノヘテロ構造形成の研究において，低温熱 CVD による表面熱窒化制御とその上への $Si_{1-x}Ge_x$ 薄膜形成制御を行い，$Si_{1-x}Ge_x$ エピタキシャル薄膜への N 原子層ドーピングを可能とした.

(4) プラズマイオンエネルギー制御によって歪緩和促進を図った Ge 薄膜基板を用いることにより，約 1.7%格子定数が大きいナノメートルオーダ厚さの高平坦高度歪 Si エピタキシャルナノ薄膜形成が可能であることを示した.

＜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）山﨑貞一賞受賞.

＜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

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Seo, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, “Improvement in Negative Differential Conductance Characteristics of Hole Resonant Tunneling Diodes with High Ge Fraction Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure”, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Tue-S5-05, pp.66-67.

[2] H. Tanno, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, “Heavy B Atomic-Layer Doping Characteristics in Si Epitaxial Growth on B Adsorbed Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD System”, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Wed-S8-04, pp.100-101.

[3] A. Uto, M. Sakuraba, M. Caymax and J. Murota, “Change of H-Termination on Wet-Cleaned Si(100) and Ge(100) by Heat-Treatment in H_2 or Ar”, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Mon-P1-51, pp.231-232.

[4] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, “Atomically Controlled CVD Processing for Future Si-Based Devices” (**Invited Paper**), 9th Int. Conf. on Solid-State and Integrated-Circuit Technol. (ICSICT 2008), Beijing, China, Oct. 20-23, 2008, No.E6.7.

[5] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, “Atomically Controlled Processing in Si-Based CVD Epitaxial Growth” (**Invited Paper**), Symp. Z: “Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices”, Int. Union of Materials Research Society - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZI-3.

[6] T. Kawashima, M. Sakuraba and J. Murota, “Nitrogen Atomic-Layer Doping in Nanometer-Order Heterostructure of Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD”, Symp. Z: “Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices”, Int. Union of Mat. Res. Soc. - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZO-4.

[7] T. Nosaka, M. Sakuraba and J. Murota, “Heavily B Atomic-Layer Doping in Si Epitaxial Growth Using Electron-Cyclotron-Resonance Plasma”, Symp. Z: “Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices”, Int. Union of Mat. Res. Soc. - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZO-5.

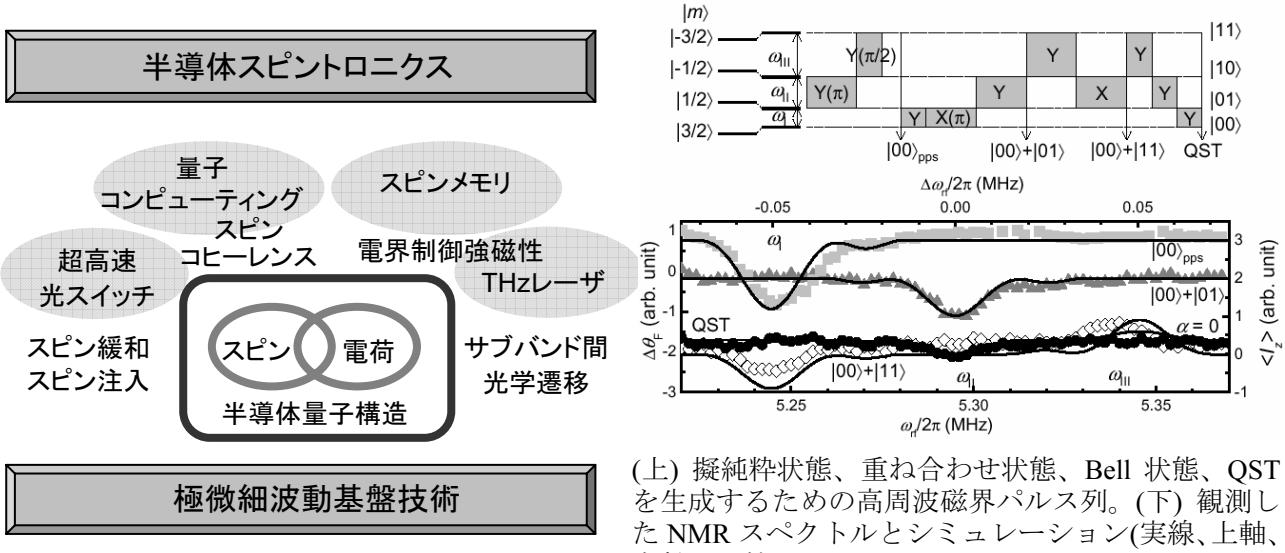
[8] K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, “Epitaxial Growth of Highly Strained B Doped Si on Relaxed Ge/Si(100)”, Symp. Z: “Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices”, Int. Union of Mat. Res. Soc. - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZP-9.

[9] 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”, Thin Solid Films, Vol.517, pp.346-349, (2008).

他　学術雑誌 7 件，国際会議発表論文 20 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



(上) 擬純粋状態、重ね合わせ状態、Bell 状態、QST を生成するための高周波磁界パルス列。(下) 観測した NMR スペクトルとシミュレーション(実線、上軸、右軸) (文献 9)。

＜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 THz 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。

＜2008 年度の主な成果＞

- 強磁性半導体(Ga,Mn)As 薄膜をチャネルとして持つキャパシタ構造において、電界印加による純粋的に電気的手法での磁気異方性の変調とそれに伴う磁化回転の観測に世界で初めて成功した(文献 8)。
- 強磁性半導体(Ga,Mn)As における異常ネルンスト効果を初めて観測し、異常ホール効果

との間にモットの関係式が成立することを示し、異常伝導は内因性機構によって生じていることを明らかにした(文献 7)。
- GaAs/AlGaAs 量子井戸構造中のスピン 3/2 の ^{75}As を対象に、量子ゲート操作に用いられる多重 NMR パルス列を印加し、NMR スペクトルの光検出を行って多準位核スピン系の位相制御を検証した(文献 9)。
- GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザの発振に成功した。閾値電流密度の温度依存性の解析を行い、縦光学フォノン散乱によりキャリアをレーザ遷移の基底準位から高速に緩和させれば室温でも反転分布形成が可能であることを明らかにした(文献 10)。
- テラヘルツ量子カスケードレーザの温度特性の向上が期待できる ZnO 量子井戸構造において世界に先駆けてサブバンド間光学遷移を観測した(文献 6)。

＜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＞

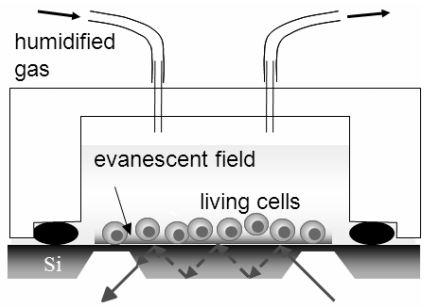
1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞、2003年度The IUPAP Magnetism Prize、平成17年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize 受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。中国科学院半導体研究所名誉教授号。応用物理学会フェロー。東北大学ディスティン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

＜2008 年度の主な発表論文等＞

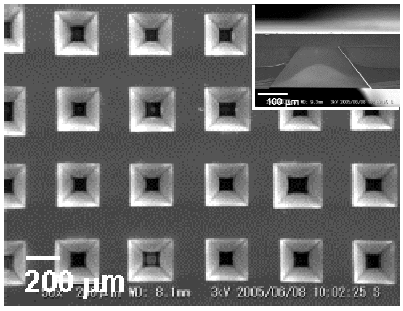
[1] H. Ohno and T. Dietl, "Spin-transfer physics and the model of ferromagnetism in (Ga,Mn)As," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 320, pp. 1293-1299, April 2008.
[2] D. Chiba, K. M. Yu. W. Walukiewicz, Y. Nishitani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Properties of $Ga_{1-x}Mn_xAs$ with high x (> 0.1)," Journal of Applied Physics, Vol. 103, pp. 07D136, April 2008.
[3] Y. Nishitani, D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrical Curie temperature modulation in (Ga,Mn)As field-effect transistors with Mn composition from 0.027 to 0.2," Journal of Applied Physics, Vol. 103, pp. 07D139, April 2008.
[4] T. Kita, D. Chiba, Y. Ohno, and H. Ohno, "Fabrication of a few-electron $In_{0.56}Ga_{0.44}As$ vertical quantum dot with an Al_2O_3 gate insulator", Physica E. Vol. 40, pp. 1930-1932, April 2008.
[5] S. Marcet, T. Kita, K. Ohtani, and H. Ohno "The effect of vertical electric fields on exciton fine structure of GaAs natural quantum dots," Physica E, Vol. 40, pp. 1930-1932, April 2008.
[6] M. Belmoubarik, K. Ohtani, and H. Ohno, "Intersubband transitions in ZnO multiple quantum wells", Applied Physics Letters, Vol. 92, pp. 191906, May 2008.
[7] Y. Pu, D. Chiba, F. Matsukura, H. Ohno, and J. Shi, "Mott relation for anomalous Hall and Nernst effects in $Ga_{1-x}Mn_xAs$ ferromagnetic semiconductors," Physical Review Letters, Vol. 101, pp. 117208, September 2008.
[8] D. Chiba, M. Sawicki, Y. Nishitani, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetization vector manipulation by electric fields," Nature, Vol. 455, pp. 515-518, September 2008.
[9] Y. Kondo, M. Ono, S. Matsuzaka, K. Morita, H. Sanada, Y. Ohno, and H. Ohno, "Multipulse operation and optical detection of nuclear spin coherence in a GaAs/AlGaAs quantum well", Physical Review Letters, Vol. 101, pp. 207601, November 2008.
[10] Tsung-Tse Lin, Keita Ohtani, and Hideo Ohno, "Thermally activated longitudinal optical phonon scattering of a 3.8 THz GaAs quantum cascade laser", Applied Physics Express, Vol. 2, pp. 022102, January 2009.

ナノ分子デバイス研究部

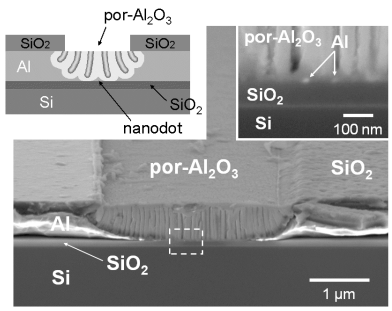
分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と新機能ナノ分子デバイスの創製



赤外分光法を用いた細胞活動のその場計測



ポーラスSi DNAマイクロアレイ



パターニングしたAlの陽極酸化と形成したAlナノドット

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

１．赤外分光法を用いた細胞活動のその場計測

生細胞とアポトーシス誘導細胞とを多重内部反射赤外分光法(MIR-IRAS)により判別できることを見出し、また、タンパク質に由来するアミドバンドをモニタリングすることにより細胞死過程を解析できることを示した。これは特定の生体反応を検出する従来の生化学的方法とは相補的であり, 次世代の生命情報解析装置としての期待が大きいと考えられる。

２．半導体微細加工技術を用いたイオンチャネルセンサの作製

半導体微細加工技術を用いて作製した微細孔を用い人工細胞膜を作製し、この膜中にモデルチャネルであるグラミシジンペプチドを埋め込んだ結果、シングルイオンチャネル電流を観測することに成功した。このチャネル包埋二分子膜の機械的強度および耐久性は従来と比べて著しく向上しており、薬物評価法としての使用に耐える機械的強度を達成した。

３．陽極酸化単電子トランジスタの作製

Al 細線の陽極酸化過程に及ぼす細線の断面構造の影響を調べた。その結果、Al 細線のアスペクト比が陽極酸化過程に大きな影響を与えており、そのアスペクト比によって陽極酸

化過程を制御することにより室温動作単電子トランジスタを作製に成功した。

４．有機トランジスタの特性に及ぼす電荷注入の影響

ルブレン単結晶を用いて有機 FET の動作機構に及ぼす界面の影響について調べた。その結果、飽和ドレイン電流が、チャネルの蓄積電荷量ではなく、熱電界放出理論で説明させる電荷注入特性が律速している場合があることがわかった。

＜職員名＞

教　授　　庭野　道夫　(1998 年より)

助　教　　木村　康男　(1999 年より)

＜教授のプロフィール＞

昭 55 東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。昭 55 宮城教育大助手,昭 61 東北大学助手（電気通信研究所）、昭 63 助教授、平 10 教授。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の開発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、電気情報通信学会、電気学会などの会員。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Kimura, T. Oba, N. Shimakura, and M. Niwano, “The thermal-field emission model for carrier injection characteristics of an organic field effect transistor”, Appl. Phys. Lett. **94** (2009) 073303.

[2] R.Yamaguchi, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, K. Miyamoto, H. Miyazaki, H. Isoda, and M. Niwano, “In situ real-time monitoring of apoptosis on leukemia cells by surface infrared spectroscopy”, J. Appl. Phys. **105** (2009) 024701.

[3] 平野愛弓，小野寺恒太，宮本浩一郎，片岡正俊，篠原康雄，木村康男，庭野道夫, “表面赤外分光法を用いた抗原抗体反応の非標識検出：二次構造解析による特異・非特異信号の識別”, 表面科学 **29** (2008) 558-563.

[4] A. Hirano-Iwata, M. Niwano, and M. Sugawara, “The Design of Molecular Sensing Interfaces with Lipid Bilayer Assemblies”, Trends in Anal. Chem. **27** (2008) 512-520.

[5] K. Ishibashi, K. Tanaka, A. Hirano-Iwata, K. Miyamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, “In situ study of DNA Attachment and Hybridization at Silicon Surfaces by IR Absorption Spectroscopy”, Jpn. J. Appl. Phys. **47** (2008) 3204-3208.

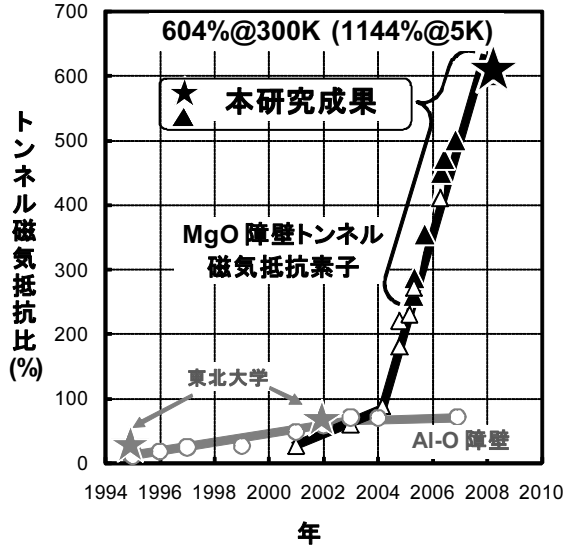
[6] A. Hirano, K. Onodera, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Kataoka, Y. Shinohara, and M. Niwano, “Peptide Immobilization on GaAs Surfaces and the Application to Label-Free Detection of Antigen-Antibody Interactions Using Multiple Internal Reflection Infrared Spectroscopy”, Sensor Letters **6** (2008) 613-617.

[7] K. Ishibashi, Y. Kimura, and M. 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** (2008) 094507

[8] T. Kadowaki, Y. Yamakawa, H. Nakamura, Y. Kimura, M. Niwano, and F. Masuoka, “A New Architecture for High-density High-performance SGT NOR Flash Memory”, IEEE Transactions on Circuits and Systems II,Express Briefs **55** (2008) 551.

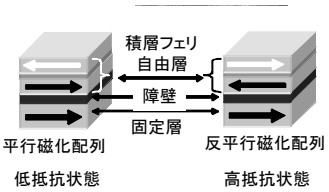
ナノスピンメモリ研究部

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., 93 (2008) 082508.

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. Magn, 44 (2008) 1962.

スピンメモリ・ロジックの動作実証に用いた CoFeB/Ru/CoFeB 積層フェリ自由層を用いた磁気トンネル接合(MTJ).

＜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。

＜2008 年度の主な成果＞

高機能・低消費電力が期待されるスピンメモリ・ロジック実現に向けた基盤技術として、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・ロジック基本回路形成プロセスの開発を進めた。以下、主な成果について具体的に述べる。

1. 高温熱処理での Ta 拡散を抑制することにより、CoFeB(001)/MgO(001)/CoFeB(001)高結晶配向状態を実現した TMR 素子において、世界最高の TMR 比(室温で 604%、低温で 1144%)を実現した(文献 4)。
2. スピンメモリ・ロジックの開発に向け、CoFeB/Ru/CoFeB 積層フェリ自由層 TMR 素子の CoFeB 膜厚・組成を調整することで閾値書込み電流密度 J_{c0} が 2 MA/cm^2 まで低減でき、そのときの熱安定性指数 E/k_BT は 47(接合面積：100×200nm^2)となった(文献 2)。
3. 0.14μm-CMOS 回路上への 50nm スケールまでの TMR 素子形成プロセスを開発した(文献 3、5、6、8)。
4. 外部磁界印加無しでスピン注入磁化反転書込み可能な積層フェリ自由層 TMR 素子(接合面積：50×200nm^2~100×200nm^2)を COMS 回路上に実装させ、ロジックインメモリ・

リコンフィギャラブルロジック等の基本回路の世界初の動作実証に寄与した(文献 3、5、6)。

5. サブナノ秒までのスピン注入磁化反転のダイナミクス測定技術を確立し、積層フェリ自由層 TMR 素子においても、単層自由層 TMR 素子と同等の高速動作を確認した。(文献 1 、3)。

＜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）
産学連携研究員　甘 華東
産学連携研究員　朴 志皓
非常勤研究員　三浦 勝哉
非常勤研究員　早川 純
非常勤研究員　山本 浩之

＜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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Devolder, J. Hayakawa, K. Ito, H. Takahashi, S. Ikeda, J. A. Katine, M. J. Carey, P. Crozat, J. V. Kim, C. Chappert, and H. Ohno "Electrical time-domain observation of magnetization switching induced by spin transfer in magnetic nanostructures", Journal of Applied Physics, Vol. 103, pp. 07A723-(1)-(3), April 2008.

[2] J. Hayakawa, S. Ikeda, K. Miura, M. Yamanouchi, Y. M. Lee, R. Sasaki, M. Ichimura, K. Ito, T. Kawahara, R. Takemura, T. Meguro, F. Matsukura, H. Takahashi, H. Matsuoka, and H. Ohno, "Current-induced magnetization switching in MgO barrier magnetic tunnel junctions with CoFeB-based synthetic ferrimagnetic free layers", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 44, pp. 1962-1967, July 2008.

[3] S. Matsunaga, J. Hayakawa, S. Ikeda, K. Miura, H. Hasegawa, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fabrication of a nonvolatile full adder based on logic-in-memory architecture using magnetic tunnel junctions", Applied Physics Express, Vol. 1, pp. 091301-(1)-(3), August 2008

[4] S. Ikeda, J. Hayakawa, Y. Ashizawa, Y. M. Lee, K. Miura, H. Hasegawa, M. Tsunoda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Tunnel magnetoresistance of 604% at 300 K by suppression of Ta diffusion in CoFeB/MgO/CoFeB pseudo-spin-valves annealed at high temperature", Applied Physics Letters, Vol. 93, pp. 082508-(1)-(3), August 2008.

[5] M. Sekikawa, K. Kiyoyama, H. Hasegawa, K. Miura, T. Fukushima, S. Ikeda, T. Tanaka, H. Ohno, and M. Koyanagi, "A novel SPRAM (spin-transfer torque RAM)-based reconfigurable logic block for 3D-stacked reconfigurable spin processor", in digests of technical papers of 2008 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2008), pp. 935-937, December 2008.

[6] S. Matsunaga, K. Hiyama, A. Matsumoto, S. Ikeda, H. Hasegawa, K. Miura, J. Hayakawa, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Standby-power-free compact ternary content-addressable memory cell chip using magnetic tunnel junction devices", Applied Physics Express, Vol. 2, pp. 023004-(1)-(3), February 2009.

[7] S. Ikeda, J. Hayakawa, K. Miura, H. Hasegawa, R. Sasaki, H. Yamamoto, H. Gan, J. Park, F. Matsukura, and H. Ohno, “Recent progress in magnetic tunnel junctions for nanometer-scaled spin devices”, NSC-JST Nano Device Workshop, July 2008. (Invited)

3．6 ブレインウェア実験施設の目標と成果

東北大学電気通信研究所附属ブレインウェア実験施設は，平成１６年４月の研究組織の改組・再編と同時に新設された。その目的は，電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを，世界に先駆けて実現する基盤技術を創製することにある。本施設は，実世界コンピューティング研究部，新概念 VLSI システム研究部，知的ナノ集積システム研究部，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。

新概念VLSIシステム研究部：配線数，電力消費及び材料特性ばらつきに起因する信頼性低下が超微細VLSIにおいて益々問題となる。そこで本研究部では，大局的配線を極端に削減できるロジックインメモリVLSIアーキテクチャの設計法と実現法に関する研究，並びに大局的配線を高速に駆動するための新概念回路技術として多値電流モード非同期回路に関する研究を推進し，従来技術の延長でない新概念VLSIの実現を目指す。

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

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。

＜2008 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)：本年度は，次の 3 つの主要な成果を得た。第一に，腕到達運動制御に関し，動き易さ優先化に基づく腕到達運動の自律分散的制御モデルの数理的解析を行い，制御モデルには相反する２つの制御モードが含まれていること，これらのモードが各関節の動き易さの評価に応じてリアルタイムに切り替わることを明らかにした。第二に，多点電極を用いた電気生理実験により，動物が行うパスプランニング課題において，大脳皮質前頭皮質神経活動の同期性が運動計画を実行に移す際に重要な役割を担うことを明らかにした。第三に，脳全体における情報処理の原理的機構を明らかにするため，微小脳を用いた生理学実験を行い，時間的ダイナミクスが異なる 2 つの並列した処理経路が存在し，それらの間の相互作用がリアルタイムな嗅覚情報処理に重要であることを明らかにした。

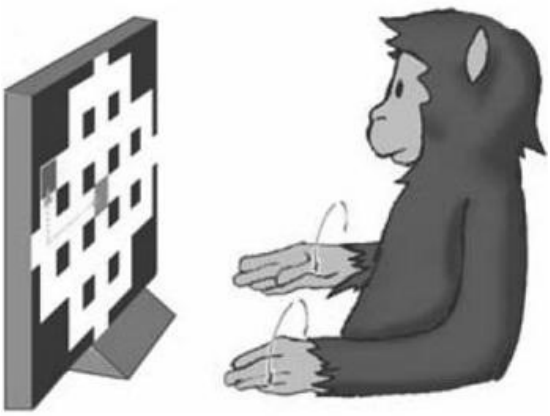
新概念 VLSI システム研究部 (羽生研究室)：不揮発性ロジックインメモリ回路技術の典型例として，MTJ 素子を不揮発記憶デバイスとして用いた機能メモリ（Ternary Content-Addressable Memory；TCAM）の単位セル回路のチップ試作に初めて成功し，その基本原理動作を検証した。また，3 値電流信号を用いてモジュール間データ送受信の 3 状態を直接表現することにより，1 線のみで非同期データ転送が可能な多値 single-track 方式を提案した。これは，データ転送時に充放電する配線数が極限まで削減された構成であり，高速性と低消費電力性を兼ね備えた非同期データ転送が実現されたことを示す結果である。

知的ナノ集積システム研究部（中島・佐藤研究室）：高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルにより，N-Queen問題と同様に巡回セールスマン問題の正解を静止状態にできることを明らかにした。またポテンシャルとアクティブ領域の新概念を用いた非線形ダイナミクスの解析法も提案した。高温超伝導体Bi2212固有ジョセフソン接合において，共鳴励起特性におけるQ値を評価しラビ振動観測に必要な条件を見出した。ニューロ的手法を用いた量子計算アルゴリズムでは，デコヒーレンスと計算能力の関係について数値シミュレーションで評価した。デコヒーレンスに比例して計算能力は劣化するものの，他の量子アルゴリズムに比べ劣化が顕著でないことを確認し，本手法の新たな優位性を示した。磁束量子高速フーリエ変換用の演算回路高速化を目的とした，桁上げ先見加算器を利用した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では，4ビットの高速アップダウンカウンタの集積化とその動作実証に成功した。

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など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，低消費電力Fractional-N PLLの設計，Low-IFアーキテクチャ向けComplex Bandpass Filter（BPF）のSoftware Defined Radioへの適用に関する探索を行った。Fractional-N PLLでは，集積化Loop Filterの設計ツールの開発に着手し，VCO Noise，Sigma-Delta NoiseのPhase Noiseへの影響を予測できるモデルの構築を行った。さらには，設計生産性の向上に関し，g_m-I_D Lookup Table手法を用いたOTA(Operational Transconductance Amplifier)の最適化設計手法の研究に着手し，複雑なトポロジーを持った高利得・高速OTAの最適化設計手法確立に成功した。

実世界コンピューティング研究部

問題解決法を思いつく瞬間に
前頭前野神経細胞が同期活動
－脳の創造性は同期から生まれることを示唆－



経路探索課題遂行中のサルの概念図[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。

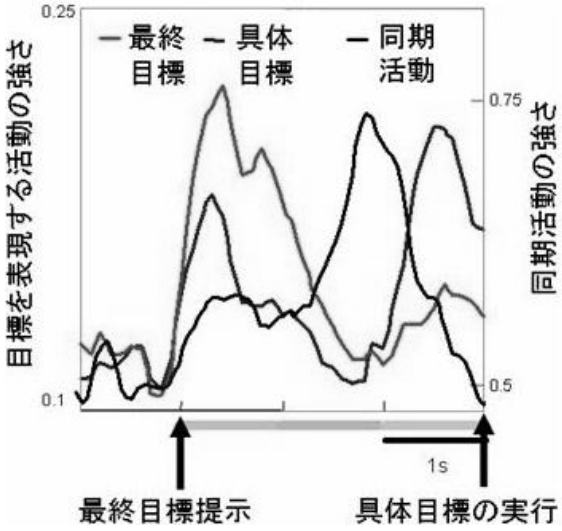
＜2008 年度の主な成果＞

行動の計画とは、最終目標を達成するために具体的な目標を定める、創発的な過程である。そのような高度な機能の発現において、思考や創造性などに関わると考えられる前頭前野は、重要な役割を担うと予想される。一方、自然界の複雑な系では、要素の振る舞いが自然に同期するという秩序が創発する現象（以下、同期現象）がしばしば見られる。我々は、行動計画のような創発的な行動の背後には、前頭前野における同期現象が存在する可能性を検討するため、経路探索課題と呼ばれる課題をサルに学習させ、前頭前野から神経活動を記録した。

実験の概要は以下のとおりである。ニホンザル２頭に、コンピューター画面で簡単な迷路を見せ、レバー操作で、迷路内のカーソルをスタートからゴールまで移動させる課題（経路探索課題：上図）を長期間にわたり訓練した。その後、複数の電極を用いて、外側（がいそく）前頭前野から複数の神経細胞を同時記録し、行動計画期間の神経活動および活動間の同期性を解析した。

その結果、ある細胞グループでは、行動計画期間の初期では、指示された最終ゴールの位置によって神経活動が選択的に変化したが、後期では、１手目どの方向にカーソルを動かすかに選択的な変化を示した。つまり、神経活動の選択性が、“最終ゴール”から“具体的な解決法”へと遷移した。そのような細胞を含み、かつ、活

動がよく同期する細胞ペアを集め解析したところ、神経活動の選択性が“最終ゴール”から“具体的な解決法”へと遷移する期間に同期発火が上昇することが確かめられた（下図）。



発火頻度の選択性が行動の最終目標から具体的な目標へと遷移するときに同期発火が出現[1]

今回発見した、指示された最終目標に到達するため具体的な解決法を思いつく瞬間に前頭前野の神経細胞の同期発火が上昇するという現象は、問題解決法を思いつくという脳の創造的な側面に、複雑系の創発現象である同期現象が関与していることを示唆する。創造性の背後にある脳のメカニズムの解明によって、創造性のあるロボットの開発が促進されるばかりでなく、まったく新しい人と機械のコミュニケーション法の開発にもつながり、医工学の分野における大きなブレークスルーになると期待される。

＜職員名＞

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

＜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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] Sakamoto K, Mushiake H, Saito N, Aihara K, Yano M and Tanji J. “Discharge synchrony during the transition of behavioral-goal representations encoded by discharge rates of prefrontal neurons” Cerebral Cortex, vol. 18 pp. 2036-2045, 2008.
[2] Makinae H, Makino Y, Obara T and Yano M. “Specific spatio-temporal activities in the cerebral ganglion of Incilaria fruhstorferi in response to superior and inferior tentacle nerve stimulation” Brain Research, vol. 1231, pp.47-62, 2008.
[3] Yoshihara Y, Tomita N, Makino Y, and Yano M “Autonomous Control of Reaching Movement by 'Mobility Measure'. International Journal of Robotics and Mechatronics” vol.19, pp.448-458, 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

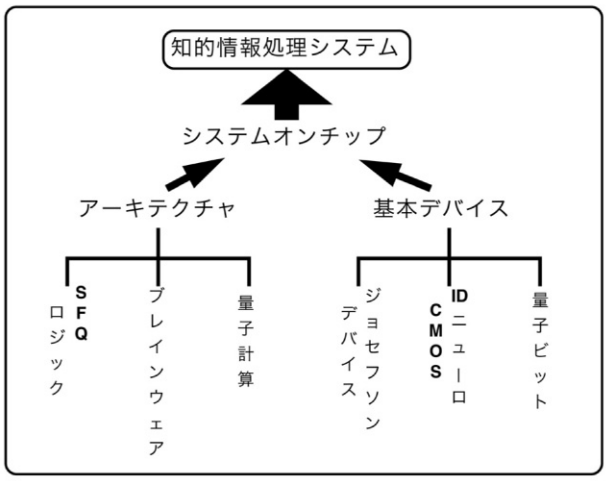


図１　知的ナノ集積システム研究部の研究目標

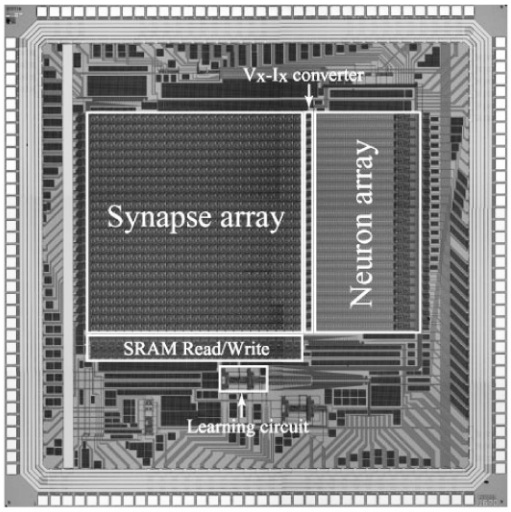


図２　逆関数遅延ニューロシステム
（３６ニューロン搭載）

＜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。

＜2008 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] 高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルにより、N-Queen問題と同様に巡回セールスマン問題の正解を静止状態にできることを明らかにした。またポテンシャルとアクティブ領域の新概念を用いた非線形ダイナミクスの解析法も提案した。

[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、共鳴励起特性におけるQ値を評価しラビ振動観測に必要な条件を見出した。ニューロ的手法を用いた量子計算アルゴリズムでは、デコヒーレンスと計算能力の関係について数値シミュレーションで評価した。デコヒーレンスに比例して計算能力は劣化するものの、

他の量子アルゴリズムに比べ劣化が顕著でないことを確認し、本手法の新たな優位性を示した。
［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演算回路高速化を目的とした、桁上げ先見加算器を利用した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では、4ビットの高速アップダウンカウンタの集積化とその動作実証に成功した。

＜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　八木 菜々子

＜教授のプロフィール＞

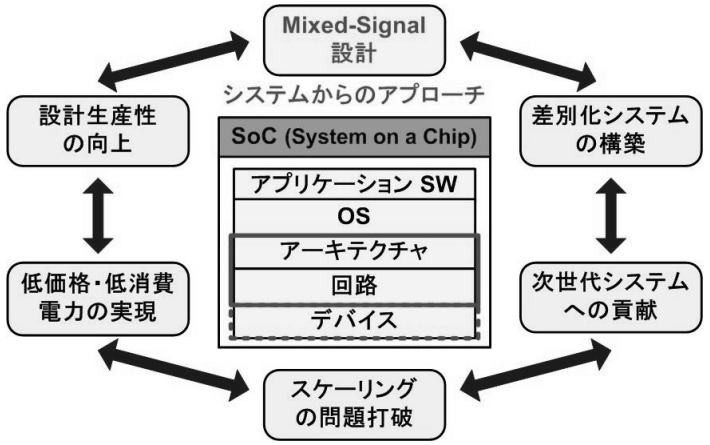
1949 年仙台市生まれ、東北大学工学部電気工学科、同大学院博士課程修了の後、東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て 1995 年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

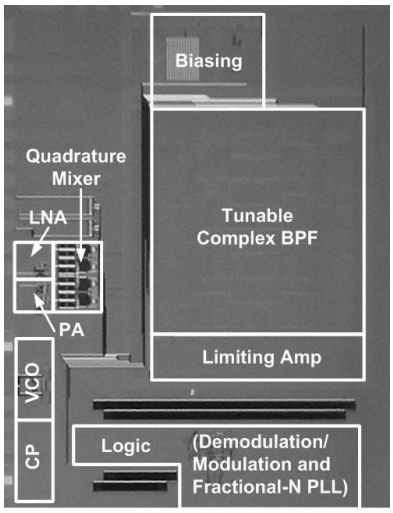
1. S. Chun, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Hardware Neural Network for a Visual Inspection System, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, no. 4, pp. 935-942, April 2008.
2. J. Sveholm, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Recalling Temporal Sequences of Patterns Using Neurons with Hysteretic Property, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, no. 4, pp. 943-950, April 2008.
3. K. Nakajima and S. Suenaga, Bursting characteristics of a neuron model based on a concept of potential with active areas, Chaos, American Institute of Physics, vol. 18, p. 023120, May 2008.
4. Y. Yamada, K. Nakajima, and K. Nakajima, RF impedance of intrinsic Josephson junction in flux-flow state with a periodic pinning potential, Physica C, vol. 468, pp. 1295–1297, Sep. 2008.
5. 千承佑、早川吉弘、中島康治、外観検査システムのための高速ハードウェアニューラルネットワークの設計、電子情報通信学会論文誌Ａ、vol. J92-A, no. 1, pp. 37-47, Jan. 2009.
6. A. Ono, S. Sato, M. Kinjo, and K. Nakajima, Study on the Performance of Neuromorphic Adiabatic Quantum Computation Algorithms, Proceedings of 2008 International Joint Conference on Neural Networks, pp.2508-2512, Hong Kong, China, June 2008.
7. T. Onomi and K. Nakajima, Implementation of high-speed single flux-quantum up/down counter for the neural computation using stochastic logic, 2008 Applied Superconductivity Conference, 3EPC05, Chicago, U.S.A., Aug. 2008.

マイクロアーキテクチャ研究部

Mixed-Signal Platform 実現の研究



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/アナログ回路の特性変動を抑制するため，SoC 上のディジタル回路を利用し，性能を向上する技術に大きな注目が集まっている．我々の目標は、ディジタル回路による補正技術をより大規模な SoC に展開し，Mixed-Signal Platform を実現することにある。さらには，SoC の低価格化に向け，ディジタル回路と比較して設計が困難な RF/アナログ回路において，設計生産性を大幅に向上できる自動設計手法を確立することが目標となる。

＜2008 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。我々は，外部部品点数を削減することによって低価格が可能となる 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

し，本技術の，Software-Definable なフィルタ構成への研究を実施している．本年度は，評価手法の確立を行い，評価結果を含めて論文投稿を行った．また，当初の研究では，g_m-C 方式と比較して 53%以下の面積が実現可能な Active RC 方式を採用したが，これよりもさらに 1/2 の面積実現が可能となる新規方式の検討に着手した．

２． gm/Id Lookup Table 法による OTA 自動設計技術の研究

アナログ回路の基本回路である OTA(Operational Transconductnace Amplifier)は，A/D 変換器，フィルタ，センサ・フロントエンド回路などに活発に応用されているが，消費電力と性能のトレードオフを行いながら仕様に合わせて設計することが極めて困難となっている．特に近年 CMOS デバイスのスケーリングによって，電流電圧特性が旧来の２乗側で表現することができなくなった結果，設計者のアイデアを実現しやすい Hand Analysis ベースの設計から，シミュレータへの依存度の高い設計への移行という，重大な問題が発生している．本課題を解決するため，gm/Id Lookup Table を用いた Hand Analysis ベースの自動設計手法の研究に着手した．本年度は，10bit 100MS/s の Pipeline A/D 変換器用の OTA の自動設計技術を確立した．本研究成果は，次年度から国際会議発表・論文投稿を実施する予定である．

＜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）。

新概念VLSIシステム研究部

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

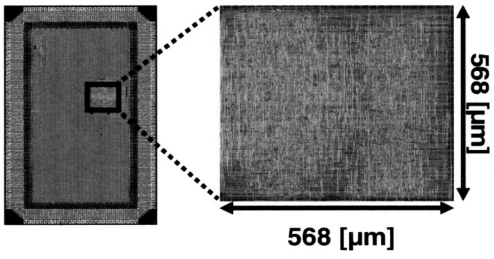


図 1．高信頼 16-b 多値乗算器チップ：温度変動（-25℃～125℃），電源電圧変動（±0.1V）に対し，正常動作するロバスト性を有する電流モード多値集積回路の実現に成功

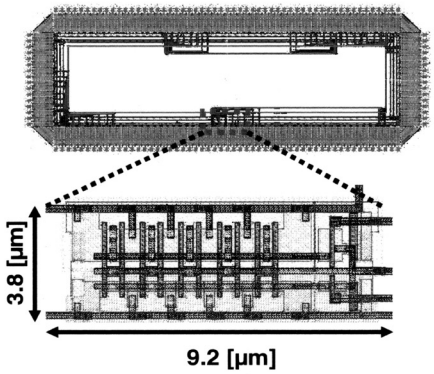


図２．高速非同期データ転送用電流モード多値回路：０，１，スペーサの３通信状態を多値電流レベルで直接表現し，1 線/bit を達成．90nmCMOS によるチップ試作・基本原理検証に成功．

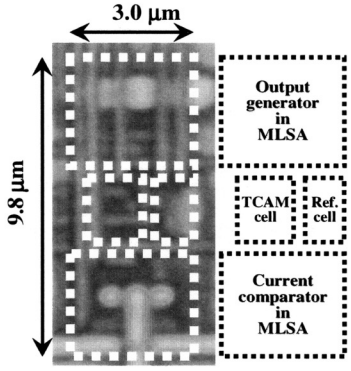


図３．MTJ/CMOS ハイブリッド構造不揮発 TCAM セルチップ：MTJ 素子を不揮発記憶とロジックの両面で化通用することで，従来 CMOS 実現と比べ，コンパクトな実現に成功．

＜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１，２），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３）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．

＜2008 年度の主な成果＞

１．高信頼電流モード多値乗算器チップの試作：

電流モード多値回路方式を算術演算に活用すれば，線形加算演算が結線のみで実現できるなど回路実現上の優位性が見込まれる反面，信号の多レベル化による信頼性低下が懸念されていた．本年度の研究では，電流源回路にフィードバック機構を組み込むことで，温度や電源電圧変動に対して頑健な回路構造の実現に成功した．また，多レベル比較回路の参照信号レベルも，温度・電源電圧に応じて変動する回路構成とした．この結果，温度・電源電圧変動に頑健な電流モード多値回路の実現に初めて成功した．

２．多値 single-track 方式に基づく高効率（1 線/bit）非同期データ転送回路の試作：

同期式制御で「データ転送速度が最悪遅延に律速」される問題を解決する一手法として，非同期式制御が期待されている．しかし，現在提案されている非同期式制御ではデータ転

送効率が悪かった（2 線/bit 以上）．本年度は，高効率な非同期データ転送技術として知られている single-track 方式（2 線/bit）の多状態転送モードを多値信号で直接表現することにより，1 配線当たりの情報伝達効率が高く（1 線/bit），かつ高速性・低消費電力性を有する非同期データ転送方式「多値 single-track 方式」の基本動作原理検証」に成功した．

3．不揮発性記憶素子を用いた TCAM セル回路チップの試作：

先進 VLSI で問題の配線問題や静的消費電力問題を解決するため，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ている．本年度は，特に MTJ (Magnetic Tunnel Junction)デバイス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演算回路として，検索機能付メモリ（Ternary Content-Addressable Memory: TCAM）セル回路のチップ試作とその基本動作検証に成功した．

＜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）

助　教：夏井雅典（2008 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).

＜2008 年度の主な発表論文等＞

(1) M. Miura and T. Hanyu, "Highly Reliable Multiple-Valued Current-Mode Comparator Based on Active-Load Dual-Rail Operation," IEICE Trans. Electron., Vol.E91-C, No.04, pp.589-594, Apr. 2008.

(2) K. Mizusawa, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Power-Aware Asynchronous Peer-to-Peer Duplex Communication System Based on Multiple-Valued One-Phase Signaling," IEICE Trans. Electron., Vol.E91-C, No.04, pp.581-588, Apr. 2008.

(3) H. Shirahama and T. Hanyu, "Design of High-Performance Quaternary Adders Based on Output-Generator Sharing, "Proceedings 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2008.

(4) A. Hirosaki, M. Miura, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "Vth-Variation Compensation of Multiple-Valued Current-Mode Circuit Using TMR Devices, "Proceedings 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2008.

(5) T. Nagai, N. Onizawa, and T. Hanyu, "High-Speed Timing Verification Scheme Using Delay Tables for a Large-Scaled Multiple-Valued Current-Mode Circuit, "Proceedings 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2008.

(6) S. Matsunaga, J. Hayakawa, S. Ikeda, K. Miura, H. Hasegawa, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fabrication of a Nonvolatile Full Adder Based on Logic-in-Memory Architecture Using Magnetic Tunnel Junctions," Applied Physics Express (APEX), vol. 1, no. 9, pp. 091301-1-091301-3, Aug. 2008.

(7) D. Suzuki, T. Endoh and T. Hanyu, "TMR-Logic-Based LUT for Quickly Wake-Up FPGA,"51st IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.326-329, Aug. 2008.

(8) S. Matsunaga, K. Hiyama, A. Matsumoto, S. Ikeda, H. Hasegawa, K. Miura, J. Hayakawa, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Standby-Power-Free Compact Ternary Content-Addressable Memory Cell Chip Using Magnetic Tunnel Junction Devices," Applied Physics Express (APEX), vol. 2, no. 2, pp. 023004-1-023004-3, Feb. 2009.

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地域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．

＜2008 年度の主な成果＞

現在は，2 プロジェクト体制とし，センター専任としてモバイル分野・ストレージ分野を設置し，民間からプロジェクト担当教授を招聘した．平成 14 年度から平成 18 年度まで，文部科学省 IT プログラム（RR2002）のプロジェクトとして，「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し，研究開発を進めてきたが，平成 19 年度からはこれらの研究成果をさらに発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」と「超高速大容量ストレージシステムの開発」を実施している．各プロジェクトの概要と平成 20 年度の成果を以下に示す．

１．ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発

平成 19 年度に JST の CREST タイプ研究「ディペンダブル VLSI システムの基盤技術」に対して，新規プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」を提案し，採択された．提案プロジェクトは Dependable Wireless NGN（DWN）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 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領域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 ASIC への実装のための検討，90nm シリコン CMOS プロセスを用いた 60GHz 帯 RF IC 要素回路の開発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

本分野では，平成 19 年度から，文部科学省からの受託研究「超高速大容量ストレージシステム」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実施している．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．平成 20 年度は，テラビット級次世代垂直記録の要素技術開発のためのデバイス作成方法の検討，材料開発と物性解明，記録再生方式の開発，および，超高速並列階層型サブシステムの基本方式の開発を，平成 19 年度に引き続き実施した．

＜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
高木　直
藤本　和久
古西　真
長　康雄
村岡　裕明
鈴木　陽一
白鳥　則郎
大野　英男
羽生　貴弘
大学院工学研究科教授　安達　文幸
伊藤　隆司
大学院情報科学研究科教授　亀山　充隆
本研究所事務部長　西田　均

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。

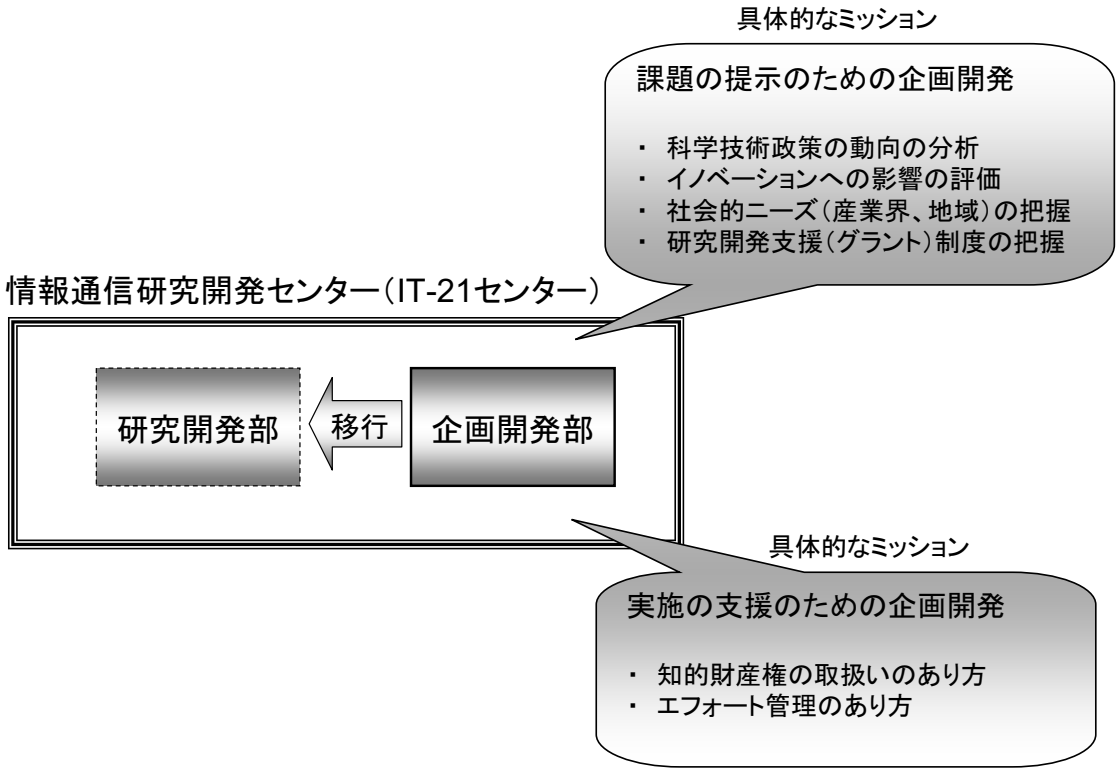
＜2008 年度の主な成果＞

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。

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等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＞

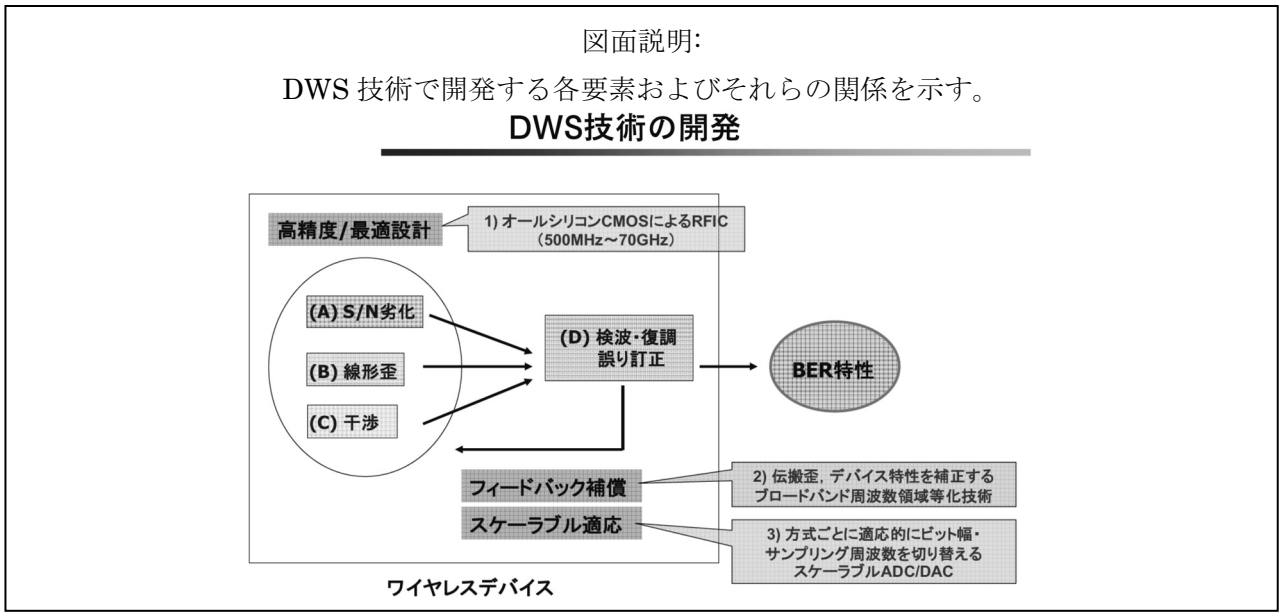
1984 年 3 月　東京大学工学部産業機械工学科卒業。1986 年 3 月　東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻修士課程修了。1986 年 4 月　科学技術庁（現　文部科学省）入庁。1991 年 11 月から 1994 年 4 月　青森県総括主幹（1992 年 4 月　副参事）。2000 年 7 月　通商産業省資源エネルギー庁公益事業部　統括安全審査官（2001 年 1 月　経済産業省原子力安全・保安院　統括安全審査官）。2002 年 5 月　文部科学省　情報科学技術研究企画官。2004 年 1 月　内閣官房内閣情報調査室　調査官。2005 年 1 月　経済産業省原子力安全・保安院　核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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

特になし。

IT-21センターモバイル分野

DWN (Dependable Wireless NGN) を実現するための DWS (Dependable Wireless System) 技術の開発



＜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，DWN を実現するための無線通信端末の構成要素 DWS 技術を開発する。特に以下の要素技術開発を行う。

1. オールシリコン CMOS による RFIC (Radio Frequency IC)
2. ディジタル回路による特性補償回路
3. 適応スケーラブル ADC/DAC (Analog-Digital Converter/Digital-Analog Converter)

＜2008 年度の主な成果＞

１．オールシリコン CMOS による RFIC

・5GHz 帯 Si CMOS VCO (Voltage Control Oscillator) において，1/f 雑音，および高調波によるバラクタ容量変動を抑圧する新たな回路を考案した。これを用いて VCO を設計評価し，チューニングレンジ 17.9%にわたり，位相雑音 -110.8dBc/Hz @1MHz の広帯域，低位相雑音の世界トップレベルの性能を得た。

・60GHz 帯 Si CMOS HPA (High Power Amplifier) において，ゲート幅最適化法，および高精度モデリング法を開発した。これを用いて HPA を設計評価し，59～66GHz において，利得 8dB，出力 8.8dBm，効率 14.5%の良好な性能を得た。

２．ディジタル回路による特性補償回路

・FPGA (Field Programmable Gate Array) に周波数領域等化回路を実装し，マルチパスフェージング伝搬環境下における BER (Bit Error Rate) 特性補償実験を行い，周波数領域

等価回路による BER 改善効果を実証した。従来はシミュレーションレベルでの評価が行われてきたが，初めて，ハードウエアを用いて実証した。今後は ASIC 化によりさらなる高性能化を目指す。そのための設計環境整備を行うとともに，周波数領域等化 ASIC を設計した。

３．適応スケーラブル ADC/DAC

・Si CMOS の微細化, 低電圧化に適した電流モードパイプライン型 ADC を考案した。ADC の部分回路の設計評価を行い，直流での動作を確認した。

＜職員名＞

教授　高木　直 (2005 年より)

客員教授　岩田　誠 (2003 年より)

＜教授のプロフィール＞

1973 年 3 月東京工業大学理学部物理学科卒業。1995 年静岡大学・博士（工学）取得。1973 年三菱電機㈱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。

＜2008 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Shimoyama, S. Yoshida, T. T. Thanh, K. Matsuzaki, H. Oguma, 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.

[2] S. Yoshida, K. Tsubouchi, A. Tosaki, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, and T. Takagi, "Radiation characteristics of ultra-small wireless communication modules for 60GHz band WPAN," 2008 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 108.11, July 2008.

[3] V. Gheorghiu, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, and F. Adachi, "Implementation of single carrier packet transmission with frequency domain equalization," 68th IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC2008-Fall), 4H-3, Sept. 2008.

[4] N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "First-ever report on MBWA system field trial: Interference issue in sectored cell layout," 68th IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC2008-Fall), 7E-4, Sept. 2008.

[5] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, T. Takagi, K. Tsubouchi, Y. Asano,and Y. Yamazaki, "Measured downlink throughput performance of MBWA system in urban area," IEEE Int. Symp. on Wireless Commun. Systems (ISWCS2008), Oct. 2008.

[6] Y. Aota, S. Tanifuji, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "AlN film using low temperature MOCVD process for FBAR," 2008 IEEE Int. Ultrason. Symp., P3J095-05, Nov. 2008.

[7] S. Tanifuji, Y. Aota, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Spurious vibration sppression by film thickness control for FBAR," 2008 IEEE Int. Ultrason. Symp., P3J094-04, Nov. 2008.

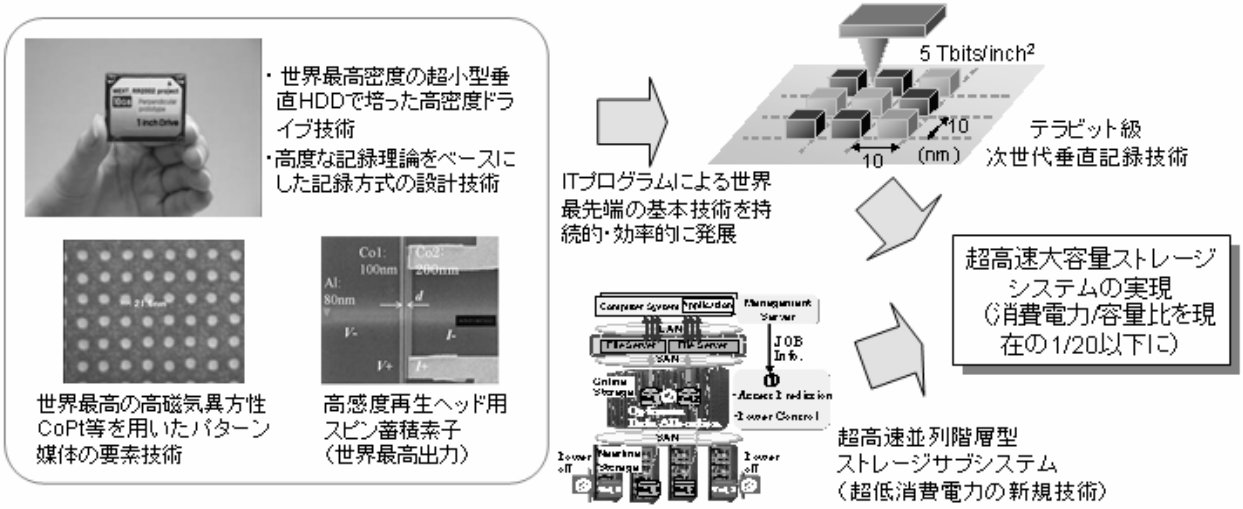
[8] 吉田 賢史, 竹内 太志, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, “多層 LCP 基板を用いた 5GHz 帯サスペンデッド結合バランの広帯域化,”信学技報, vol. 108, no. 311, MW2008-143, pp. 143-148, 2008 年 11 月.

[9] 小松 和寛, ヴァレンティン ゲオルギウ, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 安達 文幸, “シングルキャリア伝送用周波数領域等化器の LSI 実装,”信学技報, vol. 108, no. 250, SR2008-43, pp. 37-42, 2008 年 10 月.

[10] 柏村 育郎, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 飯塚 昇, 浅野 安良, 山崎 吉晴,“都市部における MBWA システムの特性～ 種々の基地局高における孤立セルの特性 ～,”信学技報, vol. 108, no. 250, SR2008-44, pp. 43-48, 2008 年 10 月.

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．

＜2008 年度の主な成果＞

テラビット級次世代垂直記録の要素技術開発のためのデバイス作成方法の検討，材料開発と物性解明，記録再生方式の開発，および，超高速並列階層型サブシステムの基本方式の開発を継続し，下記の成果を得た．

1) 次世代垂直記録媒体の開発：　$L1_0$型 FePt と同程度の大きな垂直磁気異方性を有し，且つ，組成調整により飽和磁化等の調整が可能な $L1_1$型(Co-Ni)-Pt 規則化合金垂直膜の形成に世界で初めて成功し，同薄膜が，次世代ナノパターン媒体ならびにエネルギーアシスト型グラニュラ媒体の基本材料として有望であることを明らかにした．また，表面異方性を取り入れた Hard/Soft スタック型次世代ナノパターン媒体を提案し，同媒体が ECC 型媒体よりもさらに 1.6 倍の高密度ポテンシャルを有することを示した．
2) 超高感度リーダ技術の開発：　日立と共同で，高出力化検討のための，新規構造スピン

蓄積素子の試作プロセスを構築し，さらに，高出力化のための高スピン分極材料の開発としてMgO-TMRを用いた初期検討を行なった．

3) 高分解能単磁極ライタ： 昨年度提案した高記録分解能化に有効な多段テーパ型主磁極の構造をシミュレーションにより最適化し，同構造のヘッドが，2Tbpsi の記録性能を有することを確認すると共に，同構造を有するシールドプレーナー型ヘッドの設計と一部の試作を開始した．
4) 超テラビット記録方式： 次世代ナノパターン媒体及びヘッドの特性を適切に制御することで，2Tbpsi の高密度記録が実現できることをシミュレーションにより明確化すると共に，スタティックテスタによるナノパターン媒体の記録再生評価の基礎実験を開始した．さらに，2Tbpsi 超の記録密度の達成に向け，次世代ナノパターン記録にエネルギーアシスト技術を併用した記録方式について，記録条件と信号品質との関係のシミュレーション解析を開始すると共に，グラニュラ系媒体を用いた新記録方式である2次元磁気記録方式について高密度化の可能性を探るシミュレーション解析を開始した．
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を，株式会社日立製作所，日本原子力研究開発機構と連携して実施した．試作した垂直HDDサブシステムの測定結果を元に，新規省電力アーキテクチャに基づく省電力効果を試算し，消費電力を1/2以下に削減できる見込みを得た．また，予知型２次元データ配置を制御する試作ソフトウェアを開発した．

＜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．

＜2008年度の主な発表論文等＞

[1] 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,” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 320, pp. 3088-3091 (2008).
[2] T. Shimatsu, H. Sato, H. Aoi., H. Muraoka, S. Okamoto and O. Kitakami, "$L1_1$-Type Co-Pt Ordered Alloy Films Fabricated by Sputter Deposition," *Magnetics Japan*., pp. 271-276 (2008).
[3] T. Shimatsu, H. Sato, K. Mitsuzuka, H. Kataoka, H. Aoi, S. Okamoto, and O. Kitakami, “Dot arrays of $L1_1$ type Co-Pt ordered alloy perpendicular films,” *J. Appl. Phys*, vol. 105, pp. 07C109 (1-3) (2009).
[4] H. Sato, T. Shimatsu, H. Kataoka, H. Aoi, S. Okamoto, and O. Kitakami, “Fabrication of $L1_1$-type (Co-Ni)-Pt ordered alloy films by sputter deposition,” *J. Appl. Phys*, vol. 105, pp. 07B726 (1-3) (2009).
[5] K. Mitsuzuka, T. Shimatsu, N. Kikuchi, O. Kitakami, H. Muraoka, and H. Aoi, “Magnetic properties of thin hard/soft-stacked dot arrays with a large uniaxial magnetic anisotropy,” *J. Appl. Phys,* vol. 105, pp. 07C103 (1-3), (2009).

３．８　安全で快適な環境の実現と維持による研究支援



安全衛生講習会



応急手当講習会

＜安全衛生管理室の概要＞

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

＜研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割＞

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

＜安全衛生管理室の活動内容＞

所内での実際の安全衛生管理では、まず安全衛生委員会が研究所における安全管理の基本的方針を示し、次に安全衛生管理室がそれに基づく具体的な行動内容の策定と実行を行っている。大学の組織は各部署（研究室など）の独立性が高いために、通常の会社組織と異なりトップダウン型の安全管理は不向きであり、各部署の自立性に即した対応が必要で

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

○ 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会・高圧ガス保安講習会の開催。
○ 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援。
○ 局所排気装置の定期自主点検の支援。
○ 応急手当講習会の開催。
○ 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
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

＜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．

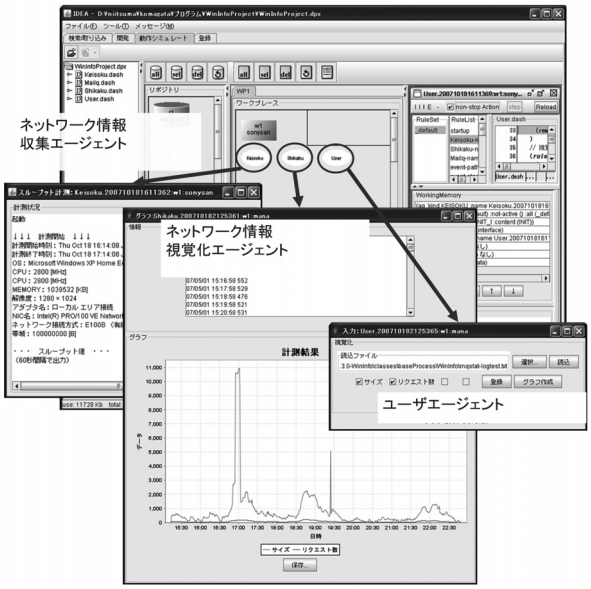


図１　エージェント型ネットワーク管理支援システム

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

＜2008 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，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認証手法の開発を行っている．本年度は文献1,2,3に示す成果が得られた．特に，文献3はSession's Best Paper Awardを受賞するなど，内外の研究者から高い評価を受けた．

(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実現する研究として，エージェント型のネットワーク管理支援システムやネットワークの長期的なデータ収集・蓄積システムを開発している．図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4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5,6に示す成果が得られた．また，生体内におけるやわらかい情報処理メカニズムに関する研究として，文献7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，ｻｲﾊﾞｰｻｲｴﾝｽｾﾝﾀｰ所属）
准教授　青戸 等人（2003年より）青木 輝勝（2008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
教育研究支援者　笹井 一人
研究支援推進員　大學 紀子／小林 憲一　鈴木 みどり　新妻 祥子

(3) 常勤職員

准教授　北形 元（2007年より）
助教　矢入 聡
教育研究支援者　笹井 一人
研究支援推進員　大學 紀子／小林 憲一，鈴木 みどり，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．

＜2008年度の主な発表論文等＞

1. Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Atsushi Takeda, Gen Kitagata, Kazuo Hashimoto, Norio Shiratori, "Context-aware Remote Healthcare Support System based on Overlay Network", WSEAS Transactions on Computers, Vol.7, No.9, pp.1505-1514, 2008.
2. Atsushi Takeda, Debasish Chakraborty, Gen Kitagata, Kazuo Hashimoto, Norio Shiratori, "A New Scalable Distributed Authentication for P2P Network and its Performance Evaluation", WSEAS Transactions on Computers, Vol.7, No.10, pp.1628-1637, 2008.
3. Debasish Chakraborty, Jun Makishi, Toshiaki Osada, Gen Kitagata, Atushi Takeda, Kazuo Hashimoto, Norio Shiratori, "Construction of Overlay Application Layer Multicast Tree for Efficient Multi-source Multimedia Communication", Proc. of the Fourth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS 2009), 2009.03. **(Session's Best Paper Award 受賞)**
4. Toshiaki Osada, Gen Kitagata, Debasish Chakraborty, Takuo Suganuma and Norio Shiratori, "A New QoS Routing Scheme Based on Bandwidth Consumption for MANETs", Journal of Information Processing, Vol. 17, pp.14-25, 2009.
5. 長田 俊明，牧志 純，北形 元，木下 哲男，白鳥 則郎，"多対多マルチメディア通信のための反復型アプリケーション層マルチキャストトリー構成法"，電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J92-B, No. 1, pp.98-108, 2009.
6. Satoshi Yairi, Yukio Iwaya, Yo-iti Suzuki, "Influence of Large System Latency of Virtual Auditory Display on Sound Localization Task", Acta Acustica united with Acustica, Vol. 94, No. 6, pp.1016-1023, November/December 2008.
7. Kazuto Sasai, Yukio-Pegio Gunji, "Heterarchy in biological systems: A logic-based dynamical model of abstract biological network derived from time-state-scale re-entrant form", Biosystems, Vol. 92, No.2, pp.182-188, 2008.

３．１０　高度な専門知識と技術に基づいた研究支援

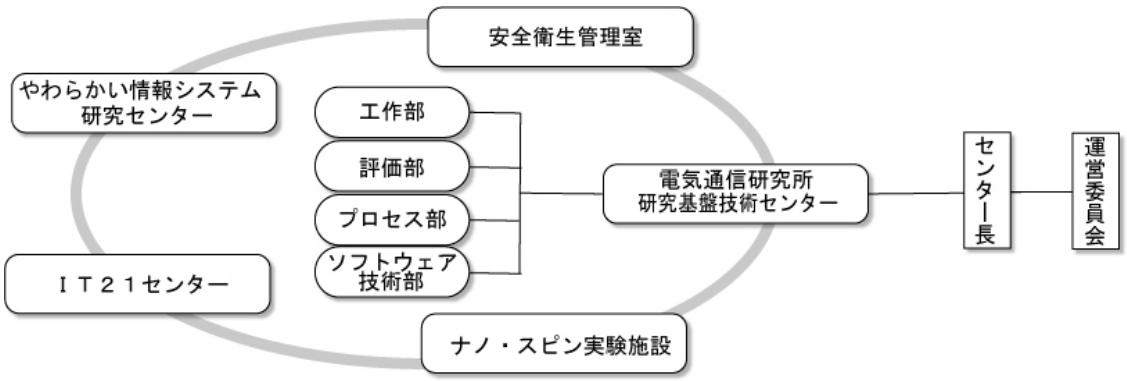
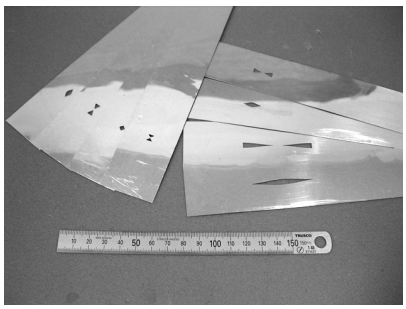


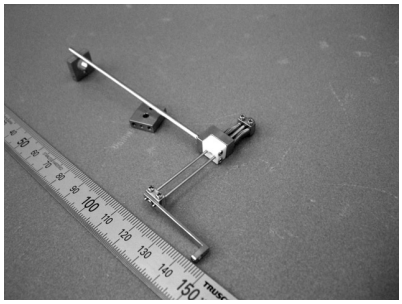
図　研究基盤技術センター　概略図



反射特性測定装置



FBG 作製用スリット

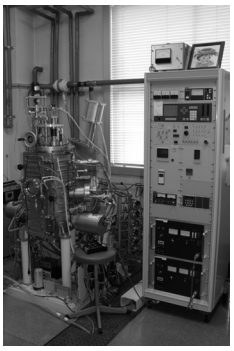


Si 電極ホルダー

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。

＜2008 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 128 件（所内 118 件、所外 10 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：27 件、上原研：11 件、鈴木研：8 件、中沢研：7 件、横山研：7 件、矢野研：5 件、藤本研：5 件、坪内研：3 件、青井研：3 件、大野研：3 件、評価部：3 件、尾辻研：2 件、やわらかい情報システム研究センター：2 件、伊藤研：2 件、八坂研：1 件、石山研：1 件、玉田研：1 件、ナノ・スピン実験施設：1 件、末光研：1 件、室田研：1 件、中島研：1 件、吉信研：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、走査型プローブ顕微鏡、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	田久　長一、我妻　成人、庄子　康一、末永　保、山下　毅、阿部　真帆、渡邉　博志、菅原　宗朋、今野　勇治、米澤　隆二

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２０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２０年度共同プロジェクト研究

平成２０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５９件（A：３３件，B：２４件，S：２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，３３件のうち２２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，２４件のうち１７件が外部よりの提案のものである。S タイプは組織間連携の共同プロジェクト研究であり，２件おこなわれ，いずれも外部よりの提案によるものであった。また，A タイプの研究のうち１０件に，B タイプの研究のうち１１件，また S タイプには，１件に民間の研究者が参加している。

平成２０年度共同プロジェクト研究採択一覧

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／Ａ０７	超伝導計算機の基礎と応用に関する研究
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／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／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
Ｈ２０／Ａ０１	プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究
Ｈ２０／Ａ０２	ナノフォトニクス・フォトニック結晶の応用のフロンティア
Ｈ２０／Ａ０３	ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御
Ｈ２０／Ａ０４	Ⅳ族半導体高度歪制ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究
Ｈ２０／Ａ０５	高移動度２次元ホールガスの作製
Ｈ２０／Ａ０６	知的ナノ集積システムとその応用に関する研究
Ｈ２０／Ａ０７	有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究
Ｈ２０／Ａ０８	イオンチャネルチップに関する研究
Ｈ２０／Ａ０９	人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究
Ｈ２０／Ａ１０	バイノーラル技術における音像定位の学習効果
Ｈ２０／Ａ１１	赤外光を用いた細胞チップに関する研究
Ｈ２０／Ａ１２	インターネット最適利用のためのコンピューティング環境の構築に関する研究
Ｈ２０／Ａ１３	傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究
Ｈ２０／Ａ１４	高度映像コンテンツ検索技術に関する研究
Ｈ２０／Ａ１５	再生像浮遊型立体映像技術に関する研究
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／Ｂ０６	生物における環境調和型適応システムの解明と工学応用

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
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ーワーキングに関する研究
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／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
Ｈ２０／Ｂ０１	金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究
Ｈ２０／Ｂ０２	高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用
Ｈ２０／Ｂ０３	新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究
Ｈ２０／Ｂ０４	ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究
Ｈ２０／Ｂ０５	半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合－技術を先導する半導体サイエンスを目指して－
Ｈ２０／Ｂ０６	量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究
Ｈ２０／Ｂ０７	高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究
Ｈ２０／Ｂ０８	光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究
Ｈ２０／Ｂ０９	次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究
Ｈ２０／Ｂ１０	高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル･システムソフトウェアの開発
Ｈ２０／Ｂ１１	推論エンジンを用いたプログラム自動検証法の研究
Ｈ２０／Ｂ１２	定理証明系とその応用に関する研究
Ｈ２０／Ｓ０１	スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発
Ｈ２０／Ｓ０２	スピントロニクス連携ネットワーク

○　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 3 月 31 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.shtml

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力係

電話：022－217－5422

共同プロジェクト研究

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 20 万円，旅費 17 万 5 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３年度であった。第１年度は，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。

第２年度は、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、その検出原理を理論的に解析し、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）が重要であることを示した。第２に、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、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。

本年度は、金属ナノワイヤあるいはカーボンナノチューブを HEMT のフローティングゲートとしたナノ構造を THz 波検出器として提案し、MHz／GHz 周波数で変調された THz 波に対する応答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２０年８月３日～5 日
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。

金属ナノワイヤあるいはカーボンナノチューブをHEMT のフローティングゲートとしたナノ構造をTHz 波検出器として提案した。図１にこの構造の模式図を示す。この構造にMHz／GHz 周波数で変調された THz 波が照射されると、二次元電子チャネル内の共鳴プラズマ振動が励起され、また MHz／GHz 変調によってフローティングゲートが共鳴的に力学的振動を起こす。これら二つの共鳴振動が同時に起こることにより、巨大な検出応答度が期待される。本研究では、チャネル内電子の流体力学方程式、フローティングゲートの力学的振動（調和振動）の式、フローティングゲート・キャパシタンスの式、およびチャネル／ゲート間の変位電流の式を組み合わせることで、理論解析モデルを構築した。このモデルを用いて計算した結果、図２に示すように、チャネルにおける基本プラズマ周波数Ωおよびゲートの共鳴周波数Ω_mに対応する周波数の THz シグナルが入力された場合、検出応答度が鋭いピークを持つことが示された。

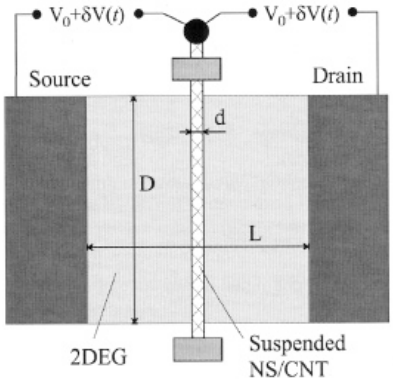


図１．金属ナノワイヤあるいはカーボンナノチューブを HEMT のフローティングゲートとしたナノ構造 THz 波検出器。

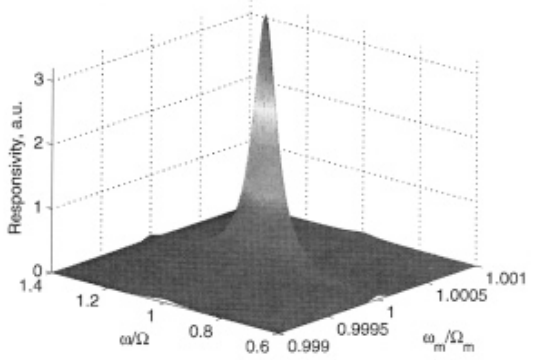


図２．応答度の入力周波数および変調周波数依存性。

（3－2）波及効果と発展性など

本年度の研究成果は、グラフェンナノ構造に基づいたナノメカニカル構造でのプラズマ波効果の研究への進展が見込まれる。

［4］成果資料

Papers in refereed journals

(1) V. G. Leiman, M. Ryzhii, A. Satou, N. Ryabova, V. Ryzhii, T. Otsuji, and M. S. Shur, “Analysis of resonant detection of terahertz radiation in high-electron mobility transistor with nanostring/carbon nanotube as the mechanically floating gate,” J. Appl. Phys., vol. 104, no. 2, pp. 024514 1-7, Jul. 2008.

共同プロジェクト研究

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：

分担者：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 25 万 4 千円，旅費 25 万円

［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３年度であった．初年度は，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．

第２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．具体的には，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評価した．その結果，あるストレス時間を超えると，電気的にはあたかも SiGe/Si ヘテロ界面が消失してしまったかのような急変を示すことがわかった，この現象のストレスバイアス依存性から，急変の原因がドレイン電流によるジュール熱であることが判明した．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．

本年度は，これまで界面準位の評価法として用いてきたチャージポンピング法による特性において，新たな過渡現象を観測し，その現象を理解することから，界面準位のエネルギー準位に関する情報を得られることがわかった．

以下，研究活動状況の概要を記す．

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

チャージポンピング（CP）法は MOS 構造のゲート絶縁膜／半導体界面の界面準位密度を高精度に評

価できる方法として知られている．図 1 に SiGe-pMOS における CP 電流のゲートパルスベース電圧 V_{BASE} 依存性を示す．図に示すように，MOS 構造がゲートパルスによって十分に反転状態と蓄積状態が交互形成されているにもかかわらず，CP 電流の最大値 I_{CPMAX} がゲートパルスの立上り時間 t_r に依存しており，t_r の増加と共に I_{CPMAX} が減少していることがわかる．この現象はよく知られており，次のように説明される．

蓄積状態から反転状態に移る過程を詳細に考えてみると，t_r が十分短い場合には，界面準位に捕獲されている電子の，伝導帯への放出過程の時定数の関係で，伝導帯付近の界面準位に捕獲されている電子が弱蓄積状態の伝導帯へ戻ることが抑制される．しかし，t_r が長い場合には，戻ることができる．このため，ゲートパルスの立上りが急峻なほど，反転状態において正孔と再結合できる界面準位捕獲電子数が多くなり CP 電流が増加することになる．

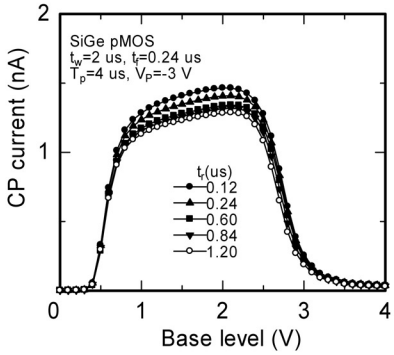


図 1　CP 特性のゲートパルス立上り時間依存性

今回，図 2 に示すように CP 特性の立上り部分がゲートパルス幅 t_W に依存するという新たな現象を見出した．この場合，パルス周期を一定にしているため，パルスの ON 時間に依存していることになる．そこで，2.4～2.9 V の V_{BASE} 範囲で，V_{BASE} をパラメータとして I_{CP} の ON 時間依存性を求めた．結果を図 3 に示す．図からわかるように I_{CP} が ON 時間 t に対して飽和特性を示しており，時定数を t_T として次式で表すことができる．

$$I_{CP} = I_{CP0}[1 - \exp(-t / t_T)] \quad (1)$$

(1)式を変形した次式を用いて図 4 を作成し t_T を導出した．

$$1 - I_{CP} / I_{CP0} = \exp(-t / t_T) \quad (2)$$

図 4 に示すように，V_{BASE} に依存しているが t_T として 0.7～2.6 μs の値が得られた．

以下で考察するように，この時定数は価電子帯の

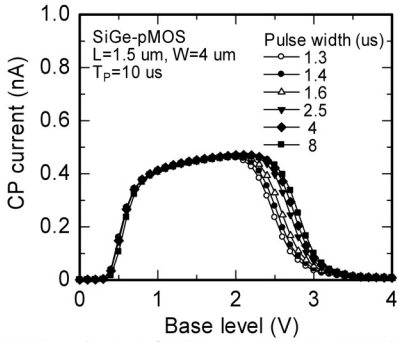


図2　CP 特性の立上り部分に見られる CP 電流のゲートパルス幅依存性

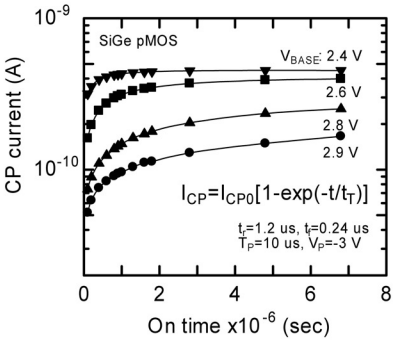


図 3　CP 特性の立上り部分での過渡特性 (V_{BASE} をパラメータにした I_{CP} のゲートパルス ON 時間依存性)．

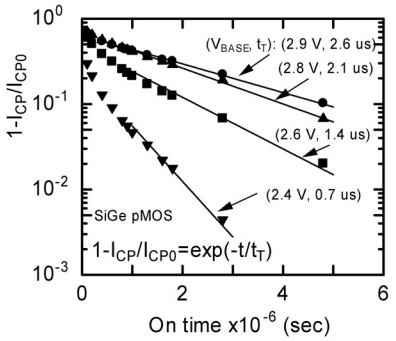


図 4　過渡 CP 特性の時定数.

反転正孔の界面準位への捕獲過程に係るものと考えられる．

図 5 に CP 特性の立上り部分での，CP 測定中の pMOS 界面における半導体のエネルギーバンド図を示す．ここで留意すべきことは，CP 特性の立上り部分においては，ゲートパルスによって十分な蓄積状態が形成されているものの，十分な反転状態は形成されていない点である．蓄積状態（図(a)）では伝導帯の蓄積電子が界面準位に捕獲される．反転状態（図(c)(c')）では反転正孔による界面準位捕獲電子との再結合が起こるが，この際，反転層が十分でないために反転正孔濃度が低く，捕獲電子との再結合に時間を要する．この過程が図 3 および図 4 の過渡特性に現れていると考えられる．

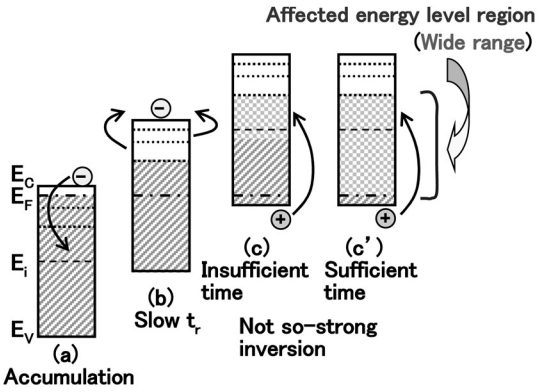


図 5　CP 特性の立上り部分での，CP 測定中の pMOS 界面におけるエネルギーバンド図

このように，CP 電流に影響を及ぼす界面準位のエネルギー範囲はバンドギャップ内の広範囲に及んでいる．つまり，この場合に得られるキャリア捕獲の時定数はバンドギャップ内の広範囲なエネルギー領域に存在する界面準位の寄与を含んでいると考えられる．したがって，界面準位を数個しか有していないようなナノスケール MOSFET においては，この時定数を評価することによって界面準位の離散的エネルギー準位を評価することが可能になると考えられる．

また，以上で扱ってきた CP 特性は室温で測定したものであり，電子や正孔が捕獲される“pMOS 界面準位”と表現してきたものは実は MOS 界面準位と SiGe/Si ヘテロ界面準位の両者を含んでいる．したがって，低温チャージポンピング（LTCP）法を用いれば，SiGe/Si ヘテロ界面準位のみにおけるキャリア捕獲過程の時定数が求めることが可能と考えられる．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト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．昨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．また今年度の成果から，界面準位を数個しか有していないようなナノスケール MOSFET における界面準位物性の揺らぎ評価が可能になる．

［4］成果資料

(1) 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,” Thin Solid Films, vol. 517, no. 1, pp. 346-349, Nov. 3, 2008.
(2) T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba, and J. Murota, “Transient Charge-Pumping Characteristics Related to Heterointerface Traps in SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs,” 4th International SiGe Technology and Device Meeting, Hsinchu, Taiwan, pp. 64-65, May. 11-14, 2008.
(3) T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba, and J. Murota, “Transient Charge-Pumping Characteristics Related to Heterointerface Traps in SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs,” 4th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, pp. 55-56, Sep. 25-27, 2008.
(4) T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba, and J. Murota, “Capture/Emission Process of Carriers in Interface Traps Observed in the Transient Charge-Pumping Characteristics of MOSFETs,” 39th IEEE Semiconductor Interface Specialist Conference (SISC 2008), San Diego, USA, Dec. 11-13, 2008.
(5) 土屋敏章，櫻庭政夫，室田淳一，“SiGe/Si ヘテロチャネル MOSFET における過渡チャージポンピング特性，”電気学会　電子材料研究会資料 EFM-08-24，pp. 1-5，2008 年 9 月 27 日．
(6) 土屋敏章，“シリコン及びシリコン系ヘテロ MOS デバイスの信頼性物理，”第 5 回薄膜材料デバイス研究会，奈良 100 年会館，pp.27-33, 2008 年 10 月 31 日-11 月 1 日．（招待講演）
(7) 土屋敏章，“MOS デバイスにおける信頼性物理とヘテロ界面に関する研究，”応用物理学会中国四国支部貢献賞受賞記念講演，メルパルク松山，松山，2008 年 8 月 1 日．
(8) 森　祐樹，櫻庭政夫，室田淳一，土屋敏章，“SiGe チャネル MOS トランジスタのホットキャリア効果，”応用物理学会中国四国支部 2008 年度学術講演会，Da-11, p. 88, 2008 年 8 月 2 日（愛媛大学）．
(9) 森　祐樹，櫻庭政夫，室田淳一，土屋敏章，“SiGe チャネル pMOSFET におけるホットキャリアストレス中の基板電流変化，”第 10 回 IEEE HISS（IEEE 広島支部学生シンポジウム），pp. 284-286, 2008 年 11 月 21-23 日（広島県立産業会館）．

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（成蹊大学理工学部）
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 31 万 8 千円，旅費 60 万 4 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ヘッドマウントディスプレイのような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，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３年度である．前年度は，ウェアラブル情報共有空間の実現のため，センサー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の検討を行った．本年度はこれら前年度の成果を踏まえながら，実際にウェアラブル情報共有空間を実現するアプリケーションシステムやウェアラブル情報共有空間のための各種手法やプロトコルの評価を中心に行った．その結果，「位置情報」および「グリーン IT」というキーワードが明らかとなってきた．

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 20 年 12 月 19 日～12 月 20 日
場所：東北大学電気通信研究所
Ａ．講演と報告
(1)「P2P　Universal Computing」水野忠則（静岡大学）
(2)「生活習慣の継続的モニタリングと行動変容に応じた健康改善サービスの実践的検証に関する研究」富樫　敦（宮城大学）
(3)「モバイル P2P のための Bloom フィルタ構成方式」佐藤文明（東邦大学）
(4)「ユビキタス・ウェアラブル情報空間の創出に向けて」塚本昌彦（神戸大学）
(5)「安心に関する研究」村山 優子（岩手県立大学）
(6)「都市環境でのソフトウェア・インテンシブ・システムの開発」東野 輝夫（大阪大学）
(7)「アドホックネットワークにおけるセキュリティ」高橋　修（はこだて未来大学）

(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)「自然にやさしいセンサーネットワークの構築技術」渡辺　尚（静岡大学）
(10)「香りのパルス射出に関する研究」岡田謙一（慶応義塾大学）

［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）オートバイレースでピットクルーと観衆を支援するウェアラブルシステム

オートバイレースはモータースポーツの中でも人気のあるもので，多くのファンがサーキットを訪れレースを観戦する．しかし，観衆とピットクルーは一部の情報のみを得るのみで，詳細な情報を得ることは，テレビで紹介される有力チーム以外は困難であった．これまでヘッドマウントディスプレイと小型 PC によるウェアラブルなピットクルー用の情報収集システムを開発してウェアラブル情報共有空間を形成してきたが，この問題を解決するために，今回はこれを観衆用にも拡張し，詳細な順位と贔屓のチームの情報を提供できるようにした．その結果，贔屓のチームの支援に多大な効果があり，観衆から高く評価されるシステムとなった.

（2）アドホック無線通信を用いた位置推定法の現実環境を想定した性能評価

ウェアラブル情報共有空間はいたるところで形成されるため，位置の推定が重要となってくる．これまでに都市環境における無線端末向けの高精度な位置推定法 UPL を提案してきたが，今回は端末の消費電力を削減する一手法を示すとともに，現実環境を想定したシミュレーションによる性能評価を行うことで，現実環境における UPL の課題発見と解決を図った．UPL では端末間で位置推定に必要な情報をやり取りする必要があるが，電力節約のためにその通信量をできるだけ節約することが求められる．このため，周辺端末の密度やそれらが保有するデータを推測し，推定精度の低下を抑えつつ自律的に通信量を削減できる方法を考案した．また，実環境での無線範囲の不安定性を考慮した無線範囲モデルを導入し，性能に与える影響を調べた．さらに，現実的な人の行動をユーザ記述可能なネットワークシミュレータ MobiREAL を用いて歩行者の信号待ちを再現することで，端末密度の分布が不均一な状況における性能を評価した．評価結果より，考案した手法によって推定精度の低下を抑えつつ通信量を削減できること，及び，無線範囲が不安定な場合や端末密度の分布が不均一な環境でも，実用上十分なレベルの推定誤差を達成できることを確認した.

（3）無線センサーネットワーク省電力化機構 HGAF の実環境評価

ウェアラブル情報共有空間は多くのセンサーからなる無線センサーネットワークを使用する場合が多い．無線センサーネットワークは小型の無線センサーノードを観測したい領域に複数配置し，自律的に観測ネットワークを構築することで情報を収集するものである．無線センサーノードは電源容量が限られるため，ネットワークの維持のために稼働端末の省電力化が必要である．位置情報を利用した省電力手法である GAF (Geographic Adaptive Fidelity)に階層構造を導入し，活動ノード数を減らすことで省電力化を図る電力制御手法 HGAF (Hierarchical Geographic Adaptive Fidelity)を提案し，シミュレーションによって GAF に対する優位性を示してきた．今回はこの HGAF を市販の無線センサー端末 MICAz-Mote に実装し，実環境において HGAF と GAF を等しい条件下で稼働させ，実環境における HGAF の優位性を確認する実験を行った．その結果，HGAF は GAF に対して省電力性能において優れていることを確認した.

（4）絵文字チャットコミュニケータ II

ウェアラブル情報共有空間では，国を越えて離れたところで言語の異なる外国人ともコミュニケーションをとることが考えられる．現在普及しているチャットやインスタントメッセージといったテキスト形式での会話は言語の異なる人同士において言語の違いが壁となる．そこで，手持ち可能な小型 PC 上で絵文字のみでチャットを行う，絵文字チャットコミュニケータ II を開発し，異なる言語を持つ人同士のコミュニケーションの支援に適用してきた．このシステムは 500 個以上の絵文字を持つ．これまでの適用結果を踏まえ，使用する絵文字とグルーピングを変更し，海外（米国とベトナム）で言葉の異なる人同士での実験を８回おこなった．その結果，新しく追加した絵文字（主語，動詞，形容詞，5W1H，アルファベット等）の使用が全体の 44%あり，絵文字チャットの平均の理解度は 91%（従来は 83%），平均のチャット行数は 2.4 行/分（従来は 1.3 行）となり，15 分程度の限定された会話ではあるが，言葉の異なる人とコミュニケーションがとれることが明らかとなった.

（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，本プロジェクトのメンバーである白鳥，東野，岡田，水野，宗森を中心とする新しい国際学会（Informatics Society）を設立し，国際会議 IWIN (International Workshop on INformatics) 2008 を 2008 年 9 月にウィーンで開催するに到った．さらに Informatics Society の論文誌

(International Journal of Informatics Society) 第１号を平成21年１月に出版した(ISSN 1883-4566).

本プロジェクト全体を通して，ウェアラブル情報共有空間は国を越えて自由な場所で構築できるようになりつつあり，精密な位置情報の推定や電池駆動のウェアラブル機器自体の効率的運用や機器間の通信量の削減による省エネ等が重要であることなどが明らかとなった．このことは昨今話題となっているグリーンITに強く結びつくことにもなった．

このように本プロジェクトで明らかと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，エンターテイメント，エクソテインメント(Exercise + entertainment)，ホーム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，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) Kumiko Maeda, Akira Uchiyama, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Keiichi Yasumoto and Teruo Higashino: “Urban Pedestrian Mobility for Mobile Wireless Network Simulation”, *Ad Hoc Networks*, Elsevier, Vol.7, No.1, pp. 153-170 (Jan. 2009).

(2) 内山 彰, 藤井 彩恵, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 輝夫：“アドホック無線通信を用いた位置推定法の現実環境を想定した性能評価”，情報処理学会論文誌, Vol.49, No.10, pp.3612-3621 (Oct. 2008).

(3) Satoshi Utsumi, Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Norio Shiratori: “TCP-Cherry: A New Approach for TCP Congestion Control Over Satellite IP Networks”, *Computer Communications*, Vol.31, pp.2541-2561 (April 2008).

(4) Takashi Osawa, Tokuya Inagaki, Susumu Ishihara: “Implementation of Hierarchical GAF, a Cooperative Power Saving Scheme for Sensor Networks”, *Proceedings of International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC 2009)*, pp.172-179 (Jan. 2009).

(5) 渡辺晃一郎，竹内達史，井上智雄，岡田謙一：“操作者識別を利用した対面協調作業支援システム”，電子情報通信学会論文誌(D)，Vol.J91-D, No.12, pp.2755-2764 (Dec. 2008).

(6) Tsukasa Kudou, Masahiko Ishino, Kenji Saotome, Nobuhiro Kataoka and Tadanori Mizuno: “Implementation of Integrity Maintenance Method of Query Result by Bitemporal Database”, *International Journal of Informatics Society*, Vol.1, No.1, pp.16-26 (Jan. 2009).

(7) 神戸英利，三井浩康，小泉寿男：“モジュール間相互関連表示を活用した組込みソフトウェア再利用開発の共同見積り手法とその適用評価”，電気学会論文誌Ｃ，Vol.129, No.2, pp.355-365 (Feb. 2009).

(8) Hirokazu Ookuzu, Yosuke Sato, Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata: “A New Teleconference System by GigaEther Omni-directional Video Transmission for Healthcare Applications”, *The 2008 International Computer Symposium (ICS2008)*, pp.431-436 (Nov. 2008).

(9) Akira Otaka, Tsuyoshi Takagi, Osamu Takahashi: “Network Forensics on Mobile Ad-Hoc Networks”, *I. Lovrek, R. J. Howlett, and L. C. Jain (Eds.):KES 2008*, Part III, LNAI5179, pp.175-182 (Sept. 2008).

(10) Tsutomu Terada, Masakazu Miyamae, Yasue Kishino, Takehito Fukuda, Masahiko Tsukamoto: “A Wearable System for Supporting Pit-Crew and Audiences on Motorbike Races”, *Proceedings of MoMM2008*, pp.74-81 (Nov. 2008).

(11) 児玉賢治，藤田直生，柳沢 豊，塚本昌彦，義久智樹：“センサノードのための加速度データに基づくルール型動作制御方式”，情報処理学会論文誌, Vol.49, No.11, pp.3732-3742 (Nov. 2008).

(12) Huifang Chen, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno: “Adaptive Data Aggregation Scheme in Clustered Wireless Sensor Networks”, *Computer Communications*, Vol.31, pp.3579-3585 (June 2008).

(13) Yuhei Kanekiyo, Shigeaki Tagashira, Tsuneo Nakanishi, Akira Fukuda: “Positional Error Correction based on User Collaboration for WLAN Positioning System”, *Proceedings 2009 International Conference on Mobile Communications and Pervasive Computing (MCPC 2009)*, to appear (March 2009).

(14) Yasuhiro Fujihara, Yuko Murayama and Kentarou Yamaguchi: “A User Survey on the Sense of Security, Anshin”, *Proceedings of the IFIP TC 11 23rd International Information Security Conference*, pp.699-703 (July 2008).

(15) Masaki Bandai, Takamasa Mioki, Takashi Watanabe: “A Routing Protocol with Stepwise Interest Retransmission for Wireless Sensor Networks”, *IEICE Trans. Commun.* Vol.E91-B, No.5, pp.1446-1453 (May 2008).

(16) Moonyati Binti Mohd Yatid, Taro Fukuda, Junko Itou, Jun Munemori: “Pictograph Chat Communicator II: A Chat System that Embodies Cross-cultural Communication”, CSCW’08, poster paper (Nov. 2008).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ１８／Ａ０４

採択回数	１　２　③

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 20 万 0 千円，旅費 13 万 5 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三年度である。第二年度までには、素子および回路シミュレータの研究開発と、回路試作に向けた要素技術の立ち上げとを平行して進めてきた。最終年度にあたってまず第一および第二年度の経過を総括する。

第一に、スイッチ線路について解析的手法を用いた検討を精密化し、設計指針確立とデバイス構造の策定とを行った。共鳴トンネルダイオード (RTD) を装荷した伝送線路が本研究のキーデバイスとして要求を満足することを明らかにした。そして、InGaAs/InP 系 RTD の等価回路モデルを汎用回路シミュレータである SPICE 上に実装し簡易設計の方針を定めた。

第二に、時間領域でマクスウェル方程式を解く FDTD 法による精密回路設計手法の構築を行った。区分的線形関数によって非線形素子の電流電圧特性を模擬することで計算コストの大幅な低減を行うツールを開発、運用する段階に至った。

以上を踏まえ、最終たる平成 20 年度の研究経過を示す。本年度の目標は、スイッチ線路の光源利用に関する動作原理の実証である。以下研究経過を具体的に示す。

当初、東北大学において RTD プロセスによる光源開発を念頭においたが、プロセス最適化に予想以上の困難が伴った結果、研究計画の遅滞ない進捗に悪影響が予想されるに至った。一方、動作原理の実証は使用する素子の速度性能によらず多大なるインパクトを有する。原理実証のための計画変更を進めた。このために、RTD プロセスを用いたモノリシック集積回路による提案光源の開発を改め、エサキダイオード個別部品を主要部品とするブレッドボード回路による動作確認を優先する形態とした。この間、次年度以降の InP プロセスにおける回路設計に遅滞を生じないよう、電磁界解析を用いた設計ツールの成熟化に努めるものとした。

本研究のターゲットは、提案する光源の動作原理実証を第一とし、高速性に秀でる RTD を用いた光源開発を第二とすえた。本研究テーマの新規性を念頭におくとき，第一のターゲットについて成果が与えられば、十分なインパクトを世に与えることになる。変更によって、第二のターゲットには遅滞が生ずるものの、研究の本来の価値には一切影響しない。

原理確認は、ブレッドボードを用いて MHz 帯での実験において行うこととした。そして、個別部品を揃えスイッチ線路を構築し、電気パルスを入力、オシロスコープで線路上の各ノードの時間応答、ならびにスペクトルアナライザを用いた周波数応答を実測する形態を念頭においた。パルス圧縮効果ならびにパルスエッジの往復伝搬をともに実証することが目的となる。一方、設計ツールの成熟化については、FDTD 法による三次元線路解析を進め、近い将来に行われる集積回路試作に向けた準備の形態で進めることとした。併せて、研究分担者（山形大学院生）には電気光学サンプリング計測系の取り扱いの修得を図り、サブミリ-THz 帯信号計測に備えた。

【研究交流実績】

H20.7.4 参加者：3 名【研究方針策定】
H20.7.7-9 参加者:4 名【計測系技術修得】
H21.2.2-3 参加者:9 名【20 年度研究総括】

［3］成果

（3-1）研究成果

本研究では、スイッチ線路を用いて、極短パルスならびに連続信号生成に関して動作原理の実証を課題とした。これと併せて、FDTD 法を用いて微細構造を表現し電磁界解析を行うとした。まず、短パルス生成、連続光生成のそれぞれについて得られた帰結を詳述する。続いて FDTD 解析の帰結を述べる。

【スイッチ線路を用いた極短パルス生成】

ブレッドボードを用いて回路を試作し実験的検証を行った。スイッチにはエサキダイオード(NEC 1S1763)を使用した。エサキダイオードのピーク電流値およびピーク電圧値は、それぞれ 6.0 mA、85 mV である。また、線路インダクおよび線路容量にはそれぞれ、1.0 μH のインダクタ(TDK SP0508)、10 nF のコンデンサ(TDK FK24C0G1)を使用した。これらの素子を用いてブレッドボード上に 48 ノード分の回路を作成した。ファンクションジェネレータ(Agilent 81150A)を用い、半値全幅 2.0 μs のガウシアンパルスを入力した。そして、オシロスコープ(Agilent DSO90254A)を用いてそれぞれのノードに関して波形を測定した。図 1 に測定した波形を示す。ここで n は測定したノード数を示している。図からわかるとおり入力されたパルスは急激に圧縮される。

次に規格化コンダクタンスによる影響について検証するため線路容量を様々に変化させた回路について計測を行い、設計の帰結を踏襲する形でのパルス圧縮が確認された。この動作の実証はきわめて意義深い。理論的予測において、正弦モードと指数モードのハイブリッド伝播とその波数整合によるパルス圧縮を主張した。計測結果は、最終パルス幅が線路の規格化コンダクタンスによって一意に定まることができ、線路の規格化コンダクタンスが同じであれば最終パルス幅は入力によらないことも併せて実証することができた。

【スイッチ線路を用いた連続信号生成】

パルス圧縮の場合と同様にブレッドボードを用いて回路を試作した。この場合には、先の回路において 1.0 Ωの抵抗(Tyco Electronics CFR25J)をシリーズに挿入した。これらの素子を用いてブレッドボード上に 36 ノード分の回路を作成した。入力にはパルス幅 30.0 μs、立上り立下り時間 1.0 μs の矩形波を与えた。図 2 に入力振幅 1.63 V について、第 1 ノード目を観測したときの時間応答波形を示した。定点で観測すると、パルスエッジの往復伝搬によって示されるような櫛形の波形が得られる。インセットには“櫛”一本を拡大した。往路における正

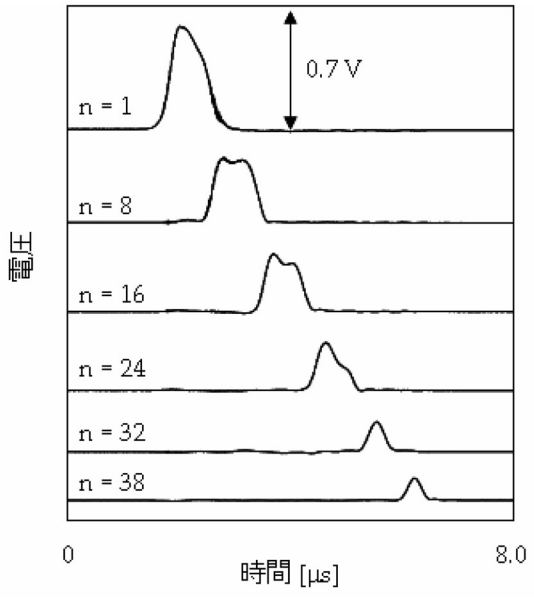


図 1 ：試作回路の計測結果

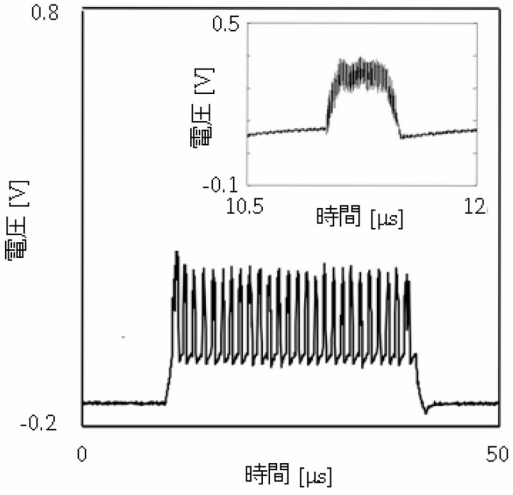


図 2：連続光生成

弦モード、復路における指数モードの励起に伴って激しい振動が得られている。

サンプリングオシロスコープにおいてアベレージングを十分とし、波のコヒーレント成分のみを抽出した波形からは、線路途上でエッジの前進伝搬が途絶え、後進伝搬に転ずる様子を陽に確認することもできる。さらに、パルスエッジの到達距離が入力振幅に強く依存することが実証された。この周波数可変幅が極めて大であることを併せ確認することができた。このことの技術的インパクトは極めて大きい。

【高周波化に向けた FDTD 解析】

ミリ波-THz 波帯に至る一層の高周波パルスの生成および高周波発振を得るためには回路の IC 化が必要不可欠である。そこで IC 化に向けた検討として FDTD 法を用いた電磁界解析を行った。FDTD 法は、マ

クスウェルの微分方程式を差分化し、時間領域で解く方法である。昨年度の研究実施により構築したFDTD設計ツールを用いた。InP系RTDの電流電圧特性を27点の区分的線形関数で近似した。実用的には信号線とグラウンド面を同一の層に製作可能なコプレーナ型線路構造が適している。そこで、次年度以降のRTD試作に向けて、線路の長手方向に2.0 mm、エピ方向に53 μm、これらと直交する方向に427 μmを設けたコプレーナ構造のRTD線路の電磁界解析を系統的に行った。実践的線路構造を用いた解析によって、線路長725 μmにおいてパルス幅が0.52 psまで圧縮された。一方、同一の線路にステップ状パルスを入力したときには、パルスエッジの振動を与えることを確認した。あわせて、前進に際しては正弦モードと指数モードのハイブリッド伝播、後進に際しては指数モードのみによる定常伝播が見られた。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究で明らかになった短パルス・連続光生成の成果は，従来困難であった広帯域にわたるマイクロ波-THz帯での全電気信号源を与える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，今後の発展が期待される。本プロジェクト研究の実施によって、具体的な回路設計指針が得られ、原理動作が実証された。近い将来においてRTDプロセスによる回路試作を行い動作確認に至れば相当のインパクトをもって受け入れられるに相違ない。

また本プロジェクトの遂行に当たっては複数の山形大学大学院生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実験系の取り扱いについて研鑽を積んだ。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。

［4］成果資料

【１】"Experimental observation of oscillating wave propagation on switch lines for generation of continuous electromagnetic waves," K. Narahara, A. Yokota, Research Letters in Electronics (2009).

【２】"Experimental characterization of short pulse generation in switch lines," K. Narahara, A. Yokota, IEICE Electronics Express 5, no. 22, pp. 973-977 (2008).

【３】"二次元ショットキーCRLH線路を用いた空間的孤立波生成と応用," 中道徹, 楢原浩一, 信学技報 108, No. 256, pp. 35-40 (2008).

【４】"Nonlinear plasma waves in coupled two-dimensional electron systems," Y. Suzuki, S. Nakagawa, K. Narahara, to appear in Jpn. J. Appl. Phys (2008).

【５】"Management of spatially-localized pulses in two-dimensional composite right- and left-handed transmission lines periodically loaded with Schottky varactors," T. Nakamichi, S. Nakagawa, K. Narahara, Jpn. J. Appl. Phys. 47, pp.6583-6587 (2008).

【６】"Characterization of plasma waves in gated two-dimensional electron systems," K. Narahara, Y. Suzuki, J. Appl. Phys. 103, pp. 233011-4 (2008).

【７】"Fullwave analysis of quasi-steady pro-pagation along transmission lines periodically loaded with resonant tunneling diodes," K. Narahara, A. Yokota, Jpn. J. Appl. Phys. 47, pp.1126-1129 (2008).

【８】"二次元ショットキーCRLH線路を用いた空間的孤立波生成と応用," 中道徹, 楢原浩一, 電子情報通信学会EMCJ/MW共催研究会, 2008年10月 (山形大学).

【９】"多段CRLH線路の設計に関する検討," 中川俊, 楢原浩一, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2008年09月 (明治大学).

【10】"RTD線路の波動伝播特性のフルウェーブ解析," 横田聡裕, 楢原浩一, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2008年09月 (明治大学).

【11】"二次元電子二重層における非線形プラズマ波の特性解析," 鈴木佑太, 楢原浩一, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2008年09月 (明治大学).

【12】"Electromagnetic continuous-wave generation using switch lines," K. Narahara, J. Appl. Phys. 100, pp. 64908 1-5.

【13】"Generation of electrical-short pulse using Schottky line with periodically-loaded electronic switches," K. Narahara, T. Otsuji, E. Sano, J. Appl. Phys. 100, pp. 24511-24515.

【14】"Pulse compression by quasi-steady propagation along switch lines," K. Narahara, T. Otsuji, E. Sano, Jpn. J. Appl. Phys. 45, pp. 5692-5695 (2006).

【15】"非線形線路を用いた新しい全電気極短電気パルス生成法の提案," 楢原浩一、尾辻泰一、佐野栄一, 信学技報 ED2005-245, pp. 43-48 (2006).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ１８／Ａ０７

採択回数	１　２　③

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）
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）
太田 幸宏　（原子力研究開発機構
システム計算科学センター）
研究費：物件費３１万４千円，旅費４８万８千円

［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。

最終年度にあたる本年度は，12 月 17，18 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。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における接合間相互作用と MQT」，北野晴久（青学大）
2)「固有ジョセフソン接合列の集団力学について」，佐藤茂雄（東北大）
3)「固有ジョセフソン接合での THz 発振のシミュレーション」，小山富男（東北大）
4)「超伝導非線形共振器を用いた磁束量子ビットの状態読み出し」，猪股邦宏，渡部道生（理研），山本剛，中村泰信，　蔡兆申（理研，NEC）
5)「グラフェンと超伝導の接合系の物性について」，林　正彦（秋田大）

6)「再構成可能なデータパスを持つ SFQ プロセッサの実証」，藤巻　朗（名大）
7)「超伝導多層集積回路内でのインダクタンス設計」，水柿義直（電通大）
8)“Positive Effects of Heat Generation on Josephson Radiation in Intrinsic Jospephson Junctions”，町田昌彦（JAEA）
9)“Josephson plasma modes and vorticesin 2-gap intrinsic Jospephson junction stacks”，太田幸宏（JAEA）
10)「単一磁束量子論理による FLL 回路を用いたデジタル DROS の構成」，明連広昭（埼玉大）
11)「単一磁束量子回路を用いた浮動小数点演算器の開発」，吉川信行（横国大）

［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を目的として各種要素技術の改良が図られた。具体的には、高速動作に適したゲート／PTL 直結型セルを用いたセルライブラリの構築、テスト回路試作によるセルライブラリの検証、グランド電流を考慮したカレントリサイクル技術の開発、FFT プロセッサの製作と 16GHz 動作の実証、配線技術の改良、三次元実装技術の検証などが行われた。また、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改良が行われた。

第2に、Bi-2211 固有ジョセフソン接合における量子共鳴特性を詳細に検討し、ラビ振動の観測に必要な条件を見出した。電磁波とデバイスの結合が弱い場合、Q 値が低下することを数値シミュレーションによって明らかにした。またスイッチング電流分布の測定結果が単接合の力学では説明不可能であること、固有ジョセフソン接合間の静電結合の存在により接合列が集団として運動することを明らかにした。以上から、量子ビット等への応用には集団運動の理解が必要不可欠であること、現状の実験手法では集団運動する接合列の臨界電流を求めることが困難であるとの知見を得た。これら知見を反映した実験方法の検討、力学モデルの検証は今後の課題となった。

第3に、多層化された超伝導集積チップ内での超伝導配線インダクタンス抽出およびその配置依存性について、実験および数値計算による解析を行った。多層化された超伝導集積チップ内では、複数の層を超伝導グラウンドプレーンとして使用するが、複数の超伝導層を2点で接続した場合には超伝導ループが形成され、そのループと鎖交する磁束の総量が零になることから、それらに挟まれて配置された超伝導配線のインダクタンスが、超伝導ループとの位置関係により大きく変化することが見出された。現在、ニオブ集積技術では 10 層以上の超伝導層を利用することが可能であるが、その内側の層での超伝導配線については特別な配慮が必要であることが示された。

（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。本研究で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・発展させることにより、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. Mizugaki, M. Takiguchi, S. Hayami, A. Kawai, M. Moriya, K. Usami, T. Kobayashi, and H. Shimada, "Single-Electron Devices with Input Discretizer," IEEE Transactions on Nanotechnology, vol.7, no.5, pp.601-606, 2008.
(2) H. Shimada, S. Hanadou, T. Kawai, H. Kido, and Y. Mizugaki, "Current Doublers based on the Quantum Current-Mirror Effect," Japanese Journal of Applied Physics, vol.47, no.10, pp.8131-8136, 2008.
(4) T. Onomi, T. Kondo, and K. 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.
(5) Y. Yamada, K. Nakajima, and K. Nakajima, “RF impedance of intrinsic Josephson junction in flux-flow state with a periodic pinning potential,” Physica C, vol.468, pp.1295-1297, 2008.
(6) 佐藤茂雄,「高温超伝導体における巨視的量子トンネリング」，応用物理学会学会誌，vol.78，no.1，pp.27-30, 2009.
(7) H. Matsumoto, T. Koyama, M. Machida, and M. Tachiki, “Theory of THz Emission from the Intrinsic Josephson Junctions,” Physica C, vol.468, 1899, 2008.
(8) T. Koyama and M. Machida, "Macroscopic Quantum Effects in Intrinsic Josephson Junction Stacks", Physica C, vol.468, 1913, 2008.

(9) T. Koyama and M. Machida, "Effects of Capacitive Coupling on the Escape Rate in Intrinsic Josephson Junction Stacks", J. Phys. Chem. Solid, vol.69, 3232, 2008.
(10) M. Yoneya, K. Kuboki, and M. Hayashi, "Domain-wall structure of a classical Heisenberg ferromagnet on a Moebius strip", Physical Review B, vol.78, 064419, 2008.
(11) M. Hayashi, H. Yoshioka and A. Kanda, "Superconducting proximity effect through graphene and graphite films ", Journal of Physics: Conference Series, vol.109, 012014, 2008.
(12) M. Suzuki, M. Hayashi, H. Ebisawa, "Nonlinear dynamics and resistive transition in intrinsic Josephson junctions", Journal of Physics and Chemistry of Solids, vol.69, 3253, 2008.
(13) 羽多野毅,「Bi 系高温超伝導体単結晶ウイスカ」, 工業材料, 57 巻, 1 号, p32-33, 2009.
(14) K. S. Yun, T. Hatano, S. Arisawa, A. Ishii, H. B. Wang, T. Yamashita, I. Iguchi, M. Kawasaki and H. Koinuma, “Observation of intrinsic Josephson effects in tetragonally synthesized single-crystalline $NdBa_2Cu_3O_{6.65}$ films grown by tri-phase epitaxy”, Supercond. Sci.Technol. vol.21 no.7, pp.075006-075009, 2008.
(15) S.-J. Kim, T. Hatano, and M. Blamire, “Flux-flow behaviors on a $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ (Bi-2212) stack”, J. Appl. Phys. vol.103, no.7, pp.07C716 (1-3), 2008.
(16) H. B. Wang, S. Guenon, J. Yuan, A. Iishi, S. Arisawa, T. Hatano, T.Yamashita, D. Koelle, and R. Kleiner, “Hot spots and waves in Bi2Sr2CaCu2O8 intrinsic Josephson junction stacks - a study by Low Temperature Scanning Laser Microscopy”, Phys. Rev. Lett. vol.102, 017006, 2009.
(17) T. Yamamoto, K. Inomata, M. Watanabe, K. Matsuba, T. Miyazaki, W. D. Oliver, Y. Nakamura, and J. S. Tsai, "Flux-driven Josephson parametric amplifier", Applied Physics Letters, vol.93, 042510, 2008.
(18) H. Myoren, Y. Mada, Y. Matsui, T. Taino, and S. Takada, "Superconducting NbN Nanowire Photo Switches for Generating Single Flux Quantum Pulses," J. Phys.: Conf. Ser., vol.97, 012329, pp.1-6, 2008.
(19) H. Myoren, and T. Taino, "Preparation of Sub-micron-wide Microstrip Lines for SFQ Circuits," Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2008, pp. 13-14, 2008.
(20) 吉川信行, 「単一磁束量子回路を用いた超高速マイクロプロセッサの開発とその展望」, 電子情報通信学会論文誌 C, vol..J91-C, pp. 183-193, 2008.
(21) K. Nakamiya, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai, Y. Hashimoto, “Direct measurements of propagation delay of single-flux-quantum circuits by time-to-digital converters”, IEICE Electronics Express, vol.5, no.9, pp.332-337, 2008.
(22) H. Park, Y. Yamanashi, K. Taketomi, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, N. Takagi, “Novel serial–parallel converter using SFQ logic circuits” Physica C, vol.468, pp.1977-1982, 2008.
(23) A. Fujimaki, M. Tanaka, T. Yamada, Y. Yamanashi, H. Park, N. Yoshikawa, "Bit-Serial Single Flux Quantum Microprocessor CORE", IEICE Trans. Electron., vol.E91-C, no.3, pp.342-349, 2008.
(24) H. Kitano, T. Ohashi, A. Maeda, “Broadband method for precise microwave spectroscopy of superconducting thin films near the critical temperature,” Rev. Sci. Instrum., vol.79, 074701-1 - 074701-11, 2008.
(25) H. Kitano, T. Ohashi, A. Maeda, I. Tsukada, “Critical fluctuations and phase diagram of La2?xSrxCuO4 thin films,” Physica C, vol.468, pp.1120-1124, 2008.
(26) M. Machida, M. Okumura, S. Yamada, T. Deguchi, Y. Ohashi, and H. Matsumoto, "Mott phase in polarized two-component atomic Fermi lattice gas,” Phys. Rev. B, vol.78, 235117, 2008.
(27) M. Okumura, S. Yamada, N. Taniguchi, and M. Machida, “Hole localization in doped one-dimensional Anderson-Hubbard Model,” Phys. Rev. Lett., vol.101, 016407, 2008.
(28) T. Nishio, T. An, A. Nomura, K. Miyachi, T. Eguchi, H. Sakata, S. Lin, N. Hayashi, N. Nakai, M. Machida, and Y. Hasegawa, "Superconducting Pb island nanostructures studied by scanning tunneling microscopy and spectroscopy," Phys. Rev. Lett., vol.101, 167001, 2008.

共同プロジェクト研究

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）
研究費：物件費 25 万 4 千円，旅費 26 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(2007 年)．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・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３年度であった．前年度は，$(K、Na、Li)(Nb、Ta)O_3$ 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し，ドメインサイズと圧電性の関係を明らかにした．そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，$(K,Li)NbO_3$ 単結晶の Li イオンの K 置換効果が相転移温度に及ぼす効果とその解明を行う．$BaTiO_3$ 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．$NdCa_4O(BO_3)_3$ 結晶の材料定数等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．

打合せ、実験及び討論：

(1) 平成 21 年 2 月 1 日～4 日：
教授　　安達　正利(富山県立大学)

(2) 平成 21 年 2 月 1 日～4 日：
准教授　唐木　智明（富山県立大学）

(3) 平成 21 年 2 月 12 日～15 日：
教授　　安達　正利（富山県立大学）

研究発表

(1) M.Adachi, K. Yan and T. Karaki, Invited “High-Performanc Lead-Free Barium Titanate Piezoelectric Ceramics”, The 2nd International Symposium on Innovations in Advanced Materials for Optic & Electronics, p. 28, Shanghai China, July 6-9, 2008.

(2) 二口友昭・角田龍則・坂井雄一・安達正利
「ナノ粒子ペーストを用いたスクリーン印刷法による $BaTiO_3$ 厚膜の作製」
日本セラミック協会第21 回秋季シンポジウム，2008 年9 月17～19 日北九州国際会議場

(3) Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, Masatoshi Adachi, “Preparation and Characterization of Lead Free Multi-layer Ceramics Actuators with Ni Inner Electrodes Prepared by Inkjet Pinting”, The 6th Asian Meeting on Electroceramics, and the 28th Electronics Division Meeting of CSJ, p. 226, Oct. 22-24, 2008 Tsukuba, Japan.

(4) Shingo Chida, Tomoaki Karaki, Masatoshi Adachi, Makoto Furuhata, Takamitsu Higuchi and Tsukasa Funasaka, “Variation of SAW Velocity and Propagation Loss by Grain Boundaries”, 第 29 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム，p. 149，1P5-11，平成 20 年 11 月 11-13 日，仙台.

(5) Masatoshi Adachi, Keisuke Takeuchi, and Tomoaki Karaki, “Growth of Potassium Sodium Lithium

Niobate-Tantalate Single Crystals for Piezoelectric ”, 2008 Joint Japan-USA International Meeting on Acoustic Wave Devices, pp. 41-45, School of Electrical Engineering and Computer Science, Harris Corporation Engineering Center (HEC), University of Central Florida, Orland FL, 32816-2450, USA.

(6) 安達　正利
招待講演「$KNbO_3$系強誘電体単結晶の育成とその応用」
圧電材料・デバイスシンポジウム 2009. p. 1-4, 2009. 2. 2-4, 東北大学工学部青葉記念会館

(7) 唐木　智明, 厳　康, 安達　正利,
「高性能チタン酸バリウム圧電セラミクスのサブ粒子構造」
圧電材料・デバイスシンポジウム 2009. p.　5-8, 2009. 2. 2-4, 東北大学工学部青葉記念会館

［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，$KNbO_3$ の圧電特性や分極処理改善を目的としてTSSG 法で(K, Li)NbO_3 結晶を引き上げた．結晶の写真を図1に示す. 引き上げられた(K, Li)NbO_3 単結晶は，サイズ 17×17×12㎜^{3} である．全体的にクラックの発生を抑えることができ，比較的大型な結晶を引き上げることが出来た．そして，全体的に透明な部分が多く，高品質な結晶を得ることができた．また，図2に示すように， Li の添加によりキューリ温度 Tc を 435℃から高温側 457℃にシフトとさせ，第2の相転移温度 T_{to} を 225℃から低温側 200℃に下げることができた．その結果，正方晶系の温度領域が広がる．Li の量に応じて，第2の相転移温度 T_{to} を室温以下に下げられれば，室温で正方晶系となる．また，分域構造も単純な反平行の 180° と 90° のみとなり分極処理が容易となる．さらに，Ta を加えることにキューリ温度を下げて結晶構造を室温で安定化できる．

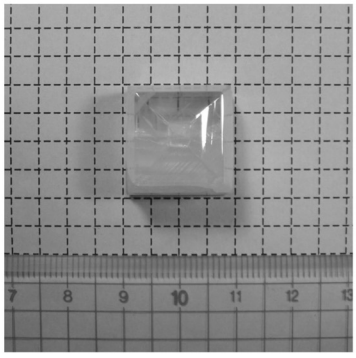


図1　(K, Li)NbO_3 育成単結晶

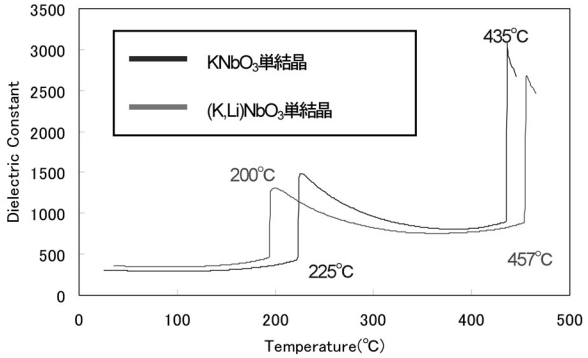


図2　$KNbO_3$ および(K, Li)NbO_3 結晶の誘電率の温度特性

図2に示すようにキューリ温度（立方晶-正方晶系）は高温度側に移動し，他の相転移温度（正方-斜方，斜方-菱面体晶系）は低温側に移動している．このことは，Devonshire の自由エネルギーの式から，応力をかけない自由結晶で電界の一成分だけがゼロでないときには，$\partial T/\partial E_m = Ps/\Delta S$ で与えられる．このとき，分極軸に平行に電界を印加すれば，キューリ点は上昇し，その他の相転移点は減少する．Clausius-Clapeyron の式，$\partial T/\partial p = \Delta V/\Delta S$ がある．ここで，ΔV は清水圧 p のときの結晶の体積変化，ΔS はエントロピー変化である．Tc は圧力によって下り，張力によって温度が上がる． KN の K を Li で置換すると余りのイオン半径の違いにより，結晶が歪み, その結果 図2のような誘電率の温度特性が得られたものと考えられる．

第2に，鉛系圧電セラミックスの原料である酸化鉛の有害性が指摘され，世界的な環境調和の観点から非鉛系材料で置換する圧電セラミックスの開発が精力的に行われている．しかし，酸化鉛を使わない圧電セラミックスの性能は低く，高性能を要求されるニーズには鉛系の材料を使わざるを得ないのが現状である．

そこで本研究では，高性能なチタン酸バリウム圧電セラミクスの圧電特性を調べた．二段階焼結法を用いて，100 nm のチタン酸バリウム原料から $k_p = 50\%$及び $d_{33} = 500$ pC/N の高性能な $BaTiO_3$ 圧電セラミックスの作製に成功した．得られた高性能な $BaTiO_3$ セラミックスにサブ粒子構造が観察され，セラミックスの全体にわたって約 1μm 前後のサブ粒子が揃っていることが明らかになった．このようなサブ粒子がナノサイズのドメインを形成させ，高性能に貢献したと考えられる．この方法は，量産性のある低コストの製造技術を提供すると同時に，興味深い新しい物理現象の研究にも重要である．また，他

の非鉛系圧電セラミックスへの応用も期待される.

第３に，共振反共振法で圧電評価をする場合，試料振動子の共振周波数が一番低い最初の振動，かつ単一モードの振動を用いることが望ましい．本研究では，結晶のあらゆる回転のカット面を論理的に解析し，適切な測定法を提案した．さらに$NdCa_4O(BO_3)_3$結晶を用いて実際に圧電定数，弾性定数，誘電率の測定を行い，$NdCa_4O(BO_3)_3$ 結晶の比誘電率 ε，圧電定数 d，弾性定数 s を得た．その結果を以下に示す．弾性定数の単位は(pm^2/N)，圧電定数の単位は(pC/N)である．

$$\varepsilon^T/\varepsilon_0 = \begin{bmatrix} 9.5 & 0 & -1.7 \\ & 14.6 & 0 \\ & & 10.1 \end{bmatrix}$$

$$s^E = \begin{bmatrix} 8.3 & -1.41 & -6.35 & 0 & 1.18 & 0 \\ & 7.3 & -5.3 & 0 & -1.72 & 0 \\ & & 9.1 & 0 & 12.8 & 0 \\ & & & 6.1 & 0 & 1.08 \\ & & & & 10.98 & 0 \\ & & & & & 20.5 \end{bmatrix}$$

$$d = \begin{bmatrix} 2.7 & 0.26 & -0.11 & 0 & 0.95 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.65 & 0 & 2.75 \\ -0.17 & -0.09 & 1.67 & 0 & -0.06 & 0 \end{bmatrix}$$

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した．また，本プロジェクトで明らかになった各種圧電単結晶材料の弾性・圧電特性の評価法として，直線集束ビーム（Line-Focus-Beam: LFB）超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー（Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS）技術」と共振・反共振法で得られる材料定数に関する共同研究という新しい研究領域の開拓(萌芽的研究の発見)に結びつき，材料定数測定法の融合など，今後の発展が期待される.

［４］成果資料

(1) 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 and 2008 Meeting of the Electronics Division of the American Ceramic Society, PI024, pp. 42-43, Feb. 25-27, 2008, Eldorado Hotel, Santa Fe, New Mexico, Japan

(2) Tomoaki Karaki, Kang Yan and Masatoshi Adachi, “High-Performance Lead-Free Barium Titanate Piezoelectric Ceramics”, Advances in Science and Technology Vol. 54, (2008) pp. 7-12.

(3) Fan ZHANG, Lu HAN, Shan BAI, Tiedong SUN, Tomoaki KARAKI, , and Masatoshi ADACHI, “Hydrothermal Synthesis of (K,Na)NbO_3 Particles”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 9, 2008, pp.7685-7688.

(4) Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi “Preparation of Inkjet-Printed NiO Films for Ba(Ti,Zr)O_3-Based Ceramics and Application to Multilayer Ceramics with Ni Electrodes”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 9, 2008, pp. 7630-7634.

(5) Tomoaki Karaki, Kang Yan and Masatoshi Adachi, “High-Performance Lead-Free Barium Titanate Piezoelectric Ceramics”, Advances in Science and Technology Vol. 54 (2008) pp. 7-12.

(6) Tomoaki Karaki, Kang Yan, and Masatoshi Adachi, “Subgrain Microstructure in High-Performance $BaTiO_3$ Ceramics”, Applied Physics Express 1 (2008) pp. 11402-1-11402-3.

(7) Fumihito Shikanai1,2, Jun Kano2, Hiroshi Sawa1, Fan Zhang3, Tomoaki Karaki4, Masatoshi Adachi4, Je-Geun Park1,5, Seiji Kojima2, Susumu Ikeda1 and Takashi Kamiyama1 IOP PUBLISHING JOURNAL OF PHYSICS: CONDENSED MATTER
“A gradational system for ferroelectric nanosized ($Pb_{0.7}Sr_{0.3}$)TiO_3 particles”, J. Phys.: Condens. Matter 21 (2009) 025903 (6pp)

(8) Masatoshi Adachi, Keisuke Takeuchi, and Tomoaki Karaki, “Growth of Potassium Sodium Lithium Niobate-Tantalate Single Crystals for PiezoelectricApplication ”, Proceedings of 2008 Joint Japan-USA InternationalMeeting on Aciustic Wave Devices, pp. 41-45, 10-11, Dec. 2008, School of Electrical Engineering and Computer Science Harris Corporation Engineering Center (HEC) University of Central Florida, Orland FL., 32816-2450, USA.

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）
石井雅博：（富山大学）

研究費：物件費24万4千円，旅費49万8千円

［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，3年目であり、19年度で検討した、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，さらに議論を深め，発展的なプロジェクトの方針について検討した．以下，研究活動状況の概要を記す。

平成20年8月4ー8月５日

2008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20年12月10日～11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。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，運動視と視覚的注意の諸問題の検討，およびそれらの解決に対して，各研究者の成果を統合する方法について検討し、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。

CRT画面上で高速に運動する色刺激は，眼球運動による網膜像のずれをともなくことによって，刺激の見えを変化させる．色運動指摘によって視線移動を自覚的に確認することができる．視軸回りの回転である回旋眼球運動についても確認できることから，様々な応用的展開も可能である．

眼球運動の制御には運動情報が必要であることが知られている．輻輳を含む3次元的な視線移動については，3次元的は運動情報が必要になるが，その生理的メカニズムの存在が指摘されている．ハフ変換を用いる運動視，立体視のモデルを，3次元眼球運動制御のモデルへと発展する可能性があることを見いだした．

運動視に特化した視覚野のニューロン活動は、刺激に対する反応からもとめる受容野の特性で表現される．高次の処理過程は，低次の処理結果を入力として受け取るが，その間のネットワークについては受容野からはわからない．このネットワークには各視覚野の視野表現の違いが影響すると考えられ．その推定結果は，受容野の等方性のために非対称はネットワークを形成している可能性を示す．視覚野のニューロンの受容野についてその下部構造を検討することが重要であるといえる．

運動情報の統合過程において，異なる方位や空間周波数についての統合過程に関する実験的事実が蓄積されつつある．しかし，現在考えられている統合過程の特性では，全体を包括的に説明するようなモデル化は難しい．ひとつの可能性として，形態情報との関連を積極的に考慮することである点が認識された。

視覚的注意に関しては以下の点について検討した。

自然画像中から注意を誘導する刺激特徴を予測する，誘目性地図において，画像の特徴として極値点解析をする方法について検討した．従来方に比べて，被験者の視線位置との対応がよい場合もあることが確認され，誘目性の本質について考えるための手掛かりとして，極値点解析の意義を認識した．

注意の瞬きとして知られる現象は，連続して呈示される視覚刺激中にある２つの目標刺激の検出課題において．両者の呈示間隔が十分長くない場合（数百ミリ秒以下）に，2番目の目標刺激の検出が低下するものである．この現象は，課題遂行には候補の選定の段階とその記憶への固定化の段階の処理の二段階があり．最初の段階から次の段階へ情報を送る処理のボトルネックによると考えられている．この現象は条件に依存するが，確率共振による信号ノイズ比の増大の影響があるとの仮説について検討し，その妥当性を認識した．

視覚選択には競合作用が必要であるが、相互抑制による競合作用は理論的に時間積分の効果をもつことが知られている。実際に、視覚選択が行われている領野のニューロン活動を特性を解析したら、そのような時間積分の効果が見られるとの知見から，注意の関連する広範囲な神経ネットワークについてのモデル化の必要性を認識した．

図と地の認識は，視覚認識のもっとも重要な処理のひとつと考えられ，それに関わる輪郭線所属の問題が注目されている．近年，単一細胞の応答に基づく輪郭線所属知覚のモデルやその心理物理的評価が進んでいる．その輪郭線所属には，注意の影響があること，それをモデルに組み込むことができることを理解した．

注意が空間的広がることは，多くの研究から明らかである．しかし，奥行きも含めた3次元空

間における注意の広がりの研究は少なく，その範囲がどの程度であるか，またどのように変化するかは明らかではない．両眼立体視による3次元的刺激呈示によって，奥行き方向の注意の広がりや移動を検討することができることを認識した．

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

１８．１９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い、以下の点を確認した。

１）運動視と注意という比較的独立性の高いテーマにおいても，両者の関連は少なくなく，視覚処理を機能的な分類のみで分けるのではなく．共通の低次の処理を踏まえた検討をすることが重要である．

２）新規性の高い視覚刺激を利用する新しいテーマに対しては，特にその刺激の持つ新規性自体の評価のためにも，低次の視覚処理のモデルの利用が望まれる．

３）複雑な現象に対して，研究者間の理解を促進するためには，多くの研究者が共有できるモデルが必要である．

（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で特に有益であった。プロジェクトで議論した結果から，今後視覚モデルの共有体制の構築を目的にした活動を進めるとの方針を得た．そのために，モデル利用共通化のためのプロジェクトを立ち上げ，広い範囲の研究者との交流を予定である。

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い。

共同プロジェクト研究

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（東北大学大学院工学研究科）
河野 健二（太陽誘電株式会社）

研究費：物件費２３万７千円，旅費８万９千円

［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２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を獲得し、本年度では、磁性ナノ粒子集合体の GHz 帯域高周波駆動の実験的実証と将来的に必須となる高充填化を意図したナノ粒子の形状制御を目指した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

セラミックスナノ材料の電気伝導性や半導体性そして磁性等の機能の発現機構を解明し、新たな機能の創出を目指す意見交換の場として、セラミックス材料分野において第一線で活躍されている愛媛大学田中寿郎教授を招き、以下の要領で研究打ち合わせを行った。

日　　時：平成 21 年３月５日(木)　15:00～17:00
場　　所：東北大学工学部電子情報システム・応物系２号館５階 505 室
講演者：田中寿郎 教授（愛媛大学大学院 理工学研究科 物質生命工学専攻）
講演題目：セラミックス材料の研究

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、スピネル系磁性ナノ粒子の合成方法ならびに磁性と電気伝導特性の詳細について議論を行った。また、ポリマー／伝導体粒子複合材料におけるパーコレーション電気伝導現象など複合化材料における新機能に関して意見交換を行なった。

［３］成果

（３－１）研究成果

① 超常磁性ナノ粒子集合体の高周波磁気特性

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、動作周波数上限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。これまで、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ナノサイズ化することで発現する超常磁性状態を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、実験的検証を行ってきた。

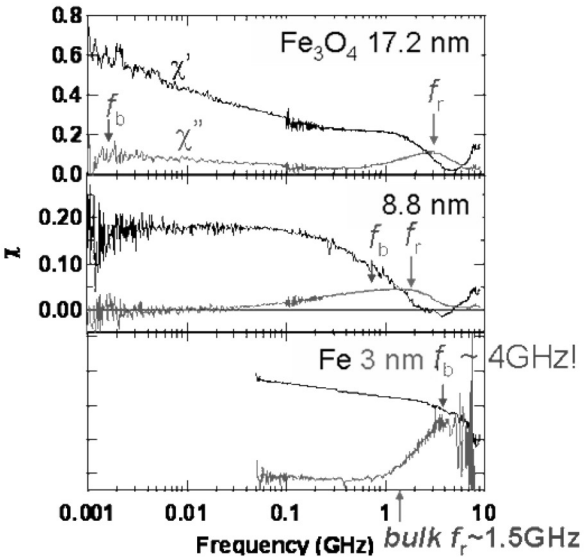


図.1 粒径が異なる磁性ナノ粒子集合体の複素透磁率の周波数依存性.

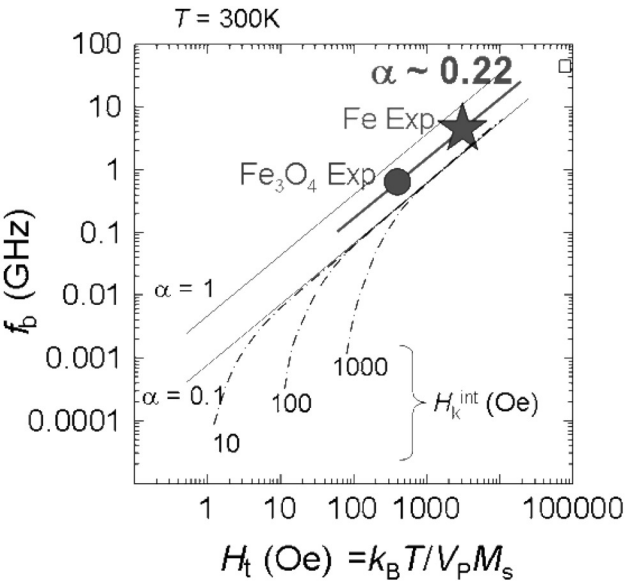


図.2 ブロッキング共鳴周波数と熱磁界との関係. プロットは図.1 から得られた実験値.

図.1 に、粒径が異なる Fe_3O_4 ナノ粒子集合体および Fe ナノ粒子集合体の複素透磁率の周波数依存性を示す。粒径が 17.2nm から 3nm まで減少すると、超常磁性ー強磁性転移を示すブロッキング共鳴周波数 f_b（図中矢印）は~1MHz から~4GHz まで高周波化する傾向を示している。特に興味深いのは、粒径 3nm の Fe ナノ粒子における~4GHz のブロッキング共鳴は、バルク Fe の結晶磁気異方性磁界(H_k^{int})から見積もられる強磁性共鳴周波数(~1.5GHz)より高周波化している点にある。このような超常磁性ナノ粒子における GHz 帯高周波駆動は、2kOe にも達する熱磁界(H_t)による実効的な磁気異方性の増大によるものと考えられる。LLG 方程式による数値計算に基づき、ダンピング定数 α を α=0.1~1 および H_k^{int} = 10~1000Oe を仮定すると、ブロッキング共鳴周波数は熱磁界に対して図.2 の実線および破線のように振る舞うことが分かっている。図.1 に示す Fe_3O_4 および Fe ナノ粒子のブロッキング共鳴周波数は、α =0.22 を仮定すると数値計算結果と良い一致を示すことが分かる。

以上の検討結果より、超常磁性ナノ粒子集合体は GHz 帯域までの高周波駆動が可能であることを実証しており、新たな高周波デバイス用材料となる可能性を秘めていることを示唆するものである。

②マグネタイトナノキューブの合成

磁性ナノ粒子を用いて透磁率を制御する場合、集合体としての正味の透磁率を向上するためには、ナノ粒子の高充填化が必須となる。球体形状のナノ粒子を最密充填させた場合、その充填率は高々73%程度であり、デバイス用途によっては更なる高充填化が必要となる可能性もある。この技術課題を克服するひとつの手法として、立方体形状（キューブ）のマグネタイトナノ粒子の合成を試みた。キューブ粒子を最密充填させることができれば、その充填率は限りなく 100%に近づけることが可能となる。

マグネタイトナノキューブは、エーテル系溶媒中において還元剤を用いて鉄前駆体を 290℃で還元することにより得た。この際、溶液中の分散性向上と形状制御のため、オレイン酸とオレイルアミンの２種類の界面活性剤を適量加えている。また、昇温レートや 290℃における還流時間を変化させ粒径制御を試みた。

図. 3 に合成したマグネタイトナノキューブの透過型電子顕微鏡（TEM）像を示す。ナノキューブ形状は、オレイン酸が特定の結晶面に強く配位するためと考えられる。昇温レートを 35℃/min まで大きくし、かつ、還流時間を 20min とすると、図. 3(a)に示すような粒径 6.5nm のマグネタイトナノキューブが得られた。一方、昇温レートを 5℃/min と小さくし、還流時間を 3 時間とすると、図. 3(c)に示すように粒径は 30nm 程度まで大きくなる。昇温レートや還流時間による粒径の違いは、合成初期段階における核生成量と核表面で成長する粒子成長に寄与する原材料量の違いによるものと考えられる。つまり、投入原材料量は一定のため、高昇温レートでは多量に核が生成し、かつ、短時間の還流時間の中で粒子成長に寄与する原材料量は少なく、結果として小さい粒径となる。反対に、低昇温レートでは少量の核しか生成できず、かつ、長時間の還流時間の中で粒子成長

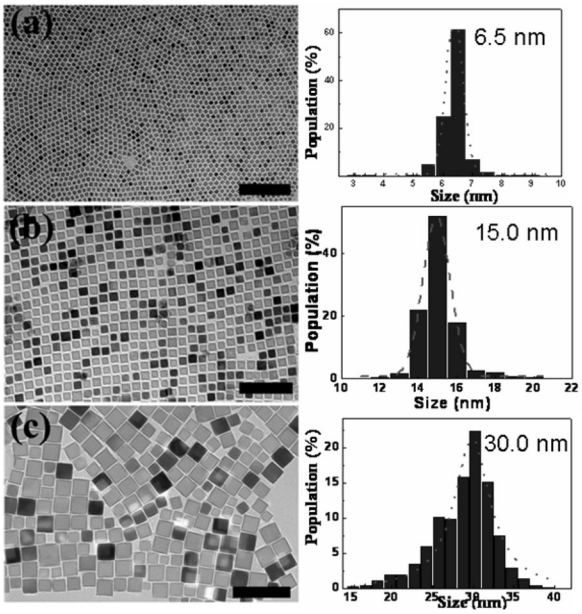


図.3 マグネタイトナノキューブ粒子の TEM 像.

に寄与する原材料量は多くなり、大きな粒径となることが考えられる。

（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超常磁性ダイナミクスおよびナノキューブ粒子合成技術は、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わた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) “Novel Properties of Single-Walled Carbon Nanotubes with Encapsulated Magnetic Atoms”, Y. Li, T. Kaneko, T. Ogawa, M. Takahashi, and R. Hatakeyama, *Jpn. J. Appl.Phys.*, **47** (4), 2048-2055 (2008).

(2) “Synthesis and magnetic properties of monodisperse magnetite nanocubes” , H. Yang, T. Ogawa, D. Hasegawa, and M. Takahashi, *J. Appl. Phys.*, **103**, 07D526-1-07D526-3 (2008).

(3) “Gram-scale synthesis of monodisperse Fe nanoparticles in one pot”, H. Yang, D. Hasegawa, S. Ozaki, T. Sato, M. Takahashi and T. Ogawa, *Scripta Materialia* **58**, 822-825 (2008).

(4) “Effect of coalescence on ordering and c-axis orientation of FePt, FePtAu and FePtCu nanoparticles heat-treated in magnetic field”, H. Kura, T. Sato, M. Takahashi and T. Ogawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47** (5), 3466-3470 (2008).

(5) “Room temperature ferromagnetism in diluted magnetic semiconductor $Zn_{1-x}Cr_xTe$ nanoparticles synthesized by chemical method”, Y. Niwayama, H. Kura, T. Sato, M. Takahashi and T. Ogawa, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 202502-1-202502-3 (2008).

(6) “Influence of oxidation and size of iron nanoparticles on the saturation magnetization”, H. Matsuura, K. Seto, H. Yang, K. Kawano, M. Takahashi, T. Ogawa, *IEEE Trans. Magn.*, **44** (11), 2804-2807 (2008).

(7) “Facile synthesis, phase transfer, and magnetic properties of monodisperse magnetite nanocubes”, H. Yang, D. Hasegawa, M. Takahashi, T. Ogawa
, *IEEE Trans. Magn.*, **44** (11), 3895-3898 (2008).

(8) “Achieving a Non-interacting Magnetic Nanoparticle System through Direct Control of Interparticle Spacing”, H. Yang, D. Hasegawa, M. Takahashi and T. Ogawa, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 013103-1-013103-3 (2009).

(9) “Challenge of ultra high frequency limit of permeability for magnetic nanoparticle assembly with organic polymer ~ Application of Superparamagnetism ~” (invited), D. Hasegawa, H. Yang, T. Ogawa and M. Takahashi, *J. Magn. Magn. Mater.* **321**, 746-749 (2009).

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(東北大学サイバーサイエンスセンター)
久米原 栄 (群馬大学総合情報メディアセンター)
奈須野　裕 (苫小牧工業高等専門学校)
玉本 英夫 (秋田大学工学資源学部)
小原　仁 (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)
浅香　緑 (群馬大学工学研究科)
今野 将 (千葉工業大学工学部)
打矢 隆弘 (名古屋工業大学情報基盤センター)
北形 元 (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 28 万 9 千円，旅費 57 万 6 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 閲覧に加え DoS･DDoS 等の悪意ある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, 管理者支援はもちろん QoS 確保の観点からも重要である.

一方，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．本プロジェクトでは東北大学電気通信研究所，群馬大学，秋田大学，苫小牧高専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の自己相似性を考慮した解析を行ってきた．それぞれの機関のパケットトラフィックには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.

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった．前年度は，シミュレーションによる疑似トラフィックならびに公開されているトラフィックデータに関する解析を行い，様々なトラフィックが重畳している場合に我々の手法が有用であることを明らかにした．本年度は，前年度の成果を踏まえながら，実トラフィックの解析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．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に関する打ち合わせ：平成 20 年 9 月 11 日　10:30 〜，木下研究室実験室 (参加者：木下，小原，五十嵐，高橋)

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 21 年 2 月 5 日 (木)，6 (金)，群馬大学 伊香保研修所 (参加者: 木下，久米原，五十嵐，小原，上田)

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 21 年 3 月 9 日 (月) 13:00--17:00，: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，小原，浅香，北形，五十嵐，高橋，矢入，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.

まず第一に，実測トラフィックの収集と解析手法に関する成果である．トラフィックの解析のためには，長期間のトラフィックを保存する技術が不可欠である．トラフィックをフロー単位で集めることにより，汎用圧縮において効率の良いモデル化を行う手法についての検討を行った（[4](1)）．加えて，トラフィックをリアルタイム計測する手法に関する成果を得た．インターネットにおける可用帯域の測定法として広く用いられている Pathload 方式の計測コスト軽減のための検討，ならびにパケットトレインペアと連立方程式を用いた可用帯域の測定手法の評価を行い，いずれも従来の手法を改善することができた（[4](11)）.

第二は，グラフ的解析手法に関する成果であり，我々は R/S 解析と分散時間法で用いられるグラフ形状変化に着目した. R/S Pox Diagram の Dispersion は LS 検出に対し高い感度を示すが, LS の大きさの変化に対する感度は僅少である．この性質は理論的な解析でも，また数値シミュレーションでも確認している．一方，分散時間グラフにおいては LS 検出に対する感度は高くはないが，グラフ切片に LS の大きさの変化が認められた．Seasonality に対しては R/S Pox Diagram，分散時間グラフとも形状変化を呈し, 且つその変化部分を含めた H の推定値にも明確な変化が認められた（[4](3),(16)）.

第三は，シミュレータによるトラフックのモデル化に関する成果である．トラフィック解析を異常検知に応用するためには，その前段としての適切なシミュレーション過程の生成に重点を置いたものである．そのため我々はフリーツールのシミュレータ ns-2 を採用した．理由は，フリーツールである，各モジュールをカスタマイズできる，tcp プロトコルに基づくシミュレーションが可能であるというものである．特に tcp プロトコルを模擬できることは，パケットトラフィックの自己相似性の主要因が tcp の Queue & Feedback メカニズムにあることを考慮すると，より実トラフィック過程に近いシミュレーション系列を生成できる可能性があるためである. シミュレーションでは小規模，中規模，大規模なネットワークにおいて典型的とみなせるトラフィック時系列から得た H と同じ値の H を得られるような

を設定して BG トラフィック生成を試みた．試行の結果 ON/OFF モデルによる BG トラフィックは，重畳過程としてのシミュレーションに用い得ることは確認できた．ただし，実トラフィックの H と同じ H を与えるようなシミュレーション条件で得られた時系列でも，すべてのモードにおける実時系列との満足な一致を得ることは困難であった（[4](16),(18)）.

第四は，本手法を実際に異常トラフィック検知に応用する試みに関する成果である．我々のグラフ的解析手法を 1999 DARPA IDS データセットに適用し, 大量パケットが疎通する DoS 攻撃に対する特徴量を用いた検知性能を調査し，有効であることを示した．提案検知法適用の有効性は DARPA データセットが生成された小規模研究室程度の LAN では検証したが，よりトラヒック量が多い中・大規模機関 LAN への適用はいまだ試みられていないため，本プロジェクトでは，中規模程度 LAN の不特定多数のトラヒックが観測できる対外接続ポートでのトラヒックに対する提案手法適用の有効性を検討し，検知性能に対する評価を検証した．具体的には，観測タイムスケールを調整することにより，low-rate TCP attack や長期的スキャン攻撃などの周期的異常トラヒックに対する有効性を示した([4] (3), (8), (13),(14)).

加えてこれらの枠組みを，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)へ適用することも行った．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] (7), (8), (9)).

（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，昨年度に引き続き 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．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抽出に関するノウハウに関する成果は，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] (5), (6), (10),(11)) .

［4］成果資料

（1）有馬亮，笹井一人，矢入聡，北形元，木下哲男 "ネットワークの長期観測のための効率的なトラフィック情報格納方式" 情報処理学会東北支部平成20年度第5回研究会，東北学院大学，2009.2.13.

（2）長谷川　和音，加藤　陽介，小原　仁 “パケットトレインペアの分散を用いた可用帯域のアクティブ測定法の提案” 平成２０年度電気関連学会東北支部大会，2H18，2008

（3）三杉大輔，笹井一人，木下哲男 "R/S Pox Diagram に基づくネットワーク異常検知手法" 日本学術振興会インターネット技術第163委員会情報流通基盤分科会(ITRC/INI)「情報流通基盤分科会ワークショップ」「先端的ネットワーク＆コンピューティングテクノロジワークショップ」合同ワークショップ，東北大学，2009.2.25.

（4）笹井一人，矢入聡，北形元，木下哲男 "ネットワーク免疫システムにおけるエージェント性と弱い制御" 日本学術振興会インターネット技術163委員会情報流通基盤分科会(ITRC/INI)「情報流通基盤分科会ワークショップ」「先端的ネットワーク＆コンピューティングテクノロジワークショップ」合同ワークショップ，東北大学，2009.2.25.

（５） Takahiro Uchiya, Takahide Maemura, Hideki Hara, Kenj Sugawara, and Tetsuo Kinoshita, “Interactive Design Method of Agent System for Symbiotic Computing”, International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, Vol.3, No.1, pp. 57-74, 2008.11.

（6）Li Xiaolu, Takahiro Uchiya, Susumu Konno and Tetsuo Kinoshita, " Proposal for Agent Platform Dynamic Interoperation Facilitating Mechanism", Proc. 21th Int. Conf. Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2008), LNAI5027, pp.825-834, 2008.6.

（7）前田哲，バーライシャ，今野将，木下哲男，"AIR-NMS における異種プラットフォームへの適用性を考慮したネットワーク機器情報取得手法", 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2F07, p.211, 2008.8.

（8）三杉大輔，　木下哲男, "AIR-NMS に基づくネットワーク異常検知システム", 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2F08, p.212, 2008.8.

（9）バーライシャ，前田哲，今野 将，木下哲男，"AIR-NMS における汎用的 I-AIR の設計", 第７回科学技術フォーラム FIT2008 講演論文集 F-005, 電子情報通信学会/情報処理学会, 2008.9.

（10）木下哲男, "発展型エージェントシステムの動作状況認識機能", 合同エージェントワークショップ＆シンポジウム JAWS2008 講演論文集，AgentPlatform-4, pp.1-8, 2008.10.

（11）アバー・サミラ, 木下哲男, "Evaluating the Performance & Reusability Aspects of a Knowledge-based Prototype System: An Automated Management Support to Communication Networks", 信学技報 AI2008-72, pp.47-52, 電子情報通信学会 2009.3.

（12）五十嵐隆治，入江若菜，高橋秋典，正木忠良，佐々木芳宏，上田　浩，奈須野裕，岩谷幸雄，木下哲男 “長時間トラフィックに含まれるトレンドの効果”，情報処理学会第2回インターネットと運用技術研究発表会 研究報告，2008-IOT-002，pp.47-51，2008.

（13）　高橋秋典，五十嵐隆治，上田　浩，岩谷幸雄，木下哲男 ”R/S Pox Diagram に基づくトラフィック異常検知に関する研究", 電子情報通信学会技術研究報告 NS2008-50, Vol.108, No.203, pp.45-50, Sep. 2008.

（14）高橋秋典，五十嵐隆治，入江若菜，上田 浩，岩谷幸雄，木下哲男 “Pox Diagram 散布形状に基づくトラフィック異常検知法の検討”，平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，2C-06, p101, (郡山, 8 月), 2008.

（15）入江若菜，五十嵐隆治，高橋秋典，岩谷幸雄，木下哲男，上田 浩 “Pox Diagram 散布形状に着目したトラフィック状態推定法の検討”，平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，2C-07, p102, (郡山, 8 月), 2008.

（16）　菊地征太郎，五十嵐隆治，高橋秋典，岩谷幸雄，木下哲男，奈須野裕，上田 浩 “ns-2 による VoIP トラフィック疎通時のネットワーク特性の評価と検討”，平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，2C-08, p103, (郡山, 8 月), 2008.

（17）入江若菜，五十嵐隆治，高橋秋典，岩谷幸雄，木下哲男，上田浩 ”Pox Diagram 及び分散時間グラフに着目したトラフィック特性変化の研究”，平成20年度第1回情報処理学会東北支部研究会，資料番号 14, 2008.

（18）菊地征太郎，五十嵐隆治，高橋秋典，岩谷幸雄，木下哲男，奈須野裕，上田 浩 “ns-2 による実トラフィックモデル構成法の検討”，平成 20 年度第 1 回情報処理学会東北支部研究会，資料番号 15, 2008.

共同プロジェクト研究

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）
今田　　真（立命館大学 理工学部）
小田　竜樹（金沢大学 理工研究域）
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）
宮本　幸治
（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）

研究費：物件費２９万７千円，旅費４７万１千円

［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，立命館大学，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調べた。

平成20年７月および平成21年１月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。

［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。

高スピン偏極材料をベースとしたCo_2MnSi-Al_2O_3のトンネル接合素子が低温で570%の大きなトンネル磁気抵抗（TMR）比を示し，高いスピン偏極率を有することが示唆される一方，室温になると約70%以下まで減少するという問題がある。最近，動的平均場理論を用いた計算が行われ，温度に依存して非準粒子状態が，温度上昇に伴って少数スピンギャップ中に成長し，フェルミエネルギーにおいて急激なスピン偏極率の減少が起こり，室温での小さなTMR比の原因となっていることが示唆された。本プロジェクトではスプリングエイトの高輝度放射光を用いて，バルクのCo_2MnSi について価電子帯光電子分光を行ったところ，価電子帯スペクトルの温度依存性が少ないことを明らかにした。このことからCo_2MnSi におけるスピン偏極率の顕著な減少傾向は，バルク電子状態に依存したものではなく，トンネル接合素子における接合界面の電子状態に起因していることが示唆された。

（宮本幸治，木村昭夫，白井正文，鹿又　武）

磁気トンネル接合素子 $Co_2MnSi/MgO/Co_2MnSi$ の界面酸化によるスピン偏極トンネル現象の理論的な解明を試みた。その結果，Co_2MnSi/MgO 界面が Co で終端されている場合と比較して MnSi 終端の場合の方がより酸化が起こりやすいことを明らかにした。さらに，両側２つの界面に酸素単層を挿入した場合，トンネルコンダクタンスの顕著な減少が起こることがわかった。これは酸化層の中で Mn 原子の位置が緩和することにより，Co_2MnSi と MgO のΔ_1状態間の混成が弱まることに起因することがわかった。。

（白井正文）

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，鉄単原子鎖における磁気異方性の電界効果について計算を行った。この孤立した鉄鎖では，鎖方向の容易磁化磁区を持ち，異方性エネルギーは3.23meV/Feである。フェルミ準位には少数スピン 3*d* 軌道が存在するが，その中でも *xy* および x^2-y^2 軌道に磁化に依存した大きなスピン軌道分裂が見られ，大きな異方性エネルギーの主な起源になっている。本研究では，有効遮蔽媒質（完全導体極板）と系の間の有効な電荷の移動により電界効果を導入している。この電子数の変化に比例して電界の大きさが現れ，電子数変化が小さいうちは，磁気異方性エネルギーも比例して変化する。電界により *s* 軌道の電子が大きくその分布を変化させるため，*s* 軌道とよく混成する $3z^2$-r^2 軌道の準位が大きく変化する。このため系の電子を増やしていくと *s* 軌道とともに $3z^2$-r^2 軌道に優先的に占有されてゆく。このときフェルミ準位を挟んでこの軌道から *xz* および *yz* 軌道，あるいは *xz* および *yz* 軌道から *xy* および x^2-y^2 軌道へというように，磁気量子数が１つだけ変化する遷移が磁気異方性エネルギーを大きく減らすことになると考えられる。電界印加により，電子数を変化させることもさることながら，*d* 電子軌道間のエネルギー位置関係を変化させることが可能で，その結果磁気異方性を変化させることが可能であることが予想される。また鉄鎖方向に，垂直に磁化を向けた場合は，鎖方向に流れる電流にラシュバ効果による大きな変化がみられると予想され，スピン分極した輸送係数に大きな変化が期待されることがあるとの知見を得た。

（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) K. Miyamoto, A. Kimura, Y. Miura, M. Shirai, M.Ye, Y. Cui, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Y. Takeda, Y. Saitoh, E. Ikenaga, S. Ueda, K. Kobayashi, and T. Kanomata, “Absence of temperature dependence of the valence-band spectrum of Co_2MnSi,” Phys. Rev. B **79**, 100405(R)/1-4 (2009).

(2) Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “Computational design of highly spin polarized hetero junction between Heusler alloys and MgO,” J. Magn. Soc. Japan. **33**, 105-109 (2009).

(3) K. Abe, Y. Miura, Y. Shiozawa, and M. Shirai, “Half-metallic interface between a Heusler alloy and Si,” J. Phys.: Condens. Matter **21**, 064244/1-5 (2009).

(4) Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, “The effect of the interface oxidation on tunneling conductance of Co_2MnSi/MgO/Co_2MnSi magnetic tunnel junction,” J. Phys.: Condens. Matter **21**, 064245/1-6 (2009).

(5) M. Tsujikawa, and T. Oda, “Electronic structure and magnetic anisotropy of a constrained Fe chain in an electric field,” J. Phys.: Condens. Matter **21**, 064213/1-6 (2009).

(6) P. J. Brown, A. P. Gandy, T. Kanomata, Y. Kusakari, A. Sheikh, K.-U. Neumann, B. Ouladdiaf, and K. R. A. Ziebeck, “Magnetic and atomic order in the potential half metallic ferromagnets $Ru_{2-x}Fe_xCrGe$,” J. Phys.: Condens. Matter **20**, 455201/1-6 (2008).

(7) Y. T. Cui, A. Kimura, K. Miyamoto, M. Taniguchi, T. Xie, S. Qiao, K. Shimada, H. Namatame, E. Ikenaga, K. Kobayashi, Hsin Lin, S. Kaprzyk, A. Bansil, O. Nashima, T. Kanomata, “Chemical potential shift of $Fe_{3-x}V_xSi$ studeid by hard x-ray photoemission,” Phys. Rev. B **78**, 205113/ 1-7 (2008).

(8) K. Miyamoto, A. Kimura, K. Sakamoto, M. Ye, Y. Cui, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, S-i. Fujimori, Y. Saitoh, E. Ikenaga, K. Kobayashi, J. Tadano, and T. Kanomata, “In-gap Electronic States Responsible for the Excellent Thermoelectric Properties of Ni-based Half-Heusler Alloys,” Appl. Phys. Exp. **1**, 081901/ 1-3 (2008).

(9) Y. Miura, H. Uchida, Y. Oba, K. Abe, and M. Shirai, “Half-metallic interface and coherent tunneling in Co_2YZ/MgO/Co_2YZ (YZ = MnSi, CrAl) magnetic tunnel junctions: A first-principles study,” Phys. Rev. B **78**, 064416/1-9 (2008).

共同プロジェクト研究

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 27.8 万円，旅費 41.4 万円

［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。

本年度は、Si 系量子ドットの高密度立体集積構造および一次元配列構造で発現する特徴的な電荷移動と荷電分布を応用したフローティングゲート型機能メモリデバイス開発の鍵となる Si 量子ドットの超高密度形成に取り組んだ。具体的には、Si_2H_6-LPCVD 直前に OH 終端した Si 熱酸化膜表面に室温で GeH_4 ガス分子を吸着・反応させることで、均一サイズの Si 量子ドットを高密度形成する技術を確立するとともに、GeH_4 総暴露量がドット密度に及ぼす影響を定量評価した。

また、本共同プロジェクト研究の推進するために、東北大学にて実験打ち合わせを２度実施し、共同研究分担体制を築くと共に、一部の成果を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 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (5 月 11－14 日, Hsinchu, Taiwan) および 4th Int. Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics（9 月 25－27 日, 東北大学）での講演や意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

［３］成果

（３－１）研究成果

これまでに、SiH_4-LPCVD 反応の初期制御によりシリコン熱酸化膜上に Si 量子ドットを形成する場合、 LPCVD 直前に酸化膜表面に希釈 HF 処理、あるいはリモート水素プラズマ処理を施し、OH 終端することでドット密度を $10^{11}cm^{-2}$ 以上に増加できることを明らかにしている[1, 2]。本研究では、LPCVD 直前の OH 終端 SiO_2 表面への GeH_4 ガス暴露が Si 量子ドットの核形成密度に及ぼす影響を調べた。

p-Si(100)基板上に 1000°C、2%O_2 で膜厚~3.6nm の SiO_2 を形成後、0.1%HF 処理により SiO_2 表面を OH 終端し、その後、室温で He 希釈 10%GeH_4 ガスに暴露した。圧力、暴露時間はそれぞれ 0.2~100Torr、1.0~10min で変化させた。その後、同一チャンバー内で Si_2H_6-LPCVD(400°C)により Si 量子ドットを自己組織化形成した[3, 4]。

GeH_4 ガス暴露の有無それぞれの場合において、Si_2H_6-LPCVD によるSi量子ドット形成後にAFM測定した典型的な表面形状像を図 1 に示す。GeH_4 暴露しなかった場合、ドット面密度は~$3.0x10^{11}cm^{-2}$ であるのに対し、GeH_4 暴露することで、約 40 倍のドット面密度(~$1.2x10^{13}cm^{-2}$)に達することが分かる。表面 OH 終端していない as-grown SiO_2 に同条件で GeH_4 暴露後、ドット形成した場合は、ドット密度は~10^{10} cm^{-2} 程度であった。また、GeH_4 暴露後の SiO_2 表面ラフネスは SiO_2 と同程度(0.15nm)であることも確認している。表面形状像からドットの高さ分布を求めた結果(図 2)、GeH_4 暴露した場合のドット高さの平均値および半値幅は、それぞれ、1.8nm および 0.8nm であり、GeH_4 暴露しない場合と比べて平均高さおよび半値幅は、いずれも約 1/3 程度に減少しており、高密度化によるサイズの均一化が示唆される。これ

らの結果は、表面 OH 終端表面への GeH_4 ガス分子の吸着・反応により、核形成サイトが大幅に増加した結果として理解できる。また、ドット密度の GeH_4 圧力依存性および暴露時間依存性を調べた結果、ドット密度は、総 GeH_4 暴露量に比例して増大することが分かった。この結果は、GeH_4 と Si-OH 結合間の表面反応が初期核形成の重要な要因であることを示唆している。

Si 系量子ドットの高密度一次元配列の実現に向け、SiO_2 微細パターンを使った実験において、表面 OH 終端した SiO_2 ラインパターン上に選択的に SiGe 量子ドットが一次元配列形成できることも明らかにした[5]。さらには、あらかじめ形成した Si 量子ドット上に極薄金属膜を形成した後、リモート H_2 プラズマ処理を室温で施すことにより、シリサイドナノドットを形成する技術を確立した[6－8]。

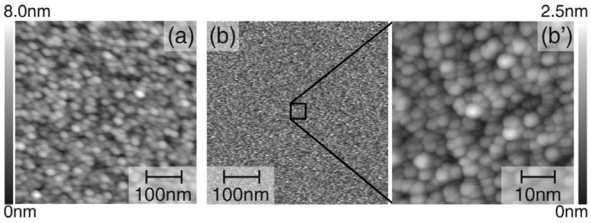


図 1 GeH_4 暴露なし(a)および、暴露あり(b)の OH 終端 SiO_2 上に形成した Si 量子ドットの表面形状像。GeH_4 暴露は、室温、100Torr で 10 分間行った。

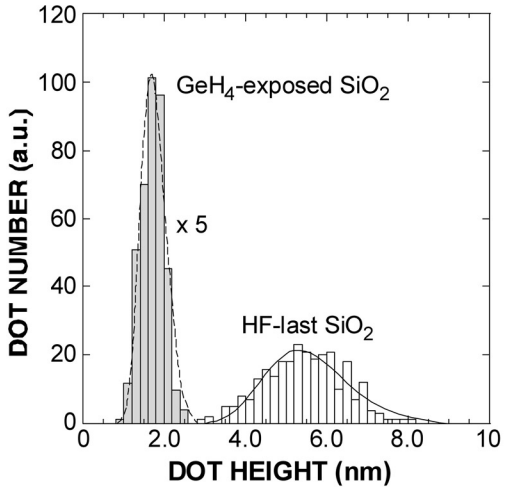


図 2 図 1 の表面形状像から見積もったドットの高さ分布

参考文献

[1] S. Miyazaki, et al., “Control of Self-Assembling Formation of nanometer Silicon Dots by Low Pressure Chemical Vapor Deposition”, Thin Solid Films 369 (2000) 55.

[2] K. Makihara, et al., “Control of the Nucleation Density of Si Quantum Dots by Remote Hydrogen Plasma Treatment”, Appl. Surf. Sci., 244 (2005) 75-78.

[3] K. Makihara, et al., “Nucleation Control for High Density Formation of Si-based Quantum Dots on Ultrathin SiO_2”, ECS Trans., 16 (2008) 255-260.

[4] K. Makihara, et al., “Formation of Ultra High Density Si-based Quantum Dots on Ultrathin SiO_2”, 4th Int. Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, pp. 37-38, Sendai, Sep., 2008.

[5] K. Makihara, et al., “Selective Growth of Self-Assembling Si and SiGe Quantum Dots”, 4th Int. SiGe Tech. and Device Meeting, pp. 147-148, Hsinchu, Taiwan, May, 2008.

[6] K. Makihara, et al., “Self-Assembling Formation of Ninanodots on SiO_2 Induced by Remote H_2-plasma Treatment and Their Electrical Charging Characteristics”, Jpn. J. of Appl. Phys., 47 (2008) 3099-3102.

[7] K. Makihara, et al., “Electronic Charged States of Pt-silicide Nanodots as Evaluated by Using an AFM/Kelvin Probe Technique”, Trans. of MRS of Japan, 2009 (in press).

[8] S. Miyazaki, et al., “Formation of Metal Silicide Nanodots on Ultrathin SiO_2 for Floating Gate Application”, E-MRS 2008 Fall Meeting, pp.66-67, Warszawa, Poland, Sep., 2008.

（３－２）波及効果と発展性

上述した GeH_4 ガス吸着制御がドット密度に及ぼす影響を定量評価した結果に基づいて、超高密度 Si 量子ドットのサイズ・形状を制御する指針が得られた。さらに、作成した超高密度 Si 量子ドット層間での電荷輸送や荷電状態制御に関する知見も得られつつある。今後の研究展開として、前年度の Ge コアへの局所ドーピングが価電子特性に及ぼす影響を定量評価した結果に基づいて、超高密度 Si 量子ドットへの不純物添加 Ge コアの導入により、正孔に対する深いポテンシャル井戸やキャリアを導入することで、電荷保持ノードとしての機能向上が期待できる。さらには、それらの積層構造を作成し、Ge コアへの局所ドーピングが量子ドット積層構造内の荷電状態・分極特性に及ぼす影響の定量化により、量子ドットフローティング MOS メモリの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、2009 年度に開催予定の 3 つの国際会議、6th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (May 17－22, Los Angeles, California, USA), 1st Int. Workshop on Si based nano-electronics and –photonics (Sep. 20－23, Vigo, Spain) および 5th Int. Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics（東北大学）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。

共同プロジェクト研究

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：
大内　　誠（東北福祉大学）
鈴木　陽一（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）
水戸部一孝（秋田大学工学資源学部）
棟方　哲弥（産業技術総合研究所）
鈴木　雅史（秋田大学工学資源学部）
吉村　　昇（秋田大学）
倉片　憲治（産業技術総合研究所）
佐藤　　洋（産業技術総合研究所）
蘆原　　郁（産業技術総合研究所）

研究費：物件費 30 万 8 千円，旅費 19 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 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。

前年度（H19 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。

本年度は、前年度の結果を基に、実際のシステムの開発を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究打合せ：

平成 20 年 5 月29 日　　第１回　東北大通研
- 本年度スケジュール確認。
- 各研究者の役割分担確認。
- 使用する GPS、ジャイロ、地磁気センサの制御ソフトウェアの確認。

平成 20 年8 月１日　　第２回　東北大通研
- 新メンバーを加えて研究内容再確認

平成 20 年 6 月 21-22 日　第３回　東北大通研
- 仙台で開催された視覚障害リハ研究発表大会で成果報告
- 今後の方針を検討

平成 20 年10 月 17 日　　第４回　東北大通研
- システム開発の方針確認
- 研究課題の確認
- 実用化のシナリオ検討

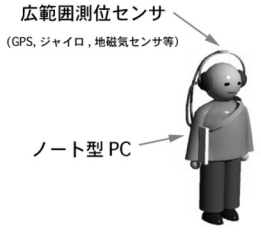
平成 21 年１月21 日　　第５回　東北大通研
- システム開発の進捗確認
- 実用化のシナリオを確認
- 評価実験の方法検討

平成 21 年３月6 日　　第６回　東北大通研
- システム開発の進捗確認
- 実用化後の中期的な展望検討

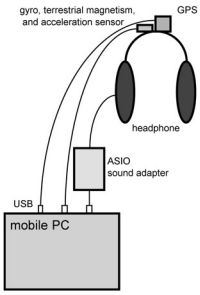
［3］成果

（３－１）研究成果

本年度は、前年度の結果を基に、実際のシステムの開発を行った。



(a)外観図



(b)ブロック図

図１　本システムの構成

現在開発中のシステムのハードウェア構成は以下の通りである：

- GPS
  - San Jose 社 GM-158-USB
  - 5Hz サンプリング
  - NMEA GGA フォーマット出力
  - 位置正確度：DGPS 時 2.6 m
  - 寸法：46.2 × 38.0 × 16.1 mm
  - 重量：70 g
- 地磁気・セラミックジャイロ・加速度一体型センサ
  - NEC Tokin 社 MDP-A3U9S
  - 125 Hz サンプリング
  - 角度分解能 1 deg
  - 寸法：20 × 20 × 15 mm
  - 重量：6 g
- ASIO (audio stream input output) 対応音源
  - M-Audio 社 Transit USB
- ヘッドホン
  - Sennheiser 社 HD 280 Professional
  - 密閉型
  - 周波数特性 8ー25,000Hz
  - 重量：220 g
- モバイル PC
  - Panasonic 社 TOUGHBOOK CF-19
  - Intel Core 2 Duo 1.06GHz
  - 重量：2.3 kg

本システムは、被訓練者にヘッドホンを装着させ、PC は肩掛けカバンなどで携帯させて使用する。GPS および地磁気・セラミックジャイロ・加速度一体型センサはヘッドホンのヘッドバンド上部に固定（または GPS のみ肩上部等に固定も可能）する。各種センサおよび ASIO サウンドアダプタは USB を通して PC に接続される。（図 1）

またソフトウェアは以下の通りである：

- OS
  - Microsoft Windows Vista Business SP1
- アプリケーション開発環境
  - Microsoft Visual C++ 2008
  - Win32API

なお、本ソフトウェアは、Vista 上に限らず、XP 上でも動作可能である。

４．開発の進捗

4.1　広範囲測位技術の実装

本システムでは低コスト化・広範囲化を実現するため、事実上従来システムより低精度となる GPS・地磁気・ジャイロ・加速度センサを使用する。

GPS のサンプリングは 5Hz、地磁気・セラミックジャイロ・加速度センサのサンプリングは 10Hz 以上とし、３次元音響実現のためのヘッドトラッキング（頭部位置計測）に対応できるようにした。

座標計算は、GPS や地磁気センサにより最初に WGS84 地心座標系における訓練開始地点の座標を計測し、これをもとに訓練開始地点を原点とした独自の地平座標系を決定して実環境の絶対座標系とする方式とした。この方法により本システムは、測地系によらず地球上のどの位置でも使用可能である。

測位は、GPS と地磁気センサによる測位の他に、ジャイロと加速度センサによる慣性計測も合わせて行うものとし、相互の誤差の補完を行うものとした。これにより、GPS が欠測した場合でも短距離であれば測位可能であり、また逆にジャイロの精度不足（本システムのジャイロの精度は１ deg）による偏軌を GPS によって補正できる。

4.2　３次元音響処理の PC への実装

先行研究の３次元音響システムでは、３次元音響処理を行うために専用の DSP（デジタル信号処理装置）を用いるのが一般的であった。本システムでは、DSP を用いず PC の汎用 CPU で３次元音響処理を行うことを可能とする技術である SiFASo (Simulative environment for 3-D Acoustic Software)を用いた。SiFASo による再現可能な音源数は CPU の処理速度に依存するが、Pentium IV 2 GHz クラスの性能があれば 8 音を同時に再生可能であり，現在主流となっている Core 2 Duo 2 GHz クラスの CPU では，それ以上の複数音源の再生が期待できる。オーディオ出力は、MME（Multi Media Extension）や DirectX では音が途切れるため、ASIO（audio stream input output）対応音源を使用することとした。

4.3　音響レンダリングの高忠実化

今後、長期的な課題として、PC の処理速度の向

上に合わせて回折や反射を高忠実化する予定である。現在は回折現象の高忠実化に向けて作業中である。

4.4　　その他の特長

- 音源定位・障害物知覚の両方の要因の再現
- 仮想訓練環境の要素：音源、道、壁、および目印（ランドマーク）の４つ。
- 訓練士が仮想訓練環境を自由に編集可能とする。
- XML による仮想環境表現

なお、本システムは被訓練者が PC を携帯するため、訓練士用インタフェースはワイヤレスで接続された別のモバイル端末で実現する必要がある。

図２は本システム訓練士用インタフェースである。

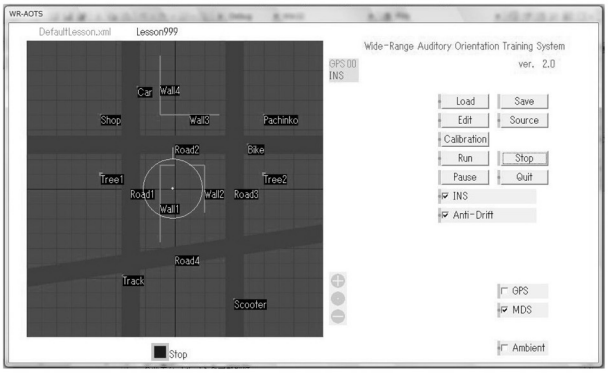


図２　本システムの訓練士用インタフェース

4.5　　訓練カリキュラムの検討

仮想音環境中での訓練のカリキュラムについて十分な検討を行って来た。単純にシステムというハード面にとどまらず、カリキュラムというソフト面、および想定すべき訓練環境（通常時・災害時、および高忠実化・デフォルメなど）を再検討中である。

５．まとめと今後の展開

本年度は、３次元音響処理をモバイル PC に実装し、低コストで広範囲測位が可能な GPS・地磁気・ジャイロ・加速度センサを頭部の位置・方向計測に使用する聴覚空間認知訓練システムの開発を行った。

2009 年より、視覚障害リハビリテーションの現場において試作システムの検証実験を行う予定である。

［４］成果資料

(1) Yoshikazu SEKI, Yukio IWAYA, Takeru CHIBA, Satoshi YAIRI, Makoto OTANI, Makoto OH-UCHI, Tetsuya MUNEKATA, Kazutaka MITOBE, and Akio HONDA, "Auditory Orientation Training System for the Blind by using Wide-Range 3-D Sound," Proceedings of CVHI 2009, CD-ROM (Accepted in 2008).

(2) 関喜一、岩谷幸雄、千葉武尊、大内誠、棟方哲弥、水戸部一孝、「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抄録集、2008.

(3) 関喜一、岩谷幸雄、千葉武尊、矢入聡、大谷真、大内誠、棟方哲弥、水戸部一孝、本多明生、「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２報）」、第 34 回感覚代行シンポジウム講演論文集、2008、63-66. 9)

(4) Akio HONDA, Hiroshi SHIBATA , Souta HIDAKA, Jiro GYOBA, Yukio IWAYA, and Yôiti SUZUKI (2008) “Transfer effects on auditory skills from playing virtual three-dimensional auditory games,” In B. N. Weiss (Ed), New Research on Acoustics (pp. 141-157). New York: Nova Science Publishers.

(5) Kazutaka Mitobe,“The Silver Market Phenomenon,”Springer,371-380 (2008).

(6) 寺田裕樹，水戸部一孝，猿田和樹，武田和時，鈴木雅史，吉村昇「高齢者を対象とした薄暮前後の接近車両速度弁別能力の評価」日本交通科学協議会誌８巻，１号 8-17 (2008)

(7) 静敦夫，水戸部一孝，寺田裕樹，吉岡尚文，吉村　昇，鈴木雅史「歩行環境シミュレータを用いた高齢者の車両知覚能力に関する研究」日本交通科学協議会誌８巻，１号,18-25 (2008)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

課題番号　Ｈ１９／Ａ０６

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：
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２７万０千円，旅費２５万７千円

［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 2 年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

4月、5月は今年度の研究実施計画を立案した。6月からRIECではHRTF 計測システムの問題点の改善に取り組み、富山県立大では相反法を用いたHRTF計測手法の検討に取り組んだ。また、昨年度に計測した実頭とダミーヘッドのデータを用いた音像定位実験の準備も開始した。9 月に九州大学で開催された日本音響学会研究発表会にて、打ち合わせを行い、進捗状況を確認するとともに今後の予定を協議した。11 月 24 日～26 日に計測系の問題点を改善した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を計測した。また、相反法を用いた HRTF 計測の予備実験を行った。12 月は計測したデータの解析を行い、RIEC のHRTF計測系の改善結果を確認した。1月は富山県立大で相反法を用いた HRTF 計測法の問題点を洗い出すとともに、これまでのHRTF計測法の問題点等についてまとめた解説論文を執筆した。2 月 20 日～22 日に再びRIEC の無響室において擬似頭と実頭の頭部伝達関数の計測を実施した。また、3 月にはRIECと他所で計測したHRTFを用いた音像定位実験を行い、音像定位性能を比較した。そして、3 月 17 日に東京で開催された日本音響学会春期研究発表会で昨年度と本年度に得られた結果の一部を一般講演および招待講演で発表した。

［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改善を行った。具体的には、① TSP信号のレベルを約10 dB上げ、② 小型ECMと低雑音マイクアンプ（Earthworks, 1021）を用い、③アンチエイリアジング用のLPFを取り除き、④ ダミーヘッド専用の保持台を作成するとともに、⑤レーザー墨だし器を利用した位置決め法を導入することによって、安定して頭部伝達関数を測定できるようにした。

① については、ラウドスピーカによる高調波歪み発生がないことを確認してTSP信号のレベルを10 dB上げてS/Nを向上させた。② については、耳栓マイクの作成法も含めて、安価に入手できる小型ECM を使用し、マイクロホンのヘッドアンプに平衡出力端子も備えた可変利得の低雑音マイクアンプをすることとした。③ については、折り返し歪みの原因となる24 kHz以上の高周波音成分が無いことと、TSP信号のレベル増加とマイクアンプの利得増加に伴って、LPFに内蔵されていた10 dB のアンプを利用する必要が無くなったこともあり、音響信号系を単純化するために従来使用していた LPF を撤去した。④ については、複数の首径にあわせた台座を持つ保持具を作成し用いることにより、頭部伝達関数測定中のダミーヘッドの位置変化を無くすことができた。⑤ については、市販のレーザー墨だし器を利用して HRTF 計測時のダミーヘッドや実頭の空間位置を正確に決める手続きを確立した。

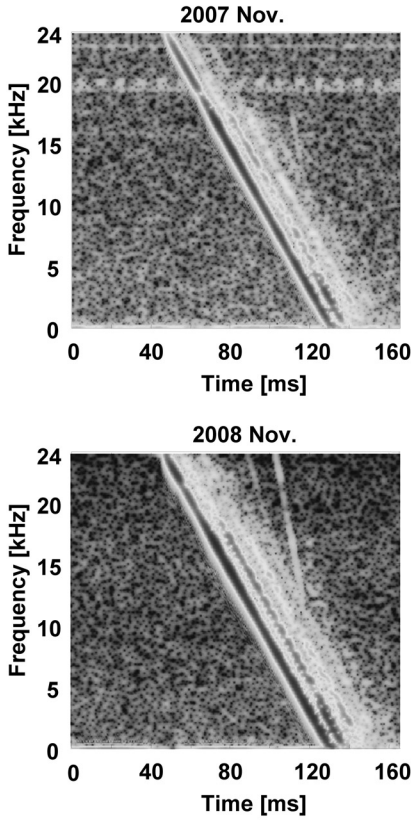


Fig.1 音響計測系を改善する前（上段）と改善した後（下段）のTSP応答スペクトログラム

Fig.1 に示すように、音響計測系を改善した後の頭部中心マイクにおける TSP 応答には高域の雑音成分が無くなり、全体の S/N も向上している。TSP 信号の音圧を 10 dB 上げたため、2 次および 3 次の高調波歪み成分は増加しているが、主成分に対して -60 dB 程度であり、問題にはならない。このように、音響系の改善は効果があった。なお、球状スピーカアレイの枠およびスピーカコーンからの反射波は、当然のことながら、残存している。

Fig. 2 は、B&K ダミーヘッドの HRTF 計測結果である。左列は首径よりも大きな台座の上にダミーヘッドを置いて計測した結果で、仰角 $\varphi = 30^\circ$ では台座の反射によりカラーレーションが生じているが、水平面 $\varphi = 0^\circ$ ではその影響はほとんど無い。右列は首径と同じ台座の上にダミーヘッドを置いて計測した結果で、台座の反射によるカラーレーションは無くなっているのが分かる。このように、HRTF の計測に際しては、音響計測の基本事項である周囲物体による反射の影響をできる限り除去することが重要であり、十分に配慮する必要がある。

第 2 に、HRTF 計測時の頭部運動と頭部保持具が HRTF に及ぼす影響について検討した。Fig.3 は HRTF を測定開始直後（$\theta = 0°$）と 60 分間に渡る測定の最後（$\theta = 360°$）に 2 度測定したダミーヘッドと

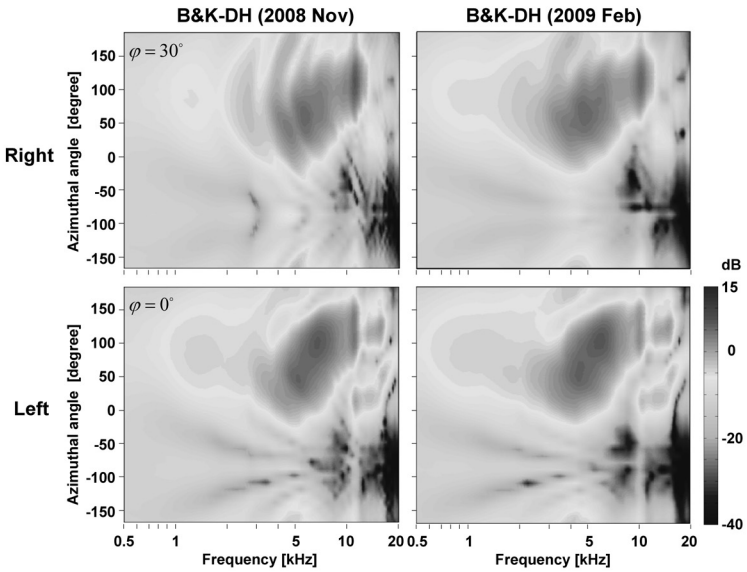


Fig.2 ダミーヘッドを首径より大きな台座（左）と首径と同じ台座（右）に載せて計測した HRTF

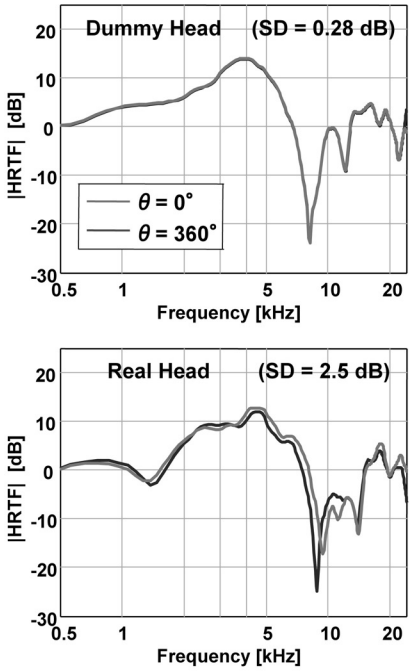


Fig.3 60 分間に渡る HRTF 計測の最初（$\theta = 0°$）と最後（$\theta = 360°$）に計測したダミーヘッドと実頭の HRTF

実頭の真正面の HRTF の一例である。ダミーヘッドの HRTF はほとんど同じであるのに対して、実頭の HRTF は両者に差異がある。これより、球状スピーカアレイの回転誤差はほとんど無いことと、後頭部を保持しているにもかかわらず実頭は 60 分の計測中に頭部が動いたことがわかる。この実頭の動きは被験者によって多い少ないはあるが、ダミーヘッドのように 60 分を経て測定した HRTF が同じであった被験者はいなかった。

また、ムチ打ち症用の顎の下に挟む頸部サポート具を装着して頭部を固定した場合、水平面 HRTF にはほとんど影響しないが、仰角がある場合 2〜3 kHz に緩やかなディップが生じることがわかった。これは、サポート具による反射に因るものと考えられる。

第3に、RIEC および他所で測定した実頭の HRIR を畳みこんだバイノーラル信号に対する音像定位実験を行い、HRTF の測定精度の違いが音像定位にどの程度影響するかを調べた。その結果、RIEC で測定した反射波を除去するために実効長の短い HRTF を用いた場合も、他所で測定した反射波が無いために実効長が長い HRTF を用いた場合でも、Fig. 4 に示すように、水平面の音像定位精度に有意な差は認められなかった。

第4に、HRTF 測定の時間を短縮し測定中の被験者の頭部運動の影響を排除する手法として、両耳の外耳道入り口に音源を置き、頭部周辺にマイクロホンを置いて音響伝達関数を測定する方法の実現を検討した。その結果、イヤホン用の超小型スピーカユニットを利用した耳栓型スピーカと、小型マイクロホンアレイと、多チャンネル AD 変換器を用いることにより、HRTF の計測が可能であることがわかった。ただし、超小型スピーカユニットの自由空間への出力音圧は最大でも 50 dBSPL 程度と低く、高レベルの高調波歪みが発生し易く、低高域での出力音圧が極めて低いこともわかった。これらの問題を解決するためには、TSP 信号に工夫を加えるとともに、従来よりも多い回数の加算平均を取らねばならない。さらに、多チャンネル AD 変換器のクロックを同期させることも必要である。これらの諸問題の解決は次年度の課題である。

（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。特に、日本音響学会研究発表会での招待講演では、これまでの成果を元にして頭部伝達関数の測定に際して注意すべき点について報告し、頭部運動が不可避でありその対策が不可欠であることを知らしめた。また、本プロジェクトで明らかになったいくつかの成果は，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，岩谷幸雄，鈴木陽一，“境界要素解析及び実測による実頭/個人擬似頭の頭部伝達関数の比較，” 2009 年春期研究発表会講演論文集，1443-1444 (2009.03)

（2）平原達也，大谷真，“頭部伝達関数と音像定位を巡る諸問題，” 日本音響学会 2009 年春期研究発表会講演論文集，1477-1480 (2009.03)

（3）平原達也，“はじめての聴覚実験 ― ディジタルな世界に棲む人々に伝えたい、音を鳴らし、測り、聴き比べるときのお約束 ―，” 日本音響学会誌 65 巻，2 号，pp. 81-86 (2009. 02)

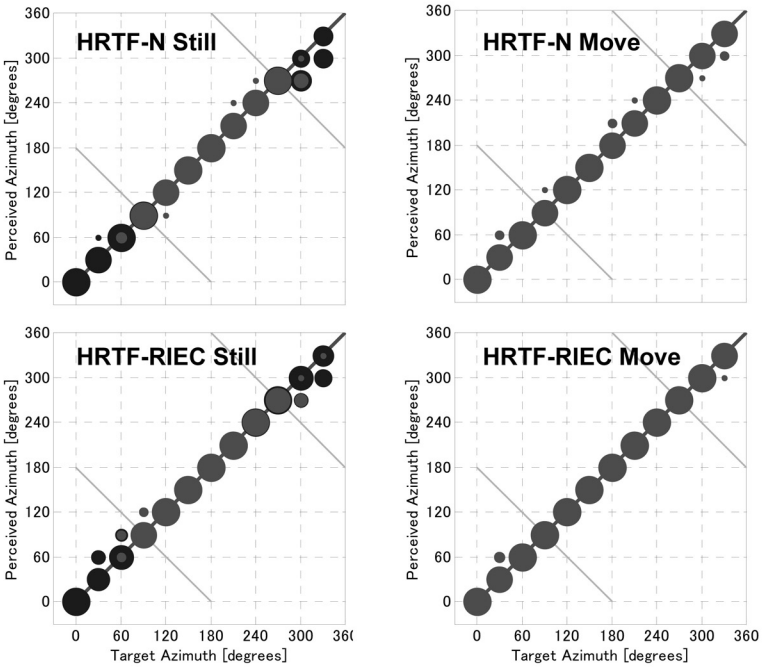


Fig. 4　2 箇所の計測サイトで測定した同じ実頭に対する 2 組の HRTF をそれぞれ畳みこんだバイノーラル信号による水平面音像定位実験結果の一例。

上段は、反射の無い計測サイトで測定した HRTF を用いた結果。下段は、反射のある RIEC で計測した HRTF を用いた結果。

左列は頭部静止条件、右列は頭部運動条件。青色は頭内定位、赤色は頭外定位下割合を示す。

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ１９／Ａ０７

採択回数	1	②	3

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
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（豊橋技術科学大学）
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２６万８千円，旅費２６万６千円

［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，色覚異常者が罹災するリスクが高まる等の問題を生み出している．色の感覚は脳内で作りだされているため，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と考えられるが，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いわれているが，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６万種類の細胞を供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」と仮称）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：なぜ中間色と呼ぶか？）は多いが，実験手法の困難さから，色の見え方の成立機序を直接的に示す科学的な知見が存在しないのが現状である．

昨年度は，研究推進会議や国際会議における議論を受けて，脳内の色情報処理について解明すべき事柄が多数あることを改めて確認する結果となった．それ以前に，赤，緑，青，黄といった基本的な色の情報を処理するメカニズムがどのような神経機構によるものか，という基本的な事実が解明されていないことが明らかになった．本年度は，昨年度の成果や議論を受けて，さらに脳内の情報処理についての理解を深めるための研究を行った．

脳内における視覚情報処理の理解が進むことによって，逆に「脳内にどのような情報を与えれば適切な視覚をあたえられるか」という問題に対する糸口を得ることができる．本年度は，脳内における視覚情報処理の基礎的な研究成果を社会に還元する一つの方法として，脳に刺激を与えることによって視覚情報を呈示する「人工視覚」テクノロジーに関する研究会を行い，新たな手法の可能性を模索した．

以下，これらの研究活動状況の概要を記す。

まず，色覚に関する脳内表現の基礎研究について，各研究者における研究の進捗状況の報告およびその内容に関する詳細な検討を行った．

【平成 20 年度　第１回研究推進会議】
期日：平成 20 年９月５日(金) 13:00
～９月６日(土) 15:00
場所：東北大学電気通信研究所２号館２階 W214 号室
題目：
1. 溝上陽子（千葉大学）「実空間におけるコンテクストが色の見えに 与える影響」
2. 鯉田孝和・小松英彦（生理学研究所）「サル下側頭皮質への電気刺 激によって生じる色判断の変化」
3. 中内茂樹（豊橋技術科学大学）「顔処理における

色情報の寄与：事象関連電位に着目して」
4. 内川惠二（東京工業大学）「両眼視野闘争による高次色チャンネルの推定」
5. 増田　修, D.Williams（University of Rochester）「適応光学系を用いた３種類の錐体分布の計測に関する研究」
6. 栗木一郎（東北大学），仲泊　聡（国立障害者リハビリテーションセンター病院）「白内障による眼内レンズ装着者の超初期の無彩色点の推移」
7. 篠森敬三（高知工科大学）「日常室内環境での色の面積効果」
8. 北岡明佳（立命館大学）「色の錯視とその残像」
9. 岡嶋克典（横浜国立大）「色の見えの個人差とそのシミュレーション」
10. 矢口博久（千葉大学）「メソピックビジョン・イメージングシステム」

次に，人工視覚技術に関する研究会の概要を記す．
【人工視覚の新たな可能性に関する研究会】
日時：平成21年2月9日(月)，13:30-20:00
場所：東北大学 電気通信研究所 W214 セミナー室
題目：
1. 人工視覚研究の現状と展望に関するレビュー．仲泊　聡（国立障害者リハビリテーションセンター）
2. 電気皮質刺激による視覚情報について．鯉田孝和（自然科学研究機構 生理学研究所）
2. チャネルロドプシン－2 を用いた人工視覚について．富田浩史（東北大学 融合領域研究所）
3. レーザー刺激による人工視覚技術の可能性について．栗木一郎（東北大学 電気通信研究所）

［3］成果
（3－1）研究成果
本年度に行った研究の成果については以下の通りである．
【色覚のメカニズムに関する研究】
増田の報告により，網膜に分布する３種類の光センサ（錐体）の分布特徴が適応光学系を用いて網膜における錐体の配列を可視化するという技術を用いた客観的な測定法によって明らかにされつつあることが報告された．神経回路についての議論もさることながら，視覚情報を符号化する一番重要なセンサの特性に関する研究の最先端の状況が明らかにされ，より高次の視覚メカニズムに関する研究に対する波及効果が期待された．

内川は両眼に異なる色刺激を与えた際に，脳内でそれらの色を処理するメカニズムが共通であれば互いに干渉が生じる（両眼マスキング）現象を応用し，脳内で色情報を扱うチャネルがどのような特性を持っているかについて行った研究成果を報告した．その結果，赤－緑／青－黄という基本２軸の信号の合成による情報表現では説明ができない結果を得た．この研究については被験者数や実験条件などを含め，まだ発展途上であるが，脳内の色覚アルファベットを扱うチャネルについて多くの示唆を与える研究であり，今後さらなる進展が期待される．

中内は形状に特化した色のバイアスについて脳波を計測することによって研究した事例について報告した．バナナや顔などの形状を見せることで，その形状の典型的な色を想起し，その影響を受けて僅かに色知覚がバイアスされるという現象が報告されている．この先行研究を背景に，バイアスによって生じる色感覚の違いを脳波によって客観的に捕らえる試みを行った．その結果，潜時と振幅に系統的な違いが現れることを確認した．この研究は形状と色の情報が統合される視覚皮質の中でも比較的高次のレベルにおける色情報の扱われ方に対し重要な示唆を与える実験結果である．

溝上は照明光が変化したことによって生じるスペクトルの変化にもかかわらず安定した色を知覚する現象について，被験者に万華鏡を通して実験刺激を観察させることで，視空間の構造的情報を破壊した場合についての知覚の変化を報告した．その結果，空間構造が破壊されても，実験刺激のごく近傍に存在する僅かな手がかりから色恒常性が得られることが判明した．この結果は脳損傷患者における先行研究において，局所的な隣接領域の手がかりを元に色恒常性を達成していたことを示す臨床研究とも整合しており，興味深い結果であると考えられる．

北岡は，空間的な配置によって生じる色の見え方の変化（錯視）に対して長時間順応したあとに生じる残効において，輪郭線だけの誘導図形に対し，錯視によって見えていた色の残効が生じることをデモンストレーションした．この結果は，色の見え方に関する残効を生じるメカニズムが空間的な色の分布によって見え方を決定するメカニズムよりも後のプロセスとして存在していることを示唆している．このプロセスは物体の形状と色の情報を扱うレベルとも密接な関連を持っていると考えられ，今後の発展が期待される研究テーマである．錯視によって生じる脳活動の変化についても調べられており，すでに一流の国際誌に論文が掲載されている．

栗木と仲泊は白内障手術によって眼内レンズを装着した後に生じる青視症に関する研究結果について報告した．青視症とは，白内障によって数十年の間に徐々に褐色に着色した水晶体を除去し，無色の眼内レンズを装着した後に経験する典型的な症状であ

る．主観的無彩色点を測定することによって回復期のダイナミクスを推定する実験を試みた．その結果，青視症からの回復プロセスは数時間という比較的長い時定数の現象であり，照明光の色が変化した際に数分で完了する適応（順応）のダイナミクスとは大きく異なることを示している．この研究結果は，色の見え方のゼロ点を決める「標準化」メカニズムという重要なプロセスに関する示唆を与える知見を含んでおり，重要な成果であると考えられる．この結果は原著論文として投稿されており，採録される見通しである．

鯉田と小松は，マカクサルの下側頭皮質において，色に対する選択性を示した細胞に電気刺激を与えた際の行動実験により色の知覚を与えることに成功している可能性を示す実験結果を得た．この報告は後述の人工視覚技術による視覚科学の応用とも深い関連を持っており，非常に重要な成果であると考えられる．

岡嶋は加齢効果などの器質的な要因によって生じる視覚特性の変化を画像として表示する技術について報告した．また矢口は暗い場所で作用する桿体という光センサが環境照明光の強度の低下によって徐々に色の見え方に介入する様子について，心理物理実験をもとに取得したデータから画像的に表現する技術について報告した．これらの技術は状況によって多様になりうる人間の色覚について工学的な応用を踏まえた研究であり，将来の発展が強く期待される．

【人工視覚技術の新たな可能性】

仲泊からは，これまでの人工視覚研究および臨床実験における動向についてレビューが報告された．

鯉田はマカクサルにおいて行われている皮質の電気刺激をもちいた実験についてのレビューを行った．

栗木はレーザー光を用いた神経刺激による研究例についてレビューを行った．

富田からは，本来光感受性を持たない細胞に光感受性を付与するチャネルロドプシン－２を用いた視覚再建に関する自身の研究について報告が行われた．現在は動物による実験が行われているが，光に対して反応する行動の様子が報告されており，人間に対して導入することで後天的に視覚を失った人に対する視覚再建の可能性を示唆する報告を得た．

これらの報告について活発な質疑討論が行われた．

（３－２）波及効果と発展性など

色覚アルファベットに関する研究については，各共同研究者の研究場所において精力的な研究が進められている．昨年１月に開催した国際シンポジウムに引き続き，さらに知見の集約と議論を行い，色覚情報の脳内表現に関する知見を網羅的に集約した国際シンポジウムなどのイベントの開催を目標にさらに研究を進めていく予定である．

人工視覚技術については，前述の技術を組み合わせることによって新たな人工視覚技術を開発できる可能性が研究会の結果明らかになってきた．この技術について基礎的な研究をより深め，世界に先駆けた実用化を目指すためにも，大型の研究費補助を受ける必要があると考えている．この研究課題については，平成 21 年度中に何らかの大型研究費補助への申請を検討している．

［４］成果資料

1. Kuriki I., Ashida H., Murakami, I., and Kitaoka A., Functional brain imaging of the Rotating Snakes illusion by fMRI. *Journal of Vision*, **8**(10):16, 1-10, 2008.
2. Kitakawa T., Nakadomari S., Kuriki, I., and Kitahara K., Evaluation of early state of cyanopsia with subjective color settings immediately after the cataract removal surgery, *Journal of the Optical Society of America A* (submitted).
3. 栗木一郎：脳内の色情報表現について．*視覚の科学*，**29** (3), 107-113, 2008.
4. Kuriki I., Characteristics of post-opponent colour-channels revealed by chromatic notched-noise adaptation technique. *Asia Pacific Conference on Vision*, 2008.
5. 北川貴明，仲泊　聡，栗木一郎，北原健二．白内障手術直後における超早期の色の見えについて．日本視覚学会 2008 年冬期大会.
6. 栗木一郎・仲泊　聡・北原健二．脳内の色情報表現と色恒常性，日本視覚学会 2008 年冬期大会.

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（琉球大学）
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）
佐野陽之（石川工業高等専門学校）
荒船竜一（科学技術振興機構）
片野　諭（東北大学）

研究費：物件費 24 万 5 千円，旅費 22 万 4 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と拡張、（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。

今年度の共同プロジェクト研究は上述の（1）と（3）の研究課題に集中して実施した。（1）に関して、これまでの研究から個々の分子の振動エネルギーが STM 発光振動分光法によりどのように決定されるかが、かなり明確になってきた。今年度は次のステップとして、この手法にピコ秒の時間分解能を付与する試みを開始した。ピコ秒の時間分解能と原子レベルの位置分解能を併せ持つユニークな計測手法の実現を目指すものである。坂本氏と電子メールで情報を交換しながら実験・開発を進めた。その結果、実現の可能性が強く期待される実験結果が得られた。並行して、時間スペクトルを得るための光学遅延系に関して佐野氏と 12 月 25~27 日に検討を行った。また、観測される振動モードを決定している物理的機構（すなわち、選択則）に関する荒船氏との共同研究を 12 月 11, 12 日に実施した。

（3）の研究課題に関して、次世代光記録や不揮発メモリーの原材料として期待されている Ge-Sb-Te 合金系の STM 発光計測を 6 月 30 日~7 月 2 日にわたり桑原正史氏と行なった。その後、10 月 17~18 日の両日に実験結果の解析を行い、論文を執筆した（印刷中）。Ge-Sb-Te 合金系の STM 発光分光が、そのナノ物性解析に極めて有効であることが明らかになったことを受け、次年度以降の研究の方向性を 1 月 30~31 日に議論した。研究の進展に伴い産業技術総合研究所と共同研究契約を締結した。

［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 20 年度に得られた成果の概略を以下に記す。

（1）に関しては、単一の（すなわち、孤立した）ベンゼン分子の C-H 伸縮振動モードや Sb_2Te_3 の光学フォノンに対し、時間分解計測の可能性が強く示唆される実験結果が得られた。今後、光学遅延系を整備し、単一の分子の振動寿命時間の決定や孤立ナノ構造のフォノンダイナミクスの解明を目指す。

（3）に関して：$Ge_2Sb_2Te_5$ や Sb_2Te_3 の STM 発光スペクトルと、報告されているこれら物質の誘

電関数やバンド構造を比較・検討することにより、STM 発光が一種のバンド間遷移により励起されていることを明らかにした。バンド構造は結晶構造に強く依存することから、STM 発光分光により、局所的な結晶性の解析が可能になる。

（３－２）波及効果と発展性

平成 20 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）に関して：分子振動やフォノンは電子緩和を決定する重要な要素であり、個々の分子やナノ構造の寿命決定手法の確立は、基礎科学への貢献のみならず分子デバイスやナノデバイスの動作解析にも貴重な手法を提供することになる。

（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, M. Kuwahara1, S. Katano, and S. Ushioda, “Scanning tunneling microscope light emission spectra of poly-crystalline $Ge_2Sb_2Te_5$ and Sb_2Te_3” Solid State Commun. (in Press).
(2) 上原洋一，片野諭，三本木智則，坂本謙二，潮田資勝，“$Ge_2Sb_2Te_5$ と Sb_2Te_3 の STM 発光分光”，日本物理学会　第 64 回年次大会（東京, 2009 年３月 29 日）．
(3) 上原洋一，片野　諭，渡邉彰太，三本木智則，坂本謙二，潮田資勝，“ピコ秒の時間分解能と原子位置分解能を併せ持つ光学計測法の開発”，第 56 回応用物理学関係連合講演会（つくば，2009 年３月 30 日）．
(4) 片野諭，桑原正史，上原洋一，潮田資勝，“$Ge_2Sb_2Te_5$ と Sb_2Te_3 の STM 発光分光”，日本物理学会　第 64 回年次大会（東京, 2009 年３月 29 日）．
(5) 桑原正史，上原洋一，片野　諭，“$Ge_2Sb_2Te_5$ および Sb_2Te_3 薄膜の STM 発光測定”，第 56 回応用物理学関係連合講演会（つくば，2009 年３月 30 日）．

課題番号　Ｈ１９／Ａ１０

採択回数	１　②　３

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）
中島　栄俊（熊本電波高専）

研究費：物件費 27 万 8 千円，旅費 30 万 7 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，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。昨年度は，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。本年度は，FDBM を用いて特定方向より到来する成分のみを抽出する分離フィルタが音源方向推定誤差等により適切に生成されない場合，処理信号で時間-周波数領域における自然性を欠いた不連続点が生じ，ミュージカルノイズとして知覚されてしまう。本報告では，時間-周波数領域における孤立点に着目し，時間-周波数フィルタリングによる FDBM の分離フィルタに対する事後処理を用いたミュージカルノイズの抑制について検討する。

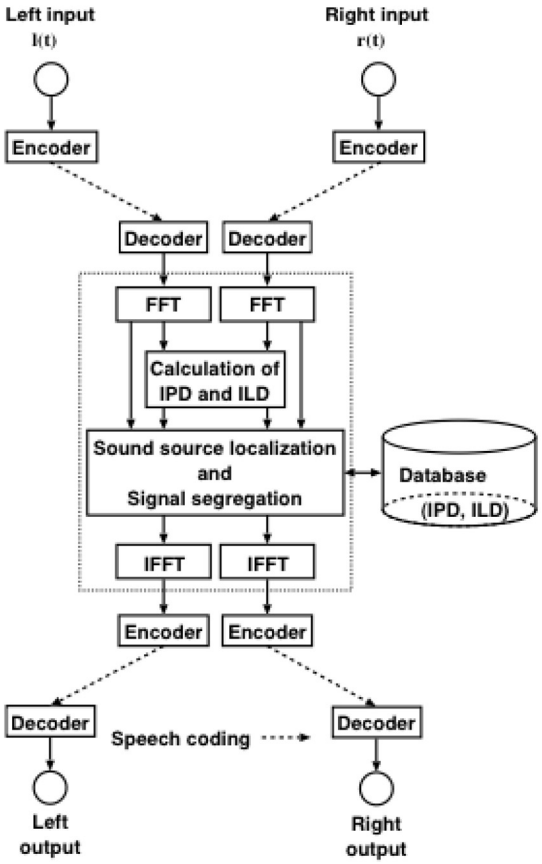


Fig.1 周波数領域両耳聴モデルのブロック図

［３］成果

（３－１）研究成果

【時間-周波数フィルタリング事後処理について】

Fig. 1 中の Signal segregation での方向推定情報より作成された分離フィルタ Hm(k) において，m は分離対象の音源番号，k は周波数インデックスとした場合，重み付けがされない Hm(k) = 1 となるような(m, k)について，その隣接成分に対して重み付けがなされる。このとき，処理後のスペクトルにおいて(m, k)の成分が孤立点として残ることが考えられる。そこで作成された分離フィルタに対し Hm(k)=1 となる(m, k)を中心として l (時間方向)×n (周波数方向) の領域について，領域内の分離フィルタの値に 1 となるものが存在しない場合，(m ,k)を

中心とした l×n の領域に対しフィルタリングを行う。今回は，時間方向に対し重みを置くために l＝5，n ＝ 3 とし，メディアンフィルタを用いてフィルタリング処理を行った。

【シミュレーション】

評価指標：

評価指標には，スペクトログラムの比較，Segmental SNR，コヒーレンス，perceptual evaluation of speech quality (PESQ)の 4 つの方法を用い，それぞれの評価指標は左チャネルの信号に対して行った。スペクトログラムの比較では，処理信号のスペクトルを視覚的に比較することによりミュージカルノイズの除去性能を確認した。Segmental SNR に基づく評価は，$l_t(.)$，$\hat{l}_t(.)$ を左チャネルにおけるターゲット信号および処理信号，L をフレームの総数，K を 1 フレーム内のサンプル数とすると次式のようになる。

$$Segmental\ SNR = \frac{10}{L}\sum_{l=0}^{L-1}\log_{10}\left(\frac{\sum_{k=0}^{K-1}[l_t(lK+k)]^2}{\sum_{k=0}^{K-1}[l_t(lK+k)-\hat{l}_t(lK+k)]^2}\right)$$

コヒーレンスに基づく評価は，スペクトル X に対しその複素共役転置を X^* 時間平均を $\overline{X}$ としたとき，スペクトル X_1, X_2 に対して次式で定義される。

$$C^2(X_1, X_2) = \frac{(\overline{X_1 X_2^*})^2}{\overline{X_1}^2\,\overline{X_2}^2}$$

Lt(k)を左チャネルにおけるターゲット信号のスペクトル，$\hat{L}_t(k,\phi,\psi)$を雑音源が(ϕ,ψ)の方向に配置されている場合のターゲット信号の推定スペクトルとすると，入力信号および処理信号のコヒーレンス関数は次の 2 式で得られる。

$$\begin{aligned} C(k)_{in_l} &= C^2(L_t(k), L(k)) \\ C(k)_{out_l} &= C^2(L_t(k), \hat{L}_t(k,\phi,\psi)) \end{aligned}$$

最終的なコヒーレンスは C(k)を周波数方向で平均することで定義される。PESQ は ITU-T より勧告されている客観的音質評価手法である。PESQ は心理音響モデルを考慮しているため人間の聴感に近い評価を示すことが期待されるが，雑音抑圧処理を行った信号に対する評価の精度を保証していない。よってここでは PESQ は評価値間の相対的な比較を主目的に使用する。本報告において原信号にはターゲット信号を用いる。PESQ によって与えられる PESQ score の範囲は-0.5ー4.5 であり，4.5 は処理信号が原信号と同質であることを示す。

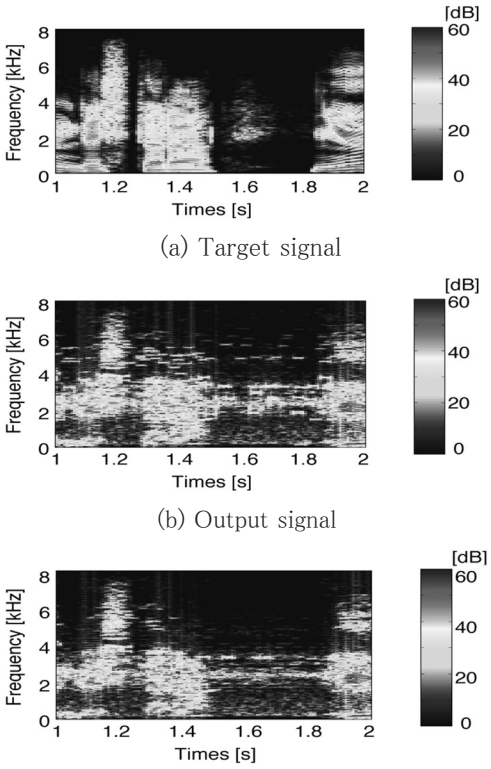
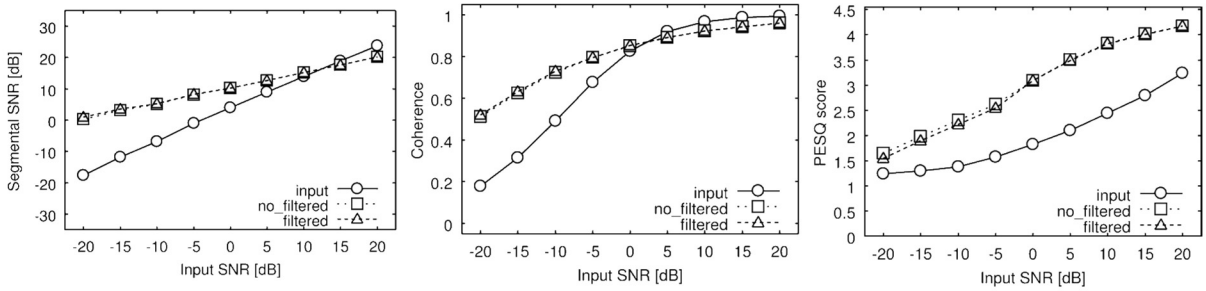


Fig.2　Spectrograms of each signal when the target source is male speech located at (0° , 0°) and the interference source is pink noise located at, (-30° 0°). And Input SNR is-10 dB.

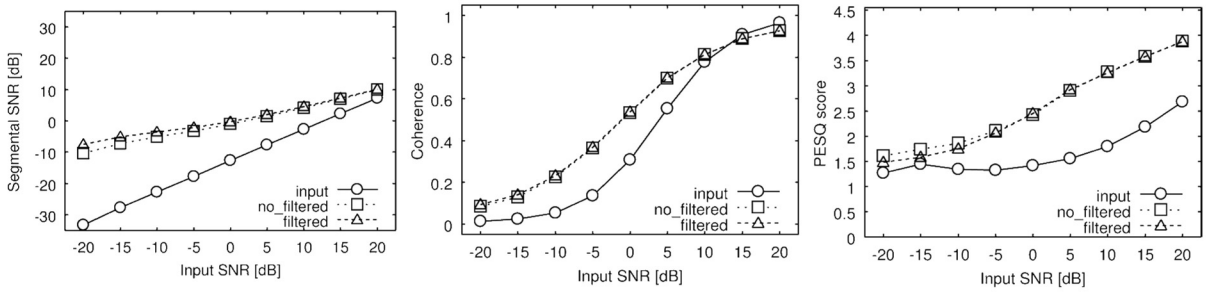
シミュレーション条件：

計算機シミュレーションにより提案手法の性能評価を行う。シミュレーション条件は以下のとおりである。音源のサンプリング周波数は 16 kHz, FFT



(a) Segmental SNR (b) Coherence (c) PESQ

Fig. 3 Evaluation results when the target source is male speech located at (0°, 0°), and the interference source is female speech located at (60°, 0°).



(a) Segmental SNR (b) Coherence (c) PESQ

Fig. 4 Evaluation results when the target source is male speech located at (0°, 0°), and the interference source is pink noise located at (−30°, 0°).

の分析フレーム長は 512 (32 ms), 周波数分解能は 31.25 Hz であり, フレームの切り出しにはハニング窓を用い, オーバーラップは1/4フレームとした。音声試料は日本音響学会研究用連続音声データベースに収録されているものに, MIT より配布されている KEMAR ダミーヘッドの HRTF を畳み込んだものを使用した。基準となる Input SNR は, ドライソースにおけるターゲット音と雑音の比として定義し, −20ー20 dB の範囲で 5 dB 刻みで変化させた。本シミュレーションにおいて, 音源はすべて仰角 0° に配置, 正面方向を 0° , 右側を+, 左側を−とした。FDBM におけるターゲット方向は(方向角, 仰角) = (0° , 0°)とし, ターゲット音源として男声スピーチを用いた。雑音源の種類および配置は, 条件 1 の場合は, 女声を(60° , 0°)に, 条件 2 の場合は, ピンクノイズを(−30° , 0°)に設定した。

シミュレーション結果：

Fig. 2 に条件 2, Input SNR−10 dB の場合におけるスペクトログラムを示す。 Fig.2 において(a) ターゲット信号, (b), (c) はそれぞれ時間-周波数フィルタリング適用前と後の処理信号のスペクトログラムを示している。また(d), (e) はそれぞれ(a) と(b), (a) と(c) の差の絶対値をとったものである。各図において(a)ー(c) は dB 値であり, (d), (e) は線形値で表されている。理想的な音源分離が実現された場合ターゲット信号と処理信号とのスペクトルは一致するためその差は 0 になる。そのため(d), (e) にはミュージカルノイズとして知覚されうる成分が含まれていると考えられる。Fig.2 に示すスペクトログラムは, 信号の 1ー2 秒の部分を拡大表示したものである。 Fig. 3 および Fig. 4 に各条件における Segmental SNR, コヒーレンス, PESQ の結果を示す。各図おいて, 横軸は Input SNR, 縦軸はそれぞれ Segmental SNR, コヒーレンス, PESQ score を示している。 また凡例について input は入力信号, no_filtered および filtered はそれぞれ時間-周波数フィルタリング適用前と後の処理信号の値である。

考察：

Fig.2 (d), (e) より 1.6ー1.8 秒辺りに時間軸方向に生じていた残留成分の発生が低減されていることが分かる。このことから今回分離フィルタに対し事後処理として時間-周波数フィルタリングを行うことによって, 分離後の信号スペクトルに生じる孤立点状の残留スペクトルの発生を低減し, ミュージカルノイズ抑制の可能性が示唆された。Figs.3, 4 について, Input SNR が 0 dB 以下の場合において, フィルタリング処理によって Segmental SNR に僅か

な上昇がみられた。これは処理後のスペクトルおける残留成分が除去されたためと考えられる。またコヒーレンスに関して，Input SNR の値にかかわらずほぼ同程度であった。PESQ score について，Input SNR が 0 dB 以下の範囲では，評価値の低下が生じているが，0 dB 以上では同程度の評価値が得られた。この理由として，1.4 秒付近で見られるように，音声成分と重なる部分では残留成分の除去が十分でない，または音声成分も同時に除去されてしまっているためと考えられる。以上より，分離フィルタに対する時間-周波数フィルタリングを用いた事後処理によるミュージカルノイズ抑制の可能性が示唆されたが，スペクトログラムに生じる孤立点成分を除去するだけでは十分なミュージカルノイズの抑制効果を得ることは困難であるといえる。そのため他の手法も用いた更なる検討が必要であると考えられる。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて，両耳補聴システムに必要不可欠な処理を個々に開発を進めてきている。それぞれに改良の余地はあるが，演算量の少ない方法であるため既存の製品に対しても個々に適用可能である。今後はシステム統合を行い，全体を通しての性能向上を検討することにより，製品化への期待ができる。

［4］成果資料

(1) 河野 亮詞，苣木 禎史，宇佐川 毅，両耳補聴システムにおける音声コーデックを用いた両耳間通信の検討，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.108, No.115, EA2008-34, pp.45-49, 2008.6
(2) Yoshifumi Chisaki, Ryouji Kawano, Tsuyoshi Usagawa, On bit rate reduction of inter-channel communication for a binaural hearing assistance system, IEICE Trans. A, Vol.E91-A, No.8, pp.2041-2044, 2008.8
(3) 河野 亮詞，苣木 禎史，宇佐川 毅，両耳補聴システムのための周波数領域両耳聴モデルを用いた音源分離 -時間-周波数フィルタリングによるミュージカルノイズの低減-，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.108, No.306, EA2008-98, pp.81-85, 2008.11
(4) Yoshifumi Chisaki, Masahiro Naganishi, Tsuyoshi Usagawa, Azimuthal and elevation localization using inter-channel phase and level differences for a hemispheric object, IEICE Trans. A, Vol.E91-A, No.10, pp.3059-3062, 2008.10
(5) Minako Tomita, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa, Quantitative evaluation of sound source segregation performance by means of the frequency domain binaural model, Proc. InterNoise 2008, 0759, pp.1—9 (CDROM) 2008.10
(6) 冨田 美奈子，シャリファ サウン，苣木 禎史，宇佐川 毅，周波数領域両耳聴モデルによる音源分離性能における定量評価 - 音源方向への依存性についての検討 -，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.108, No.306, EA2008-99, pp.87-92, 2008.11
(7) Tsuyoshi Usagawa, Minako Tomita, Sharifah Binti Saon, Yoshifumi Chisaki, An Objective Evaluation of Segregated Speech Signal By Means of Frequency Domain Binaural Model, 日本音響学会聴覚研究会資料, Vol.38, N0.8, H-2008-139, pp787-792, 2008.12
(8) 冨田美奈子，河野亮詞，苣木禎史，宇佐川毅
周波数領域両耳聴モデルによる音源分離におけるミュージカルノイズ抑制の試み - 時間-周波数フィルタリングを用いた分離フィルタの事後処理 -，日本音響学会 2009 年春季研究発表会講演論文集，pp. 795-798, 2009.3

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２８万５千円，旅費３２万２千円

［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。特に，ユビキタス・コンピューティング環境における分散システムでは，ユーザの操作形態や利用状況がさまざまに変化するため，ユーザの操作プロセスや操作中の感性要因を形成的に評価することが重要である。

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いて，いつでもどこでもそして誰でもが使用するようなユーザインタフェースを評価対象として，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 20 年度は，プロジェクトの 2 年目として，前年度までに開発した要素技術をブラッシュアップするとともに，要素技術を適用したアプリケーションの開発やユーザビリティ調査実験を実施した。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「注意モデル」を解明して，注意モデルに基づくユーザビリティ評価方法を構築する。具体的には，外部からの刺激に対するユーザの反応や注意と，視覚的注意（視線情報）および生体信号（脈派，皮膚電気活動，呼吸）との関係を明らかにする。この中で，平成 20 年度では，視線停留時間および脈波波高と注意箇所との関係における「注意レベル」を識別するモデルを解明した。また，五感刺激の呈示と生体信号との関係を解明した。

（２）　分散デバイス用インタフェースの評価実験（東北大学電気通信研究所＋山梨大学）

分散デバイス用のインタフェースおよびそれを評価する JGN 上での評価システムのために，コンピュータの性能やユーザの利用状況の変化へ柔軟に対応する QoS（Quality of Service）制御機構を構築する。具体的には，処理能力の異なる複数の分散デバイスが配置されている状況において，ユーザがすぐにアクセスできるデバイスに合わせた操作・情報提示システムを開発した。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

- 研究会
  - 日　時：平成20年11月17日～11月18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），
    高橋秀幸（東北大学），
    小俣昌樹（山梨大学），
    和泉　諭（東北大学），
    小林有佑（東北大学），
    渡邉　聡（山梨大学），
    小笠原慧（山梨大学）
  - 研究発表内容：
    ① アウェアネスを検出するための五感刺激と生体情報との関係の検証，小俣昌樹（山梨大学）
    ② マルチモニタ環境のためのウィンドウへのカーソルジャンプによるポインティング法，小笠原慧（山梨大学）
    ③ Web 閲覧時におけるユーザの記憶補助手法の検証，渡邉　聡（山梨大学）
    ④ 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型健康支援システム，和泉　諭（東北大学）
    ⑤ 白鳥研におけるメタバース研究の新たな展開，菅沼拓夫（東北大学）

- 研究打ち合わせ
  - 日　時：平成21年 3月 8日～ 3月9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），
    郷健太郎（山梨大学），
    小俣昌樹（山梨大学），
  - 打ち合わせ内容：
    ① JGN2plus の利用について，接続経路および利用方法とビデオ会議および生体信号の送受信と可視化に関する実験計画を議論・検討した。
    ② 生体信号を計測する機器およびそれらを無線通信でコンピュータに送信する機器の利用について，情報交換および議論した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，Web ページ閲覧者の視線停留時間，瞳孔径および脈波データの変化に着目して，これらの生体データから閲覧者の興味箇所を特定する分析手法を提案した。また，従来の視線停留時間のみの手法よりも本提案手法の方が，興味箇所の検出精度が高いことを示した。この中で，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，その箇所での閲覧者の興味度合が高い可能性があることを示した。

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ながら，そのときの感情を吹き出しに反映させることができる。

第3に，健康に関するオントロジを導入し，生活習慣病改善を目指す人々を支援するシステムを提案した。このシステムでは，センサデバイスやモバイル端末を利用し，ユーザの身体データの取得や管理を行い，さらに，取得した身体データを利用し，健康に関するドメインオントロジに基づいて推論を行うことで，ユーザに適した健康アドバイスを導出する。オントロジを用いることで，健康に関する知識をシステムが理解し，より適切なアドバイスが導出できる。

（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，視線情報，皮膚伝導，脈波などの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。

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る。特に，分散デバイスのためのユーザインタフェースでは，ユーザの様々な状況を把握する必要があったり，ユーザの心的状況に配慮する必要があったりするので，ユーザの主観や感情を重視して評価することは，極めて重要である。

さらには，生体信号を入力とするバイオフィードバック機構を伴うユーザインタフェースの開発へも発展すると考える。

［4］成果資料

（1） 小俣昌樹, 内藤雄也, 今宮淳美: “生体信号に連動する吹き出しオンラインチャットの設計と評価,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.2, pp. 49-60, (2008).

（2） 小俣昌樹, 堀内沙織, 今宮淳美: “アウェアネスを検出するための五感刺激と生体情報との関係の検証,” 第2回 香りと生体情報研究会, pp. 31-36 (2008).

（3） 小笠原慧, 小俣昌樹, 今宮淳美: “マルチモニタ環境のためのウィンドウへのカーソルジャンプによるポインティング法,” 第 7 回情報科学技術フォーラム (FIT2008), (2008).

（4） Lin, T., Imamiya, A. and Mao, X.: “Using Multiple Data Sources to Get Closer Insights into User Cost and Task Performance,” Interacting with Computers (2008).

（5） 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, (2008).

（6） 深澤綾, 小俣昌樹, 今宮淳美: “視線停留時間と脈波波高に基づく Web ページの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(4), pp. 93-94, (2008).

（7） 平山順一, 郷健太郎: “紙メディア変換による Web デザインのプロトタイプ作業支援システム,” 「人間中心設計」論文誌, Vol. 4, No. 1, (2008).

（8） 郷健太郎: “ユビキタス時代のサービス・コンテンツのシナリオベーストデザイン,” 計測と制御, Vol. 47, No. 2, pp. 82-87, (2008).

（9） 郷健太郎, 柏木賢治: “眼科遠隔診療システムの実現－人間中心設計アプローチー,” 日本遠隔医療学会雑誌, 第 4 巻, 第 2 号, pp. 321-322, (2008).

（10） Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori: “Context Aware Communication in Ubiquitous Computing Environment,” ITC-CSCC2008, pp. 505-508, (2008). **<Presentation Award>**

（11） Takayuki Kuroda, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori: “An Effective QoS Control Scheme for 3D Virtual Environments Based on User's Perception,” IEICE Transactions on Information and Systems, E91-D (6), pp. 1604-1612, (2008).

（12） 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, 49 (2), pp. 822-837, (2008).

（13） Takayuki Kuroda, Akira Sakatoku, Gen Kitagata, Debasish Chakraborty, Norio Shiratori: “Flexible open 3D digital space combination scheme for symbiotic collaborative works,” IEEE ICCI, pp. 310-316, (2008).

（14） Takuo Suganuma, Hideyuki Takahashi, and Norio Shiratori: “Agent-based Middleware for Advanced Ubiquitous Communication Services based on Symbiotic Computing,” Proc. of the 7th IEEE International conference on Cognitive Informatics (ICCI2008), pp.300-309, (2008) **<Invited Paper>**

（15） Takuo Suganuma, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, Fumio Hattori and Norio Shiratori: “Concept of Symbiotic Computing and its Agent-based Application to a Ubiquitous Care-Support Service,” International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, Vol.3, No.1, pp.34-56, (2009).

（16） Taishi Ito, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma and Norio Shiratori: “Design and Implementation of Adaptive Communication Mechanism for Ubiquitous Multiagent Systems,” 情報処理学会シンポジウムシリーズ, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, Vol. 2008, No. 14, pp. 187-192, (2008) **<最優秀論文賞>**

（17） Hideyuki Takahashi, Satoru Izumi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshira, Norio Shiratori: “A Design of Social Awareness for Ubiquitous Supervisory Systems,” 情報処理学会シンポジウムシリーズ, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, Vol. 2008, No. 14, pp. 169-174, (2008). **<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）
山崎吉晴（ソフトバンクテレコム研究所)
飯塚　昇（ソフトバンクテレコム研究所)
浅野安良（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）
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）

研究費: 物件費 0 円, 旅費: 469,920 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ー系携帯電話において，3.9G 及び IMT-Advanced として 4G の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す 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 2 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．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．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．

2008: 5/7, 5/23, 6/30, 8/6, 8/21, 9/5, 10/1, 10/14, 10/29, 11/21, 12/3, 12/18,
2009: 1/8, 2/5, 2/19, 2/25, 3/6, 3/12

さらに，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 4 日～5 日），通研公開 (10 月 4 日～5 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，OFDM の多値変調に関して以下に示す研究成果を得た．

図 1 に Downlink の 64QAM 及び 256QAM 端末のスループットの累積確率を示す．×線は 64QAM までをサポートした結果，○線が 256QAM までをサポートした結果である．最大スループットに関しては，2.7Mbit/s から 4.1Mbit/s へと 1.5 倍のスループットが得られたものの，スループット中央値では，2.1Mbit/s から 2.5Mbit/s と 1.2 倍程度に留まり，劣化率 10%におけるスループットでは差は無い．

以上より，OFDM の Downlink の多値変調に関しては，平均スループット及び劣化率 10%のスループットに関しては 64QAM が有効であり，最大スループットの観点で 256QAM を導入すべきである．

図 2 に Uplink の QPSK 及び 16QAM 端末のスループットの累積確率を示す．×線は QPSK までをサポートした結果，○線が 16QAM までをサポートした結果である．最大スループットに関しては，780kbit/s から 1650kbit/s へと 2 倍のスループットが得られ，平均スループットでは，750kbit/s から 1500kbit/s と 2 倍程度となり，劣化率 10%におけるスループットにおいても，600kbit/s から 1200kbit/s へと向上している．

図 3 に Uplink の QPSK 及び 16QAM 端末を用いた最大負荷を印加したときの平均スループットの基地局からの距離依存性を示す. 700m 以内でスループット向上効果が見られ，500m 以内では 2 倍のスループットとなっている．400m 以内では一定値を示していることから，64QAM 等の多値変調の導入効果が見込めると推察できる．

以上より, OFDM の Uplink の多値変調に関しては，最大スループットの観点より，64QAM を導入すべきであると考えられる．

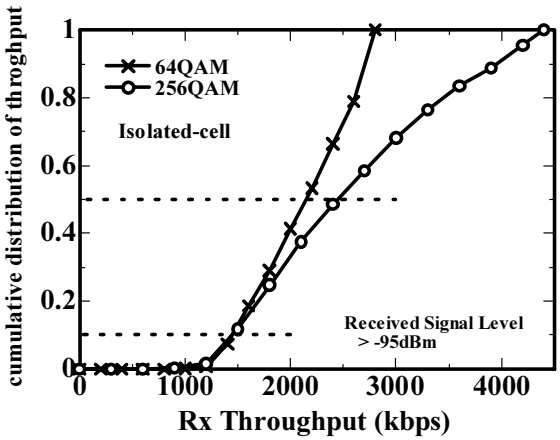


図 1　Downlink の 64QAM 及び 256QAM 端末のスループットの累積確率

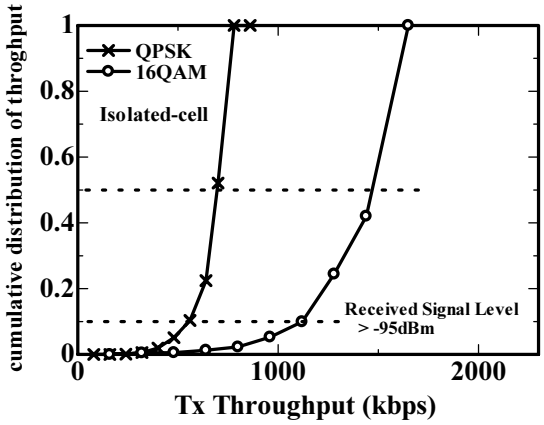


図 2　Uplink の QPSK 及び 16QAM 端末のスループットの累積確率

（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．第 3.9 世代携帯電話の LTE(Long Term Evolution)，次世代 PHS，Mobile WiMAX，さらに第 4 世代携帯電話の LTE-Advanced においても本プロジェクトで先駆けて取り組んでいる OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) が採用されている．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，2008 年 5 月に発効された IEEE802.20 標準規格書に membership の一人として掲載されるなど多大な貢献をしている．本プロジェジュトの成果に対し，国内外の通信機器企業，半導体関連企業，政府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の来仙している．さらに本プロジェクトの研究成果を積極的に学会発表することにより，本学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，国内外の大学，企業との関係が非常に強化されている．

今後は宮城県との更なる密接な協力関係により，産学官による地元地域のモバイル技術・ビジネスの拠点化に向けた取り組みへの大きな発展へと期待できる．

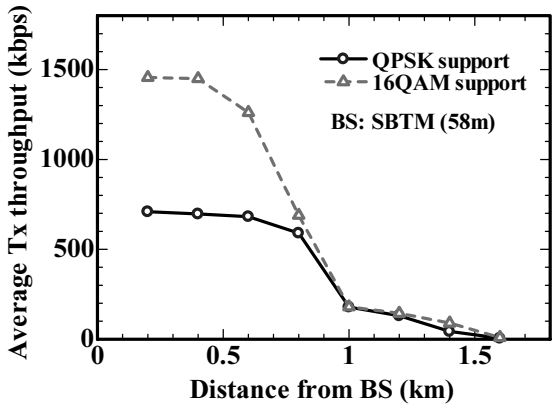


図３　Uplink の平均スループットの基地局からの距離依存性

[4]成果資料
[1] 坪内和夫,”ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスへの挑戦,”信学総大, AI-1-5, March 2009.
[2] N. Izuka, et al ,"First-ever report on MBWA system field trial:Interference issue in sectored cell layout," 68th IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC2008-Fall), 7E-4, Sept. 2008.
[3] H. Oguma, et al, "Measured downlink throughput performance of MBWA system in urban area,"IEEE Int. Symp. on Wireless Commun. Systems (ISWCS2008), Oct. 2008.
[4] H. Oguma, et al “Comparison of downlink throughput distributions between frequency reuse factors of one and three in MBWA system field trial,"Int. Symp. on Wireless and Pervasive Computing, Feb. 2009.
[5] 柏村 育郎 他,“都市部における MBWA システムの特性～ 種々の基地局高における孤立セルの特性 ～,” 信学技報, vol. 108, no. 250, SR2008-44, pp. 43-48, Oct. 2008.
[6] 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(10) －種々の基地局高における孤立セルの特性－,”信学ソ大，B-5-40，Sept. 2008.
[7] 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(11) －帯域一定条件下での Reuse=1 と Reuse=3 のスループット－,”信学ソ大，B-5-41，Sept. 2008.
[8] 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(12)－種々の基地局高における Uplink の特性－,”信学総大，B-5-47，March 2009.
[9] 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(13)－Downlink における 256QAM の適用効果－,”信学総大，B-5-48，March 2009.

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ０１

採択回数	①	２	３

プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究

［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）
加藤 俊顕（東北大学大学院工学研究科）
須田 善行（北海道大学情報科学研究科）
藤原 民也（岩手大学工学部）
高橋 和貴（岩手大学工学部）
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）
吉木 宏之（鶴岡工業高等専門学校）
末松 久幸（長岡技術科学大学）
佐藤 直幸（茨城大学大学院理工学研究科）
白井 肇（埼玉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）
平田 孝道（武蔵工業大学）
阿知波 洋次（首都大学東京都市教養学部）
岡崎 健（東京工業大学大学院理工学研究科）
寺嶋 和夫（東京大学新領域創成科学研究科）
小林 慶裕（NTT 物性科学基礎研究所）
湯田坂 昌子（NEC 基礎・環境研究所）
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）
松本 和彦（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（大阪大学大学院工学研究科）
奥 健夫（滋賀県立大学工学研究科）
佐野 紀彰（京都大学工学研究科）
久保園 芳博（岡山大学理学部）
福政 修（山口大学工学部）
大原 渡（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）
中嶋 直敏（九州大学工学研究院）
藤山 寛（長崎大学工学部）
秋山 秀典（熊本大学自然科学研究科）
山下 一郎（奈良先端科学技術大学院大学）
浜口 智志（大阪大学工学研究科）
太田 貴之（和歌山大学システム工学部）

研究費：物件費 44 万 4 千円，旅費 41 万 4 千円

［２］研究経過

本プロジェクトにおいては，２１世紀の重点的研究分野と目されている環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料，ライフサイエンス，フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも学問的基盤として根幹的に関わっているプラズマ科学と，ナノバイオ科学が融合する新領域に特化して，気体，液体，気液界面プラズマ中の新規ナノバイオプロセシング法を駆使することにより，次世代ナノ情報電子デバイス創成に資する基礎研究を，全国のプラズマ理工学者を中心としてナノバイオ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３年間を目処に展開する．

本プロジェクトでは上記の目的を遂行するべく，バイオ，医療，プラズモニクス等のプラズマ－バイオ融合科学分野から，フラーレン・ナノチューブ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21年1月30日，31日
場所：東北大学大学院工学研究科
　　青葉記念会館　401大研修室
1. 「ナノバイオ技術が拓く未来医療」馬場 嘉信（名古屋大学大学院工学研究科）
2. 「金ナノロッドの表面プラズモンとバイオセンシング」新留 康郎（九州大学大学院工学研究院）
3. 「タンパク質超分子とナノ構造構築」山下 一郎（奈良先端科学技術大学院大学）
4. 「プラズマ－バイオ融合科学への新展開　－物性科学の立場から－」寺嶋 和夫（東京大学新領域創成科学研究科）
5. 「医療応用としてのプラズマプロセス」浜口 智志（大阪大学大学院工学研究科）
6. 「プラズマプロセスにおける揺らぎの抑制と増幅」古閑 一憲（九州大学大学院システム情報科学研究院）
7. 「低温プラズマプロセスによるバイオ活性制御」永津 雅章，荻野 明久（静岡大学大学院創造科学技術大学院）
8. 「プラズマバイオトロニクスの立場から」 畠山 力三，金子 俊郎（東北大学大学院工学研究科）

日時：平成21年2月23日
場所：東北大学大学院工学研究科
　　電気・情報系　103会議室
「重水素プラズマ中での負イオンの生成と応用
－ＮＢＩ用の負イオン源開発に向けて－」
福政　修（山口大学大学院　理工学研究科）

本研究会では学内外を含め延べ70名以上の参加者があり，講演は「プラズマ－バイオ融合科学」を主テーマに，バイオ応用プラズマプロセス，医療応用プラズマプロセス，プラズモニクス等の立場から，専門分野を越えて活発な議論がなされた．

［３］成果
（３－１）研究成果
本研究プロジェクトにおいては，気体、液体、気液界面プラズマ中の新規ナノバイオプロセシング法を駆使することにより，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等のカーボンナノチューブの基礎と応用研究を展開することを目的としており，以下に示す研究成果を得た．

I. 孤立垂直配向単層カーボンナノチューブからの蛍光観測

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，グラファイトシートの螺旋度(カイラリティ)等の詳細な構造制御は，極めて重要な課題であり世界中で活発な研究が行われている．この課題を克服する上では，試料内の構造ばらつきを正確に評価する技術が重要である．2002年にワイズマン等によりSWNTsを完全に孤立化させることで蛍光特性が観測されることが報告された．この蛍光特性はSWNTsのバンドギャップに関する情報を含んでいるため，この特性を利用することでSWNTsのカイラリティを特定することができる非常に重要な測定手法である．しかし，通常成長したままのSWNTsは束状構造をとるため，蛍光を観測するために化学的な処理を施す必要がある．この孤立化プロセスにおいては，任意のカイラリティが優先的に反応してしまう等の問題が報告されており，試料内に含まれている構造分布の正確な情報を得るには，成長したままの試料を直接評価することが重要である．

本研究では，これまでプラズマCVD法を利用したSWNTsの孤立垂直配向成長に成功しており，この特殊な配向状態は蛍光特性評価に向けて大きな利点である．そこで，実際に形成したままの試料に対して蛍光特性評価を行った．図1に示すように，励起波長に依存した明確な蛍光特性が観測された．この励起波長と蛍光波長の対応からSWNTsのカイラリティを特定することができ，それらの値はこれまで溶液中で測定された結果と良い一致を示した．この様に，成長したままの試料に対して蛍光特性が観測できた例は極わずかであり，プラズマCVD法を用いた試料に関しては初めての成果である．本手法を利用することで，プラズマパラメータがSWNTsのカイラリティに与える効果等の精密な評価が可能であり，今後の詳細なSWNTs構造制御に向け極めて有用な成果であると言える．

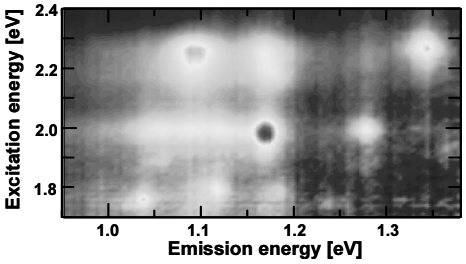


図1. 成長したままの孤立垂直配向SWNTsから観測された蛍光強度に関する蛍光波長-励起波長マッピング．

II. 気相－液相界面プラズマを利用したカーボンーナノ粒子複合材料創製

極めて小さな蒸気圧，大きな熱容量等のユニークな特徴を有するイオン液体を用いることによって，これまでにナノバイオ物質創製の新規反応場として注目されているプラズマと液体が接する気相－液相界面プラズマの生成に成功し，その基礎特性を明らかにしてきた．本年度は，この気相－液相界面プラズマを用いた新たなカーボンーナノ粒子複合材料創製を目的とし，単層カーボンナノチューブ(SWNTs)をナノテンプレートとして，そのナノスペースに合成物質（金(Au)，パラジウム(Pd)等）の化合物を浸透させ，プラズマ還元作用によりナノ粒子を直接合成するという新たな手法を開発した．

イオン液体に開端SWNTsとAu化合物を混合し，直流放電Arプラズマの生成，イオン液体への照射後，SWNTs の透過型電子顕微鏡観察を行った．その結果，高密度の粒径が揃った Au ナノ粒子が SWNTs の層間で観測された．図 2 にその粒径分布を示す．Auナノ粒子の粒径サイズは2 nm近傍に閾値を有していることから，SWNTs 層間のナノスペースが合成場となり，原料及び空間的な制限が働き，狭い粒径分布を有する Au ナノ粒子が合成できたと考えられる．本手法は様々なナノ粒子合成に適用可能で，種々の物質を用いたSWNTsの機能化（層間挿入，内包）が実現できる．これより，電気的，磁気的，光学的特性を選択的に付与したSWNTsの多量合成，さらには，今後のナノ電子デバイスへの応用等が期待できる．

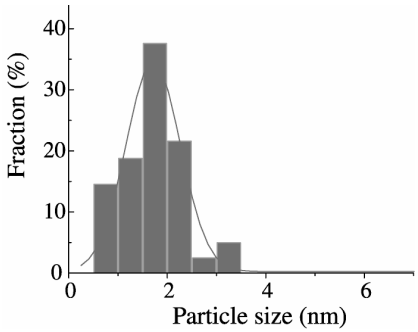


図2. Auナノ粒子の粒径分布.

III. 種々のフラーレンを内包したカーボンナノチューブの光誘起電子輸送特性

フラーレンを内包したカーボンナノチューブ（ピーポッド）は，１次元伝導性，半導体・ダイオード特性，超伝導性，発光性等の特有の電気・磁気・光学特性の発現が期待されている物質である．本研究では，種々のフラーレンを内包した単層カーボンナノチューブ(SWNT)ピーポッドを用いて電界効果トランジスタ(FET)を形成し，電気輸送特性を光照射下において観測することで，その光学特性を調べた．ピーポッドはプラズマイオン照射法および熱拡散法を用いて合成し，スピンコート法を用いてソースードレイン電極間に架橋させることで FET デバイスを形成した．電気輸送特性は，ソースードレイン電圧を一定にし(V_{DS}=1 V)，ゲートバイアス(V_G)を変化させ，そのときソースードレイン電極間に流れる電流 I_{DS} を測定することによって調べた．

図3は光照射(390 nm)時および未照射時に測定された C_{60} ピーポッド（C_{60}@SWNT）FET デバイスの電気輸送特性を示している．測定結果から，光を照射することによって，電気輸送特性における p 型半導体特性を示す I_{DS} が流れ始める閾値が，V_G の負電圧の方向に 14 V 程度シフトすることが明らかになった．空の SWNT においては光照射による電気輸送特性の変化は観測されなかったことから，この現象は光照射によって励起されたフラーレンからSWNT へ電子が移動したことにより生じたと考えられる．この光誘起されたピーポッドの電気輸送特性を，種々のフラーレン（C_{60}, C_{70}, C_{84}等）ピーポッドにおいて測定した結果，内包されたフラーレンの種類により異なる電気輸送特性を示し，フラーレンの電子親和力の差異がその原因であることが明らかとなった．さらに興味深いことに，この光照射による電気輸送特性の変化は，光を取り除くことにより完全に復元し，SWNT に移動した電子がフラーレンに再度移動していることを示している．このことは，ナノチューブーフラーレンシステムにおいて，光照射によって電子移動を制御できることを示し，このような光誘起特性を持つナノピーポッドデバイスは光検出，光スイッチング，感光性ワイヤー等への応用が期待される．

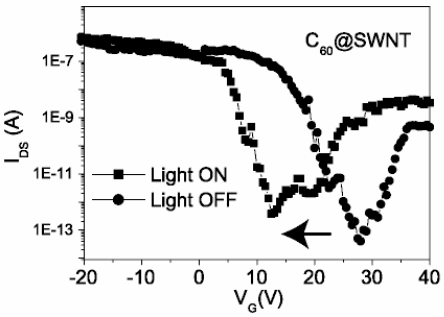


図3. 光照射時および未照射時のC_{60}ピーポッドFETデバイスの電気輸送特性.

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトを基点として，気相プラズマのみならず液相プラズマの重要性が認識され，平成 20 年 9 月

に，通研国際シンポジウム主催で第1回気相－液相プラズマ学際的国際シンポジウム(International Interdisciplinary-Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas(ISGLP2008)) が仙台で開催された．本国際シンポジウムでは，初めての試みとして，気相プラズマ及び液相プラズマに関連する諸現象を物理・化学的観点から基礎的に解明し，複雑な気相・液相プラズマを制御する手法を学術的に確立することを主眼とすると共に，これを基にした最先端のプラズマ応用について，国内外の第一線の研究者による講演，研究発表，討議を行った．

2 日間の会期中，80 人の研究者(うち外国人 20 人)が参加し，これらの第一線の研究者による最新の成果発表と参加者との活発な議論により，本国際シンポジウムを通じて，この分野の一層の発展が促されたとともに，気相と液相のプラズマに係わる研究者の国際的な連携が強められるといった，大変有意義な成果が得られた．

［4］成果資料

1. “Exciton Energy Transfer Assisted Photoluminescence Brightening from Freestanding Single-Walled Carbon Nanotube Bundles”, T. Kato and R. Hatakeyama: Journal of the American Chemical Society, Vol. 130, No. 25, pp.8101-8107, 2008.
2. “Formation of Gas Atom Encapsulated Silicon Clusters Using Electron-Beam-Generated Silicon Plasmas”, T. Kaneko, H. Takaya, and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, Vol. 516, No. 13, pp. 4374-4378, 2008.
3. “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, Vol. 47, No. 4, pp. 2044-2047, 2008.
4. “Novel Properties of Single-Walled Carbon Nanotubes with Encapsulated Magnetic Atoms”, Y. F. Li, T. Kaneko. T. Ogawa, M. Takahashi, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 4, pp. 2048-2055, 2008.
5. “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 Sources Science and Technology, Vol. 17, No. 2, pp. 024009-1-11, 2008.
6. “Photoinduced Electron Transfer in C_{60} Encapsulated Single-walled Carbon Nanotube”, Y. F. Li, Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, Vol. 92, No. 18, pp. 183115-1-3, 2008.
7. “Double Layer Created by Electron Cyclotron Resonance Heating in an Inhomogeneously Magnetized Plasma with High-Speed Ion Flow”, K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, Vol. 15, No. 7, pp. 072108-1-5, 2008.
8. “Radial Characterization of the Electron Energy Distribution in a Helicon Source Terminated by a Double Layer”, K. Takahashi, C. Charles, R. Boswell, and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, Vol. 15, No. 7, pp. 074505-1-4, 2008.
9. “Drift-Wave Instabilities Modified by Parallel and Perpendicular Flow Velocity Shears in Magnetized Plasmas”, T. Kaneko, S. Tamura, A. Ito, and R. Hatakeyama: Plasma and Fusion Research, Vol. 3, pp. S1011-1-5, 2008.
10. “Electrical Transport Properties of Fullerene Peapods Interacting with Light”, Y. F. Li, Kaneko, and R. Hatakeyama: Nanotechnology, Vol. 19, No. 41, pp. 415201-1-7, 2008.
11. “Biomolecule Encapsulated Carbon Nanotubes Using Nano Processing in Electrolyte Plasmas”, T. Kaneko and R. Hatakeyama: Transactions of the Materials Research Society of Japan, Vol. 33, No. 3 pp. 673-677, 2008.
12. “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, Vol. 33, No. 3, pp. 665-668, 2008.
13. “Parallel-Velocity-Shear-Modified Drift Wave in Negative Ion Plasmas”, R. Ichiki, T. Kaneko, K. Hayashi, S. Tamura, and R. Hatakeyama: Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol. 51, No. 3, pp. 035011-1-11, 2009.
14. “Photoswitching in Azafullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotube FET Devices”, Y. F. Li, T. Kaneko, J. Kong, and R. Hatakeyama: Journal of the American Chemical Society, Vol. 131, No. 10, pp. 3412-3413, 2009.
15. “Efficient Synthesis of Gold Nanoparticles Using Ion Irradiation in Gas-Liquid Interfacial Plasmas”, K. Baba, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Express, Vol. 2, No. 3, pp. 035006-1-3, 2009.

課題番号　Ｈ２０／Ａ０２

採択回数	①　２　３

ナノフォトニクス・フォトニック結晶の応用のフロンティア

［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）
山田　博仁（東北大学　電気・通信工学専攻）
大寺　康夫（東北大学　電気・通信工学専攻）
青山　勉　（株式会社フォトニッククラティス）
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）
埜田　友也（株式会社ニコン 光技術研究所）
及川　博道（株式会社ジーオングストローム）

研究費：物件費 32 万 8 千円，旅費 16 万 7 千円

［2］研究経過

フォトニック結晶をはじめとするナノ構造からなる光学材料は、材料や構造パラメータを設計することにより様々な有用な光学特性を実現すること、さらにそれらを自由に集積化できることが大きな特長である。本プロジェクトでは、申請者のグループが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）や、ナノホールやフォトニック結晶ファイバなどのナノ構造を基盤として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：2009 年 2 月 20 日(金)　13:00-17:25
場所：　東北大学　電気通信研究所 ２号館４階
大会議室（片平キャンパス）

13:00　開会あいさつ
13:05　「偏光応用の既成概念への挑戦」岡 和彦（北海道大学 大学院工学研究科）
13:35 「フォトニック結晶ミラーを用いた偏光および強度分布の制御」佐藤俊一（東北大学　多元物質科学研究所）
14:05 「TiO2 ナノチューブを用いた色素増感太陽電池」石橋健一、小嶋僚太、木村康男、庭野道夫（東北大学　電気通信研究所）
14:35 「波長１．０７μmVCSEL の直接変調による１０Gbit/s　フォトニック結晶ファイバ伝送」小泉健吾、廣岡俊彦、吉田真人、中沢正隆（東北大学　電気通信研究所）
14:55　休憩
15:15 「フォトニック結晶偏光子を参照ミラー及び位相シフタに用いた超小形・高感度共通光路位相シフト干渉計」中田 俊彦（(株)日立製作所 生産技術研究所）
15:45 「Si/SiO2 材料系による周期構造光デバイス」クルニアタン・ダニエル、石川亮太、北智洋、大寺康夫、山田博仁(東北大学大学院工学研究科)
16:15 「カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いた波長１．５μm帯フェムト秒ファイバソリトンレーザ」正田史生、廣岡俊彦、吉田真人、中沢正隆（東北大学　電気通信研究所）
16:35 「軸対称偏光素子を用いたナノ CMM 用レーザトラッピングプローブの高度化」林照剛（大阪大学　大学院工学研究科）
17:05 「フォトニック結晶応用技術の新しい展開」川上彰二郎　フォトニッククラティス
17:25　閉会

［3］成果

（３－１）研究成果

① 偏光画像取得デバイス（偏光イメージング）：

本デバイスは、透過偏光の方向が 90° ずつ異なるフォトニック結晶偏光子を CCD 撮像素子のピクセルに１対１に合わせて２次元集積化し、CCD と一体化させている（図１）。ＣＣＤセンサーから取得した１枚の画像から、偏光情報を約２５万点の２次元分布として計測できる。様々な応用が考えられるが、一つの例が透明プラスチックやガラスなどの歪み計測である。今年度は特に液晶パネル向けガラス板などのわずかな歪みを高精度に測定するアルゴリズムを開発し、検証をおこなった。図２の実線が本デバイスで連続的に測定したデータである。また丸でプロットした点は、既存のポイント計測機で測定した値である。このようにリターダンス 0.1nm まで従来の測定器と同等の測定精度で、空間的には連続的に計測可能であることを実証した。

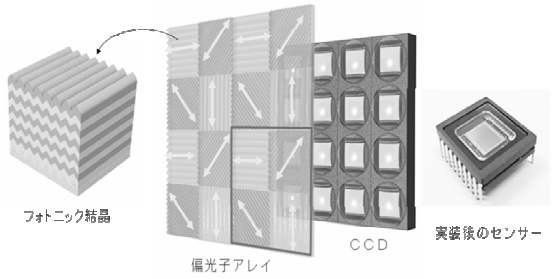


図１　フォトニック結晶偏光子アレイとＣＣＤへの集積化

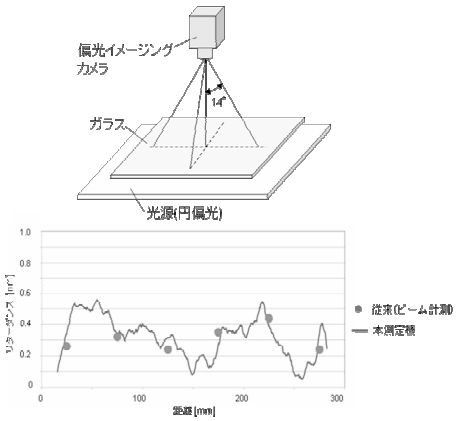


図２　ガラス板の微小リターダンス測定

② 軸対称偏光ビームの生成と応用

光ビームは面内では一様な偏光状態をもつのが一般的であるが、近年、軸対称に偏光に分布をもたせた特殊な光ビームの研究がなされている。従来、このような軸対称偏光ビームを実現するには複雑な構成が必要であったが、フォトニック結晶素子を利用することで極めてシンプルに実現することが可能となる。

その一つの例を図３に示す、フォトニック結晶からなるセグメント状に分割した 1/2 波長板である。素子中心部の表面ＳＥＭ写真を図４に示す。この素子に直線偏光を入射すると、各領域で偏光方向が 1/2 波長板の軸に対して対称な方向に変換されるため、放射状あるいは同心円状の軸対称偏光ビームに無損失で変換することが可能となる。図４は変換した光ビームの偏光状態を検証した結果である。検光子の方向に合わせて強度パタンが変化しており軸対称の偏光であることがわかる。

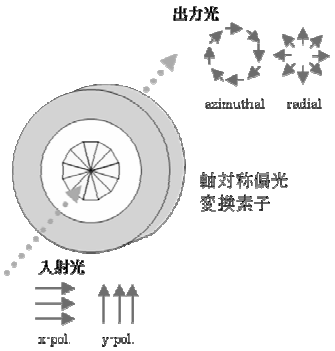
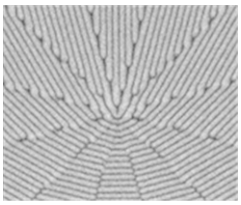


図３　軸対称偏光変換素子の概念



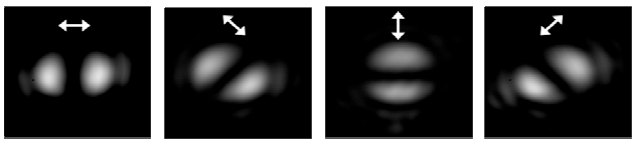


図４　素子の表面 SEM 写真（上）と出力ビームの偏光特性（下）

このような素子はフォトニック結晶を用いてＵＶからＩＲまでの波長に対応させることができる。今年度は波長 800nm 近傍で動作させるようにし、図５に示す Ti:Sapphire のレーザ共振器内に配置することで軸対称偏光ビームの直接発振を実証した。

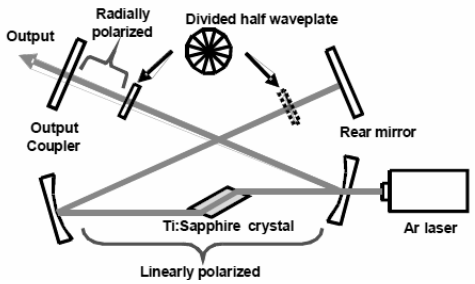


図５　Ti:Sapphire レーザに組み込んだシステム

③ 顕微鏡技術への展開：

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る。通常の構成では段差の定量的な測定はできないが、図６に示すように、偏光カメラと組み合わせて取得画像を解析することで、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る。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も可能になる。図７は凸状と凹状に形成した“F”の文字を観察した例を示す。(b)、(c)のように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。

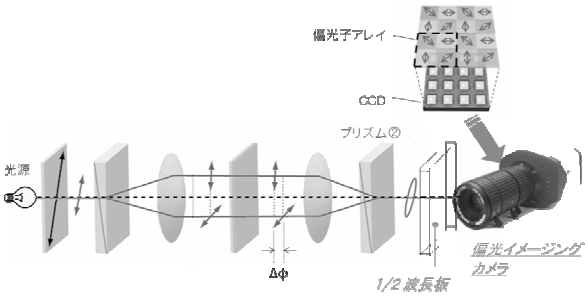


図６　微分干渉顕微鏡と偏光カメラによる３次元計測システムの構成

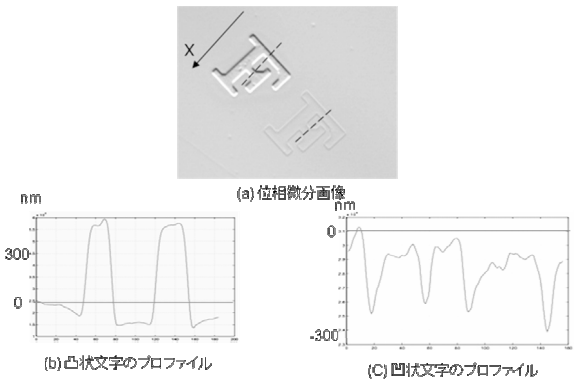


図７　偏光カメラと微分干渉顕微鏡の構成による段差計測

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトの期間中、フォトニック結晶及びナノ構造の様々な光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を多数おこなった。来年度は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] 佐藤尚, 川嶋貴之, 井上喜彦, 千葉貴史, 川上彰二郎, ″フォトニック結晶偏光素子と2次元偏光計測の応用,″ 電子情報通信学会 信学技報, 2008 年 8 月.

[2] Y. Kozawa, and S. Sato, ″Single higher-order transverse mode operation of a radially polarized Nd:YAG laser using an annularly reflectivity-modulated photonic crystal coupler,″ Opt. Lett., vol. 33, no. 19, pp. 2278-2280, 2008.

[3] 大寺康夫, 本間洋, 佐藤尚, ″フォトニック結晶素子とイメージセンサーの集積化のためのバーニアスケール,″ 第 69 回応用物理学会学術講演会, 2a-ZG-4, 2008 年 9 月.

[4] 佐藤尚, 川嶋貴之, 井上喜彦, 川上彰二郎, ″フォトニック結晶の光産業への展開,″ 精密工学会秋季大会学術講演会, 2008 年 9 月.

[5] 佐藤尚, 千葉貴史, 川嶋貴之, 川上彰二郎, ″偏光イメージングを用いた低リターダンス2次元分布の一括計測,″ 日本光学会年次学術講演会, 5pD2, 2008 年 11 月.

[6] ファーブル・ローラン, 井上喜彦, 青木孝文, 川上彰二郎, ″フォトニック結晶と微分干渉顕微鏡を用いた位相イメージングと3次元計測,″ 日本光学会年次学術講演会, 5pD3, 2008 年 11 月.

[7] 佐藤尚, 千葉貴史, 川嶋貴之, 川上彰二郎, ″偏光イメージングのSiCウエハの評価への展開,″ 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31a-K-9, 2009 年 3 月.

[8] L. Fabre, Y. Inoue, T. Aoki, and S. Kawakami, ″Differential interference contrast microscope using photonic crystals for phase imaging and three dimensional shape reconstruction,″ Appl. Opt., to be published.

[9] F. Shohda, T. Shirato, M. Nakazawa, J. Mata, and J. Tsukamoto, “147 fs, 51 MHz soliton fiber laser at 1.56 mm with a fiber-connector-type SWNT/P3HT saturable absorber,” Opt. Express, vol. 16, no. 25, pp. 20943-20948, December (2008).

[10] F. Shohda, T. Shirato, M. Nakazawa, K. Komatsu, and T. Kaino, “A passively mode-locked femtosecond soliton fiber laser at 1.5 μm with a CNT-doped polycarbonate saturable absorber,” Opt. Express, vol. 16, no. 26, pp. 21191-21198, December (2008).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ０３

採択回数	①	２	３

ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御

［１］組織

代表者：小野　俊郎
（弘前大学大学院理工学研究科）
対応者：室田　淳一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
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）
豊田　宏（弘前大学大学院理工学研究科）
福田　幸夫（諏訪東京理科大学システム工学部）

研究費：物件費 30 万 1 千円，旅費 40 万 5 千円

［２］研究経過

有機 EL、ユビキタス MEMS システムなどのドライバ Si-FET、MIM キャパシタの高性能化には誘電体/基板界面の高品質化が不可欠である。このため、本プロジェクトでは、ECR (Electron Cyclotron Resonance) スパッタ成膜による低温プロセスでの高誘電体ゲート膜の形成技術と、基板／誘電体界面の高品質化技術を開発することを目的として研究を行った。

今年度は、膜形成制御の観点から基板表面粗さによる多結晶 AlN 膜の配向性制御に関する評価、およびゲート界面品質制御の観点から ECR イオン流エネルギー制御による界面トラップに関する評価、を行った。

ECR 成膜法の特徴である低エネルギーイオン照射による膜形成に関する基礎現象を解明するため、イオン照射効果の判断がし易い、多結晶膜の配向性に関して検討することを決定した（e メールによる紙上会議）。材料は AlN 膜とし、基板の表面粗さ、結晶性による配向性を XRD（東北大学電気通信研究所）で評価することとした。この結果、ECR-AlN 膜の配向性は、基板の結晶性には依存せず、基板表面粗さに大きく影響されることがわかった。そして、良好な配向性を得るにはサブ nm 級の表面平滑さが必要であることを見出した。この現象は、従来のスパッタによる加熱成膜などの高温プロセスにはみられない現象であり、イオン衝撃による極表面の疑似高温化プロセスに固有の現象であることを明らかにした。これらの結果は 2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会（2008.9.17～19、東北大学）にて報告し、ベストプレゼンテーション賞を受賞した。

これらの結果にもとづいて誘電体/基板界面の評価方法について研究打合せ（2008.8.23、東北大学）を行った。半導体基板はサブ nm（R_{rms}～0.15nm）の表面粗さであり、成膜制御には ECR イオン流エネルギーが効果をもたらす可能性が示唆された。その結果、基板への成膜において成膜初期の数 nm を低エネルギー条件で成膜することにより、as-depo 膜の C-V 測定における V_{FB} シフトが低減できることがわかった。この結果は、室温成膜の as-depo 状態で、理想 C-V に近い状態が実現できる可能性を示しており、本プロジェクトの目的である有機 EL、高分子材料の共存するユビキタス MEMS デバイスへの応用に大きな可能性を見出した。

［３］成果

（３－１）研究成果

本研究に用いた ECR スパッタ装置を図 1 に示す。プラズマ室においてマイクロ波(2.45GHz)と磁気コイルにより付与された磁場(0.0875T)の効果により生成された、低ガス圧で高密度のプラズマは、磁気コイルの発散効果により試料台方向に輸送される。

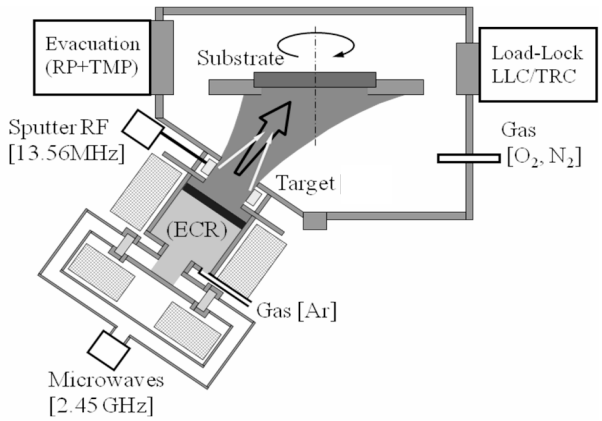


図1　ECR スパッタ装置

輸送されるプラズマ流を取り囲むようにスパッタターゲットを配置し、これに高周波電力(13.56MHz)を印加して、プラズマ流中の一部のイオンによるスパッタリングにより成膜原料を試料に供給する。試料基板は同時に、プラズマ流中のイオン照射を受けて成膜反応が支援される。

まず、AlN 膜の基板条件による結晶配向性を検討した。ターゲットは純 Al、ガスは Ar/N_2 とし、成膜中は基板加熱をしていない。図 2 に結晶性の異なる基板上で成膜した ECR-AlN 膜の結晶配向性を示す。基板は Si(100)、および Si(100)上 100nm 膜厚の ECR-Al_2O_3 膜(amorphous)であり、表面粗さは、ともに 0.2nm 以下(R_{rms})である。図から基板の結晶性に依らず AlN(0002)に強く配向した膜が得られている。これらの膜のロッキング曲線からの計測では半値幅(FWHM)が 0.5 度となっている。図 3 に種々の成膜基板上での配向性を、基板表面の粗さで整理した。結晶性(蒸着 Al、ECR-ZnO)、アモルファス(ECR-Al_2O_3、ECR-Al(O_2))によらず、表面の粗さに ECR-AlN 膜の配向性が強く影響されていることがわかる。

これらの結果から、ECR スパッタによる膜形成反応は基板の結晶配向性に依存せず、基板表面の粗さに大きく影響されることがわかる。ECR スパッタでは、低エネルギーイオン照射により基板原子が振動し、これが擬似的な高温状態を形成する。この現象は寸法では 10nm の領域、時間的には psec～nsec の程度と推定される。従って原子のオーダーで基板表面を観察すると、散発的に擬似高温状態となっていることになる。成膜粒子(Al)は高温状態となって表面を拡散し、膜形成反応に適度なサイトに落ち着く。表面凹凸が大きいと、この拡散が阻害されて配向性の高い成膜が実現できないことを示している。このことは ECR 成膜におけるイオン照射の効果を逆説的に説明するものであり、また、ECR 成膜の特徴を扱う時には原子オーダーで平滑な基板への成膜において議論すべきことを示している。

続いて、ECR スパッタにより成膜したゲート膜による MIS-CV の界面準位について検討した。これまでの検討から、ECR-TaON 膜は室温成膜にもかかわらず誘電率が 30 以上、耐圧が 5MV/cm 以上と、high-k ゲート膜として有望なことがわかっている。図 4 に TaON 膜ゲートの MIS-CV 特性を示す。室温成膜の as-depo では大きな V_{FB} シフトが生じているが、300 度程度の低温でのアニール (真空、30 分) で回復する。MIM 構造による検討から膜バルクとしては大きな問題はないことがわかっている。また、MIS での検討では、他の誘電体(SiO_2、AlON)などにおいても同様の V_{FB} シフトが観察され、かつ、300

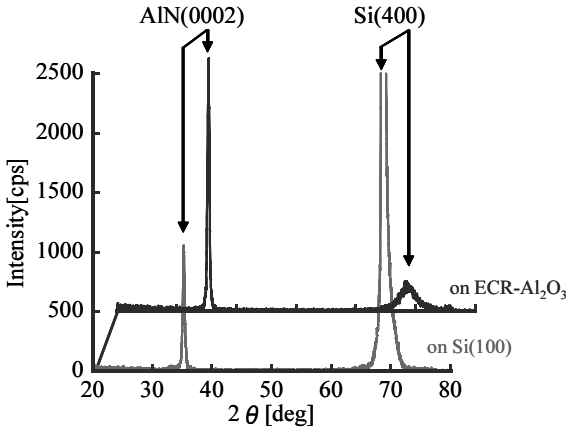


図 2　結晶性の異なる基板上での AlN 膜

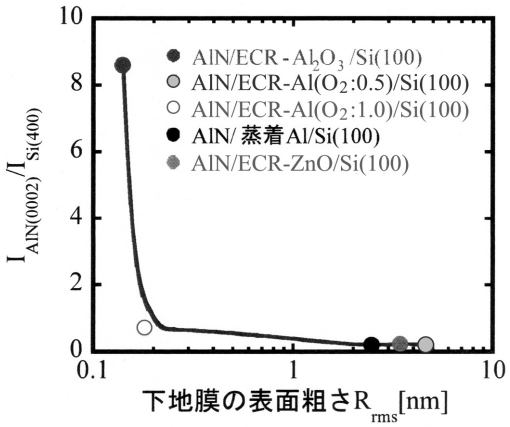


図 3　表面粗さの異なる基板上での AlN 膜

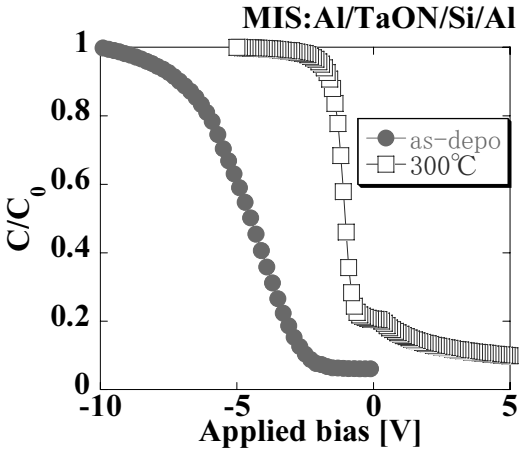


図 4　TaON 膜ゲートの MIS-CV

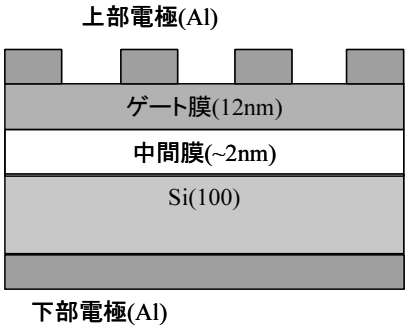


図 5　成膜初期を評価する MIS 構造

～400℃の真空アニールで同様に V_{FB} シフトが解消されている。

これらの結果は、MIS-CV における as-depo における VFB シフトは ECR スパッタ成膜固有の成膜条件、それも主に成膜初期の条件に依存していることが示唆される。図５に ECR スパッタ成膜初期の影響を評価する MIS 構造を示す。ECR スパッタの通常条件では概ね 20～30eV のイオン照射を伴って成膜される。評価構造では成膜初期の極薄膜(～2nm)をより低いエネルギー(～10eV)で成膜する。低エネルギーのため成膜反応が完結しないことも予想されるが、極薄膜であるので、続く通常エネルギーでの成膜途中に膜形成がアシストされることも考慮して初期膜厚を決定した。

図６に中間膜を用いた MIS-CV の結果を示す。標準成膜(△)、低エネルギー中間膜を用い成膜後に標準成膜条件でのイオンエネルギーでポストプラズマ照射したもの(●)、低エネルギー条件でポストプラズマ処理したもの(□)、ポストプラズマ処理なしで標準成膜条件で積み増しをしたもの(▲)となっている。成膜初期を比較的イオンエネルギーの大きい標準条件で処理することで大きな VFB シフトが生じている。一方、低エネルギー成膜、および低エネルギーでのポストプラズマ処理したものは VFB シフトが大幅に改善されている。

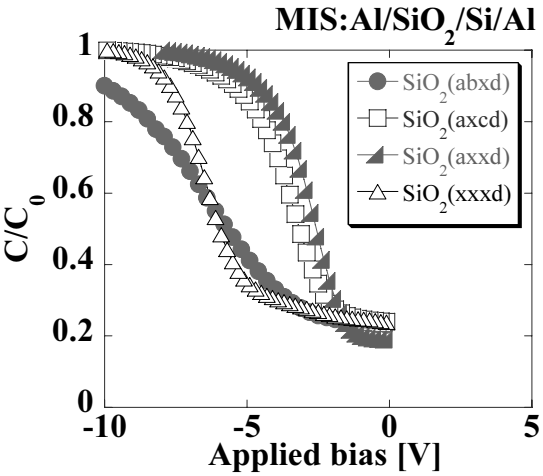


図６　低エネルギー成膜による MIS-CV

（３－２）波及効果と発展性など

以上の結果は低エネルギーのイオン照射をともなう成膜における、膜形成反応の基礎過程を詳細に検討したもので、低温での高品質膜形成に貴重な結果を提供している。ECR プラズマ成膜法は、他の高密度プラズマ技術に比較して装置の小型化が困難とされていることから、極く限られた用途以外には普及していない。熱反応による極薄膜形成と ECR プラズマ法の双方に造詣の深い共同研究者（東北大学電気通信研究所　室田淳一教授）との示唆に富む議論から、イオン照射成膜過程に関して重要な知見を得ることができた。

高密度集積 Si 半導体分野では依然として高温処理を前提としてプロセス開発が進められているが、これを援用している化合物半導体、表示デバイスなどの分野は室温に近い低温プロセスの要求が高く、技術的な乖離がみられる。特に、有機液晶などの FPD、SoC 化を目指す MEMS 分野では室温近傍でのプロセス構築が必要不可欠となっている。

本成果をもとに FET の低温形成など、これまでにない研究分野の提案が可能であり、高機能電子デバイスの発展に大きく寄与できる。

［４］成果資料

（１）安井秀憲、豊田宏、小野俊郎、ECR スパッタによる高配向 AlN 薄膜の低温形成、2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp347-348 (2008.9.17-19、東北大学)

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ０４

採択回数　（1）　2　3

Ⅳ族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究

［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）
末光眞希（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）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
小柳光正（東北大学大学院工学研究科）
田中　徹（東北大学大学院工学研究科）
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）
鳥海　明（東京大学大学院工学研究科）
奥村次徳（首都大学東京理工学系）
平木昭夫（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）
須田良幸（東京農工大学総合メディアセンター）
中川清和（山梨大学医学工学総合研究部）
有元圭介（山梨大学医学工学総合研究部）
樽茶清悟（科学技術振興機構）
Roland Brunner（科学技術振興機構）
坂本謙二（物質・材料研究機構）
石谷明彦（ベルギー・IMEC）
阿部孝夫（信越半導体（株））
鷲尾勝由（日立製作所（株））
国井泰夫（日立国際電気（株））
宮本光雄（森田化学工業（株））
佐藤政明（新日本無線（株））
竹廣　忍（（株）沖電気工業）
水島一郎（（株）東芝セミコンダクター社）
杉山直治（（株）東芝研究開発センター）
小野昭一（（株）イデアルスター）
横尾邦義（（株）イデアルスター）
笠間泰彦（（株）イデアルスター）
表　研次（（株）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・シュトゥットガルト大学）
Vinh Le Thanh（フランス・マルセイユ大学）

配分研究費　　校費 41.7 万円，　旅費 70.4 万円

［2］研究経過

［目的］ Ⅳ 族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成プロセスの開発は大規模集積回路の高性能化及びその上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である．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 族半導体ナノヘテロ構造およびそのナノ立体構造の形成と導入される歪分布を制御し，高度歪制御ナノ立体構造を有する大規模集積化対応 Ⅳ 族半導体ナノ構造デバイスの実現を目的とする．さらに，形成した構造体から発現する新機能の探索を行う．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，N 等のドーパント原子，Si 窒化膜等の絶縁膜，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 系エピタキシャル薄膜やその積層構造及びそのナノ立体構造形成と歪分布制御についての研究を重点的に行う．また，P や B，N 等の原子層ドーピングを適用したナノヘテロ構造の光物性・電子物性に関する研究も進め，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，ナノデバイス高性能化への応用を目指す．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 族半導体高度歪制御ナノ立体構造の適用によるナノ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．

［情報交換活動等］IV 族半導体の原子層制御技術やヘテロデバイス技術に関して，外部研究機関分担者との共同研究の成果を国際会議及び学術論文（海外機関 11 件，国内機関 6 件）として発表した．また，本研究プロジェクトが中心となり，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～平成 22 年 1 月）が設置され活動を行った．さらに，以下の 4 つの国際会議も開催した．

- **第 4 回 SiGe テクノロジー&デバイス国際会議**（4th Int. SiGe Technol. & Device Meeting, Hsinchu, Taiwan, 2008 年 5 月 11－14 日，発表 116 件，参加者 173 名，プロシーディング特集号 : Solid State Electronics 誌で出版予定）
- **第 4 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ**（4th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics，東北大通研ナノ・スピン実験施設，2008 年 9 月 25－27 日，発表 38 件，参加者 54 名）
- **第 3 回 SiGe & Ge 国際会議**（3rd ECS Int. SiGe & Ge Symp.，Hawaii, USA, 2008 年 10 月 12－17 日，発表 120 件，参加者 160 名，プロシーディング特集号 : ECS Trans.誌で平成 20 年 10 月に出版済）
- **先端ナノエレクトロニクスデバイスの材料科学・プロセス技術に関する国際会議**（Symp. Z: “Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices”, Int. Union of Materials Research Society - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008)，名古屋，2008 年 12 月 9－13 日，発表 70 件，参加者 85 名）

これらの活動により，IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造における物理現象を踏まえたデバイス製作技術，回路・システム化技術の構築と産学独連携体制構築を含む研究活動推進が産業発展のために重要であることが明確に示され，世界規模での研究連携のきっかけとなることが期待される．

［3］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，IV 族半導体の超高キャリア濃度化を図るために，熱 CVD プロセスによる高濃度 B 原子層ドープ Si 薄膜形成について研究を進めた結果，180 ºC の低温下での B_2H_6 表面反応により，Si(100)上の B 原子面密度は約 1.4×10^{15} cm^{-2}（2 原子層）で自己制限的に飽和し，その B 原子は大気中でも酸化されにくいことを見いだした．さらに，この低温形成 B 原子層に 180－300 ºC での低温 SiH_4 処理を行った場合，Si キャップ層中の格子歪発生を効果的に抑制できることを明らかにした．これらの結果から，180 ºC 程度の低温下では B 原子層への水素被覆が顕著になるとともに，その水素の存在が B クラスタ化を抑制するものと期待される．第 2 に，ECR プラズマ CVD プロセスによる高濃度 B 原子層ドープ Si 薄膜形成について研究を進めた結果，Si(100)上への B 原子層形成とその上への原子オーダ平坦性を有するナノメートルオーダ厚さ Si キャップ層のエピタキシャル成長を基板非加熱下で実現した．そして，B 原子層を Si キャップ層中の厚さ約 1 nm の極薄領域に閉じ込めることに成功した．第 3 に，表面が原子オーダで制御された Si－Ge 系エピタキシャル成長と歪制御について研究を進めた結果，ECR プラズマ CVD プロセスによって形成した歪緩和 Ge/Si(100)エピタキシャル薄膜上に，500 ºC での熱 CVD プロセスにより，約 1.7%格子定数が大きいナノメートルオーダ厚さの高平坦高濃度 B ドープ歪 Si 薄膜のエピタキシャル成長が可能であることを見いだした．第 4 に，熱 CVD プロセスにより，歪 $Si_{0.55}Ge_{0.45}$/Si(100)表面の原子層熱窒化とその上への $Si_{1-x}Ge_x$ エピタキシャル成長を可能とし，$Si_{1-x}Ge_x$ 中への N ドープ領域厚さ約 1.5 nm，最大 N 濃度 8×10^{21} cm^{-3} (16%)，総 N ドープ量 6×10^{14} cm^{-2} の原子層ドープ構造形成が実現されることを見いだした．そして，$Si_{1-x}Ge_x$ キャップ層中においては，Ge-N 結合に比べて Si-N 結合の形成が支配的となることを明らかにした．

以上のように，IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造の適用によるナノデバイス高性能化と新機能デバイス創生のための重要な成果を得た．今後も，この分野の共同プロジェクトを推進することにより，Si ベース IV 族半導体原子制御プロセスの学問分野が大きく発展するだけでなく，次世代 Si 系高度歪制御ナノ立体構造デバイス開発も実現することになると期待できる．

［4］主な研究発表

1. “Transient Charge-Pumping Characteristics Related to Heterointerface Traps in SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs”, T.

Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba and J. Murota, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Tue-S5-04, pp.64-65.

2. "Improvement in Negative Differential Conductance Characteristics of Hole Resonant Tunneling Diodes with High Ge Fraction Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure", T. Seo, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Tue-S5-05, pp.66-67.
3. "Heavy B Atomic-Layer Doping Characteristics in Si Epitaxial Growth on B Adsorbed Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD System", H. Tanno, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Wed-S8-04, pp.100-101.
4. "Change of H-Termination on Wet-Cleaned Si(100) and Ge(100) by Heat-Treatment in H_2 or Ar", A. Uto, M. Sakuraba, M. Caymax and J. Murota, 4th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2008), Hsinchu, Taiwan, May 11-14, 2008, No.Mon-P1-51, pp.231-232.
5. "P Atomic-Layer Doping in Heteroepitaxial Growth of Si on Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD", Y. Chiba, M. Sakuraba and J. Murota, 4th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Sep. 25-27, 2008, No.P-11, pp.43-44.
6. "Selective Polycrystalline Si Deposition on Epitaxial Si induced by B-Atomic Layer Doping", Y. Yamamoto, K. Koepke, O. Fursenko, G. Weidner, J. Murota, and B. Tillack, 3rd Int. SiGe, Ge, & Related Compounds Symp. (2008 Joint Int. Meeting (PRiME 2008) of 214th Meeting of The Electrochem. Soc. and The Electrochem. Soc. Japan), Honolulu, Hawaii, Oct. 13-17, 2008, No.8.5.
7. "Atomically Controlled CVD Processing for Future Si-Based Devices" (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 9th Int. Conf. on Solid-State and Integrated-Circuit Technol. (ICSICT 2008), Beijing, China, Oct. 20-23, 2008, No.E6.7.
8. "Atomically Controlled Processing in Si-Based CVD Epitaxial Growth" (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, Symp. Z: "Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices", Int. Union of Materials Research Society - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZI-3.
9. "Nitrogen Atomic-Layer Doping in Nanometer-Order Heterostructure of Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD", T. Kawashima, M. Sakuraba and J. Murota, Symp. Z: "Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices", Int. Union of Mat. Res. Soc. - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZO-4.
10. "Heavily B Atomic-Layer Doping in Si Epitaxial Growth Using Electron-Cyclotron-Resonance Plasma", T. Nosaka, M. Sakuraba and J. Murota, Symp. Z: "Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices", Int. Union of Mat. Res. Soc. - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZO-5.
11. "Epitaxial Growth of Highly Strained B Doped Si on Relaxed Ge/Si(100)", K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, Symp. Z: "Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices", Int. Union of Mat. Res. Soc. - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, Japan, Dec. 9-13, 2008, No.ZP-9.
12. "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, Thin Solid Films, Vol.517, pp.110-112, (2008).
13. "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, Thin Solid Films, Vol.517, pp.229-231, (2008).
14. "Local Strain in Si/$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100) Heterostructures by Stripe-Shape Patterning", J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.517, pp.300-302, (2008).
15. "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 and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.517, pp.346-349, (2008).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ０５

採択回数	①	２	３

高移動度２次元ホールガスの作製

［１］組織

代表者：樽茶　清悟
（東京大学大学院工学研究科/ 科学技術振興機構）
対応者：大野　裕三
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
大野　英男　（東北大学電気通信研究所）
寺岡　総一郎（科学技術振興機構）
天羽　真一　（科学技術振興機構）
羽田野　剛司（科学技術振興機構）
久保　敏弘　（科学技術振興機構）
都倉　康弘　（NTT 物性科学基礎研究所/ 科学技術振興機構）

研究費：物件費 45 万円，旅費５万円

［２］研究経過

半導体量子ドット中の電子の持つスピンを量子ビットとして用いようとする研究は，近年ますますその重要性を増している。量子ゲート操作を行うためにはスピンのコヒーレンスを可能な限り長く保つことが重要となる。GaAs 量子ドット内の電子スピンの場合、結晶格子を構成するすべての核種がスピンを有しており、電子スピンは超微細相互作用を通じて結晶中の核スピンの揺らぎを感じ、これが電子スピンのコヒーレンスに主要な影響を与える。この問題の解決のため、材料系として核スピンを殆んどもたないもの(Graphene, Si/SiGe など)、または核スピンをもっていてもその影響が小さいもの(p-GaAs など)の利用が考えられる。これらの系は現状ドット構造作製に際して技術的課題を抱えてはいるものの将来を見据えて基礎的な物性の探索を行っておくことは意義のあることと考えられる。ｐ－GaAs の場合、価電子帯の正孔スピンは p-like な状態を持っているため核スピンとの相互作用が無視できるほど小さいと考られており核スピンによるデコヒーレンス問題の解決へ向けてのひとつの有望な候補とされている。本プロジェクトでは，二次元正孔ガスとスピン操作の基礎であるスピン共鳴の手法を用いて正孔-核スピンの相互作用に関する基礎的な知見を得ることを目的として研究を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

東北大学電気通信研究所ナノスピン実験施設大野研究室において高移動度２次元ホールガスの成長が行われた。GaAs(311)A 基板上に量子井戸または単一ヘテロ構造が MBE 成長された。キャリア濃度の目標値の選定は、実験的に実現が比較的容易な共鳴磁場/周波数に照準をあてて数種類作成された。ICORP 量子スピン情報プロジェクトではオーミック端子の作成法などプロセスの条件を探索、上述の基板を用いてホールバー試料に加工を行い輸送現象の測定から始めた。この過程で正孔系に於いてはキャリアとフォノンとの相互作用が強く明瞭な Shubnikov-de Haas(SdH)振動ならびに目的のスピン共鳴の観測には 1K 以下での測定が必要であることも判明、^{3}He 冷凍機でのマイクロ波測定を行った。単一ヘテロ構造の基板(正孔濃度:1.4×10^{11}cm^{-2})を用い広帯域(20GHz～50Ghz)に渡って探索した結果、フィリング因子ν=3 およびν=5 の近傍で共鳴ピークを観測、結果を日本物理学会 2008 年秋季大会(2008/9/20～23 於:岩手大学上田キャンパス)にて報告した。これらに基づいて東北大学電気通信研究所に於いて今後成長予定の基板について研究打合せ(7/10)を行った。その後下記の会議にて報告および関連分野の研究者の方々と議論を行った。

Spin Transfer in Condensed Matter 京都(2008/10/27～11/28 於：京都大学 YITP)

International Symposium on Nanoscale Transport and Technology ISNTT2009 (2009/01/20～23 於：NTT 物性基礎研究所、神奈川県厚木市)

第 13 回半導体スピン工学の基礎と応用 PASPS-13(2009/1/27～28 於：東北大学電気通信研究所ナノスピン研究施設) 。

［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、正孔系においてスピン共鳴が縦抵抗

$\rho_{xx}(B)$の変化として観測された。n-型の基板を用いた２次元電子系のスピン共鳴とは異なり共鳴に伴い動的核スピン偏極が共鳴ピークのシフトとして観測されないことが確認された。このことは少なくとも結晶中の揺らいでいる核スピンとの相互作用がこの系では緩和の主要な要因ではないことを示唆している。

第２に p-GaAs におけるスピン軌道相互作用によるゼロ磁場分裂と外部磁場のZeeman分裂への寄与が直接観測された。観測された共鳴周波数と外部磁場との関係は著しく非線形で、強いスピン軌道相互作用を反映しているが、低磁場領域における SdH 振動の解析から求まるゼロ磁場分裂の大きさは共鳴から求まるものと同じオーダーである。

第３に、２次元系における正孔スピン寿命が求められた。観測された共鳴線幅から緩和時間を評価すると、正孔系の強いスピン軌道相互作用を反映して0.18ns 程度であるが、量子ドットナノ構造においては歪みと運動による量子化の相乗効果で正孔スピンの寿命は長くなると期待される。

第４に、p-GaAs によるナノスケール構造作成へのアプローチとして表面ゲートによるキャリア濃度変調に成功した。p-型の場合絶縁層を介さない金属ゲートではリーク電流が大きくゲートが効きにくいとされているが、適切な基板組成を検討して成長することによりこの問題が克服され、リーク電流を微小に留めたまま２次元ホールバーおよび量子ポイントコンタクト構造において、ピンチオフが確認された。

（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を活性化し、理論面でのサポートを通じての従来からの ICORP 共同研究グループ(海外)との連携も深まることが期待される。また本プロジェクトで明らかにされる正孔系と核スピンとの相互作用に関する知見は、p-GaAs を用いた量子ドットナノ構造の作成、量子演算へ向けてのより長い位相記憶時間の実現とスピン操作等の応用への動機付けとなり、今後の発展が期待される。

［4］成果資料

（1） 日本物理学会 2008 年秋季大会概要集
第 4 分冊 20pYK-6

（2）Spin Transfer in Condensed Matter
京都(2008/10/27～11/28 於：京都大学 YITP) P-10

（3）International Symposium on Nanoscale Transport and Technology ISNTT2009 (2009/01/20～23 於:NTT 物性基礎研究所、神奈川県厚木市) PWe-13

（4）第 13 回半導体スピン工学の基礎と応用 PASPS-13(2009/1/27～28 於:東北大学電気通信研究所ナノスピン研究施設) C-4

（5）日本物理学会 2009 年年次大会概要集
第 4 分冊 27a(2009/3/27～30 於:立教大学、立教池袋中学・高校) 27pTX-3

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ０６

採択回数	(1)	2	3

知的ナノ集積システムとその応用に関する研究

［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)
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)
石川　眞澄(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 31 万 8 千円, 旅費 39 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、ハードウェア化をも視野に入れた新たな情報処理システムを原理的な観点から追求すると同時に、その応用の可能性についても基礎研究を行う。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 20 年12月 18、19 日に第一回目の、平成 21 年 2 月 24 日に第二回目の共同プロジェクト研究会を、東北大学電気通信研究所にて実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである(発表順)。

第一回共同プロジェクト研究会

「異なるモダリティの感覚信号を受けた歯状回顆粒細胞におけるシナプス間競合」
林初男（九州工業大学）

「小脳プルキンエ細胞樹状突起における PKC 分子ダイナミクスのモデル化」
片山統裕（東北大学）

「先行運動のメカニズム：リズムとの関連」
石田文彦（電気通信大学）

「Universal analyses of neuron models based on a concept of potential with active areas」
中島康治（東北大学）

「自己駆動粒子系のダイナミクス　～ナノ粒子から歩行者まで～」
佐野雅己（東京大学）

「生体センサ向け極低電圧駆動アナログ回路と情報保持回路」
原田知親（山形大学）

「外観検査システム向け高速ハードウェアニューラルネットワークの設計」
早川吉弘（東北大学）

第二回共同プロジェクト研究会
「脳型視覚システムのための画素並列型異方性拡散LSIによる主観的輪郭生成」
森江隆（九州工業大学）

［3］成果
（3－1）研究成果
生理学的な脳内情報処理の理解を目指したモデル構築関連としては、歯状回顆粒細胞におけるシナプス間の競合により、異なる感覚情報を統合して記憶できる新しい学習モデルの提案や、小脳プルキンエ細胞樹状突起におけるPKC分子ダイナミクスの忠実なモデルの提案がなされた。
次に広い意味での非線形ダイナミクス解析においての新しい知見が示された。例えば、視覚情報を元に運動を生成する人間の行動において、対象物の動きの予測は必要不可欠なことであると考えられるが、これを具体的に扱うモデルの構築が望まれている。本研究会において、このモデル化が試みられた。また、生理学的な神経細胞のダイナミクスをはじめとする非線形力学に従う振る舞いを、ポテンシャルとそのアクティブ領域という新しい概念を使って理解しようとする試みが示され、神経細胞モデルのバースト発火のメカニズムの新しい理解が示された。更に、自己駆動粒子系のダイナミクスとしてナノ粒子から人の歩行行動までの広い現象を捉え、統一的な理解をしようとする試みが示された。
ハードウェア化を目指した応用関連としては、まず、生体センサ向け極低電圧駆動アナログ回路の発案とその情報を保持するための方策が示された。また、製品の最終工程で必ず行われる外観検査は、未だに熟練者による目視検査に頼っている状況であり、この検査工程の自動化へ向けたシステム構築に対するハードウェアニューラルネットワークを用いた試みが示された。更に、ハードウェア化に関しては、本年度第二回目の研究会を開催し、ブレインライクな視覚システムについての成果が発表された。その中で、主観的輪郭を生成する画素並列型異方性拡散アルゴリズムとそのLSI化や物理的な濃淡差の無いところに輪郭が見える「主観的輪郭」と呼ばれる現象を扱えることが示された。

（3－2）波及効果と発展性など
本プロジェクトでは、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学等に幅広い分野の研究者の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成しているため、「International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications」をはじめとする様々な分野の国際会議においてその成果を発信することができ、現コンピューターでは克服しきれない知的処理の課題を補間する近未来の情報システムの議論の場所を作り上げることができたと考えている。そのために本プロジェクト研究の成果は、学術的あるいは技術的に、これまで克服困難であった人間らしい知的情報処理を克服する方向を示すと同時に、ナノスケール集積化をも視野に入れた研究であるために携帯性や人間との親和性が重視される環境での小型ヒューマンインターフェイス等へ応用する技術を示す上での重要な示唆を与えると予想される。

［4］成果資料
(1) T. Ishiki, S. Tanaka, M. Osanai, S. Doi, S. Kumagai, T. Yagi, “lobal Bifurcation Analysis of a Pyramidal Cell Model of the Primary Visual Cortex:Towards a Construction of Physiologically Plausible Model”, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 4984, pp. 7-17, Springer-Verlag (2008).
(2) N. Nishikawa, S. Doi, “Optimization of Distances for a Stochastic Embedding and Clustering of High-Dimensional Data”, Proc. The 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp. 1125-1128 (2008).
(3) T. Morie and Y. Kim, “A Subjective-Contour Generation LSI System with Expandable Pixel-Parallel Architecture for Vision Systems”, IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC2009), Digest of Technical Papers, #28.6, pp. 478-479, San Francisco, USA, Feb. 11, 2009.
(4) Yukihiro Nonaka and Hatsuo Hayashi, “Spike-timing-dependent LTP/LTD caused by uncorrelated signals through medial and lateral perforant pathways in the dentate granule cell” in "Brain-Inspired IT IV", Eds. A. Hanazawa et al., Springer, 2009, in press.
(5) Yukihiro Nonaka and Hatsuo Hayashi, “Competition between synapses located in proximal and distal dendrites of the dentate granule cell through STDP”, Lecture Notes in Computer Science, 2009, in press.
(6) 野中廉裕、林初男、”STDP学習ルールに従う近位樹状突起シナプスと遠位樹状突起シナプスの競合”、日本神経回路学会講演論文集 pp. 160-161 (2008) 平成20年9月
(7) 野中廉裕、林初男、“相関の無い２入力で生じるスパイクタイミングに依存したシナプスの可塑的変化”、電子情報通信学会総合大会講演論文集

pp. S37-S38.
(8) S. Kawata A. Hirose, “Frequency-multiplexing ability of complex-valued Hebbian learning in logic gates”, International Journal of Neural Systems, 18, 2 (2008), pp. 173-184.
(9) Y. Azuma A. Hirose, “Influence of neural delay in sensorimotor systems on the control performance and mechanism in bicycle riding”, Neural Information Processing - Letters and Reviews, 12, 1-3 (2008), pp. 43-51.
(10) Y. Okamoto A. Hirose, “Wideband adaptive antenna using selective feeding and stagger tuning”, Electron. Lett., 44, 19 (2008), pp. 1116-1117.
(11) S. Masuyama K. Yasuda A. Hirose, “Multiple mode selection of walled-LTSA array elements for high resolution imaging to visualize antipersonnel plastic landmines”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5, 4 (2008), pp. 745-749.
(12) C. S. Tay K. Tanizawa A. Hirose, “Error reduction in holographic movies using a hybrid learning method in coherent neural networks”, Applied Optics, 47, 28 (2008), pp. 5221-5228.
(13) Y. Nakano A. Hirose, “Improvement of plastic landmine visualization performance by use of ring-CSOM and frequency-domain local correlation”, IEICE Trans. on Electron., E92-C, 1 (2009), pp. 102-108.
(14) R. Yamaki A. Hirose, “Singular unit restoration in interferograms based on complex-valued Markov random field model for phase unwrapping”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 6, 1 (2009), pp. 18-22.
(15) K. Tanizawa A. Hirose, “Fast tracking algorithm for adaptive compensation of high-speed PMD variation caused by SOP change in milliseconds”, IEEE Photon. Technol. Lett., 21, 3 (2009), pp. 140-142.
(16) T. Onomi, T. Kondo, and K. Nakajima, “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.
(17) S. Chun, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, “Hardware Neural Network for a Visual Inspection System,” IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, No. 4, pp. 935-942, April 2008.
(18) J. Sveholm, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, “Recalling Temporal Sequences of Patterns Using Neurons with Hysteretic Property,” IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, No. 4, pp. 943-950, April 2008.
(19) K. Nakajima and S. Suenaga, “Bursting characteristics of a neuron model based on a concept of potential with active areas,” Chaos, American Institute of Physics, vol. 18, p. 023120, May 2008.
(20) Y. Yamada, K. Nakajima, and K. Nakajima, “RF impedance of intrinsic Josephson junction in flux-flow state with a periodic pinning potential,” Physica C, vol. 468, pp. 1295-1297, Sep. 2008.
(21) Aiko Ono, Shigeo Sato, Mitsunaga Kinjo, and Koji Nakajima, “Study on the Performance of Neuromorphic Adiabatic Quantum Computation Algorithms,” 2008 International Joint Conference on Neural Networks, pp. 2508-2512, Hong Kong, China, June 2008.
(22) Takahiro Sota, Yosihiro Hayakawa, and Koji Nakajima, “ID model with Higher-Order Connections for Traveling Salesman Problem,” Proceedings of 2008 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 548-551, Budapest, Hungary, Sep. 2008.
(23) Koji Nakajima, “Universal analyses of neuron models based-on a concept of potential with active areas,” Proceedings of 2008 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 632-635, Budapest, Hungary, Sep. 2008.

課題番号　Ｈ２０／Ａ０７

採択回数	①　２　３

有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究

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

分担者：
成田　克　（山形大学理工学研究科）
林靖彦　（名古屋工大）
小野　幸子　（工学院大学）
玉田薫　（東北大学電気通信研究所）
宇佐美徳隆　（東北大学金研）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：材料費 34 万円，旅費 42.8 万円

［2］研究経過

本研究では、有機ヘテロ接合太陽電池として、ルテニウム錯体増感色素を利用した色素増感太陽電池と有機ヘテロ接合太陽電池について、調査、試作評価、さらに関連する研究会を行った。試作研究では、色素増感太陽電池において、色素と酸化チタンとの界面を赤外吸収分光で表面科学的な観察研究を展開し、高効率化のためのプロセスの抽出を行った。また有機ヘテロ電池については、ｎ型特性を示すC60とｐ型チオフェンオリゴマーである 6T について、FET 試作を通じて、半導体特性を示す薄膜形成技術を獲得し、次年度以降の太陽電池試作への準備を完了させた。

本研究成果に関する討論をするため有機太陽電池分野で非常に活発に研究をされている研究者を招へいし、H21 年 3 月に電気通信研究所ナノスピン実験施設で研究会を開催した。

［3］成果

（3－1）研究成果

色素増感太陽電池において、増感色素を如何に高密度で化学吸着をさせるかが高効率化のためとキィとなる。本研究では、代表的な高効率色素として知られている N719 を材料として、アナターゼ結晶薄膜に吸着させて、その吸着構造を多重内部反射型赤外吸収分光（図 1）を用いて調べた。吸着は溶液浸漬で行った。多重反射を実現するために GaAs 単結晶プリズムを用いた。このプリズムに有機金属化学気相堆積法で酸化チタン結晶膜を形成した。図 2 に N719 色素を吸着させたときの赤外吸収スペクトルを示す。色素の吸着によって N719 内の TBA(tetra butyl ammonium)基の CH の赤外吸収が観測できる。色素の吸着により TiO_2 表面の OH 基に由来する 3747cm^{-1} の赤外吸収率が低下しており、これは色素の吸着サイトが TiO_2 表面の OH 基であることを示唆している。このことから意図的に OH 基を事前形成しておくことで高密度吸着につながると考え、我々は、酸化チタン表面に UV 光照射で光触媒反応をおこさせて、ハイドロキシル化し、発電特性の変化を確かめた。その試験結果を図 3 に示す。ここでは、UV 光を酸化チタン電極に 10 分間照射して、発電特性の変化を測定している。その結果、UV 処理を行っていない場合から短絡電流が 1.28 倍増加し、高効率化に UV 処理が有効であることが明らかになった。

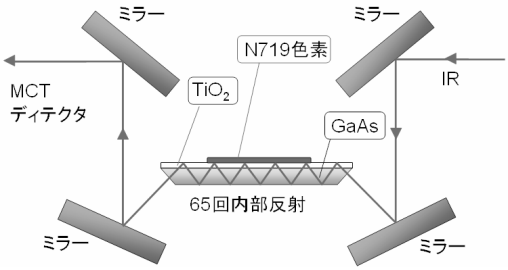


図１　多重内部反射赤外吸収分光の概略図

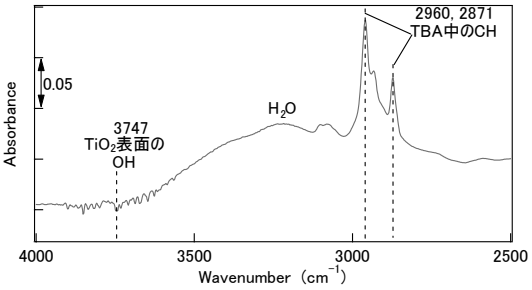


図２　N719 吸着アナターゼ酸化チタン薄膜の赤外吸収スペクトル

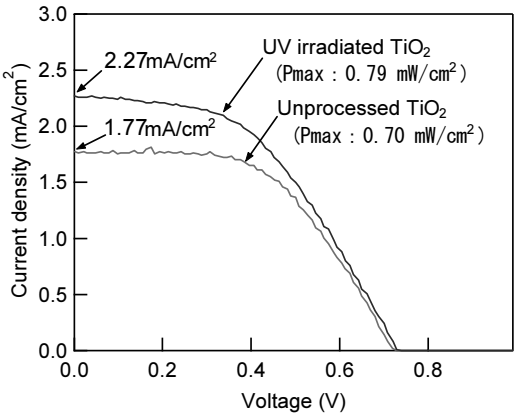


図 3　UV 処理による色素増感太陽電池の発電特性の変化

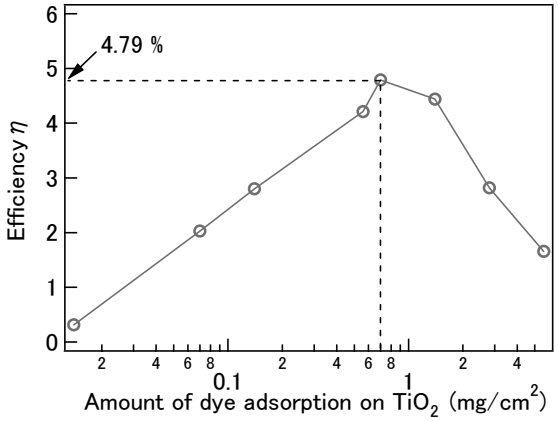


図 5　色素吸着量を変化させて製作した色素増感太陽電池の発電効率の変化

図 4 にアナタース型酸化チタン薄膜表面に吸着した N719 色素の低波数領域の赤外吸収スペクトルを示す。N719 色素の分子の部位に応じて特徴的な赤外吸収振動がみられるが、我々は COO の非対称振動と対称振動をみることで、色素が化学吸着しているのか孤立しているのかの割合を調べた。その結果、色素吸着量を増加すればするほど孤立色素の割合が増加し、色素吸着量を適量で制限することで、化学吸着色素のみで被覆できることがわかった。孤立色素は光を吸収しても発電には寄与せず、遮光物質になることから、これを抑えることで高効率化ができると考えた。そこで、色素増感太陽電池を多数製作して、発電効率からみた色素吸着の最適量の探索を行った。その結果、図 5 に示されるように 0.7mg/cm2 で最大の効率が得られることがわかった。この結果は、色素増感太陽電池の開発研究において、これまで増感色素をできる限り大量に表面に吸着させる努力がされていたが、高効率化のためにはむしろ過剰吸着が有害であることを示すものであり、従来の概念を転換させる知見である。現在 J. Electrochemical Society 誌に投稿中であり、誌上で議論をあおぐ予定である。

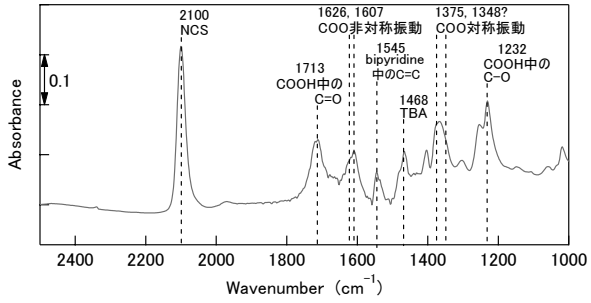


図 4　N719 色素を吸着させたアナタース酸化チタン薄膜の赤外吸収スペクトル

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトで、色素増感太陽電池の界面観察研究を通して高効率化のために得られたプロセス工夫は、色素増感太陽電池の高性能化に寄与するものと考える。東北大学電気通信研究所ではナノ構造で制御されたポーラス酸化チタン薄膜の製造技術がシーズとして保有されており、これを生かして巨大表面積酸化チタンを用いた高効率太陽電池を実現できる可能性があり、次年度に試作研究を展開する予定である。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. “UV treatment effect on TiO2 electrodes in dye sensitized solar cells with N719 sensitizer investigated by infrared absorption spectroscopy “, 廣瀬文彦、栗林幸永、鈴木貴彦、成田克、木村康男、庭野道夫, Electrochemical and Solid-State Letters, Volume 11, Number 7. (2008) A109-A111

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 47(2008)5619-5622.

課題番号　Ｈ２０／Ａ０８

採択回数	①	２	３

イオンチャネルチップに関する研究

［１］組織
代表者：菅原　正雄
（日本大学文理学部）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
井出　　徹（大阪大学大学院生命機能研究科）
宇理須恒雄（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
手老　龍吾（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
星野　忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
片山　統裕（東北大学大学院情報科学研究科）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学大学院医工学研究科）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費 32 万 1 千円，旅費 35 万 7 千円

［２］研究経過

バイオの時代と言われる２１世紀においては，現在の半導体加工技術をバイオテクノロジーと融合することにより，バイオテクノロジーのさらなる高度化が強く望まれている. 特に, その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題である．この融合が実現すれば，生体情報を物理信号に変換し，また，逆に物理信号を生体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と期待されている.

本研究では，生体高分子の中でも特に創薬の観点から注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に，半導体ナノ微細加工技術との融合により，新規なバイオ電子デバイスとしてのイオンチャネルチップやアレイの開発を目指している．具体的には，半導体微細加工技術やナノ構造体の融合により，新しいハイスループットな機能解析法としてのイオンチャネルチップおよびイオンチャネルアレイを開発する．この技術が開発されれば，イオンチャネルタンパク質と神経伝達物質との相互作用のような生体物質の微視的相互作用（生体反応）の高精度な"その場"分析などへの応用が可能となる．また，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの分野の更なる発展にも貢献できる．半導体工学の研究者とチャネル研究の分野で活躍する研究者とが協力して，新しいバイオエレクトロクスの分野を開拓すると期待される.

本プロジェクトは，本年度が第 1 年度であり，イオンチャネルの機能発現に必須のマトリクスである脂質二分子膜を半導体材料表面に集積するための新規ナノ構造プロセスを開発することから研究を開始した．半導体微細加工や，ナノポーラス構造体を用いた新しい人工細胞膜デバイスの設計と作製を行い，チップ化・アレイ化への障害となっている脂質二分子膜の機械的脆弱性の問題についても検討を行った.

平成 20 年 10 月 27－31 日には，研究代表者の菅原正雄（日本大学文理学部・教授）と所属大学院生が庭野研究室に来訪し，イオンチャネルチップのマトリクスとなる脂質二分子膜の定量的形成について研究打ち合わせを行うとともに，実際に，庭野研究室の有する多重内部反射型赤外分光法を用いてシリコン基板上での脂質二分子膜形成のその場観察について検討した．また，平成 20 年 12 月 15－19 日，および平成 21 年 3 月 16－20 日には，研究分担者の平野愛弓とその大学院生，庭野研究室の大学院生が研究代表者の研究室を訪問し，イオンチャネルチップ構築に向けての戦略について打合せを行い，さらに，実際にラット脳よりレセプターイオンチャネルタンパク質の抽出・精製を行った．東北大学に帰学後，抽出したタンパク質の二分子膜への埋め込みを行い，生体チャネルからのチャネル電流記録について検討した.

［3］ 成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た.

(1)半導体微細加工を利用した安定化脂質二分子膜の形成

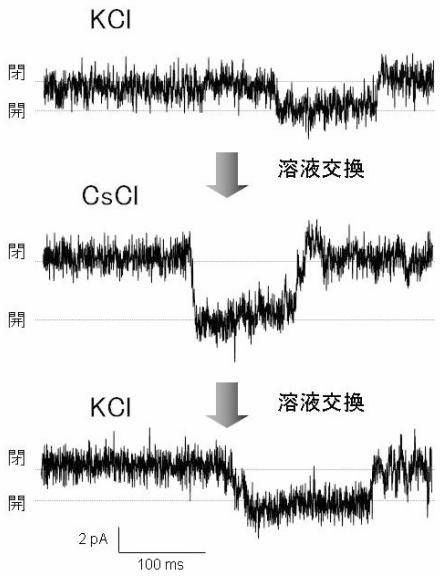


図１　安定化を達成した脂質二分子膜でのグラミシジンシングルチャネルレコーディングの例

半導体基板上に nm オーダーで堆積した窒化ケイ素ナノ薄膜中に微細孔をリソグラフィ技術によって作製し，その微細孔の中で脂質二分子膜を形成することにより，二分子膜センサーの安定化を試みた．微細孔をウェットエッチング法で作製し，脂質分子の疎水基側が配列しやすくなるように，表面をシランカップリング剤にて疎水化処理を行った．このようにして作製した微細孔の中で，二分子膜を単分子膜貼り合せ法によって形成し，その機械的強度について検討した．その結果，モデルチャネルのグラミシジンを包埋した状態においても，多数回にわたる溶液交換に耐える強い機械的強度を保持しているという結果を得た（図1，論文投稿中）．現在，実際の生体レセプターに基づくイオンチャネルチップへと展開するため，神経伝達物質 L-グルタミン酸の受容体であるグルタミン酸受容体チャネルをラット大脳より抽出し，構築した脂質二分子膜系に包埋して，グルタミン酸を投与した際のチャネル電流を記録することを検討している．来年度は，効率のよいチャネルタンパク質の包埋と，ノイズ電流の軽減について検討を行い，センサーとしての特性（感度，選択性，応答速度，再現性，耐久性）について評価する．また，多数個の孔の同時加工が容易であるという半導体微細加工の特徴をいかし，イオンチャネルアレイへの展開についても検討する．

（2）多重内部反射赤外分光法を用いた脂質二分子膜形成過程の*in situ* 観察

脂質二分子膜形成の再現性の向上を目指し，脂質二分子膜の形成過程を半導体表面分光法によって追跡した．従来，基板表面上に作成した支持二分子膜に

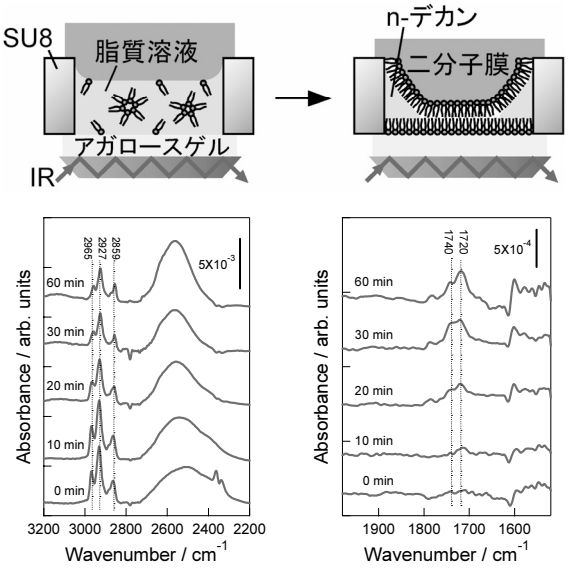


図２　多重内部反射赤外分光法を用いた脂質二分子膜の形成過程のその場観察

おいては，チャネル活性が得られないことが問題となってきたが，近年，基板と脂質二分子膜との間に水保持層としてのアガロースゲルをはさむことにより，チャネル電流が記録できることが報告されている．本研究では，このアガロース支持二分子膜系の形成過程について，多重内部反射型赤外分光法を用いてその場観察を行った（図2）．その結果，膜形成に伴い，脂質分子に由来する吸収ピークが増大すること，またそれと同時に，脂質の溶媒であるn-デカンに由来する吸収ピークが減少していくことを観測した．また，脂質分子に由来するピークは，GΩレベルの高い抵抗を持つ膜が形成された場合にのみ観測され，低抵抗の膜においては見られないことを見出し，チャネル電流記録では必須の条件となるGΩシールの膜の形成について，経験則を見出すことに成功した（論文投稿中）．今後は，この膜系にグルタミン酸受容体チャネル等の生体チャネルを包埋し，チャネル電流記録と赤外吸収スペクトルの同時測定系の構築を目指す．

（３－２）波及効果と発展性など

半導体とバイオ素子との融合を目指す研究は，近年，ますます盛んになっている．特に，レセプターイオンチャネルタンパク質は，神経後シナプスでの情報伝達タンパクであり，固体デバイスとチャネルタンパクとの結合部は，その実現が望まれているブレイン・マシン・インターフェイスにおける接合部にも相当する．この分野は今大きな発展を向かえる時期にあり，今後の研究の進展が大いに期待される．

［4］ 成果資料

Trends in Analytical Chemistry 誌に掲載した論文を添付する．

課題番号　Ｈ２０／Ａ０９

採択回数	①　２　３

人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究

［１］組織
代表者：佐藤　雅之
（北九州市立大学大学院国際環境工学研究科）
対応者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
古賀　一男
（名古屋大学エコトピア科学研究所）
松宮　一道
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 29 万 8 千円，旅費 19 万 8 千円

［２］研究経過

本プロジェクトの目的は，①サッカード眼球運動時の誤定位と②サッカード時の変位抑制におけるブランク効果に関して詳細な心理物理実験を行うことにより，人間の視野安定機構における網膜座標系の変換と網膜像の統合について検討することである．

本プロジェクトの初年度である本年度は，まず，実験装置の開発を行った．次に，本所で２回の会合をもち（第１回：平成 20 年 11 月 20 日～21 日，第２回：平成 21 年２月 24 日～25 日），開発した実験装置を用いて，ブランク効果に関する予備的な実験を行った．

次に，実験の概要を記す．

（１）ブランクターゲットへの変位の転移

周辺視野に呈示するサッカードの目標物をここではターゲットと呼び，ターゲットの周辺に呈示するパターンをディストラクタと呼ぶ．サッカードの開始直後にディストラクタの位置を変え，そのとき，ターゲットを４分の１秒程度の期間消失させると，ディストラクタの変位が知覚されずに，ターゲットのディストラクタに対する相対的な位置の変化がターゲットの変位として知覚されることが報告されている（Deubel et al., 1998）．ここでは，これを変位の転移現象と呼ぶ．変位の転移現象は，後述するように，先に Deubel ら（1996）が報告したブランク効果の意味を理解するうえで大変興味深い知見である．第１回の会合では，新しく開発した実験装置を用いて，Deubel らの報告の追試を行った．

実験装置が概ね良好に機能することを確認し，また，変位の転移現象がロバストであることを確認した．

（２）ディストラクタパターン依存性

サッカード中のディストラクタの変位がサッカード直後に消失しているターゲットに転移するのは，サッカード直後の網膜像がサッカード前後の視野統合に用いられるためであると考えられる．

それでは，具体的にサッカード前後の網膜像におけるどのような成分が統合に用いられるのであろうか．サッカードの振幅は比較的大きなものを含むので，高空間周波数成分はサッカード前後の網膜像の対応点を決定する際に有効でないと考えられる．したがって，統合に用いられる要素としてもふさわしくないと考えられる．反対に，網膜像の低空間周波数成分は有力な候補であると考えられる．そこで，ディストラクタとしてスクリーン全体に正弦波グレーティングを呈示し，ディストラクタの空間周波数と変位の転移効果の関係を検討した．空間周波数 0.05 cpd～0.45 cpd の範囲で変位の転移効果の大きさを測定したが，予想に反して，転移効果は得られなかった．ディストラクタとして先行研究と同様に円形や正方形のパターンを用いた場合とは対照的な結果となった．

（３）実験装置の改善するべき点

実験装置の改善するべき点も明らかになった．現行のシステムでは，眼球位置測定装置によって得られたアナログの眼球位置情報を A/D コンバータを介して計算機に取り込み，それをソフトウエアによって処理することによりサッカード開始時刻を決定しており，それをトリガーとしてディストラクタの位置を変えている．このトリガー信号を生成するまでの処理に 15 ms 程度の時間を要している．先行研究では，サッカードの振幅は 6° あるいは 8° であり，その所要時間は 20 ms～30 ms 程度である．先行研究と同様のサッカード振幅を採用するとディストラクタの位置の更新をサッカード終了前に完了することができない可能性がある．そのため今回の実験ではサッカードの振幅を 20° とした．しかし，そのような大きなサッカードの条件では，そもそもサ

ッカード前後の視野統合機構が働かない可能性も考えられる．先行研究と同様のサッカードの振幅が小さい条件にも対応するためには処理時間を短縮する必要がある．そのために，今後，眼球位置信号から画像の描き換えのためのトリガー信号を生成する専用のハードウエアを作成する．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第1に，変位の転移現象が確認された．第2に，変位の転移現象がディストラクタのパターンに依存することが明らかになった．

（3－2）波及効果と発展性など

ディストラクタが円形や正方形のパターンの場合には顕著に表れる変位の転移現象がディストラクタを正弦波グレーティングに変えると消失してしまうという事実は，あまり予想していなかっただけに，見方を変えれば，驚くべき発見であるということもできる．今後様々なパターンについて検討を加え，変位の転移が生じる臨界条件を明らかにすることにより，サッカード前後の網膜情報の統合の過程を解明することができると考えられる．

［4］成果資料

本プロジェクトの研究成果はまだどこにも公表していない．

課題番号　Ｈ２０／Ａ１０

採択回数	①	２	３

バイノーラル技術における音像定位の学習効果

［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：
木下　雄一朗（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
赤木　正人（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）
研究費：物件費 29 万 8 千円，旅費 27 万 6 千円

［２］研究経過

グローバル化が進む社会のインフラストラクチャとして，高臨場感通信技術の発展は必須のものである．遠隔会議システムにおいて映像チャネルに障害が発生した場合でも音声チャネルさえ利用できれば電話会議が実現できるように，音声通信は人間同士のコミュニケーションの基本要素であると考えられる．また，コンサートホールでの演奏を精密に再生するといった場合には，音響通信が人間の感動といった高次の感性情報までを担うチャネルとなる．本プロジェクトは，このような音響に関わる高臨場感通信の実現手法の一つであるバイノーラル技術に焦点を当てたものである．バイノーラル技術は，原音場においてダミーヘッド（音響マネキン）の両耳で録音した音を，ヘッドホンで再生することで高い臨場感を容易に実現できるため，マルチメディア環境構築の実現に有望な技術である．これまでの予備的検討により，不完全な録音再生系を用いた場合でさえ，音像定位に関して１時間程度の訓練を行えば良好な音像定位を達成できる可能性が示された．本研究では，この学習効果をより深く検討することを目的として研究を実施することとした．

本プロジェクトは，本年が初年度であった．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 20 年 7 月に東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）の音響無響室において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，本プロジェクトの本年度計画内容をさらに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を行うために，赤木教授をメンバーに追加した．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) 頭部伝達関数の精密再生手法の高度化
(B) 正中面内の音像定位に関する学習効果に関する実験的検討

これらのテーマのうち，本報告では，特に(A)に関して詳述し，(B)に関しては詳細データは未公開（2009 年秋季学会で発表予定）であるため概要を述べるに留めることとする．

まず，ここでは，両研究テーマに共通する背景を述べる．まず本プロジェクトでは，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を，頭部伝達関数と定義する．例えばコンサートホールといった原音場における音源の位置などの音響空間情報を，例えば自宅のリスニングルームなどの再生音場において精密に再現することは，この頭部伝達関数を精密に再現することと等価である．バイノーラル技術は，その再現を両耳の鼓膜面という限定された２点のみで行う技術である．

頭部伝達関数は，音源の位置や原音場壁面の音響特性など音場に関する部分と，聴取者の頭部や耳介の音響特性といった個人性に関する部分に分けて考えることができる．その個人性のため，原音場においてダミーヘッドを用いて録音を行った場合には，聴取者自身との音響特性の個人差が含まれる．バイノーラル録音された音を聴取した場合に，この個人差によって，聴取者は自分がコンサートホールに行って聴取した場合とは異なる音を聴取することになる．この問題に対する対処としては，(A) 原音場の特性の相違に加えて音響特性の個人性を補正する信号処理を行うこと，あるいは (B) その個人性を聴取者自身の学習によって解消することの二つが考えられる．テーマ(A)と(B)はそれぞれの対処について検討を行ったものである．なお，本プロジェクトの主眼はテーマ(B)の学習効果を解明することであるが，その検証実験を実施するために，テーマ(A)で培った信号処理技術を利用した．

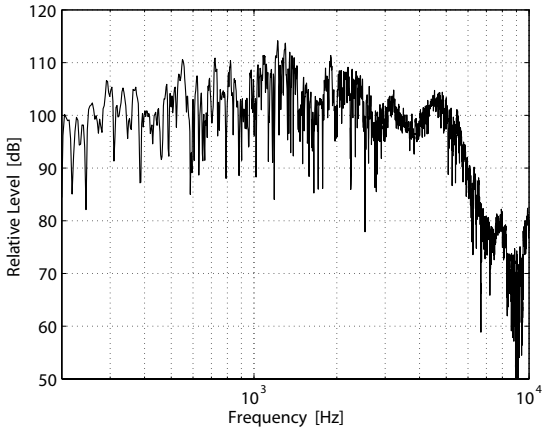
(A) 頭部伝達関数の精密再生手法の高度化

(A-1) 個人性補正における拘束条件を解除する手法の提案 (成果資料 [1])

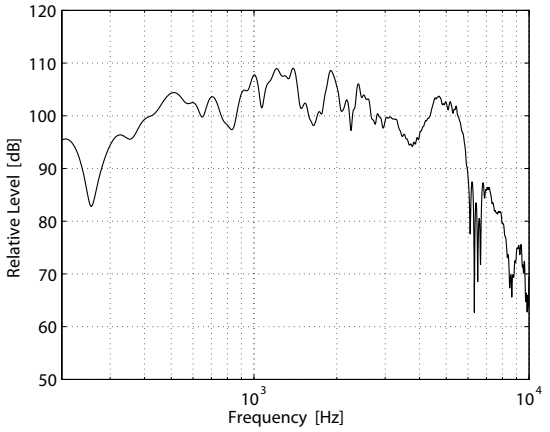
従来は，個人性を補正するためには，伝達関数の測定のために聴取者が原音場に出向く必要があることが拘束条件となっていた．このような拘束条件は現実的ではないので解除されることが望ましいと考え，我々は以前に原音場が反射音の少ない場合について拘束条件の解除法を示した．しかし，コンサートホールなど反射音の多い音場を再現する場合の方がより実用的と考えられる．そこで，本プロジェクトでは,原音場を反射音の多い部屋とした条件下で,拘束条件の解除法を提案することとした.

図1に，(a) 響きの豊かな部屋と，(b) 響きの乏しい部屋において，同一の聴者について測定した頭部伝達関数を示す．このように，部屋の響きの程度の違いは，伝達関数における細かなピーク・ディップの有無として現れる.以下では,(a)を原音場，(b)を再生音場であると仮定して議論を進める.

原音場において測定された伝達関数には，音源からの直接音成分と，それよりも遅れて観測される壁などからの反射音成分が含まれている．このとき，原音場における直接音成分は，反射音の少ない部屋の伝達関数から推定可能と考えた．一方，聴取者について観測されるべき原音場における反射音成分は推定することが困難であるから，ダミーヘッドについて観測された反射音で代用することとした.



(a) 響きが豊かな部屋（原音場と仮定）



(b) 響きが乏しい部屋（再生音場と仮定）

図1： 同一個人に関して測定した頭部伝達関数

このような仮定の下で，本研究では自己回帰移動平均モデル(ARMA モデル) を用いて零点と極の数を減少させていくことでから原音場の特性から反射音成分を取り除き,直接音成分を推定することとした.ただし，反射音成分の推定のためには，外耳道入口の伝達関数が必要である．これを実際に測定するのは一つの方法であるが，鼓膜面までの伝達関数に加えて測定を行うことになり現実的ではない.そこで,鼓膜面で測定された伝達関数を，外耳道入口で測定された伝達関数に外耳道伝達関数（外耳道入口から鼓膜面までの伝達関数）をかけることで算出することを考えた.

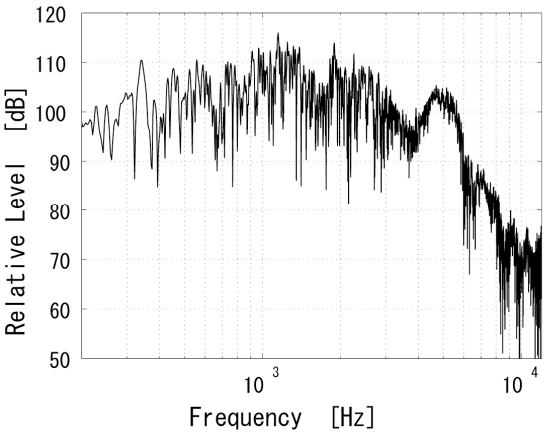
実際に，図1(b)の伝達関数を基本として，提案手法により零点と極の数を調整して図 1(a)の伝達関数を近似的に算出した結果を図2に示す．この図から，適切な極／零点の数を用いれば，原音場の伝達関数を近似的に求めることが十分にできると考えた.また，近似的に求めた伝達関数を用いて，個人性補正を行うことを提案した.

提案法の有効性を確認するために，極／零点の数を変えるなどして用意した 10 種類の刺激音について，原音場との比較を行う聴取実験を実施した．その結果，音の響き感や音像定位位置について，極／零の点数をともに100 とした場合に良好な評価が得られた．このことから提案法の有効性が示された.

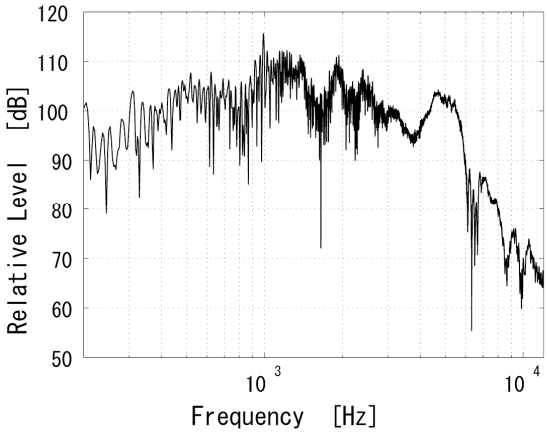
(A-2) 個人性補正特性の方向依存性に関する検討 (成果資料 [2])

上記の提案手法により，バイノーラル録音再生における個人性補正の信号処理のうち，音場に関する拘束条件は解除された．そこで，次のステップとして，その信号処理のうち音源の方向依存性に関して検討を行った．その方向依存性があったとしても，音源が一つしかない場合には，音源方向に合わせて補正特性を切り替えれば問題はない．しかし，実際の原音場には音源が複数存在するのが普通であるため，音源方向を無視して一つの補正特性を利用することができれば好都合である.

まず,ダミーヘッドを用いて録音した音について,ある聴取者用の個人性補正の周波数特性がどの程度の方向依存性を有するかを示したのが図3である.正面方向を0° として，水平面内の5° ごとに求め



(a) 極／零点の数 ＝ 100/100



(b) 極／零点の数 ＝ 1000/1000

図 2: 提案法によりスペクトルを近似した結果

た補正特性を 0° の特性を基準とした相対レベルで表示している．この図から補正特性には確かに方向依存性があることが分かるが，それが主観的にどの程度の影響を及ぼすか推測するのは困難である．

そこで，0° の特性を用いて，他の角度に音源がある場合の補正を行い，音像定位方向を評価する聴取実験を行った．その結果，正面方向の開き角 30° 以内の音源については，0° の補正特性が有効であることが示された．コンサートホールにおけるステージの開き角が約 30° であることから，ステージ上の複数音源の補正には，正面の補正を用いれば十分であることが示された．

(B) 正中面内の音像定位に関する学習効果に関する実験的検討

これまでの予備的検討によって，水平面内の音像定位に関しては，個人性補正を行っていない場合でさえ 1 時間程度の訓練を行えば十分な改善が見られることが示された．ただし，水平面内では音源からの両耳までの時間差およびレベル差が方向定位の大きなキューとなるため，音像定位のもう一つのキューである頭部伝達関数の方向依存性（スペクトラルキュー）が学習されているか否かは未解明であった．

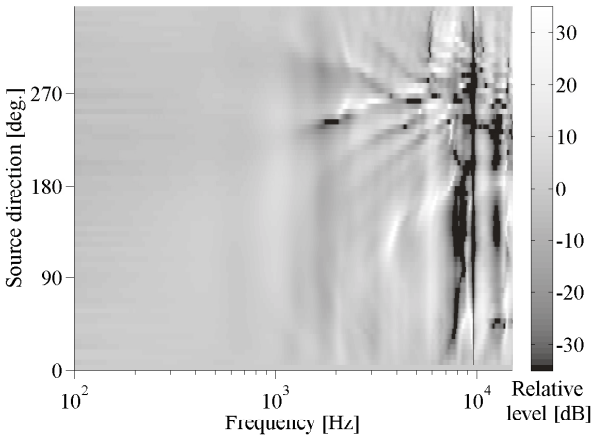


図 3: 個人性補正特性の水平面内方向依存性

本プロジェクトでは，両耳間時間差・レベル差のない正中面内に音源がある場合を取り上げることで，スペクトラルキューに関する学習効果を観測できるものと考えた．実際に，訓練と，評価のための聴取実験を行ったところ，正中面内の音像定位についても 1 時間程度の訓練で十分な音像定位の改善が見られた．詳細については，日本音響学会 2009 年秋季研究発表会において報告する予定である．

（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．本年度のプロジェクトの成果により，高臨場感音響通信システムの構築のためには (A) のような複雑な信号処理を行うことも有効であるが，(B) のような人間の学習能力を用いることも有効である可能性が示された．すなわち，より小規模で十分な性能を有するシステムを構築するための新しい考え方として，受聴者が学習することを示した．

［4］成果資料

[1] M. Itokazu, K. Watanabe, and K. Ozawa, "Individual equalization in binaural reproduction for a reverberant sound field," Acoustical Science & Technology, Vol. 30, No. 1, pp. 25-32 (2009).

[2] 小玉純一，小澤賢司，"バイノーラル録音再生における個人性補正の方向依存性，" 日本音響学会講演論文集 2008 年 9 月, pp. 743-744 (2008).

課題番号　Ｈ２０／Ａ１１

採択回数　(1)　2　3

赤外光を用いた細胞チップに関する研究

［1］組織
代表者：篠原　康男
（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
対応者：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）
宮崎　　均（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
礒田　博子（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
山田パリーダ（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
韓　　畯奎（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
岩田　博夫（京都大学再生医学研究所）
有馬　祐介（京都大学再生医学研究所）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学大学院医工学研究科）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費 32 万 8 千円，旅費 40 万 8 千円

［2］研究経過

現在，半導体加工技術とバイオテクノロジーとの融合によるバイオテクノロジーのさらなる高度化が強く望まれている．特に，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題となっている．

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ている．研究課題は，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に検出すること，③ミトコンドリアのような細胞内器官の動態を低分子化合物（ATP や GTP）の濃度変化を指標にリアルタイムで検出すること，③細胞内反応である生体高分子（タンパク質やDNA）間の相互作用をリアルタイムに検出することとし，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．

本プロジェクトは，本年度が第 1 年度であり，①浮遊細胞を対象とした細胞成長及び細胞応答過程のリアルタイム計測，②細胞内器官の薬剤応答過程のモニタリング，③付着細胞の Si 基板表面上での成長及び分化の制御とその過程のモニタリングに関して集中的に検討を行った．

平成 20 年 9 月 18－19 日には，研究代表者の篠原康男（徳島大学疾患ゲノム研究センター・教授）が庭野研究室に来訪し，細胞内器官の薬剤応答モニタリング法の薬物スクリーニングへの展開や，Si 基板表面での付着細胞の分化過程の制御について，実験データに基づいて今後の戦略について討論を行った．

［3］ 成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

(1)浮遊細胞 HL-60 のアポトーシス過程のリアルタイムモニタリング

細胞応答に基づく薬剤スクリーニング法への展開を目指し，浮遊細胞 HL-60 にアポトーシスを誘導した際の細胞死過程を，多重内部反射赤外分光法を用いて追跡した．そのために，まず，細胞が健常に成長できる培養環境を，赤外分光器の測定室内に構築することから研究を開始した．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，さらにヒータと温度制御装置を用いることにより，試料室内の温度を 37±0.5℃、湿度を 80%以上に保ち，測定室内に CO_2 インキュベータと同等の細胞培養環境を構築した．

この測定システムを用いて，細胞のアポトーシスを誘導する薬剤に対する細胞応答のモニタリングを行った．その結果，アポトーシス誘導細胞では，細

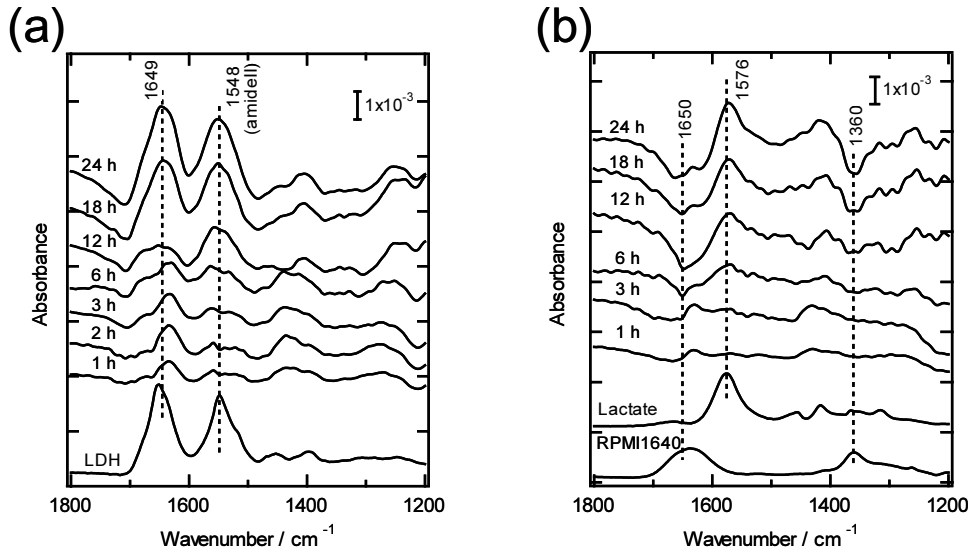


図１　(a)アポトーシスを誘導したHL-60細胞と(b)健常なHL-60細胞の赤外吸収スペクトル変化

胞死に伴うタンパク質の放出による赤外吸収が徐々に増大するのに対して，健常細胞では，培地による赤外吸収が減少し，代謝物である乳酸の赤外吸収が増加したことから，細胞の代謝現象による赤外吸収の変動が観測された．そのため，これらの赤外吸収スペクトルの変化より生細胞とアポトーシス誘導細胞とを判別できることを示した（図１）．また，測定におけるアミバンドの強度と乳酸デヒドロゲナーゼ(LDH)アッセイによる LDH 放出量が相関を示したことから，アミドバンドをモニタリングすることにより細胞死を評価できることを示した．赤外吸収に基づく本手法は，細胞全体の活動を総体的に捉えることが出来るため，特定の生体反応を検出する従来の生化学的方法とは相補的な方法であり，次世代の生命情報解析装置としての期待が大きいものと考えられる．

(2)細胞内器官（ミトコンドリア）活動のその場計測

細胞内動的過程の例として，細胞内器官の中でも特に重要な働きをもつミトコンドリアの動的過程のその場計測法について検討した．ミトコンドリアは，生体内の主要な化学エネルギー供与体であるアデノシン３リン酸(ATP)をアデノシン２リン酸(ADP)と無機リン酸(Pi)から変換するという非常に重要な役割をもち，また近年ではアポトーシスや様々な疾患との関連もあることから非常に注目を集めている．上述（１）のような細胞アッセイに用いる細胞の多くはがん化しており，主に解糖から ATP 合成を行っているため，ミトコンドリア内 ATP 合成を阻害する薬剤を見逃してしまう可能性がある．そのため，生物から単離したミトコンドリアを用いての薬剤評価法は，細胞アッセイとは相補的な役割を果たすと言える．本研究では，リン酸部位の赤外吸収が ATP，ADP 間で異なることを利用して，赤外吸収分光法を用いての非破壊・直接的かつリアルタイムな ADP⇔ATP 変換の追跡法に関して検討を行った．

Wistarラットの肝臓よりミトコンドリアを単離し，ミトコンドリアを懸濁液中に，酸素を供給しながらADPを添加すると，1200 cm^{-1}付近のADPの赤外吸収スペクトルが，時間とともにATPの赤外吸収スペクトル形状に近づくことがわかった．このような変化は，ミトコンドリアにADPを加えなかった場合や，ミトコンドリアを含まない試料にADPを加えた場合には観測されなかった．さらに，赤外吸収分光測定中に採取した試料を，液体クロマトグラフィ分析を行った結果，ATP量の増加が認められた．これらのことから，赤外吸収分光法を用いてミトコンドリアの本質的機能であるADP⇔ATP変換過程を非標識その場計測することに成功した．

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，細胞や内部器官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．

[４]　成果資料

J. Appl. Phys.誌に掲載した論文を添付する．

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ１２

採択回数	①	２	３

インターネット最適利用のための コンピューティング環境の構築に関する研究

［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）
菅原研次　（千葉工業大学情報科学部）
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）
藤田　茂　（千葉工業大学情報科学部）
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）

研究費：物件費 32 万 1 千円，旅費 18 万 2 千円

［2］研究経過

ユビキタスコンピューティング，インターネットを介した個人やコミュニティでの円滑な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など，コンピュータとインターネットの活用が増大するIT社会において，人間や社会の情報活動の支援の必要性がますます高まってきている。エージェント，知識工学，セマンティックWeb，センサーネットワークなどはその土台を形成する有用な技術であり，標準化を含めて世界中で活発に研究開発が進められている。

本プロジェクトでは，インターネット最適利用のための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 上での情報のモデル化とその有効利用について検討を行った。特に，Semantic Web において，通常の情報だけでなく，時間と空間の両方の情報のオントロジーによる表現方法と利用方法，および，個人や組織のプライバシー情報のオントロジーによる表現方法を検討した。また，情報をオントロジーを用いた知識として表現し，その知識を用いて推論を行い，病気治療のためのアドバイスを提供するシステムを構築した。

第２に，ディジタル空間と実空間の相互利用による社会的活動や芸術など文化活動への支援を実現するため，センサネットワークを利用して人の行動を検出する環境の構築と，行動分析手法の検討を行った。特に，個人の身体レベルに焦点を絞り，生体信号のモニタリングおよびバイタルデータ・モーションデータの特徴パターン抽出法の開発を行った。

第３に，認証によるインターネット上の安全性確保のため，Peer-to-Peer（P2P）ネットワークを主な対象とし，P2P ネットワークに参加している実体（ノード，端末，エージェントなど）が相互に認証を行うためのスケーラブルな分散型認証手法の確立を行い，その構築をネットワーク上に行った。

第４に，人・社会とシステムの共生という観点から，利便性と安心が両立するシステムモデルを確立するための，人とシステムの共認知モデルのプロトタイプの設計を行った。また，共認知に基づいて動作するために自律的なソフトウェアであるエージェントを複数用いてアプリケーションシステムを構築するプラットフォームの開発を行った。

本研究に関連し，以下の研究発表と討論を行った。

「研究推進会議」

- 期日：　平成 20 年 10 月 3 日
- 場所：　東北大学電気通信研究所
- 講演と報告

(1)「共生コンピューティングの実現に向けて」（千葉工大）

----- 人，社会，情報処理を共生させるコンピューティングとそのフレームワークについて報告した。

(2)「新しいコンピューティングモデル―共生コンピューティングとエージェント」（千葉工大）

----- ソーシャルウェア技術とパーセプチュアルウェア技術を融合させる技術として，マルチエージェントとの関連性について報告した。

(3)「介護アドバイス提供システム」（仙台電波高専）

----- 高齢者の介護記録を自動的に解析し，介護福祉士などにアドバイス提供を行う推論システムについて報告した。

［3］成　果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

第1に，Web 上での情報のモデル化とその有効利用に関して，従来の主題情報のオントロジー表現に加え，時空間情報を扱えるオントロジーを構成した。同時に，そのようなオントロジーで表される情報が膨大になった場合に対処するため，必要で関心のある部分を抽出・編集可能とするオントロジーview についての言語と支援ツールを開発した。この言語とツールを利用することで，必要な情報の範囲や内容を時間（日時，頻度など）および空間（場所など）の両方の観点から容易に指定することができ，さらに，新しい情報の追加，情報の更新を容易に行うことができる。なお，このような情報には個人情報や組織情報が含まれ，それらのプライバシー保護の問題を扱うことが重要である。本研究では，オントロジーにおけるプライバシー保護を考慮した個人・組織情報のモデル化と情報アクセス方法を考察した。

また，オントロジーの活用として，病気治療のためのアドバイス提供システムの開発を行った。システムでは，タイ王国を対象とし，人々の病状を改善する多くの種類の香草（タイハーブ）についての知識をオントロジーとして表現し，推論エンジンと組合わせることで，利用者個人の生体情報や環境情報に基づいて，各個人の症状に見合った適切なハーブを選定し推奨する機能を提供している。これにより，個々人の病気の治療に適切なハーブを選ぶことを容易にしている。

第2に，ディジタル空間と実空間の相互利用による社会的活動や芸術など文化活動への支援の実現について検討した。うなずきなど，対面コミュニケーションで重要な身振りの特徴を IT 機器上のインタフェースに応用して対面コミュニケーションに近い「快い」コミュニケーションを実現するため，これまでモーションデータや生体信号を測定し，その分析を行ってきた。しかし，センサの装着による利用者の動作への制約が大きく，それを低減するため，無線 LAN を利用した生体信号やモーションデータの獲得環境の開発を行った。プロトタイプを開発し，サンプリング周波数 1kHz 超を実現している。今後，チャネル数を 10ch まで増やして現在と同程度のサンプリング数を得ることが課題である。さらに，得られたモーションデータやバイタルデータをパターン毎に分節するための分節法について検討した。連続データをいくつかのパターンの順列とみなすことで，分析や動作の再構成がより容易になると考えられ，分節の技法としてモチーフ抽出法を導入し，モーションデータに適用した結果，有効であることが分かった。今後，得られたモチーフ列を利用し，データベース化することが課題である。

第3に，これまで 100 万のユーザが参加する大規模 P2P 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ＨＤＡＭの開発を行い，シミュレーション結果を通じてＨＤＡＭのスケーラビリティが従来手法より優れていることを検証してきた。これに引き続き，ＨＤＡＭに対して信頼性の向上を目的とした冗長システムを導入し，その仕組みがＨＤＡＭに与える影響の検証を行った。この検証の結果より，ＨＤＡＭは不正ノードに対する耐性を持ちながら，1000 ノード以上のネットワークでは従来手法よりも少ないメモリ量や通信データ量で端末間の認証を実現することを確認した。また，ＨＤＡＭを P2P ネットワークに導入するための通信ミドルウェアの設計を行い，安全な P2P ネットワークの運用を可能とするネットワークアーキテクチャを示した。

第4に，人・社会とシステムが両立する共生コンピューティングに向けて，アウェアネス獲得機能，個人理解機能，コミュニティ理解機能から構成される共認知機能の検討を行った。アウェアネス獲得機能は利用者の周囲に設置されたセンサーネットワークから得られるイベントの時系列から，個人の行動や周囲の情報を記述するモデルであるアウェアネスを生成する機能である。本研究では，アウェアネス獲得機能，個人理解機能のモデルとコミュニティ理解機能のプロトタイプモデルの定式化を行った。個人理解機能のモデルは，利用者モデルを持ち，利用者モデルはアウェネス機能から渡されるアウェアネスの時系列から利用者モデルを精錬する。コミュニティ理解機能は，利用者が関係するコミュニティに関する知識モデルであり，社会知およびコミュニティに属する人々の個人理解機能と連携してコミュニティモデルの生成と保守を行う。この二つの機能は共認知のための基本機能として重要な役割を果たす。

共認知を実現するためには，人・社会の情報を包括的に取り扱う新しいプラットフォームが必要である。このために，マルチエージェントシステムの設計と試作を行った。このフレームワークを用いたアプリケーションシステムとして異なる言語を用いるチーム間でのコミュニケーション支援システムを設計し，共認知のテストベッドとして有効に活用できるという知見を得た。

（3－2）波及効果と発展性など

インターネットを利用したコンピューティング環境の構築に関わるＷｅｂベースの情報モデルとその利用の検討，支援システムの設計・実装，人ー人・人ーシステム間の円滑で快適なコミュニケーション

法の基礎的検討，インターネット上の安全性確保のためのスケーラビリティの高い相互認証手法の開発，及び，人・社会とシステムが両立する共生コンピューティングの実現に向けての検討を行うことができた。これら基盤を今後より発展させるとともに，相互に融合させることで，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。

［4］ 成果資料

(1) N.Yasuda, K.Sato, S.Izumi, Y.Kato, K.Takahashi and N.Shiratori, “Viewing Ontologies with Spatial and Temporal Information,” ASWC2008 Poster and Demo Proceedings, pp.3-4 (2009).

(2) 安田尚史，加藤靖，高橋薫，“時空間知識とView,” 平成20年度第5回情報処理学会東北支部研究会，08-5-A-2-5 (2009).

(3) 佐藤加奈，安田尚史，加藤靖，高橋薫，“個人・組織情報のモデル化とプライバシーの取扱い,” 2008年度第6回情報処理学会東北支部研究会，08-6-A-3-4 (2009).

(4) T.Nantiruj, N.Maneerat, R.Varakulsiripunth, S.Izumi, N.Shiratori, T.Kato, Y.Kato and K.Takahashi, “An e-Health Advice System with Thai Herb and an Ontology,” Proc. the 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME 2008), pp.315-319 (2008).

(5) 菊池亮佑，池田隼人，安藤敏彦，“HCIに向けた生体信号測定環境の開発,” 平成20年度第6回情報処理学会東北支部研究会，08-6-A-3-2 (2009).

(6) 菅野天平，安藤敏彦，“非言語コミュニケーションにおける身振りの分節,” 平成20年度第6回情報処理学会東北支部研究会，08-6-A-3-1 (2009).

(7) A.Takeda, D.Chakraborty, G.Kitagata, K.Hashimoto and N.Shiratori, “A New Scalable Distributed Authentication for P2P Network and its Performance Evaluation,” WSEAS Transactions on COMPUTERS, Vol.7 (2008).

(8) A.Takeda, D.Chakraborty, G.Kitagata, K.Hashimoto and N.Shiratori, “Proposal and Performance Evaluation of Hash-based Authentication for P2P Network,” IPSJ Journal, Vol.50, No.2, pp.737-749 (2009).

(9) A.Takeda, D.Chakraborty, G.Kitagata, K.Hashimoto and N.Shiratori, “A New Scalable Distributed Authentication for P2P Network and its Performance Evaluation,” The 12th WSEAS International Conference on COMPUTERS (2008).

(10) 武田敦志，チャクラボルティ デバシシュ，北形元，白鳥則郎，“P2Pネットワークのための分散型認証システムの設計,” マルチメディア通信と分散処理研究会，Vol.2008, No.54 (2008).

(11) T.Suganuma, K.Sugawara, T.Kinoshita, F.Hattori and N.Shiratori, “Concept of Symbiotic Computing and its Agent-Based Application to a Ubiquitous Care-Support Service,” International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, Vol.3, No.1, pp.34-56 (2009).

(12) T.Uchiya, T.Maemura, H.Hara, K.Sugawara and T.Kinoshita, “Interactive Design Method of Agent System for Symbiotic Computing,” International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, Vol.3, No.1, pp.57-74 (2009).

(13) K.Sugawara, S.Konno, Y.Manabe, S.Fujita, H.Miyamoto, T.Kinoshita and N.Shiratori, “On Recognition of Work Awareness of Teleworkers,” Proc. 12th Int. Symposium on Management of Industrial and Corporate Knowledge (2008).

(14) K.Sugawara, S.Fujita, T.Kinoshita and N.Shiratori, “A Design of Cognitive Agents for Recognizing Real Space -Towards Symbiotic Computing-,” Proc. 7th Int. Conf. on Cognitive Informatics (2008).

(15) 脇屋達，Moulin Claude，Wouters Laurent，真部雄介，藤田茂，菅原研次，“異なる言語を用いる設計チームのための要求仕様定義支援システム,” 第71回情報処理学会全国大会講演論文集，3X-7 (2009).

(16) 綱島健太，藤田 茂，菅原研次，“画像からの物体識別と人追跡による図書管理システム,” 第135回 マルチメディア通信と分散処理研究会 (2008).

(17) 小田原亨，今野将，藤田茂，菅沼拓夫，白鳥則郎，“周辺状況を利用した通学時の子供の目的地推定機能,” 電子情報通信学会技術研究報告，IN2008-50, pp.39-44 (2008).

課題番号　Ｈ２０／Ａ１３

採択回数　①　２　３

傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究

［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）
栃　修一郎（東北大学電気通信研究所）
薮上　　信（東北学院大学工学部）
竹澤　昌晃（九州工業大学工学研究科）
高田　健一（宮城県産業技術総合ｾﾝﾀｰ）

研究費：物件費 32 万 4 千円，旅費 13 万 7 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発展していくためには，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。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。研究目的は，微細加工された短冊状の薄膜磁性体素子において，素子の長軸方向に対し面内に傾斜したストライプ磁区構造を形成することで，外部磁界の変化に伴う磁区構造のトポロジカルな転移（ストライプ磁区と単磁区の相転移）が発生することを見出している。本研究では，この磁区構造転移現象を磁気センサ，高周波インダクタ，あるいは，磁気光学デバイス等へ応用することを目的として，本現象の発生原理解明を行うと共に，材料パラメータや素子構造による特性制御手法の検討，さらに，アプリケーションの検討を行う。

平成20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：平成２０年度は，磁区転移現象を利用した新デバイスの提案として，記憶素子，バルクハウゼンセンサ，スイッチインダクタへの応用を提案した

第１回会合　2008年10月18日

テーマ：磁区転移を小型の平面コイルで検出する手法について，非破壊検査への適用可能性についてディスカッションを行った

第２回会合　2009年3月2日

テーマ：磁区構造シミュレーションについて，この分野を専門に研究している研究者を招聘して研究交流を行った

［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。

①記憶素子

ストライプ状磁区構造と長手方向に磁気モーメントが揃った磁区構造の間で発生する転移現象におけるヒステリシス特性を制御することで，磁界零近傍において３つの安定な磁区状態を実現し，これを用いた記憶型磁界センサを提案した。図1にヒステリシスを制御して得られた素子の磁化状態と磁区の関係図を示す。図に示される不連続な３本の状態は，上から順に，素子長手方向に磁気モーメントが配向した単磁区状態，傾斜したストライプ磁区状態，反長手方向に磁気モーメントが配向した単磁区状態と推測される。本素子の特徴は，図2に示すように磁界零近傍で３状態のいずれも存在し得ることである。研究では，本特性を実現するための作製条件を明らかにし，磁気エネルギー解析を用いた理論解析に基づいてこの理由を説明した。さらに，この現象を利用した新規な特性を有するデバイスとして，磁場印加の事象を記憶する記憶型磁気センサを提案した。本研究は，電気学会Ａ部門大会（2008/8/21，講演番号：VIII-7），日本磁気学会学術講演会（2008/9/14，講演番号：14a2PS-82）で発表した。また，国際会議Intermag2009で発表予定（講演番号：DF-04）である。

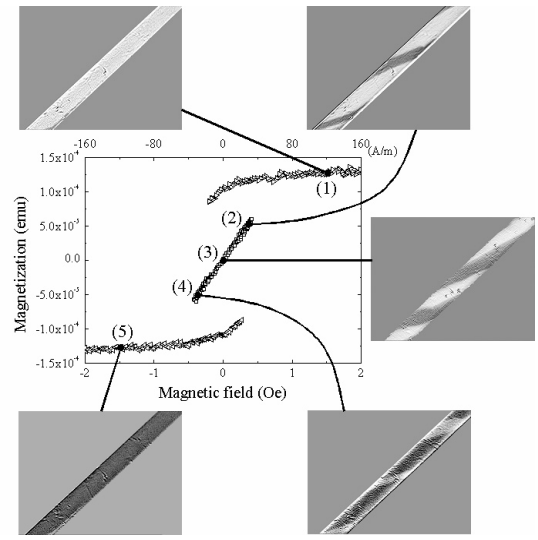


図 1. 素子の磁化状態と磁区の関係

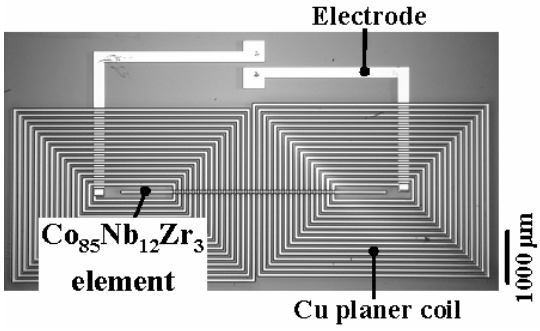


図 3. 磁区転移素子と平面コイルの複合構造

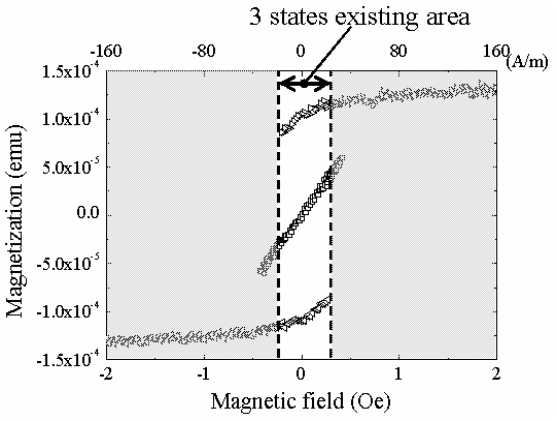


図 2. 3安定な磁化状態の説明図

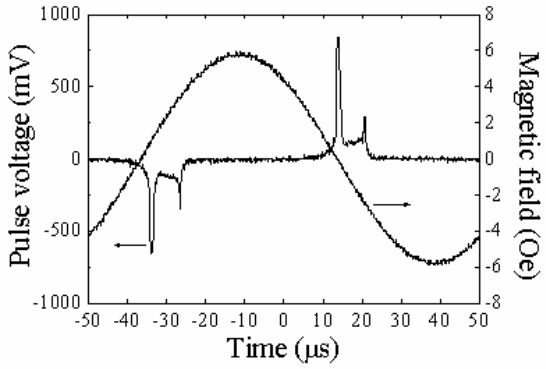


図 4. 磁区転移に伴い発生するパルス波形

②バルクハウゼンセンサ

磁区転移を，素子に高周波を通電することなく，素子に複合化させた平面コイルへの誘導パルスとして検出することを目的として検討を行った。結果として，磁区転移点においてパルス信号が発生することが確認できた。図３は試作した素子の外観で，磁区転移特性を有する磁性体素子に絶縁層を介して平面コイルを配置した構造になっている。本素子に磁性体長手方向に交番磁界を印加した際に発生するパルス信号を図４に示す。磁界増加時と減少時のいずれにおいても，磁区転移に伴った２本のパルスが発生することが確認できた。このパルスの波高は，交番磁界の周波数によらず一定であることから，本研究の磁区転移現象がバルクハウゼン跳躍の一種であることも確認できた。本結果は，我々の素子をバルクハウゼンセンサとして利用可能であることを示すものである。日本磁気学会学術講演会（2008/9/13, 講演番号: 13pE-1）で発表した（論文採録決定)。

③スイッチインダクタ

磁区転移を利用して，インダクタンスをスイッチ的に切り替える素子を提案することを目的にして検討を行った。検討②のバルクハウゼンセンサ検討で用いた素子と同じもの（図3）を用いてコイルのリアクタンス変化を測定した。図5は素子磁性体のMH曲線と磁区構造を示す図である。図6は磁性体の長手方向磁界を制御しながらコイルのリアクタンスを測定した結果である。結果として，磁性体が単磁区の場合には磁性体の無い空芯コイルに近い値である約6.6Ωのリアクタンスを示し，磁区構造が転移してストライプ磁区になると不連続に約0.4Ω高いリアクタンスとなることがわかった。この結果と，検討①の記憶特性を組み合わせることで，磁区でインダクタンス特性を切り替える自己保持型のスイッチインダクタが提案できる。この研究は，電気学会全国大会（2009/3/19，講演番号： 2-138）で発表した。

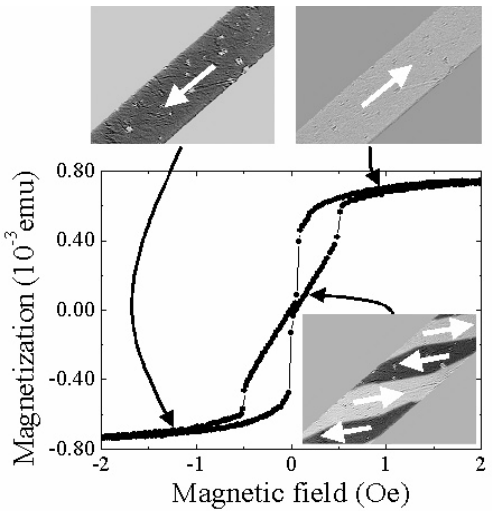


図5. 素子の磁化状態と磁区の関係

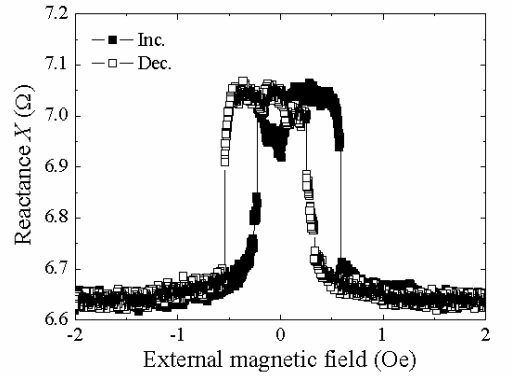


図6. 磁性体に複合したコイルのリアクタンス

（3－2）波及効果と発展性

平成 20 年度は，以上の結果に基づき，国内発表（電気学会A部門大会 講演番号： VIII-7，日本磁気学会学術講演会 講演番号: 14a2PS-82，日本磁気学会学術講演会 講演番号: 13pE-1（論文は日本磁気学会誌に採録決定），電気学会全国大会 講演番号： 2-138）を行った。また，国際学会発表（Intermag2009（2009年5月）講演番号: DF-04）を予定している。

学外研究者との交流に関しては，本研究の将来的な展開に不可欠な磁区構造シミュレーションについて研究交流を行った他，本研究の過程で見出した測定手法を非破壊検査に応用する可能性についてディスカッションを行った。本報告で示した3つのアプリケーションも含めて，今後の発展が期待される状況である。

［4］成果資料

（1）T. Nakai, K. Ishiyama and J. Yamasaki: *J. of Magnetism and Magnetic Materials*, **320**, e958-e962 (2008).

（2）T. Nakai, K. Takada, H. Komatsu and K. Ishiyama: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **32**, 366-370 (2008).

（3）中居倫夫, 高田健一, 石山和志: 平成 21 年電気学会全国大会講演論文集［2］, p.156 (2009).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ａ１４

採択回数	①	２	３

高度映像コンテンツ検索技術に関する研究

［1］組織

代表者：沼澤　潤二
（東北大学電気通信研究所）
対応者：
沼澤　潤二
（東北大学電気通信研究所）
青木　輝勝
（東北大学電気通信研究所）
分担者：稲毛　健一（㈱デジコンキューブ）
丹野　義和（㈱デジコンキューブ）
伊藤　学（㈱デジコンキューブ）

研究費：旅費 18 万 2 千円

［2］研究経過

本共同研究では、教育・ビジネスを問わず誰もが簡単に映像アーカイブも用いて映像制作を経験できる「ネットワーク協調制作環境」の実現を大目標に、映像アーカイブ技術について研究開発することを目標とする。このため、映像プロダクションである(株)デジコンキューブと共同研究を行い、技術集団と実務（制作者）集団とのコラボレーションにより、実用的な映像アーカイブ技術を研究開発する。

このための研究打ち合わせを年 11 回開催した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

第１回研究打ち合わせ（5 月 28 日～5 月 29 日）
研究テーマ詳細の検討
第２回研究打ち合わせ（6 月 16 日～6 月 17 日）
研究テーマ詳細の検討
第３回研究打ち合わせ（7 月 4 日）
研究テーマ詳細の検討
TRECVIDEO の紹介
第４回研究打ち合わせ（7 月 14 日～7 月 16 日）
映像プロダクション現場の要望
第５回研究打ち合わせ（9 月 5 日）
映像ショット検出に関する意見交換(1)
第６回研究打ち合わせ（9 月 17 日～9 月 19 日）
映像ショット検出に関する意見交換(2)
第７回研究打ち合わせ（10 月 14 日～10 月 15 日）
映像ショット検出に関する意見交換(3)
競争的資金公募について(1)
第８回研究打ち合わせ（10 月 23 日～10 月 24 日）
映像ショット検出に関する意見交換(4)
映像ソースに関する打ち合わせ(1)
競争的資金公募について(2)
第９回研究打ち合わせ（10 月 28 日～10 月 29 日）
映像ショット検出に関する意見交換(5)
映像ソースに関する打ち合わせ(2)
競争的資金公募について(3)
第１０回研究打ち合わせ(12 月 18 日～12 月 19 日）
映像ショット検出に関する意見交換(6)
第１１回研究打ち合わせ（2 月 17 日～2 月 18 日）
実験結果の解析と考察(1)

［3］成果（以下１０.５ポイント）

（３－１）研究成果

近年, データの圧縮技術やネットワーク関連技術, 記憶媒体の発展を背景に，映像コンテンツが一般的に広く利用されてきている．しかし，ユーザが映像コンテンツの取得，蓄積を容易に行うことができる一方，映像データが大量になることで，ユーザが閲覧したいコンテンツにたどり着くことが困難になっている．そのため，映像コンテンツに対してメタデータによる検索を行うために,自動的にメタデータを付与する研究が盛んに行われている．

メタデータを付与する前処理として，映像の構造化が必須である．本共同研究ではその構造レベル(フレーム，ショット，シーン，クリップ)の中の，ショットレベルの構造化を行うためにショットを検出することを目的としているが，特に本共同研究では検出漏れをゼロに保ったまま，誤検出を減らすことを目指した手法の研究を進めている．そのため，フレーム単位で種々の画像特徴量を抽出しその類似度によりフレームのクラスター解析を行い，ショット検出する手法を提案している。

2007 年の国際的な動画検索を対象とするワークショップである TRECVID で行われたショット境界検出の成果を見ると，CUT に対しては Recall, Precision 共に 98%近い結果が発表されている．また，GT (Gradual Transition)では，最も良い結果でも Recall, Precision 共に 80%を超えるものはない．

検出漏れと誤検出の原因として従来研究でいくつか指摘されてきた．しかし，本共同研究において共同研究パートナーである映像制作実務者が挙げる最も大きな問題点は，検出率を上げる過程で，検出漏れが存在していることである．

メタデータ付与のために，ショット境界検出で処理された結果を用いるときに，検出漏れが 1 箇所でもある場合その漏れを探すコストは，誤検出を探すコストに比べて非常に高いと．なぜなら検出漏れがある場合は映像コンテンツを再び最初から最後まで見る必要があるためである．

そこで、本共同研究では，映像クリップからフレーム間差分の数値を分類してショット境界を分割して行く従来研究で主に使われている手法を採らない．全てのショットが，一枚のフレームという状態，つまり検出漏れがゼロの状態から同じショットであるフレーム同士を繋げていくことで，検出漏れがゼロの状態を保ったまま，ショット自体を検出する手法を提案した。

また，検出の精度を上げるためにショット境界検出に特化したベクトル空間を見つけることを目指す．そのために，フレームから抽出できる画像特徴量をできるだけ多くショット境界検出のシステムに組み込み，次元縮約を行うことを提案する．次元縮約とは，本質的な情報を保持したままより低次元のベクトル空間に変換する処理のことである．これにより，低次元のショット境界検出に特化したベクトル空間を発見することができると考えられる．

以下で各処理ブロックの詳細について説明する．

(1)画像特徴量抽出

検出漏れを避けるためにフレーム同士の差を十分に表すことができるように多くの画像特徴量を使うことにする．そのために利用する画像特徴量は RGB カラーヒストグラム(HIST)，HSV カラーレイアウト(CL)，エッジヒストグラムである．

RGB カラーヒストグラムではフレームを 4×4 に分割し，それぞれのブロックに対して各ピクセルを各ビンに振り分ける．HSV カラーレイアウトでは 16×16pixels のブロックごとに平均色を計算する．また，エッジヒストグラムの抽出手法として，Park らによる手法[を用いた．

(2) 次元縮約

画像特徴量抽出で得られた画像特徴量ベクトルの要素は膨大となるので，それをそのまま扱うと計算時間と計算領域が増えてしまう．そこで，何種類もの要素を，できるだけ情報の損失なしに，1 つ，または少ない数にまとめて表現する分析方法を用いて効率のよい検出ができる次元まで次元縮約を行う．また，同じショット内のフレーム同士は近づけ，異なるショットのフレーム同士は遠ざけるように次元縮約を行う．

(3)クラスター解析

フレーム毎の特徴量ベクトルを用いて，類似フレーム同士を繋ぎ合わせ，クラスターと呼ばれる集合を作る．このような処理をすることで，同じショット内のフレームは同じクラスターに分けられ，ショット自体を検出することができる．

クラスター解析では階層的クラス一解析の手法であるウォード法を利用する．また，再生時間の長い映像クリップを一度にクラスター解析すると計算時間が長くなるため，適当な長さに分割してクラスター解析を行う．

また，連結値の増加分が閾値を超えた箇所でクラスタ数を決定する．

(4)ショット境界判定

クラスター解析によって、クラスター毎に分けられたフレーム群を，フレーム毎のタイムスタンプ等を考慮してショットに分割する．ショット境界は異なるショットの境目なので，ショット毎に分割されたフレームからショット境界を検出することができる．

提案システムを用いて，画像特徴量の全ての組み合わせに対して比較実験を行い，提案手法の評価を行った．また，それぞれの画像特徴量の重みが等しくなるように正規化を行った.今回は用いる画像特徴量が少ないため評価用システムでは次元縮約は行わなかった.

映像ソースとして共同研究パートナーから提供を受けた 14 本の映像クリップ(総フレーム数 40,518 フレーム,CUT 数 177 ヶ所,GT 数 23 ヶ所)を用いて，それぞれの画像特徴量に対して Recall=1 としたときの最大となる Precision を求めた．TRECVID2007 参加者の CUT での結果との比較において、TRECVID の参加者の結果では，Recall=1 を達成している結果はなかったが，提案手法では Recall=1 としたとき，どの画像特徴量でも Precision が 0.3 付近の結果となった.

３－２）波及効果と発展性など

本年度の検討ではまだ実用上十分な性能が実現できていないものの、検出漏れゼロを実現するという実用上極めて重要な性質を有する点を考慮すると大きな成果の第一歩だと言える。今後、この共同研究開発をさらに進め、引き続き実用化を目指し、実務者の意見を聞きながら検討を進める予定である。

なお、本成果を含めた本共同研究内容を、現在、総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発「地方からの映像発信を促進する次世代アーカイブの研究開発」（研究代表者；沼澤潤二）に公募中である。

［４］成果資料

[1]梅田直樹、青木輝勝、沼澤潤二、"フレームベースベクトル空間を利用した映像ショット検出の一検討"、映像情報メディア学会 2008 年次大会、2008.8.
[2]梅田直樹，青木輝勝，沼澤潤二、"フレームベースクラスタリングを利用したショット検出手法の一検討" 情報処理学会第 71 回全国大会、3T-6、2009.3.

課題番号　Ｈ２０／Ａ１５

採択回数	①	２	３

再生像浮遊型立体映像技術に関する研究

［１］組織
代表者：青木　輝勝
（東北大学電気通信研究所）
対応者：青木　輝勝
（東北大学電気通信研究所）
分担者：沼田　秀穂
（㈱エクセリードテクノロジー）
池田　佳代
（㈱エクセリードテクノロジー）

研究費：旅費 22 万 2 千円

［２］研究経過

当研究室では、ステレオ映像型、多眼映像型等の既存立体映像技術とは異なり、空間上にあたかも物体が浮遊しているかのような臨場感高い立体映像を提示する再生像浮遊型立体映像について、創生、配信、表示技術について研究開発することにより、再生像浮遊型立体映像を産業目的、教育目的等に広く普及させることを目的とし、再生像浮遊型ディスプレイの開発、本ディスプレイに最適な映像コンテンツ創生支援技術、生成されたコンテンツを効率的に配信するための配信方式ならびに符号化方式について研究開発している。本共同研究では、このうちソフトウェア部分の設計について本分野の専門家と打ち合わせ・意見交換を通じて本研究開発を推進することを目的としている。以下に示す通り本年度 6 回の研究打ち合わせ・意見交換を行った。

第１回研究打ち合わせ（5 月 9 日）
共同研究概要の紹介
第２回研究打ち合わせ（6 月 25 日）
画像入力方式に関する打ち合わせ(1)
第３回研究打ち合わせ（7 月 1 日）
画像入力方式に関する打ち合わせ(2)
第４回研究打ち合わせ（8 月 1 日）
画像創生方式に関する打ち合わせ(1)
第５回研究打ち合わせ（8 月 21 日）
画像創生方式に関する打ち合わせ(2)
第６回研究打ち合わせ（9 月 12 日）
画像創生方式に関する打ち合わせ(3)

［３］成果

（３－１）研究成果

当研究室で進めている浮遊型立体像創生配信システムに関する研究では、本年度、試作に向けた詳細設計を行うとともに、詳細設計に基づき DFFI システムの光学系の試作を行った。このシステムにすでに開発完了しているソフトウェア、今年度開発したソフトウェアを組み込んだDLFI システムを開発し、その実証実験を行った。試作システムは 24 眼映像の入力を密に表示することが可能なシステムとして構成し、また可能な限り汎用的なシステムをを意識した画像入出力を可能とするソフトウェア構成とし、この結果、実用化が比較的容易な簡易な形式での浮遊画像を提示することに成功した。

本共同研究では、本システムのうち、ソフトウェア部分について研究開発を行うものである。以下の(1)ではこの 24 眼 DFFI システムの概要を、続く(2)(3)では本共同研究の成果である DFFI システムのソフトウェア部分について記載する。

(1)24 眼 DFFI システム（ハードウェア部）

昨年度すでに制作済みの簡易 DFFI システム試作ならびに評価より得られた知見を元に、24 眼 DFFI システムを試作した。試作システムでは、偏向光学系を構成するための最も簡単な手法として単一レンズと複数レンズ（レンズアレイ）を組み合わせてアフォーカル光学系を用いることとし、超小型プロジェクタとフィールドレンズを用いた構成によりこれを実現した。

システムは多眼表示用映像出力装置、多眼表示系アレイ、多眼表示用光学系の３つのモジュールにより構成したが、各モジュールの概要はそれぞれ以下の通りである。

-偏向光学系の設計

-多眼表示用映像出力装置

多眼表示用映像出力装置は、24 眼の静止画または動画（以下、単に画像と呼ぶ）を同時に生成し、多眼表示用アレイに向けて出力させるモジュールである。一般に 24 枚分の画像を 1 台の PC から同時に掃き出すことは極めて困難であるが、本試作では、利便性、低コスト性を最重要綱目のひとつと考え、これを 1 台の PC で行うべく設計を行った。

具体的には、PC に 4 出力ビデオカードを 2 枚搭載することにより、それぞれ 12 眼分の画像（合計 24 眼画像）を出力することとした。ここで「12 眼分の画像」とは、次の⑵多眼カメラプラグインによって生成された 24 眼画像を画像合成ソフトウェアによって合成することにより得られた画像を指す。

ビデオボードに入力した 12 眼分×2 枚の画像は 4 倍にコピーされてビデオカードを出力する。続いて、このそれぞれの画像は外付け VGA3 出力アダプター（ビデオ分配器）により、3 倍に増幅される。今回用いた VGA3 出力アダプターはトリミング機能を有するため、画像内の一部を切り出すことにより、VGA3 出力アダプターごとに異なる画像（24 眼分それぞれの画像）を出力することが可能である。最終的にこの 24 眼分の画像をビデオプロジェクターに入力させることにより、PC 1 台ならびに汎用的な機器と本プロジェクトで開発したソフトウェアのみで 24 眼の出力を実現することができる。

なお、本試作では、以下の機器を用い試作を行った。

PC：
hp 製 xw6600 Workstation カスタム仕様（ＯＳ：Windows XP 32）
ビデオボード：
NVIDIA Quadro NVS 440 搭載　4 出力 ビデオカード 2 枚搭載
NVIDIA Quadro NVS 290 搭載　2 出力 ビデオカード 1 枚搭載（管理画面用）
外付け 3 出力ビデオアダプタ：
matrox Triple Head 2Go　8 台

-多眼表示系アレイ

水平 m 台、垂直 n 台（m×n=24）、合計 24 台のＬＥＤ光源ビデオプロジェクターを用いた映像表示装置であり、具体的には下記の機器を用いて試作した。なお、m、n は自在に変更が可能な構成とした。

ビデオプロジェクタ：
ADTEC AD-MP15A マイクロプロジェクター（画素数各 640×480）
その他：
密接取り付けのための改造加工調整用ボールヘッド 24 台
プロジェクター取り付けブラケット　24 個
プロジェクター取り付け用基板　　2 枚

-多眼表示用光学系

光路及び光軸距離を自由に設定できるよう、スライドレールにマウントされたレンズホルダーにレンズを取り付けた光学系。外乱光を避けるためのボックスに組み込まれ、ボックスのパネルは、ねじにて脱着可能な構成とした。具体的には以下の機器を用いて試作した。

ボックスＡ（幅 650　高さ 650　長さ 850　アルミフレームボックス）
スライドレール　600Ｌ
レンズマウント　φ500 用
フレネルレンズ　φ500、ｆ500　1 枚
ボックスＢ（幅 650　高さ 650　長さ 850　アルミフレームボックス）
スライドレール　800Ｌ
レンズマウント　φ500 用
フレネルレンズ　φ500、ｆ250　1 枚

⑵多眼カメラプラグイン

DFFI において CG 映像を取得するために、任意位置に多眼カメラを簡単に配置できるプラグインモジュールを開発した。このプラグインモジュールは、3DCG 制作の代表的なソフトウェアのひとつである Shade8.5 のプラグインとして実現した。
本プラグインモジュールは最大10,000個までのCGカメラを任意の位置に配置できる機能を有し、カメラ位置はインターフェース上手動で入力することもできるし、あらかじめ演算結果を CSV 形式のデータとしておけばそのデータを読み込むだけで自動配置させることも可能である。

⑵多眼カメラワーク自動化ソフトウェア

本共同研究代表者はこれまでに DMD(Digital Movie Director)を開発している。この DMD は、コンテンツ立国を支える基盤技術として、キャラクター立ち位置、定点カメラ設定、小道具設定、照明設定などの基本的な舞台設定を行った後に、シナリオ１行毎に S(主語)、V(述語)、O(目的語)、台詞、カメラワーク、効果音等を入力してゆくことにより簡単に３Ｄアニメ映像が制作できるソフトウェアであ

るが、本研究開発では、このソフトウェア上に、知識ベースを有する自動カメラワークの簡易試作を行った。具体的には本システム上で定義しているカメラワークを用いて、プロの映像制作者（映像プロダクションの社員、CM 制作会社の社員）の方々に 3D アニメ制作を行っていただき、その際の操作ログ情報を用いて知識を状態遷移図として記録することにより、自動カメラワークのための知識抽出を行った。

この結果得られた知識を用いて構築したカメラワーク知識ベースを用い、過去のカメラワーク情報に基づき、次のカメラワークを自動推薦することが可能となった。

これにより、映像制作経験のないアマチュアの方に対してもプロに近いカメラワークを自動的に推薦することができるようになるため、DFFI をはじめとする立体映像全般についての大幅な制作コスト削減にもつながり、普及促進が期待できる。特に立体映像カメラワークは平面映像の場合と比較して格段に難しいことが知られていることから、本試作は立体映像の普及を考えるにあたり、極めて有効である。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同研究は、当研究室で行っている独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構産業技術研究助成事業「再生像浮遊型立体映像創生・配信・表示システムに関する研究」（平成 18～20 年度）の周辺研究として行ったものであり、本プロジェクトの完了に極めて有効であった。

今後は、本共同研究の成果を含め、試作システムを用いた評価実験を重ねることにより、新たな大型プロジェクトの獲得を目指す予定である。

［４］成果資料

[1]江村恒一、青木輝勝、安田浩、“隠れマルコフモデルに基づくインタラクティブな仮想カメラ遷移制御”、映像情報メディア学会誌、vol.62, No.5, pp.743-754, 2008.5.
[2]青木輝勝、安田浩、“シナリオ入力映像創生システム DMD とその制作工程”、情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.2243-2256, 2008.
[3]青木輝勝, ”映像 CGM 時代に向けた Scenario to Anime 技術の最新動向”, 電子情報通信学会誌,2009.1. (招待論文)

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）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
宇理須恒雄（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
田畑　　仁（東京大学大学院工学系研究科）
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）
原　　正彦（東京工業大学・総合理工学研究科）
林　　智広（東京工業大学・総合理工学研究科）
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（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
宮崎　　均（筑波大学大学院生命環境科学研究科）
礒田　博子（筑波大学大学院生命環境科学研究科）
手老　龍吾（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
玉田　　薫（東北大学電気通信研究所）
吉信　達夫（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（東北大学大学院医工学研究科）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費 5 万円，旅費 41 万 4 千円

［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，さらに膜タンパクチップへの展開など，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．そこで本研究では，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３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，特に，人工細胞膜との融合に関する研究や，細胞界面に関する研究，また，脳を含む実際の生体機能観測の現場において，新たな測定手法への需要や，計測現場における様々な課題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 7 月 4 日（金）13:00〜17:30
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

「シナプスと脳の情報処理」
溝口 明　（三重大学医学部）
「プレシナプス可塑性メカニズムの探求」
神谷 温之　（北海道大学大学院医学研究科）
「ゲノム情報からの創薬標的探索」
辻本 豪三　（京都大学大学院薬学研究科）
「抗インフルエンザ薬の候補化合物の計算機探索」
星野 忠次　（千葉大学大学院薬学研究院）
「人工細胞膜を用いるセンシング界面のデザイン」
菅原 正雄　（日本大学文理学部）
「ナノ微粒子局在プラズモンのバイオセンシング応用」 玉田 薫　（東北大学電気通信研究所）
「水溶液中における自己組織化単分子膜の相互作用: 生体適合性とナノスケールでの相互作用の関連」
林 智広　（東工大大学院総合理工学研究科）
「表面赤外分光による脂質二分子膜形成過程のその場観察」 平野 愛弓　（東北大学大学院医工学研究科）
「ナノ構造化表面の脂質二重膜」
荻野 俊郎　（横浜国立大学大学院）

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21年3月13日（金）13:00〜18:00
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム
「走査プローブ顕微鏡の理論―タンパク質と液中計測―」
塚田 捷　（早稲田大学・東北大学WPI）
「シナプス可塑性と高次脳機能の分子機構」
真鍋 俊也　（東京大学医科学研究所）
「膜界面―シグナル変換場」
梅澤喜夫　（東京大学名誉教授・
　　武蔵野大学客員教授）
「ゲル界面に形成した人工膜によるチャネル電流計測」
井出 徹　（大阪大学生命機能研究科）
「オーファン受容体のリガンド探索と創薬 ―新規脂肪酸受容体ファミリーを中心として―」
平澤 明　（京都大学大学院 薬学研究科）
「酸化物表面上の支持脂質二重膜内での分子拡散のその場観察」
手老 龍吾　（分子科学研究所生命・錯体分子
　　科学研究領域）
「ナノ構造体に基づく安定化脂質二分子膜センサーの開発」
平野 愛弓　（東北大学大学院医工学研究科）
「生体分子間相互作用解析のためのナノ加工」
谷井 孝至　（早稲田大学理工学術院）

［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，特に膜タンパク質や人工細胞膜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，あるいは脳組織中の成分の"その場"分析などへ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，イオンチャネルチップ，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，細胞膜構造の自発的形成に見られるように，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．

［4］ 成果資料

参考資料として，講演要旨を添付する．

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：
青木　直史（北海道大学大学院情報科学研究科）
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６５万７千円

［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，本年度が最終の第３年度である．本プロジェクトを核として，昨年，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２０年度は，以下の３回の研究会を開催した．

第４回研究会
日時：2008 年 7 月 23 日，場所：九州工業大学サテライト kyutech プラザ
セッション１：電子透かしの現状（合志清一（NHK 放送技研））他４件
セッション 2：拡散符号を用いた多重埋め込み法と統計力学による解析（川村正樹（山口大））他）他３件

第５回研究会
日時：2008 年 11 月 6 日，場所：東北大学電気通信研究所
基調講演：情報ハイディングの現状（新見道治（九工大））
招待講演 1：電子透かし活用事例ご紹介～各国での電子透かし最新ソリューションご紹介～（岡村一寛（（株）メディアグリッド））
招待講演 2：暗号モジュールに対するサイドチャネル攻撃とその対策（本間尚文（東北大））
特別講演：確率モデルによる画像処理における統計的学習理論（田中和之（東北大））
一般講演 1：音情報の秘匿技術に関する一考察（青木直史（北大））他４件
一般講演 2：乱択法に基づく電子透かし（酒井 正夫（東北大）他）他４件

第６回研究会
（電子情報通信学会 2009 年総合大会シンポジウムセッション）
日時：2009 年３月 20 日，場所：愛媛大学
セッション １：アルゴリズム公開型フラジャイル電子透かし（片山淳(NTT サイバースペース研) 他）他５件，及び，依頼講演：法科学における画像からの情報利用（黒木健郎(科警研)）
セッション２:ADPCM を利用した情報ハイディングのビットレート制御（半田浩規(東北大)他）他３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．
北海道大学では，ステガノグラフィを利用した IP 電話の高付加化について研究を行っている．本研究は，伝送の段階で失われてしまう情報をあらかじめ音データに埋め込んでおくことで，受信側における音声品質の向上を目指したものとなっている．本年度は，従来の信号処理手法とステガノグラフィを組み合わせることで，より効果的に音声信号の広帯域化を実現する信号処理手法の可能性について検討を行った．また，電話音声の特徴を利用し，情報を埋め込んでも音声信号の劣化がまったく生じないロスレス方式のステガノグラフィについて検討を行った．
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可逆画像認証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，高画質なステゴ画像を生成可能な手法を開発した．また可逆データハイディング法に基づき原画像の完全性を効率的に認証し，かつ改ざん箇所の特定を可能とする手法を開発した．
国立情報学研究所では，ランダム歪みとアフィン変形に耐性を持つ画像電子透かしに関する研究を実施した．本研究は，昨年度に実施したランダム歪み耐性を持つ画像電子透かしに関する研究を基礎とし，当該透かし方式にアフィン変形への耐性を付加したものである．アフィン変形とは，平行移動，回転，拡大縮小，剪断の４つの組み合わせによる変形のことである．平行移動は「縦移動」「横移動」に，拡大縮小は「縦方向」「横方向」の変更に分解されるので，合わせて 6 つの自由度を持つ変形である．「平行移動」「回転」「拡大縮小」の耐性を持つ方式として，対数極座標を用いることで変形の影響を受けない方式がある．さらに埋め込みに特徴点を利用することにより「剪断」の耐性を持つ方式も提案されているが，ランダム歪みとアフィン変形の両方に対応した方式はまだ提案されていない．自明な方法として歪みに耐性を持つ方式を基礎とし，アフィン変形のパラメータを全探索すれば両変形に対応できるが，探索に膨大な時間がかかってしまう．本研究で確立した電子透かし方式では拡大縮小と回転の 2 次元探索のみで対応することができる．
京都大学ではステガノギャラリーというステガノグラフィの手法を開発した．この手法では画像の列を生成してペイロードを埋め込む．生成された画像の列の情報は密かにファイルとして保存される．従来の画像によるステガノグラフィの手法は画像を加工してペイロードを埋め込むものがほとんどであり，そのため埋め込み後の画像に何らかの歪みが生じる結果となっていた．一方ステガノギャラリーにおいては，画像は列を構成するために利用されるだけであり，一切変更されない．この研究ではプロトタイプシステムを実装し，ステガノギャラリーの枠組みが実際に利用可能であることを確かめた．
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，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を対象とし，昨年度開発した QIM を用いた埋め込み法（QIM-JPEG2000 ステガノグラフィ）の改良を行った．改良 QIM-JPEG2000 ステガノグラフィは，埋め込み後のファイルサイズの増加や画質劣化が僅少で，埋め込み検出が困難な安全性の高いステガノグラフィであることを確認した．

（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，昨年，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，本年度は３回の研究会を開催した．また，平成２０年８月に中国（ハルピン）で開催された国際会議ＩＩＨＭＳＰ２００８（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) 青木 直史, "音情報の秘匿技術に関する一考察", 第5回マルチメディア情報ハイディング研究会, 東北大学 (仙台) (2008年11月6日)

(2) Naofumi Aoki, "A technique of lossless steganography for G.711 telephony speech", Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2008), pp.608-611 (August 2008)

(3) Naofumi Aoki, "Improvement of band extension technique for G.711 telephony speech based on full wave rectification", Proc. of International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-08), pp.161-164 (September 2008)

(4) 金弘林, 藤吉正明, 貴家仁志, "統計量の適応的可逆修正法に基づく可逆情報埋込法の改善", 電子情報通信学会論文誌 vol.J91-A, no.8, pp.823-827 (2008年8月)

(5) S.Han, M.Fujiyoshi and H.Kiya," An Efficient Reversible Image Authentication Method", IEICE Trans. Fundamentals, vol.E91-A, no.8, pp.1907-1914(2008-8)

(6) S.Han, M.Fujiyoshi, and H.Kiya," A Location Map-Free Visible and Reversible Watermarking Method with Authentication Ability", IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, no.C4L-F03, pp.1584-1587(2008-12)

(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, Circuits, Systems and Signal Processing, vol.27, no.2, pp. 213-227, (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, Journal of Digital Information Management, vol.6, no.2, pp. 161-167, (April 2008).

(9) Yusuke Atomori, Isao Echizen, Hiroshi Yoshiura: Picture Watermarks Surviving General Affine Transformation and Random Distortion, Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2008), pp. 315-318, (August 2008).

(10) S. Wohlgemuth, G. Mueller, N. Sonehara, I. Echizen, On Observable Delegation of Personal Data by Watermarking, (5th IEEE workshop on DRM Impact on Consumer Communications: CCNC 2009), pp. 1-5, (January 2009).

(11) HIOKI Hirohisa, "Steganogallery: Steganographic Gallery", Proceedings of the 2008 IEEE 10th Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 719—724, 2008

(12) S.Ohyama, M.Niimi, K.Yamawaki and H.Noda: "Lossless data hiding using bit-depth embedding for JPEG2000 compressed bit-stream", Proceedings of 2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp.151-154(2008-08).

(13) T.Ishida, K.Yamawaki, H.Noda and M.Niimi: "Performance improvement of JPEG2000 steganography using QIM", Proceedings of 2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp.155-158(2008-08).

課題番号　Ｈ１８／Ｂ０６

採択回数	１　２　③

生物における環境調和型適応システムの解明と工学応用

［1］組織

代表者：高草木　薫
（旭川医科大学）
対応者：矢野　雅文
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
伊藤　宏司　（東京工業大学総合理工学研究科）
石黒　章夫　（名古屋大学工学研究科）
浅間　　一　（東京大学人工物研究センター）
伊藤　　聡　（岐阜大学工学部）
細田　　耕　（大阪大学大学院工学研究科）
土屋　和雄　（同志社大学工学研究科）
大須賀公一　（京都大学情報学研究科）
野村　泰伸　（大阪大学基礎工学研究科）
木村　　浩　（京都工芸大学）
青沼　仁志　（北海道大学電子科学研究所）
神崎　亮平　（東京大学 大学院情報理工学系）
川端　邦明　（理化学研究所分散適応ロボティクス研究ユニット）
倉林　大輔　（東京工業大学理工学研究科）
藤井　輝夫　（東京大学生産技術研究所）
辻田　勝吉　（大阪工業大学工学研究科）
近藤　敏之　（東京農業工業大学工学研究科）
稲瀬　正彦　（近畿大学医学部）
北澤　茂　　（順天堂大学医学部）
柳原　大　　（東京大学大学院総合分化研究科）
中溝　克己　（近畿大学医学部）
森　大志　　（山口大学農学部獣医）
中西　泰三　（順天堂大学医学部）
青井　信也　（京都大学工学研究科）
杉本　靖　　（京都大学工学研究科）
松山　清治　（札幌医科大学）
花川　隆　　（国立精神神経センター）

研究費：物件費 5 万円，旅費 69 万 5 千円

［2］研究経過

技術立国としての日本を支える工学研究とその技術を，「人間と環境との調和」のためのシステム作りのアルゴリズムに生かすため，本プロジェクトでは，生物・医学・工学・情報科学など様々な異分野の研究者による自由な議論とこれに基づく新たな生工連携の共同研究を行った．

“人間や動物が環境と調和するための仕組み”を理解するためには，生物側における３つのレベルでの研究を遂行する必要がある．第一は，環境変化に対して生存を可能にする動物の身体恒常性維持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，“脳と身体と環境の相互作用”が重要な役割を担う．多くの脳神経系の疾患（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），そして，自閉症などの社会的コミュニケーション障害では，上記の何れかのレベルにおける適応障害が出現する．従ってまた，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）が誘発される．本研究プロジェクトでは，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，環境調和型適応システムの解明とその工学応用を目指した．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，２）人間が調和しやすい環境デザインの創造，そして，３）上記の適応障害を克服のための工学的手法の考案，などにつながる．

本プロジェクト研究に参加している研究者を主体とした科研費特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現」が別途遂行中である（平成 17 年度から 21 年度の 5 カ年間）．これ

ら研究や，本プロジェクトの研究成果の一部は，平成 20 年 12 月 18-19 日，東北大学電気通信研究所の研究会にて発表された.

プログラム：

12 月 18 日(木)

14:00-17:50

1. ヘビに見る移動知
   井上康介氏（茨城大学）
2. Influence of motor imagery on force field adaptation
   Dr. Nabeel Anwar（東京工業大学伊藤研）
3. コオロギの闘争行動発現に関わる神経機構
   佐倉緑氏（北海道大学）

12 月 19 日(金)

9:30-12:00

4. カイコガの定位行動に関わる脳内神経回路網のモデル化による同定
   千葉龍介氏（首都大学東京）
5. 長距離移動するチョウ、アサギマダラの生態と飛翔メカニズム
   平井規央氏（大阪府立大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度の研究成果は，上記報告会において詳しく述べられた.

井上康介氏による研究では，陸生動物の中でももっとも多様な環境に適応することができるヘビの適応能力を生工融合的・構成論的手法により解明することを目指した．脊髄神経系モデルを用いて，シミュレーションおよびロボットにおいてヘビの蛇行の適応モデルを構築した．次に，身体のメカニズムに着目し，動物の筋と同様の力学特性を実現するためにマッキベン型空気圧アクチュエータを利用したヘビ型ロボットを構築し，その運動特性を解析した．本研究結果は，環境変化に対して生存を可能にするための適応的な行動発現のメカニズムを生工融合的・構成論的手法により明らかにするものである.

佐倉緑氏の研究では，コオロギの闘争行動発現に関わる神経機構の解明を目指した．本研究では，コオロギオス個体の攻撃行動を引き起こす感覚情報について，種々の感覚器の除去および感覚の遮断を行なって調べた．その結果，攻撃行動を発現する感覚入力経路は，触角を介するものとそれ以外の少なくとも 2 つあること，また，闘争経験に基づいた攻撃行動から逃避行動への行動切替えには，触角からの感覚入力が関与していることが明らかとなった．また，一連の闘争行動における NO と OA の役割を調べるため，NO シグナルや OA シグナルを阻害する行動薬理学的実験を行なった．その結果，NO や OA が個体の攻撃性の調節や闘争経験に基づく行動切替えに関与することが示唆された．本研究結果は，社会適応の仕組みを神経生理学的・薬理学的視点から明らかにするものである.

千葉龍介氏の研究では，カイコガの定位行動に関わる脳内神経回路網のモデル化による同定を試みた．オスのカイコガはフェロモンを触覚で感知すると一連の定位行動を示すが，これは触覚からの刺激が LPL-VPC 領域に伝わりその領域の神経回路網で処理され脚のモータニューロンへ信号が伝わることにより生成されていると考えられる．本研究では，LAL-VPC 領域の神経回路網を工学的手法により推定した．推定した神経回路網による行動出力と行動実験により観察した行動出力を比較・評価し，定位行動とリセット効果がモデル化した神経回路網により獲得可能であることがわかった．本研究結果は，自己内外の環境認知を実現する脳神経回路メカニズムを工学的立場から明らかにするものである.

（3－2）波及効果と発展性など

本共同研究プロジェクトでは,「生物の持つ適応的な機能」に焦点を当て,「そのメカニズムの理解」と「工学的構成論」に関する研究や議論が活発に行われてきた．その結果，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ことが明らかとなった．また，動物の持つ適応的な機能を理解・構築するだけでは，生物，特に，人間と環境の調和をもたらす仕組みを作り上げることは困難であり，新たに「どの様に，人間に調和する環境を創生するべきか？」という疑問に対する解答が必要となった．本研究プロジェクトでの研究成果により「人間と環境の調和を創生の仕組み」を理解するばかりで無く，この背景に存在する「人間が実現してきた文明の創造のアルゴリズム」の解明にもつながると考えられる.

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. K. Takakusaki, Forebrain control of locomotor behaviors. Brain Research Reviews, 57, 192-198, 2008
2. H. Yamada, S. Tanno, K. Takakusaki, T. Okumura. Intracisternal injection of orexin-A prevents ethanol-induced gastric mucosal damage in rats .Journal of Gastroenterology, 42, 336-341, 2007.
3. K. Takakusaki, N. Tomita, M. Yano. What are substrates normal and abnormal gait? Journal of Neurology, (in press)
4. S. Shibuya, T. Takahashi, S. Kitazawa. Effects of visual stimuli on temporal order judgments of unimanual finger stimuli. Experimental Brain Research, DOI 10.1007/s00221-006-0829-4, 2007.
5. K. Yamamoto, M. Kawato, S. Kotosaka, S. Kitazawa, Encoding of movement dynamics by Purkinje cell simple spike activity during fast arm movements under resistive and assistive force fields. Journal of Neurophysiology, 97, 1588-1599, 2007.
6. M. Kagohashia, T. Nakazato, K. Yoshimia, S. Moizumia, N. Hattori, S. Kitazawa, Wireless voltammetry recording in unanesthetised behaving rats. Neuroscience Research, 60, 120-127, 2008.
7. A. Suzuki, A. T. Ivandini, K. Yoshimi, A. Fujishima, G. Oyama, T. Nakazato, N. Hattori, S. Kitazawa, Y. Einaga. Fabrication, Characterization, and Application of Boron-Doped Diamond Microelectrodes for in Vivo Dopamine Detection. Analytical Chemistry, 79, 22, 8608-8615, 2007.
8. S. Aoi, K. Tsuchiya. Self-stability of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal. Nonlinear Dynamics, 48, 1-16, 2007.
9. S. Aoi, K. Tsuchiya. Gait Transition from Quadrupedal to Bipedal Locomotion of an Oscillator-driven Biped Robot. International Journal of Advanced Robotic Systems (in press)
10. S. Aoi, H. Sasaki, K. Tsuchiya. A Multi-legged Modular Robot That Meanders: Investigation of Turning Maneuvers Using its Inherent Dynamic Characteristics. SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, (in press)
11. H. Kimura, Y. Fukuoka, A.H. Cohen. Biologically Inspired Adaptive Walking of a Quadruped Robot. Philosophical Transactions of the Royal Society A. 365 (1850), 153-170, 2007.
12. Z.G. Zhang, H. Kimura, Y. Fukuoka. Self-Stabilizing Dynamics for a Quadruped Robot and Extension Towards Running on Rough Terrain. Journal of Robotics and Mechatronics. (in press)
13. Y. Sakurai. How can we detect ensemble coding by cell assembly. Representation and Brain. (in press)
14. Y. Sakurai. Brain-machine interface to detect real dynamics of neuronal assemblies in the working brain. Complex Medical Engineering, 407-412, 2007.
15. N. Mikuni, T. Oakada, J. Taki, R. Matsumoto, N. Nishida, R. Enatsu, T. Hanakawa, A. Ikeda, Y. Miki, SI. Urayama, H. Fukuyama, N. Hashimoto. Fibers from the dorsal premotor cortex elicit motor-evoked potential in a cortical dysplasia. Neuroimage, 34, 12-18, 2007.
16. Yamamoto A, Miki Y, Urayama S, Fushimi Y, Okada T, Hanakawa T, Fukuyama H, Togashi K. Diffusion tensor fiber tractography of the optic radiation: analysis with 6-, 12-, 40- and 81-directional motion probing gradients; a preliminary study. Americal Journal of Neuroradiology. 28, 92-96, 2007.
17. Mikuni N, Okada T, Nishida N, Taki J, Enatsu R, Ikeda A, Miki Y, Hanakawa T, Fukuyama H, Hashimoto N. Comparison between motor evoked potential recording and fiber tracking for estimating pyramidal tracts near brain tumors. Journal of Neurosurgery. 106. 128-133, 2007.
18. Yamada M, Namiki C, Hirao K, Hanakawa T, Fukuyama H, Hayashi T, Murai T. Social cognition and frontal lobe pathology in schizophrenia: A voxel-based morphometric study. Neuroimage, (in press)
19. Sawamoto N, Honda M, Hanakawa T, Aso T, Inoue M, Toyoda H, Ishizu K, Fukuyama H, Shibasaki H. Role of the striatum in cognitive slowing in Parkinson's disease. Neurology, (in press)
20. Aso T, Hanakawa T, Matsuo K, Toma K, Shibasaki H, Fukuyama H, Nakai T. Subregions of human parietal cortex selectively encoding object orientation. Neuroscience Letters, (in press).
21. T. Takei, K. Seki. Role of primate spinal neurons in controlling precision grip. Neuroscience Research. (in press).
22. Ott S. R., Aonuma H., Newland P.L. and Elphick M.R. 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, 381-399, 2007.
23. Watanabe T., Kikuchi M., Hatakeyama D., Shiga T., Yamamoto T., Aonuma H., Takahata M., Suzuki N. and Ito E. Gaseous neuromodulator-related genes expressed in the brain of honeybee Apis mellifera. Develop. Neurobiol. (in press)
24. Ikeno H, Nishioka T, Hachida T, Kanzaki R, Seki Y, Ohzawa I, Usui S. Development and application of CMS based database modules for neuroinformatics. Neurocomputing (in press).
25. Kanzaki R. How does a microbrain generate adaptive behavior? Brain IT 2006 (Elsevier) (in press)
26. Daisuke Kurabayashi, Katsunori Urano, Tetsuro Funato. Tetsuro Funato: Emergent Transportation Networks by Considering Interactions between Agents and their Environment. Advanced Robotics (in press)

共同プロジェクト研究

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(宇宙航空研究開発機構(JAXA)
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(日本アドバンステクノロジー株
式会社、東京大学人工物工学セン
ター)
寺坂　晴夫(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
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 、異
動後、海洋研究開発機構)
福田　正大(宇宙航空研究開発機構)
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、異動後、同機構関西光科学
研究所レーザー技術利用推進室)
森本　浩一(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 40 万 6 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に活動を行ってきた。

平成18年度及び19年度における本研究会の活動成果を集約すれば以下のとおりである。

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でかつ低コストに実行できる計算システムの実現要請が強いことを確認した。

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。しかし、試作コストを考えると、単純化設計の極限的追求は必ずしも得策ではなく、実際、FPGAや可視化ソフトについては、やや複雑ではあっても、すでに実用化されている汎用低コストの外国技術を用いた方が手軽である。しかし、このような場合も、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、このレベルでのシステム設計を独自に考案する方が長期的には良い結果を生むと思われる。

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。特に、今後２～３年間で集中的に研究開発を行う価値がある技術として、「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」を抽出することができた。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。

そこで、本年度は、以上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さらに検討を進め、具体的なコンピューティングシステムの基本設計をとりまとめた。

以下、本年度の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。（56回）

①新概念プロセッサシステムの検討については、本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、6/26（片平通研）、8/14（東京調布）、12/24午前（神奈川杉田）、1/22（片平通研）に、関係者による意見交換を行った。②新概念プロセッサストレージの検討については、他の会合の機会も含め 5/21、8/5、10/22、12/3、1/21、2/5、3/19（左記は全て片平通研）に関係者による意見交換を行った。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の応用について 8/29（東京上野）、11/7（茨城東海）、12/1（福井敦賀）、12/28（東京早稲田）、3/17（東京白山）に、小グループで検討した。④海洋流体シミュレーションへの応用開拓については、本研究会メンバーの折田氏（JAXA）がこの小グループの調整推進役となり、5/30（東京上野）、9/4 夜（片平通研）、9/26（東京上野）、10/27 午後（東京上野）、2/16（東京上野）に会合を開催し、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、音響解析の分野における専用シミュレーションシステムの応用可能性について、9/4（片平通研）、12/4 夕（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、4/4（東京東京）、4/7（東京新宿）、7/15（東京大手町）、7/18（東京神田）、7/22（東京日比谷）、8/4（東京上野）、8/4 夜（東京東京）、8/25（東京虎ノ門）、8/28（東京上野）、9/5（東京新宿）、9/8（片平流体研）、9/10（東京新宿）、9/12（東京新宿）、9/30（神奈川杉田）、10/6（東京日比谷）、10/27午前（東京三田）、11/5（東京）、11/14（青葉山）、11/18（東京多磨及び御茶ノ水）、11/26（神奈川杉田）、12/8（東京三田）、12/22（東京上野）、12/24 夜（東京上野）、12/26（東京上野）、1/20（東京東京）、1/28（青葉山）、1/28 夜（片平通研）、1/29（片平通研）、2/6（東京東京）、2/17（神奈川杉田）、2/20（東京上野）、2/24（東京東京）、3/13（東京東京） に関係者と意見交換を行った。

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、7月7日、12月18,19日、2月26,27日に5人程度の**中グループ会合**を５回開催し、デバイス・回路技術の研究者と超高速コンピューティング応用分野の研究者の間で、異分野横断的な勉強会を行った。

○第１会合：7月7日13時～14時50分　片平通研

「今後日本が独自の超高速コンピュータ製作技

術を維持していくためには、VLSI３次元実装とその層間冷却の技術を早急に確立すべきであり、電気通信研究所ならその役割が担えるので前進を！」との要望を大規模シミュレーション実現のニーズをもつ本研究会メンバーから説明し、デバイス・回路等の関係メンバーとの間で意見交換を行った。

○第２会合：12 月 18 日 14 時 50 分～17 時片平通研

流体シミュレーション加速プロセッサを搭載した自律航行型水中ロボットの海洋開発への応用ついて、JAXA の折田氏が調整推進役となり、海洋・地震研究等の関係メンバーで意見交換を行った。

○第３会合：12 月 19 日 10 時 20 分～16 時片平通研

前日と同様に折田氏が調整推進役となり、海洋・地震研究等の関係メンバーの総力を挙げて、流体シミュレーション加速プロセッサを搭載した自律航行型水中ロボットの開発に関する企画書案をまとめた。

○第４会合：2 月 26 日 15 時 30 分～18 時片平通研

宇宙航空技術の関係メンバーに対して、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 SAR の検討状況について解説いただき、意見交換を行った。

○第５会合：2 月 27 日 10 時～12 時片平通研

宇宙航空技術の関係メンバーに対して、電気通信研究所の羽生貴弘教授から、同教授が開発中のスピン演算回路に関する最新の成果等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、最終年度として、以下に示すとおり、次のステップにつながる研究成果をとりまとめた。

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、平成19年度に２次元モデルで2400CPU並列計算により 50 億格子点を超える規模の格子ガス法計算を可能にしている。本年度は、最終的なゴールである３次元モデルの研究に集中し、３次元格子ガス法 FCHC モデルの具体的な計算方法をとりまとめた。本計算方法は、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可能である。

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、基本設計を完了した。長期間にわたる試行錯誤の末、本回路システムには、隣接セル間のみのデータ転送で並列的なパイプライン計算を実行できるシストリックアレイ方式を採用し、その動作で格子ガス法の時間発展演算を高速に実行できることをシミュレーションで確認した。また、個々の基本回路については、本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）の採用を前提にしている。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、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、自律航行型水中ロボットへの応用について、流体科学研究所, JAXA, JAMSTEC, リアルタイム地震情報利用協議会等の関係者との間で検討を行い、JAXA の折田氏が調整推進役となり、当該研究開発に関する企画書を完成させた。

（３－２）波及効果と発展性など

本研究会の活動を通じて得られたシミュレーション加速プロセッサの基本設計は、原子力、航空・宇宙、地球環境、医療、音響など未来社会を構築するのに極めて重要な分野において、コンパクトで実用的な流体挙動シミュレーションツールを提供できる工学的技術基盤になると同時に、非平衡系統計力学における大規模シミュレーションの実現という意味で新しい学術的な発展にも貢献できるであろう。

さらに、本研究会の活動は、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意欲的なグループ形成へと発展した。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。

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２３.６万円

［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．

最終年度となる本プロジェクトにおいては，具体的に以下に挙げる研究活動を通じて，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推進に努めた：

- 平成 20 年 5 月 7 日 米田友洋氏（国立情報学研究所），今井雅氏（東京大学），齋藤寛氏（会津大学），中村祐一氏（日本電気）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とそのシステム性能評価用シミュレータ環境構築に関する研究打合せを行った．
- 平成 20 年 9 月 26 日　桝井昇一先生，井上淳樹氏（富士通研究所）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で重要となる「低消費電力 LSI 設計技術」（特に，電源電圧制御技術の最新技術動向）に関する研究打合せを行い，最新研究動向に関する有益な知見を得た．
- 平成 20 年 10 月 30 日　赤嶺正巳氏（東芝），猪飼和則氏（松下電器）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の一環として，不揮発性ロジック回路とその応用システムへの展開に関する意見交換を行った．
- 平成 20 年 11 月 17 日　高須秀巳氏（ローム株式会社）及び同社関係者と，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意見交換を行い，ローム側としては不揮発性回路を利用した製品を今後もビジネス分野に展開していくなどの知見を得た.

- 平成 20 年 12 月 15 日　Wai-Tung Ng 氏（カナダ・トロント大学）と米国サンフランシスコにて，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．また，この技術を不揮発性回路へ組み込んだ回路構成に関して，来年度以降も研究討論を続けることを確認した.
- 平成 21 年 2 月 23~24 日　中島正美氏（ルネサステクノロジ（株））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，many-core プロセッサとその回路技術に関する意見交換を行った．特に，今後の低消費電力化を推進する上で，不揮発性ロジックなどの新しい回路技術が有用であるなどの有益な知見を得られた.
- 平成 21 年 3 月 13~14 日 米田友洋氏 (国立情報学研究所)，今井雅氏（東京大学)，齋藤寛氏（会津大学）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とそのシステム性能評価用シミュレータ環境構築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．また，その総括として，平成 21 年 2 月 27 日に福田正大氏（宇宙航空開発機構）を交えたシステム応用とその効果・今後の展開等にに関する意見交換を行った.

［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）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，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.

TMR 素子を用いたロジックインメモリ技術として，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，その原理動作の検証を行った．これらの TMR ロジックに関しては，査読付き国際学会での発表（研究成果(8), (11), (12)）を行い，学術論文（研究成果(5), (6)），招待講演（研究成果(1), (2), (13)）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している．本年度は昨年度までに検討してきた，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．これらの内容に関しては，学術論文（成果資料(4)），並びに査読付き国際学会（成果資料(10)），口頭発表（成果資料(14)）を行った.

尚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.

（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，高速かつ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，電流モード多値回路のさらなる低消費電力化と，電源電圧変動や温度変動に対する耐性を有する高信頼化に関する回路技術，さらには，今まで多値回路を人手で設計していたものをコンピュータで自動的に配置配線する VLSI 設計 CAD の構築に関する研究を行った．それらの結果を，学術論文（成果資料(3)），査読付き国際会議論文（成果資料(7), (9)）にまとめた．

（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、共同研究プロジェクトの趣旨に合致している．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) 羽生貴弘, "スピンを用いた不揮発論理回路の現状と展望,"（社）電子情報技術産業協会(JEITA)スピントロニクス技術分科会, Nov. 19, 2008.

(2) 羽生貴弘, "TMR ロジック," 応用物理学会・シリコンテクノロジー研究集会, March 16, 2009.

(3) Masatomo Miura and Takahiro Hanyu, "Highly Reliable Multiple-Valued Current-Mode Comparator Based on Active-Load Dual-Rail Operation," IEICE Trans. Electron., Vol.E91-C, No.4, pp.589-594, April 2008.

(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., Vol.E91-C, No.4, pp.581-588, April 2008.

(5) Shoun Matsunaga, Jun Hayakawa, Shoji Ikeda, Katsuya Miura1, Haruhiro Hasegawa, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno, and Takahiro Hanyu, "Fabrication of a Nonvolatile Full Adder Based on Logic-in-Memory Architecture Using Magnetic Tunnel Junctions," Applied Physics Express (APEX), pp.091301-1～091301-3, Aug. 22, 2008.

(6) Shoun Matsunaga, Kimiyuki Hiyama, Atsushi Matsumoto, Shoji Ikeda, Haruhiro Hasegawa, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno, and Takahiro Hanyu, "Standby-Power-Free Compact Ternary Content-Addressable Memory Cell Chip Using Magnetic Tunnel Junction Devices," Applied Physics Express (APEX), vol. 2, no. 2, pp. 023004-1~023004-3, 2009.

(7) Hirokatsu Shirahama and Takahiro Hanyu, "Design of High-Performance Quaternary Adders Based on Output-Generator Sharing," Proc. 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.38, pp.8-13, Dallas, TX, USA, May 2008.

(8) Akihiro Hirosaki, Masatomo Miura, Atsushi Matsumoto, and Takahiro Hanyu, "Vth-Variation Compensation of Multiple-Valued Current-Mode Circuit Using TMR Devices," Proc. 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.38, pp.14-19, Dallas, TX, USA, May 2008.

(9) Tasuku Nagai, Naoya Onizawa, and Takahiro Hanyu, "High-Speed Timing Verification Scheme Using Delay Tables for a Large-Scaled Multiple-Valued Current-Mode Circuit," Proc. 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.38, pp.70-75, Dallas, TX, USA, May 2008.

(10) Atsushi Matsumoto, Tomohiro Yoneda and Takahiro Hanyu, "High-level Synthesis of Asynchronous Circuits and Its Optimization," Proc. 17th International

Workshop on Post-Binary ULSI Systems, pp.5-8, Dallas, TX, USA, May 2008

(11) Daisuke Suzuki, Tetsuo Endoh and Takahiro Hanyu, "TMR-Logic-Based LUT for Quickly Wake-Up FPGA, " Proc. 51st IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.326-329, Aug. 2008.

(12) Shoun Matsunaga, Jun Hayakawa, Shoji Ikeda, Katsuya Miura, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno, and Takahiro Hanyu, ``Fabrication of a Standby-Power-Free TMR-Based Nonvolatile Memory-in-Logic Circuit Chip with a Spin-Injection Write Scheme," International Conference on Solid State Devices and Materials, C-3-6, pp. 274-275, Tsukuba, Sep. 2008.

(13) Takahiro Hanyu, "TMR Logic: Nonvolatile Logic Circuit Based on Logic-in-Memory Architecture Using Magnetic Tunnel Junctions," PRiME2008 Meeting Abstracts, 2105, Hawaii, Oct. 2008.

(14) 鬼沢直哉, 羽生貴弘, Vincent Gaudet, "多値非同期データ転送方式に基づく高性能 LDPC デコーダ LSI の実現," 第 11 回システム LSI ワークショップ講演資料集およびポスター資料集, pp.272-274, Nov. 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）
渡邊　　学（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）
服部　邦彦（日本工業大学）
大森　慎吾（情報通信研究機構: NICT）
浦塚　清峰（NICT）
降旗　正忠（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）
金井　　宏（無人宇宙実験システム研究開発機構: USEF）
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㈱ 宇都宮製作所）
村上　道篤（三菱電機㈱ 開発本部）
牧野　　滋（三菱電機㈱ 開発本部）
原　　芳久（三菱電機㈱ 鎌倉製作所）
村田　　稔（日本電気㈱ 誘導光電事業部）
辻　　信行（ツジ電子㈱）
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）

研究費：物件費 5 万円，旅費 39 万 5 千円

［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）東北大学電気通信研究所・一般公開：

平成 20 年 10 月 4-5 日、電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室にて実施、犬竹研究室パネル展示。

２）SAR 説明会、意見交換会：

平成 20 年 10 月 15 日 10:00-12:00、JR 東日本株式会社本社 18 階にて実施、出席者 7 名。

３）第 1 回 SAR 検討会：

平成 20 年 10 月 16 日 9:00-11:00、東北大学電気通信研究所 2 号館 2 階 W214 セミナー室にて開催、出席者 11 名。

４）平成 20 年東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究会:」（IEEE GRSS（Geoscience and Remote Sensing Society 協賛））：

平成 20 年 10 月 16 日 13:00-17:30、東北大学電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室にて開催、参加者 40 名。

５）SAR 説明会・意見交換会：

平成 20 年 10 月 17 日 13:30-15:00、総務省消防庁危機管理センター（中央合同庁舎 2 号館 2 階）にて実施、出席者 12 名。

６）SAR 説明会・意見交換会：

平成 20 年 10 月 20 日 13:00-15:00、株式会社パスコにて実施、出席者 5 名。

７）SAR 説明会・意見交換会：

平成 20 年 10 月 21 日 10:00-15:00、中日本航空株式

会社にて実施、出席者5名。
8）第2回SAR検討会
平成21年3月5日14:00-17:00、九州大学産学連携センター3階研修室にて実施、出席者8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）東北大学電気通信研究所・一般公開：
犬竹研究室より「合成開口レーダの高性能化と民生応用」についてパネル展示。
2）SAR説明会、意見交換会：JR東日本㈱
本説明会では、合成開口レーダの概要について説明を行った。その後、鉄道防災監視への適用の可能性に関する意見交換がなされた。
3）第1回SAR検討会：東北大学
本検討会では、合成開口レーダ（SAR）を用いた航空マイクロ波測量システムの概要説明と送電線間距離測量などへの応用について検討した。東北大学および九州大学から送電線用碍子からのマイクロ波散乱測定の実例について報告された。
4）平成20年東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究会:」（IEEE GRSS（Geoscience and Remote Sensing Society 協賛））：
平成20年度の内容は、ⅰ）民生応用を対象とした衛星搭載SARシステムの現状および実例の報告、ⅱ）航空機搭載高分解SARの概念設計の報告、ⅲ）応用分野の提案や、搭載に必要なプラットフォームやアンテナ制御機構などのハードウエアの報告、に大別することができる。それぞれの主要な内容を概述する。
ⅰ）では、高岸（㈱パスコ）がドイツ商業衛星”TerraSAR”について報告した。TerraSAR-X事業は、ドイツ航空宇宙センターとEADS Astrium社による官民連携事業として企画された世界初の商業用SAR衛星の事業で、1 mの空間分解を有するXバンドSARが搭載されていること、日本国内ではパスコ㈱により沖縄に受信局が設置され、災害時の被災状況の迅速な把握などに活用されていることを述べた。講演では、衛星事業の概要、SAR画像の特徴、災害被災地の情報抽出について紹介した。
飯坂（ビクトリア大学・東北大学）は人工衛星を利用したリモートセンシングへのSAR適用について報告した。特に、衛星によるSAR観測の現状、SAR偏波計画像データの解析と光学リモートセンシング画像解析の違い、偏波計SAR画像解析法の現状を地被分類を中心に例示し、衛星SAR偏波計観測の将来への展望と我が国の現状について紹介した。
ⅱ）では、池地（九州大学）が衛星搭載SARと比較した、航空機搭載SARの特長（局所性、任意性、緊急性、高頻度）について述べ、その特長を発揮させる、高分解（10 cm）、小型軽量（20 kg以下）SARシステムの概念設計とSARシミュレーションソフトについて報告した。
ⅲ）では、村手（中日本航空㈱）が航空測量の現状と課題について講演した。パーソナルコンピュータやGPSの登場、GISの普及により、関連する機材や手法に大きな変革が起き、航空測量に新たな時代が到来したこと、さらに、現在国内業界で使用されている主要な航空機搭載センサの紹介から、次世代航空機センサへの期待と要望について報告した。
加茂（富士重工業㈱）は、無人機の現状と将来について報告した。現在の無人機には約100 kgのペイロードを搭載する能力があること、大容量のデータリンクにより機上のプロセッサが不要となるため、小型、高性能、省電力化が図られるSAR搭載の有力な手段となりうること、SAR搭載のためには機体の安定飛行および誘導制御が重要で、そのための要素技術の開発が進んでいることを紹介した。
熊谷（多摩川精機㈱）は、航空機搭載SARに重要な防振装置および姿勢・方位・位置計測装置の進展について報告した。これらは、従来は非常に高価であったが、ハイビジョン化に伴うカメラ用防振装置の進展や小型航空機用慣性航法装置の研究にともない、低コストなシステムが構築されるようになったことが、ディジタルカメラと簡易防振装置を用いた安価なシステムの状況について紹介した。
5）SAR説明会・意見交換会：消防庁
本説明会では、本グループから「合成開口の概要と航空機SAR画像」についての話題提供が、消防庁側から「消防ヘリなどによる救急・防災監視の現状と課題」についての紹介があった。その後、人命救助・防災監視へのSAR適用可能性に関する意見交換が行われた。
6）SAR説明会・意見交換会：㈱パスコ
高空間分解合成開口レーダの概要について説明した後、航空マイクロ波測量への適用性に関する意見交換を行った。
7）SAR説明会・意見交換会：中日本航空㈱
高空間分解合成開口レーダの概要について説明した後、航空マイクロ波測量とレーザ測量の比較等に関する意見交換を行った。
8）第2回SAR検討会：九州大学
本検討会は、スポットライト方式SAR実現のための技術開発および設計について、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、高分解SARシステムの開発と応用―システム設計とシミュレーション研究について報告した。近木（九州大学）は、民生用SARの設計を目的としたKu帯レーダ実験について報告した。

その後、参加者全員により、①SAR ハードウエアおよびソフトウエアの開発方針、②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、民生用を中心とした応用分野の広がり、産学連携など新しい観点に基づいたネットワーク構築を図ることができた。

２）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、科学研究費申請だけでなく、科学技術振興機構（JST）シーズ発掘およびシーズ顕在化事業等への申請を積極的に推進している。

３）民生用合成開口レーダシステムの応用分野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) Lu Yang, N. Ito, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. and A. Mase, “18- to 40 GHz Beam Shaping/Steering Phased Antenna Array System using Fermi Antenna”, Trans. IEEE Microw. Theory Tech. **56**, 4, 767-773 (2008).

(2) E. Dai, Y. Q. Jin, T. Hamasaki, and M. Sato, “Three Dimensional Stereo Reconstruction of Buildings Using Polarimetric SAR Images Acquired in Opposite Directions” IEEE Geosci. Remote Sensing Lett. **5**, 2, 236 -240 (2008)

(3) J. G. Zhao and M. Sato, ““Experimental Implementation and Assessment of Two Polarimetric Calibration Approaches Applied for a Fully Polarimetric Borehole Radar”, J. Geophys. Eng. **5**, 232- 243 (2008).

(4) Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi, L. Bruskin, T. Tokuzawa, and K. Kawahata “Measurement of Edge Density Profiles of Large Helical Device Plasmas Using an Ultrashort-Pulse Reflectometer” Rev. Sci. Instrum. **79**, 5, 056106/1-3 (2008).

(5) J. Sonoda, M. Koga, and M. Sato, “A Novel Error Compensation Method with the Dispersion Relation Equation for the CIP Method” IEICE Electronics Express (ELEX) **5**, 22, 936-942 (2008).

(6) N. Ito, A. Mase, Y. Kogi, N. Seko, M. Tamada, and E. Sakata, “New Advanced Fabrication Technique for Millimeter- Wave Planar Components based on Fluororesin Substrates using Graft Polymerization”, Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 6, 4755-4758 (2008).

(7) K. Akimoto and H. Hojo, “Nonlinear Mechanisms for Cyclotron-Resonance Accelerations by and Alfven-Wave Pulse", J. Phys. Conf. Series 112, 042039 (2008).

(8) L. Tsintsadze and H. Hojo, “Nonlinear Excitation of Longitudinal Photons and Plasmons by High Power, Short Pulse Lasers”, Phys. Rev. E **78**, 065401 (2008).

(9) H. Hojo and A. Mase, “Computational Diagnostics with Micro and Millimeter Waves”, Lecture Note on 4th Korea-Japan Diagnostics Seminar, POSTECH (Aug. 2008).

(10) A. Mase, “Microwave Diagnostics-ECE and Reflectometry”, Lecture Note on 4th Korea-Japan Diagnostics Seminar, POSTECH (Aug. 2008).

(11) A. Ando, T. Hagiwara S. Jo, T. Taguchi, K. Hattori and M. Inutake, ”Experimental Study of Ion Heating and Acceleration in a Fast-Flowing Plasma for the Advanced Plasma Propulsion”, Proc. of Int. Conf. on Plasma Physics 2008, Fukuoka (Sept, 2008), EPR.P3-198.

(12) Y. Kogi, T. Sakoda, A. Mase, N. Ito, Y. Yokota, S. Yamaguchi, Y. Nagayama, S. H. Jeong, M. Kwon, and K. Kawahata, “Development of Multi-Channel IF System for ECE Radiometer on KSTAR Tokamak”, Rev. Sci. Instrum. **79**, 10, 10F115/1-3 (2008).

(13) K. Akimoto and H. Hojo, “Nonlinear Mechanisms for Cyclotron-Resonance Accelerations by and Alfven-Wave Pulse", J. Phys. Conf. Series 112, 042039 (2008).

(14) L. Tsintsadze and H. Hojo, “Nonlinear Excitation of Longitudinal Photons and Plasmons by High Power, Short Pulse Lasers”, Phys. Rev. E **78**, 065401 (2008).

(15) S. Takaichi, A. Mase, Y. Kogi, and K. W. Kim, “Applica- tion of Ultrashort-Pulse Radar to Non-Destructive Inspection”, Proc. 11th IEEE Int. Conf, on Communication Technology, Hangzhou (2008) pp. 316-318.

(16) N. Ito, A. Mase, Y. Kogi, N. Seko, M. Tamada, and E. Sakata, “Development of Planar Devices Using Low-Loss Materials”, Proc. 11th IEEE Int. Conf, on Communication Technology, Hangzhou (2008) pp. 253-255.

(17) S. Takaichi, A. Mase, Y. Kogi, H. Hojo, and K. W. Kim “Simulation Study and Experiment of UWB Imaging”, Proc. 2008 Asia Pacific Microwave Conf. Hong-Kong, A3-13/1-4 (2008).

(18) A. Mase *et al*., “Advancement of Microwave Diagnostics and their Industrial Application”, The 11th IEEE Int. Conf. on Communication Technology, Hangzhou (Nov. 2008).

(19) 間瀬「マイクロ波イメージングとその応用」電子情報通信学会九州支部講習会, 宮崎大学 (Dec. 2008).

(20) X. Feng, M. Sato, Y. Zhang, C. Liu, F. Shi, and Y. Zhao “CMP Antenna Array GPR and Signal to Noise Ratio Improvement”, IEEE Geosci. Remote Sensing Lett. **6**, 1, 23 -27 (2009).

(21) H. Hojo and A. Mase, “Electromagnetic-Wave Transmittance Characteristics in One-Dimensional Plasma Photonic Crystals”, Plasma Fusion Res. (to be published).

(22) H. Hojo, A. Mase, and K. Kawahata , “Interferometry for Weakly Relativistic Plasmas”, Plasma Fusion Res. (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29万８千円

［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。

本プロジェクトは本年度が第２年度であった。前年度はプロジェクト研究会を開催し、国内外の地球科学計測に関する情報交換を行い、当該分野の研究状況を共有した。また、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。今年度はそこでの議論・準備を踏まえ、東京大学地震研究所において絶対重力計の開発、海洋研究開発機構において光干渉式塩分濃度センサーの開発、電通研・地震研において周波数安定化光源の開発等を実施した。とくに、絶対重力計の開発では、電通研で開発された1.5μm帯の絶対波長安定化光源を導入し、江刺観測所（岩手県）の重力定点の重力値を決定することに成功した。

本年度の研究成果報告と関連技術の紹介を兼ねて平成21年３月６日（金）に電気通信研究所においてプロジェクト研究会を開催した。東京大学、海洋研究開発機構、電通研など国内の大学・研究機関およびメーカーからの参加・発表があった。電通研からは 1.5μm 帯半導体レーザーに外部変調器を組み込んだ周波数安定化の紹介があり、東大地震研では同波長帯半導体レーザーにフォトニック結晶ファイバーを使った安定化を適用する試みが紹介された。基礎研究としてはFiber Bragg Gratingを使ったひずみ計測や岩石の非弾性効果に起因するひずみ計測の問題点に関する講演があった。光センシングの応用として、地震計測のほか店舗における来客モニターやセキュリティ・福祉関係など幅広い事例がメーカーより紹介された。地球科学の計測に関しては、絶対重力計の開発や海域における光干渉式塩分濃度センサーの開発の状況が紹介された。これらは本プロジェクト研究を契機に着手された課題であり、本年度一定の成果が得られた。来年度も継続して実施する予定である。

［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、電通研ですすめている光源の周波数安定化に関してはレーザー共振器外部に周波数変調器を配置した周波数安定化回路をもちいてアセチレン分子の吸収線へ安定化することにより、無変調出力型周波数安定化半導体レーザーを実現した。現在の周波数安定度は従来の安定化ファイバーレーザーのものより数倍悪いため、今後安定度の向上をすすめる。

東大地震研ではこれまで852nm帯のDBR型半導体レーザーをセシウムのスペクトルに安定化させた光源の開発を行い、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な小型・省電力のものがほぼ完成している。半導体レーザーはもともと強度ノイズや周波数ノイズが固体レーザーと比較して大きく、それらのノイズが最終的な周波数安定度にどのように影響するか定式化を行った。今後の安定化研究に有用であると思われる。また、1.5μm 帯の光源をガスを封じ込めたフォトニック結晶ファイバーで安定化する方法の基礎実験を開始した。

地球科学計測に関しては、海洋研究開発機構のグループがレーザー干渉計測を利用した海水の高精度塩分濃度センサーの開発に着手した。光を使った検出法は、従来の電気化学的方法に比べて温度依存性が小さいことや高精度レーザー光源を利用できるなどのメリットがある。ヘテロダイン型マイケルソン干渉計による屈折率測定の結果、λ/460 の位相分解能が得られ、これは2mmの海水セルを用いた場合 3.4×10^{-7} の屈折率差測定精度が得られることに相当する。今後は計測部分のモジュール化など進め、孔内計測へも応用できる技術開発をすすめる。

もうひとつの地球科学計測として、地震研究所で絶対重力計の開発を行っている。プレート運動に伴う地面の沈み込みや火山噴火の際のマグマ等地下流体の検知をめざしたものであるが、従来の市販の装置は大型で野外観測に不向きである。またコストが高く、観測点を多数展開するのに問題があった。本研究では小型で低コストの装置を開発するために、干渉計測の高度化および小型高性能レーザー光源が必要である。前者については自由落下する落体の回転運動を抑制する方法を考案し、必要な測定精度が得られる見込みが得られた。後者については、電通研中沢研究室で開発された波長安定化ファイバーレーザー光源を導入した。従来は絶対重力計にはもっぱら He-Ne レーザーが用いられてきたが、ヨウ素安定化 He-Ne レーザーは出力光に変調がかけられており、その影響を取り除く特別な工夫が必要であった。1.5μm 帯の光源を絶対重力計に適用した例はこれまで無いが、今後装置のネットワーク化などを視野に入れると必要な技術であり、今回われわれが初めて導入に成功した。決定した重力値は設計値に近い9桁の精度であった。過去の同一場所の測定値と比べると8桁目に差異がみられた。これが実際の重力変動か装置の系統誤差かの判別は今後他の絶対重力計との並行観測などを通じて進める予定である。

（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。これまで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が、本共同プロジェクト研究により、両者の研究現状を共有することができ、今年度から光源開発やその応用について共同開発に一部着手することができた。

電通研および地震研でそれぞれ研究が進展した安定化レーザー光源開発に関しては、安定度あるいは機能性がさらに向上すればさまざまな計測に応用可能となる。

今年度から本格的にスタートした海水塩分濃度センサー開発は今後センサー部分のモジュール化および実証試験にすすむ見込みであり、従来とは異なった光を用いた海域計測に道を開くものである。良い結果が得られれば、光ファイバーを用いた温度センサーや海底孔内設置の光ファイバー式広帯域地震計・傾斜計・海底津波計などへの応用につながり、光をベースとした海域観測の高精度化・ネットワーク化の実現へと期待される。

絶対重力計は従来実験室内での測定や定点観測が主体であったが、われわれは野外観測を主体としたものを目指している。今年度の研究で 1.5μm 光源で9桁の重力値が決定できたことは大きな成果と考えている。なぜなら、今回使用したファイバーレーザーと同等の安定度の 1.5μm 帯半導体レーザー光源を使用できれば可搬性や省電力の点で野外観測がきわめて容易になるからである。装置および光源の小型化をすすめれば、従来困難と考えられていた火山体における重力分布の面的観測ネットワークや、海底における絶対重力観測などの実現につながる。これらは火山噴火予測や地震の前後にともなう地殻変動の検知など極めて意義が深いものである。

［4］成果資料

（1）T. Hori, A. Araya, S. Moriwaki and N. Mio, Formulation of frequency stability limited by laser intrinsic noise in feedback systems, Appl. Opt., vol. 48, no. 2, pp. 429-435, 2009.

（2）M. Nakazawa and M. Yoshida, “Scheme for independently stabilizing the repetition rate and optical frequency of a laser using a regenerative mode-locking technique,” Opt. Lett., vol. 33. no. 10, pp. 1059-1061, May (2008).

（3）H. T. Quynhanh, A. Suzuki, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “A $\lambda/4$-shifted distributed-feedback laser diode with a fiber ring cavity configuration having an OSNR of 85 dB and a linewidth of 7 kHz,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 18, pp. 1578-1580, September (2008).

（4）M. Nakazawa, K. Kasai, and M. Yoshida, “C_2H_2absolutely optical frequency-stabilized and 40 GHz repetition-rate-stabilized, regeneratively mode-locked picosecond erbium fiber laser at 1.53 μm,” Opt. Lett., vol. 33, no. 22, pp. 2641-2643, November (2008).

共同プロジェクト研究

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）
上村鉄雄　（名城大学理工学研究科）
高橋和生　（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
東辻浩夫　（岡山大学自然科学研究科）
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）
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３８万１千円

［2］研究経過

プラズマ化学反応による薄膜作製および超微細加工技術は、現在の先端産業を支える重要な技術となっている。今後もナノ情報デバイス創成を支えるナノテクノロジーと関連して、超薄膜作製、極超微細加工、ナノ粒子製造など、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は、一般には、中性粒子、電子および正イオンの荷電粒子からなるが、作製の条件によっては、大きな質量を持つクラスター、フラーレン、ナノチューブ、ナノ結晶、あるいはミクロンサイズの微粒子が存在する。プラズマ中では、これらのナノ粒子や微粒子の表面に大量の電子が付着し、あたかも巨大な負イオンのように振舞う。こうしたプラズマは、微粒子プラズマ、ダストプラズマ、あるいはコンプレックスプラズマとも呼ばれている。大量の微粒子が含まれるプラズマは、複合体としての集団運動により様々な新しい物理現象を呈する。本プロジェクト研究会では、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た。さらにその成果をもとに、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、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ことを目的とした。

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。特に本年度は、ISS（国際宇宙ステーション）における微小重力実験を中心に検討を行った。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，研究会を中心とした研究活動状況の概要を記す。

研究会は、平成２１年９月２６日（金）～２７日（土）の一泊二日で、作並のホテルグリーングリーンの会議室で行った。

初日は、岡山大学東辻浩夫教授より「微粒子プラズマの臨界点と実験条件」と題した講演と、京都工芸繊維大学高橋和生准教授より「PK-3 Plus 装置の

プラズマ解析と微小重力実験」と題した講演がなされた。その後、“微小重力実験に関する今後の研究展開”との議題で討論を行った。

二日目は、東北大学佐藤徳芳名誉教授による「Some ideas for avoiding the voids formed in fine-particle clouds」と題した講演と、京都工芸繊維大学林康明教授による「マグネトロンプラズマ中の微粒子挙動」と題した講演が行われた。その後、“微粒子プラズマ研究の今後の展開”について話し合った。

会議での討論内容および結論を要約すると、次のとおり。

ISS 搭載 PK-3 Plus 実験の提案に関して、東辻教授の計算による Γ-ξ 相図における臨界点・スピノーダル曲線と実験的に可能な条件の範囲を照らし合わせ、臨界点に近づくためのプラズマパラメータの設定について、現在の ISS 搭載 PK-3 Plus を用いた実験を前提にした議論を行った。その結果、微粒子密度をもっと高くできなければ、プラズマ密度を増大するかイオン温度を低下させてデバイ長を小さくする必要があることが分かった。この点についてさらに時間をかけて検討するために、林が図と説明をまとめて京都工芸繊維大学の研究室ホームページに掲載することにした。

KIT（京都工芸繊維大学）仕様 PK-3 Plus 装置による実験の計画に関して、ISS 搭載 PK-3 Plus では実験範囲に限界があるため、航空機実験あるいは次期装置（PK-3 Plus-Plus?）による実験を想定し、ボイド除去の点から PK-3 Plus 装置の改良点について次のとおり議論を行った。微小重力になったとき微粒子が電極中心部に来ることでプラズマが変化している可能性があり、プラズマ生成領域と微粒子捕捉領域を分ける工夫が必要である。電極付近を接地電位のメッシュで囲む方法も提案されたが、微粒子が横方向に広がる可能性もある。現在 MPE が行っているボイド発生抑制のための DC 変調は、イオン流が関係しているとは考えにくい。また、きわめて低パワーのときしかボイド抑制ができておらず、条件の範囲は狭い。

微小重力実験の今後の展開に関して、プロジェクト研究を進めるため、平成２０年度は残念ながら不採択となった科研費・新学術領域研究に再度、挑戦することとなった。宇宙科学の分野と核融合装置のダストに新たな研究グループを加え、ダストの生成過程については、三重野グループがナノ材料・微粒子発生として対応することになった。規模はやや小さいが、重複応募の制限がなければ基盤研究（B）を今年度で中止して基盤研究（S）に応募することも考えられる（調べた結果、新学術領域研究との重複応募は可能で両方採択された場合は一方を辞退すればよいが、継続中の基盤研究（B）は研究期間４年未満のため重複不可）との意見もあった。

また、PK-4 による実験について、ランダウダンピングの可視化、エコー実験、制動放射実験などの提案があった。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず、ISS 搭載 PK-3 Plus 同型実験装置における周波数シフトプローブを用いたプラズマパラメータの測定を行った結果、ラングミュアプローブ法による測定結果と比較して、プラズマ密度が誤差３０％の範囲内で一致することがわかった。この測定法により、微粒子を含むプラズマの診断が可能となる。

次に、微粒子プラズマにおける臨界点の理論解析が行われ、その結果、現在の条件の範囲内で臨界点に達することはできなくても、構成粒子間の距離が大きいという微粒子プラズマの特徴を生かして、臨界点近傍の物理現象を観測することは全く不可能ではないことが指摘された。

さらに、“ボイド”発生のない微粒子プラズマ実験装置としてプレーナマグネトロンプラズマ装置を開発し、これを用いて微粒子の挙動が調べられた。その結果、地上重力下で行った実験では、従来法では下部に集まる微粒子群の中央部が凹んだ構成を成すが、同装置では逆に中央部に微粒子が集まり凸状に膨らんだ構成を成し、また微粒子が結晶状に配列することがわかった。さらに、小型化した立方体形状のプレーナマグネトロンプラズマ装置を製作した。真空槽は、３軸方向に対称な一辺が 15cm の立方体とし、上下２面にマグネトロン放電用の磁石を貼り付けた。各面には、15mm×30mm×30mm[磁化方向] の磁石を８個取り付け８角形状に配置した。落下塔による微小重力実験を実施した結果、微粒子がプラズマ装置の中央部に輸送され、ボイドのない微粒子プラズマが形成できることがわかった。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにおける成果をもとに、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させて行く。

また、研究会での議論にしたがい、平成２１年度科学研究費補助金の新学術領域研究に、“微粒子プラズマ科学”の領域名で再応募した。

［4］成果資料

(1) Y. Hayashi, Y. Mizobata, and K. Takahashi: "Behaviors of Fine Particles in a Planar Magnetron Plasma", J. Plasma Fusion Res. in press
(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", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 25(3), pp.349-352, 2008
(3) Y. Hayashi, K. Takahashi, H. Totsuji, O. Ishihara, N. Sato, Y. Watanabe and Satoshi Adachi: "Ordering of Fine Particles in a Planar Magnetron Plasma", Multifacets of Dusty Plasmas (AIP Conference Proceedings 1041), pp. 221-222, 2008.
(4) Kazuo Takahashi, Hubertus M. Thomas, Gregor E. Morfill, Alexei V. Ivlev, Yasuaki Hayashi and Satoshi Adachi: "Diagnosis in Complex Plasmas for Microgravity Experiments (PK-3 plus)", Multifacets of Dusty Plasmas (AIP Conference Proceedings 1041), pp. 329-330, 2008.
(5) Satoru Iizuka and Takuma Gohda: "Vortex formation in a high speed dust flow with large velocity shar in rf plasmas", Multifacets of Dusty Plasmas (AIP Conference Proceedings 1041), pp. 229-230, 2008.
(6) T. Mieno, S. Hasegawa: "Production of Carbon Clusters by Impact reaction Using Light-Gas Gun in Experiment Modeling Asteroid Collision", Appl. Phys. Express 1, 067006-1-3, 2008.
(7) M. A. Imtiaz, T. Mieno: "Radial Density Profiles of Fullerene negative Ions and Electrons around a Magnetized String Plasma in CF4 Gas", Jpn. J. Appl. Phys. 47, 5639-5643, 2008.
(8) Y. Nakamura and O. Ishihara: "A Complex plasma device of large surface area", Review of Scientific Instruments 79, 033504-1-033504-4, 2008.
(9) C. Kojima, J. Kubota, Y. Tashima, and O. Ishihara: "Dust Dynamics in Wake Channel", Proceedings of Third International Symposium on Physical Science in Space 2008, J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 25, 353-356, 2008.
(10) O. Ishihara: "Complex Plasma Research under Extreme Conditions", Multifacets of Dusty Plasmas (AIP Conference Proceedings 1041), pp. 18-23, 2008. 2008) edited by J.T. Mendonça, D. P. Resends and P. K. Shukla, pp. 139-142.
(11) M. Shindo and O. Ishihara: "Study of Complex Plasmas, in Nano- and Micromaterials", ed. by K. Ohno, M. Tanaka, J. Takeda, and Y. Kawazoe (Springer Berlin Heidelberg, 2008), Chap. 13 (pp. 313-327).
(12) S. Nunomura, M. Shiratani, K. Koga, M. Kondo, and Y. Watanabe: "Nanoparticle coagulation in fractionally charged and charge fluctuating dusty plasmas", Physics of Plasmas, Vol. 15, 080703, 2008.
(13) Masaharu Shiratani, Kazunori Koga, Shinya Iwashita and Syota Nunomura: "Rapid transport of nano-particles having a fractional elemental charge on average in capacitively coupled rf discharges by amplitude modulating discharge voltage", Faraday Discussions Vol. 137, pp. 127-138, 2008.
(14) Shinya Iwashita, Michihito Morita, Hidefumi Matsuzaki, Kazunori Koga, and Masaharu Shiratani: "Temperature dependence of dielectric constant of nano-particle composite porous low-k films fabricated by pulse rf discharges with amplitude modulation", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 48, No. 8, pp. 6875-6878, 2008.
(15) H. Totsuji: "Thermodynamic Instability in Strongly Coupled Fine Particle Plasmas and Critical Phenomena", Journal of the Japan Society of Microgravity Application, Vol. 25, No. 3, pp.343-348, 2008.
(16) H. Totsuji: "Experimental Parameters of Fine Particle Plasmas Explicitly Expressed by Dimensionless Characteristic Parameters", Plasma and Fusion Research, Vol. 3, pp.046-1--046-10, 2008.
(17) H. Totsuji: "Thermodynamics of strongly coupled repulsive Yukawa particles in ambient neutralizing plasma: Thermodynamic instability and the possibility of observation in fine particle plasmas", Physics of Plasmas, Vol.15, No.7, pp.072111-1 -- 072111-14, 2008.
(18) H. Totsuji: "Thermodynamic instability and critical point of fine particle (dusty) plasmas: enhancement of density fluctuations and experimental conditions for observation", J. of Phys. A: Math. and Theor., 2009 (in press).

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
（国士舘大学理工学部）
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（豊橋技術科学大学）
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）
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 16 万 4 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20年度は、本プロジェクト研究の第3年度で、昨年度に行った検討を基に、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21年1月30日（金）
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) 大平　孝　発振回路の雑音スペクトル
(2) 二川 佳央 メタマテリアルに対するマイクロ波加熱とMRIによる温度計測
(3) 水野 皓司 変位電流にもローレンツ力が働くこと及びそれを使ったいくつかの説明
(4) 徳満 恒雄 3D MMICによるサブハーモニックミキサの設計と製作
(5) 伊東 健治 平衡形ダイオードミクサの出力電力
(6) 伊山 義忠 はしご形回路の通過位相特性をパラメータとしたQファクタについて
(7) 高木　直　増幅器における高効率動作級と高調波処理
(8) 松永　誠　The Present State of the Art of Wide Band Gap Semiconductors and Their Future
(9) 石川 容平 海中インバースダムによる太陽エネルギーの安全貯蔵

[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

マスタースライス法を使って実現した 3D MMIC によるサブハーモニックミキサの設計と製作について示された。また、キャリアの漏れが少ない、平衡形ダイオードミクサについて、偶高調波ミクサの出力電力の理論限界値の比較を行い、平衡形ミクサがより高出力であることが示された。これらのデバイスは次世代通信システムに摘要可能な機能を有してることが確認された。さらに、次世代通信システムに必要な高出力素子に関して、摘要可能な GaN, SiC 等の比較検討と GaN の有効性とその将来動向が示された。

(3-1-2)　伝送路等を含む受動素子技術

線形システムにおける雑音スペクトルとQ値の関係について、より深い理解を促すための展開とリーソン

式の摘要についての検討が行われた。また、はしご形回路の通過位相をパラメータとしたQファクタについて検討が行われ、フィルタの通過位相特性とQの解析解および、Qファクタの適用範囲について検討がなされた。さらに、変位電流にローレンツ力が働くことを、電磁運動量を導入して、電磁運動量の時間微分が変位電流となることが示された。

(3-1-3) 将来の通信・計測システム

通信計測システムに必要不可欠なアンプにおけるB, F, 逆F級増幅器の構成と原理について明確にされた。また、これらアンプを利用したMRIの応用による生体内部の温度計測およびメタマテリアルを利用することによる新しい治療技術への応用可能性が示された。

（3-2）波及効果と発展性など

将来の通信・計測システムにおいては、マイクロ波・ミリ波のデバイス・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確認された。更に、これら技術を基盤とした新しい技術として、海中インバースダムによる太陽エネルギーの安全貯蔵についての議論がなされ、将来のエネルギーの有効利用や環境負荷の低減に対し画期的な技術が議論された。本研究では、これまで開発された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、人と環境を調和した新しい情報システムに関してその中核技術の先進的な知識が得られた。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を含めた通信・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よう。

今後は、これまでの技術の紹介と討議を進め、環境に配慮したグリーンＲＦ技術の研究を展開し、更なる検討を進めてゆく。

[4] 成果資料

1. 石橋孝裕, 笹川哲広, 斉藤耕太, 橋本 修, "一層型電波吸収体の近傍・遠方界における反射減衰量に関する検討", 電気学会論文誌(A), Vol.128-A, No.4, pp.315-316 (2008-4).

2. 伊山義忠, “ＲＣ移相回路におけるQファクタの通過位相による表現”, 2008 信学ソ大, No. CS-2-4, Sept. 2008.

3. 伊山義忠, “高インピーダンス線路を用いて構成したはしご形回路における通過位相に注目したQファクタに関する検討”, 2009 信学総大, No.C-2-5, Mar. 2009.

4. 伊山義忠, “はしご形の移相回路における通過位相特性及び Q ファクタに関する検討”,信学技報 MW2008-41, pp.53-57, June 2008.

5. Yuki Ozone, Nobuyuki Kikkukawa, Yoshinobu Nagano, Satoru Kobayashi and Yoshio Nikawa, “Measurement of Permittivity and Permeability for EM Applicable Catalyst”, Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 827-830, 2008.

6. T. Ohira and T. Wuren, "Pseudolinear circuit theory for sinusoidal oscillator performance maximization (invited)", IEICE Trans Electron., vol. E91-C, issue 11, pp. 1726-1737, Nov. 2008.

7. 大場琴子, 滝沢幸治, 土井 亨, 橋本 修, "セメントを母体としたフェライト系電波吸収体に関する基礎的検討", 電子情報通信学会論文誌(C), Vol.J91-C, No.12, pp.764-767, Dec. 2008.

8. 大場琴子, 土井 亨, 橋本 修, 田中崇雄, "テント型小型電波暗室に関する基礎的検討", 電子情報通信学会論文誌(C), Vol.J91-C, No.12, pp.768-771, Dec.2008.

9. 小松 和寛, ヴァレンティン ゲオルギウ, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 安達 文幸, “シングルキャリア伝送用周波数領域等化器の LSI 実装”, 信学技報, vol.108, no. 250, SR2008-43, pp. 37-42, 2008年10月.

10. K. Shimoyama, S. Yoshida, T. T. Thanh, K. Matsuzaki, H. Oguma, 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.

11. 祥雲勇一, 大場琴子, 鈴木宏和, 渡辺慎也, 橋本修, "石膏ボードを用いた電波吸収体による無線LAN 使用環境改善に関する検討", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.12, No.2, pp.154-158, Mar. 2009.

12. TUAN THANH TA, 野沢尭志, 松崎圭佑, 大嶋尚一, 亀田 卓, 高木 直, 坪内和夫, ”5GHz帯広帯域・低位相雑音Si-CMOS VCOの設計”, 信学ソ大, CS-2-8, Sept. 2008.

13. Takayuki Takase and Yoshio Nikawa,“Optimization of Element Arrangement for Metamaterial”, Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 819-822, 2008.

14. 高瀬康治, 橋本 修, 松本好太, 熊田健人, "カーボンブラック含有アルミナを用いたミリ波無線モジュール内部の電波環境改善に関する検討", 電気学会論文誌(C), Vol.128-C, No.6, pp.912-918, Jun. 2008.

15. 土井 亨, 橋本 修, 田中崇雄, 梅村一朗, "炭素短繊維を周期的に配置した広帯域電波吸収体の実験的検討", 電気学会論文誌(C), Vol.128-C, No.6, pp.846-852, Jun. 2008.

16. 中島 惇, 和田光司, 橋本 修, 高橋 毅, "ヘアピン構造を有する誘電体棒装荷型 MSL 共振器 LPF に関する解析的検討", 電気学会論文誌(C), Vol.128-C, No.4, pp.683-684, April, 2008.

17. 二川佳央、道山哲幸、西岡将志, “マイクロ波と

MRI 併用による生体計測", 医療情報通信技術研究会資料集, MICT No. 4 2007 - 17～26, pp. 62-79, 2008.
18. Yoshio Nikawa and Masashi Nishioka, "Microwave Diagnosis Based on MRI Imaging", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp, 799-802, 2008.
19. Yoshio Nikawa, "Patch Array to Generate Microwave Surface Wave", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 509-512, 2008.
20. Yoshio Nikawa and Takayuki Takase, "Microwave Visualizing Equipment Using Miniature Loop Array", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 823-826, 2008.
21. Masashi Nishioka and Yoshio Nikawa, "Thin and Flexible Antenna for Microwave Application", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 283-286, 2008.
22. Yoshio Nikawa,"Energy Dissipation in Metamaterial", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 169-172, 2008.
23. Yoshio Nikawa, "Microwave Energy Absorption in Artificial Dielectric Material and Metamaterial", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 263-266, 2008.
24. Yoshio Nikawa, "Non-Invasive Characterization of Blood by Image of Capillary Blood Vessel with Reflection of Millimeter-Waves", BIO Tronics 2008, page 28, 2008.
25. Yoshio Nikawa, "Application of Metamaterial in Microwave Energy Absorption", Proceedings of 2008 Asia Pacific Microwave Conference, 4 pages, 2008.
26. Yoshio Nikawa, "Selective Microwave Energy Absorption in Metamaterial", Proceedings of the 2008 International Workshop on Vision, Communications and Circuits (IWVCC'08), pp. 43-46, 2008.
27. Yoshio Nikawa, "MRI-Assisted Analysis for Microwave Reflection in Human Body", Proceedings of the 2008 International Workshop on Vision, Communications and Circuits (IWVCC'08), pp. 55-58, 2008.
28. Yoshio Nikawa and Masashi Nishioka, "Microwave Diagnosis Using MRI", Proceedings of 2008 Asia Pacific Microwave Conference, 4 pages, 2008.
29. Yoshio Nikawa, "EM Coupling Patch Array in Multimode Cavity Resonator", Proceedings of 2008 Asia Pacific Microwave Conference, 4 pages, 2008.
30. 野沢尭志, 大嶋尚一, タ トゥア タン, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内和夫, "広帯域・高精度90度位相器を用いた5GHz帯Si-CMOS直交変調ミキサー", 信学ソ大, C-2-2, Sept. 2008.
31. 野沢尭志, 安藤 桂, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内和夫, "電流モードパイプライン型ADCの設計", 信学総大, A-1-47, March 2009.
32. T. N. Hao, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Measurement of indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz with high delay time resolution", Int. Conf. on Advanced Tech. for Commun., (ATC 2008), 4C, Oct.2008.
33. Seiji Maruoka and Yoshio Nikawa, "Focusing Applicator for Microwave Heating", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 795-798, 2008.
34. Hiroyasu Matsuoka and Yoshio Nikawa, "Lossy Dry Model to Evaluate EM Field Distribution in a Microwave Applicator", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 831-834, 2008.
35. Tetsuyuki Michiyama and Yoshio Nikawa, "Measurement of Complex Permittivity with Heating by Open-Ended Coaxial Applicator", Proceedings of GCMEA 2008 / MAJIC 1st, pp. 735-738, 2008.
36. Tetsuyuki Michiyama, Yoshio Nikawa, "Complex Permittivity of Dry Material to Simulate Foods by Changing Graphite Composition", Pacific Science Review, Vol. 10, No. 1, pp. 6-9, 2008.
37. Yasuhisa Yamamoto, Keren Li, and Osamu Hashimoto, "Tunable Sharp Notch Filter for UWB Application", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.50, No.10, pp.2712-2715, Oct.2008.
38. S. Yoshida, K. Tsubouchi, A. Tosaki, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase and T. Takagi, "Radiation characteristics of ultra-small wireless communication modules for 60GHz band WPAN", 2008 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 108.11, July 2008.
39. 吉田 賢史, 竹内 太志, 亀田 卓, 高木 直, 坪内和夫, "多層LCP基板を用いた5GHz帯サスペンデッド結合バランの広帯域化", 信学技報, vol. 108, no. 311, MW2008-143, pp. 143-148, 2008年11月.
40. 吉田賢史, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内和夫, "有機樹脂基板を用いた60GHz帯超小型WPANモジュール用アンテナの基礎的検討", 信学総大, C-2-91, 2009年3月.
41. 若林美之, 鈴木洋平, 山田淳二, 橋本 修, "トンネル内に配置された ETC 料金所の電波環境とその改善に関する検討",第 7 回 ITS シンポジウム 2008, 1-D-04, Dec. 2008.

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
（東北大学電気通信研究所）
対応者：末光　眞希
（東北大学電気通信研究所）
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）
朝岡　秀人（日本原子力研究機構）
遠藤　哲朗（東北大学学際科学国際高等研究センター）

研究費：物件費５万円、旅費１６万４千円

［2］研究経過
（本プロジェクトの目的・概要，及び，研究会，研究打ち合わせ・研究討論会，研究発表会，研究集会等の開催状況を記載して下さい。）

シリコン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。

本年度は第２年度であった。本年度は，前年度の成果を踏まえながら，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った。
第２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：２００９年　3月９日
１３：３０～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所１号館セミナー室

［3］成果
（３－１）研究成果
研究会ではまず、次世代 CMOSFET テクノロジーの鍵を握ると目される Si(110)面において、通電加熱により再配列構造のシングルドメイン化が可能であることが報告され、同表面の清浄表面構造の評価と制御法について理解を深めた。

第二に、この Si(110)表面の酸化過程においては酸化に伴う異方的な歪発生が酸化カイネティクスを支配することが報告され、同表面の酸化プロセスを確立するに際しての重要な指針を得た。

第三に、実際の工業プロセスで用いられる高い酸化圧力領域における Si 酸化過程の表面科学的評価に関して報告があり、従来の表面科学手法で用いられる超低圧酸化では見られない酸化カイネティクスが報告され、表面科学とプロセスをつなぐ試みとして関心を集めた。

第四に、高速チャネル材料として注目を集める歪 Ge 層中に Ge 空孔が発生した場合に、これがアクセプタとなることを第一原理計算により示す報告があり、議論を行なった。

第五に、点欠陥の拡散機構を Si と Ge で比較した報告があり、Si の場合は 900℃を境として低温では空孔を介した置換型拡散機構、高温では格子間型拡散機構であるのに対し、Ge はすべての温度領域で置換型拡散機構であることが明らかにされ、

SiGe プロセス技術の構築における重要な知見として認識を共有した。

第六に、シリコンナノ薄膜チャネルの反転特性と量子キャパシタンスについて第一原理計算を行なった結果、Si ナノ構造では誘電率が減少することが示され、Si ナノテクノロジーの確立に不可欠な知見として認識を深めた。

第七に、NAND フラッシュメモリの開発における電荷注入機構について報告があり、既成概念に囚われない発想が新技術を生むことについて認識を深めた。

このように当該プロジェクト研究では、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光電子分光による実験研究、④ナノスケール構造の物性理論――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理論家と実験家が広範囲かつ集中的に議論を行なうことができた。

（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。二年度にわたる研究会での研究交流と議論を通し、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) Growth of GaN on SiC/Si substrates using AlN buffer layer by hot-mesh CVD, Thin Solid Films, 516 (2008) 659-662, Kazuyuki Tamura, Yuichiro Kuroki, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuro Endou, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, Tadashi Aahane

(2) Growth of GaN Films by Hot-Mesh Chemical Vapor Deposition Using Ruthenium-Coated Tunsten Mesh, Japanese Journal of Applied Physics, 47(1) (2008) 573-576, Yusuke Fukada, Kanji Yasui, Yuichiro Kuroki, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Teturo Endou, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, and Tadashi Akahane

(3) Bonding Structure of Ultrathin Oxides on Si(110) Surface, MRS proceedings 2008, Yoshihisa Yamamoto, Hideaki Togashi, Atsushi Kato, Maki Suemitsu, Yuzuru Narita, Yuden Teraoka, and Akitaka Yoshigoe

(4) Observation of Metastable Chemisorption State of Oxygen on Si(110)-16×2 Surface, Applied Surface Science, Vol. 254(19) (2008) pp 6232-6234, Yoshihisa Yamamoto, Hideaki Togashi, Atsushi Kato, Yuya Takahashi, Atsushi Konno, Yuden Teraoka, Akitaka Yoshigoe, Hidehito Asaoka, Maki Suemitsu Authors

(5) Si(110)面上熱酸化膜形成時における Si サブオキサイド時間発展の XPS リアルタイム測定, 電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 108, No. 80 pp 65-70, 山本喜久、富樫秀晃、今野篤史、松本光正、加藤篤、齋藤英司、末光眞希、寺岡有殿、吉越章

(6) Temperature oscillation" as a real-time monitoring of the growth of 3C-SiC on Si substrate, Applied Surface Science, Vol. 254(19) (2008) pp 6235-6237, Eiji Sato, Atsushi Konno, Takashi Ito, Kanji Yasui, Hdeki Nakazawa, Tetsuo Endoh, Yuzuru Narita, Maki Suemitsu

(7) Low-temperature formation of silicon nitride films using pulsed-plasma CVD under near atmospheric pressure, Applied Surface Science, Vol. 254(19) (2008) pp 6208-6210, M. Matsumoto, Y. Inayoshi, M. Suemitsu, E. Miyamoto, T. Yara, S. Nakajima, T. Uehara, Y. Toyoshima

(8) SR-PES and STM observation of metastable chemisorption state of oxygen on Si(110)-16´2 surface, Applied Surface Science, Vol. 254(2008) pp 6232-6234. Y. Yamamoto, H. Togashi, A. Kato, Y. Takahashi, A. Konno, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, H. Asaoka, M. Suemitsu

(9) Low temperature growth of polycrystalline Si on polyethylene terephthalate (PET) films using pulsed-plasma CVD under near atmospheric pressure, Thin Solid Films, 516(2008) pp 6673-6676, M.Matsumoto, Y. Inayoshi, M. Suemitsu, T. Yara, S. Nakajima, T. Uehara, Y.

Toyoshima
(10) Vacancy formation during oxidation of silicon crystal surface, Appl. Phys. Lett., 93(2008) pp101904-101906. M. Suezawa, Y. Yamamoto, M. Suemitsu, N. Usami, and I. Yonenaga
(11) Empirical Potential Approach to the Formation of 3C-SiC/Si(110), Appl. Phys. Express (2008), in print. Tomonori Ito*, Toru Kanno, Toru Akiyama1, Kohji Nakamura, Atsushi Konno, Maki Suemitsu
(12) Graphene formation on a 3C-SiC(111) thin film grown on Si(110) substrate , e-J. Surf. Sci. Nanotech. (2008), in print.
(13) M. Suemitsu, Y. Miyamoto, H. Hanada, and A. Konno, 四角い断面をもった金属酸化物ナノチューブ, 応用物理 77(2008)pp1235-1239 末光眞希,半田浩之,阿部俊三
(14) 二酸化モリブデン(MoO2)ナノチューブ研究の現状, 機械の研究 60(2008)pp1241-1245 半田浩之, 阿部俊三, 末光眞希

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：物件費 17,899 円，旅費 238,760 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二年度であった．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，ロジックの立場，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 20 年 11 月 19 日から 20 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. 数学を形式的に記述するときに基本的な抽象(abstraction)操作について考察した．この操作は，与えられた変数 x と表現 M から表現 abs(x, M) を構成する操作であり，その結果は M の x による抽象とよばれる．この操作の「逆操作」は具体化(instantiation)とよばれ，抽象 A を表現 N で具体化した結果は inst(A, N) とかかれる．抽象と具体化の間には以下の関係がある：inst(abs(x, M), N) = [N/x]M．これらの性質をもつ抽象操作を実現する具体的な新しい方法を提案した．

2. 等式論理の帰納的定理として形式化したプログラムの性質の自動検証においては，適切な補題の発見が証明成功の１つの鍵である．このため，さまざまな補題の自動生成法が提案されている．帰納的定理の自動証明法における補題の自動生成法の１つで

ある健全一般化法について，従来与えられていた条件の誤りを発見し反例を与えるとともに，その他の条件の一部を緩和し，より広範囲に適用可能な健全一般化法を提案した.

3. 合流性は計算モデルの基本的な性質として重要な性質である．項書き換えシステムの合流性検証システムとして，分割統治型の合流性検証システムを設計・実現した．我々の合流性検証システムは，合流性を保証する複数の条件の検証と，部分システムの合流・非合流性から全体の合流・非合流性を判定する合流性のモジュラー性に基づく．これにより，単一の条件では合流性の判定が困難な例に対しても，複数の条件を組み合わせた合流性の検証が可能である.

4. 古典論理に基づく型体系から直観主義論理に基づく型体系への簡約を厳密に保存する(つまり 1 つの簡約が 1 つ以上の簡約に写す)変換を与えた。扱った古典論理型体系は，lambda-bar-mu，lambda-mu，call-by-name lambda-bar-mu-mu-tilde，call-by-value lambda-bar-mu-mu-tilde である．このような変換は他にもあるが，本研究では call-by-name lambda-bar-mu-mu-tilde の簡約を保存する変換は初めて与えられたものであり，いくつかの知られている変換は簡単な変換に分解して得られることを示した．また，これら変換により古典論理型体系の強正規化性を直ちに導くことができる.

5.「プログラムを生成するプログラム」を記述する言語であるマルチステージプログラミング(MSP)言語は，生成されたプログラムの型安全性が保証されるという特徴を有する一方，純粋なラムダ計算の範囲に限定されている，という問題点があった．今年度の研究では，実行効率の良いプログラムの生成で必要となる，制御演算子を導入した MSP 言語を設計し，型安全性や主型の存在など基礎理論を構築した．これにより，計算の効果(エフェクト)を利用した MSP が可能であることを明らかにした。

6. メタプログラミング言語の基盤的計算体系として提案されている Taha と Nielsen の λ^{α} と，その中に現れる環境分類子の概念に対する，カリーハワード同型対応を用いた論理的意味付けを行った．その結果，λ^{α} を修正することにより， 時間遷移列に関する量化子を持つ多次元線形時間時相論理とでも言うべき論理に対応し，環境分類子は時間遷移列上を動く変数として捉えられることがわかった.

7. 型付きラムダ計算に対する縮約可能性法を用いない強正規化性の証明を，合流性や標準化定理等，他の簡約の性質にも適用することに取り組んだ．これらの証明はシーケント計算の体系に基づく型システムを用いて与えることができる．また，それらの方法をインターセクション型システムに対する体系にも拡張し，型付きラムダ項の性質を証明するための手法として，本研究の方法が一般的かつ統一的な手法であることを示した.

8. 値呼び計算と名前呼び計算の双対性について分析をし，従来は等号関係に基づく計算体系で知られていた双対性を簡約関係に基づく計算体系に強められることを証明した．これは Wadler が与えた双対計算とラムダミュー計算の等号体系を用いて証明した手法を，計算に非本質的な部分を除去し、簡約体系に置き換えることで行われた. これにより Wadler が 2005 年に未解決として提案した問題に答えた.

9. 値呼びラムダ計算の CPS 変換として，その操作的意味に関して完全であるものを与えた. 既に等号理論によって与えられる意味において完全な CPS 変換は知られていたが，本研究では，新たに CPS 言語を定義することにより，操作的意味，すなわち簡約関係について完全であるような CPS 変換を定義した．また，この議論が値呼びラムダミュー計算に対して自然に拡張できることを示した.

（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] Masahiko Sato. A framework for checking proofs naturally. Journal of Intelligent Information Systems, vol. 31, 111—125, 2008.

[2] Masahiko Sato. External and internal syntax of the lambda-calculus. In Buchberger, Ida, Kutsia (Eds.), Proc. of the Austrian-Japanese Workshop on Symbolic Computation in Software Science, SCSS 2008, 176 — 195, 2008.

[3] Takahito Aoto. Sound lemma generation for proving inductive validity of equations. In Proceedings of the 28th International Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2008), Bangalore, India, December 2008, pp. 13-24, Dagstuhl Seminar Proceedings, Vol. 08004, IBFI, Schloss Dagstuhl, Germany.

[4] Takahito Aoto. Designing a rewriting induction prover with an increased capability of non-orientable theorems. In Proceedings of Austrian-Japanese Workshop on Symbolic Computation in Software Science (SCSS 2008), Hagenberg, Austria, July 2008, pp. 1-15, RISC Technical Report 08-08.

[5] Yukiyoshi Kameyama, Takuo Yonezawa. Typed Dynamic Control Operators for Delimited Continuations. Proc. International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2008), Lecture Notes in Computer Science 4989, pp. 239-254, Apr. 2008.

[6] Yukiyoshi Kameyama and Kenichi Asai. Strong Normalizatoin of Polymorphic Calculus for Delimited Continuations. Proc. Symbolic Computation in Software Science (SCSS 2008), RISC-Linz Report Series No. 08-08, pp. 96-108, Hagenberg, Austria, July. 2008.

[7] Jefferson O. Andrade and Yukiyoshi Kameyama. A Direct Algorithm for Multi-Valued Bounded Model Checking. Proc. International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA 2008), Lecture Notes in Computer Science 5311, pp. 80-94, Oct. 2008.

[8] Yukiyoshi Kameyama, Oleg Kiselyov, and Chung-chieh Shan. Shifting the Stage — Staging with Delimited Control. Proc. ACM SIGPLAN Symposium on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'09), Savannah, USA, pp. 111-120, Jan. 2009.

[9] Naokata Shikuma and Atsushi Igarashi. Proving noninterference by a fully complete translation to the simply typed λ-calculus. Logical Methods in Computer Science, 4(3:10):1-31, September 2008.

[10] Kensuke Kojima and Atsushi Igarashi. On constructive linear-time temporal logic. In Proceedings of the Intutionistic Modal Logics and Applications Workshop (IMLA'08), Pittsburgh, PA, June 2008.

[11] Takeshi Tsukada and Atsushi Igarashi. A Logical Foundation for Environment Classifiers. To appear in Proceedings of 9th International Conference on Typed Lambda-Calculi and Applications (TLCA 2009).

[12] Kentaro Kikuchi. Call-by-Name Reduction and Cut-Elimination in Classical Logic, Annals of Pure and Applied Logic, Vol. 153, No. 1-3, pp. 38-65, 2008.

[13] Kentaro Kikuchi and Stéphane Lengrand. Strong Normalisation of Cut-Elimination that Simulates β-Reduction, in Proceedings of the 11th International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures (FoSSaCS 2008), LNCS 4962, pp. 380-394, 2008.

[14] 木村大輔, 角谷良彦. 古典様相論理に対応する計算体系. 第11回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集, pp. 23-37, 2009年3月.

[15] Koji Nakazawa, Makoto Tatsuta, Yukiyoshi Kameyama, and Hiroshi Nakano. Undecidability of type-checking in domain-free typed lambda-calculi with existence. In Michael Kaminski and Simone Martini, editors, Computer Science Logic (CSL 2008), volume 5213 of Lecture Notes in Computer Science, pages 478 - 492. Springer-Verlag, 2008.

[16] Koji Nakazawa and Makoto Tatsuta. Type checking and inference for polymorphic and existential types. In Computing: The Australasian Theory Symposium (CATS 2009), January 2009.

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）
佐藤岳彦　（東北大学流体科学研究所）
服部邦彦　（日本工業大学共通教育系）
船木一幸　（宇宙航空研究開発機構）
佐々木浩一（名古屋大学大学院工学研究科）
中島秀紀　（九州大学総合理工学研究院）
篠原俊二郎（九州大学大学院総合理工学研究院）
佐藤 浩之助（九州大学応用力学研究所）
佐宗章弘　（名古屋大学大学院工学研究科）
小紫公也　（東京大学大学院
新領域創成科学研究科）
津島 晴　（横浜国立大学大学院）
戸張博之（日本原子力研究開発機構）
北野勝久（大阪大学大学院工学研究科）
田中雅慶（九州大学大学院総合理工学研究院）
高木浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）
水野　彰（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）
都木恭一郎（東京農工大学共生科学技術研究院）
吉村信次（核融合科学研究所）
永田正義（兵庫県立大学工学研究科）
永岡賢一（核融合科学研究所）
上杉喜彦（金沢大学自然科学研究科）
津守克嘉（核融合科学研究所）
林　信哉（佐賀大学理工学部）
永津雅章（静岡大学創造科学技術大学院）
竹入康彦（核融合科学研究所）
市村　真（筑波大学数理物質科学研究科）

研究費：物件費　5 万円、旅費　46 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した。これまで様々な立場で研究が行われてきたプラズマ流の生成･制御法を総合的に理解し､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ることを目的として開催された。
以下に、本年度開催した研究討論会の概要を記す。

第１回
日　時：平成 20 年 8 月 5 日（火）
東北大学工学部電気情報館北研究棟にて、服部邦彦氏（日本工大）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 9 月 3 日（水）
東北大学工学部電気情報館北研究棟にて、米国の Jared Squire 氏(Ad Astra)を交えて高密度プラズマ流の形成と加熱手法と、宇宙推進技術への応用に関する討論会を開催した。新しい先進宇宙推進技術として要求される項目や最新の米国での技術開発の紹介が行われた。

第３回
日　時：平成 21 年 2 月 27 日（金）、28 日（土）
東北大学工学部電気情報館 103 講義室にて、「流れが関与するプラズマ物性の基礎と応用」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) 永田正義　(兵庫県立大学)
“スフェロマックの磁気ヘリシティ入射とフロー”
(2) 吉沼幹朗 (核融合科学研)
“ＬHDにおけるトロイダル流の観測”
(3) 永岡賢一　(核融合科学研)
“方向性プローブを用いた高速イオン異常輸送の研究”
(4) 田中雅慶　(九大・総理工)
“中性粒子の流れと相互作用するプラズマの渦”
(5) 寺坂 健一郎　(九大・総理工)
“発散磁場領域におけるイオンの流れ測定”
(6) 吉村信次　(核融合科学研)
“プラズマホール流速場計測の最近の進展”
(7) 條　真悟、荒巻良介、安藤　晃　(東北大)
“超アルヴェン速プラズマ流形成への試み”
(8) 室　大志、市村　真　(筑波大)
“マッハプローブを用いたＧAMMA１０での周辺プラズマ流計測”
(9) 上杉喜彦　(金沢大・自然科学)
“産業用大電流アークプラズマにおけるプラズマ－材料相互作用とダイバータ研究への応用”
(10) 高木浩一　(岩手大・工)
“パルスパワーの農業・食品分野への応用”
(11) 稲吉陽平、松本光正、村重正悟、末光眞希、他　(東北大学電気通信研究所)
“パルス電界常圧プラズマ CVD による Si 薄膜の膜厚・膜質分布””

［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、最近の実験結果に関する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、米国の Ad Astra 社の Jared Squire 氏との研究討論により、月輸送船や将来の有人火星探査に必要な大型宇宙推進機開発にとって必要な技術開発項目について議論を行い、高密度プラズマ流の形成と加熱手法に関する最新の実験結果と、実験・理論解析など多方面での知見を得ることが出来た。また最新の米国での技術開発の紹介があり、今後の共同研究に関しても意見交換を行った。

第３に、「流れが関与するプラズマ物性の基礎と応用」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。

まず兵庫県立大の永田氏より、磁気ヘリシティ保存に基づき生成維持されるスフェロマック／球状トカマクプラズマにおいて、プラズマ流計測を行った結果について報告がなされ、イオン流による v×B 電場形成と電流駆動との関係が示された。また、独創的なダイナモプローブによって速度と磁場揺動の３方向を同時計測し、ダイナモ電場がヘリシティ電流駆動に関与していることを示した。

核融合科学研究所の吉沼幹朗氏より、環状磁場閉じ込め装置におけるトロイダル流の重要性と、LHD 装置での自発的トロイダル流の観測結果について報告があった。NBI 駆動のトロイダル流はプラズマ中心に局在し、周辺部ではその寄与は少ないことや、径電場により周辺部と中心部では異なる向きにトロイダル流を駆動していることなどが報告された。

つづいて核融合科学研究所の永岡賢一氏より、プラズマの流れを計測する方向性プローブを、プラズマ中の高速イオン計測に適用した研究について紹介があった。磁気プローブとの組み合わせにより、磁場揺動とそれと相互作用する高速イオンを同時同位置計測することに成功し、高速イオンの定量的評価法を見出したことなどが報告された。

九大・総理工の田中雅慶氏より、中性粒子の流れと相互作用するプラズマの渦について最近の実験結果の報告があった。半導体レーザーを用いた高精度中性粒子の流れ計測法の紹介があり、中性粒子とイオンの結合運動方程式に中性粒子の化学ポテンシャルを導入し、イオンの運動が中性粒子の”場”の中の運動としてとらえられること示した。

九大・総理工の寺坂健一郎氏からは、電気推進技術の開発や発展において重要な役割を果たす発散磁場領域のプラズマ流れに関し報告がなされ、電場加速の評価と発散磁場領域の詳細な測定を行った結果について報告があった。

核融合研の吉村信次氏から、実験室 ECR プラズマ中において中心軸のまわりに密度ホールを伴った特異な渦構造（プラズマホール）の自発的形成が観測され、方向性ラングミュアプローブを用いたプラズマホールの流速場計測から、自己電場による周方向の高速回転や粘性の効果と考えられる径方向の流れの存在が明らかになったことが報告された。

つぎに、東北大の條氏から、超音速・超アルヴェン速プラズマの形成を目指した実験研究の最新の結果について報告がなされた。イオンマッハ数 M_i とアルヴェンマッハ数 M_A がともに１を越える超アルヴェン速プラズマ流の形成が確認されたことや、M_i、M_A の軸方向分布の同時測定を行った結果について報告があった。

筑波大の室氏からは、タンデムミラー型プラズマ

実験装置 GAMMA10 セントラル部においてプラズマ流計測を行った結果について報告がなされた。4 方向型マッハプローブによりプラズマ流のピッチ角とマッハ数の同時計測をおこない、電子サイクロトロン共鳴加熱印加時のピッチ角及びマッハ数変化を解析した結果について報告があった。

さらに、金沢大の上杉喜彦氏からは産業用大電流アークプラズマを用いた材料開発とダイバータ研究への応用に関する話題提供があり、岩手大の高木浩一氏からは高電圧ナノ秒オーダーのパルスパワー機器の開発や、これを用いた農業・食品分野への応用に関し興味深い報告がなされた。東北大の稲吉陽平氏からは大気圧下でのパルス電界によるプラズマ CVD 法を用いたシリコン薄膜の膜厚・膜質分布制御法に関し最新の研究成果について報告がなされた。

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、宇宙推進や核融合研究、半導体から農業にいたるまで、様々な産業への応用が展開されつつあるプラズマ流に関する話題と研究成果が報告され、討論が行われた。プラズマの加速、加熱、渦形成、計測手法などについて議論や情報交換を行い、自然界や産業応用研究など多様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形成や農業技術への展開についても紹介があり、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] A Ando, T Hagiwara, T Komagome, K Hattori, M Inutake, “Generation of supersonic and super-Alfvénic flow by using ICRF heating and a magnetic nozzle” Plasma Fusion Res., Vol. 3, S1018_1-5, (2008).

[2] A Ando, T Hagiwara, M Domon, T Taguchi, “High Power Ion Heating in Helium and Hydrogen Plasmas for Advanced Plasma Thrusters”, Proc. of the 26th International Symposium on Space Technology and Science, 008-b-49, pp.1-5, (2008).

[3] A Ando, C H Moon, S Jo, and T Taguchi, “Generation of supersonic and super-Alfvenic flow with an open magnetic field”, Proc. of the 7th International Conference on Open Magnetic System for Plasma Confinement, O05, pp.5 (2008)

[4] A Ando, S Jo, T Taguchi, R Aramaki, J Komuro, “Ion Heating and Acceleration in Helium and Hydrogen Plasmas for Advanced Plasma”, Proc. of International Interdisciplinary-symposium on Gaseous and Liquid Plasmas, GP-P13, pp.119-122, (2008).

[5] Nagaoka K, Watanabe KY, Osakabe M, et al., “Fast ion measurement using a hybrid directional probe in the large helical device”, Rev. Sci. Instrum., Vol.79, 10E523 (2008).

[6] Nagaoka K, Isobe M, Toi K, et al., “Local observations of fast ion responses to energetic particle modes using a directional probe in the Compact Helical System (CHS)”, Nucl. Fusion., Vol.48, 084005 (2008).

[7] Bhattacharyay R, Zushi H, Fukumoto N, Nagata M, et al., “Effects of magnetic field and target plasma on the penetration behaviour of compact toroid plasma by heat load measurements in CPD”, Nucl. Fusion., Vol.48, 105001 (2008).

[8] Yokoyama M, Nagaoka K, Yoshinuma M, et al., “Extension of the high-ion-temperature regime in the Large Helical Device”, Phys. Plasmas, Vol.15, 056111 (2008).

[9] Ida K, Sakamoto Y, Yoshinuma M, et al., “Measurement of derivative of ion temperature using high spatial resolution charge exchange spectroscopy with space modulation optics”, Rev. Sci. Instrum. Vol.79, 053506 (2008).

[10] Takaki K, Kanesawa K, Mukaigawa S, et al., "Energy efficiency of corona discharge reactor driven by inductive energy storage system pulsed power generator", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Ins. Vol.14, 834-845 (2007).

[11] Tanaka MY, Yoshimura S, "Quasi-neutrality breaking in a rotating plasma", IEEE Trans. Plasma Sci. Vol.36, 1224-1225 (2008).

[12] Tanaka Y, Uesugi Y, Sakuta T, "Controlling the number of excited atoms flowing into the reaction chamber using pulse-modulated induction thermal plasmas at atmospheric pressure", Plasma Source Sci. Tech. Vol.16, 281-289 (2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０１

採択回数	①	２	３

金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究

［１］組織

代表者：玉田　薫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
宮野健次郎　（東京大学先端科学技術研究センター）
田丸　博晴　（東京大学大学院工学研究科）
立間　徹　（東京大学生産技術研究所）
梶川浩太郎　（東京工業大学総合理工学研究科）
真島　豊　（東京工業大学理工学研究科）
寺西　利治　（筑波大学大学院数理物質科学研究科）
加野　裕　（室蘭工業大学工学部）
馬場　暁　（新潟大学超域研究機構）
福田　伸子　（産業技術総合研究所光技術研究部門）
石原　照也　（東北大学大学院理学研究科）
畠山　力三　（東北大学大学院工学研究科）
高橋　研　（東北大学未来科学技術共同研究センター）
小川　智之　（東北大学特定領域研究推進支援センター）
三ツ石方也　（東北大学多元物質科学研究所）
上原　洋一　（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）
木村　康男　（東北大学電気通信研究所）
Priastuti Wulandari
（東北大学多元物質科学研究所）

研究費：校費５万円，旅費３２万５千円

［２］研究経過

金属ナノ材料は、新奇ナノ構造体合成法に関する化学的アプローチ、表面プラズモンおよびメタマテリアルに関する基礎および応用光学研究、クーロンブロッケード単一電子素子などのナノエレクトロニクスデバイス開発、高感度ナノバイオセンシング応用など、さまざまな研究分野において近年めざましい発展を遂げている。このプロジェクト研究ではそれぞれ異なる学会に所属する研究者を「金属ナノ材料」をキーワードに一同に集め、ニーズおよびシーズ情報交換の場を提供するとともに、そのアウトプットとして、金属ナノ材料の情報通信分野への応用展開についての指標を明確にすることを目的とする。たとえば、光通信と電気通信の間に位置するプラズモン情報通信を例にあげても、その将来性について期待が高まる一方で、なかなか具体的なデバイス像は提示されていないのが現状である。発展めざましいこの分野において、これまでの研究成果を一度整理し、情報の入力・変換・伝達・分離・結合・出力・集積化などを軸に再考することは、今の時期非常に重要である。

本プロジェクトでは、本研究分野に関わる 30-40 代若手研究者を中心に組織メンバーを構成し、下記の通り２回の研究会を開催した。以下に、研究会のプログラムを付記する。

第一回研究会
日時：2008 年 10 月 10 日(金)　13:00-17:35
場所：東北大学電気通信研究所
付属ナノスピン研究棟
４階カンファレンスルーム

１．開会挨拶
玉田　薫（東北大学・電気通信研究所）
２．FDTD 法によるプラズモン計算とその精度
田丸　博晴（東京大学・先端研）
３．金属ナノ構造で増感された非線形光学効果によるセンシング
梶川　浩太郎（東京工業大学・総合理工）
４．プラズモン共鳴を利用した電気化学反応とその応用
立間　徹（東京大学・生産研）
５．金属ナノ人工構造体の光学応答
石原　照也（東北大学・大学院理学研究科）
６．プラズモンによる増強を目指した高分子ナノ集積体の構築
三ツ石　方也（東北大学・多元研）
７．超常磁性ナノ粒子の化学合成とその高周波

磁気特性
小川　智之、高橋　研(東北大学・特定領研究推進支援センター/未来科学技術共同研究センター)

第二回研究会
日時：2009年3月12日(木)　13:00-18:00
場所：東北大学電気通信研究所
付属ナノスピン研究棟
４階カンファレンスルーム

１．開会挨拶
玉田薫（東北大学電気通信研究所）
２．プラズマ基盤ナノカーボン構造制御とナノデバイス応用
畠山力三（東北大学・大学院工学研究科）
３．ボトムアッププロセスによる常温動作単電子デバイス
真島豊（東京工業大学・理工学研究科）
４．陽極酸化による室温動作単電子トランジスの作製
木村康男、武藤高見、庭野道夫
(東北大学電気通信研究所)
５．局所励起表面プラズモンによる高感度高空間分解能計測
加野裕（室蘭工業大学・電気電子工学科）
６．様々な無機ナノ粒子の精密合成とナノ電子デバイスへの応用
寺西利治（筑波大学・大学院数理物質科学）
７．STM発光振動分光：アルカンチオールで覆われた貴金属と時間分解計測
上原洋一（東北大学電気通信研究所）
８．金属格子上多重励起型表面プラズモン共鳴を利用したセンサー応用
馬場暁（新潟大学超域研究機構）
９．エバネッセント場を利用したストレス関連物質の検出
福田伸子（産業技術総合研究所光技術部門）

［３］成果
（３－１）研究成果
近年進展のめざましい金属ナノ構造体に関する研究であるが、研究の裾野は広く、まさに境界領域の研究課題である。ボトムアップナノテクノロジーを駆使しての微粒子合成（合成化学分野）においては、長年の課題であった粒径の揃った粒子合成手法の確立はもとより、さまざまな一次構造（粒径、形状、組成）を有する粒子や、コアシェル型などハイブリッド粒子の合成法の開発がめざましい。ナノ磁性粒子も、ナノ磁気デバイス開発のための重要な研究課題である。これらナノ微粒子の二次構造（空間配列）の制御も、デバイス作製の上で欠かせないものであり、粒子合成法とともに発展してきている(物理化学分野)。特にナノデバイスの分野においては、Åーナノレベルでの微粒子の空間位置制御が要求され、自己組織化技術は、このために不可欠となっている。一方、トップダウンナノテクノロジーでは、理論計算に基づく材料設計により、メタマテリアル等を中心とする新奇光学効果の発現を狙った研究が先行して進められている（物理学分野)。金属ナノ構造体の電場増強効果を利用した分光技術も、ナノ材料開発の発展とともに再び重要性が見直されている。

応用研究では、たとえば酸化物等異種材料との接合、微粒子集積化に関する研究が進められ（材料科学分野)、光電変換素子等の高効率化に貢献している。金属および金属ナノ構造体を用いたプラズモン計測技術も近年発展がめざましく、高感度バイオセンサー開発は、実用化研究一歩手前まで到達している。

これらの研究は、分野横断的研究環境において、それぞれの分野の研究者が協力・競合しつつ発展させていくべき課題である。特にナノ材料科学と情報通信分野との融合研究領域を確立するためには、分野横断的研究環境の確立が重要であることを痛感した。

（３－２）波及効果と発展性など
本研究会は金属ナノ構造体を研究対象に、分野を超えた議論の場を提供することを目的として開催された。年２回の研究会を通じて、ナノ材料開発を進める化学者と、物性・デバイス研究者との間で、最新情報の交換が充分に行えたと考えている。またプラズモンを中心とするナノフォトニクス／ナノオプティクス研究者と、単電子デバイスを中心とするナノエレクトロニクス研究者のそれぞれの研究の相違点について、両者を比較検討することにより明確に理解できたと考えている。

今後の展開として、本研究会を通じて形成された研究者ネットワークを通じて、次年度以降具体的な共同研究を展開する計画である。また、外部への情報発信として、本研究会メンバーが中心となり（玉田・三ツ石・馬場)、平成21年春季応用物理学会では「マイクロ・ナノ粒子を用いた機能設計」というタイトルでシンポジウムを開催する計画である（平成21年３月30日筑波大学)。

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０２

採択回数	①　２　３

高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用

［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 55 万 4 千円

［2］研究経過

本研究会は、次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価、更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い、研究・開発を進めることを目的に行われている。本年度は平成 21 年 2 月 2、3 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 2009」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、富山県立大学の安達正利氏による「$KNbO_3$ 系強誘電体単結晶の育成とその応用」と千葉大学の橋本研也氏による「2 次元高速走査可能な RF 帯 SAW/BAW デバイス用光プローブ」と題する招待講演 2 件を含む計 31 件の研究発表が行われた。参加者は約 100 名であり活発なシンポジウムとなった。各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである。

(A) 圧電体・強誘電体

$KNbO_3$ 系強誘電体単結晶の育成に関する招待講演に引き続き、水熱合成法で作製されたナノサイズ $BaTiO_3$ からの二段階焼結法を用いた高性能セラミックスの作製法、同じく水熱合成法により作製された $KNbO_3$ 及び $NaNbO_3$ 微小粉末からの $(K_xNa_{1-x})NbO_3$ の焼成、$(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO_3$ 系非鉛強誘電体セラミックスのハイパワー特性、ペロブスカイト薄膜の微細構造と圧電性との関係、組成制御に優れた有機金属分解法による $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O$-$PbZrO_3$-$PbTiO_3$ 膜の作製とその電気特性について発表があった。

(B) 単結晶育成・評価

μ-PD 法による化学量論組成からの $KNbO_3$ 結晶ファイバーの育成、超音波材料解析システムを用いた ZnO 単結晶の導電性と音響特性の測定、及び 6H-SiC 単結晶の評価について発表があった。

(C) バルク波・薄膜デバイス

水熱合成 PZT 多結晶薄膜を用いた小型超音波プローブの作製と評価、ZnO 膜の c 軸の傾斜方向が反転した多層膜構造の横波共振子、CVD 法で成膜された $LiNbO_3$ 高周波ラム波デバイス、非接触平行電界励振厚み振動子、Air-gap 型圧電薄膜共振器を用いた K バンドフィルタ、LSI 基板上への単結晶シリコン貼り付け技術を用いた AlN バルク波デバイスについて発表があった。

(D) 弾性表面波

GHz 帯の振動分布を測定可能な光プローブ装置の招待講演に続き、SAW デバイスシミュレーションにおけるモード結合パラメータの周波数依存性、AlN/ダイヤモンド構造の SHF 帯 SAW 共振子、SAW 変換器を複素係数フィルタとして利用して平衡増幅

器へ適用する提案、周波数特性の制御やセンサへの応用が期待される二次元電子ガスを電極とするAlGaN/GaN SAW素子について発表があった。

(E) 計測・評価

Brillouin 散乱法による圧電半導体の面内方向の抵抗率評価、イオンビームスパッタ法による(11-20)配向AlN薄膜の作製とその圧電特性、直線集束ビーム超音波材料解析システムを用いた、均質なTiO_2-SiO_2超低膨張ガラスの評価、超音波マイクロスペクトロスコピー技術による合成石英ガラスのCl、OH濃度、及び仮想温度と音響特性の評価について発表があった。

(F)アクチュエータ

非接触型超音波モータにおけるギャップ空間の音響インピーダンスの測定、単相駆動$LiNbO_3$超音波モータの電極パターニングによる結合モード特性の改善、開閉電気接点の衝突弾性振動（バウンス）に関する検討について発表があった。

(G)センサ

圧電基板を伝搬するSAWにより液滴を搬送しSAWセンサで測定を行うマイクロ実験室、高温相の水晶振動子の温度特性を利用したワイヤレス温度センサ、軸外スピンコート法により感応膜を塗布したボールSAWセンサ、ボールSAWセンサを用いたガスクロマトグラフのためのシリコンガラス陽極接合構造のパックドカラム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、非鉛系圧電材料の育成及び評価の研究が進められ、$KNbO_3$、(K,Li)NbO_3、$KNbO_3$-$KTaO_3$単結晶の育成、水熱合成法で作製された微小粉末を用いた高品質$BaTiO_3$の焼成が可能となった。また、菱面体組成BNLKT4-100zに$MnCO_3$を添付することでQ_mが増加することやハイパワー特性に優れていることが明らかになった。マイクロ引き下げ法の育成炉を改良し、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育成し、ノズル下の温度勾配について検討した。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、誘電緩和による音速の分散と減衰係数から導電性の評価を行った。LFB-UMCシステムにより、6H-SiC単結晶の音響特性の評価と音響関連物理定数の決定を行った。また、直線集束ビーム超音波材料解析システムを用いてスート法で作製されたTiO_2-SiO_2超低膨張ガラスと、それを帯域溶融法により均質化したときの均質性を評価し、高度に均質化されていることを明らかにした。超音波マイクロスペクトロスコピー技術により合成石英ガラスのCl及びOH濃度や仮想温度と音響特性との関係を求めた。

バルク波・弾性表面波関連では、水熱合成法によりチタンワイヤの端面に成膜したPZT多結晶膜を用いて、振動子径0.6mmの小型超音波プローブを試作した。CVD法で成膜した$LiNbO_3$薄膜を用い、4.5GHzで動作する比帯域幅7.2%の高周波広帯域ラム波共振子を得た。圧電板の主面に平行な電界を印加して振動を励振する平行電界励振において、外部の非接触電極を用いて励振する方法を検討し、$LiTaO_3$ 130°Y板を用いることでスプリアスの少ない厚みすべり振動子が得られることを示した。エアギャップ型FBARを用いたKバンドフィルタについて検討し、中心周波数19.8GHz最小挿入損失4.1dB、3dB比帯域幅2.0%の特性を得た。サニャック干渉計とヘテロダイン検出回路を用いることで、2.5GHz帯のSAW及びBAWデバイスの振動分布を測定できる（振幅のみでなく位相を検出できる）光プローブ装置を実現した。AlN/ダイヤモンド構造のSHF帯SAW共振子について膜厚と反射係数を検討し、Q値を向上し、4GHz帯で挿入損失10dBのフィルタを得た。複素係数フィルタの機能を有するSAWデバイスの実現を目指し、分割IDTを利用した低損失複素数フィルタを提案し、その試作を行った。二次元電子ガスを電極とするAlGaN/GaN SAW素子について、非線形動作・可変振幅動作、帯域オン／オフのスイッチング動作などが可能であることを示した。

アクチュエータ・センサ関連では、非接触型超音波モータにおけるギャップ空間の音響インピーダンスをステータのアドミタンス特性から求め、それを設計指針にすることの妥当性について検証した。$LiNbO_3$単結晶を用いた単層駆動超音波モータにおいて、駆動電極のパターニングによる特性改善を試み有効性を確認した。開閉電気接点の衝突弾性振動（バウンス）に関してそのメカニズムを詳細に検討した。圧電単結晶基板を伝搬するSAWにより液滴を搬送・混合しその場でSAWセンサにより測定を行うマイクロ実験室について、実際に動作を確認した。高温相の水晶振動子の温度特性を利用し、ワイヤレスで振動子の共振特性を測定することで、真空装置中の温度計測が可能な温度センサの600℃から1000℃で高精度測定が可能である見込みを得た。

（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) R. Komatsu, N. Mizukoshi, K. Makida and K. Tsukamoto, "In-situ observation of ettringite crystals", Journal of Crystal Growth 311, 1005 1008 (2009).
(2) K. Kashiwa, T. Omori, K. Hashimoto and M. Yamaguchi, "Improvement of Detection System for a Fast-Scanning and Phase-Sensitive Laser Probe for Surface Acoustic Wave Devices in 2 GHz Range", Jpn. J. Appl. Phys., 47, 5B, pp. 4108-4110 (2008).
(3) S. Shikata, S. Fujii and T.Sharda, "Fabrication of a film bulk acoustic wave resonator from nano-crystalline diamond", Diamond & Related Materials, 18, pp.253-257 (2008).
(4) Y. Yamashita and Y. Hosono, "High-Curie-Temperature Piezoelectric Single Crystal of the $Pb(In_{1/2}Nn_{1/2})O_3$-$Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ Ternary Materials System", Advanced Dielectric, Piezoelectric and Ferroelectric Materials -Synthesis, Characterization & Application, ISBN: 978-1-84569-186-8, pp.205-231.
(5) Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka, "Phase diagrams and electrical properties of ($Bi_{1/2}Na_{1/2}$) TiO_3-based solid solutions", J. Appl. Phys, 104, 124106 (pp. 124106-1--124106-7) (2008).
(6) J. Kondoh, N. Yasuda, M. Sugimoto, "Novel micro-laboratory on a piezoelectric substrate", 60th Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy, 2500-3, (2009).
(7)Y. Yamayoshi, T. Nakagawa, H. Tamura and S. Hirose, "Effects of gap distance on revolution speed of non-contact type ultrasonic motor using flexurally vibrating disk", Proc. The 29th Symposium on Ultrasonic Electronics, 3P8-28, pp. 507-508 (2008).
(8) T. Yokoyama, M. Hara, M. Ueda, Y. Satoh, "K-Band Ladder Filters Employing Air-Gap type Thin Film Bulk Acoustic Resonators", IEEE Proc. Ultrason. Symp., pp.598-601 (2008).
(9) K. Yamada, S. Kaneko and T. Nagasawa, "Bassic Study on Proximity Sensors Utilizing Air-Film Damping Effect Caused by Longitudinal -Mode Piezoelectric Vibrator", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.47, No.5, pp.3929-3930 (2008).
(10) M. Kadota, T. Ogami, K.Yamamoto, Y.Negoro, and H.Tochishita, "High Frequency Lamb Wave Device composed of $LiNbO_3$ Thin Film", Proc. IEEE Ultrason. Symp., p.1940-1943 (2008).
(11) H. Tamura, K. Shibata, M. Aoyagi, T. Takano, Y. Tomikawa, S.Hirose, "Single Phase Drive Ultrasonic Motor Using $LiNbO_3$ Rectangular Vibrator", Jpn. J. Appl. Phys., No.5B, Vol. 47, pp. 4015-4020 (2008).
(12) T. Karaki, K. Yan and M. Adachi, "Subgrain Microstructure in High-Performance $BaTiO_3$ Ceramics", Appl. Phys. Express 1 pp. 11402-1-11402-3 (2008).
(13) H. Hasegawa and H. Kanai, "Simultaneous Imaging of Artery-Wall Strain and Blood Flow by High Frame Rate Acquisition of RF Signals", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr, Vol. 55, No. 12, pp. 2626-2639 (2008).
(14) K. Nakamura, "Piezoelectric Thin Film BAW Devices (Invited) ", Proc. 2008 Joint Japan-USA International Meeting on Acoustic Wave Devices, pp.13-18 (2008).
(15) H. Sekimoto, J. Tamura, S. Goka and Y. Watanabe, "Numerical Analysis of Three-Dimensional Coupled Vibrations of Rectangular AT-Cut Quartz Plates with X-Edge Regions of Heavy Viscosity", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 5, pp.3702-3705 (2008).
(16) Y. Ohashi, M. Arakawa, J. Kushibiki, B.M. Epelbaum, and A. Winnacker, "Ultrasonic Microspectroscopy Characterization of AlN Single Crystals", Appl. Phys. Express, Vol. 1, No. 7, 077004-1～3 (2008).
(17) J. Kushibiki, M. Arakawa, T. Ueda, and A. Fujinoki, "Homogeneous TiO_2-SiO_2 Ultralow-Expansion Glass for Extreme Ultraviolet Lithography Evaluated by the Line-Focus-Beam Ultrasonic Material Characterization System", Appl. Phys. Express, Vol. 1, No. 8, 087002-1～3 (2008).
(18) J. Kushibiki, Y. Ohashi, M. Arakawa, and T. Tanaka, "A Promising Method of Evaluating ZnO Single Crystals Using the Line-Focus-Beam Ultrasonic Material-Characterization System", Appl. Phys. Express, Vol.2, No.2, 026501-1～3 (2009).
(19) T. Uno and S. Noge, "New Fabrication Technique of $LiNbO_3$ Thin Film on a Silica Substrate", Ferroelectrics Vol.367 pp.73-81 (2008).
(20) N. Wakatsuki, H. Honnma, "Breaking Contact Phenomena of Time-coordinated Non-arcing Relay", ICICE TRANS. ELECTRON., Vol.E91-C No.8 pp.1182-1186 (2008).

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０３

採択回数	①	２	３

新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究

［１］組織
代表者：渡部　平司
（大阪大学大学院工学研究科）
対応者：遠藤　哲郎
（東北大学学際科学国際高等研究センター）
分担者：
宮崎 誠一
（広島大学 大学院先端物質科学研究科）
堀口　文男
（東洋大学　工学部
コンピュテーショナル工学科）
内富　直隆
（長岡技術科学大学　工学部　電気系）
佐竹 郁夫
（大阪大学大学院理学研究科）
白石 賢二
（筑波大学　計算科学研究センター）
名取　研二
（筑波大学　数理物質科学研究科）
有門　経敏
（東京エレクトロン株式会社）
執行 直之
（(株)東芝　セミコンダクター社
メモリ事業部）

研究費：物件費　５万円，旅費４５万９千円

［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、半導体メモリは、シリコン集積回路の中核製品であり、次世代を担うため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７nm 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。そして、これら新規材料や新概念の物理

を活用して、近年スピンメモリや相変化メモリなど様々な新規メモリの提案・研究が活発化してきている。

このような状況の下、本年より、「新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体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。そして、今年度は初年度として、平成２１年３月１３日から14日の日程で以下に示す研究会を開催し、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１回　新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究

日時：２００９年　３月１３日～１４日

場所：東北大学電気通信研究所

２号館３階セミナー室

［３］成果

（３－１）研究成果

半導体メモリの大容量化・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、上述の研究会を開催し、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新規材料、②プロセス設計、③デバイス設計、④デバイス動作原理、⑤回路設計、⑥アーキテクチャー設計、⑦CAD 技術の各７項目に対して、幅広く議論した。

特に、新規材料に関しては、High-k 絶縁膜における膜中電荷の挙動とその絶縁特性の関係について系統的に議論し、High-k 絶縁膜の半導体メモリへの適応の可能性について考察した。

（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メモリセルの高速動作化に関する技術、③半導体メモリの高密度化・高速動作化を実現する回路技術に関する技術、④上述の性能を実現するために材料・プロセス技術など研究を通して、半導体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) K. Kutsuki, G. Okamoto, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, ” Characteristics of Pure Ge3N4 Dielectric Layers Formed by High-Density Plasma Nitridation”, Jpn. J. Appl. Phys.47 (4) 2415-2419 (2008)

(2) T. Ikuta, S. Fujita, H. Iwamoto, S. Kadomura, T. Shimura, H. Watanabe, and K. Yasutake, ” Investigation of In-situ Boron-Doped Si Selective Epitaxial Growth by Comparison with Arsenic Doping”, Jpn. J. Appl. Phys.47 (4) 2452-2455 (2008)

(3) H. Arimura, N. Kitano, Y. Naitou, Y. Oku, T. Minami, M. Kosuda, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, “Excellent Electrical Properties of TiO2/HfSiO/SiO2 Layered Higher-k Gate Dielectrics with Sub-1 nm Equivalent Oxide Thickness”, Appl. Phys. Lett.92 (21) 212902-1-3 (2008).

(4) T. Ikuta, S. Fujita, H. Iwamoto, H. Iwamoto, S. Kadomura, T. Shimura, H. Watanabe, and K. Yasutake, ” Selective Epitaxial Growth of In Situ Carbon-Doped Silicon on Silicon Substrates ” , Surface and Interface Analysis40 (2008) 1122-1125.

(5) H. Arimura, Y. Naitou, N. Kitano, Y. Oku, N. Yamaguchi, M. Kosuda, T. Hosoi, T. Shimura and H. Watanabe, ” Dielectric and Interface Properties of TiO2/HfSiO/SiO2 Layered Structures Fabricated by in situ PVD Method”, ECS Transactions16 (5) 121-129 (2008)

(6) Tetsuo Endoh, Kousuke Tanaka, Yuto

Norifusa, “Study of Self-Heating Phenomena in Si Nano Wire MOS Transistor”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices., 5A.1. ,pp. 101-105. Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

(7) Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, “High Performance Multi-Nano-Pillar Type Vertical MOSFET Scaling to 15nm Node”, 2008 International Meeting for Future Electron Devices in Kansai, A-3. Osaka, Japan, May 22-23, 2008.

(8) Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, “Scalability of Vertical MOSFETs in Sub-10nm generation and its Mechanism”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices. 5A.2.Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

(9) Masashi Kamiyanagi, Yuto Norifusa, Tetsuo Endoh, “Impact of 180nm Current Controlled MCML for realizing stable circuit operations under threshold voltage fluctuations”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices, 7B.2. Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

(10) Tetsuo Endoh and Masashi Kamiyanagi, , “Novel Concept Dynamic Feedback MCML Technique for High-Speed and High-Gain MCML type D-Flip Flop”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, ED2008-82, p.227-p.231, Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０４

採択回数	①　２　３

ナノ半導体材料とその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　数理物質科学研究科）
対応者：遠藤 哲郎
（東北大学学際科学国際高等研究センター）
分担者：
山田 啓作
（早稲田大学　ナノテクノロジー研究所）
蓮沼　隆
（筑波大学　数理物質科学研究科）
知京　豊裕
（独立行政法人　物質・材料研究機構
半導体材料センター）
品田　賢宏
（早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構）
猪川　洋
（静岡大学　電子工学研究所）
中山　隆史
（千葉大学　大学院理学研究科）
白石賢二
（筑波大学　数理物質科学研究科）

研究費：物件費　５万円，旅費３４万３千円

［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、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 16 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。今年度は平成２１年３月１３日、１４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。

第１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：２００９年　3月１３日～１４日
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階セミナー室

具体的には、以下の研究活動を行った。

1)　Si(111)表面の原子的平坦なテラス表面の極薄シリコン酸化膜の表面・界面ラフネス

シリコン酸化膜の表面・界面の原子的凹凸を調査し、極薄化における技術課題について，特に絶縁膜の破壊機構に注目して研究を進めた。

原子的に平坦なシリコン単結晶表面を熱酸化することによって、シリコン酸化膜表面・界面の原子レベルのマイクロラフネスを観察することができるようになった。これは、鏡面研摩表面では見出せない状態である。

極薄膜(1nm以下)領域から数10nm程度の厚い領域までの表面・界面のラフネスの変化を見ると、10nm程度の膜厚で表面・界面いずれのラフネスも飽和し、そのラフネスを表すrms値は、鏡面研摩シリコン面と同程度になった。これは、鏡面研摩表面を用いた場合には、本研究の結果は、分解能以下領域に埋もれてしまうことを意味し、原子的平坦面を得ることによって、初めて観察されたことになる。また、この酸化条件での酸化時間に対する膜厚のプロットを見ると、初期酸化領域がほぼ10nm程度であることがわかり、上記ラフネス増加が飽和する膜厚となる。初期酸化は、Deal-Groveモデルでは説明できない領域と、モデル発表当初より、指摘されていた。最近、影島らは熱酸化時にシリコン酸化膜/シリコン界面から放出される未酸化シリコン(主にSi-0)の酸化により説明でき

ることをシミュレーションで明らかにしている。このことを考え合わせると、上記シリコン酸化膜表面のラフネスの成長が、未酸化シリコンの放出と強く関連していることがわかる。

2) Si(110)、Si(100)面での表面ラフネス変化

Si(100)面は、Si(111)と異なり、ウェット処理では原子テラスを出すことはできないが、非酸化性雰囲気での高温熱処理により可能である。両者の初期表面は、Si(111)面より、高いrms値をもち、荒れている。これは、高温熱処理中の再構成よりSi(100)面では1x2が、Si(110)では16x2がSi(111)面のrms0.03nmに比較して、Si(100)面が0.047nm、Si(110)面が0.054nmとなっている。また、Si(111)面にも見られたrmsの緩やかな増加領域での増加速度は、Si(111)>Si(100)>Si(110)の順で減少する。それに伴って、ほとんどrmsが増えない領域は、Si(110)がもっとも厚い膜厚まで広がっている。Si(110)の酸化速度化がもっと大きく、植松らのシミュレーションによれば、Si(111)での酸化時に放出される未酸化Siは、Si(100)の0.4倍とされている。これが正しいとすれば、酸化膜表面の凹凸は、未酸化Siの放出量だけでは説明できないことになる。凹凸の形状を見ると、膜厚の増加とともに、突起の数はそれほど変化しないが、大きさが増している。つまり、rmsの増加には、形状効果が含まれている。その突起の成長には、界面形状、膜硬さ、表面拡散などの効果が関与していると推察される。

3) 極薄シリコン酸化膜の破壊現象

上述した超平坦シリコン上に形成したシリコン酸化膜の絶縁破壊現象の解明を開始した。具体的には、絶縁膜に印加するストレスシーケンスとその後の回復処理シーケンスを様々変化させて、絶縁膜の信頼性特性に対する影響を観察した。

これらについて、研究討論会を東北大学電気通信研究所にて1回開催し、21年度に向けての研究の方向を討論した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下のことが明らかとなった。

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。

さらに、Si(111)表面の原子ステップにおける絶縁破壊とその回復機構の関係を解明するための糸口が見えた。特に、ストレスを印加するシーケンスと回復処理の順番などを今後系統的に取得していくことで、新たな知見が見えてくると考える。

（3－2）波及効果と発展性など

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破壊機構に関する成果は、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、並びに、ナノデバイスの信頼性の科学に大きく貢献するものと考えられる。

［4］成果資料

(1) Katsuya Kamata,Ryouta Ozaki,Ryu Hasunuma,Kikuo Yamabe, “The Effect of Infiltration on Atomic Step Flow”, First International Symposium on Interdisciplinary Materials Science[ISIMS-2008],2008

(2) S.Okamoto, R.Hasunuma, K.Yamabe,” Dielectric Characteristics of SiO2 Film Formed by Radical Oxygen ”, First International Symposium on Interdisciplinary Materials Science[ISIMS-2008],2008

(3) Tetsuo Endoh, Kousuke Tanaka, Yuto Norifusa, “ Study of Self-Heating Phenomena in Si Nano Wire MOS

Transistor”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices., 5A.1. ,pp. 101-105. Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

(4) Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, “High Performance Multi-Nano-Pillar Type Vertical MOSFET Scaling to 15nm Node”, 2008 International Meeting for Future Electron Devices in Kansai, A-3. Osaka, Japan, May 22-23, 2008.

(5) Yuto Norifusa and Tetsuo Endoh, “Scalability of Vertical MOSFETs in Sub-10nm generation and its Mechanism”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices. 5A.2.Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

(6) Masashi Kamiyanagi, Yuto Norifusa, Tetsuo Endoh, “Impact of 180nm Current Controlled MCML for realizing stable circuit operations under threshold voltage fluctuations”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices, 7B.2. Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

(7) Tetsuo Endoh and Masashi Kamiyanagi, , “Novel Concept Dynamic Feedback MCML Technique for High-Speed and High-Gain MCML type D-Flip Flop”, 2008 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, ED2008-82, p.227-p.231, Hokkaido, Japan, July 9-11, 2008.

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０５

採択回数	①　２　３

半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合 –技術を先導する半導体サイエンスを目指して–

[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）
遠藤　哲郎（東北大・学際センタ）
名取　研二（筑波大院・数理物質科学研究科）
平山　祥郎（東北大院・理学研究科）
宮崎　誠一（広島大院・先端物質科学研究科）
名西やすし（立命館大・理工学部）

研究費：物件費 50,000 円,　旅費 401,000 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。

上記のように新しいサイエンスが次世代のデバイス開発に必要不可欠であると言われて久しいがどのようなサイエンスを創成すべきか？という疑問に対しては必ずしも明快な解答がない状況が続いていた。これはサイエンスとテクノロジーが半ば分断されており、次世代のデバイスのブレークスルーに必要なサイエンスを問いただして来なかったことにその原因がある。また、次世代の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ことも指摘されて久しい。

このような状況の下、平成２０年に「半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合 –技術を先導する半導体サイエンスを目指して–」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、半導体サイエンスと半導体テクノロジーの国内を代表する研究者をメンバーとして組織し、共同プロジェクト研究会で分野横断的かつ緊密な議論を行い、現時点では半ば分断されているサイエンスとテクノロジーが無理なく連携できるようになり、科学技術立国日本の再生への極めて重要な足がかりを作ることである。

第１回当該共同プロジェクト研究会は平成２０年１２月５日（金）～６日（土）にかけて、宮城県仙台市の「ウェルサンピア仙台（仙台市若林区蒲町字東１０）」で開催され、１８名の参加者による１７件の成果発表と極めて活発な討論が行われた。

[3] 成果

（３－１）研究成果

平成２０年度の第１回共同プロジェクト研究会は研究分担者に「半導体サイエンス、半導体テクノロジーおよびその融合」に関する研究発表を募集して、平成２０年１２月５日（金）～６日（土）にかけて、宮城県仙台市の「ウェルサンピア仙台」で開催した。本研究会では、１８名の参加者によって熱のこもった討論が展開され、分断されているサイエンスとテクノロジーの間を埋め、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。

---

12 月 5 日（金）

1. 13:05-13:10 はじめに
白石賢二　（筑波大院数物）

2. 13:10-13:35 混晶半導体薄膜の原子配列に関する

理論検討
伊藤 智徳　（三重大工）

3. 13:35-14:00 自立基板結晶を目指したAlGaN三元混晶のHVPE成長
纐纈 明伯　（東京農工大工）

4. 14:00-14:25 ＧａＮ中のＧａ空孔を起源とする磁性秩序
押山 淳　（東大院工）

5. 14:25-14:50　Making non-magnetic surfaces magnetic (Part 2)
長谷川修司　（東大院理）

6. 14:50-15:15　Si(111)√3×√3-Ag表面上のAg成長
一宮 彪彦　（日本女子大理）

休憩15分　(15:15－15:30)

7. 15:30-15:55　半導体量子構造における高感度抵抗検出NMR
平山 祥郎　（東北大院理）

8. 15:55:16:20　ナノリンク振動子の電流による量子摩擦
中山 隆史　（千葉大理）

9. 16:20-16:45　新しい電気的磁化制御に向けて
大野 英男　（東北大通研）

10. 16:20-16:45　スピン注入型スピンデバイスに向けた電流パルス電源回路に関する研究
遠藤 哲郎　（東北大学際センター）

11. 17:10-17:35　フレキシブルＯＬＥＤ用ガスバリヤフィルムの科学と技術
中山 弘　（大阪市立大工）

夕食休憩（17:35-19:30）

12. 19:30-19:55　二次元電子系-量子ドット結合系のトンネル現象の温度依存性
野村晋太郎　（筑波大院数物）

13. 19:55-20:20　ナノ非平衡系における電子の挙動
白石　賢二（筑波大院数物）

14. 20:30-24:00 討論会
「メソスコピック物理は次世代半導体デバイスを先導できるか？」

12月6日（土）

15. 9:00-9:25 ナノマシンで作る環境にやさしいコンピューター
山口 浩司　（NTT物性科学基礎研究所）

16. 9:25-9:50　半導体の高電界輸送を見直す
名取 研二　（筑波大院数物）

17. 9:50-10:15　シリコンベース光微小回路
五明 明子　（NEC）

18. 10:15-10:40　シリコン系量子ドットにおける帯電電位計測とメモリ応用
宮崎 誠一　（広島大先端研）

19. 10:40-11:40 パネル討論：
ナノサイエンスとナノテクノロジーの真の協調に必要なものは何か？
平山、山口、名取、大野英男、遠藤、宮崎、中山弘、白石 等

21. 11:45-11:50 おわりに
大野 英男　（東北大通研）

平成２０年度研究会では、(1)「新しい半導体サイエンス」につながる基礎科学の研究成果、(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基礎技術の研究成果、という本研究会が重要と考えている２つの分野に関連する成果発表が数多く行われ、サイエンス、テクノロジーという異なった視点から実のある討論がなされた。例えば「ナノマシンで作る環境にやさしいコンピューター（NTT 物性基礎研・山口）」という基礎サイエンスの研究に対しては、実デバイスの観点からデバイスプロパーの研究者から多くのコメントが寄せられるとともに極めて活発な討論が行われた。また、「二次元電子系-量子ドット結合系のトンネル現象の温度依存性」（筑波大院・野村）は半導体サイエンスの新しい展開を予感させると同時に半導体テクノロジーへの展望が感じられ、「２１世紀の半導体サイエンス・テクノロジーのキー」となること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

本共同プロジェクト研究会を通して、半導体サイエンスと半導体テクノロジーの研究者が「真の意味のサイエンスとテクノロジーの融合」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つつあるようである。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、本共同プロジェクト研究会が分野を超えた研究者間の「真の意味のサイエンスとテクノロジーの融合」への機会を与える場となり、サイエンスとテクノロジーが同時進行すると21世紀のテクノロジーに適合した研究体制への布石ができたと考えている。第２回目以降の共同プロジェクト研究会でさらに第１回目の成果をさらに強固にしてゆく所存である。

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０６

採択回数	①	２	３

量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究

［1］組織

代表者：大谷　啓太
（東北大学電気通信研究所）
対応者：大谷　啓太
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
岡野　章一（東北大学大学院理学研究科附属惑星プラズマ・大気研究センター）
笠羽　康正（東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻）
関根　徳彦（情報通信研究機構新世代ネットワーク研究センター先端ICTデバイスグループ）
平川　一彦（東京大学生産技術研究所）
平山　秀樹（理化学研究所テラヘルツ量子素子研究チーム）
寶迫　巌　（情報通信研究機構新世代ネットワーク研究センター先端ICTデバイスグループ）
松浦　祐司（東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻）
山西　正道（浜松ホトニクス株式会社）
渡辺　正裕（東京工業大学大学院総合理工学研究科）

研究費：物件費5万円，旅費13万2千円

［2］研究経過

量子カスケードレーザは活性層のバンド構造を制御することで近赤外からテラヘルツ(THz)までの広い波長領域で発振可能な半導体レーザであり、環境計測や生体医療用分光分析光源として非常に注目されている。

量子カスケードレーザの研究は現在まで欧米諸国を中心に進められており、近年特にヨーロッパでは関連するワークショップが数多く開催され、盛んに議論されている。しかしながら、日本では現在までに量子カスケードレーザに特化した研究集会が行われたことはなかった。そこで本共同プロジェクトでは、国内の量子カスケードレーザの研究者を一同に集め、量子カスケードレーザの高機能化・低消費電力化に向けての指針を議論すると同時に、ユーザーサイド、特に量子カスケードレーザを用いた究極のセンシング技術の構築を目指す研究者と有機的に連携することで、動作機構又は計測技術などに日本発の新しいコンセプトを創出することを目的とした。本研究では目的意識がはっきりした研究者が集まるため、これまでにない深い議論の展開が可能になると同時に、医療、及び環境計測分野の究極の計測技術を目指すユーザーサイドの研究者が参加することで新たな方向性を見出すことが可能となる。

本共同プロジェクト研究は、本年度が1年目であり、平成20年11月18日に東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設において第1回目の研究会を開催した。

［3］成果

（３－１）研究成果

本年度の研究会では 7 件の発表があり、合計 21 名の参加者によって熱のこもった議論が展開された。以下に研究会プログラムを記載する。

「量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究」（平成20年11月18日）

(1) 開会挨拶 13:30-13:35
東北大学電気通信研究所　大谷啓太

(2) 間接注入励起による量子カスケードレーザの高性能化　13:35-14:00
浜松ホトニクス株式会社　山西正道、藤田和上、枝村忠孝、菅博文

(3) 非平衡グリーン関数法を用いた4準位系量子カスケードレーザの解析　14:00-14:25
[1] 情報通信研究機構、[2] 東京大学生産技術研究

所・ナノ量子機構、[3]Tech. Univ. of Munich、安田浩朗[1,2]、Tillmann Kubis[3]、Peter Vogl[3]、関根徳彦[1]、神谷武志[1]、平川一彦[2]、寶迫巌[1]

(4) 窒化物半導体を用いたTHz帯量子カスケードレーザの検討 14:25-14:50
理化学研究所　寺嶋亘、平山秀樹

(5) フッ化物/シリコンヘテロ構造を用いたサブバンド間遷移量子井戸構造の形成と EL 発光 14:50-15:15
東京工業大学大学院総合理工学研究科　渡辺正裕、梶浦俊祐、芦川典士

休憩　15:15-15:35

(6) THz GaAs 量子カスケードレーザにおける閾値電流密度の温度依存性に関する解析 15:35-16:00
東北大学電気通信研究所　大谷啓太、林宗澤、大野英男

(7) 量子カスケードレーザを用いた赤外線レーザーヘテロダイン観測：現状と課題 16:00-16:25
東北大学大学院理学研究科　笠羽康正、中川広務、岡野章一、橋本明、村田功

(8) 量子カスケードレーザ応用の現状と展望 16:25-16:50
浜松ホトニクス株式会社　秋草直大、枝村忠孝、菅博文

(9) 閉会挨拶 16:50-17:00
東北大学電気通信研究所　大野英男

懇親会　17:30-19:00

研究会では、主に中赤外及びTHz量子カスケードレーザの動作機構、高性能化へ向けた材料開発、環境計測への応用に関する研究成果が発表され、多くの新しい知見を得ることができた。以下にそれらの概要を示す。

1. 縦光学フォノン散乱を用いて活性層へ間接的にキャリアを注入することで、優れた温度特性を持つ中赤外量子カスケードを実現した。室温付近で観測された特性温度T_0は303 Kとこれまでの最高の値であった。

2. 非平衡グリーン関数を用い4準位系GaAsテラヘルツ量子カスケードレーザの光学利得を解析したところ従来構造よりも大きな利得係数を持つことがわかった。

3. 窒化物半導体4元混晶を用いたテラヘルツ量子カスケードレーザを提案設計した。又RF-MBE法を用いて GaN/AlInGaN 量子カスケード構造の試作に成功した。

4. Si基板上フッ化物量子井戸構造から電流注入サブバンド間発光を初めて観測した。観測されたサブバンド間発光は2-4 μmの波長領域にあり、偏光方向はTM 偏光とサブバンド間光学遷移の選択則を満たすことがわかった。

5. GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザの閾値電流密度の温度依存性を解析し、励起サブバンドの熱励起縦光学フォノン散乱時間を見積もった結果、室温においても反転分布形成が可能であることがわかった。

6. 惑星大気・系外惑星大気分析に向けて量子カスケードレーザをベースとした小型赤外分光器を提案試作した。

7. 量子カスケードレーザを用いることで高分解能ガス検出(N_2O)、及びリアルタイムガス検出(CO, CO_2)が可能であることがわかった。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究を通して、日本の量子カスケードレーザの研究者が一同に会せば、デバイス物理、デバイス材料、及びデバイス応用の3点で世界に類を見ない非常にバランスの良い研究体制となることがわかった。量子カスケードレーザの動作領域である赤外からTHzの波長領域には、多くの分子の吸収が存在している。中赤外領域では量子カスケードレーザは高感度、高分解能ガスセンサとして環境計測に応用され、地球温暖化など現代社会が抱える大きな問題解決に貢献し始めている。又THz領域では人類にとって難解な医療・創薬という分野で貢献できる可能性も指摘されている。以上のことを考慮すると今後も世界中で研究開発が加速すると思われるが、本共同プロジェクト研究で明らかになった高いポテンシャルを生かすことで、日本発の大きなブレークスルーが期待できると考えられる。

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０７

採択回数	①　２　３

高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究

［1］組織

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（山形大学大学院理工学研究科）
池田　慎治（富山工業高等専門学校）
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）
竹澤　昌晃（九州工業大学工学部）
丹　　健二（秋田県産業技術総合研究センター）
辻本　浩章（大阪市立大学大学院工学研究科）
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）
宗像　　誠（崇城大学エネルギ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：物件費 0 円，旅費 30 万 9 千円

［2］研究経過

本プロジェクト研究会は、わが国が主導して進めてきた、携帯電話や無線 LAN 等の高周波回路への適用を目指したマイクロ波磁気デバイスや広帯域ノイズ吸収技術などの高周波マイクロ磁気応用技術を高度化するために、関連分野の研究開発に従事する第一線の研究者を結集して、高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究開発事例、実用化のための課題を抽出し、これら技術の実用化に資することを目的に発足した。

平成 20 年度は、磁性微粒子分散材料の研究が進展するとともに、これらの一つの応用として誘電体マトリクス中に磁性微粒子を分散させた磁性／誘電性複合媒質を装荷したダイポールアンテナの小型化・高感度化に関する研究が開始された。また、コプレーナウェーブガイドを用いた磁性薄膜の磁化回転ダンピング定数の評価や直接通電法による磁性薄膜透磁率評価などの磁性薄膜の新しい評価法が提案された。チップレベルノイズ抑制技術として、フェライトめっきしたリードフレームによる LSI の電磁ノイズ抑制技術が提案された。さらには、奇妙な電磁気的振る舞いを示すメタマテリアル関連の研究として、デュアル型右手系／左手系複合差動伝送線路が検討された。

平成 20 年 12 月 18 日、19 日の両日、東北大学工学部青葉記念会館 4 階大研修室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、研究会プログラムを示す。

12 月 18 日（木）14:00～17:15

(1) 磁歪式大荷重測定センサの開発
小林亮介、川田剛司
田代晋久、脇若弘之（信州大）

(2) プレーナーホール効果を用いた磁性薄膜電力計の特性
辻本浩章、虎谷浩史、吉田　博（大阪市大）

(3) 3 軸磁界発生コイルを組み合わせた正六角柱磁気シールドシステム
松岡信二、西川　修、久保田晃弘
田代晋久、脇若弘之（信州大）

(4) 磁性/誘電性複合媒質ダイポールアンテナの特性解析
夏目真志、倉科強司（信州大）
池田賢司（太陽誘電）、佐藤敏郎、曽根原誠
山沢清人、三浦義正（信州大）

(5) デュアル型右手系／左手系複合差動伝送線路の試作と特性評価
中山英俊、藤澤　潔（長野高専）
伊藤龍男（UCLA）

(6) 固相反応法による YIG 薄膜の作製と静磁波バンドギャップマテリアルへの応用
畠腹幸平、都甲憲二
金　周映、井上光輝（豊橋技科大）

12 月 19 日（金）9:00～12:15

(7) フェライトめっきしたリードフレームによる LSI の電磁ノイズ抑制
近藤幸一、小野裕司（NEC トーキン）
増田則夫（NEC）

(8) 面内および面直方向の渦電流分布を考慮した薄膜電磁ノイズ抑制体の損失計算
室賀　翔、山口正洋（東北大）

(9) スパッタ粒子堆積シミュレーションによる

FeCoB 薄膜の異方性磁界の検討
宗像　誠、今泉良一（崇城大）
大越正敏（九州工大）、槙孝一郎（住友金属鉱山）
(10) 微粒子の透磁率と複合化の効果
島田　寛、遠藤　恭、山口正洋
岡本　聡、北上　修（東北大）
(11) CPW-FMR 測定による磁性薄膜のダンピング定数に関する研究
遠藤　恭、島田　寛
山口正洋、三束芳央（東北大）
(12) 直接通電による磁性膜透磁率測定の試み
藪上　信（東北学院大学）

［3］成果（以下１０.５ポイント）

（3－1）研究成果

平成 20 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) 磁性微粒子分散系複合材料とその応用

MHz 帯、GHz 帯の周波数帯で有用な磁性材料としては、フェライトや軟磁性薄膜が使われているが、軟磁性を持つ微粒子を分散させた複合材料は形状の自由度や高い絶縁性といった特徴があり、フェライトや金属薄膜とは異なった応用が期待できる。磁性微粒子を有機マトリクス中に分散させた構造において微粒子本来の性能を引き出す手法として、東北大学の島田、山口らは、粒子サイズの大きく異なる二種類以上の微粒子で複合材料を構成する方法を提案した。サイズの大きな微粒子間に超微粒子が凝集することで反磁界を抑えることができ、複合材料の初透磁率が向上することを実験的・理論的に実証した。

磁性微粒子分散系複合材料の応用の一つとして、複合材料が有する磁性と誘電性を積極的に利用した磁性/誘電性複合媒質ダイポールアンテナが検討された。これは、複合媒質の比透磁率と比誘電率を等しくすることで媒質の電磁界固有インピーダンスを自由空間のそれと一致させ、媒質界面での電磁界反射を抑制しアンテナの高感度化を図ろうとするものである。図 1 は、ダイポールアンテナの受信電力を FDTD 法を用いて計算した結果を示すものである。ダイポールアンテナの導体部は厚さ 0.5 mm、幅 3 mm、長さ 7.5 mm×2 本、上下導体ギャップ 3 mm で構成され、複合媒質の比透磁率と比誘電率はともに 10、誘電体装荷用非磁性誘電体の比誘電率は STO などの誘電体セラミックスを模擬した 100 を仮定し、いずれも無損失媒質を仮定して受信電力を計算したものである。複合媒質装荷アンテナは誘電体装荷の場合に比べて受信電力が 2 倍以上となり、電磁界固有インピーダンスの整合効果が大きく現れるとともに、受信電力がピークとなる周波数も複合媒質の方

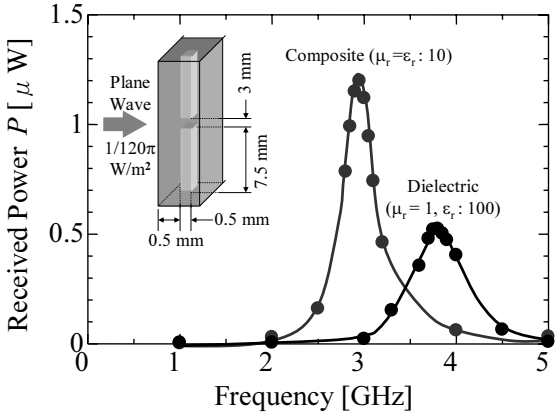


図1　複合媒質装荷ならびに誘電体装荷ダイポールアンテナの受信電力の周波数特性

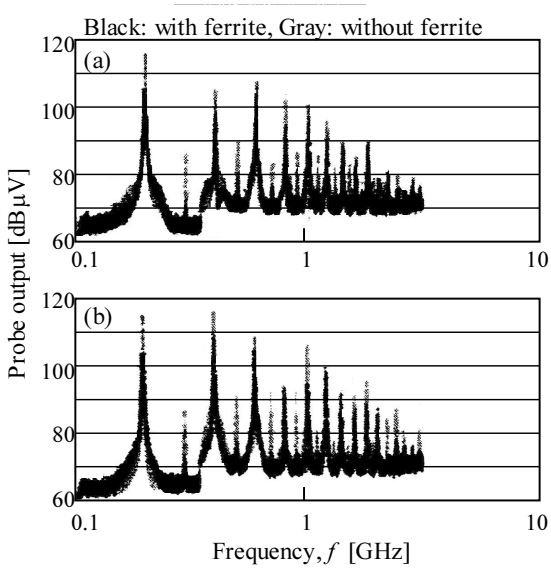


図2　リードフレームフェライトめっきによるLSIチップ外伝導ノイズの抑制効果、(a)：電源ライン、(b)：グランドライン

が低くなり、複合媒質の方が実効的な波長短縮に大きく効いていることを示している。今後は、媒質の損失を含んだシミュレーションが必要であるとともに、磁性と誘電性が共存する高周波電磁界媒質の有力な候補として磁性微粒子分散系材料の開発が期待される。

(2) LSI の電磁ノイズ抑制

近藤らは、LSI チップの外部回路に電磁的な影響を及ぼすチップ外電磁干渉（Inter-system interference）を抑制することを目的として、ノイズ源である LSI チップとその周囲とのインターフェースとなるリードフレームのおのおののリード線に GHz 帯域で高い磁気損失を有するフェライトめっき膜を成膜して伝導ノイズ抑制効果を評価した。図 2 は、90 nm プロセスの 2.5 mm 角 TEG チップを QFP でパッケージ

ングした試料に対して電源ラインとグランドラインを伝導する高周波電流を磁界プローブ法で評価した結果を示すものである。電源ライン、グランドラインともに測定上限の 3GHz まで伝導ノイズが抑制され、特に、100MHz ベースクロックの奇数倍の周波数において顕著なノイズ抑制が図られている。

(3) **軟磁性薄膜材料の評価技術**

軟磁性薄膜の高周波応用として、強磁性共鳴（FMR）周波数を超える帯域における負の透磁率の利用など、これまでにない新規の高周波磁気応用技術が検討されており、従来以上に軟磁性薄膜の FMR 測定が重要になっている。遠藤らは、コプレーナ伝送線路（CPW）に磁性薄膜を装荷し、反射係数を測定することで FMR を観測する手法を検討した。この方法により、Ni-Fe 薄膜や Co-Zr-O グラニュラー膜の磁化のダンピング定数を評価し、磁界掃引による FMR 測定との比較をとおして、CPW-FMR 法の有効性を示した。

藪上は磁性薄膜に直接高周波電流を通電して透磁率を測定する手法を提案した。本方法は、ウェハプロビーングによって透磁率を評価することを最終目的としており、微小サンプルに切り出す必要がないため、磁気デバイス作成プロセス途中での磁性膜物性評価に有用なツールになるものと期待される。

（３－２）波及効果と発展性など

磁性微粒子分散系複合材料については、性能向上のための材料設計指針が明確にされつつあり、パワーインダクタ用低透磁率磁心に加え、アンテナへの展開が開始されなど、今後が期待される。

高周波マイクロ磁気応用の大きな柱に位置づけられる電磁干渉抑制については、ボードレベルから LSI チップレベルに至り、最終的には LSI の設計段階にまで到達するものと予想され、今後も磁気を利用した電磁干渉抑制技術が大いに発展していくものと期待される。

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 Micromagnetic Devices and Materials）が 2008 年 5 月にマドリッドで開催された。また、2009 年 5 月に、MMDM7 が米国サクラメントで開催の予定になっている。

［4］成果資料

(1) 水田創，中沢政博，滝澤和孝，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正，三宅裕子，秋江正則，上原裕二，宗像誠，八木正昭，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，*Journal of the Magnetics Society of Japan*，Vol.32, No.3，pp.376-381, (2008).

(2) K. Ikeda, T. Suzuki, T. Sato, Magnetic properties of Co-Sm amorphous films in GHz band, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol.32, No.3, pp.179-186, (2008).

(3) 清水勇人，吉池政史，直江正幸,，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正，厚膜化した磁性金属粒子／非磁性体複合材料を用いたマイクロ電源用プレーナインダクタの作製，*Journal of the Magnetics Society of Japan*，Vol.32, No.6, pp.559-563, (2008).

(4) M. Sonehara, T. Sato, M. Takasaki, H. Konishi, K. Yamasawa, Y. Miura, Preparation and Characterization of Nanofiber Nonwoven Textile for Electromagnetic Wave Shielding, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, (11), pp.3107-3110, (2008).

(5) K. Ikeda, T. Suzuki, T. Sato, Suppression of Sm Segregation and Improvement in Thermal Stability by Introducing Ru Underlayer in Co-Sm Amorphous Films, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, (11), pp.3906-3909, (2008).

(6) H. Tsujimoto, H. Toratani, Y. Deguchi, High Sensitive Thin Film Wattmeter Using Magnetic Thin Film, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, (11), pp.3999-4002, (2008).

(7) M. Nakano, H. Takeda, F. Yamashita, T. Yanai, H. Fukunaga, Improvement in Magnetic Properties of PLD-Made Nd-Fe-B Thick Film Magnets, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, (11), pp.4199-4201, (2008).

(8) M. Takezawa, A. Shiota, Y. Morimoto, J. Yamasaki, M. Munakata, M. Yagi, Magnetic domains and magnetization process of amorphous granular (CoFeB)-SiO_2 thin films, *Journal of Applied Physics*, Vol. 103, No.7, 07E723, (2008).

(9) T. Yanai, K. Takagi, K. Takahashi, M. Nakano, Y. Yoshizawa, H. Fukunaga, Fabrication of Fe-based ribbon with controlled permeability by Joule heating under tensile stress, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol.320, No.20, pp.E833-E836, (2008).

(10) S. Sugahara, K. Yamada, T. Kawashima, M. Edo, T. Sato, K. Yamasawa, High Efficiency PWM Controlled Micro DC-DC Converter for Portable Electronic Equipments, *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E91-B, No.11, pp.3704-3711, (2008).

(11) 稲垣慶，曽根原誠，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正，スリットパターン化 Mn-Ir／Fe-Si 交換結合膜の飽和磁界と高周波磁気特性の熱処理温度依存性，*Journal of the Magnetics Society of Japan*，Vol.33, No.1, pp.9-14, (2009).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０８

採択回数	①	２	３

光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究

［1］組織

代表者：土田　英実
（産業技術総合研究所光技術研究部門）
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）
森 雅彦	（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）
並木 周	（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）
高橋 永斉	（産業技術総合研究所）
松本 正行	（大阪大学）
坂本 高秀	（情報通信研究機構）
佐野 明秀	（ＮＴＴ）
武笠 和則	（古河電工）

研究費：物件費４万８千円，旅費２１万８千円

［2］研究経過

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、光波の超高速性に加えて、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。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、マイクロ波帯で確立された通信・計測技術の性能を遙かに凌駕する可能性を有している。本研究では、次世代の高度な光位相制御技術を確立することを目的として、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、光位相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１年目に当たり、平成２０年１１月２７ー２８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、大阪大学、情報通信研究機構、ＮＴＴ、古河電工の研究者が参加して研究会を開催し、１３件の発表を行った。コヒーレント光伝送、超高速光伝送、光信号処理、光変調デバイス、光ファイバレーザ、周波数可変光源、次世代光ファイバ等の発表に対して、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２７日（木）

１．開会挨拶　　中沢正隆（東北大学）
２．周波数分割多重 1 Gsymbol/s，64~128QAM コヒーレント光伝送：○後藤広樹、大宮達則、葛西恵介、吉田真人、中沢正隆（東北大学）
３．超高速多値集積化光変調器の研究:○坂本高秀、千葉明人、川西哲也（情報通信研究機構）
４．位相変調信号の伝送制御と全光再生方式：○松本正行（大阪大学）
５．分周光電子発振器：○土田英実（産業技術総合研究所）
６．光ネットワークのための超高速光ＯＦＤＭ技術：○佐野明秀（ＮＴＴ）
７．パラメトリック過程を用いた分散・遅延制御：○並木周、黒須隆行（産業技術総合研究所）
８．時間領域光フーリエ変換法を用いた単一偏波 320 Gbit/s-525 km DPSK 伝送：○廣岡俊彦、岡崎勝伝、関鵬宇、中沢正隆（東北大学）
９．時間領域光フーリエ変換により PMD を抑制した 160 Gbit/s-200 km JGNII 現場伝送実験：○岡崎勝伝、関鵬宇、廣岡俊彦、中沢正隆（東北大学）宮崎哲弥（情報通信研究機構）

１１月２８日（金）

１．カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いた波長 1.5μm 帯フェムト秒ソリトンファイバレーザ：○正田史生、白土剛史、中沢正隆、小松京嗣、戒能俊邦、真多淳二、塚本遵（東北大学）
２．ファイバレーザーによる光コムを用いた広帯域周波数可変光源：○高橋永斉、中嶋善晶、稲場

肇、美濃島薫（産業技術総合研究所）
3．光ファイバの現状と将来技術に関して：○武笠和則、今村勝徳、宮部亮、高橋正典、八木健（古河電工）
4．波長1.1μm VCSELの直接変調による10 Gbit/sフォトニック結晶ファイバ伝送：○小泉健吾、吉田真人、廣岡俊彦、中沢正隆（東北大学）
5．20 dBのサイドローブ抑圧比を有する1.3 GHz超狭帯域FBG光フィルタ：○森杏、葛西恵介、吉田真人、中沢正隆（東北大学）
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 偏波多重、および周波数分割多重を用いたQAMコヒーレント光伝送実験を行い、1Gsymbol/s、64ー128QAM信号（36ー42Gb/s）の160kmエラーフリー伝送に成功し、光周波数利用効率8.6-10bit/s/Hzを実現した。
② 4個のMach-Zehnder変調器を並列にハイブリッド集積したIQ変調器を試作し、挿入損失10dB、6dB帯域25GHzを実現し、これを用いて50Gb/s、16QAM信号の変復調を実証した。
③ 位相変調信号に対する全光信号再生方式を紹介した。光ファイバの自己位相変調、および4光波混合の飽和を利用して、DPSK、DQPSK信号の振幅再生と非線形位相雑音低減を実証した。
④ 帰還ループ中に分周器を配置した構造の光電子発振器を提案し、40Gb/s信号に対する分周光クロック周出と、光時分割多重分離を実現し、これを用いた光変調フォーマット変換を提案した。
⑤ 光多重分離を併用したOFDM送受信器を構成して100Gb/s、3600km伝送実験を行い、波長分散、偏波モード分散、フィルタリング耐性を確認し、100Gb/s長距離伝送の有力な方式であることを実証した。
⑥ 科学技術振興調整費による光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点の活動を紹介した。光ファイバのパラメトリック過程を用いた可変分散・遅延制御技術を提案し、ピコ秒パルスに対する20nsの遅延を実現した。
⑦ 時間領域フーリエ変換を用いた320Gb/s-525km単一偏波DPSK伝送を行い、2次PMD、およびPMDの時間変動を補償することにより、パワーペナルティ4-5.5dBを実現した。
⑧ 時間領域フーリエ変換を用いた160Gb/s、OTDM-DPSK、200km現場伝送実験を行い、偏波モード分散による波形歪みを除去して、パワーペナルティを2.8 dBから1.5 dBに改善した。
⑨ ポリカーボネート中に均一に分散したカーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いて、ソリトン光ファイバレーザを試作し、繰り返し39MHz、平均出力3.9mW、パルス幅115fsを得た。
⑩ ファイバレーザによる光コムを利用して、広帯域連続周波数可変光源を開発し、走査範囲120GHz、走査中の周波数精度2.98×10^{-12}を実現した。
⑪ 陸上、海底伝送用光ファイバ、およびファイバレーザやセンサに用いる部品用光ファイバの現状を紹介し、将来の方向性を議論した。
⑫ 波長1.1μmの直接変調VCSELを利用した10Gb/sフォトニック結晶光ファイバ伝送を行い、5km無中継伝送、およびYDFAを用いた14km伝送を実現した。
⑬ GeO_2を高濃度添加した光ファイバを用いて、λ/4シフトFBGフィルタを試作し、帯域幅1.3GHz、挿入損失5.5dB、サイドローブ抑圧比20dBを実現した。

（3－2）波及効果と発展性など

光波の位相制御を利用する光通信システム、計測・標準システムは、現在のシステムの性能を遙かに凌駕する可能性を有することから、国内外の機関で研究開発が活発化している。本研究課題は次世代の光通信と計測標準を、光波の位相制御という共通の技術基盤で捉えて、デバイスからシステムに渡る広範囲な議論を行う点において、独自性と優位性を有していると考えられる。光波位相制御とコヒーレント光伝送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、高機能光デバイス、光信号処理、レーザー制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

［4］成果資料

(1) H. Goto, M. Yoshida, T. Omiya, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Polarization and frequency division multiplexed 1Gsymbol/s, 64 QAM coherent optical transmission with 8.6bit/s/Hz spectral efficiency over 160km,” IEICE Electron. Express, vol. 5, no. 18, pp. 776-781, September (2008).

(2) 中沢正隆, “超多値コヒーレント QAM 光伝送技術,” レーザー研究, vol. 37, no. 3, pp. 101-106, March (2009).

(3) M. Matsumoto and H. Sakaguchi, "DPSK signal regeneration using a fiber-based amplitude regenerator", Optics Express, Vol. 16, No. 15, pp. 11169-11175 (2008).

(4) M. Matsumoto, “All-optical signal regeneration using fiber nonlinearity (invited)”, IEEE/LEOS Winter Topical Meeting Series on Nonlinear Processing in Optical Fibers, WC2.1 (January 12-14, 2009).

(5) H. Tsuchida, "Subharmonic optoelectronic oscillator", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no.17, pp.1509-1511 (2008).

(6) S. Namiki, "Wideband Tunable Dispersion Compensation of 126 km zero-DSF Using Parametric Processes," Proc. ECOC2008, Paper Tu.4.B.3, Brussels, Sept. 2008.

(7) S.Namiki, and T.Kurosu,"17ns tunable delay for picosecond pulses through simultaneous and independent control of delay and dispersion using cascaded parametric processes," Proc. ECOC2008, Postdeadline Paper, Th.3.C.3 , Brussels, Sept. 2008.

(8) T. Hirooka, M. Okazaki, and M. Nakazawa, “A straight-line 160-Gb/s DPSK transmission over 1000 km with time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 13, pp. 1094-1096, July (2008).

(9) T. Hirooka, M. Okazaki, P. Guan, and M. Nakazawa, “320-Gb/s single-polarization DPSK transmission over 525 km using time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 22, pp. 1872-1874, November (2008).

(10) M. Okazaki, P. Guan, T. Hirooka, M. Nakazawa, and T. Miyazaki, “160-Gb/s 200-km field transmission experiment with large PMD using a time-domain optical Fourier transformation technique,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 20, no. 24, pp. 2192-2194, December (2008).

(11) F. Shohda, T. Shirato, M. Nakazawa, J. Mata, and J. Tsukamoto, “147 fs, 51 MHz soliton fiber laser at 1.56 μm with a fiber-connector-type SWNT/P3HT saturable absorber,” Opt. Express, vol. 16, no. 25, pp. 20943-20948, December (2008).

(12) F. Shohda, T. Shirato, M. Nakazawa, K. Komatsu, and T. Kaino, “A passively mode-locked femtosecond soliton fiber laser at 1.5 μm with a CNT-doped polycarbonate saturable absorber,” Opt. Express, vol. 16, no. 26, pp. 21191-21198, December (2008).

(13) Y. Nakajima, H. Inaba, F. Hong, A. Onae, K. Minoshima, T. Kobayashi, M. Nakazawa, and H. Matsumoto, “Optimized amplification of femtosecond optical pulses by dispersion management for octave-spanning optical frequency comb generation,” Opt. Comm., vol. 281, no. 17, pp. 4484-4487, September (2008).

(14) K. Imamura, K. Mukasa, R. Sugizaki, Y. Mimura, T. Yagi, "Multi-core holey fibers for ultra large capacity wide-band transmission", Proc. ECOC 2008, P.1.17

(15) R. Miyabe, K. Mukasa, R. Sugizaki, T. Yagi, "HAFs having l0 in a 1.0um Band and High nonlinearity", Proc. of CLEO/QELS 2008, CThV6

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０９

採択回数	①　２　３

次世代ペタバイト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：
藤本和久：東北大学電気通信研究所：教授
サイモン・グリーブス：東北大学電気通信研究所：准教授
青井基：東北大学電気通信研究所：客員教授
三浦健司：東北大学電気通信研究所：助手
青井基：東北大学電気通信研究所：教授
松岡浩：東北大学電気通信研究所・客員教授：
谷啓二：日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所：研究主席
山本康友：日立製作所システム開発研究所：部長
藤林昭：日立製作所システム開発研究所：主任研究員
島田健太郎：日立製作所システム開発研究所：シニアアーキテスト
赤池洋俊：日立製作所システム開発研究所：研究員
小河卓二：日立製作所RAIDシステム事業部開発本部：RAIDテクニカルスペシャリスト
浜田憲男：日立製作所RAIDシステム事業部：部長
大沢寿：愛媛大学：教授
岡本好弘：愛媛大学：准教授
仲村泰明：愛媛大学：助教
金井靖：新潟工科大学：教授
山川清志：東北大学電気通信研究所：客員准教授
伊勢和幸：秋田県高度技術研究所：主任研究員
木谷貴則：秋田県高度技術研究所：研究員

研究費：　物件費 0円　　旅費 32万9千円

［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、最近のネットワークコンセプトに基づくクラウドコンピューティングが急速な発展を続けているが、ここでは動画映像や長時間音楽情報配信など大規模データが大量に送受されており、情報ストレージの需要はさらに急速に伸びている。

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。

本共同研究は、大規模ストレージサブシステムの研究を目標に開始した昨年度の成果を受け、今年度はHDD自体の高密度・大容量化も含めた総合的な研究に展開することとした。昨年度は多数のHDDを並列化したRAID型ストレージサブシステムの省電力アーテキチャを中心に議論を進めたが、HDDの高密度化と大容量化は省電力化にも直接貢献するものであり、このための研究も包括的に進めた。以下、研究活動状況の概要を示す。

研究打合せの開催状況は下記の通りである。

○ストレージサブシステムグループ（7回)

2008年4月9日

2008年6月3日
2008年8月5日
2008年10月22日
2008年12月3日
2009年2月5日
2009年3月19日

○高密度磁気記録グループ（7回）
2008年6月4日
2008年8月7日
2008年9月9日
2008年11月25日
2008年12月19日
2009年2月3日
2009年3月13日

［3］成果

（3－1）研究成果

【ストレージサブシステムの成果】

これまでのストレージシステムではデータ信頼性や大容量性や高速性が重視され、その省電力性は問題にされなかった。このため、高速ディスク回転数のHDDを多数用いてシステムを構成してきた。ところが、最近の大容量動画情報の急速なネットワーク上での普及やクラウドコンピューティング化による大量の情報複製によってストレージ容量は年率160%（5年で10倍）とも言われる急速な増加を続けており、データセンターでのその消費電力は温室効果ガス排出や電力コスト、さらには廃熱や騒音・設置スペースなど今後ますます深刻化する大きな環境問題として注目されるに至った。(IEEE Spectrum, February 2009)

本共同研究ではすでに平成17年度ころより、新たな並列化ストレージシステムの方式提案を行って検討を続けてきた。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の省電力化についてすでに提案方式を絞り込んでいたが、これを具体的な方式設計とその開発要素の抽出を行った。

ハードディスク装置(HDD)は磁気を用いる記録であるためにその記憶が不揮発性（電源を切っても記録情報を失わない）である。これはいったん記録された情報を保持するのに本質的にはまったく電力を必要としないことを意味している。これまでの方式では高速のデータ入出力を担う階層に消費電力の大きい高速HDDを、その下位に使用頻度の下がったデータを対比させる低消費電力HDDを置く階層化までは既知であったが、本グループではすべての情報を下位（ニアライン）HDDに蓄えた後にいったん電源を切り、使用される情報を予知して少量の高速HDDにステージングする従来とは逆の発想によるストレージシステムの実現を目指してきた。このシステムは大きな容量を持つ下位階層のHDDがほとんど電源が止まっているために50%以下の大幅な消費電力削減が期待される。しかし、データが停止したHDDにあるために読み出しにはディスク回転を立ち上げるための時間を確保するため予知が正確でなければデータアクセスに待ちが発生して読み出し速度性能が低下するリスクを持っている。

このリスクを定量的に把握するために待ち行列理論を用いて、アクセスされたデータをニアラインHDDから上位(オンライン)HDDにコピーする(ステージングする）時間と読み出し時間との確率統計的な解析を通じて、さまざまな条件でアクセスがミスヒットするエラーレートを計算した。

スーパーコンピュータのための大規模ストレージを想定して検討をした結果、ユーザからのジョブがある程度ジョブキューに存在していれば問題なく、読み書き速度の低下なく省電力性を改良できることが明らかになった。現在、キューにある待ちジョブが極端に少ない場合でもカバーできるようにより詳細な検討を続けている。

【高密度磁気記録の研究】

一方で、磁気記録の高密度化は大容量性と小型化及びビット単価の低廉化のためにHDDとしての開発以来の一貫した研究要素であるが、同時に必要な記録容量に対してHDD台数の低下が可能という意味で省電力化にも大きな効果がある。研究内容としては高密度化であるが、本共同プロジェクト研究での目的は省電力化である。

今年度の成果は、コンピュータシミュレーションによる記録再生理論の検討、強磁界垂直磁気記録ヘッド、高密度信号処理方式、の3つに大別できる。

シミュレーションによる成果では、ディスク上のビットを微細エッチングによって分離形成するパターン媒体と大きな記録磁界を発生できる記録ヘッドを次々とずらしながら記録するシングル2次元記録の2つの代表的な次世代の高密度磁気記録方式について、その高記録密度性を検証した。パターン媒体では5GBit/inch^{2}の高い記録密度が可能なことが明らかになったが、そのためには記録媒体の磁気特性の均質性を極限まで高める必要がある。またシングル型2次元記録についても世界に先駆けてその検証に成功し、2Gbit/inch^{2}の可能性を示した。このコンピュータシミュレーションによる検討は国際会議の招待講演に採択されている。

強磁界の記録ヘッドの研究については、秋田県高度技術研究所の提案の平面型垂直ヘッドの可能性を追求しているが、その主磁極構造を工夫することで強い磁界強度を保って優れた分解能を実現できるこ

とが有限要素法を用いたシミュレーションから判明し、それを具体的に実現する微細加工法も提示できた。

信号処理方式についても次世代の超高密度化に対応する低SN比の読み出し信号に適応可能な方式を検討しており、最近さまざまな分野で大きな成果をあげている LDPC 符号を用いる反復複合法によって垂直磁気記録の高密度化に高い性能が得られることが明らかになってきた。一方で、発生した誤りをリードソロモン符号による誤り訂正を行う直接的な手法も考えられ並行して検討している。

（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、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では急速な拡大が続いており、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極めて広範な ICT 技術での波及効果が想定され、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。

実際、本共同プロジェクト研究は平成 19 年度より文部科学省の「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」の一課題として採択され、「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」プロジェクトの取り組みの一部として検討を続けている。採択後も学術面での機敏な研究打合せの実施などこの大型プロジェクトを機動力のある形で支援する研究活動を担う重要な活動している。

［4］成果資料

1. K. Fujimoto, N. Okada, K. Miura, H. Muraoka, H. Akaike, “Power-aware Storage-tiering Management for High-speed Tiered-storage Systems,” 7th USENIX Conferece on File and Storage Technologies, Feb 24-27, 2009

2. 赤池洋俊、藤本和久、岡田尚也、三浦健司、村岡裕明、「HPC 向け高速・大容量ストレージの省電力化を図る階層ストレージアーキテクチャと階層管理方式の提案」、情報処理学会全国大会、4A-1、2009

3. 岡田尚也、藤本和久、赤池洋俊、三浦健司、村岡裕明、「アクセス予測を利用したHPC 向け高速・大容量階層ストレージの階層管理方式における予測確率に関する検討」、情報処理学会全国大会、4A-2、2009

4. S. Okamoto, N. Kikuchi, T. Kato, O. Kitakami, K. Mitsuzuka, T. Shimatsu, H. Muraoka, H. Aoi, J.C. Lodder, “Magnetization behavior of nanomagnets for patterned media application,” J. Magn. Magn. Mater., 320, 22, Nov (2008) 2874-2879

5. S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Kanai, “Simulations of recording media for 1Tb/in^2,” J. Magn. Magn. Mater., 320, 22, Nov (2008) 2889-2893 [Invited]

6. Kenji Miura, Toshiyuki Ogawa, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, Yoshihisa Nakamura, “New estimation methods of erase band width and track-edge noise in perpendicular magnetic recording,” J. Magn. Magn. Mater., 320, 22, Nov (2008) 2908-2911

7. Y. Nakamura, M. Nishimura, Y. Okamoto, H. Osawa, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, “Iterative decoding algorithm using attenuated information in PMR with bit-patterned medium,” J. Magn. Magn. Mater., 320, 22, Nov (2008) 3132-3135

8. Y. Okamoto, T. Bushisue, Y. Kurihara, Y. Nakamura, H. Osawa, H. Muraoka, Y. Nakamura, “Dependence of error patterns and BER performance on write pre-compensation in GPRML channels,” J. Magn. Magn. Mater., 320, 22, Nov (2008) 3192-3195

9. N. Degawa, S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Kanai, “Characterization of a 2 Tbit/in^2 Patterned Media Recording System,” IEEE Trans. Magn, 44, 11, pp. 3434-3437, Nov, 2008.

10. S.J. Greaves, Y. Kanai, H. Muraoka, “Magnetic Recording in Patterned Media at 5-10 Tb/in^2,” IEEE Trans. Magn, 44, 11, pp. 3430-3433, Nov 2008.

11. Y. Kanai, K. Hirasawa, T. Tsukamoto, K. Yoshida, S.J. Greaves, H. Muraoka, “Micromagnetic Recording Field Analysis of a Single-Pole-Type Head for 1-2 Tbit/in^2,” IEEE Trans. Magn, 44, 11, pp. 3609-3612, Nov 2008.

12. H. Osawa, M. Hino, N. Shinohara, Y. Okamoto, Y. Nakamura, H. Muraoka, “Simplified Neural Network Equalizer With Noise Whitening Function for GPRML System,“ IEEE Trans. Magn., Volume 44, Issue 11, Part 2, Nov. 2008 Page(s):3777 – 3780.

13. Y. Nakamura, M. Nishimura, Y. Okamoto, H. Osawa, H. Muraoka, “A New Burst Detection Scheme Using Parity Check Matrix of LDPC Code for Bit Flipping Burst-like Signal Degradation,” IEEE Trans. Magn., Volume 44, Issue 11, Part 2, Nov. 2008 Page(s):3773 – 3776.

14. Y. Ohsawa, K. Yamakawa, H. Muraoka, “Writing Performance of a Planar Single-Pole Head With a Main Pole Fabricated by Ion-Beam Milling,” IEEE Trans. Magn., Volume 44, Issue 11, Part 2, Nov. 2008 Page(s):3613 – 3616.

課題番号　Ｈ２０／Ｂ１０

採択回数　①　２　３

高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフトウェアの開発

［1］組織

代表者：加藤 和彦（筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻）

分担者：

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

河野 健二（慶應義塾大学理工学部情報工学科）

大山 恵弘（電気通信大学 電気通信学部情報工学科）

品川 高廣（筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻）

阿部 洋丈（豊橋技術科学大学 情報工学系）

研究費：物件費０円，旅費 403,800 円

［2］研究経過

研究目的と概要：

オペレーティングシステムに代表されるシステムソフトウェアは高度のセキュリティと信頼性が求められるが，その設計と実現は未だ系統的な設計法や実装技術が確立しているとは言い難いのが実情である．本研究会では，関数型言語 ML に代表される高信頼プログラミング技術を活用し，ディペンダブルなシステムソフトウェアの開発のための検討を行うことを目的として研究を実施した．

本プロジェクトは本年度が初年度であったため，本年度の主たる活動は，主に研究集会等の会合の機会を設けて各メンバーの研究内容の相互理解を深めるとともに，本プロジェクトの目的達成のための方針の具体化に向けた意見交換を中心に行ってきた．特に，最新の高信頼プログラミング言語の概念と技術の検討，ならびにディペンダブルなシステムソフトウェア作成のために適用可能な要素の洗い出しを行い，プロトタイプシステムの設計と実現を視野に入れながら，実際のシステム構築への適用可能性について考察した．

研究活動状況の概要：

本年度の主要な活動として，筑波大学と東北大学のそれぞれにおいて計 2 回の研究集会を開催した．

第 1 回目は，2008 年 9 月に筑波大学東京キャンパスにて，加藤の研究グループと大堀の研究グループの主要メンバーにより研究集会を開催した．そこでは主に，各研究グループのこれまでの研究の経緯や，その成果についての紹介がなされた．加藤グループからは，高信頼性を有する分散システムソフトウェアであるサステーナブルシステムの研究（科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業 CREST として実施），ならびに高セキュリティを有する仮想計算機システムである BitVisor の研究開発（文部科学省・科学技術振興調整費・重要課題解決型研究として実施）についての説明がなされた．また，大堀研究グループからは，高信頼プログラミング言語システム SML#の研究開発（文部科学省・リーディングプロジェクト e-Society 基盤ソフトウェア開発の課題として実施）について，その理論的基礎と実装の両面からの説明がなされた．さらに，以上の研究紹介を受けて，SML#の持つ特徴の一つである C 言語とのシームレスな連携という観点から，サステーナブルシステムやアクセス制御メカニズムの SML#の特性を活かした実装方法などについて議論を行った．

第 2 回目は，東北大学通信研究所にて，各研究グループの主要メンバーらによる共同プロジェクト発表会を開催した．ここでは，各々の研究テーマとその成果について発表を行った．その内容は，(1) 相互運用性を実現する関数型言語の型主導コンパイル方式の研究についての紹介（大堀グループ），(2) コールスタック検査による Windows 異常検知システムについての紹介（大山グループ），(3) サステーナブルシステムの形式手法による検証法，ならびに (4) 分散システムの省電力化手法の研究の紹介（加藤グループ），(5) ネットワーク相関障害の耐性に関する評価法の研究（阿部グループ）であった．また，それぞれの立場からディペンダブルソフトウェア開発の方法論の構築に向けた議論を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，現代のシステムソフトウェア分野において何が問題になっているのか，またその中で先端の高信頼プログラミング言語技術がどのように貢献可能かを明らかにすることを目標としている．また，高信頼プログラミング言語技術を現実的な問題に適用したときに，実際にどのような問題が発生するのかも明らかにすることを目指している．

このような観点から，本年度は，ディペンダブルなシステムソフトウェアの研究開発経験を有する加藤・河野・大山・品川・阿部と，高信頼プログラミング言語システムの研究開発経験を有する大堀らとの間での議論を通じて，互いの研究の理解を深めることにより，各自の従来の研究テーマに活かすとともに，実際のシステム構築に向けたプロトタイプシステム設計と実現のための足がかりとなるような方法について検討した．

特に本年度は，SML#の持つ，C 言語とのシームレスな連携可能性という特徴を生かしたシステムソフトウェア開発技術について検討を行い，翌年度以降の研究テーマの具体化を行った．特に，加藤グループの進めてきたサステーナブルシステムや，高セキュリティ仮想計算機システム BitVisor の設計開発における SML#の適用可能性について検討し，翌年度以降からの実施に向けた方針の具体化を進めた．

また，本年度に行った議論を通じて，研究グループ相互の持つ知見や方法論を基にした新たな研究テーマをいくつか提案し，翌年度以降での本プロジェクト研究の発展に向けた準備も行った．その中の一つとして，高信頼なソフトウェア開発のための理論的観点から，従来のモデル検査法などによって提案されてきた形式検証を伴うソフトウェア開発プロセスを，関数型言語の基礎となる型理論の枠組みをもとに実現するというものが挙げられる．このような研究は，実際のディペンダブルソフトウェア開発のための理論的基盤をなすものとして重要であると考えられる．

翌年度以降は，本年度に実施された研究集会等を通じて得られた上記の知見をもとに，より具体的な方法論の構築に向けたプロジェクトの推進を目指していきたいと考えている．また，翌年度以降において，加藤グループをはじめとするシステムソフトウェア開発現場に，大堀グループによる SML#を実際に導入することにより，これまで各研究グループで進めてきたそれぞれの方法論を融合したより高信頼なディペンダブルシステム構築のためのプロトタイプシステムの設計と実現を目指していきたいと考えている．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトによる波及効果および研究の発展性については，以下のものが挙げられる．

まず，本プロジェクトで開催された研究集会での議論を通じて，各研究メンバーがそれぞれ進めてきた研究テーマに新たな知見が加わることによる相乗効果を得ることができたと考えている（具体的な研究成果は［4］成果資料を参照）．特に，加藤グループらが進めてきたサステーナブルシステムや BitVisor などといったシステムを高信頼化しディペンダビリティを高めることは，実用的なシステム構築において非常に有意義であるが，そのような方法として SML#のような高信頼かつ C 言語との親和性の高いプログラミング言語を導入することが一つの有効な方法であることを，研究集会での議論を通じて確認することができ，実際のシステム開発への足がかりとなったと考えられる．また，研究者間の議論を通じて相互理解を深めることにより，前述のモデル検査法的アプローチと型理論の枠組みの融合の試みのような，本プロジェクト申請当初は計画していなかった萌芽的研究テーマの発見にも結びつけることができた．こうしたテーマについても今後の発展が期待される．

また，本プロジェクトは，計 5 つの大学から，プログラミング言語システムの開発やシステム系ソフトウェアの開発の分野において第一線で研究を推進している研究グループによって構成されている．本プロジェクトを通じた研究集会によって，これらの研究者間での交流が活性化し，相互の研究テーマの理解を深めることにより，既存の方法論に代わる新しいディペンダブルシステム開発手法の研究が促進されるものと考えられる．

さらに，本プロジェクトで開催された研究集会には，研究代表者・分担者以外にも，各研究グループに所属する多くの若手研究者が参加した．このような研究交流の場は，特に研究発表を行った若手研究者に対する他グループからの意見や議論によって各自研究してきた方法論に対する新たな知見を得たり，新しい研究テーマを発見する非常に有意義な機会となった．その意味で，本プロジェクトの推進が若手研究者の育成にも貢献したと言える．

［4］成果資料

1. 上野雄大, 大堀淳：制御フローの合流のための計算系, 情報処理学会論文誌 プログラミング (PRO), Vol. 1, No. 3, pp. 19-33, 2008年10月.
2. 山本 雅洋, 大堀 淳：変数の生存区間解析のための SAT ソルバを用いた型推論アルゴリズム, 第11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 (PPL2009).
3. Takahiro Shinagawa, Hideki Eiraku, Kouichi Tanimoto, Kazumasa Omote, Shoichi Hasegawa, Takashi Horie, Manabu Hirano, Kenichi Kourai, Yoshihiro Oyama, Eiji Kawai, Kenji Kono, Shigeru Chiba, Yasushi Shinjo and Kazuhiko Kato. "BitVisor: A Thin Hypervisor for Enforcing I/O Device Security", In Proceedings of the 2009 ACM SIGPLAN/SIGOPS International Conference on Virtual Execution Environments (VEE 2009), Mar. 2009.
4. Hideki Eiraku, Yasushi Shinjo, Calton Pu, Younggyun Koh, Kazuhiko Kato: "Fast Networking with Socket-Outsourcing in Hosted Virtual Machine Environments", ACM Symposium on Applied Computing (SAC2009), (March 2009).
5. Peter Suranyi, Yasushi Shinjo, and Kazuhiko Kato: "Name-based Address Mapping for Virtual Private Network", IEICE Trans, Vol.E92-B, No.01, 10 pages, Jan. 2009.
6. Toshihiro Yokoyama, Miyuki Hanaoka, Makoto Shimamura, Kenji Kono: Simplifying Security Policy Descriptions for Internet Servers in Secure Operating Systems, In Proc. of the 24th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC '09), March 2009, To appear.
7. Richard Potter and Kazuhiko Kato: SBUML: Multiple Snapshots of Linux Runtime State, JSSST Computer Software. To appear.
8. 神山 貴幸, 大山 恵弘: コールスタック情報を利用したモデル分割に基づく異常検知システム 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム ACS 25, to appear.
9. 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲: システムコール制御に基づく仮想マシン間サンドボックスシステム: 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム ACS 25, to appear.
10. Ayumu Tanoue, Makoto Shimamura, Miyuki Hanaoka, and Kenji Kono: FlexBox: Sandboxing Internet Servers based on Layer-7 Contexts, In Proc. of the 13th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC '08), pp.386-391, July 2008.
11. K. Omote and K. Kato, "Protection and Recovery of Disk Encryption Key using Smart Cards", Proc. 5th International Conference on Information Technology: New Generations – ITNG'08, pp.106-111, IEEE, 2008.
12. A. Sugiki, K. Yamatozaki, R. Potter, and K. Kato A Platform for Cooperative Server Backups based on Virtual Machines, Proc. 5th Int. Service Availability Symp., Springer LNCS, Vol. 5017, 2008 May, pp. 129-14.
13. Yoshihisa Abe, Hiroshi Yamada, and Kenji Kono: Enforcing Appropriate Process Execution for Exploiting Idle Resources from Outside Operating Systems, In Proc. of ACM EuroSys 2008, pp.27-40, Apr. 2008.
14. 川崎仁嗣, 阿部洋丈, 加藤和彦:プロセストレース機構の多重化法 情報処理学会, ACS 論文誌, Vol. 1, No.1, ACS22, 2008年6月, pp. 133-143
15. 西川 賀樹, 大山 恵弘, 米澤 明憲: プロセスレベルの仮想化を用いた大規模分散システムテストベッド, 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム, Vol. 1, No. 2, pages 144-156, August 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ１１

採択回数	①	２	３

推論エンジンを用いたプログラム自動検証法の研究

［1］組織

代表者：小川　瑞史
（北陸先端科学技術大学院大学）
対応者：大堀　淳
（東北大学電気通信研究所）
分担者：岩沼　宏治（山梨大学）
鍋島　英知（山梨大学）
関　浩之（奈良先端科学技術大学院大学）
浅井　健一（お茶の水女子大学）
岩崎　英哉（電気通信大学）
高橋　孝一（産業技術総合研究所）
広川　直（北陸先端科学技術大学院大学）
Li Xin（北陸先端科学技術大学院大学）

研究費：物件費０円、旅費 25 万円

［2］研究経過

プログラムの高信頼化の研究・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自動推論技術や推論エンジンの実装を用いてプログラム検証に適用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年度であり、以下、研究活動状況の概要を記す。主な活動は研究集会ならびに共同研究（代表者と対応者間）のための研究セミナーを各１回行った。なお参考文献は査読付（またはそれに準じるもの）のみをあげる。

A. H21 年１月８日（木）～9 日（金）に研究集会を東北大学電気通信研究所で開催した。発表リストならびに概要は以下の通りである。

１月８日（木）

1. 岩沼宏治（山梨大）Towards Efficient Equality Computation in SOLAR

概要：結論発見システム SOLAR における効率的な等号推論の実現の考察と提案を行なった。まず初めにボトムアップ型定理証明における等号調整法と、その順序制約と Basic 法による効率化について概説し、次にトップダウン型定理証明法における効率的な等号計算の困難さを考察した。SOLAR はトップダウン型定理証明法の一種である Connection Tableaux を基礎としているため、等号計算に関して同様な難しさを内在する。トップダウン型定理証明の等式計算の効率化法として、Brand の Modification 法、Bachmair 他による weak ordering 制約をもつ Modfication 法が有名である。Modification 法は、前処理によって証明対象となる節論理式を変型することで、等式の各種の性質を予め埋め込む手法である。Paskevich は weak ordering 制約付き Modfification 法を、Connection Tableaux に効果的に埋め込んだトップダウン型等号計算体系を提案している。しかし、modification 法は等号対称律を論理式に埋め込むため、一つの論理式から一部のみが違う複数の式を生成する必要があり、変換生成した式は一般に巨大になる。殆どが重複した複数の論理式は、様々な冗長計算を発生させ好ましくない。本講演では、等号対称律を論理式に埋め込まず新しい推論規則を導入して、等号対称性の保証が行なえる計算体系の提案を行なった。

2. 広川直（北陸先端大） KBO Orientability

概要：Knuth-Bendix 順序は関数記号の優先順位と実数上の重み付けをパラメータとする順序である。本発表ではこの順序による停止性問題が有限の命題論理式で記述可能であることを示した。さらにこの順序を用いた停止性の自動検証ツールは、SMT ソルバを用いることで極めて容易に実装でき、実行速度も既存のアルゴリズムに比べ優れていることを実験により示した。（論文投稿中）

3. 岩崎英哉（電通大）遅延評価型関数プログラムにおける再帰データ構造の Thunk の再利用

概要：遅延評価では、関数適用式の評価時に各引数の評価を遅延させるため、Thunk と呼ばれるデータ構造がヒープ内に割りあてられる。実行時オーバーヘッドが大きい Thunk の量を減らすことは、関数プログラムの効率化に極めて重要である。本発表では、すでに割りあてられた Thunk の再利用のための静的解析を提案する。具体的には、リストの tail 部にある Thunk への参照を単一とするプログラム変換を施し、 Thunk の安全な破壊的更新による再利用を行う。提案アルゴリズムを Glasgow Haskell Compiler（GHC）に試験的実装し nofib ベンチマークにより評価した。その結果、メモリ消費量と実行時間について有望な結果を得ることができた。

[1] 田村知博、高野保真、岩崎英哉: 純関数型言語の処理系における効率的な枝刈り機構の実装、情処学会論文誌プログラミング、1(2), pp.28--41, 2008.

4. 増子萌、浅井健一(お茶の水女子大) MinCaml コンパイラにおける shift/reset の実装

概要:限定継続を扱う命令である shift と reset を Power PC の機械語レベルで実装法を提案し、実際に MinCaml コンパイラに組み込んでベンチマークを実行したときの状況について発表した。

[2] 増子萌、浅井健一: MinCaml コンパイラにおける shift/reset の実装、第 11 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集 pp. 163-177, 2009.

5. 山本雅洋、大堀淳(東北大) 変数の生存区間解析のため SAT ソルバを用いた型推論アルゴリズム

概要:コード最適化問題の一つである最適レジスタ割付け問題は、レジスタを変数に割付けるのではなく、変数の生存区間に対し割付ける必要がある。従来の枠組みでは、生存期間はフローグラフに対する彩色問題などグラフ論的な手続きにより定義されていた。本発表では、生存区間の宣言的記述となる型システムと型推論アルゴリズムを報告する。この型システムは、変数型はプログラム中の変数定義の部分集合、型推論規則は変数定義の到達可能性の推論規則を表現する。このとき各変数の生存区間は論理制約を満たす最小解に対応し、SAT の最適化問題である MIN-ONE に帰着する。最後に、提案手法と OptSAT アルゴリズムを用いた実装を報告する。

[3] 山本 雅洋、大堀 淳: 変数の生存区間解析のための SAT ソルバを用いた型推論アルゴリズム、第 11 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 PPL2009.

[4] 上野雄大、大堀淳:制御フローの合流のための計算系、情報処理学会論文誌 プログラミング(PRO), 1(3), pp. 19–33, 2008.

6. 高橋孝一(産総研) マーキングアルゴリズムの抽象化による検証について

概要:Deutsch-Schorr-Waite マーキングアルゴリズムはポインタを操作するプログラムであり、正しさが自明ではない。我々は、μ計算を用いた抽象化を行うことによって、比較的コンパクトかつ高速に検証することに成功した。検証は、Agda を使った対話的証明と、我々が開発したμ計算の充足可能性の自動決定器の両方を組み合わせて行った。

[5] Yoshinori Tanabe, Toshifusa Sekizawa, Yoshifumi Yuasa, Koichi Takahashi: Pre- and Post-conditions Expressed in Variants of the Modal mu-calculus, IEICE Trans. on Information and Systems, Special Section on Formal Approach, Vol.E92-D, No.5, pp.995-1002, May. 2009.

[6] Toshifusa Sekizawa, Yoshinori Tanabe, Yoshifumi Yuasa, Koichi Takahashi. MLAT: A Tool for Heap Analysis based on Predicate Abstraction by Modal Logic. The IASTED International Conference on Software Engineering (SE 2008).

[7] Yoshifumi Yuasa, Yoshinori Tanabe, Toshifusa Sekizawa, Koichi Takahashi: Verification of the Deutsch-Schorr-Waite Marking Algorithm with Modal Logic. 2nd Int. Conf., Verified Software: Theories, Tools, Experiments (VSTTE 2008), LNCS 5295, pp.115–129, 2008.

1 月 9 日(金)

7. 関浩之(奈良先端大) Multiple Context-Free Grammar and Its Application

概要 : Multiple Context-Free Grammar(MCFG)は、CFG の自然な拡張であり、CFG より真に大きく、CSG より真に小さいクラスである。MCFG は、空判定問題や所属問題の判定可能性、言語演算に対する閉包性など、CFG の良い性質を保存している。本発表では、MCFG の定義と諸性質を概観した後、M モデル検査への応用について述べる。具体的に、LTL モデル検査が可能となるよう、MCFG の無限系列言語の生成モデルへの拡張について考察する。

[8] 高田喜朗、王静、関浩之: 実行履歴に基づくアクセス制御の形式モデルと検証、電子情報通信学会論文誌 J91-D (4), pp.847-858, 2008.

[9] Yuki Kato, Tatsuya Akutsu, Hiroyuki Seki: A Grammatical Approach to RNA-RNA Interaction Prediction, Pattern Recognition, 42, pp.531-538, 2009.

[10] Yoshiaki Takata, Hiroyuki Seki: Formal Language Theoretic Approach to the Disclosure Tree Strategy in Trust Management, IEICE Trans. Information and Systems, E92-D, 2, 2009.

[11] Yuki Kato, Tatsuya Akutsu, Hiroyuki Seki: Dynamic Programming Algorithms and Grammatical Modeling for Protein Beta-Sheet Prediction, J. Computational Biology, to appear.

[12] Yuki Kato, Tatsuya Akutsu, Hiroyuki Seki: Prediction of Protein Beta-Sheets: Dynamic Programming versus Grammatical Approach, 3rd IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition in Bioinformatics (PRIB 2008), 2008.

8. 南出靖彦(筑波大) Checking the Balancedness of a Context-Free Language in Polynomial Time

概要 : 括弧から成る文字列を生成する文脈自由文法

が与えられたとき、その文法が生成する文字列で括弧のバランスがとれているかを判定する問題は、ソフトウェア検証などにも応用されている基礎的な問題である。既存のアルゴリズムが指数関数時間であったのに対し、本研究ではPlandowskiによるSLPと呼ばれる特殊な文脈自由文法の等価性を多項式時間で判定するアルゴリズムを応用することで、この問題に対して多項式時間判定アルゴリズムを与えた。

[13] T. Nishiyama, Y. Minamide: Translation from the HTML DTD into a Regular Hedge Grammar, 13th Int. Conf. on Implementation and Applications of Automata, LNCS 5148, pp. 122-131, 2008.

9. 小川瑞史（北陸先端大）Antichain for VPA model checking

概要：Visibly Pushdown Automaton (VPA) は括弧言語を受理可能な有限オートマトンの拡張であり、しかも有限オートマトン同様なブール演算の閉包性をもつため、包含問題（モデル検査）が決定可能である。しかしその計算量は $O(2^{n^2})$ と困難であり、過去において数状態以上を解く実装は存在しなかった。本発表では、計算の融合と極小化のアイデアを用いたantichainアルゴリズムをP-オートマトンの手法を用いてVPAに対し拡張した。その実装・実験により従来手法に比べ劇的な改善を示し、実用的な有効性の可能性を示した。（論文投稿中）

B. H21年2月27日（金）に研究セミナーを東北大学電気通信研究所で行った。セミナーの内容は以下の通りである。

Li Xin（北陸先端大）A Scalable Stacking-based Context-Sensitive Points-to Analysis for Java

概要：Javaは動的なメソッド呼出をもつため、文脈依存解析の基礎となるメソッド呼出グラフの生成自体が自明ではなく、points-to解析が必要となる。本発表では、on-the-flyな重み付プッシュダウンモデル検査によるJavaのpoints-to解析の定式化、およびその実装・実験について述べる。実装は、Javaの前処理としてSOOT（中間言語Jimpleへの変換系）、バックエンドモデル検査エンジンとしてWeighted PDSライブラリを用いるが、単純な実装では2000メソッド以上の処理は困難であった。本実装では分割モデル検査を組み合わせることで10000メソッド超のWebアプリケーションの処理が可能となることを報告する。（論文準備中）

なお、このセミナー（午前）をもとに同日午後においては、SML# コンパイラへの適用可能性を主に活発な討論を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

初年度であり、本研究プロジェクトの直接の研究成果はないが、本プロジェクト参加メンバーによる近年（本年度を含む）の研究成果について研究集会と研究セミナーと行い、それぞれの研究成果を用いた共同研究の可能性についてキックオフを行った。

その結果、通研側対応者の大堀研で進めているSML#コンパイラにおける最適化の定式化や実装において、プッシュダウンモデル検査を用いる検討を開始している。従来のプッシュダウンモデル検査は主に手続きに対し適用させており、関数型言語であるSMLに適用するには高階関数のプッシュダウンモデルなどの検討が必要である。当面、既に解法が知られているreference解析を対象として、適用可能性を評価する。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの研究成果はいまだではあるが、組織横断的・分野横断的な研究メンバーによる研究集会により、具体的な共同研究課題が討議された。これにより、現在のstate-of-the-artの手法、ならびに分野横断的な問題の交換がなされ、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ている。

特に、形式言語における理論的成果であるプッシュダウンオーマトンの拡張・決定アルゴリズム等をツール実装を含め、現実のSMLなどプログラミング言語の高信頼化・最適化に応用については、研究集会後、さらに研究セミナーを開催し、具体的な共同研究の可能性をさらに深く探索した。

また開催した研究集会・研究セミナーにおいては、大堀研学生（東北大）、浅井研学生（御茶ノ水女子大）、小川研助教・ポスドク（北陸先端大）など若手研究者の発表が半数を占め今後の進歩が期待されている。

［4］成果資料

初年度であり、直接的な研究成果はないが、研究集会・研究セミナーにおける研究交流のもととなる資料を［1］の報告にあげた。

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ１２

採択回数	①　２　３

定理証明系とその応用に関する研究

［１］組織

代表者：南出　靖彦
（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
人間文化創成科学研究科）
Reynald Affeldt
（独立行政法人産業技術総合研究所
情報セキュリティ研究センター）
磯部　祥尚
（産業技術総合研究所情報技術研究部門）
亀山　幸義,
（筑波大学システム情報工学研究科）
Jacques Garrigue
（名古屋大学多元数理科学研究科）
小林　直樹
（東北大学情報科学研究科）
高橋　和子
（関西学院大学理工学部）
武山　誠
（独立行政法人産業技術総合研究所
システム検証研究センター）
西崎　真也
（東京工業大学情報理工学研究科）
西村　進
（京都大学理学研究科）

研究費：物件費２万円，旅費２５万９千円

［２］研究経過

対話的な定理証明系を、ハードウェアやソフトウェアの検証、数学やプログラミング言語理論の形式化などに応用する研究が活発になってきている。しかし、規模の大きな問題に適用するには、証明の自動化や対象の形式化の手法などの点で課題が多い。本研究では、様々な分野に定理証明系を応用している研究者及びIsabelle、Coq、Agdaなど様々な定理証明系のユーザが集まり、具体的な事例での課題やそれぞれの定理証明系での技術的課題について議論し、その解決を目指した。

平成20年11月25～26日に東北大学電気通信研究所においてメンバー及び国内外の関連する分野の研究による研究集会を開催した。研究集会における発表テーマは次の通りである。

- 亀山幸義, Oleg Kiselyov,, Chung-chieh Shan,「Higher-Order Abstract Syntax を使ったケーススタディ２題 －CPS変換の完全性とマルチステージ言語の Subject Reduction」
- 湯浅能史,「定理証明系を用いた検証の授業について」
- 藤川浩光,「リターンバリアを使う実時間ごみ集めの安全性～抽象化の検証に Isabelle/HOL を使ってみて」
- 青戸等人, Sound Lemma Generation for Proving Inductive Validity of Equations」
- 廣田知子, 浅井健一,「対称λ計算の定式化に向けて」
- 高橋 和子,「Proving Divisibility of an Ideal Electronic Cash Protocol Using Isabelle/HOL」
- 藤原拓也,「Jones による計算可能性理論の形式化の試み」
- 千葉勇輝,「組化技法を用いたパターンによるプログラム変換」
- 武山誠,「Using the Agda Compiler MAlonzo」
- Julien Tesson,「Operational semantics of an imperative BSP mini-language in coq」
- AFFELDT Reynald,「Verification of Security Protocols with a Bounded Number of

Sessions based on Resolution for Rigid Variables」
- David NOWAK,「On Formal Verification of Arithmetic-Based Cryptographic Primitives」
- Jacques Garrigue ,「 Soundness and principality of type inference for structural polymorphism」
- 木下佳樹,「Agda の言語とシステム」
- 磯部祥尚,「The First Step for Implementing a Model Checker in a Theorem Prover -- Toward Automatic Verification in CSP-Prover」
- 南出靖彦,「Nominal Isabelle による CPS 変換の正当性の証明」

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトによる研究集会において、本研究のメンバーが発表した研究成果を以下に記す。

1. プログラミング言語のメタ理論の定式化と検証

束縛変数に関する同値性を直接扱える定理証明系 Nominal Isabelle によって、CPS 変換の形式化とその正当性の検証を行った。CPS 変換を Nominal Isabelle で形式化する場合、変換が導入する新しい束縛変数の扱いが難しく、紙の上の証明をそのまま翻訳することができない。本研究では、必要となる補題を系統的に準備し証明を行うことで、定義や証明の主要な部分を自然な形で記述するができた。(南出靖彦)

プログラム変換の一種である CPS 変換の健全性と完全性を、Twelf システムを用いて形式検証する試みについて述べた。この証明で鍵となる束縛変数の扱いについて論じ、証明で必要とする逆 CPS 変換が compositional となるための工夫について述べた。(亀山幸義)

対象λ計算の導入を行うとともに、その基本的な性質である progress と preservation について、手による証明の概要を示した。また、それを定理証明系 Coq を使って行うにはどうしたらよいかについて検討した。(廣田知子, 浅井健一)

構造的多相性は、多相オブジェクトとバリアントを同時に定式化できる型推論の枠組みであり、Objective Caml の型システムの基礎となっている。証明支援系 Coq を用いて、その型安全性及び型推論アルゴリズムの健全性と完全性の証明に成功した。この証明の過程で見つかった、紙の上での証明ではこれまで考慮されてなかったいくつかの本質的な性質について議論した。(Jacques Garrigue)

2. クリティカルシステムの検証

理想的電子現金に要求される仕様の中で「分割利用可能性」の検証を試みた.「分割利用可能性」は「ある金額から任意の金額を使用した場合，残りの金額も正当な電子現金である」と解釈される．対象とする方式では，電子現金は二分木により実現されており，分割利用するための操作がその上で定義されている．このデータ構造および関数を帰納的な形で形式化し, 定理証明器 Isabeele/HOL を用いて検証を行った．本手法では，分割利用したあとの二分木を完全二分木のリストとし，リストごとに支払い関数を定義して証明している．(高橋和子)

実用性が高く誤検知の起きない，一階述語論理を用いたプロトコル自動検証アルゴリズムを，プロトコルのセッションの数が限られた仮定の上で，標準な技術を利用して構成した．本アルゴリズムは，既存のアルゴリズムでは実現できなかった，完全性と停止性の両方を満たしている．このアルゴリズムにより，誤検知の原因となっていたルール適用の順序とルールの再生成を抑制することができ，その結果，これまで検証が出来なかった暗号プロトコルの検証が可能になった.(AFFELDT Reynald)

システム検証ツールはモデル検査系と定理証明系に大別できる。モデル検査器と比較した定理証明器の長所は帰納法等により無限状態を検証できることにある。一方、その短所は検証の完全自動化が難しいことである。本研究の目的は、定理証明器上にモデル検査器のアルゴリズムを実装し、両方の長所をもつ検証ツールを開発することである。本発表では、並行システムの双模倣関係を自動検証可能なツールを定理証明器 Isabelle 上に試験的に実装したことを報告する。(磯部祥尚)

（3－2）波及効果と発展性など

2005 年から定理証明と定理証明系に関する研究集会を、年に１回開催してきたが、本プロジェクトにより、これまで以上に研究者間の交流を進めることができた。本プロジェクト研究が契機となり、定理証明系を用いたプログラミング言語のメタ理論の検証などの分野でメンバー間の共同研究などが進むことが期待できる。

［4］成果資料

1. A. Tozawa, M. Tatsubori, T. Onodera, Y. Minamide, Copy-on-Write in the PHP Language, In Proc. POPL: The Symposium on Principles of Programming Languages, pp. 200-212, 2009.

2. T. Nishiyama and Y. Minamide, A Translation from the HTML DTD into a Regular Hedge Grammar, In Proc. of the 13th International Conference on Implementation and Applications of Automata, LNCS 5148, pp. 122-131, 2008

3. 安田峰悠, 松本宗太郎, 南出靖彦, ブラウザにおける JavaScript 実行のモデル化, 日本ソフトウェア科学会 第 25 回大会, 2008 年 9 月 10 日～12 日.

4. Jefferson O. Andrade, Yukiyoshi Kameyama, A Direct Algorithm for Multi-Valued Bounded Model Checking, Proc. International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA 2008), Lecture Notes in Computer Science 5311, pp. 80-94, Oct. 2008.

5. Yukiyoshi Kameyama, Oleg Kiselyov, Chung-chieh Shan, Shifting the Stage -- Staging with Delimited Control, Proc. ACM SIGPLAN Symposium on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'09), Savannah, USA, pp. 111-120, Jan. 2009.

6. Naoki Kobayashi and Hitoshi Ohsaki, Tree Automata for Non-Linear Arithmetic, Proceedings of RTA 2008, Springer LNCS 5117, pp.291-305, 2008.

7. Naoki Kobayashi, Types and Higher-Order Recursion Schemes for Verification of Higher-Order Programs,Proceedings of POPL 2009, pp.416-428, 2009.

8. Sin-ya Katsumata and Susumu Nishimura, Algebraic Fusion of Functions with an Accumulating Parameter and Its Improvement, Journal of Functional Programming, 18(5-6), pp. 781-819, 2008.

9. Susumu Nishimura, Safe Modification of Pointer Programs in Refinement Calculus, International Conference on Mathematics of Program Construction (MPC '08), LNCS 5133, pp. 284-304, 2008.

10. 八尾俊佑, 粟野宏昭, 平岡康, 高橋和子、モデル検査器 SPIN による船舶用システムのモデル化と検証, 第 6 回ディペンダブルシステムワークショップ(特別講演), pp.61--68, July, 2008.

11. Takahashi,K, T.Sumitomo and I.Takeuti. On Embedding a Qualitative Representation in a Two-Dimensional Plane, Spatial Cognition and Computation, Vol.8, No.1-2, pp.4-26, April, 2008.

12. 木谷有沙、浅井健一「限定継続を含む仮想機械導出のためのプログラム変換」第 11 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, 14 pages (2009).

13. Reynald Affeldt and Hubert Comon-Lundh., Verification of Security Protocols with a Bounded Number of Sessions based on Resolution for Rigid Variables. In Special Issue on Computer Security, volume 5458 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2009. To appear.

14. Yoshinao Isobe and Markus Roggenbach: CSP-Prover -- a Proof Tool for the Verification of Scalable Concurrent Systems, Journal of Computer Software, Japan Society for Software Science and Technology(JSSST), Vol.25, No.4, pp.85--92, 2008.

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｓ０１

採択回数	(1)	2	3

スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発

［1］組織

代表者：三村　秀典（静岡大学電子工学研究所）
対応者：鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
分担者：青木　　徹（静岡大学電子工学研究所）
根尾陽一郎（静岡大学電子工学研究所）
川人　祥二（静岡大学電子工学研究所）
伊藤　真也（静岡大学電子工学研究所）
原　　和彦（静岡大学電子工学研究所）
小南　裕子（静岡大学電子工学研究所）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
塩入　　論（東北大学電気通信研究所）
谷岡　健吉（ＮＨＫ放送技術研究所）
栗田泰市郎（ＮＨＫ放送技術研究所）
江上　典文（ＮＨＫ放送技術研究所）
林　　直人（ＮＨＫ放送技術研究所）
渡辺　　馨（ＮＨＫ放送技術研究所）
江本　正喜（ＮＨＫ放送技術研究所）

研究費：

［2］研究経過

スーパーハイビジョン（ＳＨＶ）は将来のテレビジョンシステムで，走査線数4320本の超高精細映像と三次元マルチチャンネル音響で構成され，ハイビジョンの16倍の超高精細映像で極めて高い臨場感が得られることを特徴とする。本研究では，これを実現するために必要なスーパーハイビジョンの基盤となるデバイス，および，映像音響およびストレージサブシステム，視聴覚品質評価などの要素技術を開発することを目的として研究を行った。

東北大学，静岡大学およびＮＨＫの研究グループが研究共同体を形成し，ＮＨＫが実現を目指しているスーパーハイビジョンプロジェクトの実現に向けた要素技術の開発を行う。そのために各研究グループが以下の達成を目標として研究を行う。

【静岡大学電子工学研究所】
川人研究室：スーパーハイビジョン用ＣＭＯＳイメージセンサの研究
三村研究室：スーパーハイビジョンディスプレイおよびスーパーハイビジョンＨＡＲＰ用収束電極付微小電子源の形成
原　研究室：スーパーハイビジョンディスプレイ対応広色域用新規蛍光体の合成

【東北大学電気通信研究所】
鈴木研究室：スーパーハイビジョン聴覚ディスプレイサブシステム構成法と，その品質評価の研究
村岡研究室：スーパーハイビジョンストレージサブシステム構成法の研究
塩入研究室：スーパーハイビジョン映像評価法の研究

【ＮＨＫ放送技術研究所】
材料・デバイス：スーパーハイビジョン用イメージセンサ，ディスプレイ，ストレージシステムの研究
人間・情報：スーパーハイビジョン映像音声評価法の研究

本プロジェクトは本年度が初年度で，以下に示すような今後の展開に向けての研究打ち合わせを数回に亘って行った。

１．2008年5月14日（水）
共同プロジェクト研究の進め方についての打合会
場　所：静岡大学電子工学研究所
出席者：東北大学電気通信研究所
鈴木陽一教授，古西　真教授
静岡大学電子工学研究所
三村秀典教授，中西洋一郎客員教授

２．2008年8月7日（木）
共同プロジェクト研究キックオフ打合会
場　所：東北大学電気通信研究所
出席者：東北大学電気通信研究所
矢野雅文教授，鈴木陽一教授，
塩入　論教授，村岡裕明教授，
古西　真教授，
静岡大学電子工学研究所
三村秀典教授，川人祥二教授，
原　和彦教授，中西洋一郎客員教授
内　容

パターンの脳内情報表現と類似度　矢野教授
大視野映像に関わる視覚特性　塩入教授
ヒトの音空間知覚と３次元聴覚ディスプレイ
鈴木教授
高密度磁気記録技術による情報ストレージの
大容量化・高速化　村岡教授
超高精細イメージングデバイスへの応用を目
指した微小電子源と蛍光体の研究　三村教授
非電子像倍型シングルフトン感度イメージン
グ　川人教授
蛍光体開発に向けた新しい取り組み
原　教授

３．2008年11月5日（水）
共同プロジェクト研究のキックオフミーティン
グ
場　所：NHK放送技術研究所
出席者：東北大学電気通信研究所
鈴木陽一教授，古西　真教授
静岡大学電子工学研究所
三村秀典教授，中西洋一郎客員教授
NHK放送技術研究所
伊藤崇之次長，菅並秀樹担当部長，
江上典文主研，後沢瑞芳ＣＥ

４．2009年1月27日（火）
共同プロジェクト研究会議
場　所：NHK放送技術研究所
出席者：東北大学電気通信研究所
鈴木陽一教授，塩入　諭教授，
古西　真教授
静岡大学電子工学研究所
三村秀典教授，川人祥二教授，
猪川　洋教授，原　和彦教授，
中西洋一郎客員教授
NHK放送技術研究所
伊藤崇之次長，菅並秀樹担当部長，
栗田泰市郎部長，野尻裕司主幹，
江上典文主研，大竹　浩主研，
安藤彰男主研，江本正喜主研，
林　直人主研，後沢瑞芳ＣＥ
内　容：
挨　拶　NHK伊藤次長
ＳHV見学
ＳHV開発の現状と課題　NHK野尻主幹
超高精細イメージングデバイスへの応用を目
した微小電子源と蛍光体の研究
静岡大学　三村教授
超高精細高速撮像デバイスを可能にするカラ
ム並列Ａ／Ｄ変換技術
静岡大学　川人教授
単電子カウンティング光検出器
静岡大学　猪川教授
蛍光体開発に向けた新しい取り組み
静岡大学　原　教授
検討状況報告　東北大学　鈴木教授
検討状況報告　東北大学　塩入教授
検討状況報告　NHK　林　主幹
今後の予定　全体　進行　NHK菅並部長

［3］成果

（３－１）研究成果

本共同プロジェクト研究を推進するにあたり，初年度である今年度は今後の連携した研究体制を構築するために上述のように，２者または３者の間での打ち合わせ，キックオフミーティング，研究会議を開催した。これらの一連の会議により，ＳHVの要素技術開発のためにNHKと東北大学および静岡大学のここの構成員との間でサブプロジェクトを設定し，それぞれのサブプロジェクト研究において平成２１年度の研究計画を作成した。

静岡大学に関するサブプロジェクトは下記の通りである。

静岡大学・川人教授－NHK・大竹主幹
「ＳHV用CMOＳイメージセンサの研究」
超高精細(33M ピクセル)かつ高フレームレート(240fps)が必要とされるスーパーハイビジョンのための撮像デバイスとして、高速、低ノイズ、高分解能高ダイナミックレンジを特徴とするカラム並列巡回型A/D変換技術を用いたCMOSイメージセンサについて研究を行う。

静岡大学・原　教授－NHK・岡本主幹
「ＳHVディスプレイ対応新規蛍光体の合成」
スーパーハイビジョンシステムにおいて求められる性能をもつ放送用モニターを、これに適した自発光パッシブ駆動で動作する無機 EL を用いて開発することを目的とする。平成21年度は、特に、従来材料では課題となる小型、超高精細、高コントラスト化に対応が可能な、新規白色発光材料の探索を行う。

平成２１年度では，それぞれのサブプロジェクト研究の進捗状況の報告，問題点・課題等の確認・対策の検討等のために数回程度の研究会議を開催することとした。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究がスーパーハイビジョン

の開発を支援することにより、NHKが２０２０年以降に実用化を目指すスーパーハイビジョンによる放送サービスの実現に寄与するとともに、静大電研、東北大通研共に、NHKという公的機関を通じた社会貢献という形で、将来の画像技術に対して多大なる貢献ができ、またそれが画像技術コミュニティーに広く認められる。スーパーハイビジョン技術は、放送技術改革にとどまらず、サイエンス、医療、バイオ、福祉等に改革をもたらすビッグ技術に確実に発達するものと考えられる。現時点から、スーパーハイビジョン技術を支援しておくことは、今後国家プロジェクト等のビッグプロジェクト獲得につながる可能性が高い。

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｓ０２

採択回数	①　２　３

スピントロニクス連携ネットワーク

［1］組織

代表者：伊藤　公平
（慶應義塾大学理工学部）
対応者：大野　英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
齋藤　英治（慶應義塾大学理工学部）
江藤　幹雄（慶應義塾大学理工学部）
斉木　敏治（慶應義塾大学理工学部）
枝松　圭一（東北大学電気通信研究所）
白井　正文（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
池田　正二（東北大学電気通信研究所）
大野　裕三（東北大学電気通信研究所）
小坂　英男（東北大学電気通信研究所）
島津　武仁（東北大学電気通信研究所）
板倉　文祇（東北大学電気通信研究所）
平山　祥郎（東北大学理学研究科）
安藤　康夫（東北大学工学研究科）
佐橋　政司（東北大学工学研究科）
高橋　　研（東北大学工学研究科）
新田　淳作（東北大学工学研究科）
角田　匡清（東北大学工学研究科）
土井　正晶（東北大学工学研究科）
高梨　弘毅（東北大学金属材料研究所）
前川　禎通（東北大学金属材料研究所）
遠藤　哲郎（東北大学学際科学国際高等研究センター）
川崎　雅司（東北大学原子分子材料科学高等研究センター）
宮崎　照宣（東北大学原子分子材料科学高等研究センター）
吉田　　博（大阪大学基礎工学研究科）
鈴木　義茂（大阪大学基礎工学研究科）
木村　　剛（大阪大学基礎工学研究科）
草部　浩一（大阪大学基礎工学研究科）
佐藤　和則（大阪大学基礎工学研究科）
河野　　浩（大阪大学基礎工学研究科）
白石　誠司（大阪大学基礎工学研究科）

研究費：物件費 0円，旅費 0円

［2］研究経過

スピントロニクス（Spintronics）とは、物質の電気特性と磁気特性の双方を制御することにより得られる新しい物理現象の探求とそれを利用した、エレクトロニクス・マグネティクス・フォトニクスといった電子・情報通信産業のイノベーションを創成する学術分野である。

スピントロニクス分野の発展に対する我が国の科学者・工学者の寄与は極めて大きい。材料とナノテクノロジーに力点をおいた日本の基幹研究が、スピントロニクス展開をリードしてきた。トンネル現象などの量子力学的効果を顕在化するためには、我が国が得意とするナノテクノロジーや材料技術が不可欠であるからである。最近では量子力学的なナノスケールのスピントロニクス現象が実際のデバイスに用いられるところまで分野は進展している。また基礎的な面では、スピン流などを取り入れて古典電磁気学を更に発展させる展開も繰り広げられている。

産業界からの注目も高い。微細化（ムーアの法則）のみに頼る手法では半導体産業の発展が限界を迎える現在、世界的に最も影響力が強い「国際半導体技術ロードマップ(International Technology Roadmap for Semiconductors、通常略してITRS)」は15年後の電子・情報通信産業の発展を支える重点技術の最有力候補としてスピントロニクスを明記している。これを受けて、米国ではインターネットなどの戦略的開発支援で有名なDARPAがスピントロニクス分野でプロジェクトを発足させた。我が国においても総合科学技術会議が革新的技術戦略に取り上げて技術立国のためのリーダーシップとプライオリティーを確保することが重要かつ緊急であることを強調している。すなわち、基礎科学的興味と産業界のニーズが発展を促し、さらにそれらが協調的に発展をとげている科学技術革新分野がスピントロニクスである。

我が国における電気工学と磁気工学の歴史は、個々の分野としては長いものの、「電気と磁気の交わり」であるスピントロニクスが顕在化したのは最近である。科学研究費補助金の枠組みでは、半導体スピントロニクス重点・特定領域が2件、金属スピントロニクス重点領域が1件過去に実施され、現在では、それらの発展形である半導体・金属スピントロニクス協調型特定領域が進行中であって、大学を中心とした学術機関の研究交流が活発化している。

しかし、基礎研究のさらなる深化とそれが産業イノベーションに密接に係わる現在、参加研究者が限定された科研費やその他の競争的研究資金の枠組みを超えて、国公私立大学の先端的学術成果、共同利用・共同研究拠点としての附置研のリソース、さらには産業界のイノベーションニーズを統合した、組織間連携をベースとする全国の研究者に門戸の開かれたスピントロニクス連携研究ネットワークを構築することが研究者のコミュニティーから求められている。

そこで本プロジェクトでは、組織間連携に基づくスピントロニクス連携研究ネットワークを構築し、基礎研究を一層充実させると共に、産業イノベーションまでの幅広いスピントロニクス研究を格段に推進することを目的とした。

本プロジェクトは本年度が初年度であり、採択は10月であった。よってこれまでの実質的な活動期間はわずか5カ月程度である。その間、全国に広がるスピントロニクス連携ネットワークを形成して国内を地域的に網羅すると同時にスピントロニクス研究の3大要素（基礎物性、材料・素子開発、材料・素子デザイン）のネットワーク担当を明確にするために、基礎物性ネットワークの中心を慶應大学、材料・素子開発ネットワークの中心を東北大学、材料・素子デザインの幹事を大阪大学に設置した。特に慶應義塾大学には慶應義塾先導研究センターの一部として「スピントロニクス研究センター」を平成21年3月1日付で発足させ、本スピントロニクス連携のコアになると同時に、関東ノードのコアとして関東周辺のスピントロニクス研究者の研究交流・情報交換の場を提供する基盤を整えた。東北ノードのコアは東北大学、関西ノードのコアは大阪大学であり、これらのコアが全国のスピントロニクス研究機関を、地域・専門分野・共同利用施設の必要性などの複数のカテゴリーに分けて網羅して、有機的なネットワークを構築する準備を始めた。その一環として平成21年1月28-29日には研究会「半導体スピン工学の基礎と応用」(http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotaib/pasps13/PASPS13top.html)を東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟で開催し、招待講演4件、一般講演（口頭）24件、一般講演（ポスター）19件の合計47件として最新成果が発表され、それらを参加登録者71名が聴き入り活発な討論を行った。本研究会の次回は平成21年12月に慶應義塾大学で実施されることが決定している。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度が初年度であり、10月に採択されたことから実質的活動期間がわずか5か月程度と限られていたが、この間、上述の関東ノード、東北ノード、関西ノードの設立を行った。特に慶應義塾においてはスピントロニクス研究センターを正式に発足し、本連携の基盤作りを行った。また、やはり上述のとおり、研究会「半導体スピン工学の基礎と応用」を東北大学通研で開催した。この研究会は来年度は慶應義塾、再来年度は関西エリアを巡回する予定でいる。また、世界との繋がりも重視して、来年度と再来年度にスピントロニクス分野の主要国際会議を日本で開催をする準備を本ネットワークメンバーで進めている。

下記の成果資料は東北・関西・関東コアそれぞれの代表者の成果であるが、これらもコア間と情報や人的交流に基づく成果であることを強調する。すなわち連携ネットワークの存在が様々な繋がりを促した結果である。

［4］成果資料

1) K. Shirai, H. Yamaguchi, A. Yanase, and H. Katayama-Yoshida, “A new structure of Cu complex in Si,” J. Phys.: Condens. Matter **21** 064249, (2009).
2) Y. Shimizu, M. Uematsu, K. M. Itoh, A. Takano, K. Sawano and Y. Shiraki, “Behaviors of neutral and charged silicon self-interstitials during transient enhanced diffusion in silicon investigated by isotope superlattices,” J. Appl. Phys., **105**, 013504 (2009).
3) M. Kodzuka, T. Ohkubo, K. Hono, F. Matsukura, and H. Ohno, "3DAP analysis of (Ga,Mn)As diluted magnetic semiconductor thin film,” Ultramicroscopy, **109**, 644 (2009),
4) J. Sailer, V. Lang, G. Abstreiter, G. Tsuchiya, K. M. Itoh, J. W. Ager III, E. E. Haller, D. Kupidura, D. Harbusch, S. Ludwig and D. Bougeard, "A schottky top-gated two-dimensional electron system in a nuclear spin free Si/SiGe heterostructure," Phys. Status Solidi RRL, **3**, 61 (2009).
5) Y. Nishitani, D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "ac susceptibility of (Ga, Mn)As probed by the anomalous Hall effect,” J. Appl. Phys., **105**, 070516 (2009).
6) S. Matsunaga, K. Hiyama, A. Matsumoto, S. Ikeda, H. Hasegawa, K. Miura, J. Hayakawa, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Standby-power-free compact ternary content-addressable memory cell chip using magnetic tunnel junction devices", Applied Physics Express, Vol. 2, pp. 023004, February 2009.

7) M. Sekikawa, K. Kiyoyama, H. Hasegawa, K. Miura, T. Fukushima, S. Ikeda, T. Tanaka, H. Ohno, and M. Koyanagi, "A novel SPRAM (spin-transfer torque RAM)-based reconfigurable logic block for 3D-stacked reconfigurable spin processor", Digests of technical papers of 2008 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2008), pp. 935-937, December 2008.
8) S. Miyamoto, K. Nishiguchi, Y. Ono, K. M. Itoh and A. Fujiwara, "Escape dynamics of a few electrons in a single-electron ratchet using silicon nanowire metal-oxide-semiconductor field-effect transistor," Appl. Phys. Lett., **93**, 222103 (2008).
9) M. Naganawa, Y. Shimizu, M. Uematsu, K. M. Itoh, K. Sawano, Y. Shiraki and E. E. Haller, "Charge states of vacancies in germanium investigated by simultaneous observation of germanium self-diffusion and arsenic diffusion," Appl. Phys. Lett., **93**, 191905 (2008).
10) Y. Kondo, M. Ono, S. Matsuzaka, K. Morita, H. Sanada, Y. Ohno, and H. Ohno, "Multipulse operation and optical detection of nuclear spin coherence in a GaAs/AlGaAs quantum well," Phys. Rev. Lett., **101**, 207601, (2008)
11) H. Hayashi, K. M. Itoh and L. S. Vlasenko, "Nuclear magnetic resonance linewidth and spin diffusion in ^{29}Si isotopically controlled silicon," Phys. Rev. B, **78**, 153201 (2008).
12) H. Katayama-Yoshida, H. Kusakabe, H. Kizaki, A. Nakanishi, General rule and materials design of negative U system for High-Tc Superconductivity, Applied Physics Express, **1**, 081703 (2008).
13) H. Kizaki, H. Kusakabe, S. Nogami, H. V. A. Dinh, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "New high-T_C half Heusler ferromagnetis NiMnZ (Z = Si, P, Ge, As)," J. Phys. Soc. Jpn. **77**, 14705 (2008).
14) H. Kizaki, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "Materials design of $CuAlO_2$-based dilute magnetic semiconductors by first-principles calculations and Monte Carlo simulations," Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 6488 (2008).

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

気相－液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム
International Interdisciplinary-Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas (ISGLP 2008)

開 催 日：平成 20 年 9 月 5 日（金曜日）～6 日（土曜日）（２日間）
開催場所：東北大学工学研究科 青葉記念会館・ホテルクレセント

本国際シンポジウムは，宇宙空間，核融合，半導体プロセスに関与するプラズマ基礎及び応用の分野において重要な役割を果たしてきた気相プラズマと，近年，バイオ・ナノ応用，環境応用等の分野で急速に進展しつつある液相プラズマの研究に携わる国内外の第一線の研究者が，当該分野における最先端の研究を発表し，気相－液相プラズマ融合の学際的新学術領域創成に資することを目的として，初めての試みとして，上記の日時・場所で開催された．

招待講演 14 件，一般講演 14 件，ポスター講演 44 件の総数 72 件の講演が行われ，海外 10 ヶ国からの 20 名を含む総数 80 名の参加者のもと，活発な討論が行われた．気相プラズマ分野では，ウェストバージニア大学(USA)の M. E. Koepke 教授による宇宙プラズマを模擬した地上実験室プラズマの役割と今後の展望についてのプレナリー講演をはじめとして，磁化プラズマ，大気圧プラズマ，微粒子プラズマ，非中性プラズマにおける構造形成機構，荷電粒子の動的挙動解明等の最新のプラズマ基礎物理，及びこれらのプラズマの電気推進機，バイオ・医療等への応用に関する招待講演，一般講演が行われた．一方，液相プラズマ分野では，フロリダ州立大学(USA)の B. R. Locke 教授による，水浄化や汚染物質分解等へ利用される水中放電プラズマや水滴導入気体プラズマに関する基礎的かつ興味深いプレナリー講演を皮切りに，液中及び気相－液相界面での放電プラズマ生成とその物理機構解明，新規物質創製及び環境への応用等を目指した研究に関する招待講演，一般講演が行われ，さらに気相－液相プラズマ分野にまたがった熱気溢れるポスターセッションも行われた．

これらの第一線の研究者による最新の成果発表と参加者との活発な議論により，本国際シンポジウムを通じて，この分野の一層の発展が促されたとともに，気相と液相のプラズマに係わる研究者の国際的な連携が強められるといった，大変有意義な成果が得られた．なお，本国際シンポジウムでの講演内容は，全 316 ページのプロシーディングス論文としてまとめられていることを付記する．



国際シンポジウム

第４回　新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ

4th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開催日：平成 20 年 9 月 25 日（木）～27 日（土）（3 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，新IV族半導体材料のプロセス技術及びナノデバイスへの応用までの幅広い領域についての包括的な議論を目的に，本研究所の共同プロジェクト研究 H20／A04「IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究」が中心となって企画した国際会議である．本ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業活動の一環として開催され，組織委員長兼プログラム委員長として室田淳一教授が，組織委員として末光眞希教授，櫻庭政夫准教授が参加した．総数 54 名の参加者を迎え，ドイツ，フランス，ベルギー，スペインなどの各国拠点代表者（7 ヶ国）による特別講義 1 件と招待講演 3 件，一般講演 19 件，ショート＆ポスター講演 15 件の総数 38 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，本ワークショップの次年度継続開催とともに，関連メンバーが企画する Si ベースナノエレクトロニクス＆フォトニクス国際ワークショップ（スペイン・ビゴ大学、2009 年 9 月 20-23 日，http://www.sinep.uvigo.es/ ）の開催も決定された．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と期待される．本会議の詳細は
http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/SiGeC2008/ において公開されている．

特別講義タイトルと講演者：

1. “0.13 μm SiGe BiCMOS Technology for Radio-Frequency Applications”,
   B. Tillack (IHP & Tech. Univ. Berlin)

招待講演タイトルと講演者のリスト：

1. “Si passivation in Ge pMOSFETS: further developments and understanding”,
   M. Caymax (IMEC)
2. “Epitaxial growth of ferromagnetic Mn_5Ge_3 on Ge(111) and (001) substrates”,
   V. Le Thanh (Aix-Marseille Univ.)
3. “Patterned SiGe heterostructures through UV Excimer Laser radiation”,
   S. Chiussi (Univ. Vigo)

第 1 回 CNSI-RIEC ナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する国際ワークショップ（第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ）

The 1st CNSI-RIEC Workshop on Nanoelectronics, Spintronics and Photonics (The 4th RIEC International Workshop on Spintronics)

開 催 日：平成 20 年 10 月 9 日（木曜日）～10 日（金曜日）（2 日間）
開催場所：カリフォルニア大学サンタバーバラ校カリフォルニアナノシステムインスティテュート

平成 20 年 10 月 9, 10 日の 2 日間にわたり、カリフォルニア大学サンタバーバラ校(UCSB)カリフォルニアナノシステムインスティテュート(CNSI)において、第 1 回 CNSI-RIEC ナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する国際ワークショップ（第 29 回電気通信研究所（通研、RIEC）国際シンポジウム、第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ）が開催されました（組織委員長：大野英男教授（通研)、David Awschalom 教授（UCSB））。通研が世話部局となって結ばれた東北大学と UCSB の協定に基づき、通研附属ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業の一環として、通研と CNSI が主催し、本学電気情報系 GCOE 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」が共催した本ワークショップは、両大学が世界最先端の研究成果を誇るナノエレクトロニクス、スピントロニクス、フォトニクスの 3 分野において研究連携をさらに深める目的で企画されました。2 日間にわたり本学から口頭 8 件、ポスター11 件、UCSB から口頭 7 件、ポスター8 件の発表があり、ダイヤモンドにおける単一スピンのコヒーレント操作など 3 分野における最新の研究成果が紹介され、活発な討論及び情報交換が行われました。ワークショップ最終日にはナノテクノロジー拠点である CNSI の見学も企画されました。今後の両大学の連携によって一層の研究の進展が期待されることから、第 2 回のワークショップの開催（平成 21 年 10 月 22, 23 日、通研）も決定しております。末筆ではありますが、本ワークショップ開催にあたり、ご支援を賜りました各位に心より御礼申し上げます。

５．２　国際会議等の開催状況

第 4 回 SiGe テクノロジー&デバイス国際会議

4th Int. SiGe Technol. & Device Meeting

開催日：平成 20 年 5 月 11 日（日）～14 日（水）（4 日間）
開催場所：新竹（台湾）

本国際会議は，SiGe 系Ⅳ族半導体材料とその極限ヘテロ構造のプロセス技術やデバイス・回路技術に関して包括的に議論することを目的に，共同プロジェクト研究 H-14/A-01「Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス応用に関する研究」が中心となって企画・開催した国際会議であり，今回で第 4 回目の開催となった。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは，プログラム委員（アジア地域代表）として室田淳一教授が参加し，全参加者は 173 名に達した。招待講演 17 件の他，一般口頭発表 35 件とポスター発表 64 件が行われ，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，上記発表のうちの多くが学術論文としてまとめられ、その論文集は 2009 年 8 月に学術論文誌 Solid-State Electronics（vol.53，Issue 8，2009）の特集号として出版されている。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（2010 年 5 月，スウェーデン）も決定されている。本会議の詳細は http://istdm2008.ndl.org.tw/ において公開されている。

国際会議等

新世代ネットワークに向けた高密度光通信ワークショップ

Workshop on High Spectral Density Optical Communication for New Generation Network

開催日：平成 20 年 6 月 25 日（水）～26 日（木）
開催場所：工学院大学　新宿キャンパス

近年のコヒーレント多値光伝送に代表される高密度光通信技術の進展により、光通信においても無線通信と同等以上の周波数利用効率の実現が期待されている。本ワークショップでは、ペタビット級のトラヒック需要の到来が予想される新世代ネットワークに向けて、高密度光通信実用化のためのデバイス及びシステムの課題について議論を深めることを目的として開催され、本研究所の中沢正隆教授が実行委員長を務めた。光通信の第一線で活躍する内外の著名な研究者により最新の成果が発表され、高密度光伝送技術の現状と将来展望について活発な意見交換が繰り広げられた。

国際会議等

2008 年国際固体素子・材料コンファレンス（SSDM2008）

開催日：平成 20 年 9 月 23 日（火）ショートコース
24 日（水）～26 日（金）
開催場所：つくば国際会議場（エポカルつくば）

2008 International Conference on Solid State Devices and Materials(SSDM2008) (2008 年国際固体素子・材料コンファレンス)は 9 月 23 日のショートコースからスタートし、計 4 日間にわたってつくば国際会議場を会場に開催され、大野英男教授が論文委員長を務めた。1969 年に第 1 回目が開催されて以来 40 回目の記念すべき年に当たる今回は、過去のすべての論文を収めた DVD や記念誌の発行の他、当日は 40 周年特別講演やテクニカルセミナーなど特別行事も行なわれた。

今回の参加者数は 1,000 名を突破し、投稿論文は 750 件となり、日本を始め韓国、台湾、中国といったアジア勢が大半を占めている一方、欧米からの参加者も年々増えており本会議の知名度が広まっていることがわかった。数多くの研究領域において様々な観点から、固体素子と材料の現状と将来の研究方針について活発に議論が交わされた。発表の一部は学術論文として Japanese Journal of Applied Physics (Vol. 48, No. 4, issue 2)に特集号として出版されている。

なお次回は、2009 年 10 月 6-9 日に仙台国際ホテルで開催される予定である。

国際会議等

第 3 回 ECS SiGe & Ge:材料・プロセス・デバイス国際会議

3rd ECS SiGe & Ge: Materials, Processing, and Devices Symp.

開催日：平成 20 年 10 月 12 日（日）～17 日（金）（7 日間）
開催場所：ハワイ（米国）

本国際会議は，SiGe と Ge に関連する材料・プロセス・デバイスに関して包括的に議論することを目的とし，今回は第 3 回目の開催である。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは，組織委員として室田淳一教授（General Committee）が参加し，全参加者は 160 名に達した。基調講演 2 件及び招待講演 28 件の他，一般口頭発表 63 件とショート口頭講演 33 件の総計 126 件の発表が行われ，最新の SiGe と Ge に関する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，上記の全発表が学術論文としてまとめられ、その論文集は 2008 年 10 月に学術論文誌 ECS Transaction (Vol.16, Issue 10, 2008) 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，Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造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.ecssige.org/index.html において公開されている。

国際会議等

International Symposium on Global Optical Infrastructure Technologies toward the Next Decades

－A New Horizon of Innovations in Optical Communications Technologies－

(EXAT 2008)

（光通信インフラの飛躍的な高度化技術に関する国際シンポジウム～光通信の新たな挑戦～）

開催日：平成 20 年 11 月 12 日（水）
開催場所：一橋記念講堂（学術情報センター）

本国際シンポジウムは、現在の光通信システムの課題である大容量化、長距離化、省電力化に向けての様々な解決策について、今後の研究開発の方向性を明確にすることを目的として開催され、本研究所の中沢正隆教授が本シンポジウムの実行委員長を務めた。新規光ファイバ技術、超大容量の新規光伝送技術及び光ノード技術、海底ケーブルシステムについての最新の技術動向と将来に向けての展望について、活発な意見交換・情報交換が行なわれた。

グラフェンデバイスのテクノロジー、物理、モデリングに関する国際シンポジウム

International Symposium on Graphene Devices: Technology, Physics, and Modeling

開催日：平成２０年１１月１７日（月）～１９日（水）（３日間）
開催場所：福島県会津若松市、会津大学

JST-CREST 戦略事業国際強化支援プログラムの資金援助を受けて、１１月１７～１９日に会津大学（福島県会津若松市）にて、グラフェンデバイスに関する国際シンポジウム：International Symposium on Graphene Devices: Technology, Physics, and Modeling（ISGD 2008）を開催した。内外の第一線で活躍の研究グループより１２件の招待講演を含む３６件の最新成果を発表いただいた。81名の参加者を得た。急速な進展をみせている新材料グラフェンのデバイス応用に関する技術と物理とモデリングに関するシンポジウムを我が国で初めて開催し、内外の第一線で活躍する研究者を招聘し、最先端の研究情報を収集するとともに、研究者交流を深めた。海外からは Prof. W. de Heer(ジョージア工科大), Dr. K. Novoselov(マンチェスター大)をはじめ７名、国内からは安藤恒也教授(東工大)、斎藤理一郎教授(東北大)をはじめ５名、全１２名の正に世界で中心的に活躍中の招待講演者を招へいした。講演では、まず、グラフェンの特異な電子物性とそのデバイス応用の可能性をエネルギーバンド構造、ラマン応答特性、層・リボンの次元依存性、エッジ終端効果、スピンダイナミクス等の観点から、深く掘り下げた議論が続いた。さらに、SiC 上へのエピタキシャル成長技術、界面制御・レイヤー制御技術、ならびにそれらの材料によるトランジスタデバイス応用に関する最先端の研究状況が数多く詳しく紹介された。主催した東北大・会津大・北大の合同チームからは、グラフェン・オン・シリコン（GOS）材料による初のトランジスタ動作、GOS 形成のためのヘテロエピタキシー成長ならびにグラフェンのラマン分光計測、グラフェン中の非平衡キャリア輸送モデルならびに流体力学モデル、GOS-FET を用いた相補論理ゲートの構成に関する可能性と課題、等の発表を行い、いずれも高い関心を集めた。

国際会議等

先端ナノエレクトロニクスデバイスの材料科学・プロセス技術に関する国際会議

Symp. Z: “Material Science and Process Technologies for Advanced Nano-Electronic Devices”, Int. Union of Materials Research Society - Int. Conf. in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008)

開催日：平成 20 年 12 月 9 日（火）～13 日（土）（5 日間）
開催場所：名古屋国際会議場

本国際会議は，先端ナノエレクトロニクスデバイスの材料科学・プロセ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と櫻庭政夫准教授が参加し, 全参加者は 85 名であった。招待講演 10 件の他，一般講演 32 件とポスター発表 28 件の総計 70 件の発表が行われ，上記分野における最新の研究開発動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた。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。

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	山田博仁　教授	大寺康夫　准教授
2	音響工学研究会	鈴木陽一　教授	伊藤彰則　准教授 坂本修一　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	石山和志　教授	佐藤文博　准教授 栫修一郎　助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山充隆　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	ブレインウェア工学研究会	中島康治　教授	佐藤茂雄　准教授
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	牧野悌也　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　山田博仁，　幹事　大寺康夫

【会の目的】
電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的とする。

【平成２０年度の活動概要】

第 509 回
日時：　2008年 5 月27日（火）　13:00 ～ 15:00
場所：　東北大学工学部電気・情報系　103 会議室（講義棟 1 階）

1. Study on Numerical Dispersion Error of Hybrid CIP-FDTD Method
   （CIP-FDTDハイブリッド法の分散性による数値誤差についての検討）
   CHAKAROTHAI JERDVISANOP，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
2. MIMOチャネル容量に対するアレーアンテナ素子の利得不平衡による影響の実験的検討
   岩木孝憲，柿沼悠，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
3. 循環遅延送信ダイバーシチと受信アンテナダイバーシチを用いるマルチコード DS-CDMA 伝送における周波数領域ジョイント等化・逆拡散
   山本哲矢，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
4. Overlap FDE を用いるマルチコード DS-CDMA 伝送におけるタイミングオフセットの影響
   小原辰徳，留場宏道，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人数　47名

第 510 回
日時：　2008年 6 月17日（火）　13:00 ～ 14:50
場所：　東北大学工学部電気・情報系　103 会議室（講義棟 1 階）

1. 【招待講演】等化技術に関する研究開発動向　~適応等化から，周波数領域等化と送受協調等化へ~
   久保博嗣　（三菱電機㈱　情報技術総合研究所　無線通信技術部）
2. OFDM MIMO における演算量削減型 MLD を用いた信号分離法
   川合裕之(NTTドコモ),樋口健一（東京理科大),佐和橋衛（武蔵工大）
3. シングルキャリア・マルチユーザMIMO上りリンクのリンク容量
   千葉宇弘，武田一樹，，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
4. 変調プローブアレーを用いた電磁界の位相の測定法
   水上透，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
5. Si細線光導波路と単一モードファイバの結合解析
   阿部政浩，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）

参加人数　46名

第 511 回

日時： 2008年 7 月22日（火） 13:00 ～ 15:30
場所： 東北大学工学部電気・情報系 103 会議室（講義棟 1 階）

1. アンテナ選択ダイバーシティを用いた屋内MIMO-SDM伝送の数値解析
   齋藤一樹，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
2. 近傍電磁界を用いた波源位置推定の誤差評価
   井上智博，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
3. 最大比送信ダイバーシチを用いる分散アンテナネットワークのチャネル容量
   松田大輝，留場宏道，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
4. Novel Cooperative Relaying Network Scheme with Data Exchange and Distributed Transmit Beamforming
   Salma Ait Fares, Fumiyuki Adachi and Eisuke Kudoh (Tohoku University)
5. Si細線光導波路によるMZ型熱光学効果光スイッチのヒータ構造に関する研究
   グェン・マイン・タイ，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）

参加人数 42名

第 512 回

日時： 2008年 9 月30日（火） 13:00 ～ 14:30
場所： 東北大学工学部電気・情報系 103 会議室（講義棟 1 階）

1. 自己相関パルス応答による平面走査アクティブイメージング
   石原昌，佐藤弘康，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
2. ミリ波イメージング用小形誘電体レンズアンテナの設計
   井上大聡[1]，佐藤弘康[1]，澤谷邦男[1] 水野皓司[2]（1: 東北大学大学院工学研究科，2:東北大学電気通信研究所）
3. Capacity of OFDM/TDM Using MMSE-FDE in A Frequency-selective Fading Channel
   Haris Gacanin and Fumiyuki Adachi (Tohoku University)

参加人数 38名

第 513 回

日時： 2008年10月28日（火） 13:00 ～ 15:30
場所： 東北大学 電気・情報系 103 会議室（講義棟 1 階）

1. 高速多重極法を用いた 1 次元線状アンテナの数値解析
   今野佳祐，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
2. MIMO伝送システムにおけるアンテナ素子の利得不平衡による影響の実験的検討
   柿沼悠，岩木孝憲，陳強，澤谷邦男 （東北大学大学院工学研究科）
3. 光バイオプシーのための赤外分光ファイバプローブ
   木野彩子，松浦祐司 （東北大学大学院医工学研究科）
4. セルラー環境における分散アンテナネットワークの周波数利用効率
   松田大輝，留場宏道，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
5. ブロードバンド信号伝送におけるシングルキャリア周波数領域信号検出
   山本哲矢，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人数　43名

第 514 回

日時：　2008年11月27日（木）　13:00 ～ 15:30

場所：　東北大学　電気・情報系 451 ・ 453 会議室（1 号館 4 階）

1. Effects of Channel Estimation Errors on V-BLAST Detection
   Wei Peng[1], Fumiyuki Adachi[1], Shaodan Ma[2], Tung-Sang Ng[2], and Jiangzhou Wang[3]　(1:Department of Electrical and Communication Engineering, Tohoku University, 2: Department of Electrical and Electronic Engineering, the University of Hong Kong, 3: Department of Electronics, the University of Kent, UK)
2. Experimental Study on MIMO Performance of Modulated Scattering Array Antenna in Indoor Environment
   王琳, 陳強, 袁巧微, 澤谷邦男　（東北大学大学院工学研究科）
3. ワイドバンドギャップ半導体非線形光学効果光導波路
   モラレス芳男[1], 北智洋[1], 山田博仁[1], 大寺康夫[1], 塚崎敦[2], 川崎雅司[2]
   （1: 東北大学大学院医工学研究科 , 2: 東北大学金属材料研究所）

参加人数　28名

第 515 回

日時：　2008年12月16日（火）　13:00 ～ 15:00

場所：　東北大学　電気・情報系 451 ・ 453 会議室（1 号館 4 階）

1. MIMO-OFDM ブロードバンド無線アクセスにおける MLD 信号分離を用いる超高周波数利用効率パケット信号伝送実験
   田岡秀和（株式会社 NTT ドコモ）, 川合裕之（株式会社 NTT ドコモ）, 樋口健一（東京理科大学）, 佐和橋衛（武蔵工業大学）
2. 変調プローブアレーを用いた電磁界の位相の測定法
   水上透、陳強、澤谷邦男　（東北大学大学院工学研究科）
3. MIMOチャネル容量と受信アンテナ利得の関係の検討
   齋藤一樹、陳強、澤谷邦男　（東北大学大学院工学研究科）
4. 並列中継経路を用いる２ホップＯＦＤＭＡバーチャルセルラネットワーク
   石田仁志, 工藤栄亮, 安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人数　35名

第 516 回

日時：　2009年 1 月27日（火）　13:00 ～ 14:30

場所：　東北大学　電気・情報系 103 会議室

1. Surface-plasmon resonance sensor using tapered Bragg fiber
   Lin Ma, Takashi Katagiri, and Yuji Matsuura（東北大学大学院工学研究科）
2. 反射器付き変調散乱素子を用いた近傍電磁界測定
   井上真豪、陳強、澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
3. リフレクトアレーの設計に関する研究
   櫻井僚、李龍、陳強、澤谷邦男　（東北大学大学院工学研究科）

参加人数　37名

第 517 回

日時：　2009年 2 月24日（火）　13:00 ～ 16:00

場所：　東北大学　電気・情報系 103 会議室

1. 【通研講演会・特別講演】フォトニック結晶の光計測機器への応用と産業展開
   川嶋貴之　（株式会社フォトニックラティス）
2. インコヒーレント波源による放射電磁界の測定法の検討
   佐山　稔貴、陳　強、澤谷　邦男（東北大学大学院工学研究科）
3. 送受APFAアレーを用いた自己相関イメージングレーダ
   工藤　健裕、石原　昌、井上　大総、佐藤　弘康、澤谷　邦男　（東北大学大学院工学研究科）
4. MoM Analysis of Microstrip Antennas by Solving Volume-Surface Integral Equation
   Mang He, Qiang Chen, Qiaowei Yuan, Kunio Sawaya (Tohoku University)
5. シングルキャリア伝送におけるタイミングオフセット補償のためのオーバーサンプリング周波数領域等化
   小原辰徳, 武田一樹, 安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
6. アンテナ受信ダイバーシチと QRM-MLD を用いるシングルキャリア伝送の誤り率特性
   山本哲矢, 武田一樹, 安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人数　40名

以上

音 響 工 学 研 究 会

主査　鈴木陽一，幹事　坂本修一，伊藤彰則

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。 2008 年度は，主査鈴木陽一教授，幹事坂本修一助教，伊藤彰則准教授のもとで，研究会 2 回（第 352 回，第 353 回）と通研講演会 1 回が開催された。会場は，第 352 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，第 353 回は電気通信研究所 2 号館大会議室で行われた。なお，第 352 回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で，第 353 回は電子情報通信学会HIP研究会との共催で開催された。第 352 回は， 2008 年 11 月 20 日（木）に開催され，研究発表 3 件，参加者は 50 名であった。第 353 回は， 12 月 18 日（木）， 19 日（金）に開催され，研究発表 26 件，参加者は延べ 124 名であった。通研講演会は， 2009 年 2 月 13 日（金）に浅野太氏 （（独）産業技術総合研究所情報技術研究部門メディアインタラクション研究グループ研究グループ長）による「音源定位・分離技術とその応用」という題の講演が開催され，参加者は 19 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，核融合等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，並びに電気推進機等へのプラズマ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２０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物理，プラズマプロセス応用，プラズマ推進機応用等に関する「研究討論会」を３回開催。大学院生による気相－液相界面プラズマ生成，カルシウム及び鉄プラズマ生成，異種フラーレンイオンプラズマ生成・制御，新機能性カーボンナノチューブ及びフラーレン形成，酸化亜鉛及びシリコンナノ構造物質形成などの研究発表会を２回開催。国内，国外研究者による気相－液相プラズマに関する学際的研究，プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究，負イオンプラズマ・微粒子プラズマの科学，プラズマ流の基礎と応用等に関する「研究発表」を８回開催した。多様な展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し，最新の研究成果を持ち寄り討論を行うとともに情報交換を行うことができた。以上の研究会参加者は，学内外合わせて常時５０名前後であった。

ＥＭＣ仙台ゼミナール

主査　曽根　秀昭，　幹事　山口　正洋

ＥＭＣ（環境電磁工学）は，電磁ノイズと信号の電磁干渉（ＥＭＩ）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり，電気工学分野の研究者と技術者は，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い1977年２月に，ＥＭＣにいかに取組むべきかを調査し，学問として体系化する目的で，「ＥＭＣ仙台ゼミナール」が発足した。この活動は，誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え，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 EMC Society 仙台 Chapter が設立され，連携して活動している。

平成20年度は，第180回(5月14日)を“Computational EMC”のテーマでSendai Chapter ColloquiumのDistinguished Lecturer講演会と共同主催し，Jun Fan先生(MUST)の招待講演１件と研究発表３件が行われた。第181回(12月12日)は橋本弘蔵先生(京大)の招待講演とIEEE EMCシンポジウム2008の参加報告１件が，第182回(2月4日)は7件の研究発表が行われた。ほかに，10月25日に「ロシア・旧ソビエトにおける電波ばく露基準とロシアにおける環境電磁工学技術」講演会に協賛した。

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。２００８年度は第１３８回講演会から第１４８回講演会まで１１回の講演会を開催した。

五十嵐淳氏（京都大学）はオブジェクト指向言語におけるクラス再利用性向上のための型システム、A.Midderdorp 教授（University of Innsbruck）は停止性証明器を用いた多重完備化、S.Umeno 氏（MIT）はイベント順序の抽象化を用いた実時間システムの検証法を紹介した。酒井正彦教授（名古屋大学）は項書換え系の決定可能性について、蓮尾一郎氏（京都大学）は余代数における原理について、長谷川真人教授（京都大学）は再帰プログラムなどの相互作用的な計算を圏論にもとづいて捉える研究について紹介した。稲葉一浩氏（東京大学）はマクロ木変換器の計算の複雑さについて、龍田真教授（国立情報学研究所）はラムダ計算における遺伝的置換子を特徴づける型システムについて、照井一成氏（京都大学）は Girard により提案されたルディクスを伝統的な計算論の観点から捉える試みについて紹介した。中野圭介氏（電気通信大学）はマクロ木変換器の型検証コストについて、Z.Hu 教授（国立情報学研究所）はグラフ上の双方向変換について紹介した。

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）米国 ベイラー医科大学外科心臓胸部外科部門准教授　本村　禎　氏（演題：Multi-disciplinary R&D and clinical research: BCM Center for Artificial Organ Development initiative）

２）（講演会）カナダ サスカッチェワン大学教授　マダン グプタ氏（演題：Fuzzy Neural Computing Systems）

情報バイオトロニクス研究会

主査　庭野　道夫、幹事　吉信　達夫

ナノ・バイオエレクトロニクスは今後の重要な科学技術分野であるが，その発展のためには，電子工学技術と，多様な機能をもつ生化学反応系との融合が必要である．このような背景のもと，本研究会では，電子工学の研究者と生命科学の研究者が協力して，ナノ・バイオエレクトロニクスの未来を討論することを目的としている．本年度は，情報バイオトロニクス研究会を２回開催，溝口明氏及び真鍋俊也氏による通研講演会と，共同プロジェクトメンバーらによる研究会を開催した．
［第 1 回］【通研講演会】「シナプスと脳の情報処理」講師：溝口　明（三重大学），情報バイオトロニクス研究会:「プレシナプス可塑性メカニズムの探求」神谷温之（北海道大学),「ゲノム情報からの創薬標的探索」辻本豪三（京都大学),「抗インフルエンザ薬の候補化合物の計算機探索」星野忠次（千葉大学),「人工細胞膜を用いるセンシング界面のデザイン」菅原正雄（日本大学),「ナノ微粒子局在プラズモンのバイオセンシング応用」玉田　薫（東北大学),「水溶液中における自己組織化単分子膜の相互作用: 生体適合性とナノスケールでの相互作用の関連」林 智広（東京工業大学),「表面赤外分光による脂質二分子膜形成過程のその場観察」平野愛弓（東北大学），「ナノ構造化表面の脂質二重膜」荻野俊郎（横浜国立大学）
［第 2 回］【通研講演会】「シナプス可塑性と高次脳機能の分子機構」講師：真鍋俊也（東京大学),情報バイオトロニクス研究会:「走査プローブ顕微鏡の理論－タンパク質と液中計測－」塚田 捷(早稲田大学・東北大学),「膜界面- シグナル変換場」梅澤喜夫（東京大学名誉教授),「ゲル界面に形成した人工膜によるチャネル電流計測」井出　徹（大阪大学),「オーファン受容体のリガンド探索と創薬　－新規脂肪酸受容体ファミリーを中心として－」平澤　明（京都大学),「酸化物表面上の支持脂質二重膜内での分子拡散のその場観察」手老龍吾（分子科学研究所),「ナノ構造体に基づく安定化脂質二分子膜センサーの開発」平野愛弓（東北大学),「生体分子間相互作用解析のためのナノ加工」谷井孝至（早稲田大学）

スピニクス研究会

主査　石山　和志，　幹事　佐藤　文博，杤　修一郎

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 5 回の研究会を開催した。

第 1 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section の協賛を受けて、 3 件の講演が行われた。第 2 回は一般公募による特別研究会を開催し、岩手大学で 2 日間にわたり 22 件の講演が行われ、 75 人の参加を得て盛大に開催された。第 3 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section との共催で、IEEE 特任講 Robert Stamps 博士および Bruce Terris 博士による講演会を開催し、第 4 回は工学研究会 EMC 仙台ゼミナールに協賛した。また、第 5 回は通研講演会との共催で、琉球大学山本健一准教授による講演会を開催した。

本年度の運営は、主査：石山和志教授（通研 ）、 幹事：佐藤文博准教授（電気・通信 ）、 杤修一郎助教（通研 ）、 企画幹事：遠藤恭准教授（電気・通信 ）、 岡本聡准教授（多元研 ）、 斉藤伸准教授（電子 ）、 中村健ニ准教授（電気・通信 ）、 三宅耕作助教（電子）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　亀山 充隆，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 20 年度は以下の 5 回を開催した。

第 59 回　平成 20 年 7 月 16 日（水）情報知能システム総合学科
　グローバル COE 講演会と共催
　研究発表 1 件

第 60 回　平成 20 年 7 月 26 日（土）豊橋技術科学大学
　研究発表 8 件

第 61 回　平成 20 年 9 月 26 日（金）福島工業高等専門学校
　研究発表 6 件

第 62 回　平成 20 年 10 月 14 日（火）青葉記念会館
　平成 20 年度情報処理工学セミナーと共催．ポスターセッション 28 件

第 63 回　平成 20 年 12 月 10 日（水）情報知能システム総合学科　通研講演会
　演題：「画像圧縮技術と IP 伝送」
　講演者：渋谷徹（NEC 通信システム）

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56回

日程：平成20年6月19日（木）　15:00 ～ 17:00

会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系講義棟207講義室

演題：

1.「マイクロLFB超音波デバイスの開発」
　櫛引淳一，大橋雄二，荒川元孝，田中智也，◎吉田翔
　（東北大学大学院工学研究科）

2.「超音波マイクロスペクトロスコピー技術による合成石英ガラスの評価」
　荒川元孝，◎島村秀樹，櫛引淳一　（東北大学大学院工学研究科）

3.「LFB超音波材料解析システムによる漏洩弾性表面波伝搬特性の測定モデル」
　◎大津賢治，荒川元孝，櫛引淳一　（東北大学大学院工学研究科）

第57回

日程：平成20年10月23日（木）　15:20 ～ 16:40

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.「内皮依存性血管弛緩反応時の橈骨動脈壁粘弾性特性変化の再現性の評価」
　◎池下和樹，長谷川英之，金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）

2.「超音波RF信号の高フレームレート収集による局所心筋の収縮拡張特性計測における時間・空間分解能の向上」
　◎本庄泰徳，長谷川英之，金井　浩　（東北大学大学院工学研究科）

第58回

日程：平成20年11月20日（木）　13:30 ～ 15:30

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.「包囲型マイクロホンアレイを用いた高精度線形予測ブラインド残響除去に関する検討」
　◎岡本拓磨，岩谷幸雄，鈴木陽一
　（東北大学　大学院情報科学研究科　/　電気通信研究所）

2.「かな・漢字文字列による講演音声の認識」
　◎伊藤彰則　（東北大学大学院工学研究科）

3.「超音波マイクロスペクトロスコピー技術による六方晶系6mm単結晶の音響関連物理定数決定法の検討」
　櫛引淳一，◎大橋雄二，荒川元孝，田中智也　（東北大学大学院工学研究科）

第59回

日程：平成20年12月18日（木）　13:00 ～ 17:20

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合成石英ガラスの評価－OH濃度の影響－」
荒川元孝，◎島村秀樹，櫛引淳一　（東北大学大学院工学研究科）

2.「赤血球凝集度評価を目指した高周波超音波の後方散乱特性計測」
◎齋藤靖好[1]，長谷川英之[2]，金井　浩[1]
（1 東北大学大学院工学研究科，2 東北大学大学院医工学研究科）

3.「超音波メスによる軟組織の粘弾性特性推定」
◎鈴木直貴[1]，長谷川英之[2]，金井　浩[1]
（1 東北大学大学院工学研究科，2 東北大学大学院医工学研究科）

4.「超音波による局所的な心筋収縮拡張特性計測における2次元相関窓長と探索領域の最適化」
◎本庄泰徳[1]，長谷川英之[2]，金井　浩[1]
（1 東北大学大学院工学研究科，2 東北大学大学院医工学研究科）

5.「高周波超音波を用いた内皮依存性弛緩反応時の橈骨動脈壁粘弾性特性変化の非侵襲的計測」
◎池下和樹[1]，長谷川英之[2]，金井　浩[1]
（1 東北大学大学院工学研究科，2 東北大学大学院医工学研究科）

6.「LFB/PW超音波材料解析システムを用いたZnO単結晶の音響特性の測定」
◎高麗友輔，吉田翔，大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一
（東北大学大学院工学研究科）

第60回

日程：平成21年3月12日（木）　14:30 ～ 17:30

会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系103会議室

演題：

1.「位相共役法を用いた集束超音波音源の振動解析」
◎金島泰浩[1]，吉澤晋[2]，梅村晋一郎[1,2]
（1 東北大学大学院医工学研究科，2 東北大学大学院工学研究科）

2.「直線集束ビーム超音波材料解析システムを用いた TiO_2-SiO_2 超低膨張ガラスのゼロCTE温度評価法」
櫛引淳一，◎荒川元孝　（東北大学大学院工学研究科）

3.「高度情報通信時代を支える弾性表面波素子」
門田　道雄　（村田製作所）

以上

ブレインウェア工学研究会

主査　中島　康治，幹事　佐藤　茂雄

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20年７月18日、第二回を平成20年10月21日、第三回を平成20年12月29日にそれぞれ開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである。第一回：「進化的計算に基づくIntelligent EDAの実現を目指して」夏井雅典（東北大）、「ＡＤ変換器の現在、過去、未来」塚本　三六（富士通研究所）、「脳型計算と量子計算」佐藤茂雄（東北大）。「神経活動の時空間的順序により匂い情報を表現する計算論的アルゴリズム」牧野悌也（東北大）、第二回：（紙面の都合上省略）、第三回：「機構からのロボット知能化へのアプローチ」石井和男（九工大）、「脳型集積エミュレータによる生体視覚情報処理の解析」八木哲也（阪大）、「ネットワークオンチップの概念と構造」中村祐一（ＮＥＣ）、「高速 CMOS I/O 技術の動向」小川淳二（富士通研究所）。なお、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：杉山将（東京工業大学大学院情報理工学研究科）“非定常環境下での教師付き学習”、西山悠（東京工業大学大学院総合理工学研究科）“ガウシアングラフィカルモデルに対する確率伝搬法の分散値の厳密解と設計法”、大久保潤（東京大学物性研究所）“確率モデルに潜む数理的概念：壷モデルと凝縮現象／流れと幾何学的位相”、和泉勇治（東北大学大学院情報科学研究科）“ネットワークトラヒックの異常検知技術”、福島孝治（東京大学大学院総合文化研究科）“ランダムグラフ上の彩色問題の相転移と解構造”。

生体・生命工学研究会

主査　中尾 光之，　幹事　牧野 悌也

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成１２年９月に発足した。以下に平成 20 年度の活動概要を示す。

第１９回は平成２０年１１月１９日(水) に１３：３０から１５：３５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、東北大学生命科学研究科の山元大輔教授の「性行動を生み出す脳と遺伝子」と題する特別講演が行われた。引き続いて２件の一般発表があった。参加者は１４名であった。第２０回は平成２１年３月１７日（火）に１５：３０から１７：３５まで電気通信研究所大会議室にて開催され、東北大学電気通信研究所の松宮一道助教の「身体の動きと運動知覚」と題する教育講演が行われ，引き続き３件の一般発表があった。参加者は２５名であった。通研講演会は平成２１年３月１７日（火）に１４：００から１５：２０まで電気通信研究所大会議室にて開催され、(独) 情報通信研究機構未来 ICT 研究センター・バイオ ICT グループ（脳情報プ ロジェクト）サブグループリーダーの村田勉先生の「脳の認識の柔軟性とトップダウン処理の起源」と題する講演が行われた。参加者は２５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 20 年度は以下の講演会を実施した。

第 31 回　平成 20 年 6 月 12 日

「Physics with technologically interesting magnetic materials & nanostructures」

Professor Indrani Das　(Saha Institute of Neclear Physics, Experimental Condensed Matter Physics Division, India)

第 32 回　平成 20 年 12 月 4 日

「Electrical control carrier mediated magnetism in (Ga,Mn)As」

Dr. M. Sawicki (Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC, Tohoku University, Sendai, Japan(電気通信研究所客員教授) Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland

第 33 回　平成 20 年 12 月 16 日

「Room temperature magnetic coupling in GaMnN and GaGdN epitaxial layers and heterostructures」

Professor Angela Rizzi IV. Physikalisches Institut, University of Goettingen, Germany (presently at:) Research Center on Integrated Quantum Electronics, Hokkaido University

第 34 回　平成 21 年 2 月 4 日

「磁気異方性と電子状態」「結晶磁気異方性の電界効果の第一原理計算」

小田竜樹准教授(金沢大学)

第 35 回　平成 21 年 3 月 9 日

「低分子系有機薄膜太陽電池」

平本　昌宏　（自然科学研究機構分子科学研究所・教授）

５．４　通研講演会

フォトニック結晶の光計測機器への応用と産業展開

株式会社フォトニックラティス・取締役（工学博士）　川嶋　貴之

開 催 日：平成２１年2月２４日（火曜日）１３：００～１４：００
開催場所：東北大学工学研究科講義棟１階　１０３会議室

本講演会では本学発ベンチャー会社である㈱フォトニックラティスで、人工光学結晶である「フォトニック結晶」とその応用光学デバイスの研究開発に携わっている川嶋貴之氏に、研究開発の最新状況を紹介頂いた。本学電気通信研究所時代に端を発する誘電体多層膜の研究、そしてその過程で発生した膜の構造不均一性にヒントを得た多次元周期構造（フォトニック結晶）の作製法を詳しく解説頂いた。続いてこの型のフォトニック結晶の産業用計測機器（偏光子、偏光イメージカメラ、偏光顕微鏡）への応用と、その特徴的な機能についても解説頂いた。講演後はフォトニック結晶の示す特異な光学特性や、その安定な製造プロセスについて活発な議論が展開された。

音源定位・分離技術とその応用

（独）産業技術総合研究所
情報技術研究部門
メディアインタラクション研究グループ
研究グループ長　浅野太

開 催 日：平成２１年２月１３日
開催場所：電気通信研究所２号館４階大会議室

音声認識を始めとする音声を用いたインタフェース技術の開発は，これまで多くの研究者が取り組んできた研究課題である。この中でも，騒音下での音声認識性能の向上は重要なテーマであり，それを克服するための技術としてマイクロホンアレイ信号処理技術が注目を集めている。一方で，騒音下から所望の音声を抽出する技術は，会議のように複数の話者の中から対象となる音声を抽出するといった場面でも有効である。このような問題意識で，マイクロホンアレイ信号処理を始めとした音声ディジタル信号処理技術に関する第一線の研究者である，（独）産業技術総合研究所の浅野太氏を招聘し，マイクロホンアレイ技術の現在の研究動向や，それを用いたアプリケーションとして，(1)ヒューマノイドロボットの音声インタフェース，(2)マルチメディア会議録コンテンツ作成支援システムといった応用事例についてご講演いただいた。

講演では，ヒューマノイドロボットとのインタフェースとして音声を使用する際に，カメラから取得した視覚映像と音声情報を統合することにより，ターゲットとなる話者方向を特定し発話音声の認識精度を向上させる手法や，同じく画像を利用することで会議中の話者を特定し，その話者からの音声のみを選択的に録音する技術などが紹介された。これらの技術は次世代インタフェース技術として欠くことのできない重要な技術要素であり，今回の発表を通して，現在の世界での第一線の研究動向を得ることができた。聴衆にとってもきわめて有効だったものと考える。

通研講演会

重水素プラズマ中での負イオンの生成と応用 －ＮＢＩ用の負イオン源開発に向けて－

山口大学 大学院理工学研究科　教授　福政 修

開 催 日：平成２１年２月２３日（月曜日）１５：３０～１６：３０
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
　　１０３会議室

核融合研究に関わる中性粒子ビーム入射(NBI)用の重水素負イオン源開発を目標に，水素(H_2)／重水素(D_2)プラズマ中での負イオン生成の機構解明および高効率化に関して，山口大学で行われている研究が紹介された．具体的には，負イオン源のモデリングによる負イオン生成・負イオン引出しの検討，直流放電プラズマ中でのプラズマ制御と負イオン生成，水素負イオン(H^-)/重水素負イオン(D^-)生成の同位体効果，長寿命化を目指した高周波放電プラズマ中での負イオン生成等について述べられた．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．

Effects of Vias on High-Speed Signals

Jun Fan,　Assistant Professor
Missouri University of Science and Technology

開 催 日：平成２０年５月１４日（水曜日）１３：３０～１５：３０
開催場所：東北大学　サイバーサイエンスセンター　講義室

多層プリント基板の層間接続ビアにおける高速信号伝達特性を等価回路モデリングで解析するには，２層をつなぐ１つのビアの等価回路を基本として，ビアと配線層及び層間の電磁界結合を考慮して物理構造に応じて重ね合わせる。講師はこれを用いて，多層基板のビアにおける信号伝送損失の低減とシグナルインテグリティの改善にはグラウンドビアの影響が顕著であることを明らかにしている。

信号を伝送する貫通ビアの周囲に配置するグラウンドビアの効果を解析すると，配置の半径に応じた共振が生じるために帯域が制限され，かつグラウンドビアの数が大きく影響して４以上ならば平坦な特性であることが明らかになった。信号間のクロストークもグラウンドビアを近くに配置すると低減できる効果がある。

IEEE Distinguished Lecturer が基礎から最新成果までを講演される機会であり，学内外から２２名の聴講者があって，講演後にも議論が展開された。

実時間システム検証のためのイベント順序の抽象化

Shinya Umeno
(MIT, Electrical Engineering and Computer Science Department)

日時：平成２０年８月６日（水） 10:00－12:00
場所：東北大学・電気情報系３号館 201 号室

本講演では、実時間システムの検証のための新しい抽象化技法として、イベント順序抽象化(EOA)という手法が提案された。EOA により、パラメトリック実時間システム検証の問題が、（１）正しい順序でイベントが生成されることを仮定した上でのシステム検証、と（２）イベントが正しい順序で生成されるための条件の抽出に分解される。講演では EOA の技術的詳細とともに、その応用例として鉄道踏切問題の検証が紹介された。(文責：小林)

Multi-disciplinary R&D and Clinical Research: BCM Center for Artificial Organ Development Initiative

米国 ベイラー医科大学
外科 心臓胸部外科部門 准教授 本村 禎

開 催 日：平成２０年１０月３０日（木）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 2 号館 204 会議室

米国テキサス州 Baylor 医科大学では，長年に渡り能勢之彦教授による人工心臓開発を中心とした医工学分野の学際的研究が進められている。その中で，特に，Baylor 医科大学における人工臓器開発プロセスと最新の研究成果の紹介と，定常流人工心臓の実用化に関する将来展望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

シナプスと脳の情報処理

三重大学医学部・教授　溝口　明

開 催 日：平成２０年７月４日（金）１３：０５～１３：５０
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階カンファレンスルーム

生物シナプスの基本的な構造上の特徴と生物学的な機能についての講演であった。シナプスにおける神経伝達は、プレシナプスからの神経伝達物質の放出とポストシナプスにおける伝達物質の受容によって遂行されている。プレシナプス側のシナプス小胞開口分泌は、低分子量ＧＴＰ結合蛋白質 Rab3A 系、3 種の蛋白質 Syntaxin, SNAP25, Synaptobrevin の複合体から構成される SNARE Complex 系、および、Ca^{2+} 依存性膜融合系の分子機構によって制御されていることや、ポストシナプスにおける伝達物質の受容は、伝達物質の受容体系、PSD95 などの足場蛋白質系、および CaMKII などの細胞内シグナル伝達系によって行われていること、また、これらの機能分子の複合体からなるプレおよびポストの分子構築は、神経活動依存性に精密かつ迅速に変化しうるものであることなどが、異分野の研究者にも分かりやすく解説された。このような神経系の多彩な機能と電子工学との融合についても活発な議論が展開された。

シナプス可塑性と高次脳機能の分子機構

東京大学医科学研究所・教授　真鍋俊也

開 催 日：平成２１年３月１３日（金）１３：４５～１４：３０
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階カンファレンスルーム

記憶や情動などの高次脳機能の発現には、分子・細胞レベルでのシナプスの長期的な機能･構造変化、すなわち、シナプス可塑性が重要な役割を果たしていると考えられている。本講演では、シナプス伝達の長期増強をはじめとするシナプス可塑性について、異分野の研究者にも分かりやすい解説から、シナプス可塑性を制御する分子機構に関する最近の生理学的・生化学的知見に至るまでの幅広い内容について講演を行った。さらに、シナプス可塑性が、動物個体の記憶形成において、どのような役割を果たすかについて検討した真鍋グループの最近の研究成果についても紹介され、医学、薬学、化学、電子工学の多様な分野の研究者から各々のバックグラウンドの基づいた意見が交換され、活発な討論が展開された。

電磁鋼板の磁気損失に及ぼす外部応力の効果

琉球大学・工学部　准教授　山本　健一

開 催 日：平成２１年３月１２日（木）１３：３０～１４：３０
開催場所:東北大学電気通信研究所　１号館Ｎ棟３階　セミナー室 A(N308)

地球温暖化対策や燃料費の高騰により、一層の電力システムの高効率化が求められている。電磁鋼板は電力用変圧器・発電機からハイブリッド車に搭載されるモータなど、電気機器の鉄心材料として幅広く使用されており、本磁性材料の磁気損失の低減化は、消費電力の低減化に直接結びつくことから重要な課題である。特に電気機器に組み付け加工される段階で、鋼板鉄心材に加わる残留応力は無視できない磁気特性の劣化を生ずるため、それらの磁気特性への影響について基礎的研究を行っている。今回、単板の鋼板材に印加される圧縮及び引っ張り応力の大きさに対して、その磁気特性は複雑な変化を示すことが明らかになった。また局所的な鋼板表面の磁区構造の観察結果と対応させることで、応力印加時における鋼板内部の磁区構造を予測することにより、印加応力と磁気特性の関係を定性的に把握することが可能になった。これらの結果を基にして、実機に組み付けられた状態での磁気特性に対する影響を定量的に予測する手法の実現など、今後の研究方針について活発な議論が展開された。

機構からのロボット知能化へのアプローチ

九州工業大学大学院　准教授　石井　和男

開 催 日：平成２０年１２月１９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 A401 室

計算機の小型化、処理能力の向上、低消費電力化に伴って、様々な形態のロボットが開発され、産業用ロボットのみならずサービス産業へのロボット導入が進みつつある。講演者のグループにおいても、不整地走行ロボットや水中ロボット等のフィールドロボットや跳躍ロボット、ロボカップロボットを開発し、ロボットの知能化を目指して研究が進められている。本講演では、機構からのロボット知能化への取り組みについて紹介して頂いた。

通研講演会

脳型集積エミュレータによる生体視覚情報処理の解析

大阪大学大学院　教授　八木　哲也

開 催 日：平成２０年１２月１９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 A401 室

近年、脳視覚神経回路についての生理学的な知見が積み上げられている。しかしながらこの知見と視覚認知機能との対応はよく分かっていない。技術的な制限によって、脳神経回路活動の解析が、単純な光刺激や少数の細胞応答あるいは空間的低精度での計測に基づき、さらには多くの実験は麻酔下の動物を用いて行われることが理由のひとつである。本講演では、こうした制限下の実験で予想された視覚神経回路モデルを、集積回路とPCを用いて大規模再構成し、神経回路と視覚機能の関連を解析する試みについて紹介して頂いた。

ネットワークオンチップの概念と構造

日本電気株式会社　主幹研究員　中村　祐一

開 催 日：平成２０年１２月１９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 A401 室

LSIに実装されるコア数は増加傾向にあり、数年中には数100を超えることが予想されている。現在のコア間接続はバスで実現するのが一般的であるが、多数のコア接続のためには配線数が膨大となり、設計製造コストが大幅に増大することが予想されている。そこで、コア間の接続を伝達情報とデータを一体化したパケット通信にして、配線数を削減し、コア間接続のコストや設計容易性を向上されるネットワークオンチップ(NoC) が提案されている。本講演では、NoCの概念とその優位性と問題点、NoCの設計事例について解説して頂いた。

高速 CMOS I/O 技術の動向

富士通研究所　小川　淳二

開 催 日：平成２０年１２月１９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 A401 室

集積回路の有線通信向けI/Oのピン当たりのバンド幅は1990年代の半ばから年率40-70%という高い成長率を示し、10年間で約100倍（学会発表レベル）に増大してきた。これは、チップ性能が、チップ内部の演算能力ではなく、I/Oの帯域により性能が決まってしまう「I/O バンド幅ボトルネック」を解決するための回路技術の研究成果に他ならない。本講演では，高速I/Oの一般的な機能と、それを実現するために講演者らが開発してきたアーキテクチャ、回路トポロジ、並びに今後の高速I/Oの展望について紹介して頂いた。

相関のある雑音に適した復号法：

---LDPC 符号、マルコフ確率場、分散情報源符号化---

名古屋工業大学大学院工学研究科 准教授 和田山 正

開 催 日：平成２０年６月２０日（金）午後　4:00-5:30
開催場所：東北大学大学院情報科学研究科新棟 2 階中講義室

平成２０年６月２０日に、標記講演会を開催した。ご講演では、情報統計力学、確率的情報処理、情報理論の境界領域としての通信方式理論に関するレビューからはじまり、LDPC(低密度パリティ検査行列)符号の復号手法としての sum-product 復号法についての解説が行っていただいた。さらにマルコフ確率場における確率推論手法との組み合わせによる相関のある雑音に適した復号法の設計に関する概説へと展開された。また、LDPC 符号を利用した分散情報源符号化に関する最新の話題も提供された。和田山氏は、これまで誤り訂正符号をはじめとして情報通信理論におけるさまざまの先駆的研究を進められており、世界的に注目を集めている。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)の計画研究代表者のひとりとしてもプロジェクトの推進に尽力している。講演後には、誤り訂正符号における sum-product アルゴリズムの詳細などについて活発な質疑応答がなされた。

通研講演会

脳の認識の柔軟性とトップダウン処理の起源

（独）情報通信研究機構
未来 ICT 研究センター
バイオ ICT グループ（脳情報プ ロジェクト）
グループサブリーダー 村田 勉博士

開 催 日：平成２１年３月１７日（火）１４時から１５時２０分
開催場所：東北大学電気通信研究所　２号館４階大会議室

「隠し絵」の知覚に代表されるように、人間は感覚入力が不足するような状況でもしばしば意味のある対象を柔軟に見つけ出して認識できる。このような現象は、認識対象のメモリを利用して入力を解釈するトップダウン処理を必要とすると考えられている。隠された対象を認識するまでの所要時間を心理物理学的に調べることで、課題の難度と個人の能力の２つのパラメータが求まり、個人の能力を「温度」に相当する変数としたアレニウス型の化学反応速度論と同形の速度論が得られることが明らかにされた。さらに、この速度論は、対象を表現するセルアセンブリが確率的に自発活動する仮定して、一定数のアセンブリが同時に活動するまでの所要時間を求めるモデルによって導くことができることが示された。また、関連する脳活動部位について fMRI による非侵襲計測の結果が紹介された。広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、ボトムアップ的には解けない問題を解決するための脳のトップダウン処理の起源としての神経の確率的自発活動の可能性、について活発な議論がなされた。

画像圧縮技術と IP 伝送

NEC 通信システム　渋谷 徹

開 催 日：平成２０年１２月１０日（水曜日）15:00～16:30
開催場所：東北大学工学部　情報知能システム総合学科 2 号館 204 会議室

時代のキーワードはユビキタス社会．この実現には画像通信は欠かすことのできない要素である．本講演では，画像信号の圧縮技術の基本的な考え方を解説し，画像信号を IP 伝送するときの課題やアプリケーション例，さらに，通信と放送の融合に関する話題を紹介した．

第 6 章　　評価と分析

６．１　運　営　協　議　会　報　告

第２４回東北大学電気通信研究所運営協議会

日　時：２００８年１２月８日（月）午後１時１５分～午後５時２０分
場　所：東北大学電気通信研究所２号館４階大会議室
出　席　者：荒　川　泰　彦（東京大学　先端科学技術研究センター　教授）
久保田　啓　一（ＮＨＫ　放送技術研究所長）
國　尾　武　光（ＮＥＣ　執行役員　中央研究所長）
小　林　直　人（産業技術総合研究所　理事）
外　村　佳　伸（ＮＴＴ　コミュニケーション科学基礎研究所長）
富　永　昌　彦（独立行政法人　情報通信研究機構　理事）
西　尾　章治郎（大阪大学　理事・副学長）
丹　羽　邦　彦（科学技術振興機構　研究開発戦略センター　上席フェロー）
吉　田　　博（大阪大学　大学院基礎工学研究科　教授）
花　輪　公　雄（東北大学 理学研究科長）
内　田　龍　男（東北大学 工学研究科長）
西　関　隆　夫（東北大学 情報科学研究科長）
中　嶋　一　雄（東北大学 金属材料研究所長）
小　林　広　明（東北大学 サイバーサイエンスセンター長）
牧　野　正　三（東北大学 工学研究科 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
枝　松　圭　一（教授）情報デバイス研究部門長
村　岡　裕　明（教授）ブロードバンド工学研究部門長（代理）
塩　入　　諭（教授）人間情報システム研究部門長
外　山　芳　人（教授）システム・ソフトウェア研究部門長
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

多田特任教授、白井正文、沼澤潤二、塩入諭、大堀淳、上原洋一、石山和志、
桝井昇一、玉田薫、末光眞希、八坂洋の各教授

議　　事
（１）運営協議会の改定について

（２）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 学生数について
⑦ 院生の進路について
⑧ 予算、外部資金受入状況について
⑨ 共同プロジェクト研究の予算等について
⑩ 特許・知財について
⑪ 青葉山新キャンパスへの移転計画について
⑫ 前回運営協議会における主な意見について
⑬ 中期目標・中期計画にかかるスケジュールについて

（３）各部門等の概要について
① 枝松部門長から、情報デバイス研究部門の現況について説明があった。
② 村岡教授から、ブロードバンド工学研究部門の現況について説明があった。
③ 塩入部門長から、人間情報システム研究部門の現況について説明があった。
④ 外山部門長から、システム・ソフトウェア研究部門の現況について説明があった。
⑤ 庭野教授から、ナノ・スピン実験施設の現況について説明があった。
⑥ 中島施設長から、ブレインウェア実験施設の現況について説明があった。
⑦ 坪内センター長から、ＩＴ－２１センターの現況について説明があった。

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●運営費交付金が徐々に減ってきて、非常に苦しい運営をされているのかもしれないが、通研から就職されている方々は本当によく教育されてきているので、引き続きしっかり研究と教育を両立させて運営していただきたい。
●インターンシップについて、研究・開発型と工場実習型の２種類のインターンシップがあり、工場実習というのは会社を知る意味で数週間でも良いかもしれないが、研究・開発型は長期のものを実施していただきたい。そういうことが本当の産業との連携になってくるし、ドクターコース（博士課程後期）の方を、別に企業は嫌がっているわけではない。
●来年４月から、インターンシップを兼ねて新しい教育体制を検討しており、全員は無理なので、２０％だけでも始めることを予定している。
●インターンシップがなぜ少ないかというと、やはりドクターコースの学生に対して専門がぴったり合うところが少ないからであり、トップダウンでなくてボトムアップでなければならないと思っている。

マスターの学生がインターンシップに行きにくいというのは、実際にはリクルート活動が大変早くなってきており、また、２年間の間に少なくとも海外等に発表させたいと思うと、マスター１年の夏というのは実は研究の稼ぎ時のため、インターンシップに行きにくくなっている現状がある。

●インターシップのメリットも随分あるが、学生にとってある程度義務化しないとなかなか行かないということもあり、自分の興味を広げないという現代の学生の風潮も原因かもしれない。

●特許の件に関しては、別に方針ではなく、ただ単にスキルや費用が無いのが原因。

サポートできる体制がなかなかしっかりしておらず、後の維持管理や、コストの問題も教員が負担していかないといけない事情があるので、大学発の特許を積極的に申請することがなかなか高まらない。

議　　事

（４）共同利用・共同研究拠点の申請について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●共同研究の拠点について、Ａ、Ｂ、Ｓという中で、特にタイプＳというのは非常に重要だろうと考えられますが、どれぐらいのタイムスパンで考えておられるのか。

●タイプＳは本年度創設したばかりでして、細かい点まで決めていません。特に共同研究としての必要性があるということが判断されれば、かなり長期にわたるかもしれないし、今現在では、少なくとも５年は継続したいと考えています。

●人間と環境を調和させる情報システムについて、正に２１世紀の持続発展可能な社会に向けて、考えていくことが大切です。

経済産業省もグリーンＩＴというようなことを検討していますが、通信・ＩＴによる省エネ化、これは非常に重要になっております。それからハードウェアだけではなくて、ソフトウェアでもそういうところが非常に重要だろうと思うので、広い意味ではここで提案されている人間性豊かなコミュニケーションの中に含まれるとは思いますので、ぜひそのところを強調していただきたい。

●情報通信に関して今大きな課題が３つほどあると考えており、所の統一見解ではありませんが、１つは「エネルギー、環境問題」。

今の情報通信に費やせるエネルギーというのは今の電力消費の大体５％だと想定されていますが、２０年後は大体今の電力消費に匹敵するぐらいの伸びが予想されます。すると、電力を倍増するということは実質的には不可能ですので、ご指摘のように、多分今の我々が使っている情報端末も含めて消費電力を２０分の１ぐらいに落とさないと、多分この情報社会を維持できないだろうというのが１つです。

もう１つは、「情報の通信量と情報システムの制御の問題」。

現在のシステムについて、やがて大きな故障なり事故なりということが起きてきてシステ

ムダウンが起ると、物すごい混乱が出てくるということになります。それを未然に防ぐといった、それをやるためにも自律的なネットワークの運営ということで、補償ができるようなシステムの制御論をきちんとつくらなくてはいけないと考えます。

もう１つは、３番目、人間性豊かというか、「人間とシステムの関係」が議論になりますが、機械が人間に合わせるということも含めて、これはこれまでの情報論を超えた話になっており、完全なパラダイムシフトをしなくてはいけない。

このパラダイムシフトをキチンと体系的にやっていくということが今非常に大事であり、情報通信はそういう意味では非常に曲がり角、危機的な状況にあるのではないか、これを早急にやらなくてはいけないという意味では、情報通信、我々を含めて研究者は大きな課題を背負っていると考えております。

●重点７領域ということで新しい構想を示されていますが、こういう基本的な新たな提案が、既存の組織のシステム改革等に影響を与えているのでしょうか。

●当面は現在の体制を継続することが機関決定されています。これから１０年、１５年これでいくということは絶対ないと考えておりまして、例えば遅くとも第３期に入る時までにはやはり新しい組織を、領域をどう設定するかと関連させた議論を進めながら決めてゆくことが必要になると考えています。

●附置研究所のあり方について、東北大学全体としては今どういう方向性になっているのでしょうか。

●東北大の学内で統一的なところにはまだ行っていないのですが、一応すべての研究所は共同研究拠点にしたい。総長は研究所と研究科は大学の両輪であるというふうに認識しています。

●運営委員会が研究施設の長の諮問機関に変わったことについては、これはやはり法人化の趣旨からいえばそうなってくるのだろうと思います。

今回の共同利用研究拠点構想では、大学のある研究所・センターが、該当分野において日本の国際競争力を強化するために、大学自らが全国に対していかに貢献するかということが求められています。

そうなってきますと、外部の委員が過半数を占めるようなところで最終決定がなされると、その大学として全国のためにそのような貢献を自ら進んで行うということがむしろできなくなってしまう。ですから、文部科学省として一番気にしていましたのは、運営委員会ということで人事権まで持ってしまうということになってしまうことです。

特にネットワーク型の拠点においては、各大学の自主性を重んじるという法人化の趣旨に反してしまうのです。

●予算のことですけれども、現在のところ、電気通信研究所が共同利用・共同研究をなされていること以外で研究所自体が何かの概算要求をする枠の設定に関して、文部科学省は協議中であり、共同利用・共同研究の枠組みでできるということにはならない可能性が多分にあります。

ですから、研究所そのもので何かの研究をしていくための概算要求事項は、従来のとおり学内で順番をつけていくという可能性が多分にあると現時点では思います。

●もともと、通研教員は事務局的な役割で、運営協議会はほとんど外部の人で構成されておりました。私どもが危惧していたのは、大学の自治、学問の自由と大学の自治の関係について、運営協議会で研究の内容まで干渉するということは、人事も含めて好ましくないのではないでしょうか。

●共同研究について、タイプＡ、タイプＢ、タイプＳ、特にタイプＳというのは非常に新しい試みで評価できると思います。タイプＡについて、コミュニティが本当にボトムアップで、その分野で何かやりたいのか提案することは、とても良いことだと考えます。私としてはタイプＡをさらに２つぐらいに分けて、一般型と、それから本当に共同研究するタイプでやれば、応募もし易くなるのではないかと思いました。

●理念・目的について、どうも目的のところがミッションになっているような気がします。

その理念の中で抜けているところ、社会貢献というか、外部に対する貢献とか、そういうところはミッションに入れなくてよろしいのでしょうか。

●共同研究を対象とされている研究者のコミュニティの定義なのですが、これをどのように定義されるのでしょうか。

●私どもはこれまで共同プロジェクト研究を実施しており、大体年間８００人ぐらいの方々がここに参加されておりますし、そういう意味で電気通信研究所の共同研究制度というもので登録をさせていただいておりますので、少なくとも私たちはこの研究所が絡んで研究をしていただく方々を、研究所を支えていただくコミュニティと考えています。

●ネットワーク型の場合、最初の拠点となるところを明確にする必要があるのでしょうか。あるいはもう少し緩い、中核というところで電気通信研究所さんが構成されているのでしょうか。柔軟な研究者コミュニティと、ネットワーク型のものとの関係が少し気になりました。

●組織と組織で統合したような運営をしていくということに関しては難しいのではないかと考えておりまして、事業と運営というのは少し分離する形で行い、統合した組織としての運営は非常に難しいものと考えます。

●タイプＳの共同研究の周りに、様々な企業が関われる環境を作っていただきたい。

タイプＳに対して期待することは、組織間・大学組織間の連携ということでタイプＳの研究を実施し、それと同時に、そのテーマでタイプＳの研究の周りに関連している色々な企業と関連していただきたいと考えております。

●全国共同利用・共同研究拠点の枠組みというのは、基本的には全国の国公私立大学というのが相手方であると第一義的には思われます。ただし、当研究所では共同プロジェクト研究の推進に当たりまして、いわゆる独立行政法人等のほかの公的研究機関や民間の研究所をも含むプロジェクトであると理解しています。

●現在、情報通信を所管する政府の役所の方でも次のネクスト、何をビジョンとして掲げていくかという議論が始まっています。人間・人・人間味・人間性、そのような項目が非常に大きなキーワード、情報通信分野の研究開発の目指すべき目標、軸、大きな価値観の１つではないかと思っています。

●今はまだ共同研究といいましても討論会であるとか非常に小規模な研究費で共同研究をですが、将来的にはなるべく大きなスペースをつくって機会が得られるようにしたいと考えて

います。

●インターンシップについて､例えばリサーチパークに企業の方が出向いて共同研究をする、そのリサーチパークの場をインターンシップに使うということはいかがでしょうか。

実はインターンシップに対して反対の先生がおられまして、学生さんが３カ月も抜けるのは好ましくないとか、就職活動ばかりやって何カ月か戻ってこないとか、特にマスターの場合は、できれば近くにリサーチパークがあって、そういうところを利用してやるというのが１つの解決策になるのではないかと考えております。

●最近は、隣にいる人でもメールで話をするとか、高校生や中学生は会話ができないとか、言われているので、そのようなことが無くなるのが人間性豊かなコミュニケーションなのではないでしょうか。

どうも、スーパーハイビジョンだとか臨場感だとか、そういうことが人間性豊かなコミュニケーションになってしまっているのではないかという疑問もありますので、技術系の話あるいは情報通信の人ばかりではなく、いろんな分野の人が集まって研究できるような枠組みが出てきたら良いのではないかなと期待をしています。

●ご指摘いただいたことについて、今の情報通信は『意味』を伝える手段ではないと考えます。『意味』を伝えない手段で､『シンボル』だけ送ってコミュニケーションしようとしているところがあると思います。その方法論の限界というのは既に出てきているわけで、情報社会になったために問題が起こってきたというのはこの部分です。

この部分については、これまでのサイエンスでは検討していなかったことなので、現在の延長線上で人間性豊かを実現しようというわけでは無いと思います。

ですから、パラダイムシフトをしなくてはいけない。サイエンス自身を変えなくてはいけないということがあって、これまでの物質世界のロジックを情報社会に持ち込んでいた、その限界が今露呈してきたということだと思います。

そこを乗り越えるロジックをキチンと出して、それに伴う科学技術を発展させていくという、これは多分日本の次の部分ではないかと私は考えております。

●７つの領域全部は、非常によく考えられており、先端実用化というところは最後の出口ですが、残りの６つの領域が全部連携して何か１つの先端実用化というところに結びつくようなサンプル等がつくれると良いと思います。

●ご指摘のとおり、大学のこれまでの現状というのは、かなり各個人が独立して研究を実施して、研究所の中にいてもお互い何をやっているかよくわからないということがたくさん現実にありました。連携の場をつくるために、情報通信が将来どうあるべきかということを議論し、理解を深めたいと思ってます。

●一時、大学に、企業で言う特許部のような組織をつくる動きが非常に盛んになった時期があったと思うのですが、特許についてこれまで以上に強化してやっていこうということでしたら、通研さんで独自にやるよりも、大学全体の仕組みとして検討する必要があるのではないでしょうか。

●大学としてはＴＬＯがございまして、制度的には特許の申請等もそこでサポートするという形になっておりますが、経費等はほとんど個人の研究者・教員が全部担う形になっていま

す。企業との共同出願等で不実施補償は一応義務ですが、譲歩できるようになっております。
●共同出願等について手続が難しかった時代もあり、出願熱も冷めました。大事なことは、大学が所有するものは大学がきちんと保証する形で実施しないと、なかなか個人の責任で全部行うのは難しく、教員の負担となっています。
●知財関係の専門家がおりまして、やはり量ではなくて質であること、特に国際特許を戦略的に取るようにすることということを言われております。国益のためにはむしろ良い特許を国際特許として出すということをもっと考えなさいとのことです。
●大学は幾つかのタイプに特許を分けておりまして、１つはＴＬＯがお金を出して大学として特許を取るような形にしております。これは通過率２０％ぐらいです。
もう１つは、ロイヤリティを生むということがポイントになっており、それを得やすいものを優先すると本当に重要なものかどうかというのは別の問題になります。
その他のタイプは、自分の研究費で出すという話です。直接研究費では出せない場合が多いものですから、運営費交付金か寄附金でやらなくてはいけないというのが制約条件でして、先ほどの外国特許１つをキチンと出そうとすると、数カ国出すと５００万円ぐらいかかってしまいますので、それに耐えられるだけの予算はよほどの先生でないと持ってこれないという問題があります。
あとは企業と連携で共同特許を出していくことですが、キチンと企業と連携できれば一番良い方法です。
できれば企業と一緒に特許を取るのが一番良い方法ではないかと思います。
ポイントは、国内の特許までは研究費で何とかなるのですけれども、外国までやろうとすると優先出願権のある範囲のうちに早く企業の相手先を見つけて、一緒に外国特許を出すまで持っていければ良いのですが、時間的にも相手先を見つけることが難しい場合が少なくありません。
●標準化の問題ですが、特にワイヤレスの通信技術に関しては、特に通信技術そのものは世界標準をとらないと通信にならないので、世界的な標準活動が必要です。だから、技術開発と標準化というのは両輪になるべきスタイルです。
企業の方も共同研究をやるのは標準化活動も一緒になされていると思うのですけれども、大学には活動費がないのです。
だけど、その必要性は、国際競争力を強化する必要性は総合科学技術会議には理解されていると思います。その財源を手当てするという議論はあります。今はボランティア活動で活動している状況で、企業内でも大学内でも標準化活動の評価が低いのが現状です。
●最近、エレクトロニクスに対する学生の人気が非常に悪くなりまして、工学研究科、工学部の中では、あっという間に数年前トップだったのが一番最低になりました。それはどうも電子とか電気というのがだんだん見えにくくなって、すべてのものに使われて空気のようになってしまったというのが１つの理由ではないかと思うのですけど、そのあたりでやはりここで何か新しいキャッチフレーズを打ち出して、本当に夢多き分野であるとぜひ示していただきたいと思います。
●現在のこの問題は結構根が深いです。どうしても産業の栄えない学問というのは栄えない。

現在の教育の改正に関しても、やはり本当にこういう学生をつくるという、キチンとしたメッセージとして出さなくていけない。それがこれまでのキャッチアップのまま今存在しているために、こういう事態が生じてきたと考えられます。

●最近、男女共同参画で女性の教員採用というのがあると思うのですが、これについてどう取り組まれているのか、教えていただきたい。

●実は、電気工学も電子工学も、ご存じのように女子学生のドクターが非常に、特にハードウェアをやっている人たちが少ない。

後継者をつくるというところからやらないと、なかなか難しいです。なるべく女性を優遇するという形がいいのか悪いのかわかりませんが、現実的には特別に女性のみを優遇するという形の選考はやっておりません。

●いままで別の研究機関でも、女性１人でずっとやってきましたが、私自身は個人的には気にしないのですけれども、受け入れてくれる側の先生たちの居心地が悪そうだという感じがして、仕事がしにくいです。居心地がいいわけではないです。それはどうしてもマイノリティ（社会的少数者）だという意味があり、外国人の方と同じだと思います。

カルチャー的に違う人１人を受け入れるために何人の人間が犠牲を払わなきゃいけないのかと、そういう計算はやめていただきたいと思います。とにかく受け入れて共存するということを本当に考えていただけるといいなという気はします。

一緒につくり上げていく、ユーザーとしても半分は女性であるわけだし、分野的にも工学系の分野も関係ないかと思いきや、非常に関係あると思うのです。

今日、発言の機会を与えてくださいましてありがたいのですけれども、こういう発言をする機会がもう少し与えられるような職場環境にしていただきたいです。

所長（議長）のまとめ

今日、運営協議会の形態を変えて感じたことは、やはり研究所の人間はここに加わるべきではないというのが私の結論です。前回までと随分雰囲気が違うので、やはり我々通研教員は協議会のメンバーから外れた方がいいと思います。

議長についても、特に通研の場合、企業の方に伝統的にお願いしてきたということがございますので、そういう形でぜひ次回は形態を変えさせていただきたいと考えます。外部の委員の先生方には引き続き、２年が１期の任期でございますので、ぜひ今後もお願いしたいと思います。

どうもありがとうございました。

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
荒川泰彦	2008～現在
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
久保田啓一	2008～現在
國尾武光	2008～現在
久間和生	2008～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
外村佳伸	2008～現在
富田眞治	2008～現在
富永昌彦	2008～現在
中村道治	1996～1999
長尾眞	1994～1997
西尾章治郎	2008～現在
丹羽邦彦	2008～現在
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

大学のあり方も時の社会情勢と無縁の存在ではあり得ません。科学技術が深く人間の生活に関わっていますが、自然科学の進歩はいわゆるデカルトの２元論と言われる自他分離の方法論によってもたらされ、自然科学と工学の２人３脚による科学技術の恩恵を受けているのが現代です。この方法論があまりにも強力であったために、われわれは人間の諸活動に対しても科学技術の方法論を適用することになります。つまり、われわれは人間の諸活動を対象化し、切り取った活動に対して、自己完結的に目標を設定します。この自己完結的に設定された目標にはそれを抑えるものがありませんので、際限なく追求されることになります。そうなると、競争に勝つこと自体が目的にとって代わってしまいました。こうして生まれた競争至上主義は世界的規模で拡大し、日本もその例外ではなく、競争の公平さを達成するために「自由化」、「国際化」が求められ、効率を上げるために「情報化」が求められ、これがいわゆるグローバル化の本体です。こうして近代科学技術は世界中を席巻し、産業構造、社会構造を大きく変革させ、これまでのイデオロギー対立の時代から経済至上主義による経済競争の時代へと移行させることになりました。特に近年の科学技術の進歩で際だっているのが情報技術（ＩＴ）です。アメリカはＩＴが経済競争のツールとして有用であることにいち早く気づき、一時は世界経済において一人勝ちの様相を呈しました。ＩＴの持つ時間的・空間的特長を利用することで、競争の形態を変えさせ、結果的に産業の生産・流通の構造を変えさせることに成功したことによります。つまり、競争の新しい土俵をＩＴで作り、その土俵において競争を世界的規模で行わせることによって、アメリカ自身は漁夫の利を得ようとしたわけです。つまり、グローバル市場経済の土俵作りのノウハウを経済の上部構造として位置づけ、「物づくり」の産業をこの土俵の中で競争する下部構造として支配することになります。この上部構造に関するノウハウを所有することが経済競争において優位性を保つことになるからです。これで分かるように近代科学技術に大きく依存する現代社会は、効率を競うことを余儀なくされてきましたが、現在のＩＴはその競争的体質をますます激化させるドライビングフォースとなっています。

ここまではまだ許容できる範囲であるかも知れませんが、アメリカに端を発した新自由主義は、やがて詐欺まがいの金融工学という方法論を編みだしました。この金融工学は破綻すべきとして破綻し、いまや世界中を大不況の渦に巻き込んでいます。この新自由主義は、大学にまで持ち込まれて、大学を浸食している。市場原理を大学に適用しようとすると、本来は数値化できない教育や

研究を数値化することが必要になり、そのための評価がなされようとしているのです。評価が無用であると主張しているつもりはありません。評価するにはいろいろな軸があり、それらをすべて明示的に表すことはできません。まして文化の継承と創造が負託されている大学の活動を明示的に表して評価するには大きな限定があるはずです。現在の評価がすべてであるという考えが、大学を本来の姿からほど遠い歪んだ状態にしていると思います。特に、現在は社会や産業界からすぐに役に立つことをやらなければならないという圧力がすごく大きく感じられます。大学がこの圧力に押されて、競争の檻の中に無理矢理閉じこめられ、中にいる人間が閉塞感を感じているようでは大学の機能は発揮されていないことになります。その意味では大学人は大いに反省しなければなりません。少なくとも物質的な欲望を野放しにした「More is better」 の時代に終わりを告げ、生活の質を大事にする「Enough is best」 の時代の始まりにしなければなりません。

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を始めとする世界の情報通信に対して責任があり、私たち一人一人の研究活動を通じて人類の文化と福祉に貢献していることを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が頂けることを切に希望致します。

資　料　編

第１章　予算の概要

本研究所の予算の概要

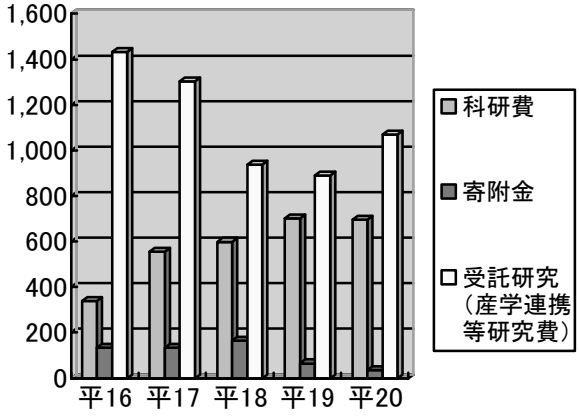
単位：千円

	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度
人　　件　　費	902,978	984,113	971,482	970,961	879,481
物　　件　　費	1,233,357	1,050,647	927,090	813,724	953,000
寄　附　金	132,530	134,002	163,591	64,818	34,265
共同利用研究施設運営費	37,138	37,309	35,893	35,833	34,722
施設整備費	235,000	0	0	0	185,000
その他物件費	828,689	879,336	727,606	713,073	699,013
産学連携等研究費	1,432,607	1,303,028	937,441	888,833	1,069,832
計	3,568,942	3,337,788	2,836,013	2,673,518	2,902,313
科学研究費補助金	338,459	554,680	599,040	700,615	694,883
合　　計	(1,903,596) 3,907,401	(1,991,710) 3,892,468	(1,700,072) 3,435,053	(1,654,266) 3,374,133	(1,798,980) 3,597,196

※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 20 年度について大まかに分析すると、その他物件費約 7.0 億円の中の 1.8 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、1.4 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 1.4 億円であった。各研究分野に配分された研究費（1.4 億円）に、科学研究費補助金 6.9 億円、寄附金 0.3 億円、及び産学連携等研究費 10.7 億円を加えた総額 19.3 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 7.2%である。平成 19 年度の直接研究費総額は 17.8 億円で、平成 20 年度は対前年度比約 8.4%の増加となっている。これは、産学連携等研究費の増加によるもので、戦略的創造研究推進事業をはじめとする多くのプロジェクト研究の受け入れによるものである。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	2008 年度交付金額	補助金総額	研　究　課　題　名	採択年度
学術創成研究	枝松 圭一	114,400	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	80,470	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	103,870	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	125,970	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	5,200	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	12,500	83,000	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
	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	3,300	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高速フーリエ変換回路の研究	2006
	白井　正文	4,400	15,800	高効率スピン源の理論設計	2007
	大野　裕三	10,600	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	3,900	12,600	スピン流と光物性調整班	2007
基盤研究(S)	尾辻　泰一	18,980	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

単位：千円

研究種目	氏　名	2008年度 交付金額	補助金総額	研　究　課　題　名	採択年度
基盤研究(A)	白鳥　則郎	21,190	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	15,340	36,600	CVD原子層積層による高キャリア濃度・高移動度Ⅳ族半導体人工結晶の創成	2007
	大野　英男	7,020	26,200	InAs量子カスケードレーザの次元性の制御とその効果	2007
	庭野　道夫	21,580	38,900	非標識バイオ計測を目指した3次元表面ナノ構造設計	2008
	坪内　和夫	19,370	74,700	超高速無線通信制御用DSPの開発	2008
基盤研究(B)	羽生　貴弘	5,200	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の開発	2006
	佐藤　茂雄	4,290	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	4,030	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	2,600	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
	杤　修一郎	7,670	14,300	運動機能サポートシステムの開発	2007
	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
	末光　眞希	14,820	13,900	次世代CMOSプロセスを基礎付けるSi(110)表面酸化機構の解明と電気特性	2007
	松倉　文例	9,750	14,300	強磁性半導体中の電流誘起磁壁移動	2008
	四方　潤一	4,680	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

予算の概要

単位：千円

研究種目	氏　名	2008年度 交付金額	補助金総額	研　究　課　題　名	採択年度
基盤研究(C)	外山　芳人	1,300	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	3,380	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
	青戸　等人	1,300	77,500	リップリング法と書き換え帰納法を融合した定理自動証明法の研究	2008
	菅沼　拓夫	2,210	81,000	ウェルエイジングミドルウェアにおける中・高齢者支援のための領域オントロジ技術	2008
	岩谷　幸雄	1,950	3,500	インタラクティブ音空間システムの構築	2008
	白鳥　則郎	800	3,200	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
萌芽研究	上原　洋一	1,700	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	1,100	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ラルネットワーク	2007
	末光　眞希	2,600	7,000	新奇量子構造SiGeナノハットおよびナノリングの自己組織的形成	2008
	廣岡　俊彦	7,280	14,100	320Gbit／s－500kmOTDM伝送技術に関する研究	2007
若手研究(A)	北形　元	1,040	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
若手研究(B)	矢入　聡	650	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
	木村　康男	1,690	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スタの作製	2007

予算の概要

単位：千円

研究種目	氏　　名	2008年度 交付金額	補助金総額	研　　究　　課　　題　　名	採択年度
若手研究(B)	片野　諭	1,170	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
	坂本　修一	1,950	3,300	話者映像及び話声が含む感性情報を考慮した高精度高感性視聴覚音声提示システムの構築	2008
	三森　康義	2,080	3,300	半導体量子ドットにおける多光波混合による位相緩和抑制制御	2008
	小野美　武	1,300	2,600	単一磁束量子論理回路によるストカスティック論理ニューロ演算のハードウェア化	2008
	吹留　博一	1,820	3,720	固液界面を反応場として用いた有機結晶成長の完全制御と電子デバイスへの応用	2008
若手 (スタート)	MEZIANI YAHY	1,612	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	2008 年度 研究費
文部科学省 （次世代 IT 基盤構築）	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	307,489
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－電子スピン量子メディア変換技術に関する研究	17,586
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	36,065
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	7,020
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	坂本 修一	軸対称型収音装置を用いた高精度･高感性バーチャル音空間創成システムの構築	10,290
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	石山 和志	ガーネットを利用した高分解能高周波磁界測定システムの開発	12,578
（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構	長　康雄	超高密度強誘電体記録の実用化研究	22,999
（独）科学技術振興機構	大野 英男	大野半導体スピントロニクスプロジェクト研究成果取りまとめ活動	1,625
（独）科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	小坂 英男	量子状態転写の実証実験	35,230
（独）科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	坪内 和夫	オール Si CMOS RF デバイス・回路の開発	122,200
（独）科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	尾辻 泰一	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	178,230

予算の概要

単位：千円

機　関　名	氏　　名	研　　究　　課　　題	2008 年度 研究費
（独）科学技術振興機構 （戦略的創造研究推進事業）	末光 眞希	グラフェン・オン・シリコン（GOS）プロセス技術の開発	130,000
（独）科学技術振興機構 （戦略的創造研究推進事業）	松本　敦	ネットワークオンチップ構成における多値・非同期式ネットワークに関する研究	6,500
（独）科学技術振興機構（先端計測分析技術・機器開発事業）	長　康雄	複合型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発	89,468
（独）科学技術振興機構 （育成研究）	遠藤 哲郎	縦型構造の電荷蓄積膜方式セルを積層した超高密度不揮発性半導体メモリの製造技術の開発	21,710
（独）科学技術振興機構 （顕在化ステージ）	末光 眞希	フィルムディスプレイ用途多結晶 Si 薄膜の大気圧プラズマ CVD に関する研究	4,669
（株）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
TDK㈱テクノロジーグループ ＳＱ研究所	村岡 裕明	熱アシスト記録における記録・再生磁化過程に関する研究	2,500

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	2008 年度 研究費
東京エレクトロン(株) 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	3,420
(株)富士通研究所	中沢 正隆	超高速光信号処理技術	3,000
(株)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	9,500
日本電気(株)	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)	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	7,955
(株)富士通研究所	桝井 昇一	先端 RF トランシーバ技術の研究	10,000
日本電気(株)	矢野 雅文	先端理論のネットワーク運用管理への適用方法の研究	3,150
松下電器産業(株) 半導体社半導体デバイス研究センター	尾辻 泰一	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	3,720
松下電器産業(株) 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	2,400
(株)パスファインダー	青木 輝勝	放送通信融合型のユーザ発信コミュニケーションの実証実験に関する研究	1,000
東京エレクトロン(株) RLSA 本部	庭野 道夫	異種材料界面の電気的特性評価	1,000
積水化学工業(株) R&D センター　NBO 開発推進センター	末光 眞希	プラズマ CVD による多結晶 Si 系薄膜堆積に関する研究	1,500
(株)日立国際電気電子機械事業部　富山工場	室田 淳一	固相成長による新構造メモリ向け基盤作製技術	3,000
ｿﾆｰ㈱ｺｰﾎﾟﾚｰﾄ R&D ｺｱﾃﾞﾊﾞｲｽ開発本部　ｽﾀﾝﾀﾞｰﾄﾞｼｽﾃﾑ開発部	塩入 諭	奥行き知覚の定量化及びモデル化に関する研究	6,941

単位：千円

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2008年度 研究費
(株)日立製作所	島津 武仁	エネルギーアシスト用高Ku磁性薄膜技術の開発	2,210
(株)イデアルスター	長 康雄	非接触型非線形誘電率顕微鏡による新規フラーレン分子の観察	300
京セラキンセキ(株)	島津 武仁	水晶デバイス用接合技術の開発	1,210
セイコーエプソン(株)	庭野 道夫	積層構造を持つデバイスの界面化学結合状態の解明	740
トヨタ自動車(株) (株)豊田自動織機 アイシン精機(株)	島津 武仁	原子拡散接合に関する研究開発	1,320
富士通(株)	島津 武仁	ナノビット媒体用Co基規則合金膜の高性能化技術の開発	2,420

〈研究経費なし〉

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2008年度 研究費
独立行政法人 日本原子力研究開発機構	末光 眞希	リアルタイム放射光・光電子分光を用いたSi(110)表面上の酵素分子吸着および酸化膜形成過程のカイネティクス	−
独立行政法人 産業技術総合研究所	上原 洋一	ストレージ材料のナノスケール光電子物性評価法の確立	−
独立行政法人 日本原子力研究開発機構	末光 眞希	次世代半導体デバイスへの応用に向けた基礎材料に関する研究	−
NTTマイクロシステムインテグレーション研究所	枝松 圭一	シリコン細線を用いた機能素子の研究について	−
財団法人 国際超電導産業技術研究センター	中島 康治	SFQ回路による高速フーリエ変換技術	−

〈民間等共同研究員〉

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2008年度 研究料
NECトーキン(株)	末光 眞希	電子材料における有機構造解析に関する研究	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	３０，７１３	受入人数　　５名

１．３　奨学寄附金の受け入れ

ＪＳＲ（株）	
アルプス電気（株）事業開発本部	
エム・イー・エス・アフティ（株）	
（株）Ｗａｖｅ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ	
（株）アドバンテスト研究所	
（株）島津製作所	
（株）日立製作所中央研究所	
（株）富士通研究所シリコンテクノロジ開発研究所	
（株）山形富士通	
（財）石田（實）記念財団	
（財）立石科学技術文化財団	
（財）テルモ科学技術振興財団	
（財）中山隼雄科学技術文化財団	
（財）放送文化基金	
（財）電気通信工学振興会	
（財）村田学術振興財団	
シャープ（株）	
シャープ（株）健康・環境システム事業本部	
情報ストレージ研究推進機構	
新日本製鐵（株）技術開発本部　鉄鋼研究所	
ソニー（株）マテリアル研究所材料解析センター	
タカノ（株）	
中央電子（株）	
東日本電信電話（株）	
日立化成工業（株）研究開発本部　新材料応用開発研究所	
日立コンピュータ機器（株）	
日立電線（株）技術本部　技術研究所エレクトロニクス研究開発センタ	
マスプロ電工（株）	
フランス大使館	
計　　３３件	３４，２６５，０００円

第２章　研究・学会活動状況

２．１　国際活動

区　　分		2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	合　計
海外派遣状況（人数）		１００	１３１	２３６	１５７	１３４	７５８
国際的研究集会・学会等での招待講演者数　（人数）		５５	６６	５４	７４	７６	３２５
国際共同研究の実施状況（件数）		6	１５	２２	３３	４１	１１７
外国人研究者の来訪状況（人数）	１か月以上滞在	9	3	8	3	4	２７
	１週間以上１か月未満	0	7	１３	5	8	３３
外国人客員研究員の受入状況　（人数）		1	1	2	3	1	8
外国人教員の受入状況[客員教授・客員准教授](人数)		1	4	5	2	5	１７

２．２　発表論文数

区　　分	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	合　計
掲載された論文数						
学　　会　　誌	２０９	１９６	２０８	１６３	１８９	９６５
国際会議議事録等	１６２	１８０	２３３	２６６	２５６	1,０９７

２．３ 学会役員一覧（2004～2008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
日本磁気学会	名誉会員	2006.5～現在	中村　慶久
日本磁気学会	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
日本視覚学会	会長	2008～2009	塩入　　諭
日本音響学会	理事	2001～2005 2007～現在	鈴木　陽一
情報処理学会	副会長	2004.5～2006.3	白鳥　則郎
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
日本騒音制御工学会	理事	2000.5～2008.5	鈴木　陽一
日本表面科学会	理事	2006～2009	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	1999～2007	伊藤　弘昌
応用物理学会	評議員	2008～現在	庭野　道夫
日本磁気学会	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	2001～2007	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
日本磁気学会	評議員	2007～現在	石山　和志
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

国際学会

学　会　名	役　職　名	任　　期	氏　名
IEEE Computer Society	Vice Chair, Technical Committee on Multiple-Valued Logic	1999.6～現在	羽生　貴弘
IEEE Magnetic Society	Administration Committee	2005～2007	村岡　裕明
IEEE Magnetic Society	Distinguished Lecturer	2009.1～12	大野　英男
IEEE Sendai Section	Chair	2006～2007	水野　皓司
IEEE Sendai Section	Secretary	2006～2007	中沢　正隆
IFIP (International Federation for Inofrmation Processing)	日本代表	2004～2005	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
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
西谷　雄	H20.4.1～H23.3.31	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
長尾　真宏	H20.4.1～H22.3.31	新しいネットワーク管理へ向けた異なるネットワーク情報の相関に関する研究
松田　信幸	H20.4.1～H22.3.31	弱い光学非線形性をもつ媒質における単一光子誘起位相シフト測定技術の確立とその応用

教育研究支援者

氏名	任用期間	研究内容
Jeroen KETEMA	H20.4.1～H20.8.31	書き換え技術に基づくソフトウェア検証
東海林　篤	H20.4.1～H21.3.31	量子もつれ光源および検出器の開発
笹井　一人	H20.5.1～H21.3.31	情報ネットワーク，ソフトウェアシステム，トラフィック計測・解析，ネットワーク管理，ユーザインタフェース等の情報通信

外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
Tarun Kanti Roy	H20. 6. 1～H20. 8.31	ハッシュに基づくＰ２Ｐネットワークのための分散認証手法に関する研究
Lain-Jong Li	H20. 6. 2～H20. 7.10	先端情報通信領域創成に関する研究
Maciej Sawicki	H20. 6.12～H20.12.12	強磁性半導体の磁化操作に関する研究
Popov Vyacheslav	H21. 1.12～H21. 2.27	テラヘルツプラズマ電磁理論の研究
Katz Brian F.G.	H21. 2. 1～H21. 6.30	臨場感音コミュニケーションの開発に関する研究

２．６　特別研究員・大学院生の受入状況

区　　分	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	合　計
特 別 研 究 員	5	6	7	5	7	３０
大　学　院　生	２３０	２３４	２２５	１９４	２００	１０８３

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 「気相－　液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム」 International Interdisciplinary-Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas (ISGLP 2008)	2008 年 9 月 5 日(金)～6 日(土)
2．電気通信研究所国際シンポジウム 「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」 4th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics	2008 年 9 月 25 日(木)～27 日(土)
3.電気通信研究所国際シンポジウム 「第４回スピントロニクス国際ワークショップ」 The 4th RIEC International Workshop on Spintronics	2008 年 10 月 9 日(木)～10 月 10 日(金)
4．電気通信研究所工学研究会	随時
5．電気通信研究所産学官フォーラム	2008 年 11 月 21 日 (金)

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
光 OFDM に関する研究	大宮　達則	中沢　正隆
光フーリエ変換を用いた超高速光伝送に関する研究	岡崎　勝伝	中沢　正隆
光フーリエ変換を用いた波長多重高速光伝送に関する研究	関　鵬　宇	中沢　正隆
フォトニック結晶ファイバを用いた波長 1.1μm 帯高速光伝送に関する研究	小泉　健吾	中沢　正隆
光 QAM に関する研究	後藤　広樹	中沢　正隆
Experimental Study on Terahertz Field Emission Properties of Plasmon Resonant Emitters（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特性に関する実験的研究）	陳　海　博	尾辻　泰一
プラズモン共鳴型エミッターのテラヘルツ電磁放射特性とその分光応用に関する研究	津田　祐樹	尾辻　泰一
電流モード多値 VLSI の設計・検証環境の構築に関する研究	永井　亮	羽生　貴弘
磁気微粒子の分離と凝集の制御に関する基礎的検討	中村　治貴	石山　和志
ディペンダブル無線通信端末用ＡＤＣの研究	野沢　尭志	坪内　和夫
高次視覚野における形態視の情報表現の研究	橋元　惇	矢野　雅文
TMR デバイスを用いたしきい値可変電流モード多値回路の構成に関する研究	廣崎　旭宏	羽生　貴弘
InP 系高電子移動度トランジスタの高速化に関する研究	堀池　恒平	尾辻　泰一
２次元プラズモンの分散制御を利用したテラヘルツ帯電磁波放射に関する研究	馬籠　伸紘	尾辻　泰一
無線通信用Ｓｉ　ＣＭＯＳ増幅回路の研究	松﨑　圭佑	坪内　和夫
CGC 型垂直磁気記録媒体の高密度記録再生特性の研究	安森　順一	村岡　裕明
小型無線通信端末用アンテナの研究	吉田　賢史	坪内　和夫
Investigations of Magnetization Pinning in Perpendicular Continuous Recording Media Using Computer Simulations（コンピュータシミュレーションによる垂直連続記録媒体における磁化ピンニングの研究）	LOKE CHO MUN	村岡　裕明
垂直磁気記録パターン媒体のコンピュータシミュレーションによる最適化の研究	出川　直通	村岡　裕明

電子工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
半導体微細構造を利用したイオンチャネルセンサに関する研究	青戸　孝至	庭野　道夫
磁気光学カー効果による半導体量子井戸中の電子スピン状態トモグラフィ測定	稲垣　卓弘	枝松　圭一
常圧プラズマ CVD を用いた Si 薄膜堆積に関する研究	稲吉　陽平	末光　眞希
非接触ＳＮＤＭ強誘電体記録に関する研究	卯田　知也	長　康雄
多光子量子もつれの効率的生成および評価方法の研究	金田　文寛	枝松　圭一
Ⅳ族半導体中へのＮ原子層ドーピングに関する研究	川島　知之	室田　淳一
ハードディスクドライブ型ＳＮＤＭ強誘電体記録装置による高速記録再生に関する研究	栗橋　悠一	長　康雄
電子顕微鏡による固液界面反応のリアルタイム観察法に関する研究	佐藤　広章	庭野　道夫
Monte Carlo 法を用いたポーラスシリコン形成過程の研究	島倉　尚子	庭野　道夫
垂直磁気トンネル接合の電子状態と電気伝導に関する理論研究	鈴木　暢	白井　正文
Si(110)基板上エピタキシの表面化学に関する研究	豊田　峻行	末光　眞希
プラズマによる原子層ドーピングに関する研究	野坂　隆之	室田　淳一
原子層歪導入Ⅳ族半導体ヘテロ構造形成に関する研究	平野　智也	室田　淳一
顕微ヘテロダインポンププローブ分光法による半導体単一量子状態のコヒーレント制御	宮原　優喜	枝松　圭一
自己組織化プロセスを用いた単一電子トランジスタの作製に関する研究	武藤　高見	庭野　道夫
Si(110)表面初期酸化過程に関する研究	山本　喜久	末光　眞希
数 10GHz 帯域におけるＭＯＳロジック回路の安定動作に関する研究	鈴木　一光	遠藤　哲郎

論文題目

情報基礎科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
柔軟な照合機構を備えたパターンを用いたプログラム変換	大川　雄哉	外山　芳人
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型健康支援システム	和泉　諭	白鳥　則郎
エージェント指向ユビキタスミドルウェアにおける適応型プラットフォーム間通信機構	伊藤　大視	白鳥　則郎
地域情報を利用した通学時の子供の目的地推定に関する研究	小田原　亨	白鳥　則郎
ユビキタス情報環境における情報資源の状態情報の流通制御方式	佐藤　由久	白鳥　則郎
多項式解釈による順序付けを用いた書き換え帰納法	瀬古　寛幸	外山　芳人
移動型ネットワークのための障害管理支援技術に関する研究	福田　啓一	白鳥　則郎
多対多通信のための配信木の自律分散型構成に関する研究	牧志　純	白鳥　則郎
項書き換えシステムの合流性自動判定法	吉田　順一	外山　芳人
A Study on Reliable Access Control Based on Social Relationships (社会的関係に基づく高信頼アクセス制御に関する研究)	RADESCU GEORGE SERBAN	白鳥　則郎

システム情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
定常的視覚誘発電位による視覚的注意の時間特性の検討	柏瀬　啓起	塩入　諭
3 次元音空間の高忠実レンダリング技法の研究	千葉　武尊	鈴木　陽一
情報ハイディングに基づく音声通信の広帯域化の研究	半田　浩規	鈴木　陽一
視覚探索における意識的・無意識的学習効果についての研究	真野　拓郎	塩入　諭
ＳＡＴソルバーを用いたコード最適化の研究	山本　雅洋	大堀　淳
ＳＭＬ＃へのＣ言語の埋め込みに関する研究	劉　　榴	大堀　淳

応用情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
システム品質を考慮したマルチエージェントシステムの動作制御に関する研究	星川　数也	木下　哲男
能動的情報資源によるネットワーク管理情報の利用支援に関する研究	ISHA BHALLA	木下　哲男
ニューラルネットワークの手法を用いた断熱的量子計算に関する研究	小野　亜衣子	中島　康治
高次結合及び能動化ニューラルネットワークを用いた組合せ最適化システムに関する研究	曽田　尚宏	中島　康治
部分領域に基づく染色体画像解析に関する研究	濱田　智栄子	木下　哲男
Characteristics and Mechanical Properties of Neural Networks based on Energy Functions（エネルギー関数に基づくニューラルネットワークの特性と力学的性質に関する研究）	LEMUS MONTERROSO ALI ARAFAT	中島　康治

3．2　博士論文

電気・通信工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
不揮発性ロジックインメモリ集積回路とその応用に関する研究	松永　翔雲	羽生　貴弘
完全並列型 LDPC デコーダの高性能化に関する研究	鬼沢　直哉	羽生　貴弘
TMR ロジックに基づく高機能・低電力 FPGA の構成に関する研究	鈴木　大輔	羽生　貴弘
圧電薄膜を用いた無線通信用高周波デバイスの研究	青田　雄嗣	坪内　和夫
垂直磁気異方性を有するCo基ナノドットの磁化機構と記録媒体への応用に関する研究	三塚　要	村岡　裕明

電子工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
赤外分光を用いた細胞動的過程計測法に関する研究	山口　僚太郎	庭野　道夫
導波路媒質における単一光子強度下での光カー効果の観測	松田　信幸	枝松　圭一
プラズマによる Si－Ge 系表面原子制御とその応用に関する研究	菅原　勝俊	室田　淳一

情報基礎科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
ユビキタス情報環境におけるサービス品質に基づく適応型経路制御法	長田　俊明	白鳥　則郎
開放型 3 次元共生空間の構成に関する研究	黒田　貴之	白鳥　則郎
分散システムにおけるネットワーク状態の実時間型収集・分析・評価	長尾　真宏	白鳥　則郎
A Study on Congestion Control for Wireless Networks （無線通信網における輻輳制御に関する研究）	内海　哲史	白鳥　則郎
共生コンピューティングに基づくグループ学習の知的支援に関する研究	宮本　俊光	白鳥　則郎

システム情報科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
相互運用性を実現する関数型言語の型主導コンパイル方式の研究	上野　雄大	大堀　淳
包囲型マイクロホンアレイを用いた室内音源特性の高精度推定法	岡本　拓磨	鈴木　陽一

応用情報科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
A Knowledge-based Strategy for the Automated Support to Network Management Functions　（ネットワーク管理業務の能動的支援における知識処理の研究）	アバー　サミラ	木下　哲男

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	業　績
日本ソフトウェア科学会 第24回高橋奨励賞	外山　芳人	コンピューティング情報理論研究分野	本賞は第24回日本ソフトウェア科学会大会において優れた発表論文を表彰するものである。受賞内容:「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」
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」	竹内 太志	先端ワイヤレス通信技術研究分野	「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9月・信学ソ大, C-2-27)
文部科学大臣表彰(科学技術賞　研究部門)	犬竹　正明	ブロードバンド通信基盤技術研究分野	アルヴェン波動現象の物理的解明と工学的応用の研究
(財)日本規格協会IEC活動推進会議 平成20年IEC－APC議長賞	村岡　裕明	情報ストレージシステム研究分野	2001年以降、IEC　TC100　TA7(民生用ストレージ)分野の国際役員(Technical Area Manager)として、ビデオ機器などのマルチメディアストレージ機器の国際規格制定のために貢献した。
社団法人情報処理学会 平成19年度功績賞	白鳥　則郎	コミュニケーションネットワーク研究分野	分散情報システムの先駆的研究開発とその応用に関する顕著な業績に関して
総務省　志田林三郎賞	中沢　正隆	超高速光通信研究分野	エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)の先駆的な研究開発と、その革新的な技術がもたらした超高速・大容量光ファイバ通信の発展に関する多大な貢献。
財団法人 電気・電子情報学術振興財団 平成20年度猪瀬学術奨励賞	和泉　諭	コミュニケーションネットワーク研究分野	次世代ユビキタス情報環境向け知識処理基盤技術に関する研究
日本視覚学会「平成20年度ベストプレゼンテーション賞」	柏瀬　啓起	高次視覚情報システム研究分野	内発的な視覚的注意による定常的視覚誘発電位の変調効果
International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, NOLTA2008 Student Paper Award , Silver Prize	曽田　尚宏	知的ナノ集積システム研究部	「ID Model with Higher-Order Connections for the Traveling Salesman Problem」
日本神経回路学会・研究賞	坂本　一寛	実世界コンピューティング研究部	サル前頭前野興奮性細胞・抑制性細胞における行動目標表現の遷移
IEEE Magnetics Society, Distinguished Lecturer for 2009	大野　英男	半導体スピントロニクス研究部	Spintronics: Nanoscience and Nanoelectronicsの業績に対して
石田(實)記念財団研究奨励賞	青木　輝勝	情報コンテンツ研究分野	「シナリオ入力自動アニメ映像創生システムの研究開発」に対して

受章・受賞

賞　名	氏　名	所属分野・部・センター	業　績
(社)映像情報メディア学会 優秀研究発表賞	荻谷　光晴	高次視覚情報システム研究分野	映像情報メディア学会開催のヒューマンインフォメーション研究会「曖昧な眼間時差が持つ共変性と生成知覚」についての研究発表に対して
IEEE Sendai Section Student Award 2008 「The Encouragement Prize」	上柳　雅史	プラズマ電子工学研究分野	「Control Theory of CC-MCML for Stable Operation under Fluctuation of the Threshold Voltage」の研究
IEEE Sendai Section Student Award 2008 「The Encouragement Prize」	伊賀　文崇	プラズマ電子工学研究分野	「Evaluation technique of SONOS type MOS diode for future nonvolatile memory」の研究
IEEE Sendai Section Student Award 2008 「The Best Paper Prize」	CHEN, Haibo 陳 海博	超ブロードバンド信号処理研究分野	「Plasmon-resonant terahertz microchip source and its application to spectroscopy for vapor absorption at room temperature」
IEEE Sendai Section Student Award 2008 ″The Encouragement Prize″	正田　史生	超高速光通信研究分野	1.5 μm Femtosecond Fiber Laser with CNT-doped Polymer Saturable Absorber
Award for Encouragement of Research in Materials Science (MRS-J)	川島　知之	ナノヘテロプロセス研究部	「Nitrogen Atomic-Layer Doping in Nanometer-Order Heterostructure of Si/Si1-xGex/Si(100) by Ultraclean Low-Pressure
Award for Encouragement of Research in Materials Science (MRS-J)	菅原　勝俊	ナノヘテロプロセス研究部	「Epitaxial Growth of Highly Strained B Doped Si on Relaxed Ge/Si(100)」
電子情報通信学会東北支部・学生優秀論文賞	松浦　貴史	新概念VLSIシステム研究部	電流モード多値順序回路の低消費電力化技術に関して
電子情報通信学会・ 平成20年度学術奨励賞	後藤　広樹	超高速光通信研究分野	周波数利用効率8.6 bit/s/Hzを有する周波数分割多重1 Gsymbol/s, 64QAMコヒーレント光伝送
電子情報通信学会・ 平成20年度学術奨励賞	阿部　俊一郎	先端音情報システム研究分野	電子情報通信学会総合大会における優れた発表に関して
(社)映像情報メディア学会・ヒューマンインフォメーション研究会・ベストプレゼンテーション賞	伊東孝幸	高次視覚情報システム研究分野	ベストプレゼンテーション賞「画像特徴と注視」
平成20年度東北大学 工学部長賞	伊賀　文崇	プラズマ電子工学研究分野	平成20年度工学部卒業生の中から、特に優れた学業成果を挙げた学部生を表彰するもの
平成20年度東北大学大学院工学研究科長賞	松田信幸	量子光情報工学研究分野	「導波路媒質における 単一光子強度下での光カー効果の観測」

賞　名	氏　名	所属分野・部・センター	業　績
東北大学大学院工学研究科電気・情報系運営委員会「平成20年度電気・情報系優秀賞」	小野　真証	半導体スピントロニクス研究部	「半導体中の電子・核スピンのコヒーレントダイナミクスの制御とその光学検出」
平成20年度東北大学工学研究科「電気・情報優秀賞」	岡崎　勝伝	超高速光通信研究分野	光フーリエ変換を用いた超高速光伝送に関する研究
平成20年度日本音響学会聴覚研究会研究奨励賞	小林　まおり	先端音情報システム研究分野	聴覚研究会ビギナーズセッションにおける優れた発表に関して
平成19年度東北大学大学院工学研究科長賞	葛西　恵介	超高速光通信研究分野	博士課程における優れた研究業績に関して
金沢大学名誉博士号	中沢　正隆	超高速光通信研究分野	光ファイバ増幅器の先駆的研究開発とその応用に関する顕著な業績に関して

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
IEEE	加藤　修三
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
電子情報通信学会	加藤　修三
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

記事名	掲載年月日	出典
青木先生のみんなの映像技術講座　2008.4.1 号～2009.1.1 号	2008 年 4 月～	湘南映像新聞
平成２０年　IEC-APC 議長賞 IEC 国際標準化への貢献を表彰 村岡　裕明教授	2008 年 5 月 30 日	日刊工業
DMD（Digital Movie Director）の紹介	2008 年 6 月 15 日	宣伝会議
DMD（Digital Movie Director）の紹介	2008 年 7 月 7 日	CM 通信
「よみがえれニッポン」ナビゲーターとして出演 2008.07.～12	2008 年 7 月 19 日	CS 朝日 ニュースター
世界初ハイブリッド可聴化技術を開発 東北大学　百周年記念会館「川内萩ホール」に導入	2008 年 6 月 24 日	建設新聞
グラフェン薄膜 シリコン基板に作製　東北大、超 LSI 適用に道	2008 年 6 月 25 日	日刊工業
グラフェン薄膜 シリコン基板に形成 東北大　集積回路へ応用期待	2008 年 6 月 25 日	科学工業
基板上に炭素薄膜 東北大　集積回路の性能向上へ	2008 年 6 月 25 日	日経産業
シリコン基板上でグラフェン薄膜作製成功	2008 年 7 月 4 日	科学新聞
仮想空間施設で環境問題考える インターネットの仮想空間「セカンドライフ」内に環境問題などを考える研究施設を開設	2008 年 7 月 8 日	読売新聞
仮想空間に TV 映像 サミット題材きょう実験　利用者の動向把握	2008 年 7 月 8 日	河北新報
東北大白鳥教授ら セカンドライフ内に研究所 洞爺湖サミットに合わせ　報道番組の擬似生中継	2008 年 7 月 10 日	電波新聞
次世代半導体材料グラフェン 東北大、基板上に生成	2008 年 7 月 22 日	日経産業

半導体材料 シリコン基板上に「グラフェン」薄膜 世界初、東北大が成功	2008 年 7 月 24 日	河北新報
情報分野で共同研究 東北大と NTT、協定締結	2008 年 7 月 29 日	河北新報
知的クラスター事業 予防医療開発で研究成果を報告	2008 年 7 月 30 日	河北新報
東北大、スピントロニクス技術による不揮発性 IC 試作に成功	2008 年 8 月 22 日	Semiconductor Japan Net (web)
メモリーと演算部を一体化 不揮発性 IC 作製　待機電力ゼロ	2008 年 8 月 22 日	日刊工業
消費電力の大幅削減可能な集積回路試作	2008 年 8 月 22 日	サイエンスポータル（web）
待機電力ゼロの集積回路試作 IT 機器の長寿命化に期待	2008 年 08 月 22 日	電波新聞
集積回路　待機電力ゼロ パソコン省エネ化	2008 年 8 月 22 日	毎日新聞
集積回路　待機電力ゼロ 東北大、「磁石」記憶の新素子	2008 年 8 月 25 日	日経産業
スピントロニクス技術の利用で待機時消費電力をゼロにする 集積回路　東北大学電気通信研究所らが開発	2008 年 8 月 26 日	Tech -On! (web)
東北大学のグループ　ひらめきの瞬間を解明	2008 年 8 月 27 日	NHK 仙台放送局
前頭前野の細胞同調 東北大グループ問題解決の機能解明	2008 年 8 月 28 日	河北新報
超臨場感通信の実現と地域文化の創造・発信	2008 年 夏号	東北情報通信懇談会誌
東北大電通研　世界初 記憶・演算一体型 IC 開発 素子重ね配線削減、高速、省電力両立	2008 年 8 月 31 日	河北新報
磁極の向き電圧加え制御 次世代メモリーに応用も	2008 年 9 月 25 日	河北新報
磁化方向　電気的に制御 東北大が成功　メモリー省エネへ	2008 年 9 月 25 日	日刊工業
ノーベル自然科学３賞来月発表　iPS,炭素の管に期待	2008 年 9 月 29 日	読売新聞
クラシック音楽環境一変？ 音響優れ千席余　東北大・川内萩ホール 10 日開館	2008 年 10 月 8 日	朝日新聞

東北大電通研 研究室を公開	2008 年 10 月 10 日	河北新報
磁気トンネル接合素子を使い回路を不揮発化、演算・記憶機能を一体に	2008 年 10 月 14 日	EE Times Japan
Tohoku University will discuss a novel way to use MJTs for data storage in a high-density 3D processor architecture, at IEDM	2008 年 11 月	EE Times (web)
東北大の英知　新ホール完成 残響　最適な 1.8 秒設計 音響　満席で実験	2008 年 12 月 11 日	読売新聞
満席でこそきっと最高水準 東北大・川内萩ホール 1200 人で音響検証	2008 年 12 月 11 日	河北新報
東北大　新ホールで公開実験 　市民ら 1200 人参加し音響特性測定	2008 年 12 月	YOMIURI ONLINE
川内萩ホール 満席で音響測定 学会などで結果発表へ	2008 年 12 月 19 日	朝日新聞
単一光子の屈折率変化 光ファイバーで観測 東北大　制御基盤技術に道	2009 年 1 月 26 日	日経産業
東北大の最先端工学支援 今秋新設の産学研究センター 企業誘致へ 1 億円	2009 年 2 月 2 日	河北新報
光ファイバー内部の光子 屈折率変化を測定	2009 年 2 月 3 日	日刊工業
東北大　量子の状態　光で測定 量子コンピューターへ道	2009 年 2 月 5 日	日刊工業
量子通信情報　光子から電子に伝達 東北大、中継器の基盤技術	2009 年 2 月 5 日	日経産業
光ファイバー内の単一光子による屈折率変化、東北大電通研で測定に成功、量子コンピューター実現に道	2009 年 2 月 13 日	科学新聞
光の屈折率を測定　世界初　量子レベルで	2009 年 2.3 月合併号	東北大学生新聞
電子スピンの量子的状態、光書き込み.光読み出しに成功、東北大	2009 年 2 月 13 日	科学新聞

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	１２	7		１１	３０
東京大学	2	2		2	6
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	3	1		4	8
大阪大学	1	1		3	5
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
岐阜大学				1	1
合　　計	２９	１８	0	２４	７１

教員の充足率

		教　　授	准教授及び講師	助　　教	計
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%**
2009.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	29	18	24	71
	充足率	**111.5%**	**78.3%**	**75.0%**	**87.7%**

構　　成　　員

（平成 21 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

■量子光情報工学研究分野

教　授	枝　松　圭　一
教　授（兼）	中　尾　光　之
准教授	小　坂　英　男
准教授（兼）	片　山　統　裕
助　教	三　森　康　義
非常勤研究員	東海林　　篤
事務補佐員	阿　部　真奈美

■固体電子工学研究分野

教　授	末　光　眞　希
教　授（兼）	伊　藤　隆　司
准教授（兼）	小　谷　光　司
助　教	吹　留　博　一

■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
〃	小田川　　望
技術補佐員	岩　井　敏　彦
技術補佐員	齋　藤　雅　美
〃	大　竹　睦　実

■プラズマ電子工学研究分野

准教授（兼）	飯　塚　　哲
〃　（〃）	安　藤　　晃

■物性機能設計研究分野

教　授	白　井　正　文
教　授（兼）	田　中　和　之
助　教	三　浦　良　雄
〃	阿　部　和多加

■磁性デバイス研究分野

客員教授	佐々木　雅　英
〃	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
〃（兼）	松　浦　祐　司
准教授	大　寺　康　夫
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	八　坂　　洋
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（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
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
〃	末　松　憲　治
〃	犬　竹　正　明
〃	ポポフ・ビャチェスラブ
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
助　教	栃　　修一郎
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
〃	寺　本　　渉
技術補佐員	宮　内　千　夏
事務補佐員	小野寺　美　紀
〃	本　間　理　恵

■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
非常勤研究員	萩　谷　光　晴
事務補佐員	今　野　亜　未

■先端情報通信領域創成分野

教　授	玉　田　　薫

■ユビキタス通信システム研究分野

教　授	加　藤　修　三
准教授	中　瀬　博　之
教　授（兼）	澤　谷　邦　男
〃　（〃）	堀　口　　進
准教授（兼）	陳　　強
〃　（〃）	姜　　暁　鴻

■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
〃	平　原　達　也
客員准教授	西　村　竜　一

客員准教授　カッツ・ブライアン

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）	住　井　英二郎
非常勤研究員	上　野　雄　大

■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
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
客員准教授	チャクラボルティ・デバシシュ
講　師（兼）	和　泉　勇　治
非常勤研究員	高　橋　秀　幸
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	守　屋　佳　織

■情報コンテンツ研究分野

教　授	沼　澤　潤　二
教　授（兼）	加　藤　　寧
教　授（兼）	木　下　哲　男
准教授	青　木　輝　勝
准教授（兼）	阿　部　　亨
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
事務補佐員	佐　藤　玲　子

■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
非常勤研究員	菅　原　勝　俊
事務補佐員	村　中　裕　美
〃	松　田　広　子

■半導体スピントロニクス研究部

教　授	大　野　英　男
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

准教授（兼）	斉藤　伸
助　教	大谷啓太
非常勤研究員	松坂俊一郎
事務補佐員	佐藤則子

■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
〃	佐藤信之
〃	石橋健一
事務補佐員	下柿元雅子

■ナノスピンメモリ研究部

客員教授	長谷川晴弘
教　授（兼）	小柳光正
〃	安藤康夫
〃	遠藤哲郎
准教授	池田正二
准教授（兼）	田中　徹
〃	大兼幹彦
非常勤研究員	ファードン・ガン
〃	朴　志皓

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
非常勤研究員	冨田　望

■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	八木菜々子

■マイクロアーキテクチャ研究部

教　授	桝井昇一

■新概念 VLSI システム研究部

教　授	羽生貴弘
教　授（兼）	一ノ倉　理
〃　（〃）	青木孝文
准教授（兼）	中村健二
助　教	松本　敦
〃	夏井雅典

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
〃	中村慶久

教　授（兼）	高　梨　弘　毅
〃	北　上　　修
准教授	島　津　武　仁
客員准教授	山　川　清　志
准教授（兼）	岡　本　　聡
〃	菊　池　伸　明
技術補佐員	魚　本　　幸
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）	庭　野　道　夫
教　授	
副室長（兼）	上　原　洋　一
教　授	
助　教	佐　藤　信　之
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	鈴　木　陽　一
教　授	
准教授	北　形　　元
助　教	矢　入　　聡
非常勤研究員	笹　井　一　人
技術補佐員	鈴　木　みどり
〃	新　妻　祥　子
〃	小　林　憲　一

研究基盤技術センター

センター長（兼）	庭　野　道　夫
教　授	
技術専門員（兼）（技術長）	田　久　長　一

■工作部

技術専門員（グループ長）	田　久　長　一
技術専門職員	庄　子　康　一
〃	末　永　　保
技術一般職員	山　下　　毅
〃	澤　田　健　二
再雇用職員	渡　邉　博　志
〃	菅　原　宗　朋
〃	米　澤　隆　二

■評価部

技術専門職員（グループ長）（兼）	田　久　長　一
技術専門職員	我　妻　成　人
技術一般職員	阿　部　真　帆
再雇用職員	今　野　勇　治
〃	土　田　貞　夫

■プロセス部

技術専門職員（グループ長）	我　妻　康　夫
技術専門職員	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	鈴　木　みどり
〃	新　妻　祥　子
〃	小　林　憲　一

事　　務　　部

事務部長	西　田　　均	経理課長	佐　藤　　巖
総務課長	石　井　俊　明	経理係長	清　野　　彰
庶務係長	喜　田　　清	事務職員	白　幡　　陵
主　　任	相　澤　拓　也	〃	佐々木　志　保
再雇用職員	師　岡　ケイ子	事務補佐員	小　島　紫津子
事務補佐員	青　山　美弥子	〃	沓　澤　倫　子
〃	寺　島　弘　美	〃	佐　藤　智　子
〃	伊　藤　智　恵	用度係長	早　坂　　毅
〃	小　熊　絵　美	事務職員	鈴　木　祐　利
研究協力係長	加　藤　文　樹	〃	藤　原　幸　吾
主　任	菅　原　公美子	技術職員	阿　部　良　勝
事務補佐員	白　鳥　千亜紀	事務補佐員	川　北　久美子
〃	樋　渡　理　枝	〃	角　田　郁　子
〃	地　代　優　子	〃	菅　澤　　修
図書係長	村　上　康　子	〃	村　田　利　江
事務補佐員	早　坂　幸　子	技術補佐員	三　島　　妙
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		

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第15号

2009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.15　（二〇〇八年度）

東北大学電気通信研究所